



Galvaniz Kaplı Tellerin Çekme Prosesinde Ortaya Çıkan Atık Sabunların Geri Kazanım Potansiyelinin Fiziksel Yöntemlerle İncelenmesi

Investigation of the Recycling Potential of Waste Soaps Generated in the Drawing Process of Galvanized Wires Using Physical Methods

İlknur Sarpkaya ^{1*}, Sümeyya Yıldırım Eren ¹, Murat Gürek ¹, Furkan Korkmaz ², Erkan Yılmaz ³

¹ Hasçelik Kablo San. Tic. A.Ş., Kayseri, TÜRKİYE

² Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği, Kayseri, TÜRKİYE

³ Erciyes Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Temel Eczacılık Bilimleri Analitik Kimya, Kayseri, TÜRKİYE

Sorumlu Yazar / Corresponding Author*: i.sarpkaya@hascelik.com.tr

Öz

Endüstriyel faaliyetlerde atık yönetimi ve bertarafı, gün geçtikçe daha büyük bir önem kazanmaktadır. Bu bağlamda, atıkların geri kazanımına yönelik çalışmalar çevresel sürdürülebilirlik ve ekonomik faydalar açısından artış göstermektedir. Bu çalışmada, galvanizli çelik tellerin redüksiyon sürecinde yağlayıcı olarak kullanılan toz sabunun, işlem sonrası atık hale gelmesi ve aynı proseste yeniden kullanılamaması sorunu ele alınmıştır. Oluşan atığın, çevresel etkilerini ve ekonomik kayıplarını önlemek amacıyla, atık hale gelen sabunun yeniden aynı proses içinde kullanılmasını sağlayacak bir geri kazanım yöntemi geliştirilmiştir. Geliştirilen yöntemin uygulanabilirliği kolay ve erişilebilir olması, önemli bir avantaj sunmaktadır. Atık sabunun geri kazanımı için manyetizma ve çözünürlük farklarına dayalı çeşitli fiziksel yöntemler uygulanmıştır. Bu yöntemlerden manyetizma, basit olup proses içerisinde açığa çıkan Demir (Fe), Nikel (Ni) ve Kobalt (Co) içeriğini uzaklaştırmak amacıyla kullanılmıştır. Çözünürlük farkı ile sabunun su içinde kolay çözünmesi prensibinden yararlanılmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda, atık sabundan %78 oranında geri kazanım sağlanmıştır. Geri kazanılmış sabunun özelliklerini değerlendirmek ve orijinal, hiç kullanılmamış sabun ile karşılaştırmak amacıyla kapsamlı analizler gerçekleştirilmiştir. XRF (X-ışını floresans spektrometresi) elementel analizi sonucunda orijinal sabunda %9,3 oranında bulunan sodyum içeriğini geri kazanılan sabun %8,05 ile sağlamıştır. FT-IR (Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi) fonksiyonel grup tayinini, TG/DTA (termogravimetrik ve diferansiyel termal analiz) ile termal davranış incelenmiştir. Sonuçlar, geri kazanılmış sabunun kimyasal ve fiziksel özelliklerinin orijinal sabuna benzediğini ve yeniden kullanılabilir olduğunu göstermiştir. Geliştirilen yöntem, endüstriyel ölçekte uygulanabilir olup maliyetleri düşürme ve çevresel sorunu azaltma potansiyeline sahiptir. Bu çalışma, gelecekte benzer yöntemlerle endüstriyel atıkların geri dönüşümüne yönelik yenilikçi bir yaklaşım sunarak, kaynakların etkin kullanımına ve çevresel etkilerin azaltılmasına katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Tel Çekme1, Galvanizli Atık Sabun 2, Fiziksel Ayırma 3

Abstract

Waste management and disposal in industrial activities are becoming increasingly important. In this context, studies on waste recycling are growing due to environmental and economic benefits. This study addresses the issue of powder soap, used as a lubricant in the reduction process of galvanized steel wires, which becomes waste after the process and cannot be reused. To prevent environmental impacts and economic losses, a recovery method was developed to reuse the waste soap in the same process. The method's ease of applicability and accessibility offer significant advantages. Various physical methods based on magnetism and solubility differences were applied for the recovery of the waste soap. Magnetism was used to remove Iron (Fe), Nickel (Ni), and Cobalt (Co) content, while solubility differences were utilized, taking advantage of the soap's easy dissolution in water. Experimental studies achieved a 78% recovery rate from the waste soap. Extensive analyses, including XRF (X-ray fluorescence spectrometry), showed that the sodium content in the original soap was 9.3%, while the recovered soap contained 8.05%. Functional group analysis was done with FT-IR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy), and thermal behavior was investigated using TG/DTA (Thermogravimetric and Differential Thermal Analysis). The results indicated that the chemical and physical properties of the recovered soap were similar to the original, confirming its reusability. The method can be applied on an industrial scale, reducing costs and environmental issues. This study aims to contribute to resource efficiency and environmental impact reduction through innovative waste recycling approaches.

Keywords: Wire Drawing 1, Galvanized Waste Soap 2, Physical Separation 3

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

With the rapid increase in consumption in recent times, it is inevitable that production will also develop. Developing production conditions have also brought about the problem of waste. This increase in the amount of waste has a great impact on humans and the environment. Most of these harmful wastes originating from production belong to the industrial area. More than one example can be given for waste generated in industrial areas. Soap, which is only one of these waste classes, is released as a result of wire drawing processes. The wire drawing process is based on the principle that the cross-section of the wire passing through the mold decreases towards the mold exit. Lubricating soap is used to prevent defects occurring on the surface of the steel wire during section reduction. These lubricating soaps combine with the zinc metal used for coating and create a waste problem. It is not possible to reuse galvanized soap that has become waste. The main purpose of the study was to recover this waste that could harm the environment and human health.

Recycling is a fundamental approach for waste generated as a result of industrial production. In this study, it was aimed to recover the galvanized waste soap released as a result of the wire drawing process by physical means.

Materials and Methods

In this study, experiments were carried out on physical separation techniques for the recovery of galvanized waste soap. As a result of a series of studies, physical methods such as sieving, magnetization, solubility difference and straining techniques were applied respectively.

For the particle size analysis of the original and galvanized waste soap, a sieve between 9-50 mesh was first used. The magnetisation stage was started for the soap after the particle size analysis was completed. The magnetisation process was carried out to remove ferrous materials in the waste soap from

the wire drawing process. Then, separation experiments with solubility difference were carried out for galvanized soap, which was purified from iron content. At the end of the experiments, the physical and chemical analysis stage was started for the recovered soap.

The experiments were carried out for both original soap and waste soap. The data obtained as a result support that recovery was achieved successfully.

Results and Discussion

In this study, optimization experiments were carried out for the separation technique with the resolution difference. Then, the data obtained were evaluated according to the experimental results. As a result, 78% of galvanized waste soap was recovered. Experiments were concluded with thermogravimetric and differential thermal analysis (TG/DTA) device, X-ray fluorescence spectrometer (XRF) device, fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) device, both thermally and chemically, to observe the material structure changes for the recovered and original soap.

Conclusion

The need for powder lubricants in wire drawing processes will never decrease. The development of studies for the recovery of waste powder soap released during the process will contribute to the production both financially and morally. In this article, physical separation methods were used for the recovery of galvanized waste soap. As a result of the analyses, reuse of the recycled soap was found suitable. As a result of the data of the studies, it was seen that the recovered soap provided the same physical and chemical properties as the original soap. In addition, it was proved with the results that the recovery rate of waste powder soap is 78% in line with the separation method by solubility difference.

1. Giriş

Endüstriyel üretim süreçlerindeki hızlı ilerleme ve tüketim oranlarındaki artış, atık miktarının önemli ölçüde yükselmesine yol açmıştır. Bu gelişmeler, endüstriyel faaliyetlerin çevresel etkilerini daha da belirgin hale getirerek sürdürülebilirlik açısından kritik bir sorun oluşturmaktadır. Endüstri alanında oluşan bu atıklar genellikle üretim aşaması ya da kullanım ömrünü dolduran malzemelerin tamamı olup endüstriyel alanlarda üretilen atıklar için birden fazla örnek verilebilir. Bu atık sınıflarından sadece biri olan sabun, tel çekme işlemlerinin bir sonucu olarak ortaya çıkar [1, 2]. Ancak, bu tür sabun atıklarının doğaya kontrolsüz şekilde bırakılması, içerdiği yağlayıcılar ve ağır metaller (örneğin çinko) nedeniyle su kaynaklarının kirlenmesine, toprakta ağır metal birikimine ve ekosistem dengesinin bozulmasına yol açmaktadır. Ayrıca, bu atıkların uygun şekilde bertaraf edilmemesi, önemli bir depolama sorunu oluşturmaktadır. Bu sorunun çözümüne yönelik olarak, atık yönetim sistemleri, katı atıkların çevresel etkilerini en aza indirmek amacıyla uygun yöntemlerle taşınmasını ve geri kazanım süreçlerine dahil edilmesini önermektedir [3]. Atık yönetim sisteminin öngördüğü kuralların uygulanması, çevre kirliliği sorunlarının çözümünde kritik bir rol oynamaktadır. Bu süreçte, atık malzemeye dair yeterli ve detaylı bilgi toplanması büyük önem taşımaktadır. Atığın özelliklerinin doğru bir şekilde belirlenmesi, geri kazanım aşamalarının etkinliğini artırarak istenilen sonuçların elde edilmesine olanak tanımaktadır [4].

Tel çekme proseslerinde kullanılan çelik filmaşınların yüzeyleri galvaniz kaplama ile korunmaktadır. Bu yöntem, çeliğin uzun ömürlü olmasını sağlarken, performansını da iyileştirmektedir [5, 6]. Galvaniz kaplı çelik filmaşınların halat yapısında kullanılacak ince tellere dönüştürülmesi süreci, filmaşın çaplarının küçültülmesiyle gerçekleştirilir. Tel çekme işlemi, kalıptan geçen telin kesitinin kalıp çıkışına doğru azalması prensibine dayanır [7]. Bu küçültme işlemi, yüksek sertlik ve aşınma direnci sağlayan tungsten karbür – kobalt (WC-Co) kalıplar kullanılarak yapılmaktadır [8]. Bu esnada, kalıp içerisindeki sıcaklık 380 °C' ye kadar artış göstermektedir. Sıcaklık artışı, çelik tel yüzeyindeki kusurların artmasına ve kalıp yüzey yapısındaki bozulmalara yol açabilir. Bu sıcaklık artışlarının yol açabileceği olumsuz etkilerin önlenmesi amacıyla 380 °C' ye kadar termal stabiliteye sahip yağlayıcı sabun kullanılmaktadır [9, 10]. Yağlayıcı sabunlar NaOH= Sodyum bazlı, CaOH₂=Kalsiyum bazlı olarak kullanılmaktadır [11]. Üretim sürecinde yağlayıcılarda oluşan kirlilik yeniden kullanılabilirliği azaltarak performans kayıplarına yol açmaktadır [12, 13]. Tel çekme prosesinde galvanizli çelik tellerden sıyrılan çinko bu kirliliğe neden olmaktadır. Atık hale gelen yağlayıcı sabunların bertaraf edilmesi gerekmektedir [14]. Fiziksel ve kimyasal yöntemler kullanılarak atıklar geri kazanılabilir ve yeniden kullanılabilir hale getirilebilmektedir. Yağlayıcı sabun atıklarının geri kazanımında ise, yoğunluk farkı, çözünürlük farkı, flotasyon ve merkezkaç kuvveti gibi fiziksel yöntemler kullanılabilmektedir [15].

Eren ve arkadaşları yaptığı bir çalışmada tel çekme esnasında oluşan atık sabunu iyon çözeltisi yöntemi kullanarak başarılı bir şekilde geri kazanmışlardır [14]. Yapılan başka bir çalışmada yüksek fırından çıkan baca tozu ve şeffaf örtü üretimde açığa çıkan düşük yoğunluklu polietilen (LDPE) ile birleştirilerek elde edilen ürünün yapı malzemesi olarak kullanılabilceğini bulunmuştur [16]. Eren ve arkadaşlarının başka bir çalışmasında ise tel çekme teknolojisinde açığa çıkan atık sabunun geri kazanımında eleme ve manyetik ayırmayı kapsayan prototip sistem tasarlanmıştır [15].

Literatürden de görüldüğü üzere, geri kazanım çalışmaları, geniş bir endüstriyel uygulama yelpazesinde etkili çözümler sunmaktadır. Ancak, bildiğimiz kadarıyla, bu yaklaşımlar henüz galvaniz kaplı halat üretim sürecinde atık sabun yağlayıcıların geri kazanımı için kullanılmamıştır. Bu nedenle, bu çalışma literatüre aşağıdaki ana katkıları sağlamaktadır:

Galvaniz kaplı çelik tellerin redüksiyon işleminde yağlayıcı malzeme olarak kullanılan sabunun atık hale gelmesi ile yeniden kullanılabilmesi için geri kazanımı, literatürde ilk kez gerçekleştirilmiştir.

Literatürde, Eren ve arkadaşları, atık sabunun geri kazanımı üzerine yaptıkları çalışmada iyon çözeltisi yöntemi kullanarak geri kazanım gerçekleştirmişlerdir. Ancak, uygulanan bu yöntemin ardından, atık sabun içerisinde tamamen geri kazanılamamış sabun bileşenlerinin kaldığı tespit edilmiştir. Bu bulgudan hareketle, geri kazanım verimliliğini artırmak amacıyla, bu çalışmada eleme, manyetizasyon, çözünürlük farkı, süzme, kurutma ve öğütme gibi fiziksel yöntemler bir arada kullanılarak daha etkin bir geri kazanım süreci geliştirilmiştir.

Elde edilen sonuçlar, atık sabunun geri kazanılmasının çevresel faydalar sağladığını ve sürdürülebilir bir süreç oluşturduğunu göstermektedir. Bu yöntem, atıkların çevreye olan olumsuz etkilerini azaltırken, kaynak verimliliğini artırarak ekolojik sürdürülebilirliğe katkı sağlamaktadır.

Bu çalışmada, ikinci bölümde galvanizli atık sabunun geri kazanımı için çeşitli fiziksel yöntemler incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar doğrultusunda, en verimli geri kazanım yönteminin belirlenmesi amacıyla optimizasyon faaliyetleri gerçekleştirilmiştir. Üçüncü bölümde, elde edilen sonuçların karşılaştırılabilmesi için XRF, FT-IR ve TG/DTA analiz yöntemlerinden yararlanılmıştır. Dördüncü bölümde ise, çalışmanın sonuçları detaylı bir şekilde değerlendirilmiş ve bulgular tartışılmıştır.

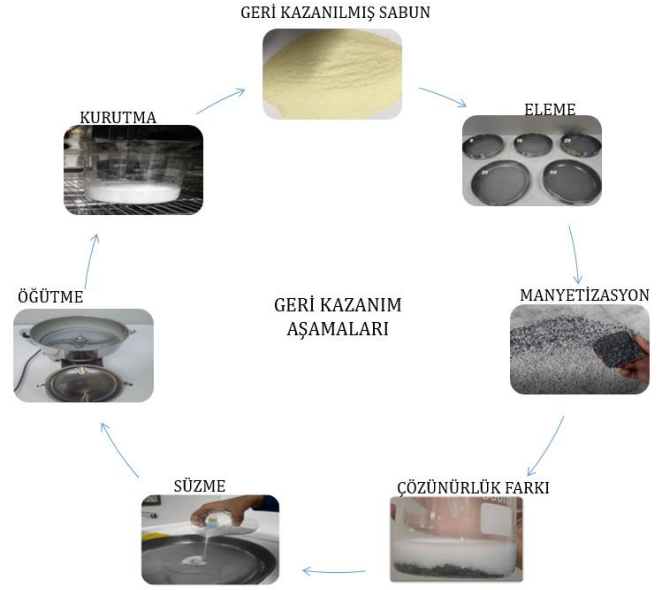
2. Materyal ve Metot

Galvaniz kaplı çeliklerin tel çekme sırasında yüzeylerden sıyrılan çinko (Zn), tel çekme işleminde yağlayıcı için kullanılan sabunu kirletmektedir. Bu atık sabunun geri kazanımı için fiziksel ayırma teknikleri kullanılmıştır.

Galvanizli atık sabunun geri kazanımı için eleme, manyetizasyon, çözünürlük, süzme, kurutma ve öğütme işlemleri Şekil 1' de atık sabunun geri kazanım aşamaları sırasıyla verilmiştir.

2.1. Galvanizli atık sabunun eleme ile ayrıştırılması

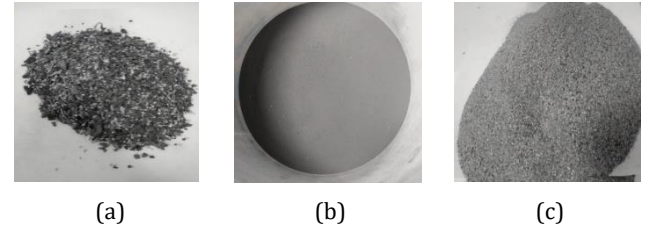
Galvanizli atık sabunun boyut dağılımı için öncelikle orijinal sabunun boyut dağılımı deki 9-50 mesh arası boyutundaki elekler kullanılarak yapılmıştır. Sırasıyla 9 mesh üzeri, 9 -16 mesh arası, 16 - 25 mesh arası, 25 - 35 mesh arası, 35 - 50 mesh arası ve 50 mesh altı elek boyutları kullanılarak orijinal sabunun dağılımı gerçekleştirilmiştir. Bulgular bölümünde Tablo 1'de ayrıntılı olarak sonuçlara yer verilmiştir.



Şekil 1. Atık sabun geri kazanım aşamaları.

Figure 1. Waste soap recovery stages.

Bu dağılım galvanizli atık sabunun tanecik boyut dağılımı için referans alınmıştır ve Şekil 2'deki gibi 9 mesh üzeri, 9 ile 50 mesh arası ve 50 mesh altı boyutlarında eleme gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2. Galvanizli atık sabunun boyutlandırma sonrası görüntüleri a) 9 mesh üstü galvanizli atık sabun, b) 50 mesh altı galvanizli atık sabun, c) 9 - 50 mesh arası galvanizli atık sabun.

Figure 2. Images of galvanized waste soap after sizing a) Galvanized waste soap above 9 mesh, b) Galvanized waste soap below 50 mesh, c) Galvanized waste soap between 9 and 50 mesh.

Şekil 2a' daki 9 mesh üzeri ve Şekil 2b' deki 50 mesh altı boyutundaki sabun oranının az olması ve çok miktarda safsızlık içerdiği için geri kazanım sürecine dahil edilmemiştir. Şekil 2c' deki 9 - 50 mesh arası boyutundaki sabunun geri kazanımı için eleme prosesi kullanılmıştır.

2.2. Galvanizli atık sabunun manyetizma ile ayrıştırılması

Boyut dağılımı yapılan atık sabun içerisinde galvanizli çeliklerin redüksiyon işlemi sırasında yağlayıcı sabuna karışan ve mıknatıslanabilen demir atıklarının ayrıştırma işlemi Şekil 3' de 9-50 mesh boyutundaki atık sabunun manyetizasyon işlemi verilmiştir.



Şekil 3. 9 - 50 mesh boyutunda galvanizli atık sabunun manyetizasyonu.

Figure 3. Magnetization of galvanized waste soap with a mesh size of 9 – 50.

Çinko malzemesi manyetizasyon yöntemi ile ayrıştırılamadığı için çözünürlük farkı ile ayrıştırma yönteminden faydalanılmıştır.

2.3. Galvanizli atık sabunun çözünürlük farkı ile ayrıştırılması

Galvanizli atık sabunun çözünürlük farkı ile ayrıştırılması için orijinal sabunun çözünürlük parametrelerinin optimizasyonu gerçekleştirilmiştir.

2.3.1. Orijinal Sabun Çözünürlüğünün Optimizasyonu: Sıcaklık, Derişim, Süre ve Karıştırma Hızı

Çalışmanın bu bölümünde 10 g orijinal sabun, 90 g su kullanılarak 10 dk süre ile farklı sıcaklıklarda çözünürlük optimizasyonu için çalışmalar yapılmıştır. Sırasıyla Deney 1' de, 2' de, 3' te, 4' te ve 5' te 50 °C, 60°C, 70°C, 80°C ve 90°C' de 1500 rpm' de manyetik karıştırıcı ile beher içerisinde laboratuvar ortamında karıştırılmıştır. Bu karışım 50 mesh elekten süzdürülerek çözünürlük optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 2' de sıcaklık denemelerinin sonuçları bulgular bölümünde ayrıntılı olarak verilmiştir.

Tablo 2' de farklı sıcaklıklarda elde edilen çözeltilerin süzme işlemi sonrası elekten geçen orijinal sabun miktarları verilmiştir. Bu karşılaştırma sonucunda Deney 3' te 70°C' de 9,97 g sabun elde edilmiş ve en verimli çalışmanın Deney 3 olduğu görülmüştür.

Çalışmanın derişim optimizasyonu bölümünde orijinal sabun, 10 dk süre ile 70°C' de 1500 rpm karıştırma hızında farklı derişim oranlarında çözünürlük optimizasyonu için çalışmalar yapılmıştır. Sırasıyla Deney 6' da, 7' de, 8' de ve 9' da 5, 10, 15 ve 20 g orijinal sabun 95, 90, 85 ve 80 g su ile beher içerisinde laboratuvar ortamında manyetik karıştırıcı ile karıştırılmıştır. Bu karışımlar 50 mesh elekten süzdürülerek çözünürlük optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 3' te bulgular bölümünde orijinal sabun için çözelti derişim optimizasyonu ayrıntılı olarak verilmiştir.

Tablo 3' te farklı derişim oranları sonucunda elde edilen çözeltilerin süzme işlemi sonrası elekten geçen orijinal sabun miktarları verilmiştir. Bu karşılaştırmalara göre Deney 7' de 9,97 g sabun elde edilmiş ve en verimli çalışmanın Deney 7 olduğu tespit edilmiştir.

Bu bulgu doğrultusunda, çözünürlük optimizasyonunun bir diğer önemli parametresi olan karıştırma süresinin etkisini incelemek amacıyla, 10 g orijinal sabun, 90 g su kullanılarak 70°C' de 1500 rpm karıştırma hızında farklı karıştırma sürelerinde çözünürlük

optimizasyonu için çalışmalar yapılmıştır. Sırasıyla Deney 10' da, 11' de, 12' de, 13' te ve 14' te 2, 6, 10, 14 ve 20 dk süreyle orijinal sabun beher içerisinde laboratuvar ortamında manyetik karıştırıcı ile karıştırılmıştır. Bu karışımlar 50 mesh elekten süzdürülerek çözünürlük optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 4' te bulgular bölümünde orijinal sabun için karıştırma süresi optimizasyon sonuçları ayrıntılı olarak verilmiştir.

Tablo 4' te farklı karıştırma süreleri sonucunda elde edilen çözeltilerin süzme işlemi sonrası elekten geçen orijinal sabun miktarları verilmiştir. Bu karşılaştırmalara göre Deney 12' de 9,97 g sabun elde edilmiş ve en verimli çalışmanın Deney 12 olduğu tespit edilmiştir.

Çalışmanın bu bölümünde çözünürlük optimizasyonunun bir diğer kritik parametresi olan karıştırma hızı için 10 g orijinal sabun, 90 g su kullanılarak 70°C' de 10 dk süre ile farklı karıştırma hızlarında çalışmalar yapılmıştır. Sırasıyla Deney 15' te, 16' da ve 17' de 500, 1000 ve 1500 rpm hızlarında orijinal sabun beher içerisinde laboratuvar ortamında manyetik karıştırıcı ile karıştırılmıştır. Bu karışımlar 50 mesh elekten süzdürülerek çözünürlük optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 5' te orijinal sabunun karıştırma hızı optimizasyonu bulgular ve tartışma bölümünde ayrıntılı olarak verilmiştir.

Tablo 5' te farklı karıştırma hızları sonucunda elde edilen çözeltilerin süzme işlemi sonrası elekten geçen orijinal sabun miktarları verilmiştir. Bu karşılaştırmalara göre Deney 17' de 9,97 g sabun elde edilmiş ve en verimli çalışmanın Deney 17 olduğu tespit edilmiştir.

2.4. Galvanizli atık sabunun süzme ile ayrıştırılması

Çalışmanın bu bölümünde boyutlandırma, manyetizasyon ve çözünürlük parametreleri belirlenen galvanizli atık sabun için % 10'luk çözelti oluşturulmuştur.



Şekil 4. Çözeltide dibe çöken çinko.

Figure 4. Zinc precipitating to the bottom of the solution.

70°C sıcaklıkta beher içerisinde 1500 rpm karıştırma hızında 10 dakika süre ile karıştırılarak çözelti formunda eriyik sabun ve çinko atığı Şekil 4' teki elde gibi edilmiştir.

Elde edilen bu karışım 50 mesh elek ile Şekil 5' de çözeltinin süzülmesi gösterilmiştir.

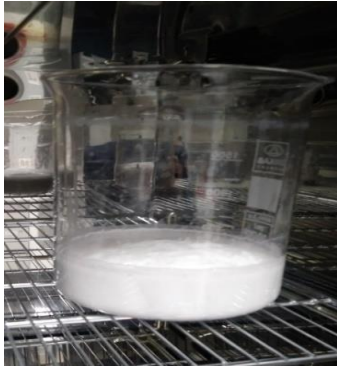


Şekil 5. 50 mesh elek ile çözeltinin süzülmesi.

Figure 5. Filtration of solution with 50 mesh sieve.

2.5. Geri kazanılmış sabunun kurutma optimizasyonu

Çinkodan ayrıştırılan sulu sabunun kurutma aşamasına geçilmiştir. Geri kazanılmış sabun laboratuvar ortamında oda sıcaklığında 96 saat boyunca kurumaya bırakılmıştır. Hem sürenin uzun olması hem de sabunun nemli olması nedeniyle farklı sıcaklıklarda etüv içerisinde kurutma işlemleri tekrarlanmıştır. Geri kazanılmış 500 g'lık %10 sabun çözeltisi sırasıyla 50, 75 ve 100 °C'de 3 saat boyunca Şekil 6'da gösterildiği geri kazanılmış sabun etüv içerisinde kurutulmuştur.



Şekil 6. Geri kazanılmış sabunun etüvde kurutulması.

Figure 6. Drying of recycled soap in oven

50 °C'de sabunun kurumadığı gözle görülmüştür. Bu nedenle 75 °C'de kurutma işlemi 3 saat süre ile tekrarlanmıştır. Kurutma işlemi sonucunda sabunun tamamı kurutulmuştur. Sıcaklık ve süre optimizasyonu için 100 °C'de 3 saat süre ile kurutma işlemi tekrarlanmıştır. Bu kurutma sonucunda sabunun tamamı kurutulmuştur. Ancak enerji verimliliği açısından aynı performansı sergilediği için 75 °C'de kurutma işlemi en verimli çalışma olarak tercih edilmiştir.

2.6. Geri kazanılmış sabunun öğütülmesi

Orijinal sabun için yapılan tanecik boyut dağılım analizi sonucunda referans büyüklük olarak belirlenen 9-50 mesh'e göre geri kazanılmış sabunun öğütme işlemi Şekil 7a'daki laboratuvar tipi öğütücü ile gerçekleştirilmiştir ve Şekil 7b'deki geri kazanılmış sabun elde edilmiştir. Öğütme işlemi sonunda 9 mesh boyutundaki elekten geçirilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 7. Öğütme işlemi: a) Laboratuvar tipi öğütücü b) Geri kazanılmış sabun.

Figure 7. Grinding process: a) Laboratory type grinder b) Recycled soap.

3. Bulgular ve Tartışma

Bu bölümde elde edilen orijinal, atık ve geri kazanılmış sabuna karakterizasyon analizleri yapılmıştır ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Yapılan optimizasyon çalışmalarında göre 9-50 mesh tanecik büyüklüğüne sahip geri kazanılmış sabun elde edilmiştir. Tablo 1'de boyut dağılımı verilmiştir.

Tablo 1. Orijinal sabun boyut dağılım analizi.

Table 1. Original soap size distribution analysis.

Boyut	Ağırlık (g)	Oran (%)
9 mesh üzeri	33	2,51
9-16 mesh arası	338	25,74
16-25 mesh arası	424	32,29
25-35 mesh arası	226	17,21
35-50 mesh arası	207	15,76
50 mesh altı	85	6,47

Yapılan eleme işlemi sonrası manyetizasyon yapılmış ve çözünürlük farkı deneyindeki parametrelere geçilmiştir. İlk

olarak sabunun çözünme işleminin gerçekleştirildiği çözelti ortamının sıcaklık optimizasyonu yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 2’ de verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde en yüksek verimin çözelti sıcaklığının 70 °C olduğunda elde edildiği tespit edilmiştir.

Tablo 2.Orijinal sabun çözeltisinin sıcaklık optimizasyonu.

Table 2. Temperature of original soap solution.

Deneyssel çalışma	Sıcaklık (°C)	Elekten geçen sabun miktarı (g)	Elekte kalan sabun miktarı (g)
Deney 1	50	0	10
Deney 2	60	9,63	0,37
Deney 3	70	9,97	0,03
Deney 4	80	9,75	0,25
Deney 5	90	9,64	0,36

Çözelti ortam sıcaklığı optimizasyonundan sonra birim çözelti hacmi başına sabun miktarındaki değişimin geri kazanım verimi üzerine etkisi incelenmiştir. Bunun için aynı hacimdeki (100 mL) çözelti ortamına 5-20 gram arasında değişen miktarda sabun ilavesi yapılmış ve optimum şartlarda deneyler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler incelendiğinde 10 gram sabun miktarı ile gerçekleştirilen çalışmalarda en yüksek geri kazanım verimine ulaşıldığı görülmektedir (Tablo 3). Bundan sonraki deneylere bu optimum miktar ile devam edilmiştir.

Table 3. Orijinal sabunun çözelti derişim optimizasyonu.

Tablo 3. Orijinal sabunun çözelti derişim optimizasyonu.

Deneyssel çalışma	Sabun miktarı (g)	Elekten geçen sabun miktarı (g)	Elekte kalan sabun miktarı (g)
Deney 6	5	4,54	0,46
Deney 7	10	9,97	0,03
Deney 8	15	1,59	13,41
Deney 9	20	0	20,00

Sabunun çözelti ortamında kalma süresi diğer bir ifade ile karıştırma süresi ve karıştırma hızı geri kazanım verimi üzerine etki eden diğer önemli parametrelerdir. Bunun için çözelti ortamına sabun ilavesinden sonra optimum şartlar altında karışım 2 ila 20 dakika aralığında karıştırılmıştır. Elde edilen deneysel veriler incelendiğinde sabun karışımının 10 dakika karıştırılması ile en yüksek geri kazanım verimine ulaşıldığı görülmektedir (Tablo 4). Sabun karışımına uygulanan karıştırma işleminin hızının geri kazanım verimi üzerine etkisi araştırılmıştır. Sırası ile 500, 1000 ve 1500 rpm karıştırma hızları karışımlara uygulanmıştır. Karıştırma hızı arttıkça geri kazanım veriminin arttığı ve 1500 rpm de maksimuma ulaştığı deneysel veriler ışığında tespit edilmiştir (Tablo 5). Bu veriler doğrultusunda 10 dk süre en verimli parametre seçilmiştir. Daha sonra çalışmada karışımın hızı ile elde edilen geri kazanım verilerine bakılmıştır. Tablo 5’ te sayısal veriler ayrıntılı olarak verilmiştir.

Tablo4. Orijinal sabun çözeltisinin karıştırma süresi optimizasyonu.

Table 4. Mixing time optimization of the original soap solution.

Deneyssel çalışma	Süre (dk)	Elekten geçen sabun miktarı (g)	Elekte kalan sabun miktarı (g)
Deney 10	2	9,16	0,84
Deney 11	6	9,78	0,22
Deney 12	10	9,97	0,03
Deney 13	14	9,57	0,43
Deney 14	20	9,40	0,60

Tablo 5. Orijinal sabun çözeltisi için karıştırma hızı optimizasyonu.

Table 5. Mixing speed optimization for original soap solution.

Deneyssel Çalışma	Karışma Hızı (rpm)	Elekten Geçen Sabun Miktarı (g)	Elekte Kalan Sabun Miktarı (g)
Deney 15	500	9,87	0,13
Deney 16	1000	9,74	0,26
Deney 17	1500	9,97	0,03

Çalışmada karışım hızı parametresi 1500 rpm olarak belirlendikten sonra süzme ve kurutma işlemleri yapılmıştır. Kurutma için uygulanan sıcaklık değerleri Tablo 6’ da sayısal olarak verilmiştir.

Tablo 6. Geri kazanılmış sabunun kurutma ortamı optimizasyonu

Table 6. Drying medium optimization of recycled soap

Deneyssel Çalışma	Sıcaklık (°C)	Kurutma Öncesi Çözelti Miktarı (g)	KurutulmuşS abun Miktarı (g)
Deney 18	50	500	0
Deney 19	75	500	50
Deney 20	100	500	50

Orijinal sabun üzerinde gerçekleştirilen yöntem optimizasyonu çalışması neticesinde sırası ile manyetizasyon ayırma, çözünürlük farkı temelli ayırma, süzme, kurutma ve öğütme deneysel basamaklarını içeren yöntem galvanizli atık sabun numunelerine uygulanmıştır. Bunun için ağırlık/hacim oranı %10 olan sulu atık sabun karışımı 10 dakika boyunca 70 °C’ de ve 1500 rpm hızla karıştırılmış, çözünen sabun atık sulu fazdan ayırmak için 50 mesh’lik süzme düzeneğinde kurulmuş, 3 saat boyunca 75 °C sıcaklık altında kurutulmuş ve öğütülmüştür. Galvaniz kaplı atık sabuna ait geri kazanım değerleri Tablo 7’ de verilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde 10 g galvanizli atık sabundan 7,8 g sabun geri kazanıldığı ve 2,2 g’ da Zn ve benzeri atıkların çıktığı görülmektedir.

Tablo 7. Galvanizli atık sabun geri kazanım sonucu**Table 7.** Galvanized waste soap recovery result.

Deneyisel Çalışma	Atık Sabun Miktarı (g)	Geri Kazanılmış Sabun (g)	Safsızlık (Zn vb.) Miktarı (g)
Deney 21	10	7,80	2,2

Yapılan deneyler sonucunda elde edilen veriler, sabunun geri kazanım sürecinde belirlenen optimum parametrelerle yüksek verim elde edildiğini göstermektedir.

Tablo 2 ve Tablo 3 incelendiğinde, sıcaklık ve derişim optimizasyonları sonucunda en verimli koşulların 70°C sıcaklık ve %10'luk sabun çözeltisi olduğu belirlenmiştir. Sıcaklık optimizasyonu kapsamında yapılan çalışmalarda, 70°C'nin üzerinde çözünürlüğün azaldığı ve sabun kaybının arttığı görülmektedir. Benzer şekilde, derişim optimizasyonunda %10'luk çözeltinin en yüksek sabun geri kazanımını sağladığı tespit edilmiştir.

Tablo 4 ve Tablo 5'te yer alan veriler, karıştırma süresi ve karıştırma hızının sabun çözünürlüğü üzerindeki etkisini göstermektedir. Yapılan analizlerde, 10 dakikalık karıştırma süresi (Deney 12) ve 1500 rpm karıştırma hızının (Deney 17) en iyi çözünürlüğü sağladığı belirlenmiştir. Karıştırma süresinin 10 dakikanın üzerine çıkması çözünürlük açısından anlamlı bir artış sağlamazken, daha düşük hızlarda ve sürelerde sabun çözünürlüğünün azaldığı gözlemlenmiştir.

Tablo 6'da verilen veriler, geri kazanılmış sabunun kurutma ortamında stabilitesini ve ağırlık kaybını değerlendirmektedir. Atık sabunun geri kazanım deneyleri aşamasında hangi süreçlerde kayıp meydana geldiği ile ilgili sayısal veriler Tablo 8'de ayrıntılı olarak verilmiştir.

Tablo 8. Atık sabunun geri kazanım aşamasındaki kayıp oranlarını.**Table 8.** Loss percentages during the recovery stages of waste soap.

Süreç Aşaması	Başlangıç (g)	Kalan miktar (g)	Kayıp (%)
Eleme	15	13	13
Manyetizasyon	13	10	23
Çözünme öncesi	10	9,5	5
Süzme	9,5	9,2	3
Kurutma	9,2	7,8	15
Toplam	10	7,8	22

Sabunun optimum koşullarda %78 geri kazanım sağlanmıştır. Elde edilen bu sonuçlar, sabunun fiziksel özelliklerini koruyarak geri kazanımının mümkün olduğunu göstermektedir.

3.1. Karakterizasyon analizleri

Yapılan laboratuvar çalışmaları sonrasında orijinal sabun, atık sabun ve geri kazanılmış sabunlara XRF analizi yapılmıştır.

Ayrıca orijinal sabun ve geri kazanılmış sabunlara FT-IR ve TG/DTA karakterizasyon analizleri yapılmıştır.

3.1.1. X- Işını floresans spektrometresi (XRF)

XRF analizi Panalytical Axios Advanced model cihazı kullanılarak yapılmıştır. Tablo 9' da sabunlara ait XRF sonuçları ayrıntılı olarak verilmiştir. Tablo 9' daki sonuçlar incelendiğinde tel çekme işlemi sonrasında Zn elementinin atık sabun içerisinde yüksek miktarda olduğu görülmüştür. Zn üzerinden hesaplama yapıldığında %85 geri kazanım ile sabunun geri kazanıldığı görülmektedir. Geri kazanım işlemleri sonrasında elde edilen sabun elementel içeriğinin orijinal sabun ile uyumlu olduğu görülmektedir.

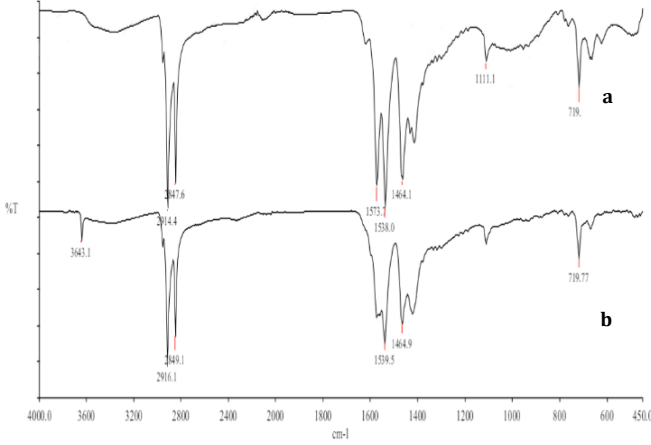
Tablo 9. Sabunlara ait XRF sonuçları.**Table 9.** XRF results of soaps .

Orijinal Sabun		Atık Sabun		Geri Kazanılmış Sabun	
Elementel Analiz	Yüzde Oranı (%)	Elementel Analiz	Yüzde Oranı (%)	Elementel Analiz	Yüzde Oranı (%)
PbO	0,008	PbO	0,005	PbO	0,031
ZnO	0,002	ZnO	7,26	ZnO	1,107
NiO	0	NiO	0,023	NiO	0,154
Fe ₂ O ₃	0,063	Fe ₂ O ₃	5,44	Fe ₂ O ₃	0,019
Cr ₂ O ₃	0,04	Cr ₂ O ₃	0,016	Cr ₂ O ₃	0,048
TiO ₂	0	TiO ₂	0,144	TiO ₂	0,056
CaO	0,119	CaO	9,796	CaO	0,572
K ₂ O	0,015	K ₂ O	2,12	K ₂ O	0,017
SO ₃	0,019	SO ₃	0,022	SO ₃	0,084
P ₂ O ₅	0,015	P ₂ O ₅	6,022	P ₂ O ₅	0,164
SiO ₂	0	SiO ₂	0,882	SiO ₂	0,039
Al ₂ O ₃	0,181	Al ₂ O ₃	0,033	Al ₂ O ₃	3,31
MgO	0	MgO	0,021	MgO	0
Na ₂ O	9,321	Na ₂ O	4,742	Na ₂ O	8,051

Tel çekme işlemi sonrasında Zn elementinin atık sabunda yüksek bir miktarda bulunduğu gözlemlenmiştir. Atık sabunda tespit edilen ZnO miktarı 7,26 olarak ölçülmüştür. Geri kazanım işlemleri sonrasında, ZnO'nun sabun içerisinde ayrıştırıldığı ve orijinal sabun formuna yakın bir seviyeye getirildiği belirlenmiştir. Geri kazanım sürecinin sonunda, geri kazanılmış sabunda tespit edilen ZnO miktarı 1,107'dir. Bu, atık sabundaki ZnO miktarının %15,25 oranında geri kazanıldığı anlamına gelmektedir. Ayrıca, geri kazanım işlemi ile ZnO' nun 6,153 birimlik kısmı uzaklaştırılmıştır, bu da sürecin %307,65 etkinlik ile çalıştığını göstermektedir. Bu sayısal veriler, geri kazanım sürecinin Zn elementinin uzaklaştırılmasında oldukça verimli olduğunu ve sabunun orijinal formuna yaklaşımlarını sağladığını ortaya koymaktadır. Eren ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, benzer sonuçlar elde edilmiştir; orijinal sabundaki sodyum miktarının atık hale geldiğinde azaldığı, buna paralel olarak potasyum, fosfor gibi diğer elementlerin oranlarının arttığı gözlemlenmiştir. Bu bulgulardan hareketle, geri kazanılmış sabunda sodyum miktarının yeniden arttığı, diğer elementlerin oranlarının ise azaldığı doğrulanmıştır.

3.2. Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi analizi (FT-IR)

FT-IR analizleri için Perkin Elmer 400 FT-IR /FT-TIR spectrometer Spotlight model cihaz kullanılmıştır. Şekil 8’ de verilen FT-IR analiz sonuçlarında orijinal ve geri kazanılmış sabunların laboratuvar çalışmaları öncesi ve sonrası kimyasal bağ yapıları incelenmiştir.



Şekil 8. Orijinal sabun ve geri kazanılmış sabun için çıkışık FT-IR grafiği a) Orijinal sabun b) Geri kazanılmış sabun.

Figure 8. Superimposed FT-IR graph for original soap and recycled soap a) Original soap b) Recycled soap.

FT-IR analizinde elde edilen spektrumlar incelendiğinde, sabun numunelerinin karakteristik fonksiyonel gruplarına ait belirgin piklerin mevcut olduğu gözlemlenmiştir. 3000-2700 cm^{-1} aralığında C-H gerilme titreşimlerine ait pikler tespit edilmiştir. 1600-1400 cm^{-1} aralığında, olefinik C=C bağlarına karşılık gelen piklerin varlığı belirlenmiştir. Ayrıca, 1310-1085 cm^{-1} bölgesinde C-O gerilme titreşimleri ve 1250-600 cm^{-1} aralığında C-H bükülme titreşimleri gözlemlenmiştir.

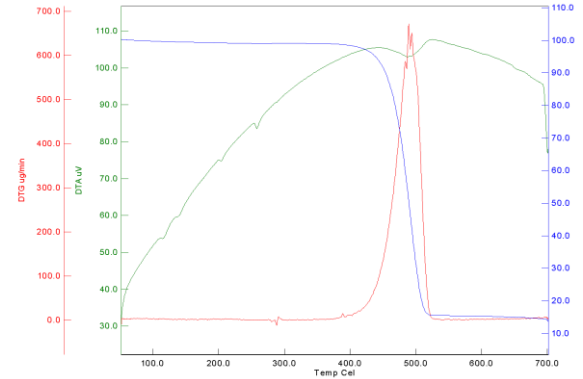
Orijinal ve geri kazanılmış sabunların FT-IR spektrumları karşılaştırıldığında, fonksiyonel grup bölgelerinde önemli bir değişim olmadığı, spektral bantların büyük ölçüde benzerlik gösterdiği tespit edilmiştir. Bu durum, geri kazanım sürecinin sabunun kimyasal yapısını koruduğunu ve temel fonksiyonel gruplarda belirgin bir bozulma veya değişim meydana getirmediğini göstermektedir.

Eren ve ark. (2024) tarafından yapılan çalışmada da benzer şekilde, sabun numunelerinin FT-IR spektrumlarında 3000-2700 cm^{-1} aralığında C-H gerilme titreşimlerinin, 1600-1400 cm^{-1} bölgesinde olefinik C=C bağlarına karşılık gelen piklerin varlığı bildirilmiştir. Ayrıca, Eren ve arkadaşlarının çalışmasında geri kazanılmış sabunun spektrumunda, orijinal sabuna kıyasla büyük yapısal değişiklikler gözlemlenmediği belirtilmiştir. Mevcut çalışmada elde edilen sonuçlar da bu bulgularla örtüşmektedir ve geri kazanım işlemi sonrasında sabunun kimyasal bütünlüğünün büyük ölçüde korunduğunu desteklemektedir.

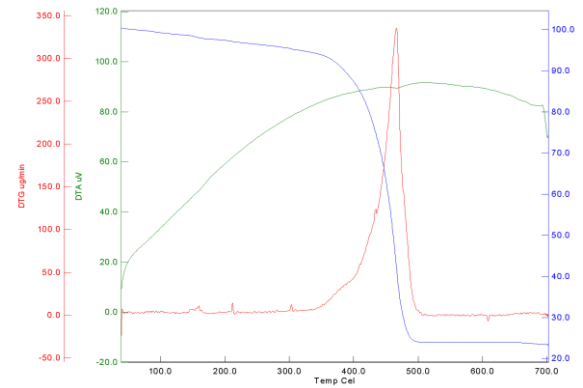
Bu bağlamda, Eren ve ark. (2024) tarafından bildirilen sonuçlarla tutarlı olarak, geri kazanılmış sabunun FT-IR spektrumunda belirgin farklılıklar tespit edilmemiş olup, bu durum geri kazanım sürecinin sabunun temel yapısını koruduğunu ve tekrar kullanım açısından uygun olduğunu göstermektedir. Orijinal ve geri kazanılmış sabunlara ait FT-IR analizinde elde edilen pikler değerlendirildiğinde, geri kazanılmış sabunun kimyasal yapısında kayda değer bir değişim olmadığı ve orijinal sabun ile yapısal benzerlik gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır.

3.3. Termogravimetrik ve diferansiyel termal analiz (TG/DTA)

Orijinal sabun ve geri kazanılmış sabun için TG/DTA analizi yapılmıştır. Analizler için Perkin Elmer Diomand model TG/DTA cihazı kullanılmıştır. TG/DTA analizi ile sabunların içerisindeki sıcaklık dağılımının termal olarak görüntülenmesi sağlanmıştır. Orijinal sabun ve geri kazanılmış sabunlar için TG/DTA analiz sonuçlarının grafiği Şekil 9’ da ayrıntılı olarak verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 9. TG/DTA grafiği a) Orijinal sabuna ait TG/DTA analizi b) Geri kazanılmış sabun TG/DTA analizi.

Figure 9. TG/DTA graph a) TG/DTA analysis of original soap b) TG/DTA analysis of recycled soap.

Şekil 9’ daki grafik sonucuna göre sabunlar için 380 °C sıcaklıktan sonra kütle kaybı meydana gelmeye başladığı görülmüştür. Bunun nedeni organik yapıya sahip sabundaki bağların kırılması yani sabunun kimyasal yapılarının bozulmasıdır. Orijinal ve geri dönüştürülmüş sabun numunelerine ait TG/DTA grafikleri incelendiğinde benzer karakteristik gösterdikleri görülmektedir. Literatürde yapılan eren ve arkadaşlarının yaptığı çalışmalarda, sabunların 350 °C’ye kadar bozulmaya uğramadığını ve kimyasal yapılarının bu sıcaklıktan sonra değişmeye başladığını göstermektedir. Orijinal ve geri kazanılmış sabunların TGA analizlerinden elde edilen sonuçlar, her iki sabunun da benzer termal bozunma davranışı sergilediğini ve birbirleriyle uyumlu olduğunu ortaya koymaktadır. Sabunlar genellikle uzun zincirli yağ asitlerinin sodyum veya potasyum tuzlarından oluştuğu için bu yağ asitlerinin ve sabun tuzlarının 350-450 °C arasında bozulduğu literatürde belirtilmektedir. Dolayısıyla, gözlemlenen kütle kaybının büyük ölçüde sabunun temel bileşeni olan yağ asitlerinin termal bozunmasından kaynaklandığı söylenebilir. Tel çekme işlemi sırasında sıcaklık 380 °C’ye kadar ulaşabildiğinden, kullanılan sabunun bu sıcaklığa dayanıklı olması önemlidir.

Mevcut analiz sonuçları, sabunun bu işlem için uygun termal kararlılığa sahip olduğunu göstermektedir.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada galvanizli atık sabunun en uygun şekilde geri kazanımının yapılabilmesi için optimizasyon çalışmaları yapılmıştır. Deneyler öncesinde ve sonrasında alınan numuneler üzerinde yapılan analizler, orijinal sabun ile geri kazanılan sabunun benzer özelliklere sahip olduğunu göstermiştir. Uygulanan yöntemin etkinliğini doğrulamıştır. Bu bulgu, yöntemin endüstriyel atık geri kazanımı açısından avantajlı bir alternatif sunmuştur ve literatüre yenilikçi bir katkı sağlamıştır. Ayrıca, yapılan deneylerin çevreye zarar vermemesi ve uygulanabilirliği, yöntemin önemli bir avantajı olarak öne çıkmaktadır. Bununla birlikte, deneyler sonucunda eser miktarda çinko (Zn) kalıntılarının tespit edilmesi, yöntemin geliştirilmesi gerektiğine işaret etmektedir. Galvanizli çelik tel çekme işlemi sürekli bir üretim süreci olduğundan, atık sabun sorunu daima önemini koruyacaktır. Bu nedenle, üretim sürecinde oluşan atığın geri kazanımı kritik bir öneme sahiptir.

Bu çalışmada öncelikle orijinal sabun için sıcaklık, derişim, süre ve karıştırma hızı gibi parametreler değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre en iyi geri kazanım koşulları 70 °C sıcaklık, %10 derişim, 10 dakika süre ve 1500 rpm karıştırma hızı olarak belirlenmiştir. Ardından, bu optimum koşullar galvanizli atık sabun üzerinde uygulanmış ve 10 gram galvanizli atık sabundan 7,8 g sabun geri kazanılmıştır.

Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur. Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Teşekkür

Bu makalenin çalışmaları Hasçelik Kablo San. Tic. Aş. Ar-Ge merkezinde gerçekleştirilmiştir. Katkılarından dolayı Hasçelik Kablo'ya teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- [1] Kim, S.-H., G.-C. Jang, and C.-W. Lee 2014. Development and Evaluation of Dry Lubricant Recycle Technologies for Wire Drawing Process. Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Cilt. 13, s. 35-40. DOI:10.14775/ksmpe.2014.13.2.035
- [2] Başülmez, Ü. and O. Meçik, 2018. Sürdürülebilir Kalkınma Ve Endüstriyel Ekoloji Kapsamında E-Atık Politikaları İçin Karşılaştırmalı Bir Analiz. Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, Cilt 52, s. 381-408. DOI:10.18070/erciyesiib.429214
- [3] Anonim, 2015 Çevre, T. and Ş. Bakanlığı, Atık Yönetimi Yönetmeliği, 2s., Resmi Gazete Ankara
- [4] Ergun Pehlivan, M.Y.a.G.G., 2014. Endüstriyel Katı Atıklar ve Geri Kazanım, Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü: Akademik Platform İsem. s. 1-9ISEM2014ID233.
- [5] Marder, A.R., 2000. The Metallurgy Of Zinc-Coated Steel. Progress in Materials Science, Cilt 45, s. 191-271. DOI:10.1016/S0079-6425(98)00006-1
- [6] Suliga, M., R. Wartacz, and M. Hawryluk, 2023. Evolution Of Zinc Coatings During Drawing Process Of Steel Wires. Archives of Civil and Mechanical Engineering, Cilt 23, s. 120. DOI:10.1007/s43452-023-00669-9
- [7] Murakawa, M., M. Jin, and M. Hayashi, 2004. Study on semidry/dry wire drawing using DLC coated dies. Surface and Coatings Technology, Cilt 177, s. 631-637. DOI:10.1016/j.surfcoat.2003.08.057
- [8] Cao, J., et al., 2023. Research Status Of Manufacturing Technology Of Tungsten Alloy Wire. Micromachines, Cilt 14, s. 1030. DOI:10.3390/mi14051030
- [9] Ünseren, M., 2006. Tel Çekme Matrisleri Üzerine Bir Araştırma, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- [10] Özer, Ö. ve Yurci, M. 1997. Tel Çekme İşleminde Matris Açılarının Optimizasyonu ve Sapmaların Belirlenmesi, ODTÜ Makine Fakültesi 1. Makine Mühendisliği Kongresi, 4-6 Haziran 1997, İstanbul

- [11] Byon, S., et al., 2011. Effect Of Coating Material And Lubricant On Forming Force And Surface Defects In Wire Drawing Process. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, Cilt 21, s104-s110. DOI:10.1016/S1003-6326(11)61071-6
- [12] Eickemeyer, J., et al., 1996. Metal Drawing by Means of Solid Soap Films. Journal Of Materials Processing Technology, Cilt 61, s. 250-253. DOI:10.1016/0924-0136(95)02185-X
- [13] Ruiz, M., et al., 2001. Environmental Assessment Of Lubricants Before And After Wire Drawing Process. Journal Of Hazardous Materials, Cilt 85, s. 181-191. DOI: 10.1016/S0304-3894(01)00227-8
- [14] Eren, O., et al., 2024. Filtration and Optimization for the Recovery of Powder Soap Used in Wire Drawing Process. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 24, s. 408-413. DOI:10.35414/akufemubid.1206670
- [15] Eren, O., et al., 2023. System Design And Prototype Manufacturing for the Recovery of Lubricant Powder Used In Wire Drawing Process. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 26, s. 451-461. DOI:10.17780/ksujes.1211546
- [16] Kayılı, M.T., G. Çelebi, and A. Gölbaş, 2018. Sürdürülebilir Yapı Malzemesi Hedefiyle Demir Çelik ve Plastik Endüstrisi Atıklarının Geri Kazanımı. Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 33, s. 33-44. DOI:10.21605/cukurovaummfd.508295