

Dönel Çanakta Yüzey Bitirme Prosesinde Oluşan Atık Suyun Geri Kazanımı İçin Çapak Alma Taşlarının Yeniden Kullanımı

Gülçin DENİZ*¹, Burcu ACEL², Büşra ACEL³, Ercan ÇAKIR⁴, N. Kamil SALİHOĞLU⁵

^{1,2,3,5}Uludağ Üniversitesi, Bursa, 16059, Türkiye

Araştırma Makalesi, Geliş Tarihi: 10.07.2023, Kabul Tarihi: 08.08.2023

Özet

Endüstriyel atık suların arıtılması ve proseslerde yeniden kullanılması, temiz üretim çalışmaları açısından son derece değerlidir. Otomotiv sektörü suyun yüksek miktarda kullanıldığı endüstrilerden biridir. Özellikle araç motorları için enjektör, pul, ayar pulu vb. parçaların yıkama ve hassas yüzey işlem proseslerinde yüksek miktarda su tüketimleri söz konusudur. Bu çalışmada bir orijinal ekipman üreticisinde (OEM) dönel çanakta yüzey bitirme prosesinde oluşan atık suyun geri kazanımı için ön arıtma ünitesi tasarlanmıştır. Bu tasarımda üretim prosesi atıklarından birisi olan ve bertaraf edilen çapak alma taşlarının, filtre malzemesi olarak yeniden kullanımı araştırılmıştır. Mevcutta oluşan atık sular bir işleme tabi tutulmadan bertaraf edilmektedir. Atık suların yeniden kullanılabilmesi için membran ile arıtma işlemine tabi tutulabileceği, yapılan literatür çalışmalarından görülmektedir. Ancak membran öncesinde suyun içeriğindeki partikül ve çökelebilen katı madde yükünün giderilmesi gerektiği anlaşılmıştır. Bu çalışmada membran ile arıtma süreci öncesindeki, AKM (Askıda Katı Madde) giderimine ait bir araştırma ortaya konulmuştur. Çalışmanın amacı AKM yükü fazla olan kirli suların masrafsız ve daha düşük maliyet ile eko-verimlilik çerçevesinde ön arıtımının sağlanmasıdır. Çapak alma taşları yerleştirilerek tasarlanan ön çöktürme havuzunda, üç gün dokuz vardiya (1 vardiya 8 saatlik çalışma süresini ifade eder.) alınan numuneler AKM analizlerine tabi tutulmuştur. Taş filtrenin ön çöktürmede kullanımının ortalama atık su AKM değerini %98 giderim verimi ile 41182,88 mg/L'den 877,13 mg/L değerine düşürdüğü tespit edilmiştir. Ömrünü tamamlamış çapak alma taşlarının atık su arıtımında filtre malzemesi olarak yeniden kullanımının işletmelerdeki benzer eko-verimlilik çalışmaları için önemli bir kaynak oluşturacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Sürdürülebilirlik, Eko-verimlilik, Atık su, Geri kazanım, Filtre malzemesi.

Reuse of deburring stones for recovery of wastewater generated in the surface finishing process in the rotary bowl

Abstract

The treatment of industrial wastewater and its reuse in processes are extremely valuable in terms of clean production. The automotive sector is one of the industries where water is used in high amounts. Especially for vehicle engines, injectors, washers, shims etc. highwater consumption occurs in parts washing and sensitive surface treatment processes. In this study, a pre-treatment unit was designed for the recovery of wastewater generated in the surface finishing process in an original equipment manufacturer (OEM). In this design, the reuse of deburring stones, which is one of the production process wastes and disposed, as filter material has been investigated. The existing wastewater is disposed of without any treatment. It is seen from the literature studies that wastewater can be treated with membranes to be reused. However, it

*Sorumlu yazar gulcindeniz@dogupres.com, ²burcuacel@dogupres.com, ³busraacel@dogupres.com, ⁴ercancakir@dogupres.com,

⁵nkamils@uludag.edu.tr

has been understood that the particle and precipitable solids load in the water must be removed before the membrane. There is no information about the membrane process in this study. Research on the removal of AKM (Suspended Solids) before the membrane has been revealed. The aim of the study is to provide pretreatment of polluted waters with high WWTP load free of charge and at a lower cost within the framework of eco-efficiency. Samples taken in nine shifts (1 shift means 8 hours of working time.) for three days were subjected to SS (Suspended Solid) analysis in the pre-settlement basin designed by placing deburring stones. It was determined that the use of the stone filter in pre-settlement reduced the average wastewater SS value from 41182.88 mg/L to 877.13 mg/L with 97% removal. It is thought that the reuse of deburring stones as filter material in wastewater treatment will be an important reference for similar eco-efficiency studies in enterprises.

Keywords: Sustainability, Eco-efficiency, Wastewater, Recovery, Filter material.

1. GİRİŞ

Su kaynakları artan nüfus, endüstrileşme ve kontrolsüz tarımsal sulama sebebi ile talebe yanıt verememektedir. Küresel ısınma nedeni ile doğal dengenin bozulması yağış miktarlarını olumsuz etkileyerek, susuzluğun son yıllarda dünya genelinde yaşanan en önemli problemlerden birisi haline gelmesine sebep olmuştur. Endüstride kesintisiz üretim yapılabilmesi için ihtiyaç duyulan suyun temin sorunlarının yaşanmaması adına geri kazanım yöntemlerinin kullanılması ve bu amaçla kullanılacak arıtma sistemlerinin tasarımı oldukça önemlidir. Artan üretim maliyetleri ve su kaynaklarının azalması, üretimde eko-verimlilik ve sürdürülebilirlik kavramlarının önemini ortaya koymaktadır. Literatürde yıllar içerisinde üretimde eko-verimlilik ve sürdürülebilirlik konularında pek çok çalışma yapılmış ve son yıllarda artarak yenileri eklenmiştir. Yapılan literatür araştırması sonucunda elde edilen bazı örnek çalışmalara aşağıda yer verilmiştir.

Liu ve diğ. (2021) endüstriyel üretimde eko-verimliliğin artırılması ve sürdürülebilir gelişimin desteklenmesi için endüstriyel üretim süreçlerinde enerji perspektifi ve eko-verimlilik optimizasyonu için verilerin analiz edilmesinin önemini belirtmişlerdir. Cüce (2018) çalışmada, endüstride temiz üretim odaklı yaklaşımlar ve dögüsel çevre politikalarının araştırılması, ayrıca verimlilik stratejilerinin değerlendirmesini yapmıştır. Yapılan değerlendirmeler sonucunda yaşam dögüsü analizi (YDA) ve Çevre için Tasarım (ÇİT) araçları ürünün üretimi sonucunda çevresel etkileri en aza indiren verimliliği arttırırken arıtım maliyetlerini azaltan ve tasarım kararını destekleyen araçlardan olduğunu ortaya koymuşlardır. Sapmaz Veral (2019) literatür araştırmasına dayalı çalışmada, dögüsel ekonominin atık ve kaynak yönetimi için etkili bir araç olacağını belirtmiştir. Sapmaz Veral (2021) çalışmada dögüsel

ekonominin önündeki engelleri, dögüsel ekonomiye geçiş için stratejileri ve dögüsel iş modellerini atık yönetimi başlığı altında incelemiş ve dögüsel ekonominin üretim ve tüketim alışkanlıklarıyla ilişkisini ortaya koymuştur. Çolak ve diğ. (2018), otomotiv sektöründe faaliyet gösteren üreticilerin yeşil performanslarını bulanık çok kriterli karar verme yöntemlerini kullanarak gerçekleştirdikleri çalışmalarının sonucunda, otomotiv endüstrisindeki şirketlerin kendi yeşil performanslarını ölçmeleri ve takip etmeleri ve tedarikçilerini seçmeleri için ilgili yöntemin önemli bir araç sağladığını belirtmişlerdir. Ateş (2021) çalışmada dögüsel ekonominin en önemli bileşenlerinden olan geri dönüşüm kavramını 30 ülke için 2008-2017 döneminde panel veri yöntemleriyle, dirençli tahminci Prais-Winsten (PCSEs) kullanılarak bağımlı ve bağımsız değişkenler tanımlayarak gerçekleştirmiştir. Çalışmanın sonucunda ülkelerin geri dönüşüme yönelmelerinin gayri safi yurtiçi hasıla (GSYİH)'yi arttıracağı sonucuna varmıştır. Demircioğlu ve diğ. (2020) dögüsel ekonominin güçlendirilmesini sağlayan endüstriyel simbiyozu araştırmışlardır. Yarattığı faydaları ve maliyetler üzerindeki etkilerinin dögüsel ekonomideki önemini açıklamışlardır. Gedik (2020) çalışmada dögüsel ekonomi kavramıyla ilgili geniş bir teorik çerçeve oluşturmaya odaklanmıştır. Önder (2018) çalışmada sürdürülebilir kalkınma anlayışını hâkim kılabilmek için ortaya atılan ve dögüsel ekonomi olarak adlandırılan ekonomik yaklaşımı incelemiştir. Sapmaz Veral ve diğ. (2018) AB(Avrupa Birliği) atık yönetiminden kaynak yönetimi yaklaşımına geçiş yönelimlerini ortaya koymaya çalışan derlemelerinde AB'nin, atık yönetiminden kaynak yönetimi anlayışına geçişi bir fırsat olarak gördüğünü, ana odağının sadece atık yönetimi olmaktan çıkıp kaynakların geri kazanımına da kaydığını belirtmişlerdir. Özulucan ve diğ. (2017) çalışmalarında gıda sektöründe faaliyet gösteren bir işletmenin verilerini kullanarak, işletmenin geri kazanım faaliyetinin, performansına olan etkilerini

incelemiş ve sonuç olarak işletmenin geri dönüşümlü ürüne geçiş yapmasının ve geri kazanım faaliyetlerine önem vermesinin şirkete fayda sağlayacağı olgusuna varmışlardır. Ekşi ve diğ. (2020) çalışmalarında, ÇYS (Çevre Yönetim Sistemi) benimsenmesinde etken olan faktörleri ve uygulama sonucu elde edilmesi beklenen iyileşmeleri ele almış ve bunların firma özelliklerine göre farklılık gösterip göstermediğini incelemişlerdir. ÇYS'e geçişte etken olan finansal faktörlerin ihracat yapma durumuna göre, çevre ile ilgili faktörlerin çalışan sayısına göre, rekabetle ilgili faktörlerin ise sektöre göre farklılık gösterdiğini belirlemişlerdir.

Arı ve diğ. (2018) çalışmalarında iklim değişikliği ve küresel ısınma karşısında işletmeler için sürdürülebilir çözüm önerilerini başlıklar altında sunmuşlardır ve gerçek hayat uygulamalarından firmalar için örnek teşkil edecek sürdürülebilirlik çalışmalarından ve çözüm önerilerinden bahsetmişlerdir. Turhan ve diğ. (2018) nitel araştırma yöntemini kullandıkları çalışmalarında, önemi giderek daha fazla artan sürdürülebilir üretim konusunda Türkiye'nin en büyük dört otomotiv firmasının raporlarını sürdürülebilirlik başlığı altında diğer firmalara yol göstermek ve daha sonra yapılan çalışmalara örnek teşkil etmek amacıyla incelemişlerdir. Götze ve diğ. (2019) vaka çalışmalarında eko-verimlilik kavramının, tekil ürünlerin ve üretim süreçlerinin sürdürülebilirlik odaklı analizi ve tasarımı için de verimli olduğunu gözlemlemişler ve bu gözlemlerini enjeksiyon kalıplama için kalıplara uyarlamışlar, uygulanabilirliğini ve tipik sonuçlarını göstermişlerdir. Şimşek ve diğ. (2018) çalışmalarında, yerel bir yüzey bitirme firmasında metal yüzey işleme ve atık metal talaşlarında kullanılan soğutma sıvısının değerlendirilmesi için gerçekleştirdikleri analizlerin, soğutma sıvısı geri kazanımının ve yeniden kullanımının genişletilmesi için kurulacak arıtma ve besleme hattında belirleyici olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Günümüzde özellikle talaşlı imalatta ileri teknolojiyle donatılmış tezgâhlar kullanılıyor olsa da çapaksız bir imalat çoğu zaman mümkün olmaz. Diğer taraftan çapak hem üretim kalitesi ve hem de çevreye verdiği zararlar bakımından riskli bir oluşumdur. Ayrıca çapaklı parçalar montaj işleminde de problem oluşturmasının yanında yorulma ömrünü de olumsuz etkilemektedir. Bu sebeple özellikle hassas parçalar ilave bir çapak temizleme işlemine tabi tutulmaktadır (El Naser ve diğ., 2017).

Özel bir kesme yöntemi olan hassas kesme parçaların doğru bir geometri, çatlak veya yırtılma içermeyen ve pürüzsüz kesilmiş kenarlarla herhangi bir ana ikincil operasyona gerek duyulmadan kalıplarla üretildiği ileri

ve hassas bir saç şekillendirme yöntemidir. İkincil operasyonların elimine edilmesi ile presten çıkan ve hemen sonrasında çapak alma işlemi uygulandıktan sonra toplanmaya hazır parçaların elde edilmesi parça üretim maliyetlerini ve sürelerini düşürmekte, aynı zamanda yüzey ve boyut hassasiyeti çok yüksek olan parçalar elde edilmektedir (Darıcı, 1998).

Pres tezgahlarında basılan parçalar, istenilen teknik ölçülere ulaşmak için taşlama, lebleme vb. yüzey taşlama işlemlerine tabi tutulur. Bu operasyonlarda oluşan düşük kuvvet etkisi ile kopabilecek çapakların giderimi için çapak alma işlemine tabi tutulur. Uygulama sırasında metal iş parçaları, çapak alma taşları ve su girdi olarak kullanılır. İşlem sonucunda istenen yüzey kalitesinde metal iş parçaları, atık çapak alma taşı ve endüstriyel atık su elde edilir.

Endüstriyel atıksuların özellikleri, endüstriden endüstriye oldukça farklılıklar göstermektedir. Aynı daldaki endüstrilerde bile, kullanılan hammaddeler ve uygulanan proseslerin farklılığı, diğer birçok faktörle birlikte çıkan atık suyun yapısında farklılıklar oluşturmaktadır (Kopan, 2023). Yapılan analizlerde atık suyun AKM konsantrasyonu ortalama olarak 41.182,88 mg/L, Çökebilir Katı Madde (ÇKM) değeri 223,33±5,2 ml/L ve yağ ve gres değeri 74 mg/L olduğu görülmüştür. Yıllık ortalama değerler baz alındığında 6000 ile 7000 m³ arasında atık su oluşumu mümkündür.

Bu çalışmada, yukarıda ifade edilen temel ilkeler çerçevesinde orijinal bir ekipman üreticisinde (OEM) dönel çanakta çapak alma ve yüzey bitirme prosesinde oluşan atık suyun geri kazanımı için çapak alma taşlarının yeniden kullanımı araştırılmıştır. Atık suyun içerisinde yer alan ve askıda katı madde olarak nitelenen kirleticilerin giderimi suyun geri kazanımı ve filtrasyonu için önemlidir. AKM gideriminde farklı filtreleme sistemleri kullanılabilir. Çalışmada üretimdeki bir operasyondan çıkan taşların ön AKM gideriminde filtre malzemesi olarak kullanımı araştırılmıştır. Dönel çanakta yüzey bitirme prosesi, otomotiv endüstrisinde hassas toleranslara sahip parçaların yüzeylerinin işlenmesi için kullanılan bir yöntemdir. Sürecin girdileri metal parça, çapak alma taşı, su ve kimyasal madde olup, çıktıları istenen ölçülerde ürün, atık su ve atık çapak alma taşlarıdır. Deneysel çalışmada kullanılan çapak alma taşları dönel çanakta yüzey bitirme prosesinde oluşan atık suyun geri kazanımı için tasarlanan ön arıtma tankından alınmıştır. Bu çalışmada ön arıtım tankında prosesin çıktısı olan ve bertaraf edilen çapak alma taşlarının ön çöktürmede kullanımı incelenmiştir.

Çapak alma taşlarının bir defa kullanım sonrasında atık olması yerine suyun yeniden kullanımı ve arıtılarak geri kazanımı bu konuda yapılan temiz üretim çalışmaları açısından son derece değerlidir. Girdi olarak kullanılan yıkama banyoları, hassas yüzey işlemleri otomotiv endüstrisinde sıklıkla karşılaşılan proses adımlarıdır. Yüksek su tüketiminin dikkati çektiği bu proseslerde atık su önemli bir kirlilik yükünü taşımaktadır. Bu yük yağ, kimyasal maddeler ve metal partiküllerden oluşmaktadır.

Özet olarak, dönel çanakta talaş kaldırma işlem adımı, otomotiv endüstrisinde hassas toleranslara sahip ürünlerin üretilmesinde kullanılmaktadır. Bu işlem, sürekli sıvı akışı ile metal iş parçalarının yüzeyinden, çapak alma taşları yardımı ile talaş kaldırılması operasyonudur. Örnek bir uygulama ile yapılan tasarım, kaynak tüketimini en aza indirecek ve temiz üretim uygulamaları için örnek sağlayacaktır. Bu bağlamda yapılacak temiz üretim çalışmaları, doğal kaynakların verimli kullanılması adına üretim sektöründe yer alan firmaların faaliyetlerini geliştirmeleri için önemlidir. Yapılacak iyileştirmeler adına ortaya konulacak çalışmaların temelinde üretim süreçlerinin doğru analiz edilmesi ve oluşan atık maddelerin yeniden kullanımının veya atık oluşumunu minimize edecek yöntemlerin geliştirilmesinin önemi yadsınamaz niteliktedir.

Çalışmanın amacı AKM yükü fazla olan kirli suların masrafsız ve daha düşük maliyet ile eko-verimlilik çerçevesinde ön artımının sağlanmasıdır. Çalışmada, üretim faaliyetlerinde oluşan atıkların yeniden kullanım potansiyelinin ele alınmasının gerekliliği ortaya konulmaya çalışılmıştır. Literatürde yer alan atık suyun arıtımı ve yeniden kullanımı yöntemleri incelendiğinde, üretimin bu aşamasında ortaya çıkan atık suların arıtılması ve bir membrandan geçirilerek yağından arındırılmasının sağlanabileceği görülmüştür. Ancak membran uygulamalarının öncesinde, sudaki atık yükünün azaltılması ve bu sayede membran ömürlerinin uzatılması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Bu aşamada çeşitli ön filtreleme yöntemleri gündeme gelmiş olup, çalışma kapsamında taş filtreleme sistemi incelenmiştir. Taşların boşluklarından ve yüzeylerinden yararlanılması ve atık su havuzu ile yapılacak ön arıtmanın performansı araştırılmıştır.

2. ANALİZ METODU

2.1. Deneysel Kurulum

Atık suların oluşumu incelendiğinde öncelikli olarak sudaki parametrelerin analizleri yapılmıştır. En büyük yükü oluşturan ve suyun görünümünde kirlenmeye sebep olan parametreler değerlendirilmiş ve tasarıma karar verilmiştir. Karar aşamasında özellikle sürecin atıklarından olan ve kullanım ömrü dolduğunda bertaraf edilen çapak alma taşları dikkati çekmektedir. Bu taşların çöktürme ve süzme işlemleri için iş yapabilme yeteneğinin ve kabiliyetinin araştırılması çalışmanın temel unsurlarındandır. Hem atık suyun partiküler madde yükünün iyileştirmesine etkisi incelenmiş hem de taşların firma içerisinde yeniden kullanılarak değerlendirilmesi ile endüstriyel simbiyoz örneği oluşturup oluşturamayacağı değerlendirilmiştir.

Dönel çanakta yüzey işleme için kullanılan taşların karakterizasyonu bu çalışmada Bölüm 2.1.2 Çapak alma taşlarının karakterizasyonu başlığı altında anlatılmıştır. İlk olarak metal iş parçaları, çapak alma taşları ile dönel çanak sistemine yüklenir. Ardından kimyasal madde ve su girdisi sağlanır. Dönüş hareketi sayesinde metal yüzeylerinden talaş kaldırma gerçekleştirilir. Tek operasyon için 150-300kg arasında taş kullanılmaktadır. Taşların kullanım ömrü tanımlı olup, kullanım ömrü sonunda taşlar bertaraf edilmek üzere dönel çanaklardan varillere aktarılmaktadır. İşlenen metal parçadan kaldırılacak çapak miktarına ve metallerin yüzey kalitesine bağlı olarak taş ömürleri değişiklik gösterir. Kullanım ömrü dolup işlevini yitiren bu taşların, farklı bir amaç doğrultusunda filtre malzemesi satın alınması yerine kullanımının araştırılması sürdürülebilirlik açısından önemlidir.

Atık suyun parametrelerinin yapılacak laboratuvar analizleri ile belirlenmesi ve atık taşların boyut, nitelik ve niceliksel analizlerinin gerçekleştirilmesi ilk adımdır. İkinci adım doğru sonuçların elde edilmesi için önem arz eden arıtma havuzunun kurgulanması olmuştur. Çıktıların analizi ve sonuçların değerlendirilmesi ile çalışma sonuçlandırılmıştır.

2.1.1. Atık Suyun Karakterizasyonu

Dönel çanakta yüzey bitirme prosesi hassas toleranslı parçaların imalat aşamasındaki en önemli adımlarından biridir. Metal parçaların üzerinde bir önceki operasyondan gelen metal yağları ve işlem sırasında çapakların giderilmesi ile oluşan metal partiküller ve

çapak alma taşlarından kopan parçaların oluşturduğu katılar su içerisinde önemli bir kirlilik yükü oluşturmaktadır. Yağ, partikül madde ve kimyasallar nedeniyle kontamine olan suyun yeniden kullanılması için öncelikle barındırdığı bu temel fiziksel ve kimyasal yükten arındırılması gerekmektedir. Atık su içerisindeki yağ ve gres analiz edilmiş ve değer 74 mg/L olarak ölçülmüştür (Rice ve Bridgewater, 2012). Bu aşamada fiziksel arıtma yöntemlerinin kullanılması için oluşturulan bir simülasyon havuzu ile suyun ne düzeyde iyileştirilebileceğinin analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada yağ gideriminin yapılacağı membran uygulaması hakkında bilgi verilmemiştir. Membran filtre uygulanması öncesinde suyun iyileştirilmesi için araştırma yapılmıştır. Bu gerekçe ile yağ ve gres analizleri taş filtre uygulaması çıkışında ölçülmemiştir. İyileştirme etkilerinin görülebilmesi için giriş atık su ve filtreleme işleminin bitiminde alınan su numunelerinde ÇKM (Çökebilir Katı Madde), AKM (Askıda Katı Madde), pH, sıcaklık, basınç ölçümleri yapılmıştır. Bu ölçümlerdeki farklar değerlendirilmiş ve tasarımın hangi parametreler için etkili olduğuna karar verilmiştir. Atık su içerisinde bulanıklık oluşturan ve suyun kirli görünmesine sebep olan en temel kirleticiler, partikül maddelerdir. Dönel çanakta yüzey bitirme prosesi süresince oluşan atık partiküller suda çözünmez, su içerisinde dağılarak veya dipte çökerek çamur birikintisi oluşturur. Çökelemeyen katı maddelerin tespit edilmesi için Askıda Katı Madde Tayini (AKM) analizi ve ilave olarak çökebilir katı madde tayini uygulanmıştır (Rice ve Bridgewater, 2012).

Suyun karakterizasyonu için pH ve iletkenlik ($\mu\text{S}/\text{cm}$) tayinleri de gerçekleştirilmiştir. Bunun yanında oluşturulan simülasyon havuzunun sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$) değişimleri ile basınç (atm) ölçülmüştür. Her bir parametre hakkında elde edilen sonuçların değerlendirmesi yapılmıştır. Çapak alma taşlarının geri kazanılarak atık su havuzunda filtre olarak kullanılması simüle edilmiş ve atık suyun geri kazanımındaki etkileri incelenmiştir. Bu etkilerin sonuçları ile kazanım elde edilip edilemeyeceği yapılan deneyler ile tespit edilmeye çalışılmıştır. Ölçüm ve analizler taş filtre uygulanması öncesi ve sonrasında 3 gün 9 vardiyayı kapsayacak şekilde gerçekleştirilmiştir. 1 haftalık çalışma süresi boyunca çapak alma taşlarının etkilerinin öncesi ve sonrası durumunda yapılan ölçüm ve analizler ile sonuçlar elde edilmiştir.

2.1.2. Çapak Alma Taşlarının Karakterizasyonu

Yüzey bitirme prosesi olan dönel çanakta kullanılan çapak alma taşlarına ait karakteristik özelliklerin

belirlenebilmesi için analizler yapılmıştır. Bu analizler sonucunda taşların boyutları, boşluk hacimleri ve yapıları belirlenmiştir. Taşların yapılarına ait görseller elde edilmiştir. Bu çalışmada kullanılan çapak alma taşları seramik yapılıdır, yaklaşık 4 mm. kenar uzunluğuna sahip üçgen geometrik biçime sahiptirler. Ayrıca 3 tekrarlı yapılan deneyde 100 ml hacim içerisinde 2183 ± 8 adet taş bulunduğu görülmüştür. Boşluk hacimlerinin tespit edilmesi için yine 3 tekrarlı olarak taşlar 1 litrelik kaba doldurulmuş ve üzerine su eklenmiştir. Dolan suyun hacim değeri tespit edilmiş ve 1 litre hacimde 300 ± 12 ml boşluk hacmi gözlenmiştir. Analizler sonucu elde edilen çapak alma taşlarının karakteristik özelliklerini içeren bilgiler aşağıda verilmiştir (Tablo 1). Taşların karakteristik yapısı belirlenmiş ve partiküller maddelerin giderimi için kullanılabilir olduğu sonucuna varılmıştır. Bu çerçevede bertaraf edilen atık taşlar tekrar kullanılmıştır. Kurgulanan atık su havuzunun farklı bölümlerine doldurulan taşlardan geçen su katı partiküllerinin yüzeylerde tutunması ile kirliliklerden arınacağı düşünülmüştür. Gerçekleşecek giderim yapılacak su analizleri ile doğrulanacaktır.

2.2. Önerilen Yöntem

Arıtma havuzunun kurgulanması ve arıtma işlem adımları, çapak alma taşlarının karakterizasyonu sonucunda suyun genel parametrelerinin tayini ile belirlenmiştir. Bu aşamada proses kaynaklı oluşan atık suyun genel özellikleri Tablo 2’de verilmiştir. Bu tabloda ortaya çıkan en belirgin özellik AKM (Askıda Katı Madde) ve ÇKM (Çökebilir Katı Madde) yükü olup, bu yük partiküler maddelerin proses gereği fazla olması sebebi ile ortaya çıkmaktadır. Bu fazla yükün sebebi dönel çanakta yüzey bitirme prosesinde oluşan çapak alma taşı partikülleri ve parçalardan kopan metal çapaklardır. Atık suyun tekrar kullanılabilmesi için yağlı suyun bir membrandan geçirilmesi ve yağdan arındırılması uygulanabilir bir yöntemdir. Ancak bu işlem öncesinde partikül yükünden arındırılması gerekmektedir. Bu yükün azaltılması membran ömürlerini arttıracak olmasının yanı sıra sudan maksimum renk giderim veriminin elde edilmesinde de önem taşımaktadır. Suyun arıtılmasında uygulanacak işlem adımları için bir havuz oluşturulmuştur (Şekil 1).

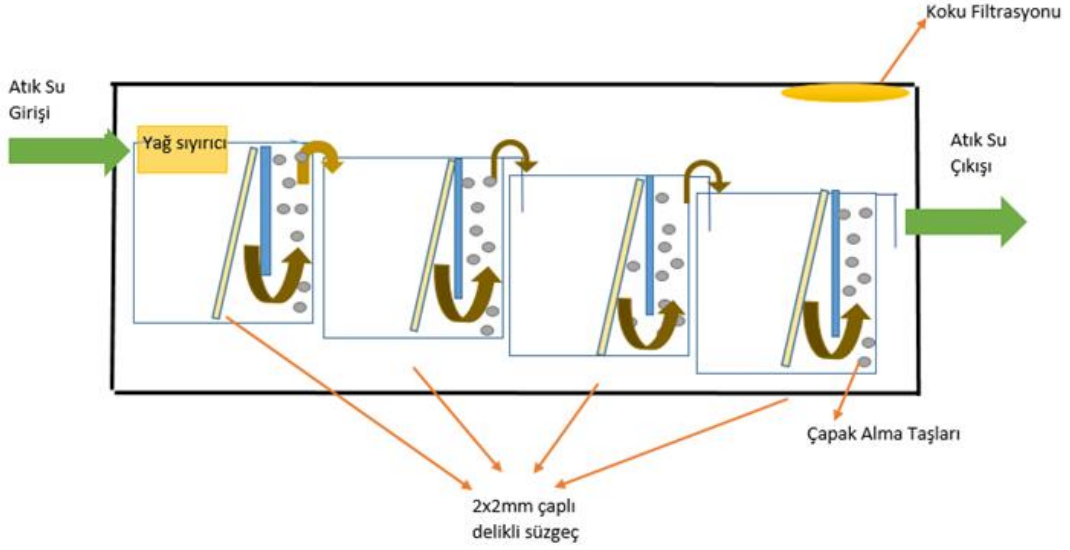
Tablo 1. Çapak alma taşı karakteristik özellikleri

Karakteristik özellik	Veri
Taş boyutu(mm)	
Taş yapısı	Seramik
Birim/adet (ml/adet)	100ml/2183±8adet
Boşluk hacmi (ml/l)	300±12 ml/l
Özgül ağırlık (g/cm ³) (Bulk Density)	5±0,2
Şekil	Üçgen
Görünüş	

Proseste oluşan atık su, giriş olarak tanımlanmış alandan yerçekimi ile bu havuza akmaktadır. Söz konusu atık su içerisinde, metal parçaların paslanmasını engelleyen koruyucu yağlar da yer almaktadır. Atık su içerisinde bulunan bu yağlar, havuzun birinci bekleme bölgesinde, özgül ağırlık farkından dolayı yüzeyde birikmektedir. Bu yağın giderilmesi için banyoya bir yağ sıyrıcı entegre edilmiştir. Bekleme bölgesinde yer alan yağın büyük bir kısmı bu yağ sıyrıcının içerisinde toplanarak ayrıştırılmaktadır. Toplam dört kısımdan oluşan arıtma havuzunda her bir kısma taş filtre entegre edilmiştir. Taş filtreleri öngörülen alanda sabitlenmesi için, taş boyutlarından daha küçük delikler içeren süzgeçler kullanılmıştır. İlk olarak delikli süzgeç ve taşların aralarından geçer. Atık su çapak alma taşlarının aralarından ilerlerken, partiküller dar boşluklarda kalır. Havuz hacminin 1/3'ünü kapsayacak ve akışa engel olmayacak miktarda taş kullanılmıştır. Böylelikle suyun temizlenmesi işlemi gerçekleşir. Bu araştırma için atık su

çıkışından su numunesi alınıp, analizlere tabi tutulmuştur. Bu analizlerin sonuçları atık su girişinden alınan kirli suyun sonuçları ile kıyaslanmıştır. Havuzun kurgulanması sırasında işlevini tamamlamış çapak alma taşlarının uygunluğu ve performansı da araştırılmıştır.

Sürdürülebilir çevre bakış açısı ile gerçekleştirilen bu araştırma ile çapak alma taşlarının bertaraf edilmesi yerine tasarlanan havuzda filtre malzemesi olarak yeniden kullanılması değerlendirilmiştir. Havuzda cazibeyle akan suyun havuz içerisindeki kısımlar arasındaki geçişi de yerçekimi yardımıyla gerçekleşmektedir. Atık suyun havuzdaki bu ilerleyişi sırasında ortamda bakteriyolojik birikim nedeni ile koku oluşabileceği öngörülmüştür. Bu nedenle, kokunun çalışma alanına yayılımını önlemek için havuz üzeri kapak ile örtülmüş ve biriken kokunun filtre yardımı ile dış ortama salımı gerçekleştirilmiştir. Atık su çıkışı sonrası bu şekilde yer almayan ancak suyun membran filtreye iletilmesini sağlayan 1 adet pompa üzerinde bulunan manometre ve termometre yardımı ile sistemin basınç ve sıcaklık parametreleri de takip edilmiştir. Numunelerin alındığı an manometre ve termometre üzerindeki değerler kayıt altına alınmıştır.



Şekil 1. Arıtma havuzu kurgusu

3. ANALİZ

Toplam 3 gün (9 vardiya) boyunca yürütülen çalışmalar ile tasarlanan sistemden elde edilen sonuçlar incelenmiştir. İşletmede bir vardiya sekiz saatlik çalışma zamanını belirtmektedir. Bu çalışmanın yapıldığı tesiste 1.vardiya 00:00-08:00, 2.vardiya 08:00-16:00 ve 3. vardiya 16:00-24:00 saatleri arasında faaliyet gösterir.

Filtreleme sisteminin öncesi atık su girişinden alınan numuneler suyun kirli halini, filtreleme sonrası atık su çıkışından alınan numuneler temiz halini temsil etmektedir. Dönel çanakta yüzey bitirme sürecindeki girdi ve çıktılar Şekil 2’de verilmektedir.

Parçalar, metal hammaddelerden pres tezgahlarında basıldıktan sonra hassas kenar, köşe değerleri eldesi için dönel çanakta yüzey bitirme işlemine tabi tutulurlar. Bu işlem sırasında, su ve alkali çapak alma kimyasal maddesi kullanılır. Dönüş hareketi sayesinde çapak alma taşları parça yüzeyinden istenmeyen çapakları gidermektedir. İşlemden çıkan su, atık su olarak deşarj edilmektedir. Dönel çanakta yüzey bitirme işlemi sırasında metal parçalar üzerinde korozyon oluşumunun engellenmesi için koruyucu yağ bulunmaktadır. İşlem sırasında bu yağlar emülsiyeye olmakta ve atık su ile deşarj yapılmaktadır. İşlem sonucunda ömrü dolan çapak alma taşları da atık statüsündedir. Bu taşlar variller içerisinde biriktirildikten sonra bertaraf

edilmekte ve bu işlem için bütçeye ihtiyaç duyulmaktadır. Bir diğer atık madde, parçalardan ve taşlardan kopan maddeler ile oluşan atık çamurdur. Bu çamur, suyun içerisinde bulanıklık oluşturmakta ve suyu kirletmektedir.

Sürecin tamamı incelendiğinde suyun geri kazanımı ve yeniden kullanılabilmesi için araştırmalar yapılmıştır. Döngüsel ekonomi ve çevresel iyileştirmeler gözden geçirilerek global uygulama örnekleri araştırılmıştır. Literatürde yer alan atık suyun arıtımı ve yeniden kullanımı yöntemleri incelendiğinde, üretimin bu aşamasında ortaya çıkan atık suların arıtılması ve bir membrandan geçirilerek yağından arındırılmasının sağlanabileceği görülmüştür. Ancak membran uygulamalarının öncesinde, sudaki atık yükünün azaltılması ve bu sayede membran ömürlerinin uzatılması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Bu aşamada çeşitli ön filtreleme yöntemleri gündeme gelmiş olup, çalışma kapsamında taş filtreleme sistemi incelenmiştir. Taşların boşluklarından ve yüzeylerinden yararlanılması ve atık su havuzu ile yapılacak ön arıtmanın performansı araştırılmıştır.

Ön arıtmada kullanılacak atık su havuzu içine, ömrü dolan atık çapak alma taşları yerleştirilmiştir. Toplam 3 gün (9 vardiya) boyunca atık su girişi ve çıkışından alınan numuneler analiz edilmiştir. Gerçekleştirilen bu analizlere ait sonuçlar Tablo 2’de taş filtre öncesi ve Tablo 3’te taş filtre sonrası atık su parametreleri olarak

verilmiştir. Yapılan analizlerde atık suyun taş filtreden geçmeden önce askıda katı madde konsantrasyonunun ortalama olarak 41.182,88 mg/L olduğu görülmektedir.

Taşların konumlandırıldığı havuzun çıkışından alınan numuneler ile de AKM analizleri gerçekleştirilmiştir. Tablo 3'te üç günün ortalamasının 877,13±9,3 mg/L

olduğu görülmüştür. Sonuçlar taşların havuza konumlandırılmasının, AKM değerinin düşürülmesinde oldukça etkili olduğunu göstermiştir.



Şekil 2. Dönel çanakta yüzey bitirme süreci girdileri ve çıktıları

Tablo 2. Taş Filtre Öncesi Atık Su Parametreleri

	Atık su parametreleri taş filtre öncesi								
	1.Gün			2.Gün			3.Gün		
	1.vardiya	2.vardiya	3.vardiya	1.vardiya	2.vardiya	3.vardiya	1.vardiya	2.vardiya	3.vardiya
Çökebilir Katı Madde (ml/l)	150	50	120	50	960	140	50	440	50
pH	8.21	7.71	7.14	8.61	8.17	8.85	8.56	8.8	8.7
İletkenlik (µS/cm)	647	678	836	568	980	588	551	618	536
Basınç(atm)	3.6	3,2	3,1	3	3,2	3,2	3	3	3
Sıcaklık(°C)	22	26	26	22	24	24	22	22	22
Askıda Katı Madde (mg/L)	41710	40120	40920	40290	43160	41050	40710	42580	40106

Tablo 3. Taş Filtre Sonrası Atık Su Parametreleri

	Atık su parametreleri taş filtre sonrası								
	1.Gün			2.Gün			3.Gün		
	1.vardiya	2.vardiya	3.vardiya	1.vardiya	2.vardiya	3.vardiya	1.vardiya	2.vardiya	3.vardiya
Çökebilir Katı Madde (ml/l)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
pH	8.68	8.0	7.98	8.77	8.64	8.45	7.02	7.03	7.17
İletkenlik(µS/cm)	499	652	616	745	579	632	692	726	711
Basınç(atm)	3	3	3	3.2	3,2	3,2	3.2	3.2	3,2
Sıcaklık(°C)	22	22	22	24	24	24	22	22	22
Askıda Katı Madde(mg/L)	896,6	879,8	792,8	1680	1187	1244	797	925	492
% AKM Giderim Verimi	97,85	97,80	98,06	95,83	97,25	96,97	96,72	97,82	98,77

Not: Atık su ön artımı için 3 vardiyada aynı taşlar değişmeden kullanılmıştır.

Bir diğer ölçülen parametre ÇKM değeridir. Yine aynı zaman diliminde alınan numuneler ile yapılan analizlerde, taş filtre uygulaması öncesinde bu dokuz numune değerinin ortalaması $223,33 \pm 5,2$ ml/L olarak ölçülmüştür. Atık suyun taş filtreden geçmesi sonunda ise ÇKM ölçülemez. Elde edilen iki farklı parametreye dayalı sonuç bize taşlardan geçen suyun partiküller madde yükünden etkili bir biçimde arındığını göstermiştir. Bunun yanında ölçülen pH ve iletkenlik parametrelerinin önemli bir şekilde değişmediği tespit edilmiştir. Bunun sebebinin kimyasal bir arıtma yapılmamasının olduğu düşünülmektedir.

Basınç ve sıcaklık parametreleri takip amaçlı ölçülmüş olup, yapılan ön arıtma işleminin bu değerler içinde belirli bir etkisinin olmadığı tespit edilmemiştir. Ancak sistemin stabil ve dengeli olarak akışını devam ettirdiğini göstermesi açısından önemlidir. Ölçülen sonuçlar da bunu göstermektedir. Sıcaklık atık su girişi için minimum 22 ve maksimum 26 °C olarak kaydedilmiştir. Taş filtre sonrası ölçülen sıcaklık değerleri minimum 22 ve maksimum 26 °C olarak ölçülmüştür. Sıcaklık değerlerinde anlamlı bir değişim gözlenmemiştir. Bunun temel sebebi sistemde değişim oluşturabilecek bir müdahalenin yapılmamasıdır. Sadece bir alanda pompa gücü uygulanmış olup, atık su çıkışında suyu membran filtreden geçirmek üzere kullanılmaktadır. Bu çalışma membran öncesi suyun iyileştirilmesine odaklanmıştır. Bu nedenle membran hakkında detaylara yer verilmemiştir. Elde edilen sonuçların ışığında AKM ve ÇKM değerlerinde belirgin biçimde iyileşme olduğu gözlemlenmiştir. Bu da membran ömrünün uzaması için anlamlıdır. Bu sonuç çapak alma taşlarının filtre olarak kullanılabilirliğini göstermektedir.

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

Günümüzde döngüsel çevre politikalarının oluşturulması, kaynakların doğru yönetilmesi ve verimlilik stratejilerinin değerlendirilmesi endüstrilerin güncel konuları içerisinde yer almaktadır. Döngüsel ekonomi kavramı endüstride temiz üretim odaklı yaklaşımların gerçekleştirilmesi için oldukça anlamlıdır. Atık oluşumunu ortadan kaldıran bir yöntem ve felsefe bütünüdür. Bu çerçevede süreç içerisinde oluşan bir atığın, işletmede yeni bir alanda girdi olarak kullanılması ve değerlendirilmesi son zamanların karşımıza çıkan araştırma konusu olmuştur.

Bu çalışma kapsamında bir OEM'de ömrünü tamamlamış çapak alma taşlarının döngüsel ekonomi çerçevesinde yeniden kullanımı araştırılmıştır. Bu kapsamda orijinal bir ekipman üreticisinde (OEM) dön

çanakta yüzey bitirme prosesinde oluşan atık suyun geri kazanımı için ön arıtma tankı tasarlanmıştır. Tasarlanan tankta prosesin çıktısı olan ve bertaraf edilen çapak alma taşlarının ön çöktürmede kullanımı araştırılmıştır. Çalışmanın amacı AKM yükü fazla olan kirli suların masrafsız ve daha düşük maliyet ile eko-verimlilik çerçevesinde ön arıtımının sağlanmasıdır.

Atık su özelliklerine göre tasarımı yapılan tankta ömrünü tamamlamış çapak alma taşları filtrasyon malzemesi olarak kullanılmıştır. 3 gün boyunca 9 vardiyalık çalışma süresinde alınan farklı su numunelerinin analizi sonucunda su içerisinde kirlilik oluşturan askıda katı madde ve çökebilir katı madde konsantrasyonunun azaldığı görülmüştür. Atıl taşların filtre malzemesi olarak ön çöktürmede kullanımının ortalama atık su AKM değerini %97 giderim verimi ile 41182,88 mg/L'den 877,13 mg/L değerine düşürdüğü tespit edilmiştir. Bu çalışmanın sonucunda atıl çapak alma taşlarının atık suyun arıtılmasında kullanılabilirliği görülmüştür. Haftalık 70€ ortalama bedeli ile filtre tüketimi bulunmaktadır. Tüketimin ortadan kaldırılması ile bu maliyetin oluşumunun önlenilebileceği görülmüştür. Tek operasyon için 150-300kg arasında taş kullanılmaktadır. Oluşan taşların kg başına bertaraf bedeli 0,1€ olup, ortalama bertaraf bedeli 2500€/yıl olarak hesap edilmiştir. Döngüsel ekonomi için değer yaratan ve kullanılabilir olan bu uygulama ile filtre için harcanacak bedellerin harcanmamasının gerekmeyeceği, filtre değişim ve yeni filtre alınması maliyetlerinin önlenilebileceği, atık taş bertaraf maliyetlerinin azaltılabileceği sonuçlarına ulaşılmıştır.

Çalışmanın gerçekleştirildiği ISO 14001 Çevre yönetim sistemi gerekliliklerini yerine getiren örnek bir OEM'de ortaya çıkan ve atıkların yeniden kullanımının değerlendirildiği bu çalışma başka çalışmalar için de örnek teşkil etmesi açısından değerlidir.

SİMGELER

atm	Atmosfer
g/cm ³	Gram/santimetreküp
µS/cm	Mikrosiemens/santimetre
mg/L	Miligram/litre
ml/L	Mililitre/litre
mm	Milimetre
°C	Santigrat derece
%	Yüzde

KAYNAKLAR

Arı, E. S., & Ergin, E. (2018). Sürdürülebilir İşletme Olma Yolunda Çözüm Önerileri. *Bitlis Eren Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi Akademik İzdüşüm Dergisi*, 3(4), 1-18.

Çolak, M., & Boyacı, A. İ. (2018). A Fuzzy Logic Based Green Performance Evaluation Model for Automotive Industry. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (13), 39-44.

Darıcı, Ü. B. (1998). Hassas kesme ve kalıpları.

Demircioğlu, E. N., & Ever, D. (2020). Döngüsel Ekonomiye Geçişte Endüstriyel Simbiyozun Maliyetler Üzerine Etkisi. *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 29(3), 461-473.

El Naser, Y. H., Karayel, D., Ozkan, S. S., & Atali, G. (2017, September). Talaşlı İmalatta Otomatik Çapak Alma İşlemi için Endüstriyel Robot Kol Tasarımı. *In 5th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science 29-30 September 2017 (ISITES2017 Baku-Azerbaijan)*.

Erdem, A. (2021). Döngüsel Ekonomi Kapsamında GSYİH ile Geri Dönüşüm İlişkisi: Avrupa Birliği Ülkeleri Örneği. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, (67), 125-137.

Gedik, Y. (2020). Döngüsel ekonomiyi anlamak: teorik bir çerçeve. *Turkish Business Journal*, 1(2), 110-137.

Götze, U., Peças, P., & Richter, F. (2019). Design for eco-efficiency—a system of indicators and their application to the case of moulds for injection moulding. *Procedia Manufacturing*, 33, 304-311.

Hüseyin, C. (2018). Endüstriyel üretimde döngüsel çevre politikaları. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7(2), 111-122.

Kopan, M. (2023). Endüstriyel Atıksu Arıtmında Zeytin Çekirdeği Tozunun Doğal Pıhtılaştırıcı Olarak Kullanılabilirliğinin Belirlenmesi (Doctoral dissertation).

Liu, C., Gao, M., Zhu, G., Zhang, C., Zhang, P., Chen, J., & Cai, W. (2021). Data driven eco-efficiency evaluation and optimization in industrial production. *Energy*, 224, 120170.

Önder, H. (2018). Sürdürülebilir Kalkınma Anlayışında Yeni Bir Kavram: Döngüsel Ekonomi. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, (57), 196-204.

Özulucan, A., & Çeviren, S. M. Geri Kazanım Maliyetlerinin İşletme Performansı Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi: Gıda İşletmesi Örneği. *Ömer Halisdemir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 10(2), 96-109.

Rice, E. W., Bridgewater, L., & American Public Health Association (Eds.). (2012). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (Vol. 10). Washington, DC: American public health association.

Simsek, A., Beytekin, İ. D., & Bakan, G. (2018). Cleaner production applications in various industries: metal industry. *Environmental Research and Technology*, 1(3), 51-57.

Turhan, E., Kartum, G., & Özdemir, Y. (2018). Sürdürülebilir Üretim ve İşletme Uygulamaları. *Bucak İşletme Fakültesi Dergisi*, 1(1), 1-15.

Veral, E. S. (2021). Döngüsel ekonomi: engeller, stratejiler ve iş modelleri. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 8(1), 7-18.

Veral, E. S., & Yiğitbaşıoğlu, H. (2018). Avrupa Birliği atık politikasında atık yönetiminden kaynak yönetimi yaklaşımına geçiş yönelimleri ve döngüsel ekonomi modeli. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 6(1), 1-19.

Veral, E. S. (2019). An evaluation on the circular economy model and the loops design in the context of waste management. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (15), 18-27.