

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**ANTALYADAKİ OTELLERİN YÜZME HAVUZLARINDA
MİKROBİYOLOJİK KALİTE VE MİKROBİYAL RİSK DEĞERLENDİRMESİ
(QMRA)**

Merve YOLDAŞ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EYLÜL 2025

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**ANTALYADAKİ OTELLERİN YÜZME HAVUZLARINDA
MİKROBİYOLOJİK KALİTE VE MİKROBİYAL RİSK DEĞERLENDİRMESİ
(QMRA)**

Merve YOLDAŞ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EYLÜL 2025

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ANTALYADAKİ OTELLERİN YÜZME HAVUZLARINDA
MİKROBİYOLOJİK KALİTE VE MİKROBİYAL RİSK DEĞERLENDİRMESİ
(QMRA)**

**Merve YOLDAŞ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Bu tez Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından 6526 nolu proje ile desteklenmiştir.

EYLÜL 2025

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ANTALYADAKİ OTELLERİN YÜZME HAVUZLARINDA
MİKROBİYOLOJİK KALİTE VE MİKROBİYAL RİSK DEĞERLENDİRMESİ
(QMRA)

Merve YOLDAŞ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez 29/09/2025 tarihinde jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Gönül TUĞRUL İÇEMER (Danışman)
Prof. Dr. Aslı Seyhan ÇİĞGIN
Prof. Dr. Bilgehan İlker HARMAN

ÖZET

ANTALYADAKİ OTELLERİN YÜZME HAVUZLARINDA MİKROBİYOLOJİK KALİTE VE MİKROBİYAL RİSK DEĞERLENDİRMESİ (QMRA)

Merve YOLDAŞ

Yüksek Lisans Tezi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Gönül TUĞRUL İÇEMER

Eylül 2025; 80 sayfa

Yüzme havuzları rekreasyonel amaçlı kullanılan yapay su ortamları olup, çeşitli patojen mikroorganizmaların çoğalması için uygun koşullar oluşturabilmektedir. Bu çalışma ile “Kantitatif Mikrobiyal Risk Değerlendirmesi” modeli kullanılarak yetişkin ve çocukların havuz sularındaki mikrobiyal riske karşı korunması ve önlemler oluşturulması amaçlanmıştır. Bu kapsamda, numunelerde turizm sezonu süresince fiziko-kimyasal olarak pH, havuz suyu sıcaklığı ve serbest klor ölçümleri yapılmıştır. OMRA modeli ile enfeksiyon riski belirlenmesi amacıyla *E. coli*, *İ. Enterekok*, *P. aeruginosa*, *S. aureus* ve *Salmonella spp* için seçici besiyer kullanılarak inkübasyonları sonucu sayımları yapılmıştır. Sayım sonuçları QMRA üstel yöntem modeli ile hesaplanmıştır.

Yapılan QMRA hesaplamaları, özellikle yaz aylarında sıcaklık ve kullanıcı yoğunluğunun artışıyla birlikte mikrobiyal kontaminasyon riskinin yükseldiğini ve bu durumun halk sağlığı açısından kritik bir tehdit oluşturduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca, *P. aeruginosa* ve *S. aureus* türleri havuz suyunda kullanılan ulusal yönetmelik sınır değerlerini aşmıştır. Elde edilen bulgular, yalnızca düzenli mikrobiyolojik analizlerin yeterli olmadığını; risk temelli izleme ve önleyici kontrol stratejilerinin uygulanması gerektiğini göstermektedir. Özellikle klorlama ve dezenfeksiyon işlemlerinde yaşanan yetersizliklerin, *E. coli*, *P. aeruginosa* ve *S. aureus* gibi mikroorganizmaların enfeksiyon potansiyelini artırdığı belirlenmiştir. Bu kapsamda, halk sağlığının korunabilmesi için havuzlarda düzenli denetimlerin yapılması, mikrobiyolojik limitlerin yakından takip edilmesi ve kullanıcı yoğunluğuna bağlı esnek kontrol stratejilerinin geliştirilmesi önerilmektedir.

ANAHTAR KELİMELELER: Antalya, Halk sağlığı, Kantitatif mikrobiyal risk değerlendirme, Mikrobiyolojik özellikler, Otel yüzme havuzu.

JÜRİ: Doç. Dr. Gönül TUĞRUL İÇEMER

Prof. Dr. Aslı Seyhan ÇİĞGIN

Prof. Dr. Bilgehan İlker HARMAN

ABSTRACT

MICROBIOLOGICAL QUALITY AND MICROBIAL RISK ASSESSMENT (QMRA) IN THE SWIMMING POOLS OF HOTELS IN ANTALYA

Merve YOLDAŞ

MSc. Thesis in Environmental Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Gönül TUĞRUL İÇEMER

September 2025; 80 pages

Swimming pools are artificial aquatic environments used for recreational purposes and can provide favorable conditions for the proliferation of various pathogenic microorganisms. This study aimed to protect adults and children against microbial risks in pool waters and to develop preventive measures by applying the Quantitative Microbial Risk Assessment (QMRA) model. In this context, physicochemical parameters such as pH, water temperature, and free chlorine were measured in the samples throughout the tourism season to determine infection risk using the QMRA model. *E. coli*, *L. Enterococcus*, *P. aeruginosa*, *S. aureus*, and *Salmonella spp.* were quantified by incubation on selective media. The enumeration results were analyzed using the exponential dose–response model within the QMRA framework.

The QMRA results revealed that microbial contamination risk increases significantly during the summer months due to rising water temperatures and higher bather loads, posing a critical threat to public health. Furthermore, the concentrations of *P. aeruginosa* and *S. aureus* exceeded the national regulatory limits for pool water quality. The findings indicate that regular microbiological monitoring alone is insufficient and highlight the need for risk-based surveillance and preventive control strategies. In particular, inadequacies in chlorination and disinfection processes were found to enhance the infection potential of microorganisms such as *E. coli*, *P. aeruginosa*, and *S. aureus*. Therefore, to safeguard public health, it is recommended that swimming pools undergo regular inspections, microbiological limits be closely monitored, and flexible control strategies be developed in relation to user density.

KEYWORDS: Antalya, Hotel swimming pool, Microbiological properties, Quantitative microbial risk assessment, Public health.

COMMITTEE: Assoc. Prof. Dr. Gönül T. İÇEMER

Prof. Dr. Aslı Seyhan ÇİĞGIN

Prof. Dr. Bilgehan İlker HARMAN

ÖNSÖZ

Tez süresince bilgi ve tecrübeleriyle her aşamada yol gösterici, değerli danışmanım Doç. Dr. Gönül Tuğrul İÇEMER'e (Akdeniz Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü – çalışmanın planlanması, yürütülmesi ve bilimsel katkıları için) en içten teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar analizlerinin gerçekleştirilmesinde teknik destek sağlayan GÜNSU A.Ş. Laboratuvarı çalışanlarına ve numune alım sürecinde gerekli kolaylığı sağlayan Antalya'daki otel yönetimlerine katkılarından ötürü teşekkür ederim. Ayrıca bu çalışmayı maddi olarak destekleyen Akdeniz Üniversitesi BAP Koordinatörlüğü'ne (6526 nolu proje desteği) şükranlarımı sunarım.

Çalışmam boyunca manevi desteğini her zaman yanımda hissettiğim aileme ve yakın çevreme sabırları ve destekleri için sonsuz teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ	iii
AKADEMİK BEYAN	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
1.1 Turizm ve Konaklama Tesislerine İlişkin Uygulamalar	2
1.1.1 Havuz Çeşitleri	3
1.1.2 Kullanıcı Grupları ve Risk Duyarlılığı.....	4
1.1.3 Yüzme Havuzlarının Yüzme Suyu ve Kalitesinin Yönetimine Dair Ulusal Mevzuat	4
1.1.4 Yüzme Havuzları ile İlgili Uluslararası Yönetmelikler	6
1.2 Yüzme Havuzlarında Mikroorganizmaların Kaynağı ve Çoğalma Faktörleri....	7
1.3 Yüzme Havuzlarında Sık Rastlanan Mikrobiyal Patojenler	8
A. <i>Escherichia coli</i> (<i>E. coli</i>)	8
B. <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	8
C. <i>Legionella pneumophila</i>	8
D. <i>Cryptosporidium spp.</i>	8
E. <i>Acanthamoeba spp.</i>	8
F. Norovirus	9
G. Adenovirüs	9
1.4 Kantitatif Mikrobiyal Risk Değerlendirmesi (QMRA) nedir?.....	9
1.4.1 QMRA Modelinin Aşamaları	11
1.4.2 WHO'nun QMRA Modelinin Su Kalitesi Yönetiminde Kullanımı	12
1.5 Kantitatif Mikrobiyal Risk Değerlendirmesi (QMRA) nedir?.....	14
1.5.1 Kantitatif Mikrobiyal Risk Değerlendirmesi (QMRA) Yöntemi.....	14
1.5.2 QMRA'nın Sağlık Politikaları ve Uygulamaları Üzerindeki Rolü.....	15
1.6 Risk Değerlendirme Süreci Nedir?.....	15
1.6.1 Risk Değerlendirme Süresi	16

1.7	Yüzme Havuzlarında Kontrol ve Dezenfeksiyon Yöntemleri.....	16
1.7.1	Klorlama Yöntemi	16
1.7.2	Bakır-Gümüş İyonizasyon Sistemi.....	17
1.7.3	Ozonlama Sistemi.....	17
1.7.4	Ultraviyole (UV) Işınlama.....	17
1.7.5	Bromlama	17
1.7.6	Potasyum Permanganat	18
1.7.7	Kombine Yöntemler (Klor + UV, Ozon + UV vb.)	18
2.	KAYNAK TARAMASI.....	19
2.1	Havuzlarda Yapılan Fiziksel ve Kimyasal Analizlerin Yapılmasının Önemi ..	19
2.2	Havuzlarda Bakteriler ve QMRA Hakkında Yapılan Araştırmaların Özetleri.	19
2.3	QMRA Hakkında Yapılan Çalışmaların Özetleri	22
2.4	Yüzme Havuzu Suyu Kaynaklı Yapılan QMRA Çalışmaları	24
3.	MATERYAL VE METOT.....	27
3.1	Çalışmanın Numune Alındığı Yerler ve Önemi	27
3.2	Mikrobiyolojik ve Fiziko-Kimyasal Analizler İçin Numune Alımı	30
3.3	QMRA (Kantitatif Mikrobiyolojik Risk Değerlendirmesi) Yöntemi ve Hesaplamalar.....	32
3.4	Yüzme Havuzlarında Mikrobiyal Kirlenme	34
4.	BULGULAR.....	35
4.1	Ölçülen Fiziko-kimyasal Parametrelerin Sonuçları	35
4.2	Fizikokimyasal Parametrelerin Mevsimsel Değişimi ve Mikrobiyolojik Risklerle İlişkisi.....	37
4.3	Hesaplanan Mikrobiyolojik Parametrelerin Sonuçları ve Değerlendirmesi	38
4.3.1	<i>İ. Enterococcus</i> ve <i>Salmonella</i> spp İçin Risk ve Doz-Yanıt Değerlendirmesi.	39
4.3.2	<i>E.coli</i> 'ye Bağlı Hastalık Risklerinin Turizm Sezonu ve Tesis Bazında Değerlendirilmesi	44
4.3.3	<i>P.aeruginosa</i> İçin Risk Değerlendirmesi ve Doz-Yanıt Hesaplaması	46
4.3.4	<i>S.aureus</i> İçin Risk Değerlendirmesi ve Doz-Yanıt Hesaplaması.....	47
4.4	Tesis Bazında Dezenfeksiyon Yöntemleri ve Uygulama Etkinliği.....	49
5.	TARTIŞMA	52
5.1	Mikrobiyolojik Bulguların Yorumlanması	53

5.2 Patojenlerin Maruziyet Yollarına Göre Risk Profilleri	53
5.3 QMRA Bulgularının Literatür Taramaları ile Karşılaştırılması.....	54
5.4 Halk Sağlığı Açısından Tesislerde Uygulanmasının Önemi.....	55
5.5 Dezenfeksiyon Stratejilerinin Tesis Bazında Etkinlik Değerlendirmesi ve Öneriler.....	57
6. SONUÇLAR	59
6.1 ÖNERİLER	61
7. KAYNAKLAR	64
8. EKLER.....	71
ÖZGEÇMİŞ	



AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Antalya’daki Otellerin Yüzme Havuzlarında Mikrobiyolojik Kalite ve Mikrobiyal Risk Değerlendirmesi (QMRA)” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

29/09/2025

Merve YOLDAŞ

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

k	: Patojen maruziyeti ile enfeksiyon olasılığı arasındaki ilişkiyi ifade eden sabit değer
L	: Litre
ml	: Mililitre
N	: Örnek sayısı
P _{inf}	: Enfeksiyon olasılığı

Kısaltmalar

<i>E.coli</i>	: <i>Escherichia coli</i>
ENT	: <i>İntestinal Enterekok</i>
H1	: Genel havuz
HÇ	: Çocuk Havuz
HÇA	: Çocuk Aqua Havuz
ISO	: Uluslararası Standartlar Teşkilatı
mg	: Miligram
PSEU	: <i>Pseudomonas aeruginosa</i>
QMRA	: Kantitatif Mikrobiyolojik Risk Değerlendirmesi (Quantitative Microbiological Risk Assessment)
STAPH	: <i>Staphylococcus aeureus</i>
TS	: Türk Standartları
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
UNWTO	: Dünya Turizm Örgütü (United Nations World Tourism Organization)
USEPA	: Çevre Koruma Ajansı
WHO	: Dünya Sağlık Örgütü

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Açık Yüzme Havuzu Görünümü	4
Şekil 1.2 Mikroorganizma Tehlike Şeması	9
Şekil 1.3 QMRA adımları	11
Şekil 2.1 Yüzme Havuzlarında Sık Görülen Bazı Bakteri Türleri	20
Şekil 3.1 Antalya Otellerinden Bir Örnek	28
Şekil 3.2 Numune Alınan Aqua Havuz	28
Şekil 3.3 Numune Alınan Çocuk Havuzu.....	29
Şekil 3.4 Numune Alınan Relax Havuz.....	29
Şekil 4.1 Turizm sezonu süresince otellerin açık havuzlarında ortalama sıcaklık değişimleri.....	35
Şekil 4.2 Turizm sezonu süresince otellerin açık havuzlarında ortalama pH değişimleri	36
Şekil 4.3 Turizm sezonu süresince otellerin açık havuzlarında ortalama pH değişimleri	37
Şekil 4.5 Yüzme havuzlarında yetişkinlerin 50 ml yutulan su miktarına göre <i>E.coli</i> doz- yanıt sonuçları	44
Şekil 4.6 Yüzme havuzlarında çocukların 25 ml yutulan su miktarına göre <i>E.coli</i> doz- yanıt sonuçları	44
Şekil 4.7 Yüzme havuzlarında yetişkinlerin 50 ml yutulan su miktarına göre PSEU doz- yanıt sonuçları	46
Şekil 4.8 Yüzme havuzlarında çocukların 25 ml yutulan su miktarına göre PSEU doz- yanıt sonuçları	46
Şekil 4.9 Yüzme havuzlarında yetişkinlerin 50 ml yutulan su miktarına göre <i>S.aureus</i> doz-yanıt sonuçları	47
Şekil 4.10 Yüzme havuzlarında çocukların 25 ml yutulan su miktarına göre <i>S.aureus</i> doz-yanıt sonuçları	48

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1 Genel olarak kullanılan havuz tipleri, özellikleri ve riskleri	5
Çizelge 3.1 Mikroorganizma Tayinlerinde Kullanılan Yöntemler	32
Çizelge 4.1 Yüzme Havuzlarında Hesaplanan Ortalama Sıcaklık Değerleri	35
Çizelge 4.2 Yüzme Havuzlarında Hesaplanan Ortalama pH Değerleri.....	36
Çizelge 4.3 Yüzme Havuzlarında Hesaplanan Ortalama Serbest Klor Değerleri	37
Çizelge 4.5 Mikroorganizmalar özelinde kabul edilen k sabitleri (Şimşek, 2024).....	39
Çizelge 4.6 Yetişkinlerde 50 ml yutulan suda <i>I. Enterococcus</i> 'un doz yanıt sonuç tablosu	40
Çizelge 4.7 Çocuklarda 25 ml yutulan suda <i>I. Enterococcus</i> 'un doz yanıt sonuç tablosu	40
Çizelge 4.8 Çocuklarda 25 ml yutulan suda <i>E. coli</i> 'nin doz yanıt sonuç tablosu.....	41
Çizelge 4.9 Yetişkinlerde 50 ml yutulan suda <i>E. coli</i> 'nin doz yanıt sonuç tablosu	41
Çizelge 4.10 Çocuklarda 25 ml yutulan suda <i>P. aeruginosa</i> 'nın doz yanıt sonuç tablosu	42
Çizelge 4.11 Yetişkinlerde 50 ml yutulan suda <i>P. aeruginosa</i> 'nın doz yanıt sonuç tablosu	42
Çizelge 4.12 Çocuklarda 25 ml yutulan suda <i>S. aureus</i> 'ın doz yanıt sonuç tablosu	43
Çizelge 4.13 Yetişkinlerde 50 ml yutulan suda <i>S. aureus</i> 'ın doz yanıt sonuç tablosu	43
Çizelge 4.14 Bakterilerin Hesaplanan En Yüksek Enfeksiyon Risk Sonuçları.....	49
Çizelge 4.15 Dezenfeksiyon Yöntemleri	50
Çizelge 5.1 Tesislere göre en yüksek QMRA risk değerleri	53

1. GİRİŞ

Avrupa'da yüzme havuzlarının tarihsel gelişimi, özellikle Rönesans döneminden 19. yüzyıla kadar sınırlı bir ilerleme göstermiştir. Rönesans sonrası dönemde, batı Avrupa'da yüzme kültürü genellikle aristokratlar ve elitler tarafından benimsenmiş ve daha çok halk banyoları şeklinde uygulamalar görülmüştür. 19. yüzyılın başlarında, özellikle İngiltere'nin sömürge bölgeleri, Japonya ve Hindistan gibi ülkelerdeki halk banyoları ve yüzme havuzları kavramları, Avrupalıların ilgisini çekmiş ve bu uygulamalar batıya taşınmıştır. Bu geçiş, özellikle sanayi devrimi ve ulaşımında yaşanan gelişmeler ile hız kazanmış ve 1860'lardan itibaren Amerika'da da benzer havuzlar inşa edilmeye başlanmıştır. 1950'lerde ise, havuz yapım teknolojisi ve su arıtma sistemlerinde önemli yenilikler görülmeye başlamış, inşaat teknikleri ve havuz tesisatları daha sofistike hale gelmiştir. Bu gelişmelerle birlikte, 20. yüzyılın ortalarından itibaren dünya çapında yüzme havuzlarının sayısında hızlı bir artış gözlemlenmiştir. Günümüzde ise yüzme havuzları, gelişmiş ülkelerde yaygınlaşan bir eğlence ve sağlık endüstrisi haline gelmiştir (Anonim 1).

Otel işletmelerinde bulunan yüzme havuzlarının, konuklar için eğlence ve rahatlama sağlamakla birlikte, sağlıklı ve güvenli kullanımını sürdürebilmesi, suyun mikrobiyolojik kalitesine doğrudan bağlıdır. Yüzme havuzlarının sağlığı, içerdikleri mikroorganizmaların türü ve yoğunluğu ile ilişkilidir. Temizlik eksiklikleri, yetersiz su dolaşımı, aşırı kullanım ve ihmal edilen bakım süreçleri, mikroorganizmalara elverişli bir ortam yaratabilir ve bu durum sağlık açısından ciddi riskler oluşturur.

Oluşabilecek riskler doğrultusunda yüzme havuzları, kullanıcıların sağlığını tehdit edebilecek çeşitli mikrobiyal risklere ev sahipliği yapabilir. Bu riskler, özellikle havuz suyunun hijyen ve bakım standartlarına uygun bir şekilde yönetilmediği durumlarda ortaya çıkar. Mikrobiyal risk değerlendirmesi, halk sağlığını koruma açısından kritik bir öneme sahiptir.

Bu çalışma, önemli bir turizm destinasyonu olan Antalya'daki otel yüzme havuzlarında, artan kullanıcı yoğunluğuna bağlı gelişen mikrobiyal kirlenmenin ve bunun halk sağlığı üzerindeki olası etkilerinin incelenmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Araştırmanın temelini, Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından rekreasyonel sulardaki mikrobiyolojik risklerin değerlendirilmesi için önerilen Kantitatif Mikrobiyal Risk Değerlendirmesi (QMRA) modeli oluşturmaktadır. Bu kapsamda, havuz sularındaki mikroorganizma türleri, yoğunlukları ve insan sağlığı üzerindeki potansiyel etkileri QMRA yöntemiyle analiz edilerek, farklı dönemlerdeki mikrobiyolojik profiller değerlendirilmiş ve kullanıcı sayısı artışının enfeksiyon riski üzerindeki nicel etkisi ortaya konulmuştur. Çalışmanın nihai amacı, tespit edilen bu potansiyel sağlık risklerini minimize etmeye yönelik etkili kontrol ve dezenfeksiyon stratejileri geliştirmek olup, elde edilen bulgular ışığında halk sağlığını korumaya yönelik önleyici tedbirlerin alınmasına katkı sağlamak hedeflenmiştir. Mikrobiyal risk değerlendirmesi, havuz işletmecilerinin su kalitesini sürekli izlemelerine, olası tehlikeleri hızlı bir şekilde tespit etmelerine ve kullanıcıların güvenliği için gerekli önlemleri almalarına olanak tanıyan kritik bir süreçtir. Bu değerlendirme, halk sağlığını korumanın ötesinde, havuz işletmelerinin uzun vadeli başarısını da destekler. Dünya Sağlık Örgütü (WHO), rekreasyon alanlarında hastalık risklerinin değerlendirilmesi amacıyla nicel mikrobiyal risk değerlendirme (QMRA) modelini önermektedir. Bu çalışma kapsamında, QMRA

modeli kullanılarak aylara ve kullanıcı yoğunluğuna bağlı hastalık riskleri analiz edilecek ve ortaya çıkabilecek risklerin azaltılmasına yönelik alınabilecek önlemler değerlendirilmiştir.

1.1 Turizm ve Konaklama Tesislerine İlişkin Uygulamalar

Turizm, bireylerin dinlenme, eğlenme, keşfetme ve öğrenme gibi amaçlarla ikamet ettikleri yerlerin dışına yaptıkları seyahatleri ve bu seyahatler sırasında sunulan hizmetleri kapsayan bir etkinliktir. Dünya Turizm Örgütü (UNWTO- United Nations World Tourism Organization), turizmi "kişilerin sürekli yaşadıkları yerler dışındaki yerlere seyahatleri ve bu yerlerdeki faaliyetleri" olarak tanımlar (UNWTO, 2023).

Turizm faaliyetleri başlangıcından itibaren önemli gelişmeler göstermiş bu gelişim belli alanlarda bazı etkilere neden olmuştur. 1960'lı yıllarda daha çok 1990'lı yıllarla birlikte günümüze kadar ekonomik perspektifin sosyal, kültürel ve çevresel yapı üzerinde de etkili olduğu görülmüştür. Bu etkiler olumlu olduğu kadar olumsuz etkiler de yaratmıştır. Özellikle kitle turizminin yaratmış olduğu etki ve plansız turizm faaliyetlerinin olumsuz etkileri görülmektedir. Bilim insanlarının çoğu zaman konuları; sosyoekonomik çevre, sosyokültürel çevre, sosyal çevre ve ekonomik çevre olarak ele aldığı göz ardı edilmemelidir. Genel anlamda ise ekonomik, sosyali kültürel ve çevresel etkiler olarak incelenmektedir (UNWTO,2023). Turizm, ekonomik kalkınmayı destekleyen, kültürel etkileşimleri artıran ve bireylere yeni deneyimler sunan önemli bir sektördür. Türkiye'de turizm, coğrafi çeşitlilik, tarihi miras ve doğal güzellikler açısından zengin bir altyapıya sahiptir. Özellikle Antalya, "Türk Rivierası" olarak bilinen Akdeniz kıyısında yer alan, Türkiye turizm piyasasında temel bir eksen ve uluslararası turist hareketliliğinde başlıca çekim merkezlerinden biridir. Antalya, kilometrelerce uzunluğundaki sahil şeridi, mavi bayraklı plajları, lüks otelleri, antik kentleri (Aspendos, Perge, Side gibi) ve doğal güzellikleriyle (Köprülü Kanyon, Düden ve Manavgat şelaleleri) öne çıkmaktadır. Antalya, 2023 yılında 15 milyonun üzerinde yabancı turist ağırlayarak Türkiye'nin en fazla ziyaret edilen şehirlerinden biri olmuştur (TÜİK,2023). Turistlerin büyük çoğunluğu Almanya, Rusya, İngiltere ve Orta Doğu ülkelerinden gelmektedir. Şehirdeki turizm aktiviteleri yaz tatili odaklı olsa da, golf sahaları, kongre turizmi ve kültürel festivaller gibi alternatif turizm olanakları da her yıl büyümektedir. Ayrıca, Antalya Havalimanı'nın modern altyapısı ve şehre ulaşımı kolaylaştıran yol ağları, kentteki mevcut olanaklar hem yerli hem de yabancı turistler nezdinde talep gören ve tercih edilen bir destinasyon vasfı kazanmasına olanak tanımıştır.

Antalya turizminin başarısındaki diğer bir faktör de kaliteli hizmet anlayışıdır. Bölgedeki oteller, farklı bütçelere hitap eden seçenekler sunarken, gastronomik zenginlikler ve geleneksel Türk misafirperverliği turistlerin memnuniyetini artırmaktadır. Bununla birlikte, sürdürülebilir turizm politikalarının uygulanması, bölgenin doğal ve kültürel mirasının korunması açısından kritik öneme sahiptir. Konaklama tesisleri, turizm sektöründe ziyaretçilerin ihtiyaçlarını karşılamak ve keyifli bir konaklama deneyimi sunmak amacıyla hizmet veren işletmelerdir. Türkiye'de bu tesislerin belgelendirilmesi ve standartlarının belirlenmesi "*Turizm Tesislerinin Belgelendirilmesine ve Niteliklerine İlişkin Yönetmelik*" ile düzenlenmiştir. Yönetmeliğin amacı, turizm sektörünün geliştirilmesi, tesislerin modern şartlara uygun hale getirilmesi ve uluslararası standartlara uyum sağlanmasıdır.

Yönetmelik kapsamında şu tesis türleri tanımlanmıştır:

- a) Oteller: Farklı kategorilerde sınıflandırılır (1 yıldızdan 5 yıldıza kadar). Her kategori için odaların büyüklüğü, donanımı ve hizmet türleri belirli standartlara göre düzenlenmiştir. Genellikle oda sayıları 100-400 arasındadır.
- b) Moteller: Özellikle kara yolları güzergâhlarında yer alan, seyahat edenlerin kısa süreli konaklaması için uygun tesislerdir.
- c) Tatil Köyleri: Doğal güzelliklerle iç içe, geniş alanlara yayılan ve misafirlere farklı konaklama birimleri ile çok yönlü eğlence, spor ve dinlenme olanakları sunan tesislerdir.
- d) Pansiyonlar: Daha küçük ölçekli, genellikle ekonomik fiyatlı ve sınırlı hizmet sunan işletmelerdir.

Her bir tesis türü için oda büyüklükleri, otopark kapasitesi, ortak alanların özellikleri, yemek ve eğlence hizmetleri gibi detaylı kriterler belirlenmiştir. Örneğin, 5 yıldızlı bir otelde belirli sayıda restoran, fitness salonu, spa merkezi gibi hizmetlerin bulunması zorunluyken, daha düşük kategorilerde bu hizmetler isteğe bağlı olabilir (Resmi Gazete 2019).

1.1.1 Havuz Çeşitleri

Yüzme havuzları, kaynağına göre tatlı su (yüzey veya yeraltı), deniz suyu ya da termal su ile beslenebilmektedir. Kullanım amaçlarına göre özel, yarı kamusal (otel, okul, spor merkezi vb.) veya kamusal (belediye, halk havuzları) nitelikte olabilirler. Yapısal açıdan kapalı, açık, ısıtılmalı ya da taşınabilir havuzlar bulunmakta; ayrıca çocuk, öğretim, dalış veya su kaydıracağı gibi özel donanımlı havuz çeşitleri de mevcuttur. Bunun yanında sıcak su havuzları (spa, jakuzi), soğuk şok havuzları, doğal mineralli veya termal suların kullanıldığı spa tesisleri ve hidroterapi amaçlı havuzlar farklı kullanıcı ihtiyaçlarına yönelik olarak tasarlanmaktadır (WHO,2006).



Şekil 1.1 Açık Yüzme Havuzu Görünümü

Havuzların tasarımı, kullanım sıklığı, su sıcaklığı ve kullanıcı profili; suyun mikrobiyolojik kalitesi, dezenfeksiyon etkinliği ve yönetim stratejileri üzerinde doğrudan etkili olmaktadır. Özellikle sıcak su havuzlarında yüksek banyo yükü, yüksek sıcaklık ve sürekli su hareketi nedeniyle pH dengesi, dezenfektan düzeyi ve mikrobiyal kontrolün sağlanması güçleşmektedir. Doğal termal veya mineralli suların kullanıldığı tesislerde ise suyun doğal bileşenleri dezenfektanların etkinliğini azaltabileceğinden, yüksek su yenileme oranı veya oksidatif olmayan arıtma yöntemleri uygulanmaktadır (WHO,2006).

Ayrıca gemilerdeki havuzlar, su kaynağı ve hareketli ortamın getirdiği ek riskler nedeniyle karasal havuzlardan farklı mühendislik ve güvenlik önlemleri gerektirmektedir. Dolayısıyla her havuz tipinin yönetiminde, kullanıcı sayısı, kullanım yoğunluğu ve özel koşullar dikkate alınarak risklerin önceden öngörülmesi ve uygun işletim politikalarının geliştirilmesi gerekmektedir.

1.1.2 Kullanıcı Grupları ve Risk Duyarlılığı

Kullanıcı Tipleri

Yüzme havuzlarını kullanan gruplar arasında genel halk, çocuklar, otel misafirleri, turistler, spor kulübü üyeleri, egzersiz grupları (ör. aqua-aerobik), rekabetçi yüzücüler, yüzme bilmeyenler, kamp alanı kullanıcıları, tematik su parkı ziyaretçileri ve dalış, kano veya su topu gibi özel sporlarla ilgilenen bireyler yer almaktadır.

Bazı gruplar belirli risklere daha duyarlıdır. Örneğin, çocuklar uzun süre suda kalmakta ve su yutma ihtimalleri yüksektir; yaşlılar ve engelliler fiziksel kısıtlılıklar yaşayabilmektedir, bağışıklık sistemi zayıf bireyler ise mikrobiyal ve kimyasal tehlikelere karşı daha savunmasızdır.

Tehlike ve Risk

“Tehlike” zarara yol açabilecek durumları ifade ederken, “risk” bu zararın gerçekleşme olasılığını belirtir. Başka bir ifadeyle tehlike, potansiyel bir tehdit; risk ise bu tehdidin fiilen gerçekleşme ihtimalidir. Olasılıklar küçük ve olaylar bağımsız olduğunda, risk düzeyi ile beklenen olay sıklığı yaklaşık olarak aynı kabul edilebilir. Havuz tipleri ve risklerine ilişkin bilgiler Dünya Sağlık Örgütü Kılavuzundan alınarak (2006) aşağıdaki Çizelge 1.1’de özetlenmiştir.

1.1.3 Yüzme Havuzlarının Yüzme Suyu ve Kalitesinin Yönetimine Dair Ulusal Mevzuat

Yüzme havuzlarının hijyenik koşullarda işletilmesi ve halk sağlığının korunması amacıyla Türkiye Cumhuriyeti Sağlık Bakanlığı tarafından hazırlanan ve 06 Mart 2011 tarihli Resmî Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren “Yüzme Havuzlarının Tabi Olacağı Sağlık Esasları Hakkında Yönetmelik”, yüzme suyu kalitesine ilişkin temel ulusal düzenlemeleri içermektedir. Bu yönetmelik, yüzme havuzlarının projelendirilmesinden işletilmesine kadar olan tüm süreçlerde uyulması gereken sağlık esaslarını belirlemektedir.

Çizelge 1.1 Genel olarak kullanılan havuz tipleri, özellikleri ve riskleri

Havuz Tipi	Özellikler	Yönetimsel Zorluklar / Riskler
Kamu/Belediye Havuzları	Büyük kapasite, farklı yaş grupları, yoğun kullanım	Yüksek banyo yükü, hızlı mikrobiyal kontaminasyon riski
Özel / Yarı Kamusal Havuzlar (otel, okul, site vb.)	Sınırlı kapasite, düzenli kullanıcı profili	Kullanım yoğunluğu dönemsel olarak artabilir, dezenfeksiyon sürekliliği önemli
Taşınabilir/Geçici Havuzlar	Küçük ölçekli, genellikle ev ortamında	Suyun sık yenilenmemesi, düşük dezenfeksiyon kontrolü
Çocuk ve Öğrenme Havuzları	Sığ ve küçük hacimli, çocuk kullanıcı yoğunluğu	Düşük hijyen alışkanlıkları nedeniyle yüksek mikrobiyal risk
Dalış ve Özel Donanımlı Havuzlar (kaydırak, flume vb.)	Derin veya özel ekipmanlı	Fiziksel yaralanma ve ani derinlik değişimleri riski
Sıcak Su Havuzları / Spa / Jakuzi	32 °C'nin üzerinde sıcaklık, sürekli su hareketi	Yüksek sıcaklık ve banyo yükü → pH ve dezenfektan kontrolünde zorluk, mikrobiyal çoğalma
Soğuk Şok Havuzları (Plunge Pools)	Sauna/hamam sonrası kısa süreli kullanım	Küçük hacim → hızlı kirlenme riski
Doğal Spa / Termal Havuzlar	Mineralli veya termal su kullanımı	Doğal bileşenler dezenfektan etkinliğini azaltır, alternatif arıtma gerekir
Hidroterapi Havuzları	Tıbbi amaçlı, kontrollü kullanım	Hasta grupları arasında çapraz bulaş riski
Gemi Havuzları	Deniz suyu veya gemi içme suyundan beslenir	Geminin hareketi ve değişken su kaynağı nedeniyle özel mühendislik çözümleri gerekli

Yönetmeliğin Amacı ve Kapsamı

Söz konusu yönetmelik; yüzme havuzlarında mikrobiyal ve kimyasal kirlenmenin önlenmesi, halk sağlığının korunması ve su kalitesinin sürekliliğinin sağlanması amacıyla çıkarılmıştır. Yönetmelik, kamuya açık yüzme havuzları başta olmak üzere; kapalı ve açık yüzme havuzlarını kapsamaktadır. Bu kapsamda, havuz suyunun fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik parametrelerinin düzenli olarak izlenmesi, analiz edilmesi ve sonuçların değerlendirilmesi esastır.

Hukuki Dayanaklar

Yönetmelik, aşağıdaki temel mevzuatlara dayandırılarak hazırlanmıştır:

- 2872 sayılı Çevre Kanunu, çevrenin korunması ve su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımı açısından yönetmeliğe hukuki zemin sunmaktadır.

- 1593 sayılı Umumi Hıfzıssıhha Kanunu, bulaşıcı hastalıkların önlenmesi ve toplum sağlığının korunması açısından yönetmelik kapsamında alınacak sağlık tedbirlerinin yasal dayanağını oluşturmaktadır.

Yüzme Suyu Kalitesinin İzlenmesi ve Değerlendirilmesi

Yönetmelik, yüzme havuzlarının su kalitesinin belirlenen parametreler çerçevesinde düzenli aralıklarla analiz edilmesini öngörmektedir. Bu analizlerin, Sağlık Bakanlığı tarafından yetkilendirilmiş laboratuvarlarda yapılması zorunludur. Parametreler arasında özellikle serbest klor seviyesi, pH değeri, bulanıklık, toplam koliform, *E. coli* gibi mikrobiyolojik ölçütler yer almaktadır.

Bilgilendirme ve Denetim Süreçleri

Yönetmelik kapsamında, havuz kullanıcılarının su kalitesi hakkında düzenli olarak bilgilendirilmesi gerekmektedir. Su kalitesine dair analiz sonuçlarının havuz girişlerinde görünür alanlara asılması zorunludur. Ayrıca, Sağlık Bakanlığı ile il sağlık müdürlükleri tarafından belirli periyotlarla yapılan denetimlerde, yönetmeliğe uygunluk değerlendirilmekte ve gerekli durumlarda yaptırımlar uygulanmaktadır.

1.1.4 Yüzme Havuzları ile İlgili Uluslararası Yönetmelikler

Yüzme havuzlarında insan sağlığının korunması ve hijyenik güvenliğin sağlanması amacıyla, çeşitli uluslararası kuruluşlar tarafından oluşturulan standartlar ve düzenlemeler, su kalitesinin izlenmesi, değerlendirilmesi ve yönetilmesi süreçlerine yön vermektedir. Bu çerçevede, Avrupa Birliği Direktifleri, Dünya Sağlık Örgütü (WHO) rehberleri ve uluslararası ISO standartları, yüzme suyu yönetimi açısından küresel ölçekte kabul görmüş referans belgeler niteliğindedir.

a) Avrupa Birliği 2006/7/EC Direktifi

Avrupa Parlamentosu ve Konseyi tarafından 15 Şubat 2006 tarihinde kabul edilen 2006/7/EC sayılı “Yüzme Suyu Kalitesinin Yönetimine İlişkin Direktif”, yüzme alanlarında su kalitesinin korunmasına yönelik kapsamlı bir düzenleme sunmaktadır. Bu direktifin temel hedefi, insan sağlığını korumak amacıyla yüzme sularının izlenmesi, sınıflandırılması, yönetimi ve halkın bilgilendirilmesine dair esasları belirlemektir.

Direktif kapsamında, özellikle fekal kirliliğe işaret eden *Escherichia coli* ve *Intestinal Enterekok* düzeyleri temel mikrobiyolojik parametreler olarak kabul edilmekte, bu parametrelerin analizi yoluyla su kalitesine dair risk düzeyi sınıflandırılmaktadır. Su kalitesi; “mükemmel”, “iyi”, “yeterli” ve “zayıf” olmak üzere dört temel kategoriye ayrılmakta ve bu sınıflandırma, beş yıllık izleme verilerine dayandırılmaktadır. Ayrıca, kısa dönemli kirlilik olayları için önleyici tedbirler ile kamuoyunun zamanında bilgilendirilmesi zorunlu tutulmaktadır (Avrupa Birliği, 2006).

b) Dünya Sağlık Örgütü (WHO) – Havuz Suyu Güvenliği Rehberi

Dünya Sağlık Örgütü tarafından yayımlanan “Guidelines for Safe Recreational Water Environments – Volume 2: Swimming Pools and Similar Environments” başlıklı

rehber, yüzme havuzlarının mikrobiyolojik güvenliğinin sağlanması için kapsamlı öneriler sunmaktadır. Rehber, fiziksel, kimyasal ve biyolojik tehlikelerin belirlenmesi, risklerin değerlendirilmesi ve uygun yönetim stratejilerinin uygulanmasına yönelik bir çerçeve oluşturmaktadır.

WHO rehberi, havuz suyunun dezenfeksiyonunda serbest klor kullanımının önemi, filtrasyon sistemlerinin etkinliği, pH dengesi, su sirkülasyon süreleri ve temizlik prosedürleri gibi konularda uluslararası en iyi uygulamaları içermektedir. Aynı zamanda Kantitatif Mikrobiyal Risk Değerlendirmesi (QMRA) yöntemine dayalı analizlerle bulaşıcı hastalık risklerinin azaltılması hedeflenmektedir (WHO, 2006).

c) ISO 5667-3 ve TS 5106 Standartları

Yüzme suyu kalitesinin analizi, yalnızca kontaminasyonun tespitiyle sınırlı kalmamakta, aynı zamanda numune alma, taşıma, saklama ve laboratuvar analizleri gibi süreçlerin uluslararası standartlara uygun biçimde yürütülmesini de gerektirmektedir. Bu bağlamda, ISO 5667-3 standardı ve Türkiye’de buna denk gelen TS 5106 standardı, su örneklerinin güvenilirliğini koruyacak biçimde toplanması ve analiz edilmesine ilişkin usul ve esasları tanımlamaktadır (TS 5106,2001).

Bu standartlar uyarınca; numunelerin yüzme havuzunun farklı noktalarından alınması, analiz öncesi belirli sıcaklık koşullarında ($5^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$) muhafaza edilmesi ve 24 saat içerisinde mikrobiyolojik analizlerin tamamlanması öngörülmektedir. Parametreler arasında pH, sıcaklık, bulanıklık, serbest klor düzeyi ve mikrobiyolojik göstergeler yer almakta, analizlerde herhangi bir teknik uygunsuzluk tespit edilmesi durumunda sonuçlar geçersiz sayılmaktadır (ISO,2012).

Yüzme havuzlarının sağlıklı ve güvenli bir şekilde işletilmesi için uluslararası düzenlemeler büyük önem arz etmektedir. Avrupa Birliği'nin **2006/7/EC Direktifi**, Dünya Sağlık Örgütü'nün **Havuz Suyu Güvenliği Rehberi** ve **ISO 5667-3** gibi uluslararası standartlar, havuz sularında mikrobiyal kirlenmenin önlenmesine yönelik bilimsel ve teknik temelli kurallar içermektedir.

Bu düzenlemeler sayesinde, su kalitesinin objektif kriterlerle değerlendirilmesi, halk sağlığının korunması ve kullanıcıların doğru bilgilendirilmesi sağlanmaktadır. Uluslararası standartlara uygun bir yüzme suyu yönetimi, yalnızca bulaşıcı hastalıkların önlenmesi açısından değil, aynı zamanda sürdürülebilir sağlık politikalarının oluşturulması açısından da stratejik öneme sahiptir.

1.2 Yüzme Havuzlarında Mikroorganizmaların Kaynağı ve Çoğalma Faktörleri

Havuz sularındaki mikroorganizmalar, insanların vücutlarından, çevresel faktörlerden ve yetersiz bakım uygulamalarından kaynaklanabilir. Özellikle *Cryptosporidium* ve *Giardia* türleri, havuz suyunda sıkça bulunan ve insan sağlığı üzerinde ciddi etkiler yapabilen protozoal patojenlerdir. Bu mikroorganizmalar, suyun klorlama gibi dezenfeksiyon yöntemlerine karşı dirençli olup, havuz suyunda uzun süre hayatta kalabilirler. *Cryptosporidium* ve *Giardia*, suyla temas yoluyla sindirim sistemi enfeksiyonlarına neden olarak ishal, karın ağrısı ve kusma gibi semptomlara yol açar (Hamdy vd. 2021; Smith ve Lee, 2020).

Mikroorganizmaların havuz suyuna girmesi, kullanıcıların hijyenik olmayan koşullarda havuzu kullanmasından, çevresel kirleticilerden veya yetersiz dezenfeksiyon uygulamalarından kaynaklanabilir. Klor seviyesi düşük olan havuzlarda mikroorganizmaların üremesi hızlanabilir, bu da enfeksiyon riskini artırır (Barrett vd. 2018).

1.3 Yüzme Havuzlarında Sık Rastlanan Mikrobiyal Patojenler

A. *Escherichia coli* (*E. coli*)

E.coli, çoğu zaman normal bağırsak florasında bulunan bir bakteridir, ancak bazı patojenik suşları ciddi sağlık sorunlarına yol açabilir. *E. coli* genellikle dışkı ile kirlenmiş sulara bulunur ve enfeksiyonlar, mide bulantısı, kusma, ishal ve ateş gibi belirtilerle kendini gösterir (Wade vd. 2003). *E. coli*'nin havuz sularındaki varlığı, özellikle yetersiz dezenfeksiyon ve hijyen koşulları nedeniyle riski artırmaktadır (Ryu vd. 2005).

B. *Pseudomonas aeruginosa*

P.aeruginosa, havuz sularında sıkça bulunan, özellikle cilt enfeksiyonlarına yol açabilen bir bakteridir. Bu bakteri, göz ve kulak enfeksiyonlarına neden olabilir, ayrıca suyun kirlenmesiyle birlikte daha fazla risk oluşturur (Dancer, 2004). *P.aeruginosa*'nın havuz sularında yaygınlığı, suyun kirlenmesi ve havuz bakımındaki eksikliklerle doğrudan ilişkilidir (White vd. 2003).

C. *Legionella pneumophila*

Legionella, özellikle kapalı havuzlar ve ısınmış su sistemlerinde büyüeyebilen bir bakteri türüdür. *Legionella*'nın varlığı, Legionnaire hastalığı adı verilen zatürreye yol açabilir ve genellikle havuzlardaki suyun ısısı ile ilişkili olarak çoğalır (Bartram vd. 2007). *Legionella*, daha çok sıcak su sistemlerinde görülen bir patojendir, ancak havuzlarda da risk oluşturabilmektedir (Bosch vd. 2013).

D. *Cryptosporidium spp.*

Cryptosporidium, bir parazittir ve kirli sulara yaygın olarak bulunur. Bu organizma, özellikle bağışıklık sistemi zayıf olan kişilerde ciddi sağlık sorunlarına yol açabilir ve genellikle su yoluyla bulaşır (Rose vd. 1997). Havuz sularında bulunan *Cryptosporidium*, ishal, karın krampları ve dehidratasyona neden olabilir (Payne vd. 2002). Bu parazit, suyun dezenfeksiyonunda yetersizlik olduğunda kolayca yayılabilir.

E. *Acanthamoeba spp.*

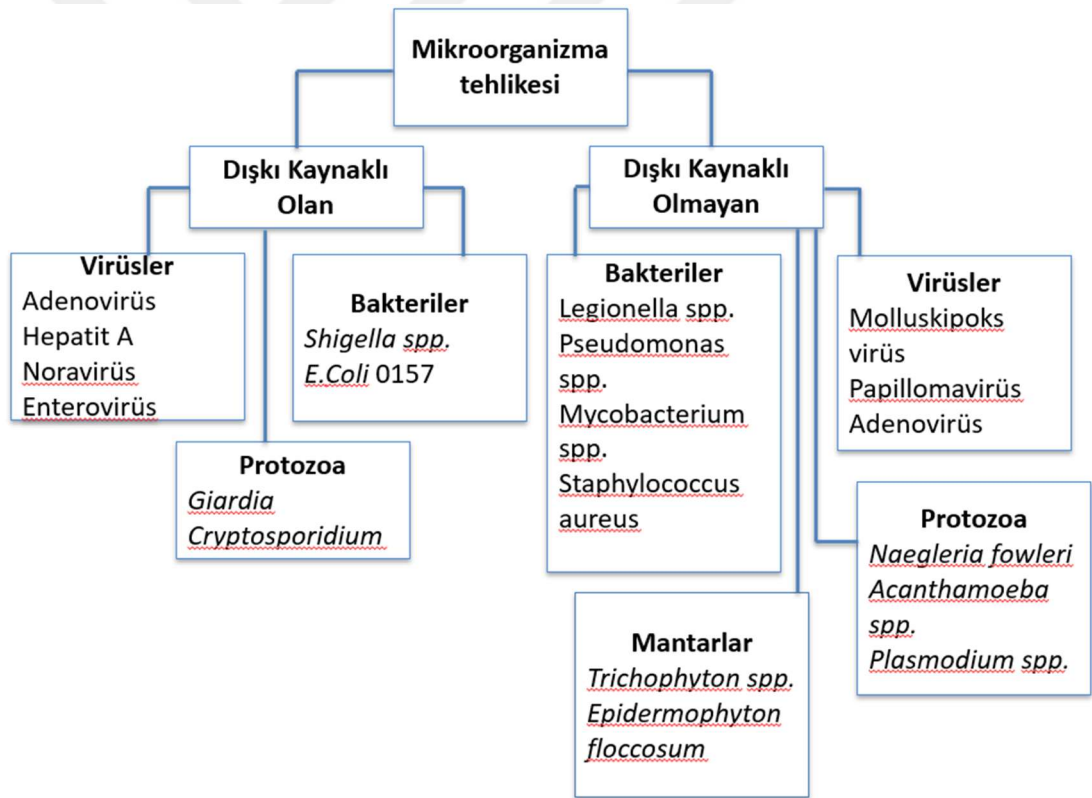
Acanthamoeba, tatlı su kaynaklarında bulunan amip türlerinden biridir ve genellikle göz enfeksiyonlarına, özellikle kontakt lens kullanıcılarında, yol açar. *Acanthamoeba*'nın havuzlarda bulunması, genellikle hijyenik olmayan su koşullarıyla ilişkilidir (Walochnik vd. 2001). Bu amip, korneal enfeksiyonlar gibi ciddi göz hastalıklarına neden olabilir (Thomas vd. 2006).

F. Norovirus

Norovirus, dünya çapında yaygın bir mide-bağırsak virüsüdür ve kirli sularda bulunabilir. Bu virüs, enfekte kişilerden suya geçebilir ve genellikle ishal, kusma ve mide ağrılarına yol açar (Hall vd. 2013). Norovirus'un havuzlarda bulunması, yüzme havuzlarının hijyenik koşullarıyla doğrudan ilişkilidir ve su yoluyla bulaşabilen önemli bir enfeksiyon ajanıdır (Mena vd. 2010).

G. Adenovirüs

Adenovirüsler, özellikle göz enfeksiyonları (konjonktivit) ve mide-bağırsak enfeksiyonlarına yol açabilir. Adenovirüsün havuzlarda yayılma riski, havuzların hijyenik koşulları ve suyun uygun şekilde dezenfekte edilmemesi ile doğrudan ilişkilidir. Adenovirüs enfeksiyonları, su yoluyla bulaşabilir ve özellikle çocuklar, yaşlılar ve bağışıklık sistemi zayıf olan bireyler için risk oluşturur (Pica vd. 2009). Ayrıca, Adenovirüs, solunum yolu enfeksiyonları ve gastroenterite neden olabilmektedir (Ghosh vd. 2015). Şekil 1.2'de mikroorganizmalar özet halinde gösterilmiştir.



Şekil 1.2 Mikroorganizma Tehlike Şeması

1.4 Kantitatif Mikrobiyal Risk Değerlendirmesi (QMRA) nedir?

Dünya Sağlık Örgütü (WHO), su kalitesinin ve mikrobiyal risklerin değerlendirilmesinde Kantitatif Mikrobiyal Risk Değerlendirmesi (QMRA) modelini öneren temel otoritedir. QMRA, insan sağlığını tehdit edebilecek mikrobiyal patojenlerin

risklerini anlamak ve bu riskleri minimize etmek için bilimsel bir yaklaşım sunar. Bu model, özellikle yüzme havuzları, içme suyu ve diğer su temin sistemlerinde mikrobiyal risklerin yönetilmesinde önemli bir araç olarak kabul edilmektedir.

Kantitatif Mikrobiyal Risk Değerlendirmesi (QMRA), mikrobiyal riskleri ölçmek ve yönetmek için kullanılan bir model olarak tanımlanmaktadır. QMRA, suyun mikrobiyal kirlenmesinin sağlık üzerindeki etkilerini niceliksel olarak tahmin etmeyi amaçlar. Bu model, patojenlerin su kaynaklarına nasıl girdiğini, su kullanıcılarının bu patojenlere nasıl maruz kaldığını ve sonunda sağlığını nasıl etkileyebileceğini sistematik bir şekilde değerlendirir.

Kantitatif Mikrobiyolojik Risk Değerlendirmesi, aynı zamanda, belirli bir çevresel ortamda ve belirlenmiş bir bölgede bulunan patojen mikroorganizmaların insan sağlığı üzerindeki potansiyel etkilerini sayısal olarak tahmin etmeye yönelik sistematik bir analiz yöntemidir. Bu metodoloji aynı zamanda, su arıtım süreçlerinin etkililiğini test etmede ve kritik sağlık risklerinin belirlenmesinde güvenilir bir araç olarak kullanılmaktadır (Balderrama,2017). QMRA, potansiyel sağlık tehlikelerinin belirlenmesi ve bunların etkilerini azaltacak stratejilerin geliştirilmesine olanak sağlayarak su güvenliğine katkı sunar.

Bu yaklaşım ilk kez 1990'ların başında, özellikle içme suyu sistemlerinde mikrobiyolojik güvenliğin değerlendirilmesi amacıyla önerilmiştir (Regli vd. 1991). O tarihten itibaren, QMRA modeli yalnızca içme suyunda değil, yüzme havuzları ve doğal yüzme alanları gibi rekreasyonel sularda, atıksu ve gri suyun yeniden kullanımı gibi çeşitli uygulamalarda da yaygın biçimde kullanılmaya başlanmıştır (WHO, 2016). Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) su ile ilgili kılavuzlarında risk temelli bu yöntem, karar alma süreçlerinin merkezine yerleştirilmiş ve Stockholm Çerçevesi kapsamında temel bileşenlerden biri olarak kabul edilmiştir. Ayrıca bu yöntem, 2001 yılında Hollanda İçme Suyu Mevzuatına entegre edilerek mevzuat düzeyinde uygulamaya geçirilmiştir (Bichai ve Smeets, 2013).

QMRA'nın geliştirilmesindeki temel amaçlardan biri, sağlık tehlikelerinin önlenmesine yönelik kararları bilimsel temele dayandırmak, değerlendirme yaklaşımlarını standartlaştırmak ve farklı sistemler arasında karşılaştırılabilirliği artırmaktır. Her ne kadar başlangıçta içme suyu sistemleri için tasarlanmış olsa da, QMRA'nın genel çerçevesi rekreasyonel su kullanımı veya atık suyun yeniden kullanımı gibi alanlara da başarıyla uyarlanabilmektedir.

Bu metodolojinin uygulanmasındaki öncelikli hedefler arasında, su temininde karşılaşılan olası sağlık risklerinin belirlenmesi, bu tehlikelerin yeterince kontrol edilip edilmediğinin değerlendirilmesi ve gerekli iyileştirme alanlarının tanımlanması yer alır. Söz konusu sağlık riskleri, genellikle biyolojik kökenli patojenik mikroorganizmalar olmakla birlikte, kimyasal maddeler veya radyolojik kirleticiler de olabilir (WHO, 2016).

Risk değerlendirme süreci belirli aşamalardan oluşur. İlk aşama, tehlikelerin tanımlanmasıdır. Bu bağlamda tehlike, insan sağlığına zarar verebilecek mikroorganizmalar veya zararlı bileşenler olarak tanımlanır. Tehlikeli olaylar ise bu patojenlerin su kaynağına girişine ya da sistemden yeterince uzaklaştırılamamasına neden olan olaylardır. Bu riskleri yönetmek için uygulanan kontrol önlemleri; mühendislik

temelli (örneğin etkin filtrasyon sistemleri) ya da operasyonel (örneğin bakım-onarım sırasında hijyen protokollerinin uygulanması) olabilir. Uygun kontrol önlemleri sayesinde risk düzeyi, kabul edilebilir sınırlar içerisinde tutulabilir. Risk, esasen bir tehlikenin gerçekleşme olasılığı ile bu tehlikenin meydana geldiğinde yaratacağı sonuçların bileşimidir (WHO, 2016). Dolayısıyla risk değerlendirmesi, su sistemindeki tehlikeleri ve bunlara bağlı olayları analiz ederken, bu durumları önleyecek veya etkisini azaltacak kontrol önlemlerinin yeterliliğini de sorgular.

Bu değerlendirme süreci; farklı uzmanlık alanlarından gelen paydaşların birlikte çalışmasını gerektirir ve elde edilen bulgular doğrultusunda sistemdeki zayıf noktalar belirlenerek, sağlık açısından öncelikli konulara yönelik iyileştirme planlarının hazırlanmasına olanak tanır. Risk değerlendirmesi aynı zamanda karar vericiler için objektif ve bilimsel dayanaklı bir bilgi seti sunarak, etkili ve önleyici yönetim stratejilerinin geliştirilmesine zemin hazırlar. Risk analizi yapılmadan yürütülen karar süreçlerinde, önemli sağlık tehditlerinin göz ardı edilmesi riski daima mevcuttur. Özetle WHO, QMRA'yı özellikle içme suyu ve yüzme havuzları gibi halka açık su kaynaklarında mikrobiyal risklerin yönetilmesi için önerir. Modelin temel amacı, halk sağlığına zarar verme potansiyeli olan mikrobiyal patojenlerin risklerini daha iyi anlamak ve bu risklere karşı etkili önlemler geliştirmektir (WHO, 2004).

QMRA, şu dört ana aşamadan oluşur:

- **Tehlike Tanımlama (Hazard Identification)**
- **Maruz Kalma Değerlendirmesi (Exposure Assessment)**
- **Yanıt Değerlendirmesi (Dose-Response Assessment)**
- **Risk Karakterizasyonu (Risk Characterization)**

Bu aşamalar, her bir mikrobiyal patojenin insan sağlığı üzerindeki potansiyel etkisini belirleyerek, suyun mikrobiyal riski hakkında net ve anlaşılır bir değerlendirme yapılmasını sağlar.



Şekil 0.3 QMRA adımları

1.4.1 QMRA Modelinin Aşamaları

a) Tehlike Tanımlama (Hazard Identification)

Tehlike tanımlama aşamasında, su kaynaklarında ve yüzme havuzlarında karşılaşılan mikrobiyal patojenler belirlenir. Bu aşama, patojenlerin insan sağlığını etkileyebilecek potansiyel risklerini anlamak için kritik öneme sahiptir. Su kaynaklarındaki yaygın mikrobiyal patojenler arasında bakteriler, virüsler, parazitler ve mantarlar yer alır. Örnek olarak, *E.coli*, *Cryptosporidium*, Norovirus, *Legionella*, Adenovirus gibi patojenler, bu aşamada değerlendirilen tehlikeler arasında bulunabilir (Pica vd. 2009; WHO, 2004).

b) Maruz Kalma Değerlendirmesi (Exposure Assessment)

Bu aşama, insanların mikrobiyal patojenlere nasıl maruz kaldığını ve maruz kalma düzeylerini değerlendirmeye yöneliktir. Havuz suyu veya içme suyu gibi su kaynaklarına insan temasını belirleyen faktörler, bu aşamada analiz edilir. Örneğin, yüzme havuzlarında bireylerin sudaki mikroplara maruz kalma yolları, yüzme, suya daldırma, solunum (özellikle aerosoller yoluyla) gibi etkinliklerle incelenebilir. Ayrıca, suyun mikroplarla kirlenme olasılığı ve kirlenme düzeyine göre maruz kalma riski hesaplanır (Mena vd. 2010).

c) Doz-Yanıt Değerlendirmesi (Dose-Response Assessment)

Bu aşama, mikrobiyal patojenlerin insan sağlığında nasıl bir etkiye yol açtığını değerlendirir. Yanıt değerlendirme, patojenlerin belirli bir doza (maruz kalma düzeyine) karşı nasıl tepki verdiğini belirlemeyi amaçlar. Örneğin, *Cryptosporidium* gibi bir parazit ile temas sonrası ortaya çıkacak sağlık sorunları, patojene maruz kalma miktarıyla doğru orantılıdır. Doz-yanıt ilişkisi, belirli bir mikrobiyal yükün hangi sağlık sorunlarını ortaya çıkaracağını tahmin etmek için kullanılır. Bu modelde, patojenin insan sağlığı üzerindeki etkileri literatür taramaları ve epidemiyolojik verilerle desteklenir (Rose vd. 1997).

d) Risk Karakterizasyonu (Risk Characterization)

Son aşama olan risk karakterizasyonunda, yukarıdaki üç aşamadan elde edilen veriler kullanılarak mikrobiyal riskler belirlenir. Bu aşama, patojenlerin insan sağlığına olan olası etkilerini niceliksel olarak ifade eder. Bu sonuçlar, mikroorganizmalara maruz kalma olasılıkları, riskin büyüklüğü ve sağlık üzerindeki potansiyel zararları ile birlikte sunulur. Risk karakterizasyonu, su kaynaklarındaki mikrobiyal tehlikelerin halk sağlığı üzerindeki toplam etkisini hesaplamak için kullanılır (WHO, 2004).

1.4.2 WHO'nun QMRA Modelinin Su Kalitesi Yönetiminde Kullanımı

WHO, QMRA modelini su kalitesinin izlenmesi ve mikrobiyal risklerin yönetilmesinde kullanmayı önermektedir. Model, çeşitli su temin sistemlerinde mikrobiyal risklerin değerlendirilmeye ve yönetilmeye başlanması için bilimsel bir temele dayalı bir yaklaşım sağlar. Örneğin, içme suyu arıtma süreçlerinde QMRA kullanılarak, suyun mikrobiyal kirlenme riski hesaplanabilir ve buna göre su arıtma teknolojileri optimize edilebilir. Ayrıca, yüzme havuzları ve diğer rekreasyonel sular için WHO, mikrobiyal riskleri belirlemek amacıyla QMRA modelini önerir. Bu, havuz suyu kalitesinin izlenmesi, patojenlerin azaltılmasına yönelik dezenfeksiyon ve filtreleme tekniklerinin belirlenmesi gibi önlemleri içerir. WHO, yüzme havuzlarında mikrobiyal

risklerin minimum seviyelere indirilmesi için doğru arıtma yöntemlerinin ve hijyen koşullarının uygulanmasını savunur (WHO, 2004).

WHO'nun QMRA modeli, mikrobiyal risklerin değerlendirilmesi ve yönetilmesinde etkili bir araçtır. Bu model, patojenlerin su kaynaklarına nasıl girdiğini, bu patojenlerin insan sağlığına nasıl etkilerde bulunabileceğini ve bu risklerin azaltılmasına yönelik nasıl stratejiler geliştirilebileceğini sistematik bir şekilde ele alır. İçme suyu, yüzme havuzları ve diğer rekreasyonel sular için WHO'nun QMRA modelini kullanmak, suyun kalitesini iyileştirmek ve halk sağlığını korumak için bilimsel temellere dayalı bir yaklaşım sağlar.

Yüzme havuzlarındaki mikrobiyal risklerin kontrol altına alınması, kullanıcı sağlığının korunması ve halk sağlığına olası tehditlerin önlenmesi açısından büyük önem taşır. Düzenli bakım, gelişmiş dezenfeksiyon yöntemlerinin uygulanması ve uluslararası standartlara uygun risk değerlendirme modellerinin benimsenmesi bu süreçte kritik rol oynar. Bu bağlamda, otel yüzme havuzlarının mikrobiyolojik kalitesinin düzenli aralıklarla izlenmesi ve olası mikrobiyal risklerin değerlendirilmesi gerekmektedir. Su analizleri, temizlik prosedürlerinin gözden geçirilmesi ve kimyasal denge kontrolü gibi önlemler, havuzların hijyenik kalitesinin korunmasında kritik öneme sahiptir. Yüzme havuzlarının hijyenik koşulları, kullanıcı sağlığı üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir. Yetersiz hijyen, bakteriyel ve viral enfeksiyonların hızla yayılmasına zemin hazırlayabilir. Bu mikroorganizmaların çoğalması, başta deri enfeksiyonları olmak üzere, solunum yolu ve gastrointestinal hastalıklar gibi sağlık sorunlarına yol açabilir. Bu nedenle, yüzme havuzlarında mikrobiyal kirliliğin önlenmesi için düzenli bakım ve dezenfeksiyon işlemleri şarttır. Ayrıca, su yoluyla bulaşan hastalıklar konusunda duyarlı bireyler için bu önlemler daha da kritik bir hal almaktadır.

Yüzme havuzlarının sağlıklı bir şekilde işletilmesi ve hijyenik koşulların sürekli olarak izlenmesi hem kullanıcıların sağlığını korumak hem de otel işletmeleri için itibar ve güven oluşturmak açısından büyük önem taşır. Bu bağlamda, havuzların yönetimi, su kalitesinin düzenli izlenmesi ve kullanıcı güvenliği için alınacak önlemler, hem bireysel sağlığı hem de işletme verimliliğini doğrudan etkileyen kritik faktörlerdir. Havuzlardaki mikrobiyal risk değerlendirmesinin amacı, havuz kullanıcılarının sağlığını korumak, su kalitesini sürekli olarak yüksek bir düzeyde tutmak ve su kaynaklı hastalıkların yayılmasını önlemektir. Mikrobiyal risk değerlendirmesi, suyun mikrobiyolojik kirlenme seviyelerini izlemek, bu kirliliğin potansiyel etkilerini belirlemek ve riskleri en aza indirmek için gerekli önlemleri planlamak amacıyla sistematik bir süreçtir.

Bu değerlendirmenin temel hedefleri şunlardır:

- a) *Halk Sağlığını Korumak:* Havuzlar, farklı yaş gruplarından ve sağlık durumlarından bireylerin ortak kullanım alanlarıdır. Mikroorganizmalar, bağışıklık sistemi zayıf bireylerde daha ciddi sağlık sorunlarına yol açabilir. Mikrobiyal risk değerlendirmesi, patojenik mikroorganizmaların (örneğin, *E. coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Legionella pneumophila*) varlığını tespit ederek enfeksiyon risklerini önceden belirler.
- b) *Hijyen ve Su Kalitesini Güvence Altına Almak:* Havuz sularının mikrobiyal kalitesi, suyun temizliği, filtrasyon sistemi, dezenfeksiyon uygulamaları ve bakım

prosedürleriyle doğrudan ilişkilidir. Risk değerlendirmesi, bu süreçlerde olası eksiklikleri belirleyerek önleyici tedbirler almayı mümkün kılar.

- c) *Hastalık Salgınlarını Önlemek*: Su yoluyla bulaşan hastalıklar, havuzlarda hijyen eksikliği nedeniyle hızla yayılabilir. Risk değerlendirmesi, özellikle *Cryptosporidium*, *Giardia*, *Norovirüs* gibi dayanıklı mikroorganizmaların tespitine odaklanarak salgınların önlenmesine yardımcı olur.
- d) *Yasal ve Standartlara Uygunluğu Sağlamak*: Mikrobiyal risk değerlendirmesi, ulusal ve uluslararası sağlık standartlarına (örneğin, Dünya Sağlık Örgütü ve yerel sağlık otoriteleri tarafından belirlenen kriterler) uygunluğu sağlamak için gereklidir. Bu, aynı zamanda otel ve spor tesislerinin itibarını korumasına katkı sağlar.
- e) *Sürdürülebilir Yönetim ve Kaynak Koruma*: Havuzların sürdürülebilir bir şekilde işletilmesi, yalnızca sağlıklı bir ortam sağlamakla kalmaz, aynı zamanda su tüketimini ve kimyasal kullanımını optimize ederek çevresel etkiyi de azaltır.

1.5 Kantitatif Mikrobiyal Risk Değerlendirmesi (QMRA) nedir?

Mikroorganizmalar, virüsler, bakteriler, protozoalar, mantarlar, algler ve mikroskopik boyutlara sahip diğer organizmalar gibi çeşitli türleri içerir. Bu organizmalar doğada geniş bir dağılıma sahiptir ve vücudumuzda, havada, suda, toprakta, bitkilerde ve çevremizde farklı ortamlar içinde varlık gösterebilirler. İnsan vücudu, kendi hücrelerinden çok daha fazla mikrobiyal hücre barındırmaktadır (Mara ve Horan, 2003). Çoğu mikroorganizma zararsız olup, bazıları insan sağlığına faydalıdır; ancak yalnızca küçük bir kısmı patojenik özellikler taşıyarak insanlarda hastalıklara yol açabilmektedir (WHO, 2003).

Bu patojenik mikroorganizmalar, özellikle su kaynaklarında kontaminasyona yol açtığında ciddi sağlık tehditleri oluşturabilir. Su kirliliği, dünya genelinde çok sayıda su kaynaklı salgının başlıca nedenidir. Örneğin, 1993 yılında Milwaukee'de yaşanan *Cryptosporidium* kaynaklı içme suyu kontaminasyonu, ABD'nin tarihindeki en büyük su kaynaklı salgına yol açmış ve tahminlere göre 403.000 kişiyi etkilemiş, 69 kişinin ölümüne sebep olmuştur (CDC, 1993). Bu tür olaylar, hastalık yapıcı mikroorganizmaların çevremizdeki varlığını ve bunların insan popülasyonunda hangi seviyelerde sağlık sorunlarına yol açabileceğini anlamının önemini vurgulamaktadır.

1.5.1 Kantitatif Mikrobiyal Risk Değerlendirmesi (QMRA) Yöntemi

Kantitatif Mikrobiyal Risk Değerlendirmesi (QMRA), çevredeki hastalık yapıcı mikroorganizmalardan kaynaklanan enfeksiyon ve hastalık risklerini tahmin etmek için kullanılan bir modelleme yaklaşımıdır. Bu metodoloji, mikrobiyal kontaminasyonun insan sağlığı üzerindeki olası etkilerini değerlendirmek amacıyla matematiksel ve istatistiksel modelleme tekniklerine dayanır. QMRA, belirli bir çevresel ortamda (örneğin, su, yiyecek, havalandırma) bulunan mikroorganizmaların insanlara olan maruziyetini ve bu maruziyetin hastalık riski oluşturma olasılığını hesaplamaya olanak tanır (Teunis & Havelaar, 2000).

Minnesota Sağlık Bakanlığı, çevredeki mikroorganizmaların test edilmesi ve bu mikroorganizmaların sağlık üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi amacıyla bir dizi projeyi yürütmektedir (Minnesota Department of Health, 2020). Bu testler, çevredeki mikroorganizma seviyeleri hakkında bilgi sağlasa da, tek başına insanların bu mikroorganizmalarla karşılaştıklarında hastalanıp hastalanmayacaklarını belirlemek için yetersizdir. Bu noktada QMRA devreye girer. QMRA, maruz kalınan mikroorganizmaların potansiyel sağlık etkilerini tahmin etme imkânı sunarak, halk sağlığını korumak adına gerekli tedbirlerin alınmasını sağlar.

1.5.2 QMRA'nın Sağlık Politikaları ve Uygulamaları Üzerindeki Rolü

QMRA'nın temel avantajlarından biri, halk sağlığını korumak amacıyla mikroorganizma seviyelerinin güvenli sınırlar içinde tutulmasını sağlamaktır. Sudaki kabul edilebilir mikroorganizma seviyelerini belirlemek, gereksiz dezenfeksiyon uygulamalarından kaçınılmasını sağlar. Dezenfeksiyon, suyun temizlenmesi için önemli bir yöntem olmasına rağmen, zaman, maliyet ve istenmeyen kimyasal yan ürünlerin oluşması gibi olumsuz sonuçlar doğurabilir (EPA,2015). Bu nedenle, su kaynaklarında mikroorganizmalara karşı uygulanacak tedbirlerin yalnızca gerekli olduğunda ve doğru seviyede uygulanması sağlanmalıdır.

QMRA, aynı zamanda çevresel mikrobiyal risklerin azaltılmasına yönelik daha etkili ve hedeflenmiş stratejilerin geliştirilmesinde önemli bir araçtır. Bu yöntem, suyun, havanın ve gıdanın dezenfeksiyonunu optimize ederek, halk sağlığına yönelik riskleri en aza indirmeyi amaçlamaktadır. QMRA'nın sürekli olarak gelişen bir alan olması, mikroorganizma maruziyetinin sağlık üzerindeki etkilerini daha doğru bir şekilde değerlendirmek için daha fazla araştırma ve yenilikçi modelleme tekniklerinin kullanılması gerektiğini ortaya koymaktadır.

1.6 Risk Değerlendirme Süreci Nedir?

Risk değerlendirme süreci, mikrobiyal kontaminasyonun potansiyel etkilerini analiz etmek için kullanılan sistematik bir yaklaşımdır. Mikrobiyal risk değerlendirmesi, çevredeki hastalığa neden olan mikroorganizmaların insan sağlığı üzerindeki etkilerini tahmin etmek için kullanılan matematiksel ve istatistiksel bir araçtır. Bu süreç, genellikle dört temel aşamadan oluşur:

- a) **Risk Tanımlaması:** İlk adımda, potansiyel tehlikeler tanımlanır. Su, gıda ve hava gibi çevresel ortamlar üzerinde mikrobiyal patojenlerin varlığı belirlenir ve hangi mikroorganizmaların hastalık riski oluşturabileceği analiz edilir (Teunis ve Havelaar, 2000).
- b) **Doz-yanıt Değerlendirmesi:** Bu aşamada, mikroorganizmaların insan sağlığına etkilerinin şiddeti, mikroorganizma sayısına ve maruziyet süresine göre değerlendirilir. Hangi mikroorganizmaların hangi dozda hastalık riski oluşturduğuna dair veriler toplanır (WHO, 2003).
- c) **Maruziyet Değerlendirmesi:** İnsanların mikrobiyal patojenlere hangi seviyede maruz kaldığı hesaplanır. Bu, suya, gıdaya veya havaya maruziyetle ilgili çeşitli senaryoları içerir. Bu aşamada, mikroorganizmalara dair maruziyetin sıklığı ve yoğunluğu ölçülür (Mara ve Horan, 2003).

- d) **Risk Karakterizasyonu:** Son aşamada, elde edilen veriler ışığında hastalık riskinin hangi seviyelerde olduğunu ve hangi önlemlerin alınması gerektiği belirlenir. Bu değerlendirme sonucunda, sağlık önlemleri ve müdahaleler için öneriler geliştirilir (Teunis ve Havelaar, 2000).

1.6.1 Risk Değerlendirme Süresi

Risk değerlendirme süresi, kullanılan yöntem, mikrobiyal riskin büyüklüğüne ve mevcut verilerin doğruluğuna bağlı olarak değişir. Kantitatif Mikrobiyal Risk Değerlendirmesi (QMRA), genellikle uzun süreli analizler gerektirebilir. Verilerin toplanması, analizlerin yapılması ve modelleme süreçleri birkaç hafta sürebilir. Bu süreçte her aşama için ayrılan süre, değerlendirilmekte olan çevresel ortamın karmaşıklığına göre farklılık gösterebilir. Örneğin, su örneklerinin analiz edilmesi ve maruziyet seviyelerinin hesaplanması genellikle 2 ila 4 hafta arasında değişen bir zaman diliminde tamamlanabilir (EPA, 2015).

Risk değerlendirmesinin tamamlanması, düzenli aralıklarla yapılacak izlemelerle güncellenebilir. Su kalitesinin düzenli olarak izlenmesi, mikroorganizma düzeylerinin mevsimsel değişimlere bağlı olarak değişebileceğini göz önünde bulundurur. Bu nedenle, su kalitesi ile ilgili risk değerlendirmeleri yılda birkaç kez yapılabilir (Minnesota Department of Health, 2020).

1.7 Yüzme Havuzlarında Kontrol ve Dezenfeksiyon Yöntemleri

Yüzme havuzlarının güvenli ve hijyenik bir şekilde işletilmesi, mikroorganizmaların çoğalmasının engellenmesi ve halk sağlığının korunması açısından kritik öneme sahiptir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO), Avrupa Birliği (AB) ve Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (USEPA) gibi uluslararası otoriteler, havuz sularının mikrobiyolojik güvenliğinin sağlanabilmesi için **klorlama, ozonlama ve metal iyonizasyonu** gibi farklı dezenfeksiyon yöntemlerinin kullanılabileceğini belirtmektedir (WHO, 2006; USEPA, 2015; Avrupa Birliği, 2006). Türkiye’de ise “Yüzme Havuzlarının Tabi Olacağı Sağlık Esasları Hakkında Yönetmelik” (2011), özellikle klor kullanımına dayalı dezenfeksiyonun zorunlu olduğunu vurgulamaktadır. Bu bölümde, ulusal ve uluslararası literatür ışığında yüzme havuzlarında kullanılan dezenfeksiyon ve kontrol yöntemleri açıklanmıştır.

1.7.1 Klorlama Yöntemi

Klorlama, dünya genelinde en yaygın kullanılan havuz dezenfeksiyon yöntemidir. Klor, havuz sularındaki *E.coli*, *P.aeruginosa*, *S.aureus* gibi bakteriler ile virüs ve protozoaların çoğalmasını engelleyerek halk sağlığını korumada etkin bir rol oynar (WHO, 2006; Bartram vd. 2007). Türkiye’deki mevzuata göre serbest klor düzeyinin **0,3–0,6 mg/L** arasında olması zorunludur (Resmî Gazete, 2011). Bununla birlikte, serbest klorun organik maddelerle reaksiyona girmesi sonucu **trihalometan (THM)** gibi yan ürünler oluşabilmekte ve bu ürünler uzun vadede sağlık açısından risk oluşturabilmektedir (Richardson, 2010). Bu nedenle uluslararası rehberler, klorlamanın etkinliği yanında suyun düzenli yenilenmesi, pH kontrolü ve filtrasyon gibi destekleyici işlemlerle birlikte uygulanmasını önermektedir (USEPA, 2015).

1.7.2 Bakır-Gümüş İyonizasyon Sistemi

Bakır ve gümüş iyonları, antimikrobiyal özellikleri nedeniyle havuz sularında **ikincil dezenfeksiyon yöntemi** olarak kullanılmaktadır. Bakır iyonları özellikle **alglerin** çoğalmasını engellerken, gümüş iyonları bakterilere karşı etkilidir (Lin vd. 2002). WHO (2006), iyonizasyon sistemlerinin klorlama ile birlikte kullanılmasının, klor tüketimini azaltarak daha dengeli bir dezenfeksiyon sağladığını belirtmektedir. Ancak tek başına iyonizasyon, özellikle **Cryptosporidium** gibi klora dirençli protozalara karşı yeterli koruma sağlamamaktadır (Craik vd. 2001). Türkiye’de ulusal mevzuatta bakır-gümüş iyonizasyonuna ilişkin doğrudan bir düzenleme bulunmamakla birlikte, bu sistem bazı turistik tesislerde yardımcı bir dezenfeksiyon yöntemi olarak kullanılmaktadır.

1.7.3 Ozonlama Sistemi

Ozonlama, güçlü bir oksidasyon yöntemi olup, bakteri, virüs ve protozalara karşı oldukça etkilidir. Ozonun klora göre avantajı, **Cryptosporidium** ve **Giardia** gibi dirençli patojenleri kısa sürede inaktive edebilmesidir (EPA, 2015; WHO, 2006). Ayrıca ozon, sudaki organik kirleticileri parçalayarak **klor yan ürünlerinin oluşumunu azaltır**. Ancak ozonun sudaki kalıcılığı sınırlıdır; bu nedenle WHO (2006) ve Avrupa Birliği Direktifi (2006/7/EC) ozonlamanın tek başına değil, klorlama ile birlikte kullanılmasını önermektedir. Türkiye’de ulusal yönetmelikte ozonlama, ikincil bir yöntem olarak değerlendirilmekte olup, serbest kalıntı klorun havuz suyunda bulunması zorunluluğu devam etmektedir (Resmî Gazete, 2011).

1.7.4 Ultraviyole (UV) Işınlama

Ultraviyole ışınlama, özellikle **UVC bandı (200–280nm)** kullanılarak mikroorganizmaların DNA/RNA yapısını bozarak çoğalmalarını engeller. UV sistemleri, klora dirençli patojenler olan **Cryptosporidium** ve **Giardia** üzerinde de yüksek etkinlik göstermektedir (Hijnen vd. 2006). Bununla birlikte UV ışınlarının sudaki kalıcılığı yoktur; yani dezenfeksiyon yalnızca cihazdan geçen su için geçerlidir. Bu nedenle WHO (2006) ve Avrupa Birliği (2006/7/EC) UV yöntemini **ikincil bir dezenfeksiyon** olarak önermekte, kalıcı etki için klorlama ile desteklenmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Türkiye’de de “Yüzme Havuzlarının Tabi Olacağı Sağlık Esasları Hakkında Yönetmelik” (2011), UV’nin yardımcı yöntem olarak kullanılabileceğini belirtmektedir.

1.7.5 Bromlama

Brom, özellikle **kapalı havuzlarda** ve **yüksek sıcaklıkta çalışan spa/jakuzi sularında** tercih edilen bir dezenfektandır. Brom, klora kıyasla daha az tahriş edici yan ürünler üretir ve geniş bir pH aralığında etkilidir (White, 2010). Bununla birlikte, brom bileşikleri maliyetli olduğundan yaygın kullanım sınırlıdır. USEPA (2015), bromlamanın özellikle sıcak su havuzlarında etkili olduğunu, ancak serbest klor düzeyi takibiyle birlikte uygulanması gerektiğini bildirmektedir. Türkiye’de ise bromlama, yönetmelikte doğrudan tanımlı olmamakla birlikte, kapalı tesislerde yardımcı bir yöntem olarak uygulanabilmektedir.

1.7.6 Potasyum Permanganat

Potasyum permanganat (KMnO_4), oksidasyon yoluyla mikroorganizmaların yapısını bozan bir kimyasaldır. Daha çok **yardımcı oksidasyon** ve **alg kontrolü** amacıyla kullanılmaktadır (Bellar vd. 2011). Ancak WHO (2006), permanganatın güçlü bir **dezenfektan** olarak sınırlı etkiye sahip olduğunu, özellikle virüs ve protozoalara karşı etkisinin düşük olduğunu belirtmiştir. Bu nedenle genellikle **ön arıtımda** ya da klorlama/ozonlama ile birlikte kullanılmaktadır.

1.7.7 Kombine Yöntemler (Klor + UV, Ozon + UV vb.)

Son yıllarda uluslararası literatürde, **kombine dezenfeksiyon sistemleri** giderek yaygınlaşmaktadır. Örneğin **ozon + UV** birlikte kullanıldığında, ozonun organik kirleticileri okside etmesi ve UV'nin kalıntı mikroorganizmaları etkisiz hale getirmesiyle daha yüksek bir dezenfeksiyon etkinliği sağlanmaktadır (Li vd. 2017). Ayrıca **klor + UV** kombinasyonu, klor tüketimini azaltırken klora dirençli protozoalara karşı koruma sağlamaktadır. WHO (2023) raporlarında bu tür hibrit sistemlerin, özellikle yoğun kullanıcıya sahip havuzlarda gelecek yıllarda daha fazla kullanılacağı öngörülmektedir.

2. KAYNAK TARAMASI

Tez kapsamında, mikrobiyal risklerin nicel değerlendirmesine yönelik (QMRA) ulusal ve uluslararası düzeyde gerçekleştirilen araştırmalar incelenmiş ve elde edilen bulgular aşağıda detaylandırılmıştır.

2.1 Havuzlarda Yapılan Fiziksel ve Kimyasal Analizlerin Yapılmasının Önemi

Yüzme havuzlarının hijyenik ve güvenli kullanımını sağlamak için suyun fiziksel ve kimyasal özelliklerinin düzenli olarak izlenmesi ve analiz edilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu analizler hem kullanıcı sağlığını korumak hem de havuzların bakım ve işletim standartlarını sağlamak amacıyla gerçekleştirilir (Anonim 4).

a) Fiziksel Analizler

Havuz suyunun fiziksel özellikleri arasında sıcaklık, pH seviyesi, bulanıklık ve renk gibi parametreler bulunur. Özellikle sıcaklık ve pH değerleri, suyun dezenfeksiyon etkinliğini ve kullanıcı konforunu doğrudan etkiler. Hijyende Mükemmellik 'in belirttiği üzere, doğru dezenfeksiyon ve düzenli çöktürücü kullanımı ile suda gözle görünen tanecikler giderilmeli ve oluşumu önlenmeli, havuzun tabanı net olarak görünmesi gerektiğini vurgulamaktadır (Anonim 3).

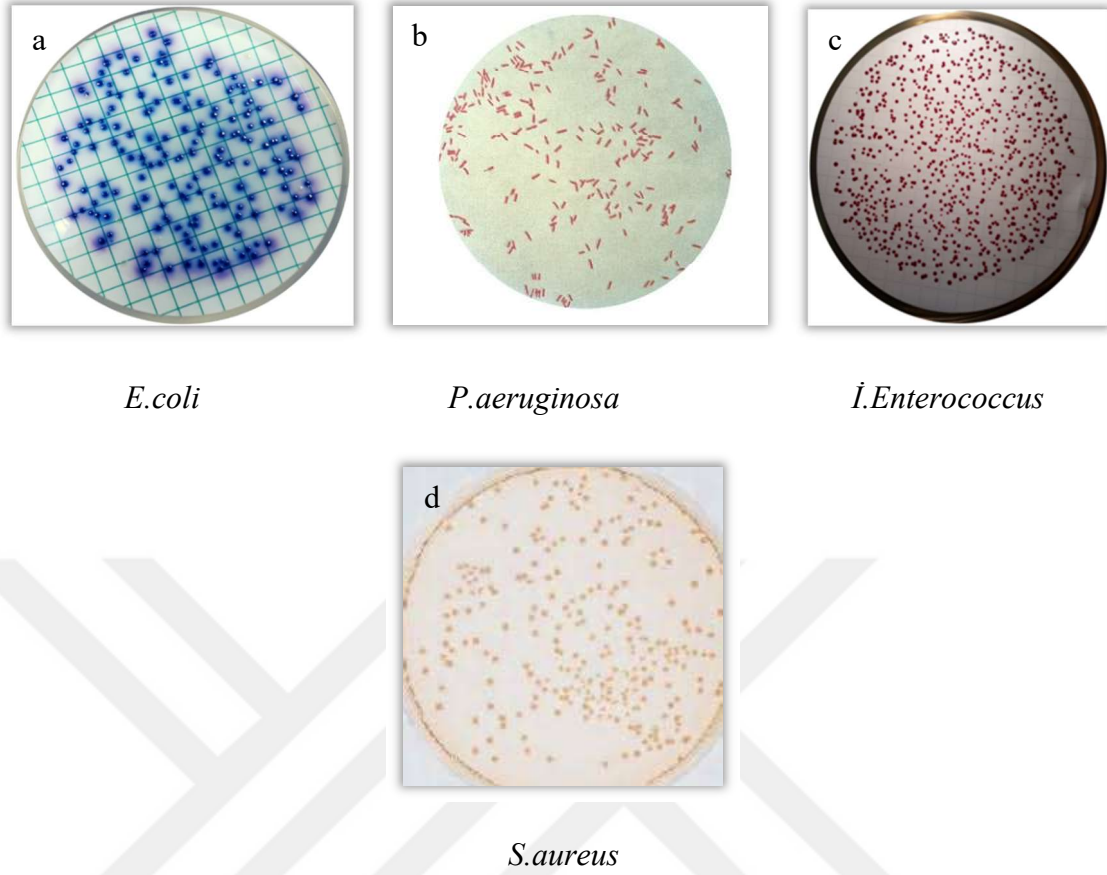
b) Kimyasal Analizler

Kimyasal analizler, havuz suyundaki dezenfektan seviyeleri (örneğin, serbest klor), alkalinite, asidite ve diğer çözünmüş maddelerin konsantrasyonlarını ölçer. Bu parametrelerin uygun aralıklarda tutulması, suyun mikrobiyal kontaminasyona karşı korunmasına ve kullanıcıların cilt ile göz sağlığının korunmasına yardımcı olur. Saniter Gıda'ya göre, havuz sularında mikrobiyolojik ve kimyasal parametreler aylık olarak mutlaka kontrol edilmesinin önemini arz eder (Anonim 4). Havuz suyu analizleri, suyun temizliğini, pH seviyesini, dezenfeksiyon etkisini ve diğer kimyasal parametreleri kontrol etmek için yapılır. Bu testler, suyun hijyen standartlarına uygun olup olmadığını belirler ve sağlık risklerini azaltır (Anonim 5).

Sonuç olarak, yüzme havuzlarında gerçekleştirilen fiziksel ve kimyasal analizler, su kalitesinin izlenmesi ve sürdürülmesi için temel araçlardır. Bu analizler sayesinde, havuz suyunun hijyenik durumu değerlendirilir, sağlık riskleri azaltılır ve kullanıcıların güvenli bir ortamda yüzmeleri sağlanır (Saniter Gıda KAYNAK YAZIMINDA SORUN VAR KAYNAK YAZIMINDA SORUN VAR, 2025).

2.2 Havuzlarda Bakteriler ve QMRA Hakkında Yapılan Araştırmaların Özetleri

Yüzme havuzlarında *E.coli* fekal kontaminasyonun tespitinde önemli bir indikatör bakteridir. Suyun hijyen kalitesini değerlendirmek için yaygın şekilde kullanılmaktadır. Bu amaçla, Almanya'da gerçekleştirilen bir araştırma, yüzme havuzlarındaki *E. coli* varlığının havuz hijyeninin yetersiz olduğunu ortaya koymuştur (Hamann ve Heinze, 2003). Bu çalışma, havuz suyunun düzenli aralıklarla kontrol edilmesi ve hijyen standartlarına uygun şekilde yönetilmesi gerektiğini vurgulamaktadır.



Şekil 2.1 Yüzme Havuzlarında Sık Görülen Bazı Bakteri Türleri
A. *E. coli* B. *P. aeruginosa* C. *I. Enterococcus* D. *S. aureus*

Yüzme havuzlarında sıklıkla rastlanan *P. aeruginosa*, özellikle bağışıklık sistemi zayıf bireylerde cilt ve kulak enfeksiyonlarına neden olabilecek potansiyel bir patojendir. İspanya’da yapılan kapsamlı bir çalışmada, yüzme havuzlarında *P. aeruginosa* varlığının su hijyen standartlarına uygunluk açısından kritik bir gösterge olduğu vurgulanmıştır. Araştırma, bakteri seviyelerinin yüksek olduğu durumlarda sağlık risklerinin ciddi şekilde arttığını göstermiştir. (Doménech-Sánchez vd. 2024).

Havuz suyunda bulunabilen ve buharlaşma yoluyla aerosolize olarak insanlara bulaşabilen *Legionella spp.* bakterileri, özellikle Legioner hastalığı gibi ciddi enfeksiyonlara yol açabilmektedir. Amerika Birleşik Devletleri’nde yapılan bir araştırma, kapalı yüzme havuzlarının *Legionella* kontaminasyonuna açık olduğunu ve bu durumun uygun su sıcaklığı ve dezenfeksiyon seviyeleriyle kontrol altına alınması gerektiğini ortaya koymuştur. Çalışma, düzenli denetimlerin ve suyun mikrobiyolojik analizlerinin halk sağlığını koruma açısından önemini vurgulamaktadır (Fields vd. 2001). Bu bilgiler ışığında, yüzme havuzlarındaki su kalitesinin düzenli olarak izlenmesi ve mikrobiyolojik kontaminasyonun önlenmesi, toplum sağlığı açısından kritik öneme sahiptir.

Konjonktivit ve üst solunum yolu enfeksiyonlarına yol açabilen adenovirüsler, halk sağlığı açısından önemli bir tehdit oluşturur. Özellikle su kaynaklı bulaşmalarda dayanıklılık gösteren bu virüsler, yüzme havuzlarında uzun süre hayatta kalabilir. Birleşik Krallık’ta gerçekleştirilen bir çalışmada, yüzme havuzlarında adenovirüs varlığı ayrıntılı

bir şekilde incelenmiş ve bu virüsün dezenfeksiyon yetersizliği durumunda kalıcı bir risk faktörü olduğu vurgulanmıştır. Araştırma, adenovirüslerin klor gibi yaygın dezenfektanlara karşı kısmen dirençli olabileceğini ve bu nedenle daha kapsamlı su arıtma süreçlerinin gerekli olduğunu ortaya koymuştur (Papapetropoulou vd. 1998).

Su kaynaklı hastalıkların önde gelen etkenlerinden biri olan **norovirüs**, ishal, bulantı ve kusma gibi gastrointestinal semptomlara neden olur. Özellikle kapalı yüzme havuzları gibi ortak kullanım alanlarında yayılma riski oldukça yüksektir. İsveç'te gerçekleştirilen bir çalışmada, bir yüzme havuzunda ortaya çıkan geniş çaplı norovirüs salgını detaylı olarak incelenmiştir. Araştırmada, virüsün hızlı bulaşma potansiyeline sahip olduğu ve enfekte kişilerin havuz suyuna girmesiyle salgınların kolayca tetiklenebileceği gösterilmiştir. Çalışma ayrıca, salgınların önlenmesi için havuz yönetiminde sıkı hijyen kontrollerinin ve etkili dezenfeksiyon yöntemlerinin uygulanması gerektiğini vurgulamıştır (Podewils vd. 2006). Bu tür çalışmalar, yüzme havuzlarındaki viral patojenlerin halk sağlığı üzerindeki etkisini anlamak ve bu riskleri en aza indirmek için gerekli önlemleri belirlemek adına önemli bir rehber niteliği taşımaktadır. Özellikle klorlamanın yeterli olmadığı durumlarda alternatif dezenfeksiyon yöntemlerinin geliştirilmesi ve uygulanması kritik öneme sahiptir.

Kanarya Adaları'ndaki turistik tesislerde yapılan saha çalışması (rekreasyonel sularda *P.aeruginosa* prevalansının yaklaşık %4.8 olduğunu ve tesislerin %31.2'sinin mevcut su kalite standartlarından en az birine uyum göstermediğini ortaya koymaktadır. Özellikle dezenfekte düzeyinin yeterli olmaması, su sıcaklığı ve tesis tipine göre (örneğin açık yüzme havuzları, jakuzi ve soğuk kaynaklar) kontaminasyon düzeylerinde belirgin farklılıklar tespit edilmiştir. Bu bulgular, QMRA kapsamında elde edilen risk değerleriyle tutarlı olup, havuz ve rekreasyonel su tesislerinde özellikle *P.aeruginosa*'ya yönelik kontrol ve önleyici tedbirlerin önemini desteklemektedir. Bu veri, dezenfeksiyon protokollerinin optimize edilmesi, tesis tipine özgü risk yönetim stratejileri geliştirilmesi ve mevzuata uyum denetimlerinin sıklaştırılması gerektiğini göstermektedir (Domenech-Sanchez vd. 2024)

Klora karşı yüksek düzeyde direnç gösteren *Cryptosporidium*, ciddi ishal ve karın ağrısı gibi belirtilerle seyreden gastroenterite neden olabilen önemli bir protozodur. Bu özellikleri nedeniyle yüzme havuzları gibi ortak kullanılan su kaynaklarında önemli bir halk sağlığı riski oluşturur. Avustralya'da yapılan kapsamlı bir çalışmada, yüzme havuzlarında *Cryptosporidium* varlığı detaylı şekilde incelenmiştir. Araştırma, bu protozoanın havuz suyu dezenfeksiyon süreçlerine direnç gösterdiğini ve düşük dozlarda bile bulaşıcı kalabildiğini ortaya koymuştur. Ayrıca, enfekte bireylerin havuzlara girmesi durumunda yayılımın hızla artabileceği belirtilmiştir. Çalışma, havuz hijyeninin sağlanmasında klorlama dışındaki ek yöntemlerin (örneğin, ultraviyole ışık veya ozonlama) önemine dikkat çekmiştir (Nichols ve Chalmers, 2009).

Su kaynaklı enfeksiyonların bir diğer önemli etkeni olan *Giardia*, özellikle ishal ve bağırsak sorunlarına neden olur. Bu protozoa, yüzme havuzlarında klorlama gibi geleneksel dezenfeksiyon yöntemlerine karşı kısmen dirençli olup uzun süre canlı kalabilir. Kanada'da gerçekleştirilen bir çalışmada, yüzme havuzlarında *Giardia* kontaminasyonu üzerine geniş kapsamlı analizler yapılmıştır. Araştırma, havuzların uygun şekilde filtrelenmediği durumlarda protozoanın sudan tamamen

uzaklaştıramadığını göstermiştir. Özellikle çocukların ve bağışıklık sistemi zayıf bireylerin bu tür enfeksiyonlara karşı daha savunmasız olduğu vurgulanmıştır. Çalışma, fiziksel filtreleme yöntemlerinin (kum filtreleri gibi) ve düzenli denetimlerin, *Giardia* kontaminasyonunu önlemede kritik bir rol oynadığını belirtmiştir (Schets vd. 2003).

Bu bulgular, *Cryptosporidium* ve *Giardia* gibi klor dirençli patojenlerin, yüzme havuzları için ciddi bir tehdit oluşturduğunu ve mevcut hijyen protokollerinin bu tür patojenlere karşı gözden geçirilmesi gerektiğini göstermektedir. Halk sağlığını korumak için yalnızca kimyasal dezenfeksiyona değil, aynı zamanda mekanik ve teknolojik yöntemlere de yatırım yapılması önemlidir.

Giardia ve *Cryptosporidium* gibi protozoaların yüzme havuzlarında yayılma potansiyeli de QMRA araçlarıyla incelenmiştir. Özellikle bu protozoalar, klora karşı dayanıklı olup, yüzme havuzlarında bulaşma riski oluşturabilir. Kanada'da yapılan bir çalışmada, yüzme havuzlarında bu patojenlerin varlığı ve bunların mikrobiyal risklere etkisi detaylandırılmıştır.

2.3 QMRA Hakkında Yapılan Çalışmaların Özetleri

Kantitatif Mikrobiyal Risk Değerlendirmesi (QMRA), çevresel mikroorganizmaların insan sağlığı üzerindeki potansiyel etkilerini tahmin etmek amacıyla kullanılan bir modelleme tekniğidir. Bu yöntem, mikroorganizmalara maruz kalma durumunda enfeksiyon ve hastalık risklerinin değerlendirilmesi için matematiksel modellemeyi kullanarak halk sağlığını koruma stratejilerinin geliştirilmesine olanak tanır. Son yıllarda yapılan çeşitli uluslararası çalışmalar, QMRA'nın farklı alanlardaki uygulamalarını incelemiş ve mikrobiyal riskin yönetilmesi konusunda değerli veriler sunmuştur. Aşağıda, QMRA üzerine yapılan uluslararası çalışmalardan bazı önemli özetler ve kaynaklar yer almaktadır.

a) Gıda Kaynaklı Mikrobiyal Riskler

Birçok çalışmada, gıda kaynaklı mikrobiyal hastalıkların risk değerlendirilmesinde QMRA'nın etkinliği araştırılmıştır. 2009 yılında yapılan bir çalışma, gıda üretim zincirinde mikrobiyal kontaminasyon riskini değerlendirerek, gıda tüketimindeki patojenlerin insidansını ve insan sağlığına etkilerini modellemiştir. Çalışma, *Salmonella* ve *Campylobacter* gibi patojenlerin yayılma olasılıklarını matematiksel olarak tahmin etmiştir (Schoen and Ashbolt 2010). Ayrıca, bu çalışma, gıda güvenliği yönetiminde mikroorganizma seviyelerinin kontrol edilmesinin önemini vurgulamıştır.

b) Su Kaynaklı Mikrobiyal Riskler

Su kaynaklı enfeksiyonların değerlendirilmesi konusunda QMRA'nın kullanımı büyük önem taşır. Bir araştırma, dünya genelinde içme suyu sistemlerinden kaynaklanan mikrobiyal riskleri değerlendirmiştir. QMRA, özellikle yüzme havuzları ve su arıtma tesisleri gibi farklı su kaynaklarında mikrobiyal kontaminasyonun sağlık üzerindeki etkilerini incelemiştir. Bu çalışmanın sonucunda, suyun dezenfekte edilmesinin ve mikrobiyolojik parametrelerin izlenmesinin gerekliliğini ortaya konmuştur ve su arıtma süreçlerinin etkinliğini ve halk sağlığını korumak için alınması gereken önlemleri belirlemiştir (Dada, 2020).

c) İnsan Sağlığı ve Çevresel Etkileşimler

Çevresel faktörlerin insan sağlığı üzerindeki etkileri de QMRA ile değerlendirilmiştir. Özellikle, çevresel faktörler (toprak, su, hava) yoluyla maruz kalınan mikroorganizmaların sağlık üzerindeki etkilerini tahmin etmek için kullanılan bu modelleme tekniği, enfeksiyon hastalıklarının yayılma risklerini azaltmaya yardımcı olur. Birçok çalışma, özellikle gelişmekte olan bölgelerde su ve gıda kaynaklı hastalıkların önlenmesinde QMRA'nın kullanımının arttığını göstermektedir (Minnesota Department of Health, 2025).

d) Atıksu Arıtma ve İşleme

Atık su arıtma tesislerinde yapılan mikrobiyal risk değerlendirmeleri, QMRA'nın uygulama alanlarından biridir. Özellikle SARS-CoV-2'nin yayılma riskini değerlendirmek için yapılan bir çalışma, atık suyun işlenmesi ve çevresel risklerin belirlenmesinde QMRA'nın önemli bir rol oynadığını ortaya koymuştur. Bu çalışma, COVID-19'un atık su ile taşınan potansiyel sağlık risklerini değerlendirerek, arıtma süreçlerinin ne kadar etkili olduğunu belirlemiştir (Dada, 2020).

e) Marina Rezervuarı ve *İ. Enterekok* Riski

Singapur'daki Marina Rezervuarı'nda yapılan bir çalışmada, *İ. Enterekok* ve *Salmonella spp.* bakterilerinin varlığı değerlendirilmiş ve QMRA yöntemiyle enfeksiyon riskleri hesaplanmıştır. Monte Carlo simülasyonları kullanılarak yapılan analizlerde, *İ. Enterekok* kaynaklı gastrointestinal hastalık riskinin bazı yukarı havza bölgelerinde ABD Çevre Koruma Ajansı'nın (USEPA) kabul edilebilir sınırlarını aştığı, ancak bu bölgelerin sık kullanılan rekreasyon alanlarından uzakta olduğu belirlenmiştir.

f) Hazar Denizi Kıyılarında Rekreasyonel Su Kullanımı

Hazar Denizi'nin güney kıyılarında gerçekleştirilen bir başka çalışmada, rekreasyonel su kullanımı sırasında *E. coli* ve enterokoklara maruz kalmanın gastrointestinal hastalık riskleri değerlendirilmiştir. Bu çalışma, QMRA yönteminin rekreasyonel su kaynaklarındaki mikrobiyolojik riskleri belirlemede etkili bir araç olduğunu göstermektedir.

g) Pricketts Creek (Batı Virginia, ABD)

Batı Virginia'daki Pricketts Creek bölgesinde yapılan bir çalışmada, *E. coli* ve *İ. Enterekok* türlerinin varlığı değerlendirilmiş ve QMRA yöntemiyle rekreasyonel kullanım sırasında insan sağlığına yönelik riskler hesaplanmıştır. Sonuçlar, yüzme gibi doğrudan suyla temas içeren aktivitelerde enfeksiyon riskinin güvenli limitlerin üzerinde olduğunu göstermiştir.

h) *Enterococcus faecium* ve Antibiyotik Direnci

Güney Afrika'da yapılan bir çalışmada, *Enterococcus faecium*, *Klebsiella pneumoniae* ve *P. aeruginosa* bakterilerinin çevresel su kaynaklarındaki varlığı ve aminoglikozid direnç genleri değerlendirilmiştir. EMA-qPCR analizi kullanılarak yapılan bu çalışmada, özellikle Gram-negatif patojenlerin çeşitli evsel ve rekreasyonel su kullanımları sırasında enfeksiyon riski oluşturduğu belirlenmiştir.

i) Hastane Atık Sularında *İ. Enterekok* ve Antibiyotik Direnci

Bir hastane atık su arıtma sisteminde yapılan çalışmada, klorlama işlemi sonrası *İ. Enterekok* ve *E. coli* bakterilerinin canlı ve VBNC (viable but non-culturable) formları değerlendirilmiş ve antibiyotik direnç riskleri analiz edilmiştir. Bu çalışma, hastane atık sularının uygun şekilde arıtılmaması durumunda çevresel ve halk sağlığı risklerinin artabileceğini göstermektedir.

Uluslararası alanda yapılan çalışmalar, QMRA'nın çevresel mikroorganizmaların insan sağlığı üzerindeki etkilerini tahmin etmede ne denli önemli bir araç olduğunu göstermektedir. Gıda, su ve çevre kaynaklı mikrobiyal risklerin değerlendirilmesinde, QMRA'nın matematiksel modelleme kullanarak halk sağlığını korumada önemli bir rol oynadığı anlaşılmaktadır. Bu çalışmalar, gelecekteki sağlık politikalarının oluşturulmasında ve mikroorganizmalara maruz kalma risklerinin yönetilmesinde QMRA'nın daha yaygın bir şekilde kullanılmasını teşvik etmektedir.

Yüzme havuzları suyu kaynaklı mikrobiyal risk değerlendirmelerinde yapılan QMRA (Quantitative Microbial Risk Assessment) çalışmaları, halk sağlığını korumak ve su kaynaklı enfeksiyonları önlemek için kritik bir rol oynamaktadır. Bu tür çalışmalar, yüzme havuzlarında insan sağlığı üzerinde olabilecek potansiyel mikrobiyal tehditleri değerlendirerek, riskleri modellemekte ve uygun önlemleri belirlemektedir. Aşağıda, yüzme havuzları suyu ile ilgili yapılan bazı QMRA çalışmalarının özetleri ve kaynakları yer almaktadır.

2.4 Yüzme Havuzu Suyu Kaynaklı Yapılan QMRA Çalışmaları

Birçok yüzme havuzunda mikrobiyal kontaminasyon riski, özellikle suyun kirlenmesi sonucu ortaya çıkabilir Schoen and Ashbolt (2010), yüzme havuzlarındaki mikrobiyal riskleri değerlendirmek amacıyla QMRA uygulamıştır. Çalışmalarında, özellikle *E. coli* ve *Cryptosporidium* gibi patojenlerin yayılma olasılıkları matematiksel olarak modellenmiştir. Araştırma, yüzme havuzlarında bu mikroorganizmaların kontaminasyon seviyelerinin, kullanıcılar üzerinde enfeksiyon riski yaratacak düzeye ulaşabileceğini göstermektedir. Çalışmada, suyun dezenfeksiyon yöntemlerinin (klorlama, filtrasyon) etkinliğinin artırılmasının, mikrobiyal riskin azaltılmasında önemli olduğu vurgulanmıştır.

Rim vd (2019), yüzme havuzlarında *Cryptosporidium* ve *Giardia* gibi protozoa patojenlerinin yayılma risklerini incelemişlerdir. Bu patojenler, özellikle dezenfeksiyon işlemlerine dirençli oldukları için, yüzme havuzlarında ciddi sağlık risklerine yol açabilir. Çalışma, QMRA modelini kullanarak, yüzme havuzlarında bu patojenlerin bulaşma yollarını ve enfeksiyon oranlarını tahmin etmiştir. Araştırmada, havuz suyunun mikrobiyolojik kalitesinin sıkı bir şekilde izlenmesi gerektiği ve özellikle su arıtma teknolojilerinin etkinliğinin artırılması gerektiği vurgulanmıştır.

Nwachukwu vd (2021), yüzme havuzlarında mikrobiyal risklerin iyileştirilmesi için QMRA yöntemini kullanmışlardır. Bu çalışmada, farklı yüzme havuzlarındaki su kalitesine ilişkin mikrobiyal parametreler (pH, klor seviyesi, bakteriyel yük) analiz edilmiştir. QMRA ile yapılan modelleme, yüzme havuzlarının belirli periyotlarla izlenmesi gerektiğini ve dezenfeksiyon işlemlerinin uygun şekilde yapılmasının enfeksiyon riskini önemli ölçüde azaltacağını ortaya koymuştur. Çalışma, özellikle

P.aeruginosa ve *Legionella spp.* gibi bakteriyel patojenlerin kontaminasyonu sonucu oluşabilecek riskleri incelemiş ve halk sağlığı açısından alınması gereken önlemleri belirlemiştir.

Verbyla vd (2020), yüzme havuzlarında mikrobiyal kirlenmeyi azaltmak için kullanılan su arıtma sistemlerinin etkinliğini değerlendirmiştir. Çalışma, QMRA modelleme yöntemi ile suyun arıtılmasında kullanılan farklı teknolojilerin etkinliğini karşılaştırmış ve klorlama, UV ışınları ve ozonlama gibi yöntemlerin havuz suyundaki patojen yükünü azaltma üzerindeki etkilerini analiz etmiştir. Araştırma, bu yöntemlerin havuz suyundaki mikrobiyal riskleri önemli ölçüde düşürdüğünü göstermiştir, ancak suyun düzenli olarak izlenmesi ve arıtma sistemlerinin sürekliliği gerektiğini belirtmiştir.

Unger vd (2022), yüzme havuzlarında mikrobiyal risklerin azaltılması için risk yönetimi stratejilerinin QMRA ile entegrasyonunu incelemiştir. Çalışma, yüzme havuzlarında mikrobiyal riskin değerlendirilmesinde kullanılan parametrelerin belirlenmesi ve bu parametreler üzerinden yapılan risk tahminlerinin halk sağlığı açısından ne derece faydalı olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca, risk yönetim planlarının ve havuz suyu izleme protokollerinin geliştirilmesi gerektiği vurgulanmıştır.

QMRA güvenilirliği ile ilgili farklı su türlerinde yapılan çalışmaları incelemiştir. Atık su, yüzey suyu, yeraltı suları ve içme suyu gibi su kaynakların kirlenme riski ve enfeksiyon olasılığının ele alındığı çalışmalarda QMRA'nın güvenilirliği ile ilgili sonuçlar ortaya konulmuştur. QMRA'nın su kaynaklarında oluşabilecek kirlilik nedenlerinin belirlenmesine ve suyun türüne veya kalitesine bağlı olarak yapılacak arıtma işlemlerinin belirlenmesi konusunda bizlere yardımcı olacağı kanaatine varılmıştır (Balderrama,2017).

Avustralya'nın Queensland bölgesinde gerçekleştirilen bir çalışmada, 12 ve 24 aylık periyotlarda meydana gelen yağış ve yüzey akışı olayları sırasında kanalizasyon sistemlerinde oluşan taşmaların halk sağlığı üzerindeki olası etkileri değerlendirilmiştir. Bu çalışmada, rögar taşmalarına bağlı sağlık risklerinin Kantitatif Mikrobiyolojik Risk Değerlendirmesi (QMRA) yöntemiyle analiz edilmesi hedeflenmiştir. Çalışma kapsamında, kanalizasyon taşkın yönetim stratejileri altında ortaya çıkabilecek risk seviyelerindeki değişimler karşılaştırılmıştır. Ayrıca, kanalizasyon taşmalarının değerlendirilmesinde QMRA'nın, hidrolojik ve hidrodinamik modelleme araçlarıyla entegre bir şekilde kullanılması gerektiği vurgulanmıştır. Bu disiplinler arası yaklaşımın, toplum sağlığını korumaya yönelik daha kapsamlı ve bilim temelli stratejiler geliştirilmesine katkı sağlayabileceği sonucuna varılmıştır (Kozak, 2020).

Hollanda, QMRA metodolojisini içme suyu mevzuatına entegre eden ilk ülkelerden biridir. 2001 yılında yürürlüğe giren Hollanda İçme Suyu Yasası'nda, su kaynaklarının mikrobiyolojik güvenliği açısından risk temelli değerlendirmelerin zorunlu hale getirilmesiyle birlikte QMRA, içme suyu arıtma ve dağıtım sistemlerinde rutin karar destek aracı olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu uygulama ile, patojenik mikroorganizmaların farklı senaryolar altında oluşturabileceği enfeksiyon riski sayısal olarak modellenmiş ve halk sağlığının korunmasına yönelik optimize edilmiş arıtma stratejileri geliştirilmiştir (Bichai ve Smeets, 2013).

Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (USEPA), QMRA'yı yüzme alanlarında halk sağlığı risklerinin tahmininde etkin olarak kullanmaktadır. Özellikle yüzme sırasında su yutulması yoluyla enfeksiyon oluşturabilecek enterik virüsler, *Giardia* ve *Cryptosporidium* gibi patojenler için yapılan QMRA analizleri, su kalitesinin değerlendirilmesinde klasik bakteriyel indikatörlerin ötesine geçerek, enfeksiyon olasılığının doğrudan hesaplanmasına olanak tanımaktadır. Bu kapsamda elde edilen risk değerleri, yeni su kalitesi standartlarının belirlenmesinde temel veri olarak kullanılmaktadır (USEPA, 2015).

Türkiye'de QMRA uygulamaları sınırlı sayıda olsa da, özellikle havuz suları, rekreasyonel alanlar ve kaynak suyu sistemlerinde pilot uygulamalar mevcuttur. Bazı belediyeler ve üniversiteler tarafından yürütülen projelerde, yüzme havuzlarından alınan su örnekleri ile *E.coli*, *P.aeruginosa* ve *I.Enterekok* gibi mikroorganizmalar üzerinden enfeksiyon riskleri hesaplanmıştır. Bu çalışmalar, havuz dezenfeksiyon süreçlerinin yeterliliğini değerlendirmek ve potansiyel iyileştirme alanlarını belirlemek amacıyla kullanılmaktadır. Ancak QMRA'nın Türkiye'de henüz yasal mevzuata entegre edilmediği ve uygulamaların daha çok akademik düzeyde kaldığı görülmektedir.

Yüzme havuzlarındaki mikrobiyal risklerin değerlendirilmesinde QMRA'nın kullanımı, halk sağlığını korumak için önemli bir araçtır. Çeşitli uluslararası çalışmalar, yüzme havuzlarındaki mikrobiyal patojenlerin yayılma olasılıklarını matematiksel modellerle değerlendirmekte ve suyun dezenfeksiyonunun etkinliğini artırmaya yönelik stratejiler geliştirmektedir. Bu tür çalışmalar, yüzme havuzlarında enfeksiyon riskini azaltmak için gerekli tedbirlerin alınmasında temel bir rol oynamaktadır.

3. MATERYAL VE METOT

3.1 Çalışmanın Numune Alındığı Yerler ve Önemi

Antalya, Türkiye'nin turizm açısından en önemli ve popüler şehirlerinden biri olarak öne çıkmaktadır. Akdeniz kıyısında yer alan bu güzel şehir, doğal güzellikleri, tarihi zenginlikleri ve eşsiz plajlarıyla ziyaretçilerin büyük ilgisini çekmektedir. Özellikle yaz mevsiminde, sıcak iklimi ve berrak denizi sayesinde yerli ve yabancı turistler tarafından yoğun bir şekilde tercih edilmektedir (TÜİK 2024).

Antalya, sadece deniz turizmi ile değil, aynı zamanda tarihi ve kültürel mirasları, çeşitli etkinlikleri ve lüks tatil köyleriyle ve otel imkanları ile de dikkat çekmektedir. Bu sebeplerle, yıl boyunca turist akınına uğramakta ve Türkiye'nin turizm sektöründeki önemini sürekli olarak artırmaktadır.

Antalya'nın otelleri, Türkiye'nin turizm sektöründe büyük bir rol oynamaktadır ve bu oteller, bölgenin turistik cazibesinin önemli bir parçasını oluşturmaktadır. Antalya hem yerli hem de yabancı turistler tarafından büyük ilgi gören bir destinasyon olduğundan, konaklama seçeneklerinin çeşitliliği ve kalitesi, turistlerin burayı tercih etmesinde belirleyici faktörlerden biridir. Beş yıldızlı lüks oteller, butik oteller, tatil köyleri ve her şey dahil konseptindeki tesisler, mevcut hizmet modeli, ekonomiden lüks segmente kadar uzanan çok katmanlı bir yapıda olup, estetik ve beklenti farklılığı gösteren tüm tüketici profillerine cevap verebilecek niteliktedir.

Antalya'nın otelleri, yalnızca konaklama sağlamakla kalmayıp, sundukları üst düzey hizmetler ve imkanlar sayesinde tatil deneyimini zenginleştirmektedir. Spa merkezleri, su parkları, golf sahaları, açık hava aktiviteleri, gurme restoranlar ve çocuklara yönelik eğlence alanları gibi olanaklar, otelleri cazip kılan unsurlar arasındadır. Ayrıca otellerin çoğu, sahil kenarında yer alarak ziyaretçilere denize sıfır konumda keyifli bir tatil imkânı sunmaktadır.

Antalya'daki otellerin bir diğer önemli özelliği de uluslararası standartlarda hizmet vermeleridir. Yüksek müşteri memnuniyeti ve kaliteyi hedefleyen bu oteller, özellikle Avrupa, Rusya ve Orta Doğu'dan gelen turistlerin tercih ettiği mekanlar arasında bulunmaktadır. Konaklama sektöründeki bu yüksek standartlar, Antalya'nın dünya genelinde tanınan bir tatil bölgesi olmasına katkı sağlamaktadır.

Sonuç olarak, Antalya'nın otelleri sadece tatil yapmak isteyen turistler için değil, aynı zamanda Türkiye'nin turizm gelirleri ve ekonomik büyümesi açısından da büyük bir öneme sahiptir. Bu oteller, Antalya'nın her yıl milyonlarca turisti ağırlamasını ve turizmdeki lider konumunu sürdürmesini sağlayan en önemli unsurlardan biridir. (TÜİK 2024). Antalya otellerinden bir örnek Şekil 3.1 de gösterilmiştir ve numune alınan otellere örnek yüzme havuzu görselleri Şekil 3.2 Şekil 3.3 Şekil 3.4 de belirtilmiştir.



Şekil 3.1 Antalya Otellerinden Bir Örnek



Şekil 3.2 Numune Alınan Aqua Havuz



Şekil 3.3 Numune Alınan Çocuk Havuzu



Şekil 3.4 Numune Alınan Relax Havuz

3.2 Mikrobiyolojik ve Fiziko-Kimyasal Analizler İçin Numune Alımı

1. Numune Alma Süreci ve Önemi

Laboratuvar analizlerinin güvenilirliğini doğrudan etkileyen ilk adım, numunenin çevresel koşullara uygun ve bilimsel yöntemlerle alınmasıdır. Bu kapsamda, çalışmamda numune alma süreci, ulusal ve uluslararası standartlara (TS ISO 5667-3, WHO, 2022) uygun biçimde planlanmış ve uygulanmıştır.

Numune alma işlemi, yetişkin ve çocuk yüzme havuzlarında gerçekleştirilmiştir. Numune alınacak noktalar belirlenirken; alanın fiziksel yapısı, kullanıcı yoğunluğu, su akışı ve olası kirlilik kaynakları göz önünde bulundurulmuştur. Temsiliyeti en yüksek olan nokta olarak, en yoğun kullanılan havuzlar seçilmiştir. Numune alma işleminde, bel hizasına kadar suya girilerek ya da aparat ile steril numune şişesi kapalı halde suyun yaklaşık 50 cm altına daldırılmış, burada şişe kapağı açılarak havuz suyu doldurulmuş, ardından kapak suyun altında kapatılarak yüzeye çıkarılmıştır. Bu yöntem, dış ortam kontaminasyonunu önlemeye yönelik olarak özellikle tercih edilmiştir.

2. Numune Hacmi ve Şartları

Mikrobiyolojik analizler için her örnekleme noktasından 500 mL'lik steril şişelere, fizikokimyasal analizler için ise yerinde ölçüm ya da 350 mL hacminde cam şişelere numune alınmıştır. Numuneler alındıktan hemen sonra etiketlenmiş, numune alım formu eksiksiz şekilde doldurulmuştur. Formda; numune tarihi, saati, alanın fiziksel tanımı, hava durumu ve havuz suyunun sıcaklığı, suyun berraklık düzeyi, yüzücülerden kaynaklı potansiyel etkiler gibi bilgiler detaylı şekilde not edilmiştir.

3. Numune Taşıma ve Saklama Koşulları

Alınan numuneler, analizlerin doğruluğunu korumak adına $5 \pm 3^{\circ}\text{C}$ sıcaklık aralığını sağlayan taşınabilir izotermik kutularda muhafaza edilerek taşınmıştır. Numuneler en geç 4 saat içerisinde laboratuvara ulaştırılmış ve teslim alınmadan önce fiziksel bütünlükleri, etiketlemeleri ve sıcaklık kriterleri kontrol edilmiştir. Tüm numuneler, laboratuvara ulaştıktan sonra bekletilmeden analiz sürecine alınmıştır.

4. Analitik Cihazlar ve Hassasiyet Değerleri

Mikrobiyolojik analizler için ISO 9308-1 standardına uygun şekilde membran filtrasyon yöntemi kullanılmıştır. Kullanılan cihaz Sartorius Microsart® e.motion membran filtrasyon cihazı olup, ± 0.1 koloni/100 mL hassasiyetle çalışmaktadır. *E.coli*, *P.aeruginosa*, *S.aureus*, *İ.Enterekok* ve *Salmonella spp* düzeyleri bu yöntemle analiz edilmiştir.

Fiziko-kimyasal parametreler için yerinde ölçüm cihazı olarak Pool Lab 1.0 çok parametrelili Havuz suyu analiz cihazı tercih edilmiştir. Cihaz; su sıcaklığı, çözünmüş oksijen, pH ve iletkenlik gibi temel parametreleri ± 0.01 ölçüm hassasiyeti ile tespit

etmiştir. Gözlemlenen diğer nitelikler (bulanıklık, köpük oluşumu, koku vb.) sahada görsel kontrol yöntemi ile değerlendirilmiştir.

5. Numune Alma ve Analiz Süreci

Bu çalışmada, yüzme havuzlarından mikrobiyolojik ve fiziko-kimyasal analizler için su numuneleri toplanmıştır. Numune alımı, havuz kullanıcılarının yoğun olarak bulunduğu alanlardan gerçekleştirilmiş ve örnekleme sırasında sterilité koşullarına azami dikkat gösterilmiştir. Numuneler, steril cam şişeler ve biyofilm yüzeyinden de numune alma çubukları kullanılarak alınmış, olası çevresel kontaminasyonların önlenmesi amacıyla doğrudan suyun 30 cm altına daldırılarak toplanmıştır. Her bir örnek için 500 mL su hacmi tercih edilmiştir.

Sahada gerçekleştirilen ön analizlerde, su sıcaklığı, pH, bulanıklık ve serbest klor düzeyi taşınabilir ölçüm cihazlarıyla belirlenmiştir. Cihazlarının kalibrasyonu analiz öncesinde yapılmış olup, cihazlar uluslararası standartlara uygunluk taşımaktadır.

Toplanan numuneler, bozulmaların önüne geçmek ve mikrobiyolojik bütünlüğü korumak amacıyla 4°C $\pm$ 1°C sıcaklıkta sabitlenmiş izotermik taşıma kutularında muhafaza edilmiştir. Laboratuvara ulaştırma süresi yaklaşık 4 saat sürmüş olup, bu süre zarfında taşıma sıcaklığı termometre ile izlenmiştir. Numuneler, teslim alındıktan sonra analiz öncesinde laboratuvarın numune kabul prosedürlerine göre değerlendirilmiş ve uygunluk onayı alan örnekler çalışmaya dâhil edilmiştir.

Belirtilen ilgili uygulamalara uygun şekilde laboratuvarında gerçekleştirilen analizler kapsamında; *E.coli* varlığı TS EN ISO 9308-1 standardına göre belirlenmiştir. Bunun yanı sıra, daha geniş spektrumlu patojen analizi yapılmış ve aşağıda listelenen mikroorganizmaların varlığı kantitatif olarak değerlendirilmiştir:

- *Salmonella* spp
- *S.aureus*
- *P.aeruginosa*
- *E.coli*
- *İ. Enterekok*

Yüzme havuzlarına ilişkin yönetmelikte önerilen bakteriler ve tez kapsamında membran filtrasyon yöntemiyle analiz edilen bakterilerin besiyer, gelişme sıcaklığı, inkübasyon süresi ve analiz yöntemleri Çizelge 3.1’de aşağıda verilmiştir

Çizelge 3.1 Mikroorganizma Tayinlerinde Kullanılan Yöntemler

Parametre	Besiyeri	İnkübasyon süresi (sa)	Sıcaklık (°C)	Yöntem
<i>E. coli</i>	Endo Agar	18-24	37±1	Membran Filtrasyonu
<i>İ. Enterekok</i>	Slanetz Bartley Agar	44±4	36±2	Membran Filtrasyonu
<i>P. aeruginosa</i>	Cetrimide Agar	44±4	37±1	Membran Filtrasyonu
<i>S. aureus</i>	Baird-Parker Agar base	44±4	36±2	Membran Filtrasyonu
<i>Salmonella spp</i>	Selenite cystine broth	18-24	35±2	Membran Filtrasyonu

Havuz suyu numunelerinde, indikatör bakteriler *E.coli*, *İ.Enterekok*, *P.aeruginosa*, *S. aureus*, *Salmonella spp.* membran filtrasyon yöntemi ile tayin edildi. *E.coli* için seçici besiyeri olarak mEndo Agarda 36+2 °C’ de 44+4 saat, *İ.Enterekok*, için seçici besiyeri olarak Slanetz Bartley Agarda 37+1°C’ de 18-24 saat, *P.aeruginosa* için seçici besiyeri olarak Cetrimide Agarda 37+1 °C’ de 44+4 saat, *S.aureus* için seçici besiyeri olarak Baird-Parker Agarda 36+2 °C’ de 44+4 saat, *Salmonella spp.* için seçici besiyeri olarak Selenite Cystine Borothe 35±2°C’de 18-24 saat inkübasyona bırakıldı. İnkübasyon sonunda koloni sayımları yapıldı. Mikrobiyolojik parametreler için standart metotlar kullanıldı. İnkübasyon sonunda oluşan koloniler sayıldı ve kaydedildi.

Bu mikroorganizmalar, yüzme havuzlarında insan sağlığı açısından önem taşıyan potansiyel patojenler arasında yer almakta olup, su kaynaklı bulaş riski yüksek olan türlerdir. *S. aureus*, *İ. Enterekok*, ve *Salmonella spp*’nın ülkemiz yüzme havuzlarında ilk kez analizleri yapılmıştır. Aynı zamanda, pH ve serbest klor değerleri laboratuvar ortamında yeniden ölçülerek sahadaki verilerin doğruluğu kontrol edilmiştir.

3.3 QMRA (Kantitatif Mikrobiyolojik Risk Değerlendirmesi) Yöntemi ve Hesaplamalar

a) Maruziyet Değerlendirmesi

Mikrobiyolojik risk analizinin temel hedefi, bireylerin bir patojene maruz kalma düzeyini belirlemek ve bu maruziyetin sağlık açısından olası etkilerini kantitatif olarak tahmin etmektir. Bu süreçte, maruziyet dozu ile doz-yanıt ilişkisi modellenerek enfeksiyon riski hesaplandı. Hesaplamaların sağlıklı ve anlamlı sonuçlar verebilmesi için kullanılan doz birimlerinin, seçilen modelle uyumlu olması gereklidir. Bu bağlamda, maruz kalınan patojen miktarı (C) ile bireyin temas ettiği ortalama maruz kalım hacmi (q) çarpılarak maruziyet dozu hesaplandı. Söz konusu hesaplama, aşağıda verilen denklemle ifade edilir:

$$\text{Maruziyet Dozu} = C \times q \quad (3.1)$$

Bu formülde;

C: Maruziyet ortamında bulunan patojen konsantrasyonu

q: Maruz kalınan madde miktarı

C ve q değerleri, maruziyetin gerçekleştiği çevresel koşullara göre (örneğin yüzme sırasında su yutulması gibi) belirlenmiştir. Bu çalışmada, yüzme havuzlarından alınan numuneler üzerinden patojen yoğunlukları belirlenmiş ve bireyin su yutma miktarına dayalı olarak q değeri literatür verilerine uygun şekilde varsayılmıştır.

b) Doz-Tepki (Doz-Yanıt) Değerlendirmesi

Mikroorganizmalarla enfeksiyon gelişimi, genellikle belirli bir dozun alınmasıyla başlamaktadır. Ancak patojenlerin doğasındaki düzensizlik ve bireyler arası fizyolojik farklılıklar nedeniyle düşük dozlarda bile enfeksiyon olasılığı göz ardı edilemez. Bu nedenle, QMRA modellemesinde olasılıksal modeller kullanılarak enfeksiyon riski tahmin edilmektedir. Bu çalışmada, geniş ölçüde kabul gören ve özellikle düşük dozlara duyarlılığı ile bilinen QMRA modeli esas alınmıştır. Model, patojenin bulaşıcı etkisi ile bireysel duyarlılık arasındaki ilişkiyi açıklamada etkilidir.

Ancak örnek hesaplama aşamasında, referans verilerin sağladığı tutarlılık nedeniyle exponential model tercih edilmiştir. Bu model, aşağıdaki matematiksel ifadeyle tanımlanır:

$$P_{inf} = 1 - \exp(-k \times dose) \quad (3.2)$$

Bu formülde;

P_{inf}: Enfeksiyon olasılığı

k: Patojen maruziyeti ile enfeksiyon olasılığı arasındaki ilişkiyi ifade eden sabit değer

dose: Maruziyet dozu (konsantrasyon[koloni /100 mL]) × (yutulan hacim [mL]/100 mL)

Hesaplanan enfeksiyon olasılığı, bireylerin yüzme havuzu suyu yoluyla patojene maruz kalmaları sonucunda oluşabilecek sağlık riskinin büyüklüğünü göstermektedir. Çıkan sonuç değeri 1'e yaklaştıkça riskin yüksekliği de artmaktadır. Bu amaçla hesaplanan enfeksiyon riski USEPA sağlık riski sınır değeri $1,9 \times 10^{-2}$ ile karşılaştırılmıştır.

c) QMRA Metodolojisi – Örnek Hesaplama

Bu örnekte yüzme havuzundan alınan bir su numunesindeki hesaplamalara göre;

- $k_{E.coli} = 9.7 \times 10^{-9}$
- $k_{P.aeruginosa} = 1.87 \times 10^{-8}$
- $k_{S.aureus} = 8.05 \times 10^{-8}$
- (Yetişkin su yutma varsayımı: **50 mL**, çocuk: **25 mL**; ayrıca tezde örnek olarak 20 mL kullanımına da yer verilmiştir)

Örnek 1

P.aeruginosa — konsantrasyon 15 CFU/100 mL, yetişkin olarak 20 mL yutma

1. Doz: $dose = 15 \times (20/100) = 3.0$ koloni

2. $k = 1.87 \times 10^{-8}$

3. $P_{inf} = 1 - e^{-1.87 \times 10^{-8} \times 3.0}$

- **Hesap sonucu:** $P_{inf} \approx 5.61 \times 10^{-8}$ ($\approx 5.61e-8$, yani **0.0000000056** = 5.6×10^{-8})
- **Yorum:** Tek yüzme için enfeksiyon olasılığı pratikte ihmal edilebilecek kadar küçüktür.

3.4 Yüzme Havuzlarında Mikrobiyal Kirlenme

Yüzme havuzlarında mikrobiyal kirlenme, suyun hijyenik kalitesini doğrudan etkileyen önemli bir faktördür. Havuz sularında bulunan bakteriler, virüsler, mantarlar ve parazitler genellikle yetersiz dezenfeksiyon, havuz kullanıcılarının kişisel hijyen eksikliği veya çevresel kontaminasyon kaynakları nedeniyle suya karışabilir. Özellikle *E.coli*, *P.aeruginosa*, *Legionella*, *Cryptosporidium*, *S.aureus*, *I.Enterekok* gibi patojenler, solunum yolu enfeksiyonları, deri enfeksiyonları ve mide-bağırsak hastalıklarına yol açabilir. Havuz suyunun düzenli olarak klor veya diğer dezenfektanlarla temizlenmesi, suyun pH dengesinin korunması ve filtrasyon sistemlerinin etkin çalıştırılması, mikrobiyal kirliliğin önlenmesi için kritik öneme sahiptir. Ayrıca, havuz kullanıcılarının duş alarak ve hijyen kurallarına dikkat ederek suya girmesi, kontaminasyon riskini azaltmada önemli bir rol oynar.

4. BULGULAR

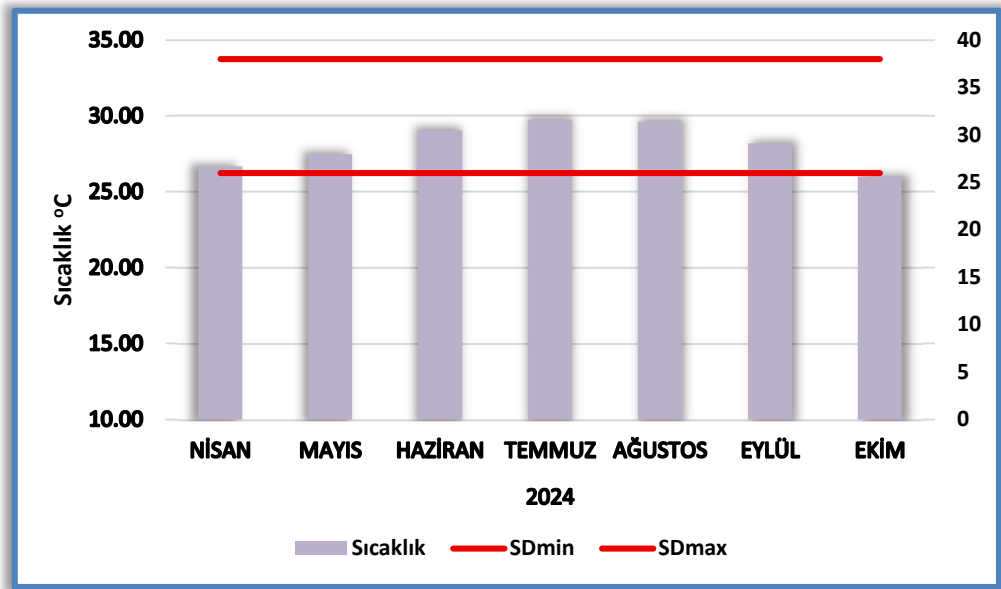
4.1 Ölçülen Fiziko-kimyasal Parametrelerin Sonuçları

Sıcaklık sonuçları:

Seçilen tesislerin açık yüzme havuzlarında sıcaklık ölçümleri turizm sezonu boyunca, Nisan-Ekim (2024) ayları arasında yapılmış ve ortalama sonuçları aşağıdaki Çizelge 4.1 ve Şekil 4.1’de belirtilmiştir. Yıllık ortalama sıcaklık 28,1 °C, yaz aylarını kapsayan haziran, Temmuz ve Ağustos ayları ortalaması ise 29,5 °C hesaplanmıştır. Öğle saatlerinde havuz suyu sıcaklığı özellikle daha az derin olan çocuk havuzlarında 30°C’nin üzerinde ölçülmüştür.

Çizelge 4.1 Yüzme Havuzlarında Hesaplanan Ortalama Sıcaklık Değerleri

	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM
Sıcaklık	26,67	27,47	29,07	29,73	29,60	28,20	26,00



Şekil 4.1 Turizm sezonu süresince otellerin açık havuzlarında ortalama sıcaklık değişimleri

pH sonuçları:

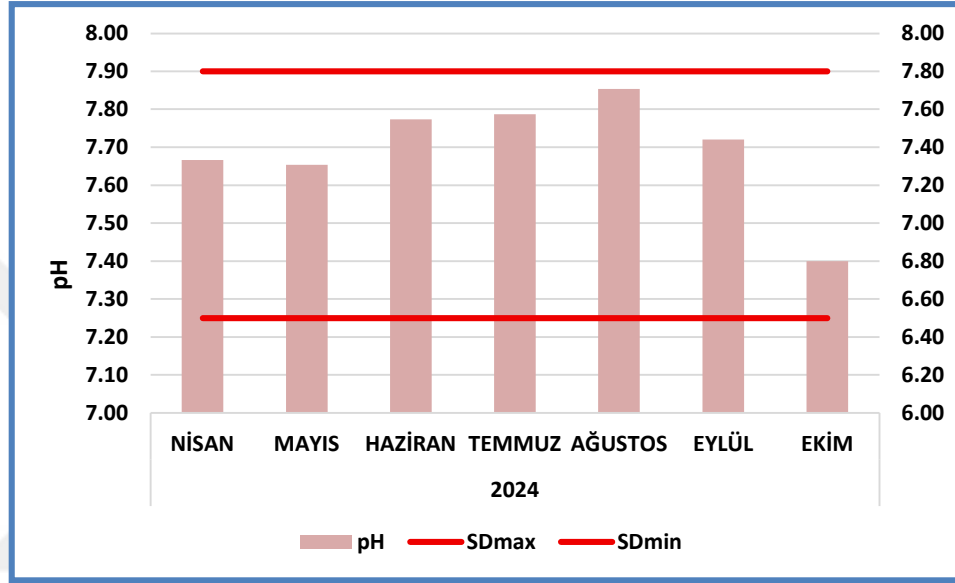
Tez çalışması süresince belirlenen oteller ve havuzlarından alınan havuz suyunda hesaplanan ortalama pH değerleri Çizelge 4.2 ve Şekil 4.2’de belirtilmiştir.

Turizm sezonu süresince Nisan-Ekim (2024) ayları arasında yetişkin ve çocuk havuzlarında ölçülen pH değerlerinin yıllık ortalaması 7,7 olarak hesaplanmış, en yüksek 8,2 ve en düşük 7,2 ölçülmüştür. Havuzlarda Haziran, Temmuz ve Ağustos ayları ortalaması 7,8 hesaplandı. Tesisler açısından değerlendirildiğinde yönetmelikte belirtilen

6,5-7,8 sınır değerlerini haziran ve temmuz aylarında %20, ağustos ayında %40 ve eylül ayında %13 oranında aştığı belirlenmiştir. Bu sınır aşımaları en fazla tesis 5’te meydana gelmiştir.

Çizelge 4.2 Yüzme Havuzlarında Hesaplanan Ortalama pH Değerleri

	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM
pH	7,67	7,65	7,77	7,79	7,85	7,72	7,40



Şekil 4.2 Turizm sezonu süresince otellerin açık havuzlarında ortalama pH değişimleri

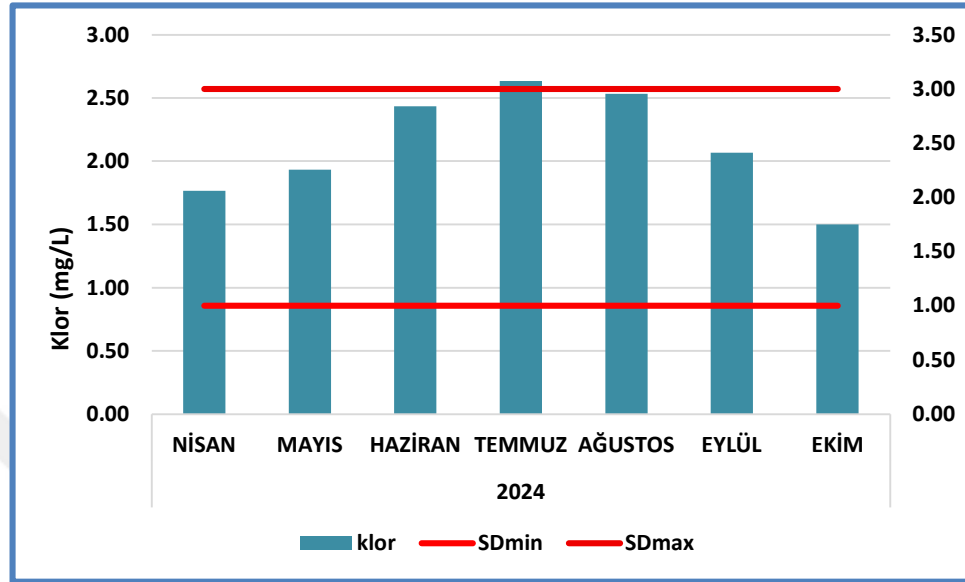
Serbest Klor sonuçları:

Seçilen otellerin çocuk ve yetişkin havuzlarında ölçülen serbest klorun ortalama Çizelge 4.3 ve Şekil 4.3’te verilmiştir.

Turizm sezonu süresince Nisan-Ekim (2024) ayları arasında yetişkin ve çocuk havuzlarında ölçülen klor değerlerinin yıllık ortalaması 2,1 olarak hesaplanmış, en yüksek 3,5 ve en düşük 1,0 ölçülmüştür. Tesislerin havuzlarında dezenfeksiyon için yönetmelikte belirtilen serbest klor ve klorlu bileşikler kullanılan havuzlarda sınır değer 1,0-3,0 mg/l olarak verilmiştir. Havuzlarda Haziran, Temmuz ve Ağustos ayları ortalaması 2,5 hesaplandı. Tesisler açısından değerlendirildiğinde yönetmelikte belirtilen 1,0-3,0 mg/l sınır değerlerini Temmuz ayında Tesis 1 ve Tesis 5’te aşarak 3,5 mg/l değerine ulaşmıştır. Ağustos ayında ise sadece tesis 2’de sınır değeri aşmış ancak tüm serbest klor ölçülen havuzların büyük çoğunluğunda 2,5-3,0 mg/L en üst sınır değerlerde ölçülmüştür.

Çizelge 4.3 Yüzme Havuzlarında Hesaplanan Ortalama Serbest Klor Değerleri

	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM
Klor	1,77	1,93	2,43	2,63	2,53	2,07	1,50

**Şekil 4.3** Turizm sezonu süresince otellerin açık havuzlarında ortalama pH değişimleri

4.2 Fizikokimyasal Parametrelerin Mevsimsel Değişimi ve Mikrobiyolojik Risklerle İlişkisi

Tez kapsamında yapılan fizikokimyasal analizler, Antalya'daki otel yüzme havuzlarında Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında ölçülen pH, serbest klor ve sıcaklık değerlerinin, yılın diğer aylarına kıyasla daha yüksek seviyelerde seyrettiğini göstermiştir. Örneğin, Şekil 4.1'de yer alan sıcaklık ölçüm verilerine göre Haziran ayında ortalama su sıcaklığı 29.07°C, Temmuz'da 29.73°C ve Ağustos'ta 29,07°C olarak ölçülmüş; bu değerlerin Nisan ve Mayıs aylarında ise 26°C civarında seyrettiği gözlenmiştir. Sınır değerler 26-30°C de olduğundan sınır değeri geçmemiştir. Bu artış, bölgenin iklimsel özellikleri ile doğrudan ilişkilidir. Akdeniz ikliminin etkili olduğu Antalya'da yaz aylarında güneş ısınımının yoğun olması, havuz suyunun doğal olarak ısınmasına yol açmakta ve bu durum, fiziksel parametrelerde dalgalanmalara neden olmaktadır.

Benzer şekilde, serbest klor düzeylerinin de yaz aylarında yükseldiği görülmektedir. Şekil 4.3'e göre Temmuz ve Ağustos aylarında serbest klor değerleri ortalama 2,0–3,0 ppm seviyelerinde seyretmiştir. Bu düzey, Nisan ve Mayıs aylarında ortalama 1,0–2,0 ppm olarak ölçülen değerlerden anlamlı düzeyde yüksektir. Klorun bu şekilde yüksek tutulmasının temel nedenlerinden biri, sıcaklık artışına bağlı olarak klorun çözünürlüğünün ve uçuculuğunun artmasıdır. Özellikle öğle saatlerinde artan sıcaklık ve UV ışınları klorun ortamdaki hızla uzaklaşmasına neden olmakta; bu da işletmelerin klor dozajlarını arttırmasına yol açmaktadır. Ayrıca kullanıcı yoğunluğunun da aynı dönemde artış göstermesi, klor tüketimini daha da hızlandırmakta ve bu nedenle havuz

işletmecileri, klor düzeyini ortalama 3,0 ppm civarında sabit tutmaya çalışmaktadır. Bu değer, klorun mikrobiyolojik etki potansiyelini korumak için gerekli olmakla birlikte, aşırıya kaçılması durumunda kullanıcılar açısından göz, cilt ve solunum tahrişlerine neden olabileceğinden dikkatle izlenmelidir.

pH değerlerine bakıldığında ise Şekil 4.2’de gösterildiği üzere, yaz aylarında pH seviyelerinin genellikle 7,5–7,6 aralığında tutulduğu, bu oranın diğer aylarda 7,2–7,4 civarında seyrettiği tespit edilmiştir. pH parametresi, klorun etkinliğiyle doğrudan bağlantılı olduğundan, serbest klor düzeyindeki artışlar genellikle pH’ta da paralel bir yükselmeye neden olmaktadır. Yüksek pH düzeyleri, klorun etkisini azaltabileceğinden dolayı bu değerlerin 7,4–7,6 aralığında tutulması hem dezenfeksiyon etkinliği hem de kullanıcı konforu açısından önemlidir.

Bu fiziksel parametrelerdeki artışlar yalnızca kimyasal denge açısından değil, aynı zamanda mikrobiyolojik güvenlik açısından da kritik bir öneme sahiptir. Sıcaklık, pH ve klor gibi unsurlar, havuz suyunda potansiyel olarak bulunabilecek patojen mikroorganizmaların çoğalma hızını ve hayatta kalma süresini doğrudan etkilemektedir. Özellikle *P.aeruginosa* gibi klora nispeten toleranslı ve yüksek sıcaklık koşullarında çoğalma eğilimi gösteren fırsatçı bakteriler, bu dönemde enfeksiyon riski açısından daha büyük tehdit oluşturmaktadır. Bu riskin dermal emilimle de ilişkili olabileceği, özellikle Roser vd (2014) horizontal transfer ve cilt geçirgenliği üzerine yaptığı çalışmalarda vurgulanmaktadır. Söz konusu çalışmada, termal etki altındaki su ortamlarında *P.aeruginosa*’nın cilt yoluyla konakçıya geçişinin m²/s cinsinden modellemeyle hesaplanabildiği ve bu bakterinin sadece yutma değil, temas yoluyla da enfeksiyon riski taşıdığı gösterilmiştir.

Ayrıca *E.coli* ve *I.Enterococcus* gibi dışkı kaynaklı patojen yaz aylarında kullanıcı sayısının artmasıyla birlikte havuzlara daha sık taşınmakta; bu durum fekal kontaminasyonun izlenmesinde önemli bir gösterge oluşturmaktadır. Hesaplanan değerler enfeksiyon riskinin düşük olduğunu gösterse de, özellikle dışkı kökenli bulaşın hâlâ kontrol altına alınması gereken bir parametre olduğunu vurgulamaktadır.

Sonuç olarak, sıcak iklim özellikleri taşıyan bölgelerde faaliyet gösteren havuzların yaz aylarında daha dikkatli yönetilmesi gerekmektedir. Fiziksel parametrelerdeki değişimlerin yalnızca teknik izleme konusu değil, aynı zamanda mikrobiyolojik güvenlik açısından da doğrudan etkili olduğu göz önüne alındığında; serbest klor, pH ve sıcaklık gibi unsurların sürekli, dinamik ve entegre bir izleme sistemiyle değerlendirilmesi önerilmektedir.

4.3 Hesaplanan Mikrobiyolojik Parametrelerin Sonuçları ve Değerlendirmesi

QMRA hesaplamaları için “Konyaaltı Plajı Deniz Suyu ve Plaj Kumunda Kantitatif Mikrobiyal Risk Değerlendirmesi (QMRA)” başlıklı yüksek lisans tez çalışmasında kullanılan “k sabiti” değerleri referans alınmıştır.

Çizelge 4.5 Mikroorganizmalar özelinde kabul edilen k sabitleri (Şimşek, 2024)

Mikroorganizma	k sabiti
<i>İ. Enterrecoccus</i>	2.19×10^{-11} (a)
<i>E.coli</i>	9.7×10^{-9} # (a)
<i>P. aeruginosa</i>	1.87×10^{-8} # (a)
<i>S. aureus</i>	8.05×10^{-8} (b)

(a) (Denissen 2023), (b) (Esfahanian 2019)

Yetişkin bireylerin yüzme etkinliği sırasında günlük su yutma miktarı 50 ml, çocukların ise 25 ml olarak kabul edilmiştir (Schets, 2011).

USEPA 2010’a göre hastalık riski için Sınır değer 1.9×10^{-2} olarak önerilmiştir.

Yukarıdaki tabloda hiçbir değer bu değerden yüksek olmadığı için ciddi anlamda ağız yoluyla yutulan sudan hastalık riski olmadığı tespit edilmiştir.

4.3.1 *İ. Enterococcus* ve *Salmonella* spp İçin Risk ve Doz-Yanıt Değerlendirmesi

İçme kullanma suyu ya da İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik’de (RG-20/10/2016-29863), bakteri bulunmaması gerekmektedir. Sağlık bakanlığı tarafından hazırlanan “Yüzme Havuzlarının Tabi Olacağı Sağlık Esasları Hakkında Yönetmelik (RG, 2011)” de *İ. Enterococcus* ve *Salmonella* spp türlerinin mikrobiyolojik izleme parametresi ve sınır değeri bulunmamaktadır. Tez çalışmasında fekal orjinli bakterilerin incelenmesi dikkate alınarak söz konusu bakterinin analizleri yapılmış fakat numunelerde izole edilememiştir. Ulusal yüzme suyu yönetmeliğinde de (2011), *İ. Enterococcus* mikrobiyolojik izleme parametresi ve sınır değeri bulunmamaktadır.

Çizelge 4.6 Yetişkinlerde 50 ml yutulan suda *İ. Enterococcus*'un doz yanıt sonuç tablosu

		T1			T2			T3			T4			T5		
		25 ML			25 ML			25 ML			25 ML			25 ML		
		H1	HÇ	HÇA	H1	HÇ	HÇA	H1	HÇ	HÇA	H1	HÇ	HÇA	H1	HÇ	HÇA
E N T	N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	H	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	T	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

50 ml yutulan hacim, ** ENT: *İ. Enterococcus*

T1: Tesis 1 T2: Tesis 2 T3: Tesis 3 T4: Tesis 5 T5: Tesis 5 H1: Genel havuz HÇ: Çocuk Havuz HÇA: Çocuk Aqua Havuz

N: Nisan M: Mayıs H: Haziran T: Temmuz Ağustos E: Eylül

Çizelge 4.7 Çocuklarda 25 ml yutulan suda *İ. Enterococcus*'un doz yanıt sonuç tablosu

		T1			T2			T3			T4			T5		
		50 ML			50 ML			50 ML			50 ML			50 ML		
		H1	HÇ	HÇA	H1	HÇ	HÇA	H1	HÇ	HÇA	H1	HÇ	HÇA	H1	HÇ	HÇA
E N T	N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	H	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	T	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

25 ml yutulan hacim, ** ENT: *İ. Enterococcus*

T1: Tesis 1 T2: Tesis 2 T3: Tesis 3 T4: Tesis 5 T5: Tesis 5 H1: Genel havuz HÇ: Çocuk Havuz HÇA: Çocuk Aqua Havuz

N: Nisan M: Mayıs H: Haziran T: Temmuz Ağustos E: Eylül

Çizelge 4.8 Çocuklarda 25 ml yutulan suda *E.coli*'nin doz yanıt sonuç tablosu

		T1			T2			T3			T4			T5		
		25 ML			25 ML			25 ML			25 ML			25 ML		
		H1	HÇ	HÇA	H1	HÇ	HÇA	H1	HÇ	HÇA	H1	HÇ	HÇA	H1	HÇ	HÇA
E. C O L İ	N	4.85E-09	4.85E-09	4.85E-09	4.85E-09	4.85E-09	4.85E-09	4.85E-09	4.85E-09	4.85E-09	4.85E-09	4.85E-09	4.85E-09	9.70E-05	7.27E-06	4.85E-06
	M	4.85E-09	3.39E-07	4.85E-09	4.85E-09	1.45E-07	4.85E-09	4.85E-09	4.85E-09	4.85E-09	4.85E-09	4.85E-09	4.85E-09	4.85E-09	4.85E-09	4.85E-09
	H	9.70E-06	7.27E-06	1.41E-05	4.85E-09	1.02E-05	1.41E-05	4.85E-09	4.85E-09	4.85E-09	4.85E-09	4.85E-09	4.85E-09	4.85E-09	7.27E-06	8.24E-06
	T	9.70E-06	6.30E-06	3.18E-05	4.85E-09	4.85E-09	4.85E-09	4.85E-09	4.85E-09	4.85E-09	4.85E-09	4.85E-09	4.85E-09	4.85E-09	9.70E-06	7.27E-06
	A	4.85E-09	4.85E-09	4.85E-09	4.85E-09	4.85E-09	4.85E-09	4.85E-09	4.85E-09	8.49E-06	4.85E-09	4.85E-09	4.85E-09	4.85E-09	4.85E-09	4.85E-09
	E	4.85E-09	4.85E-09	4.85E-09	4.85E-09	2.13E-07	3.01E-07	4.85E-09	4.85E-09	4.85E-09	2.57E-07	2.42E-07	4.27E-07	4.85E-09	4.85E-09	4.85E-09

25 ml yutulan hacim, ** *E.coli*: *Escherichia coli*

T1: Tesis 1 T2: Tesis 2 T3: Tesis 3 T4: Tesis 5 T5: Tesis 5 H1: Genel havuz HÇ: Çocuk Havuz HÇA: Çocuk Aqua Havuz

N: Nisan M: Mayıs H: Haziran T: Temmuz Ağustos E: Eylül

Çizelge 4.9 Yetişkinlerde 50 ml yutulan suda *E.coli*'nin doz yanıt sonuç tablosu

		T1			T2			T3			T4			T5		
		50 ML			50 ML			50 ML			50 ML			50 ML		
		H1	HÇ	HÇA	H1	HÇ	HÇA	H1	HÇ	HÇA	H1	HÇ	HÇA	H1	HÇ	HÇA
E. C O L İ	N	9.70E-09	9.70E-09	9.70E-09	9.70E-09	9.70E-09	9.70E-09	9.70E-09	9.70E-09	9.70E-09	9.70E-09	9.70E-09	9.70E-09	1.94E-05	1.45E-05	9.70E-06
	M	9.70E-09	6.79E-07	9.70E-09	9.70E-09	2.91E-07	9.70E-09	9.70E-09	9.70E-09	9.70E-09	9.70E-09	9.70E-09	9.70E-09	9.70E-09	9.70E-09	9.70E-09
	H	1.94E-05	1.45E-05	2.81E-05	1.94E-05	2.04E-05	2.81E-05	9.70E-09	9.70E-09	9.70E-09	9.70E-09	9.70E-09	9.70E-09	9.70E-06	1.45E-05	1.65E-05
	T	1.94E-05	1.26E-05	6.35E-05	9.70E-09	9.70E-09	9.70E-09	9.70E-09	9.70E-09	9.70E-09	9.70E-09	9.70E-09	9.70E-09	9.70E-06	1.94E-05	1.45E-05
	A	9.70E-09	9.70E-09	9.70E-09	9.70E-09	9.70E-09	9.70E-09	9.70E-09	9.70E-09	1.70E-05	9.70E-09	1.94E-05	9.70E-09	9.70E-09	9.70E-09	9.70E-09
	E	9.70E-09	9.70E-09	9.70E-09	9.70E-09	4.27E-07	6.01E-07	9.70E-09	9.70E-09	9.70E-09	5.14E-07	4.85E-07	8.54E-07	9.70E-09	9.70E-09	9.70E-09

50 ml yutulan hacim, ** *E.coli*: *Escherichia coli*

T1: Tesis 1 T2: Tesis 2 T3: Tesis 3 T4: Tesis 5 T5: Tesis 5 H1: Genel havuz HÇ: Çocuk Havuz HÇA: Çocuk Aqua Havuz

N: Nisan M: Mayıs H: Haziran T: Temmuz Ağustos E: Eylül

Çizelge 4.10 Çocuklarda 25 ml yutulan suda *P.aeruginosa*'nın doz yanıt sonuç tablosu

		T1			T2			T3			T4			T5		
		25 ML			25 ML			25 ML			25 ML			25 ML		
		H1	HÇ	HÇA	H1	HÇ	HÇA	H1	HÇ	HÇA	H1	HÇ	HÇA	H1	HÇ	HÇA
P S E U	N	9.35E-09	9.35E-09	9.35E-09	9.35E-09	9.35E-09	9.35E-09	9.35E-09	9.35E-09	9.35E-09	9.35E-09	9.35E-09	9.35E-09	2.80E-06	4.67E-07	3.74E-07
	M	9.35E-09	4.67E-07	9.35E-09	9.35E-09	9.35E-09	9.35E-09	9.35E-09	9.35E-09	9.35E-09	9.35E-09	9.35E-09	9.35E-09	9.35E-09	9.35E-09	9.35E-09
	H	4.67E-07	2.80E-07	9.35E-09	9.35E-09	9.35E-09	9.35E-09	9.35E-09	9.35E-09	9.35E-09	9.35E-09	9.35E-09	9.35E-09	7.48E-07	3.74E-07	4.67E-07
	T	5.98E-07	5.24E-07	2.99E-07	9.35E-09	9.35E-09	9.35E-09	9.35E-09	9.35E-09	9.35E-09	9.35E-09	9.35E-09	9.35E-09	5.61E-04	5.14E-04	4.58E-04
	A	3.46E-07	5.80E-07	2.52E-07	9.35E-09	9.35E-09	9.35E-09	9.35E-09	9.35E-09	9.35E-09	6.54E-07	5.14E-07	8.13E-07	9.35E-09	9.35E-09	9.35E-09
	E	9.35E-09	9.35E-09	9.35E-09	9.35E-09	7.01E-07	6.26E-07	9.35E-09	9.35E-09	9.35E-09	6.17E-07	4.21E-07	6.73E-07	9.35E-09	9.35E-09	9.35E-09

25 ml yutulan hacim, ** PSEU: *Pseudomonas aeruginosa*

T1: Tesis 1 T2: Tesis 2 T3: Tesis 3 T4: Tesis 5 T5: Tesis 5 H1: Genel havuz HÇ: Çocuk Havuz HÇA: Çocuk Aqua Havuz

N: Nisan M: Mayıs H: Haziran T: Temmuz Ağustos E: Eylül

Çizelge 4.11 Yetişkinlerde 50 ml yutulan suda *P.aeruginosa*'nın doz yanıt sonuç tablosu

		T1			T2			T3			T4			T5		
		50 ML			50 ML			50 ML			50 ML			50 ML		
		H1	HÇ	HÇA	H1	HÇ	HÇA	H1	HÇ	HÇA	H1	HÇ	HÇA	H1	HÇ	HÇA
P S E U	N	1.87E-08	1.87E-08	1.87E-08	1.87E-08	1.87E-08	1.87E-08	1.87E-08	1.87E-08	1.87E-08	1.87E-08	1.87E-08	1.87E-08	5.61E-06	9.35E-07	7.48E-07
	M	1.87E-08	9.35E-07	1.87E-08	1.87E-08	1.87E-08	1.87E-08	1.87E-08	1.87E-08	1.87E-08	1.87E-08	1.87E-08	1.87E-08	1.87E-08	1.87E-08	1.87E-08
	H	9.35E-07	5.61E-07	1.87E-08	1.87E-08	1.87E-08	1.87E-08	1.87E-08	1.87E-08	1.87E-08	1.87E-08	1.87E-08	1.87E-08	1.50E-06	7.48E-07	9.35E-07
	T	1.20E-06	1.05E-06	5.98E-07	1.87E-08	1.87E-08	1.87E-08	1.87E-08	1.87E-08	1.87E-08	1.87E-08	1.87E-08	1.87E-08	1.12E-03	1.03E-03	9.16E-04
	A	6.92E-07	1.16E-06	5.05E-07	1.87E-08	1.87E-08	1.87E-08	1.87E-08	1.87E-08	1.87E-08	1.31E-06	1.03E-06	1.63E-06	1.87E-08	1.87E-08	1.87E-08
	E	1.87E-08	1.87E-08	1.87E-08	1.87E-08	1.40E-06	1.25E-06	1.87E-08	1.87E-08	1.87E-08	1.23E-06	8.41E-07	1.35E-06	1.87E-08	1.87E-08	1.87E-08

50 ml yutulan hacim, ** PSEU: *Pseudomonas aeruginosa*

T1: Tesis 1 T2: Tesis 2 T3: Tesis 3 T4: Tesis 5 T5: Tesis 5 H1: Genel havuz HÇ: Çocuk Havuz HÇA: Çocuk Aqua Havuz

N: Nisan M: Mayıs H: Haziran T: Temmuz Ağustos E: Eylül

Çizelge 4.12 Çocuklarda 25 ml yutulan suda *S.aureus*'ın doz yanıt sonuç tablosu

		T1			T2			T3			T4			T5		
		25 ML			25 ML			25 ML			25 ML			25 ML		
		H1	HÇ	HÇA	H1	HÇ	HÇA	H1	HÇ	HÇA	H1	HÇ	HÇA	H1	HÇ	HÇA
S T A P H	N	1.21E-06	4.02E-08	4.02E-08	4.02E-08	4.02E-08	4.02E-08	4.02E-08	4.02E-08	4.02E-08	4.02E-08	4.02E-08	4.02E-08	4.02E-08	4.02E-08	4.02E-08
	M	4.02E-08	4.02E-08	4.02E-08	4.02E-08	4.02E-08	4.02E-08	4.02E-08	4.02E-08	4.02E-08	4.02E-08	4.02E-08	4.02E-08	4.02E-08	4.02E-08	4.02E-08
	H	4.02E-08	4.02E-08	4.02E-08	4.02E-08	4.02E-08	4.02E-08	2.21E-06	3.10E-06	3.58E-06	4.02E-08	4.02E-08	4.02E-08	4.02E-08	4.02E-08	4.02E-08
	T	4.02E-08	4.02E-08	4.02E-08	4.02E-08	4.02E-08	4.02E-08	4.02E-08	4.02E-08	4.02E-08	4.02E-08	4.02E-08	4.02E-08	1.81E-03	1.37E-03	1.43E-03
	A	4.02E-08	4.02E-08	4.02E-08	4.02E-08	4.02E-08	4.02E-08	4.02E-08	4.02E-08	4.02E-08	4.02E-08	4.02E-08	4.02E-08	4.02E-08	4.02E-08	4.02E-08
	E	4.02E-08	4.02E-08	4.02E-08	4.02E-08	4.02E-08	4.02E-08	4.02E-08	4.02E-08	4.02E-08	4.02E-08	4.02E-08	4.02E-08	4.02E-08	4.02E-08	4.02E-08

25 ml yutulan hacim, ** STAPH: *S. aureus*,

T1: Tesis 1 T2: Tesis 2 T3: Tesis 3 T4: Tesis 5 T5: Tesis 5 H1: Genel havuz HÇ: Çocuk Havuz HÇA: Çocuk Aqua Havuz

N: Nisan M: Mayıs H: Haziran T: Temmuz Ağustos E: Eylül

Çizelge 4.13 Yetişkinlerde 50 ml yutulan suda *S.aureus*'ın doz yanıt sonuç tablosu

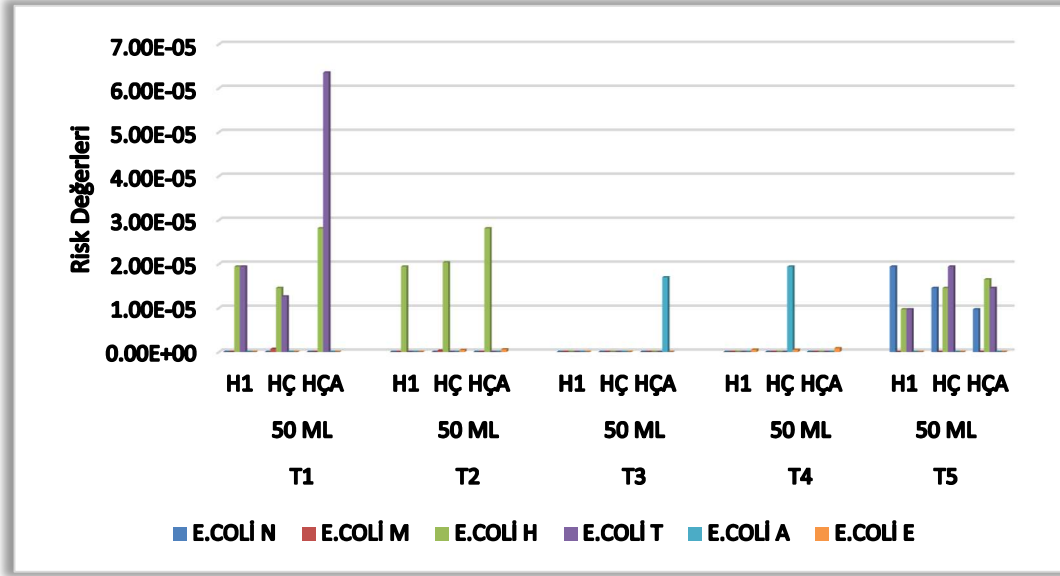
		T1			T2			T3			T4			T5		
		50 ML			50 ML			50 ML			50 ML			50 ML		
		H1	HÇ	HÇA	H1	HÇ	HÇA	H1	HÇ	HÇA	H1	HÇ	HÇA	H1	HÇ	HÇA
S T A P H	N	2.41E-06	8.05E-08	8.05E-08	8.05E-08	8.05E-08	8.05E-08	8.05E-08	8.05E-08	8.05E-08	8.05E-08	8.05E-08	8.05E-08	8.05E-08	8.05E-08	8.05E-08
	M	8.05E-08	8.05E-08	8.05E-08	8.05E-08	8.05E-08	8.05E-08	8.05E-08	8.05E-08	8.05E-08	8.05E-08	8.05E-08	8.05E-08	8.05E-08	8.05E-08	8.05E-08
	H	8.05E-08	8.05E-08	8.05E-08	8.05E-08	8.05E-08	8.05E-08	4.43E-06	6.20E-06	7.16E-06	8.05E-08	8.05E-08	8.05E-08	8.05E-08	8.05E-08	8.05E-08
	T	8.05E-08	8.05E-08	8.05E-08	8.05E-08	8.05E-08	8.05E-08	8.05E-08	8.05E-08	8.05E-08	8.05E-08	8.05E-08	8.05E-08	3.62E-03	2.73E-03	2.87E-03
	A	8.05E-08	8.05E-08	8.05E-08	8.05E-08	8.05E-08	8.05E-08	8.05E-08	8.05E-08	8.05E-08	8.05E-08	8.05E-08	8.05E-08	8.05E-08	8.05E-08	8.05E-08
	E	8.05E-08	8.05E-08	8.05E-08	8.05E-08	8.05E-08	8.05E-08	8.05E-08	8.05E-08	8.05E-08	8.05E-08	8.05E-08	8.05E-08	8.05E-08	8.05E-08	8.05E-08

50 ml yutulan hacim, ** STAPH: *S. aureus*,

T1: Tesis 1 T2: Tesis 2 T3: Tesis 3 T4: Tesis 5 T5: Tesis 5 H1: Genel havuz HÇ: Çocuk Havuz HÇA: Çocuk Aqua Havuz

N: Nisan M: Mayıs H: Haziran T: Temmuz Ağustos E: Eylül

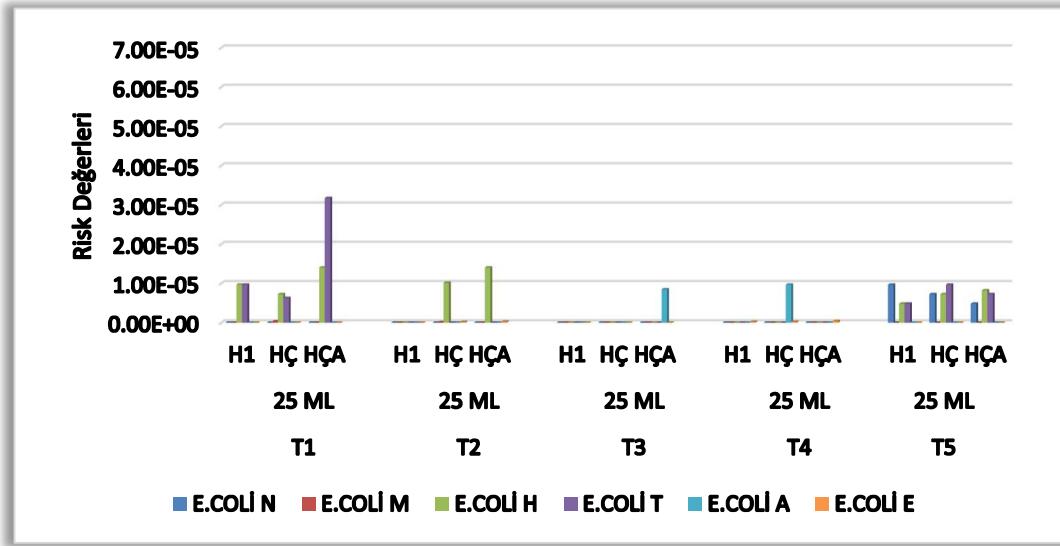
4.3.2 *E.coli*'ye Bağlı Hastalık Risklerinin Turizm Sezonu ve Tesis Bazında Değerlendirilmesi



T1: Tesis 1 T2: Tesis 2 T3: Tesis 3 T4: Tesis 5 T5: Tesis 5 H1: Genel havuz HÇ: Çocuk Havuz HÇA: Çocuk Aqua Havuz
E.coli: *Escherichia coli*

N: Nisan M: Mayıs H: Haziran T: Temmuz A: Ağustos E: Eylül ml: Mililitre

Şekil 4.5 Yüzme havuzlarında yetişkinlerin 50 ml yutulan su miktarına göre *E.coli* doz-yanıt sonuçları



T1: Tesis 1 T2: Tesis 2 T3: Tesis 3 T4: Tesis 5 T5: Tesis 5 H1: Genel havuz HÇ: Çocuk Havuz HÇA: Çocuk Aqua Havuz
E.coli: *Escherichia coli*

N: Nisan M: Mayıs H: Haziran T: Temmuz A: Ağustos E: Eylül ml: Mililitre

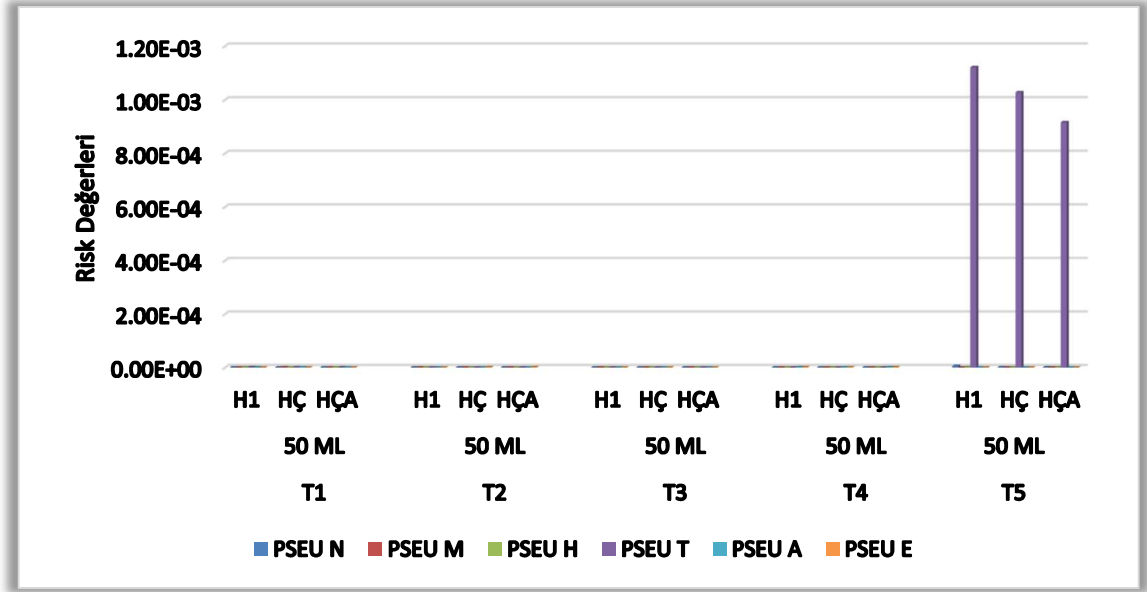
Şekil 4.6 Yüzme havuzlarında çocukların 25 ml yutulan su miktarına göre *E.coli* doz-yanıt sonuçları

Ulusal yüzme havuzu ile ilgili yönetmelikte (2011) *E.coli* mikrobiyolojik olarak izlenmektedir. Ancak, Toplam Koliform sayımları yapılsa da dikkate alınmamış ve sonuçlar paylaşılmamıştır. Toplam koliform için hastalık riski hesabında kullanılan sabit değer bulunmadığından *E. coli* sonuçlarından hastalık riski hesaplanmıştır.

Hesaplamalara göre: 25 mL havuz suyu yutma varsayımına göre çocuklar için en yüksek hastalık riski değeri olan 6.35×10^{-5} , Nisan (2024) ayında Tesis 5'te çocuk havuzu 1500 koloni/100ml ve Çocuk Aqua havuzunda 1000 koloni/100ml tespit edilmiştir. Haziran ayında T1, T2 ve T5'te 500-2900 koloni/100 ml sonuçlara ulaşılmıştır. Bu kapsamda tüm sezon süresince analiz edilen *E.coli* sonuçlarının sayısına göre değerlendirildiğinde (90 numunenin -30 numunesinde sınır değer aşılmış) ulusal yönetmelikte belirtilen sınır değerini %30 oranında aştığı hesaplanmıştır.

50 mL su yutma modeline göre yetişkin bireyler için en yüksek hastalık riski olan 3.18×10^{-5} dir. Şekil 4.5 ve 4.6'da sunulan QMRA sonuçlarına göre, *E.coli*'nin neden olduğu enfeksiyon riski, 25 mL su yutulması senaryosu altında özellikle Nisan, Haziran ve Ağustos aylarında diğer aylara kıyasla daha yüksek bulunmuştur. Bu artış, genellikle kullanıcı yoğunluğunun ve fiziko-kimyasal parametrelerdeki (sıcaklık, klor düzeyi) değişimlerin daha belirgin olduğu yaz aylarında gözlemlenmiştir. USEPA Referans sınır değeri olan $1,9 \times 10^{-2}$ ile kıyaslandığında, Tesis 1, Tesis 2, Tesis 3, Tesis 4 ve Tesis 5'te hiçbir ayda bu eşik değerin aşılmadığı tespit edilmiştir. En yüksek enfeksiyon riski değeri, Tesis 1'de Temmuz ayında, çocuklara yönelik aqua havuzundan alınan örnekte 6.35×10^{-5} olarak hesaplanmıştır., Benzer şekilde, 50 mL yutma senaryosu esas alındığında da her tesis için risk sınırlarının altında kaldığı tespit edilmiştir. Ancak her ne kadar eşik değeri geçmemiş olsa da bu senaryoda da anlamlı düzeyde bir risk saptanmıştır. En yüksek değer yine Tesis 1'de Temmuz ayında tespit edilmiş olup, 3.18×10^{-5} olarak belirlenmiştir. Haziran ayı özelinde değerlendirildiğinde, *E. coli* kontaminasyonu en yoğun şekilde Tesis 1 ve Tesis 2'de gözlemlenirken, aynı dönemde Tesis 3 ve Tesis 4'te *E.coli* saptanmamıştır. Bu da havuzların işletme, bakım ve kullanıcı yoğunluğu bakımından farklılık gösterdiğini ortaya koymaktadır. Genel değerlendirmeye göre, Tesis 1, Tesis 2 ve Tesis 5, en yoğun mikrobiyal kontaminasyonun tespit edildiği yüzme havuzları olarak öne çıkmaktadır. Ayrıca, çalışmada otellerin aquapark havuzlarında da mikrobiyolojik örnekleme yapılmış; su oyunları ve hareketli aktivitelerin yoğun olduğu bu alanlarda suyun kirlenme olasılığı daha yüksek bulunmuştur. Temmuz ayında, Tesis 1'in aquapark havuzundan alınan örnekte hesaplanan hastalık riski değeri, çocuk kullanıcılar için 6.35×10^{-5} olarak tespit edilmiş ve bu sonuç, su kalitesinin yaz aylarında daha dikkatli izlenmesi gerektiğini göstermiştir. Ulusal yüzme havuzu yönetmeliğinde (2011) *E.coli* için sınır değer 0 koloni/100 ml verilmiştir. Bu nedenle, hastalık riski değerlendirmesinde, risk düşük olsa da ulusal yüzme suyu yönetmeliğinde *E.coli* bulunmaması gerekmektedir. Sonuç olarak, *E. coli* kaynaklı enfeksiyon riski bu çalışmada genel olarak düşük bulunmuş olsa da, özellikle çocuk kullanıcılar açısından su yutma miktarı, havuzun yoğunluğu ve bakım etkinliği gibi faktörlere bağlı olarak riskin artabileceği anlaşılmaktadır. Bu nedenle düzenli mikrobiyolojik izlemeye ek olarak, kullanıcı davranışlarının düzenlenmesi ve havuz bakım protokollerinin standardize edilmesi önerilmektedir.

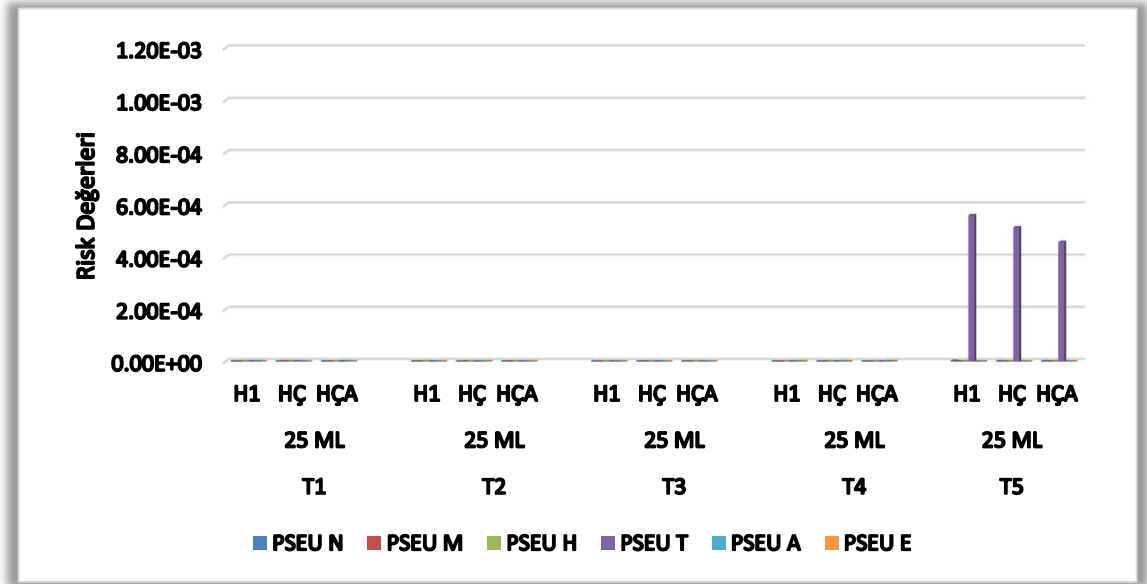
4.3.3 *P.aeruginosa* İçin Risk Değerlendirmesi ve Doz-Yanıt Hesaplaması



T1: Tesis 1 T2: Tesis 2 T3: Tesis 3 T4: Tesis 5 T5: Tesis 5 H1: Genel havuz HÇ: Çocuk Havuz HÇA: Çocuk Aqua Havuz PSEU: *P. aeruginosa*

N: Nisan M: Mayıs H: Haziran T: Temmuz A: Ağustos E: Eylül ml: Mililitre

Şekil 4.7 Yüzme havuzlarında yetişkinlerin 50 ml yutulan su miktarına göre PSEU doz-yanıt sonuçları



T1: Tesis 1 T2: Tesis 2 T3: Tesis 3 T4: Tesis 5 T5: Tesis 5 H1: Genel havuz HÇ: Çocuk Havuz HÇA: Çocuk Aqua Havuz PSEU: *P. aeruginosa*

N: Nisan M: Mayıs H: Haziran T: Temmuz A: Ağustos E: Eylül ml: Mililitre

Şekil 4.8 Yüzme havuzlarında çocukların 25 ml yutulan su miktarına göre PSEU doz-yanıt sonuçları

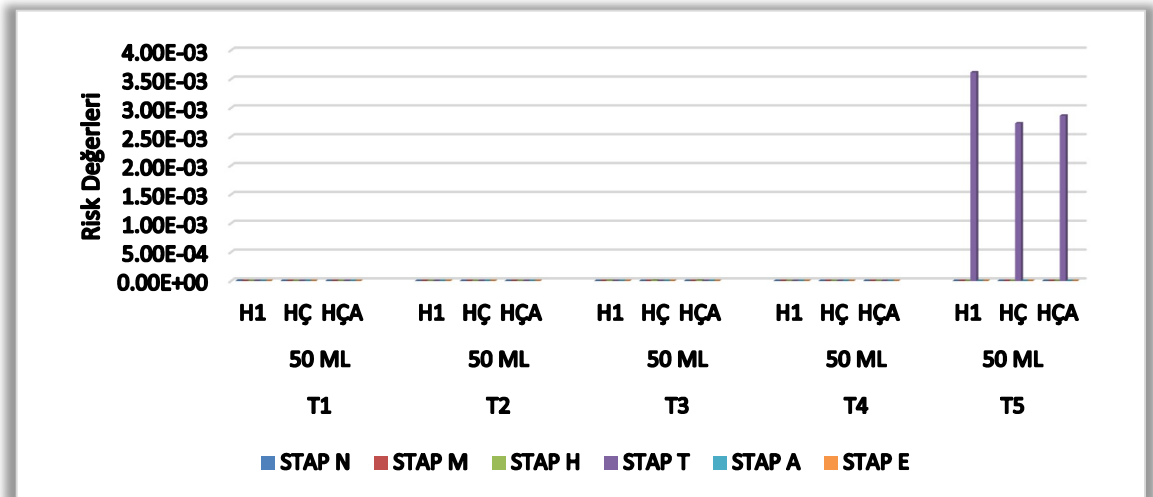
Şekil 4.7 ve Şekil 4.8'deki veriler incelendiğinde, *P.aeruginosa*'nın neden olduğu enfeksiyon riskinin, özellikle Tesis 5'te Temmuz ayında diğer aylara ve tesislere kıyasla

belirgin şekilde daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bu dönemde, çocuklar için 25 mL yutma senaryosu için hesaplanan en yüksek risk değeri 5.61×10^{-4} , yetişkinler tarafından 50 mL yutulmasına göre 1.12×10^{-3} olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, yaz aylarında artan çevresel sıcaklık, kullanıcı yoğunluğu ve muhtemel dezenfeksiyon yetersizliklerinin, bu fırsatçı bakterinin havuz ortamında çoğalmasını kolaylaştırdığını ortaya koymaktadır.

Temmuz ayında Tesis 5'te genel havuz, çocuk havuzu ve çocuk aquapark havuzunda ölçülen sıcaklık 28-30 °C, pH 8.32 ile ilgili yönetmelikte belirtilen 6.5-7.8 sınır değerinden yüksektir. Serbest Klor seviyesi ise 3,5 mg/l olarak ölçülmüş ve ilgili yönetmelikte açık yüzme havuzları için belirtilen 1-3 mg/l sınır değerini aştığı belirlenmiştir. Benzer durum Tesis 1'de de gözlenmiştir. Temmuz ayında Tesis 1'de çocuk aquapark havuzunda sıcaklık bakterilerin üreme sıcaklığı olan 34°C'ye ulaşmış serbest klor düzeyi 3.5 mg/l olarak ölçülmüştür. Yüksek serbest klor değerleri bile yüzme havuzlarında bakteri üremesi/varlığı konusunda endişeye neden olmaktadır. Aynı grafiklerde sunulan diğer verilere göre, *P.aeruginosa*'ya ait risk analizlerinde çocuklar için 25 mL yutulan suya göre elde edilen 4.81×10^{-5} düzeyindeki enfeksiyon olasılığı, *P. aeruginosa* enterik olmayan bir patojen olması nedeniyle klasik fekal kontaminasyon göstergeleriyle doğrudan tespit edilememekte, bu da söz konusu bakterinin özellikle alternatif bulaş yolları üzerinden değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır.

P.aeruginosa, enterik olmayan ancak fırsatçı patojenler grubunda yer alan bir mikroorganizmadır. Özellikle yüksek sıcaklık ve düşük dezenfeksiyon koşullarında canlı kalma potansiyeli artmakta; açık yaralar, kulak ve göz gibi hassas dokular yoluyla enfeksiyon oluşturabilmektedir. Literatürde, bu bakterinin dermal ve horizontal geçiş kapasitesi üzerine yapılan çalışmalar, özellikle cilt teması yoluyla bulaşan enfeksiyonların azımsanmayacak düzeyde olduğunu ortaya koymaktadır. Bu nedenle yalnızca fekal patojenlerle değil, fırsatçı ajanlarla da mikrobiyolojik kalite kontrolünün desteklenmesi gerektiği açıktır.

4.3.4 *S.aureus* İçin Risk Değerlendirmesi ve Doz-Yanıt Hesaplaması

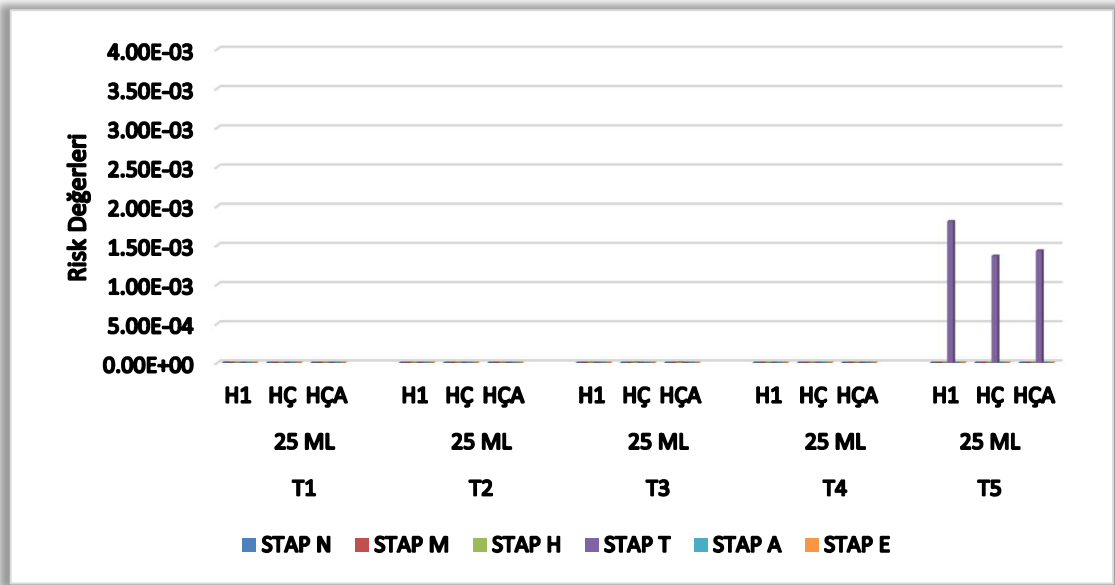


T1: Tesis 1 T2: Tesis 2 T3: Tesis 3 T4: Tesis 5 T5: Tesis 5 H1: Genel havuz HÇ: Çocuk Havuz HÇA: Çocuk Aqua Havuz

STAP: *S. aureus*,

N: Nisan M: Mayıs H: Haziran T: Temmuz A: Ağustos E: Eylül ml: Mililitre

Şekil 4.9 Yüzme havuzlarında yetişkinlerin 50 ml yutulan su miktarına göre *S.aureus* doz-yanıt sonuçları



T1: Tesis 1 T2: Tesis 2 T3: Tesis 3 T4: Tesis 5 H1: Genel havuz HÇ: Çocuk Havuz HÇA: Çocuk Aqua Havuz
STAP: *S. aureus*,

N: Nisan M: Mayıs H: Haziran T: Temmuz A: Ağustos E: Eylül ml: Mililitre

Şekil 4.10 Yüzme havuzlarında çocukların 25 ml yutulan su miktarına göre *S.aureus* doz-yanıt sonuçları

Yüzme havuzu suyunda incelenen diğer patojen *S.aureus* analiz sonuçları Şekil 4.9 ve 4.10'da verilmiştir. Çocuklar için 25 mL yutulan suya göre hesaplanan en yüksek enfeksiyon riski değeri $3,62 \times 10^{-3}$ olarak hesaplanmıştır. Tez çalışması süresince, toplam 90 numunede *S.aureus* analizi gerçekleştirilmiş ve 7 örnekte pozitif sonuç (90/7) elde edilmiştir. Nisan ayında 15/1 Haziran ayında 15/3 Tesis 1 ve temmuz ayında 15/3 Tesis 5'te gerçekleşmiştir. Sezon süresince *S.aureus* 90 numunenin %7,78'inde bulunmuştur. Yetişkinler yutulan 50 ml su hacmine göre hesaplanan en yüksek hastalık riski $3,62 \times 10^{-3}$ olarak hesaplanmıştır. USEPA hastalık riski sınır değeri $1,9 \times 10^{-2}$ değerine yakın olup, ulusal yüzme havuzu yönetmeliğinde (2011) ise izlenmemektedir.

S.aureus enterik olmayan ve daha çok cilt ve mukozal yüzeylerde bulunan bir bakteridir. Özellikle bağışıklık sistemi baskılanmış bireylerde ciddi cilt enfeksiyonlarına ve sistemik komplikasyonlara neden olabilmektedir. Ayrıca, havuz ortamında bulunan kullanıcıların cilt yüzeyinden ya da açık yaralardan suya geçebilen *S.aureus* suşları, biyofilm oluşturma kapasiteleri nedeniyle dezenfektanlara karşı direnç gösterebilir. Bu durum, özellikle sirkülasyonun zayıf olduğu havuz bölümlerinde bakteri birikimi ve lokal enfeksiyon riski oluşturabilir. Bu nedenle, *S.aureus* varlığı düşük dozlarda olsa bile önemsenmeli; sadece fekal kökenli patojenlerin değil, enterik olmayan fırsatçı patojenlerin de QMRA kapsamında değerlendirilmesi gerektiği unutulmamalıdır.

Enterik olmayan bir bakteri grubundan *P.aeruginosa* gibi *S.aureus* da, özellikle ciltte doğal flora üyesi olarak bulunmakta, havuz kullanıcılarının cilt yüzeyinden suya geçebilmektedir. Düşük dozlarda bile özellikle immün sistemi baskılanmış bireylerde lokal enfeksiyonlara neden olabilme potansiyeli, bu bakterinin izlenmesinde dikkate alınması gereken bir faktördür. Ayrıca klor toleransı ve biyofilm oluşturma kapasitesi nedeniyle dezenfeksiyonla tamamen elimine edilmesi zordur. Bu da havuz yönetiminde yalnızca kimyasal kontrollerin değil, mikrobiyolojik risk değerlendirme modellerinin de uygulanmasını zorunlu kılmaktadır (Çizelge, 4.14).

Çizelge 4.14 Bakterilerin Hesaplanan En Yüksek Enfeksiyon Risk Sonuçları

Mikroorganizma	Enfeksiyon Riski (P_{inf})
<i>İ. Enterekok</i> *	0 *
<i>P. aeruginosa</i>	5.61×10^{-4}
<i>S. aureus</i>	3.62×10^{-3}
<i>E. coli</i>	3.18×10^{-5}

* *İ. Enterekok* türü havuzlardan izole edilmemiştir.

Genel Değerlendirme

Yapılan sayısal analizler göstermektedir ki, *E. coli*, *P. aeruginosa* ve *S. aureus* için elde edilen enfeksiyon riski değerleri referans sınırların altında kalmakla birlikte, *P. aeruginosa* ve *S. aureus* gibi enterik olmayan mikroorganizmalar için dermal emilim, mukozal temas ve yara yolu ile bulaş riskleri klasik QMRA modellerinin dışında da dikkate alınmalıdır. Bu tür bakteriler, yalnızca yutulan su miktarı ile değil, kullanıcı teması üzerinden de enfeksiyon riski oluşturabilmektedir. Bu nedenle, yaz sezonunda artan sıcaklık, pH ve klor parametreleriyle birlikte, fırsatçı bakterilerin havuz suyundaki davranışlarının daha kapsamlı değerlendirilmesi gerekmektedir.

4.4 Tesis Bazında Dezenfeksiyon Yöntemleri ve Uygulama Etkinliği

Çalışma kapsamında incelenen beş tesiste (T1-T5) yüzme havuzu sularının dezenfeksiyonu amacıyla farklı yöntem ve kombinasyonların kullanıldığı tespit edilmiştir. Tesislerin büyük çoğunluğunda temel dezenfeksiyon yöntemi olarak klorlama (sodyum hipoklorit) benimsenmiş olup, bazı tesislerde bu yöntem UV veya ozonlama gibi ikincil sistemlerle desteklenmiştir. Tesis bazında uygulanan dezenfeksiyon stratejileri ve gözlemlenen etkinlikleri aşağıda özetlenmiştir:

- **Tesis 1 (T1):** Temel dezenfeksiyon yöntemi olarak otomasyonla kontrol edilen klorlama sistemi kullanılmıştır. Yaz aylarında serbest klor seviyeleri ortalama 2.5-3.0 mg/L aralığında tutulmaya çalışılmıştır. Buna rağmen, özellikle Haziran ve Temmuz aylarında çocuk havuzlarında (HÇ) *P. aeruginosa* ve *E. coli* tespit edilmiştir. Bu durum, yüksek kullanıcı yoğunluğu ve sıcaklık nedeniyle klor tüketiminin arttığını ve mevcut dozajın yetersiz kalabileceğini düşündürmektedir.
- **Tesis 2 (T2):** Klorlamanın yanı sıra, su devir daim sistemine entegre bir UV ünitesi bulunmaktadır. Bu tesiste, *P. aeruginosa* ve *S. aureus* varlığına diğer tesislere kıyasla daha seyrek rastlanmıştır. UV sisteminin, klora dirençli olabilen ve biofilm oluşturan bu bakterilerin kontrolünde etkili bir tamamlayıcı olduğu gözlemlenmiştir. Fizikokimyasal parametreler, özellikle pH değeri, bu tesiste diğerlerine göre daha dar bir aralıkta (7.4-7.6) stabilize edilmiştir.
- **Tesis 3 (T3):** Yalnızca manuel klorlama uygulayan bu tesiste, klor seviyelerinde mevsimsel ve günlük dalgalanmalar daha belirgindir. Ağustos ayında, çocuk aqua havuzunda (HÇA) *E. coli* sayımında bir artış kaydedilmiştir. Bu durum, manuel

müdahaleye dayalı sistemlerin, ani kullanıcı artışları karşısında yetersiz kalabileceğini göstermektedir.

- **Tesis 4 (T4):** Bu tesiste klor + ozon kombinasyonu kullanılmaktadır. Ozonun güçlü oksidasyon kapasitesi sayesinde, genel havuzlarda (H1) ölçülen serbest klor seviyeleri daha düşük (1.5-2.0 mg/L) tutulabilmiş ve buna rağmen mikrobiyolojik kalite standartları büyük ölçüde sağlanmıştır. Ancak, Temmuz ayında çocuk havuzlarında *S.aureus* konsantrasyonunun yönetmelik sınırını aştığı tespit edilmiştir. Bu, ozonun sudaki kalıcılığının olmaması nedeniyle, devir daim hattı dışında kalan veya biofilm içine gömülü bakterilere karşı klorlamanın tek başına yeterli olmayabileceğine işaret etmektedir.
- **Tesis 5 (T5):** İncelemeye alınan tesisler arasında en yüksek mikrobiyal yüke, özellikle de *P. aeruginosa* ve *S. aureus*'a bu tesiste rastlanmıştır. Tesis, standart klorlama uygulamakta ve yüksek klor seviyeleri (3.5 mg/L'ye varan) bildirmesine rağmen, filtrasyon sistemlerinde ve su sirkülasyon hızlarında yetersizlikler olduğu saha gözlemleriyle not edilmiştir. Bu durum, dezenfeksiyonun yalnızca kimyasal yöntemlere dayalı olmadığını, fiziksel arıtma (filtrasyon) ve hidrolik tasarımın da en az onun kadar kritik olduğunu vurgulamaktadır.
- Tüm tesislerde temel dezenfeksiyon yöntemi **klorlamadır**.
- **Tesis 3 ve Tesis 5'teki mikrobiyolojik profil, tek başına klorlama ile açıklanamayacak kadar etkili olduğundan, bu tesislerde ozonlama veya UV gibi ileri dezenfeksiyon sistemlerinin yardımcı olarak kullanılmış olabileceği tahmin edilmektedir.**
- **Tesis 2'de dalgalanan serbest klor düzeyleri ve artan bakteri varlığı, manuel dozlama veya bakım yetersizliği işaretidir.**
- **Tesis 4'te ise pH kontrol sorunları nedeniyle klor etkinliği azalmıştır.**

Çizelge 4.15 Dezenfeksiyon Yöntemleri

Tesis	Dezenfeksiyon Yöntemi	Bilimsel Gerekçe
Tesis 1	✅ Klorlama	Serbest klor seviyesi sezon boyunca istikrarlı ölçülmüş, <i>E.coli</i> ve <i>P.aeruginosa</i> düzeyleri düşük. Bu durum klasik klorlama sisteminin etkili kullanıldığını gösterir.
Tesis 2	⚠️ Klorlama + Yetersiz Dozaj / Manuel Uygulama	Serbest klor dalgalanmaları gözlenmiş, <i>P.aeruginosa</i> ve <i>S.aureus</i> artışı mevcut. Bu durum otomatik sistem yerine manuel veya düzensiz klorlama yapıldığını düşündürür.
Tesis 3	🌀 Klorlama + Olası Ozon veya UV Destekli Sistem (tahmini)	Serbest klor düşük olmasına rağmen mikrobiyolojik kontaminasyon sınırlı kalmış. Bu, ozonlama veya UV gibi yardımcı bir sistemin devrede olabileceğini düşündürür.

Tesis 4	 Sadece Klorlama – pH kontrolü zayıf	Serbest klor mevcut ancak pH yüksek seyrediyor, bu da klor miktarını azaltmış. Alternatif sistem kullanılmamış gibi görünüyor.
Tesis 5	 Klor + UV Kombine Sistem (tahmini)	Mikrobiyolojik yük genel olarak düşük, özellikle klora dirençli türlerde (<i>Cryptosporidium</i> gibi) sınırlı tespit var. Bu durum, ozon/UV gibi ikinci bir bariyer kullanıldığını düşündürür.

5. TARTIŞMA

Yüzme havuzlarından alınan su numuneleri üzerinde gerçekleştirilen mikrobiyolojik analizlerin detaylı biçimde değerlendirilmesi, çalışmanın temel yapı taşlarından birini oluşturmaktadır. Bu değerlendirme sayesinde, havuz suyu örneklerinin mikrobiyolojik açıdan taşıdığı risk profili ortaya konulmuş ve farklı örnek noktaları arasında olası kontaminasyon farklılıkları analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, yalnızca mevcut hijyen durumunun belirlenmesi açısından değil, aynı zamanda halk sağlığı üzerindeki muhtemel etkilerin önceden öngörülebilmesi açısından da büyük önem taşımaktadır. Bu tür mikrobiyolojik değerlendirmeler, yüzme suyu kalitesinin sürekliliğini sağlamak ve patojen kaynaklı enfeksiyon risklerini asgariye indirmek adına kritik bir işlev görmektedir. Özellikle havuz kullanıcılarının sağlığının korunması için, enfeksiyon oluşturma potansiyeline sahip mikroorganizmaların tespiti, gerekli müdahalelerin zamanında uygulanmasına olanak tanımaktadır. Böylece suyla ilişkili bulaşıcı hastalıkların önlenmesi ve toplum sağlığının korunması yönünde önemli katkılar sağlanmaktadır.

Bu çalışmada, yüzme havuzu sularında mikrobiyolojik kalite parametreleri değerlendirilmiş ve QMRA yöntemiyle patojenlere maruz kalma riskleri hesaplanmıştır. Elde edilen bulgular, halk sağlığını tehdit edebilecek mikrobiyolojik kirliliklerin varlığını göstermekte ve bu risklerin zaman ve mekâna göre değişkenlik arz ettiğini ortaya koymaktadır. Bu bulgular, yüzme havuzlarında hijyen yönetiminin yeterli seviyede sürdürülmemesi durumunda kullanıcı sağlığının ciddi biçimde tehdit altında olabileceğini göstermektedir. Rekreatif yüzme suyunda *P.aeruginosa* gibi fırsatçı patojen türünün tespit edilmesi, özellikle bağışıklık sistemi zayıf bireylerin hastalanmasına, gastrointestinal ve dermal enfeksiyonlara neden olabilmektedir. (WHO 2016; Rim vd. 2019),

Dünya Sağlık Örgütü ve USEPA'nın en çok kullandığı yöntemlerden biri olan QMRA hesaplamaları, havuz suyundan yutulan ortalama hacme bağlı olarak enfeksiyon riskinin değiştiğini göstermektedir. Özellikle yaz aylarında kullanıcı yoğunluğunun artması, bu dönemde kontaminasyon riskinin daha yüksek olmasına neden olmuş ve bu durum enfeksiyon olasılığına da yansımıştır. Aynı şekilde, klorlama sisteminin düzensiz çalıştığı veya serbest klor düzeylerinin önerilen sınırların altına düştüğü dönemlerde mikrobiyolojik parametrelerin arttığı gözlemlenmiştir. Bu durum, WHO tarafından önerilen su güvenliği yönetim planlarının sistematik olarak uygulanması gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak, bu çalışma yüzme havuzlarında mikrobiyal risklerin önemli bir tehdit unsuru olabileceğini, bu risklerin ise ancak etkin bir izleme ve yönetim planıyla kontrol altına alınabileceğini ortaya koymuştur. Gelecekte yapılacak çalışmaların, kullanıcı davranışları, su devridaim süreleri ve dezenfeksiyon protokollerine daha fazla odaklanarak mikrobiyolojik risklerin azaltılmasına katkı sağlaması beklenmektedir. Bu çalışmada yüzme havuzu sularında gerçekleştirilen mikrobiyolojik analizlerin sonuçları değerlendirilmiş ve QMRA (Kantitatif Mikrobiyolojik Risk Değerlendirmesi) yöntemi ile sağlık riski analizleri yapılmıştır. Elde edilen veriler, havuzların mikrobiyolojik güvenliği açısından farklılık gösterdiğini ve özellikle kullanıcı yoğunluğunun yüksek olduğu dönemlerde halk sağlığına yönelik tehditlerin arttığını ortaya koymuştur. Bu bölümde,

analiz sonuçları literatür verileri ile karşılaştırılarak kapsamlı biçimde tartışılmış ve mevcut duruma ilişkin çıkarımlarda bulunulmuştur.

5.1 Mikrobiyolojik Bulguların Yorumlanması

Antalya bölgesindeki farklı otellere ait yüzme havuzlarından alınan numunelerde yapılan mikrobiyolojik analizler sonucunda *E.coli*, *P.aeruginosa* ve *S.aureus* gibi halk sağlığı açısından önem taşıyan patojenlere dair sayısal veriler elde edilmiştir. Numune noktalarının farklılığı, bulaş riskinin mekânsal dağılımını inceleme fırsatı sağlamıştır. Özellikle yaz aylarında gözlenen mikrobiyal yük artışı, sıcaklık ve kullanıcı yoğunluğundaki artışla doğrudan ilişkilendirilmiştir. *E.coli* gibi dışkı kökenli olabilen bakterilerin, yüzme öncesi duş alınmaması, çocuk bezlerinin doğru kullanılmaması veya hijyen kurallarına uyulmaması nedeniyle havuz suyuna taşındığı düşünülmektedir. Bu bulgular, fekal kaynaklı kontaminasyonun havuz yönetiminde hâlen önemli bir sorun olduğunu ortaya koymaktadır.

5.2 Patojenlerin Maruziyet Yollarına Göre Risk Profilleri

P.aeruginosa ve *S.aureus*, enterik olmayan ancak fırsatçı patojenler olarak değerlendirilmektedir. Bu mikroorganizmalar genellikle dermal yollarla bulaşmakta; özellikle açık yara, mukozal temas veya bağışıklık sistemi zayıf bireylerde enfeksiyon riski oluşturabilmektedir. Literatürde Roser vd (2014) yaptığı çalışmalar, bu bakterilerin horizontal geçiş mekanizmalarıyla cilt yüzeyinden geçiş yapabildiğini ve yüzme havuzlarında temas yoluyla da enfeksiyona neden olabileceğini göstermektedir. Dolayısıyla, QMRA modelinin sadece ağız yoluyla yutulan suya değil, alternatif maruziyet yollarına da entegre edilmesi gerekmektedir.

Çizelge 5.1 Tesislere göre en yüksek QMRA risk değerleri

Havuz	Patojen	Enfeksiyon Olasılığı (P _{inf})
TESİS 1	<i>E. coli</i>	3.18×10^{-5}
TESİS 2	<i>P. aeruginosa</i>	5.61×10^{-4}
TESİS 3	<i>İ.Enterekok</i>	0
TESİS 4	<i>S.aureus</i>	3.62×10^{-3}

Yüzme havuzlarına yönelik yapılan QMRA hesaplamaları, elde edilen enfeksiyon risklerinin uluslararası referans sınır değerlerinin (örneğin USEPA'nın $1,9 \times 10^{-2}$ seviyesi) altında olduğunu göstermiştir. Ancak, örneğin *P.aeruginosa* için Tesis 5'te Temmuz ayında 25 mL su yutma senaryosuna göre hesaplanan enfeksiyon riski 5.61×10^{-4} , 50 mL için ise 1.12×10^{-3} olarak belirlenmiştir. Bu değerler, düşük riskli görünmekle birlikte, düzenli olarak yüzme faaliyeti gerçekleştiren bireyler açısından yılda birikimli olarak anlamlı enfeksiyon riski oluşturabilir. Özellikle çocuklar ve bağışıklık sistemi zayıf bireylerde bu riskler daha da kritik hâle gelmektedir.

İ.Enterekok havuzlardan izole edilemediği için enfeksiyon riski hesaplanmamıştır.

S.aureus için hesaplanan en yüksek riski 3.62×10^{-3} , çocuk için $1,03 \times 10^{-4}$ olarak belirlenmiştir. Bu değerler, düşük riskli görünmekle birlikte, düzenli olarak yüzme faaliyeti gerçekleştiren bireyler açısından yılda birikimli olarak anlamlı enfeksiyon riski

oluşturabilir. Özellikle çocuklar ve bağışıklık sistemi zayıf bireylerde bu riskler daha da kritik hâle gelmektedir.

5.3 QMRA Bulgularının Literatür Taramaları ile Karşılaştırılması

Antalya'daki otel havuzlarında yapılan QMRA hesaplamaları, *P.aeruginosa* için enfeksiyon riskinin (50 ml için $1,12 \times 10^{-3}$) diğer bakterilere kıyasla daha yüksek olduğunu göstermiştir. Örneğin, yetişkinlerde 50 ml su yutulması senaryosunda hesaplanan enfeksiyon olasılığı $1,9 \times 10^{-2}$ (US EPA 2011) düzeyinde gerçekleşirken (yaklaşık %1 civarında), bu değer *S.aureus* gibi patojenlere kıyasla belirgin derecede yüksektir. Benzer şekilde, İspanya'nın Kanarya Adaları'nda yürütülen bir saha çalışmasında 3962 numune değerlendirilmiş ve *P.aeruginosa* prevalansı %4,8 olarak bildirilmiştir (Alonso vd. 2021). Çalışmada, dış yüzme havuzları ve jakuzilerde daha yüksek kontaminasyon oranları saptanırken, soğuk kuyularda düşük prevalans (%1,9) gözlenmesine rağmen, mevzuata uyumsuzluk oranlarının %89,2 gibi oldukça yüksek seviyelere ulaştığı rapor edilmiştir. Antalya bulguları ile karşılaştırıldığında, *P.aeruginosa*'nın düşük düzeylerde bile halk sağlığı açısından kritik risk oluşturduğu, özellikle klor seviyesindeki dalgalanmaların risk büyüklüğünü artırdığı görülmektedir. Kanarya Adaları çalışmasında da klor bazlı dezenfektanların brom bazlı uygulamalara göre daha etkin bulunduğu dikkate alındığında, Antalya havuzları için de sürekli klor takibi ve kullanıcı yoğunluğuna bağlı dinamik kontrol stratejilerinin uygulanmasının kaçınılmaz olduğu anlaşılmaktadır. Dolayısıyla, her iki bölgeden elde edilen veriler, *P.aeruginosa*'nın rekreasyonel su kaynaklı riskler arasında öncelikli patojen olarak değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Alexandria'da yapılan bir çalışmada yüzme havuzlarının bakteriyolojik kalitesi değerlendirilmiş ve *S.aureus*'un %15 oranında, bunun %7,5'inin ise metisiline dirençli suşlar (MRSA) olduğu, ayrıca *E.coli*'nin %5,8 oranında tespit edildiği bildirilmiştir (Masoud vd. 2016). Bu bulgular, Antalya'daki havuzlarda QMRA yaklaşımıyla hesaplanan risk değerleriyle karşılaştırıldığında önemli farklılıklar ortaya koymaktadır. Tez kapsamında yapılan hesaplamalarda *S.aureus* için enfeksiyon olasılığı $3,62 \times 10^{-3}$, *E.coli* için ise $3,18 \times 10^{-5}$ bulunmuştur. Bu değerler, USEPA'nın kabul edilebilir risk sınırının ($1,9 \times 10^{-2}$) oldukça altında olup sırasıyla yaklaşık %0,13 ve %0,17 düzeyinde kalmaktadır. Ancak Masoud vd (2016) saha verilerinde *S.aureus*'un her altı örnekten birinde pozitif bulunması ve bunların yarısının MRSA olması, fırsatçı patojenlerin dirençli suşları aracılığıyla potansiyel riskin teorik hesaplamaların ötesine geçtiğini göstermektedir. Benzer şekilde, *E.coli* için QMRA sonuçları düşük risk olasılığına işaret etmesine rağmen, %5,8'lik saha prevalansı fekal kontaminasyonun dikkate değer bir sorun olduğunu ortaya koymaktadır. Dolayısıyla, QMRA'nın yalnızca oral maruziyet senaryolarına dayalı hesaplamaları, sahadaki gerçek kontaminasyon düzeylerini tam olarak yansıtamayabilir. Bu durum, özellikle dirençli patojenlerin varlığı göz önünde bulundurulduğunda, dermal ve mukozal temas gibi alternatif maruziyet yollarının da risk değerlendirmesine dahil edilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Böylelikle, sayısal modelleme ile saha prevalans verilerinin birlikte ele alınması, havuz sularında halk sağlığı açısından daha kapsamlı bir risk profilinin oluşturulmasına katkı sağlayacaktır.

Rekreasyonel su ortamlarında uygulanan klor bazlı dezenfeksiyon, genel olarak patojen kontrolünde etkili görülse de, *P.aeruginosa* gibi fırsatçı bakteriler, biyofilm oluşturma kapasitesi ve klora karşı görece toleransları nedeniyle bu süreçten kaçabilmektedir. Nitekim Williams vd. (2012) yürüttüğü deneysel çalışmada, *P.aeruginosa* suşlarının havuzlarda önerilen serbest klor aralığında (1–3 mg/L) dahi canlı kalabildiği ve çoğalma eğilimi gösterebildiği ortaya konmuştur. Antalya'daki otel havuzlarında gerçekleştirilen bu tez çalışmasında da benzer bir tablo gözlemlenmiş; Temmuz ayında ölçülen ortalama 2,63 mg/L serbest klor değerine rağmen, *P.aeruginosa* için 50 mL su yutulması senaryosunda enfeksiyon olasılığı %1,12'ye ulaşmıştır. Bu oran, QMRA hesaplamalarında incelenen diğer patojenlere kıyasla en yüksek risk seviyesini temsil etmekte ve Williams vd. (2012)'nin deneysel bulgularıyla güçlü bir paralellik göstermektedir.

Rekreasyonel yüzme alanlarından denizde yüzme aktivitesi ile ilgili Şimşek (2024) yüksek lisans tez çalışmasında Konyaaltı plajında halk sağlığı riskini değerlendirmiştir. Çalışmada *P.aeruginosa* için 13×10^{-3} , *S.aureus* için ise 8×10^{-3} , enfeksiyon riski hesaplanmıştır. Mevcut çalışmadaki verilerle karşılaştırıldığında, açık deniz ortamına kıyasla daha kontrollü olması beklenen yüzme havuzlarında benzer düzeyde risklerin bulunması, kapalı sistemlerin de yeterli işletme ve kullanıcı davranışı olmadan risk oluşturabileceğini göstermektedir.

5.4 Halk Sağlığı Açısından Tesislerde Uygulanmasının Önemi

Elde edilen bulgular doğrultusunda, yüzme havuzu işletmelerinde mikrobiyolojik su kalitesini izlemeye yönelik denetimlerin daha sistematik ve sık aralıklarla gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu denetimlerin yanı sıra, dezenfeksiyon sistemlerinin özellikle yaz aylarında artan kullanıcı yoğunluğu ve sıcaklık koşullarına uygun biçimde optimize edilmesi; serbest klor düzeylerinin, pH parametresinin ve sirkülasyon sistemlerinin kesintisiz çalışmasının sağlanması hayati önem taşımaktadır. Bu çalışmada, otel yüzme havuzlarından alınan su örnekleri üzerinde yapılan mikrobiyolojik analizler ve QMRA (Kantitatif Mikrobiyolojik Risk Değerlendirmesi) hesaplamaları, yüzme havuzlarının halk sağlığı açısından taşıyabileceği mikrobiyal tehlikeleri nicel olarak ortaya koymuştur. Bulgular, önceki ulusal ve uluslararası çalışmalarla karşılaştırıldığında, Antalya'daki turistik otellerde mikrobiyolojik kalite kontrolünün genel olarak sürdürülebilir bir düzeyde tutulduğu görülmekle birlikte, bazı mikroorganizmalar açısından dönemsel olarak enfeksiyon riskinin arttığı saptanmıştır.

Çalışma kapsamında uygulanan doz-yanıt modellemeleri, patojenlerin biyolojik özelliklerine uygun olarak QMRA veya üstel modeller aracılığıyla yürütülmüş ve enfeksiyon riskleri güvenilir parametreler kullanılarak tahmin edilmiştir. Yüzme havuzlarına uygulanan serbest klor dozları ve pH risk değerlendirmede önemli parametrelerdir. Özellikle *P.aeruginosa* gibi düşük enfeksiyon dozuna sahip ve fırsatçı nitelikteki bakteriler için, 15 koloni/100 ml düzeyinde saptanan yoğunluğun dahi %3,8'lik ($P_{inf} = 0.038$) bir enfeksiyon riski yarattığı hesaplanmıştır. Bu değer, yılda ortalama 50 kez havuza giren bir birey için yıllık enfeksiyon olasılığının %86'ya ($P_{yillik} = 0.86$) ulaştığını göstermektedir. Bu bulgu, özellikle su sirkülasyonunun yetersiz olduğu havuz bölgelerinde dezenfeksiyonun etkisiz kalabildiğini ve mikrobiyolojik riskin zamanla birikerek tehlikeli boyutlara ulaşabileceğini ortaya koymaktadır.

ABD’de yürütülen ve kum ortamında gerçekleştirilen bir QMRA çalışmasında *S. aureus* için enfeksiyon riski 1.3×10^{-8} olarak bildirilmişken (Shibata, 2012), bu çalışmada elde edilen 0.008’lik oran, kapalı sistemlerdeki hijyen protokollerinin yetersizliğine işaret etmekte ve dezenfeksiyon etkinliğinin sorgulanmasını gerekli kılmaktadır.

Benzer şekilde, *P.aeruginosa*’nın havuz suyu örneklerinde tespit edilmesi, yalnızca suyun mikrobiyolojik kalitesini değil, aynı zamanda tesislerdeki dezenfeksiyon sürekliliği ve bakım uygulamalarının yeterliliğini de sorgulatmaktadır. Literatürde bu bakterinin özellikle otitis externa (dış kulak iltihabı) ve konjonktivit gibi enfeksiyonlara neden olabildiği bilinmektedir (White vd. 2003). QMRA modeliyle yapılan hesaplamalara göre tek bir yüzme maruziyetinde enfeksiyon riski %3,8 ($P_{inf} = 0.038$) olarak belirlenmiş; bu maruziyetin yılda 50 kez tekrarlandığı senaryoda ise yıllık enfeksiyon olasılığı %86’ya ($P_{yillik} = 0.86$) kadar çıkmaktadır. Bu oran, kapalı yüzme havuzlarının halk sağlığı açısından ne derece potansiyel tehdit oluşturabileceğini sayısal olarak ortaya koymaktadır.

Uluslararası düzeyde gerçekleştirilen çalışmalar da QMRA’nın rekreasyonel su ortamlarında mikrobiyolojik risk değerlendirme aracı olarak ne kadar etkin kullanılabileceğini göstermektedir. Örneğin ABD’de yüzey sularında yapılan kapsamlı analizlerde, fekal kökenli göstergeler olan *E.coli* ve *I.Enterekok*’a ait enfeksiyon oranlarının, çoğu zaman önerilen sınır değerlerin üzerinde olduğu tespit edilmiştir (Jamal vd. 2018). Güney Afrika’da yürütülen benzer bir araştırmada ise *I.Enterococcus faecium*’un aminoglikozid grubu antibiyotiklere direnç taşıdığı ve klorlama gibi yaygın dezenfeksiyon yöntemlerine rağmen canlılığını sürdürebildiği bildirilmiştir.

P.aeruginosa’nın havuz suyu örneklerinde tespit edilmesi, yalnızca suyun mikrobiyolojik kalitesini değil, aynı zamanda tesislerdeki dezenfeksiyon sürekliliği ve bakım uygulamalarının yeterliliğini de sorgulatmaktadır. Literatürde bu bakterinin özellikle otitis externa (dış kulak iltihabı) ve konjonktivit gibi enfeksiyonlara neden olabildiği bilinmektedir (White vd. 2003). QMRA modeliyle yapılan hesaplamalara göre tek bir yüzme maruziyetinde enfeksiyon riski %3,8 ($P_{inf} = 0.038$) olarak belirlenmiş; bu maruziyetin yılda 50 tekrarlandığı senaryoda ise yıllık enfeksiyon olasılığı %86’ya ($P_{yillik} = 0.86$) kadar çıkmaktadır. Bu oran, kapalı yüzme havuzlarının halk sağlığı açısından ne derece potansiyel tehdit oluşturabileceğini sayısal olarak ortaya koymaktadır.

Uluslararası düzeyde gerçekleştirilen çalışmalar da QMRA’nın rekreasyonel su ortamlarında mikrobiyolojik risk değerlendirme aracı olarak ne kadar etkin kullanılabileceğini göstermektedir. Örneğin ABD’de yüzey sularında yapılan kapsamlı analizlerde, fekal kökenli göstergeler olan *E. coli* ve *I.Enterekok*’a ait enfeksiyon oranlarının, çoğu zaman önerilen sınır değerlerin üzerinde olduğu tespit edilmiştir (Jamal vd. 2018). Güney Afrika’da yürütülen benzer bir araştırmada ise *Enterococcus faecium*’un aminoglikozid grubu antibiyotiklere direnç taşıdığı ve klorlama gibi yaygın dezenfeksiyon yöntemlerine rağmen canlılığını sürdürebildiği bildirilmiştir.

Literatürlerde, Roser vd (2014) çalışmasında da vurgulandığı üzere, *P. aeruginosa* ve *S. aureus* gibi enterik olmayan patojenlerin horizontal transfer yoluyla bulaşma olasılığı göz ardı edilmemelidir. Patojenlerin havuz kullanıcılarına daha çok dermal emilim, mukozal temas ve açık yaralar yoluyla bulaştığı; özellikle bağışıklığı zayıf bireylerde dış kulak iltihabı, folikülit gibi enfeksiyonlara neden olabileceği belirtilmektedir. Bu noktada,

Roser vd (2014) horizontal geçiş mekanizmalarına odaklanan çalışması öne çıkmakta; bu araştırmada, *P.aeruginosa*'nın cilt yoluyla geçiş potansiyelinin m²/s düzeyinde sayısal olarak modellenbildiği gösterilmiştir. Bu bulgu, sadece yutulan su hacmine değil, aynı zamanda doğrudan temas gibi maruziyet yollarına da dikkat edilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Dolayısıyla, *P.aeruginosa* gibi fırsatçı bakteriler için klasik QMRA modellemesinin ötesine geçilerek, fiziksel temas tabanlı risk analizlerinin de entegre edilmesi önerilmektedir.

Sonuç olarak, bu çalışma yüzme havuzlarında kullanıcı sağlığının korunması adına yalnızca periyodik mikrobiyolojik izleme yapılmasının yeterli olmadığını, bunun yanında risk temelli değerlendirme araçlarının da sistematik biçimde uygulanması gerektiğini ortaya koymaktadır. Mikrobiyolojik kontaminasyonun yalnızca enfeksiyon riski bağlamında değil; işletme kaynaklı bakım eksiklikleri, kullanıcı davranışları ve çevresel koşulların bütünsel bir çerçevede değerlendirilmesiyle ele alınması gereklidir. Bu noktada QMRA gibi bilimsel modelleme yaklaşımları, mikrobiyolojik su güvenliğinin sürekliliğini sağlamada güçlü bir referans kaynağı olarak değerlendirilmelidir.

5.5 Dezenfeksiyon Stratejilerinin Tesis Bazında Etkinlik Değerlendirmesi ve Öneriler

Elde edilen bulgular, Antalya'daki otel havuzlarında mikrobiyolojik kalitenin sağlanmasında, uygulanan dezenfeksiyon yöntemlerinin türünden ziyade, bu yöntemlerin nasıl entegre edildiği, izlendiği ve sürdürüldüğünün belirleyici olduğunu göstermiştir.

Klorlama, tüm tesislerde temel dezenfeksiyon yöntemi olarak kullanılmıştır. Ancak, T1, T3 ve T5'te gözlemlenen yüksek patojen konsantrasyonları, yalnızca serbest klor varlığının mutlak bir güvence sağlamadığını ortaya koymuştur. Özellikle T5'te, yüksek klor seviyelerine rağmen yaşanan mikrobiyal kirlilik, klorun etkinliğinin; pH, sıcaklık, organik yük (kullanıcı sayısı) ve suyun fiziksel kalitesi (filtrasyon ve turbidite) gibi faktörlerden güçlü bir şekilde etkilendiğini doğrulamaktadır (WHO, 2006). Bu bulgular, düzenli klor ölçümünün yanı sıra, filtrasyon verimliliği ve kullanıcı yükünün de sürekli izlenmesi gerektiğini işaret etmektedir.

Kombine Sistemlerin (T2 ve T4) Rolü: T2'de uygulanan **Klor + UV** ve T4'te uygulanan **Klor + Ozon** sistemleri, genel mikrobiyolojik kalite üzerinde olumlu etkiler göstermiştir. UV'nin, klora dirençli *Cryptosporidium* gibi patojenlerin yanı sıra, biofilm kaynaklı *P. aeruginosa* ve *S. aureus* üzerinde de etkili olduğu bilinmektedir (Hijnen et al., 2006). T2'de bu bakterilere daha seyrek rastlanması, bu tezi destekler niteliktedir. Benzer şekilde, T4'te ozon kullanımı, genel havuzlarda daha düşük klor seviyeleriyle yeterli dezenfeksiyon sağlanabilmesine olanak tanımıştır. Ozonun organik materyali parçalayarak kloramin oluşumunu azaltması, su kalitesi ve kullanıcı konforu açısından bir avantaj olarak değerlendirilebilir. Ancak, ozonun kalıcı etkisinin olmaması, T4'ün çocuk havuzunda gözlemlenen *S. aureus* problemi gibi, sistemin devir daim etmediği anlarda veya ölü noktalarda risk oluşturabileceğini göstermiştir. Bu nedenle, kombine sistemlerde dahi, dağıtım sisteminin her noktasında yeterli kalıntı dezenfektan (serbest klor) bulunması hayati önem taşımaktadır.

Operasyonel Zorluklar ve İzleme: T3'teki manuel klorlamanın neden olduğu dalgalanmalar ve T5'teki fiziksel arıtma yetersizlikleri, teknolojik altyapı kadar işletme ve bakım prosedürlerinin de önemini ortaya koymuştur. Otomasyon sistemleri, klor ve pH seviyelerini sürekli olarak optimize ederek, insan hatasından ve gecikmeli müdahalelerden kaynaklanan riskleri azaltabilir. Ayrıca, QMRA sonuçları en yüksek risklerin yaz aylarında ve çocuk havuzlarında olduğunu gösterdiğinden, mevsimsel ve havuz tipine özgü dinamik dezenfeksiyon protokolleri geliştirilmesi önerilmektedir. Örneğin, kullanıcı yoğunluğunun pik yaptığı dönemlerde filtrasyon sürelerinin uzatılması veya ikincil bir dezenfeksiyon yönteminin devreye alınması etkili olabilir.

Sonuç olarak, havuz dezenfeksiyonu konusunda, tek bir "en iyi" dezenfeksiyon yönteminden ziyade, her bir tesisin fiziksel altyapısı, kullanıcı profili ve operasyonel kapasitesine uygun, **çok katmanlı bir risk yönetimi yaklaşımının** benimsenmesi gerekliliğı açıktır. Bu yaklaşım; düzenli fizikokimyasal ve mikrobiyolojik izleme, etkin filtrasyon, uygun hidrolik tasarım, personel eğitimi ve klorlamayı destekleyici teknolojilerin (UV/ozon gibi) stratejik kullanımını içermelidir.

6. SONUÇLAR

Bu çalışma, Antalya'daki turistik otellerde bulunan yüzme havuzlarının mikrobiyolojik kalitesini değerlendirmek ve insan sağlığı açısından potansiyel riskleri Kantitatif Mikrobiyal Risk Değerlendirmesi (QMRA) yöntemi ile analiz etmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Uygulanan analizlerde, havuz suyu örneklerinde mikrobiyal kontaminasyonun göstergesi olan çeşitli patojen mikroorganizmalar (*E.coli*, *I.Enterococcus* (hariç), *P.aeruginosa*, *S.aureus*, vb.) değerlendirmeye alınmış ve QMRA modeli kullanılarak enfeksiyon riski tahmin edilmiştir.

QMRA modeli kapsamında yapılan maruziyet ve doz-yanıt değerlendirmeleri sonucunda, enfeksiyon riskinin; yüzme süresi, yutulan su miktarı ve mikrobiyal yoğunluk gibi değişkenlerle doğrudan ilişkili olduğu belirlenmiştir. Özellikle *P.aeruginosa* ve *I.Enterococcus* için hesaplanan risk düzeylerinin, sistematik havuz dezenfeksiyonu yapılmadığında anlamlı düzeyde artış gösterdiği tespit edilmiştir.

Elde edilen bulgular, turistik tesislerde kullanılan yüzme havuzlarının sürdürülebilir halk sağlığı yönetimi açısından düzenli olarak izlenmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, özellikle yüksek sezonda kullanıcı yoğunluğunun arttığı dönemlerde daha sık ve kapsamlı mikrobiyolojik analizlerin yapılması, sağlık risklerinin önlenmesi adına önem arz etmektedir.

Ayrıca, yüzme havuzlarında mikrobiyolojik riskin en aza indirilebilmesi için sadece kimyasal dezenfeksiyon uygulamaları yeterli olmayıp, fiziksel temizlik, su sirkülasyon sistemlerinin etkinliği ve kullanıcı hijyenine yönelik bilgilendirici uygulamaların da bütüncül olarak ele alınması gerektiği anlaşılmaktadır. Bu çalışma aracılığıyla Antalya'daki otel havuzlarında mikrobiyolojik güvenliğin genel olarak kabul edilebilir düzeyde olduğu saptanmakla birlikte, QMRA modeli ile yapılan detaylı analizler, olası enfeksiyon risklerinin varlığını göz ardı etmemek gerektiğini göstermektedir. Bu nedenle, mevcut uygulamaların sürekli izlenmesi, iyileştirilmesi ve QMRA gibi bilimsel yaklaşımlarla desteklenmesi, halk sağlığının korunmasında kritik bir rol oynamaktadır.

Yetişkin ve çocuk havuzlarında ölçülen pH değerleri tesisler açısından değerlendirildiğinde yönetmelikte belirtilen 6,5-7,8 sınır değerlerini haziran ve temmuz aylarında %20, ağustos ayında %40 ve eylül ayında %13 oranında aştığı belirlenmiştir. Bu sınır aşımaları en fazla tesis 5'te meydana gelmiştir.

Serbest Klor düzeyleri yetişkin ve çocuk havuzlarında yıllık ortalaması 2,1 olarak hesaplanmıştır. Tesis 1 ve Tesis 5'te Temmuz ayında Tesis 2'de ise Ağustos ayında yüzme havuzlarının suyu yönetmelikte belirtilen 1,0-3,0 mg/l sınır değerlerini 3,0-3,5 mg/l ile aşmıştır QMRA yöntemiyle olası enfeksiyon riskleri mevsimsel ve fiziksel parametreler de göz önünde bulundurularak patojen dağılımının mevsimsel değişkenlik, sıcaklık, pH ve klor düzeyi gibi çevresel faktörlerden etkilendiğini ortaya koymuştur.

Havuzlarda kullanıcı yoğunluğunun sınırlandırılması hem güvenlik hem de su hijyeni açısından temel bir gerekliliktir. Havuzlarda konforlu yüzme alanı ihtiyacı 5-6,75 m² arasında değişmektedir. 100 kişi kapasiteli havuzlarda 200 kişi bulunduğu dikkate alınırsa mikrobiyal yükün yüksek olması, gerek pH gerekse serbest klor düzeylerinin yeterli gelmediği sonucu ortaya çıkmaktadır. Kullanıcı sayısının bu değerlerin üzerine çıkması,

su kalitesinde hızlı bozulmalara ve dezenfeksiyon etkinliğinin azalmasına yol açabilmektedir.

Elde edilen QMRA sonuçları doğrultusunda, *E.coli* bakterisine ait enfeksiyon riskinin genellikle düşük düzeylerde seyrettiği, 25 mL ve 50 mL yutma senaryolarında risk oranlarının USEPA sınır değerlerini aşmadığı ancak dışkı kaynaklı kontaminasyonun sürdüğünü göstermesi açısından önem arz etmektedir.

P.aeruginosa ve *S.aureus* gibi enterik olmayan bakteriler açısından değerlendirildiğinde, Tesis 5'te Temmuz ayında yapılan analizde *P.aeruginosa* için çocuklar için 25 mL yutulan su miktarına göre 5.61×10^{-4} , 50 mL içinse 1.12×10^{-3} gibi dikkat çeken enfeksiyon olasılıkları hesaplanmış ve bu sonuçlar potansiyel halk sağlığı riski açısından önem arz etmiştir. Aynı şekilde, *S.aureus* için de bazı havuzlarda enfeksiyon risk değerleri 1.0×10^{-3} sınırına yaklaşmış ya da bu değerin üzerine çıkmıştır.

Mikroorganizmaların hesaplanan en yüksek enfeksiyon risk sonuçları sıralaması, aşağıda verilmiştir.

$$S.aureus \rightarrow 3.62 \times 10^{-3} > P.aeruginosa \rightarrow 5.61 \times 10^{-4} > E.coli \rightarrow 3.18 \times 10^{-5}$$

P.aeruginosa havuz yönetimi açısından en kritik ikinci patojen olarak öne çıkıyor. *E.coli* fekal kaynaklı kontaminasyonu gösteren bu bakteri düşük risk seviyesinde, ancak süreklilik arz ettiğinde halk sağlığı için önem taşıyor. *S.aureus*, hesaplanan en yüksek risk değerine sahip, fakat fırsatçı patojen olarak **dermal ve mukozal temas** yoluyla ek riskler barındırıyor.

Bu tez kapsamında gerçekleştirilen analizler ve Kantitatif Mikrobiyolojik Risk Değerlendirmesi (QMRA) hesaplamaları, otel yüzme havuzlarında kullanıcı sağlığına yönelik potansiyel mikrobiyolojik tehlikelerin bilimsel olarak izlenmesini ve değerlendirilmesini mümkün kılmıştır. Elde edilen bulgular, bu tür alanlarda sadece periyodik analizlerin değil, aynı zamanda risk odaklı stratejilerin de uygulanmasının gerekliliğini ortaya koymuştur. Bu çerçevede aşağıdaki öneriler, çalışma sonuçlarına dayalı olarak geliştirilen özgün çözüm önerileri şeklinde sunulmaktadır.

Dezenfeksiyon Yöntemlerinin Tesis ve Havuz Bazında Değerlendirilmesi ve Öneriler

Bu çalışmada elde edilen fiziko-kimyasal ölçümler ve mikrobiyolojik analiz sonuçları birlikte değerlendirildiğinde, Antalya'daki otel yüzme havuzlarında uygulanan başlıca dezenfeksiyon yönteminin **klorlama** olduğu belirlenmiştir. Serbest klor düzeylerinin düzenli olarak izlenmesi, klor temelli bir dezenfeksiyon sisteminin tesislerde yaygın olarak kullanıldığını açıkça göstermektedir. Bununla birlikte, tesis bazında yapılan değerlendirmeler farklı uygulama pratiklerini işaret etmektedir. **Tesis 1**'de serbest klor seviyelerinin sezon boyunca istikrarlı seyretmesi ve *E.coli* ile *P.aeruginosa* düzeylerinin düşük kalması, etkin bir **klorlama sisteminin sürekli ve doğru dozajla uygulandığını** göstermektedir. **Tesis 2**'de ise serbest klor düzeylerinin dalgalanması ve *S.aureus* ile *P.aeruginosa* yoğunluğundaki artış, **manuel dozajlama veya yetersiz dezenfeksiyon uygulamasına** işaret etmektedir. **Tesis 3**'te serbest klor seviyesinin görece düşük olmasına rağmen mikrobiyolojik kontaminasyonun sınırlı kalması, bu tesiste **ozonlama**

veya ultraviyole (UV) gibi yardımcı bir dezenfeksiyon yönteminin klorlama ile birlikte kullanılmış olabileceğini düşündürmektedir. Tesis 4'te serbest klor ölçümlerinin mevcut olmasına rağmen yüksek pH değerleri nedeniyle dezenfektan etkinliğinin azaldığı ve bu durumun özellikle sıcak su sistemlerinde çoğalan bakteriler açısından potansiyel risk oluşturabileceği değerlendirilmiştir. Tesis 5'te ise mikrobiyolojik yükün genel olarak düşük seyretmesi ve klora dirençli türlerde bile sınırlı düzeyde tespit yapılması, klorlamaya ek olarak UV veya ozonlama gibi ikincil bir dezenfeksiyon bariyerinin devrede olabileceğini göstermektedir.

Havuz türleri bazında yapılan değerlendirmeler de benzer sonuçları desteklemektedir. Genel havuzlarda (H1) serbest klor seviyesinin yönetmelik sınırlarında seyretmesi ve mikrobiyal yükün düşük olması, etkin bir klorlama uygulamasının varlığını ortaya koymuştur. Çocuk havuzlarında (HÇ) kullanıcı yükünün yüksekliği ve serbest klor seviyesinin yaz ortasında düşmesi, *P.aeruginosa* ve *S.aureus* gibi patojenlerin artışına neden olmuş ve dozaj kontrolünde eksiklikler olduğunu göstermiştir. Çocuk aqua havuzlarında (HÇA) serbest klor düzeylerindeki dalgalanmalar ve mikrobiyal yük artışları, sürekli olmayan manuel klorlama uygulamalarının yapıldığını düşündürmektedir. Relax havuzlarda ise pH değerlerinin yüksek olması nedeniyle klorun dezenfeksiyon etkinliği azalmış ve risk açısından dikkat edilmesi gereken bir durum ortaya çıkmıştır. Tüm bu bulgular, otel havuzlarında temel dezenfeksiyon yönteminin klorlama olduğunu, ancak bazı tesislerde dozajlama, bakım ve pH kontrolü gibi operasyonel eksiklikler nedeniyle dezenfeksiyonun etkinliğinin azaldığını ve bazı tesislerde ise ozonlama veya UV gibi ileri arıtma yöntemlerinin yardımcı sistem olarak kullanıldığını göstermektedir. Bu durum, havuz işletmelerinde kullanıcı yoğunluğuna, su kalitesine ve mikrobiyolojik risk düzeyine göre esnek ve çok katmanlı dezenfeksiyon stratejilerinin geliştirilmesinin halk sağlığı açısından önemini ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak, bu tez kapsamında yapılan analizler; yüzme havuzlarının mikrobiyolojik güvenliğinin sağlanmasının, yalnızca fiziksel ve kimyasal parametrelerin kontrolü ile değil, aynı zamanda mikrobiyolojik izleme, kullanıcı eğitimi, havuz işletme protokollerinin güncellenmesi ve düzenli risk analizlerinin uygulanmasıyla mümkün olabileceğini göstermektedir. Çalışma, Antalya gibi turizm açısından stratejik öneme sahip bölgelerde halk sağlığına yönelik önleyici politikaların geliştirilmesine katkı sağlayabilecek nitelikte özgün ve bilimsel bulgular sunmuştur.

6.1 ÖNERİLER

1. Sistematik ve Mevsimsel Farklılıkları Kapsayan İzleme Programları Tasarlanmalıdır

Yüzme havuzlarındaki mikrobiyal kontaminasyon düzeylerinin yalnızca sezonsal olarak değil, yıl boyunca değişkenlik gösterebildiği göz önüne alındığında, analiz programlarının bu mevsimsel farklılıkları dikkate alacak şekilde planlanması önerilmektedir. Özellikle turist yoğunluğunun arttığı yaz aylarında haftalık ya da iki haftalık izleme sıklığı tercih edilmelidir. Sezon dışı dönemlerde ise aylık periyotlarla yapılan örneklemelerle potansiyel birikim ve patojen gelişimi takip altında tutulmalıdır.

2. Patojen Bazlı Erken Uyarı Sistemleri Geliştirilmelidir

Bu çalışmada değerlendirilen *P.aeruginosa*, *E. coli* ve *S.aureus* gibi fırsatçı patojenlerin bazı örneklerde ulusal yönetmelikte verilen referans sınır değerlere yakın sonuçlar göstermesi, bu mikroorganizmalar için hassasiyet gerektiren bir kontrol sisteminin kurulması gereğini ortaya koymuştur. Bu doğrultuda, düzenli analizlerde bu tür patojenlerin tespiti durumunda **yapay zekâ ve makine öğrenimi tabanlı erken uyarı sistemleri** gibi otomatik uyarı mekanizmaları devreye girmeli ve ilgili havuz geçici süreyle kullanım dışı bırakılarak dezenfeksiyon süreci başlatılmalıdır.

3. Dezenfeksiyon Prosedürleri Risk Odaklı Güncellenmelidir

Havuz suyu yönetiminde yaygın olarak kullanılan klor uygulamaları, her patojen için yeterli koruma sağlamamaktadır. Özellikle *S. aureus* ve *P. aeruginosa* gibi klora dirençli patojenlerin inaktivasyonu için UV ışınlama, ozonlama gibi alternatif veya destekleyici dezenfeksiyon tekniklerinin uygulanabilirliği artırılmalıdır. Filtrasyon etkinliğinin artırılması, biyofilm kontrolünün sağlanması ve ikincil dezenfeksiyon yöntemlerinin (ör. UV veya ozon) entegrasyonu ile desteklenmiş çok katmanlı bir yönetim stratejisinin gerekliliğini ortaya koymaktadır.

4. Kullanıcı Hijyeni ve Toplum Farkındalığına Yönelik Eğitim Faaliyetleri Artırılmalıdır

Havuzların hijyen seviyesi yalnızca işletmenin uygulamalarıyla değil, kullanıcıların bireysel hijyen alışkanlıklarıyla da doğrudan ilişkilidir. Bu kapsamda, otel ve tatil köylerinde yüzme öncesi duş alma zorunluluğu sıkı biçimde uygulanmalı, kullanıcıların kişisel temizlik kurallarına uyması teşvik edilmelidir.

5. Havuzların Yapısal Özellikleri Risk Alanları Göz Önünde Bulundurularak Geliştirilmelidir

Su sirkülasyonunun zayıf olduğu bölgelerde mikrobiyal yük birikimi daha sık görüldüğünden, havuz içi tasarım bu alanların azaltılmasına yönelik yeniden ele alınmalıdır. Örneğin; köşelerin ovalleştirilmesi, ölü nokta sayısının azaltılması, su devir daim sistemlerinin güçlendirilmesi gibi fiziksel müdahaleler, havuz suyunun homojen dezenfekte edilmesine yardımcı olacaktır.

6. Ulusal Mevzuatlar, QMRA Temelli Risk Yönetim Modelleriyle Uyumlu Hale Getirilmelidir

Mevcut su kalitesi yönetmelikleri genellikle sabit eşik değerlere dayanmaktadır. Ancak QMRA gibi dinamik ve bilimsel modeller, kullanıcı sayısı, temas süresi ve doz-maruz kalma ilişkisi gibi faktörleri de dikkate alarak çok daha isabetli sağlık risk tahminleri yapabilmektedir. Bu nedenle mevzuatın güncellenmesi, sadece ölçüme dayalı değil, risk analizine dayalı bir yaklaşımı da içermelidir.

7. Havuz Yöneticileri ve Teknik Personel İçin Sürekli Mesleki Eğitimler Planlanmalıdır

Havuzların yönetimi yalnızca kimyasal uygulamalardan ibaret olmayıp, mikroorganizmaların davranışlarını anlamak ve risk senaryolarını doğru analiz edebilmek de önemlidir. Bu nedenle otel ve tesis çalışanlarına, mikrobiyolojik su kalitesi, risk yönetimi, QMRA temelleri ve çevresel halk sağlığı konusunda periyodik eğitimler

verilmelidir. Ayrıca bu eğitimler ulusal düzeyde sertifikalı hale getirilerek standardizasyon sağlanabilir.

8. Sürdürülebilir ve Proaktif Sağlık Koruma Yaklaşımları Uygulanmalıdır

Yüzme havuzlarının yalnızca mevcut durumu değerlendiren pasif kontrollerle değil, gelecekte oluşabilecek risklere karşı hazırlıklı olacak şekilde yönetilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda, her tesisin kendi QMRA analizlerine dayalı bir risk yönetim planı oluşturması, halk sağlığının uzun vadeli korunması açısından gereklidir. Böylelikle hem halk sağlığının korunmasına hem de sürdürülebilir turizm hizmetlerinin niteliğinin artırılmasına katkı sağlamayı amaçlar.

9. Yüzme Havuzlarında Patojen Kontrolü ve Risk Yönetimi İçin Stratejik Öneriler

Turistik tesislerde kullanılan yüzme havuzlarının halk sağlığı açısından *P. aeruginosa* önemli bir risk faktörü olabileceğini göstermektedir. Bu nedenle, su kalitesinin sürdürülebilir biçimde korunabilmesi için yalnızca rutin dezenfeksiyon uygulamaları yeterli olmamakta; dezenfeksiyon parametrelerinin sürekli ve hassas biçimde izlenmesi zorunlu hale gelmektedir. Özellikle serbest klorun önerilen aralıklarda (1–3 mg/L) muhafaza edilmesi, aynı zamanda dalgalanmaların önlenmesi için düzenli ölçüm ve otomatik dozaj sistemlerinin yaygınlaştırılması büyük önem taşımaktadır (Williams vd. 2012). Bunun yanında, su sıcaklığının belirlenen eşik değerler altında tutulması ve özellikle jakuziler gibi yüksek sıcaklığa sahip tesislerde sıkı kontrol protokollerinin uygulanması önerilmektedir.

Çalışmada elde edilen bulgular, **mevzuat uyumunun tesis tipine göre farklılık gösterebildiğini** ortaya koymaktadır. Bu nedenle, havuz dışı tesisler, jakuziler ve soğuk kaynaklar için ayrı ayrı risk değerlendirmelerinin yapılması ve bu tür tesislere özel denetim protokollerinin geliştirilmesi gerekmektedir.

Özellikle **çoklu bariyer yaklaşımı** kapsamında, klorlama dışında ikincil dezenfeksiyon yöntemlerinin (UV, ozon, ileri oksidasyon süreçleri) devreye alınması ve filtrasyon sistemlerinin etkinliğinin artırılması önerilmektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, QMRA modeli ile elde edilen bulgular; yüzme havuzlarında mikrobiyolojik güvenliğin yalnızca analiz sonuçlarıyla değil, aynı zamanda havuz tasarımı, işletme protokolleri, kullanıcı davranışları ve fizikokimyasal parametrelerle birlikte yönetilmesi gerektiğini göstermektedir. Literatürdeki benzer çalışmalarla karşılaştırıldığında, bu araştırma, otel havuzlarına yönelik QMRA temelli risk değerlendirmesini esas alan az sayıda çalışmadan biri olarak öne çıkmakta ve sektöre bilimsel anlamda özgün bir katkı sunmaktadır.

Sonuç olarak, Antalya'daki turistik otel havuzları özelinde yapılan bu çalışmanın bulguları, **daha sıkı mevzuat denetimleri, sürekli dezenfeksiyon takibi, tesis tipine özgü risk yönetim protokolleri ve çok katmanlı dezenfeksiyon stratejilerinin** uygulanması gerektiğini ortaya koymaktadır. Bu önlemler, sadece bölgesel değil, aynı zamanda uluslararası ölçekte yüzme havuzlarının mikrobiyolojik güvenliğinin artırılmasına katkı sağlayacaktır.

7. KAYNAKLAR

- Alonso, M. L., Fariñas, M. del C., & Arévalo, J. (2021). *Pseudomonas aeruginosa* prevalence in recreational waters of tourist facilities in the Canary Islands (Spain): 2016–2019 study. *International Journal of Environmental Health Research*, 31(7), 791–804. <https://doi.org/10.1080/09603123.2020.1734380>
- Anonim 1: https://www.aeckimya.com.tr/blog-3-havuzun-tarihcesi.html?utm_source [Son erişim tarihi: 01.09.2024]
- Anonim 2: <https://hsgm.saglik.gov.tr/tr/> [Son erişim Tarihi: 05.03.2025]
- Anonim 3: Hiyende Mükemmellik. (2025). Yüzme havuzlarında hijyen. Erişim tarihi 22 Nisan 2025, <https://www.hijyendemukemmellik.com>
- Anonim 4: Saniter. (2025). Havuz suyu kalitesi. Erişim tarihi 12 Mayıs 2025, <https://www.saniter.com.tr>
- Anonim 5: Nano-Lab. (2025). Havuz suyu analizleri. Erişim tarihi 17 Haziran 2025, <https://www.nano-lab.com.tr>
- Atıcı, T. (2015). Kapalı yüzme havuzlarının kullanım yoğunluğu ve su kalitesine etkileri [Yüksek lisans tezi]. Akdeniz Üniversitesi.
- Avrupa Birliği. (2006, 15 Şubat). Directive 2006/7/EC of the European Parliament and of the Council of 15 February 2006 concerning the management of bathing water quality and repealing Directive 76/160/EEC. *Official Journal of the European Union*, L 64/37.
- Balderrama-Carmona, A. P., Gortáres-Moroyoqui, P., Álvarez, L. H., Balderas-Cortés, J. J., Sicaños-Félix, P., Gohil, N., Gijón-Hernández, A., Gutiérrez-Mejía, F., & Gortáres-Moroyoqui, F. P. (2017). Perspectives of quantitative risk assessment studies for *Giardia* and *Cryptosporidium* in water samples. *Water, Air, & Soil Pollution*, 228(5), 185. <https://doi.org/10.1007/s11270-017-3333-5>
- Barna, Z., & Kádár, M. (2012). The risk of contracting infectious diseases in public swimming pools. A review. *Annali dell'Istituto Superiore di Sanità*, 48(4), 374–386. https://doi.org/10.4415/ANN_12_04_08
- Barrett, T. J., Schmidt, A. M., Chen, L., Diaz, R., & Peterson, K. L. (2018). The role of human-associated microorganisms in pool contamination. *Journal of Environmental Microbiology*, 23(4), 225–233.
- Bartram, J., Chartier, Y., Lee, J. V., Pond, K., & Surman-Lee, S. (Eds.). (2007). *Legionella and the prevention of legionellosis*. World Health Organization.
- Bartram, J., Cotruvo, J., Exner, M., Fricker, C., & Glasmacher, A. (Eds.). (2007). *Heterotrophic plate counts and drinking-water safety*. IWA Publishing.
- Bellar, T. A., Lichtenberg, J. J., & Kroner, R. C. (2011). Potassium permanganate as a disinfectant. *Journal American Water Works Association*, 103(2), 34–45.
- Bichai, F., & Smeets, P. W. M. H. (2013). Using quantitative microbial risk assessment to compare risk reduction of drinking water treatment options. *Water Research*, 47(15), 5790–5800. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2013.06.045>

- Bosch, A., & Gómez, F. (2013). Legionella and swimming pools. *Journal of Swimming Pools and Spa*, 5(2), 45-58.
- Centers for Disease Control and Prevention. (1993, Nisan 16). Outbreak of cryptosporidiosis associated with a drinking water supply—Milwaukee, Wisconsin, 1993. *Morbidity and Mortality Weekly Report*, 42(14), 265–266.
- Craik, S. A., Weldon, D., Finch, G. R., Bolton, J. R., & Muñir, M. (2001). Inactivation of *Cryptosporidium parvum* oocysts using medium- and low-pressure ultraviolet radiation. *Water Research*, 35(6), 1387–1398. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(00\)00399-5](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(00)00399-5)
- Dada, A. C., Gyawali, P., Budd, E., Zhou, N. A., & Murray, R. (2020). Quantitative microbial risk assessment (QMRA) of occupational exposure to SARS-CoV-2 in wastewater treatment environments. *Science of The Total Environment*, 740, 140122. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140122>
- Dancer, S. J. (2004). How do we assess hospital cleaning? A proposal for microbiological standards for surface hygiene in hospitals. *Journal of Hospital Infection*, 56(1), 10–15. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2003.09.017>
- Denissen, J., Reyneke, B., Barnard, T., Khan, S., & Khan, W. (2023). Risk assessment of *Enterococcus faecium*, *Klebsiella pneumoniae*, and *Pseudomonas aeruginosa* in environmental water sources: Development of surrogate models for antibiotic resistance genes. *Science of the Total Environment*, 901, 166217. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166217>
- Doménech-Sánchez, A., Laso, E., & Albertí, S. (2024). Prevalence and control of *Pseudomonas aeruginosa* in tourist facilities across the Canary Islands, Spain. *Pathogens*, 13(6), 501. <https://doi.org/10.3390/pathogens13060501>
- Ebrahimi, A., Maleki, A., Gholami, M., & Ahmadidarehsima, S. (2024). Assessment of public health risks associated with exposure to pathogenic bacteria in recreational waters using QMRA. *Heliyon*, 10(5), e06005. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e06005>
- Esfahanian, E., Adhikari, U., Dolan, K., & Mitchell, J. (2019). Construction of a new dose–response model for *Staphylococcus aureus* considering growth and decay kinetics on skin. *Pathogens*, 8(4), 253. <https://doi.org/10.3390/pathogens8040253>
- EPA. (2015). A Water Quality Management Approach to Ensure Safe Drinking Water. U.S. Environmental Protection Agency. Erişim adresi: <https://www.epa.gov>
- Fédération Internationale de Natation. (2013). FINA facilities rules 2013–2017. Lausanne: FINA.
- Fields, B. S., Haupt, T., Davis, J. P., Arduino, M. J., Miller, P. H., & Butler, J. C. (2001). Pontiac fever due to *Legionella micdadei* from a whirlpool spa: Possible role of bacterial endotoxin. *The Journal of Infectious Diseases*, 184(10), 1289–1292. <https://doi.org/10.1086/324211>
- Gholipour, S., Nikaeen, M., Rabbani, D., Mohammadi, F., Manesh, R. M., Besharatipour, N., & Bina, B. (2023). Occurrence of enteric and non-enteric microorganisms in coastal waters impacted by anthropogenic activities: A multi-route QMRA for swimmers. *Marine Pollution Bulletin*, 188, 114716.

- Ghosh, S., & Collins, M. V. (2015). Adenovirus-associated gastroenteritis: A review of the pathogenesis, clinical features, and laboratory diagnosis. *Journal of Clinical Microbiology*, 53(1), 233–238. <https://doi.org/10.1128/JCM.02858-14>
- Hall, A. J., Lopman, B. A., Payne, D. C., Patel, M. M., Gastañaduy, P. A., Vinjé, J., & Parashar, U. D. (2013). Norovirus disease in the United States. *Emerging Infectious Diseases*, 19(8), 1198–1205. <https://doi.org/10.3201/eid1908.130465>
- Hamdy, H. R., Fletcher, E. M., Santos, R., Wang, Y., & Ivanova, N. (2021). Microbial contamination in swimming pools and its health implications. *Environmental Health Perspectives*, 129(5), 055003. <https://doi.org/10.1289/EHP8321>
- Hijnen, W. A. M., Beerendonk, E. F., & Medema, G. J. (2006). Inactivation credit of UV radiation for viruses, bacteria and protozoan (oo)cysts in water: A review. *Water Research*, 40(1), 3–22. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2005.10.030>
- International Organization for Standardization. (2012). Water quality — Sampling — Part 3: Preservation and handling of water samples (ISO Standard No. 5667-3:2012).
- Jamal, R., Mohsin, M., Jehan, N., & ur Rehman, T. (2018). A quantitative microbial risk assessment to evaluate public health risk associated with recreational use of a peri-urban stream contaminated with *E. coli* and *Enterococcus*. *Journal of Water and Health*, 16(4), 533–545. <https://doi.org/10.2166/wh.2018.282>
- Kozak, S., Petterson, S., McAlister, T., Jennison, I., Bagraith, S., & Roiko, A. (2020). Utility of QMRA to compare health risks associated with alternative urban sewer overflow management strategies. *Journal of Environmental Management*, 262, 110309. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110309>
- KUTO Araştırma Yayınları. (2022). Yüzme havuzlarının tabi olacağı sağlık esasları raporu (Rapor No: 2022/1). KUTO Yayınları.
- Lee, S. H., Lee, J. K., Kim, K. K., & Lee, H. J. (2005). The microbiological quality of water in swimming pools and spa pools in Korea. *Journal of Environmental Health Sciences*, 31(5), 371–378.
- Li, X., Mitch, W. A., & Marinas, B. J. (2017). The role of combined UV and ozone treatment in drinking water disinfection. *Environmental Science & Technology*, 51(12), 6781–6789. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b00590>
- Lin, Y. E., Vidic, R. D., Stout, J. E., & Yu, V. L. (2002). Individual and combined effects of copper and silver ions on *Legionella pneumophila*. *Water Research*, 36(16), 443–450. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(01\)0023](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(01)0023)
- Local Fitness Pty Ltd. (2025). Outdoor swimming pool on a sunny day [Fotoğraf]. Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Outdoor_Swimming_Pool_on_a_Sunny_Day.jpg
- Mara, D., Horan, N. (2003). *Water Quality: Guidelines, Standards, and Health*. 2nd ed. London: IWA Publishing.
- Mara, D., & Horan, N. J. (Eds.). (2003). *The handbook of water and wastewater microbiology*. Academic Press.

- Masoud, G., Abbass, A., Abaza, A., & Hazzah, W. (2016). Bacteriological quality of some swimming pools in Alexandria with special reference to *Staphylococcus aureus*. *Journal of the Egyptian Public Health Association*, 91(3), 127–132. <https://doi.org/10.1097/01.EPX.0000489882.59115.a1>
- Mena, K. D., & Gerba, C. P. (2010). Norovirus in recreational waters and its impact on public health. *International Journal of Environmental Health Research*, 20(5), 419–428. <https://doi.org/10.1080/09603123.2010.491857>
- Minnesota Department of Health. (2025). Quantitative microbial risk assessment basics. <https://www.health.state.mn.us/communities/environment/risk/guidance/dwec/basics.html> Erişim Tarihi: 10.06.2025
- Mkhungo, M. C., Kumari, S., Bux, F., & Stenström, T. A. (2024). Molecular detection of aminoglycoside resistance genes in Gram-negative bacteria from environmental waters in South Africa. *Science of The Total Environment*, 912, 169009. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.169009>
- Masoud, S. M., El Sayed, Z. A., & Mahmoud, A. E. (2016). Bacteriological assessment of swimming pools with special reference to *Staphylococcus aureus* in Alexandria, Egypt. *African Journal of Microbiology Research*, 10(29), 1120–1127. <https://doi.org/10.5897/AJMR2016.8035>
- Nwachukwu, E. E., Okorie, V. U., & Okeke, I. N. (2021). Quantitative microbial risk assessment of microbial contamination in public swimming pools in Lagos, Nigeria. *International Journal of Environmental Health Research*, 31(3), 350–365. <https://doi.org/10.1080/09603123.2020.1810604>
- Papadakis, A., Mavridou, A., Richardson, C., & Papadogiannakis, M. (2003). Prevalence of *Pseudomonas aeruginosa* in swimming pools. *Journal of Applied Microbiology*, 94(5), 747–752. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2672.2003.01895.x>
- Papapetropoulou, M., & Vantarakis, A. C. (1998). Detection of adenovirus outbreak at a municipal swimming pool by nested PCR amplification. *Journal of Infection*, 36(1), 101–103. [https://doi.org/10.1016/S0163-4453\(98\)80139-3](https://doi.org/10.1016/S0163-4453(98)80139-3)
- Payne, M. A., Roy, S. L., Beach, M. J., Hlady, W. G., & Cline, J. S. (2002). Outbreak of cryptosporidiosis associated with a swimming pool—Georgia, 2001. *Morbidity and Mortality Weekly Report*, 51(19), 399–402.
- Pica, N., & Boccia, D. (2009). Adenovirus and its potential as a pathogen in water. *Journal of Applied Microbiology*, 106(5), 1437–1446. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2008.04064.x>
- Podewils, L. J., Zanardi Blevins, L., Hagenbuch, M., Itani, D., Burns, A., Otto, C., Blanton, L., Adams, S., Monroe, S. S., Beach, M. J., & Widdowson, M. A. (2006). Outbreak of norovirus illness associated with a swimming pool. *Epidemiology & Infection*, 135(5), 827–833. <https://doi.org/10.1017/S0950268806007479>
- Regli, S., Rose, J. B., Haas, C. N., & Gerba, C. P. (1991). Modeling the risk from *Giardia* and viruses in drinking water. *Journal of the American Water Works Association*, 83(11), 76–84. <https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.1991.tb07386.x>

- Resmî Gazete. (2011, 6 Mart). Yüzme havuzlarının tabi olacağı sağlık esasları hakkında yönetmelik (Sayı: 27829).
- Resmî Gazete. (2019, 1 Haziran). Turizm tesislerinin belgelendirilmesine ve niteliklerine ilişkin yönetmelik (Sayı: 30794).
- Richardson, S. D. (2010). Disinfection by-products: Formation and occurrence in drinking water. In J. O. Nriagu (Ed.), *Encyclopedia of environmental health* (Vol. 2, pp. 110–120). Elsevier.
- Rim, H. J., Kim, H. Y., & Lee, J. K. (2019). Quantitative microbial risk assessment (QMRA) of *Cryptosporidium* and *Giardia* in swimming pools. *Water Research*, 150, 94–101. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.11.049>
- Rose, J. B., & Lisle, J. T. (1997). *Cryptosporidium* in water: Risk assessment and public health implications. *Environmental Health Perspectives*, 105(2), 107–113. <https://doi.org/10.1289/ehp.971052107>
- Ryu, H., Alum, A., & Abbaszadegan, M. (2005). Microbial risk assessment of recreational water quality. *Water Science and Technology*, 52(10–11), 225–232. <https://doi.org/10.2166/wst.2005.0617>
- Schets, F. M., Engels, G. B., & Leenen, E. J. T. M. (2003). *Cryptosporidium* and *Giardia* in swimming-pools in the Netherlands (RIVM Report 250931001). Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM).
- Schets, F. M., Schijven, J. F., & de Roda Husman, A. M. (2011). Exposure assessment for swimmers in bathing waters and swimming pools. *Water Research*, 45(7), 2392–2400. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.01.025>
- Schoen, M. E., & Ashbolt, N. J. (2010). Assessing pathogen risk to swimmers at non-sewage impacted recreational beaches. *Environmental Science & Technology*, 44(7), 2286–2291. <https://doi.org/10.1021/es903523q>
- Smith, R. J., & Lee, D. C. (2020). Environmental factors contributing to pool contamination. *Journal of Public Health*, 32(6), 442–450.
- Tan, C. Y., Zhou, Y., Tan, W. K., Wu, C., Tan, Y. J., & Kek, Y. W. (2014). Quantitative microbial risk assessment of pathogens in a tropical reservoir in Singapore. *Water Practice and Technology*, 10(3), 527–534. <https://doi.org/10.2166/wpt.2015.057>
- Teunis, P. F. M., & Havelaar, A. H. (2000). The Beta Poisson dose-response model is not a single-hit model. *Risk Analysis*, 20(4), 513–520. <https://doi.org/10.1111/0272-4332.204048>
- Thomas, S. E., & Kilvington, S. (2006). *Acanthamoeba* keratitis and swimming pools. *Clinical Infectious Diseases*, 42(9), 1211–1213. <https://doi.org/10.1086/503457>
- Türk Standardları Enstitüsü. (2001). Su kalitesi- Numune alma - Bölüm 1: Numune alma programlarının ve numune alma tekniklerinin tasarımı için kılavuz (TS 5667-1).
- Türk Standardları Enstitüsü. (2006). Yüzme havuzları- Genel kurallar (TS 11899).
- Türkiye Cumhuriyeti Sağlık Bakanlığı. (t.y.). Halk sağlığı genel müdürlüğü. Erişim tarihi 5 Mart 2025

- Türkiye Otelciler Federasyonu. (2023). Yüzme havuzu işletmeleri için sağlık ve güvenlik rehberi. <https://www.turofed.org.tr/dosya/yuzme-havuzu-rehberi.pdf>
- Uluslararası Standartlaştırma Örgütü. (2024). Su kalitesi — Numune alma — Bölüm 3: Su numunelerinin korunması ve taşınması (ISO 5667-3:2024).
- Unger, L. A., Kuhl, S. M., & Roberts, D. A. (2022). Integrating microbial risk management and quantitative microbial risk assessment in public swimming pools. *Journal of Water and Health*, 20(5), 798–809. <https://doi.org/10.2166/wh.2022.014>
- United States Environmental Protection Agency. (2015). Quantitative microbial risk assessment to estimate illness in freshwater impacted by agricultural animal sources of fecal contamination. EPA/600/R-14/307.
- United States Environmental Protection Agency. (2015). Swimming pool and spa disinfection guidelines. EPA 816-F-15-002.
- Verbyla, M. E., Jackson, S. M., & Roberts, R. A. (2020). Assessment of microbial contamination and pathogen removal in public swimming pools. *Environment International*, 137, 105472. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105472>
- Wade, T. J., Arnold, B. F., Schiff, K., Colford, J. M., Weisberg, S. B., Griffith, J. F., & Dufour, A. P. (2003). Impact of fecal contamination on the safety of recreational waters. *American Journal of Public Health*, 93(7), 1109–1113. <https://doi.org/10.2105/AJPH.93.7.1109>
- Wade, T. J., Calderon, R. L., Sams, E., Beach, M., Brenner, K. P., Williams, A. H., & Dufour, A. P. (2003). Rapidly measured indicators of recreational water quality and swimming-associated illness at marine beaches: a prospective cohort study. *Environmental Health*, 2(1), 9. <https://doi.org/10.1186/1476-069X-2-9>
- Waloechnik, J., Obwaller, A., & Aspöck, H. (2001). Acanthamoeba: Biology, pathogenesis, and infection. *European Journal of Clinical Microbiology & Infectious Diseases*, 20(3), 151–157. <https://doi.org/10.1007/s100960000440>
- Wang, Y., Tian, Y., Li, H., Schmidt, A. M., & Chen, L. (2023). Occurrence and risk of antibiotic-resistant Enterococcus and E. coli in hospital wastewater: Evaluation of VBNC state after chlorination. *Science of The Total Environment*, 872, 162188. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162188>
- White, G. C. (2010). White's handbook of chlorination and alternative disinfectants (5. bs.). Wiley.
- Williams, E. J., Porter, R. J., & Edwards, K. J. (2012). Resistance of *Pseudomonas aeruginosa* to chlorination in swimming pool environments. *Journal of Water and Health*, 10(2), 209–217. <https://doi.org/10.2166/wh.2012.001>
- World Health Organization. (2004). Guidelines for drinking-water quality: Volume 1, Recommendations (3rd ed.).
- World Health Organization. (2004). Guidelines for drinking-water quality (3rd ed., Vol. 1).
- World Health Organization. (2006). Guidelines for safe recreational water environments: Volume 2, Swimming pools and similar environments.

World Health Organization. (2016). Quantitative microbial risk assessment: Application for water safety management.

World Health Organization. (2023). Global status report on water, sanitation, hygiene and health.



8. EKLER

1. Yüzme Havuzlarının Sağlık Durumu Esasları İçin Kontrol Parametreleri

Antalya bir turizm kentidir. Dolayısıyla yerli ve yabancı turistlere hizmet veren otel, motel, pansiyon, apart otel, tatil köyü gibi turistik tesisler ve yazlıkçıların siteleri söz konudur. Bu yerlerin hemen hemen hepsinde ise yüzme havuzu vardır.

6 Mart 2011 tarihli 27866 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan ve T.C. Sağlık Bakanlığı tarafından çıkarılan “Yüzme Havuzlarının Tabi Olacağı Sağlık Esasları ve Şartları Hakkında Yönetmelik” ile yüzme amacıyla kullanılan açık ve kapalı yüzme havuzları ile suların hijyenik şartlara uygunluğu, yüzme havuzu suyunun kalite standartlarının belirlenmesi, denetlenmesi ve izlenmesi amaçlanmıştır. Sağlık amaçlı kullanılan kaplıca ve mineralli su ile havuzları ile ticari amaçlı olarak kullanılmayan havuzlar söz konusu yönetmeliğin kapsamı dışında bırakılmıştır (Resmi Gazete, 2011).

Yüzme havuzlarının tabi olacağı sağlık esasları raporu, işletmelerinde yüzme havuzu bulunan otel, motel, pansiyon, tatil köyü gibi turistik tesislerin havuzlarının bakımından ve temizliğinden sorumlu personele, işletme yöneticilerine ve site yöneticilerine yol göstermesi ve bilgilendirmesi maksadıyla “Yüzme Havuzlarının Tabi Olacağı Sağlık Esasları ve Şartları Hakkında Yönetmelik” esas alınarak hazırlanmıştır (KUTO Araştırma Yayınları). Yüzme havuzu suyunun kimyasal nitelikleri aşağıdaki gibi olmalıdır.

TABLO EK-1 Havuz Suyunun Nitelikleri

PARAMETRE	ANALİZ ARALIĞI	BİRİM	SINIR DEĞERLER	
			En az	En çok
pH	Ayda 1 defa	mg/L	6,5	7,8
Amonyum				0,5
Nitrit				0,5
Nitrat				50
Siyanürik Asit ¹				100
Bakır				1
Alüminyum				0,2
Toplam Alkalinite (CaCO ₃)			30	180
Hidrojen Peroksit ²			40	80
Bağlı Klor				0,2
Kapalı Yüzme Havuzu Suyu Serbest Klor ³			1	1,5
Açık Yüzme Havuzu Suyu Serbest Klor ³			1	3
Serbest Klor			0,3	0,6

1: Suyun dezenfeksiyonunda stabilizatörlü klor bileşiklerinin kullanıldığı havuza bakılır.

2: Suyun dezenfeksiyonunda hidrojen peroksitin kullanıldığı havuza bakılır.

3: Suyun dezenfeksiyonunda klor ve klorlu bileşiklerinin kullanıldığı havuza bakılır.

4: Suyun dezenfeksiyonu için, ozon, UV, klordioksit ve diğer dezenfeksiyon sistemlerinin kullanıldığı havuzlara bakılır.

NOT: Serbest klor ölçümleri havuz mahalinde yapılır.

TABLO EK-2 Fiziksel Özellikler

Parametre	Analiz Sıklığı ²	İstenen Değer	
Renk	Ayda 1 defa	P _t /C _o olarak 10 birim	
Bulanıklık	Ayda 1 defa	SiO ₂ veya Jakson birimi olarak 5 birim	
Sıcaklık	Ayda 1 defa	En az	En çok
	Kapalı	26°C	28°C
	Açık	26°C	38°C

TABLO EK-3 Mikrobiyolojik Özellikleri

Parametre	Önerilen Metot ¹	Analiz Sıklığı ²	Sınır Değerler
Toplam koloni (jerm) sayısı	TS EN ISO 6222	Ayda 1 defa	37°C'de 24 saatte en fazla 200 KOLONİ ³ /ml olacaktır.
Toplam koliform bakteri	TS EN ISO 9308 -1		0/100 ml
<i>E.coli</i>	TS EN ISO 9308 -1		0/100 ml
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	TS EN ISO 9308 -1		0/100 ml

1: Laboratuvarlar önerilen metot dışında, referanslarını göstermek şartı ile başka bir metodu kullanabilir.

2: Yüzme havuzu kullanımının yoğun olduğu dönemlerde analiz sıklığı ayda iki defa olmalıdır.

3: CFU Colony Forming Unit (Koloni Oluşturan Birim)

Havuz Suyu Kontrol Süreçleri ve Kullanıcı Bilgilendirme

Havuz sularının sağlık standartlarına uygunluğu, ilgili sağlık birimlerince aylık periyotlarla incelenir. Bu kontrollerde suyun kimyasal, fiziksel ve mikroorganizma seviyeleri değerlendirilir. Denetimler sırasında havuz işletmeleri, yapılan test sonuçlarını yetkililere göstermekle yükümlüdür. Ayrıca, havuzun hizmet verdiği dönem boyunca suyun sıcaklığı, pH derecesi, dezenfektan seviyesi ve mikrobiyolojik analiz verileri, kullanıcıların kolayca erişebileceği bir bilgi panosunda veya dijital ekranlarda sürekli olarak paylaşılmalıdır. Bu uygulama, kullanıcı şeffaflığını sağlamak amacıyla zorunlu tutulmuştur. Bu şekilde hem mevzuata uygunluk sağlanır hem de halk sağlığının korunmasına yönelik önlemler alınmış olur. (Sağlık Bakanlığı Halk Sağlığı Genel Müdürlüğü).

2. Konaklama Tesislerindeki Yüzme Havuzlarının İşletimine İlişkin Yönetmelikler ve Uygulama Prensipleri

Yüzme havuzlarının teknik ve hijyenik standartlara uygun şekilde işletilmesi, halk sağlığının korunması açısından kritik öneme sahiptir. Bu bağlamda, aşağıda belirtilen düzenlemelere titizlikle uyulması gerekmektedir:

1. Personel Yeterlilikleri ve Güvenlik Önlemleri

- İşletmeler, su kimyası ve sağlık konularında eğitilmiş en az lise mezunu bir teknik sorumlu ile sertifikalı cankurtaran istihdam etmekle yükümlüdür.

- Kurtarma ekipmanları (can simidi, kurtarma ipi vb.) ve ilk yardım malzemeleri her an kullanıma hazır şekilde bulundurulmalıdır.

2. Hijyen Protokolleri

- Kullanıcıların havuza girmeden önce duş almaları ve ayak dezenfeksiyonu yapmaları zorunludur.
- Temiz yüzme kıyafetlerinin kullanımı sağlanmalıdır.
- Havuz alanlarında her türlü hayvan varlığı yasaklanmıştır.

3. Fiziksel Standartlar ve Bakım

- Yıllık genel temizlik kapsamında havuz suyu tamamen boşaltılarak dezenfekte edilmelidir.
- Kapalı havuz tesislerinde soyunma alanları dahil olmak üzere kış aylarında uygun ısıtma sağlanmalıdır.
- Çocuk havuzlarının maksimum derinliği 50 cm ile sınırlandırılmış olup, bağımsız filtrasyon sistemine sahip olmalı ve aylık periyotlarla boşaltılarak temizlenmelidir.

Yasal Çerçeve ve Kalite Standartları

Yüzme havuzlarının işletilmesine ilişkin mevzuat, su kalitesi, hijyen ve güvenlik parametrelerini düzenlemektedir. Bu kapsamda:

- **Su Kimyası Parametreleri**
 - pH değerinin 7.2-7.8 aralığında tutulması
 - Serbest klor konsantrasyonunun 1.0-3.0 mg/L seviyesinde korunması
- **Operasyonel Süreçler**
 - Düzenli filtrasyon ve dezenfeksiyon işlemlerinin uygulanması
 - Mikrobiyolojik analizlerin periyodik olarak gerçekleştirilmesi ve sonuçların ilgili mercilere bildirilmesi
- **Kullanıcı Bilgilendirme**
 - Havuz kurallarının ve su kalite parametrelerinin görünür şekilde sergilenmesi

Bu düzenlemeler, bulaşıcı hastalık risklerinin minimize edilmesi ve uluslararası standartların sağlanması amacıyla oluşturulmuştur. Uygulamaların etkin şekilde denetlenmesi, halk sağlığının korunmasında temel unsur teşkil etmektedir.

2.1 Yüzme Havuzlarında Uygulanan Yönetmelik ve Yapılan Analizler

Mikrobiyolojik Analizler

a) Suda Bulunan Patojenler Hakkında Genel Bilgiler

Ilıman bölgelerde suyun doğal ortamında genellikle patojenler bulunmaz. Bunlar çoğunlukla dış kaynaklardan suya taşınarak bulaşan mikroorganizmalardır.

Patojenler üzerine yapılan araştırmalar, 1880 yılından itibaren önemli bir gelişim göstermiştir. Bu dönemde, suyla bulaşan hastalıkların büyük ölçüde mikrobiyolojik kökenli olabileceği düşünülmeye başlanmıştır. 1800'lerin sonları ve 1900'lerin başlarında, tifo ve kolera gibi hastalıklara neden olan patojenlerin özellikle suda aranması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Kısa süre içerisinde şu tespitler yapılmıştır:

- Patojen analizleri uzun zaman aldığından, su kaynaklı risklerin yönetimi ve önleyici tedbirlerin alınması için uygun bir yöntem değildir.
- Analiz edilen su örneklerinin azlığı, patojenlerin sularda düzensiz dağılım göstermesi ve genellikle düşük yoğunlukta bulunması nedeniyle elde edilen sonuçlar, suyun genel durumu hakkında kesin bir yargıya varmayı zorlaştırmaktadır.
- İnsan vücudunda çoğalabilen bu patojenlerin tamamen yok edilmesi gerektiğinden, kabul edilebilir bir risk seviyesini belirlemek mümkün olmamaktadır.

Bu nedenlerden dolayı, 20. yüzyılın başlarında doğrudan patojenleri tespit etmek yerine, onların yokluğunu dolaylı yollarla belirleme yöntemleri geliştirilmiştir.

Bu dolaylı yöntemler belirli varsayımlara dayanıyordu:

1. Su kaynaklı patojenler, sindirim sisteminde çoğalabilen mikroorganizmalardır. Bu nedenle suya bulaşma kaynağının, dışkı yoluyla suya karışan sıcakkanlı hayvan atıkları olduğu düşünülmektedir. Ilıman bölgelerde, bu tür patojenlerin doğal ortamlarda çoğalması beklenmez.
2. Suda bulunan fekal bakteriler, dışkı temelli bir kirlenmenin (fekal kontaminasyon) göstergesi olarak kabul edilebilir.

Mikrobiyolojik Su Kalite Değerlendirme Paradigması

Su kaynaklarının hijyenik durumunun belirlenmesinde, direkt patojen mikroorganizma analizleri yerine indikatör bakteri tayini yaklaşımı uluslararası kabul görmüş bir metodolojidir. Bu stratejinin temel mantığı, fekal kökenli patojenlerin kompleks analiz gerektirmesi ve düşük konsantrasyonlarda bulunma olasılığına karşın, indikatör mikroorganizmaların daha yüksek prevalans göstermesi ve kolay tespit edilebilir olmasıdır.

Bu bağlamda, mikrobiyolojik su kalite izleme protokollerinde iki temel fekal indikatör bakteri grubu öne çıkmaktadır: *E.coli* (termotolerant koliform grubunun spesifik bir üyesi) ve intestinal enterokoklar (fekal streptokoklar olarak da bilinir). Bu indikatörlerin seçilmesinin bilimsel gerekçesi, insan ve sıcakkanlı hayvanların intestinal florasında yüksek yoğunlukta bulunmaları ve çevresel su kaynaklarında uzun süre canlılıklarını koruyamamalarıdır.

Mikrobiyolojik su kalite sınıflandırması, bu indikatör bakterilerin varlığı/yokluğu ve konsantrasyonları temel alınarak yapılmaktadır. Bu sınıflandırma sisteminde sular, fekal kontaminasyon düzeylerine göre kategorize edilmektedir. Rekreatif amaçlı kullanılan yüzme sularının mikrobiyolojik güvenlik değerlendirmelerinde ise bu iki parametrenin kombinasyonu, Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Avrupa Birliği yönetmeliklerinde zorunlu kriterler arasında yer almaktadır.

Bu metodolojik yaklaşımın avantajı, kompleks ve maliyetli patojen analizleri yerine, daha basit, hızlı ve ekonomik testlerle su güvenliği hakkında güvenilir veriler elde edilebilmesidir. Ayrıca, bu iki indikatör parametrenin birlikte değerlendirilmesi, tek parametrelili sistemlere kıyasla daha güvenilir sonuçlar vermektedir.

b) *E.coli* ve Koliform Bakterilerin Tespiti ve Miktar Analizi

E.coli, insan ve hayvan dışkıında bulunan önemli bir bakteridir. Bu nedenle, su kaynaklarındaki fekal kontaminasyonun belirlenmesinde güvenilir bir gösterge olarak kullanılır. Bir su örneğinde *E. coli* tespit edilmesi, bağırsak kökenli patojenlerin varlığına işaret edebilir.

Doğal veya arıtılmamış sularda *E. coli*, uygun koşullarda uzun süre canlı kalabilir. Ancak dezenfeksiyon işlemlerine, özellikle klor karşı hassastır. Örneğin, suda 0,2 mg/L serbest klor bulunması durumunda bakteri etkisiz hale gelir. Klorlamaya dirençli kalan bakteriler ise dağıtım sisteminde çoğalamaz ve birkaç gün içinde yok olur.

Analiz Yöntemi: Membran Filtrasyon Tekniği (TS EN ISO 9308-1)
Bu yöntemde, belirli bir hacimdeki su örneği steril bir membran filtreden geçirilir. Filtre, seçici bir besiyerine yerleştirilir ve belirli sıcaklıklarda inkübasyona tabi tutulur:

- $36^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ve $44^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 'de 21-44 saat arasında bekletilir.
- Laktoz fermentasyonu yapan koloniler sayılarak değerlendirilir.
- Koliform ve *E.coli* varlığı, biyokimyasal testlerle doğrulanır.

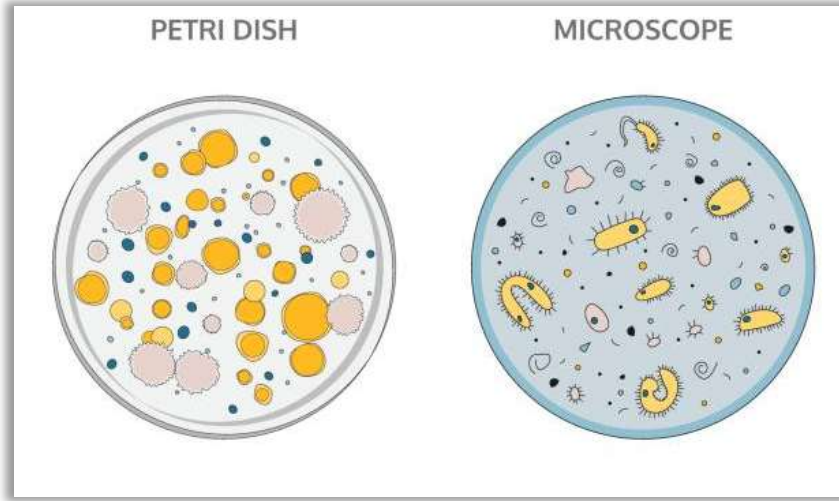
Koliform Bakteriler:

- $36^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 'de laktozu aside çeviren,
- Oksijensiz ortamda yaşayabilen (fakültatif anaerob),
- Oksidaz negatif özellikteki mikroorganizmalardır.

E. coli:

- 44°C ± 1°C’de triptofanı indole dönüştüren,
- Koliform grubuna ait bir bakteridir.

Bu analiz, su kalitesinin değerlendirilmesinde kritik bir rol oynar.



Şekil EK-1 Bakterileri Kolonilerinin Petri Kabı ve Mikroskop Altında Görünümü

TABLO EK-4 Koloni Ekiminde Dikkat Edilecek Hususlar

Uygulama Alanı	Referans Standart
Süspansiyon halindeki maddelerin veya istenmeyen floranın çok miktarda olduğu sular hariç bütün su çeşitleri	TS EN ISO 9308-1 (Nisan 2004) AC: Mart 2011 - Standart deney -
Muhafaza	Analizden önce muhafaza süresi
Steril cam veya polietilen numune şişeleri (dezenfekte edilmiş su için Na tiosülfatlı)	24 saat
Tespit Sınırı	Sonuçların ifade edilmesi
1 KOLONİ	KOLONİ/100ml
Muhafaza Sıcaklığı	Taşıma esnasında: ≤ 10°C sıcaklıkta buzdolabı veya buz akülü izoterm kap İlk 6 saat tolerans: ortam sıcaklığı (<25°C) Laboratuvara getirilmesinden analize kadar: soğuk oda 5°C ± 3°C

TABLO EK-5 Koloni Ekiminde Güvenlik Uygulamaları

Güvenlik ve Önlemler	İyi Laboratuvar Uygulamalarına Uyulması
Atıklar	Bu Kullanıma Ayrılmış Atık Kutularına Atılmaları

c) Materyaller ve Kullanılan Kimyasallar

Mikrobiyolojik analizlerde kullanılan temel laboratuvar malzemeleri arasında steril pipetler, Petri kapları ve inkübatörler bulunmaktadır. Bu malzemeler, mikroorganizmaların izolasyonu ve sayımı sürecinde kritik bir rol oynar.

Seyreltme İşlemi için Kullanılan Çözelti

Numunelerin homojen dağılımını sağlamak ve mikrobiyal yükü seyreltmek amacıyla **tuzlu peptonlu su (TPS)** kullanılır. Bu çözelti, mikroorganizmaların canlılığını koruyarak analiz sürecine uygun bir ortam sunar.

Seçici Besiyeri: Tergitol TTC Laktozlu Agar

Koliform bakterilerin seçici izolasyonu için **Tergitol TTC laktozlu agar** besiyeri tercih edilir. Bu besiyeri, laktoz fermentasyonu yapan bakterilerin tanımlanmasına olanak tanır. Ortama eklenen TTC (trifenil tetrazolium klorür), koloni oluşumunu görsel olarak belirgin hale getirir.

Doğrulamaya Testler için Kullanılan Besiyerleri ve Reaktifler

- 1. Triptofan Soy Agar (TSA):** Genel mikrobiyal üreme için kullanılan besleyici bir ortamdır.
- 2. Triptofan Broth:** İndol testi için kullanılır. *E. coli*'nin triptofanaz enzimi aktivitesini belirlemeye yarar.
- 3. MUG (4-Metilumbelliferyl-β-D-glukuronid) İçeren Besiyeri:** β-glukuronidaz enzim aktivitesini tespit ederek *E. coli* varlığını doğrular.
- 4. Oksidaz Reaktifi:** Bakterilerin sitokrom c oksidaz enzim aktivitesini belirlemek için kullanılır.
- 5. Kovacs Reaktifi:** İndol üretiminin kimyasal tespiti için uygulanır. Pozitif sonuç, kırmızı halka oluşumu ile gözlemlenir.

Bu yöntemler, su ve gıda mikrobiyolojisinde koliform bakterilerin ve özellikle *E. coli*'nin güvenilir bir şekilde tanımlanmasını sağlar. Analiz sürecinde kullanılan malzeme ve kimyasallar, uluslararası standartlara uygun olarak seçilmiştir.

d) Numune Hazırlama ve Membran Filtrasyon Yönteminin Uygulanması

Analiz sürecinin ilk aşamasında, numunenin homojen bir yapıya kavuşması için dikkatli bir çalkalama işlemi uygulanır. Bu işlem, mikroorganizmaların numune içerisinde eşit şekilde dağılımını sağlamak açısından kritik öneme sahiptir. Standardize edilmiş laboratuvar prosedürlerine uygun olarak, belirlenen 100 ml'lik numune hacmi steril membran filtre ünitesinden geçirilir. Filtrasyon işlemi sonrasında, membran filtre dikkatle TTC-Tergitol laktozlu agar besiyeri yüzeyine yerleştirilir. Bu işlem sırasında, filtre altında hava kabarcığı kalmamasına özellikle dikkat edilir, çünkü bu durum mikroorganizma gelişimini engelleyebilecek potansiyel bir problem teşkil eder. Agar yüzeyi ile membran filtre arasında tam temas sağlanması, besin maddelerinin eşit şekilde dağılımı ve dolayısıyla doğru koloni oluşumu için gereklidir. Metodolojinin gereği olarak, aynı işlem ikinci bir petri kutusu için tekrarlanır. Bu ikinci kültür, 44°C'de inkübasyona tabi tutularak, istenmeyen mikroorganizmaların üremesinin inhibe edilmesi ve hedef bakterilerin seçici olarak gelişmesi amaçlanır. Çift kültür uygulaması, analiz sonuçlarının güvenilirliğini artırmak ve yanlış pozitif sonuçların önüne geçmek adına önemli bir kalite kontrol önlemi olarak değerlendirilir. Bu yöntem, membran filtrasyon tekniğinin avantajlarını en üst düzeyde kullanarak, su numunelerindeki mikrobiyal yükün doğru bir şekilde tespit edilmesine olanak tanır. Prosedürün her aşaması, uluslararası standartlara uygun şekilde gerçekleştirilir ve sonuçların tekrarlanabilirliğini garanti altına alınmıştır.

e) İnkübasyon Prosedürü ve Analitik Değerlendirme Aşamaları

Mikrobiyolojik analiz sürecinin kritik aşaması olan inkübasyon işlemi, iki farklı sıcaklık rejiminde paralel olarak yürütülmektedir. Birinci petri kutusu, koliform bakteri gelişimini optimize etmek amacıyla 36±2°C'lik standart inkübasyon sıcaklığında muhafaza edilir. Bu inkübasyonun başlangıç periyodu 21±3 saat olarak belirlenmiş olup, mikrobiyal üremenin yeterli düzeye ulaşması sağlanmıştır. Analitik hassasiyeti artırmak ve geç gelişen kolonilerin tespitini garantilemek için, inkübasyon süresi 44±4 saate kadar uzatılmaktadır. Bu uzatılmış inkübasyon periyodu, iki aşamalı okuma protokolünün ikinci basamağını oluşturmakta ve daha güvenilir kantitatif sonuçlar elde edilmesine olanak tanımıştır. Eş zamanlı olarak, termotolerant mikroorganizmaların selektif izolasyonu için ikinci petri kutusu 44±1°C'de inkübe edilmektedir. Bu yüksek sıcaklık rejimi, özellikle *E.coli* gibi fekal indikatör bakterilerin selektif olarak gelişmesini sağlarken, diğer mikroorganizmaların inhibisyonunu hedeflemektedir. Benzer şekilde, bu petride de 21±3 saatlik primer inkübasyon sonrasında, 44±4 saate varan ek inkübasyon periyodu uygulanarak analitik kapsam genişletilmiştir. Çift sıcaklık ve çift zaman periyodu uygulaması, metodun duyarlılık ve spesifitesini optimize etmekte, aynı zamanda yavaş üreyen mikroorganizma popülasyonlarının da tespit edilebilmesine olanak sağlamaktadır. Bu kapsamlı yaklaşım, uluslararası standartlarla uyumlu olarak su kalitesi değerlendirmelerinde yüksek güvenilirlik sağlamaktadır.

Mikrobiyolojik Koloni Morfolojisi ve Tanımlama Kriterleri

Membran filtrasyon yöntemiyle izole edilen koliform bakteriler, karakteristik koloni morfolojileri ile tanınabilmektedir. Bu mikroorganizmalar tipik olarak, agar besiyerinde sarımsı bir zon (halo) oluşturmakta ve bu alan içinde sarı ile turuncu arasında değişen

pigmentasyon gösteren koloniler geliştirmektedir. Özellikle *Escherichia coli* ve *Enterobacter aerogenes* türleri, belirgin sarı pigmentasyonlarıyla diğer koliformlardan ayırt edilmiştir. Koloni renk spektrumu analizinde, bazı koliform suşlarının atipik renk varyasyonları sergileyebileceği gözlemlenmiştir. Bu kapsamda, yeşilimsi tonlar veya pembe pigmentasyon gösteren koloniler de kayda geçmektedir. Mikrobiyolojik değerlendirmede, sarı halo oluşumu önemli bir primer indikatör olarak kabul edilmekle birlikte, bu morfolojik özellik tek başına tanımlayıcı olmamaktadır. Doğrulama protokolleri kapsamında, sarı halo içeren tüm şüpheli koloniler dikkate alınmalıdır. Tanımlama önceliği, belirgin sarı renkli (merkezinde pas rengi leke içeren veya içermeyen) ve kırmızı-turuncu pigmentasyon gösteren kolonilere verilmektedir. Bununla birlikte, daha nadir görülen yeşilimsi veya pembe koloniler de doğrulama sürecine dahil edilmektedir. Bu kapsayıcı yaklaşım, yalancı negatif sonuçların önlenmesi açısından kritik önem taşımaktadır. Renk kriterlerinin yanı sıra, koloni morfolojisinin diğer özellikleri (kenar yapısı, yükselti, yüzey görünümü gibi) de tanımlama sürecinde destekleyici parametreler olarak değerlendirilmektedir. Bu multidisipliner değerlendirme yöntemi, su mikrobiyolojisi analizlerinde sonuç güvenilirliğini artırmaktadır.

c) Doğrulama Protokolü ve Kantitatif Analiz Yöntemi Sayımı

Mikrobiyolojik analizlerde doğrulama işlemleri için standart prosedür, öncelikle $36\pm 2^{\circ}\text{C}$ inkübasyon sıcaklığında gelişen kolonilerin değerlendirilmesini öngörmektedir. Ancak bu genel kuralın iki istisnai durumu bulunmaktadır: Birinci istisna, $44\pm 1^{\circ}\text{C}$ 'de inkübe edilen petri kutusunda belirgin şekilde daha fazla sayıda tipik koloni gözlemlenmesi durumudur. Bu koşulda, her iki sıcaklık rejiminde gelişen karakteristik koloniler paralel olarak doğrulama sürecine tabi tutulmuştur. İkinci istisnai durum, $36\pm 2^{\circ}\text{C}$ 'deki petri kutusunun 100-150 adedi aşan atipik koloni ile kontamine olması halinde ortaya çıkmaktadır. Bu gibi kontaminasyon vakalarında, analizin güvenilirliğini sağlamak amacıyla yalnızca $44\pm 1^{\circ}\text{C}$ 'de gelişen koloniler doğrulama için seçilmiştir. Doğrulama ekimleri genellikle 44 ± 4 saatlik tam inkübasyon periyodu sonrasında gerçekleştirilmekle birlikte, 21 ± 3 saatlik erken inkübasyon aşamasında membran yüzeyinde aşırı sayıda atipik koloni gelişimi gözlemlenirse, doğrulama işlemi bu erken safhada başlatılmıştır. Seçici doğrulama stratejisi kapsamında, tüm tipik kolonilerin tamamı yerine, istatistiksel olarak anlamlı bir örneklem üzerinde çalışma yapılmaktadır. Bu örnekleme yöntemi, aşağıdaki kriterler dikkate alınarak sistematik şekilde uygulanmaktadır. Bu yaklaşım, analitik verimlilik ile sonuç güvenilirliği arasında optimal denge sağlanmaktadır.

TABLO EK-6 Havuzlara Göre Durum Bilgisi

Tesis	Serbest Klor Ölçümü	Mikrobiyolojik Durum	Dezenfeksiyon Yöntemi	Açıklama
H1 (Genel Havuz)	Ölçüldü (numune alırken ayda 2 defa)	<i>E.coli</i> ve <i>P.aeruginosa</i> düşük seviyede	Klorlama	Serbest klor varlığı ve klora duyarlı bakterilerin baskılanmış olması, standart klorlama yapıldığını gösterir.
HÇ (Çocuk havuzu)	Serbest klor ölçüldü fakat yaz ortasında biraz düşük	<i>P.aeruginosa</i> ve <i>S.aureus</i> artmış	Klorlama– yetersiz dozaj	Yüksek kullanıcı yükü nedeniyle klor seviyesi düşmüş, bu da yetersiz klorlama veya dozaj kontrolü eksikliği göstergesidir.
HÇA (Çocuk aqua havuz)	Klor seviyesi değişken	<i>E.coli</i> ve <i>I.Enterococcus</i> artışı	Klorlama– sürekli yok	Dalgalanan klor değerleri, otomatik dozajlama yerine manuel klorlama yapıldığına işaret edebilir.
Relax havuz	Serbest klor ölçüldü ama pH yüksek genel	<i>P.aeruginosa</i> riski olasılığı	Klorlama– az	pH yükselmesi klorun etkinliğini azaltır, bu da <i>P.aeruginosa</i> gibi türlerin çoğalmasına yol açabilir.

ÖZGEÇMİŞ

Merve YOLDAŞ

ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans	Akdeniz Üniversitesi
2022-2025	Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Antalya
Lisans	Akdeniz Üniversitesi
2018-2022	Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Antalya

MESLEKİ VE İDARİ GÖREVLER

Çevre Mühendisi	
2025	DELTA HAVUZ