



T.C.  
EGE ÜNİVERSİTESİ  
Fen Bilimleri Enstitüsü



Ek-2

# ATIK SULARDAKİ POTANSİYEL EKOLOJİK RİSKİN MEVSİMSEL OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ VE YÖNETİMİ

Yüksek Lisans Tezi

Melike Oya KADER

Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı

İzmir  
2021



T.C.

EGE ÜNİVERSİTESİ

Fen Bilimleri Enstitüsü

**ATIK SULARDAKİ POTANSİYEL EKOLOJİK RİSKİN  
MEVSİMSSEL OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ VE  
YÖNETİMİ**

Melike Oya KADER

Danışman: Doç. Dr. Banu YOHO

**Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı**

Malzeme Mühendisliği Yüksek Lisans Programı

İzmir

2021



Melike Oya KADER tarafından Yüksek Lisans tezi olarak sunulan “Atık Sulardaki Potansiyel Ekolojik Riskin Mevsimsel Olarak Değerlendirilmesi ve Yönetimi” başlıklı bu çalışma EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi'nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 06.08.2021 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

**Jüri Üyeleri:**

**İmza**

**Jüri Başkanı:**

**Doç. Dr. Banu YOHO**

**Raportör Üye:**

**Doç. Dr. Şenol SERT**

**Üye**

**:**

**Doç. Dr. Erkan GÜLER (DEÜ)**



# EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

## ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Atık Sulardaki Potansiyel Ekolojik Riskin Mevsimsel Olarak Değerlendirilmesi ve Yönetimi” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

Melike Oya KADER

01.09.2021



**ÖZET****ATIK SULARDAKİ POTANSİYEL EKOLOJİK RİSKİN  
MEVSİMSEL OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ VE  
YÖNETİMİ**

KADER, Melike Oya

Yüksek Lisans Tezi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Banu YOHO

Eylül 2021, 73 Sayfa

Su yaşam için önemli bir doğal kaynaktır. Günümüzde su kirliliği özellikle kentsel ve endüstriyel atıklar gibi kökenlerden ötürü kritik seviyelere ulaşmıştır. Tekstil ve hazır giyim imalatı; proseste yer alan kimyasal içerikli operasyonlar nedeniyle yüksek miktarda su tüketimine sebep olmakta ve atık su ortaya çıkartmaktadır. Bu nedenle mümkünse tüketime giren temiz suyun tekrar tekrar kullanımı ve atık suyun içeriğinin optimize edilmesi her geçen gün önem kazanmaktadır. Arıtma işlemlerine tabi tutulmuş tekstil atık suyunun yeniden kullanım amaçlı sisteme geri beslenmesinden veya atık olarak deşarj edilmesinden önce geri kazanılmış suyun özellikle kimyasal bileşimlerini ve radyolojik özelliklerini değerlendirmek gerekmektedir.

Bu tez çalışmasında; örme, boyama, bitim, kesim ve dikim prosesleri içeren bir üretim tekstil işletmesinde ortaya çıkan tekstil atık suyunun verileri kullanılarak Potansiyel Ekolojik Risk İndeksine dayalı ekolojik risk analizi yapılmıştır.

Bunun için; iki farklı mevsimde, tesis içerisindeki üç farklı noktadan, herbir noktadan üçer örnek olacak şekilde su numuneleri alınmıştır. Alınan numunelerdeki Ra-226 gibi doğal olarak oluşan radyonüklid ile As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn ve Hg gibi bazı toksik metaller tayin edilmiştir. Ra-226 ölçümü için toplayıcı oda yöntemi kullanılırken, As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn ve Hg ölçümleri ICP-MS ile gerçekleştirilmiştir.

Sonuç olarak, yapılan ağır metal ölçümleri tekstil imalat işletmesi üretim prosesi içerisindeki en yüksek kirliliğin boyahane çıkışı noktasında olduğunu göstermektedir. Benzer şekilde, atık su arıtma tesisi çıkışında deşarj edilen sularda, tesis kuyu suyu girişinden sisteme beslenen temiz sulardan daha yüksek miktarda radyonüklid bulunduğu tespit edilmiştir. Diğer yandan, ekolojik risk indeksi sonuçlarına göre; boyahane çıkışı noktasında bazı ağır metaller için orta seviye risk tespit edilse dahi, üretim prosesinin sonucunda deşarjın gerçekleştiği nokta dşk ekolojik risk seviyesindedir.

**Anahtar Szckler:** Tekstil atık suları, Toksikite, Kirlilik, Ekolojik risk analizi



**ABSTRACT****SEASONAL EVALUATION AND MANAGEMENT OF  
POTENTIAL ECOLOGICAL RISK IN WASTEWATER**

KADER, Melike Oya

MSc in Materials Scienced and Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Banu YOHO

September 2021, 73 Pages

Water is an important natural resource for life. Today, water pollution has reached critical levels, especially due to urban and industrial waste. Textile and apparel manufacturing consumes large amounts of water and generates a significant amount of wastewater during chemical processing. For these reasons, it is becoming more and more important to reuse clean water and to optimize the content of the wastewater. It is necessary to evaluate the chemical composition and radiological properties of the recycled water before it is fed back into the system for reuse or discharged as waste.

In this study, an ecological risk analysis based on the Potential Ecological Risk Index calculation has been performed using wastewater heavy metal concentraton data from a textile manufacturing facility that includes knitting, dyeing, finishing, cutting and sewing processes.

For this purpose, sample collection was made in two different seasons, from three different points within the production facility. Samples were collected in triplicate. Concentrations of the naturally occurring radionuclide Ra-226 and toxic metals As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn and Hg were determined in the samples. . The collector chamber method was used for Ra-226 determination, whereas As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn and Hg were measured with ICP-MS.

It can be concluded from the results of heavy metal measurements that the highest pollution in the production process of the textile manufacturing company is at the output of the dyehouse. Similarly, it has been determined that the water

discharged from the wastewater treatment plant has a higher amount of radionuclides than the clean water fed into the system from the plant well water inlet. On the other hand, according to the ecological risk index results; even if a medium risk is detected for some heavy metals at the dyehouse output, the final discharge point is at a low ecological risk level.

**Keywords:** Textile wastewater, Toxicity, Pollution, Ecological Risk Analysis



## ÖNSÖZ

Günümüzde değişen yaşam koşulları, tüketici tercihlerini ve buna bağlı üretim faaliyetlerini doğrudan etkilemektedir. Her geçen gün artan dünya nüfusunun talepleri uyarınca şekillenen üretim faaliyetlerine bağlı doğal kaynak kullanımı ve atık üretimi doğal dengeyi tehdit eder boyutlara ulaşmıştır. Bunun bir sonucu olarak, en hayati doğal kaynaklardan birisi olan temiz su miktarı gittikçe azalmaktadır. Bu nedenle üreticiler, üretim hacimlerinden ödün vermeksizin temiz su kullanımını azaltma ve atık sularını optimize etme yoluna girmektedirler. Bu çalışmada kumaş ve giysi üretimi prosesleri içerisinde çeşitli noktalardan atık su örnekleri alınarak, proses boyunca bazı ağır metallerin zenginleşmenin tespit edilmesi ile tekstil atık sularının yeniden kullanımına ve potansiyel sürdürülebilirliğine yönelik çıkarımlar yapılması hedeflenmiştir.

Bu tez çalışması parasal yönden Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje Numarası: FYL-2021-22777. Bu desteğin gerçekleşmesini sağlayan Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teşekkürlerimi sunarım.

İZMİR

01/09/2021

Melike Oya KADER



**İÇİNDEKİLER**

	<b><u>Sayfa</u></b>
ÖZET .....	vii
ABSTRACT .....	ix
ÖNSÖZ .....	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	xv
TABLolar DİZİNİ .....	xvii
1. GİRİŞ .....	1
1.1. Ön Bilgi .....	1
1.2. Çalışmanın Amacı .....	3
2. GENEL BİLGİLER .....	6
2.1 Tekstil Üretimi .....	9
2.2 Tekstil Atık Sularının Özellikleri .....	11
2.3. Atık Sularda Radyonüklid .....	16
2.4. Ekolojik Risk İndeksi .....	17
2.5. Önceki Çalışmalar .....	19
2.5.1 Su Kirliliğinin Ekolojik Risk İndeksi ile Takibi .....	19
2.5.2 Sıvı Numunelerde Ağır Metal Tayini .....	22
2.5.3 Sıvı Numunelerde Ra-226 Tayini .....	29
3. GEREÇ VE YÖNTEM .....	31
3.1. Materyal .....	31
3.1.1. Su Numuneleri .....	31
3.2. Metot .....	33
3.2.1. Ra-226 Tayini .....	33
3.2.2. Ağır Metal Tayinleri .....	35
3.2.3. Ekolojik Risk İndeksi Hesaplanması .....	36
4. BULGULAR VE TARTIŞMA .....	37
4.1. Ağır Metal Tayini Analiz Sonuçları .....	37
4.2. Ekolojik Risk İndeksi Hesaplamaları .....	42
4.3. Ra-226 Tayini Analiz Sonuçları .....	47

4.4. Mevsimsel Etkinin Değerlendirilmesi.....	53
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	57
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	62
TEŞEKKÜR.....	73
ÖZGEÇMİŞ.....	74



## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2. 1. 2019 yılı itibari ile tekstil sektör hacmi (EURATEX, 2019) .....	7
Şekil 2. 2. Tekstil ve hazır giyim sektörü istihdam hacmi (EURATEX, 2019) .....	7
Şekil 2. 3. Tekstil ve hazır giyim entegre üretim akış şeması (Bisschops ve Spanjers, 2003) .....	10
Şekil 2. 4. İşlem türlerine göre atık su içeriği (Yaseen ve Scholz, 2019).....	12
Şekil 3. 1: İşletme su şarj akış şeması .....	31
Şekil 3. 2: İşletme su deşarj akış şeması .....	31
Şekil 3. 3: Radyonüklid analizi su numunesi .....	32
Şekil 3. 4: Radyonüklid analizinde kullanılan toplayıcı oda düzeneği .....	33
Şekil 4. 1: Kış dönemi ağır metal ölçüm sonuçları .....	38
Şekil 4. 2: Yaz dönemi ağır metal ölçüm sonuçları .....	41
Şekil 4. 3: Rn-222 konsantrasyon değişimi.....	50
Şekil 4. 4: Ra-226 konsantrasyon değişimi .....	51



**TABLolar DİZİNİ**

<b><u>Tablo</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
Tablo 2. 1: Tekstil atık sularının ağır metal içeriklerine dair bazı çalışmalar .....	15
Tablo 2. 2: Risk indeksi değerlendirme skalası.....	18
Tablo 2. 3: Kontaminasyon seviyesi değerlendirme skalası .....	19
Tablo 2. 4: ICP-OES- ICP-MS ve AAS yöntemlerinin karşılaştırılması (Tyler ve Yvon, 2002) ...	25
Tablo 3. 1: Çalışma kapsamında toplanan su numuneleri.....	32
Tablo 4. 1: Kış döneminde alınan su numunelerinin ağır metal analizi sonuçları .....	37
Tablo 4. 2: Yaz döneminde alınan su numunelerinin ağır metal analizi sonuçları.....	39
Tablo 4. 3: Kış döneminde alınan su numunelerinin ekolojik risk indeksi hesaplamaları sonuçları .....	42
Tablo 4. 4: Kontaminasyon seviyesi değerlendirme ölçeği .....	43
Tablo 4. 5: PERİ değerlendirme ölçeği.....	44
Tablo 4. 6: ERİ değerlendirme ölçeği (Hakanson, 1980).....	45
Tablo 4. 7: ERİ değerlendirme ölçeği (Tokath, 2017).....	45
Tablo 4. 8: Yaz döneminde alınan su numunelerinin ekolojik risk indeksi hesaplamaları sonuçları .....	46
Tablo 4. 9: Su numunelerinde Rn-222 hesaplamaları sonuçları.....	48
Tablo 4. 10: Su numunelerinde Ra-226 hesaplamaları sonuçları.....	49



# 1. GİRİŞ

## 1.1. Ön Bilgi

Su, sınırsız kullanım alanı ile hem bireyler hem de endüstriyel sistemler için vazgeçilmez bir kaynaktır. Su, her ne kadar gezegen üzerinde en bol miktarda bulunan maddelerden birisi olsa da, artan dünya nüfusu ve değişen insan ihtiyaçları sebebiyle gittikçe artan bir hızla tüketilmekte ve temiz suya erişim her geçen gün zorlaşmaktadır.

Birleşmiş Milletler Dünya Su Gelişimi Raporu 2019'a (United Nations World Water Development Report 2019) göre Dünya, su tüketiminin her yıl en az %1 oranında artacağı ve 2050 yılına ulaşıldığında 2019 yılına göre %20-30 daha fazla suya ihtiyaç duyulacağı belirtilmektedir (UNESCO, 2019). Diğer yandan, küresel temiz su ihtiyacı, 2020 yılında ortaya çıkan küresel salgın Covid-19 ile birlikte daha da dramatik bir artış göstermeye başladığından, 2050 yılında çok daha ciddi bir ihtiyaç ile karşılaşılacağı öngörülmektedir. UNESCO'nun 2021 yılında yayınladığı verilere göre, yıllık küresel su tüketiminin %12'lik bölümü kentsel tüketim olup, geri kalan kısmı tarım ve endüstri tarafından kullanılmaktadır (UNESCO, 2021).

Birleşmiş Milletler tarafından 2017 yılında yayınlanan Birleşmiş Milletler Küresel Su Raporu (United Nations Global Water Report), atık suyun yeniden kullanımı konusunda atılan adımların, su kaynaklarının kullanılabilirliği ve korunması konusunda hala yetersiz olduğunu göstermektedir (Roccaro ve Verlicchi, 2018). Dünya Ekonomik Forumu Küresel Risk Raporu'na (World Economic Forum Global Risk Report) göre, imalat sektörü en büyük küresel su tüketicisi olup; küresel su tüketiminin %10'u Asya, %57'si ise Avrupa bölgesinde gerçekleşmektedir ve bu raporda öngörülene göre; eğer su tüketiminde kayda değer bir değişim yaratılmaz ise 2030 yılı itibari ile küresel su kaynaklarında %40 düşüş beklenmektedir (Voulvoulis, 2018). Günümüz imalat sektörü tüketim değerleri göz önüne alındığında, 2030 yılında öngörülen küresel yıllık su tüketimi değerinin en az 6900 milyar m<sup>3</sup> hacime ulaşması beklenmektedir (Maryam vd., 2019).

Her ne kadar toplam yaratılan atık su miktarı içerisinde yeniden kullanılabilen su oranı hala oldukça düşük olsa da, bu oranı arttırmaya yönelik çalışmalar yoğun bir şekilde devam etmektedir (Voulvoulis, 2018). Hochstrat vd. (2006), 1991 - 2025 yılları arasında Avrupa'daki yeniden kullanabilen atık su oranının en azından ikiye katlanacağını öngörmüşlerdir. 2010 yılında 33,7 GL/gün olarak raporlanan günlük su yeniden kullanım miktarının, 2015 yılında 54,5 GL/gün değerine ulaşmış olması da bu öngörüğü doğrulamaktadır. Diğer yandan, bu alandaki en büyük iyileşmelerin sırasıyla Çin, ABD, Orta Doğu, Kuzey Afrika, Doğu Avrupa ve Güney Asya'da gözlemlenmesi Avrupa'nın bu alanda hız kazanması gerektiğini tekrar gözler önüne sermektedir (Voulvoulis, 2018).

Tekstil sektörü; içerdiği örme, dokuma, boyama, baskı, bitim, kaplama, yapıştırma, kesim, dikim gibi faaliyetler esnasında kayda değer miktarlarda temiz su kullanımına sebebiyet vermektedir. İsveç Tekstil Su İnsiyatifi (Sweden Textile Water Initiative) tarafından susamış bir sektör olarak tanımlanan tekstil ve hazır giyim endüstrisinin ihtiyaç duyduğu temiz su ve buna bağlı olarak yarattığı atık su miktarı, tekstil ve hazır giyim ürünlerinde üretim miktarı ile doğru orantılı olarak değişmektedir (2021). Bu nedenle tekstil sektöründe; daha az temiz su kullanımına ihtiyaç duyan üretim yöntemleri geliştirme, mevcut üretim teknolojilerindeki temiz su ihtiyacını azaltabilmek için suyun yeniden kullanımı için çözümler geliştirme ve üretim sonucu deşarj edilen atık suyun içeriğini optimize etme çalışmaları yoğunlaşmıştır. Özellikle; Bangladeş, Çin, Etiyopya, Hindistan ve Türkiye gibi yüksek miktarda tekstil üretimi yapılan ülkelerde tekstil sektörüne yönelik temiz su ihtiyacının azaltılması kritik önem taşımaktadır (Klaseva, 2020).

Mevcut üretim teknolojilerindeki temiz su ihtiyacını azaltabilmek için suyun yeniden kullanımı için çözümler geliştirme ve üretim sonucu deşarj edilen atık suyun içeriğini optimize etme çalışmaları kapsamında tekstil imalatı yapan firmaların, su üzerinde üretim faaliyetlerine bağlı olarak yarattıkları etkiyi ve deşarj ettikleri suyun kalitesini belirlemeleri gerekmektedir. Bunun sonucunda, suyun yeniden kullanılabilirliği veya deşarj güvenliği değerlendirilebilmektedir.

Endüstriyel kullanım suyunda üretim süreci boyunca ortaya çıkabilecek doğal radyonüklid ve ağır metal zenginleşmesi araştırmacılar tarafından mercek

altına alınmaktadır. Ayrıca, üreticilerin atık su yönetimi ile ilgili uyması gereken ulusal ve uluslararası regülasyonlar da bu alanda çalışmalar yapılmasına yönelik ihtiyacı desteklemektedir. Diğer yandan tekstil sektörüne yönelik bu içerikteki çalışmaların oldukça limitli olduğu görülmektedir.

Bu tez çalışmasında; bir tekstil üretim işletmesinin farklı noktalarından alınan su numuneleri üzerinden Ra-226 tayini ile tekstil üretim sürecindeki doğal radyonüklid zenginleşmesi tespit edilmiş, ağır metal içeriği tespit edilerek ekolojik risk indeksi hesaplanmış ve bu tespitlerin yaz ve kış mevsimi üretimlerinde bir farklılık gösterip göstermediği değerlendirilmiştir. Tekstil sektörüne yönelik bu bütünlük yaklaşım tez çalışmasının yenilikçi yönünü oluşturmaktadır.

## **1.2. Çalışmanın Amacı**

Tekstil ve hazır giyim imalat süreçlerinin içerdiği kimyasal içerikli operasyonlar esnasında yüksek miktarda su tüketimi gerçekleştirilmekte ve atık su ortaya çıkartılmaktadır. Arıtma işlemi yapılmamış tipik bir tekstil atık suyunda; işletmede yapılan işlemlere bağlı olarak; sülfür, nitrat, asetat ve krom bileşikler, bakır, arsenik, kurşun, kadmiyum, cıva, nikel, kobalt gibi ağır metaller, hidrokarbon bazlı yumuşatıcılar, alkol, glikol, eter, esteri koten ve aldehit bazlı çözücüler ve çeşitli yağ atıkları bulunabilir (Karthik ve Gopalakrishnan, 2014, Sivaram, Gopal, Barik, 2019). Özellikle As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn ve Hg gibi ağır metallerin atık sudaki konsantrasyonlarının kontrol altında tutulması gerektiğini vurgulayan pek çok ciddi çalışma literatürde yer almaktadır (İleana vd., 2015; Kant, 2012).

Dünya Bankası verilerine göre tekstil ve hazır giyim üretim sektörü dünya çapında günlük 425.000.000 galon (yaklaşık 1,6 Milyar L) seviyelerine ulaşmıştır. Bu kadar büyük bir kirleticiliğin yönetiminde alınabilecek en doğru önlem olarak tüketime giren temiz suyun tekrar tekrar kullanımını hem akademi hem de devletler nezdinde öne çıkartılmaktadır. Diğer yandan yoğun kimyasal kullanımı içeren tekstil ve hazır giyim işletmelerinin atık suları, radyolojik açıdan önemli bir radyonüklid kaynağı olarak değerlendirilebilmekte ve bu alandaki araştırmalara konu olabilmektedir. Arıtma işlemlerine tabi tutulmuş tekstil atık suyunun

yeniden kullanım amaçlı sisteme geri beslenmesinden veya atık olarak deşarj edilmesinden önce geri kazanılmış suyun fiziksel parametrelerini, kimyasal bileşimlerini ve radyolojik özelliklerini değerlendirmek gerekmektedir. Türkiye’de yerleşik olup Avrupa pazarına ihracat yapan tekstil ve hazır giyim üreticileri bu değerlendirme sonuçlarını; hem uluslararası pazara yönelik ZDHC – Tehlikeli Atıkların Sıfır Deşarjı raporları (ZDHC - Zero Discharge of Hazardous Chemicals Global Share), hem de Türk otoritelere sunmak üzere hazırlanan şarj ve deşarj raporları ile beyan etmek ile mükelleftir. Bu raporlarda, numune içeriğinde yer alabilecek bileşenlerin kabul edilebilir aralıkları veya izin verilen üst limitleri tanımlanmıştır.

Bunun yanı sıra, son yıllarda tekstil ve hazır giyim sektörü üreticilerinin B2C olarak hizmet verdiği perakendeci müşterilerin tedarikçilerine yönelik, yasal düzenlemeler ve kısıtların ötesinde sürdürülebilirlik hedefleri belirlediği Join Life ve Key For Life gibi programlar öne çıkmaktadır. Hali hazırda kendi programını oluşturmamış olan küresel perakendeciler ise Global Fashion Agenda, Fashion For Good, Fashion Revolution gibi küresel dokümanlara uyum göstermekte ve tedarikçilerine de bu doğrultuda ek çalışmalar yapma ve dokümante etme zorunluluğu getirmektedir. Bu nedenle bağımsız kuruluşlarca yapılmış ve kamu otoritelerince onaylanmış raporları, yukarıda bahsi geçen program ve dokümanlara yönelik ek çalışmalar ile desteklemek ticari firmalar için oldukça önemlidir.

Tekstil ve hazır giyim imalatı ile ortaya çıkan atık suyun bertarafı ve yeniden kullanımı konusunda öne çıkan ve özellikle yer altı kaynakları tekstil sektörünce oldukça tartışılan arsenik ağır metalince zengin olan Ege Bölgesi gibi bölgelerde faaliyet gösteren işletmeler için önem arz eden giriş ve çıkış sularındaki ağır metal konsantrasyonu kontrolü gerekliliğine bir çözüm geliştirmek amacı ile hayata geçirilen bu tez çalışmasında, kumaş ve giysi üretimi prosesleri içerisinde çeşitli noktalardan atık su örnekleri alınarak, proses boyunca bazı ağır metallerin zenginleşmenin tespit edilmesi ile tekstil atık sularının yeniden kullanımının ve potansiyel sürdürülebilirliğinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Bu tez çalışması kapsamında; örme, boyama, bitim, kesim ve dikim prosesleri içeren bir tekstil işletmesinde üretim faaliyetleri sonucu ortaya çıkan tekstil atık suyunun potansiyel ekolojik risk analizi hesaplanmaktadır. Böylece, tekstil atık suyunda bulunan veya işletmeden deşarj edilen ya da işletmeye yeniden beslenen metallerin oluşturduğu olası riskler ortaya konulmuştur.

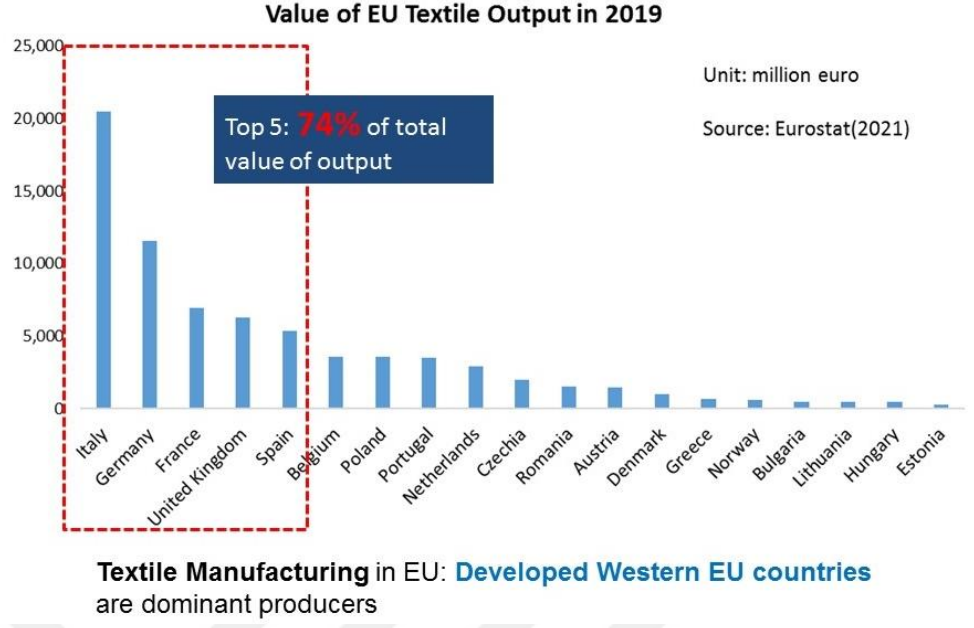


## 2. GENEL BİLGİLER

Bir kaynak veya alanda bulunan su kalitesi; suyun fiziksel, kimyasal ve biyolojik parametrelerine göre değişkenlik göstermekte ve suyun hedeflenen bir kullanıma uygun olup olmadığı bu parametrelere göre belirlenmektedir (Hossain ve Kumar Patra, 2020). Bahse konu parametrelerin, hedeflenen uygulama için belirlenen, izin verilen, kabul edilebilir veya gerekli görülen limitlerin dışında olması halinde, suyun kullanımı çevre veya insan sağlığı riski oluşturabilir (Mukate vd., 2019)

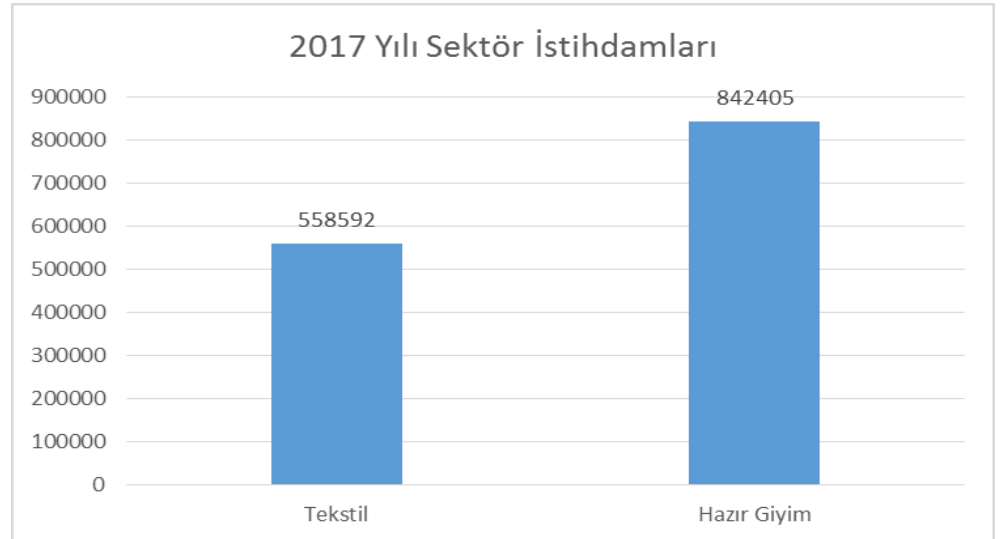
Yoğun su tüketimi ile öne çıkan tekstil sektöründe kullanıma yönelik temiz su ihtiyacı ve yaratılan atık su miktarı, sektör büyümesi ile doğru orantılı olarak seyretmektedir. Bu nedenle tekstil sektörünün su ile ilişkisini anlayabilmek için sektör eğilimlerine bakmak gerekmektedir.

Avrupa Hazır Giyim ve Tekstil Konfederasyonu (The European Apparel and Textile Confederation) EURATEX'in açıklamalarına göre; NACE kapsamında sektör C13 ve C14'te yer alan üreticilerin Avrupa'daki toplam üretim hacmi 2017'de 142,9 Milyar EUR olup bunun 77,4 milyar EUR'luk kısmı tekstil üretiminden gelirken 65,4 milyar EUR'luk kısmı hazır giyim imalatçılarınca yaratılmaktadır (2017). Avrupa'nın hazır giyim ve teknik tekstil sektörlerinde hala öncü pazar konumunda olduğu bu durumda Türkiye 4854 üretici ile Çin'in arkasından en büyük üreticiler arasında yer almaktadır (2019). 2019 yılı Avrupa tekstil pazarının büyüklüğü ise Şekil 2.1'de görülebilir.



**Şekil 2. 1.** 2019 yılı itibari ile tekstil sektör hacmi (EURATEX, 2019)

Tekstil ve hazır giyim sektörü aynı zamanda Avrupa'daki en büyük işgücü pazarlarından birisi konumundadır. EURATEX raporlarına göre büyüme gösteren tekstil ve hazır giyim sektörü istihdamı Şekil 2.2'de görülebilir.



**Şekil 2. 2.** Tekstil ve hazır giyim sektörü istihdam hacmi (EURATEX, 2019)

Tekstil ve hazır giyim imalat sektörünün yarattığı parasal değer ve toplumsal faydanın yanı sıra sektör hacmi de göz önüne alındığında, sektörün her geçen gün artan atık su üretimi ve temiz su kullanımı ihtiyacını, üretimimin

çevresel etkilerini en aza indirgeyecek şekilde karşılamak önem arz etmektedir. Bu amaçla açığa çıkan atık suyun çeşitli fiziksel ve kimyasal filtreleme yöntemleri ile işlenerek mümkün mertebe geri kazanılması çalışmaları hız kazanmaktadır.

Atık su geri kazanımı ve yeniden kullanım süreçleri; kültürel öğeler, sosyal farkındalık, yasal düzenlemeler ve coğrafi konum olarak dört kritik öğeden etkilenmektedir. Avrupa’lı tekstil ve hazır giyim üreticileri bu parametrelere göre değerlendirildiğinde pek çok farklı seviyede etkinlik göstermekte olup, Polonya, Türkiye, İtalya, İspanya ve Yunanistan gibi ülkeler, yüksek temiz su ihtiyacına rağmen, hala zorluklar yaşamaktadır (Maryam vd., 2019). Üreticilerin büyük bir kısmı, çoğu onlarca yıl önce hazırlanmış olan yasal düzenlemeleri uzun yıllardır süregelen yöntemler ile karşılamak ile yetinmektedir (Voulvoulis, 2018). Diğer yandan Avrupa pazarının sürdürülebilirlik hassasiyetinin artması ile özellikle hazır giyim firmaları tarafından imalatçıları da içine alacak şekilde başlatılan Join Life gibi programlar, imalatçıları yasal regülasyonların dikkatlerinin ötesinde önemler almaya ve her türlü doğal kaynak ve kimyasal tüketiminin azaltılması ve mümkünse yeniden kullanılması yönünde çalışma yapmaya zorlamaktadır.

Su Yöneticiliği Paketi (Alliance for Water Stewardship) tarafından geliştirilen ve sürdürülebilir su yönetimi yapan kurum ve kuruluşları belgelendirmek üzere başlatılan Su Yöneticiliği Standardı (Water Stewardship Standard), gönüllük esası ile başvuru yapan üretim firmalarını sertifikasyon için denetim süreçlerine tabii tutmakta ve belirlenen kriterleri sağlayan üreticileri sürdürülebilir su yönetimi konusunda belgelendirmektedir (Chavan, 2018). KOBİ ölçeğindeki firmalara veya gelişmekte olan ülkelerdeki üreticilere bir dezavantaj yaratmamak adına henüz devletler tarafından zorunlu tutulmayan bu uygulamanın, öngörülebilir bir gelecekte küresel markalara tedarik gerçekleştiren üreticiler için müşterileri tarafından özellikle talep edilen bir ister haline gelmesi beklenmektedir.

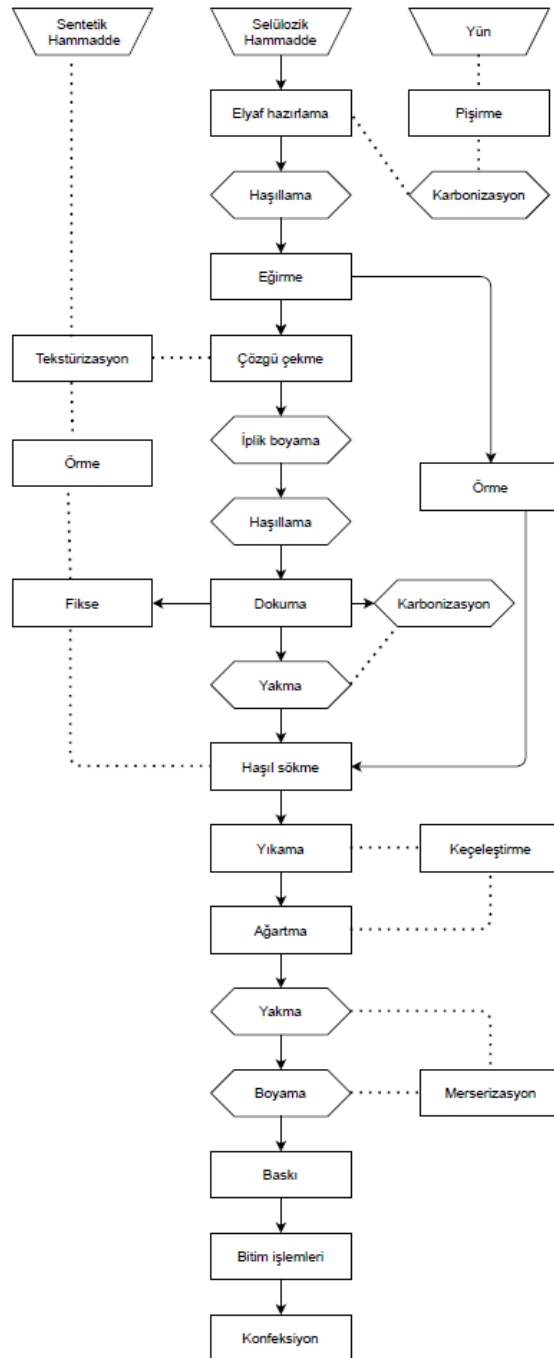
Yukarıda açıklanan regülasyonların tümü ve Inditex, M&S, Tesco, H&M, Decathlon vb. büyük küresel firmaların, kendilerine malzeme ve ürün tedariki gerçekleştiren firmalardan beklentileri doğrultusunda tanımladıkları ek kurumsal standartlar uyarınca başta arsenik olmak üzere çeşitli ağır metallerin ve çevre ve

insan sağlığına karşı risk oluşturabilecek diğer etkenlerin kontrol edilmesi ve buna bağlı risklerin değerlendirilmesi elzemdir.

## 2.1 Tekstil Üretimi

Endüstri atık suları, Avrupa Komisyonu (European Commission) tarafından açılan Beşinci Çerçeve Programı (Fifth Framework Programme) ile birlikte yakın mercek altına alınmaya başlamıştır. Bu program altında yer alan “ Su Kalitesi ve Sürdürülebilir Su Yönetimi” (Sustainable Management and Quality of Water) anahtar aksiyonunun kapsamında başlatılan TOWEF0 araştırma projesi ile tekstil sektörünün atık suyunun özellikleri üzerine derin bir çalışma yapılmıştır (Tarantini v Sara, 2003).

Tekstil ve hazır giyim endüstrisi temel hammaddeden son ürüne kadar ana hatları ile doğal veya sentetik hammaddelerden elyaf üretimi, iplik üretimi, dokuma, örme, dokusuz yüzey üretimi, ısı ile fikse, yıkama, ağartma, boyama, baskı, merserizasyon, fonksiyonel bitim işlemleri, laminasyon, kesim, dikim ve paketleme gibi iş adımlarını içerebilir. Tekstil ve hazır giyim sektöründe yer alabilecek iş adımlarının genel bir akışı Şekil 2.3’de yer almaktadır. Bu sektörde faaliyet gösteren üretim tesislerinde tüm bu işlem adımları entegre olarak bulunabileceği gibi, bir veya birkaçı birbirini takip edecek şekilde de yer alabilir.



**Şekil 2. 3.** Tekstil ve hazır giyim entegre üretim akış şeması<sup>1</sup> (Bisschops ve Spanjers, 2003)

Tekstil ve hazır giyim üretim akışı içerisinde yer alabilecek iş adımlarının her birinde kullanılan makineler, kimyasallar, hammaddeler ve proses

<sup>1</sup> Dikdörtgen ile gösterilen iş adımları sıralı işlemleri temsil etmektedir. Elmas biçimindeki kutular prosesin herhangi bir yerinde yer alabilecek değişken iş adımlarıdır. Kesikli çizgiler ile gösterilen adımlar ise hammaddeye göre değişiklik gösterebilecek işlemleri belirtmektedir.

parametreleri farklılık göstermektedir (Bisschops ve Spanjers, 2013). Bu durum, kullanılan temiz su miktarını ve tesisten deşarj edilen atık suyun içeriğini tamamen değiştirmektedir. Birden fazla iş adımını bir arada gerçekleştiren üreticilerin hem ihtiyaç duydukları su miktarı artmakta, hem de deşarj ettikleri atık suyun içeriği karmaşıklaşmaktadır.

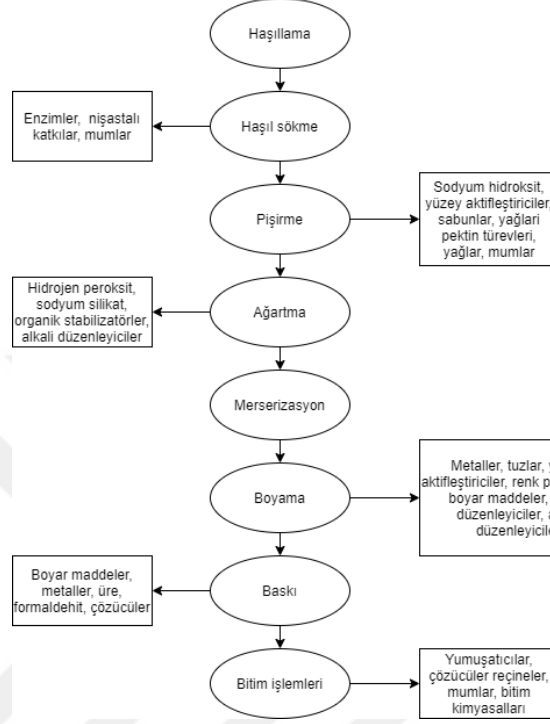
Tekstil boyama adımı, ürünün estetik özelliklerinin belirlendiği adım olması sebebi ile tekstil üretimindeki en önemli iş adımlarından birisidir. Görsel özelliklere yönelik bir adım olması nedeni ile sayısız farklı uygulama ve içerik söz konusu olabilir. Bu iş adımında, pigment vb renk yapıcı maddeler, elyaf veya ipliklere, renk yapıcı madde ile uygulama yapılacak olan tekstil arasındaki etkileşimi arttıracak farklı kimyasallardan da destek olarak tatbik edilir. Üretim tesisi içerisinde bu işlem adımının tamamlandığı nokta itibari ile prosese devam eden su içerisinde bu renk yapıcı madde ve yardımcı kimyasallar kökenli atık maddeler görülmeye başlanır (Carmen ve Daniela, 2012). Bu boya ve kimyasallar tesise bağlı olarak atık su arıtma sistemi girişine ve tesisten deşarj noktasına kadar su dolaşım sistemi içerisinde taşınmaktadır.

Bu boyalar ve kimyasalların, görsel olarak kabul edilemez olmalarına ve doğada parçalandıktan sonra ortaya çıkması muhtemel toksik etkilerine ek olarak, tesis yakınındaki toprağı, tortuyu ve yüzey suyunu kirletmesi ve bu etkilerin birleşerek büyük bir küresel çevre kirliliğı sorunu haline gelmesi söz konusudur. Tekstil atık suyunun doğru bir biçimde takip edilerek arıtılması, arıtılan atık suyun sulama amacıyla veya tekstil fabrikası süreçlerinde yeniden kullanılmasına uygun olacak geri dönüşümünü sağlamak veya çevre ve insan sağlığına uygun bir biçimde deşarj edilmesini garantilemek için gereklidir (Yaseen ve Scholz, 2019). Dolayısıyla tekstil atık suyuna daha yakından bakmak gerekmektedir.

## **2.2 Tekstil Atık Sularının Özellikleri**

Tekstil üretim işletmelerinden deşarj edilen atık sular, boya, metal ve diğer kirleticilerin bir karışımını içermektedir (Yaseen ve Scholz, 2019, Sharma vd., 2007). İmalat akışında yer alan ıslak kimyevi işlem içeren; apre (sizing), haşıl sökme (de-sizing), pişirme (scouring), ağartma (bleaching), merserizasyon (mercerising), boyama (dyeing), baskı (printing) ve bitim (finishing) işlemleri,

birbirinden çok farklı türde kimyasal maddeler ile gerçekleştirildikleri için, proses suyu veya atık su üzerindeki etkileri de oldukça değişkenlik göstermektedir. İmalat akışı içerisinde yer alan işlem türlerine göre ortaya çıkan kirleticilerin bir derlemesi Şekil 2.4'te yer almaktadır.



Şekil 2. 4. İşlem türlerine göre atık su içeriği (Yaseen ve Scholz, 2019)

Haşıl<sup>2</sup> sökme işlemi, pamuklu veya bükümsüz sentetik ipliklerden üretilmiş kumaşlara uygulanan ve kumaşın boya veya baskı işlemine tabii tutulmadan önce üzerindeki haşılın uzaklaştırılması ile boyama veya baskı işlemine hazır hale getirilmesini sağlayan bir işlemdir (Sabır ve Sarpkaya, 2011). Haşılamada kullanılan nişasta veya karboksimetilselüloz gibi maddelerin kumaş yüzeyinden uzaklaştırılması için su, ıslatıcı, enzim vb maddeler içeren bir özel işlem gerçekleştirilmektedir. Bu işlem sonucunda ortaya çıkan atık sularda Kimyasal Oksijen İhtiyacı yükselmekte, atık su içeriğinde, enzim, nişasta ve çeşitli mumsu içerikler görülebilmektedir (Yiğit ve Eren, 2017).

<sup>2</sup> Haşıl: Film oluşturabilen, liflere belirli bir yapışma ve tutunma yeteneğine sahip doğal veya yapay, akışkan özellikte maddeler

Özellikle pamuklu kumaşlar için son derece önemli olan pişirme işlem adımı; pamuğun doğası gereği yüzeyinde bulunan yağ, mum vb maddeleri uzaklaştırarak kumaşları daha sonra yapılacak olan işlemlere hazırlamak için gerçekleştirilen bit tekstil terbiye işlemidir (Benli, 2020). En yaygın kullanılan pişirme tekniği kostik pişirme olarak öne çıksa da, ıslatıcı, indirgen madde, kompleks yapıcı, sabun, tuz ve silikat kullanımlarına da sıklıkla rastlanmaktadır (Yılmaz vd., 2020). Pişirme adımı kullanılan kimyasallar proses sonunda atık suya karışmaktadır.

Ağartma işlemi, optik ağartıcı kimyasallar veya floresans özelliği olan beyazlatma kimyasalları kullanılarak yapılan bir renk açma veya beyazlatma işlemidir (Öner, 2007). Özellikle denim üretiminde yaygın uygulanan bu işlem adımı hidrojen peroksit, lakkaz, titanyum oksit gibi pek çok farklı tipte kimyasal kullanılabilir (Gedik, 2020). Bunun bir sonucu olarak ortaya çıkan tekstil atık suyunda, hidrojen peroksit, sodyum silikat, organik stabilizatörler ve alkali içerik görülmektedir (Yaseen ve Scholz, 2019).

Bitim işlemleri veya apre adımları, tekstil ürünlerinin; görünüm, tutum ve kullanım özelliklerini olumlu yönde geliştirmek için mekanik veya kimyasal yöntemlerle uygulanan işlemlere verilen genel isimdir. Bitim işlemleri; emdirme, çektirme, kaplama, aktarma veya püskürtme yöntemleri ile yapılabilir. Bitim işlemlerinde kullanılan yöntem ve kimyasallar, uygulama yapılacak olan tekstil ürününde kullanılan hammaddeye, hedeflenen uygulamaya veya kullanılan uygulama yöntemine göre değişkenlik gösterebilir (Doğan ve Tanlak, 1998). Bunun bir sonucu olarak, bitim işlemi sonucunda ortaya çıkacak olan atık su içeriğinde yumuşatıcı, çözücü, reçine veya mumsu yapılar görülebilir (Yaseen ve Scholz, 2019).

Boyama, estetik bir görünüm elde etmek amacıyla, boya veya pigmentlerin, elyaf, iplik ve kumaş gibi tekstil malzemeleri üzerine uygulanmasına verilen isimdir (Kant, 2012). Boyama işlemi fiziksel veya kimyasal işlemler ile gerçekleştirilebilmektedir. Baskı ise, tekstil yüzeylerinin belirli bölgelerine boya uygulanması veya belirli bölgelerde bulunan boyaların aşındırılması ile yapılan estetik özellik kazandırma işlemidir. Boyama ve baskı özünde estetik kaygılara

yönelik bir işlem adımı olduğu için kullanılabilir renk ve desenler seçenekleri neredeyse sayısızdır.

Alanyazında yer alan çalışmalara bakıldığında, tekstil imalat süreçlerindeki en yoğun kirletici adım olarak “boyama ve baskı” süreçleri ön plana çıkmaktadır (Yaseen ve Scholz, 2019, Eletta vd., 2018, Pattnaik vd., 2018, Mittersteiner vd., 2017, Dey ve Islain, 2015). Şekil 2.4’te görüldüğü üzere boyama veya baskı işlem adımı sonucunda; metaller, tuzlar, sürfaktanlar, renk pigmentleri, çözücüler, alkali veya asidik içerik gibi kirleticiler ortaya çıkmaktadır. Bu işlem adımlarında ortaya çıkması muhtemel atıklar arasında yer alan çevresel risk yaratan metal elementlerin arasında, krom, cıva ve çinko öne çıkartılsa da özellikle boya kromoforlarında bulunan kobalt ve bakırın da önem arz ettiği belirtilmektedir (Hussein, 2014, Adinew, 2012).

Manekar vd. (2014), nikel ve kadmiyumun çevre ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri nedeniyle, özellikle yoğun tekstil imalatı yapılan coğrafyalarda nikel ve kadmiyum zenginleşmesinin de kontrol altında tutulması gerektiğini savunmuşlardır.

Toksik etkisi yüksek bir ağır metal olan kurşunun konsantrasyon kontrolü yasal düzenlemelerce belirlenen atık su deşarj kriterlerine göre yapılmaktadır. Ancak son yıllarda yapılan araştırmalar değerlendirildiğinde, yasal limitleri karşılıyor olmanın dahi başka kirleticiler ile birleştiğinde çevre üzerinde kayda değer bir etki yaratabileceği çıkarımı yapılabilmektedir (Kishor vd., 2021)

Bunun yanı sıra, özellikle son yıllarda tekstil atık sularındaki arsenik içeriğinin kontrolünün kritik hale geldiği vurgulanmıştır (Liv vd., 2021). Özellikle, Ege Bölgesi gibi bazı coğrafi bölgeler doğal su kaynakları doğal olarak arsenik açısından zengin olduğundan, bu alanlarda yer alan işletmelerin giriş suyunda bu ağır metal tespit edilebilmektedir.

Tekstil atık sularının ağır metal içeriklerinin belirlendiği çeşitli çalışmalarda raporlanan karakterizasyon sonuçları Tablo 2.1’de derlenmiştir.

**Tablo 2. 1:** Tekstil atık sularının ağır metal içeriklerine dair bazı çalışmalar

<b>İçerik (mg/l)</b>	<b>Ghaly vd., 2014</b>	<b>Hussein, 2017</b>	<b>Eswaramoorthi vd., 2008</b>	<b>Manekar vd., 2014a</b>	<b>Manekar vd., 2014b</b>	<b>Imitiazuddin vd., 2012</b>	<b>Joshi ve Satani, 2012</b>	<b>Hussain vd., 2014</b>
Arsenik (As)	< 10		< 10					
Bakır (Cu)	< 10	2-6	< 10	0,03-0,04	0,07-0,11	0,07-5,14	0,17-9,26	0,006-0,311
Civa (Hg)	< 10		< 10					
Çinko (Zn)	< 10	3-6	< 10	0,06-0,027	0,01-0,3	2,36-6,03	2,48-7,32	
Kadmiyum (Cd)	< 10		< 10	0,01-0,02	0,01		0,02-0,74	
Kurşun (Pb)	< 10		< 10					
Nikel (Ni)	< 10		< 10	0,08-0,30	0,07-0,26	0,66-1,53	0,06-1,16	
Krom (Cr)		2-5		0,03-0,05	0,04-0,07	1,05-1,86	1,16-2,2	0,015-7,854

Alanyazında tekstil atık suları ile yapılan çalışmaları ele aldığımızda; araştırmacıların kendi belirledikleri ağır metallere odaklandıkları görülmektedir. Ayrıca, Ghali vd. (2014) ile Eswaramoorthi vd. (2008) tarafından yapılan çalışmalara bakıldığında yasal regülasyonlarca belirlenen limitlere göre raporlama yaptığı görülmüştür. Bu raporlama tekniğinde regülasyona uygunluk görülmekte ancak gerçek durumun net bir fotoğrafı çekilememektedir.

Bu bilgiler ışığında tekstil sektöründe özellikle boyama / baskı işlemi yapan işletmelerde ağır metaller ve onların yarattığı kirlilik üzerine tüm ağır metallerin içeriğine değinecek şekilde bütüncül bir çalışmaya ihtiyaç olduğu söylenebilir.

### **2.3. Atık Sularda Radyonüklid**

Radyonüklidler, doğal ve suni radyonüklidler olarak kategorize edilmektedir. Doğada, uranyum ve toryum bozunum zincirine ait olanlar ve kozmojenik radyonüklidler olmak üzere üç tip radyonüklid bulunmaktadır. Tüm mineraller ve hammaddeler doğal orijinli radyonüklidler içermektedir. Doğal radyonüklidlere maruz kalma seviyeleri normal art ortam seviyesinden önemli derecede yüksek değildir ve radyasyondan korunma açısından endişe verici bir durum söz konusu değildir.

Diğer yandan, bazı endüstriyel faaliyetler, maruz kalmaya sebep olacak derecede zenginleşmeye neden olabilmektedir. Bu duruma sebep olan malzemeler, doğal olarak meydana gelen radyoaktif malzeme; NORM (Naturally Occurring Radioactive Material) olarak tanımlanmaktadır. NORM, çevrede bulunan tüm radyoaktif elementleri potansiyel olarak içeren Doğal Olarak Meydana Gelen Radyoaktif Malzeme'nin kısaltmasıdır. Uranyum, toryum ve potasyum gibi uzun ömürlü radyoaktif elementler ve radyum ve radon gibi bozunma ürünlerinin herhangi biri NORM'a örnek olarak verilebilir. Bu elementler dünya kabuğunda ve atmosferde sürekli mevcuttur. Ra-226 ve Rn-222 de NORM'a bir örnek teşkil etmekte ve araştırmacıların ilgisini çekmektedir.

Rani vd. (2021) bir çalışmasında Hindistan'ın Punjab bölgesinde yer alan Barnala'da bulunan su kuyularından alınan örneklerde Rn-222 tayini ve buna bağlı radyolojik risk değerlendirmesi yapılmıştır. Ölçülen konsantrasyonların  $0,17 \pm 0,01$  ila  $9,84 \pm 0,59$  BqL<sup>-1</sup> aralığında değiştiği ve ortalama değer

$3,37 \pm 0,29 \text{ BqL}^{-1}$  olduğu görülmüştür. Bu değerler Hindistan'da uygulanan  $100 \text{ BqL}^{-1}$  değerindeki kabul edilebilir üst limitin oldukça altında bulunduğundan çalışma kapsamında kritik risk görülmemiştir.

Almeida vd. (2004) bir çalışmasında, Brezilya Rio de Jenerio'nun kıyı bölgesinde yer alan Lagos bölgesindeki yeraltı sularında Ra-226 ve Rn-222, tayinleri gerçekleştirilmiştir. Ra-226 için ölçülen değerler  $<0,002$  ila  $0,492 \text{ BqL}^{-1}$  aralığında değişirken, sadece iki adet numunede saptama limiti olan  $3 \text{ BqL}^{-1}$  değerinden yüksek Rn-222 tespit edilmiştir. Numune toplanan bölge genel olarak incelendiğinde yüksek radyum konsantrasyonunun belirli bir alanda toplandığı görülmüştür. Yüksek radyum içeriği görülen bölgelerdeki su numunelerinin düşük pH seviyesinde olduğu raporlanmıştır. Araştırmacılar bu durumu, topraktaki ferrik oksitler ve hidroksitlerin radyum adsorplama kapasitesinin düşük pH aralığında sınırlanması ile açıklamışlardır.

Endüstriyel faaliyetler sonucu zenginleşen doğal radyonüklidlere ise TENORM - Teknolojik olarak zenginleştirilmiş NORM (Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Material) adı verilmektedir (<http://www.world-nuclear.org>). Endüstriyel faaliyetlerin artması sonucunda, doğal olarak oluşan radyonüklidlerin artması ve atık sulara karışması tüm ekosistemi etkilemektedir. Radyum-226, uranyum-238 bozunum serisinde bulunmakta, doğal olarak meydana gelmekte ve radyotoksitesitesi nedeniyle doza katkıda bulunan ana faktörlerden birisi olarak değerlendirilmektedir. Artan NORM ve TENORM endüstrilerinin bir sonucu olarak, bazı radyonüklidler, özellikle Ra-226 ve toksik metaller gıda zincirine girdiklerinde tüm ekosistemi etkiler. Bu radyonüklidlere ve toksik metallere uzun süre sürekli ve aralıklı olarak maruz kalmak bir sağlık sorununa neden olabilir. Bu nedenle, sularda Ra-226 ve bazı toksik elementlerin konsantrasyonlarının belirlenmesi ve risk analizinin ortaya konması, çevresel risk değerlendirilmesi ve yönetimi açısından önem kazanmaktadır.

## 2.4. Ekolojik Risk İndeksi

Ekolojik risk indeksi (ERİ) ilk defa 1980 yılında Hakanson tarafından ortaya atılmış bir ekolojik indikatör sistemidir (Hakanson, 1980). Sucul sistemlerdeki

tehlike yaratabilecek içeriklerin kantitatif tayin değerleri kullanılarak riskin hesaplanmasına dayanan bu model, 4500'den fazla araştırmacı tarafından kullanılmıştır.

Sedimentolojik yaklaşım ile potansiyel ekolojik risk indeksinin hesaplanması şeklinde özetlenebilecek olan ERİ; kirlilik faktörü, toksik tepki faktörü ve kontaminasyon faktörünün bir fonksiyonu olarak tanımlanmıştır. Hakanson (1980) tarafından detaylandırılmış olan ekolojik risk indeksi hesap yöntemi Denklem 1 ile açıklanmaktadır.

$$RI = \sum_{i=1}^m E_R^i ; E_R^i = T_f^i \times C_f^i \quad (\text{Denklem 1})$$

$E_R^i$  : potansiyel ekolojik risk faktörü

$T_f^i$  : toksik tepki faktörü

$C_f^i$  : kontaminasyon faktörü

Risk indeks sonuçlarının değerlendirilmesi için Hakanson (1980) tarafından açıklanan skala kullanılmıştır. Bu skalaya göre yapılan tanımlama Tablo 2.2'de yer almaktadır.

**Tablo 2. 2:** Risk indeksi değerlendirme skalası

Risk Seviyesi	RI
Düşük	$RI < 150$
Orta	$150 \leq RI < 300$
Önemli	$300 \leq RI < 600$
Yüksek	$RI \geq 600$

ERİ hesaplaması için belirlenmesi gereken, kontaminasyon faktörü ise Denklem 2 ile hesaplanmaktadır.

$$C_f^i = \frac{c_i}{c_R^i} \quad (\text{Denklem 2})$$

$C_f^i$  : kontaminasyon faktörü

$C^i$  : ağır metalin ölçülen endüstriyel faaliyet sonrası konsantrasyonu

$C_R^i$  : aynı metal için endüstriyel faaliyet öncesi referans değeri

Kontaminasyon faktörünün değerlendirilmesi için yapılan tanımlama ise Tablo 2.3'de yer almaktadır.

**Tablo 2. 3:** Kontaminasyon seviyesi değerlendirme skalası

Kontaminasyon Seviyesi	$C_d$
Düşük Kontaminasyon	$C_d < 8$
Orta Seviyede Kontaminasyon	$8 \leq C_d < 16$
Dikkate Alınması Gereken Seviyede Kontaminasyon	$16 \leq C_d < 32$

## 2.5. Önceki Çalışmalar

Bu tez çalışmasına arka plan bilgisi oluşturabilecek olan alanyazın çalışmaları üç alt başlıkta toplanmıştır.

### 2.5.1 Su Kirliliğinin Ekolojik Risk İndeksi ile Takibi

Hakanson (1980) tarafından ortaya atılan ekolojik risk indeksi modeli, çeşitli araştırmacılar tarafından sucül sistemlerin çevresel risklerini değerlendirmek amacı ile kullanılmıştır.

Tokatlı vd. (2021), Emet Deresi Havzası'ndaki sekiz farklı noktadan dokuz aylık bir sürede topladıkları su ve tortu numunelerini kullanarak ERI, biyolojik risk indeksi, jeo-akümülyasyon indeksi, kontaminasyon faktörü ve kirlilik yük indeksi hesaplamaları gerçekleştirmişlerdir. Ni, Cr, As, Zn, Pb, Cu ve Cd tayini için yapılan ICP-OES analizi sonuçları ERI hesaplaması için kullanılmıştır. Hesaplamalar sonucunda Ni ve Cr en yüksek tehlike yaratan ağır metaller olarak öne çıkmış ve havzada yüksek oranda tarımsal faaliyet yapıldığı da göz önüne alınarak konusunda bu durumun dikkate alınması gerektiği belirtilmiştir.

Egbueri'nin (2019) çalışmasında, Ojoto bölgesindeki yeraltı sularındaki kirlenmeyi değerlendirmek amacı ile ERI ve hiyerarşik küme analizi teknikleri birlikte kullanılmıştır. Nijerya'nın güneydoğusunda yer alan bölgedeki farklı noktalardan drenaj ile alınan su numunelerinin ağır metal analizleri için atomik absorpsiyon spektroskopisi kullanılmıştır. Yapılan analizler sonucunda tüm ağır metallerin ayrı ayrı yasal olarak izin verilen konsantrasyonların altında olarak tespit edildiği raporlanmıştır. Ağır metallerin kendi içlerindeki dağılımı en yüksek konsantrasyondan en düşüğe doğru olacak şekilde sırasıyla  $Fe > Pb > Zn > Ni > Cr$  olarak aktarılmıştır. ERI hesaplamaları sonucu, değerlendirilen numunelerin %20'sinin çok yüksek ekolojik risk gösterdiği, %80'inin ise düşük risk sınıfında olduğu belirtilmiştir. Hiyerarşik küme analizi yöntemi ile yapılan değerlendirmeler de bu bulguları desteklemektedir. Araştırmacılar yeraltı sularının insan kullanımına açılmadan önce bir işleme tabii tutulmasını tavsiye etmişlerdir.

Özşeker'in (2019) bir çalışmasında ağır metallerin çevresel etkileri; ERI, sediment zenginleşme faktörü, kirlilik yük indeksi, jeoakümülyasyon indeksi ve sediment kalite rehberi yöntemleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Bu çalışmada, Artvin ili içerisinde yer alan Borçka, Muratlı ve Deriner Baraj Gölleri ve bu göllere dökülen Murgul, Deviskel ve Ardanuç Dereleri olmak üzere altı farklı sahadan toplanan su numuneleri kullanılmıştır. Çalışmada ayrıca, dört mevsimin etkisini göreceğ şekilde 15 aylık bir süreçte örnekleme yapılmıştır. ICP- MS ile Cu ve Pb tayinleri yapılan çalışma sonucunda en yüksek ortalama metal konsantrasyonunun sonbahar mevsiminde Borçka Baraj Gölü'nde ve Murgul Deresi'nde sırasıyla  $Cu=361,9$  ppm,  $Pb= 176,8$  ppm ve  $Cu= 801,3$  ppm,  $Pb= 192,7$  ppm olarak bulunduğu aktarılmıştır. Yapılan ERI hesaplaması sonucunda Cu ve Pb elementlerinin Artvin ili tatlı su ekosistemleri için toksik etki gösterebileceği ve bu ekosistemlerin metal kirliliği açısından orta risk sınıfında yer aldığı raporlanmıştır.

Tokatlı, Çiçek ve Köse'nin (2017) çalışmasında; havza üzerindeki 15 farklı istasyondan yaz döneminde alınan örnekler üzerinden ERI ve biyolojik risk indeksi hesaplanarak Seydisuyu Havzası'nın tarımsal ve endüstriyel yoğunluk kaynaklı kirliliği değerlendirilmiştir. As, Cr, Cu, Pb, Cd, Ni ve Zn ağır metallerinin ICP-OES ile tayin edilmesinin akabinde Hakanson'un (1980) geliştirdiği hesaplama yöntemi kullanılarak ERI değerleri bulunmuştur. Elde

edilen ERI verileri, Seydisuyu Havzası için krom ve kadmiyumun en riskli ağır metaller olduğunu ortaya koymaktadır.

Kükrecer (2016), Erzurum ili dahilinde yer alan Tortum Gölü'nden 2016 yılı Mayıs ayında altı farklı lokasyondan aldığı örnekler üzerinden ERI, zenginleşme faktörü, kontaminasyon faktörü, kirlilik yük indeksi ve ortalama muhtemel etki konsantrasyonu oranı indeksi hesaplayarak gölün toksik durumunu değerlendirmiştir. ACME Analytical Labs, Kanada'da gerçekleştirilen element analizleri sonuçlarına göre ağır metal yoğunlukları sırasıyla Fe> Al> Mn> Zn> Cu> Ni> Cr> As> Pb> Cd> Hg olarak raporlanmıştır. Metallerin ERI hesaplarına göre oluşan sıralama ise Cd> Hg> As> Pb>Ni> Cu >Cr> Zn olarak deklare edilmiştir. Araştırmacıların görüşlerine göre; metallerin ayrı ayrı değerlendirmeleri yapıldığında hiç bir metalin ekolojik risk indeksi ortalaması sınır değeri olan 40'ı aşmamakta ve düşük ekolojik riske işaret etmektedir.

Ghannem vd. (2016) bir çalışmada, Tunus Bizerta'da yer alan ve bir tekstil firmasının atık hatta üzerinde yer alan Kantra Nehri'nden alınan numunelerde Cd, Zn, Cu, Ni ve Pb tayinleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar ışığında; Kantra Nehri kenarındaki tekstil tesisinin deşarj noktasından alınan numunenin en yüksek kontaminasyon faktörüne sahip olduğu ve dikkate alınması gereken seviyede kontaminasyona işaret ettiği belirtilmektedir. Ağır metal konsantrasyonları kendi içerisinde Zn>Cu>Pb>Ni>Cd olacak şekilde değişkenlik gösterse de, tüm ağır metallerin ayrı, dikkate alınması gereken seviyede kontaminasyon seviyesinde yer alan kontaminasyon faktörlerine sahip oldukları raporlanmıştır. Ayrıca, çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar Avrupa genelindeki benzer nehirler olan Po Nehri (İtalya), Tuna Nehri (Avrupa), Tinto Nehri (İspanya), Sean Scheldt Nehri (Belçika) ve Axios Nehri (Yunanistan) verileri ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda, Kantra Nehri'nin kirlilik seviyesinin diğer nehirlerle göre daha yüksek olduğu raporlanmıştır.

Hou vd. (2013), Çin'de yer alan Dalinouer Gölü'nden toplanan su ve yüzey tortusu örneklerinden yola çıkarak ERI ve jeo-akümülyasyon indeksi hesaplamışlardır. 2011 yılı Ağustos ayında gölün sekiz farklı noktasından toplanan örneklerdeki Cu, Pb, Zn ve Cd miktarları atomik absorpsiyon spektroskopisi ile belirlenmiştir. Ölçüm değerleri kullanılarak hesaplanan ERI

sonuçlarına göre, gölün kuzeyine doğru gittikçe artan Cd konsantrasyonu yüksek risk seviyesini işaret etmektedir. Araştırmacılar bu durumun Dalinouer Gölü'ndeki artan kirlilik için ciddiyle önlem alınması gerektiğine işaret ettiğini raporlamışlardır.

### 2.5.2 Sıvı Numunelerde Ağır Metal Tayini

Ağır metaller, suyun yoğunluğundan en az 5 kat daha büyük yoğunluğa sahip, yüksek atom ağırlıklı doğal olarak meydana gelen elementlerdir. Bu metaller, yer kabuğunda bulunan doğal olarak meydana gelen elementler olmasına rağmen, çevresel kontaminasyon ve insanların maruz kalması; madencilik işlemleri, endüstriyel üretim ve kullanım, metal ve metal içeren bileşiklerin evsel ve tarımsal kullanımı gibi suni faaliyetlerden kaynaklanmaktadır (Tchounwou vd., 2012). Arıtma işlemi yapılmamış tipik bir tekstil atık suyunda; işletmede yapılan işlemlere bağlı olarak; sülfür, nitrat, asetat ve krom bileşikleri, bakır, arsenik, kurşun, kadmiyum, cıva, nikel, kobalt gibi ağır metaller, hidrokarbon bazlı yumuşatıcılar, alkol, glikol, eter, ester, ve aldehit bazlı çözücüler ve çeşitli yağ atıkları bulunabilir (Sivaram, Gopal ve Barik, 2019). Özellikle As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn ve Hg gibi ağır metallerin atık sudaki konsantrasyonlarının kontrol altında tutulması gerektiğini vurgulayan pek çok ciddi çalışma literatürde yer almaktadır (Mendoza vd., 2015). Diğer yandan, literatürde yer alan pek çok çalışma tekstil atık suyunun kısıtlayıcı yönetmeliklerin tanımladığı yasal limitler içerisinde değerlendirmektedir. Tekstil sektöründeki ortalama su tüketiminin 100 L/kg seviyelerine ulaştığı göz önüne alındığında endüstriyel tekstil su arıtma proseslerinin sadece yasal limitleri karşılaması küresel sürdürülebilirlik hedefleri için yeterli görülmemekte, yaratılan atık suyun geri kazanılarak üretimde yeniden kullanılabilmesi atık ve doğal kaynak kullanımını azaltmakta daha etkili bir yöntem olarak öne sürülmektedir (Silva vd., 2018). Tekstil endüstrisinde kullanıma uygun suyun kalite gereksinimleri yapılacak olan üretimde kullanılacak ham maddeye göre değişmektedir. Örneğin, pamuk vb doğal elyaflar ile çalışılan prosesler, PES vb sentetik elyaflar ile çalışılan proseslere kıyasla daha yüksek kalitede su kullanımı gerektirmektedir. Diğer yandan çoğu tekstil üreticisi tek tip elyaf ile çalışmadığından yeniden kullanım suyunun en az orta kalitede olması gerekmektedir (AquaFit4Use, 2010).

Mittersteiner, Schmitz ve Barcellos'un (2017) çalışmasında endüstriyel atık suyun geri kazanılarak pamuk boyama prosesinde yeniden kullanılabilirliği test edilmiştir. Bu çalışma sonucunda; tekstil atık suyunun arıtma ve yeniden kazanım işlemlerine tabii tutulmada önceki boya ve istemeyen içerik konsantrasyonunun suyun yeniden kullanılabilirliğini etkilediği raporlanmıştır.

Voelker vd. (2015), antibakteriyel özelliğe sahip tekstil üretimi yapılan, hem sentetik hem de doğal elyaflar ile çalışan tekstil işletmelerinden derlenen proses içi yıkama suyu örneklerini analiz ederek çevresel risk analizi gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlarda çevresel bir risk raporlanmamıştır. Diğer yandan, bu çalışmanın tek bir senaryodan derlenen sonuçları gösterdiği, geneli yansıtmadığı ve vaka çalışması olarak değerlendirilmesi gerektiği beyan edilmiştir.

Tigini vd. (2011) çalışmasında; yün, deri ve pamuk işletmelerinde ortaya çıkan proses atık sularının toksik, genotoksik ve çevresel risk analizleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda; test edilen tüm atık suların toksik kategoride olduğu ve çevresel bir risk oluşturduğu raporlanmıştır. Özellikle boya ve tuz içeren atık sularda sinerjetik etkiden ötürü çevresel riskin arttığı belirtilmiştir.

Ntuli vd (2009), denim ve diğer tekstil ürünlerinin üretim ve bitim işlemlerini gerçekleştiren bir tekstil işletmesinden topladıkları proses atık sularında detaylı karakterizasyon çalışmaları yürütmüştü. Bu çalışma sonucunda, işletme sonuçlarının kabul edilen değer aralığında olduğu ancak işletmenin toplam atık su hacmi değerlendirildiğinde, işletme tarafından yaratılan toplam ekolojik yükün atık suyun belediye pis su toplama sistemine deşarj edilmesi ile bir çevre riski yaratabileceği öngörülmüştür.

Bu bilgiler ışığında; imalat süreçlerinde yaratılan atık suyun istenmeyen içerik cinsinden zenginleşmesini oluşum esnasında takip etmek önem arz ettiği görülmektedir.

Literatürde yer alan sıvı numunelerde ağır metal analizi çalışmalarında öne çıkan analiz yöntemleri arasında İndüktif Olarak Eşleştirilmiş Plazma - Kütle Spektrometresi (ICP-MS), İndüktif Olarak Eşleştirilmiş Plazma – Optik Emisyon

Spektrometresi (ICP-OES) ve Atomik Absorbsiyon Spektroskopisi (AAS) yer almaktadır. Tyler ve Yvon (2002) bu üç yöntemin teknik bir karşılaştırmasını detaylı raporlamışlardır. Bu sonuçlar Tablo 2.4'te özetlenmektedir.



**Tablo 2. 4:** ICP-OES- ICP-MS ve AAS yöntemlerinin karşılaştırılması (Tyler ve Yvon, 2002)

	<b>ICP-MS</b>	<b>ICP-OES</b>	<b>Flame-AAS</b>	<b>GF-AAS</b>
<b>Saptama limiti</b>	Çoğu element için mükemmel	Çoğu element için iyi	Bazı elementler için iyi	Bazı elementler için mükemmel
<b>Örnek girişi</b>	2-6 dk içerisinde tüm elementler	Dakikada 5-30 element	Element başı 15 saniye	Element başı 4 dakika
<b>Lineer dinamik alan</b>	$10^5$ - $10^8$	$10^4$ - $10^8$	$10^3$	$10^2$
<b>Çözünürlük</b>	% 1-3	%0,3-1	%0,1-1	% 1-5
<b>İzotop analizi</b>	Evet	Hayır	Hayır	Hayır
<b>Max çözünmüş katı</b>	0,1-0,4	1-30	0,5-3,0	>30
<b>Element sayısı</b>	>75	>75	>68	>50
<b>Örnek tüketimi</b>	Düşük	Düşük	Çok yüksek	Çok düşük
<b>Rutin kullanım</b>	Kolay	Kolay	Kolay	Kolay
<b>Yöntem geliştirme</b>	Yetenek gerektiriyor	Yetenek gerektiriyor	Kolay	Yetenek gerektiriyor
<b>Refakatsiz çalışma</b>	Evet	Evet	Hayır	Evet
<b>Patlayıcı gaz kullanımı</b>	Hayır	Hayır	Evet	Hayır
<b>İşletme maliyeti</b>	Yüksek	Yüksek	Düşük	Orta
<b>Yatırım maliyeti</b>	Çok yüksek	Yüksek	Düşük	Orta / yüksek

Tablo 2.4'te özetlenen Tyler ve Yvon'un (2002) raporladığı bulgular şu şekilde listelenebilir;

- ICP-MS ve ICP-OES'in saptama limitleri sırasıyla ppt ve ppb seviyelerinde olup AAS'ye göre oldukça yüksektir.
- ICP-MS'te spektral interferansı azaltmak amacı ile doğru gaz seçimi önemlidir. Bu üç yöntemden spektral interferansa en açık olan AAS olarak raporlanmıştır.
- Matris interferansı tüm teknikler için ortak bir nokta olarak değerlendirilmektedir.
- ICP-MS yönteminin Çizgisel Dinamik Aralığı diğer iki yönteme kıyasla çok daha geniş olmasına rağmen karmaşık matris konsantrasyonlarında bu durum dezavantaj yaratabilmektedir.
- AAS tekniği genellikle; 1-3 element içeren numunelerde tercih edilmelidir. ICP-OES'de bu sayı 5-20 aralığına kadar yükselmektedir. ICP-MS ise 6'dan fazla element içeren kompleks analizlerde yüksek etkinlik sergilemektedir.

Tyler ve Yvon'un (2002) bulgularından yola çıkarak bu çalışmada ICP-MS ile ağır metal analizi yapılmasına karar verilmiştir. Alanyazında yer alan sucül örneklerde ağır metal analizi yapılmasına yönelik çalışmalar incelendiğinde en sık kullanılan tekniklerin ICP-MS ve ICP-OES olduğu görülmüş ve önceki çalışmalar bu iki ölçüm tekniğini kapsayacak şekilde derlenmiştir.

Bahadır (2020), Giresun ilindeki çeşitli oto yıkama merkezlerinin atık su içeriğindeki kadmiyum, arsenik, kurşun, nikel ve krom ağır metallerini ICP-MS ile tayin etmiş ve metal konsantrasyonlarını; As ( $15,2 \pm 0,3 \mu\text{g L}^{-1}$ ), Pb ( $26,9 \pm 0,4 \mu\text{g L}^{-1}$ ), Ni ( $31,5 \pm 1,1 \mu\text{g L}^{-1}$ ) ve Cr ( $9,8 \pm 0,4 \mu\text{g L}^{-1}$ ) olarak raporlamıştır. Bu çalışmadaki ölçümlerin doğruluğunun ispatı için numune matrisine ekleme/geri kazanım yöntemi tercih edilmiştir.

Mitroshkov vd. (2019), ABD Detroit'te bulunan ve ilaç ve kişisel kullanım ürünlerine yönelik yoğun atık içeren farklı bölgelerden derlenen çamur örneklerinden topladıkları numunelerde ICP-MS ve GC-MS ile ağır metal tayini

gerçekleştirmiştir. Araştırmacılar, her iki yöntem kullanılarak düşük saptama limitlerinde çalışılabildiğini ancak çamurun yüksek organik içeriği nedeniyle interferanslarla karşılaştığını raporlamıştır.

Li vd. (2015), atık su numunelerindeki Pb, Co, Cu, Ni ve Zn miktarlarının tayini için ICP-MS kullanmıştır. Araştırmacılar tarafından geliştirilen ve ICP-MS'in yüzen organik damla katılaşmasına dayalı dispersif sıvı-sıvı mikroekstraksiyonu ile birlikte kullanılmasına dayanan bu ölçüm yöntemi ile  $0.97-2.18 \text{ ngL}^{-1}$  seviyesinde oldukça düşük bir saptama limiti elde edilmiştir.

Türkmen (2015), Giresun ilinden geçen beş farklı dereeden 12 aylık bir süre içerisinde örnek toplayarak, ICP-MS ile ağır metal tayini gerçekleştirmiştir. Bu çalışma sonucunda; istasyon ve mevsim farkı gözlemeksizin metal seviyeleri; Cd:0,129-5,113, Mn: 0,009- 2,937; Fe: 0,007-1,985; Cu: 0,002-1,344; Zn: 0,002-1,901; Ni: 0,003-0,149; Pb: 0,009- 21,22; Cr: 0,002-0,177; Co: 0,001-0,087 mg/L aralıklarında bulunmuştur. Aksu, Güre ve Batlama istasyonlarından toplanan numunelerde mevsimsel olarak anlamlı bir fark bulunduğu raporlanmıştır.

Kara vd. (2014), İzmir Aliağa ilçesinde yer alan ve içerisinde; iki büyük liman, petrol rafineleri, petrokimya üretim tesisleri ve gübre fabrikası barındıran endüstriyel faaliyet bölgesindeki 22 farklı noktadan iki farklı örnekleme döneminde yüzey deniz suyu örnekleri olarak 48 farklı eser elementin analizini gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada eser element analizi için ICP-MS yöntemi kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, P, Al, Zn, Fe, Se, Mo ve Ba içeriklerinin diğer eser elementlere göre daha yüksek olduğu raporlanmış ve ölçüm sonuçlarının bölgesel veya mevsimsel farklılık göstermediği belirtilmiştir. Elde edilen sonuçlar ayrıca; kirlenme indikatörü, zenginleşme faktörü ve jeoakümülyasyon indeksi gibi risk değerlendirme yöntemleri ile değerlendirilmiştir.

Mulugeta ve Tibebe (2019) çalışmasında, Etiyopya'da yer alan Amhara, Kombolcha ve Debre Brihan bölgelerinde yer alan tekstil işletmelerinden toplanan atık su numunelerinde, Alevli Atomik Absorpsiyon Spektroskopisi ve ICP-OES ile Pb, As, Cr, Zn ve Mn analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar tek yönlü ANOVA analizine tabii tutulmuş ve çalışma kapsamında kullanılan her iki yöntemin sayısal olarak farklı sonuç verdiği görülmüştür. Diğer yandan, her iki yöntemde göre de Cr miktarca en düşük elementken, Debre Birhan bölgesi Pb

cinsinden en zengin bölge olarak ortaya çıkmıştır. Araştırmacılar, atık suların Mn içeriğinin Etiyopya’da belirlenen yasal düzenlemelere göre daha yüksek değerler sergilemeleri nedeniyle her üç bölgede de deşarj öncesi mutlaka arıtma işlemi yapılması gerektiğini raporlamışlardır.

Baralkiewicz vd. (2010) bir çalışmasında, atık su arıtma çamurlarındaki Cd, Cr, Cu, Ni, Pb ve Zn miktarları ICP-OES kullanarak analiz edilmiştir. Çalışmada geliştirilen analiz yöntemi ile bulunan sonuçlar; Cd:  $11,1 \pm 0,8$ , Cr:  $37,7 \pm 3,3$ , Cu:  $563,3 \pm 38,4$ , Pb:  $119,2 \pm 10,1$  ve Zn:  $729 \pm 68,2$   $\text{mgkg}^{-1}$  olarak raporlanmıştır. Araştırmacılar, elde edilen değerlerin konvansiyonel ölçüm yöntemleri ile elde edilen değerler ile örtüştüğünü beyan etmiştir.

Aközcan’ın (2009) çalışmasında Didim ve İzmir bölgesinde körfezden toplanan deniz suyu örneklerinde ağır metal düzeyleri izlenmiştir. Bu kapsamda; Zn, Cu, Fe, Cd, Mn, Ni, Pb, Cr gibi ağır metallerin miktarı ICP-OES ile ölçülmüş ve ağır metal konsantrasyonlarının aylara ve bölgelere bağlı olarak değişimler gösterdikleri saptanmıştır. Araştırmacı, Didim ve İzmir Körfezi’nin çalışılan dönemde incelenen ağır metal konsantrasyonları bakımından biyolojik veya bir tehdit oluşmadığı çıkarımına varmıştır.

Alomary ve Belhadj (2007), Cezair’in Akdeniz kıyılarından toplanan tortu numuneleri üzerinden ICP-OES ile Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb ve Zn analizi gerçekleştirmişlerdir. Geliştirilen yöntem ile gerçekleştirilen ölçüm sonuçlarına göre, elde edilen ortalama metal konsantrasyonları Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb ve Zn için sırasıyla; 1,1; 8,8; 4,7; 1.291,3; 13,9; 5,7 ve 20,4  $\mu\text{g/mL}$ , olarak bulunmuştur. Araştırmacılar, kuzeydoğu kıyılarının en düşük, güneybatı kıyı bölgelerinin ise en yüksek metal seviyesini sergilediğini raporlamış ve bunun güneybatı bölgesinin en yoğun turizm bölgesi olması ile açıklamışlardır.

Zeiner vd. (2007), tekstil atık sularındaki ağır metallerin kalitatif ve kantitatif tayinlerini gerçekleştirmişlerdir. Bu amaçla, İnce Tabaka Kromatografisi, UV Görünür Bölge Spektroskopisi, GF-AAS, ICP-OES, ve ICP-MS tekniklerini karşılaştıran araştırmacılar, analiz için en uygun sonuçların birden fazla yöntemin bir arada kullanılması ile alınabileceğini belirtmişlerdir. Çalışma sonucu olarak, TLC sonrasında ICP-OES veya GFAAS kullanılabileceği belirtilmiştir.

### 2.5.3 Sıvı Numunelerde Ra-226 Tayini

Sıvı numunelerde Ra-226 tayini yapılmasına yönelik pek çok farklı yöntemle yönelik çalışma bulunmaktadır. Alan yazında yer alan sucul örneklerde Ra-226 analizi için oda toplayıcı yöntemi kullanılmasına yönelik çeşitli çalışmalar aşağıda derlenmiştir.

Yarar vd. (2015), İzmir Bayındır bölgesinde yer alan iki farklı kaplıcadan aldıkları jeotermal su örneklerinde Ra-226 ve Rn-222 tayini için oda toplayıcı yöntemini kullanmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre radon konsantrasyonu 3,0 – 13,3 Bq/L, radyum konsantrasyonu ise 0,35 – 1,71 Bq/L aralığında bulunmuş ve radon seviyesinin kış döneminde yaz dönemine göre daha yüksek olduğu raporlanmıştır.

Saç vd. (2014), İzmir Seferihisar bölgesinden toplanan jeotermal sularda oda toplayıcı yöntemi ile radyum ve radon tayinlerini gerçekleştirmişlerdir. Radon ve radyumun aktivite konsantrasyonları sırasıyla 0,6–6,0 ve 0,1–1,0 Bq olarak bulunmuş ve bu verilerin Dünya çapındaki jeotermal su değerleri ile örtüştüğü belirtilmiştir.

Çam Kaynar vd. (2014), Akhisar, Gördes, Gölmarmara, Köprübaşı ve Sındırgı bölgelerinden topladıkları numunelerde radyum aktivitesini belirlemek için oda toplayıcı yöntemini kullanmışlardır. Su numunelerindeki Ra-226 aktivite konsantrasyonunun 0,03 BqL<sup>-1</sup> (0,89pCi/L) ile 0,80 BqL<sup>-1</sup> (21,58pCi/L) arasında değiştiği raporlanmıştır.

Şahin vd. (2013), Kütahya ili içerisindeki farklı noktalardan topladıkları içme suyu numunelerinde oda toplayıcı yöntemi ile radon ve radyum konsantrasyonlarını belirlemişlerdir. Elde edilen bulgulara göre; radon konsantrasyonu 0,1 ve 48,6±1,7 Bq aralığında değişirken radyum konsantrasyonu için ölçülebilen minimum aktivite <0,02–0,7±0,2 Bq olarak yayımlanmıştır.

Tabar vd. (2013), Dikili bölgesi jeotermal sularında Ra-226 ve Rn-222 tayini için oda toplayıcı yöntemini kullanmışlardır. Çalışma sonucunda, radon ve radyum aktivitelerinin sırasıyla 0,3-3,1 BqL<sup>-1</sup> ve 0,10-1,2 BqL<sup>-1</sup> aralıklarında olduğu bulunmuştur. Radyum ve radon aktiviteleri arasında, aralarındaki aile element ilişkisinden doğan, doğrudan bir korelasyon olduğu aktarılmıştır.

Saç vd. (2012), oda toplayıcı yöntemini kullanarak Bakırçay Deresi'nden toplanan su numunelerindeki radyum içeriğini belirlemişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre, radyum aktivitelerinin 0,09 ila 0,36 Bq/L aralığında değişkenlik gösterdiği raporlanmıştır. Elde edilen değerler ulusal regülasyonda geçen limitler ile karşılaştırılmıştır.

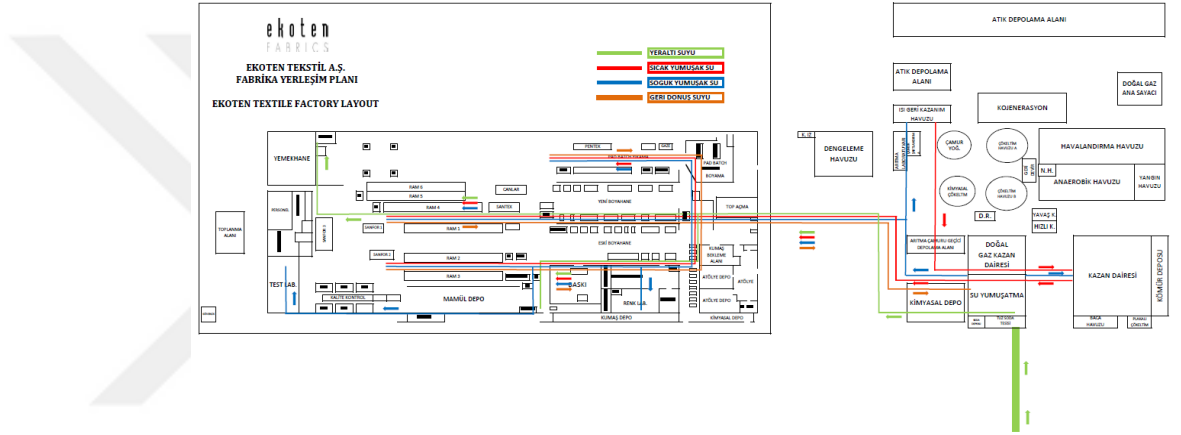


### 3. GEREÇ VE YÖNTEM

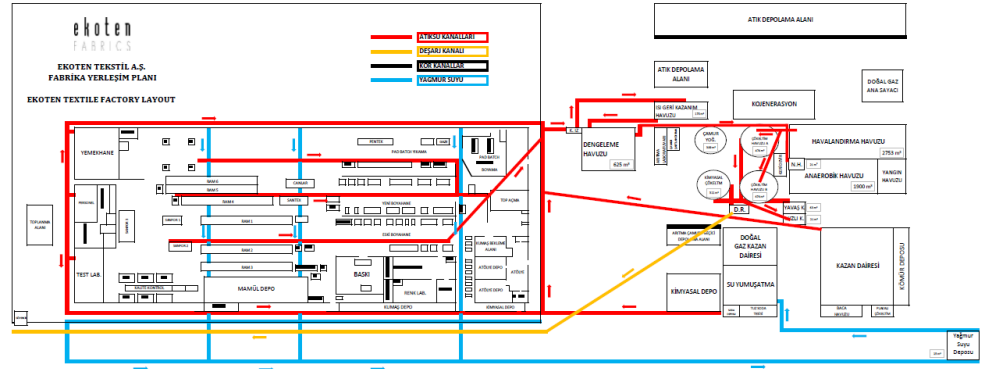
#### 3.1. Materyal

##### 3.1.1. Su Numuneleri

Atık su numune materyali olarak, İzmir ili içerisinde yer alan kumaş ve hazır giyim üretim işletmesi içerisinde yer alan farklı noktalardan alınan atık su örnekleri kullanılmıştır. İşletme içerisindeki su akışını gösteren şarj ve deşarj akış şemaları sırasıyla Şekil 3.1 ve Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3. 1: İşletme su şarj akış şeması



Şekil 3. 2: İşletme su deşarj akış şeması

Örnekleme işlemi tekstil ve hazır giyim imalat tesisinde; kuyu suyu girişi, boyahane çıkışı ve atık su arıtma tesisi çıkışı noktalarından numuneler alınması ile gerçekleştirilmiştir. Örnekleme 4 aylık bir dönemde yapılarak mevsimsellik etkisi ortadan kaldırılmıştır. Toplanan su numunelerinin bir özeti Tablo 3.1’de gösterilmektedir.

**Tablo 3. 1:** Çalışma kapsamında toplanan su numuneleri

	<b>Tesis Kuyu Suyu Girişi</b>	<b>Boyahane Çıkışı</b>	<b>Atık Su Arıtma Tesisi Çıkışı</b>
<b>Yaz</b>	Y.1.1.	Y.2.1.	Y.3.1.
	Y.1.2.	Y.2.2.	Y.3.3.
	Y.1.3.	Y.2.3.	Y.3.3.
<b>Kış</b>	K.1.1.	K.2.1.	K.3.1.
	K.1.2.	K.2.2.	K.3.2.
	K.1.3.	K.2.3.	K.3.3.

Ağır metal analizi için kullanılacak olan su numuneleri 1,5 L hacimli PET şişelere alınarak, sızdırmaz bir şekilde kapatılmıştır. Kış dönemi için alınan tesis kuyu suyu girişi, boyahane çıkışı ve atık su arıtma tesisi çıkışı numuneleri sırasıyla; K1, K2 ve K3 olacak şekilde adlandırılmıştır. Yaz dönemi numunelerinde ise Y1, Y2 ve Y3 kodları kullanılmıştır.

Radyonüklid analizi için toplanan su numuneleri ise alkol ve saf su ile temizlenmiş numune şişelerine 200 ml olacak şekilde hazırlanmıştır. Şişelerin ağız bölgesi sızdırmaz olacak şekilde kapatılmıştır. Radyonüklid analizi için hazırlanmış bir su numunesi örneği Şekil 3.3.'te görülebilir.

**Şekil 3. 3:** Radyonüklid analizi su numunesi

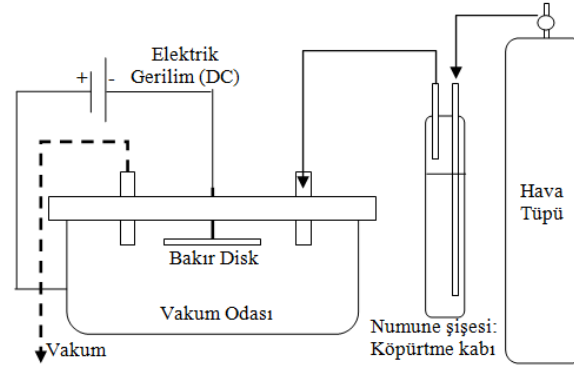
Çalışma kapsamında toplanan tüm su numunelerine koruma amaçlı  $\text{HNO}_3$  ilavesi yapılmıştır.

### 3.2. Metot

Bu tez çalışması kapsamında toplanan numunelerdeki Ra-226 gibi doğal olarak oluşan radyonüklid ile As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn ve Hg ağır metalleri tayin edilmiştir. Ra-226 ölçümü için toplayıcı oda yöntemi kullanılırken, As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn ve Hg ölçümleri ICP-MS ile gerçekleştirilmiştir.

#### 3.2.1. Ra-226 Tayini

Ra-226 tayini için toplayıcı oda yöntemi kullanılmıştır. Ülküm'ün (2016) çalışmasında detaylı olarak açıklanan bu yöntemde, Şekil 3.3.'te görülen şekilde hazırlanarak laboratuvara getirilen örnekler Şekil 3.4'te görülen düzeneğe yerleştirilmiştir.



Şekil 3. 4: Radyonüklid analizinde kullanılan toplayıcı oda düzeneği

Şekil 3.3'te görülen numune şişelerinin bir ucundan şişe içerisine durgun hava basılması ile köpürtme gerçekleştirilerek açığa çıkan radyonüklidlerin vakum odasına dolması sağlanmıştır. Akabinde vakum odası, 4 saat süre ile 600 V büyüklüğünde bir gerilime tabii tutulmuş ve Şekil 3.4'te gösterilen bakır disk üzerine radyonüklidlerin toplanması sağlanmıştır. Toplanan radyonüklidlerin sayılabilmesi için ise ZnS(Ag) dedektörü kullanılmıştır.

Bahsedilen düzenek kurularak yapılan ilk ölçümlerde radon sayımı gerçekleştirilmiştir. Radon sayımları tamamlanan atık su numunelerinin, radyum

ölçümlerinin yapılabilmesi için en az 30 gün beklenerek, radon ve radyum arasındaki radyoaktif dönüşüm reaksiyonunun dengeye gelmesi sağlanmıştır.

Çalışmada kullanılan ZnS(Ag) dedektörü; SAC-4 Eberline Alfa Sintilasyon Dedektörü olup; 52 mm çapına ve 9,5 mm kalınlığına kadar numuneler ile çalışabilmektedir. Dedektörün verimi, 1 inç çaplı Pu-239 kaynağı ve 2π geometrisi için % 80 olarak raporlanmıştır. Dedektör platosunun uzunluğu yaklaşık 200 V ve plato eğimi % 1'den daha azdır (Ülküm, 2016 ve Ülküm, 2017).

Hazırlanan su numunelerinde yapılan radon ölçümleri sonucunda elde edilen sayımlar kullanılarak radon konsantrasyonu hesaplanmıştır. Radon konsantrasyonu hesaplaması, Kumru (2006) tarafından açıklanan Denklem 3 ile gerçekleştirilmiştir.

$$C_{Rn}(pCi/L) = [ (C-B) / (20e^{-\lambda t} ) ] / CF \quad (\text{Denklem 3})$$

Denklem 3'te yer alan ifadelerin açıklamaları şu şekildedir;

**$C_{Rn}(pCi/L)$** : Radon konsantrasyonu. pCi/L cinsinden ifade edilmektedir.

**C**: Brüt sayım değeri

**B**: Arka plan sayım değeri (Background count)

**$\lambda$** :  $^{222}\text{Rn}$  için bozunma katsayısı. Bozunma katsayısı;  $\lambda=0,693/t_{1/2}$  olarak ifade edilmekte olup  $t_{1/2}$  yarı ömür değerini temsil etmektedir. Radon için  $t_{1/2}$  değeri 3,82 gün olarak alınmıştır.

**t**: Örnek alımı ile örneğin kolektör odasına aktarılması arasında geçen süre. Gün cinsinden ifade edilmektedir.

**CF**: Radon standartlarından elde edilen verilerden yararlanılarak belirlenen kalibrasyon faktörü. 0,087 cpm/pCi/L olarak alınmıştır.

Radon ölçümleri gerçekleştirildikten 30 gün sonra yapılan radyum ölçümleri sonucunda elde edilen sayımlar kullanılarak radyum konsantrasyonu hesaplanmıştır. Radyum konsantrasyonu hesaplaması, Kumru (2006) tarafından açıklanan Denklem 4 ile gerçekleştirilmiştir.

$$C_{Ra}(pCi/L) = [(C-B) / 20] / CF \times G \times A \quad (\text{Denklem 4})$$

Denklem 4'te yer alan ifadelerin açıklamaları şu şekildedir;

**$C_{Ra}(pCi/L)$** : Radyum konsantrasyonu. pCi/L cinsinden ifade edilmektedir.

**C**: Brüt sayım değeri

**B**: Arka plan sayım değeri (Background count)

**CF**: Radon standartlarından elde edilen verilerden yararlanılarak belirlenen kalibrasyon faktörü. 0,087 cpm/pCi/L olarak alınmıştır.

**G**:  $^{226}\text{Ra}$ 'ya bağlı olarak oluşan  $^{222}\text{Rn}$  faktörü.  $G=1/(1-e^{-\lambda t_1})$  denklemi ile hesaplanmaktadır.

**A**:  $1/(e^{-\lambda t_2})$  ile hesaplanan parametredir.

**$\lambda$** :  $^{222}\text{Rn}$  için bozunma katsayısı. Bozunma katsayısı;  $\lambda=0,693/t_{1/2}$  olarak ifade edilmekte olup  $t_{1/2}$  yarı ömür değerini temsil etmektedir. Radon için  $t_{1/2}$  değeri 3,82 gün olarak alınmıştır.

**$t_1$** : Örnek alımı ile örneğin kolektör odasına aktarılması arasında geçen süre. Gün cinsinden ifade edilmektedir.

**$t_2$** : Deemenasyon ile sayım işlemi arasında geçen süre. Saat cinsinden ifade edilmekte olup bu çalışmada 4 saat olacak şekilde alınmıştır.

### 3.2.2. Ağır Metal Tayinleri

Ağır metal tayinleri kapsamında, atık sulara yer alan As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn ve Hg içerikleri, Dokuz Eylül Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü Atıksu Laboratuvarı'nda bulunan, Çevre Analizleri Yeterlilik Belgesi'ne sahip ve Türk Akreditasyon Kurumu tarafından AB-0123-T akreditasyon numarası ile TS EN ISO / IEC 17025 standardına göre akredite edilmiş Agilent 7700 X ICP-MS cihazı ile ölçümlenmiştir. ICP- MS cihazının kuadrupul sistemi girişimleri engellediğinden, arsenik veya cıva gibi elementlerin eser miktarlardaki analizlerinde hidrür kiti gibi yardımcı unsurların kullanımına ihtiyaç duyulmamış, tüm elementler aynı koşullarda ölçümlenmiştir.

ICP-MS analiz yöntemi, değerlendirilen örneklerin yüksek sıcaklıktaki bir plazmaya, gönderilerek moleküler bağların kırıldığı ve atomların iyonlaştırıldığı bir analitik tekniktir. ICP-MS çalışma prensibi uyarınca; bu tez çalışmasında kullanılan atık su numuneleri sıvı formda olduğundan, doğrudan örnek giriş sistemi aracılığıyla nebulizöre ve spreyci odacığına gönderilmiştir. Bu bölümdeki yüksek hızlı argon akışı sayesinde sisleşen numunedeki çok küçük damlacıklar argon plazmasına taşınırken, diğer damlacık ve parçacıklar doğrudan atığa gitmiştir. 6000 K civarında yüksek sıcaklıklardaki plazma, atık su örneklerinden gelen çok küçük damlacıkları buharlaştırmış ve iyonize etmiştir. Oluşan iyonlar, atmosferik basınçtan örnekleyici ve süzücü konularla yüksek vakumlu ortama geçerek iyon akımı oluşturmuş ve oluşan akım iyon lensleri vasıtasıyla quadrupola odaklanarak kütle filtresine yönlendirilmiştir. ICP-MS analiz yönteminde oluşan iyonlar, kütle/yük oranına göre ayrılarak ölçülmüş ve veriler cihaz tarafından kayıt altına alınmıştır.

ICP-MS cihazının kalibrasyonu için High Purity Standard tarafından üretilen ICP-MS Multi-Component Setup Solution (SS) ve CPI International tarafından tedarik edilen Continuing Calibration Verification Standard (CCV) kullanılmıştır. Her bir ölçüm öncesi cihaz ilk olarak açıldığında standart solüsyonlarla kalibrasyon işlemi yapılmış ve 5-8 noktalı kalibrasyon eğrisi oluşturulmuştur. Ölçüm sonuçları bu kalibrasyon eğrisi uyarınca değerlendirilerek konsantrasyon değerleri hesaplanmıştır.

### **3.2.3. Ekolojik Risk İndeksi Hesaplanması**

Ağır metallere bağlı ekolojik risk değerlendirmesinde, detayları 2.4, Ekolojik Risk İndeksi başlığında açıklanan, Hakanson (1980) tarafından geliştirilen sedimentolojik yaklaşım ile ekolojik risk indeksi hesaplanması yöntemi kullanılmıştır.

Potansiyel ekolojik risk faktörleri As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn ve Hg'dan elde edilen olan konsantrasyonlara göre hesaplanarak değerlendirilmiştir.

## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 4.1. Ağır Metal Tayini Analiz Sonuçları

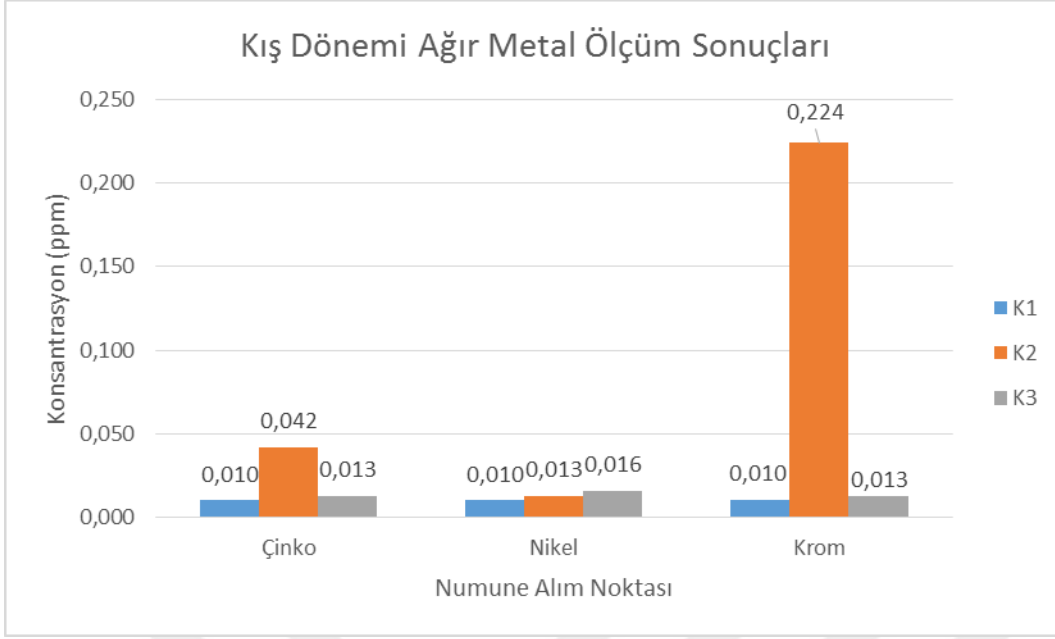
Ağır metal analizi çalışmaları kapsamında yapılan kış dönemi analiz sonuçları Tablo 4.1’de yer almaktadır.

**Tablo 4. 1:** Kış döneminde alınan su numunelerinin ağır metal analizi sonuçları

Ağır Metal	Tesis Kuyu Suyu Girişi (K1) Ölçüm Sonucu (mg/L)	Boyahane Çıkışı (K2) Ölçüm Sonucu (mg/L)	Atık Su Arıtma Tesisi Çıkışı (K3) Ölçüm Sonucu (mg/L)	Analiz Yöntemi
Arsenik (As)	<0,01	<0,01	<0,01	EPA 6020
Bakır (Cu)	<0,01	<0,01	<0,01	EPA 6020
Cıva (Hg)	<0,001	<0,001	<0,001	EPA 6020
Çinko (Zn)	<0,01	0,042	0,013	EPA 6020
Kadmiyum (Cd)	<0,01	<0,01	<0,01	EPA 6020
Kurşun (Pb)	<0,01	<0,01	<0,01	EPA 6020
Nikel (Ni)	<0,01	0,013	0,016	EPA 6020
Toplam Krom (Cr)	<0,01	0,224	0,013	EPA 6020

Tablo 4.1’de yer alan sonuçlara göre; arsenik, bakır, kadmiyum ve kurşun, numune alınan her üç nokta için de kullanılan akredite ölçüm sisteminin 0,01 mg/L olan saptama sınırının altında kaldığı için net tespit gerçekleştirilememiştir. Benzer şekilde, cıva da numune alınan her üç nokta için de, 0,001 mg/L saptama sınırının altında kalmıştır. Dolayısı ile kış dönemi su numunelerinin ERİ hesaplamalarında; arsenik, bakır, kadmiyum, kurşun ve cıva değerlendirmeye alınmayacaktır.

Kış dönemi analiz sonuçlarının numune alım noktalarına göre değişimi Şekil 4.1’de yer almaktadır.



**Şekil 4. 1:** Kış dönemi ağır metal ölçüm sonuçları

Kış dönemi numunelerinin çinko sonuçları değerlendirildiğinde, tesis kuyu suyu girişi, boyahane çıkışı ve atık su arıtma sistemi çıkışı noktaları için çinko miktarları sırasıyla; <0,01; 0,042 ve 0,013 mg/L olarak ölçülmüştür.

Kış dönemi numuneleri nikel içerikleri ise ölçüm noktalarına göre sırasıyla; <0,01; 0,013 ve 0,016 mg/L olarak raporlanmıştır. Bu noktadan hareketle atık su arıtma sistemi çıkış noktasında, boyahane çıkışından daha yüksek nikel içeriği tespit edildiği söylenebilir.

Kış dönemi çalışmalarında tespit edilen bir diğer ağır metal olan toplam kromun konsantrasyonundaki değişim ise sırasıyla; <0,01; 0,224 ve 0,013 mg/L olarak tespit edilmiştir.

Bu bilgiler ışığında, kış dönemi numunelerinde en yüksek ağır metal içeriğinin boyahane çıkışından alınan su numunelerinde olduğu söylenebilir. Bu sonuçlar, Maryam ve Büyükgüngör (2019) ile Uddin'in (2019) tekstil imalat sürecindeki boyama ve baskı işlemlerinin sonucunda deşarj edilen atık sularda yüksek oranla metal içeriği görüldüğüne yönelik tespitleri ile uyumludur. Boyahannede tekstil yüzeylerinin renklendirilmesi için kullanılan boya ve pigmentlerde çinko, nikel ve krom bulunduğundan, boyahannede yapılan işlem

sonrasında, Şekil 3.2’de yer alan işletme içi su sirkülasyonuna deşarj edilen suda bu ağır metallerin görülmesi makul ve beklenen bir durumdur.

Kış dönemi atık su arıtma tesisi çıkışı noktasından alınan su numunelerine yönelik sonuçlar incelendiğinde; deşarj edilen suyun her üç ağır metal cinsinden de yasal limitlerin oldukça altında kaldığı görülmektedir. Boyahaneden deşarj edilen ağır metalce daha zengin olan su, tekstil imalat tesisinin atık su arıtma sistemine girerek temizlendikten sonra deşarj edilmektedir. Dolayısı ile atık su arıtma sisteminden çıkan suyun içeriği çevresel bakış açısı ile diğer noktalardan daha önemli görülmektedir. Atık su arıtma tesisi çıkış noktasından alınan numunelerdeki ağır metal miktarlarının, boyahane çıkışından alınan numunelerden daha düşük olması beklenen ve istenen bir durumdur. Tablo 4.1’de yer alan nikel ölçüm sonuçları değerlendirildiğinde bu trendin gözlemlenmediği, deşarj noktasında boyahaneden daha yüksek bir nikel içeriği tespit edildiği görülmektedir. Bu durum, kontinü olarak çalışan atık su arıtma sisteminden haftanın ilk iş günü numune alınmış olmasının bir sonucudur. Kış dönemi boyahane çıkışı numunesi (K2) Perşembe günü alınırken, atık su arıtma sistemi çıkışı (K3) numunesi Pazartesi günü alınmıştır. Dolayısı ile K3 numunesi, alınmadan önceki 36 saatlik süreçte atık su arıtma tesisi içerisindeki havalandırma havuzu ve çökeltme havuzlarında birikerek beklemekte olan suyu temsil etmektedir.

**Tablo 4. 2:** Yaz döneminde alınan su numunelerinin ağır metal analizi sonuçları

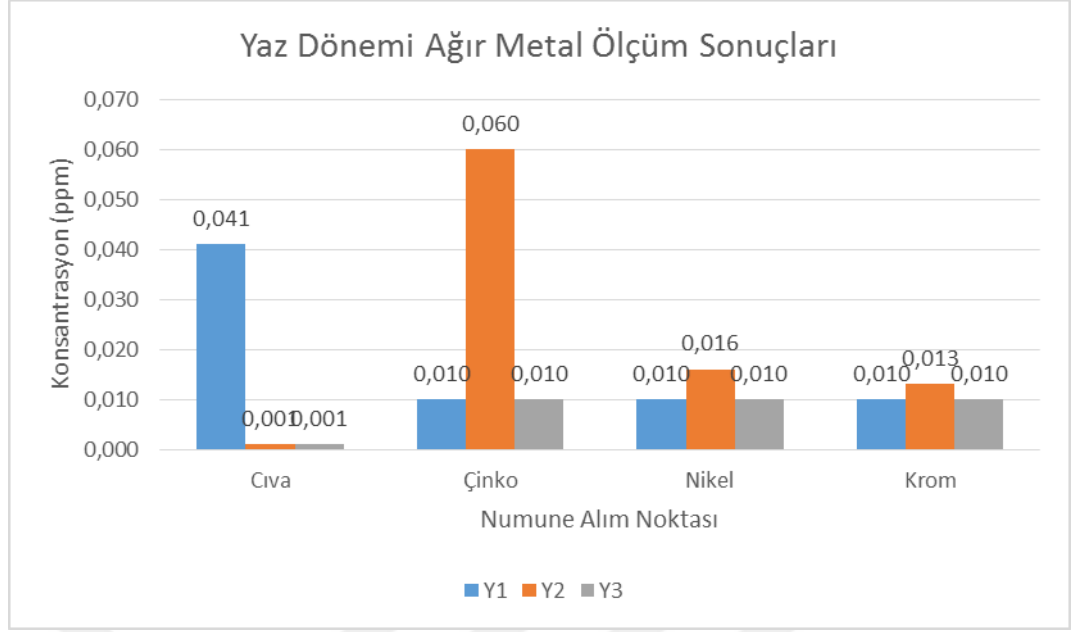
Ağır Metal	Tesis Kuyu Suyu Girişi (Y1) Ölçüm Sonucu (mg/L)	Boyahane Çıkışı (Y2) Ölçüm Sonucu (mg/L)	Atık Su Arıtma Tesisi Çıkışı (Y3) Ölçüm Sonucu (mg/L)	Analiz Yöntemi
Arsenik (As)	<0,01	<0,01	<0,01	EPA 6020
Bakır (Cu)	<0,01	<0,01	<0,01	EPA 6020
Cıva (Hg)	0,041	<0,001	<0,001	EPA 6020
Çinko (Zn)	<0,01	0,060	<0,01	EPA 6020
Kadmiyum (Cd)	<0,01	<0,01	<0,01	EPA 6020

Kurşun (Pb)	<0,01	<0,01	<0,01	EPA 6020
Nikel (Ni)	<0,01	0,016	<0,01	EPA 6020
Toplam Krom (Cr)	<0,01	0,013	<0,01	EPA 6020

Ağır metal analizi çalışmaları kapsamında yapılan yaz dönemi analiz sonuçları ise Tablo 4.2’de yer almaktadır. Bu sonuçlara göre; arsenik, bakır, kadmiyum ve kurşun, numune alınan her üç nokta için de, kullanılan akredite ölçüm sisteminin 0,01 mg/L olan saptama sınırının altında kaldığı için tespit gerçekleştirilememiştir. Dolayısı ile yaz dönemi su numunelerinin ERİ hesaplamalarında; arsenik, bakır, kadmiyum ve kurşun değerlendirmeye alınmayacaktır.

Tablo 4.2’de yer alan sonuçlara göre, yaz döneminde tesis kuyu suyu girişinden alınan su numunesinde 0,041 mg/L cıva tespit edilmiştir. Diğer yandan tesis içinden alınan boyahane çıkışı ve atık su arıtma tesisi çıkışı numunelerindeki cıva konsantrasyonunun saptama limiti olan 0,001 mg/L’nin altında olduğu görülmüştür. Tesis kuyu suyu girişi doğrudan tekstil işletmesinin kurulu olduğu bölgede yer alan bir dağdan çıkan doğal su olduğundan bu miktarda cıva içermesi beklenmeyen bir durum olup bu sonucun; örnek alma, numune hazırlama veya ölçüm esnasında gerçekleşen bir anomali olduğu değerlendirilmektedir. Bahse konu anomalinin sebepleri arasında; kontaminasyon veya oda sıcaklığında buharlaşma yer alabilir. Diğer yandan, Tablo 4.2’de yer alan diğer ağır metallerin sonuçlarına bakıldığında oda sıcaklığında buharlaşma olmasına bağlı bir durum olma ihtimalinin düşük olduğu söylenebilir.

Yaz dönemi analiz sonuçlarının numune alım noktalarına göre değişimi Şekil 4.2’de yer almaktadır.



**Şekil 4. 2:** Yaz dönemi ağır metal ölçüm sonuçları

Yaz dönemi numunelerinin çinko sonuçları değerlendirildiğinde, tesis kuyu suyu girişi, boyahane çıkışı ve atık su arıtma sistemi çıkışı noktaları için çinko miktarları sırasıyla; <0,01, 0,060 ve <0,01 mg/L olarak ölçülmüştür.

Yaz dönemi numuneleri nikel içerikleri ise ölçüm noktalarına göre sırasıyla; <0,01, 0,016 ve <0,01 mg/L olarak raporlanmıştır.

Yaz dönemi çalışmalarında tespit edilen bir diğer ağır metal olan toplam kromun konsantrasyonundaki değişim ise sırasıyla; <0,01, 0,013 ve <0,01 mg/L olarak tespit edilmiştir.

Yaz dönemi içerisindeki numuneler ardışık günlerde alındığı için şarj, boyahane ve deşarj noktaları arasındaki akış daha net görülebilmektedir.

Bu bilgiler ışığında; cıva anomalisi haricinde; yaz dönemi numunelerinde de ağır metalce en zengin noktanın boyahane çıkışı olduğu söylenebilir. Bu sonuçlar, hem Maryam ve Büyükgüngör (2019) ile Uddin'in (2019) tespitleri ile hem de kış dönemi sonuçları ile uyum göstermektedir.

Her iki mevsimde de tekstil imalat işletmesinden deşarj edilen suyu temsil eden atık su arıtma tesisi çıkışından alınan numunelerin yasal limitlerin oldukça altında olduğu görülmüştür.

## 4.2. Ekolojik Risk İndeksi Hesaplamaları

ERİ hesaplamaları kapsamında ilk olarak kontaminasyon faktörü ( $C_i^f$ ) hesaplanmıştır. Bu hesaplama, 2.4. Ekolojik Risk İndeksi başlığında detaylı açıklanan Denklem 2 kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Akabinde Denklem 1 kullanılarak, tayin edilen ağır metaller için ayrı ayrı potansiyel ekolojik risk değeri (PERİ) belirlenmiş ve son olarak ekolojik risk indeksi (ERİ) değeri hesaplanmıştır.

Kontaminasyon faktörü hesaplamasında, endüstriyel faaliyet öncesi referans değer olarak kullanılacak olan  $C_r$  değeri için tesis kuyu suyu girişi ölçüm sonuçlarının alınması uygundur. Diğer yandan Tablo 4.1 ve Tablo 4.2’de yer alan değerlere bakıldığında, yaz dönemi tesis girişi cıva ölçümü hariç, tüm tesis kuyu suyu ölçümlerinde saptama limitinin altında kalındığı görülmektedir. Endüstriyel faaliyet öncesi referans değer olmaksızın kontaminasyon faktörü hesaplanması mümkün olmadığından, referans değerın saptama limiti değerine eşit olduğu varsayılmış ve tüm ağır metaller için  $C_r$  değerinin 0,01 mg/L olarak alınmasına karar verilmiştir.

Bu varsayımla birlikte; kış dönemine ait su numunelerinde ağır metal analizi sonuçları kullanılarak, Denklem 1 ve Denklem 2 uyarınca yapılan ekolojik risk indeksi hesaplamalarına yönelik tüm detaylar Tablo 4.3’de yer almaktadır.

**Tablo 4. 3:** Kış döneminde alınan su numunelerinin ekolojik risk indeksi hesaplamaları sonuçları

Numune	Ağır Metal	$C_i$	$C_r$	$C_i^f$	$T_i$	PERİ	ERİ
K2	Çinko	0,042	0,010	<b>4,2</b>	1,00	<b>4</b>	<b>6</b>
K3	Çinko	0,013	0,010	<b>1,3</b>	(Tokatlı, 2017)	<b>1</b>	
K2	Nikel	0,013	0,010	<b>1,3</b>	5,00	<b>7</b>	<b>15</b>
K3	Nikel	0,016	0,010	<b>1,6</b>	(Egbuery, 2019)	<b>8</b>	
K2	Krom	0,224	0,010	<b>22,4</b>	2,00	<b>45</b>	<b>47</b>

K3	Krom	0,013	0,010	<b>1,3</b>	(Tokatlı, 2017)	<b>3</b>	
----	------	-------	-------	------------	--------------------	----------	--

Tablo 4.3'te yer alan hesaplamalarda alanyazında yer alan yayınlarda yer alan toksik tepki faktörleri kullanılmıştır. Tokatlı (2017) tarafından yapılan bir çalışmada, toplam kromun toksik tepki faktörü 2,00 olarak raporlanmış ve bu çalışmada yapılan hesaplamalarda bu değer baz alınmıştır. Diğer yandan, doğada yaygın olarak metalin krom, Cr (III) ve Cr (VI) olarak bulunan kromun, farklı oksidasyon seviyelerinde farklı toksik etkiler gösterdiği bilinmektedir. Özellikle altı değerlikli krom yüksek toksisite değeri ile öne çıkmakta ve çevre ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri bilinmektedir (Daugherty, 1992). Diğer yandan, US EPA (ABD Çevresel Koruma Ajansı) insan sağlığı açısından kabul edilebilir olan krom limitlerini sadece Cr (VI) üzerinden değil toplam krom üzerinden tanımlamaktadır. Bu durum, çevresel koşullara bağlı olarak, su ve insan vücudu ortamında Cr (III) ve Cr (VI) arasındaki ileri geri geçiş ihtimalleri ile açıklanmaktadır (Dorn vd., 1987). IARC (Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı) tarafından yapılan sınıflandırmaya göre, metalik krom ve Cr (III) insan sağlığına etki olarak Sınıf 3, Cr (VI) ise Sınıf 1; insan için kanserojen; olarak nitelendirilmekte ve güvenli tüketim ürünlerini toplam krom limiti üzerinden değerlendirmektedir (Daugherty, 1992). Bu bilgiler ışığında, bu çalışmada da toplam krom miktarı göz önüne alınmış ve toplam krom toksik tepki faktörü 2,00 olarak hesaplamalara dahil edilmiştir.

Kontaminasyon faktörlerinin değerlendirilmesi için Hakanson (1980) tarafından belirlenen skala kullanılmıştır. Kontaminasyon seviyesi değerlendirme ölçeği Tablo 4.4'te yer almaktadır.

**Tablo 4. 4:** Kontaminasyon seviyesi değerlendirme ölçeği

<b>Kontaminasyon Seviyesi</b>	<b>C<sub>d</sub></b>
Düşük Kontaminasyon	$C_d < 8$
Orta Seviyede Kontaminasyon	$8 \leq C_d < 16$
Dikkate Alınması Gereken Seviyede Kontaminasyon	$16 \leq C_d < 32$

Tablo 4.3’de detayları yer alan kontaminasyon seviyeleri Tablo 4.4’de yer alan ölçek uyarınca değerlendirildiğinde, K2 noktasındaki krom tayini hariç, tüm numunelerin değerlendirilen tüm ağır metaller için düşük kontaminasyon seviyesinde olduğu görülmektedir. K2 yani boyahane çıkışı noktasındaki krom ölçümlerinde ise 22,4 kontaminasyon faktörü ile dikkate alınması gereken seviyede kontaminasyon tespit edilmiştir. Bu noktadaki yoğun krom içeriği, örnekleme yapılan tarihten önceki 72 saatlik süre içerisindeki krom içerikli boya kullanımının bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır. Bu, sezon trendlerine yönelik üretim yapan bir işletme için beklenen bir durumdur. Boyahane çıkışında dikkate alınması gereken seviyedeki krom kontaminasyonu, atık su arıtma sistemindeki işlemler sonucunda düşük seviyeye indirilmiştir.

Her bir ağır metalin ayrı ayrı potansiyel ekolojik risk indeksi değerinin hesaplanması için ihtiyaç duyulan toksik tepki faktörü ( $T_i$ ) alan yazında yer alan çeşitli kaynaklardan derlenmiş olup, her bir ağır metal için ilgili referans yayın Tablo 4.3’te belirtilmiştir. Bu şekilde hesaplanan PERİ verilerinin değerlendirilmesi için ise Tokatlı (2017) tarafından yayımlanan skala kullanılmıştır. PERİ değerlendirme ölçeği Tablo 4.5’te yer almaktadır (Tokatlı, 2017).

**Tablo 4. 5:** PERİ değerlendirme ölçeği

Risk Seviyesi	PERİ
Düşük	RI <40
Orta	40-80
Önemli	80-160
Yüksek	160-320
Çok Yüksek	>320

Tablo 4.3’de detayları yer alan PERİ değerleri Tablo 4.5’de yer alan ölçek uyarınca değerlendirildiğinde, tüm numunelerin çinko ve nikel bakımından düşük risk seviyesinde olduğu görülmektedir. Diğer yandan; sırasıyla boyahane çıkışı ve atık su arıtma tesisi çıkışından alınan K2 ve K3 numunelerindeki krom analizleri sonuçları üzerinden yapılan PERİ hesaplamalarına göre; K2 ve K3 numunelerinin PERİ değerleri sırasıyla 45 ve 3 olarak bulunmuştur. Bu durumda K2 noktası orta risk, K3 noktası ise düşük risk seviyesi olarak görülmektedir. K2 noktası ile ilgili

bu tespit, K2 noktasındaki krom kontaminasyon faktörü bulguları ile tutarlılık göstermekte ve yüksek krom içerikli boya kullanımından kaynaklanmaktadır.

Toplam ekolojik risk indeksi değerlendirmesi için ise alan yazında yer alan iki farklı skala da göz önüne alınmıştır. İlk olarak Hakanson (1980) tarafından ortaya alınan ölçek değerlendirilmiş, ardından daha düşük üst limitlere sahip olan ve Tokatlı (2017) tarafından yayınlanan ölçek göz önüne alınmıştır. Hakanson (1980) ve Tokatlı (2017) tarafından açıklanan ölçekler sırasıyla Tablo 4.6 ve Tablo 4.7'de yer almaktadır.

**Tablo 4. 6:** ERİ değerlendirme ölçeği (Hakanson, 1980)

<b>Risk Seviyesi</b>	<b>RI</b>
Düşük	$RI < 150$
Orta	$150 \leq RI < 300$
Önemli	$300 \leq RI < 600$
Yüksek	$RI \geq 600$

**Tablo 4. 7:** ERİ değerlendirme ölçeği (Tokatlı, 2017)

<b>Risk Seviyesi</b>	<b>RI</b>
Düşük	$RI < 95$
Orta	$95 \leq RI < 190$
Önemli	$190 \leq RI < 380$
Yüksek	$RI \geq 380$

Tablo 4.3'de detayları yer alan ekolojik risk indeksi değerleri Tablo 4.6 ve Tablo 4.7'de yer alan ölçekler uyarınca ele alındığında, kış dönemine ait tüm numunelerin her iki ölçeğe göre de düşük risk seviyesinde olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara göre, üretim prosesi içerisinde boyahane noktasında bir zenginleşme söz konusu olsa da, kullanılan arıtma sistemi sayesinde imalat sürecinin sonucunda düşük ekolojik risk seviyesinde kalınabilmektedir.

Aynı tesiste yaz dönemine ait su numunelerinde ağır metal analizi sonuçları kullanılarak yapılan ekolojik risk indeksi hesaplamalarına yönelik detaylar ise Tablo 4.8'de yer almaktadır. Kontaminasyon faktörü hesaplamasında; cıva dışında

kalan ağır metaller için; kış döneminde olduğu şekilde endüstriyel faaliyet öncesi referans değer in saptama limiti değerine eşit olduğu varsayılmıştır.

**Tablo 4. 8:** Yaz döneminde alınan su numunelerinin ekolojik risk indeksi hesaplamaları sonuçları

Numune	Ağır Metal	$C_i$	$C_r$	$C_i^f$	$T_i$	PERI	ERI
Y2	Cıva	0,001	0,041	<b>0,02439</b>	40,00	<b>1</b>	<b>2</b>
Y3	Cıva	0,001	0,041	<b>0,02439</b>	(Hakanson, 1980)	<b>1</b>	
Y2	Çinko	0,060	0,010	<b>6</b>	1,00	<b>6</b>	<b>7</b>
Y3	Çinko	0,010	0,010	<b>1</b>	(Tokatlı, 2017)	<b>1</b>	
Y2	Nikel	0,016	0,010	<b>1,6</b>	5,00	<b>8</b>	<b>13</b>
Y3	Nikel	0,010	0,010	<b>1</b>	(Egbuery, 2019)	<b>5</b>	
Y2	Krom	0,013	0,010	<b>1,3</b>	2,00	<b>3</b>	<b>5</b>
Y3	Krom	0,010	0,010	<b>1</b>	(Tokatlı, 2017)	<b>2</b>	

Tablo 4.8’de detayları yer alan kontaminasyon seviyeleri Tablo 4.4’de yer alan ölçek uyarınca değerlendirildiğinde tüm numunelerin değerlendirilen tüm ağır metaller için 8’den daha küçük kontaminasyon faktörleri ile düşük kontaminasyon seviyesinde olduğu görülmektedir.

Her bir ağır metalin ayrı ayrı potansiyel ekolojik risk indeksi değerinin hesaplanması için ihtiyaç duyulan toksik tepki faktörü alan yazında yer alan çeşitli kaynaklardan derlenmiş olup, yaz dönemi numuneleri kapsamında ele alınan her bir ağır metal için ilgili referans yayın Tablo 4.8’de belirtilmiştir. Yaz dönemi numunelerine yönelik PERİ değerleri Tablo 4.5’de yer alan ölçek uyarınca değerlendirildiğinde ise, tüm numunelerin değerlendirilen tüm ağır metaller için 40’dan daha küçük PERİ değerleri ile düşük risk seviyesinde olduğu görülmektedir.

Tablo 4.8’de detayları yer alan yaz dönemi numunelerine ait ekolojik risk indeksi değerleri Tablo 4.6 ve Tablo 4.7’de yer alan ölçekler uyarınca değerlendirildiğinde, tüm numunelerin 95’den daha küçük ERİ değerleri ile her iki ölçeğe göre de düşük risk seviyesinde olduğu görülmektedir. Yaz dönemi sonuçları da, üretim prosesi içerisinde boyahane noktasında bir zenginleşme söz konusu olsa da, kullanılan arıtma sistemi sayesinde imalat sürecinin sonucunda düşük ekolojik risk seviyesinde kalılabildiğini desteklemektedir.

### 4.3. Ra-226 Tayini Analiz Sonuçları

Tez çalışması kapsamında bir tekstil imalat işletmesinin üç farklı noktasından toplanan su numunelerinin radyonüklid analizleri toplayıcı oda yöntemi kullanılarak “3.2.1. Ra-226 Tayini” başlığında açıklandığı şekilde gerçekleştirilmiştir. Radyonüklid analizleri kapsamında; ilk olarak Rn-222 sayımları gerçekleştirilmiştir. Analize tabii tutulan su numunelerinde Rn-222 tayini için yapılan hesaplamaların detayları Tablo 4.9’da yer almaktadır. Rn-222 konsantrasyonları “CRn(pCi/L)” olarak ifade edilmektedir.

Su örneklerinde Ra-226 tayininde,  $^{226}\text{Ra}$  ile  $^{222}\text{Rn}$  arasındaki radyoaktif dengenin oluşması için, Rn-222 sayımlarının tamamlanmasının akabinde 30 gün süre ile beklenmiştir. 30 günün sonunda yapılan sayımlara dayalı olarak gerçekleştirilen su numunelerinde Ra-226 tayini hesaplamalarına yönelik detaylar Tablo 4.10’da yer almaktadır. Ra-226 konsantrasyonları “CRa(pCi/L)” olarak ifade edilmektedir.

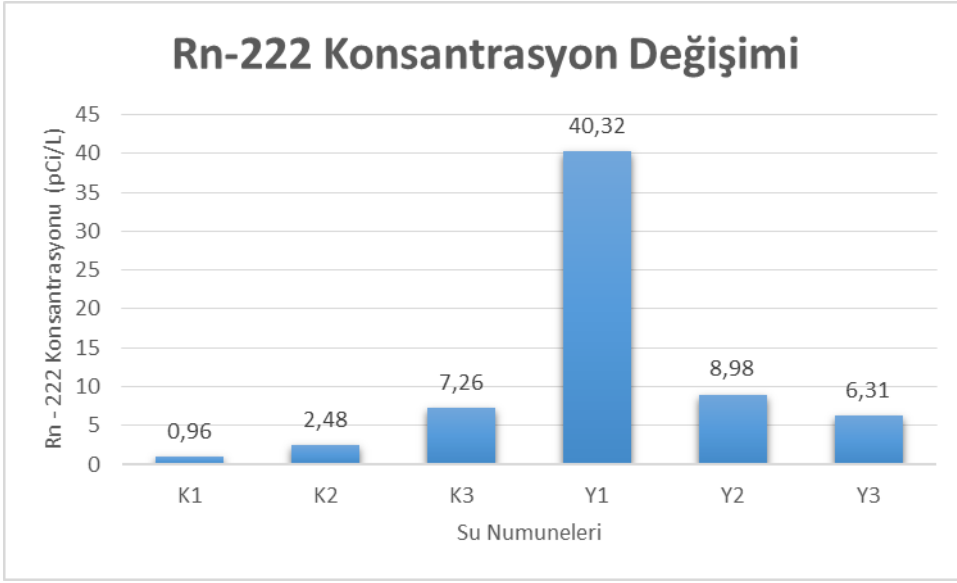
**Tablo 4. 9:** Su numunelerinde Rn-222 hesaplamaları sonuçları

Numune	C	B	(C-B)	(C-B)/20	t (gün)	-lt	e <sup>-lt</sup>	1/e <sup>-lt</sup>	G/H	KF (cpm/pCi/L)	CRn(pCi/L)
K.1.1.	4	2	2	0,10	0,01	0,00	1,00	1,00	0,10	0,09	1,15
K.1.2.	0	2	-2	-0,10	0,01	0,00	1,00	1,00	-0,10	0,09	-1,15
K.1.3.	6	1	5	0,25	0,01	0,00	1,00	1,00	0,25	0,09	2,87
K.2.1.	5	0	5	0,25	0,01	0,00	1,00	1,00	0,25	0,09	2,87
K.2.2.	3	1	2	0,10	0,01	0,00	1,00	1,00	0,10	0,09	1,15
K.2.3.	7	1	6	0,30	0,01	0,00	1,00	1,00	0,30	0,09	3,44
K.3.1.	21	1	20	1,00	0,01	0,00	1,00	1,00	1,00	0,09	11,47
K.3.2.	12	0	12	0,60	0,01	0,00	1,00	1,00	0,60	0,09	6,88
K.3.3.	6		6	0,30	0,01	0,00	1,00	1,00	0,30	0,09	3,44
Y.1.1.	83	1	82	4,10	0,01	0,00	1,00	1,00	4,09	0,09	47,01
Y.1.2.	48	0	48	2,40	0,01	0,00	1,00	1,00	2,39	0,09	27,52
Y.1.3.	83	2	81	4,05	0,01	0,00	1,00	1,00	4,04	0,09	46,44
Y.2.1.	20	2	18	0,90	0,01	0,00	1,00	1,00	0,90	0,09	10,32
Y.2.2.	18	2	16	0,80	0,01	0,00	1,00	1,00	0,80	0,09	9,17
Y.2.3.	14	1	13	0,65	0,01	0,00	1,00	1,00	0,65	0,09	7,45
Y.3.1.	16	1	15	0,75	0,01	0,00	1,00	1,00	0,75	0,09	8,60
Y.3.2.	13	2	11	0,55	0,01	0,00	1,00	1,00	0,55	0,09	6,31
Y.3.3.	7	0	7	0,35	0,01	0,00	1,00	1,00	0,35	0,09	4,01

**Tablo 4. 10:** Su numunelerinde Ra-226 hesaplamaları sonuçları

Numune	C	B	(C-B)	(C-B)/20	KF	D/E	t1 (gün)	$-\lambda\tau_1$	$e^{-\lambda t_1}$	$1-e^{-\lambda t_1}$	G=1/J	t2(saat)	$-\lambda\tau_2$	$e^{-\lambda t_2}$	A=1/N	CRa(pCi/L)
K.1.1.	18	2	16	0,80	0,09	9,20	0,01	0,00	1,00	0,00	400,50	4,00	-0,03	0,97	1,03	3794,89
K.1.2.	16	2	14	0,70	0,09	8,05	0,01	0,00	1,00	0,00	400,50	4,00	-0,03	0,97	1,03	3320,53
K.1.3.	13	1	12	0,60	0,09	6,90	0,01	0,00	1,00	0,00	400,50	4,00	-0,03	0,97	1,03	2846,17
K.2.1.	6	0	6	0,30	0,09	3,45	0,01	0,00	1,00	0,00	400,50	4,00	-0,03	0,97	1,03	1423,08
K.2.2.	11	1	10	0,50	0,09	5,75	0,01	0,00	1,00	0,00	400,50	4,00	-0,03	0,97	1,03	2371,80
K.2.3.	10	1	9	0,45	0,09	5,17	0,01	0,00	1,00	0,00	400,50	4,00	-0,03	0,97	1,03	2134,62
K.3.1.	16	1	15	0,75	0,09	8,62	0,01	0,00	1,00	0,00	400,50	4,00	-0,03	0,97	1,03	3557,71
K.3.2.	19	0	19	0,95	0,09	10,92	0,01	0,00	1,00	0,00	400,50	4,00	-0,03	0,97	1,03	4506,43
K.3.3.	13		13	0,65	0,09	7,47	0,01	0,00	1,00	0,00	400,50	4,00	-0,03	0,97	1,03	3083,35
Y.1.1.	0	1	-1	-0,05	0,09	-0,57	0,01	0,00	1,00	0,00	400,50	4,00	-0,03	0,97	1,03	-237,18
Y.1.2.	5	0	5	0,25	0,09	2,87	0,01	0,00	1,00	0,00	400,50	4,00	-0,03	0,97	1,03	1185,90
Y.1.3.	7	2	5	0,25	0,09	2,87	0,01	0,00	1,00	0,00	400,50	4,00	-0,03	0,97	1,03	1185,90
Y.2.1.	9	2	7	0,35	0,09	4,02	0,01	0,00	1,00	0,00	400,50	4,00	-0,03	0,97	1,03	1660,26
Y.2.2.	6	2	4	0,20	0,09	2,30	0,01	0,00	1,00	0,00	400,50	4,00	-0,03	0,97	1,03	948,72
Y.2.3.	7	1	6	0,30	0,09	3,45	0,01	0,00	1,00	0,00	400,50	4,00	-0,03	0,97	1,03	1423,08
Y.3.1.	10	1	9	0,45	0,09	5,17	0,01	0,00	1,00	0,00	400,50	4,00	-0,03	0,97	1,03	2134,62
Y.3.2.	4	2	2	0,10	0,09	1,15	0,01	0,00	1,00	0,00	400,50	4,00	-0,03	0,97	1,03	474,36
Y.3.3.	5	0	5	0,25	0,09	2,87	0,01	0,00	1,00	0,00	400,50	4,00	-0,03	0,97	1,03	1185,90

Tablo 4.9’da yer alan sonuçlara göre; kış dönemi tesis kuyu suyu girişi (K1), boyahane çıkışı (K2) ve atık su arıtma tesisi çıkışı (K3) numunelerindeki ortalama Rn-222 konsantrasyonları sırasıyla 0,96; 2,48 ve 7,26 pCi/L olarak hesaplanmıştır. Yaz dönemi tesis kuyu suyu girişi (Y1), boyahane çıkışı (Y2) ve atık su arıtma tesisi çıkışı (Y3) numunelerinde belirlenen ortalama konsantrasyonlar ise sırasıyla; 40,32; 8,98 ve 6,31 pCi/L olarak tespit edilmiştir. Ölçüm noktalarına göre Rn-222 konsantrasyonlarının değişimi Şekil 4.3’de görülebilir.

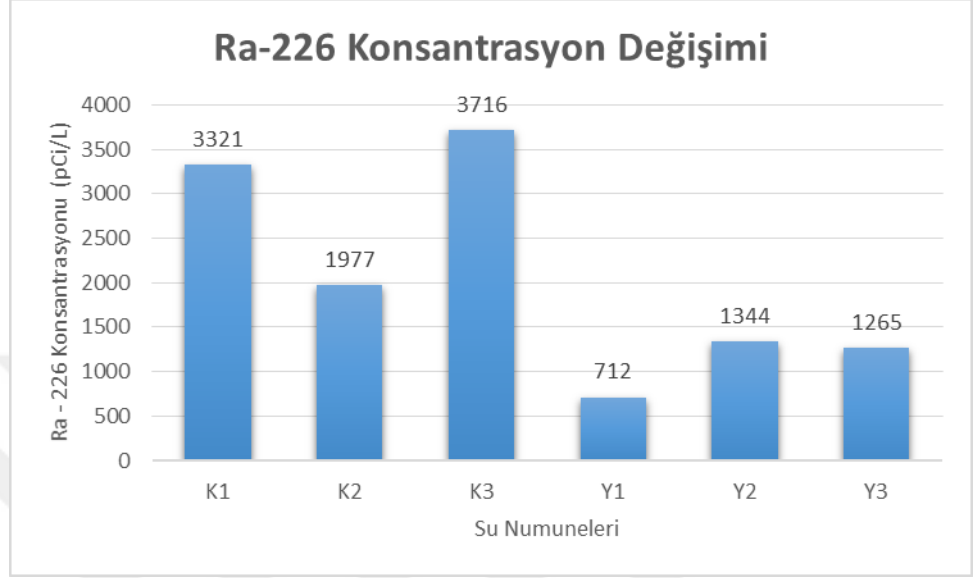


Şekil 4. 3: Rn-222 konsantrasyon değişimi

Şekil 4.3’de görülebileceği üzere kış dönemi numunelerinde en yüksek değer atık su arıtma tesisi çıkışında gözlenirken, yaz döneminde en yüksek değer tesis kuyu suyu girişinde ölçülmüştür. Kış dönemi numunelerinde; tesis kuyu suyu girişinden atık su arıtma tesisi çıkışına kadar olan proseste Rn-222 miktarının proses boyunca arttığı söylenebilir. Diğer yandan yaz dönemi numunelerinde tam tersi bir trend gözlenmiş ve proses girişinde yüksek radyonüklid tespit edilmiştir. Yaz dönemi su numunelerinde tesis kuyu suyu girişinden atık su arıtma tesisi çıkışına kadar olan proseste Rn-222 miktarında ciddi bir düşüş görülmektedir.

Tablo 4.10’da yer alan sonuçlara göre; kış dönemi tesis kuyu suyu girişi (K1), boyahane çıkışı (K2) ve atık su arıtma tesisi çıkışı (K3) numunelerindeki ortalama Ra-226 konsantrasyonları sırasıyla 3320; 1977 ve 3716 pCi/L olarak hesaplanmıştır. Yaz dönemi tesis kuyu suyu girişi (Y1), boyahane çıkışı (Y2) ve

atık su arıtma tesisi çıkışı (Y3) numunelerinde belirlenen ortalama konsantrasyonlar ise sırasıyla 712; 1344 ve 1265 pCi/L olarak tespit edilmiştir. Ölçüm noktalarına göre Ra-226 konsantrasyonlarının değişimi Şekil 4.4'de görülebilir.



**Şekil 4. 4:** Ra-226 konsantrasyon değişimi

Şekil 4.4'de görülebileceği üzere kış dönemi numunelerinde en yüksek değer atık su arıtma tesisi çıkışında gözlenirken, yaz döneminde en yüksek değer boyahane çıkışında ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre, hem yaz hem de kış dönemi numunelerinde; tesis kuyu suyu girişinden atık su arıtma tesisi çıkışına kadar olan proseste Ra-226 miktarına bağlı bir artan veya azalan trend gözlemlenemediği söylenebilir. Kış döneminde en düşük konsantrasyonun görüldüğü boyahane çıkışı noktası, yaz döneminde en yüksek değer tespit edildiği nokta olmuştur. Elde edilen veriler incelendiğinde, her iki mevsimde de, atık su arıtma tesisi çıkışında deşarj edilen sularda tespit edilen Ra-226 miktarının, tesis kuyu suyu girişinden sisteme beslenen temiz sularda tayin edilen Ra-226 miktarından fazla olduğu söylenebilir.

Alan yazındaki çalışmalar incelendiğinde, tekstil boyalarında radon bulunabildiği ile ilgili araştırmalara rastlansa da, tekstil radon veya radyum tayini üzerine bir çalışmaya erişilememiştir (Abel-Ghany, 2013). Diğer yandan, endüstriyel tesisleri ve evsel su kullanım hatlarını besleyen kuyu sularında radyonüklid içeriklerinin belirlenmesine yönelik çeşitli çalışmalar mevcuttur.

Nagabhushana vd. (2020) bir çalışmasında, Hindistan'ın yoğun endüstriyel faaliyet yapılan Tumkur Bölgesi'nde yer alan 16 farklı kuyudan alınan su numunelerinde Ra-226 ve Rn-222 tayinleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre; en yüksek ve en düşük Rn-222 konsantrasyonları; 160,5 ve 5,6 BqL<sup>-1</sup> olacak şekilde sırasıyla, Singonahalli ve Satymangala kuyularında tespit edilmiştir. Ra-226 aktivitesi açısından bakıldığında ise en düşük ve en yüksek içerik, 86 ve 2,5 mBqkg<sup>-1</sup> olacak şekilde sırasıyla, Yallapura ve Lingapura'da görülmüştür. 16 kuyudan yapılan tespitlere göre ortalama Ra-226 aktivitesi 36,4 mBqkg<sup>-1</sup> olarak hesaplanırken ortalama Rn-222 konsantrasyonu 75,4 olarak tespit edilmiştir. Bölgeler arası bu farklılıklar, kuyuların etrafındaki jeolojik yapılar arasındaki farklılıklar ve endüstriyel faaliyetler kökenli kontaminasyonlar ile açıklanmıştır. Araştırmacılara göre Yallapura Bölgesi; sergilediği yüksek Ra-226 aktivitesi sebebiyle, en yüksek yaşan boyu kanser riskine sahip bölgedir.

Martin vd. (2021), Brezilya'nın Parana eyaletinde yer alan bir doğal koruma alanı olan Campo Largo Bölgesi'ndeki iki kuyudan topladıkları su numunelerinde Ra-226 tayini gerçekleştirmişlerdir. Araştırmacıların elde ettiği bulgulara göre; numune alımının hemen akabinde yapılan ölçümlerdeki Ra-226 aktivitesi 6,2 Bq/L olarak ölçülürken, 30 gün sonra yapılan ölçümlerde aktivite değeri 0,03'e düşmektedir. Bu durum Ra-226 ve Rn-222 arasındaki denge reaksiyonunun bir sonucu olarak açıklanmış ve numune alınan kuyularda Brezilya'da geçerli yasal düzenlemeler uyarınca bir radyonüklid tehlikesi bulunmadığı raporlanmıştır.

Asikainen ve Kahlos'un (1979), Finlandiya Helsinki'deki 308 drenaj kuyusu ve 58 kazma kuyudan aldıkları su numuneleri ile yapmış oldukları Ra-226 ve Rn-222 analizleri sonucunda, drenaj kuyularında normal seviyelerde radyonüklid tespit edilirken, kazma kuyularda 880,000 pCi/L'ye varan yüksek Rn-222 aktivitesi tespit edilmiştir. Alan yazında yer alan kuyu sularında radyonüklid tespitine yönelik en kapsamlı çalışmalardan birisi olan bu çalışma sonucunda, Helsinki bölgesinde yer alan ana kayaçların jeolojik yapılarında yüksek radyonüklid bulunduğu ve kayaçlardaki fisürler vasıtası ile yeraltı sularına radyonüklid karışabildiği belirtilmiştir.

Yapılan bu çalışmalara bakıldığında kuyu sularındaki Ra-226 ve Rn-222 miktarının kuyuların bulunduğu ortamın jeolojik özelliklerine, kimyasal özelliklerine ve yakınlarda yapılan endüstriyel faaliyetlerin türüne göre değişkenlik gösterebildiği söylenebilir. Endüstriyel faaliyet olan bölgelerde kayaç türü gibi jeolojik veya pH gibi kimyasal bir parametrenin ön plana çıkmadığı çalışmalarda tespit edilen radyonüklid miktarları yasal sınırların altında kalmaktadır. Bu tez çalışması kapsamında değerlendirilen kuyu sularında tespit edilen radyonüklid değerleri kendi içinde değişkenlik gösterse de kabul edilen yasal limitler dahilindedir. Proses içerisinde trend farklılık gösterse de her iki mevsimde de imalat prosesi sonucunda deşarj edilen sulardaki radyonüklid miktarı, kuyu sularından yüksek olarak tespit edilmiştir. Diğer yandan, alan yazındaki önceki örnekler ile uyumlu olacak şekilde deşarj edilen sulardaki radyonüklid konsantrasyonları da yasal olarak kabul edilebilir limitler içerisinde.

#### **4.4. Mevsimsel Etkinin Değerlendirilmesi**

Tekstil ürünü imalatında kullanılan makine, hammadde ve kimyasallar üretilen olan tekstil ürününden mevsimlere bağlı olarak beklenen nihai fiziksel ve estetik özelliklere göre değişkenlik gösterdiğinden, tekstil imalat sektörünün endüstriyel atık sularının kompozisyonu da mevsimsel olarak değişkenlik göstermektedir (Yaseen ve Scholz, 2019). Dolayısı ile tekstil sektörü atık sularında bulunan ağır metal ve iz element içeriği mevsimlere bağlı olarak farklılaşabilmektedir. Bu çalışmada toplanan su numunelerinden elde edilen ve Tablo 4.1 ve Tablo 4.2'de yer alan konsantrasyon verilerine bakıldığında boyahane çıkışı noktasında hem yaz hem de kış döneminde ortak olarak çinko, nikel ve krom tespit edildiği görülmektedir.

Kış döneminde yapılan ölçümlerde atık su arıtma tesisi çıkışı noktasında da saptama limiti üzerinde ağır metal tespit edilmiştir. Diğer yandan yaz döneminde, aynı noktadan alınan atık su numunelerinde tüm ağır metaller saptama limitinin altındadır.

Tablo 4.1 ve Tablo 4.2'de yer alan veriler değerlendirildiğinde, çinko zenginleşmesinin yaz döneminde kış dönemine kıyasla daha yüksek olduğu

görülmektedir. Nikel zenginleşmesinde ise her ne kadar boyahane çıkışı noktasında yaz döneminde daha yüksek bir konsantrasyon görülse de, atık su arıtma tesisi çıkışı noktasında kış döneminde daha yüksek içerik tespit edilmiştir. Krom analizleri ele alındığında ise kış döneminde alınan numunelerde kayda değer miktarda daha yüksek metal tespit edilmekte ve kış dönemi atık su arıtma tesisi çıkışında da krom görülmektedir. Bu bilgiler ışığında; kış döneminde saptanabilir limit üzerinde çinko, nikel ve krom deşarj edilirken, yaz dönemindeki deşarj suyunda saptanabilir ağır metal bulunmadığı veya iz miktarda ağır metal bulunduğu söylenebilir. Yaz dönemi tesis kuyu suyu girişinde cıva tespit edildiyse de deşarj suyunda bu ağır metalin saptanamamış olması da yaz dönemi deşarj suyunda saptanabilir ağır metal bulunmadığı çıkarımını desteklemektedir.

Alan yazına bakıldığında; Hou vd. (2013) çalışmasında da, çinkonun zenginleşmesinin, yağmur suyu, yüzey aşınması ve insan aktivitesine bağlı olarak mevsimsel olarak değişkenlik gösterebildiği raporlanmıştır.

Kır vd. (2007) ise, Kovada gölü suları ile yaptıkları çalışmada, kış ve ilkbahar döneminde alınan su örneklerinde saptama limitinin üzerinde çinko tespit edildiğini belirtmiş ve bunun göl çevresindeki tarımsal ve endüstriyel faaliyetlerin yağışların azalması ile yükselişe geçmesinden kaynaklanabileceğini belirtmiştir. Benzer şekilde, Kovada Gölü su numunelerindeki nikel içeriği de ilkbahar mevsiminde en yüksek seviyededir.

Yetilmezsoy ve Sapci-Zengin'in (2009) bir çalışmasında pamuklu ürün imalatı yapan bir tekstil işletmesinin atık sularında mevsimsel etkiye bağlı olarak atık suyun fiziksel ve kimyasal parametrelerinin değiştiği belirtilmiştir.

Özşeker (2019), Muratlı Baraj Gölü ve bu gölleri besleyen derelerden topladığı numuneler ile yaptığı çalışmalarda, ağır metal zenginleşmesinin sonbahar ve kış dönemlerinde diğer mevsimlere göre daha yüksek olduğunu raporlamıştır. Özşeker, bu durumun meteoroloji ile doğrudan ilintili olduğunu belirtmiş ve çalışmaya konu olan Artvin Bölgesi'nin sonbahar aylarında yoğun yağış almasının yüksek erozyona sebebiyet vererek metal kontaminasyonuna neden olduğunu açıklamıştır.

Tokatlı vd. (2021) çalışmasında ekolojik risk yüksekten aza doğru olacak şekilde sırasıyla yaz> ilkbahar>kış>sonbahar olacak şekilde raporlanmıştır. Bu trendin sebeplerinin, çalışma bölgesine yakın olan bor madenlerindeki çalışmaların mevsimsel olarak değişkenlik göstermesi ve ilkbahar yaz aylarında diğer dönemlere göre daha yüksek buharlaşma görülmesi olduğu belirtilmiştir.

Tablo 4.3 ve Tablo 4.4'te detaylı açıklanan PERİ ve ERİ sonuçlarına göre yaz döneminde kış dönemine kıyasla daha düşük ekolojik risk tespit edilmiştir. Bu tespitin Tokatlı vd. (2021) çalışmasından farklılık göstermesinin nedeni tekstil sektöründeki mevsimsellik etkisinin tesisin bulunduğu coğrafyadan ziyade moda sezonunun trendlerine bağlı olmasıdır.

Tablo 4.9 ve Tablo 4.10'da yer alan su numunelerinde radyonüklid analizi sonuçları değerlendirildiğinde mevsimsel bir trend sergileyip sergilemediği konusunda net bir çıkarım yapılamamaktadır. Şekil 4.1'de yer alan Rn-222 sayımı sonuçlarına göre; kış dönemi su numunelerinde tesis kuyu suyu girişinden atık su arıtma tesisi çıkışına kadar olan proseste Rn-222 zenginleşmesi gözlemlenirken, yaz döneminde aynı proseste Rn-222 konsantrasyonunda düşüş tespit edilmiştir. Şekil 4.2'de yer alan Ra-226 ölçüm sonuçları değerlendirildiğinde ise her iki mevsimde de, atık su arıtma tesisi çıkışında deşarj edilen sularda tespit edilen Ra-226 miktarının, tesis kuyu suyu girişinden sisteme beslenen temiz sularda tayin edilen Ra-226 miktarından fazla olduğu görülmüştür.

Su numunelerinin toplandığı tekstil işletmesinde sürekli olarak çalışan bir atık su arıtma tesisi bulunmaktadır. İşletmenin tüm su sirkülasyon hattı kapalı bir sistem olup meteorolojik değişikliklerden etkilenmemektedir. İşletmeyi besleyen kuyu suyu ise doğrudan işletmenin yer aldığı bölgede bulunan dağın içerisinden gelmektedir. Dolayısı ile kuyu suyunun çevresel faktörlerden etkilenme riskinin oldukça düşük olduğu söylenebilir.

Diğer yandan moda endüstrisine yönelik pek çok kilit parametre mevsimsel olarak farklılık göstermektedir. Polimerik hammaddelerden mamül sentetik elyaflar veya yün gibi yoğun doğal elyaflar kış dönemlerine yönelik koleksiyonlarda daha çok tercih edilirken, ilkbahar ve yaz koleksiyonlarında keten, pamuk gibi daha konfor özellikleri ön plana çıkan elyaflar veya polyester

gibi daha hafif yapılar tercih edilmektedir. Bu hammadde seçimleri de tercih edilecek olan boyaların ve boyamaya yardımcı kimyasalların türünü doğrudan etkilemektedir. Benzer şekilde ilkbahar-yaz koleksiyonlarında daha parlak ve canlı renklere yönelim gösterilirken, kış dönemi koleksiyonlarında daha koyu ve baskın renkler öne çıkabilmektedir. Örneğin Avrupa ve Amerika'nın büyük bir bölümünde tatil sezonu olarak adlandırılan Kasım-Aralık aylarında piyasaya sunulacak olan ürünlerin büyük bir kısmı Şükran Günü, Christmas ve Yeni Yıl gibi temalara yönelik olduğundan genellikle yün, kadife gibi yapılarda ve siyah, beyaz, kırmızı, koyu yeşil gibi renklerde üretilmektedirler. Dolayısı ile tekstil üreticilerinin Ağustos-Eylül aylarında yaptıkları üretimlerde bu içeriklere yoğun olarak rastlanmaktadır. Benzer şekilde Mayıs aylarında yaz sezonun açılması ile birlikte mağazalarda satışa sunulacak olan yaz / resort koleksiyonlarının büyük bir bölümünü doğal veya protein esaslı elyaflardan mamül ince kumaşlardan üretilmiş ve genellikle açık renkler ile boyanmış ürünler oluşturmaktadır. Dolayısı ile tekstil ve hazır giyim üreticileri Şubat-Mart aylarında yoğun olarak yoğun olarak bu yönde üretim yapmaktadırlar.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, yeraltı sularının doğal radyonüklidler ve çeşitli ağır metallerce zengin olma riski bulunan Ege Bölgesi'nde yer alan bir tekstil imalat işletmesindeki ağır metal ve radyonüklid zenginleşmesi, tesis içerisindeki su şarj-deşarj sistemi içerisinde alınan numuneler ile yapılan ölçümler ile incelenmiş ve buna bağlı olarak ekolojik risk indeksi hesaplanmıştır.

Çalışma birbirini takip eden dört bölüm halinde tasarlanmıştır. İlk bölümde, tekstil imalat işletmesi su şarj-deşarj hattı üzerinde belirlenen; tesis kuyu suyu girişi, boyahane çıkışı ve atık su arıtma tesisi çıkışı noktalarından su numuneleri toplanmıştır. Çalışma kapsamında Şubat ve Mayıs aylarında numune toplanarak iki farklı mevsimin değerlerinin gözlemlenmesi hedeflenmiştir. Aynı noktadan aynı anda alınan su numuneleri iki ayrı ambalajda olacak şekilde hazırlanarak, ağır metal analizleri için Dokuz Eylül Üniversitesi'ne ve radyonüklid analizleri için Ege Üniversitesi'ne götürülmüştür.

Çalışmanın ikinci bölümünde, toplanan su numunelerindeki arsenik, bakır, cıva, çinko, kadmiyum, kurşun, nikel ve krom miktarları ICP-MS kullanılarak belirlenmiştir. Elde edilen konsantrasyon değerleri kullanılarak, kontaminasyon faktörü, her bir ölçüm için potansiyel ekolojik risk indeksi ve her bir ağır metal için ekolojik risk indeksi hesaplanmıştır.

Üçüncü bölümün konusu olan radyonüklid analizleri kapsamında, toplayıcı oda yöntemi kullanılarak Rn-222 ve Ra-226 sayımları gerçekleştirilmiş ve radyonüklid konsantrasyonları hesaplanmıştır.

Çalışmanın dördüncü ve son bölümünde ise, yaz ve kış döneminde alınan su numuneleri ile ilgili elde edilen ağır metal ölçüm sonuçları, hesaplanan risk indeksi değerleri ve hesaplanan radyonüklid konsantrasyonları karşılaştırılarak mevsimsel bir etki olup olmadığı değerlendirilmiştir.

Ağır metal analizi sonuçları değerlendirildiğinde; kış döneminde arsenik, bakır, kadmiyum, cıva ve kurşunun, yaz döneminde ise arsenik, bakır, kadmiyum ve kurşunun konsantrasyonlarının ICP-MS'in saptama limitinin altında kaldığı görülmüş ve bu elementler ekolojik risk indeksi hesaplamalarına dahil

edilmemiştir. Elde edilen sonuçlara göre; hem kış hem de yaz döneminde en yüksek ağır metal içeriğinin boyahane çıkışından alınan su numunelerinde olduğu söylenebilmektedir. Bu tespit, alan yazında pek çok farklı kaynaktan yer alan tekstil imalat sürecindeki boyama ve baskı işlemlerinin sonucunda deşarj edilen atık sularda yüksek oranla metal içeriği görülebildiğine yönelik çalışmalar ile uyum göstermektedir. Boyahanedan deşarj edilen ağır metalce daha zengin olan suyun doğaya veya şehir atık su hattına deşarjından önce, tekstil imalat tesisinin atık su arıtma sistemine girerek temizlenmesi nedeniyle atık su arıtma sisteminden çıkan suyun ağır metal içeriği özellikle değerlendirilmiştir. Bunun sonucunda; her iki mevsimde de atık su arıtma tesisi çıkışı noktasından alınan su numunelerine yönelik sonuçlar ele alınmış ve tekstil imalat işletmesinden deşarj edilen suyun tespit edilen ağır metaller cinsinden yasal limitlerin oldukça altında kaldığı görülmüştür.

Ağır metal konsantrasyonları değerlendirildiğinde, atık su arıtma tesisi çıkış noktasından alınan numunelerdeki ağır metal miktarlarının, boyahane çıkışından alınan numunelerden daha düşük olması beklenmektedir. Diğer yandan kış döneminde yapılan bazı ölçümlerde bunun aksi tespitler de söz konusu olduğu görülmüştür. Bu durum, kontinü olarak çalışan atık su arıtma sisteminden ardışık günlerde numune alınamamış olmasının bir sonucu olup, boyahane çıkışından alınan numune ile atık su arıtma tesisi çıkışından alınması gereken numune arasında hafta sonu girmesi nedeniyle ortaya çıkan süreçte atık su arıtma tesisi içerisindeki havalandırma havuzu ve çöktürme havuzlarında beklemekte olan suyun etkisidir. Yaz dönemi içerisindeki numuneler ardışık günlerde alındığı için şarj, boyahane ve deşarj noktaları arasındaki akış daha net görülebilmektedir.

ERİ değerlendirmeleri kapsamında ilk olarak kontaminasyon faktörü hesaplanmış, buna bağlı olarak tayin edilen ağır metaller için ayrı ayrı potansiyel ekolojik risk değeri belirlenmiş ve son olarak ekolojik risk indeksi değeri hesaplanmıştır. Kontaminasyon faktörü hesaplamasında, endüstriyel faaliyet öncesi referans değeri olarak tesis kuyu suyu girişi ölçüm sonuçlarının alınması uygun bulunmuş ancak bu değerlerin ICP-MS'in saptama limitleri altında kalması nedeniyle referans değerinin saptama limiti değerine eşit olduğu varsayılmıştır. Bu varsayımla birlikte hesaplanan kontaminasyon faktörü Hakanson'un (1980) ilgili

skalasına göre, potansiyel ekolojik risk ise Tokatlı'nın (2017) ilgili skalası uyarınca değerlendirilmiştir. Ekolojik risk indeksi değerlendirilmesi için ise her iki araştırmacının ölçekleri dikkate alınmıştır (Hakanson, 1980, Tokatlı, 2017). Kontaminasyon faktörü hesaplamaları sonuçlarına göre boyahane çıkışı her iki mevsimde de sistemdeki en yüksek kontaminasyon noktası olarak tespit edilmiştir. Ağır metal bazında potansiyel ekolojik risk ele alındığında ise, kış döneminde boyahane çıkışındaki krom miktarının yüksek olması nedeniyle boyahane çıkışı noktası orta risk olarak tespit edilmiş, bunun dışındaki tüm noktalar ve yaz döneminde ele alınan tüm noktalar düşük risk seviyesinde görülmüştür. Bu tespit, kış dönemindeki kontaminasyon faktörü bulguları ile tutarlılık göstermekte ve yüksek krom içerikli boya kullanımından kaynaklanmaktadır. ERİ bakış açısına göre ise, her iki mevsime ait tüm numunelerin her iki ölçeğe göre de düşük risk seviyesinde olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara göre, üretim prosesi içerisinde boyahane noktasında bir zenginleşme söz konusu olsa da, kullanılan arıtma sistemi sayesinde imalat sürecinin sonucunda düşük ekolojik risk seviyesinde kalılabilmektedir.

Radyonüklid analizleri kapsamında; ilk olarak Rn-222 sayımları gerçekleştirilmiş ve  $^{226}\text{Ra}$  ile  $^{222}\text{Rn}$  arasındaki radyoaktif dengenin oluşması için örnekler 30 gün süreyle bekletildikten sonra Ra-226 tayinine yönelik sayımlar yapılmıştır.

Rn-222 sayım sonuçları ve buna bağlı konsantrasyon hesaplarına bakıldığında; kış döneminde tesis kuyu suyu girişinden atık su arıtma tesisi çıkışına kadar olan proseste Rn-222 miktarının proses boyunca arttığı, yaz dönemi numunelerinde ise tersi bir trend gözlenerek proses girişinde en yüksek radyonüklid içeriğinin tespit edildiği görülmüştür. Başka bir deyişle, kış döneminde proses boyunca artış görülürken, yaz döneminde ciddi bir düşüş görülmektedir.

Ra-226 sayımı ile ilgili yapılan çalışmalar sonucunda ise, en yüksek değerler kış dönemi numunelerinde atık su arıtma tesisi çıkışında, yaz döneminde ise boyahane çıkışında ölçüldüğü görülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre, hem yaz hem de kış dönemi numunelerinde; tesis kuyu suyu girişinden atık su arıtma tesisi çıkışına kadar olan proseste Ra-226 miktarına bağlı bir artan veya azalan trend

gözlemlenemediği söylenebilir. Kış döneminde en düşük konsantrasyonun görüldüğü boyahane çıkışı noktasında yaz döneminde en yüksek radyonüklid konsantrasyonu ile karşılaşılmıştır. Diğer yandan, her iki mevsimde de, atık su arıtma tesisi çıkışında deşarj edilen sulara tespit edilen Ra-226 miktarının, tesis kuyu suyu girişinden sisteme beslenen temiz sulara tayin edilen Ra-226 miktarından fazla olduğu söylenebilir.

Ağır metal konsantrasyonlarına bağlı PERİ ve ERI sonuçlarına göre yaz döneminde kış dönemine kıyasla daha düşük ekolojik risk tespit edilmiştir. Alan yazında yer alan çeşitli çalışmalar coğrafi hareketler ve meteorolojik olayların ağır metallerin konsantrasyonunda mevsimsel değişikliklere yol verebileceğini söylemektedir. Diğer yandan, bu çalışmaya konu olan su numunelerinin toplandığı tekstil işletmesinde sürekli olarak çalışan bir atık su arıtma tesisi bulunmaktadır. Ayrıca, işletmenin tüm su sirkülasyon hattı kapalı bir sistem olup meteorolojik değişikliklerden etkilenmemektedir. Dolayısı ile bu çalışmada görülen mevsimsel etkilerin nedeni tekstil sektöründeki mevsimsellik etkisinin tesisin bulunduğu coğrafyadan veya yağın yağmur miktarı gibi meteorolojik faktörlerden ziyade, tekstil sektöründeki üretimde kullanılan boyar madde ve kimyasalların moda sezonunun trendlerine bağlı olmasıdır.

Tüm bu bilgiler ışığında, tekstil imalat işletmesinde özellikle boyahane çıkışı noktasında su kirliliğinin işletme içerisindeki en üst seviyeye ulaştığı söylenebilir. Diğer yandan kullanılan su arıtma teknolojisi sayesinde, işletmeye bağlı atık su arıtma tesisi çıkışından deşarj edilen suyun çevre ve insan sağlığını korumaya yönelik koşullara uygun olduğu görülmüştür. Ekolojik risk indeksi yönteminin imalat işletmelerinde proses içerisindeki zenginleşmenin takibi ve muhtemel risk noktalarının belirlenmesinde uygun bir haritalama yöntemi olduğu tespit edilmiştir.

Daha sonraki çalışmalarda, bu çalışmada kullanılan yöntem işletme içerisindeki her bir su giriş çıkış noktasından numune alınacak ve örnek alma periyodu sıklaştırılıp, toplam örnek alma süresi arttırılacak şekilde kullanılabilir. 14 günlük periyotlar halinde 1 yıl süre numune alınması halinde tam bir risk indeksi haritalaması mümkün olabilir. Ayrıca, bu çalışma kapsamında ele alınmamış diğer ağır metaller de değerlendirmeye alınabilir. Bu tez çalışmasında

önerilen yöntemin, kirlilik yük indeksi, zenginleşme faktörü, hiyerarşik küme analizi veya ortalama muhtemel etki konsantrasyonu oranı gibi ekolojik risk değerlendirmesinde kullanılan farklı değerlendirme yöntemleri ile karşılıklı olarak ele alınması ile bu konunun daha farklı yönlerden incelenmesi söz konusu olabilir.



## KAYNAKLAR DİZİNİ

**Abel-Ghany, H. A.**, 2013, Study of radon, thoron and toxic elements in some textile dyes, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 295, 1365–1370 pp.

**Adinew, B.**, 2012, Textile effluent treatment and decolorization techniques—A review, *Chem Bulg J Sci Educ*, 21, 434–456 pp.

**Aközcan, S.**, 2009, Didim ve İzmir körfezi sediment, deniz suyu ve farklı deniz organizmalarında bazı radyonüklid ve ağır metal düzeylerinin izlenmesi, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

**Almeida, R. M. R., Lauria, D. C., Ferreira, A. C. and Sracek, O.**, 2004, Groundwater radon, radium and uranium concentrations in Região dos Lagos, Rio de Janeiro State, Brazil, *Journal of Environmental Radioactivity*; 73, 323–334 pp.

**Asikainen, M. and Kahlos, H.**, 1979, Anomalously high concentrations of uranium, radium and radon in water from drilled wells in the Helsinki region, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 43(10), 1681-1686 pp.

**AQUAFIT4USE**, <https://cordis.europa.eu/project/id/211534/reporting/it> (Erişim Tarihi: 05.06.2021)

**Alomary, A.A. and Belhadj, S.**, 2007, Determination of heavy metals (Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, Zn) by ICP-OES and their speciation in Algerian Mediterranean Sea sediments after a five-stage sequential extraction procedure, *Environ Monit Assess*, 135, 265–280 pp.

**Bahadır, Z.**, 2020, Atık su örneklerinde bazı ağır metallerin indüktif eşleşmiş plazma kütle spektrometresi ile (ICP-MS) tayini, *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, 5 (1), 56-60 s.

**Baralkiewicz, D., Hanc, A. and Gramowska, H.**, 2010, Simultaneous determination of Cd, Cr, Cu, Ni, Pb and Zn in sewage sludge by slurry introduction ICP-OES method, *Intern. J. Environ. Anal. Chem.*, 90 (14-15), 1025-1035 pp.

**Benli, H.**, 2020, Barut Ağacı Kabuğu'nun (*Rhamnus Frangula L.*) Bazı Tekstil Materyallerini Boyayabilme Özelliklerinin Araştırılması, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 36 (3), 420-432 pp.

**Bisschops, I. and Spanjers, H.**, 2003, Literature Review on textile Wastewater Characterisation, *Environmental Technology*, 24, 1399-1411 pp.

**Carmen, Z. and Daniela, S.,** 2012, Textile organic dyes, characteristics, polluting effects and separation/elimination procedures from industrial effluents - a critical overview. *Organic Pollutants Ten Years after the Stockholm Convention - Environmental and Analytical Update*, 55–86 pp.

**Chavan, R.B.,** 2018, Thirsty Textile and Fashion Industry PART I: Water Distribution on Earth and Virtual Water, Water Footprint Concepts, *Latest Trends in Textile and Fashion Designing*, 2 (5), 249-270 pp.

**Çam Kaynar, S., Saç, M. M. and Erceş, F. S.,** 2014, Determination of radioactivity levels in Akhisar, Gördes, Gölarmara and Sındırđı regions, Western Turkey, *Environ Earth Sci*, 71, 1581–1592 pp.

**Daugherty, M. L.,** 1992, Formal toxicity summary for chromium. <https://rais.ornl.gov/tox/profiles/chromium.html> (Erişim tarihi: 18.08.2021)

**Dey, S. And Islam, A.,** 2015, A Review on Textile Wastewater Characterization in Bangladesh, *Resources and Environment*, 5(1), 15-44 pp.

**Doğan, S. ve Tanlak, K.,** 1998, Tekstilde kimyasal bitim işlemleri (güç tutuşurluk, buruşmazlık, su geçirmezlik ve su iticilik), Yüksek lisans tezi. Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (yayımlanmamış)

**Dorn, P. B., Raia, J. C., Rodgers, J. H., Jop, K. M. and Dickson, K. L.,** 1987, Hexavalent chromium as a reference toxicant in effluent toxicity tests, *Environmental Toxicology and Chemistry*, 6 (6), 435-444 pp.

**Egbueri, J. C.,** 2019, Groundwater quality assessment using pollution index of groundwater (PIG), ecological risk index (ERI) and hierarchical cluster analysis (HCA): A case study, *Groundwater for Sustainable Development*, doi: <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2019.100292>. (Erişim tarihi: 24.03.2021)

**Eletta, O. A. A., Mustapha, S. I., Ajayi, O. A. and Ahmed, A. T.,** 2018, Optimization of Dye Removal from Textile Wastewater using Activated Carbon from Sawdust, *Nigerian Journal of Technological Development*, 15(1), 26-32 pp.

**Eswaramoorthi, S., Dhanapal, K. and Chauhan, D.S.,** 2008, Advances in textile wastewater treatment: the case for UV-Ozonation and membrane bioreactor

for common effluent treatment plants in Tirupur, *Tamil Nadu, India*.  
*Environmental Technology Awareness Series*

**EURATEX – EUROSTAT**, Annual Report 2017, <https://euratex.eu/about-uratex/annual-reports/> (Erişim Tarihi: 28.05.2021)

**EUROSTEX – EUROSTAT**, Annual Report 2019, <https://euratex.eu/about-uratex/annual-reports/> (Erişim Tarihi: 28.05.2021)

**Gedik, G.**, 2020, Pamuk/Lyocell Kumaşların Titanyum (IV) Oksit Varlığında Ultraviyole Işınlarıyla Heterojen Fotokataliz İle Ağartılması Ve Ağartma İşlemine Oksijen Radikali Varlığının Etkisinin İncelenmesi, *Tekstil ve Mühendis*, 27 (118), 64-74 s.

**Ghannem, S., Khazri, A., Sellami, B. and Boumaiza, M.**, 2016, Assessment of heavy metal contamination in soil and *Chlaenius (Chlaeniellus) olivieri* (Coleoptera, Carabidae) in the vicinity of a textile factory near Ras Jbel (Bizerte, Tunisia), *Environmental Earth Sciences*, 75: 442, <https://link.springer.com/article/10.1007/s12665-016-5373-3?shared-article-renderer> (Erişim tarihi: 24.06.2021)

**Ghaly, A., Ananthashankar, R., Alhattab, M. and Ramakrishnan, V.**, 2014, Production, characterization and treatment of textile effluents: a critical review, *J Chem Eng Proc Technol*, 5, 1–18 pp.

**Hakanson, L.**, 1980, An ecological risk index for aquatic pollution control—a sedimentological approach, *Water Research*, 14:975–1001 pp.

**Hochstrat, R., Wintgens, T., Melin, T. and Jeffrey, P.**, 2006, Assessing the European wastewater reclamation and reuse potential — a scenario analysis, *Desalination*, 188, 1-8 pp.

**Hossain, M. and Kumar Patra, P.**, 2020, Water pollution index – A new integrated approach to rank water quality, *Ecological Indicators*, 117

**Hussain, J., Hussain, I. and Arif, M.**, 2014, Characterization of textile wastewater, *J Ind Pollut Control*, 20, 137–144 pp.

**Hussein, A. and Scholz, M.**, 2017, Dye wastewater treatment by vertical-flow constructed wetlands, *Ecol Eng*, 101, 28–38 pp.

**Hou, D., He, J., Lü, C., Ren, L., Fan, Q., Wang, J. and Xie, Z.**, 2013, Distribution characteristics and potential ecological risk assessment of heavy metals (Cu, Pb, Zn, Cd) in water and sediments from Lake Dalinouer, China, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 93, 135–144 pp.

**Ileana D.M.C., Hernandez-Montoya V., Rojas-Mayorga C.K. ve Bonilla-Petriciolet A.**, 2015, removal of heavy metals and arsenic from aqueous solution using textile wastes from denim industry, *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, 12, 1657-1668 pp.

**Imtiazuddin, S.M., Mumtaz, M. and Mallick, K.A.**, 2012, Pollutants of wastewater characteristics in textile industries, *J Basic Appl Sci*, 8, 554–556 pp.

**Joshi, V.J. and Santani, D.D.**, 2012, Physicochemical characterization and heavy metal concentration in effluent of textile industry, *Univ J Environ Res Technol*, 2, 93–96 pp.

**Kant, R.**, 2012, Textile dyeing industry an environmental hazard, *Natural Science*, 4(1), [https://www.scirp.org/html/4-8301582\\_17027.htm](https://www.scirp.org/html/4-8301582_17027.htm) (Erişim tarihi: 04.06.2021)

**Kara, M., Dumaoğlu, Y., Altıok, H., Elbir, T., Odabası, M. ve Bayram, A.**, 2014, Spatial variation of trace elements in seawater and sediment samples in a heavily industrialized region, *Environ Earth Sci*, 73, 405–421 pp.

**Karthik, T. and Gopalakrishnan, D.**, 2014, Environmental Analysis of Textile Value Chain: An Overview. In: Muthu S. (eds) Roadmap to Sustainable Textiles and Clothing. Textile Science and Clothing Technology. Springer, Singapore.

**Kır, İ., Tekin Özcan, S. ve Tuncay, Y.**, 2007, Kovada Gölü'nün Su ve Sedimentindeki Bazı Ağır Metallerin Mevsimsel Değişimi, *E.Ü. Su Ürünleri Dergisi*, 24 (1-2), 155–158 s.

**Kishor, R., Purchase, D., Saratale, G. D., Saratale, R. G., Ferreira, L. F. R., Bilal, M., Chandra, R. and Bharagava, R. N.,** 2021, Ecotoxicological and health concerns of persistent coloring pollutants of textile industry wastewater and treatment approaches for environmental safety, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9 (2), <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213343720313610> (Erişim Tarihi: 03.06.2021)

**Klaseva, A.,** 2020, Water - Fashion Victim of the Textile Industry <https://textileandfashion2030.se/wp-content/uploads/2020/02/AlinaKlaseva.pdf> (Erişim Tarihi: 02.06.2021)

**Kumru, M.N., Saç, M.M., Güloğlu, A., Gençler, F., Camgöz B., Sözbilir, H.,** 2006, Termal su kaynaklarındaki radon ölçümleri ile sismik aktiviteler arasındaki ilişkilere güncel bir örnek: 17-21 Ekim 2005 İzmir depremleri, ATAG10 - Aktif Tektonik Araştırma Grubu 10. Toplantısı Poster Sunumu, Dokuz Eylül Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, İzmir.

**Kükrer, S.,** 2016, Tortum Gölü Yüzey Sedimentlerindeki Metal Birikiminin Ekolojik İndeksler Yolu ile Kapsamlı Risk Değerlendirmesi, *Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4 (12), 1185-1191 s.

**Li, F., Zhong, Z., Gu, C., Shen, C., Ma, C., Liu, Y. Yin, S. and Xu, C.,** 2021, Metals pollution from textile production wastewater in Chinese southeastern coastal area: occurrence, source identification, and associated risk assessment, *Environmental Science and Pollution Research*, <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s11356-021-13488-3.pdf> (Erişim Tarihi: 26.03.2021)

**Li, Y., Peng, G., He, Q., Zhu, H. and Al-Hamadani, S. M. Z. F.,** 2015, Dispersive liquid–liquid microextraction based on the solidification of floating organic drop followed by ICP-MS for the simultaneous determination of heavy metals in wastewaters, *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 140, 156-161 pp.

**Manekar, P., Patkar, G., Aswale, P., Mahure, M. and Nandy, T.,** 2014, Detoxifying of high strength textile effluent through chemical and bio-oxidation processes. *Bioresour Technol*, 157, 44–51 pp.

**Martin, A. C., Anatolyevich Paschuk, S., Nicolosi Corrêa, J., Del Claro, F., and Antônio de Souza Filho, O.,** 2021, Evaluation of radon, radium and gamma radiation at the environmental preservation area of Passaúna river, Brazil, *Brazilian Journal of Radiation Sciences*, 9 (1A), 01-16 pp.

**Maryam, B. And Büyükgüngör, H.,** 2019, Wastewater reclamation and reuse trends in Turkey: Opportunities and challenges”, *Journal of Water Process Engineering*,

**Mendoza et al.,** 2015, The interaction of heavy metals and nutrients present in soil and native plants with arbuscular mycorrhizae on the riverside in the Matanza-Riachuelo River Basin (Argentina), *Science of the Total Environment*, 505, 555–564 pp.

**Mitroshkov, A. V., Zhong, and Thomas, L. M. P.,** 2019, Analysis of perfluorinated, pharmaceutical, personal care compounds and heavy metals in waste water sludge using GC-MS/MS and multicollector ICP-MS, <https://www.osti.gov/servlets/purl/1494304> (Erişim Tarihi: 18.08.2021)

**Mittersteiner, M., Schimitz, F. and Barcellos, I.O.,** 2017, Reuse of dye-colored water post-treated with industrial waste: Its adsorption kinetics and evaluation of method efficiency in cotton fabric dyeing, *Journal of Water Process Engineering*, 17, 181–187 pp.

**Mukate, S., Wagh, V., Panaskar, D., Jacobs, J.A. and Sawant, A.,** 2019, Development of new integrated water quality index (IWQI) model to evaluate the drinking suitability of water, *Ecological Indicators*, 101, 348–354 pp.

**Mulugeta, M. and Tibebe, D.,** 2019, Assessment of some selected metals from textile effluents in amhara region using AAS and ICPOES, *International Journal of Chemistry and Materials Research*, 7 (1), 27-31 pp.

**Nagabhushana, S. R., Sunilkumar, Surehs, A, Sannappa, J. and Srinisava, E.,** 2020, Study on activity of radium, radon and physicochemical

parameters in ground water and their health hazards around Tumkur industrial area, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 323, 1393–1403 pp.

**Naturally-Occurring Radioactive Materials (NORM)**, <https://world-nuclear.org/information-library/safety-and-security/radiation-and-health/naturally-occurring-radioactive-materials-norm.aspx> (Erişim Tarihi: 05.06.2021)

**Ntuli, F., Ikhu-Omoregbe, D., Kuipa, P.K., Muzenda, E. and Belaid, M.** 2009, Characterization of effluent from textile wet finishing operations. Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science October 20-22, 2009, San Francisco, USA

**Öner, E.**, 2007, Optik Ağartma İşlemi Görmüş veya Floresans Boyarmaddeler İle Boyanmış Tekstil Materyallerinde Renk Ölçümü, *XI. Tekstil Teknolojisi ve Kimyasındaki Son Gelişmeler Sempozyumu*, Bursa, Türkiye, 1-12 s.

**Özşeker, K.**, 2019, Artvin İli Tatlı Su Ekosistem Sedimentlerin’de Ağır Metallerin Çevresel Ekolojik Risk Etkilerinin Alansal ve Zamansal Değerlendirilmesi, *Anadolu Çev. ve Hay. Dergisi*, 4(3), 551-559 s.

**Pattnaik, P., Dangayach, G.S. and Kumar Bhardwaj, A.**, 2018, A review on the sustainability of textile industries wastewater with and without treatment methodologies, *Rev Environ Health*, 33(2), 163-203 pp.

**Rani, S., Kansal, S., Single A. K. and Mehra, R.**, 2021, Radiological risk assessment to the public due to the presence of radon in water of Barnala district, Punjab, India, *Environmental Geochemistry and Health*, <https://link.springer.com/article/10.1007/s10653-021-01012-y> (Erişim tarihi: 05.07.2021)

**Riccaro and Verlicchi**, 2018, Wastewater and reuse, *Current Opinion In Environmental Science & Health*. [https://iris.unife.it/handle/11392/2392082#.X\\_c3m9gzaUk](https://iris.unife.it/handle/11392/2392082#.X_c3m9gzaUk) (Erişim tarihi: 02.06.2021)

**Sabır, E. C. ve Sarpkaya, Ç.**, 2011, Haşıl prosesinin önemi, maliyet analizi, karşılaşılan sorunlar ve çözüm önerileri, *Tekstil ve Mühendis*, 18 (83), 8-13 s.

**Saç, M. M., Ortabuk, F., Kumru, M., İçedef, M. and Sert, Ş.,** 2012, Determination of radioactivity and heavy metals of Bakircay river in western Turkey, *Applied Radiation and Isotopes*, 70, 2494–2499 pp.

**Saç, M. M., Aydemir, S., İçedef, M., Kumru, M. N., Bolca, M. and Özen, F.,** 2014, Natural radioactivity levels of geothermal waters and their influence on soil and agricultural activities, *Radiation Protection Dosimetry*, 158 (2), 148–155 pp.

**Silva et al.,** 2018, Chemical and electrochemical advanced oxidation processes as a polishing step for textile wastewater treatment: A study regarding the discharge into the environment and the reuse in the textile industry, *Journal of Cleaner Production*, 198, 430-442 pp.

**Sivaram N.M., Gopal P.M. ve Barik D.,** 2019, Toxic waste from textile industries, *Energy from Toxic Organic Waste for Heat and Power Generation*, 43-54 pp.

**Sharma, K.P., Sharma, S., Sharma, S., Singh, P.K., Kumar, S., Grover, R. and Sharma, P.K.,** 2007, A comparative study on characterization of textile wastewaters (untreated and treated) toxicity by chemical and biological tests. *Chemosphere*, 69, 48–54 pp.

**Sivaram, N.M., Gopal, P.M. and Barik, D.,** 2019, Toxic Waste From Textile Industries, *Energy from Toxic Organic Waste for Heat and Power Generation*, 43-54 pp.

**Sweden Textile Water Initiative,** <https://stwi.se/> (Erişim Tarihi:03.06.2021)

**Şahin, L., Çetinkaya, H., Saç, M. M. and İçedef, M.,** 2013, Determination of radon and radium concentrations in drinking water samples around the city of Kütahya, *Radiation Protection Dosimetry*, 155 (4), 474–482 pp.

**Tabar, E., Kumru, M. N., İçedef, M. and Saç, M. M.,** 2013, Radioactivity level and the measurement of soil gas radon concentration in Dikili geothermal area, Turkey, *Iranian Journal of Radiation Research* , 11(4), 253-261 pp.

**Tarantini, M. and Sara, B.,** 2003, TOWEF0 (Toward Effluent Zero) evaluation of the effect of the IPPC application on the sustainable waste management in textile industries life cycle assessment of viscose fabric in I04 company, Technical Report, [https://www.researchgate.net/publication/271211495\\_TOWEF0\\_Toward\\_Effluent\\_Zero\\_EVALUATION\\_OF\\_THE\\_EFFECT\\_OF\\_THE\\_IPPC\\_APPLICATION\\_ON\\_THE\\_SUSTAINABLE\\_WASTE\\_MANAGEMENT\\_IN\\_TEXTILE\\_INDUSTRIES\\_Life\\_Cycle\\_Assessment\\_of\\_viscose\\_fabric\\_in\\_I04\\_company](https://www.researchgate.net/publication/271211495_TOWEF0_Toward_Effluent_Zero_EVALUATION_OF_THE_EFFECT_OF_THE_IPPC_APPLICATION_ON_THE_SUSTAINABLE_WASTE_MANAGEMENT_IN_TEXTILE_INDUSTRIES_Life_Cycle_Assessment_of_viscose_fabric_in_I04_company) (Erişim Tarihi: 05.07.2021)

**Tchounwou P.B., Yedjou C.G., Patlolla A.K. and Sutton D.J.,** 2012, Heavy Metal Toxicity and the Environment. In: Luch A. (eds) Molecular, Clinical and Environmental Toxicology. *Experientia Supplementum*, 101. Springer, Basel.

**Tigini, V. Et al.** 2011, Evaluation of toxicity, genotoxicity and environmental risk of simulated textile and tannery wastewaters with a battery of biotests, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 74, 866-873 pp.

**Tokatlı, C., Çiçek, A. ve Köse, E.,** 2017, Biyo – Ekolojik Risk İndeksleri Kullanılarak Seydisuyu Havzası Sediment Kalitesini Değerlendirilmesi, *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7 (2), 115-123 s.

**Tokatlı, C., Uğurluoğlu, A., Köse, E., Çiçek, A., Arslan, N., Dayioğlu, H. and Emiroğlu, Ö.,** 2021, Ecological risk assessment of toxic metal contamination in a significant mining basin in Turkey, *Environmental Earth Sciences*, 80(17), <https://doi.org/10.1007/s12665-020-09333-4> (Erişim Tarihi: 03.03.2021)

**Türkmen, A.,** 2015, Giresun sahilindeki bazı derelerin denize deşarj olduğu noktalardaki su ve sedimentte ağır metal kirliliği, *Türk Tarım - Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 3(9), 707-714 s.

**Tyler, G. and Yvon, J.,** 2002, ICP-OES, ICP-MS and AAS techniques compared, ICP Optical Emission Spectroscopy, Technical Note 5

**Uddin, F.,** 2019, TextileManufacturingProcesses

**UNESCO World Water Assesment Programme.** “The United Nations world water development report 2019: leaving no one behind” <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000367306> (Erişim tarihi: 02.06.2021)

**UNESCO World Water Assesment Programme.** “The United Nations world water development report 2021: valuing water; facts and figures” <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000375751> (Erişim tarihi: 02.06.2021)

**Ülküm, Ö.,** 2016, Bodrum Yarımadasında Radon Ölçümleri İle Depremsellik Arasındaki İlişkilerin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 81s.

**Ülküm, Ö., Taşköprü, C., İçhedef, M., Saç, M. M. ve Kumru, M. N.,** 2017, Ground water anomalies in Bodrum peninsula, *Terra Nova*, 30: 152–161 pp.

**Voelker, D., et al.,** 2015, Approach on environmental risk assessment of nanosilver released from textiles, *Environmental Research*, 140, 661- 672 pp.

**Voulvoulis, N.,** “Water Reuse from a Circular Economy Perspective and Potential Risks from an Unregulated Approach”, *Current Opinion in Environmental Science & Health*.

**Yarar, Z., Taşköprü, C, İçhedef, M, Saç, M. M., Kumru, M. N. ve Bolca, M.,** 2015, 222Ra and 226Ra in geothermal waters of Bayındır-Izmir (Turkey), *Environ Earth Sci*, 74, 6943–6949 pp.

**Yaseen, D.A. and Scholz M.,** 2019, Textile dye wastewater characteristics and constituents of synthetic effluents: a critical review, *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16, 1193-1226 pp.

**Yetilmezsoy, K. ve Sapci-Zengin, Z.,** 2009, Stochastic modeling applications for the prediction of COD removal efficiency of UASB reactors treating diluted real cotton textile wastewater, *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 23, 13–26 pp.

**Yılmaz, E., Altaş, S., Adman, N. ve Yalçın Özkan, B.,** 2020, Laminasyon Tekniği İle Üretilen Sim İpliklerden Örülen Kumaşların Tekstil Terbiye

İşlemlerine Karşı Dayanımının İncelenmesi, *Tekstil ve Mühendis*, 27 (120), 260-270 s.

**Yiğit, İ. ve Eren, S.**, 2017, Haşıl sökme işlemine alternatif bir metot; ozon uygulaması, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 22 (1), 139-148 s.

**Zeiner, M., Rezić, I. and Steffan, I.**, 2007, Determination of Heavy Metals in the Textile Industry, *Kem. Ind.*, 56 (11), 587–595 pp.



## TEŞEKKÜR

Tez konusunun belirlenmesi, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve tezin düzenlemesi konusunda bana yol gösteren ve her koşulda destek olan değerli danışmanım Sayın Doç. Dr. Banu YOHO'ya, analiz ve ölçümlerin yapılmasında büyük katkı sağlayan Doç. Dr. Mutlu İçhedef ve Araştırma Görevlisi Caner Taşköprü'ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez kapsamında kullanılan su numunelerinin temini konusunda bana her türlü desteği sağlayan başta Sayın İshak Aydın Öztürk ve Ekin Pelen olmak üzere Ekoten Tekstil San. ve Tic. A.Ş.'ye ve çalışmalarım için gereken imkanları sunan saygıdeğer yöneticim Bekir Boyacı ve Sun Tekstil Ar-Ge Merkezi'ne teşekkürü borç bilirim.

Bu tez çalışması parasal yönden Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje Numarası: FYL-2021-22777. Bu desteğin gerçekleşmesini sağlayan Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teşekkürlerimi sunarım.

Eğitimim süresince bana sağladıkları destek ve duydukları güven için sevgili ailem Serap Oral, Mustafa Oral ve Mustafa Kader'e, ilham ve takdir kavramlarını hayatıma sokup beni harekete geçiren değerli Nuray Karataş'a ve bu süreçte beni her daim gözetten sevgili Handan Özcan Karali'ye gönülden teşekkür ederim.

Bu tez çalışması, birisine inanmanın sınırları olmadığını gösteren sevgili eşim Mustafa Kader'e adanmıştır.

01/09/2021

Melike Oya KADER

**ÖZGEÇMİŞ**

**Adı Soyadı** : Melike Oya KADER

**Öğrenim Durumu:**

**Lisans** : Kimya, Fen Edebiyat Fakültesi  
Orta Doğu Teknik Üniversitesi  
2012

**Yüksek Lisans** : Mühendislik Yönetimi, Fen Bilimleri Enstitüsü  
Dokuz Eylül Üniversitesi  
2017

**Yüksek Lisans** : Yöneticiler için MBA, İşletme Enstitüsü  
İzmir Ekonomi Üniversitesi  
2017

**Mesleki Deneyim:**

**08/2012 – 11/2014** : Ar-Ge Kimyager  
Vestel Beyaz Eşya San. ve Tic. A.Ş.

**09/2015 – 07/2017** : Ar-Ge Araştırmacı  
AKG Gazbeton İşletmeleri San. ve Tic. A.Ş.

**07/2017 – ...** : Deneyimli Ar-Ge Uzmanı  
Sun Tekstil San. ve Tic. A.Ş.