



The Role and Importance of Heavy Metal Removal in Occupational Health–Safety and Reverse Logistics

Hüseyin SERENCAM¹, Metin UÇURUM*²

¹Bayburt Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Bayburt, Türkiye
²Bayburt Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Bayburt, Türkiye

Keywords:

Heavy Metals,
Heavy Metals
Removal,
Occupational
Health and Safety,
Reverse Logistic

Abstract

Depending on the content of the production process, which is evaluated within the scope of chemical risks, there is generally the presence of heavy metals in the aqueous waste of many industries. It is dangerous to give or reuse factory waste water containing one or more heavy metals without being cleaned. Therefore, the wastewater, content heavy metals, must be removed by using one or more of the physical, chemical and biological treatment methods. Occupational health and safety are risks arising from many different causes such as raw materials, production process and waste in the workplaces and threatening the health and safety of employees. It is systematic, scientific and multidisciplinary works. Reverse logistics studies are important for today's businesses, primarily for economic and environmental reasons, competition and energy. The concept of reverse logistics is very general; recycling of factory outputs (defective products, solid and aqueous wastes, etc.) with the help of a system or process. In this context, the cleaning and reuse of aqueous wastes from the facilities is important for many reasons today. In this study, after giving information about heavy metals, heavy metals removal, occupational health–safety and reverse logistics, the relationship between them will be discussed.

Ağır Metal Gideriminin İş Sağlığı ve Güvenliği ve Tersine Lojistikteki Yeri ve Önemi

Anahtar Kelimeler:

Ağır Metaller,
Ağır Metal
Giderimi,
İş Sağlığı ve
Güvenliği,
Tersine Lojistik

Özet

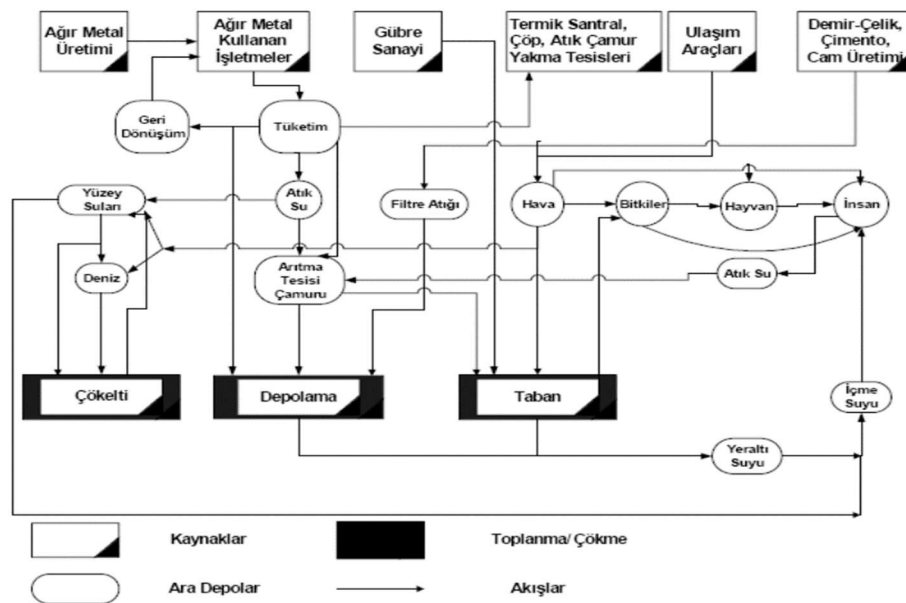
Kimyasal riskler kapsamında değerlendirilen ve üretim prosesinin içeriğine bağlı olarak genellikle birçok sanayinin sulu atıklarında ağır metallerin varlığı söz konusudur. Ağır metallerden bir veya birkaçını içeren fabrika atık sularının temizlenmeden doğaya verilmesi veya tekrar kullanılması ortamdaki canlı yaşamı tehlikeye sokar. Bu nedenle, söz konusu ağır metal içerikli atık suların başta fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtma yöntemlerinden bir veya birkaçını kullanarak arıtılması gerekmektedir. İş sağlığı ve güvenliği, işyerlerinde hammadde, üretim süreci ve atık gibi birçok farklı nedenlerden kaynaklanan ve çalışanların sağlığını ve güvenliğini tehdit eden risklerden korunmak amacıyla yapılan sistemli, bilimsel ve multidisipliner bir yapıya sahip çalışmalar bütünüdür. Başta ekonomik ve çevresel nedenler olmak üzere rekabet ve enerji gibi sebeplerden dolayı tersine lojistik çalışmaları günümüz işletmeler için üzerinde önemle durulması gereken konular arasına girmiştir. Tersine lojistik kavramı çok genel ifade ile; fabrika çıktılarının (kusurlu ürün, katı ve sulu atıklar vb.) geri dönüşümlerinin bir sistem ya da proses yardımı ile tekrar kullanılabilir hale getirilmeleridir. Bu bağlamda tesislerden çıkan sulu atıkların temizlenerek tekrar kullanımı günümüzde birçok nedenden dolayı önem arz etmektedir. Bu çalışmada, ağır metaller, ağır metal giderimi, iş sağlığı ve güvenliği ve tersine lojistik hakkında bilgi verildikten sonra aralarındaki ilişki tartışılacaktır.

1 GİRİŞ

Günümüz dünyasında sanayileşme ile birlikte çevreye verilen zarar önemli seviyelere ulaşmıştır. Sanayileşmenin tetiklediği kentleşme ile birlikte çevresel sorunlar tüm dünyayı olumsuz etkileyen önemli bir sorun haline gelmiş durumdadır [1]. Öz kütlesi 5 g/mL'den daha büyük olan ve zehirlenmelere neden olan metal ve yarı metaller ağır metal olarak kabul edilmektedir. Ağır metallerin bazıları canlıların yaşamsal fonksiyonları için önemlidir. Esansiyel metaller olarak ifade edilen bu metallere demir, çinko ve bakır örnek olarak verilebilir. Esansiyel metaller canlıların yaşamsal fonksiyonları için önemli olmasına karşın yüksek konsantrasyonlarda toksik etki gösterirler. Esansiyel olmayan metaller ise canlıların yaşamsal fonksiyonları açısından önem arz etmezler. Bununla birlikte, bu metallerin düşük konsantrasyonları bile yüksek toksik etkiler gösterir. Kurşun, civa ve kadmiyum esansiyel olmayan metaller içerisinde yer almaktadır [2-4]. Ağır metallerin ortaya çıkardığı sorunlar başlangıçta meslek hastalıkları kapsamında ele alınmış, fakat daha sonra su kaynaklarındaki kirliliğin artmasıyla beraber bu sorunun çevresel bir sorun olduğu kabul görmüştür. Ağır metallerin yaygın olarak ortaya çıktığı endüstri kollarına; kimya, madencilik, çimento, demir-çelik, enerji ve geri dönüşüm örnek olarak verilebilir. Endüstriyel prosesler sonrası açığa çıkan ağır metaller yalnızca suya karışmakla kalmamakta, toprağa ve havaya da nüfuz edebilmektedir. Besin zincirinin etkisiyle bu ağır metaller bitkileri, hayvanları ve insanları doğrudan etkilemektedir [5,6]. Ağır metallerin çoğunlukla açığa çıktığı endüstri kolları Tablo 1'de yer almaktadır. Ağır metallerin doğaya yayılması ise Şekil 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Ağır metallerin kullanıldıkları ve atıldıkları endüstriler [7]

Endüstri Adı	As	Be	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Mo	Ni	Pb	Sb	Se	Sn	Ti	Tl	V	Zn
Metal Alaşımı	+		+	+	+	+			+		+	+	+	+		+			+
Batarya ve Pil Üretimi		+						+	+		+	+		+					+
Tarım	+							+	+							+	+		
Seramik ve Cam Üretimi	+			+							+	+		+			+		
Kimya, İlaç, Dişçilik	+		+		+	+		+		+		+	+	+	+				+
Kaplama			+		+	+				+		+				+			+
Elektronik Cihaz Üretimi	+							+					+						
Gübre	+		+		+			+	+		+	+							+
Fosil Yakıt Yakımı	+		+					+				+	+	+					
Madencilik	+	+	+		+	+		+	+		+	+	+	+		+	+		+
Boya ve Pigment	+		+	+	+	+					+	+	+	+		+			+
Petrol Rafinasyonu	+			+	+	+					+	+							+
Makine							+	+					+						
Plastik Üretimi			+										+						
Kâğıt Üretimi					+	+		+				+							
Tekstil	+				+	+													



Şekil 1. Ağır metallerin doğaya yayılması [8]

Özellikle endüstride proseslerde olmak üzere birçok ihtiyaç için tesislerde su kullanılmaktadır. Bu nedenle endüstriyel kökenli atık suların sınıflandırmasında suyun kullanım amacı ve kirleticilerin özellikleri önem arz etmektedir. Bu bağlamda endüstriyel atık sular, proses atık suları, proses dışı atık sular ve evsel nitelikli atık sular olmak üzere üç temel gruba ayırmak mümkündür [9,10]. Sanayi kuruluşlarında, çalışan sağlığının ve güvenliğinin temin edilebilmesi için 2012 yılında İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu çıkarılmıştır. Bu kanun, iş görenlerin ve işverenlerin iş sağlığı ve güvenliği kapsamındaki sorumluluk ve yükümlülüklerini düzenlemektedir. Kanun kapsamında işverenler, çalışma ortamının çalışanlar açısından uygunluğunu kontrol etmek için ölçüm ve analizler yaptırmakla yükümlüdür. Bu ölçüm ve analizleri gerçekleştirecek laboratuvarların ulusal veya uluslararası bir akreditasyon kuruluşunca akredite olmaları da gerekmektedir [11].

Atık su arıtımının temel amacı, atık suyun deşarj edildikleri alıcı ortamın özelliklerini bozmayacak özelliklere getirmektir. Bunun için tesislerde fiziksel kimyasal ve biyolojik arıtma işlemlerin bir ya da birkaçı uygulamaya alınarak bu hedefe ulaşılabilmektedir. Atık suyun özelliklerine bağlı olarak birincil, ikincil ve ileri arıtma yöntemleri tercih edilebilmektedir. Bunlardan birincil arıtma fiziksel arıtma işlemlerini içermekte olup, atık sudaki yüzen ve çökebilen katı maddelerin uzaklaştırılması işlemlerini kapsamaktadır. Biyolojik ve/veya kimyasal arıtma ünitelerini içeren ikincil arıtma organik maddelerin gideriminde kullanılırken, ileri arıtma işlemleri ise bunlara ek olarak ikincil arıtmada giderilmeyen atık su kirleticilerin uzaklaştırılmasında kullanılan prosesleri kapsamaktadır [12]. İşlenmiş atık su tekrar kullanım için uygun özelliklerde olduğu kabul edilen geri kazanılmış su olarak tanımlanabilmektedir. Bazı işlemler sonrası geri kazanılan atık suyun tekrar kullanılması, atık suyun arıtma verimliliğini yükselterek doğal ortamlar için kirletici özelliğinin minimize edilmesini de sağlamaktadır [13]. Atık suların arıtılması yoluyla geri kazanılmasındaki temel neden, su kaynaklarının korunması ve temiz su kaynaklarının daha az kullanımının sağlanmasıdır. Atık suların geri kazanılması proseslerinde, atık suya olması gereken özelliklerin kazandırılması yolu ile yeniden kullanımının yolu da açılmaktadır. Atık suyun yeniden kullanımı için gerçekleştirilen işlemler öncelikle mali imkânlarla bağlıdır. Arıtılmış atık suyun özellikleri ile suyun geri kullanım amacına göre istenen su kalite parametrelerinin uyum içinde olması elbette şarttır. Atık suların arıtımı için seçilecek teknolojiler istenilen kalite kriterlerini, güvenilirliği, işletme kolaylığını ve ekonomik imkanlar düşünülerek seçilmek zorundadır [14]. Bununla birlikte uygun arıtma teknolojilerinin seçiminde iklim koşulları, arazi özellikleri, sosyal ve ekonomik faktörler diğer parametreler arasındadır [15].

Bu çalışmada, ağır metaller ve giderimi, iş sağlığı ve güvenliği ile ters lojistik hakkında bilgi verildikten sonra, aralarındaki ilişki üzerine yapılan tartışmalara yer verilmiştir.

2 AĞIR METALLER

Düşük konsantrasyonlarda dahi toksik etki gösteren metal ya da yarı metaller ağır metal olarak adlandırılır [16]. Bazı ağır metallerin insan sağlığı açısından zararları Tablo 2'de verilmiştir. Ayrıca bu bölümde önemli ağır metaller hakkında bazı özet bilgiler sunulmuştur.

Tablo 2. Tehlikeli ağır metallerin maksimum konsantrasyon limitleri (MCL), USEPA [17]

Ağır Metal	İnsan Sağlığı Açısından Zararları	MCL, mg/L
Arsenik	Deri rahatsızlıkları, iç organ kanserleri, damar hastalıkları	0.05
Kadmiyum	Böbrek hastalıkları, renal bozukluklar, kanserojen etki	0.01
Krom	Baş ağrısı, ishal, mide bulantısı, kusma, kanserojen etki	0.05
Bakır	Karaciğer zararı, Wilson hastalığı, uykusuzluk	0.25
Nikel	İltihap, mide bulantısı, kronik astım, öksürme, kanserojen etki	0.20
Çinko	Depresyon, uyusukluk, nörolojik rahatsızlıklar ve susuzluk	0.80
Kurşun	Böbrek rahatsızlıkları, dolaşım ve sinir sistemi ile cenin beyninin zarar görmesi	0.006
Civa	Romatik kireçlenme, böbrek rahatsızlıkları, dolaşım ve sinir sisteminin zarar görmesi	0.00003

2.1 Arsenik

Arsenik kimya ve metalürji endüstrisinde ortaya çıkan atık suların içerisinde yer alır. Çoğunlukla arsenat (AsO_4^-) ve arsenit (AsO_2^-) formlarında anyonik türler olarak bulunur. En toksik olan arsenik bileşiği arsenik trioksittir (As_2O_3). Vücuda nüfuz ettiğinde deri, kas ve kemiklerde birikmekte, az miktarda da bazı iç organlarında birikmektedir. Arsenik zehirlenmeleri siroza, iltihaplanmalara, kemik iliği ve deri hasarlarına sebep olabilmektedir. Arsin gazı ise şiddetli kan zehirleyicidir [18].

2.2 Kadmiyum

Kadmiyum, çinko üretimi ile birlikte çevre kirliliğine sebep olan ağır metaller arasında yer alır. Kadmiyum daha çok pillerde, boya endüstrisinde, gemi endüstrisinde ve elektronik endüstrisinde kullanılmaktadır. Ayrıca bazı kimyasal ürünlerde fosfatlı gübrelerde de mevcuttur [19]. Yıllık olarak yaklaşık 30.000 ton kadmiyum doğaya karışmakta ve bunun yaklaşık 10.000 tonu ise insan faaliyetlerine bağlı olarak doğaya karışabilmektedir [20].

2.3 Krom

Genellikle alaşım elementi olarak kullanılan krom, havada $0.1\mu\text{g}/\text{m}^3$ 'ten büyük ve kirlenmemiş suda ortalama $1\mu\text{g}/\text{L}$ bulunur. Fosil yakıtların ve ağaç ürünlerin yanma reaksiyonları neticesinde doğada, değeri altı olan, krom oluşur. Bu krom türü havada daha karardır, fakat toprakta ve suda üç değerli formuna indirgenir. Kromun ekosistem içerisinde doğal bir çevrimi olmasına rağmen yıllık yaklaşık 6700 ton krom deniz ve okyanus tabanında çökler [21].

2.4 Bakır

Birçok endüstriyel alanda kullanılan bakırın paketlemelerde kullanılması ürünlerin kirlenmesine ve dolayısıyla çevre kirliliğine sebep olur [22]. Bakır ve çinko gibi metaller bitkilerin büyüme ve gelişme sürecinde önemli olmasına karşın bu metallerin fazlalığı; kurşun, nikel ve kadmiyum gibi diğer ağır metallerde olduğu gibi bitkilerde toksik etkiye sebep olur [23]. Bakır kirliliği kaynakları Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Bakır kirliliği kaynakları [24]

2.5 Nikel

Nikelin başlıca kullanım alanları; otomotiv ile uçak endüstrisi ve makine imalatıdır. Ayrıca, hidrojenasyon sürecinde katalizör olarak kullanılır. Nikelin en zehirli hali nikel tetra karbondur. Nikle fazla maruziyet deri hastalıklarına sebep olur. Ayrıca solunması ise solunum yoluna zarar verebilmektedir. Akut zehirlenmeler, baş dönmesi, baş ağrısı ve kusma ile başlar durum ağırlaştıkça nefes darlığı, ciltte morluklar, vücut ısısında artış ve akyuvar sayısının yükselmesi meydana gelir [25].

2.6 Çinko

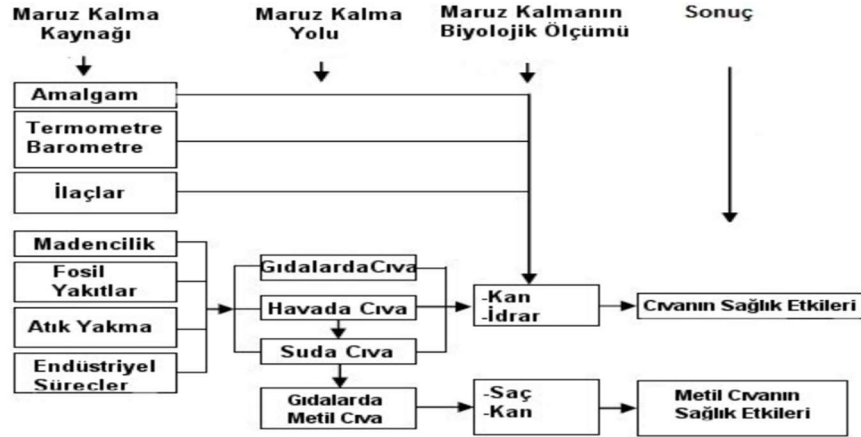
Çinko elde edilirken ilk olarak çinko filizleri kavrulur. Böylece karışık oksitler elde edilir. Ardından bu oksit yapı karbonla indirgenir. Böylece kadmiyum ve çinko metallere oluşan bir karışım meydana gelir. Bu karışım damıtma ile ayırılarak çinko elde edilmektedir. Çinkonun geniş bir kullanım alanı mevcuttur. Otomotiv başta olmak üzere, kimya, çelik, termik enerji endüstrisi ve cam üretimi buna örnek olarak verilebilir. Yaygın kullanım alanı nedeniyle atık sularda çinko varlığı incelenmelidir [26].

2.7 Kurşun

Metalik özelliği yüksek olan kurşun elementi, doğada genellikle galen (PbS), serüsit (PbCO_3) ve anglesit (PbSO_4) mineralleri olarak bulunur [27]. Kurşun biyokimyasal reaksiyonlarda yer almaz. İnsanlar tarafından uzun yıllardır bilinen ve kullanılan bir metal olan kurşun, günümüzde endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Kurşun insan sağlığı açısından büyük bir tehdittir ve organik ve inorganik olarak iki ayrı formda bulunur. Organik kurşuna genellikle içme suyunda ve gıda maddelerinde karşılaşılar. Uçucu bir özelliğe sahiptir. İnorganik kurşun ise atmosferde partiküller şeklinde bulunabilmektedir. Bundan dolayı, organik kurşun canlı yaşamına daha fazla etki eder [28,29].

2.8 Civa

Doğada organik ve inorganik formda yer alan civa, gümüş beyazı renge sahip olup kokusuzdur, parlaktır ve oda sıcaklığında sıvı haldedir. Floresan lambalar, termometre, tansiyon aleti, diş dolgusu ve kâğıt hamuru civanın kullanıldığı endüstriyel ürünlere örnek olarak verilebilir. Özellikle kâğıt fabrikalarında ortaya çıkan atık sular civanın çevreye yayılımına önemli bir örnektir. Sanayileşmenin etkisiyle, civanın çevrede bulunma oranı eskiye göre üç kat yükselmiştir. Deniz ürünleri genelde az miktarda civa içermesine rağmen avlanan bazı balık türleri daha yüksek oranda civa içerebilmektedir. Bu balık türlerinin düzenli ve yüksek miktarlarda tüketimi vücutta civa birikimine sebep olabilmektedir [30]. Civa maruziyet çizelgesi Şekil 3’de yer almaktadır.



Şekil 3. Civa maruziyet çizelgesi [31]

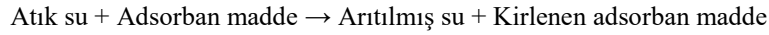
3 AĞIR METAL GİDERİMİ

Atık suların arıtılmasında, ön arıtma, birincil arıtma, ikincil arıtma, üçüncül ya da ileri arıtma ve çamur arıtma olmak üzere beş temel aşama bulunmaktadır. Bu aşamaların içerikleri Tablo 3’de özetlenmiştir [32,33]. Metal üretim süreçleri, madencilik, enerji depolama süreçleri, termal güç, nükleer güç vb. üretimi ağır metallerin oluşumuna sebep olan önemli üretim süreçlerinden sayılabilmektedir [34]. Özellikle madencilik ve akımla metal kaplama işlemleri, atık sulara metal bırakılmasına sebep olan endüstriyel süreçler olduğundan bu süreçler ekosistem için potansiyel bir risk oluşturmaktadır. Kurşun, bakır, civa, kadmiyum, uranyum gibi ağır metaller bu süreçler ile yüksek miktarda çevreye salınabilmektedir [35]. Ağır metallerin ayrışmaya karşı dirençli olmaları, onların ortamdaki eleminde edilmesini doğal olarak zorlaştırır [36]. Ağır metal giderim süreçleri fiziksel, kimyasal ve biyolojik olarak sınıflandırılabilir [37].

Filtreleme ve çöktürme fiziksel yöntemlere örnek olarak verilebilir. Bu yöntemler tek başına kullanılabildiği gibi kimyasal yöntemlerle birlikte de kullanılabilirler. Bu yöntemlerin birlikte kullanılabileceği kimyasal yöntemlere iyon değişimi, adsorpsiyon ve ters ozmos örnek olarak verilebilir. Ancak bu sistemler maliyetli olduğundan sadece bazı ağır metallerin arıtılmasında kullanılmaktadırlar [38]. Ayrıca, fiziksel yöntemler yüksek hacimler için uygun değildir. Kimyasal yöntemler ise bazı durumlarda canlılar için risk oluşturabilmektedir. Bununla birlikte, fiziko-kimyasal yöntemler de mevcut olup bu yöntemler yüksek seviyede kirlilik içeren ortamların arıtılması amacıyla kullanılmaktadır [39]. Biyolojik yöntemler ise çevre dostu olarak kabul edilir. Bu yöntemde fitoremediasyon örnek olarak verilebilir. Biyolojik yöntemlerde genellikle bitkiler kullanıldığından bu yöntemlerin maliyeti diğer yöntemlere göre daha düşüktür. Biyolojik yöntemler özellikle orta seviyede kirlenmiş sularda, ağır metal giderimi için kullanılabilecek cazip bir teknolojiler sunabilmektedir [40].

Kimyasal içerikli atıkların arıtılmasında kullanılabilecek alternatiflerine Tablo 4’de yer verilmiştir. Üçüncül arıtmanın devreye alındığı arıtma işlemlerinde atık suların geri kazanılabilmesi için muhtelif arıtma seçenekleri ise Şekil 4’de özetlenmiştir. Ağır metal giderimi amacıyla tercih edilen yöntemlerin bazıları kimyasal çöktürme ve filtrasyon, elektro-kimyasal yöntemler, kimyasal oksidasyon ve indirgenme, iyon değişimi, buharlaştırma, ters ozmos ve adsorpsiyondur. Bu yöntemlerin avantajları ve dezavantajları ise Tablo 5’de yer almaktadır. Organik ve inorganikleri içerikli toksik ve toksik olmayan kirleticileri barındıran karmaşık yapıları atık suların arıtılmasında sıkı bir arıtma prosesinin uygulanmasına ihtiyaç vardır. Burada en önemli hususlardan bir tanesi ise biyolojik arıtmadan önce ağır metallerin giderilmesi gerekliliğidir. Genellikle ağır metaller biyolojik süreçler için toksik olabilir ve çamurda toplanabilmektedirler. Bu durum çamur uzaklaştırmada bir sorun olarak karşımıza çıkabilmektedir [41].

İleri arıtma metotları (dezenfeksiyon) arıtma tesisinde elde edilen suyun alıcı ortama verilmeden ve ya tekrar kullanıma sunulmadan önce, suda bulunan bakteri ve virüs empürütelerinden temizleme işlemidir. Klasik olarak bilindiği üzere atık su arıtımında tercih edilen ve kullanılan yöntem klorla dezenfeksiyondur. Adsorpsiyon ise suda çözülmüş maddelerin uygun bir ara yüzeyde toplanması işlemidir. Tesis çıkış suyunun istenilen özelliklerde olması amacı ile adsorpsiyon prosesinden yararlanan sistemlerde su bir adsorbanın bulunduğu (genellikle aktif karbon) sistemden geçirilerek arıtma gerçekleştirilebilmektedir. Burada adsorbanın toz veya granül olarak alternatifleri söz konusu olabilmektedir [42]. Ağır metaller gerek yeraltı suları gerekse yüzey suları için en önemli kirlenici etkenlerdir. Suda kirliliğe sebep olan metaller genellikle katyonik formda olan Cd^{2+} Pb^{2+} ve Zn^{2+} metal iyonlarıdır [45,49]. Günümüz teknolojileri arasında adsorpsiyonun bu ağır metallerin giderimi için kullanılan en önemli yöntem olduğu söylenebilir. Maliyet ve verimlilik bu yöntemin tercih edilmesindeki iki temel kriterdir [50,51]. Bir örnek vermek gerekirse atık sulardan boyalar maddelerin uzaklaştırılmasında adsorpsiyon yöntemi hem ekonomik hem de başarılı bir yöntemdir. Bununla birlikte kullanılacak adsorbanın ucuz ve kolay bulunabilir olması da üzerinde durulması gereken diğer bir husustur [52,53]. Bilindiği üzere adsorpsiyon, kimyasal, değişim ve fiziksel adsorpsiyon olmak üzere üç farklı tipi mevcuttur. Atık sudaki adsorpsiyon reaksiyonu aşağıda verilen şekilde gerçekleşir [54]:



Adsorpsiyon yönteminde adsorban olarak aktif karbon, alümina ve silika jel gibi çeşitli kimyasallar kullanılmakla birlikte özellikle son yıllarda doğal adsorban maddeler de sıklıkla kullanılmaktadır [55]. Adsorpsiyon günümüzde birçok doğal süreç için kritik öneme sahiptir [56]. Adsorpsiyon prosesini etkileyen parametrelerin başında karıştırma hızı, pH, adsorplanan madde ve çözücünün özellikleri ve adsorbanın özellikleri yer almaktadır [57].

Tablo 3. Arıtma kademeleri ve kirlenici giderimleri [32,33].

Arıtma kademesi	Giderimi gerçekleştirecek prosesler	Giderilen kirleniciler
-Ön arıtma -Birincil Arıtma (Fiziksel)	<ul style="list-style-type: none"> • Izgara • Elek • Öğütme • Dengeleme • Kum tutma • Yağ tutucu • Çöktürme • Flotasyon 	<ul style="list-style-type: none"> • Kaba kirlenici maddeler • Kediliğinden çökeltilen kirlenici inorganik maddeler • Yağ
Birincil Arıtma (Kimyasal)	<ul style="list-style-type: none"> • Nötralizasyon • Pıhtılaştırma • Yumaklaştırma 	<ul style="list-style-type: none"> • Kendiliğinde çökebilin organik maddeler • Yağ ve gres • pH ayarlanması
İkincil arıtma	<ul style="list-style-type: none"> • Aktif çamur • Damlatmalı filtreler • Stabilizasyon havuzu • Anaerobik arıtma 	<ul style="list-style-type: none"> • Besi elementleri • Metaller • Askıda katı maddeler • Çözülmüş organikler
Üçüncül (ileri) arıtma	<ul style="list-style-type: none"> • Membran prosesler • Adsorpsiyon • İyon değiştirme • Kum filtrasyonu • Nitritifikasyon • Denitritifikasyon 	<ul style="list-style-type: none"> • İyonlar • Makromoleküller • Besi elementleri • Renk • Koku • Koloidal maddeler • Seçilmiş organik veya inorganikler • İyonlar • Koloidal • NH_3- NO_3 • Besi elementleri • Metaller
Çamur arıtma	<ul style="list-style-type: none"> • Çamur yoğunlaştırıcılar • Çamur çürütücüler • Çamur suyunu alma 	

Endüstriyel atıklar, nicelik ve nitelik açısından bazı farklılıklar gösterebilir. Fakat yine de endüstriyel atıkların kontrol edilebilirliği daha fazladır. Nitekim bunlardan bazıları, ilgili endüstriye ait atık temizleme sistemlerinde temizlenebilir. Bazıları ise doğrudan şehrin pis su toplama şebekesine verilebilmektedir. Bu sayede, kentsel ve

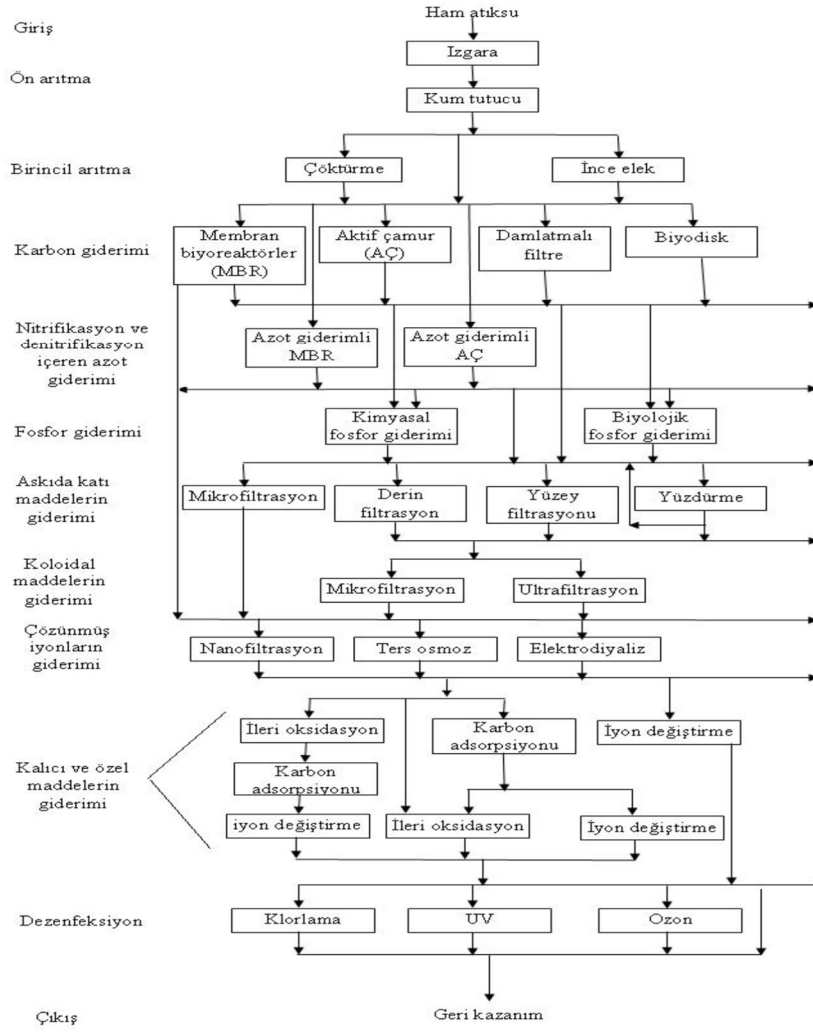
endüstriyel atıklar bir arada temizlenmesi söz konusu olabilmektedir. Böyle bir sistemin sorunsuz çalışabilmesi için endüstriyel atıkların temizleme sisteminde problem oluşturmayacak bir yapıda olması gerekir. Dolayısıyla, endüstriyel atık suların detaylı bir şekilde incelenmesi gerekir [58]. Adsorpsiyon, sıvı veya gaz fazlı sistemlere uygulanabilen önemli bir süreçtir. Sıvı fazlı sistemlere benzindeki çözünmüş nemin ayrıştırılması, organik çözeltilerden organik bileşiklerin uzaklaştırılması örnek olarak verilebilir. Gaz fazlı sistemlere ise gazlardan su buharının ayrıştırılması ve doğalgazdan kükürlü bileşenlerin uzaklaştırılması örnek olarak verilebilir. Atık su arıtma süreçlerinde sıklıkla kullanılan adsorpsiyon yönteminde uygun adsorban seçimi, mevcut yöntemi daha etkin hale getirmektedir [59].

Tablo 4. Kimyasal arıtma teknolojileri [36]

Arıtma Metodu	Atık tipi	İşletme şekli	Arıtım derecesi	Yorum
İyon değişimi	Kaplama, nükleer	Reçine rejenerasyonlu sürekli filtrasyon	Demineralize su ve ürün geri kazanımı	Rejenerantta nötralizasyon ve katı madde giderimi
İndirgeme ve çöktürme	Kaplama, ağır metal	Kesikli veya sürekli arıtım	Askıda koloidal maddelerin tam giderimi	Kesikli arıtma için 1 günlük kapasite; Sürekli arıtma için 3saat kalma zamanı; Çamur uzaklaştırma veya susuzlaştırma gerekebilir.
Koagülasyon	Karton, rafineri, kauçuk, boya, tekstil	Kesikli veya sürekli arıtım	Askıda koloidal maddelerin tam giderimi	Flokülasyon ve çöktürme tankı veya çamur (blanket) yatağı; pH kontrolü gerekebilir.
Adsorpsiyon	Toksik ve organikler, zor ayrışan bileşikler	Toz karbonlu granüle kolon	Birçok organikte tam arıtım	Toz karbon aktif çamur prosesinde kullanılır
Kimyasal oksidasyon	Toksik ve zor ayrışan bileşikler	Kesikli veya sürekli ozon veya katalizlenmiş hidrojen peroksit	Kısmi veya tam oksidasyon	Organiklerin daha çok biyolojik parçalanabilir olması için kısmi oksidasyon

Tablo 5. Geleneksel metal uzaklaştırma yöntemlerinin avantaj ve dezavantajları [41]

Metot	Avantaj	Dezavantaj
Kimyasal çöktürme ve filtrasyon	Basit, ucuz	Yüksek konsantrasyonlarda zor ayrılma, etkin değil, atık çamur oluşumu
Elektrokimyasal yöntemler	Metali geri elde etme	Pahalı olması, sadece yüksek konsantrasyonlarda etkin olması
Kimyasal oksidasyon ve indirgenme	İnaktivasyon	Ortam hassasiyeti
İyon değişimi	Etkin arıtım ve saf atık metalin geri kazanımı	Partiküllere hassas ve reçinelerin pahalı olması
Buharlaştırma	Saf atık elde etme	Fazla enerji gereksinimi, pahalı olması, atık çamur oluşumu
Ters ozmos	Geri dönüşüm için saf atık eldesi	Yüksek basınç, membran boyutu, pahalı olması
Adsorpsiyon	Sorbentlerin aktif karbon kullanımı	Tüm metaller için uygulanamaması



Şekil 4. Atık suların geri kazanılabilmesi için muhtelif arıtma konfigürasyonları [44]

3 İŞ SAĞLIĞI ve GÜVENLİĞİ (İSG)

Maslow'un ihtiyaçlar hiyerarşisi (Şekil 5) esas alındığında fizyolojik ihtiyaçlardan sonraki temel ihtiyaç güvenlidir. Güvenlik ihtiyacı bilinen klasik tanımı olan fiziki tehlikelerden korunmaya ek olarak, ekonomik güvenlik, alışılmış olan bir durumu alışılmamış olan bir duruma tercih etme şeklinde açıklanabilir. Güvenlik ihtiyacının ortaya çıkmasındaki temel neden, fizyolojik ihtiyaçlarını karşılama noktasında süreklilik kazanmış insanoğlunun yaşamını her türlü görünen görünmeyen tehlikelerden uzak tutarak kendisini güvende hissetme düşüncesidir. Bu kapsamda insanlar, gelecek ve içinde bulunulan zaman diliminde güvenliğinin her an üst seviyede olmasını arzu eder [60]. Güvenlik ihtiyacının fizyolojik ihtiyaçlar gibi yaşamın her anında ve devamlı olacak şekilde süreklilik kazanmış bir yaşam olgusu olması kaliteli bir hayat için kaçınılmazdır. Bu ihtiyacın tamamen ya da gerekli olan ölçüde karşılandığında insan davranışı üzerinde olumlu etkileri ortaya çıkardığı bilinen bir gerçektir [61].



Şekil 5. Maslow'un ihtiyaçlar hiyerarşisi [62].

Günümüzde somut olarak ortaya çıkmıştır ki, sanayileşmenin insanoğluna sağladığı birçok kolaylık ve fayda ile birlikte özellikle üretim alanında çalışanların sağlığı ve güvenliği yönünden çok farklı tehlikeleri ve riskleri beraberinde getirmiştir. İSG'nin devlet güvencesi altına alınması, TS 18001 standardının şartları ve son yıllarda hızlı bir şekilde gelişen yeni İSG yaklaşımları küreselleşen dünyada İş sağlığı-güvenliği biliminin önemini bir kez daha ortaya koymuştur. Bunu destekleyen süreçlerden kalite ve çevreye saygı iş sağlığı ve güvenliği yönetim modeli içine de girmiş durumdadır. Çalışma yaşamının kalitesi işletmelerde üretim verimini direkt olarak etkileyen bir faktör olarak yöneticilerin önünde durmaktadır. Çalışma hayatının kalitesi ise aşağıda sıralanan parametrelere bağlıdır.

- işin içeriği ve yapılanması
- çalışanlara ödenen ücretler,
- fiziksel ve psikolojik çalışma ortamı ve şartları
- Üretimde ve/veya proste tercih edilen teknoloji,
- endüstriyel ilişkiler,
- katılım, iş doyum ve motivasyon,
- çalışanlara verilen iş güvencesi, sosyal adalet ve sosyal güvenlik,
- eğitim

Yukarıda verilen bilgiler doğrultusunda iş yaşamının kalitesinin ve veriminin, çalışanların gerek maddi gerekse manevi doyum sağlayacak çalışma ortamının oluşturulması noktasında düğümlendiğini söylemek yanlış olmayacaktır. Bu konuda yapılan çalışmalar göstermiştir ki, işten tatmin olma ve çalışma yaşamı kalitesi arasında pozitif yönlü bir korelasyon söz konusudur [63].

İş sağlığı ve güvenliği kavramını oluşturan birinci tanım olan iş sağlığı genel manada, çalışanları gerek bedensel gerek ruhsal gerekse sosyal yönünden eniyileme çalışmaları ve çabalarıdır. İkinci tanım olan iş güvenliği ise, çalışanların iş ortamında karşılaştıkları tehlikelerin ve/veya bunların türevleri risklerin ortadan kaldırılması veya minimize edilmesi için getirilmiş teknik kurallardır. İş güvenliği alanı daha çok çalışanın yaşamına ve vücut bütünlüğüne yönelik tehlikelerin teknik önlemlerle ortadan kaldırılmasını hedefler. Bilindiği üzere İSG multidisipliner bir bilim dalıdır. Aynı zamanda devlet, işveren, çalışan, sendikalar, meslek odaları, üniversiteler gibi da birden fazla paydaşın bir araya gelmesi ve çalışması ile hayat bulur. Genel manada iş güvenliğinin temel kuralları ve esasları aşağıda özetlenmiştir;

-İş sağlığı ve güvenliği esaslı problemlerin %88'i tehlikeli davranışlardan, %10'u tehlikeli durumlardan %2'si ise kaçınılmaz kabul edilen diğer ve çevresel durumlardan ortaya çıkmaktadır,

Tehlikeli davranışların önemli bazıları;

a) Kişisel hatalar

b) Verilen ve/veya alınan eğitim yetersizliği

c) Fiziki çalışma şartlarının ve ortamının yetersizlik

-Meslek hastalıklarından ve kazalardan korunmak için işletmeler tarafından ortaya konulan İSG çalışmaları ile üretim, maliyet, kalite kontrolü arasında sıkı bir ilişki vardır

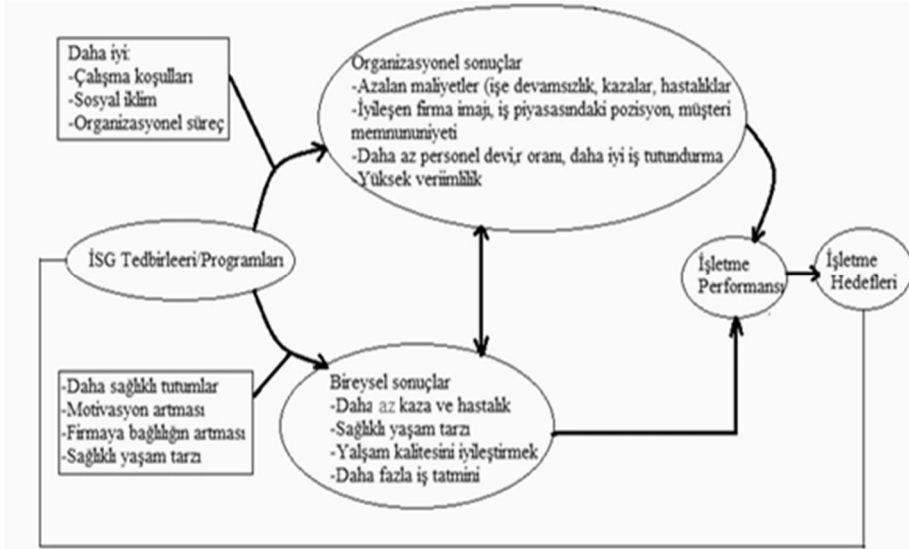
-İşletmelerde İSG çalışmaları bir ekip ruhu ile götürülmeli bu ekibin başında işletmelerin üst düzey yöneticileri bulunmalıdır

- Özellikle fabrika gibi üretim alanlarında İSG adına formen ve ustabaşı gibi ilk kademe yöneticilerin bilgisi ve tecrübesi hayati öneme sahiptir.

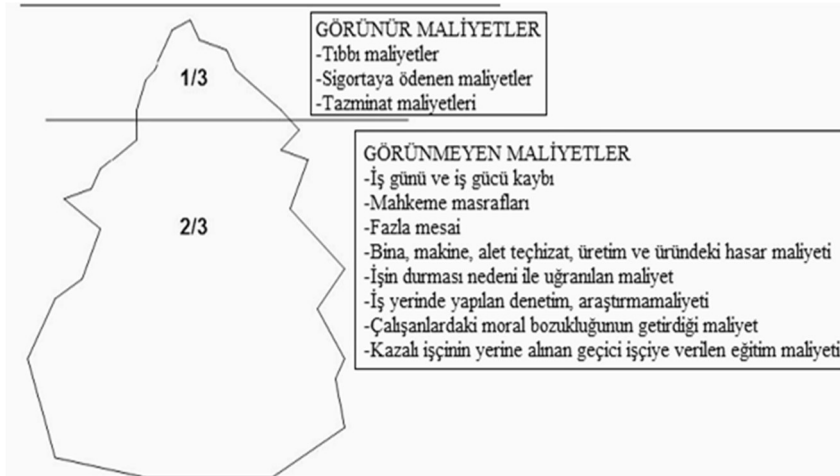
- İş güvenliği çalışmalarına çalışanlar öncelenmelidir [64].

Şekil 6 iş sağlığı ve güvenliği konusundaki çalışmaları, proses ve sonuçlar arasındaki korelasyonu göstermektedir. Multidisipliner yapıya sahip İSG çalışmaları, işletme/fabrika performansını pozitif yönde etkileyen ve işletme hedeflerine ulaşılmasını sağlayan sonuçların çıkmasına yardımcı olur. İşletme performansını artırmak için, iş sağlığı ve güvenliği çalışmaları fabrika amaçları ile paralel bir seyirde olmalıdır. Bu açıdan, İSG iş akım şemasının bir bileşeni ve bununla birlikte işletmeyi eniyilemeye götüren gelişim adımlarının önemli bir halkasını oluşturur. İş sağlığı ve güvenliği önlemleri daha iyi çalışma şartlarını oluşturmak ve kesintisiz üretim için bütün etkin parametreler içinde önemli bir yere sahip hale getirilmiştir. Etkin İSG çalışmaları, modern proses tasarımı ve iyi bir organizasyon, düşük maliyet, sürdürülebilir firma imajı, daha kaliteli ve yüksek verimli üretimi birlikte getirir. Bununla birlikte, iş sağlığı ve güvenliği çalışmaları bireysel çalışan bazında, daha sağlıklı yaşam biçimi, motivasyon ve işe bağlılığa öncülük eder [65]. İş sağlığı ve güvenliği (İSG) ile ilgili oluşan maddi zararlar; görünen ve görünmeyen olmak üzere iki ana kısma ayrılmaktadır. Bu durum bir buz dağına (iceberg) benzetilmekte olup Şekil 7 özetlenmiştir. Şekilden de anlaşılacağı üzere özellikle görünmeyen yani dolaylı zararları önceden kestirmek oldukça zordur. ILO yani Uluslararası Çalışma Örgütüne verilerine göre kalkınmış yani sanayileşmiş ülkelerde iş kazaları ve meslek hastalıklarının toplam maliyetinin, o ülkelerin Gayri Safi Yurt İçi Hasıllarının (GSYİH) %1-3'ü oranında bir kısmını kapladığını göstermektedir. Gelişmekte olan ülkeler için ise bu kayıplarının %4'ü bulunduğu

yönünde sonuçlar bulunmaktadır [66]. İş kazaları, neden oldukları insancıl sıkıntıların yanı sıra makine-teçhizat, hammadde, malzeme, enerji ve ürün kayıplarına da neden olmakta ve verimliliği düşürmektedir. İSG çalışmalarının bilimsel eksensli yapılması ile birlikte, işverenin sağlayacağı avantajlardan birisi de hiç kuşkusuz işyerini oluşturan bütün bileşenlerinin korunması olacaktır. İş güvenliği olan bir firmada çalışmak işyerine duyulan güveni arttıracak, firmanın prestijini olumlu yönde etkileyecektir (Demir, 2008). İş sağlığı ve güvenliğinin ekonomik boyutları çok önemli olmakla beraber diğer yandan sosyal boyutu ile değerlendirilmesi de gerekmektedir. Sağlıklı ve güvenli bir işyeri ortamı daha verimli çalışmanın ön koşuludur ve özellikle gelişmekte olan ülkelerde toplumsal kalkınmanın belirleyici unsurları arasında yer almaktadır [67].



Şekil 6 – İşletme performansı ve amaçları ile ilişkili olarak İSG önlemleri ve programlarının sonuçları [65]



Şekil 7. İş Kazalarının maliyetlerinde buzdağı teorisi [68]

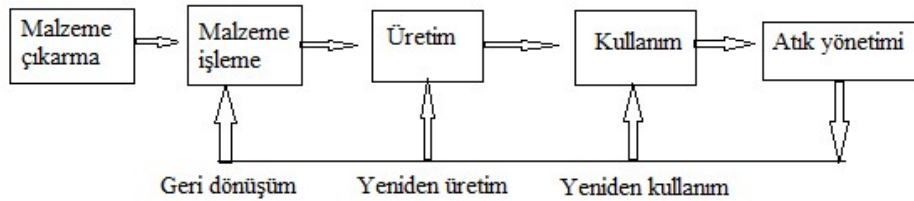
4 TERSİNE LOJİSTİK

Literatürde reverse logistics, return logistics, retro logistics, reverse distribution gibi ifadeler hemen hemen aynı içeriği ifade etmektedirler. Üçüncü bir boyut olarak lojistiğe giren tersine ya da ters lojistik, sondan (müşteriden, satıcıdan veya hizmet sağlayıcıdan) başa yani üretime doğru geri gelen ürünlerin hareketi, depolanması ve eklenmesidir. Tersine ya da ters lojistik, işe yaramayan çıktıların ve/veya ürünlerin geri dönüşümü ve doğaya zarar vermemesi için işlenmesi veya yeniden üretim ortamına alınarak işlem görmesini de içermektedir [69]. Kısaca tersine lojistik, zaman içinde değişime uğrayarak çevresel bir boyut kazanmış ve önem arz eden bir duruma gelmiştir. Tersine lojistik özellikle günümüzde alanını genişletmeye başlamış ve sürekli gelişim göstermektedir [70]. Tersine lojistikte yer alan işlemler ve uygulama şekilleri kısaca Tablo 6'da belirtilmektedir

Tablo 6. Tersine lojistikte yer alan işlemler [71-74]

İşlemler	Uygulamalar
Ürün Geliştirme (Upgrade)	Ürünün fonksiyonlarını arttıran işlemler
Yeniden işleme (Reprocessing)	Ürünün iyileştirme, geliştirme ve yeniden üretme esnasında yapılan değer katıcı işlemler.
Yeniden Üretim (Remanufacturing)	Kullanılmış ürünün, yeni ürün düzeyinde veya daha yüksek düzeyde kalite, güvenilirlik ve performans özelliklerine sahip olmasını sağlayan işlemlerden geçirme süreci.
Ürün yenileştirme (refurbishment)	Ekipmanın özelliklerinin istenen sınırlar arasına minimum maliyet ile ulaşması sağlayan işleme süreci
Yenileme (recondition)	Yeniden üretim içinde yer alan ve kullanılmış ürünün durumunun yenisi kadar iyi hale getirilmesini sağlayan süreç.
Geri Dönüşüm (recycle)	Ürünün iskartaya atıldıktan sonra materyallerinin geri dönüştürülmesi süreci.
Yeniden değerlendirme (Revalorization)	Iskartaya atılmış ürün veya materyalin içindeki değer kazanılmasını amaçlayan her bir süreç.
Yeniden Kullanım (Reuse)	Önceki kullanıcısının artık kullanmadığı ürünü geri dönüştürülmesi veya ortadan kaldırılması yerine kullanımına devam edilmesi.
Ürün yamyamlaştırma (cannibalization)	Başka bir ürünün tamir, yenileme ve yeniden üretimde değerlendirmek üzere ürünün bazı kısımlarının yeniden kullanılması.
Olduğu gibi yeniden kullanma (Reuse "as is")	Ürünün minimum yeniden işleme ile yeniden kullanılması
Tamir (Repair)	Ürünün hizmet süresi boyunca fonksiyonlarının devam etmesi için veya ömrü sonunda geri dönmüş ürünün fonksiyonlarına devam etmesi için alınan önlemler

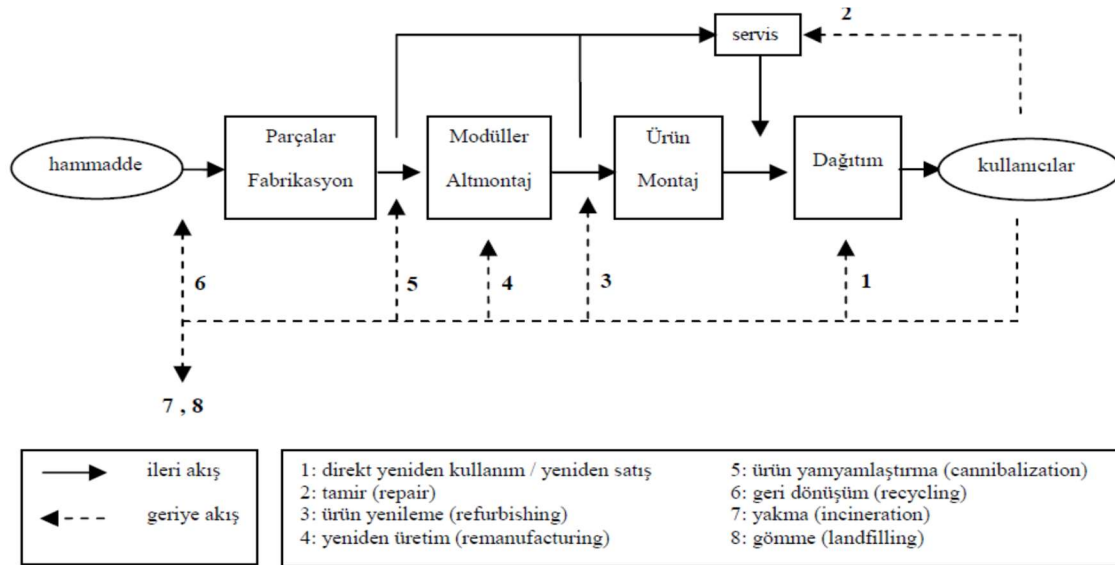
Atık yönetimde temel yaklaşım atık oluşumunun önlenmesidir ancak bilindiği üzere bu çok mümkün bir durum değildir. Daha geçerli olan anlayış ise atığın azaltılması ve geri kazanılmasıdır. Zaten günümüz çevre kanunları ve geri kazanım faaliyetlerinin teşvik edilmesi sayesinde geri kazanım faaliyetleri ile materyal ve enerjide kazanıma gidilmesi öngörülmektedir. Atıkların geri kazanılması için kurulan tesislerinin teknik ve idari özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla kriterler oluşturulmuş ve bu kriterleri sağlayan tesisler lisanslandırılarak hem ekonomiye hem de çevreye katkıda bulunmaları sağlanmıştır [75]. Lojistik biliminin çalışma alanları içinde yer alan tersine veya ters lojistik; hammadde, yarı mamul, nihai ürün ve atığın lojistik işlemlerinin tersine doğru işletilmesi ile tüketim noktasından kaynak noktasına doğru akışını düzenleyerek değer kazanımı veya uygun şekilde bertarafını planlayan çalışmalar bütünüdür [76]. Daha basit bir anlatımla tersine lojistik, kutu, şişe, kâğıt vb istenmeyen malzemelerin geri dönüştürülmesi ve yeniden ekonomiye kazandırılması ile de çevreye duyarlı lojistik olarak bilinmektedir [77]. Şekil 8 tersine lojistiğin atık yönetiminde var olan planlama adımlarını gösterirken Tablo 7 ise tersine lojistik tanımındaki unsurlar toplu halde göstermektedir.

**Şekil 8.** Tersine lojistiğin atık yönetimi açısından kapsamı [77]

Tablo 7. Tersine lojistik unsurları [78]

Nedir?	Girdiler	Aktiviteler	Çıktı	Nereden?	Nereye?
*Süreçler	*Atılmış ürünler	*Etkili ve maliyet	*Yeniden	*Tüketim	*Üretici
*Görevler	*Kullanılmış ürünler	etkin akışın	kullanılabilen	Noktası	merkezi
*Yetenek ve aktiviteler	*Daha önce gönderilmiş ürün ve parçalar	planlama, uygulama ve kontrolü	ürünler		*Toplama noktaları
	*Zararlı ve zararlı olmayan	*Toplama	*Geri dönüşüm		*Orijin noktası
	Atıktan ürün ve paketler	*Nakliye	*Yeniden üretim		
	*Hammadde	*Depolama	*Yok etme		
	*Bilgi	*İşleme	*Azaltma		
	*Süreç içi Stoklar	*Kabul	*Yönetme		
	*Nihai ürün	*Geri kazanım	*Geri alım değeri		
		*Paketleme			
		*Gönderme			
		*Azaltma			
		*Yönetme			
		*Yok etme			

Tersine lojistikte ürün geri kazanım temel unsurları Şekil 9'da gösterilmiştir. Ürünlerin toplanması, işlenmesi ve dağıtılması geri kazanım proseslerinin hemen hemen hepsinde mevcuttur. Buradaki temel farklılık ürünün geri kazanılması amacı ile yeniden işleme aşamasında kendisini göstermektedir [79]. Tersine lojistik uygulamalarına bakıldığında onarım, ürün yenileme, parça alma, yeniden üretim, ürün yamyamlaştırma ve geri dönüştürme işlemlerinden biri ya da birkaçından meydana geldiği görülmektedir [80,81]. Geri kazanılan ürünün tipi ve kullanılacak olan geri kazanım fonksiyonu ve getirilen kanuni zorunlulukların önemli olduğu vurgulanmaktadır [82,83].

**Şekil 9.** Ürün geri alım opsiyonları [79]

Üretim sonrası ortaya çıkan doğada kısa sürede geri dönüşebilen istenmeyen çıktıların, kullanılabilir çıktılara dönüşmelerini sağlayan süreçler zincirine Yeşil Tedarik Zinciri (YTZ) denilmektedir. Kısaca YTZ, tedarik zincirinin çevresel hedeflere uyarlanması ve/veya entegre edilmesi olarak ifade edilebilmektedir. Atıkların minimize edilmesi, bir ürünün ya da parçalarının geri dönüşüme ve geri kazanım yoluyla tekrar kullanıma sokulması yeşil tedarik zinciri kapsamına girmektedir. Tüketicinin çevresel anlayışına uyan yeşil ürünleri talep etmesi, işletmelerin pazar paylarını korumak için çevresel uygulamalara ağırlık vermeleri tedarikçileri ile yeşil işbirlikleri kurmaya çalışmalarını YTZ'yi zorunlu kılan hususlardır [84]. Çevreyi korumak ve bunu sürdürülebilir hale getirmek için çevreye zararlı olabilecek her türlü atıkların üretici ve tedarikçiye geri gönderilmesi işlemleri ters lojistiği doğuran önemli bir etkidir. Dolayısıyla bu kavram işletmelerin mal ve hizmet üretimi ile pazarlama sürecinde çevre performansının iyileştirilmesini esas alan ve tüketicilerin çevreyle ilgili endişe ve kaygılarını giderici önlemler alıp-almadığını kontrol etmektedir [74].

4 AĞIR METAL GİDERİMİNİN İSG VE TERS LOJİSTİKTEKİ YERİ VE ÖNEMİ

Arıtma sistemlerinin birçoğu birincil ve ikincil arıtmayı içermekte olup bununla birlikte canlılar için toksik etkisi olan empürterleri de giderebilme kapasitesine sahip olabilmektedirler. Günümüzde çevre bilincinin artması sonrası alıcı ortamlardaki canlılara zararlı etkisi olan kirleticilerin ve kalıntıların arıtılması önem kazandığından bunun gerçekleştirilebilmesi maksadı ile ya yeni sistemler dizayn edilmekte ya da eski kurulu sistemler söz konusu ise uygun yeni üniteler eklenerek mevcut sistemin kapasitesi artırılmaktadır [44]. İleri arıtma olarak da ifade edilebilen üçüncül arıtma prosesleri, bazı özel kirleticilerin giderilmesi için biyolojik arıtma işlemlerinden sonra sisteme eklenebilmektedir. Buna örnek vermek gerekirse askıda ve koloidal katıların gideriminde filtrasyonun kullanılması ve organiklerin adsorpsiyonunda granüler/toz aktif karbon ile kimyasal oksidasyonun kullanılması verilebilir. Büyük hacimlerdeki atık suları arıtılmasında üçüncül arıtma sistemlerinin kullanımı oldukça masraflı bir adımdır. Kullanılan arıtma sisteminin temizlenmek istenen kirleticiye özel olmaması durumunda verimsiz sonuçlarla karşılaşmak muhtemeldir [85]. Gelişmiş ülkelerin özelliklerinden bir tanesi de geri kazanılmış suların endüstride kullanımının çok yaygın olmasıdır. Su kullanan bir çok endüstri dalı için içme suyu niteliğindeki sudan ziyade proses suyuna ihtiyaç duyduğundan geri kazanılmış suları çok rahatlıkla kullanabilmektedirler. Endüstriyel atık suyun tesis içinde geri çevrimi, genellikle prosesin bir parçası şeklinde uygulanmaktadır [86]. Endüstride geri kazanılmış su birçok noktada kullanılabilirken bunlara örnek olarak; soğutma kuleleri, kül sulama, radyoaktif atıkların seyreltilmesi, baca gazı yıkama, petrol rafineleri, metal fabrikaları ve kazanlar gibi prosesler verilebilmektedir. Pek çok endüstri alanında geri kazanılmış suyun en yaygın kullanımı soğutma suyu olarak kullanılmasıdır [87]. Ancak burada yani arıtılmış suların soğutma suyu olarak kullanılmasında korozyon, çökelek ve mikrobiyal büyüme dikkat edilmesi gereken hususlar arasında yer almaktadır[88].

Ağır metal içerikli atık suların arıtılması işlemi, işletmenin kapasitesi, su debisi, karakteristikleri, prosesi, kullanılan kimyasallar gibi birçok parametreyle sıkı ilişki içindedir. Kimyasal arıtmanın temel felsefesinde atığın doğaya zararsız bir forma dönüştürülmesidir. Günümüz Dünyasında özellikle gelişmiş ülkelerde çok farklı arıtma teknikleri uygulanmak sureti ile modern kimyasal arıtma yapılabilmektedir. Kimyasal arıtmada temel amaç, birincil arıtma ile yani mekanik arıtma ile ortamdan uzaklaştırılmayan kirleticilerin, kimyasal maddeler yardımı ile meydana getirilen bazı reaksiyonlar sonrası empürterlerin ortamdan uzaklaştırılmasının temin edilmesidir. Genel anlamda atıklar, kimyasal maddelerle reaksiyona sokularak oluşan reaksiyon ürünü ya sulara zararsız yapıda olmalı ya da ortamdan fiziksel yöntemlerle uzaklaştırılabilir yapıda olmalıdır [89]. Genel çerçevede bakıldığında kentsel, endüstriyel, tarımsal ve sanayide kullanılan su ihtiyacının çoğunun, atık su geri kazanım prosesleri sonrasında elde edilmiş arıtılmış sular ile karşılamak mümkündür [90]. Atık suların mümkün olan her yerde yeniden kullanılması Avrupa Birliği Sular Direktifinde yerini almıştır. Bu sayede, endüstrinin üretim maliyeti düşürülmesi ve su mevcudiyetinin artırması gibi birçok faydayı beraberinde getirmektedir [91].

Genel manada İSG; işyerlerinde işin yürütülmesi esnasında ve sonunda farklı nedenlerden kaynaklanan, çalışanların sağlığını ve güvenliğini olumsuz etkileyecek koşullardan korunmak hedefiyle yürütülen sistemli ve bilimsel çalışmaların bütünü olarak ifade edilebilir. İş sağlığı ve güvenliği sorunlarının çözüme kavuşturulmasına yönelik önlemlerin geliştirilmesi ile ilgili çalışmalar birçok bilim dalını yakından ilgilendirmektedir. Bu çalışmaların temelini ise üretim sürecinin gereği olarak mühendislik bilgileri oluşturmaktadır. Kimyasal madde, gürültü, titreşim, ısı, nem, radyasyon gibi çeşitli etkenler bunlara örnek gösterilebilir. Günümüzde iş sağlığı ve güvenliği anlayışı bakışı ile, üretim veya işleme yapan bir işletmenin proses sonucunda ortaya çıkan tüm atıklarının veya yan ürünlerinin insana ve doğaya zarar vermeyecek özellikte olmasının gerekliliği ortadadır. Bu nedenle yukarıda bahsi geçen, özellikle madencilik, kimya ve metal endüstrilerinde gibi sanayi dallarında açığa çıkan atık sulardaki farklı konsantrasyonlarda bulunabilen ağır metal içeriklerinin standart değerlere düşürülmesi elzemdir. Bilindiği üzere, bu proses sularının doğaya direkt deşarj edilmesi birçok sakıncayı beraberinde getirmektedir. Söz konusu sıvı atığın ağır metal içeriğinin standartlar gereği belli bir orana çekilmesi ise yasal bir zorunluluktur. Bu bağlamda; atık sular için bir mühendislik çalışmasının yapılması ilgili işletmenin sorumlulukları arasında yer alıp atık suyun sağlığa zarar vermeyecek bir forma dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu mühendislik çalışmalarında ise yukarıda zikredilen birçok yöntem bilimsel olarak uygulanabilmektedir. Ancak ağır metal gideriminde, adsorpsiyon prosesleri direk olarak ön plana çıkmamakla birlikte ileri arıtma tekniklerinde etkin bir şekilde faydalanabilmektedir. Özellikle son yıllarda aktif karbona alternatif olarak ortaya konulan birçok adsorbanın kullanımı performansı ile ilgili çalışmalar ortaya konulmuştur. Bu durum, adsorban maliyetini oldukça aşağılara çekmiştir. Bu olumlu bilimsel gelişmeler ileride ağır metal giderim prosesleri içinde adsorpsiyonun kullanımının daha fazla olacağı umudunu doğurmaktadır. Anlaşılacağı üzere, gerek adsorpsiyon gerekse diğer arıtma teknolojileri ile yapılan atık suların ağır metal giderim prosesleri, multidisipliner bir çalışma yapısına sahip İSG'nin kapsamında değerlendirmek yanlış olmayacaktır.

Tersine lojistik faaliyetleri ekonomik değer atfeden hammaddeleri, ürünleri ve atıkları geri dönüşüm prosesleri kapsamında tekrar ekonomiye katma faaliyetleridir. Tersine lojistik çalışmaları kapsamında son yıllarda yeşil

lojistik olarak ta isimlendirilen atıkların geri kazanılması ön plana çıkmış durumdadır. Özellikle tesislerde kullanılan proses sularının kirlenmesi sonrası doğaya salınması hem ekonomik hem de çevresel bir sorun olarak işletmelerin karşısına çıkmaktadır. Yukarıda bahsedilen yöntem ya da yöntemlerle söz konusu atık suların temizlenerek fabrika proseslerinde tekrar kullanımı bu sorunların çözümünde en ideal yaklaşım olarak kabul edilmektedir. Bu bağlamda atık sularındaki fiziksel, kimyasal ve biyolojik kirliliklerin giderilmesi gelişen teknolojiyle birlikte daha kolay hale gelmiş durumdadır. Arıtma için kurulacak tesislerin ilk yatırım ve işletme masrafları bu girişimlere gölge düşürebilmektedir. Ancak temizlenerek tesiste tekrar kullanıma sunulacak sularında işletme proses suyu giderlerinin azalmasında olumlu katkı sağlayacaktır.

5 SONUÇLAR

Atık sularından ağır metallerin giderimi mühendislik içerikli bir çalışmayı gerektirmekte olup işletmelerin bu atıkların doğaya verilmeden önce ağır metal miktarının yasal sınırlara çekmesi gerekmektedir. Bu kapsamda günümüzde ağır metal gideriminin de birçok teknik yöntem uygulanmaktadır. İş sağlığı ve güvenliğinin disiplininde çalışılması gereken ve kimyasal riskler kapsamında yer alan, üretim atığı sularındaki ağır metallerin varlığı gerek insan sağlığı gerekse çevre sağlığı açısından önem arz etmektedir. Tersine lojistik çalışmaları ise günümüzde işletmelere birçok fayda sağlamaktadır. Bunların genel başlıklarını çevre ve ekonomi olarak koymak doğru bir yaklaşım olacaktır. Zira günümüzde sosyal sorumluluk kapsamında fabrikalar çevreye duyarlı üretim yapmakla yükümlüdürler. Bu nedenlerle işletmelerin özellikle sulu atıklarını doğaya vermeden önce bazı fiziksel ve kimyasal özellikler kazandırmak zorundadırlar. Diğer bir açıdan bakıldığında ise proses atık suyunun arıtması bir maliyeti getirirken tekrar kullanılması maliyet azaltıcı bir durum olarak değerlendirilmektedir.

6 KAYNAKLALAR

- [1] H. Baykal and T. Baykal, “Küreselleşen Dünyada Çevre Sorunları,” *Mustafa Kemal Üniversitesi. Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, vol. 5(9), pp. 1–17, 2008.
- [2] L. Jarup, “Hazards of metal contamination,” *British Medical Bulletin*, vol. 68, pp. 167–182, 2003.
- [3] G. Özbolat and A. Tuli, “Ağır metal toksisitesinin insan sağlığına etkileri,” *Arşiv Kaynak Tarama Dergisi*, vol. 25(4), pp. 502–521, 2016.
- [4] P. Berilis, Trends in Fisheries and Aquatic Animal Health. *Bentham Science Publishing*, 2017.
- [5] A. Rether, “Entwicklung und charakterisierung wasserlöslicher benzoylthioharnstoff-funktionalisierter polymere zur selektiven abtrennung von schwermetallionen aus abwässern und prozesslösungen,” Technical University of Munich, 2002.
- [6] C. Bakar and A. Baba, “Metaller ve insan sağlığı: Yirminci Yüzyıldan Bugüne ve Geleceğe Miras Kalan Çevre Sağlığı Sorunu” *1. Tıbbi Jeoloji Çalıştayı*, 2009.
- [7] F. R. Siegel, Environmental Geochemistry of Potential Toxic Metals. *New York: Verlag Berlin Heidelberg*, 2002.
- [8] Ö. Kahvecioğlu et. al., “Metallerin çevresel etkileri-I,” *Metallurji*, vol. 136, 2009.
- [9] O. Tünay, “Endüstriyel kirlenme kontrolü”, *İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası*, ISBN: 975-561-096-0, 1996.
- [10] K. Alp, “Endüstriyel kirlenme kontrolü ders notları”, *İTÜ Çevre Mühendisliği Bölümü*, İstanbul 2009.
- [11] Eurolab, “Ağır Metal Maruziyeti Ölçümü,” [Online]. Available: <https://www.laboratuvar.com/isg-analizleri/kisisel-maruziyet-olcumleri/agir-metal-maruziyeti-olcumu>. [Accessed: 16-Oct-2019].
- [12] Atıksu Arıtma Yöntemleri, 2020. [Online]. http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/7d16d00201083a2_ek.pdf [Accessed: 14-Şubat 2019].
- [13] S. Lyu, W. Chen, W. Zhang, Y. Fan, W. Jiao, "Wastewater reclamation and reuse in China: Opportunities and challenges", *Journal of Environmental Science (China)*, 39, 86–96. 2016.
- [14] N. Büyükkamacı, "Su yönetiminin etkin bileşeni: yeniden kullanım", *İzmir Kent Sorunları Sempozyumu, İzmir*, Ocak 2009, 363–77, 8-10
- [15] A.N. Bodur, M.R. Hamdi, Z. Tarawneh, "Perspectives on sustainable wastewater treatment technologies and reuse options in the urban areas of the Mediterranean region". *Desalination*, 237, 162–74, 2009.
- [16] G. Özbolat, and A. Tuli, “Ağır metal toksisitesinin insan sağlığına etkileri,” *Arşiv Kaynak Tarama Dergisi*, vol. 25(4), pp. 502–521, 2016.
- [17] S. Babel, T.A. Kurniawan, “Various treatment Technologies to remove arsenic and mercury from contaminated groundwater: on overview, in: proceeding of the 1 st International Symposium on Southeast

- Asian Water Environment, 24-25 October 2003, Bangkok, Thailand, , 433-440, 2003.
- [18] D. Mohan, and C. U. Pittman, "Arsenik removal from water/wastewater using adsorbents - a critical review," *Journal of Hazardous Materials*, vol. 142, pp. 1-53, 2007.
- [19] Ö. Kahvecioğlu et. al., "Metallerin Çevresel Etkileri," [Online]. Available: https://www.metalurji.org.tr/dergi/dergi136/d136_4753.pdf. [Accessed: 26-Oct-2019].
- [20] ATSDR, [Online]. Available: <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/phs5.html>. [Accessed: 27-Oct-2019].
- [21] TMMOB Metalurji Ve Malzeme Mühendisleri Odası, [Online]. Available: <http://www.metalurji.org.tr/index.php>. [Accessed: 28-Oct-2019].
- [22] Y. Nuhoglu et. al., "Removal of Cu(II) from aqueous solution by ulothrix zonata," *Bioresource Technology*, vol. 85(3), pp. 331-333, 2002.
- [23] H. Vural, "Ağır Metal İyonlarının Gıdalarda Oluşturduğu Kirlilikler," *Ekoloji*, vol. 8, pp. 3-8, 1993.
- [24] P. Kocaman, "Çorlu-Çerkezköy civarındaki bazı fabrikalara yakın tarım arazilerindeki çeşitli ağır metal kirlilik düzeylerinin toprak ve bitki analizleri ile belirlenmesi," Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2016.
- [25] E. Filiz, "Doğal kaynaklardan elde edilen adsorbanlarla sulardan ağır metal giderimi," İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007.
- [26] M. Küçükoğlu, "Zebra balığının (Brachydanio rerio) embriyolojik gelişimi üzerine kadmiyum klorür ve çinko klorür gibi çevre kirleticilerinin etkileri," Çukurova Üniversitesi, 1996.
- [27] H. Türkyılmaz, "Kurşun iyonlarının kesikli adsorpsiyon prosesi ile gideriminin cevap yüzey yöntemiyle optimizasyonu," Süleyman Demirel Üniversitesi, 2011.
- [28] G. Yapıcı, G. Can, and Ü. Şahin, "Çocuklarda asemptomatik kurşun zehirlenmesi," *Cerrahpaşa J Med*, vol. 33, pp. 197-204, 2002.
- [29] S. Piomelli, "Childhood lead poisoning" *Pediatr Clin North Am.*, vol. 49, pp. 1285-1304, 2002.
- [30] E. Özkan, M. Y. Taşlıpınar and Ş. Yeşilkaya, "Ağır Metal Zehirlenmeleri," [Online]. Available: <http://www.jcam.com.tr/files/KATD-1599.pdf>. [Accessed: 06-Nov-2019].
- [31] L. Fewtrell, R. Kaufmann, and A. Prüss-Üstün, "Assessing the Environmental Burden of Disease at National and Local Levels," in *Lead, Environmental Burden of Disease Series*, 2003.
- [32] Eroğlu V. (2002). Atıksuların tasfiyesi. Su Vakfı Yayını, Aksaray-İstanbul
- [33] Gönüllü T. (2004). Endüstriyel kirlenme kontrolü. Birsen Yayınevi, Cağaloğlu-İstanbul
- [34] A. Rether, "Entwicklung und charakterisierung wasserlöslicher benzoylthioharnstoff-funktionalisierter polymere zur selektiven abtrennung von schwermetallionen aus abwassern und prozesslösungen," Technical University of Munich, 2002.
- [35] T. V. S. Stresty, and R. K. V. Madhava, "Ultrastructural alterations in response to zinc and nickel stress in the root cell of pigeonpea," *Environ Exp Bot.*, vol. 41, pp. 3-13, 1999.
- [36] A. Tripathi, and M. R. Ranjan, "Heavy metal removal from wastewater using low cost adsorbents," *J Bioremed Biodeg.*, vol. 6(6), pp. 315-319, 2015.
- [37] F. Fu, and Q. Wang, "Removal of heavy metal ions from wastewaters: A review.," *Journal of Environmental Management*, vol. 92, pp. 407-418, 2011.
- [38] V. K. Mishra, and B. D. Tripathi, "Concurrent removal and accumulation of heavy metals by the three aquatic macrophytes," *Bioresource Technology*, vol. 99(15), pp. 7091-7097, 2008.
- [39] P. Miretzky, A. Saralegui, and A. F. Cirelli, "Aquatic macrophytes potential for the simultaneous removal of heavy metals," *Chemosphere*, vol. 57, pp. 997-1005, 2004.
- [40] S. Doni et. al., "Heavy metal distribution in a sediment phytoremediation system at pilot scale," *Ecological Engineering*, vol. 81, pp. 146-157, 2015.
- [41] R. İleri, Çevre Biyoteknolojisi, *Değişim yayınları*, 2000.
- [42] Atıksu Arıtma Yöntemleri, 2020. [Online]. http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/7d16d00201083a2_ek.pdf [Accessed: 14-Şubat 2019].
- [43] W. Eckenfelder, "Industrial water pollution control", *Second Edition, McGraw-Hill International Editions*. 1999.
- [44] Endüstriyel Atıksu Yönetimi ve Endüstriyel Atıksu Arıtımı 2020. [Online]. https://xzenon34.files.wordpress.com/2012/03/6-cakmakci_ipek_ozkaya_ders_notu.pdf [Accessed: 14-

Şubat 2019].

- [45] M. Sprynskyy, “Study of the selection mechanism of heavy metal (Pb^{+2} , Cu^{+2} , Ni^{+2} , Cd^{+2}) adsorption on clinoptilolite,” *Journal Of Colloid and Interface Science*, vol. 304, pp. 21-28, 2006.
- [46] J. W. Moore and S. Ramamoorthy, *Heavy Metals in Natural Waters*. New York: Springer-Verlag, 1983.
- [47] A. Kabata-Pendias and H. Pendias, *Trace Elements in Soils and Plants*. Lewis, 1992.
- [48] E. Álvarez-Ayuso, A. Garcia-Sanchez, and X. Querol, “Purification of metal electroplating waste waters using zeolites,” *Water Res.*, vol. 37, pp. 4855 - 4862, 2003.
- [49] V. J. Inglezakis, M. M. Loizidou, and H. P. Grigoropoulou, “Ion exchange studies on natural and modified zeolites and the concept of exchange site accessibility,” *J. Colloid Interface Sci.*, vol. 275(2), pp. 570-576, 2004.
- [50] J. Geselbarcht, —Micro Filtration/Reverse Osmosis Pilot Trials for Livermore, California, Advanced Water Reclamation, Water Reuse Conference Proceedings, Sep 13-15, California, AWWA, USA, 1996.
- [51] S. E. Bailey et al., “A review of potentially low-cost sorbents for heavy metals,” *Water Res.*, vol. 33(11), pp. 2469-2479, 1999.
- [52] K.Y. Foo, B.H. Hameed, 2012. “A cost effective method for regeneration of durian Shell and jackfruit peel activated carbons by microwave irradiation”. *Chemical Engineering Journal*, 193-194, 404-409.
- [53] T. Erdogan, F. Oguz Erdogan, “Characterization of the adsorption of disperse yellow 211 on activated carbon from cherry stones following microwaveassisted phosphoric acid treatment”, *Analytical Letters*, 49, 917-928.
- [54] Thcoboglanous W.M. “Wastewater Engineering Treatment-Disposal-Reuse” 3rd. Ed. McGraw-Hill Int., USA, 1991.
- [55] Stoeckli H. F., Kraehenbuehl F. “The External Surface of Microporous Carbons, derived from Adsorption and Immersion Studies”, *Carbon*, 22, 297, 1984.
- [56] Kadlec O. “The Characterization of Porous Solids” Proceeding Swiss-British Symp. SCI, London, 1979.
- [57] Adsorpsiyon İzotermeleri [Online]. <https://cevre.erciyes.edu.tr/upload/LI6EPME6-adsorpsIyon-IzotermelerI.pdf> [Accessed: 14-Şubat 2019].
- [58] İ. Orbak, “Aktif karbon ile çevre kirlenici bazı unsurların giderilmesi,” İstanbul Teknik Üniversitesi, 2009.
- [59] Kimya Mühendisliği Laboratuvarı-I, “Çözeltide Adsorpsiyon,” 2019. [Online]. Available: <http://muhendislik.sdu.edu.tr/assets/uploads/sites/148/files/cozeltide-adsorpsiyon-12022015.pdf>. [Accessed: 26-Nov-2019].
- [60] E. Eren, “Yönetim psikolojisi (3. Baskı), İstanbul: İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi, İşletme İktisadi Enstitüsü Yayınları, No. 105, 1989.
- [61] E. Aktaş, “Abraham Maslow’un ihtiyaçlar hiyerarşisi kuramına göre günümüzde kadına yönelik tüketim analizi, T.C. Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Halkla İlişkiler Anabilim Dalı Reklamcılık Ve Tanıtım Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2018
- [62] Maslow’un ihtiyaç hiyerarşisi, 2018 [Online], <https://medium.com/t%C3%BCrkiye/maslowun-i%C3%87htiya%C3%A7lar-hiyerar%C5%9Fisi-d3b99924c49b> [Accessed: 14-Şubat-2019].
- [63] G. Uçkun, A. Yüksel, B. Demir, İ. “Yüksel, Kurumsal itibarın artırılmasında iş sağlığı ve güvenliği kültürünün rolü ile meslek yüksekokullarında bulunan iş güvenliği uzmanlığı programının analizi”, 3.Uluslararası Meslek Yüksekokulu Sempozyumunda Özet Bildiri, 2013.
- [64] İsg Özet Ders Notları, [Online], <https://Docplayer.Biz.Tr/1246383-Www-İsguygulama-Com-Sinan-Akduman-Sayfa-1.Html> [Accessed: 14-Şubat-2019].
- [65] Hesapro, “İş sağlığı-güvenliği ve verimlilik ilişkisi”, Hesapro Projesi, 2013
- [66] International labour organization, [Online] <http://laborsta.ilo.org> [Accessed: 14-Şubat-2019].
- [67] H. Ceylan, “Türkiye’deki iş kazalarının genel görünümü ve gelişmiş ülkelerle kıyaslanması”, *International Journal of Engineering Research and Development*, Vol.3, No.2, June 2011
- [68] A. Diego, “The cost of occupational accidents and diseases”, ILO, Occupational Healthy and Safety Series, No: 54, Geneva, 1986.,
- [69] M. H. Keskin, “Lojistik Tedarik Zinciri Yönetimi”, 2. Baskı. Ankara, Nobel, s.39, 2008
- [70] V. Ravi, and S. Ravi, Analysis of interactions among the barriers of reverse logistics, *Technological Forecasting and Social Change*, 2004.

- [71] Parkinson, H. J. ve Thompson, G. (2003). "Analysis and Taxonomy of Remanufacturing Industry Practice". Proc. Instn. Mec. Engrs. Journal of Process Mechanical Engineering, Sayı: 217, 243-256.
- [72] M. Thierry, M. Salomon, J. Nunen, L. Wassenhove, "Strategic issues in product recovery management", *California Management Review*, 32(2), 114-115, 1995.
- [73] G. Nakıboğlu, "Tersine lojistik. önemi ve dünyadaki uygulamaları", *Gazi Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 9(2), 181-189. (2007).
- [74] Y. Kayar, "Ters lojistik sürecinde karşılaşılan sorunlar ve çözümlere ilişkin nitel bir araştırma", T.C. Namık Kemal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, 2015
- [75] T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Sanayi Genel Müdürlüğü; "Ulusal Geri Dönüşüm Strateji ve Eylem Planı 2014-2017" s.12-24, [Online]. <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2014/12/20141230M1-12-1.pdf> [Accessed: 14-Şubat-2019].
- [76] G. Kaymak, Tıbbi Atık sterilizasyon Sisteminde Tersine Lojistik Uygulaması. Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, 2010.
- [77] S. Kaçtıoğlu, Ü. Şengül, "Erzurum kenti ambalaj atıklarının geri dönüşümü için tersine lojistik ağı tasarımı ve bir karma tamsayıli programlama modeli", *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, (2010).
- [78] G. Karaçay, "Tersine lojistik: kavram ve işleyiş", *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, Cilt 14, Sayı 1, 317-332, 2005.
- [79] M. Thierry, M. Salomon, J. Unen, L. Wassenhove, "Strategic issues in product recovery management", *California Management Review*, vol.37, no.2:114-135, 1995.
- [80] E. Bulut, A. Deran, "Ters lojistik ve şirketlerin maliyet yönetimi üzerine etkileri", *Ekonomik Yaklaşım*, 19 (Özel), 325-344, 2008.
- [81] G.S. Çekerol, "Lojistik ve tersine lojistik", Mehmet Necdet Timur (Editör), Lojistik Yönetimi, 1. Baskı, Anadolu Üniversitesi Yayınları, Eskişehir, 2013.
- [82] Ü. Şengül, "Tersine lojistik kavramı ve tersine lojistik ağı tasarımı", *Atatürk Üniversitesi İİBF Dergisi*, 10. Ekonometri ve İstatistik Sempozyumu Özel Sayısı, 407-429. file:///C:/Users/yasemin/Downloads/7788-32617-1-PB%20(3).pdf, erişim: 06.06.2015, 2011.
- [83] A.Z. Acar, ve K. Kara, Tersine lojistik, A.Z. Acar ve A.M. Köseoğlu (Editörler), Lojistik Yaklaşımıyla Tedarik Zinciri Yönetimi, 1. Basım, Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara, 2014.
- [84] G.T. Temur, B. Ayvaz, ve Bolat, Tersine Lojistik Yönetimi Dünya'da ve Türkiye'de Durum, 1. Baskı, Nobel Yayınları, İstanbul, 2015.
- [85] İ. Öztürk, H. Timur ve U. Koşkan, "Evsel, endüstriyel atıksu arıtımı ve arıtma çamurlarının kontrolü", *Çevre ve Orman Bakanlığı Yayını*, Ankara, 2004.
- [86] C. Asan, Gri suların yeniden kullanımında membran biyoreaktör (MBR) uygulamaları, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2013.
- [87] T. Başkan, Arıtılmış evsel atıksuların tarımda sulama amaçlı yeniden kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.
- [88] N. Büyükkamacı, "Su yönetiminin etkin bileşeni:yeniden kullanım", *İzmir Kent Sorunları Sempozyumu*, İzmir, 363-77, 8-10 Ocak 2009.
- [89] Ş. Sami, "Su arıtma teknolojisinde yer alan yumaklaştırma işleminin teknolojik esasları, EÜFBED-Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Cilt-Sayı: 3-1, 37-59, 2010.
- [90] Ö. Demir, M. Yıldız, Ü. Sercan, C. Ş. Arzum, "Atıksuların geri kazanılması ve yeniden kullanılması" Harran Üniversitesi Muh. Der. 02, p.1-14, 2017.
- [91] Suyun Geri Dönüşümü ve yeniden Kullanılması 2006. [Online]. http://www.suvecevre.com/yayin/526/suyun-geri-donusumu-ve-yeniden-kullanimi_15634.html#.XkkAcCgzbc [Accessed: 14-Şubat 2019].