

İçme Sularının Dezenfeksiyonunda Temas Tanklarının Verimlerinin Araştırılması ve
Perde Tasarımının Geliştirilmesi

Mehmet Anıl Kızılaslan

DOKTORA TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Ocak 2020

Investigation of Efficiency of Contact Tanks in Disinfection of Potable Water and
Development of Baffle Design

Mehmet Anıl Kızılaslan

DOCTORAL DISSERTATION

Department of Civil Engineering

January 2020

İçme Sularının Dezenfeksiyonunda Temas Tanklarının Verimlerinin Araştırılması ve
Perde Tasarımının Geliştirilmesi

Mehmet Anıl Kızılaslan

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Hidrolik Bilim Dalında

DOKTORA TEZİ

Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Doç. Dr. Ender Demirel

Ocak 2020

ONAY

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Doktora öğrencisi Mehmet Anıl Kızılaslan'ın DOKTORA tezi olarak hazırladığı “İçme Sularının Dezenfeksiyonunda Temas Tanklarının Verimlerinin Araştırılması ve Perde Tasarımının Geliştirilmesi” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek oybirliği ile kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Ender Demirel

İkinci Danışman : -

Doktora Tez Savunma Jürisi:

Üye : Doç. Dr. Ender Demirel

Üye : Prof. Dr. İsmail Aydın

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Hakan Erol

Üye : Prof. Dr. Mizan Doğan

Üye : Prof. Dr. Mustafa Tombul

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
..... tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Hürriyet ERŞAHAN
Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Doç. Dr. Ender Demirel danışmanlığında hazırlamış olduğum “İçme Sularının Arıtılmasında Temas Tanklarının Hidrolik ve Karışım Verimlerinin Araştırılması ve Perde Tasarımının Geliştirilmesi” başlıklı DOKTORA tezimin özgün bir çalışma olduğunu tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim. 06/01/2020

Mehmet Anıl Kızılaslan

İmza

ÖZET

Geleneksel temas tankları içerisinde piston akımı olduğu varsayımına göre tasarlandığından, verimleri düşüktür. Yönetmeliklere göre belirlenen dezenfeksiyon seviyelerinin sağlanabilmesi için yüksek miktarda dezenfektan kullanılması gerekmekte, bu nedenle oluşan dezenfeksiyon yan ürünlerinin toplum sağlığına olan zararları ve dezenfeksiyon maliyetleri artmaktadır. Bu tez çalışmasında Eskişehir Büyükşehir Belediyesi Klor Temas Tankı'nın 1:10 ölçekli laboratuvar modeli üzerinden yapılan akım ve izleyici deneyleri ile tankın hidrolik ve karışım verimleri belirlenmiştir. Klasik perde (KP) tasarımında, odalar içerisinde çevrinti bölgelerinin ve buna bağlı olarak tankın verimini düşüren kısa devre etkilerinin olduğu görülmüştür. Daha sonra tankın verimini arttırabilmek için üç parçalı gözenekli perde (GP) tasarımı geliştirilmiştir. GP tasarımı ile çevrinti etkileri azaltılarak tank içerisinde piston akışına yakın bir akım yapısı olduğu; tankın hidrolik veriminin perde faktörüne göre %27, karışım veriminin Morrill (Mo) indeksine göre %27 ve dispersiyon indeksine göre %79 arttığı görülmüştür. Tank içindeki akım yapısının daha detaylı olarak araştırılabilmesi için üç boyutlu bir hesaplama modeli geliştirilerek model sonuçları deneysel ölçüm sonuçları ile doğrulanmıştır. Klor temas tankının dezenfeksiyon veriminin değerlendirilebilmesi için ikinci mertebeden bir dezenfeksiyon modeli geliştirilmiştir. İstenen dezenfeksiyon seviyelerinin GP tasarımı ile %18 daha az klor kullanılarak sağlanabileceği, dezenfeksiyon yan ürün oluşumunun ise %29 azaltılabileceği görülmüştür. Ozon temas tanklarının dezenfeksiyon verimlerinin değerlendirilebilmesi için bir ozon dezenfeksiyon modeli geliştirilmiştir. Boyutları ve akım özellikleri bilinen bir ozon temas tankı için yapılan sayısal benzetimler sonucunda, GP tasarımı ile ozon temas tankının hidrolik verimi %56 ve karışım verimi %52 arttırılmıştır.

Geliştirilen perde tasarımı sayesinde klor ve ozon temas tanklarının verimlerinin arttırılabileceği, böylece dezenfeksiyon maliyetlerinin önemli miktarda azaltılabileceği değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Klor Temas Tankı, Ozon Temas Tankı, Hidrolik ve Karışım Verimleri, Dezenfeksiyon Verimi, İçme Suyu Arıtma, Perde Tasarımı

SUMMARY

Contact tanks that are conventionally designed based on plug-flow assumption have low mixing efficiencies. Thus, high dosage of disinfectant is required to achieve disinfection levels suggested by the regulations, which significantly increases harmful effects of by-products on the public health and disinfection costs. In this thesis, flow and tracer experiments are carried out on a 1:10 scale laboratory model of the chlorine contact tank located in Eskişehir Metropolitan Municipality Water Treatment Plant. Recirculation zones are formed inside the chambers for the conventional baffle (CB) design, which creates significant short-circuiting effects to reduce hydraulic and mixing efficiencies of the contact tank. A three-part porous baffle (PB) design is developed to increase hydraulic and mixing efficiencies. Experimental results reveal that the PB design transforms the flow structure to the plug-flow by reducing recirculation effects and hydraulic efficiency increased by 27% according to the baffling factor, mixing efficiency increased by 27% and 79% according to the Morrill (Mo) and dispersion indexes, respectively. In order to ascertain the flow structure inside the tank, a three-dimensional computational model is developed and numerical results are validated with the experimental measurements. A second-order disinfection model is developed for the chlorine in order to assess disinfection efficiency of the contact tank. Numerical results reveal that the required disinfection levels can be achieved by PB design using 18% less chlorine dosage and disinfection by-product formation can be reduced by 29%. A complete ozone disinfection model is developed to evaluate the disinfection efficiency of ozone contact tanks. Numerical simulations conducted on a full-scale ozone contact tank reveal that the PB design increases the hydraulic efficiency by 56% and mixing efficiency by 52%.

It can be concluded that the efficiencies of chlorine and ozone contact tanks can be increased with the implementation of the proposed baffle design to significantly reduce disinfection costs in large cities.

Keywords: Chlorine Contact Tanks, Ozone Contact Tank, Hydraulic and Mixing Efficiencies, Disinfection Efficiency, Potable Water Treatment, Baffle Design

TEŞEKKÜR

Akademik gelişim sürecimde her adımda benden desteğini esirgemeyen, engin tecrübelerinden faydalandığım, yol göstericim, doktora tez danışmanım, kıymetli hocam Doç. Dr. Ender Demirel'e teşekkürü bir borç bilirim. Tez çalışmamın başından itibaren kıymetli zamanını, bilgilerini ve tecrübelerini paylaşan değerli hocam Prof. Dr. Mustafa M. Aral'a; Tez İzleme Komitelerim ile birlikte çalışmamın gelişmesine katkı sağlayan değerli hocalarım Prof. Dr. İsmail Aydın ve Dr. Öğr. Üyesi Hakan Erol'a sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım. Tez kapsamında gerçekleştirdiğim deneysel çalışmalarda yardımlarda bulunan değerli çalışma arkadaşlarım Adnan Tolga Kürümüş ve Nazhmiddin Nasyrlyayev'e teşekkür ederim. Bu süreçte manevi desteklerini her zaman hissettiğim kıymetli çalışma arkadaşlarım Dr. Öğr. Üyesi Kamil Bekir Afacan ve Doç. Dr. Hakan Özbaşaran'a teşekkür ederim. Doktora eğitimimin son yılını güzelleştiren hayat arkadaşım İlayda Gürsoy'a teşekkür ederim.

İlk günden itibaren bu süreci benimle yaşayan, maddi manevi desteklerini esirgemeyen ve bundan sonra da her kararımda arkamda olacaklarını bildiğim; annem Süha Kızılaslan'a, babam Halit Kızılaslan'a ve ablam Berfu Kızılaslan Tunçer'e sonsuz minnetlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	vi
SUMMARY	vii
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	5
3. MATERYAL VE YÖNTEM	18
3.1. Deneysel Sistem	18
3.1.1. Akım deneyleri	21
3.1.2. İzleyici deneyleri	24
3.1.3. Gözenekli perde tasarımları	27
3.2. Sayısal Model	30
3.2.1. Akım ve bozunmasız izleyici çözücüsü	30
3.2.2. Gözenekli ortam modeli	32
3.2.3. Klor dezenfeksiyon modelleri	33
3.2.3.1. <u>Birinci mertebeden klor dezenfeksiyon modeli</u>	35
3.2.3.2. <u>İkinci mertebeden klor dezenfeksiyon modeli</u>	36
3.2.4. Ozon dezenfeksiyon modeli	38
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	41
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	44
5.1. Deneysel Sonuçlar	44
5.1.1. Akım sonuçları	46
5.1.2. Bozunmasız izleyici sonuçları	49
5.2. Sayısal Sonuçlar	58
5.2.1. Hesaplama ağından bağımsız çözümün elde edilmesi, başlangıç ve sınır koşulları	59

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
5.2.2. Akım sonuçları	63
5.2.3. Bozunmasız izleyici sonuçları	70
5.2.4. Dezenfeksiyon sayısal benzetimi sonuçları	76
5.2.4.1. <u>Birinci mertebeden klor dezenfeksiyon modeli sonuçları</u>	78
5.2.4.2. <u>İkinci mertebeden klor dezenfeksiyon modeli sonuçları</u>	81
5.2.5. Klor kullanımı ekonomik analizi	86
5.3. Ozon Temas Tankı Sayısal Sonuçları	87
5.3.1. Akım sonuçları	90
5.3.2. Bozunmasız izleyici sonuçları	96
5.3.3. Ozon dezenfeksiyon sonuçları	100
5.3.4. Ozon kullanımı ekonomik analizi	106
KAYNAKLAR DİZİNİ	112
ÖZGEÇMİŞ	116

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil

Sayfa

1.1. Eskişehir Klor Temas Tankı şematik gösterimi.....	3
3.1. Temas tankı deney düzeneği (a) deneysel model (b) şematik gösterim.	20
3.2. Arıtma sistemi, temiz ve pis su tankları.....	21
3.3. Belirlenen konfigürasyonda SNR değerinin değişim (a) ve kontrol ekranı (b).....	23
3.4. İzleyici deneylerinde kullanılan cihazlar: (a) şırınga pompası, (b) florometre, (c) veri kaydedici	24
3.5. İzleyici solüsyonu hazırlanışı (a), kalibrasyon ekranı (b).....	25
3.6. Zemin numunesi deneyleri: (a) yıkanmış numune, (b) tartım, (c) elek analizi	28
3.7. Perde tasarımları: (a) klasik, (b) üç parçalı gözenekli	29
5.1. Akım ölçümleri deney sistemi	44
5.2. Bozunmasız izleyici deney sistemi	45
5.3. Farklı kesitlerde 10 mm klasik tasarımlı perde kullanılması durumunda deneysel hız profilleri: (a) $z^+=0.25$, (b) $z^+=0.50$, (c) $z^+=0.75$	47
5.4. Farklı kesitlerde 45 mm klasik tasarımlı perde kullanılması durumunda deneysel hız profilleri: (a) $z^+=0.25$, (b) $z^+=0.50$, (c) $z^+=0.75$	48
5.5. Üç parçalı gözenekli perde kullanılması durumunda deneysel hız profilleri: (a) $z^+=0.25$, (b) $z^+=0.50$, (c) $z^+=0.75$	49
5.6 10 mm kalınlığında perde kullanılması durumunda KSD (a) ve kümülatif KSD (b) eğrileri.	52
5.7. Gözenekli perde tasarımı (a) KSD ve (b) kümülatif KSD eğrileri.	55
5.8. Hesaplama açısından bağımsız çözümün araştırılması için hız profilleri: (a) $z^+=0.25$, (b) $z^+=0.50$, (c) $z^+=0.75$	60
5.9. Gerçek boyutlarda temas tankına ait hesaplama ağı.	61
5.10. Farklı kesitlerde 10 mm klasik tasarımlı perde kullanılması durumunda deneysel ve sayısal benzetim hız profillerinin karşılaştırılması: (a) $z^+=0.25$, (b) $z^+=0.50$, (c) $z^+=0.75$	63
5.11. Yatay düzlemde boyutsuz hız vektörleri: (a) yaz, (b) bahar, (c) kış.....	65
5.12. Üç yarıkli perde tasarımı.....	66
5.13. Üç yarıkli perde (ÜYP) tasarımı kullanılması durumunda yatay düzlemde hız vektörleri.	67

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.14. Farklı kesitlerde 45 mm klasik tasarımlı perde kullanılması durumunda deneysel ve sayısal benzetim hız profillerinin karşılaştırılması: (a) $z^+=0.25$, (b) $z^+=0.50$, (c) $z^+=0.75$	68
5.15. Üç parçalı GP kullanılması durumunda deneysel ve sayısal benzetim hız profillerinin karşılaştırılması: (a) $z^+=0.25$, (b) $z^+=0.50$, (c) $z^+=0.75$	69
5.16. 10 mm kalınlığında KP tasarımının kullanılması durumunda deneysel ve sayısal benzetim (a) KSD ve (b) kümülatif KSD eğrileri.	71
5.17. 10 mm kalınlığında KP tasarımı ve ÜYP tasarımı sonuçları: (a) KSD eğrisi, (b) Kümülatif KSD eğrisi.	72
5.18. GP tasarımı sayısal benzetim sonuçları ile deneysel sonuçların karşılaştırılması: (a) KSD, (b) kümülatif KSD eğrileri.	73
5.19. Farklı zaman adımlarında izleyici ilerleyişi: (a) KP tasarım (b) üç parçalı GP tasarımı.	75
5.20. Farklı mevsimlerde Giardia patojeni log-inaktivasyonu	79
5.21. KP ve ÜYP tasarımlarının yaz aylarında Giardia patojeni inaktivasyonu performansları	80
5.22. İkinci mertebeden klor dezenfeksiyon modeli kullanılması durumunda (a) Giardia patojeni log-inaktivasyonu ve (b) klor konsantrasyonu değişimi	84
5.23. KP, GP ve ÜYP tasarımlarının yan ürün oluşumuna etkisi	85
5.24. Ozon temas tankı şematik gösterimi (Niazi vd. 2015).....	87
5.25. Ozon temas tankı hesaplama ağı ve difüzörler	88
5.26. Difüzörlerden bozunmasız izleyici enjektesi ve hız vektörleri.....	89
5.27. ÜYP tasarımına ilişkin boyutlar (a) kısa perde, (b) uzun perde	92
5.28. Tank içerisinde farklı perde tasarımlarının kullanılması durumunda oluşan hız vektörleri; (a) KP tasarım, (b) ÜYP tasarımı, (c) GP tasarımı.	93
5.29. Tank içerisinde meydana gelen akım çizgileri; (a) klasik tasarım, (b) ÜYP tasarımı, (c) gözenekli perde tasarımı.	95
5.30. Farklı perde tasarımlarına ait (a) KSD ve (b) kümülatif KSD eğrileri.	97
5.31. Ozon temas tankı içerisinde KP tasarımı kullanılması halinde farklı zaman adımlarında ozon ilerleyişi	101
5.32. Ozon temas tankı içerisinde ÜYP tasarımı kullanılması halinde farklı zaman adımlarında ozon ilerleyişi	103

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)**Şekil****Sayfa**

5.33. Ozon temas tankı içerisinde GP tasarımı kullanılması halinde farklı zaman adımlarında ozon ilerleyişi	105
---	-----



ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Model ölçeğinde temas tankına ait akım bilgileri.....	26
3.2. Farklı porozitelere sahip zemin numunesi bilgileri	28
3.3. Metal elek bilgileri.....	29
3.4. Darcy ve Forchheimer katsayıları.....	33
3.5. Ham su bilgileri ve dezenfeksiyon katsayıları.....	36
3.6. Ozon dezenfeksiyon modeli katsayıları	40
5.1. Bozunmasız izleyici deneyi bilgileri.....	50
5.2. Temas tanklarının perde faktörüne göre sınıflandırılması	50
5.3. AD indeksi ile temas tankı sınıflandırması.....	52
5.4. Hidrolik ve karışım verimi indeksleri (10 mm perde)	53
5.5. Gözenekli perde yapısı konfigürasyonları	54
5.6. Gözenekli perde tasarımlarına ait hidrolik ve karışım verimi indeks değerleri.....	56
5.7. Sınır koşulları.....	61
5.8. Başlangıç koşulları.....	62
5.9. KP tasarımı ve ÜYP tasarımı hidrolik ve karışım verimi indeksleri	72
5.10. Farklı tasarımlara ait KZ değerleri.....	81
5.11. Ham su başlangıç değerleri.....	82
5.12. Bakiye klor ve yan ürün konsantrasyonları	83
5.13. Belediyelerin klor maliyeti	86
5.14. Ozon temas tankı simülasyonları sınır koşulları.....	91
5.15. Ozon temas tankı simülasyonları başlangıç koşulları.....	91
5.16. Bozunmasız izleyici enjeksiyon süreleri.....	97
5.17. Ozon temas tankı hidrolik ve karışım verimi indeksleri.....	98
5.18. Ham su başlangıç bilgileri	100
5.19. İstenilen patojen inaktivasyonu için gerekli ozon konsantrasyonları	100
5.20. Ozon dezenfeksiyonu sonucu yan ürün oluşumları	106
5.21. İstanbul’da bulunan ozon temas tanklarının perde tasarımlarının değiştirilmesi ile elde edilecek yıllık yaklaşık tasarruf.	107

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Açıklama

σ^2	Dispersiyon indeksi
$^{\circ}\text{C}$	Sıcaklık
$\forall$	Hacim
$\overline{C}$	Konsantrasyon
ρ_s	Özgöl yoğunluk
ρ_{kuru}	Kuru yoğunluk
ε	Türbülans enerjisi sönüm oranı
ϕ	Porozite
τ	Teorik kalma süresi
θ_{10}	Perde faktörü
σ_{θ}^2	KSD eğrisi varyansı
θ_m	KSD eğrisi ağırlık merkezi
ρ	Yoğunluk
ν	Kinematik viskozite
φ	Skaler büyüklük
ν_t	Eddy viskozitesi
C_{μ}	Türbülans model sabiti
Q	Debi
Θ	Boyutsuz zaman
x_i	Konum
$\mu\text{g/L}$	Nanogram/litre
A	Alan
Br	Brom
BrO^-	Hipobromit
BrO_2	Bromin dioksit

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
BrO ₃	Bromat
cm	Santimetre
Cl	Klor
C ₀	Başlangıç klor konsantrasyonu
Dk	Dakika
d ₅₀	Medyan yarıçapı
D	Difüzyon katsayısı
D	Darcy katsayısı
E	Kalma Süresi Dağılımı
e	Boşluk oranı
F	Kümülatif Kalma Süresi Dağılımı
F	Forchheimer katsayısı
g	Gram
g/cm ³	Gram/sanimetreküp
HOCl	Hipokloröz asit
I	Türbülans yoğunluğu
k	Türbülans kinetik enerjisi
k _b	Birinci mertebeden bozunma katsayısı
k'	Patojen inaktivasyon katsayısı
k _{tc}	THM oluşumu katsayısı
k' ₁	Klor bozunma katsayısı
k' ₂	Klor bozunma katsayısı
l	Karışım uzunluğu
m/s	Metre/saniye
m ³ /s	Metreküp/saniye
m ³ /saat	Metreküp/saat

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
$m^3/gün$	Metreküp/gün
mm	Milimetre
m	Metre
m^3	Metreküp
mg/L	Miligram/litre
ml	Mililitre
Mo	Morrill indeksi
n	Dezenfektan molekülü sayısını
N_0	Başlangıç patojen miktarı
N_T	Dezenfeksiyon sonucu kalan patojen miktarı
ppb	Milyarda bir
p	Reynolds ortalama basınç
R	Patojen inaktivasyon sabiti
s	Saniye
S	Kaynak terimi
t_{10}	İzleyici konsantrasyonunun %10'unun görülmesi için gerekli süre
t_{90}	İzleyici konsantrasyonunun %90'ının görülmesi için gerekli süre
$T_{\text{enjeksiyon}}$	Enjeksiyon Süresi
TOK	Toplam Organik Karbon
TTHM	Trihalometan
U	Hız
UV ₂₅₄	UV ışınları geçirim kapasitesi

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

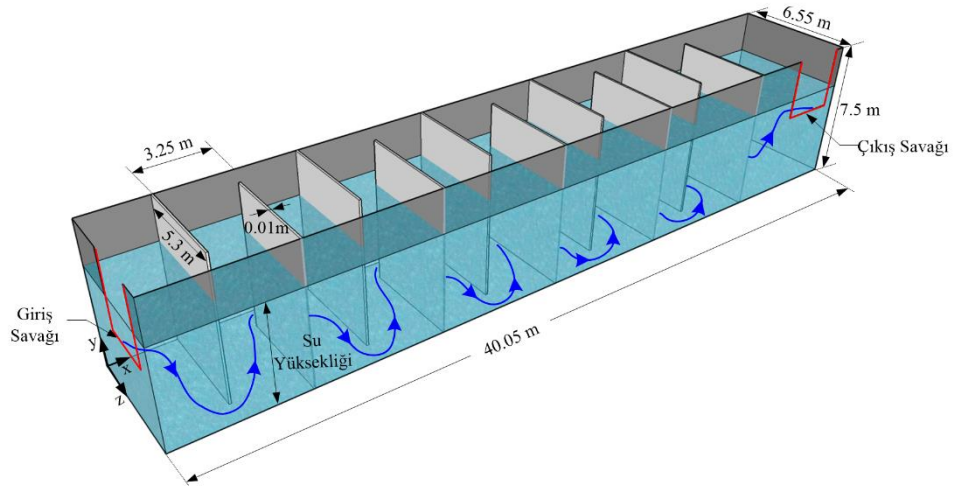
<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
3D-LIF	Üç boyutlu lazer-indüksiyon floresan
ADH	Akustik Doppler Hızölçer
AD	Aral - Demirel
BGB	Büyük Girdap Benzeşimi
GP	Gözenekli Perde
HAD	Hesaplamalı akışkanlar dinamiği
HAA	Haloasetik Asitler
HAN	Haloasetonitil
KP	Klasik Perde
KSD	Kalma Süresi Dağılımı
KVA	Kilo Volt Amper
KZ	Konsantrasyon – Zaman
NVR	Nominal Velocity Range
PIV	Particle image velocimetry
PL	Power Level
SV	Sampling Volume
SNR	Signal to Noise Ratio
THM	Trihalometan
TOK	Toplam Organik Karbon
TKS	Teorik Kalma Süresi
TL	Transmit Length
TL	Türk Lirası
RONs	Reynolds Ortalamalı Navier Stokes
USEPA	United States Environmental Protection Agency
UVA	Ultraviolet A
ÜYP	Üç Yarıkli Perde

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Kentleşme, artan nüfus ve yoğun enerji kullanımı içme sularının dezenfeksiyon maliyetlerinde önemli bir artışa sebep olmaktadır. Ülkemizde maliyeti diğer dezenfeksiyon yöntemlerine göre daha düşük olduğundan içme sularının dezenfeksiyonunun neredeyse tamamında klor ile dezenfeksiyon yapılmaktadır. Klor ile dezenfeksiyonun yanında içme sularının dezenfeksiyonunda ozon ve ultraviyole yöntemlerinin kullanımı Dünya’da giderek yaygınlaşmaktadır. Ülkemizdeki bazı içme suyu arıtma tesislerinde yalnızca ön dezenfeksiyon sürecinde ozonla dezenfeksiyon yapılmaktadır. İçme suyu arıtma tesislerinde bulunan temas tankları, dezenfektan ile ham suyun temas ettirilerek dezenfeksiyon işleminin gerçekleştirildiği önemli bir su yapısıdır. Çok odalı olarak inşa edilen temas tankları, odaları birbirinden ayıran perdelerden dolayı katı – akışkan etkileşiminin yüksek olduğu su yapılarıdır. Temas tanklarının tasarımları odalar içerisinde “piston akışı” olduğu varsayımı yapılarak gerçekleştirilmektedir. Piston akışı prensibinde viskoz etkiler ihmal edilmekte ve oda içerisindeki akım hızının sabit olduğu varsayılmaktadır. Sürtünme ve türbülans etkilerinin göz önüne alınmadığı bu varsayım üzerinden tasarlanan temas tanklarının verimleri de düşük olmaktadır. Tanktaki jet akışının oluşturduğu akışkan - akışkan etkileşimi ve perdeler sebebiyle oluşan katı - akışkan etkileşimi ile tank içerisinde oluşan akış yüksek türbülans etkileri altında olup piston akışından uzak bir akım yapısı oluşturmaktadır. Bu nedenle, temas süresinin arttırılması için tank içine yerleştirilen perde tasarımlarının geliştirilmesiyle çok odalı temas tanklarının hidrolik ve karışım verimlerinin yükseltilerek daha az dezenfektan kullanılarak istenilen dezenfeksiyonun yapılması mümkün olmaktadır. Jet akışı sebebiyle oluşan kısa devreler ve sürtünme etkilerinden dolayı oluşan enerji kayıpları temas tanklarının dezenfeksiyon verimlerini düşüren önemli faktörlerdir. Tankın girişinden enjekte edilen dezenfektan kısa devre etkisiyle birlikte jet akışını takip etmekte ve istenilenden çok daha kısa sürede tankı terk etmektedir. Tank odaları içerisinde oluşan ölü bölgelerde kalan dezenfektan ise belirli bir süre sonra jet akışına katılarak tanktan çıkmaktadır. Bu etkiler sonucunda temas tankı sonrasında kullanıcıya iletilen suyun istenilen dezenfeksiyon verimine ulaşabilmesi için yüksek konsantrasyonda dezenfektan kullanılması gerekmektedir.

Literatürde temas tanklarının hidrolik ve karışım verimlerinin artırılmasına yönelik çalışmalar genellikle oda sayısının artırılması, giriş tasarımının değiştirilmesi, oda giriş ve çıkış bölümlerinde yapılan değişiklikler ile sınırlıdır. Tezin ikinci bölümünde literatürde temas tankları üzerine yapılmış deneysel ve sayısal benzetim çalışmaları detaylı olarak değerlendirilmiştir.

Doktora tezi kapsamında, Eskişehir Büyükşehir Belediyesi İçme Suyu Arıtma Tesisinde bulunan Klor Temas Tankı içindeki perdelerin tasarımları değiştirilerek hidrolik, karışım ve dezenfeksiyon verimleri üzerindeki etkileri deneysel ve sayısal olarak araştırılmıştır. Tez çalışmasının beşinci bölümünde, klasik tasarıma sahip perde ve farklı geçirgenliklerde üç parçalı olarak tasarlanmış gözenekli perdelerin özellikleri deneysel olarak araştırılmıştır. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Laboratuvarı'nda kurulan Eskişehir Klor Temas Tankı'nın 1:10 ölçekli fiziksel modeli üzerinde yapılan deneysel çalışmalar iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmaların birinci bölümünde tank içerisinde oluşan akım yapısı, tankın farklı kesitlerinde Akustik Doppler Hızölçer (ADH) ile hız ölçümleri yapılarak incelenmiştir. Tank içerisinde farklı perde tasarımlarının kullanılması durumunda, değişen hidrolik ve karışım verimleri bozunmasız izleyici deneyleri ile araştırılmıştır. Bozunmasız izleyici deneylerinde, belirli konsantrasyonda hazırlanan su içerisinde bozunmayan ve floresan ışığına duyarlı Rhodamine WT sıvısı tank girişinden altı kanallı enjeksiyon pompası ile enjekte edilmiş, tankın çıkışında bu sıvının konsantrasyonun izlenmesi ile elde edilen grafikler kullanılarak tankın hidrolik ve karışım verimlerine ait indeks değerleri hesaplanmıştır.



Şekil 1.1. Eskişehir Klor Temas Tankı şematik gösterimi

Sonuçları tez çalışmasının beşinci bölümde paylaşılan, Eskişehir Klor Temas Tankı'na ait sayısal benzetimlerin tamamı açık kaynak kodlu bir yazılım olan OpenFOAM kullanılarak gerçekleştirilmiştir (OpenFOAM, 2015). Tank içerisinde kullanılan perde tasarımlarının meydana getirdiği akım yapıları, tankın model ölçeğindeki boyutları için Reynolds Ortalamalı Navier Stokes (RONS) simülasyonları ile belirlenmiştir. Zamanla değişmeyen akım koşullarına ulaşan sonuçlar üzerinden bozunmasız izleyici hareketinin sayısal benzetimleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sayısal sonuçlar ile deneysel sonuçlar karşılaştırılarak kullanılan sayısal model doğrulanmıştır. Sayısal benzetimlerden elde edilen sonuçların en önemli getirisi ise deneysel olarak incelenmesi mümkün olmayan detaylı akım analizinin gerçekleştirilmesine olanak sağlamasıdır. Temas tankı içerisinde oluşan karmaşık akım yapısı ve verimi düşüren etkiler sayısal benzetim sonuçları kullanılarak daha detaylı incelenebilmiştir.

Eskişehir Klor Temas Tankı 'nın dezenfeksiyon verimi ise OpenFOAM yazılımı içerisinde geliştirilen ikinci mertebeden bir klor çözücüsü kullanılarak belirlenmiştir. Bu çözücüdeki dezenfeksiyon süreci; klor bozunması, patojen inaktivasyonu ve yan ürün oluşumunu içermektedir. Perde tasarımında yapılan değişikliklerin tankın dezenfeksiyon

verimine etkisi geliştirilen çözücü kullanılarak araştırılmıştır. Literatürde kullanılan klor ile dezenfeksiyon çözücülerine göre içerdiği parametreler açısından daha gelişmiş bir çözücü geliştirilmiş ve farklı perde tasarımları için dezenfeksiyon verimi araştırılmıştır.

Klor ile dezenfeksiyon sonucunda gerçekleşen olumsuz durumlar göz önünde bulundurulduğunda; alternatif bir yöntem olarak içme sularının ozonla dezenfeksiyonu 20. yüzyılın sonlarında yaygınlaşmıştır. Ülkemizde genellikle ön dezenfeksiyon sürecinde kullanılan bu yöntem, suda tat ve koku bırakmaması, kanserojen etkisi bulunan yan ürün meydana getirmemesi gibi özellikleri ile toplum sağlığı açısından daha uygun bir dezenfeksiyon yöntemi olarak görülmektedir. Doktora tezi kapsamında literatürde deneysel ve sayısal sonuçları paylaşılmış gerçek boyutlarda bir ozon temas tankı beşinci bölümde sayısal olarak araştırılmıştır. Tanka ait hidrolik ve karışım verimi değerlendirmesi yapıldıktan sonra; geliştirilen ozon dezenfeksiyon modeli ile tankın dezenfeksiyon verimi araştırılmıştır. Gözenekli perde ve patentli bir perde tasarımı olan üç yarıkli perde tasarımı bu tanka uygulanarak tankın hidrolik, karışım ve ozon dezenfeksiyon verimlerine etkisi değerlendirilmiştir. Ozonla dezenfeksiyon sürecinde en önemli maliyet olarak görülen ozon üretimi değerlendirmesi ile tank içerisinde yapılan bu perde tasarımı değişikliği ile tankın dezenfeksiyon maliyeti analizi yapılmıştır.

Geliştirilen gözenekli perde tasarımı ile temas tanklarının hidrolik, karışım ve dezenfeksiyon verimlerinin artırılması tezin amaçları arasındadır. Deneysel ve sayısal benzetim çalışmaları ile bu amaç gerçekleştirilecektir. Temas tankının hidrolik ve karışım verimlerinin deneysel olarak belirlenebilmesi için bir deneysel ölçüm sisteminin geliştirilecektir. Akım çözücüsü, deneysel ölçüm ve sayısal benzetim sonuçları karşılaştırılarak doğrulanacaktır. Bozunmasız izleyici deneyleri ile perde tasarımlarının tankın hidrolik ve karışım verimleri üzerinde etkisi araştırılacak; elde edilen sonuçlar sayısal benzetim sonuçları ile karşılaştırılarak model doğrulaması yapılacaktır. Geliştirilen perde tasarımının, daha az dezenfektan kullanılarak dezenfeksiyon sürecini gerçekleştirmesi ve reaksiyon sonucu meydana gelecek yan ürün oluşumunu azaltması amaçlanmaktadır. Bu amaç gerçekleştirildiğinde perde tasarımlarının değiştirilmesi ile mevcut temas tanklarının yıllık klor ya da ozon maliyetinin azalması öngörülmektedir. Tez çalışmasına ait bulgular, amaçlar ve hedefler dördüncü bölümde verilmiştir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Literatürde temas tankları üzerine yapılan deneysel ve sayısal benzetim çalışmaları genellikle tankların hidrolik, karışım ve dezenfeksiyon verimlerinin belirlenmesi ve artırılması üzerinedir. Bu çalışmalarda perde tasarımı üzerinde değişiklikler yapılmamıştır. Verim artışı sağlamak üzere yapılan çalışmalar genellikle oda sayısını artırmak, tank giriş yapısını değiştirmek ya da oda çıkışlarına farklı yapılar yerleştirmek şeklindedir. Klor ya da ozon kullanılarak geliştirilen sayısal modeller ile yapılan çalışmalar ise dezenfeksiyon verimi artışı yine perde tasarımı değişikliği yapılmadan ele alınmaktadır.

Gualtieri (2003) temas tankının hidrolik ve karışım verimine oda sayısının etkisini nümerik olarak Multiphysics 3.3 paket programını kullanarak araştırmıştır. 2 boyutlu, kararlı akım koşullarında RONS simülasyonları ile akım ve izleyici analizleri gerçekleştirmiştir. Hidrolik verim indekslerini 5, 7, 9 ve 11 odalı temas tankları için hesaplamış ve değerlendirmelerinde oda sayısı arttıkça verimin arttığına vurgu yapmıştır. Buna karşılık 9 ve 11 odalı temas tanklarından elde edilen verimin birbirine çok yakın olduğundan 9 odalı temas tankı önerisinde bulunmuştur. 9 ve 11 odalı temas tankları içerisinde piston akışına yakın bir akım alanı oluştuğunu hesaplanan dispersiyon katsayısını kullanarak yorumlamıştır.

İçme suyu dezenfeksiyon tesislerinde dezenfektan olarak sıklıkla kullanılan ozon üretimi açısından oldukça yüksek enerji maliyetine sahiptir. Aral ve Demirel (2017) çalışmalarında düşük karışım verimli, kısa devre etkileri altında olan tank içerisindeki akımın ilerleyebilmesi için yüksek miktarda enerjiye ihtiyaç duyan tasarımına yenilikler getirmişlerdir. Patenti alınmış bu özgün temas tankı perde tasarımı ile tankın hidrolik ve karışım verimleri artırılmıştır. Analizlerinde RONS modeli kullanılarak tank içerisinde meydana gelen akım yapısı araştırılmıştır ve izleyici analizleri gerçekleştirmişlerdir. Akım analizi sonucunda delikli duvar tasarımının kısa devre etkilerini düşürdüğünü ve tank içerisindeki akımın ilerlemesinde daha az enerjiye ihtiyaç duyulduğunu ifade etmişlerdir. İzleyici analizi ise özgün temas tankı perde tasarımının Kalma Süresi

Dağılımı (KSD) eğrisinde görülen ilk pik değerinin klasik temas tankı kullanılması halinde oluşan pik değere göre düşürdüğünü ve sağa kaydığını belirtmişlerdir. Bu durumun tank içerisinde izleyici ile arıtılacak suyun daha uzun süre temas edeceğini gösterdiğini vurgulamışlardır. Tank giriş ve çıkışındaki basınç farkından hesaplanan değer ile özgün temas tankının suyun pompalanmasında %51 daha az enerjiye ihtiyaç duyduğu çalışmanın sonuçlarında ifade edilmiştir.

Literatürde nümerik ve deneysel sonuçları paylaşılmış bir temas tankının hidrodinamik analizini sayısal benzetimlerle gerçekleştirdikleri çalışmalarında Demirel ve Aral ilk olarak RONS ve Büyük Girdap Benzeşimi (BGB) modelleri ile tank içerisindeki akım yapısını değerlendirerek literatürdeki sonuçlar ile karşılaştırmışlardır. Ardından, tank içerisindeki girdap alanı tanımlanarak; ana akım ile çevrinti bölgesinin birbirinden ayrılması yorumlanmıştır. Lamb vektörü ile akışkan-akışkan etkileşimden kaynaklı oluşan çevrinti bölgeleri ayrıştırılmış ve girdap çekirdek bölgeleri belirlenmiştir. Ayrıştırılan bu bölgelerin tank içerisindeki karışıma etkisi değerlendirilmiştir. Her bir oda içerisindeki akım yapıları ayrı ayrı değerlendirilmiş ve iki modelin çözümleri kıyaslanarak BGB'nin kısa devre etkilerini, çevrinti bölgelerini ve girdapları tanımlamada daha başarılı olduğu vurgulanmıştır (Demirel ve Aral, 2016a).

İkinci dereceden yakınsak bir nümerik model kullanarak RONS ve BGB simülasyonları ile gerçekleştirdikleri bozunmasız izleyici taşınımı sayısal benzetimler ile Demirel ve Aral Kalma Süresi Dağılımı (KSD) ve kümülatif KSD eğrileri oluşturarak literatürdeki aynı temas tankı için paylaşılan deneysel sonuçlar ile karşılaştırmışlardır. Literatürdeki sonuçlar ile oldukça uyumlu sonuçlar elde eden araştırmacılar, tank içerisindeki karışım karakteristiğinin yorumlanmasında çalkantı bileşenlerini daha iyi yakalayabildiği için BGB modelinin kullanılmasını önermişlerdir. Buna ek olarak BGB modeli ile çevrinti bölgelerindeki türbülans çalkantıları içerisinde kalan izleyicinin düşünülene aksine karışım verimini artırdığını belirtmişlerdir. BGB model sonuçlarının yüksek karışım ve yüksek kısa devre etkilerini etkili bir şekilde belirlediğini; buna karşılık literatürdeki hidrolik ve karışım verimi indekslerinin bu durumu içerecek ifadeler olmadığını vurgulamışlardır. Geliştirmiş oldukları Aral Demirel (AD) indeksi, tek bir değer ile hidrolik ve karışım verimine ait yorumlama yapılabilmesini sağlamıştır.

Çalışmada her bir odadaki karışım analizi ile birlikte tankı jet akışı ile terk etmeyen ve çevrinti bölgesine giriş yapan izleyicinin dezenfekte edilecek su ile bu bölgede temas ettiği ve ardından jet akışına karışarak tankı terk ettiği vurgulanmıştır (Demirel ve Aral, 2016b).

Demirel ve Aral BGB modeli kullanarak geliştirdikleri temas tankı tasarımı içerisindeki akışı ve bozunmasız izleyicinin taşınımını modellemişlerdir. Nümerik izleyici sayısal benzetim sonuçlarından özgün temas tankının hidrolik ve karışım verimine ait indeksleri hesaplayarak değerlendirmelerde bulunmuşlardır. Buna göre, üç yarıkli perde tasarımına sahip temas tankının klasik perde tasarımına sahip temas tankına göre hidrolik veriminin %44, karışım veriminin ise %42 daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca tank içerisindeki akımın ilerleyebilmesi için gerekli enerji maliyeti bu tasarımla birlikte %43 azalmaktadır. Çalışmanın önerilerinde ileride uygulanacak temas tanklarında üç yarıkli perde tasarımının uygulanması önerilmiştir (Demirel ve Aral, 2018a).

Temas tanklarının hidrolik ve karışım verimlerinin hesaplanmasındaki varsayımlardan ve bu indekslerin akım ve karışıma ait farklı durumları açıklamamasından dolayı geliştirilmeleri gerekmektedir. Demirel ve Aral çalışmalarında farklı duvar tasarımlarına sahip temas tanklarının akım ve bozunmasız izleyici analizlerini gerçekleştirerek literatürde sıklıkla kullanılan indekslerin performanslarını değerlendirmişlerdir. Çalışmanın sonuçlarında literatürdeki indekslerin farklı tasarımlara sahip temas tanklarının hidrolik ve karışım verimlerinin yorumlanmasında eksikliklerinin olduğundan; literatürde yeni tanımlanan AD indeksinin ise tank tasarımlarının verim değerlendirmesinin etkili bir şekilde yapılmasına olanak sağlayan, karışım ve kısa devre etkilerinin birlikte değerlendirilmesinde kullanılabilecek bir indeks olduğuna değinmişlerdir. (Demirel ve Aral, 2018b).

Üç boyutlu lazer-indüksiyon floresan (3D-LIF) kullanılarak Kim vd. tarafından gerçekleştirilen deneysel çalışmada çok odalı ozon temas tankının hidrodinamik ve karışım yapısı görselleştirilmiş ve analiz edilmiştir. Farklı oda genişliklerinde enjekte edilen izleyicinin odalar içerisinde ilerleyişini inceleyerek her bir odanın KSD eğrilerini

elde etmişlerdir. Çalışmanın sonuçlarında üç temas tankının da kısa devre etkileri altında olduğu, odaların içerisinde bir çevrinti bölgesi meydana geldiği ve her odanın merkezinde bir ölü bölge meydana geldiği belirtilmiştir. Bu ideal olmayan karışım durumunun çalışmada kullanılan debiden ve oda genişliklerinden bağımsız olduğuna; temas tankı performansının oda genişliğinin azaltılmasıyla ve piston akışının odalar içerisinde oluşturulmasıyla yükseltilebileceğine değinmişlerdir (Kim vd., 2010a).

Yang vd. tarafından yapılan çalışmada da bir ozon temas tankının hidrodinamik, dezenfeksiyon ve oksidasyon performanslarını artırmaya yönelik özgün bir tasarım geliştirilmiştir. Özgün temas tankı tasarımı 3 odalı bir temas tankı içerisine yatay bir gözenekli duvar eklenmesi ile oluşturulmuştur. Çalışmanın sonuçları incelendiğinde; logaritmik inaktivasyon seviyesinin %147 arttığı, kullanılan ozon konsantrasyonunun %50 azaldığı ve bu durumda da %54 daha az enerji sarf edildiği belirtilmiştir (Yang vd., 2017).

Kim vd. çalışmalarında iki farklı oda genişliğine sahip ozon temas tanklarının akım ve izleyici taşınım karakteristiklerini Büyük Girdap Benzeşimi (BGB) simülasyonları ile üç boyutlu olarak araştırılmıştır. Tank içerisindeki akım yapısının türbülans etkileri altında olduğunu; buna bağlı olarak kısa devre etkilerinin ve odalar içerisinde çevrinti bölgelerinin oluşturduğunu kanıtlamışlardır. Nümerik olarak incelenen tank içerisindeki akımın tamamen üç boyutlu olduğu oluşan ikincil vorteksler ve çevrinti bölgeleri ile tanımlanmıştır. Çalışmanın sonuçlarında çok odalı temas tankları içerisindeki hidrodinamik etkilerin sönümlenmesi ve piston akışı oluşturulabilmesi için yeni tasarımlara ihtiyaç duyulduğunu ve tasarlanacak tank içerisindeki akışın sayısal benzetiminde BGB'nin etkili bir yöntem olduğunu vurgulamışlardır (Kim vd., 2010b).

Hesaplama akışkanlar dinamiği (HAD) problemlerinin modellenmesinde sıklıkla kullanılan bir yöntem olan Reynolds Ortalamalı Navier Stokes (RONS) modeli ile üç farklı geometriye sahip temas tankının hidrodinamik ve dezenfeksiyon performansı Kim vd. tarafından araştırılmıştır. RONS modelinin zaman ortalama hızlar hesaplamasından dolayı Schmidt sayısının türbülans ve karışımın etkili bir şekilde araştırılabilmesi için dikkatle seçilmesi gerektiğini ifade etmişlerdir. Kümülatif kalma

süresi dağılımı sonuçlarına göre uygun Schmidt sayısının belirlenmesinin ardından üç farklı temas tankı tasarımının *Cryptosporidium* patojeninin ozon ile dezenfeksiyonu nümerik olarak araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar RONS modeli ile gerçekleştirilen dezenfeksiyon sayısal benzetiminin, aynı tasarıma sahip temas tankında gerçekleştirilen BGB sayısal benzetimi sonuçlarına göre %5 daha düşük ozon konsantrasyonu dezenfeksiyon gerçekleştiğini göstermiştir (Kim vd., 2013a).

Kim vd. çalışmalarında BGB benzeşimi simülasyonları ile farklı oda genişliklerindeki temas tanklarının hidrodinamik ve bozunmasız izleyici taşınımını karakteristiklerini araştırmışlardır. Nümerik çalışmalarının doğrulamasını deneysel olarak elde edilmiş KSD eğrileri ile karşılaştırarak gerçekleştirmişlerdir. Oda genişliğinden bağımsız olarak tank içerisindeki akımın kısa devre etkileri altında olduğunu belirtmişlerdir. Buna ek olarak bozunmasız izleyicinin kısa devre bölgesini takip ettiğini vurgulanmıştır (Kim vd., 2013b).

Rauen vd. çalışmalarında deneysel ve nümerik olarak bir klor temas tankını incelemişlerdir. Laboratuvar ölçeğindeki temas tankı içerisindeki hız ve türbülansa ait ölçümleri üç boyutlu Akustik Doppler Hızölçer ile gerçekleştirmiştir. Tankın sayısal benzetimlerinde ise düşük Reynolds sayısına sahip akıma ait çözümlerin elde edilmesi için geliştirdikleri LReM çözücüsünde $k-\epsilon$ türbülans modelini kullanmışlardır. Geliştirdikleri modelden elde edilen sonuçlar üzerinde türbülansın yayılıma oranı olan c_μ değerinin etkisini incelemişlerdir. Sonuçlarda özellikle tank içerisindeki duvarlara yakın bölümlerde bu değer etkisinin yüksek olduğunu; benzer temas tankı sayısal benzetimlerinde geliştirdikleri çözücünün kullanılabileceğini vurgulamışlardır (Rauen vd., 2008).

Kızılaslan vd. çalışmalarında BGB modeli kullanarak 3 boyutlu sayısal benzetimler ile gözenekli duvar tasarımının temas tankının hidrolik ve karışım verimine etkisini araştırmışlardır. Gözenekli duvar içerisindeki akışı Darcy - Forchheimer ilişkisi kullanarak modellemişlerdir. Üç farklı poroziteye sahip gözenekli perdeleri temas tankı oda girişlerine yatay olarak yerleştirerek oluşturdukları özgün temas tankı tasarımlarının akım yapılarını incelemişlerdir. Sonuçlar düşük poroziteye sahip gözenekli perde içeren

temas tankı içerisinde piston akışına yaklaşıldığını ancak porozitesi yüksek perdeye sahip temas tankı içerisindeki akım yapısının klasik temas tankı akım yapısına benzer olduğunu göstermiştir. Buna bağlı olarak porozitesi düşük perdeye sahip temas tanklarında bozunmasız izleyicinin kitle halinde ilerlediğini ve temas süresinin uzadığını belirtmişlerdir. Perde faktörü ve AD indeksine göre değerlendirme yapıldığına tankın sınıflandırmasının “iyi” olarak tanımlandığını; buna karşılık klasik temas tankı tasarımına göre gözenekli perde tasarımına sahip temas tanklarının suyun tank içerisinde iletmek için daha yüksek miktarda enerjiye ihtiyaç duyduğunu vurgulamışlardır (Kizilaslan vd., 2018).

Gerçek boyutlarda bir Klor Temas Tank üzerinde gerçekleştirilen sayısal benzetimler ile tankın hidrolik, karışım ve dezenfeksiyon verimi iki farklı perde tasarımı üzerinde araştırılmıştır (Kizilaslan vd., 2019). Model ölçeğinde kurulan deneysel sistem üzerinde Akustik Doppler Hızölçer (ADH) ve bozunmasız izleyici deneyleri ile sayısal model doğrulandıktan sonra gerçek boyutlarda temas tankı içerisine patentli bir perde tasarımı uygulanmıştır. Geliştirilen tasarım ile birlikte tank içerisinde klasik perde kullanılması durumuna göre hidrolik ve karışım verimi artışı sağlanmıştır. Aynı zamanda gerçekleştirilen birinci mertebeden klor dezenfeksiyon simülasyonları istenilen patojen inaktivasyon seviyesine %19 daha az klor kullanılarak ulaşıldığını göstermiştir.

KSD ve Kümülatif KSD eğrilerinden belirlenen değerler ile hesaplanan hidrolik verim indeksleri iki kategoride tanımlanmaktadır. Bunlar kısa devre ve karışım göstergeleridir. Ancak bazı indeksler birden çok fiziksel olaya bağlıdır ve bu karmaşık yapısı nedeniyle güçlükle yorumlanmaktadır. Teixeira ve Siqueira çalışmalarında literatürde kullanılan indekslerin kısa devre ve karışımı tanımlama kapasitelerini araştırmışlardır. Sonuçlar, t_{10} değerinin kısa devre etkilerinin tanımlanmasındaki tek gösterge olduğunu kanıtlamıştır. Karışım indekslerinin değerlendirilmesi sonucunda ise tank içerisindeki karışımı tam olarak hiçbir indeksin yeterince yorumlayamadığına değinilmiştir. İstatistiksel değişkenliğine bağlı olarak dispersiyon indeksi (σ), $t_{90} - t_{10}$ değerine göre daha kullanılabilir bir indeks olarak tanımlanmıştır. Buna karşılık σ değerinin bazı akım koşullarında istatistiksel kararsızlık gösterdiğine değinilmiştir. Bu

yanıltıcı sonuçları önlemek adına Morrill indeksinin (Mo) kullanılması önerilmiştir. (Teixeira ve Siqueira, 2008)

Wilson ve Venayagamoorthy çalışmalarında bozunmasız izleyici analizlerini boru, basınçlı tank ve çok odalı temas tankları üzerinde gerçekleştirmişlerdir. Çalışmanın amacı hidrolik verimin değerlendirmesine t_{10} / t_{90} oranının analizidir. Çalışmanın sonucunda USEPA tarafından önerilen perde faktörü ve literatürde sıklıkla kullanılan Mo indeksine karşılık t_{10} / t_{90} oranının hidrolik verimi tanımlamada mevcut akım ve taşınım dinamiklerini daha etkili bir şekilde içererek ifade ettiğini belirtmişlerdir (Wilson ve Venayagamoorthy, 2010).

Temas tanklarının hidrolik karakteristiğinin tanımlanmasında önemli bir nitelik olan Kalma Süresi Dağılımı (KSD) nümerik ve deneysel olarak Wols vd. tarafından araştırılmıştır. Konsantrasyon-Zaman (KZ) değerinin dağılımını oluşturularak; tek bir değer olan KZ_{10} ya da ortalama KZ değerine göre daha etkili bir değerlendirme yapılacağına değinmişlerdir. Gerçekleştirilen deneysel ve nümerik çalışmalar ile kalma süresinin dağılımındaki etkili fiziksel büyüklükler araştırılarak; dezenfeksiyon performansının artırılması amaçlanmıştır. Deneysel ve üç boyutlu sayısal benzetimlerden elde edilen KSD eğrilerinin uyum içinde olduğu; bu dağılıma çevrinti bölgelerinin olumlu ana akımın ise olumsuz etkisinin olduğu belirtilmiştir. Bu bölgelerde dezenfektan bozunmasının KSD eğrisinde büyük değişimlere sebep olduğu; tank geometrisinde yapılacak değişikliklerle çevrinti bölgelerinin artırılabilceği ve dolayısıyla dezenfeksiyon verimini artırılacağı belirtilmiştir (Wols vd., 2008).

Laboratuvar ölçeğinde çok odalı bir ozon temas tankının akım ve bozunmasız izleyici analizi kararlı akım koşullarında RONS sayısal benzetimleri ile Zhang vd. tarafından gerçekleştirilmiştir. Farklı hücre sayılarına sahip hesaplama ağları kullanılarak elde edilen hız profilleri, KSD ve Kümülatif KSD eğrileri literatürde paylaşılan deneysel sonuçlar ve BGB modeli kullanılarak elde edilen sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar hesaplama ağı hücre sayısı arttıkça RONS sonuçlarının deneysel ve BGB modeli sonuçlarına yaklaştığı göstermiştir. Buna ek olarak, seçilen türbülans modelinin ve sınır koşullarının da sonuçları doğrudan etkilediği vurgulanmıştır (Zhang vd., 2013).

Zhang vd. çalışmalarında laboratuvar ölçeğinde bir temas tankı ve Kim vd. (Kim vd., 2010a) tarafından kullanılan çok odalı temas tankının hidrolik ve bozunmasız izleyici analizlerini değerlendirmiştir. Simülasyonlarında her iki tankı da RONS ve BGB modelleri ile çalıştırmış ve elde edilen sonuçları deneysel sonuçlar ile kıyaslamışlardır. BGB modelinin sütun tankı simülasyonlarında daha güvenilir sonuçlar verdiği; çok odalı temas tanklarının hidrolik ve izleyici analizlerinde ise kısa devre etkileri, jet ve ölü bölge oluşumları açısından değerlendirme yapıldığında RONS ve BGB modellerinin benzer sonuçlar verdiği vurgulanmıştır (Zhang vd., 2014).

Temas tanklarının dezenfeksiyon verimlerinin değerlendirmesini yaptıkları çalışmalarında Greene vd. mikrop konsantrasyonuna, mikrobik inaktivasyon sabitine, hıza ve uzunluğa bağlı olarak hesaplanan Damkohler sayısının geniş aralığında farklı dezenfeksiyon simülasyonları gerçekleştirmişlerdir. Çalışmanın sonuçlarında dezenfeksiyon veriminin karışım ve kimyasal kinetiklerinin her ikisinden de etkilendiğini kanıtlamışlardır (Greene vd., 2006).

Ozon temas tanklarında perde faktörü, KZ değeri ve log inaktivasyon derecesinin uygulanabilirliğini ve bu değerlendirme ölçütleri arasındaki ilişkiyi inceledikleri çalışmalarında Zhang vd. gerçek boyutlarda bir temas tankı kullanmışlardır. Bu temas tankı içerisindeki perde tasarımlarında yaptıkları değişikliklerle altı farklı temas tankı tasarımı geliştirmişlerdir. Çalışmanın sonuçlarında perde faktörünün dezenfeksiyon performansı değerlendirmelerinde geçerli bir ölçüt olmadığını yalnızca tankların hidrolik verimi hakkında yorum yapılabilmesine imkan sağladığını vurgulamışlardır (Zhang vd., 2016a)

Temas tankı inşası öncesi tankın dezenfeksiyon veriminin değerlendirilmesi mühendislerin tasarımlarını geliştirmelerine ve içme suyu arıtma tesislerinde ekonomik fayda sağlanmasına yardımcı olacaktır. Zhang vd. çalışmalarında geliştirdikleri model ile ozon temas tanklarının dezenfeksiyon verimini araştırmışlardır. CFD-SFM isimli modellerinin doğrulamasını literatürdeki sonuçlar ile karşılaştırarak gerçekleştirmişlerdir. Çalışmanın sonuçlarında KSD ve kümülatif KSD eğrileri, bakiye ozon konsantrasyonu, patojen log-inaktivasyon derecesi ve bromat konsantrasyonu değerlendirmelerini yapan

araştırmacılar bu değerlendirme modelinin temas tanklarının dezenfeksiyon veriminin belirlenmesinde etkili bir yöntem olduğunu vurgulamışlardır (Zhang vd., 2016b).

Angeloudis vd. laboratuvar ölçeğindeki bir temas tankı üzerinde deneysel ve nümerik çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Farklı konumlarda ADH okumalarından elde ettikleri hız ve türbülans ölçümleri ile sayısal model sonuçlarının doğrulamasını yaptıktan sonra, klor dezenfeksiyon modelini klorun bozunması, patojen inaktivasyonu ve yan-ürün oluşumunu içerecek şekilde geliştirmişlerdir. Temas tankı giriş yapısının akım yapısı, hidrolik karışım ve dezenfeksiyon verimlerine etkisini araştırdıkları çalışmada FDI tasarımının en yüksek verime sahip temas tankı olduğunu belirtmişlerdir (Angeloudis vd., 2014).

Temas tankı giriş ve oda tasarımının karışım verimine, çevrinti bölgelerinin ve kısa devre etkilerinin azaltılmasına, patojen inaktivasyonu artışına ve yan ürün oluşumu azalmasına etkisinin incelendiği çalışmada Angeloudis vd. 8 farklı oda giriş tasarımı ile 4 farklı oda konfigürasyonunu sayısal benzetimlerle araştırmışlardır. CT-5 tasarımı haricinde tüm tasarımların t_{10} değerini klasik temas tankı tasarımına göre artırdığını belirtmişlerdir. Mo indeksi açısından değerlendirme yapıldığında ise CT-6, CT-7 ve CT-8 numaralı tasarımların hidrolik verimi düşürdüğüne değinilmiştir. Akım yapıları incelendiğinde ise CT-3, CT-4 ve CT-6 tasarımlarının çevrinti bölgelerini yok ettiği sonucu verilmiştir. Yapılan geometrik değişimlerin dezenfeksiyon verimine etkisi incelendiğinde patojen inaktivasyonu açısından klasik temas tankı tasarımına göre CT-7 tasarımı %38, CT-8 tasarımı ise %32 daha fazla inaktivasyon kapasitesine sahip olduğu belirtilmiştir (Angeloudis vd., 2016).

Temas tankı giriş tasarımının savak ve boru şeklinde tasarlanmasına ek olarak 4 farklı perde konfigürasyonunun hidrodinamik ve dezenfeksiyon verimi Angeloudis vd. tarafından değerlendirilmiştir. Sonuçlar temas tankının dezenfeksiyon performansının artışının iki aşamada gerçekleşeceğini göstermiştir. Birinci aşamada kısa devre etkileri minimize edilerek patojen inaktivasyonunda dezenfektanın ham su ile yeterli süre temas etmesi sağlanmalıdır. İkinci aşamada ise ölü bölgeler yok edilerek dezenfektanın bu bölgelerde kalarak yan ürün oluşturması engellenmelidir (Angeloudis vd., 2014).

Özgün bir ozonla dezenfeksiyon modeli geliştiren Zhang vd. ilk kez nümerik olarak bromat formasyonunu fiziksel ölçülmüş verilerle kıyaslamıştır. Geliştirdikleri modellerinde 6 adet kimyasal reaksiyon ile ozonun bozunması, TOK miktarı değişimi ve Bromat formasyonunu modellemişlerdir. Hesaplamalarında OpenFOAM kullanmışlar ve sonuçlarını akım yapısı, bozunmasız izleyici analizi ve dezenfeksiyon simülasyonu ile yorumlamışlardır. Bozunmasız izleyici analizi sonuçları dönemsel debi değişikliklerinin tankın hidrolik verimini etkilemediği göstermiştir. Deneysel sonuçlar Tampa şehri ozon temas tankından temin etmişlerdir. Reaksiyon kinetiklerindeki belirsizliklere rağmen deneysel sonuçlar ile sayısal benzetim sonuçlar arasında yüksek bir uyum olduğu belirtilmiştir. (Zhang vd., 2014b).

Rauen vd. klor temas tankı modelleme uygulamalarına ilişkin değerlendirmelerde bulunmuşlardır. İlk olarak 1960 ve 1970’li yıllarda deneysel olarak incelenmeye başlanan klor temas tankları, bilgisayar teknolojisinin gelişmesiyle 1990’dan itibaren sayısal benzetimlerle değerlendirilmeye başlamıştır. Günümüzde HAD modelleri ile tank optimizasyonlarının gerçekleştirildiği, deneysel gelişmeler ile sayısal modellerin doğrulandığı, klor kinetiklerinin ve yan ürün oluşumlarının benzetildiğine değinilmiştir. Çalışmada bu modelleme çalışmalarında açık kaynak kodlu yazılımların kullanım kolaylığı ve yararlılığı vurgulanmıştır (Rauen vd., 2012).

Farklı nümerik modeller kullanarak temas tankları içerisindeki hidrodinamik etkiler ve bozunmasız izleyici analizi sonuçları Wang ve Falconer tarafından araştırılmıştır. Çalışma 8 odalı bir temas tankı modeli üzerinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonuçlarında BGB Smagorinsky türbülans modelinin akım yapısını tam olarak tanımladığı belirtilmiştir (Wang ve Falconer, 1998).

Clark ve Sivaganesan çalışmalarında bakiye klor konsantrasyonun belirlenmesi için ikinci mertebeden bir sayısal model geliştirmişlerdir. 37 ham su ve 12 arıtılmış su örneği kullanarak geliştirdikleri modellerinde 5 model parametresi belirlenmiştir. Bu parametreler TOK seviyesini, başlangıç UVA seviyesini, başlangıç klor seviyesini, pH’ı, başlangıç bromit seviyesini, °C cinsinden sıcaklığı ve mg/L cinsinde alkaliliği içermektedir. Geliştirdikleri model sonuçları ile literatürdeki deneysel sonuçları

karşılaştırdıklarında; bakiye klor konsantrasyonunun belirlenmesinde bu modelin deneysel sonuçlar ile uyum içerisinde olduğu görülmüştür (Clark ve Sivaganesan, 2002).

Temas tankı içerisine yerleştirilen yatay gözenekli duvar ile ürettikleri özgün temas tankı üzerinde yapmış oldukları deneysel çalışmalarda Yang vd. Particle image velocimetry (PIV) kullanarak tank içerisindeki akım yapısını incelemiş; ardından gerçekleştirdikleri ozonla dezenfeksiyon deneyleri ile tankın dezenfeksiyon performansı değerlendirmişlerdir. Sonuçlar incelendiğinde 300 mikron silika jeli kullanılarak oluşturulan yatay gözenekli perde ile birlikte tank içerisinde piston akışına benzer bir yapı oluşturduklarını ve buna ek olarak farklı ozon konsantrasyonları kullandıkları deneyleri sonucunda klasik temas tankına göre %33 ile %50 arasında daha az ozona ihtiyaç duyan, %70 ile %147 daha yüksek log-inaktivasyon derecesine sahip ve %43 ile %54 arasında daha az bromat yan ürünü oluşturan bir temas tankı geliştirdiklerini vurgulamışlardır (Yang vd., 2017).

2 boyutlu sayısal benzetimlerle Zhang vd. klor bozunması, bakteri yok olması ve 3 farklı yan ürün oluşumu denklemlerinin çözümüyle bir temas tankının dezenfeksiyon performansını değerlendirmişlerdir. Çalışma sonuçlarında klor konsantrasyonunun kitle halinde tank çıkışında korunmuş halde bulunması durumunda kullanıcıya iletilen suda yüksek yan ürün konsantrasyonu olduğu belirtilmiştir (Zhang vd., 2000).

Lee vd. çalışmalarında dezenfeksiyon performansının değerlendirilmesinde kolaylığı sebebiyle sıklıkla kullanılan konsantrasyon zaman (KZ) değerine alternatif bir metot geliştirmişlerdir. Boyutsuz klor dezenfeksiyon indeksi (KDİ); klor çözünme sabiti, bir inaktivasyon oran sabiti, başlangıç klor konsantrasyonu ve ölü bölge hacim oranından elde edilerek, bu değişkenlerin yeni bir dezenfeksiyon ölçeği olması durumu araştırılmıştır. KDİ'nin dezenfeksiyon performansının belirlenmesi adına literatürdeki çalışmalarda her bir etkenin değeri ölçüt alınarak 75 farklı senaryo üretilmiş ve sayısal benzetimler gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde KDİ'nin mikroorganizmaların log-inaktivasyonları ile doğrusal korelasyonun olduğunu ancak bu ilişkinin klor çözünme sabiti değeri ile değiştiğini; KZ değerinin de benzer şekilde doğrusal korelasyona sahip olduğunu belirtmişlerdir. Buna karşın, KDİ'den elde edilen sonuçların çok daha gerçekçi

olduğunu, içerdiği bağımsız değişkenler ile birlikte KDI'nin temas tankı tasarımı yapan mühendisler için karmaşık değişkenleri elimine etmesi sebebiyle tankın hidrolik performansının belirlenmesinde ve patojen inaktivasyonun hesaplanmasında daha uygun bir yöntem olduğunu vurgulamışlardır (Lee vd., 2016).

Falconer (1986) temas tankları üzerinde ilk deneysel çalışmaları yapmıştır. Tank girişinde batmış bir savak kullanan çalışmada farklı savak tasarımlarının tank içerisinde oluşan ölü bölgelere ve çevrinti bölgelere etkisini araştırmıştır.

Rauen ADH kullanarak model ölçeğinde bir temas tankı üzerinde hız ve türbülans ölçümleri gerçekleştirerek akım yapısını incelemiş; bozunmasız izleyici deneyleri ile ise tankın hidrolik ve karışım verimini araştırmıştır (Rauen, 2005).

Beş farklı temas tankı giriş tasarımı deneysel olarak Teixeira ve Siqueira (2008) tarafından araştırılmıştır. Bu tasarım değişikliklerinin tankın hidrolik ve karışım verimi indeksleri üzerindeki etkisi araştırılmış ve verim artışı yüzdeleri hesaplanmıştır.

Bozunmasız izleyici analizinde enjeksiyon süresi Zhang vd. (2019) tarafından sayısal benzetimlerle incelenmiştir. Çalışma literatürde boyut ve debi bilgileri verilmiş bir temas tankı üzerinde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen KSD ve kümülatif KSD eğrileri enjeksiyon süresinin tankın Teorik Kalma Süresinin (TKS) %5'inden az olması gerektiğini göstermiştir.

Niazi vd. (2017) çalışmalarında gerçek boyutlarda bir ozon temas tankının hidrolik ve karışım verimini kış ve yaz aylarında dezenfekte ettiği ham su debisi üzerinden bozunmasız izleyici sayısal benzetimleri ile belirlemiştir. Ardından ham suya ilişkin kimyasal özellikleri kullanarak ozon ile dezenfeksiyon sonucu tank çıkışında KZ değerlerini hesaplamış ve istenilen dezenfeksiyon seviyesine ulaşılması için gerekli ozon konsantrasyonunu sayısal benzetimlerle belirlemiştir.

Literatürde sayısal benzetimler ile gözenekli ortamların araştırılması ise 2000'li yıllarda gelişen hesaplama yöntemleri ve hesaplama kapasitesinin yükselmesi ile

artmıştır. OpenFOAM açık kaynak kodlu yazılımı kullanılarak geliştirdikleri çözümü literatürde sonuçları paylaşılan bir baraj yıkılması problemi üzerinde doğrularak gözenekli yapı içerisinde akım geçişini gözlemlemişlerdir Higuera vd. (2014), gözenekli yapıya sahip bir kıyı yapısı ile meydana gelen dalga yapısını sayısal benzetimlerle incelemişlerdir.

Domaingo vd. (2016) Navier Stokes denklemlerine Darcy – Forchheimer ilişkisini kullanarak ekledikleri kaynak terimi ile konumdan bağımsız doğrusallaştırmaya dayalı bir çözücü elde etmişlerdir. Bu çözücü ile elde ettikleri sayısal benzetim sonuçlarını literatürdeki deneysel sonuçlar ile karşılaştırarak 1, 2 ve 3 boyutlu akım çözümlerinde geliştirdikleri modelin kullanılmasını önermişlerdir.

Gözenekli bir çit içerisinde geçen havanın sayısal benzetimi ve çit yapısının optimizasyonun yapıldığı çalışmada San vd. (2018), %2 ile %60 arasında poroziteye sahip çitler kullanarak gerçekleştirdikleri sayısal benzetimler sonucunda çevrinti bölgesine siper olacak en iyi geçirimliliğinin %22 olduğunu kanıtlamışlardır.

Literatürde yapılan çalışmalar temas tanklarının hidrolik, karışım ve dezenfeksiyon verimlerinin araştırılmasının ve gözenekli perde içerisindeki akımın sayısal benzetimlerinin gerçekleştirilmesinin güncel ve geliştirilmeye uygun bir problem olduğunu göstermektedir. Temas tanklarının hidrolik, karışım ve dezenfeksiyon verimlerinin artırılmasına yönelik gözenekli perde tasarımının geliştirilmesi, literatürde yapılan çalışmalardan farklı olarak özgün bir çalışma olacağını göstermektedir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Deneysel Sistem

“İçme Sularının Arıtılmasında Temas Tanklarının Hidrolik ve Karışım Verimlerinin Araştırılması ve Perde Tasarımının Geliştirilmesi” başlıklı tez çalışmasında gerçekleştirilen deneysel çalışmalar Eskişehir Büyükşehir Belediyesi Klor Temas Tankının 1:10 ölçekli fiziksel modeli üzerinde Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Hidrolik Laboratuvarı’nda gerçekleştirilmiştir.

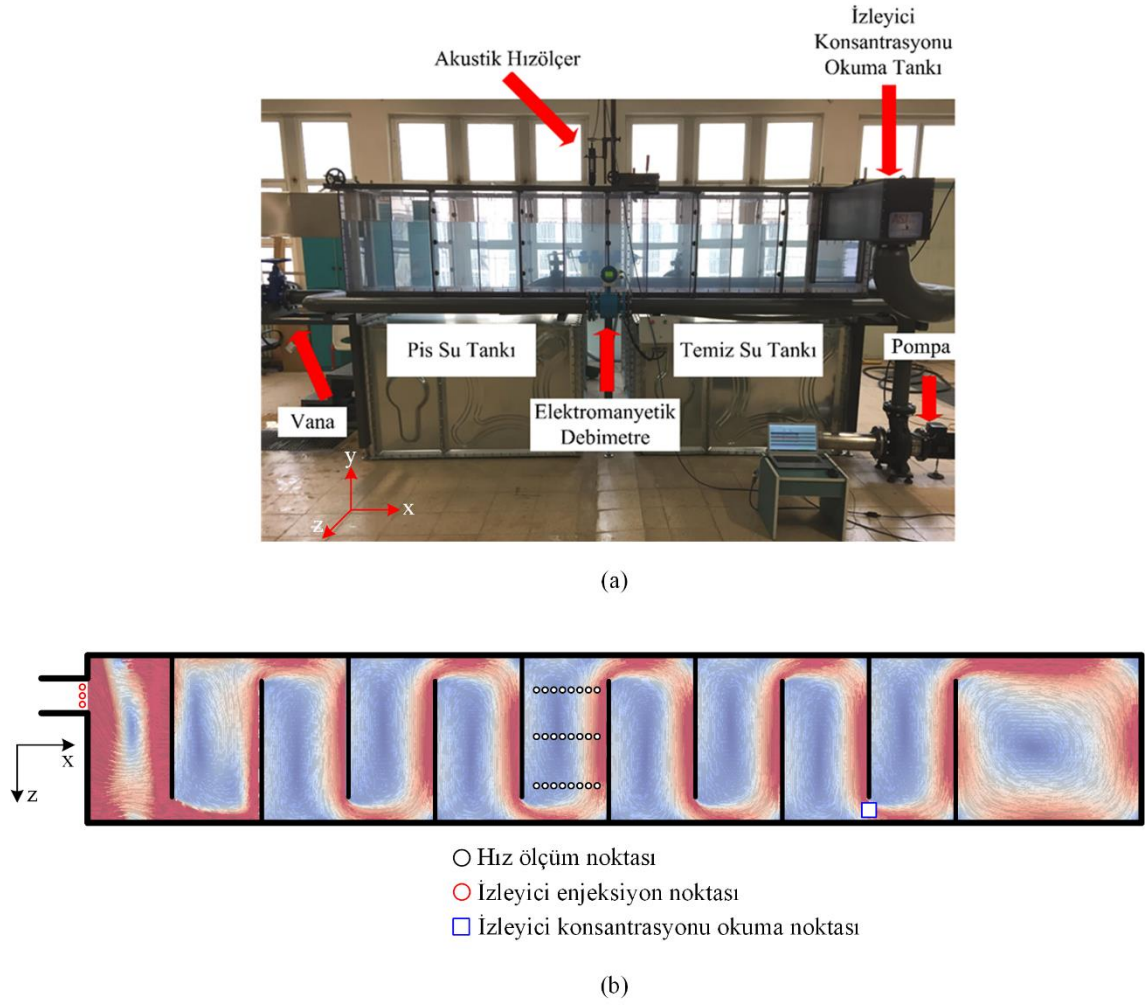
Deney düzeneği 1 adet paslanmaz giriş tankı, 1 adet polikarbon temas tankı, 10 adet polikarbon perde, 10 adet üç parçalı gözenekli perde sistemi, 1 adet izleyici konsantrasyonu okuma tankı, temiz ve pis su tankı olarak tasarlanmış 2 adet su tankı, galvaniz iletim boruları, 1 adet elektromanyetik debimetre, 1 adet pompa ve arıtma sisteminden meydana gelmektedir. Deney düzeneği laboratuvarda yaklaşık 30 m²’lik bir alana kurulmuştur. Kurulan deneysel sistem Şekil 3.1.’de verilmiştir. 4 metre uzunluğunda, 65 cm genişliğinde ve 75 cm yüksekliğinde 10 odalı temas tankı polikarbon malzemeden üretilmiştir. Tankın dış duvarları 15 mm kalınlığında, iç duvarları ise klasik perde tasarımı kullanılması durumunda 10 mm kalınlığında, gözenekli perde tasarımı kullanılması durumunda ise 45 mm kalınlığında üretilmiştir. Temas tankı üzerinde gerçekleştirilen deneylerde gerekli su 6 m³ hacimli temiz su tankından sağlanmaktadır. Şehir şebekesinden alınan su temiz su tankı içerisine filtre sisteminden geçirilerek kaba atık ve karbondan arındırılmış şekilde doldurulmaktadır. Deney düzeneğinin filtre sistemi aşağıda belirtilen filtrelerden oluşmaktadır.

- Yıkanebilir filtre
- 5 mikron filtre
- 1 mikron filtre
- Blok karbon filtre
- Granül karbon filtre

Temiz su tankı içerisine yerleştirilen şamandıra sayesinde tank içindeki su seviyesi düştüğünde otomatik olarak arıtma sistemi devreye girmekte ve tank arıtılmış su ile dolmaktadır.

Maksimum debisi $1100 \text{ m}^3/\text{saat}$ olan Grundfos NB pompa ile temiz su tankında bulunan arıtılmış su, giriş tankına 100 mm çapında galvaniz boruyla iletilmektedir. Borunun üzerine monte edilmiş $282 \text{ m}^3/\text{saat}$ ölçüm kapasiteli LDG-100 markalı elektromanyetik debimetre ile borudan geçen suyun debisi ölçülmekte ve giriş tankı altındaki sürgülü vana ile kontrol edilebilmektedir. Giriş tankından deney sistemine iletilen su tekrar temiz su tankına gönderilerek, temiz su tankı ile temas tankı arasında kapalı çevrim su iletimi sağlanmaktadır.

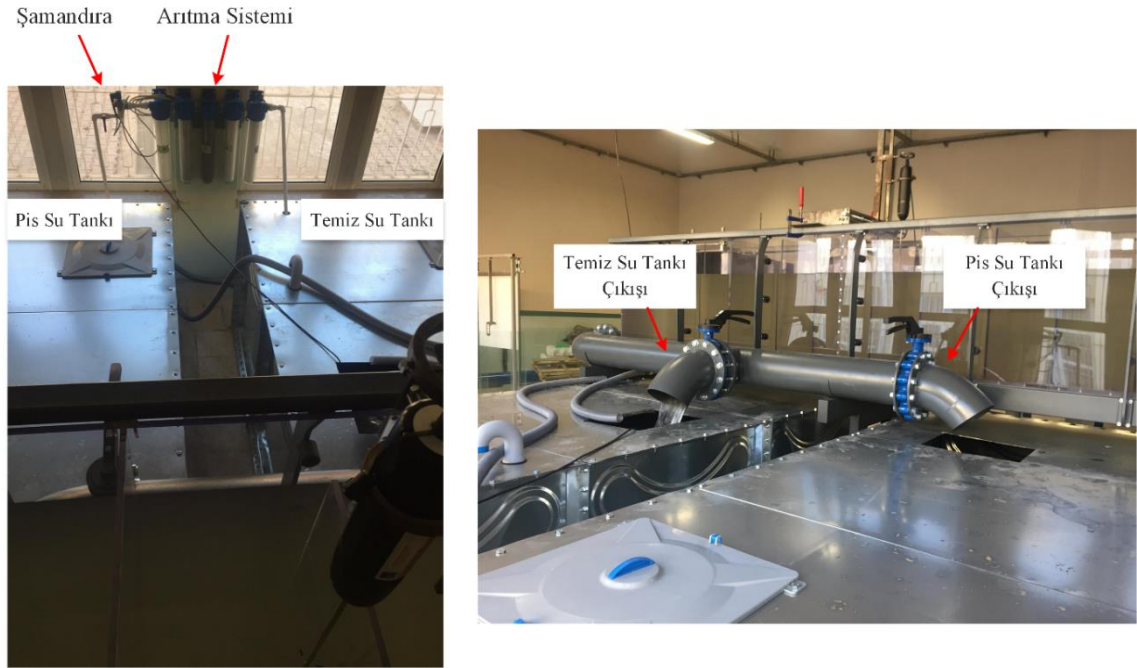
Şekil 3.1’de verilen deney sistemi üzerinde akım ve bozunmasız izleyici deneyleri gerçekleştirilmiştir. Kapalı çevrim su iletimi ile zamanla değişmeyen akım koşulları oluştuktan sonra temas tankı içindeki akıma ait hız ve türbülans büyüklükleri 25 Hz örnekleme frekansına sahip Nortek Marka Akustik Doppler Hızölçer (ADH) ile ölçülmüştür.



Şekil 3.1. Temas tankı deney düzeneği (a) deneysel model (b) şematik gösterim.

Bozunmasız izleyici deneylerinde zaman ayarı yapılabilen enjeksiyon pompası kullanılarak istenilen sürede Rhodamine WT enjeksiyonu tank girişinden yapılmıştır. Temas tankının dokuzuncu odası çıkışındaki izleyici konsantrasyonu Cyclops 7F Flormetre cihazı ile ölçülmüş ve veri kaydedicisine kaydedilmiştir. Suya enjekte edilen Rhodamine WT sıvısının temas tankı içerisinde karışımı sonrasında temiz su tankına girişini engellemek için Şekil 3.2.'de görüldüğü gibi temiz su tankı çıkış vanası kapatılarak izleyici ile karışmış su, pis su tankına yönlendirilmiştir. Böylece enjekte edilen izleyicinin deney sırasında tekrar temas tankına girişi engellenmektedir. Deneyin sonunda pis su tankında biriken izleyici ile karışmış su laboratuvarın dışında oluşturulan kanalizasyon sistemine tahliye edilmektedir. Temiz su tankı, yaklaşık 3 teorik kalma

süresi kadar süren izleyici deneyleri sırasında gerekli debiyi sistemden geçirebilecek şekilde boyutlandırılmıştır.



Şekil 3.2. Arıtma sistemi, temiz ve pis su tankları

3.1.1. Akım deneyleri

Eskişehir Klor Temas Tankının 1:10 ölçekli modeli üzerinde gerçekleştirilen akım deneylerinde ADH kullanılmıştır. Tankın farklı kesitlerinde yapılan hız ölçümleri ile tank içerisinde oluşan akım yapısı araştırılmıştır. Elde edilen deneysel sonuçlar sayısal benzetim sonuçları ile karşılaştırılarak sayısal model doğrulanmıştır.

Eskişehir Büyükşehir Belediyesi Klor Temas Tankı 10 odadan oluşan, düşey perdeli, simetrik yapıda bir temas tankıdır. Eskişehir Büyükşehir Belediyesi Klor Temas Tankının kış aylarında dezenfekte ettiği 80000 m³/gün'lük debi Froude benzeşimi ile modele uyarlanmış ve 10.55 m³/saat'lik debi modelden geçirildiğinde temas tankında oluşan su derinliği 48.5 cm olarak ölçülmüştür. Froude benzeşimi kullanılarak hesaplamalar yapılırken boyut ölçeğinde 1:10 oranı kullanılmış; hız ölçeğinde

$\frac{U_{model}}{U_{prototip}} = \left(\frac{1}{10}\right)^{1/2}$ ve debi ölçeğinde $\frac{Q_{model}}{Q_{prototip}} = \left(\frac{1}{10}\right)^{2.5}$ oranları ile değerler hesaplanmış ve model ölçeğinde değerlendirmeler yapılmıştır. Model ölçeğindeki temas tankında oda çıkışındaki hıza göre hesaplanan Reynolds sayısı 10511'tir. Bu durum tank içerisinde model ölçeğinde türbülanslı akış meydana geldiğini göstermektedir. Gerçek boyutlarda inceleme yapıldığında türbülanslı akış etkisini artırmaktadır.

Tankın giriş ve çıkışında bulunan savaklar nedeniyle oluşan etkilerinden bağımsız bir ölçüm yapılarak temas tankı odası içerisinde oluşan periyodik akım yapısının detaylı olarak incelenebilmesi için hız ölçümleri tankın altıncı odasında gerçekleştirilmiştir. Odanın z yönünde %25, %50 ve %75'inde kesitler alınarak x yönünde hız ve türbülans ölçümleri yapılmıştır. Hızölçere ait Nominal Velocity Range (NVR), Transmit Length (TL), Sampling Volume (SV) ve Power Level (PL) parametrelerinin belirlenmesinde sinyalin gürültüye oranı (SNR) incelenerek parametrelerin seçimi yapılmıştır. Tank içerisinde piston akışı varsayımı yapıldığında piston hızı

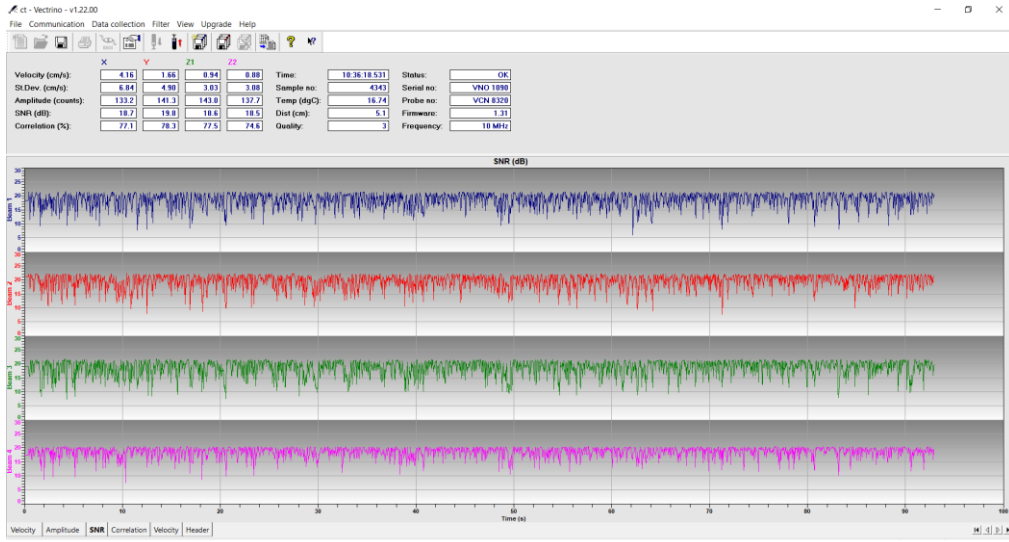
$$U_{piston} = \frac{Q}{A_{oda}} \quad (3.1)$$

ile hesaplanmaktadır. Denklem 3.1'de tank içerisinde kış aylarında dezenfekte edilen ham su debisi ve kesit alanı kullanıldığında $U_{piston} = 0.038 \text{ m/s}$ olarak belirlenmiştir. ADH'nin NVR değeri 0.03 m/s seçilerek SNR değerini en büyük veren yapılandırma araştırılmıştır (Nortek, 2004).

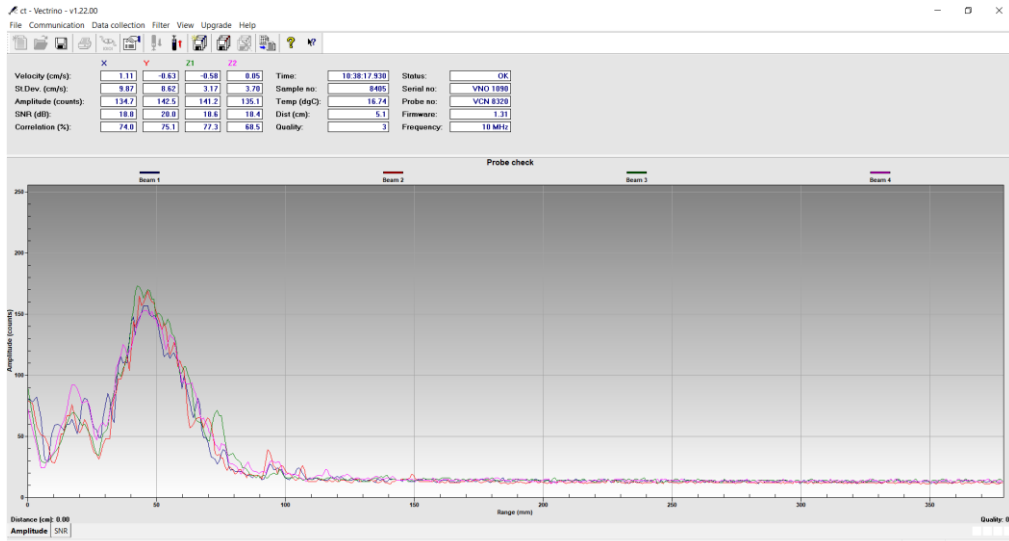
SNR araştırması yapılırken görülen sinyal dalgalanmaları ve aynı noktada yapılan ölçüm sonuçlarında gözlemlenen farklılıkların laboratuvardaki düzensiz elektrik akımından kaynaklandığı tespit edilmiştir. Bunun üzerine laboratuvardaki cihazların kullandıkları toplam voltaj hesaplanarak tüm cihazların daha düzenli elektrik alarak ölçüm yapması için 3.5 KVA Monofaze Statik Voltaj Regülatörü elektrik panosuna bağlanmıştır. Tüm ölçüm sistemi düzenlenmiş elektriği kullandığı durumda gürültüden arındırılmış ölçüm verileri elde edilebilmiştir. Araştırmalar sonunda ADH'ye ait parametreler şu şekilde belirlenmiştir:

- NVR = 0.03 m/s
- TL = 2.4 mm
- SV = 4.6 mm³
- PL = HIGH

Şekil 3.3'te ADH ile yapılan noktasal ölçüm sonucu SNR değerinin değişimi ve SNR kontrol ekranı görülmektedir.



(a)



(b)

Şekil 3.3. Belirlenen konfigürasyonda SNR değerinin değişim (a) ve kontrol ekranı (b)

3.1.2. İzleyici deneyleri

Klor ile ham suyun temas ettiği tank içinde etkili bir dezenfeksiyonun sağlanabilmesi için hidrolik ve karışım verimi yüksek bir temas sistemine ihtiyaç vardır. Temas tankının hidrolik ve karışım verimi arttıkça düşük konsantrasyonda klor kullanılarak istenen dezenfeksiyonun sağlanması mümkündür. İzleyici deneylerinde, suda çözünmeyen Rhodamine WT sıvısı suya zaman ayarı yapılabilen 6 kanallı enjeksiyon pompası ile tank girişinden enjekte edilmiş ve temas tankının dokuzuncu odasının çıkışında flormetre ile konsantrasyonunun zamanla değişimi kaydedilmiştir (Şekil 3.4). Deney öncesinde istenilen konsantrasyonda izleyici solüsyonunu hazırlamak için balon joje, 1 mL'lik cam pipet, manyetik karıştırıcı, 6 adet 50 mL'lik şırınga ve saf su kullanılmıştır:



(a)



(b)



(c)

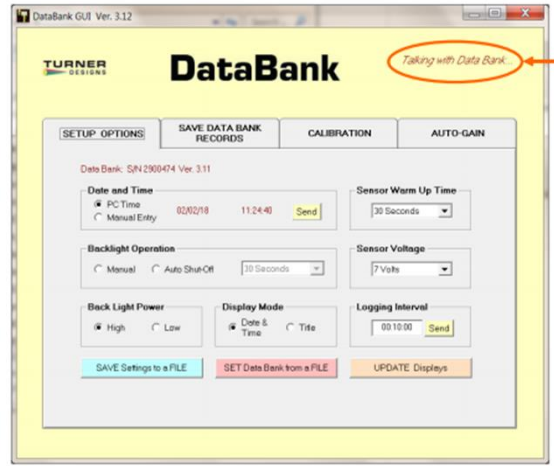
Şekil 3.4. İzleyici deneylerinde kullanılan cihazlar: (a) şırınga pompası, (b) florometre, (c) veri kaydedici

İzleyici solüsyonu hazırlanırken öncelikle 400 ppb'lik %20 etkin bileşene sahip 1 mL Rhodamine WT cam pipet ile ve 50 mL saf su şırınga ile balon jojeye ilave edilmiştir. Manyetik karıştırıcıya balon joje yerleştirilerek 1 dakika boyunca karıştırılmış ve 8

ppt'lik solüsyon hazırlanmıştır. Solüsyon hazırlanmasında kullanılan sistem ve flormetre kalibrasyon ekranı görüntüsü Şekil 3.5'te gösterilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 3.5. İzleyici solüsyonu hazırlanışı (a), kalibrasyon ekranı (b)

Tez çalışmasında gerçekleştirilen izleyici deneylerinden önce veri kaydedicinin ve flormetrenin kalibrasyonu yapılmıştır. Kalibrasyon işleminde konsantrasyonu belirli olan 400 ppb'lik Rhodamine WT solüsyonu kullanılmıştır. Konsantrasyon okumalarının düzgün yapılabilmesi 400 ppb'lik Rhodamine WT sıvısının bulunduğu kabın flormetre içerisine yerleştirildiğinde alt yüzeyinden en az 7.5 cm mesafe, yan yüzeylerinden ise 3.5 cm mesafe olacak iki adet beher kullanılmıştır. Bir beherin içerisine saf su diğer beherin içerisine ise 400 ppb'lik Rhodamine WT sıvısı konulmuştur. Ardından flormetre ve veri kaydediciye ait yazılım içerisinde “Calibration” bölümünden saf su ve 400 ppb'lik konsantrasyon cihaza tanımlanarak kalibrasyon işlemi tamamlanmıştır.

Solüsyon hazırlandıktan ve kalibrasyon işlemi gerçekleştirildikten sonra deneysel sistem çalıştırılmış ve zamanla değişmeyen akım koşullarına ulaşması için beklenmiştir. Hazırlanan izleyici solüsyonun enjeksiyon süresi elde edilecek deneysel sonuçları doğrudan etkilemektedir. Literatürde yapılan deneysel ve sayısal çalışmalarda tankın Teorik Kalma Süresinin (TKS) %5'inden az sürede solüsyon enjeksiyonunun yapılması

önerilmiştir (Zhang vd., 2019). Eskişehir Büyükşehir Belediyesi Klor Temas Tankı'nın kış aylarında dezenfekte ettiği 10.55 m³/saat'lık debi için TKS hesaplanmıştır. Burada TKS tankın ıslak hacminin tanktan geçirilen debiye oranı şeklinde hesaplanan süredir.

$$TKS = \frac{\nabla_{\text{ıslak}}}{Q} \quad (3.2)$$

Temas tankı üzerinde gerçekleştirilen deneysel çalışmalara ait akım ve enjeksiyon süresi bilgileri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Model ölçeğinde temas tankına ait akım bilgileri

Debi (m ³ /saat)	Su yüksekliği (m)	Islak hacim (m ³)	TKS (s)	Enjeksiyon süresi (s)
10.55	0.495	1.3	443.37	20

Tankın dokuzuncu odasının çıkışına yerleştirilen flormetre ile enjeksiyon başladığı andan itibaren veri kaydedilmeye başlanmış ve yaklaşık 3 TKS boyunca veri kaydı yapılmıştır. Temiz su tankından sisteme giriş yapan arıtılmış su zamanla değişmeyen akım koşulları sağlanana kadar devir daim yaptırılmış, 20 saniyelik solüsyon enjeksiyonu sonrasında vanası kapatılmış ve pis su tankı vanası açılmıştır. Böylece Rhodamine WT ile karışmış arıtılmış suyun tekrar temiz su tankına girişi engellenmiştir.

İzleyici deneyleri sonucunda okunan konsantrasyon değerleri veri kaydediciye depolanmış ve DataBank GUI ara yüzü ile bilgisayara kaydedilmiştir. Elde edilen konsantrasyon verilerinin değerlendirilmesi temas tanklarının hidrolik ve karışım verimleri hakkında bilgiler içeren *E*, Kalma Süresi Dağılımı (KSD) ve *F*, Kümülatif KSD eğrileri ile yapılmıştır. Başlangıçta enjekte edilen solüsyon konsantrasyonu ($\bar{C}_{\text{başlangıç}}$), çıkışta okunan konsantrasyon miktarı ($\bar{C}$), enjeksiyon süresi ($T_{\text{enjeksiyon}}$) ve TKS değerlerine bağlı olarak hesaplanan *E* değerleri Denklem 3.3 kullanılarak boyutsuzlaştırılmıştır.

$$E(\theta) = \frac{\bar{C}}{\bar{C}_{\text{başlangıç}} \frac{T_{\text{enjeksiyon}}}{TKS}} \quad (3.3)$$

Burada θ zamanın TKS 'ye oranı ile hesaplanan boyutsuz zamanı ifade etmektedir. θ 'ya karşılık çizdirilen konsantrasyon değerlerinin kümülatif olarak

$$F(\theta) = \int_0^{\infty} E(\theta) d\theta \text{ integrali ile hesaplanması sonucu kümülatif KSD eğrisi elde edilir.}$$

Temas tankı perde tasarımı yapılan değişiklikler ile birlikte tankın hidrolik ve karışım verimi üzerinde etkisi E ve F eğrilerinden elde edilen sonuçlar ışığında hesaplanan verim indekslerine göre araştırılmıştır.

3.1.3. Gözenekli perde tasarımları

Eskişehir Büyükşehir Belediyesi Klor Temas Tankı'nın hidrolik, karışım ve dezenfeksiyon verimlerinin artırılmasına yönelik perde tasarımlarının geliştirildiği bu doktora tezi kapsamında geliştirilen gözenekli perde tasarımları deneysel ve sayısal olarak araştırılmıştır. Geliştirilen gözenekli perde tasarımları üç eş hacimli parçadan oluşmaktadır ve 45 mm kalınlığa sahiptir. Perde çerçevesine yapılan oyuklara geçirilen parçalara göre perde klasik ya da gözenekli perde tasarımı halini almaktadır. Çerçeve içerisine yerleştirilen geçirimsiz plastik parçalar ile birlikte klasik perde tasarımı oluşturulmaktadır. Gözenekli perde tasarımı ise çerçeveye yerleştirilen metal elekler ile oluşturulmaktadır. Perdenin gözenekli ve geçirimli yapısı içerisine yerleştirilen çakıl numune ile oluşturulmuştur. Taş ocağından alınan numune öncelikle yıkanarak kil ve siltlerinden temizlenmiştir. Yıkanan ve kurutulan çakıl numunesi üzerinde elek analizi yapılarak medyan yarıçapı (d_{50}) 12.5 mm olarak belirlenmiştir. Piknometre testi yapılan numuneye ait özgül yoğunluk (ρ_s) değeri hesaplanmıştır. Numune farklı kompaksiyon enerjilerinde hazırlanarak her bir örneğe ait kuru yoğunluk (ρ_{kuru}), boşluk oranı (e) ve porozite (ϕ) değerleri hesaplanmıştır. Çizelge 3.2'de çakıl numunesine ilişkin hazırlanan örneklere ait bilgiler verilmiştir.

Çizelge 3.2. Farklı porozitelere sahip zemin numunesi bilgileri

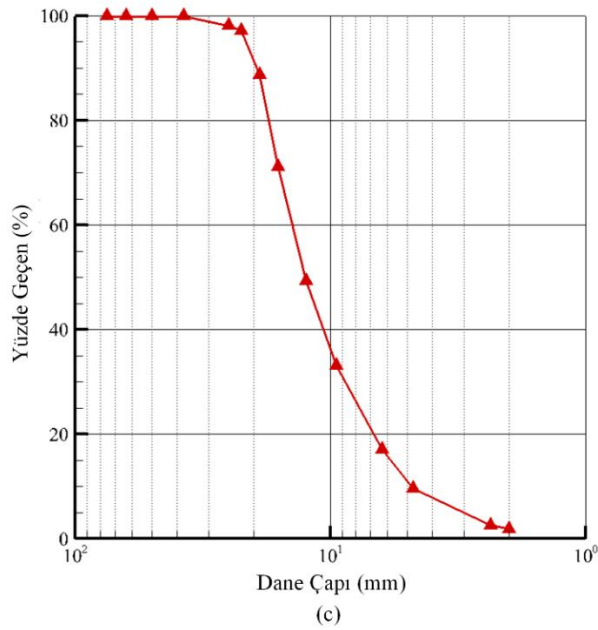
Porozite	e	ρ_{kuru} (g/cm ³)	Numune ağırlığı (g)
0.37	0.587	1.71	4979.52
0.41	0.694	1.602	4665.02
0.45	0.818	1.493	4347.62

Zemin numunesine ilişkin yapılan tüm deneyler Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Geoteknik Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçlarında elde edilen granülometri eğrisi ve çakıl numunesinin hazırlanışı Şekil 3.6'da verilmiştir.



(a)

(b)



(c)

Şekil 3.6. Zemin numunesi deneyleri: (a) yıkanmış numune, (b) tartım, (c) elek analizi

Gözenekli perde tasarımları içerisinde farklı geçirimsizliklerde yerleştirilecek bu zemin numuneleri metal elekler kullanılarak perde içerisinde tutulmuştur. Burada metal eleklerin seçimi oldukça önem arz etmektedir. Seçilecek metal elek hem zemin numunesinin geçirimsizliğine yakın olmalıdır hem de zemin numunesinin en küçük dane çapını geçirmeyecek boşluk aralığına sahip olmalıdır. Kullanılan metal eleklerle ilişkin bilgiler Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Metal elek bilgileri

Zemin porozitesi	Metal elek boş alanı	Zemin minimum dane çapı (mm)	Metal Elek Delik Aralığı (mm)
0.37	0.37	2	1.24
0.41	0.42	2	1.34
0.45	0.47	2	1.54

Gözenekli perdeler üç eş parça içerisinde farklı geçirimsizliğe sahip olacak şekilde uygun metal elekler veya geçirimsiz parçalar perdenin ön ve arka yüzeylerine geçirilerek; içerisinde istenilen geçirimsizliği oluşturacak miktarda zemin numunesi eklenmesi ile oluşturulmuştur. Şekil 3.7'de 45 mm kalınlığında klasik ve üç parçalı gözenekli perde tasarımları görülmektedir.



(a)

(b)

Şekil 3.7. Perde tasarımları: (a) klasik, (b) üç parçalı gözenekli

3.2. Sayısal Model

Doktora tezi kapsamında gerçekleştirilen sayısal benzetimler Eskişehir Büyükşehir Belediyesi Klor Temas Tankı'nın 1:10 ölçekli modeli kullanılarak 10 mm kalınlığında klasik perde tasarımı, 45 mm kalınlığında klasik ve gözenekli perde tasarımlarının kullanılması durumlarında; tank içerisinde oluşan akım yapısı Reynolds Ortalama Navier Stokes (RONS) simülasyonları ile belirlenmiştir. Eskişehir Klor Temas Tankı gerçek boyutlarında KP tasarımına, ÜYP tasarımına ve GP tasarımına sahip olması durumları da sayısal benzetimlerle incelenmiştir. Bu sayısal benzetim sonuçları kullanılarak temas tank içerisinde meydana gelen akım yapısı, hidrolik, karışım ve dezenfeksiyon verimleri değerlendirilmiş, ardından farklı perde tasarımlarının tank içerisinde kullanılmasının oluşan akım yapısına, hidrolik, karışım ve dezenfeksiyon verimlerine etkisi incelenmiştir.

3.2.1. Akım ve bozunmasız izleyici çözücüsü

Eskişehir Klor Temas Tankının 1:10 model ölçeği ve gerçek boyutlarında içerisinde oluşan üç boyutlu, sıkıştırılamaz, türbülanslı akış ve momentum çözümleri Reynolds Ortalama Navier-Stokes (RONS) simülasyonları ile gerçekleştirilmiştir. RONS simülasyonlarında akıma ait korunum denklemleri;

$$\frac{\partial U_i}{\partial x_i} = 0 \quad (3.4)$$

$$\frac{\partial U_i}{\partial t} + U_j \frac{\partial U_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\nu \frac{\partial U_i}{\partial x_j} - \overline{u_i' u_j'} \right) + S_i \quad (3.5)$$

şeklinde dir. Denklem 3.5'te verilen Navier-Stokes denklemi içerisindeki U_i terimi Reynolds ortalama hızını, x_i terimi konumu, S kaynak terimini, t terimi zamanı, p

terimi Reynolds ortalama basıncı, ρ terimi sıvının yoğunluğunu ve $\mathbf{V}$ terimi kinematik viskoziteyi ifade etmektedir.

Denklem 3.5'te verilen momentum denklemi, taşınım-yayınım denklemine skaler bir φ büyüklüğü için adapte edildiğinde;

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} + U_i \frac{\partial \varphi}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(D \frac{\partial \varphi}{\partial x_i} \right) + S \quad (3.6)$$

şeklini almaktadır. Bu denklem içerisinde D difüzyon katsayısı, S ise kaynak terimidir.

Standart $k - \varepsilon$ türbülans modeli akışkana ait sayısal benzetim problemlerinde çok geniş uygulama alanına sahip, Launder ve Spalding (1972) tarafından geliştirilmiş bir modeldir. RONS teorisinde hız, basınç ve skaler büyüklükler ortalama ve türbülans bileşenleri birlikte içerecek şekilde:

$$U_i = \overline{U_i} + u_i' \quad (3.7)$$

$$p = \overline{p} + p' \quad (3.8)$$

$$\varphi = \overline{\varphi} + \varphi' \quad (3.9)$$

tanımlanır. Reynolds gerilme tensörü olarak tanımlanan $\overline{u_i' u_j'}$ terimi Boussinesq yaklaşımına göre;

$$-\overline{u_i' u_j'} = \nu_t \left(\frac{\partial U_j}{\partial x_i} + \frac{\partial U_i}{\partial x_j} \right) - \frac{2}{3} k \delta_{ij} \quad (3.10)$$

ile ifade edilir. Denklem 3.10'da verilen δ_{ij} Kronecker delta, k türbülans kinetik enerjisi, ν_t ise eddy viskozite sabitidir. k , üç çalkantı hız bileşeninin birim kütle başına kinetik enerjisi olarak tanımlanmaktadır. RONS türbülans modelinde eddy viskozitesi kinematik

viskozitenin aksine akım alanı ve mevcut türbülans durumuna göre değişmektedir. Boussinesq yaklaşımına göre ν_t ;

$$\nu_t = C_\mu \frac{k}{\varepsilon} \quad (3.11)$$

şeklinde belirlenir. Denklem 3.11'de görülen C_μ türbülans model sabitidir ve Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) problemlerinde genellikle 0.09 değerini alır. Denklem içerisinde bulunan ε terimi ise türbülans enerjisi sönümlenme oranıdır. RONS modeli içerisinde k ve ε başlangıç değerleri;

$$k = \frac{3}{2}(UI)^2 \quad (3.12)$$

$$\varepsilon = C_\mu^{3/4} \frac{k^{3/2}}{l} \quad (3.13)$$

şeklinde hesaplanır. Burada I türbülans yoğunluğu, l türbülans karışım uzunluğu şeklinde tanımlanır.

3.2.2. Gözenekli ortam modeli

Denklem 3.4 ve 3.5'te verilen momentum ve taşınım-yayılım denklemlerinin içerisindeki S kaynak terimi ile çözücü gözenekli yapı içerisinde akım, izleyici ya da dezenfektan geçişini sayısal olarak benzetilmesine olanak sağlamaktadır.

Gözenekli ortamdan geçen akımda oluşan basınç düşüşü Darcy - Forchheimer ilişkisi ile karakterize edilmiştir. Bu ilişki viskoz etkileri ve akıma karşı atalet etkilerini içermektedir (Stefano, 2014):

$$S_i = -\left(\nu D + \frac{1}{2} |\bar{u}_{ij}| F \right) \bar{u}_i \quad (3.14)$$

$$D = \frac{150}{d_{50}^2} \frac{(1-\phi)^2}{\phi^3} \quad (3.15)$$

$$F = \frac{1.75(1-\phi)}{d_{50}\phi^3} \quad (3.16)$$

Kaynak terimi denklemlerindeki D ve F katsayıları sırasıyla Darcy ve Forchheimer katsayıları olarak adlandırılmaktadır. Gözenekli ortam içerisinde kullanılan malzemenin porozitesi ϕ ile medyan çapı ise d_{50} terimiyle tanımlanmaktadır. Üç parçalı gözenekli perde tasarımı için kullanılan çakıl numuneye ait farklı porozitelerde D ve F katsayıları Çizelge 3.4’te verilmiştir.

Çizelge 3.4. Darcy ve Forchheimer katsayıları

Zemin porozitesi	d_{50} (mm)	$D(m^{-2})$	$F(m^{-1})$
0.37	12.5	7.52e6	1.74e3
0.41	12.5	4.85e6	1.2e3
0.45	12.5	3.19e6	8.45e2

3.2.3. Klor dezenfeksiyon modelleri

Eskişehir Büyükşehir Belediyesi Klor Temas Tankı’nın dezenfeksiyon verimi araştırılırken iki farklı klor dezenfeksiyon modeli kullanılmıştır. Literatürde kullanılan klor dezenfeksiyon modelleri klorun bozunması, ham su içerisinde bulunan patojenin inaktivasyonu ve dezenfeksiyon süresince oluşan yan ürün formasyonlarını içermektedir. Klor ile dezenfeksiyon sürecinin başlangıcında gaz fazında klor (Cl_2) su ile temas ederek hipokloröz asit ($HOCl$) meydana getirir. Bu bozunma sonucu meydana gelen $HOCl$ yüksek patojen inaktivasyon kapasitesine sahiptir (Deborbe ve von Gunten, 2008).



Klorun bozunması standart birinci dereceden bozunma modelinde Chick (1908) tarafından

$$C=C_0 e^{-k_b t} \quad (3.18)$$

şeklinde ifade edilmiştir. Denklem 3.18'te C_0 terimi, $t=0$ anındaki başlangıç klor konsantrasyonunu, k_b terim ise birinci dereceden bozunma katsayısını ifade etmektedir. Bu katsayı ham suyun sıcaklığı, içerdiği organik madde konsantrasyonu ve başlangıç klor miktarına bağlı olarak değişmektedir.

Dezenfekte edilecek ham su içerisinde bulunan patojenin inaktivasyonu Chick-Watson (Chick, 1908; Watson, 1908) tarafından Denklem 3.19'da verildiği gibi tanımlanmıştır.

$$N=N_0 e^{-k' C^n t} \quad (3.19)$$

Burada N_0 ham su içerisinde bulunan patojen sayısını, k' patojen inaktivasyon katsayısını, n ise tek bir mikroorganizmanın dezenfektan tarafından yok edilmesi için gerekli ortalama dezenfektan molekülü sayısını ifade etmektedir.

Klor dezenfeksiyon sürecinde klor ile ham su içerisindeki organik ve inorganik maddelerin reaksiyonu yan ürün oluşmasına sebep olmaktadır. Su içerisinde koku ve tat bırakan, uzun vadede toplum sağlığı açısından olumsuz sonuçlar meydana getiren bu yan ürün oluşumları sıklıkla trihalometan (THM), haloasetik asitler (HAA) ve haloasetonitil (HAN) olarak bilinmektedir (Sadiq ve Rodriguez, 2004). THM oluşumu için Brown (2010) tarafından geliştirilen modelde;

$$THM=k_{tc}(C-C_0) \quad (3.20)$$

şeklinde tanımlanmıştır. Burada k_{tc} THM oluşumu katsayısıdır.

Tez kapsamında yapılan çalışmalarda iki farklı klor dezenfeksiyon modeli kullanılmıştır. İlk model birinci merteben klor bozunmasını ve patojen inaktivasyonunu içeren bir denklem takımını içermektedir. İkinci model ise klor bozunmasını ikinci mertebeden ifade etmektedir. Klor bozunmasını ve patojen inaktivasyonunu farklı değişkenlerle, gerçeğe yakın şekilde benzeten denklem takımları içeren model, klor ile dezenfeksiyon sonucu meydana gelen yan ürün oluşum formasyonu da içermektedir.

3.2.3.1. Birinci mertebeden klor dezenfeksiyon modeli

Klor bozunması ve patojen inaktivasyonunu içeren bu modelde dezenfeksiyon süreci OpenFOAM açık kaynak kodlu yazılımının kullandığı taşınım-yayınım denklemleri içerisine eklenen kaynak terimleri ile geliştirilmiştir. Denklem 3.21 ve 3.22’de verilen bu modelde tank girişinden enjekte edilen klorun tank çıkışındaki konsantrasyonu belirlenerek temas tankına ait Konsantrasyon-Zaman (KZ) değeri belirlenmiştir. Belirlenen bu KZ değeri U.S. EPA (EPA, 1999) tarafından geliştirilen tablolardaki patojen inaktivasyonu için gerekli 3 – log inaktivasyon değerinin üzerinde ise istenilen dezenfeksiyon veriminin sağlandığı anlaşılmaktadır. Eskişehir Klor Temas Tankı ham suyu içerisinde bulunan *Giardia* patojeni için gerçekleştirilen bu sayısal benzetimlerde diğer dezenfeksiyon verimi değerlendirmesi ise çıkışta kalan patojen miktarı ile yapılmıştır. Başlangıç konsantrasyonuna göre dezenfeksiyon sonrası patojen miktarı 3 – log inaktivasyonu sağladığı takdirde istenilen dezenfeksiyon gerçekleşmiştir.

$$\frac{\partial C_{Cl}}{\partial t} + U_i \frac{\partial C_{Cl}}{\partial x_i} = D_T \frac{\partial^2 C_{Cl}}{\partial x_j^2} - k_b C_{Cl} \quad (3.21)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + U_i \frac{\partial N}{\partial x_i} = D_T \frac{\partial^2 N}{\partial x_j^2} - k' C_{Cl} N \quad (3.22)$$

Eskişehir Büyükşehir Belediyesi Klor Temas Tankı'nda kış, bahar ve yaz aylarında dezenfekte edilen ham su özellikleri ve bu özelliklere bağlı olarak belirlenen k_b ve k' katsayıları Çizelge 3.5'te verilmiştir.

Çizelge 3.5. Ham su bilgileri ve dezenfeksiyon katsayıları

Mevsim	Ham su debisi (m ³ /gün)	pH	T (°C)	k_b (s ⁻¹)	k' (m ³ /kg.s)
Kış	80000	8.54	6.1	2.7e-6	10.65
Bahar	120000	8.1	15	1.38e-4	8.01
Yaz	160000	7	25	2.77e-4	5.11

Klorun bozunması ve Giardia patojenin inaktivasyonunu içeren model kullanılarak gerçekleştirilen sayısal benzetimlerinde taşınım yayılım denklemleri kaynak terimi içerisinde bulunan k_b ve k' katsayıları ham suyun pH seviyesine ve sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir. Değerler literatürde Brown (2011) tarafından yapılmış deneysel çalışmaya ait sonuçlardan elde edilmiştir.

3.2.3.2. İkinci mertebeden klor dezenfeksiyon modeli

Klor ile dezenfeksiyon sürecinde ikinci mertebeden geliştirilen bu modelde klorun bozunması içerdiği Toplam Organik Karbon (TOK) miktarı, enjekte edilen klor konsantrasyonu ve ham su sıcaklığı sebebiyle oluşan azalmayı içermektedir.

$$C = C_{\text{enjekte}} \cdot x \cdot \exp(-k'_1 \cdot t) + C_{\text{enjekte}} \cdot (1 - x) \cdot \exp(-k'_2 \cdot t) \quad (3.23)$$

Denklem 3.23'te verilen klor bozunması denklemi taşınım – yayılım denkleminin kaynak terimi klorun ham su ile teması sırasındaki özelliklerine bağlı olan azalmayı ifade etmektedir. Denklemde t hesaplama zamanı olarak model içerisinde bulunmaktadır. Katsayılar açık formda Denklem 3.24 ve 3.25'te verilmiştir.

$$k'_1 = a \cdot \text{TOK} \cdot \exp(b / (T + 273)) \cdot d / C_{\text{enjekte}} \quad (3.24)$$

$$k'_2 = e \cdot \text{TOK} \cdot \exp(f / (T + 273)) \cdot g / C_{\text{enjekte}} \quad (3.25)$$

Denklem 3.24 ve 3.25'te bulunan katsayılar $a=0.01344$; $b=848$; $d=0.01375$; $e=0.00209$; $f=848$; $g=4.839$ olarak literatürdeki sonuçlar kullanılarak belirlenmiştir (Vieira vd., 2004). Denklemler içerisinde ham su sıcaklık değeri °C cinsinden başlangıç koşulu olarak girilmiştir. Klorun bozunmasına ilişkin taşınım yayılım denklemi model içerisinde Denklem 3.26'da verildiği gibi geliştirilmiştir.

$$\frac{\partial C_{Cl}}{\partial t} + U_i \frac{\partial C_{Cl}}{\partial x_i} = D_T \frac{\partial^2 C_{Cl}}{\partial x_j^2} - (C_{enjekte} \cdot 0.5 \cdot \exp(-(a \cdot TOK \cdot \exp(b / (T + 273))) \cdot d / C_{enjekte}) \cdot t + C_{enjekte} \cdot 0.5 \cdot \exp(-(e \cdot TOK \cdot \exp(f / (T + 273))) \cdot g / C_{enjekte}) \cdot t)) C_{Cl} \quad (3.26)$$

Geliştirilen ikinci mertebeden klor dezenfeksiyon modelinde patojen inaktivasyon kaynak terimi klor ile patojenin inaktivasyonunu, ham suyun sıcaklık ve pH derecelerini içerecek şekilde taşınım-yayılım denkleminde eklenen kaynak terimi ile oluşturulmuştur.

$$\frac{\partial N}{\partial t} + U_i \frac{\partial N}{\partial x_i} = D_T \frac{\partial^2 N}{\partial x_j^2} - RC_{Cl}^a t^b pH^d T^e N \quad (3.27)$$

Denklem 3.27'de bulunan üstel ifadeler ve katsayılar Clark (1991) tarafından R , 0.32, a , 0.726, b , 0.845, d , -2.104 ve e , 0.726 olarak tanımlanmıştır.

Klor bozunması sonucu ham su içerisindeki organik maddeler ile oluşan reaksiyon sonucu meydana gelen yan ürün oluşumu için Amy vd. (1987) tarafından geliştirilen kaynak teriminin modelde taşınım yayılım denkleminde eklenmesiyle:

$$\frac{\partial C_{YanÜrün}}{\partial t} + U_i \frac{\partial C_{YanÜrün}}{\partial x_i} = D_T \frac{\partial^2 C_{YanÜrün}}{\partial x_j^2} + 0.0325 C_{Cl}^{0.517} t^{0.252} (TOK * UV_{254})^{0.378} (pH - 2.6)^{0.64} T^{0.985} (Br + 1)^{0.0535} \quad (3.28)$$

halini almaktadır. Bu denklem içerisinde ham suyun içerisindeki TOK, Br gibi organik madde konsantrasyonları, pH ve sıcaklık gibi özellikleri ile UV_{254} kapasitesi dikkate alınmıştır.

İkinci mertebeden bir klor dezenfeksiyon modeli geliştirilmesi ile birlikte klorun bozunması denklemi ve patojen inaktivasyonu denklemleri gelişmiş modeller kullanılarak gerçeğe yakın bir klor ile dezenfeksiyon süreci simüle edilmesini sağlamıştır. Buna ek olarak yan ürün oluşumu model içerisine eklenerek temas tanklarının dezenfeksiyon performansının bu açıdan da değerlendirilmesine olanak sağlanmıştır.

3.2.4. Ozon dezenfeksiyon modeli

Klor ile dezenfeksiyona göre daha güçlü bir dezenfeksiyon yöntemi olan ozonla dezenfeksiyon süreci literatürde ham su bilgileri ve temas tankı geometrisi verilmiş bir temas tankı üzerinde gerçekleştirilmiştir (Niazi vd., 2017). Kullanılan dezenfeksiyon modeli ise Zhang vd. (2015) tarafından paylaşılmış altı reaksiyon denklemini içeren gelişmiş bir kimyasal reaksiyon modelinin OpenFOAM içerisinde yeni bir çözücünün geliştirilmesi ile modellenmiştir. Bu model, ozonun bozunması, ham su içerisindeki TOK miktarının değişimi, Brom (Br), Hipobromit (BrO⁻), Bromin dioksit (BrO₂) ve Bromat (BrO₃) oluşumlarını içeren altı taşınım-yayınım denklemi ile tanımlanmaktadır. Ozonun bozunması denklemi, ham su ile etkileşiminden dolayı meydana gelen azalmayı, ham su içerisindeki TOK ve Br ile ozonun etkileşimi sonucu meydana gelen azalmayı ve ozon ile dezenfeksiyon sürecinde yan ürün oluşumu sebebiyle gerçekleşen azalmayı içerecek kaynak terimleri ile tanımlanmıştır.

$$\begin{aligned} \frac{\partial C_{O_3}}{\partial t} + U_i \frac{\partial C_{O_3}}{\partial x_i} = D_T \frac{\partial^2 C_{O_3}}{\partial x_j^2} - k_d C_{O_3} - k_{TOK} C_{O_3} C_{TOK} \\ - k_1 C_{Br^-} C_{O_3} - k_2 C_{BrO^-} C_{O_3} - k_3 C_{BrO^-} C_{O_3} - k_4 C_{BrO_2^-} C_{O_3} \end{aligned} \quad (3.29)$$

Ham su içerisinde bulunan TOK bileşeninin azalması modelde taşınım – yayılım denkleminde bir azalma katsayısı, anlık ozon konsantrasyonu ve TOK konsantrasyonunu skaler çarpımını içeren kaynak teriminin eklenmesi ile tanımlanmıştır.

$$\frac{\partial C_{TOK}}{\partial t} + U_i \frac{\partial C_{TOK}}{\partial x_i} = D_T \frac{\partial^2 C_{TOK}}{\partial x_j^2} - k_{TOK} C_{O_3} C_{TOK} \quad (3.30)$$

Ozonla dezenfeksiyon sürecinde önemli bir ham su bileşeni olan Br, ozonla teması sonucunda azalırken BrO^- yan ürünü meydana getirmektedir. Bu nedenle model içerisinde Br azalması ve Br sebebiyle meydana gelen yan ürün oluşumu kaynak terimine bir arada eklenmiştir.

$$\frac{\partial C_{Br^-}}{\partial t} + U_i \frac{\partial C_{Br^-}}{\partial x_i} = D_T \frac{\partial^2 C_{Br^-}}{\partial x_j^2} - k_1 C_{Br^-} C_{O_3} + k_2 C_{BrO^-} C_{O_3} \quad (3.31)$$

BrO^- , BrO_2^- ve BrO_3^- oluşumları ise birbirinin devamı niteliğinde denklemlerdir. Br^- artışı ile meydana gelen BrO^- ozon ile teması sonucunda azalmaktadır. BrO^- artışı ile meydana gelen BrO_2^- ozonla dezenfeksiyon sonucu azalmakta ve eş zamanlı olarak BrO_3^- yan ürünü oluşumuna sebep olmaktadır.

$$\frac{\partial C_{BrO^-}}{\partial t} + U_i \frac{\partial C_{BrO^-}}{\partial x_i} = D_T \frac{\partial^2 C_{BrO^-}}{\partial x_j^2} + k_1 C_{Br^-} C_{O_3} - k_2 C_{BrO^-} C_{O_3} - k_3 C_{BrO^-} C_{O_3} \quad (3.32)$$

$$\frac{\partial C_{BrO_2^-}}{\partial t} + U_i \frac{\partial C_{BrO_2^-}}{\partial x_i} = D_T \frac{\partial^2 C_{BrO_2^-}}{\partial x_j^2} + k_3 C_{BrO^-} C_{O_3} - k_4 C_{BrO_2^-} C_{O_3} \quad (3.33)$$

$$\frac{\partial C_{BrO_3^-}}{\partial t} + U_i \frac{\partial C_{BrO_3^-}}{\partial x_i} = D_T \frac{\partial^2 C_{BrO_3^-}}{\partial x_j^2} + k_4 C_{BrO_2^-} C_{O_3} \quad (3.34)$$

Ozon dezenfeksiyon modeli içerisinde bulunan altı taşınım yayılım denkleminin kaynak terimleri içerisinde bulunan katsayılar ve boyutları Çizelge 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 3.6. Ozon dezenfeksiyon modeli katsayıları

Katsayı	Değeri	Boyutu
k_d	0.0025	s^{-1}
k_{TOK}	211.11	$(kg/m^3)^{-1}s^{-1}$
k_1	2.0024	$(kg/m^3)^{-1}s^{-1}$
k_2	3.441	$(kg/m^3)^{-1}s^{-1}$
k_3	1.0427	$(kg/m^3)^{-1}s^{-1}$
k_4	3865.54	$(kg/m^3)^{-1}s^{-1}$

Geliştirilen ozon dezenfeksiyon modeli ile birlikte literatürde geometrisi ve sayısal benzetim sonuçları verilmiş bir ozon temas tankının dezenfeksiyon performansı, geliştirilen gözenekli perde tasarımının ve patentli ÜYP tasarımlarının kullanılması durumları için değerlendirilmiştir.

Değerlendirilmeler yapılırken istenilen KZ değerine ulaşması için gerekli ozon konsantrasyonu belirlenerek, perde tasarımlarının değiştirilmesi ile birlikte tankın dezenfeksiyon veriminin artışı değerlendirilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

“İçme Sularının Arıtılmasında Temas Tanklarının Hidrolik ve Karışım Verimlerinin Araştırılması ve Perde Tasarımının Geliştirilmesi” başlıklı bu doktora tezinin bulguları ve amaçları aşağıda verilmiştir:

- Temas tankı içindeki türbülanslı akıma ait hızlarının ADH ile noktasal olarak ölçüldüğü bir deneysel ölçüm sisteminin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Böylece sayısal modelden elde edilen akım çözümleri deneysel ölçüm sonuçları ile karşılaştırılarak akım çözücüsünün doğruluğu ve hassasiyeti değerlendirilebilecektir.
- Temas tankının hidrolik ve karışım verimlerinin deneysel olarak belirlenebilmesi için bir deneysel ölçüm sisteminin geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Bu ölçüm sisteminde girişten enjekte edilecek izleyici solüsyonu çıkışta floresan ışığına duyarlı florometre ile ölçülerek KSD ve toplam KSD eğrilerinin deneysel olarak belirlenmesi amaçlanmaktadır.
- Temas tankları içerisinde meydana gelen akımı viskozite ve türbülans gibi tüm fiziksel etkileri dikkate alarak benzeten bir hesaplama modelinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Geliştirilecek sayısal model, laboratuvar modeli üzerinde yapılacak deneysel ölçüm sonuçları ile karşılaştırılarak doğrulanacaktır.
- Temas tanklarının hidrolik ve karışım verimlerinin yanında dezenfeksiyon veriminin değerlendirilebilmesi için tank içindeki klor bozunmasını, patojen inaktivasyonunu ve dezenfeksiyon yan ürün oluşumunu eş zamanlı olarak benzeten klor için ikinci mertebeden bir dezenfeksiyon modelinin geliştirilmesi doktora tezinin amaçları arasındadır. Böylece yönetmeliklere göre istenen dezenfeksiyon seviyelerinin sağlanabilmesi için suya enjekte edilmesi gereken klor konsantrasyonları belirlenebilecek, aynı zamanda sudaki toplam organik karbon oranlarına bağlı olarak dezenfeksiyon yan ürün oluşumu incelenebilecektir.

- Literatürde temas tankları üzerine yapılan deneysel ve sayısal benzetim çalışmaları incelendiğinde tankın hidrolik, karışım ve dezenfeksiyon verimi artırmak araştırmacıların ana amaçlarından biridir. Ancak bu artışı sağlamak için genellikle kullanılan yöntemler tank içerisindeki oda sayısını artırmak, giriş ve çıkış yapılarını değiştirmek, oda çıkışlarına ek parçalar eklemek şeklindedir. Tankın hidrolik, karışım ve dezenfeksiyon verimlerini doğrudan etkileyen perde tasarımları üzerinde değişiklik yapmak araştırmacılar tarafından değerlendirilmemiştir. Geliştirilecek özgün perde tasarımı ile tankın hidrolik, karışım ve dezenfeksiyon verimlerinin artırılması amaçlanmaktadır.
- Temas tankının verimini iyileştirecek geçirimli perdelerin geliştirilebilmesi için gözenekli ortamlardaki türbülanslı Darcy olmayan akışların sayısal benzetimi için bir sayısal modelin geliştirilmesi tezin amaçları arasındadır.
- Tezin amaçlarından biri de ozon dezenfeksiyon modelinin geliştirilmesidir. Altı farklı prosesi bir arada içeren bu model ile farklı perde tasarımlarının ozon dezenfeksiyon verimine etkisinin araştırılması bu doktora tezinin amaçlarındandır. Yapılan maliyet analizi ile tank içerisinde kullanılan özgün perde tasarımlarının dezenfeksiyon sürecinin ekonomik verimine etkisi değerlendirilebilecektir.

Yukarıda verilen amaçlar gerçekleştirildiğinde aşağıda verilen katkıların sağlanabilmesi hedeflenmektedir:

- Piston akımı varsayımına göre projelendirilen temas tanklarının hidrolik ve karışım verimleri hassas bir şekilde belirlenerek mevcut tankların verimleri değerlendirilebilecektir.
- Temas tanklarının dezenfeksiyon verimlerinin ve dezenfeksiyon yan ürün oluşumunun HAD ile analiz edildiği çalışmalarda ikinci mertebeden bir dezenfeksiyon modeli kullanılmadığı görülmüştür. Temas tanklarının dezenfeksiyon verimlerinin belirlenebilmesi için ikinci mertebeden bir

dezenfeksiyon modeli geliştirilerek hem klorun bozunması hem de dezenfeksiyon yan ürün oluşumunun değerlendirilebilecektir.

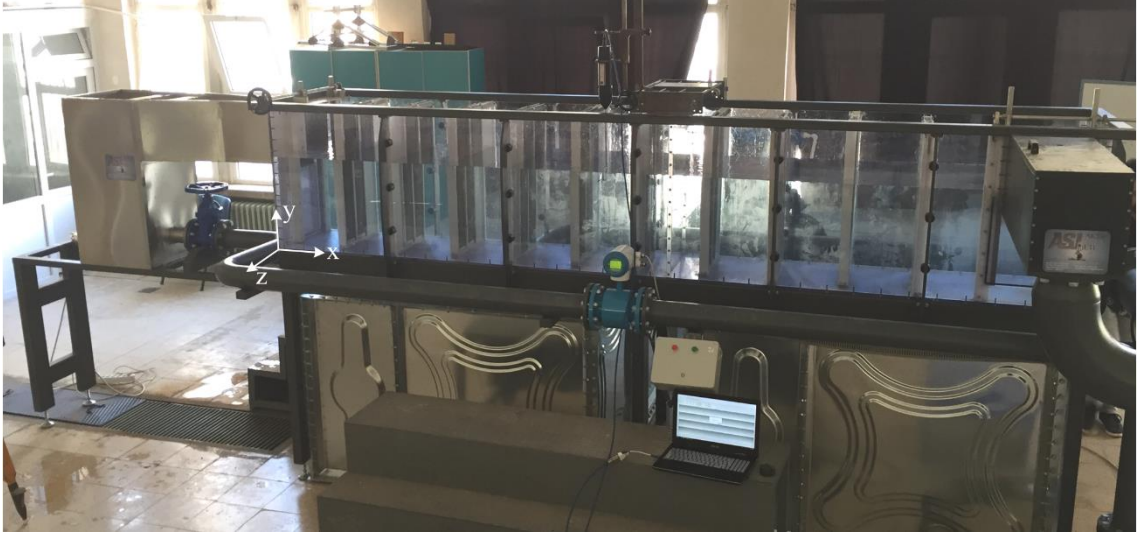
- Temas tanklarının hidrolik, karışım ve dezenfeksiyon verimlerini arttıran yeni perde tasarımı ile mevcut teknolojinin seviyesi arttırılabilecektir.
- Verimi iyileştirilen temas tankları sayesinde hem yüksek konsantrasyonda klor kullanımından doğan yan etkiler azaltılabilecek hem de klor tüketim maliyetleri azaltılarak ekonomiye katkı sağlanabilecektir.

Ülkemiz için gelecekte yaygınlaşma potansiyeli olan ozonla dezenfeksiyon teknolojisi için gerekli bilgi birikimi oluşturularak verimi yüksek ozon temas tankları sayesinde, ozon kullanımından doğan yüksek maliyetler azaltılabilecektir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1. Deneysel Sonuçlar

Eskişehir Büyükşehir Belediyesi Klor Temas Tankı 1:10 ölçekli modeli üzerinde gerçekleştirilen deneysel çalışmalar Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Laboratuvarı'nda kurulan deneysel sistem kullanılarak yapılmıştır (Şekil 5.1). Deneysel çalışmalar farklı perde tasarımları kullanılması halinde tank içerisinde meydana gelen akım yapısının değişiminin belirlenmesi için gerçekleştirilen ADH ölçümleri ile başlamaktadır. Tank içerisinde Eskişehir Büyükşehir Belediyesi Klor Temas Tankı'nın dezenfekte ettiği ham su debisi model ölçeğinde Froude benzeşimi kullanılarak hesaplanmış ve sistemden geçirilmiştir. Sisteme giriş yapan su, beş farklı filtreden geçirilerek temiz su tankına doldurulmuş ve devir daim yaparak tekrar bu tanka iletilmiştir. ADH ile hız ve türbülans büyüklüklerinin ölçülmesinden önce sistem çalıştırılıp zamanla değişmeyen akım koşullarına ulaşması beklenmiştir.

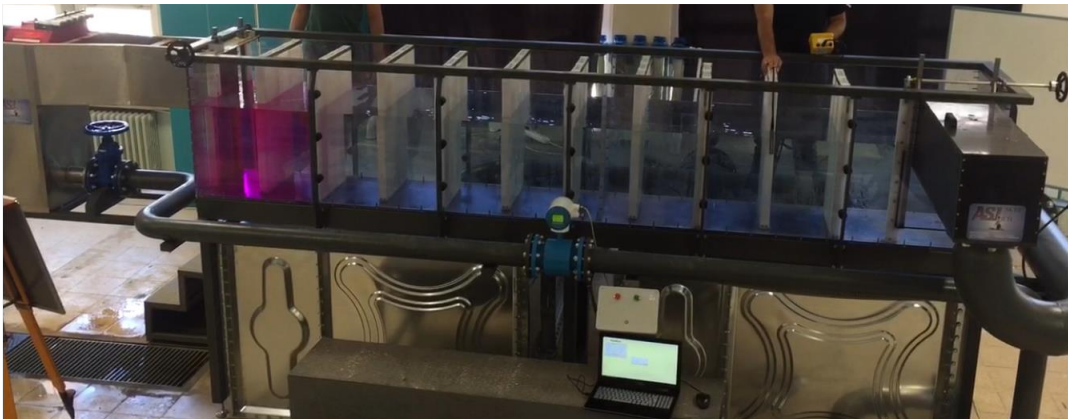


Şekil 5.1. Akım ölçümleri deney sistemi

Giriş ve çıkışta bulunan keskin kenarlı savaklar yardımıyla tank içerisindeki su seviyesi sabit hale getirilmiştir. Eskişehir Klor Temas Tankı giriş ve çıkış yapısı birbirinden farklı olduğundan; bu bölümlerde hız ve türbülansa ait değişimler göz önüne

alındığında ADH ile yapılan deneysel ölçümler tankın altıncı odasında bu etkilerden bağımsız olarak gerçekleştirilmiştir. Tank içerisinde oluşan su derinliğinin %80'i yükseklikte ve oda uzunluğunun %25, %50 ve %75'inde oda genişliği boyunca noktasal hız ve türbülans ölçümleri gerçekleştirilmiştir. ADH'nin ölçüm yaptığı üç yöndeki ölçüm uçlarının duvara yaklaşması ile birlikte SNR değeri düştüğünden ölçümler, oda genişliğinin %20 ile %80'i arasında yapılmıştır. Farklı perde tasarımlarının akım yapısı üzerine etkileri Bölüm 5.2.1'de sayısal benzetim sonuçları ile karşılaştırılarak verilmiştir.

Temas tanklarının hidrolik ve karışım verimlerinin belirlenmesi literatürde bozunmasız izleyici deneyleri yapılarak gerçekleştirilmektedir. Temas tankı içerisinde bulunan perdeler bu verim indekslerini doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle, farklı perde tasarımlarının temas tankının perde faktörü, hidrolik ve karışım verimleri üzerindeki etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Zamanla değişmeyen akım koşullarına ulaşan sistemin girişinden altı kanallı şırınga pompası ile enjekte edilen izleyici konsantrasyonu tankın dokuzuncu odasının çıkışında kaydedilmesi ile Kalma Süresi Dağılımı (KSD) ve Kümülatif KSD eğrileri elde edilmiştir. Şekil 5.2'de bozunmasız izleyici deney sistemi verilmiştir. Deneysel sonuçlardan elde edilen verim indekslerine göre tankın verimini en çok artıran perde tasarımı araştırılmıştır. Sonuçlar Bölüm 5.2.3'te verilmiş ve değerlendirmelerde bulunulmuştur.



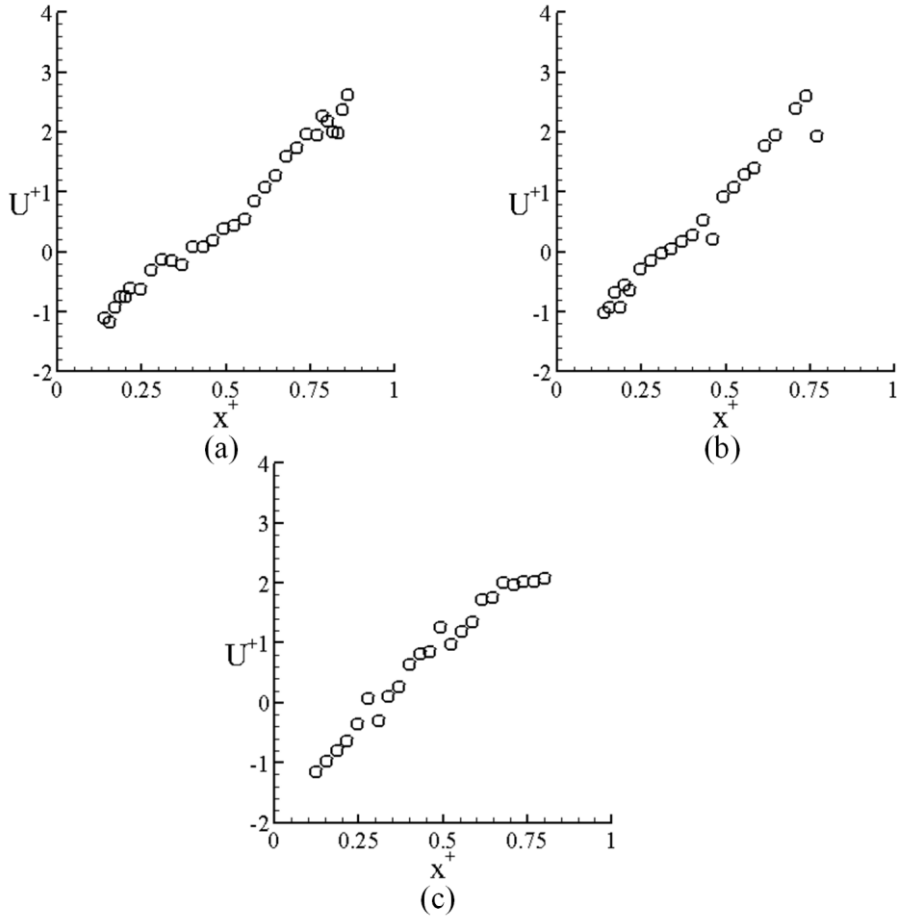
Şekil 5.2. Bozunmasız izleyici deney sistemi

Gerçekleştirilen akım ve bozunmasız izleyici deneyleri sonuçları aynı zamanda kullanılan sayısal benzetim modelinin doğrulanması amacıyla kullanılmıştır. Bu sayede

tank içerisinde hız ve türbülans okuması yapılamayan bölgelerdeki akım yapısı da incelenerek tankın hidrolik verimi detaylı olarak değerlendirilmiştir. Buna ek olarak model doğrulaması sonucunda tankın dezenfeksiyon verimi simülasyonları yapılmış ve dezenfeksiyon verimi üzerine değerlendirmelerde bulunulmuştur.

5.1.1. Akım sonuçları

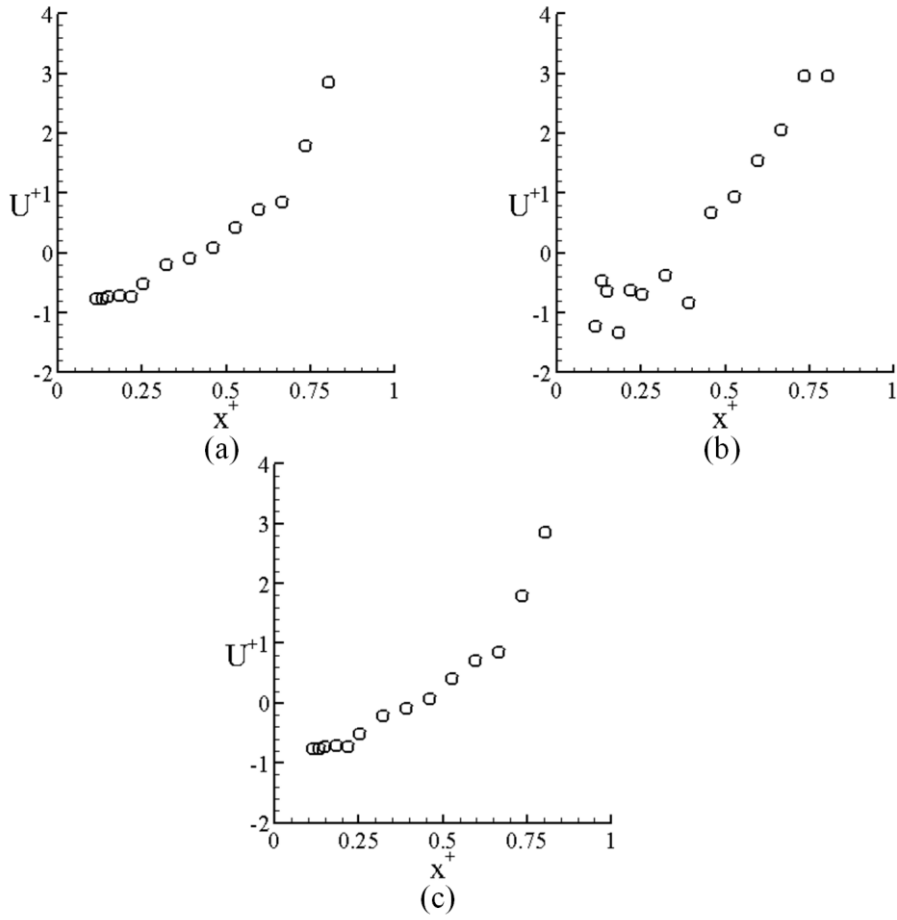
Eskişehir Büyükşehir Belediyesi Klor Temas Tankı 1:10 ölçekli modeli içerisinde 10 mm kalınlığında klasik tasarıma sahip perde tasarımı kullanılması halinde hız ve türbülans ölçüm deneyleri tankın yaz aylarında dezenfekte ettiği ham su debisinin model ölçeğinde hesaplanmış değeri üzerine yapılmıştır. Tank içerisinde altıncı odaya yerleştirilen ADH ile yapılan noktasal ölçüm sonuçları farklı kesitlerde Şekil 5.3'te verilmiştir. Elde edilen hız büyüklükleri tank içerisinde piston akışı olduğu varsayımı yapıldığı takdirde hesaplanan U_{piston} hızına, boyut büyüklükleri ise oda genişliğine bölünerek boyutsuz olarak çizdirilmiştir. Hız profilleri oda genişliğinin %25, %50 ve %75'inde ve tank yüksekliğinin %80'inde oluşan hızlar için çizdirilmiştir.



Şekil 5.3. Farklı kesitlerde 10 mm klasik tasarımı perde kullanılması durumunda deneysel hız profilleri: (a) $z^{+}=0.25$, (b) $z^{+}=0.50$, (c) $z^{+}=0.75$.

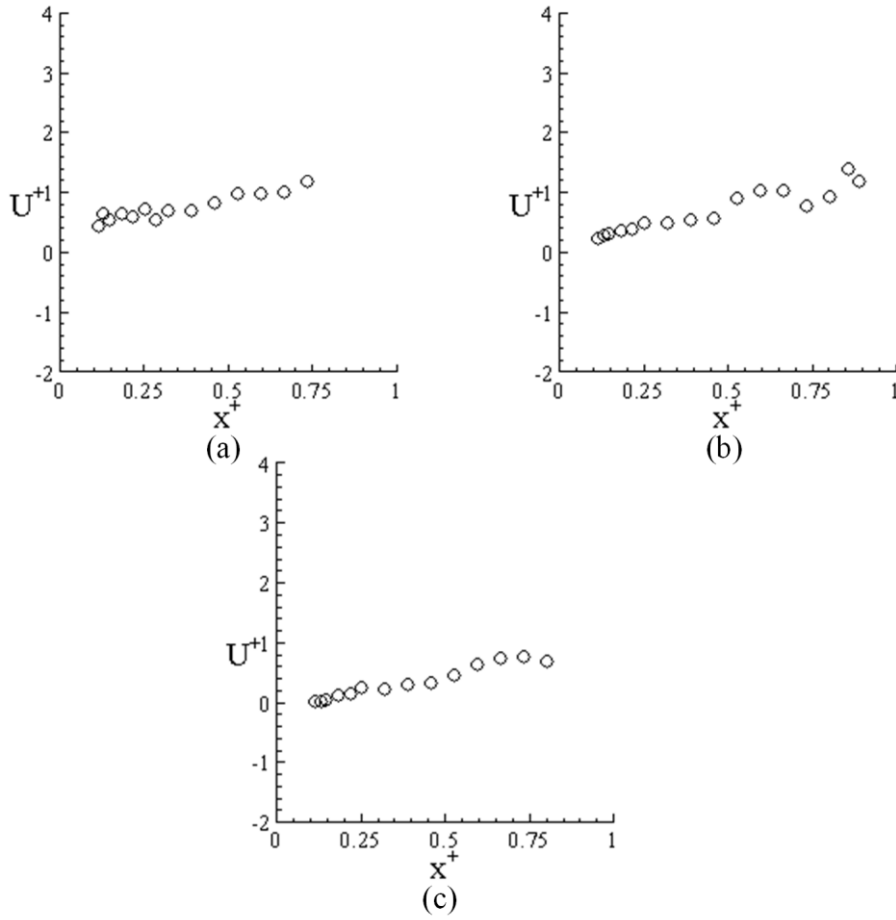
Farklı kesitlerde elde edilen hız ölçümleri değerlendirildiğinde tank içerisinde 10 mm kalınlığında klasik perde tasarımı kullanılması durumunda tankın altıncı odasında farklı kesitlerde hız profillerinin değerlendirilmesi Bölüm 5.2.2’de yapılmıştır.

Şekil 5.4’te ise 45 mm kalınlığında gerçirimsiz perde kullanılması durumunda oluşan hız profilleri farklı kesitlerde çizdirilmiştir. Profillerin detaylı incelemesi ve yorumlanması Bölüm 5.2.2’de verilen sayısal benzetim sonuçları ile bir arada verilmiştir.



Şekil 5.4. Farklı kesitlerde 45 mm klasik tasarımlı perde kullanılması durumunda deneysel hız profilleri: (a) $z^{+}=0.25$, (b) $z^{+}=0.50$, (c) $z^{+}=0.75$.

Tank içerisinde 45 mm kalınlığında üç parçalı gözenekli perde tasarımı kullanılması durumunda deneysel olarak belirlenen hız profilleri Şekil 5.5'te verilmiştir. Sayısal benzetimlerinin aynı koşullar altında gerçekleştiği bu duruma ilişkin detaylı incelemeler Bölüm 5.2.2'de verilmiştir.



Şekil 5.5. Üç parçalı gözenekli perde kullanılması durumunda deneysel hız profilleri: (a) $z^+=0.25$, (b) $z^+=0.50$, (c) $z^+=0.75$.

5.1.2. Bozunmasız izleyici sonuçları

Temas tanklarının hidrolik ve karışım verimlerinin değerlendirilmesi bozunmasız izleyici deneyleri ile yapılmaktadır. Tankın TKS'sinin %5'inden daha kısa sürede girişten enjekte edilen izleyicinin tank çıkışındaki konsantrasyonun kaydedilmesiyle KSD ve kümülatif KSD eğrileri elde edilir. KSD eğrisi okunan izleyici konsantrasyonun boyutsuzlaştırılması ile elde edilir. $E(\theta) = C / (C_{enjekte} T_{enjeksiyon} / TKS)$ şeklinde ifade edilen E değeri θ boyutsuz zamanına göre çizilir. E eğrisinden belirlenen konsantrasyon miktarının kümülatif olarak boyutsuz zamana göre değişimi ise F eğrisini vermektedir.

Model ölçeğinde gerçekleştirilen bozunmasız izleyici deneyi bilgileri Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Bozunmasız izleyici deneyi bilgileri

Mevsim	Debi (m ³ /saat)	TKS (s)	Enjeksiyon Süresi
Yaz	21.06	115.41	5
Kış	10.55	429.22	20

Deneysel çalışmalar sırasında tank girişine yerleştirilen altı kanallı zaman ayarlaması yapılabilir şırınga pompası ile istenilen sürede enjeksiyon yapılarak tankın dokuzuncu odasının çıkışında konsantrasyon kaydı yapılmıştır. Değiştirilen perde tasarımları için elde edilen KSD ve kümülatif KSD eğrileri ile tankın hidrolik ve karışım verimi değerlendirmeleri gerçekleştirilmiştir.

Temas tanklarının hidrolik ve karışım verimlerinin değerlendirilmesi literatürde kullanılan indeks değerleri ile yapılmaktadır. Bu indeks değerlerinden ilki U.S. EPA tarafından tanımlanan θ_{10} “perde faktörü” parametresidir. Burada θ_{10} değeri enjekte edilen konsantrasyonun %10’unun çıkışta gözlenmesi için geçen boyutsuz süreyi ifade etmektedir. Perde faktörünün değerine göre temas tanklarının sınıflandırılması yapılmaktadır. Bu sınıflandırma Çizelge 5.2’de verildiği gibidir.

Çizelge 5.2. Temas tanklarının perde faktörüne göre sınıflandırılması

Tank Sınıfı	θ_{10}
Perdesiz	0.1
Zayıf	0.3
Ortalama	0.5
Yüksek	0.7
Mükemmel (Piston Akışı)	1.0

Çizelge 5.2’de görüldüğü üzere perde faktörü 1’e yaklaştıkça temas tanklarının tasarlanması aşamasında varsayımı yapılan piston akışına yakın bir akım yapısı oluşacağı ve bu durumda da tankın hidrolik veriminin artacağı belirtilmektedir.

Temas tanklarının hidrolik verimlerine ait boyutsuz bir büyüklük olan Morrill indeksi (M_o) izleyici konsantrasyonun %90’ının çıkışta gözlenmesi için gereken

boyutsuz zaman olan θ_{90} değerinin θ_{10} değerine oranı ile hesaplanır. Mo indeksinin değerinin 2'ye yaklaşması tankın hidrolik veriminin yüksek olduğunu ifade etmektedir.

$$Mo = \frac{\theta_{90}}{\theta_{10}} \quad (5.1)$$

Literatürde temas tanklarının hidrolik verimlerinin değerlendirilmesinde sıklıkla kullanılan Mo indeksi deneysel çalışmalarda kullanılan farklı perde tasarımları için hesaplanmış ve verim artışı değerlendirilmesi yapılmıştır.

Temas tanklarının karışım verimlerine ait bir gösterge olan dispersiyon indeksi ise $(\bar{\sigma})$ istatistiksel bir değerdir. Denklem 5.2'de verildiği üzere;

$$\bar{\sigma} = \frac{\sigma_{\theta}^2}{\theta_m^2} \quad (5.2)$$

dispersiyon indeksi KSD eğrisinin varyansının (σ_{θ}^2) , KSD eğrisinin ağırlık merkezinin bulunduğu noktanın karşılığı olan boyutsuz zamanın (θ_m) karesine oranı ile hesaplanır. İndeks değeri 0'a yaklaştıkça tank içerisinde yüksek karışımın olduğu ifade edilmektedir.

Literatüre yeni girmiş bir indeks olan Aral-Demirel indeksi (AD) ise temas tanklarının hidrolik ve karışım verimlerini bir arada değerlendirilmesini sağlayan ve tank tasarımında yapılan değişiklikler ile birlikte hassas bir şekilde değişim gösteren bir indekstir.

$$AD = \frac{(\theta_{90} - 1)}{(1 - \theta_{10})} \quad (5.3)$$

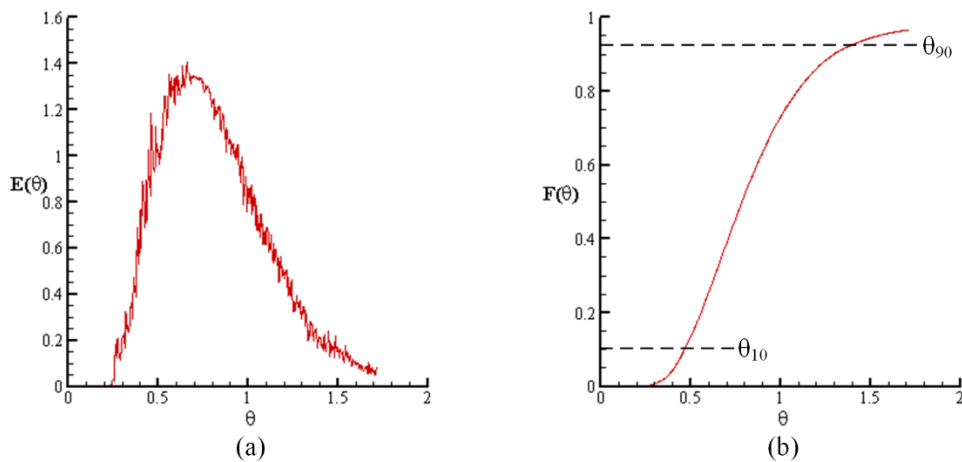
Tank içerisinde yüksek karışımın ve aktif karışım bölgelerinin bulunması AD indeksinin değerini artırır. Tank içerisinde yüksek karışımın olması ile birlikte izleyici

tank içerisinde daha uzun süre kalarak θ_{10} ve θ_{90} bir arada yükselmesine sebep olmaktadır. Bu durumda indeksin payındaki değer büyümekte, paydasındaki değer ise küçülmektedir ve indeks değeri artmaktadır. AD indeksinin aldığı değerlere göre perde faktörüne benzer şekilde temas tanklarının sınıflandırması yapılabilmektedir. Çizelge 5.3'te bu sınıflandırma değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.3. AD indeksi ile temas tankı sınıflandırması

Tank Sınıfı	AD
Zayıf	0.0-0.2
Yetersiz	0.2-0.5
Ortalama	0.5-1.75
İyi	1.75-3.5
Mükemmel	3.5 ve üzeri

Bozunmasız izleyici deneyleri iki bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde Eskişehir Büyükşehir Belediyesi Klor Temas Tankı'nın yaz aylarında dezenfekte ettiği ham su debisi model ölçeğinde 10 mm'lik geçirimsiz perde kullanılması durumu göz önüne alınmıştır. Enjeksiyon süresi Çizelge 5.1'de verildiği gibi 5 saniye olarak belirlenmiş ve temiz su tankının kapasitesi süresince deneye devam edilmiştir. Enjekte edilen konsantrasyonun tamamının çıkışta görüldüğü zamana ulaşıldığında deney sonlandırılmıştır. Şekil 5.6'da deney sonuçlarından elde edilen KSD ve kümülatif KSD eğrileri verilmiştir.



Şekil 5.6 10 mm kalınlığında perde kullanılması durumunda KSD (a) ve kümülatif KSD (b) eğrileri.

Şekil 5.6’da verilen KSD eğrisi değerlendirildiğinde ilk pik değerinin yaklaşık olarak 0.7 θ boyutsuz zamanda meydana geldiği ve yüksek bir eğim ile bu pikin oluştuğu görülmektedir. Bu durum tank içerisindeki piston akışından uzak akım yapısı nedeniyle enjekte edilen izleyicinin jet akışını takip ederek istenilenden daha kısa sürede tankı terk ettiğini göstermektedir. İlk pik değerinin 1 θ ’ya yaklaşmasıyla ve eğiminin azalması ile birlikte tankın hidrolik veriminin artacağı bilinmektedir.

Kümülatif KSD eğrisinden elde edilen sonuçlar ile hesaplanan indeks parametreleri Çizelge 5.4’te verilmiştir.

Çizelge 5.4. Hidrolik ve karışım verimi indeksleri (10 mm perde)

θ_{10}	Mo	σ	AD
0.465	2.79	0.014	0.55

Deneysel olarak temas tankının dokuzuncu odasının çıkışında kaydedilen konsantrasyon değerlerine göre elde edilen indeks parametreleri sonucunda;

- Temas tankı “perde faktörü” açısından değerlendirildiğin 0.465 değeri ile zayıf - ortalama arası bir sınıftadır.
- Mo indeksi açısından değerlendirildiğinde hesaplanan 2.79 değeri temas tankının hidrolik veriminin düşük olduğunu göstermektedir.
- Dispersiyon indeksi açısından tankın karışım verimi oldukça düşüktür.
- AD indeksi açısından değerlendirildiğinde ise mükemmel sınıflandırılmasından oldukça uzak bir temas tankı olarak tanımlanmaktadır.

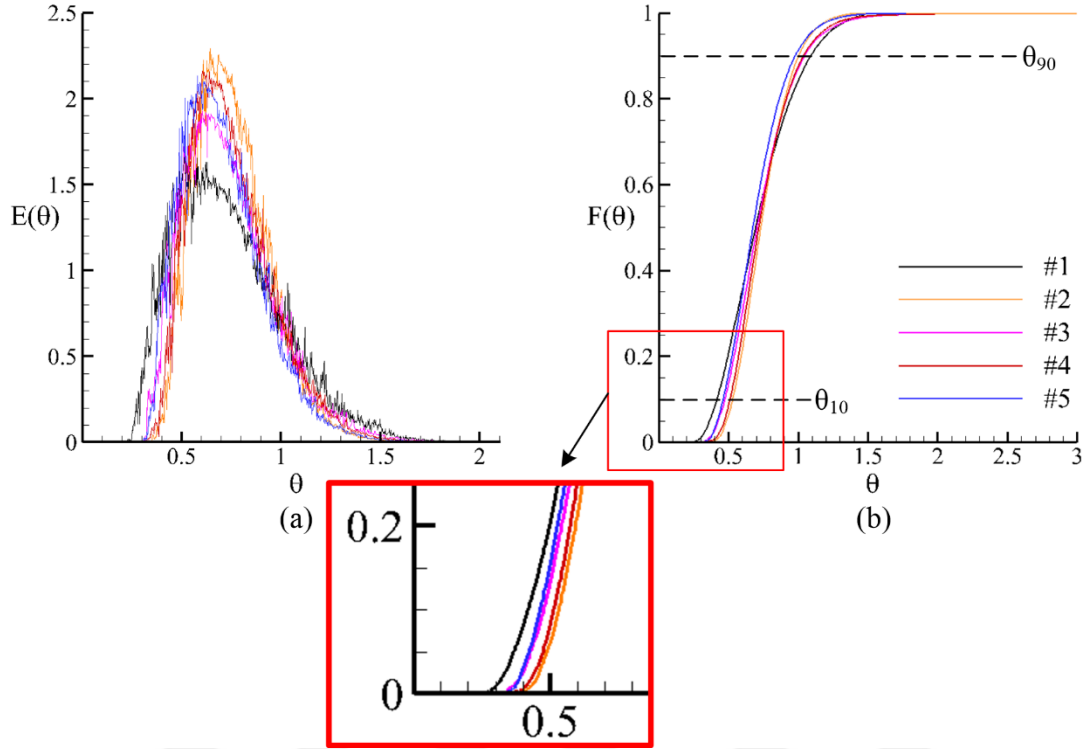
Tank içerisinde bulunan perde tasarımlarının geliştirilmesi ile birlikte tankın hidrolik ve karışım verimleri artırılabilir. Perde tasarımında yapılacak bu değişiklikler öncesinde Bölüm 5.2.3’te bu tasarıma ait deneysel sonuçlar doğrulanacak; ardından geliştirilen perde tasarımı ile verim artışı incelenecektir.

Eskişehir Büyükşehir Belediyesi Klor Temas Tankı içerisinde deneysel ve sayısal benzetimler ile araştırılan perde tasarımlarından bir diğeri 45 mm kalınlığında geçirimsiz ve gözenekli perde tasarımlarıdır. Üç parçalı olarak tasarlanan bu perdelerle ilişkin bilgiler Bölüm 3.1.3'te verilmiştir. Geçirimsiz parçalar ile gözenekli yapı oluşturan parçalar farklı kombinasyonlar ile perde tasarımları geliştirilerek bozunmasız izleyici deneyleri yapılmıştır. Çizelge 5.5'te verildiği üzere beş farklı perde tasarımı değerlendirilmiştir.

Çizelge 5.5. Gözenekli perde yapısı konfigürasyonları

Deney No	Perde Parçası		
	Parça 1	Parça 2	Parça 3
1	Geçirimsiz	Geçirimsiz	Geçirimsiz
2	%37	%41	%45
3	Geçirimsiz	%37	%41
4	Geçirimsiz	%41	%45
5	Geçirimsiz	%37	%45

Enjeksiyon süresi ve TKS'ye ilişkin bilgileri Çizelge 5.1'de verilen deney koşullarında kış aylarında Eskişehir Büyükşehir Belediyesi Klor Temas Tankı'nda dezenfekte edilen ham su debisinin model ölçөгindeki değeri üzerinde çalışılmıştır. Deney 1'de perde tasarımı geçirimsiz olarak tasarlanmış ve plastik parçalar perde bölümlerine yerleştirilmiştir. Deney 2'de perde akım yönünde porozitesi artacak şekilde tasarlanmış ve içerisine bu gözenekli ortamın oluşturulması için gerekli olan zemin malzemesi yerleştirilmiştir. Ardından ilk parçada geçirimsiz yapı oluşturularak geri kalan parçalarda gözenekli ortam oluşturulmuştur. Daha önce gerçekleştirilen deneye benzer şekilde bu deneyde de girişten enjekte edilen izleyici konsantrasyonu tankın dokuzuncu odası çıkışında kaydedilerek KSD ve kümülatif KSD eğrileri elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara ait KSD ve kümülatif KSD eğrileri Şekil 5.7'de verilmiştir.



Şekil 5.7. Gözenekli perde tasarımı (a) KSD ve (b) kümülatif KSD eğrileri.

Deney 1’de perde tasarımının tamamen geçirimsiz olduğu durumda KSD eğrisinde en düşük pik değer görülmüş ve 0.6 θ boyutsuz zamanında bu pik meydana gelmiştir. Geliştirilen gözenekli perde tasarımı sonuçlarının tamamı incelendiğinde ilk pik değerinin arttığı ve konumunun grafiğin sağına doğru ilerlediği görülmüştür. Bu durum daha önce akım deneyleri sonucunda elde edilen yapıyı destekler niteliktedir. Akım yapısı gözenekli perde kullanılması durumunda piston akışına yaklaşmakta ve izleyici ile ham su temas tankı içerisinde daha uzun süre temas etmektedir. Aynı zamanda ilk pik değerinin aniden artması izleyicinin temas tankı odaları içerisinde ölü bölgelerde kalmadan ilerlediğini ve çıkış bölümüne yaklaştığında konsantrasyon değerinin aniden yükseldiğini işaret etmektedir.

KSD eğrisinin kümülatif olarak zamana göre değişiminin çizdirildiği kümülatif KSD eğrisinden elde edilen sonuçlar ile hesaplanan hidrolik ve karışım verimi indeks değerleri Çizelge 5.6’da verilmiştir.

Çizelge 5.6. Gözenekli perde tasarımlarına ait hidrolik ve karışım verimi indeks değerleri.

Deney No	θ_{10}	Mo	σ	AD
#1	0.418	2.61	0.033	1.103
#2	0.531	1.891	0.0069	1.091
#3	0.476	2.202	0.0166	1.172
#4	0.512	2.029	0.0107	1.193
#5	0.463	2.114	0.0146	1.124
#2 ile iyileşme	27.033	27.558	79.092	-1.08
#4 ile iyileşme	22.489	22.261	67.576	8.159

Eskişehir Büyükşehir Belediyesi Klor Temas Tankı içerisinde 45 mm kalınlığında geçirimsiz perde kullanılması sonucunda elde edilen indeks değerleri değerlendirildiğinde:

- Temas tank “perde faktörü”ne göre zayıf - ortalama sınıfında bir temas tankıdır.
- Mo indeksi değeri 2.61 olan temas tankının karışım verimi oldukça düşüktür.
- Dispersiyon indeksi açısından değerlendirme yapıldığında 0.033 değeri ideal bir karışım için önerilen 0 değerinden uzaktır.
- AD indeksi açısından değerlendirildiğinde ise 1.172 değerine sahip temas tankı ortalama sınıfında bir temas tankı olarak tanımlanmaktadır.

Geliştirilen gözenekli perde tasarımları ile tüm tasarımlar tankın “perde faktörü”, Mo, dispersiyon ve AD indeksleri açısından iyileşme gösterdiğini kanıtlamaktadır. Perde faktörü açısından temas tankının sınıfını değiştiren tasarım 2 ve 4 değerlendirildiğinde:

- İki perde tasarımı da temas tank “perde faktörü”ne göre tankı ortalama – iyi sınıfına yükseltmiştir.
- Mo indeksi gözenekli perde tasarımının tank içerisinde kullanılması durumunda hidrolik verimi yükselterek 2 değerine yaklaştırmıştır.
- Dispersiyon indeksi değeri gözenekli perde tasarımı kullanılması halinde 0’a yaklaşılarak tank içerisinde yüksek karışımın meydana gelmesini sağlamıştır.
- AD indeksi ise mevcut indekslere göre daha farklı bir akım yapısı önermektedir. Bu indeks literatürde önerilen piston akışına yaklaşmak

düşüncesine uymamakta aksine tank içerisinde aktif bölgeleri yüksek bir akım yapısı oluşmasını önermektedir. Tank içerisinde gözenekli perde yapısı kullanılması ise akım yapısını giderek piston akışına yaklaştırmıştır. Bu nedenle geçirimsiz perde kullanılması halinde elde edilen AD indeksi sınıflanması değişmemiş ve tank “ortalama” sınıfında bulunmuştur.

Deneysel olarak ADH ile gerçekleştirilen hız ve türbülans ölçümleri ve farklı perde tasarımları için yapılan bozunmasız izleyici deneyleri sonucunda sayısal benzetim çalışmaları doktora tezi kapsamında bulunmaktadır. 10 mm geçirimsiz perde tasarımı sayısal benzetimle modellenmiş ve deneysel sonuçlar ile karşılaştırılarak doğrulanmıştır. Ardından bu perde tasarımı kullanılması halinde gerçek Eskişehir Büyükşehir Belediyesi Klor Temas Tankı gerçek boyutlarında incelenmiştir. Aynı koşullar altında ÜYP ve GP tarımları tank içerisine yerleştirilmiş ve tankın hidrolik, karışım ve dezenfeksiyon verimi araştırılmıştır.

GP tasarımından elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde akım yapısı ve izleyici ilerleyişinin daha detaylı olarak incelenebilmesi adına geçirimsiz perde tasarımı ve tamamı gözenekli ortam ile oluşturulan (Deney 2) perde tasarımı sayısal benzetimler ile araştırılmıştır. Elde edilen bu sonuçlar Bölüm 5.2.3’te paylaşılmıştır.

5.2. Sayısal Sonuçlar

Doktora tezi kapsamında gerçekleştirilen sayısal benzetimler Eskişehir Büyükşehir Belediyesi Klor Temas Tankı ve literatürde boyutları ile dezenfekte ettiği ham suya ilişkin bilgileri verilen bir ozon temas tankı üzerinedir. Eskişehir Büyükşehir Belediyesi Klor Temas Tankı içerisindeki akım yapısı incelenmeden önce hesaplama açısından bağımsız çözümün elde edilebilmesi için beş farklı hesaplama ağı modellenerek sayısal benzetimlerde kullanılacak hesaplama ağı seçilmiştir. Ardından; tank içerisinde model ölçeğinde 10 mm kalınlığında polikarbon perde kullanılması halinde temas tankının yaz aylarında dezenfekte ettiği ham su debisi üzerinde akım ve bozunmasız izleyici sayısal benzetimleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Bölüm 5.2.2’de verilen deneysel sonuçlarla karşılaştırılarak sayısal model doğrulanmıştır. Sayısal model doğrulaması yapılan akım ve bozunmasız izleyici çözümleri kullanılarak temas tankı gerçek boyutlarında kış, bahar ve yaz aylarında dezenfekte ettiği ham su debisi kullanılarak incelenmiştir. Bu değerlendirmeler tank içerisindeki akım yapısını, hidrolik, karışım ve dezenfeksiyon verimi indekslerini ve tankın perde faktörüne göre sınıflandırılmasını içermektedir. Klasik perde tasarımına sahip gerçek boyutlarda değerlendirmesi yapılan Eskişehir Büyükşehir Belediyesi Klor Temas Tankı içerisindeki ÜYP ve GP tasarımlarının tank içerisinde bulunması halinde, yaz aylarında dezenfekte edilen ham su debisi kullanılarak incelenmiştir. Elde edilen akım yapısı, bozunmasız izleyici analizi, hidrolik, karışım ve dezenfeksiyon verimi sonuçları klasik perde tasarımı sonuçları ile karşılaştırılarak tank üzerinde gerçekleştirilen verim artışı değerlendirilmiştir.

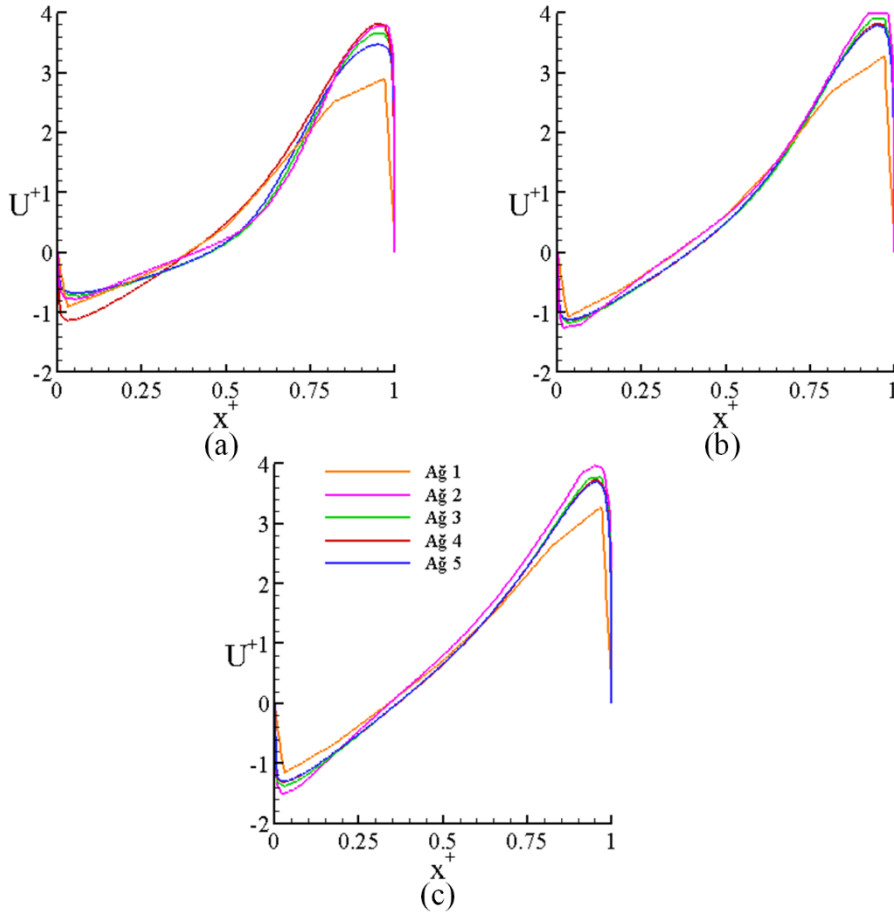
Eskişehir Büyükşehir Belediyesi Klor Temas Tankı içerisinde model ölçeğinde 45 mm geçirimsiz perde kullanılması durumunda hesaplama açısından bağımsız çözüm elde edilebilen ağ yapısı kullanılarak; tankın kış aylarında dezenfekte edilen ham su debisi için sayısal benzetimlerle araştırılmıştır. Bölüm 5.2.2’de deneysel olarak elde edilen hız ölçümleri ile bu perde yapısı kullanılması durumunda elde edilen sayısal benzetim sonuçları karşılaştırılarak model doğrulaması yapılmıştır. Ardından, bozunmasız izleyici analizi sayısal benzetimleriyle; deneysel olarak elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmış ve

çözücü doğrulanmıştır. Sayısal benzetim ve deneysel sonuçlar ile Eskişehir elde edilen hız ölçümleri Klor Temas Tankı'nın içerisinde 45 mm geçirimsiz perde tasarımı kullanılması durumunda hidrolik ve karışım verimi indeksleri hesaplanmıştır. Ardından, üç parçalı olarak tasarlanan beş farklı tasarıma ait deneysel sonuçlar arasından en yüksek performans artışını gösteren perde yapısı tank içerisine yerleştirilmiştir. Sayısal benzetimleri Darcy - Forcheimmer ilişkisini kullanılarak yapılan tank içerisindeki akım yapısı ve bozunmasız izleyici analizleri gerçekleştirilmiştir. Bölüm 4.1'de deneysel hız ölçümü sonuçları ve bozunmasız izleyici konsantrasyonu okumasından elde edilen sonuçlar ile elde edilen sayısal benzetim sonuçları karşılaştırılmıştır. Eskişehir Büyükşehir Belediyesi Klor Temas Tankı içerisinde gözenekli perde yapısı kullanılması ile birlikte tankın hidrolik ve karışım verimi artışı sayısal ve deneysel sonuçlar kullanılarak değerlendirilmiştir.

Son olarak literatürde çalışılmış bir ozon temas tankı üzerinde akım, bozunmasız izleyici ve ozon defenksiyon sayısal benzetimleri gerçekleştirilmiştir. Burada geliştirilen ozon dezenfeksiyon modeli altı farklı taşınım – yayılım denklemini içeren gelişmiş bir modeldir. Tank içerisine ÜYP ve GP tasarımı kullanılarak tankın hidrolik, karışım ve dezenfeksiyon verimi artışı sayısal sonuçlar kullanılarak değerlendirilmiştir.

5.2.1. Hesaplama açısından bağımsız çözümün elde edilmesi, başlangıç ve sınır koşulları

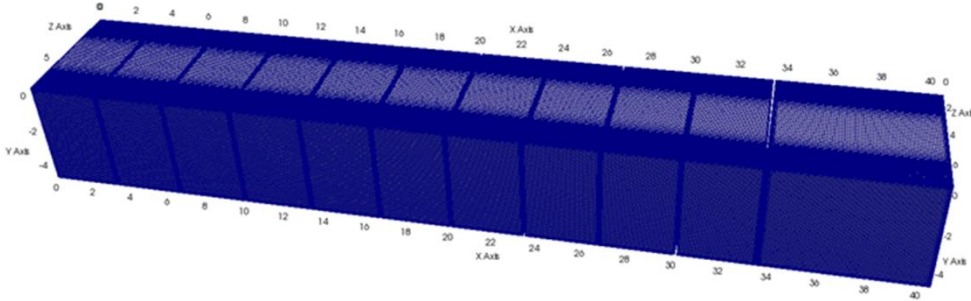
Eskişehir Büyükşehir Belediyesi Klor Temas Tankı'nın yaz aylarında dezenfekte ham su debisi üzerinde RONS simülasyonları ile 5 hesaplama ağı üzerinde sayısal benzetimler gerçekleştirilmiştir. Tankın altıncı odasında farklı kesitlerde alınan hız profilleri Şekil 5.8'de verilmiştir. Elde edilen sonuçlar hız büyüklükleri için tank içerisinde piston akışı olduğu varsayımı yapıldığı takdirde hesaplanan U_{piston} hızına, boyut büyüklükleri ise oda genişliğine bölünerek; boyutsuz olarak çizdirilmiştir. Hız profilleri oda genişliğinin %25, %50 ve %75'inde ve tank yüksekliğinin %80'inde oluşan hızlar için çizdirilmiştir.



Şekil 5.8. Hesaplama ağından bağımsız çözümün araştırılması için hız profilleri: (a) $z^+=0.25$, (b) $z^+=0.50$, (c) $z^+=0.75$.

Farklı hücre sayısına sahip hesaplama ağı kullanılması sonucunda elde edilen hız profilleri incelendiğinde Hesaplama Ağı 4 ve Hesaplama Ağı 5 ile elde edilen sonuçların birbirine yakın olduğu görülmüştür. Hesaplama Ağı 4 için elde edilen sonuçlar üzerinde boyutsuz cidar yüksekliği y^+ değerinin 11.6'dan küçük olduğu belirlenmiştir. Böylece RONS simülasyonlarında bu hesaplama ağı kullanılması durumunda hız ve türbülansa ait çözümlerin gerçekleştirilebileceği sonucuna varılmıştır. 9.72 milyon hücreye sahip, OpenFOAM içerisinde bulunan *blockMesh* altyapısı kullanılarak derecelendirmeli olarak geliştirilmiştir (Şekil 5.9) Özellikle GP tasarımının tank içerisine yerleştirileceği bölümlerde ağ yapısı sıklaştırılarak çözümün hassasiyeti artırılmıştır. Geliştirilen bu ağ (Şekil 5.9) kullanılarak model ölçeğinde ve gerçek boyutlarda değerlendirmeler KP tasarımı, ÜYP tasarımı ve GP tasarımı kullanılması halinde akım, bozunmasız izleyici ve

birinci ve ikinci mertebeden klor dezenfeksiyon modelleri sayısal benzetimleri ile değerlendirilmiştir.



Şekil 5.9. Gerçek boyutlarda temas tankına ait hesaplama ağı.

Kullanılan bu hesaplama ağı katı – sıvı etkileşiminin yüksek olduğu perde bölümlerinde sıklaştırılarak buradaki büyük hız ve türbülans değişimlerini gerçeğe yakın bir şekilde çözebilecek şekilde tasarlanmıştır. Yine akım yapısının kesit alanının daralması ile birlikte oldukça fazla değiştiği oda giriş ve çıkış bölgelerinde ağ yapısında yapılan sıklaştırmalar çözücünden elde edilen sonuçların doğruluğunu artırmıştır. Akıma ait sayısal benzetimlerde kullanılan sınır koşulları Çizelge 5.7’de verilmiştir.

Çizelge 5.7. Sınır koşulları

Değişken	Konum	Sınır koşulu
U, k, nut, ϵ	giriş	<i>FixedValue</i>
	çıkış	<i>inletOutlet</i>
	serbest yüzey	<i>symmetryPlane</i>
P	giriş	<i>zeroGradient</i>
	çıkış	<i>fixedValue</i>
	serbest yüzey	<i>symmetryPlane</i>
	duvarlar	<i>zeroGradient</i>
U	duvarlar	<i>fixedValue</i>
K		<i>kqRWallFunction</i>
Nut		<i>nutkWallFunction</i>
E		<i>epsilonWallFunction</i>

Sayısal benzetimlerde girişten model ölçeğinde ya da gerçek boyutlarda hız, k, ϵ ve nut büyüklükleri *fixedValue* sınır koşulu ile verilmiştir. Hız, temas tankı içerisinde dezenfekte edilen ham su debisinin model ölçeğinde ya da gerçek boyutlardaki değerinin

giriş alanına bölünerek hesaplanmasıyla belirlenmiştir. Çıkış bölümünde hız, k , ϵ ve ν büyüklükleri *inletOutlet* sınır koşulu ile tanımlanmıştır. OpenFOAM içerisinde sıklıkla kullanılan bu sınır koşulu suyun tankı terk etmesi için kullanılmıştır. Temas tankı serbest yüzeyi tüm değişkenler için *symmetryPlane* sınır koşulu ile çözülmüştür. Bu sınır koşulu serbest yüzey etkilerini ihmal eden bir sınır koşulu olması sebebiyle temas tankı çözümünde kullanılması uygun bir sınır koşuludur. Kapalı bir su yapısı olan temas tankı içerisinde serbest yüzey etkileri oldukça düşüktür. Basınç değeri p 'nin çözümünde girişte ve duvarlarda *zeroGradient* sınır koşulu kullanılmıştır. Bu sınır koşulu o bölgede değişimin 0 olduğunu çözücüye ifade eden bir sınır koşuludur. Temas tankı perde ve dış yüzeyi *blockMesh* ile çözümde duvar olarak tanımlanmıştır. Sayısal benzetimler esnasında hız için duvarlarda *fixedValue* sınır koşulu kullanılarak burada değeri 0 olarak girilmiştir. k , ϵ ve ν değişkenleri için ise OpenFOAM içerisinde bulunan uygun sınır koşulları sırasıyla; *kqRWallFunction*, *nutkWallFunction*, *epsilonWallFunction* olarak belirlenmiştir.

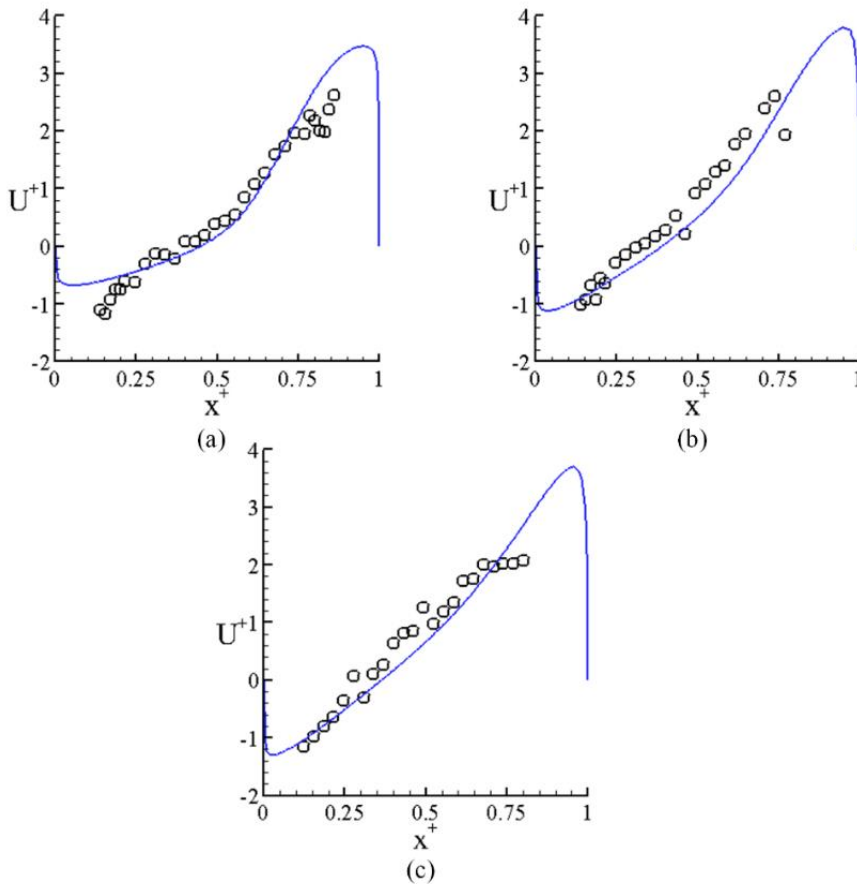
Model ölçeğinde ve gerçek boyutlarda sayısal benzetimler yapılırken çözümü elde edilecek değişkenlere ait başlangıç koşulları Çizelge 5.8'de verilmiştir. Bu başlangıç koşulları Denklem 3.12 ve 3.13'te verildiği gibi hesaplanarak hesaplama ağı içerisinde tüm bölgelerde tanımlanmıştır.

Çizelge 5.8. Başlangıç koşulları

Ölçek	Mevsim	Debi (m ³ /s)	Su Yüksekliği (m)	k (m ² /s ²)	ϵ (m ² /s ²)
Model Ölçeği	Kış	0.00293	0.485	0.0000196	0.00000143
Gerçek Boyut	Yaz	1.85	5.25	0.000467	0.000166
	Bahar	1.39	5.05	0.000335	0.0001
	Kış	0.93	4.85	0.000196	0.00004509

5.2.2. Akım sonuçları

Eskişehir Büyükşehir Belediyesi Klor Temas Tankı içerisindeki akım yapısının farklı perde tasarımları kullanılması durumundaki değişimi RONS simülasyonları ile belirlenmiştir. Zamanla değişmeyen akım koşullarında ulaştığında sayısal benzetim otomatik olarak durmuş ve bu zaman adımıdaki sonuçlar değerlendirilmiştir. Şekil 5.10'da model ölçeğinde temas tankının yaz aylarında dezenfekte ettiği ham su debisi üzerinde gerçekleştirilen sayısal benzetim sonuçları verilmiştir. Kalınlığı 10 mm olan geçirimsiz perdeler kullanılması durumunda tankın altıncı odasında genişliğin %25'i, %50'si ve %75'inde elde edilen deneysel sonuçlarla sayısal benzetim sonuçları karşılaştırılarak model doğrulaması yapılmıştır.

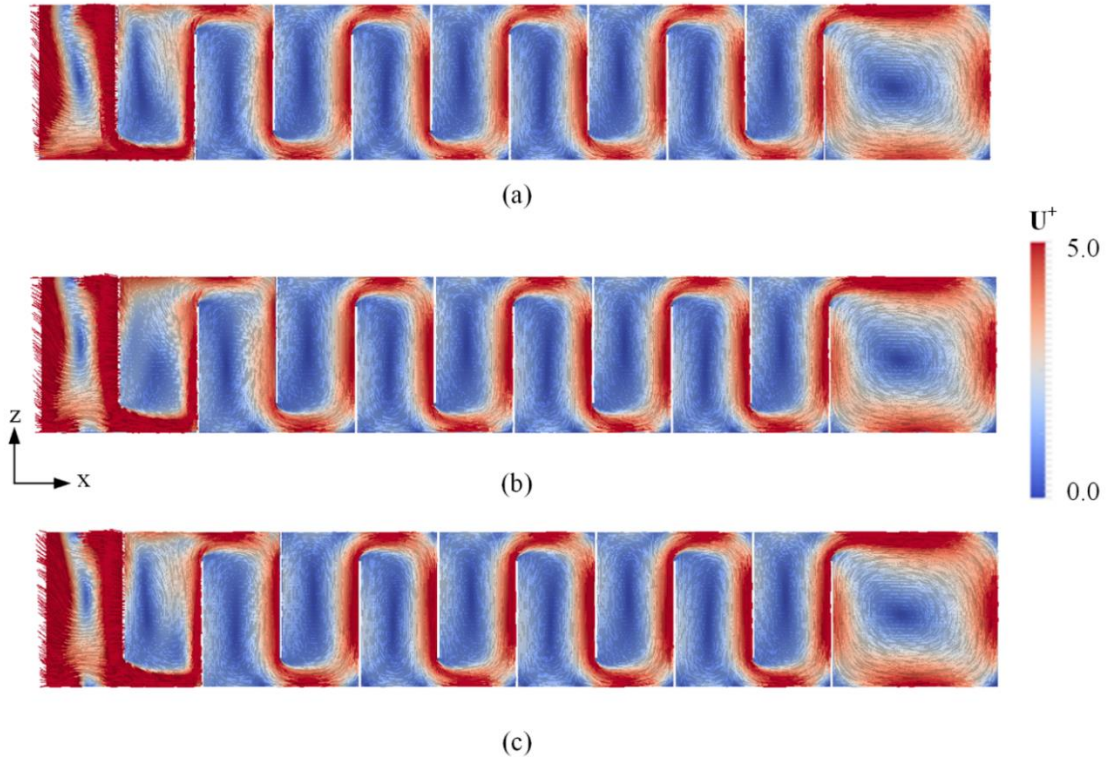


Şekil 5.10. Farklı kesitlerde 10 mm klasik tasarımlı perde kullanılması durumunda deneysel ve sayısal benzetim hız profillerinin karşılaştırılması: (a) $z^+=0.25$, (b) $z^+=0.50$, (c) $z^+=0.75$.

Şekil 5.10’da görülen semboller deneysel sonuçları dağılımlar ise sayısal benzetim sonuçlarını göstermektedir. Şekilde görüldüğü üzere tank içerisindeki perdelere yaklaştıkça sayısal benzetim sonuçlarından elde edilen hız büyüklükleri $4U^+$ mertebelerine ulaşmaktadır. Bu durum tank içerisinde katı – akışkan etkileşiminin yüksek olduğu bölümlerde hız büyüklüklerinin U_{piston} hızından oldukça büyük olduğunu göstermektedir. Tasarım aşamasında boyutlandırılması tank içerisinde piston akışı olduğu varsayımı yapılarak gerçekleştirilen temas tanklarının içerisinde bu akım yapısından oldukça farklı bir akım yapısı meydana geldiği görülmektedir. Odaya giriş yapan ham su başlangıç duvarına yakın bölümlerde negatif hızlar meydana getirmektedir. Ardından oda genişliğinin yaklaşık olarak %30’unda bir durağan bölge oluşmaktadır. Odanın çıkışına yaklaştıkça ham suyun hızı giderek artmakta ve jet akışı meydana gelmektedir. Bu jet akışı tank içerisinde geniş bir çevrinti bölgesi meydana getirmektedir. Ardından oda çıkışında kesit alanının daralmasıyla birlikte ham su odayı yüksek hızlarla terk etmektedir.

Deneysel sonuçlar ile sayısal benzetim sonuçları karşılaştırıldığında tankın altıncı odasında belirlenen deneysel hız ölçümleri ile aynı kesitlerde çıkarılan sayısal benzetim hız profillerinin birbirleriyle yüksek uyum içerisinde olduğu görülmektedir. Akıma ait sayısal benzetimlerde kullanılan modelin doğrulanması elde edilen bu sonuçlar ile gerçekleştirilmiştir. Bu adımdan sonra Eskişehir Klor Temas Tankı’nın gerçek boyutlarında ve içerisinde farklı perde tasarımları kullanılarak kış, bahar ve yaz aylarında dezenfekte ettiği debiler üzerinden gerçekleştirilecek sayısal benzetimlerinde yine aynı sayısal model kullanılacaktır.

Gerçek boyutlarda Eskişehir Büyükşehir Belediyesi Klor Temas Tankı içerisinde oluşan akım yapısı kış, bahar ve yaz aylarında Şekil 5.11’de çizilen hız vektörleri ile değerlendirilmiştir. Tankın içerisindeki su yüksekliğinin ortasından alınan kesitlerde çizdirilen hız vektörleri U_{piston} değerine göre boyutsuzlaştırılarak verilmiştir.

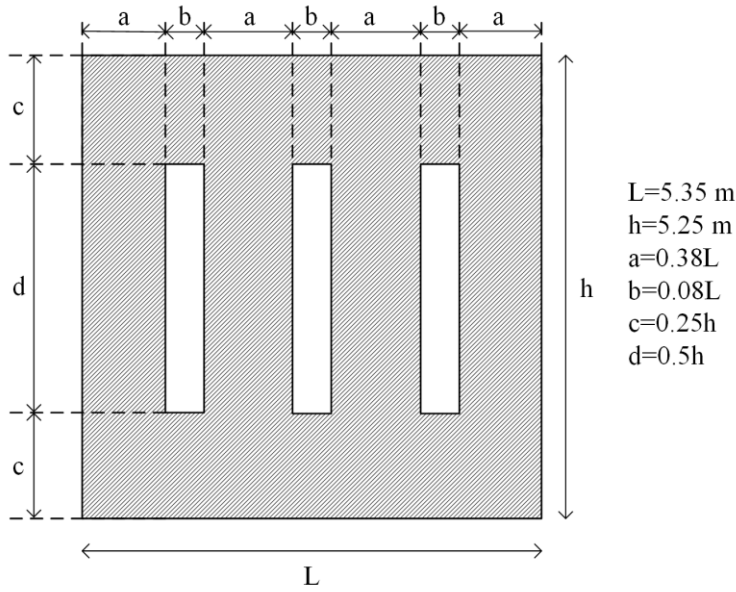


Şekil 5.11. Yatay düzlemde boyutsuz hız vektörleri: (a) yaz, (b) bahar, (c) kış.

Şekil 5.11’de görüldüğü üzere tank içerisinde oluşan akım yapıları mevsimlerden bağımsız olarak benzer bir yapı meydana getirmektedir. Tankın ilk odasına giriş yapan ham su perdeye çarparak oda içerisinde yüksek hızların meydana gelmesine sebep olmaktadır. Kesit alanı daralmasından ve oda içerisinde oluşan akım yapısından dolayı oluşan jet en yüksek akış hızıyla ikinci odaya giriş yapmakta ve burada büyük bir çevrinti bölgesi meydana getirmektedir. Üçüncü oda ve sonrasında ise oluşan akım yapısı tank çıkışına kadar birbirine benzer bir formdadır. Jet akışı durağan haldeki ham suyu negatif yönde harekete geçirerek oda içerisinde bir çevrinti bölgesi meydana getirmektedir. Katı – akışkan etkileşimi ile birlikte oda çıkışına yaklaştıkça türbülans etkileri büyümekte ve bu bölümde bir jet akışı oluşmaktadır. Ardından odayı terk eden ham su jet akışını takip ederek ilerlemekte ve oda içerisinde istenilenden farklı bir akım yapısı görülmektedir.

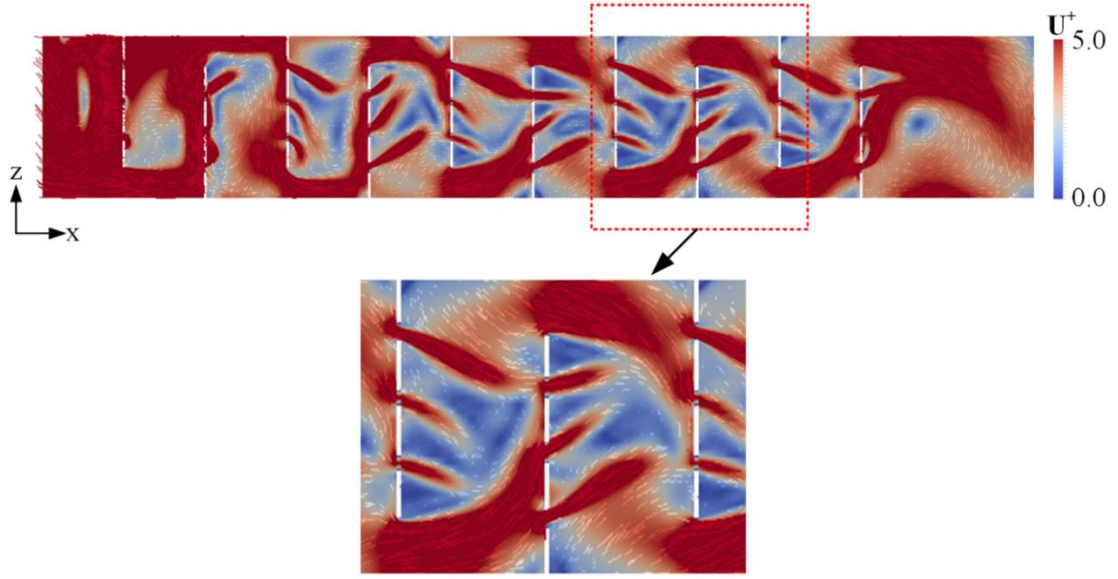
Eskişehir Büyükşehir Belediyesi Klor Temas Tankı içerisinde perde yapısı patenti alınmış ÜYP tasarımına dönüştürülerek yaz aylarında dezenfekte ettiği ham su debisi

üzerinde RONS simülasyonları ile sayısal benzetimlerle araştırılmıştır. Perde tasarımına ilişkin boyutlar Şekil 5.12’de verilmiştir.



Şekil 5.12. Üç yarıkli perde tasarımı

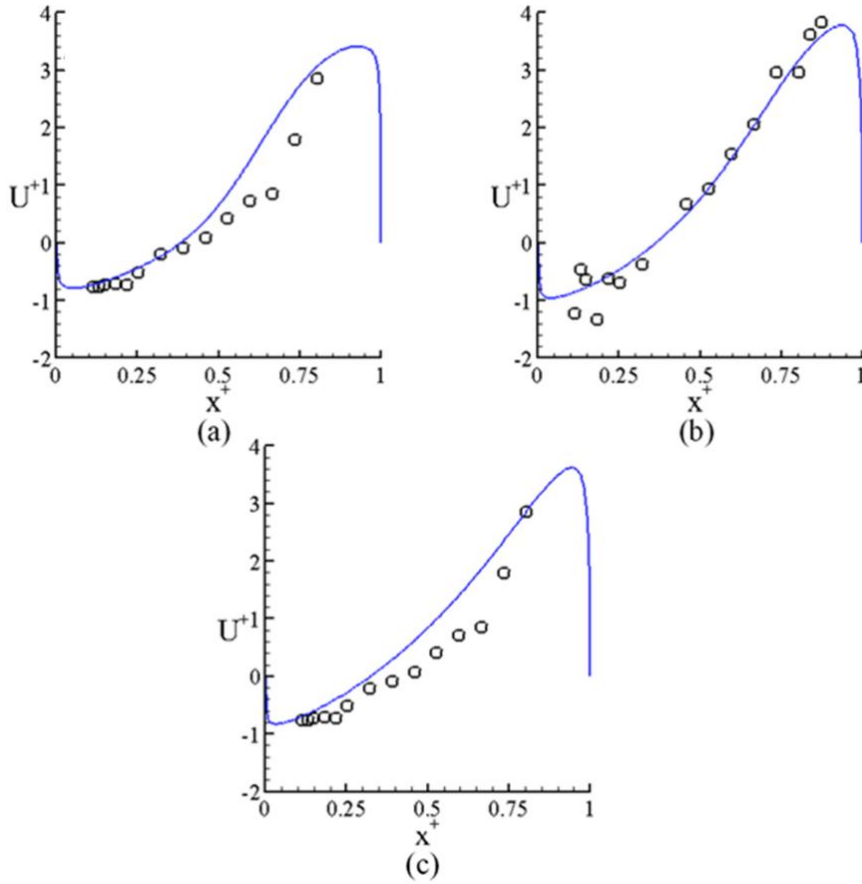
Patentli ÜYP tasarımının tank içerisinde oluşturduğu akım yapısı ile U.S. EPA tarafından önerilen piston akışı yapısından oldukça farklı bir yapı oluşturmaktadır. Katı yüzey alanını düşürerek enerji ihtiyacını azaltmakla birlikte jet akışının momentumunu sönümleyerek temas tankı odaları içerisinde yüksek karışım sağlamaktadır. Sayısal benzetim sonuçları kullanılarak tank kesitinin ortasından alınan kesitte hız vektörleri Şekil 5.13’te verilmiştir.



Şekil 5.13. Üç yarıklı perde (ÜYP) tasarımı kullanılması durumunda yatay düzlemde hız vektörleri.

ÜYP tasarımı kullanılması durumunda derinliğin %50'sinde yatay düzlemde çizdirilen hız vektörleri klasik perde tasarımı kullanılması durumuna göre büyük farklılıklar göstermektedir. Bu perde tasarımı ile birlikte jet akışının momentumu sönümlenmiş ve tankın odaları arasında ham su geçişi sağlanmıştır. Bu geçiş sonucunda durağan haldeki ham su oda içerisinde karışarak tankın hidrolik verimini artırmaya yönelik bir akım yapısı oluşturmuştur. Klasik perde tasarımı kullanılması halinde meydana gelen ölü bölgeler ÜYP tasarımı ile birlikte aktif bölgelere dönüşmüş ve tankın hidrolik, karışım ve dezenfeksiyon verimlerinin artmasına yönelik bir akım yapısı meydana gelmiştir.

Eskişehir Klor Temas Tankı 1:10 ölçekli modeli içerisinde 45 mm kalınlığında geçirimsiz perde kullanılması durumunda tankın altıncı odasında çizdirilen sayısal benzetim hız profili sonuçları Şekil 5.14'te verilmiştir.

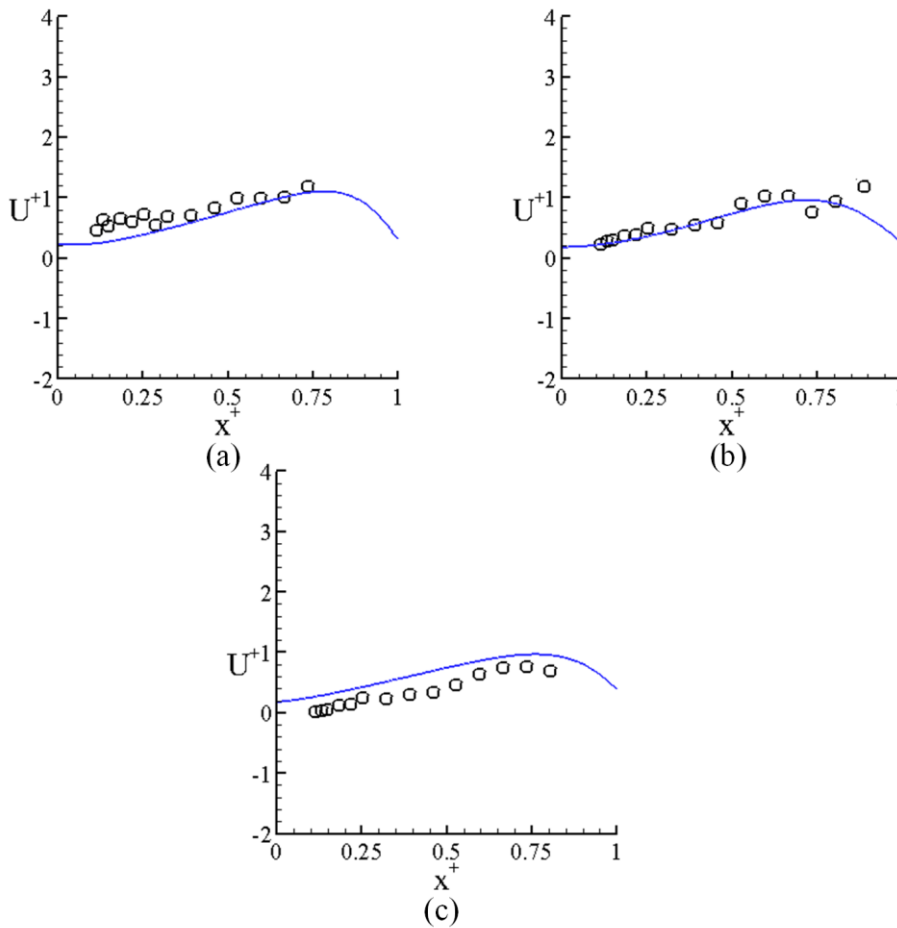


Şekil 5.14. Farklı kesitlerde 45 mm klasik tasarımlı perde kullanılması durumunda deneysel ve sayısal benzetim hız profillerinin karşılaştırılması: (a) $z^+=0.25$, (b) $z^+=0.50$, (c) $z^+=0.75$.

Perde kalınlığının 45 mm olması durumunda Eskişehir Büyükşehir Belediyesi Klor Temas Tankı'nın kış aylarında dezenfekte ettiği ham su debisi sayısal olarak benzetildiğinde tankın altıncı odasında alınan hız profilleri 10 mm kalınlığında perde kullanılması durumunda oluşan akım yapısına benzer bir yapı meydana getirmektedir. Giriş perdesine yakın bölgelerde negatif hızların gözlemlendiği, oda genişliğinin yaklaşık %50'sini kaplayan bir çevrinti bölgesi içeren ve oda çıkışına yaklaştıkça katı - akışkan etkileşimi ve kesit daralması etkileriyle jet akışına sahip bu akım yapısı hidrolik verim açısından temas tankının oldukça düşük bir seviyede olduğunu göstermektedir. Düşük hidrolik verime sahip temas tankı tasarımı, gerçekleştirilecek bozunmasız izleyici sayısal benzetimleri sonucunda hesaplanacak indeks değerleri kullanılarak kanıtlanacaktır.

Model ölçeğinde kış aylarında dezenfekte edilen ham su debisi kullanılarak elde edilen deneysel sonuçlar sayısal benzetim sonuçları ile yüksek uyum içerisindedir. 10 mm kalınlığında perde kullanılması durumunda doğrulanmış olan sayısal model bu sonuçlar ışığında ikinci kez doğrulanmıştır.

Bozunmasız izleyici deneyleri sonucunda en yüksek perde faktörü sonucunu veren, akım yönünde porozitenin arttığı, üç parçalı GP tasarımına ait sayısal benzetim sonuçlarından elde edilen hız profilleri Şekil 5.15'te verilmiştir.



Şekil 5.15. Üç parçalı GP kullanılması durumunda deneysel ve sayısal benzetim hız profillerinin karşılaştırılması: (a) $z^+=0.25$, (b) $z^+=0.50$, (c) $z^+=0.75$.

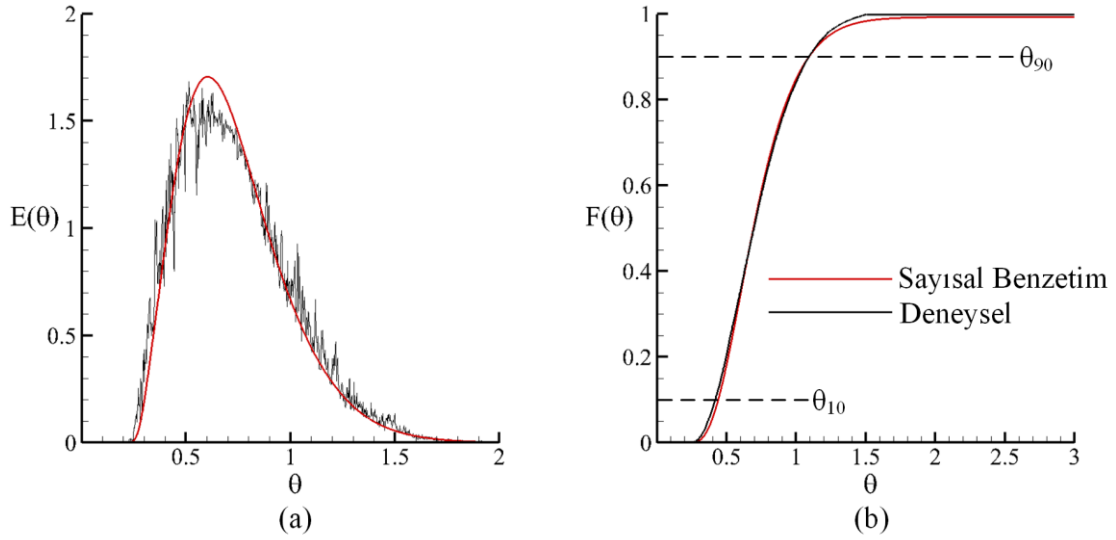
Akım yönünde porozitenin artırılması ile oluşan üç parçalı GP tasarımı sayısal benzetimleri RONS simülasyonları ile gözenekli yapının Darcy – Forcheimmer ilişkisi

kullanılarak modellenmesi ile gerçekleştirilmiştir. Klor temas tankları içerisinde piston akışı oluşması tankın perde faktörünün, hidrolik, karışım ve dezenfeksiyon veriminin yüksek olduğunu ifade etmektedir. Şekil 5.15'te görüldüğü üzere tank içerisinde kullanılan üç parçalı GP tasarımı ile istenilen piston akışına benzer bir akım yapısı meydana gelmektedir. Oda başlangıç duvarına yakın bölgede KP tasarımı kullanılması halinde görülen negatif hızlar yok edilmiş; odanın büyük bir kısmında görülen çevrinti bölgesi oluşmadan oda çıkış bölgesine yaklaşan ham su, çıkışa yakın bölümde de bir jet akışı meydana getirmeden ilerlemektedir. Kullanılan bu perde tasarımı ile tankın hidrolik ve karışım verimlerinin artacağı bozunmasız izleyici sayısal benzetimleri ile kanıtlanacaktır.

5.2.3. Bozunmasız izleyici sonuçları

Zamanla değişmeyen akım koşullarına ulaşmış sayısal benzetim sonuçları üzerinde taşınım – yayılım denklemlerinin çözülmesi ile bozunmasız izleyici simülasyonları gerçekleştirilebilmektedir. Model ölçeğinde gerçekleştirilen deneysel sonuçlar kullanılarak sayısal benzetim modeli doğrulandıktan sonra gelişmiş analizler ve temas tankının gerçek boyutlarında hidrolik ve karışım verimi değerlendirilmesi yapılabilmektedir.

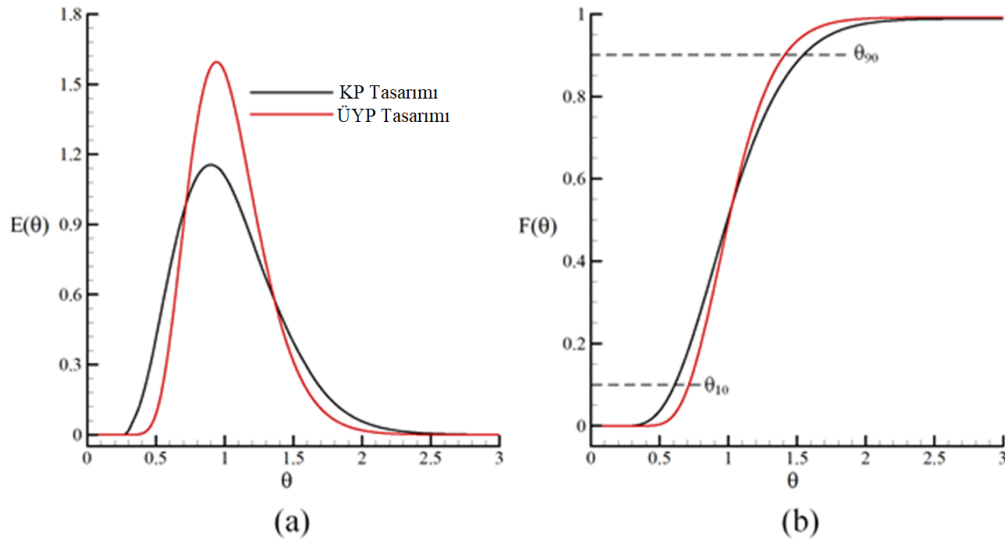
Şekil 5.16'da temas tankı içerisinde 10 mm kalınlığında KP tasarımının kullanılması durumunda 5 saniyelik bozunmasız izleyici enjeksiyonu sonucunda tankın dokuzuncu odası çıkışında hesaplanan izleyici konsantrasyonundan elde edilen KSD ve kümülatif KSD eğrileri deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Deneysel sonuçlar ile sayısal benzetim sonuçları arasındaki yüksek uyum kullanılan sayısal modelin doğrulanmasını sağlamıştır.



Şekil 5.16. 10 mm kalınlığında KP tasarımının kullanılması durumunda deneysel ve sayısal benzetim (a) KSD ve (b) kümülatif KSD eğrileri.

Eskişehir Büyükşehir Belediyesi Klor Temas Tankı'nın gerçek boyutlarında sayısal benzetimleri kış, bahar ve yaz aylarında değerlendirildiğinde akım yapıları açısından büyük farklar görülmemiştir. Bu nedenle tankın perde tasarımı üzerinde yapılacak değişiklikler tank içerisinde en fazla dezenfeksiyonun gerçekleştiği yaz ayı ham su debisi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

ÜYP tasarımı ve KP tasarımının tank içerisine yerleştirilmesi sonucu meydana gelen KSD ve kümülatif KSD eğrileri Şekil 5.17'de verilmiştir. Akım yapısında ölü bölgeleri aktif bölgelere dönüştüren ÜYP tasarımı tank içerisinde oluşan jet akışını yok ettiğinden izleyici ile ham suyun daha uzun süre etkileşim içinde kalmasını sağlamıştır.



Şekil 5.17. 10 mm kalınlığında KP tasarımı ve ÜYP tasarımı sonuçları: (a) KSD eğrisi, (b) Kümülatif KSD eğrisi.

KSD eğrisindeki pik değerın yükselmesi ve 1 θ değerine yaklaşması bu durumu kanıtlamaktadır. Tanka ait perde faktörü değerini artırdığı ise kümülatif KSD eğrisinde açık bir şekilde görülmektedir. İki tasarıma ait hidrolik ve karışım verimi indeksleri Çizelge 5.9’da verilmiştir.

Çizelge 5.9. KP tasarımı ve ÜYP tasarımı hidrolik ve karışım verimi indeksleri

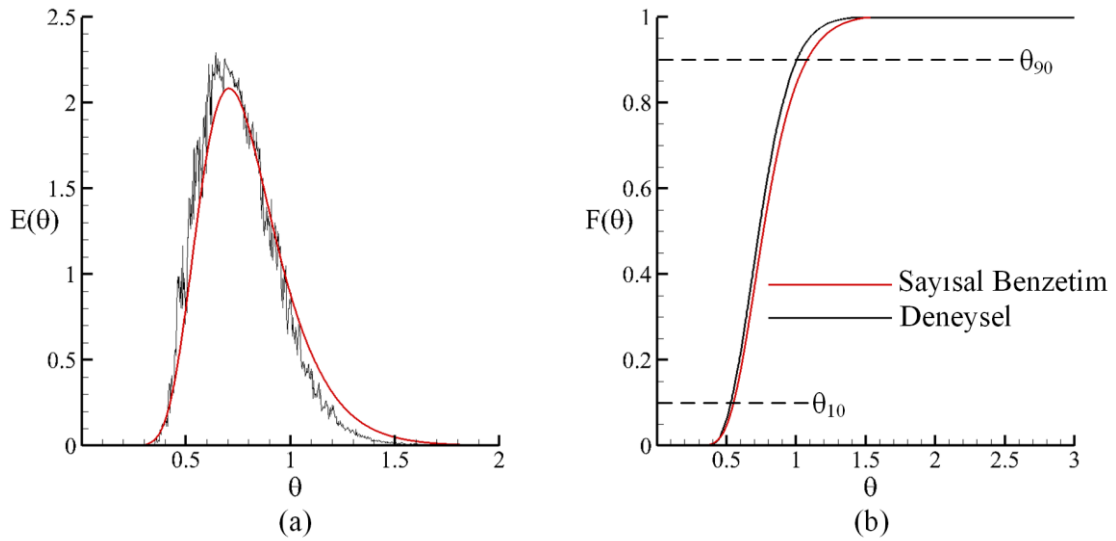
Tasarım	θ_{10}	Mo	σ	AD
KP	0.61	2.53	0.0136	1.392
ÜYP	0.714	1.97	0.0044	1.43
İyileşme (%)	14.56	22.13	67.64	2.65

Tank içerisinde ÜYP tasarımı kullanılması halinde tüm hidrolik ve karışım verimi indeks değerlerinde iyileşme gözlenmiştir.

- Perde faktörü açısından temas tankı sınıf atlayarak “yüksek” hidrolik verime sahip bir tank haline gelmiştir.
- Mo indeksi ÜYP tasarımının tank içerisinde kullanılması durumunda 2 değerine oldukça yaklaşmış ve yine tankın hidrolik verimi %22.13 artmıştır.

- Dispersiyon indeksi ise tank içerisinde meydana gelen aktif bölgesi akım yapısı ile yüksek karışım verimine sahip bir tank olarak değerlendirilmiştir.
- AD indeksi ise hem hidrolik hem de karışım verimi açısından değerlendirme yapıldığında %2.65'lik verimi artışı önemli bir gelişmeyi işaret etmektedir

Tank içerisinde akım yönünde porozitesi artan üç parçalı GP tasarımının kullanılması durumunda sayısal benzetim sonuçları ile deneysel sonuçlar Şekil 5.18'de karşılaştırılmıştır. Sonuçlar arasındaki yüksek uyum kullanılan Darcy – Forcheimmer ilişkisinin yalnızca akım sayısal benzetimlerinde değil aynı zamanda taşınım – yayılım denklemlerinin çözümünde de doğrulanmasını sağlamıştır.



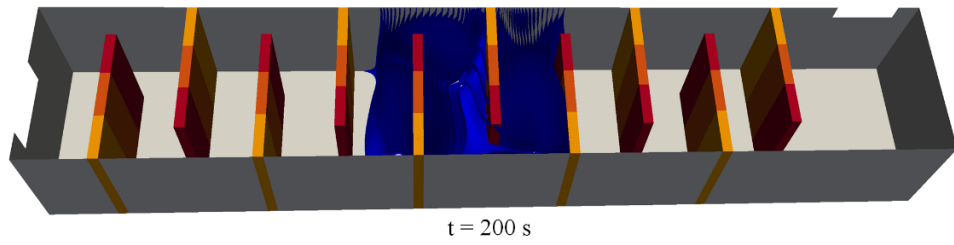
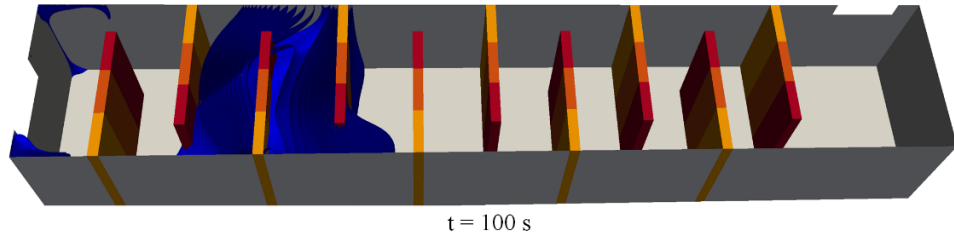
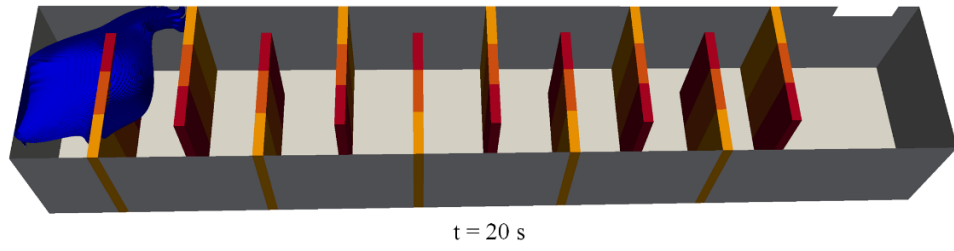
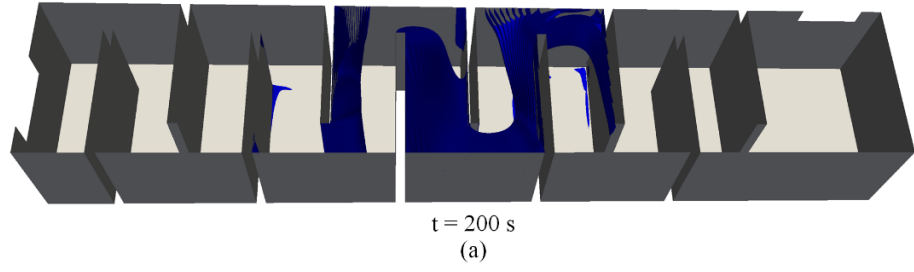
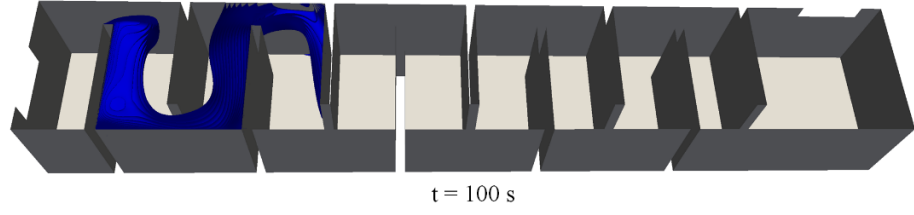
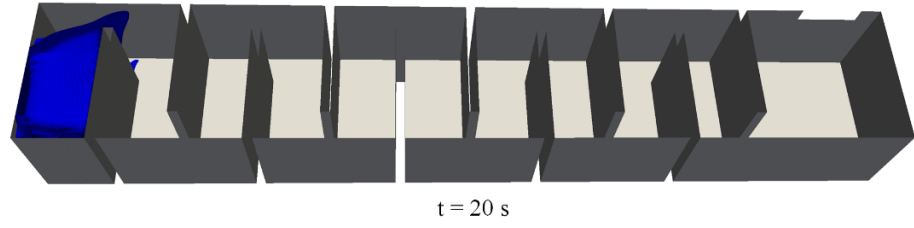
Şekil 5.18. GP tasarımı sayısal benzetim sonuçları ile deneysel sonuçların karşılaştırılması: (a) KSD, (b) kümülatif KSD eğrileri.

Farklı zamanlarda izleyici konsantrasyonun ilerleyişi ile artan hidrolik ve karışım veriminin değerlendirmesi sayısal benzetim sonuçları kullanılarak yapılabilmektedir. Şekil 5.19'da farklı zaman adımlarında izleyici ilerleyişi KP tasarım ve üç parçalı GP tasarımı kullanılması durumları için verilmiştir. $t=20$ s sonuçları incelendiğinde KP tasarımı kullanılması halinde izleyicinin tankın ilk odasındaki çevrinti bölgesi içerisine

kaldığı görülmektedir. Aynı zaman adımda GP tasarımı, geçirirliğinin yüksek olduğu iki ve üçüncü parçalar içerisinde izleyiciyi geçirerek tankın ikinci odasına iletmektedir.

İzleyici ile ham su etkileşimi ilerledikten sonra $t=100$ s'deki sayısal benzetim sonuçları tank içerisinde oluşan farklı akım yapılarını açıkça göstermektedir. KP tasarımı kullanılması durumunda oluşan jet akışını takip eden izleyicinin yoğunluğunun büyük bir kısmı burada bulunmaktadır. GP tasarımı kullanılması durumunda ise izleyici odanın tamamını kaplamış bir şekilde ilerlemektedir. Bu durum hidrolik ve karışım verimi yüksek bir temas tankı oluşturulduğunu göstermenin yanında dezenfeksiyon verimi yüksek bir temas tankı oluşturulduğunu da işaret etmektedir. Ham suyun odanın tamamında dezenfektan ile etkileşim içerisinde olması daha düşük konsantrasyonlarda dezenfektan kullanılarak istenilen dezenfeksiyon veriminin sağlayacağını göstermektedir.

$t=200$ s sonuçları iki farklı perde tasarımı açısından değerlendirildiğinde KP tasarımına sahip temas tankı içerisindeki ölü bölgelerde izleyicinin hapsediği görülmektedir. Tankın dördüncü ve beşinci odaları içerisinde giriş duvarına yakın kısımlarda meydana gelen bu ölü bölgelerde bulunan izleyici, daha sonra jet akışına katılarak çıkışa iletilecektir. Altıncı, yedinci ve sekizinci odalara ise izleyici, jet akışı ile istenilenden daha kısa zamanda ulaşmıştır. GP tasarımı kullanılması durumunda ise $t=100$ s sonucuna benzer bir durum görülmektedir. İçerisinde ölü bölge, jet akışı ya da çevrinti bölgesi içermeyen bu temas tankı tasarımı içerisinde izleyici istenildiği şekilde piston akışına yakın bir akım yapısını takip ederek ilerlemektedir.



Parça 1 Parça 2 Parça 3
(b)

Şekil 5.19. Farklı zaman adımlarında izleyici ilerleyişi: (a) KP tasarım (b) üç parçalı GP tasarımı.

5.2.4. Dezenfeksiyon sayısal benzetimi sonuçları

1997 yılında United States Environmental Protection Agency (USEPA) bir danışma kurulu kurarak içme suyu tesislerinin dezenfeksiyon süreçlerinin düzenlemesi ve oluşan yan ürünler ile ilgili çalışmalar başlatmıştır. Surface Water Treatment Rule (SWTR) 16 Aralık 1998 tarihinde kabul edilmiş ve içme sularının dezenfeksiyonu üzerine bir standart geliştirilmiştir. SWTR inaktivasyon derecesi olarak Giardia için 3-log (99.9%), virüsler için ise 4-log (99.99%) önermektedir.

Bu inaktivasyon dereceleri başlangıç patojen miktarı ile dezenfeksiyon sonucu kalan patojen miktarının karşılaştırılması veya Konsantrasyon-Zaman (KZ) değeri ile belirlenebilmektedir. KZ değeri $mg \cdot dak / L$ cinsinden ifade edilen boyutlu bir büyüklüktür. Burada K temas tankının çıkışında gözlenen kalan dezenfektan miktarını (mg / L) ve Z dezenfektan konsantrasyonun %10'unun çıkışta gözlemlendiği süreyi T_{10} (dak) göstermektedir. Dezenfektan ya da hidrolik tasarım üzerinde yapılabilecek değişiklikler ile KZ değeri ya da inaktivasyon derecesini etkileyeceğinden sistemin mevcut inaktivasyon performansı da etkilenecektir.

Dezenfeksiyon tesisinin KZ değerinin istenilen inaktivasyon derecesini sağlayıp sağlamadığının belirlenebilmesi için, son kullanıcının kolayca kullanabileceği tablolar geliştirmiştir. Bu tabloların kullanılabilmesi için dezenfektanın türü, ham suyun sıcaklığı ve pH derecesi gibi fiziksel ve kimyasal değişkenlerin bilinmesi gerekmektedir. Sisteme ait mevcut KZ ve tablodan okunacak KZ değerlerinin belirlenmesi için uygulanan işlem aşağıda tanımlanmıştır:

Mevcut KZ değerinin belirlenmesi

- Temas tankı çıkışında bakiye (kalan) klor konsantrasyonu belirlenir. ($K_{kalan} \rightarrow mg / L$)
- Temas tankına ait T_{10} değeri izleyici çalışması ya da piston akışı varsayımı ile belirlenir. Piston akışı varsayımında tank hacminin (∇) debiye oranı (Q) perde faktörü ile çarpılarak T_{10} değeri belirlenir. ($T_{10} \rightarrow dak$)

- Mevcut KZ değeri $KZ_{mevcut} = K_{kalan} T_{10}$ formülü ile belirlenir.

Tablo CT değerinin belirlenmesi

- Kullanılan dezenfektanın cinsi, bakiye (kalan) klor konsantrasyonu, ham su sıcaklığı ve pH değerine göre 3-log Giardia patojen inaktivasyonu için $KZ_{3-log, Giardia}$ değeri okunur.

Temas tankına ait log inaktivasyon seviyesi aşağıdaki formülden hesaplanır:

$$Giardia \log-inaktivasyonu = \frac{KZ_{mevcut}}{KZ_{3-log, Giardia}} * 3.0 \quad (5.4)$$

Piston akışı varsayımına göre belirlenen T_{10} değeri tank içerisinde piston akışı varsayımı yaparak hesaplanan basitleştirilmiş bir hesaplama yöntemidir. Temas tankları içerisindeki akışın piston akışından bir hayli uzak olduğu gerçekleştirilen sayısal benzetim ve deneysel çalışmalarla kanıtlamıştır. Bu nedenle T_{10} değerinin belirlenmesinde bozunmasız izleyici analizi sonuçlarının değerlendirilmesi daha doğru ve hassas değerlendirilmelerin yapılmasını sağlayacaktır.

Temas tankının dezenfeksiyon performansının *Giardia log-inaktivasyonu* değerinin belirlenebilmesi için $KZ_{3-log, Giardia}$ değerinin tablolardan belirlenmesi gerekmektedir. Standart içerisinde bulunan KZ tabloları dezenfektan cinsine göre değişmektedir. Tablodaki değerler belirli aralıktaki değerler için verilmiştir. Örnek olarak ham su sıcaklığı 19 °C, pH 7.2 ve kalan klor konsantrasyonu 1.1 mg/L olan bir durum değerlendirildiğinde; su sıcaklığının 15 °C, pH 7.5 ve kalan klor konsantrasyonu 1.2 mg/L olan durum için belirlenen $CT_{3-log, Giardia} = 92$ değeri okunur.

Daha önce belirtildiği üzere *Giardia log-inaktivasyonu* derecesinin belirlenmesinde kullanılan ilk yöntem KZ değerinin belirlenmesidir. Standartta *Giardia log-inaktivasyonu* değerinin 0.5' ten büyük olduğu durumlarda dezenfeksiyon istenilen seviyede gerçekleştirilmiştir. KZ değeri yükseldikçe mikroorganizmaların

dezenfeksiyonu da artmaktadır. KZ değerinin artması, kullanılan konsantrasyon miktarının artırılması ya da temas süresinin uzatılması ile sağlanabilir.

Log-inaktivasyon derecesi, KZ değerinden farklı olarak logaritmik bir ölçek hesabı ile de gerçekleştirilebilir. Bu hesaplamada başlangıçtaki patojen miktarıyla dezenfeksiyon sonucunda kalan patojen miktarı karşılaştırılarak log-inaktivasyon derecesi belirlenebilir.

$$\text{Log - inaktivasyon} = \text{Log} \left(\frac{N_0}{N_T} \right) \quad (5.5)$$

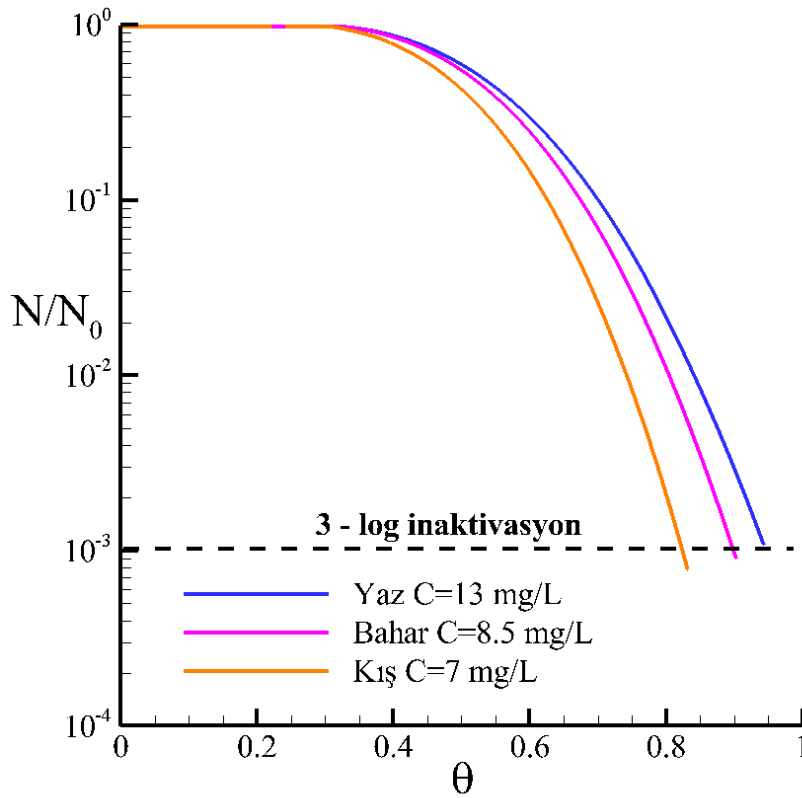
Burada, N_0 başlangıçtaki patojen miktarı, N_T ise dezenfeksiyon sonucu kalan patojen miktarını ifade etmektedir. $\frac{N_0}{N_T}$ oranının 1000 olması durumunda 3-log inaktivasyon sağlanmaktadır.

Doktora tezi kapsamında temas tankları içerisindeki dezenfeksiyon sayısal benzetimleri iki farklı model kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Birinci mertebeden klor dezenfeksiyon modelinin kullanıldığı sayısal benzetimler Eskişehir Klor Temas Tankı'nın yaz, bahar ve kış aylarında dezenfekte ettiği ham su debisi üzerinde gerçekleştirilmiştir. Ardından ÜYP tasarımı kullanılması durumunda tankın dezenfeksiyon verimindeki artış değerlendirilmiştir. İkinci mertebeden geliştirilen klor dezenfeksiyon modeli ile aynı koşullarda KP ve ÜYP tasarımlarının dezenfeksiyon verimi, hem patojen inaktivasyon derecesi hem de yan ürün oluşum performansları açısından değerlendirilmiştir.

5.2.4.1. Birinci Mertebeden Klor Dezenfeksiyon Modeli Sonuçları

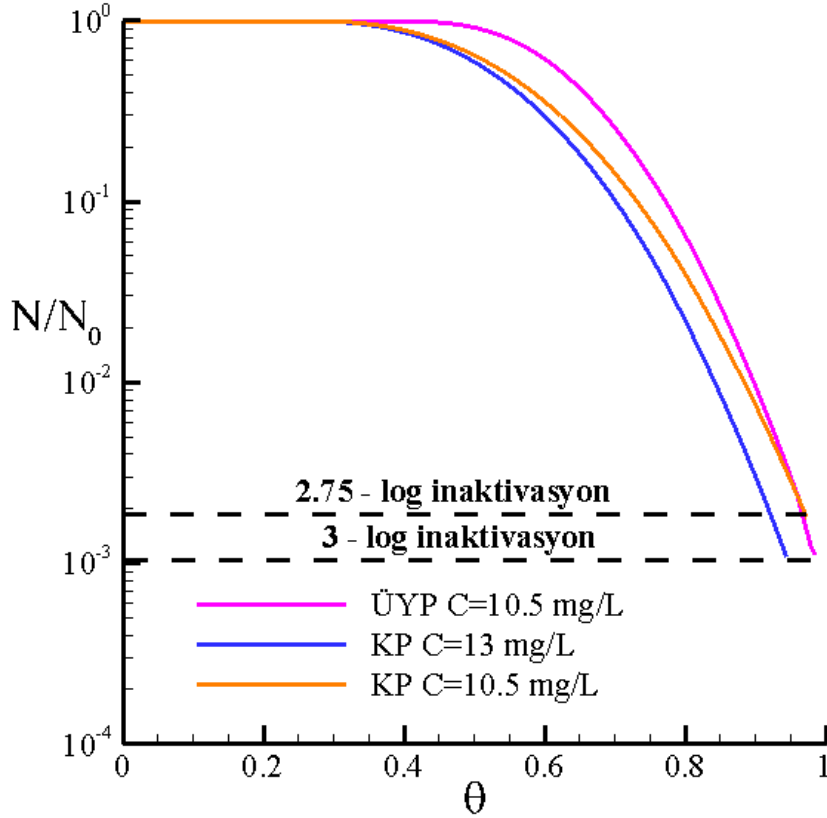
Eskişehir Klor Temas Tankı'nın gerçek boyutlarda sayısal benzetimlerinin yapıldığı ve dezenfeksiyon performansının değerlendirmesinin yapıldığı bu bölümde sayısal benzetimlerde kullanılan klor bozunması ve patojen inaktivasyon katsayıları

Çizelge 3.5’te verilmiştir. Temas tankı çıkışında kullanıcıya iletilecek dezenfekte edilmiş suya ait bakiye klor konsantrasyonu ve patojen miktarları sonuçları elde edilmiş ve değerlendirmelerde bulunulmuştur. U.S. EPA tarafından önerilen Giardia patojenin 3 – log inaktivasyonu farklı mevsimler için Şekil 5.20’de verilmiştir.



Şekil 5.20. Farklı mevsimlerde Giardia patojeni log-inaktivasyonu

En yüksek debide ham suyun dezenfekte edildiği ve ihtiyacın en yüksek olduğu yaz aylarında Giardia patojeninin inaktivasyonu beklendiği üzere en yüksek konsantrasyon ile sağlanabilmiştir. Benzer şekilde kış aylarında ise en düşük konsantrasyon ile istenilen dezenfeksiyon derecesine ulaşılmıştır. Bu nedenle ÜYP tasarımı dezenfeksiyon performansı araştırması yaz aylarında yapılmış ve sonuçlar Şekil 5.21’de verilmiştir.



Şekil 5.21. KP ve ÜYP tasarımlarının yaz aylarında Giardia patojeni inaktivasyonu performansları

ÜYP tasarımı tank içerisinde kullanılması durumunda yaz aylarındaki ham su 10.5 mg/L klor konsantrasyonu kullanılması halinde istenilen log-inaktivasyon seviyesine ulaşmaktadır. Bu da %19 daha az klor kullanılarak aynı dezenfeksiyon veriminin sağlanabildiğini göstermektedir. Klorun insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri, suda bıraktığı koku ve tat düşünüldüğünde bu azalmanın uzun vadede büyük yarar sağlayacağı düşünülmektedir. Aynı konsantrasyonda klor kullanılması durumunda KP tasarımında temas tankı 2.75 log – inaktivasyona ulaşabilmiştir. Bu klor konsantrasyonunda istenilen dezenfeksiyonun tank içerisinde gerçekleştirilemediği görülmektedir.

Şekil 5.21’de KP ve ÜYP tasarımları inaktivasyon sürecinde 1 TKS sonucunda farklı eğimlerde 3 – log inaktivasyona ulaşmaktadır. Bunun sebebi de yine tank içerisinde

oluşan farklı akım yapısıdır. Tank içerisinde dezenfektan ile ham su daha uzun süre etkileşime girerek çıkışa ulaşmaktadır. KP tasarımı kullanılması durumunda jet akışını takip eden dezenfektan gerekli temas süresini sağlamadan; daha kısa sürede tankı terk etmektedir.

Tankın dezenfeksiyon veriminin KZ değerine göre değerlendirmesi yapıldığında ise iki tasarımın da KZ_{tablo} değerini sağladığı görülmektedir. Çizelge 5.10'da KP ve ÜYP tasarımlarının dezenfeksiyon sonundaki KZ_{mevcut} değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.10. Farklı tasarımlara ait KZ değerleri

Tasarım	KZ_{tablo}	K_{kalan} (mg/L)	T_{10} (dk)	KZ_{mevcut}
KP	46	6.32	7.55	47.72
ÜYP	46	5.17	8.83	45.65

5.2.4.2. İkinci Mertebeden Klor Dezenfeksiyon Modeli Sonuçları

Eskişehir Klor Temas Tankı'nın yaz aylarında dezenfekte ettiği ham su debisi kullanılarak; temas tankı gerçek boyutlarında içerisinde KP tasarımının, ÜYP tasarımının ve GP tasarımının kullanılması durumlarında ikinci mertebeden klor dezenfeksiyon modeli ile sayısal benzetimler gerçekleştirilmiştir. Temas tankının dezenfeksiyon verimi araştırılırken öncelikle US EPA tarafından Giardia patojeninin 3-log inaktivasyonu için gerekli klor konsantrasyonu ikinci mertebeden dezenfeksiyon modeli kullanılarak belirlenmiştir. KP, ÜYP ve GP tasarımlarının istenilen patojen inaktivasyon derecesine ulaşırken, ham su ile klorun etkileşiminden kaynaklı olarak meydana getirdikleri yan ürün konsantrasyonları da karşılaştırılarak değerlendirmeler yapılmıştır. Sayısal benzetimlerde Eskişehir Klor Temas Tankı'nda dezenfekte edilen ham su için Çizelge 5.11'de verilen bilgiler kullanılmıştır.

Çizelge 5.11. Ham su başlangıç değerleri

Değişken	Değeri	Boyutu
pH	7	-
T	25	°C
TOC	8.54	mg/L
UV254	0.161	cm ⁻¹
Br	1.206	mg/L

Temas tankı girişinden sürekli olarak enjekte edilen klorun ham su içerisinde bulunan Giardia patojenini yok etmesi sonucunda tank çıkışında kullanıcıya iletilen dezenfekte edilmiş su içerisindeki patojen miktarı hesaplanarak inaktivasyon derecesi belirlenmiştir. Üç perde tasarımının tank içerisinde bulunması halinde bir dizi sayısal benzetim ile istenilen inaktivasyon derecesini sağlayan klor konsantrasyonları belirlenmiştir.

Eskişehir Klor Temas Tankı içerisinde KP tasarımının kullanılması durumunda Giardia patojeninin 3 – log inaktivasyonuna 25 mg/L klor enjektisi ile ulaşılabilmektedir. Tank içerisinde bulunan perde tasarımı GP tasarımına dönüştürüldüğünde gerekli klor konsantrasyonu %18, ÜYP tasarımına dönüştürüldüğünde ise gerekli klor konsantrasyonu %40 azalmıştır. Eğrilerin eğimleri ise tank içerisinde meydana gelen akım yapısını doğrulamaktadır. KP tasarımı tank çıkışına klor konsantrasyonunu daha kısa sürede ve daha yüksek konsantrasyonlarla iletmesi sebebiyle doğrusal bir patojen inaktivasyon dağılımı göstermektedir. Bu durum ham su ile dezenfektan etkileşiminin odalar içerisinde yüksek karışım ile gerçekleşmediğini; tank çıkışına ulaşan klorun hızlı bir şekilde patojen dezenfekte ederek ilerlediğini kanıtlamaktadır. Oluşan dezenfeksiyon süreci istenilen seviyede patojen inaktivasyonu için yüksek konsantrasyonda klor kullanılmasına sebep olmuştur. GP tasarımının tank içerisinde meydana getirdiği piston akışına benzer akım yapısı sayesinde klor ile ham su odalar içerisinde daha uzun süre ve etkili bir dezenfeksiyon ile tank çıkışına ulaşarak tankın dezenfeksiyon veriminin artmasını sağlamıştır. Tank içerisindeki karışımın artmasını ve aktif bölgelerin meydana gelmesini sağlayan ÜYP tasarımı ise odalar arasında geçişin artması ile birlikte patojen inaktivasyonun en düşük klor konsantrasyonu ile gerçekleşmesini sağlamıştır. Tank

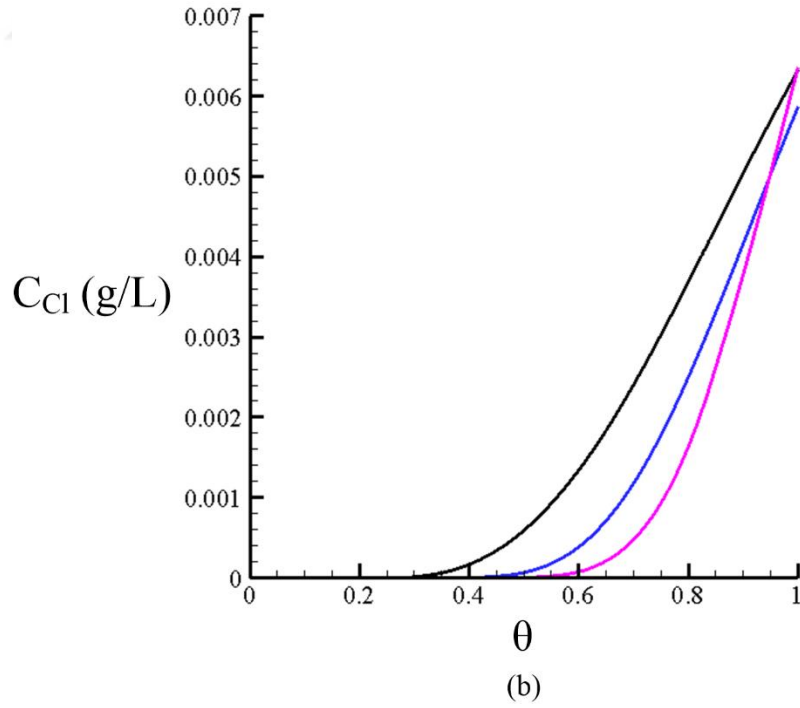
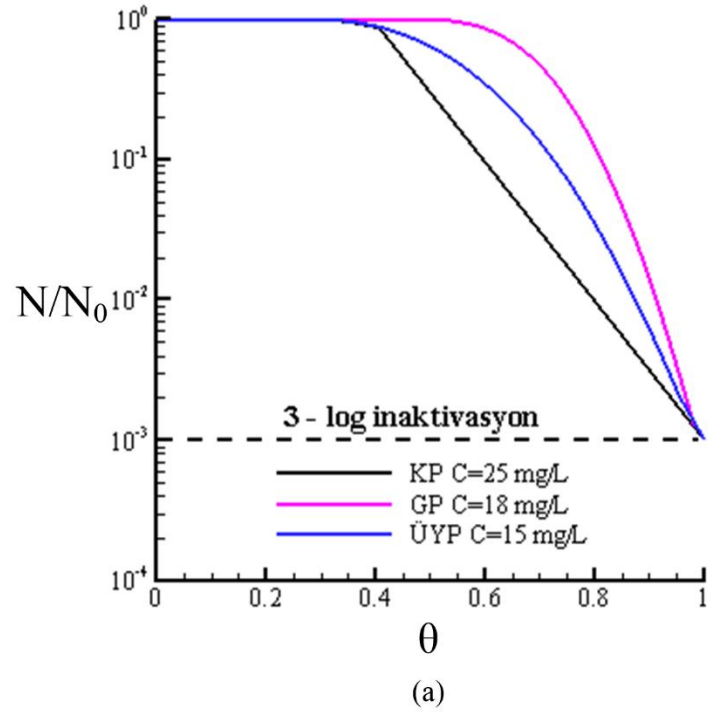
çıkışına ulaşan klor, patojen inaktivasyonunu aktif bölgeler sayesinde odalar içerisinde etkili bir şekilde gerçekleştirmektedir. Klor ile dezenfeksiyon sürecinde meydana gelen olumsuzluklar düşünüldüğünde ÜYP tasarımı kullanılması ile birlikte kullanıcıya iletilecek ham su içerisindeki koku ve tat azalacaktır.

Klor konsantrasyonu eğrileri incelendiğinde ise GP ve ÜYP tasarımları daha az klor konsantrasyonu kullanarak ve etkili bir dezenfeksiyon gerçekleştirerek KP tasarımının bakiye klor konsantrasyonuna yakın bir C_{bakiye} değerinin tank çıkışında gözlenmesini sağladığı görülmektedir. ÜYP ve KP tasarımları tank içerisindeki ıslak alanları ve karışım verimini artırarak etkili bir dezenfeksiyonu daha az klor kullanarak gerçekleştirmektedir. Çizelge 5.12’de her bir tasarıma ait bakiye klor ve yan ürün konsantrasyonları verilmiştir.

Çizelge 5.12. Bakiye klor ve yan ürün konsantrasyonları

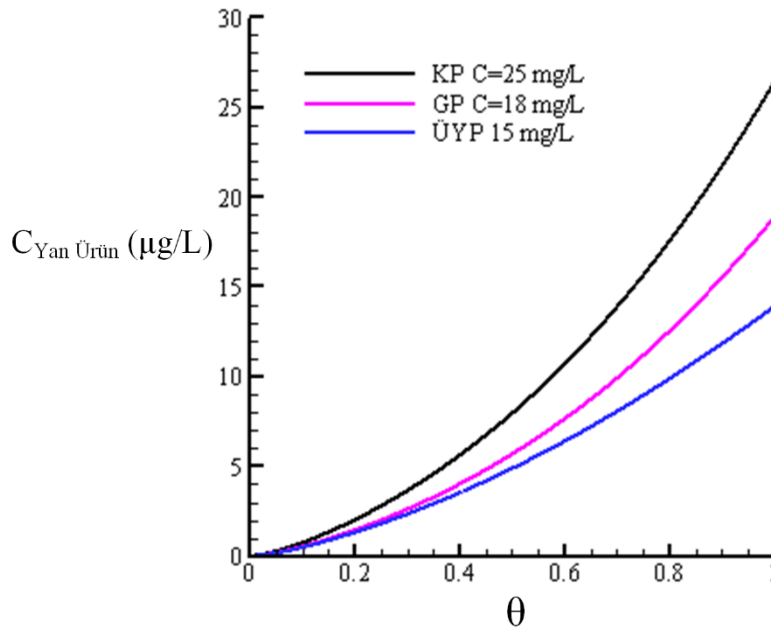
Tasarım	C_{bakiye} (mg/L)	$C_{Yan\ Ürün}$ (µg/L)
KP	6.3	26.46
GP	6.3	18.9
ÜYP	5.9	13.91

Şekil 5.22’de KP, ÜYP ve GP tasarımlarının Giardia patojenin 3 – log inaktivasyonunu sağladıkları duruma ait eğriler verilmiştir.



Şekil 5.22. İkinci mertebeden klor dezenfeksiyon modeli kullanılması durumunda (a) Giardia patojeni log-inaktivasyonu ve (b) klor konsantrasyonu değişimi

Dezenfeksiyon sürecinde yüksek konsantrasyonda klor kullanılması en önemli ve beklenen sonuçlarından biri ise yan ürün oluşumunun artmasıdır. Şekil 5.23'te tank çıkışında belirlenen yan ürün oluşumunun farklı perde tasarımları kullanılması durumunda değişimi görülmektedir.



Şekil 5.23. KP, GP ve ÜYP tasarımlarının yan ürün oluşumuna etkisi

Klor ile ham su içerisindeki organik bileşenlerin etkileşiminden meydana gelen yan ürün oluşumları tank içerisinde iki farklı perde tasarımının kullanılması durumunda dezenfeksiyon performansı açısından değerlendirilmiştir. Daha az klor konsantrasyonu kullanılmasının beklenen bir sonucu olarak GP tasarımı %29, ÜYP tasarımı %43 daha az yan ürün oluşmasını sağlamıştır. Uzun vadede yan ürünlerin toplum sağlığı açısından meydana getireceği olumsuz etkiler düşünüldüğünde, tank içerisindeki perde tasarımında yapılacak değişiklikler ile tankın hidrolik, karışım ve dezenfeksiyon verimlerinin artırılmasının yanı sıra toplum sağlığı açısından da olumlu bir durum meydana gelmesi sağlanacaktır.

5.2.5. Klor Kullanımı Ekonomik Analizi

Geliştirilen ikinci mertebeden klor dezenfeksiyon modeli kullanılarak gerçekleştirilen sayısal benzetimlerde, GP ve ÜYP tasarımları ile daha az klor kullanılarak istenilen dezenfeksiyonun sağlandığı görülmüştür. Belediyelerin içme suyu arıtma maliyetleri düşünüldüğünde klor alımı bütçe kalemleri arasında önemli bir yere sahiptir. 2018 yılı faaliyet raporları incelendiğinde belediyelerin perde tasarımı değişiklikleri ile ekonomik olarak elde edecekleri yaklaşık yıllık tasarruf Çizelge 5.13'te verilmiştir.

Çizelge 5.13. Belediyelerin klor maliyeti

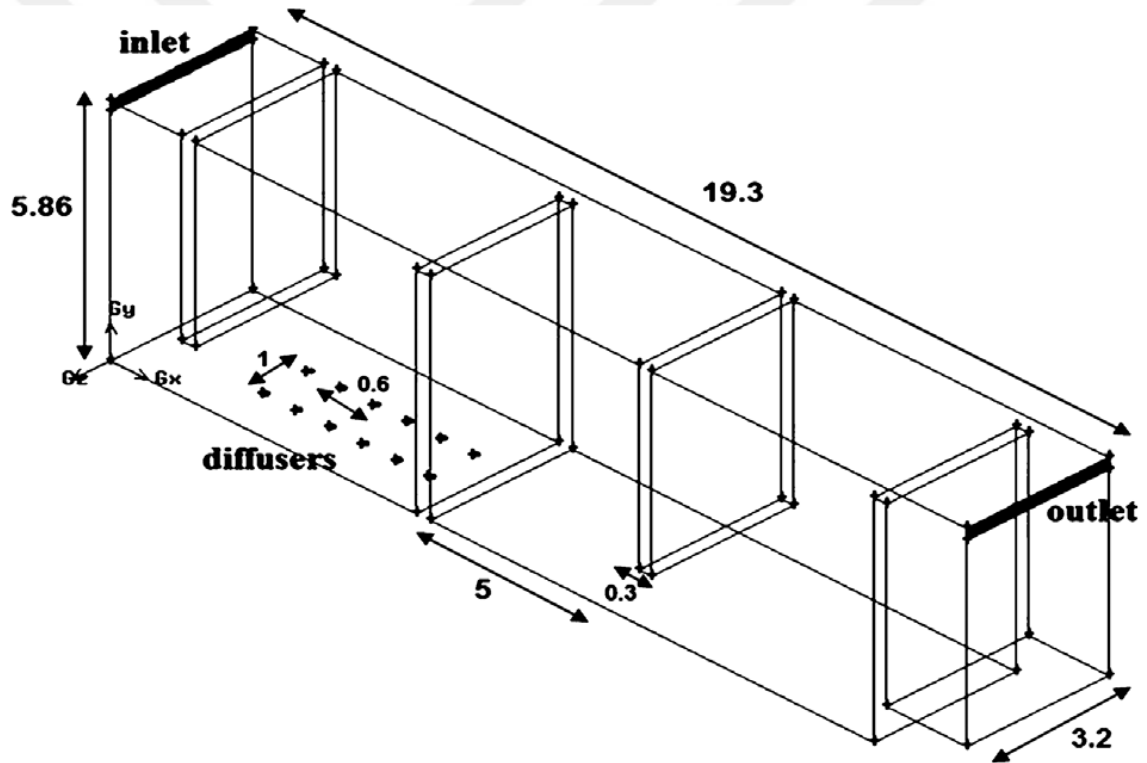
İdare	Ortalama Debi (m ³ /gün)	Yıllık Klor Maliyeti (TL)	Tasarruf (TL/yıl)	
			ÜYP Tasarımı	GP Tasarımı
Eskişehir Su ve Kanalizasyon	120,000	930,000	372,000	167,400
Ankara Su ve Kanalizasyon	1,112,000	3,450,000	1,380,000	621,000

Eskişehir Büyükşehir Belediyesi Klor Temas Tankı'nın perde tasarımının değiştirilmesi ile birlikte yıllık klor maliyetinde önemli bir azalma olmaktadır. Perde tasarımının GP tasarımına dönüştürülmesi ile belediyenin klor alımı için yılda 167,400 TL daha az ödeme yapması öngörülmektedir. Perde tasarımının ÜYP tasarımına dönüştürülmesiyle klor maliyeti 372,000 TL azaltılabilecektir.

Ankara Su ve Kanalizasyon İdaresi'nin 2018 yılı faaliyet raporunda 3,450,000 TL klor alımı yapıldığı görülmüştür. Mevcut temas tanklarındaki KP tasarımının değiştirilmesi ile gerçekleştirilecek tahmini dezenfeksiyon performansı artışı, GP tasarımı ile 621,000 TL ve ÜYP tasarımı ile 1,380,000 TL mertebelerindedir.

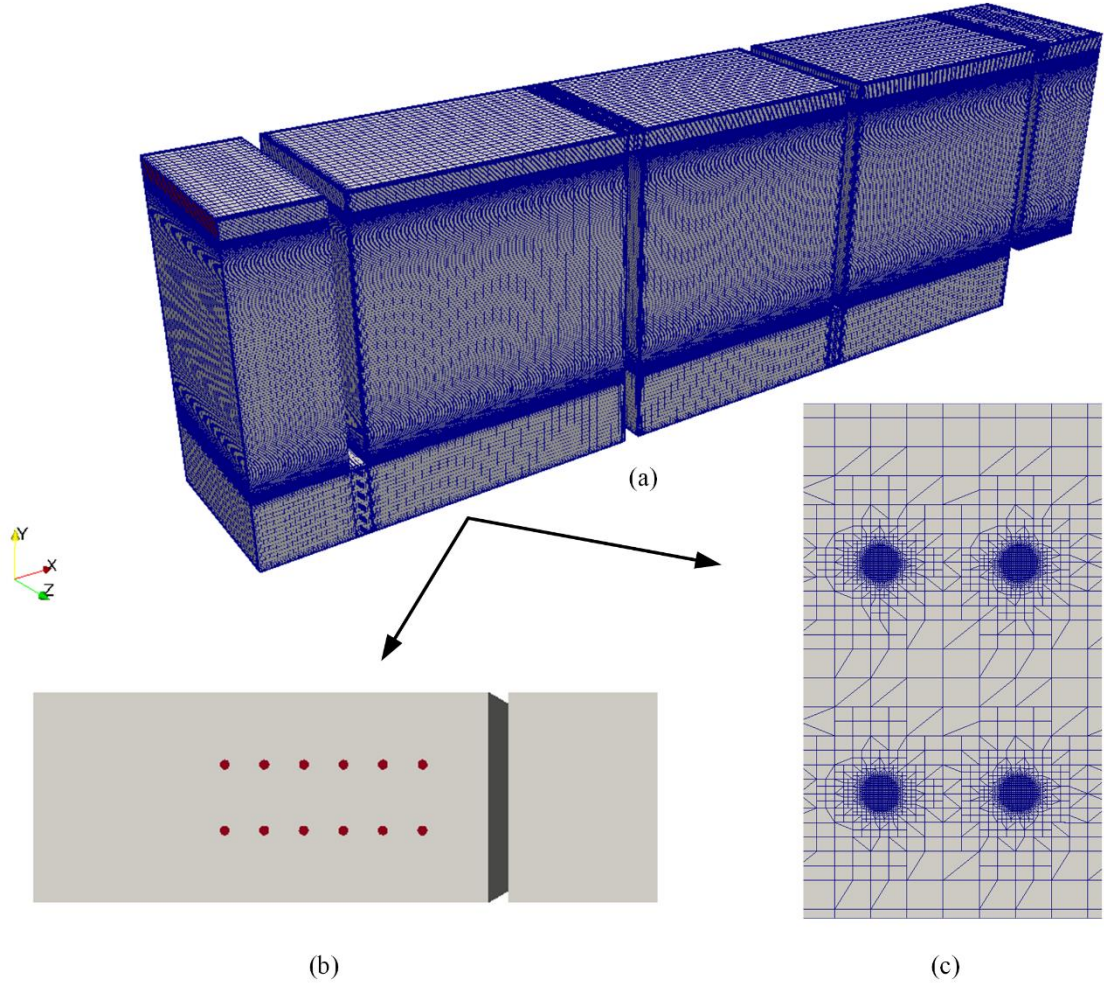
5.3. Ozon Temas Tankı Sayısal Sonuçları

Batı İran’da bulunan Hamerdan şehrinin içme suyu ihtiyacının %50’sini sağlayan içme suyu arıtma tesisinde bulunan temas tankı 19.3 m uzunluğunda, 3.2 m genişliğinde ve 5.86 m derinliğinde olup günlük 68,000 m³ suyu dezenfekte etmektedir (Niazi vd. 2017). Düşey perdeli olarak tasarlanan temas tankının ikinci odasında tabana yerleştirilmiş çapları 15 cm olan 12 adet ozon difüzörü vardır (Şekil 5.24). Geliştirilen ozon dezenfeksiyon modeli kullanılarak bu temas tankı üzerinde sayısal benzetimler gerçekleştirilmiştir.



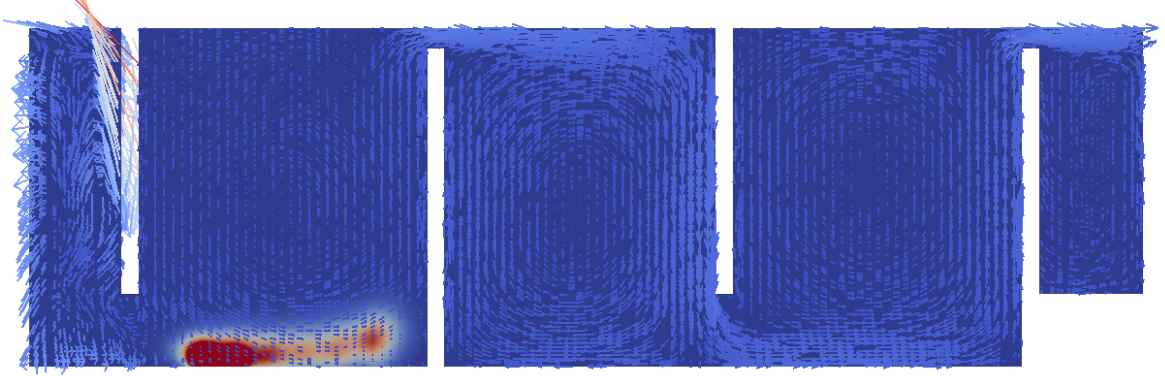
Şekil 5.24. Ozon temas tankı şematik gösterimi (Niazi vd. 2015)

Hız ve türbülans büyüklüklerinin ani değiştiği bölgelerde sıklaştırılma yapılarak oluşturulan hesaplama ağı 237,675 adet hücreye sahiptir. Tabandaki difüzörlere ait hesaplama ağı OpenFOAM içinde bulunan *snappyHexMesh* uygulaması kullanılarak oluşturulmuştur (Şekil 5.25c). Ozon girişi tankın ikinci odasının tabanında bulunan on iki adet difüzör ile sağlanmakta ve tank içinde dezenfeksiyon işlemi gerçekleşmektedir. Ham su, tank girişinden sisteme giriş yapmakta ve son odadan tankı terk etmektedir.



Şekil 5.25. Ozon temas tankı hesaplama ağı ve difüzörler

Ozon temas tankı ikinci odasının tabanına yerleştirilen difüzörlerden giren akım sonucu tank içerisinde meydana gelen akım yapısı Şekil 5.26’da gösterilmiştir. Difüzörlerden bozunmasız izleyici enjekte edilerek, $t=4$ s anında bozunmasız izleyici ilerleyişi ve hız vektörleri aşağıdaki şekilde verilmiştir.



Şekil 5.26. Difüzörlerden bozunmasız izleyici enjektisi ve hız vektörleri.

SnappyHexMesh uygulaması ile yerleştirilen difüzörlerden tank içerisine akım girişi olduğu tankın ikinci odasında meydana gelen hız vektörlerinden anlaşılmaktadır. Aynı zamanda difüzörlerden enjekte edilen bozunmasız izleyicinin oda içerisinde ilerlemesi sayısal benzetimlerde ozon enjektisinin bu bölgeden yapılacağı düşünüldüğünde geliştirilen hesaplama ağının istenilen koşulları sağladığını göstermektedir.

Ozon temas tankı üzerindeki sayısal benzetimler aşağıda belirtilen şekilde gerçekleştirilmiştir.

- Tank içerisinde KP, ÜYP ve üç parçalı GP tasarımlarının bulunması halinde akım yapısı RONS benzetimleri ile zamanla değişmeyen akım koşullarına ulaşana kadar çözülmüştür.
- Kullanılan GP tasarımı Eskişehir Klor Temas Tankı için deneysel ve sayısal çalışmalarda kullanılan zemin numunesi ile geliştirilmiştir.
- Oluşan zamanla değişmeyen akım yapıları değerlendirilerek perde tasarımlarının akım yapısı üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir.
- Temas tankının hidrolik ve karışım verimleri her bir perde tasarımının kullanılması durumunda girişten enjekte edilen bozunmasız izleyici konsantrasyonun tank çıkışında izlenmesi sonucunda elde edilen KSD ve kümülatif KSD eğrileri ile belirlenmiştir.

- Zamanla değişmeyen akım koşullarına ulaşmış sonuçlar üzerinden elde edilen akım sonuçları kullanılarak ozonla dezenfeksiyon sayısal benzetimleri üç farklı perde tasarımı için gerçekleştirilmiştir.
- Ozonla dezenfeksiyon sayısal benzetimleri sonuçlarından farklı perde tasarımları kullanılması halinde US EPA tarafından önerilen 3 – log inaktivasyonu sağlayan ozon konsantrasyonu araştırılmış ve her bir tasarımın dezenfeksiyon performansı değerlendirilerek yan ürün oluşum yüzdeleri belirlenmiştir.
- Ozon dozajı ve gerekli enerji maliyetlerinin hesaplanması ile farklı perde tasarımları ekonomik olarak değerlendirilmiştir.

5.3.1. Akım Sonuçları

Ozon temas tankının içme suyu ihtiyacının en yüksek olduğu dönem olan yaz aylarında dezenfekte ettiği ham su debisi üzerinden gerçekleştirilen sayısal benzetimlerde $k-\varepsilon$ türbülans modeli kullanılmıştır. RONS modeli ile elde edilen sonuçlar zamanla değişmeyen akım yapısının olduğu zaman adımıdaki sonuçlar üzerinden değerlendirilmiştir. Ozon temas tankının yaz aylarında dezenfekte ettiği $0.694 \text{ m}^3/\text{s}$ 'lik debi sisteme girerken; ozon difüzörlerinden $0.00156 \text{ m}^3/\text{s}$ 'lik debi ile sisteme ileilmektedir. Sayısal modeldeki değişkenlere ait sınır koşulları Çizelge 5.14'te verilmiştir.

Çizelge 5.14. Ozon temas tankı simülasyonları sınır koşulları

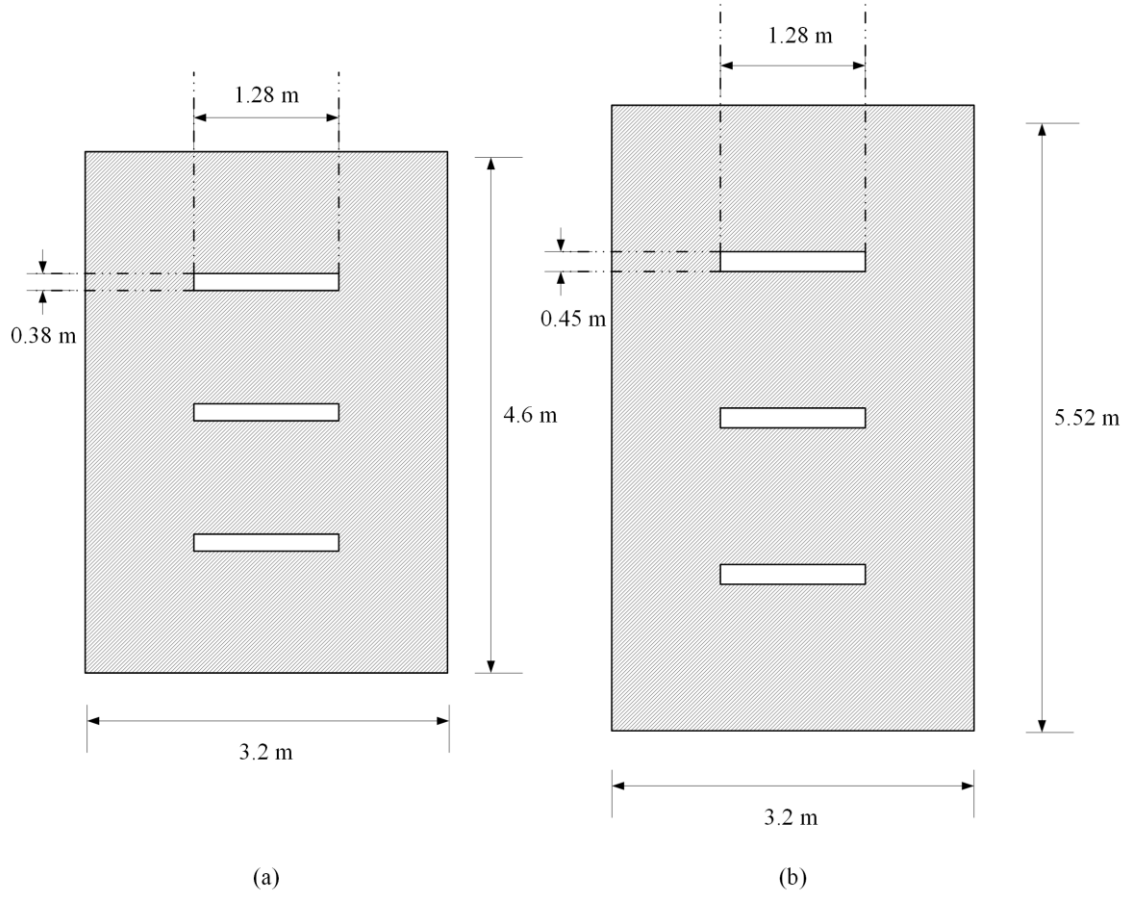
Değişken	Konum	Sınır koşulu
U, k, nut, ϵ	giriş	<i>fixedValue</i>
	çıkış	<i>inletOutlet</i>
	serbest yüzey	<i>symmetryPlane</i>
	difüzör	<i>fixedValue</i>
P	giriş	<i>zeroGradient</i>
	çıkış	<i>fixedValue</i>
	serbest yüzey	<i>symmetryPlane</i>
	duvarlar	<i>zeroGradient</i>
	difüzör	<i>zeroGradient</i>
U	duvarlar	<i>fixedValue</i>
K		<i>kqRWallFunction</i>
nut		<i>nutkWallFunction</i>
E		<i>epsilonWallFunction</i>

Yaz aylarında dezenfekte edilen ham su debisine, giriş alanı ve difüzör alanları kullanılarak hesaplanan başlangıç değerlerine ait bilgiler Çizelge 5.15’te verilmiştir.

Çizelge 5.15. Ozon temas tankı simülasyonları başlangıç koşulları

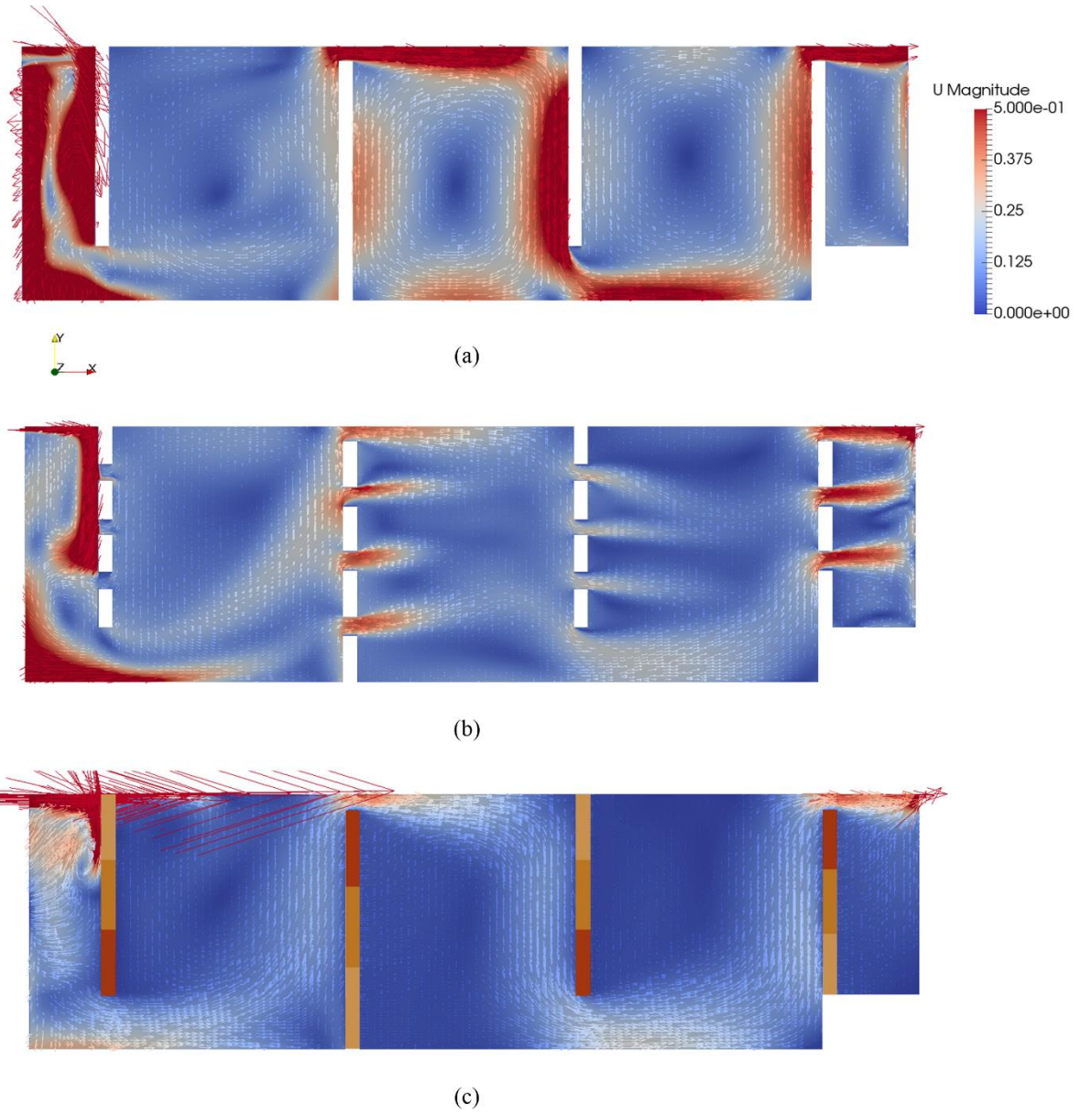
Konum	Debi (m ³ /s)	k (m ² /s ²)	ϵ (m ² /s ²)
Giriş	0.694	5.36e-6	0.00000143
Difüzör	0.00156	2.02e-3	1.5e-3

Temas tankı içerisinde ÜYP tasarımı kullanılması durumunda, iki farklı uzunlukta perde bulunmasından dolayı yarı kalınlıkları farklılıklar göstermektedir. Tankın birinci ve üçüncü perdeleri ile ikinci ve dördüncü perdelerinde farklı kalınlarda yarıklar kullanılmıştır. Buna ek olarak tankın dördüncü perdesinin çıkış bölümünde kısılmasından dolayı iki yarıklı bir perde kullanılarak karışım veriminin artırılması amaçlanmıştır. Ozon temas tankı içerisinde kullanılan ÜYP tasarımına ait boyutlar Şekil 5.27’de verilmiştir.



Şekil 5.27. ÜYP tasarımına ilişkin boyutlar (a) kısa perde, (b) uzun perde

Üç farklı perde tasarımı kullanılması durumunda zamanla değişmeyen akım için, tank genişliğinin ortasında seçilmiş kesit üzerindeki hız vektörleri Şekil 5.28’te gösterilmiştir.



Şekil 5.28. Tank içerisinde farklı perde tasarımlarının kullanılması durumunda oluşan hız vektörleri; (a) KP tasarım, (b) ÜYP tasarımı, (c) GP tasarımı.

Tank içerisinde klasik perde tasarımının kullanılması halinde tank girişinden yüksek momentumla ilk odaya iletilen su, geçirimsiz perdeye çarparak oda içerisinde karmaşık bir akım yapısı meydana getirmektedir. Oda çıkışında kesit alanının daralması ile birlikte yüksek hızlara sahip bir jet akışı meydana gelmektedir. Bu jet akışı tankın dış duvarından ve perdenin alt ucundan ikinci odaya girerek odanın çıkışında bulunan duvarda birleşmektedir. Oda içerisinde durağan halde bulunan su iki parçalı bu jet akışı

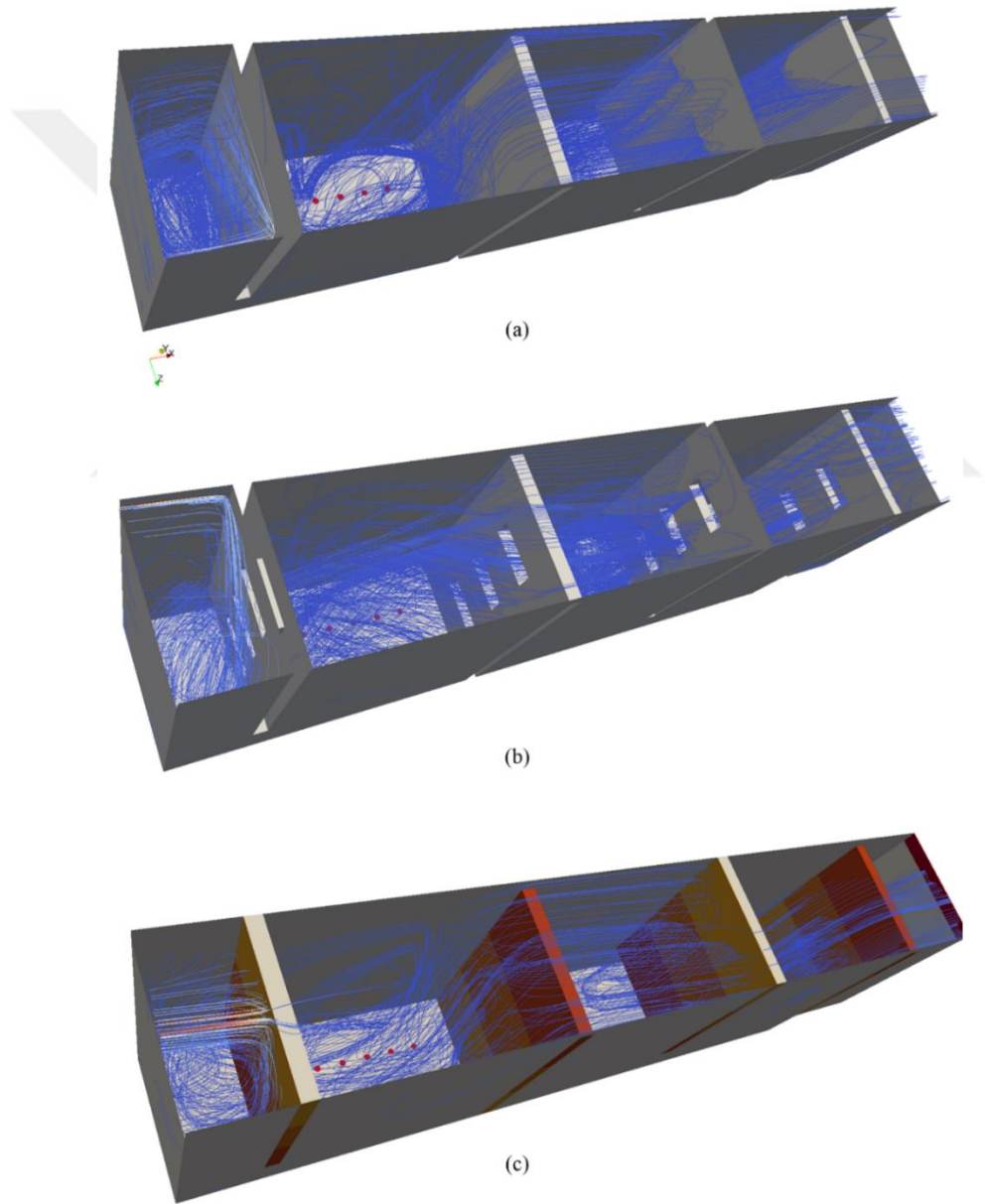
ile birlikte harekete geçmekte ve odanın büyük bir bölümde çevrinti bölgesi oluşturmaktadır. İkinci oda çıkış alanının en kesit alanının birinci oda çıkış alanına göre daha düşük olmasından dolayı hız büyüklükleri daha da artmakta ve üçüncü odaya momentumu daha da yüksek bir jet girmektedir. Bu durumun doğal sonucu olarak üçüncü oda içerisinde etkisi daha büyük bir çevrinti bölgesi meydana gelmektedir. Tankın dördüncü odasında da dış duvar ve çıkış perdesi boyunca jet akışı meydana gelmekte ve su tankı beşinci odadan terk etmektedir.

Temas tankı içerisinde ÜYP tasarımının kullanılması, tank içerisindeki ıslak alanın artmasına ve oluşan jet akışının momentumunun azalmasına neden olmaktadır. Temas tankı içerisinde ÜYP tasarımının kullanılması durumunda tankın ilk odasında meydana gelen jetin enerjisi sönmülenererek tankın ikinci odasına geçiş yapmaktadır. Tankın ikinci odasından itibaren klasik perde tasarımı kullanılması halinde meydana gelen çevrinti bölgeleri yok edilmiştir. Karışımın yüksek olduğu aktif bölgeler meydana getiren ÜYP tasarımının yarıkları içerisinde geçen akım, jet akışı meydana gelmeden tankın odaları içerisinde ilerlemektedir.

Üç parçalı geçirimsizliği akım yönünde artan GP tasarımının tank içerisinde oluşturduğu akım yapısı ise US EPA tarafından önerilen ve temas tanklarının boyutlandırılmasında göz önüne alınan piston akışına yakın bir akım yapısı meydana getirmektedir. Geçirimsizlik perdenin duvara yakın bölümlerinde %37, orta bölümlerinde %41, oda çıkışına yakın bölümlerinde %45 olarak tasarlanmıştır. Klor temas tankı için geliştirilen perdeler ile aynı özellikte malzeme kullanılarak sayısal benzetimler gerçekleştirilmiştir. Tankın ilk odasından ikinci odasına akım geçişini sağlayan üç parçalı gözenekli perde tasarımı, momentumun yüksek olduğu bölümlerde en düşük geçirimsiz yüzey oluşturulacak şekilde sayısal olarak benzetilmiştir. Bu bölgede en yüksek geçirimsizliğinin kullanılması suyun tank içerisinde kalma süresini azaltarak hidrolik verimini düşürmektedir. Tankın ilk odasından ikinci odasına geçiş olması jetin momentumunu azaltarak ikinci odaya suyun daha düşük hız büyüklüğü ile ilerlemesini sağlamaktadır. İkinci odadan itibaren akım yapısı piston akışına yaklaşarak momentumu düşük bir jet akışı ile tank içerisinde ilerlemekte ve oda içerisinde çevrinti bölgesi oluşmadığı görülmektedir. Odalar içerisinde su geçişine olanak sağlayan bu perde

tasarımı, tankın tüm odalarında çevrintisiz, ölü bölge bulunmayan ve jet akışı bulunmayan bir akım yapısı meydana getirmektedir.

Tank içerisinde farklı perde tasarımlarının meydana getirdiği akım yapılarının daha detaylı incelenebilmesi için üç boyutlu akım çizgileri Şekil 5.29'da karşılaştırılmıştır.



Şekil 5.29. Tank içerisinde meydana gelen akım çizgileri; (a) klasik tasarım, (b) ÜYP tasarımı, (c) gözenekli perde tasarımı.

Ozon temas tankı içerisinde klasik perde tasarımı kullanılması durumunda ilk odada etkili bir çevrinti bölgesi meydana geldiği görülmektedir. Tankın ikinci odasında difüzörlerden çıkan su ile ilk odadan gelen jet oda içerisinde karmaşık bir akım yapısı meydana getirmektedir. Odanın çıkışında bulunan perde sebebiyle meydana gelen jet ile su, tankın üçüncü odasına iletilmektedir. Üçüncü ve dördüncü odalarda ise birbirinin simetriği çevrinti bölgeleri içeren ve jet akışına sahip bir akım yapısı oluşmaktadır. Su ardından tankı yüksek momentum etkilerine sahip jet ile terk etmektedir.

ÜYP tasarımının jet akışının momentumunu düşürdüğü ve yüksek karışımlı bir akım meydana getirdiği görülmektedir. Yarıklar içerisinde geçen akım odalar içerisinde durgun halde bulunan suyu çevrinti bölgesi meydana getirmeden, tank içerisinde aktif bölgelerin oluşmasına neden olmaktadır. Klasik perde tasarımı kullanılması halinde meydana gelen jet akışı momentumunu artırarak hızlanmaktadır. ÜYP tasarımı ise jetin momentumunu sönümleyerek hızını azaltmakta ve temas süresini artırmaktadır. Bu durumun doğal bir sonucu olarak da temas tankının hidrolik verimi artmaktadır.

Odalar arasında akım geçişine olanak sağlayan GP tasarımının ise piston akışına yakın bir akım yapısı meydana getirdiği görülmektedir. Jet akışı olmayan, çevrinti bölgesi ve ölü bölgeler içermeyen bu akım yapısı tank içerisinde ham su ile dezenfektanın daha uzun süre etkileşime girmesini sağlamaktadır. Geçirimsizliğin en yüksek olduğu parçalardan en yüksek geçişin meydana geldiği bu tasarım tankın hidrolik verimini ÜYP tasarımından oldukça farklı bir şekilde artırmaktadır. ÜYP tasarımı aktif bölgeleri yüksek karışımla sağlarken üç parçalı GP tasarımı piston akışına yakın bir akım yapısı oluşturarak aktif bölgeler meydana getirmektedir.

5.3.2. Bozunmasız İzleyici Sonuçları

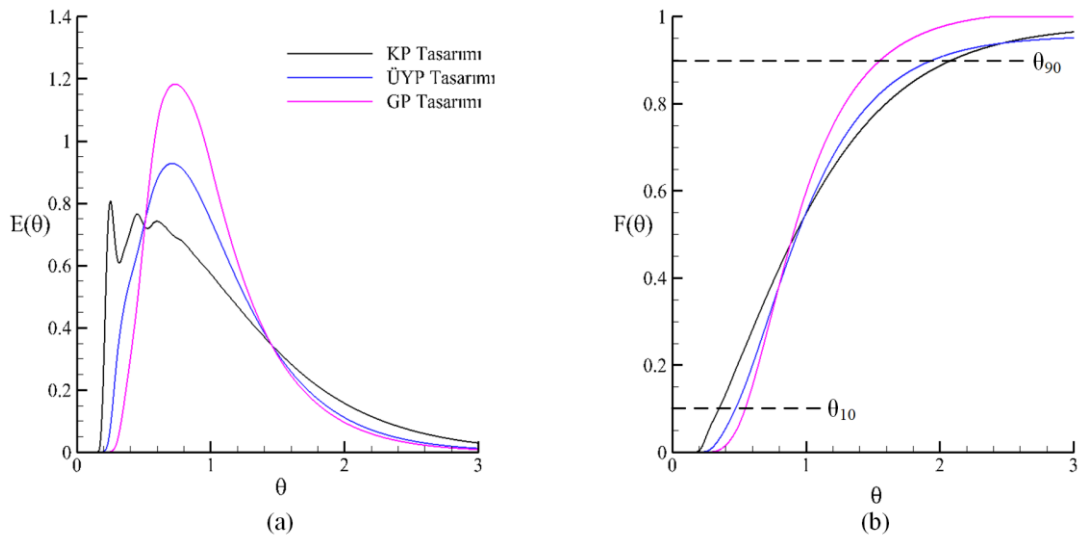
Ozon temas tankı içerisinde farklı perde tasarımlarının kullanılması durumunda tankın hidrolik ve karışım verimleri bozunmasız izleyici sayısal benzetimleri ile

belirlenmiştir. Tank tasarımına ilişkin debi, TKS ve bozunmasız izleyici enjeksiyon süreleri Çizelge 5.16’da verilmiştir.

Çizelge 5.16. Bozunmasız izleyici enjeksiyon süreleri

Tasarım	Debi (m ³ /s)	TKS (s)	Enjeksiyon Süresi
KP	0.694	483	24
ÜYP	0.694	495	24
GP	0.694	509	24

Temas tankının TKS süresinin %5’inden daha kısa sürede tank girişinden enjekte edilen bozunmasız izleyici konsantrasyonu tank çıkışında hesaplanarak dosyaya yazdırılmış, böylece KSD ve kümülatif KSD eğrileri elde edilmiştir. Elde edilen eğriler Şekil 5.30’da verilmiştir.



Şekil 5.30. Farklı perde tasarımlarına ait (a) KSD ve (b) kümülatif KSD eğrileri.

Tank içerisinde KP tasarımının kullanılması durumunda KSD eğrisi üç pik değere sahiptir. İlk pik değeri, tank içerisinde etkili bir jet akışının oluştuğunu göstermektedir. Tank girişinden enjekte edilen bozunmasız izleyici jet akışı ile birlikte ilerleyerek tank çıkışında ulaşmakta ve konsantrasyonun büyük bir kısmı bu bölümde görülmektedir. Oluşan ilk pik değerinin TKS’nin %20’sinde görülmesi ise izleyici ile suyun istenilenden daha düşük süre etkileşim içerisinde olduğunu göstermektedir. KSD eğrisinde meydana gelen ikinci ve üçüncü pik değerleri ise temas tankı içerisinde meydana

gelen ölü bölgelerde kalan bozunmasız izleyicinin belirli bir süre sonra jet akışına katıldığını ve tank çıkışında gözlemlendiği işaret etmektedir.

ÜYP tasarımı ile oluşan jet akışının momentumunun azalması ile birlikte yüksek karışma sahip bir akım alanı meydana gelmektedir. Bu durum KSD eğrisi ile doğrulanmaktadır. KP tasarımı kullanılması halinde meydana gelen üç pik yerine bir pik değeri gözlenmektedir. Bu durum tank içerisinde bozunmasız izleyici ile suyun daha uzun süre temas ettiğini göstermektedir. Aynı zamanda oluşan pik yaklaşık 1 TKS sürede görülmektedir. Özellikle ozon ile ham suyun dezenfeksiyon veriminin 1 TKS boyunca değerlendirildiği düşünüldüğünde tankın hidrolik ve karışım verimlerinde meydana gelen iyileşmenin dezenfeksiyon verimini de doğrudan etkilediği anlaşılmaktadır.

Ozon temas tankı içerisinde üç parçalı GP tasarımı kullanılması durumunda da ÜYP tasarımına benzer şekilde bir pik değeri meydana gelmiş ve bu pik yaklaşık 1 TKS'de gözlenmiştir. Pikin eğiminin daha yüksek olması ise tank içerisinde meydana gelen piston akışına yakın akım yapısı ile açıklanabilir. Bozunmasız izleyici girişten enjekte edilmesinden itibaren tank odaları içerisinde kitle halinde ilerleyerek tank çıkışına ulaşmaktadır.

Farklı perde tasarımları kullanılması durumunda kümülatif KSD eğrilerinden elde edilen indeks değerleri Çizelge 5.17'de verilmiştir.

Çizelge 5.17. Ozon temas tankı hidrolik ve karışım verimi indeksleri

Tasarım	θ_{10}	Mo	σ	AD
KP	0.35	5.97	0.335	1.61
ÜYP	0.47	4.12	0.241	1.74
<i>İyileşme (%)</i>	35	31	28	9
GP	0.55	2.85	0.191	1.20
<i>İyileşme (%)</i>	56	52	43	-23

Ozon temas tankı içerisinde KP tasarımı kullanılması sonucunda elde edilen indeks değerleri değerlendirildiğinde:

- Temas tank “perde faktörü”ne göre zayıf sınıfında bir temas tankıdır.
- Mo indeksi değeri 5.97 olan temas tankının hidrolik verimi oldukça düşüktür.
- Dispersiyon indeksi açısından değerlendirme yapıldığında 0.335 değeri ideal bir karışım için önerilen 0 değerinden oldukça uzaktır.
- AD indeksi açısından değerlendirildiğinde ise 1.61 değerine sahip temas tankı ortalama sınıfında bir temas tankı olarak sınıflandırılabilir.

ÜYP tasarımı sayesinde tankın “perde faktörü”, Mo, dispersiyon ve AD indeksleri açısından iyileşme gösterdiğini kanıtlamaktadır.

- ÜYP tasarımı, “perde faktörü”ne göre tankı ortalama sınıfına yükseltmiştir.
- Mo indeksi 4.11 değerine düşerek karışım veriminin %31 artmasını sağlamıştır.
- Dispersiyon indeksi değeri ÜYP tasarımı kullanılması halinde 0’a yaklaşarak tank içerisinde yüksek karışımın meydana gelmesini sağlamıştır.
- AD indeksi ise hem hidrolik hem de karışım verimini bir arada içerdiğinden %8.54 artış ile tankın verimi bir arada artırmıştır.
- Bununla birlikte, farklı yarık genişlikleri, yarık sayısı ve yarıkların yerleri değiştirilerek yapılabilecek çalışmalar ile ÜYP tasarımının optimize edilmesi ve daha yüksek verim performansı elde edilmesi mümkündür.

GP tasarımının tank içerisinde kullanılması durumunda meydana gelen iyileşmeler:

- Tankı “perde faktörü” 0.545 değeri ile ortalama sınıfına girmiştir.
- Mo indeksi 2.85 değerine düşerek hidrolik verimin %52 artmasını sağlamıştır.
- GP tasarımı ile birlikte 0.191 dispersiyon indeksi değerine sahip yüksek karışımlı bir tank geliştirilmiştir.
- Üç tasarım arasında 1.2 AD indeks değerine sahip gözenekli perde tasarımı indeksin yüksek karışım ve hidrolik verime sahip olması için gerekli akım yapısından farklı bir akım yapısı meydana getirdiğinden en düşük değeri almıştır.

5.3.3. Ozon Dezenfeksiyon Sonuçları

Ozon temas tankının dezenfeksiyon verimi üç farklı perde tasarımı kullanılması durumunda incelenmiştir. Kullanılan ozon dezenfeksiyon modeli ile Giardia patojeninin 3 – log inaktivasyonu için gerekli ozon konsantrasyonları araştırılmıştır. Ozon, klora göre oldukça güçlü bir dezenfektan olduğundan patojen inaktivasyon değerlendirmesi KZ_{mevcut} değerine göre yapılmıştır. KZ_{mevcut} hesaplaması klor ile dezenfeksiyon sürecindeki değerlendirme ile benzer şekilde gerçekleştirilmiştir. Temas tankının ikinci odasının tabanında bulunan difüzörlerden enjekte edilen ozon ham su içerisindeki organik bileşenler ve meydana gelen yan ürünler sebebiyle azalarak tankın çıkışına doğru ilerlemektedir. Temas tankı çıkışında 1 TKS sonunda hesaplanan $C_{O_3, bakiye}$ değeri ile temas tankının T_{10} süresinin çarpılması sonucu KZ_{mevcut} değeri hesaplanır. Ozon dezenfeksiyon modelinde başlangıç koşullarının belirlenmesinde Zhang vd. (2014) tarafından verilen bilgiler kullanılmıştır.

Çizelge 5.18. Ham su başlangıç bilgileri

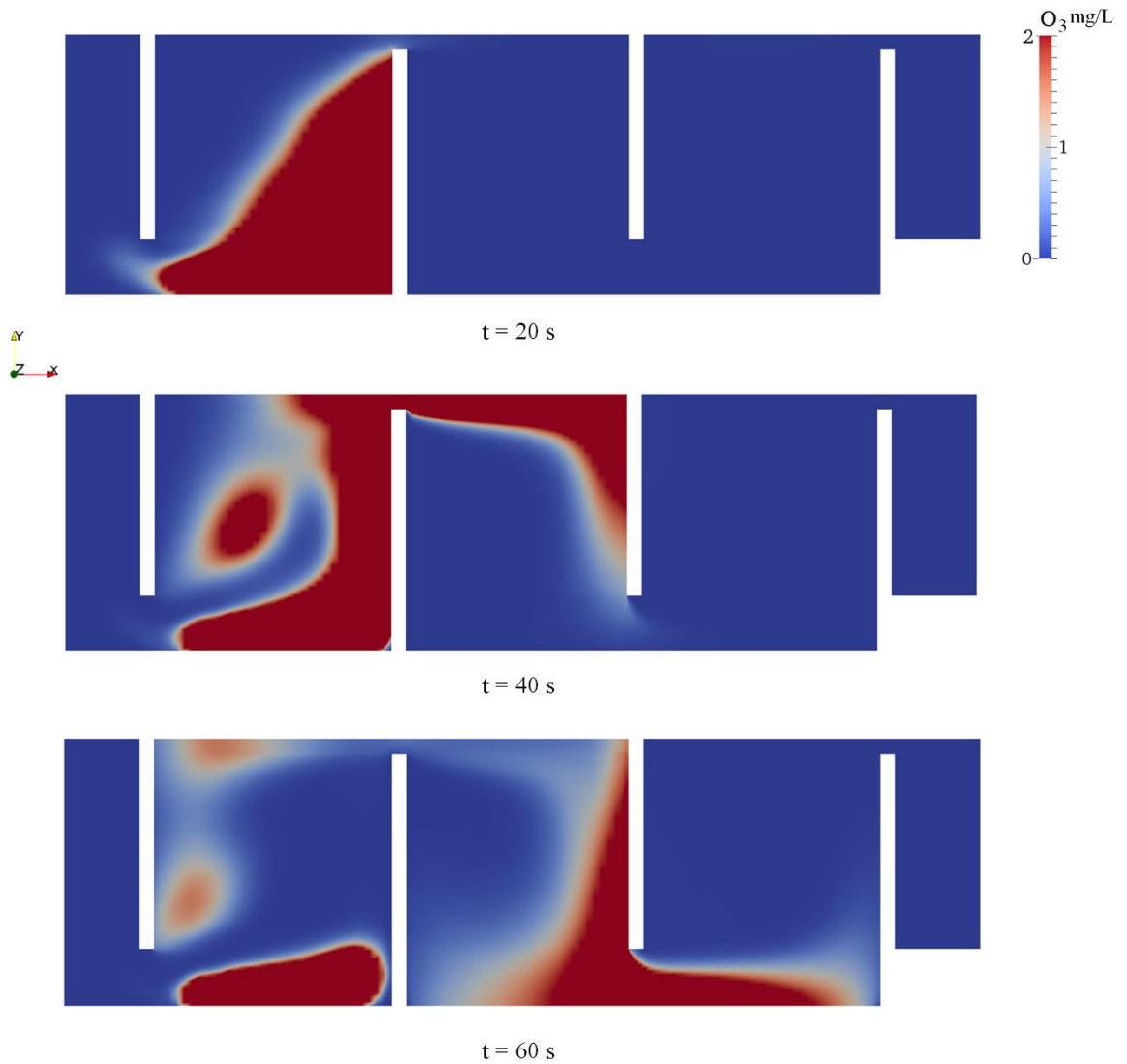
Değişken	Değeri	Boyutu
pH	6.55	-
TOC	4.9	mg/L
Br	0.053	mg/L

US EPA tarafından Giardia patojeninin 3 – log inaktivasyonu için gerekli KZ_{tablo} değeri $7.8 \text{ mg} \cdot \text{dk} / \text{L}$ olarak tablodan belirlenmiştir. Çizelge 5.19’da istenilen dezenfeksiyon veriminin sağlandığı ozon konsantrasyonları farklı perde tasarımları kullanılması durumunda verilmiştir.

Çizelge 5.19. İstenilen patojen inaktivasyonu için gerekli ozon konsantrasyonları

Tasarım	$O_{3, enjekte}$	KZ_{tablo}	$C_{O_3, bakiye} \text{ (mg/L)}$	$T_{10} \text{ (dk)}$	KZ_{mevcut}
KP	7.5	7.8	2.84	2.82	8.01
ÜYP	6.5	7.8	2.12	3.83	8.12
GP	6	7.8	1.74	4.63	8.05

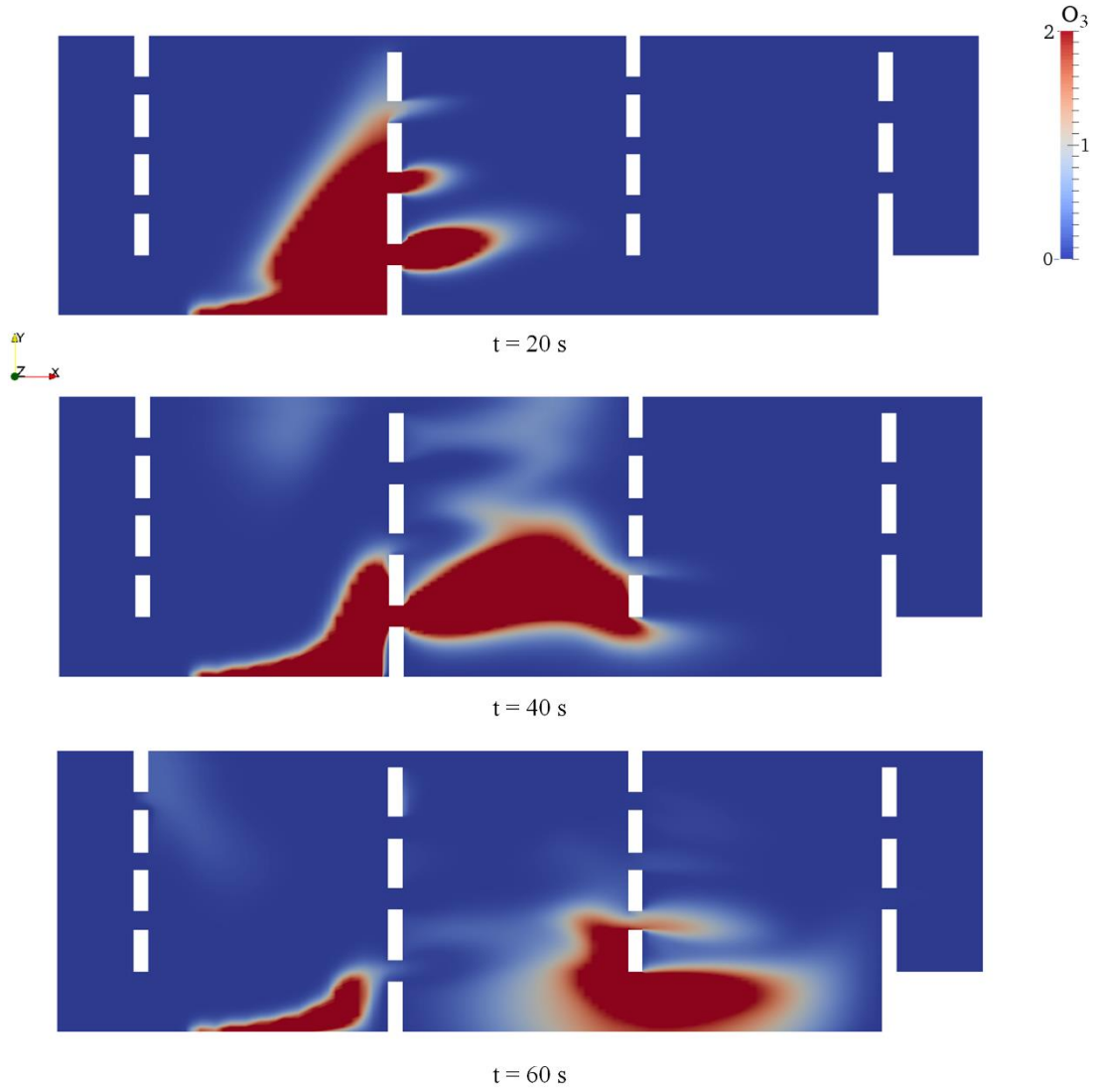
Temas tankı içerisinde KP tasarımının kullanılması durumunda 7.5 mg/L ozon kullanılması sonucunda istenilen dezenfeksiyon verimine ulaşılmıştır. Ozon temas tankı içerisinde bulunan perde tasarımlarının değiştirilmesi ile hidrolik ve karışım verimine ek olarak beklendiği gibi dezenfeksiyon verimi de artmıştır. Aynı dezenfeksiyon seviyesine ÜYP tasarımı ile %13.7, GP tasarımı ile %20 daha az ozon kullanılarak ulaşılmıştır. Bu durumun tank içerisinde meydana gelen akım yapısı, hidrolik ve karışım verimlerinde gerçekleştirilen iyileşmenin sonucu olarak sağlandığı bilinmektedir. Temas tankının z yönünde alınan kesitte ozon konsantrasyonunun zamanla ilerleyişi farklı perde tasarımları için Şekil 5.31 – 5.33’te verilmiştir.



Şekil 5.31. Ozon temas tankı içerisinde KP tasarımı kullanılması halinde farklı zaman adımlarında ozon ilerleyişi

Ozon temas içerisinde KP tasarımı bulunması halinde ozon enjeksiyonun 20. saniyesinde akım sonuçlarında görülen jet akışının ikinci odanın büyük bir bölümünde ozon konsantrasyonunu tankın üçüncü odasına taşıdığı görülmektedir. İkinci oda içerisinde meydana gelen ölü bölge ise henüz ozon ile temas etmemiş durumdadır. Simülasyonun 40. saniyesinde ise ozon konsantrasyonunun bir bölümünün ikinci oda içerisinde meydana gelen çevrinti bölgesi içerisinde kaldığı, kalan kısmının ise tankın üçüncü odasına taşındığı görülmektedir. Ozon konsantrasyonu ölçeğinin 0 ile 2 mg/L arasında renklendirilmesinden dolayı simülasyonun 60. saniyesinde yüksek ozon konsantrasyonları difüzörlerin olduğu bölgede, tankın üçüncü odasının jet akışı bulunan bölgesinde ve tankın dördüncü odasındaki jet akışı bölümünde görülmektedir. Bu durum tank içerisinde etkili bir dezenfeksiyon gerçekleşmediğini kanıtlamaktadır. Tank içerisinde yüksek karışımla dezenfeksiyon yapılması gerekirken bu durum mevcut temas tankı ile ancak yüksek konsantrasyonda ozon kullanılarak sağlanabilmektedir.

Farklı zaman adımlarında temas tankı içerisinde ÜYP tasarımının kullanılması durumunda ozon konsantrasyonunun ilerleyişi Şekil 5.32’de verilmiştir.

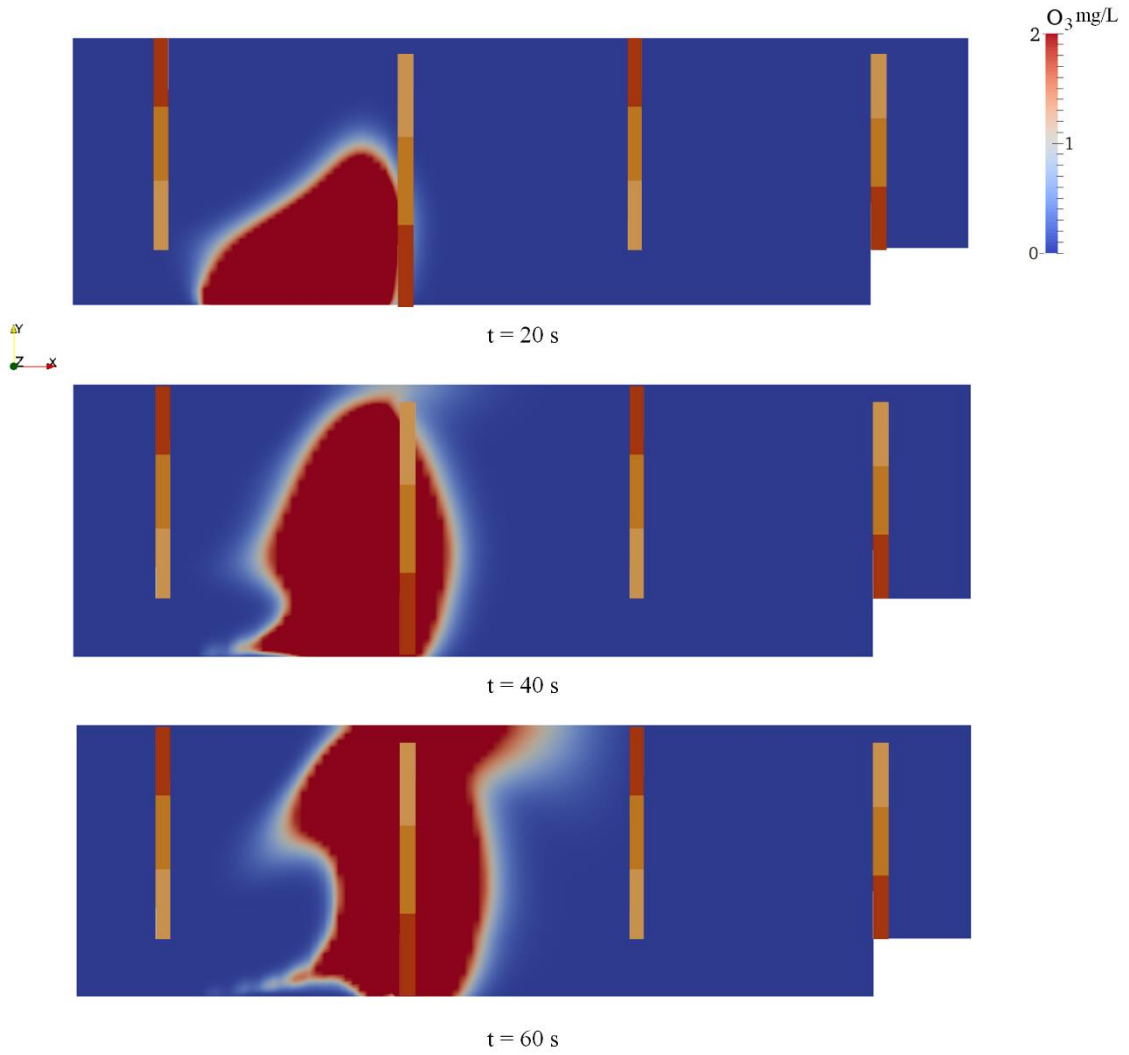


Şekil 5.32. Ozon temas tankı içerisinde ÜYP tasarımı kullanılması halinde farklı zaman adımlarında ozon ilerleyişi

ÜYP tasarımı KP tasarımına göre yüksek karışım verimine sahip bir temas tankı meydana getirmektedir. Difüzörlerden enjekte edilen ozon konsantrasyonu simülasyonun 20. saniyesinde ikinci oda içerisinde karışarak ilerlemekte ve yarıklardan üçüncü odaya geçmektedir. Meydana gelen yüksek karışım simülasyonun 40. saniyesinde tankın üçüncü odasında ozon konsantrasyonun dağılmış halde bulunduğunu göstermektedir. Odalar arasında geçiş olmasına olanak sağlayan ÜYP tasarımı tankın içerisinde ölü bölge oluşmamasından dolayı herhangi bir bölümde ozon birikmesine sebep olmadan etkili bir

dezenfeksiyon gerçekleşmesini sağlamaktadır. Aynı zamanda meydana gelen jet akışının momentumunu sönmülmesinden dolayı ozonun ham su ile temas süresini artırmaktadır. Simülasyonun 60. saniyesinde difüzörlerden çıkan ozonun üçüncü odaya ilk yarıktan geçiş yaptığı ve bu odada dezenfeksiyon gerçekleştirdiği görülmektedir. Aynı zamanda dördüncü odada jet akışı oluşmaması sebebiyle ozon konsantrasyonu ilerleyişini sürdürmektedir.

Geçirimsizliği akım yönünde artan üç parçalı GP tasarımının ozon konsantrasyonunun ilerleyişine etkisi Şekil 5.33'te farklı zaman adımları için verilmiştir. Temas tankı içerisinde piston akışına yakın bir akım bölgesi oluşturması sebebiyle GP tasarımı difüzörlerden enjekte edilen ozonun kitle halinde ilerleyerek etkili bir dezenfeksiyon gerçekleştirmesini sağlamıştır. Simülasyonun 20. saniye sonuçları incelendiğinde ikinci oda içerisinde ilerleyen ozonun odanın neredeyse tamamında ilerlediği görülmektedir. Simülasyonun 40. saniyesinde odalar arasında akım geçişi ile birlikte ozon konsantrasyonun bir kısmının üçüncü odaya iletildiği ancak büyük bir bölümünün henüz ikinci odada bulunduğu etkili bir dezenfeksiyon gerçekleştiğini göstermektedir. İncelenen 60. saniye sonuçları kitle halinde ozon konsantrasyonun dezenfeksiyon devam ettiğini ve akım yapısının jet akışı ya da ölü bölge içermemesinden kaynaklı olarak odalar içerisinde ozon birikmesinin oluşmadığını göstermektedir.



Şekil 5.33. Ozon temas tankı içerisinde GP tasarımı kullanılması halinde farklı zaman adımlarında ozon ilerleyişi

Geliştirilen ozon dezenfeksiyon modeli yan ürün oluşum formasyonu olarak Hipobromit (BrO^-), Bromindioksit (BrO_2) ve Bromat (BrO_3) oluşumlarını içermektedir. Kullanılan ozon konsantrasyonu ile doğrudan ilişkili bir durum olan yan ürün oluşumları her bir perde tasarımının istenilen dezenfeksiyon verimi sağladığı koşullardan elde edilen sonuçlar kullanılarak Çizelge 5.20’de karşılaştırılmıştır.

Çizelge 5.20. Ozon dezenfeksiyonu sonucu yan ürün oluşumları

Tasarım	O ₃ ,enjekte	BrO ⁻ (µg/L)	BrO ₂ (µg/L)	BrO ₃ (µg/L)
KP	7.5	24.82	23.17	66.48
ÜYP	6.5	17.66	19.27	56.64
Azalma (%)	15	29	17	15
GP	6	7.46	17.36	42.65
Azalma (%)	20	70	25	36

Ozon ile dezenfeksiyon sonucu meydana gelen yan ürünler klor ile dezenfeksiyon sonucu meydana gelen yan ürünlere göre toplum sağlığı açısından daha düşük etkidir. Buna rağmen geliştirilen perde tasarımlarının ozon temas tankı içerisinde kullanılması sayesinde yan ürün oluşumları azaltılmıştır. Ham su içerisindeki organik maddeler ile ozonun kimyasal reaksiyonu sonucunda meydana gelen bu yan ürünler ÜYP tasarımının kullanılması ile birlikte %28.85 daha az BrO⁻, %16.84 daha az BrO₂ ve %14.8 daha az BrO₃ oluşturmuştur. Üç parçalı GP tasarımı yan ürün oluşumunu KP tasarımına göre BrO⁻ oluşumunu %69.94, BrO₂ oluşumun %25.07 ve BrO₃ oluşumunu %35.85 azaltmıştır.

5.3.4. Ozon Kullanımı Ekonomik Analizi

Ozonla dezenfeksiyon yöntemi, ülkemizde içme suların dezenfeksiyonunda ön arıtma aşamasında kullanılmaktadır. İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi (İSKİ) bünyesinde Ömerli, İkitelli, Kağıthane, Elmalı ve Taşoluk İçme Suyu Dezenfeksiyon Tesisleri bulunmaktadır. Ozonla dezenfeksiyonun gerçekleştirildiği tesislerde yıllık maliyetin büyük bir kısmını tesiste kullanılan ozon oluşturmaktadır (Zhang vd., 2014).

Sayısal benzetimler, bir ozon temas tankında perde tasarımlarının değiştirilmesi ile istenilen dezenfeksiyon seviyesinin daha az ozon kullanımı ile gerçekleştirilebileceğini göstermiştir. Perde tasarımlarının İSKİ bünyesindeki ozon temas tanklarına uygulanması ve dezenfeksiyon veriminin yaklaşık %20 arttırılması halinde ozon maliyetindeki azalmaya bağlı olarak yıllık yapılabilecek tasarruf Çizelge 5.21’de verilmiştir. İlgili ozon temas tanklarının geometrik verilerinin temin edilmesi durumunda, yapılabilecek tasarım değişiklikleri ile verimdeki artış yüzdelerinin arttırılması da mümkün olabilecektir.

Çizelge 5.21. İstanbul’da bulunan ozon temas tanklarının perde tasarımlarının değiştirilmesi ile elde edilecek yıllık yaklaşık tasarruf.

Tesis	Ortalama Debi (m ³ /gün)	Yıllık Ozon Maliyeti (TL)	Tasarruf (TL/yıl)	
			GP Tasarımı	ÜYP Tasarımı
Ömerli	1,540,000	6,861,850	1,372,370	1,029,277
İkitelli	540,744	3,057,088	611,418	458,563
Kağıthane	338,886	3,825,362	765,072	573,804
Elmalı	7,107	228,002	45,600	34,200
Taşoluk	45,518	292,928	58,586	43,939
Toplam Tasarruf			2,853,046	2,139,783

Ozon temas tanklarının işletme maliyetlerinin en büyük kalemi olan ozon üretim maliyeti, ozon temas tankının dezenfeksiyon veriminin artırılması ile büyük oranda azaltılabilecektir. İstanbul’da bulunan ozon temas tanklarının perde tasarımında ÜYP tasarımı kullanılması halinde dezenfeksiyon maliyeti 2,139,783 TL azaltılabilecektir. Perde tasarımının GP tasarımına dönüştürülmesi ile bu miktar yaklaşık olarak 2,853,046 TL mertebesine yükselecektir. Bu değerlendirmeler sonucunda, ozon temas tankı üzerinde yapılacak tasarım değişiklikleri ile dezenfeksiyon maliyetlerinin büyük oranlarda azaltılabileceği görülmektedir. İdarelerin verebileceği karar sonucunda düşük verimli temas tanklarının verimlerinin artırılması ile dezenfeksiyon maliyetlerinin azaltılabileceği, böylece halkın suyu daha ucuza kullanmasının mümkün olabileceği değerlendirilmiştir.

Bu doktora tezi kapsamında, temas tanklarının hidrolik, karışım ve dezenfeksiyon verimleri deneysel ve sayısal olarak araştırılmıştır. Deneysel çalışmalar ESKİ arıtma tesisinde yer alan temas tankının 1:10 ölçekli laboratuvar modeli üzerinde yapılmış, tank içindeki türbülanslı akım yapısı ADH ile belirlenmiştir. Temas tankının girişinden enjekte edilen floresan ışığına duyarlı ve suda çözünmeyen boya, tankın çıkışında flor metre ile izlenerek elde edilen endeksler üzerinden tankın hidrolik ve karışım verimleri belirlenmiştir. Açık kaynak kodlu OpenFOAM yazılımı ile yapılan sayısal çalışmalarda hesaplama modelinin hem tankın içindeki türbülanslı akım yapısını hem de bozunmayan izleyicinin akım ile birlikte hareketini doğru ve hassas bir şekilde benzetebildiği görülmüştür. Hidrolik ve karışım verimlerine ilave olarak tankın dezenfeksiyon veriminin

değerlendirilebilmesi için birinci ve ikinci mertebeden klor dezenfeksiyon modelleri geliştirilerek açık kaynak kod alt yapısına eklenmiştir. Geliştirilen dezenfeksiyon modelleri kullanılarak, yönetmeliklere göre istenen dezenfeksiyon seviyelerinin sağlanabilmesi için gereken klor konsantrasyonları ve klorun sudaki organik bileşikler ile tepkimeye girerek oluşturduğu yan ürün miktarları belirlenmiştir.

Geleneksel temas tankı üzerinden yapılan deneysel ve sayısal çalışmalardan sonra gözenekli perde (GP) tasarımı geliştirilmiştir. GP için yapılan deneysel ve sayısal çalışmalar sonucunda bu yeni perde tasarımının temas tankının hidrolik ve karışım verimlerini arttırdığı görülmüştür.

Ozon temas tanklarının dezenfeksiyon performanslarının incelenebilmesi için altı adet denklemin çözümünden oluşan bir ozon dezenfeksiyon modeli geliştirilerek açık kaynak kod alt yapısına eklenmiştir. Yurtdışındaki bir içme suyu arıtma tesisinde bulunan ozon temas tankı üzerinde yapılan sayısal çalışmalarda temas sisteminin hidrolik, karışım ve dezenfeksiyon verimleri değerlendirilmiştir. Klor temas tankları için yapılan çalışmalarda olduğu gibi ozon temas tankındaki perde tasarımının değiştirilmesi ile temas tankının veriminin iyileştirilebileceği görülmüş, verimdeki iyileşmeye bağlı olarak elde edilebilecek yıllık ekonomik tasarruf 2018 yılı ekonomik verileri üzerinden değerlendirilmiştir.

Tez kapsamında yapılan deneysel ve sayısal çalışmalar sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Eskişehir Büyükşehir Belediyesi Klor Temas Tankı içerisinde bulunan KP tasarımı tankın hidrolik, karışım ve dezenfeksiyon verimi açısından geliştirilmesi gereken bir tanktır.
- Deneysel çalışmalar, tank içerisinde üç parçalı GP tasarımının kullanılması ile akım yapısının değiştirilerek piston akışına yaklaştırılabileceğini göstermiştir.
- Bozunmasız izleyici deneyleri sonucunda GP tasarımının tankın hidrolik ve karışım verimini artırdığı görülmüştür.

- Eskişehir Büyükşehir Belediyesi Klor Temas Tankı'nın gerçek boyutlarındaki geometrisi ve akım koşulları için dezenfeksiyon verimi değerlendirilmiştir. Değerlendirmeler sonucunda üç parçalı GP tasarımının tankın dezenfeksiyon verimini artırdığı görülmüştür.
- Perde tasarımında yapılacak değişikliklerle birlikte daha az klor kullanılarak istenilen dezenfeksiyon seviyesine ulaşılabileceği gösterilmiştir. KP tasarımı ile sağlanan dezenfeksiyon seviyesi, ÜYP tasarımı ile %40 daha az klor kullanarak, GP tasarımı ile %18 daha az klor kullanarak sağlanabilmektedir. Bu durumun doğal bir sonucu olarak da daha az yan ürün meydana gelmektedir.
- Dezenfeksiyon sürecinde kullanılan yıllık klor maliyeti 2018 bütçeleri üzerinden değerlendirildiğinde Eskişehir Büyükşehir Belediyesi Klor Temas Tankı içerisinde GP tasarımının kullanılması ile yıllık 167,400 TL, ÜYP tasarımı kullanılması ise yıllık 372,000 TL tasarruf yapılabileceği görülmüştür.

Tüm bu değerlendirmeler Eskişehir Büyükşehir Belediyesi Klor Temas Tankı içerisinde bulunan perde tasarımlarının değiştirilmesi ile hidrolik, karışım ve dezenfeksiyon verimi yüksek bir temas tankı ile içme ve kullanma suyunun sağlanabileceğini göstermektedir. Uygulanan perde tasarımlarının tank içerisinde kullanılması halinde klor maliyeti azalacak ve dezenfekte edilen su içerisinde daha az miktarda yan ürün bulunacaktır. Bu durum yapılacak değişikliklerin hem ekonomik hem de toplum sağlığı açısından faydalı olacağını göstermektedir.

İran'da bulunan bir ozon temas tankı içerisinde bulunan KP tasarımı değiştirilerek tankın hidrolik, karışım ve dezenfeksiyon verimi artışı değerlendirilmiştir. Değerlendirmeler sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Sayısal benzetim çalışmaları tank içerisinde oluşan jet akışına sahip, çevrinti ve ölü bölgelerin tank odalarının büyük bir bölümünü kapladığı, akım yapısının ÜYP tasarımı ile birlikte aktif bölgelere sahip karışımı

yüksek bir akım yapısına dönüştüğünü göstermiştir. GP tasarımı ise jet akışını yok ederek tank içerisinde piston akışına benzer bir akım yapısı oluşturmuştur.

- Mevcut perde tasarımı ile tank düşük hidrolik ve karışım verimine sahipken ÜYP ve GP tasarımları tankı hidrolik ve karışım verimleri yönünden sınıf atlatmıştır.
- Artan hidrolik ve karışım verimin sonucu olarak tankın dezenfeksiyon verimi de bu iki perde tasarımının kullanılması ile artmıştır. Ham su dezenfeksiyonu için gerekli ozon kullanımı ÜYP tasarımı ile %15, GP tasarımı ile %20 azalmıştır.
- Tankın perde tasarımında yapılacak değişiklikler ile gerçekleştirilen dezenfeksiyon verimi artırışı, daha düşük konsantrasyonda ozon ile istenilen dezenfeksiyonun gerçekleştirilmesini sağladığından ekonomik verimi de artırmaktadır.
- İstanbul'da bulunan mevcut ozon temas tanklarına ÜYP tasarımının uygulanması durumunda ozon maliyetinin 2018 verilerine göre yılda yaklaşık 2,139,783 TL, GP tasarımının uygulanması durumunda ise yaklaşık 2,853,046 TL azalacağı öngörülmektedir.

Tez kapsamında geliştirilen GP tasarımı hem klor hem de ozon temas tanklarına uygulanabilmektedir. Düşük verime sahip temas tankları içerisinde bu perde tasarımının kullanılması ile tankın verimi büyük oranda arttırılabilecektir. Yapılan çalışmalar sonucunda aşağıda verilen öneriler geliştirilmiştir:

- Temas tankları içme suyu arıtma tesislerinin önemli su yapılarından biri olduğu için geleneksel yöntemlerin dışında sürtünme ve türbülans gibi fiziksel etkiler dikkate alınarak Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) metotları ile projelendirilmelidir.
- Temas tanklarının projelendirilme esasları yeniden düzenlenmeli, HAD metotları ile projelendirme kriterleri yönetmeliklere girmelidir.

- Mevcut temas tanklarının verimleri düşük olduğu için gerek daha önce geliştirilmiş ÜYP ile, gerekse bu tez kapsamında geliştirilmiş GP ile verimlerinin artırılması mümkündür. İdarecilerin alacakları kararlar doğrultusunda mevcut temas tankları rehabilite edilerek verimleri artırılabilir, böylece hem dezenfeksiyon maliyetleri düşürülebilir hem de klorun sudaki organik bileşikler ile tepkimeye girmesi sonucu oluşan toplum sağlığına zararlı yan ürünler azaltılabilir.



KAYNAKLAR DİZİNİ

- Amy, G. L., Chadik, P. A., Chowdhury, Z. K., 1987, Developing models for predicting trihalomethane formation potential and kinetics. *Journal of American Water Works Association*, 79(7), 89–97.
- Angeloudis, A., Stoesser, T., Falconer, R. A., Kim, D., 2015, Flow, transport and disinfection performance in small- and full-scale contact tanks. *Journal of Hydro-Environment Research*, 9(1), 15–27.
- Angeloudis, A., Stoesser, T., Gualtieri, C., Falconer, R. A., 2016, Contact tank design impact on process performance. *environmental modeling & assessment*, 21(5), 563–576.
- Aral, M. M., Demirel, E., 2017, Novel slot-baffle design to improve mixing efficiency and reduce cost of disinfection in drinking water treatment. *Journal of Environmental Engineering*, 143(9), 1–5.
- Chick, H., 1908, An investigation of the laws of disinfection. *J. of Hyg.* 8, 92-158.
- Clark, R. M., 1991, Modeling inactivation of giardia. *Journal of Environmental Engineering*, 116(5):, 837–853.
- Clark, R. M., Sivaganesan, M., 2002, Predicting chlorine residuals in drinking water: second order model. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 128, 152–161.
- Deborde, M., Gunten U., 2008, Reactions of chlorine with inorganic and organic compounds during water treatment-Kinetics and mechanisms: a critical review. *Water Res.* 42(1-2), 13-51
- Demirel, E., Aral, M. M., 2016a, Unified analysis of multi-chamber contact tanks and mixing efficiency based on vorticity field. Part I: Hydrodynamic analysis. *Water*, 8(11), 495.
- Demirel, E., Aral, M. M., 2016b, Unified analysis of multi-chamber contact tanks and mixing efficiency based on vorticity field. Part II: Transport Analysis. *Water*, 8(11), 537.
- Demirel, E., Aral, M., 2018a, An efficient contact tank design for potable water treatment. *Teknik Dergi*, 8279–8294.
- Demirel, E., Aral, M. M., 2018b, Performance of efficiency indexes for contact tanks. *Journal of Environmental Engineering*, 144(9).

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Domaingo, A., Langmayr, D., Somogyi, B., Almbauer, R., 2016, A semi-implicit treatment of porous media in steady-state CFD. *Transport in Porous Media*, 112(2), 451–466.
- Greene, D. J., Haas, C. N., Farouk, B., 2006, Computational fluid dynamics analysis of the effects of reactor configuration on disinfection efficiency. *Water Environment Research*, 78(9), 909–919.
- Higuera, P., Lara, J. L., Losada, I. J., 2014, Three-dimensional interaction of waves and porous coastal structures using OpenFOAM ® . Part II: Application. *Coastal Engineering*, 83, 259–270.
- Kim, D., Elovitz, M., Roberts, P. J. W., Kim, J. H., 2010, Using 3D LIF to investigate and improve performance of a multichamber ozone contactor. *Journal of American Water Works Association*, 102(10), 61–70.
- Kim, D., Kim, D.-I., Kim, J.-H., Stoesser, T., 2010, Large eddy simulation of flow and tracer transport in multichamber ozone contactors. *Journal of Environmental Engineering*, 136(1), 22–31.
- Kim, D., Stoesser, T., Kim, J. H., 2013a, Modeling aspects of flow and solute transport simulations in water disinfection tanks. *Applied Mathematical Modelling*, 37(16–17), 8039–8050.
- Kim, D., Stoesser, T., Kim, J. H. 2013b, The effect of baffle spacing on hydrodynamics and solute transport in serpentine contact tanks. *Journal of Hydraulic Research*, 51(5), 558–568.
- Kizilaslan, M. A., Demirel, E., Aral, M. M., 2019, Efficiency enhancement of chlorine contact tanks in water treatment plants: a full-scale application. *Processes*, 7(9), 551.
- Kizilaslan, M. A., Demirel, E., Aral, M. M., 2018, Effect of porous baffles on the energy performance of contact tanks in water treatment. *Water*, 10(8), 1084.
- Launder, B.E., Spalding, D.B., 1974, The numerical computation of turbulent flows. *Comput.Methods in Appl.Mech.Eng.* 3(2), 269-289.
- Lee, S., Park, N., Park, H., 2016, Development of new disinfection indicator in chlorine contact tanks. *Environmental Engineering Science*, 00(00), 1–10.
- Niazi, S., Kalbasi, M., Bahramian, A., 2017, Hydraulic and disinfection efficiency of an ozonation contactor for a municipal water treatment plant using computational fluid dynamics. *Canadian Journal of Chemical Engineering*, 95(11), 2063–2072.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Nortek, 2004, VECTRINO Velocimeter User Guide, Ekim 2004.
- OpenFOAM, 2015, *The OpenFOAM Foundation*; OpenCFD Ltd., Bracknell, UK.
- Rauen, W. B., 2005, Physical and numerical modelling of 3-D flow and mixing processes in contact tanks, Doktora tezi, Cardiff Üniversitesi, 251 s.
- Rauen, W. B., Angeloudis, A., Falconer, R. A., 2012, Appraisal of chlorine contact tank modelling practices. *Water Research*, 46(18), 5834–5847.
- Rauen, W. B., Lin, B., Falconer, R. A., Teixeira, E. C., 2008, CFD and experimental model studies for water disinfection tanks with low Reynolds number flows. *Chemical Engineering Journal*, 137(3), 550–560.
- San, B., Wang, Y., Qiu, Y., 2018, Numerical simulation and optimization study of the wind flow through a porous fence. *Environmental Fluid Mechanics*, 18(5), 1057–1075.
- Teixeira, E. C., Siqueira, R. D. N., 2008, Performance assessment of hydraulic efficiency indexes. *Journal of Environmental Engineering*, 134(10), 851–859.
- United States Environmental Protection Agency, 2003, Disinfection profiling and benchmarking guidance manual. Appendix A Rep. No. EPA 816-R-03-004 EPA Cincinnati, USA.
- Vieira, P., Coelho, S. T., Loureiro, D., 2004, Accounting for the influence of initial chlorine concentration, TOC, iron and temperature when modelling chlorine decay in water supply. *Journal of Water Supply: Research and Technology - AQUA*, 53(7), 453–467.
- Wang, H., A. Falconer, R., 1998, Simulating disinfection processes in chlorine contact tanks using various turbulence models and high-order accurate difference schemes. *Water Research*, 32(5), 1529–1543.
- Watson, H. E., 1908, A Note on the variation of disinfection with change in the concentration of the disinfectant. *J. Hyg.*, 8, 536–542.
- Wilson, J. M., Venayagamoorthy, S. K., 2010, Evaluation of hydraulic efficiency of disinfection systems based on residence time distribution curves. *Environmental Science and Technology*, 44(24), 9377–9382.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Wols, B. A., Uijttewaall, W. S. J., Rietveld, L. C., Stelling, G. S., Van Dijk, J. C., Hofman, J. A. M. H., 2008, Residence time distributions in ozone contactors. *Ozone: Science and Engineering*, 30(1), 49–57.
- Yang, J., Li, J., Zhu, J., Dong, Z., Luo, F., Wang, Y., Liu, H., Jiang, C., Yuan, H., 2017, A novel design for an ozone contact reactor and its performance on hydrodynamics, disinfection, bromate formation and oxidation. *Chemical Engineering Journal*, 328, 207–214.
- Zhang, G., Lin, B., Falconer, R. A., 2000, Modelling disinfection by-products in contact tanks. *Journal of Hydroinformatics*, 2(2), 123–132.
- Zhang, J., Pierre, K. C., Tejada-Martinez, A. E., 2019, Impacts of flow and tracer release unsteadiness on tracer analysis of water and wastewater treatment facilities. *Journal of Hydraulic Engineering*, 145(4).
- Zhang, J., Tejada-Martinez, A. E., Zhang, Q., 2016, Rapid analysis of disinfection efficiency through computational fluid dynamics. *Journal of American Water Works Association*, 108(1), E50–E59.
- Zhang, J., Tejada-Martínez, A. E., Zhang, Q., 2013, Reynolds-averaged Navier-Stokes simulation of the flow and tracer transport in a multichambered ozone contactor. *Journal of Environmental Engineering*, 139(3), 450–454.
- Zhang, J., Tejada-Martínez, A. E., Zhang, Q., 2014, Evaluation of Large Eddy Simulation and RANS for determining hydraulic performance of disinfection systems for water treatment. *Journal of Fluids Engineering*, 136(12), 121102.
- Zhang, J., Tejada-Martínez, A. E., Zhang, Q., Lei, H., 2014, Evaluating hydraulic and disinfection efficiencies of a full-scale ozone contactor using a RANS-based modeling framework. *Water Research*, 52, 155–167.

ÖZGEÇMİŞ

Mehmet Anıl Kızılaslan

Araştırma Görevlisi

Öğrenim Bilgisi

Doktora

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Mezuniyet Yılı: 2020

Tez Başlığı: İçme Sularının Arıtılmasında Temas Tanklarının Hidrolik ve Karışım Verimlerinin Araştırılması ve Perde Tasarımının Geliştirilmesi

Danışman: Doç. Dr. Ender Demirel

Yüksek Lisans

İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Hidrolik ve Su Kaynakları Mühendisliği Anabilim Dalı

Mezuniyet Yılı: 2014

Tez Başlığı: Uydu (Grace) Gravimetri Yöntemi İle Belirlenen Su Kütlesi Değişimlerinin Ölçülmüş Hidrometeorolojik Verilerle Karşılaştırılması

Danışman: Prof. Dr. Bihret Önöz, Doç. Dr. Oral Yağcı

Lisans

Pamukkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü

Mezuniyet Yılı: 2011

Görevler

Araştırma Görevlisi (2014 – Devam ediyor)

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık
Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü

Araştırma Görevlisi (2012 – 2014)

Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat
Mühendisliği Bölümü

Projelerde Yaptığı Görevler

Bursiyer (2018 – Devam ediyor)

Proje Başlığı: İçme Sularının Arıtılmasında Kullanılan Temas Tanklarının
Hidrolik Ve Karışım Verimlerinin Arttırılması İçin Gözenekli
Perdelerin Araştırılması Ve Geliştirilmesi, - Tübitak 1001.

Yürütücü: Doç. Dr. Ender Demirel

Danışman: Prof. Dr. Mustafa M. Aral

Eserler

Uluslararası hakemli dergilerde yayımlanan makaleler:

1. Kızılaslan Mehmet Anıl, Demirel Ender, Aral Mehmet Mustafa (2019).
Efficiency Enhancement of Chlorine Contact Tanks in Water Treatment
Plants: A Full-Scale Application. Processes, 7(9), 551, Doi:
10.3390/pr7090551 (Yayın No: 5197864)
2. Kızılaslan Mehmet Anıl, Demirel Ender, Aral Mehmet Mustafa (2018). Effect
of Porous Baffles on the Energy Performance of Contact Tanks in Water
Treatment. Water, 10(8), 1084, Doi: 10.3390/w10081084 (Yayın No:
4338464)

ULAKBİM tarafından taranan ulusal hakemli dergilerde yayımlanmış makaleler:

1. Atlas Elif Deniz, Kızılaslan Mehmet Anıl, Demirel Ender (2020). Geniş başlıklı savağın membasındaki türbülanslı akımın deneysel olarak incelenmesi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, doi: 10.5505/pajes.2019.09225
2. Kızılaslan Mehmet Anıl, Demir Fatma, Doğan Emrah, Sönmez Osman (2014). Aşağı Sakarya Nehri akımlarının yapay sinir ağları ile tahmin edilmesi. SAÜ. Fen Bil. Der. 18. Cilt, 2. Sayı, s. 99-103, 2014

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

1. Kızılaslan Mehmet Anıl, Demirel Ender, Aral Mehmet Mustafa (2018). Disinfection Performance of Slot-Baffle Design in Water Treatment. International Symposium on Urban Water and Wastewater Management (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:4559496)
2. Kızılaslan Mehmet Anıl, Demirel Ender (2018). Numerical Investigation of Turbulent Flow Through Porous Zone Inside a Contact Tank. 13th International Congress on Advances in Civil Engineering (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:4559558)
3. Kızılaslan Mehmet Anıl, Demirel Ender (2018). Numerical Investigation of Turbulent Flow Through Porous Zone Inside a Contact Tank. 13th INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCES IN CIVIL ENGINEERING (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:4355983)
4. Kızılaslan Mehmet Anıl, Demirel Ender (2017). Numerical Investigation of the Recirculation Zone LengthUpstream of the Round-Nosed Broad Crested Weir. 6th International Conference on Urban Design, Transportation, Architectural and EnvironmentalEngineering (UTAAEE-17) (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:3663553)
5. Kızılaslan Mehmet Anıl, Demirel Ender, Kırıççı Volkan, Çelik Ahmet Ozan (2015). ADV measurements near a V-noch weir. International Conference on

Engineering Sciences and Technologies (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:4355996)

6. Kırıççı Volkan, Çelik Ahmet Ozan, Kızılaslan Mehmet Anıl, Demirel Ender (2015). Numerical modeling of a V notch weir. International Conference on Engineering Sciences and Technologies (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:4356005)
7. Kızılaslan Mehmet Anıl, Doğan Emrah, Sönmez Osman, Demir Fatma, Çeribaşı Gökmen (2014). Daily Water Level Estimation of Lake Iznik Using Artificial Neural Networks. International Civil Engineering Architecture Symposium for Academicians (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:4356085)
8. Kızılaslan Mehmet Anıl, Doğan Emrah, Sönmez Osman, Demir Fatma, Çeribaşı Gökmen (2014). Artificial Neural Networks and Multiple Linear Regression Analysis Applications to Predict Daily Water Level of Lake Sapanca. International Civil Engineering Architecture Symposium for Academicians (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:4356079)