

TEL ÇEKME PROSESİNDE KULLANILAN KATI YAĞLAYICILARIN TRIBOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI¹

Fadime Irmak BALMUMCU¹, Hakan YILDIZ¹, Tankut ASLANTAŞ¹

MEFA Endüstri, Ar-Ge ve İş Geliştirme Müdürlüğü, Ankara / Türkiye

Öz: Metal şekillendirme endüstrisinde kullanılan şekil verme prosesleri sıcak, ılık ve soğuk yöntemler olup, ekipman ömürlerinin uzun olması, metal yüzeylerinin istenilen kalitede elde edilebilmesi, sürekli üretim şartlarına uyum gerekliliği sebepleri ile yağlayıcılar kullanılmaktadır. Yağlayıcılar fiziki durumuna göre katı veya sıvı fazlarda olup, hayvan ve bitki yağlarından, seramik tozlara, aşırı yüksek sıcaklık gerektiren proseslerde grafit tozu kullanımına kadar geniş bir yağlayıcı çeşit yelpazesi bulunmaktadır. Metal tel çekme sektöründe üretilen çelik, bakır, paslanmaz çelik ve alaşım metalleri gündelik hayatta kullanılan birçok teknolojik ürün içerisinde yer almaktadır. Düşük karbonlu çelik tel çekme işleminde ağırlıklı olarak katı yağlayıcılar tercih edilmekte, kalsiyum ve/veya sodyum stearat içeren katı toz şeklinde üretilmektedir. Bu yağlayıcılar aynı zamanda sabun olarak sektörde adlandırılmakta; fakat soğuk tel çekme sabunlarının tribolojik özelliklerinin araştırılmasına yönelik literatürde yeterli miktarda araştırma bulunmamaktadır. İnovasyon yönetimi kapsamında süreç iyileştirme çalışmaları için farklı tedarikçilerin ürünlerinin analizleri ve saha uygulamaları öngörüsü amaçlı testlerin gerçekleştirilmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmada farklı üreticilerden tedarik edilen sabunlar ve bu sabunların sistemde oluşturduğu sürtünme katsayıları araştırılmıştır. Tespit edilen sürtünme katsayıları proses simülasyonlarında kullanıma imkân vermekte ve üretim prosesi esnasında makinenin redüksiyon işlemini gerçekleştiren blok üzerindeki motorların enerji tüketimini azalmasını doğrudan etkilemektedir. Takip eden testler sonrası farklı sabunların proses içerisinde stabilitesi ve metal yüzey üzerinde bıraktığı aşınma oranları karşılaştırılmıştır. Aşınma oranları üretim sonrası açığa çıkacak ürünün görsel parlaklığını etkilemekte ve istenilen üretime göre sabun kullanım oranlarını şekillendirebilmektedir. Ayrıca, SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) ile yüzeyde oluşan iz kalınlıkları az olması ile sabunun üretim esnasında yüzeyde oluşturacağı parlaklığı yüksek ürünler üretilmesine imkân vermektedir.

Anahtar Kelimeler: Tel Çekme, Tribolojik Özellik, Ball-on-disk, Katı Yağlayıcı, Sürtünme Katsayısı, Aşınma Oranı, İnovasyon Yönetimi

GİRİŞ VE KURAMSAL ÇERÇEVE

Tel çekme sektörü kendisine özgü ürünleri ve birden fazla birbirinden farklı teknolojik sektörleri besleyen ana üretim alanlarından bir tanesidir. Ürünler enerji, otomotiv, beyaz eşya, altyapı, inşaat, elektrik, kaynak, lehimleme, havacılık vb. birbirinden farklı sektörde kullanılabilir. Her bir kullanılan malzeme uygulama ortamı koşullarına ve malzeme özelliklerine göre üretilmekte ve katma değerli ürünlerin oluşmasında kullanılmaktadır. Ürün türü fark etmeksizin tribolojik özellikler bütün yağlayıcı proseslerinde kullanılmaktadır. Otomotiv sektöründe kullanılan ürünleri grafit benzeri karbon ve CrTiAlN kaplama yaparak incelemiş ve her iki disk ve top grafit benzeri karbon ile kaplandığında minimum sürtünme sıcaklığına ulaşmıştır (Wen, Yao, & Yang, 2018). Uzay sektöründe sıvı yağlayıcıların donma sorunlarından kaynaklı olarak katı ZrO₂, CuO, MoS₂ tozlar olarak yağlayıcı özelliklerini incelemiş, farklı sıcaklıklarda ve basınçlarda farklı performanslar ile tespit edilmiştir (Jose & Behera, 2020). Yağlayıcıların stabilitesi üzerine Angela ve arkadaşları farklı yöntemler uygulayarak çalışmıştır. Tel çekme esnasında hadde içerisinde oluşan yüksek basınçlarda stabilite üzerine Marie ve arkadaşları araştırma gerçekleştirmiştir. Stearat özlü gres yağlarına kalsiyum eklenerek yağlayıcı özelliklerinin

¹ Bu çalışmada analiz hizmetleri Sakarya Üniversitesi'nden alınmıştır. ORCID NO: 0009-0004-4889-3589, 0000-0001-7011-110X, 0000-0003-4294-001X

iyileştirilmesi üzerine Anandan ve arkadaşları incelemede bulunmuştur (Natarajan & Pandey, 2007).

Çelik tel sektöründe ürün yelpazesinin geniş olmasından kaynaklı olarak küresel çelik tel üretimi 76 milyon ton civarındadır (Schlichting, vd., 2024). Beyaz eşya sektörüne ağırlıklı olarak çelik türevleri ve farklı paslanmaz çelik kaliteleri kullanılmakta iken bu çeliklerin tel çekme prosesinde üretimleri ağırlıklı olarak soğuk plastik şekillendirme ile gerçekleşmektedir.

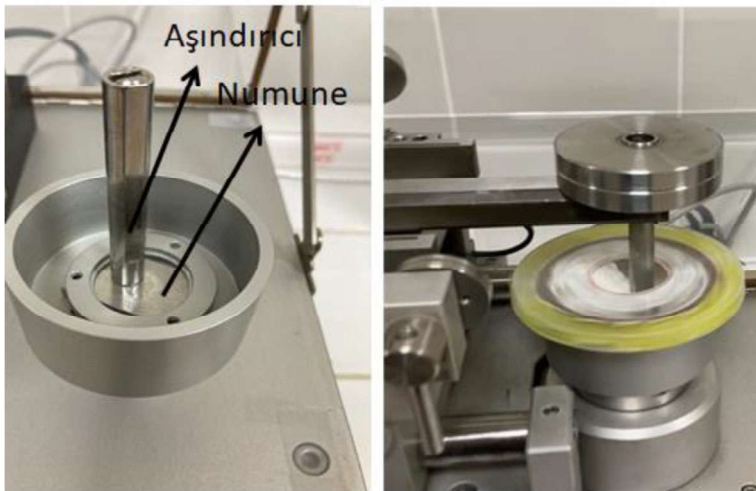
Bütün tel çekme sektöründe olduğu gibi beyaz eşya sektörüne üretim yapan tesislerde tel üzerini yağlayıcı fonksiyonu gösteren ürünler kaplanmaktadır. Bu ürünler, plastik deformasyonu kolaylaştırma, tel yüzeyini koruma, plastik şekillenmeyi sağlayan ekipmanın ömrünü uzatma, enerji verimliliği sağlama gibi birçok fonksiyonu gerçekleştirmektedir. Çelik tel üretiminde yüksek redüksiyonların gerçekleştirilebilmesi, yüksek üretim kapasitesi gerekliliği ve şekil verme esnasında malzemenin ısıtma gereksinimi bulunmadığı için toz katı yağlayıcılar kullanılmakta ve sektörde hadde sabunu olarak adlandırılmaktadır. Metal içeren katı yağlayıcıları stearat asitlerinden oluşmakta ve genel olarak kalsiyum ve sodyum metalleri ile üretilmektedir. Sektör bilgisi işletmeler bazında mevcut olsa bile akademik literatür tarafında teknolojinin gelişmesi ile oluşturulmuş yeni analiz yöntemleri ile katı yağlayıcı üzerine çalışma yeteri kadar bulunmamaktadır.

AMAÇ

Çelik tel üretiminde kullanılan yağlayıcıların tribolojik özellikleri üzerine akademik çalışmaların azlığı, yapılan üretimde katı yağlayıcı ürün üzerinde oluşturduğu yüzey etkilerini öngörmek ve simülasyon çalışmalarında birebir modelleme yapılabilmesi için gerçekleştirilmiştir. İncelenen araştırma makalelerinde farklı yöntemler kullanılmış olup her birisinin amacı farklı konseptlere hizmet etmektedir. Aynı ürün grubu ismi ile pazarda yer alan farklı üreticilerin ürünleri üzerine araştırma konusu azdır. Bu amaçla tel çekmede kullanılan sabunların tribolojik özelliklerini araştırmak için çalışma gerçekleştirilmiştir.

KAPSAM

Bu çalışma kapsamında tel çekme prosesinde kullanılan toz yağlayıcıların tribolojik özelliklerinin çalışılması için ball-on-disk testi ile sürtünme katsayısı tespiti ve uzun mesafede yüzeyde oluşan aşınma oranları, sürtünme katsayısının mesafe ile değişimi ve aşınma oranları tespiti gerçekleştirilmiştir. Ardından SEM ile aşınma iz genişliği görüntüleri incelenmiştir. Test ilk aşamada oda sıcaklığında gerçekleştirilmiş olup tel çekme prosesinde oluşan yüksek sıcaklıklar makine ve soğutma sistemleri farklılığı referans alınmamıştır.



Şekil 1. Ball-on-disk Testi Düzenegi ve Çalışması

YÖNTEM

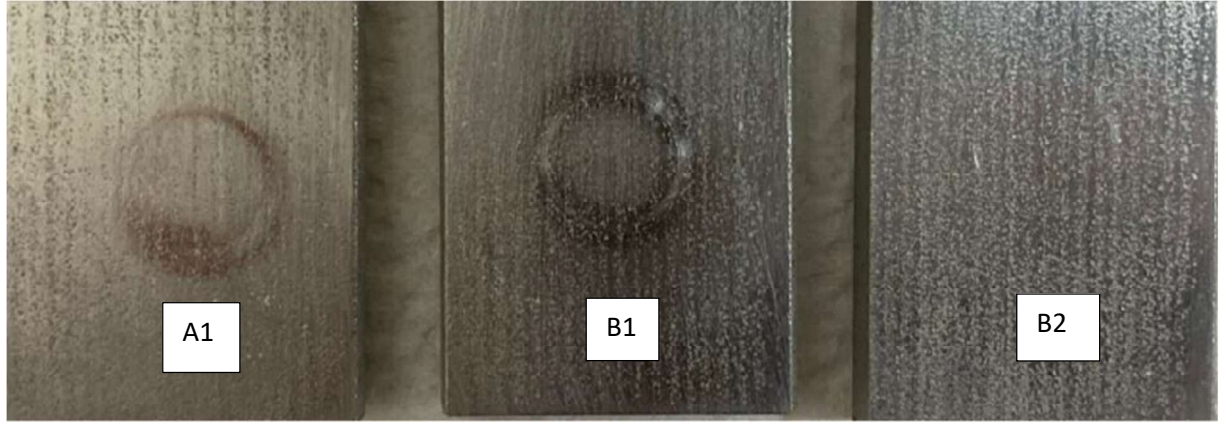
Tribolojik özellikler için ball-on-disk testi 5N yük ile 10 cm/sn hız ve 500 metre kayma mesafesi olarak gerçekleştirilmiştir. Ardından diskler alınıp yüzeyleri temizlenip SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) ile yüzeydeki aşınma izleri genişliği ölçülmüş ve aşınma oranları hesaplanmıştır. Çalışmada iki farklı marka ve üç farklı ürün incelenmiştir. Ürünlerin ticari sebeplerden ötürü isimleri paylaşılmamıştır. Her bir test iki kez tekrarlanarak sonuçlar doğrulanmıştır.

Tablo 1. Yağlayıcı Ürünleri

İsim	Katı Yağlayıcı Cinsi
A1	Kalsiyum
B1	Kalsiyum
B2	Sodyum

BULGULAR

Çalışma sonrasında kullanılan alt plakaların yüzeyleri aşağıda gözükmemektedir. Büyükten küçüğe olacak şekilde plaka üzerinde bıraktığı aşınma oranı fazlalığı ile A1, B1, B2 katı yağlayıcıları olarak sıralanmıştır.

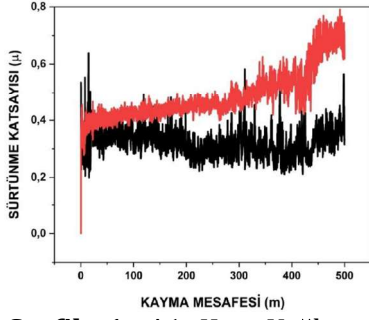


Şekil 2. Ball-on-disk Sonrası Yüzey Görüntüsü

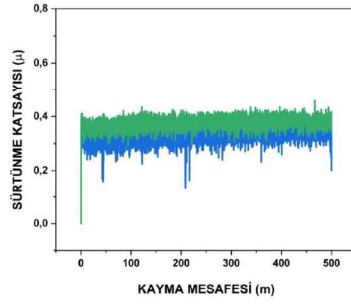
Her bir yağlayıcı için test sonuçları ilgili grafiklerde verilmiştir. Sürtünme katsayısı değişkenliği en yüksek A1 yağlayıcısı ve en düşük değişkenlik ise B2 yağlayıcısında gözükmemektedir. B1 ve A1 katı yağlayıcıları kalsiyum bazlı oldukları için sürtünme katsayıları B2 sodyum bazlı yağlayıcıdan yüksek çıkmıştır.

Tablo 2. Sürtünme Katsayıları

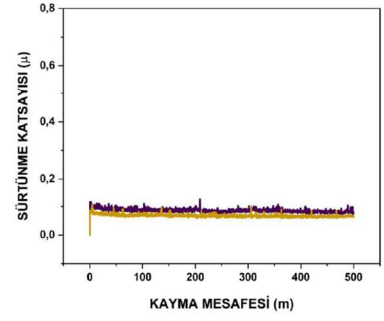
Sabun	Sürtünme Katsayısı (μ)	Katsayı Değişkenliği
A1	0,3-0,7	Yüksek
B1	0,32-0,37	Orta
B2	0,09-0,1	Düşük



Grafik 1. A1 Katı Yağlayıcı Sürtünme Katsayısı ile Kayma Mesafesi Grafiği



Grafik 2. B1 Katı Yağlayıcı Sürtünme Katsayısı ile Kayma Mesafesi Grafiği

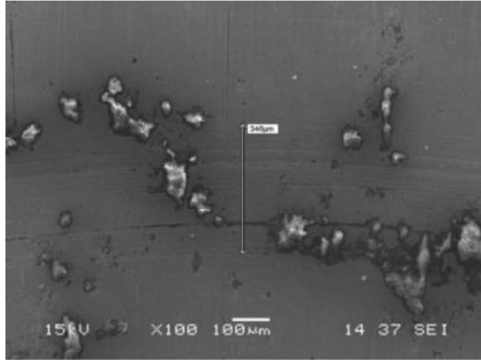


Grafik 3. B2 Katı Yağlayıcı Sürtünme Katsayısı ile Kayma Mesafesi Grafiği

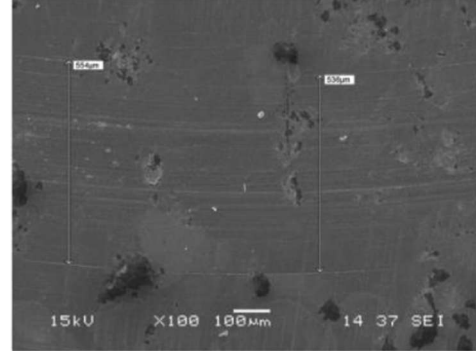
Aşınma testi sonrası numuneler SEM altında aşınma izinin bulunduğu yerlerden görüntüler alınarak aşınma bölgesi kalınlığı çıkarılmıştır. SEM görüntülerinde B2 yağlayıcısı yüzeyde bıraktığı aşınma izinin B1 ve A1 yağlayıcılarından daha az olduğu gözükmemektedir. Takiben aşınma oranları hesaplanmış ve benzer sıralama çıkmıştır.

Tablo 3. Aşınma İzi Genişlikleri

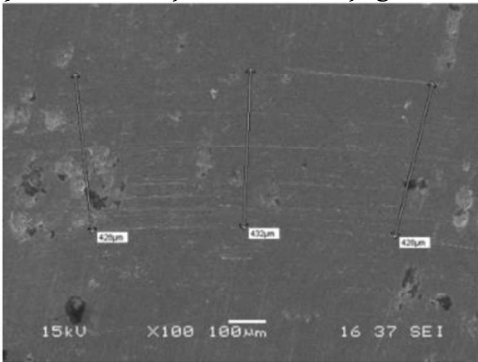
Katı Yağlayıcı	Aşınma İzi Genişliği (μm)
A1	500-900
B1	660-770
B2	120-230



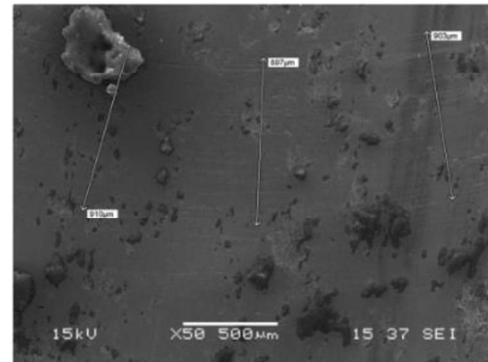
Şekil 3. A1, Aşınma İzi Genişliği-1



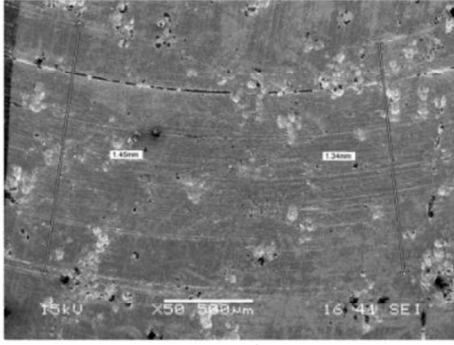
Şekil 4. A1, Aşınma İzi Genişliği-2



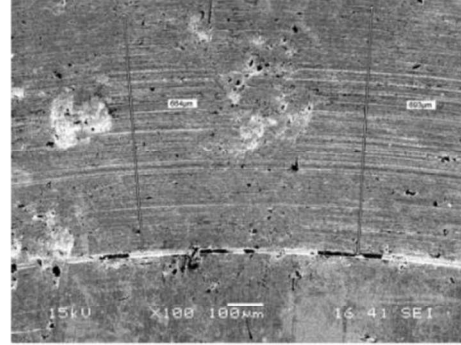
Şekil 5. A1, Aşınma İzi Genişliği-3



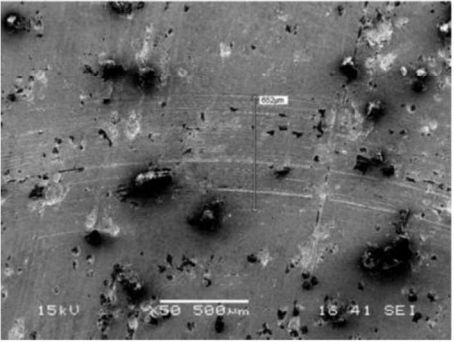
Şekil 6. A1, Aşınma İzi Genişliği-4



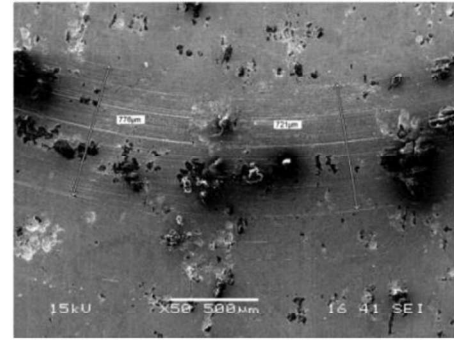
Şekil 7. B1, Aşınma İzi Genişliği-1



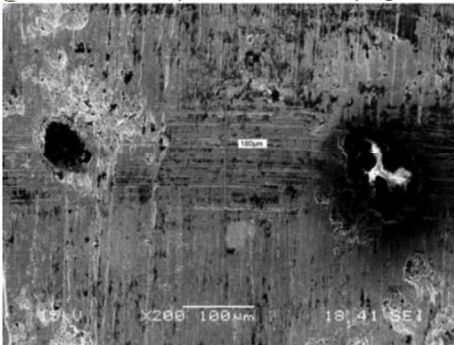
Şekil 8. B1, Aşınma İzi Genişliği-2



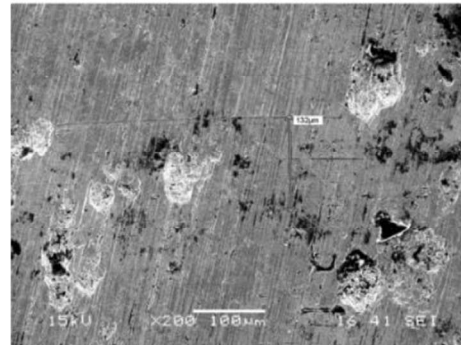
Şekil 9. B1, Aşınma İzi Genişliği-3



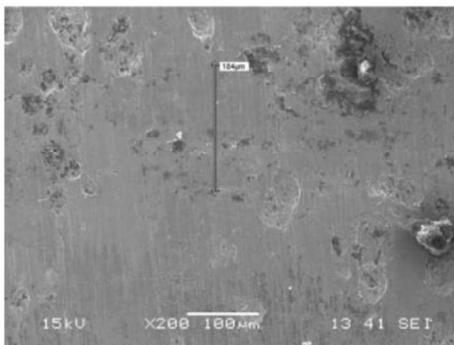
Şekil 10. B1, Aşınma İzi Genişliği-4



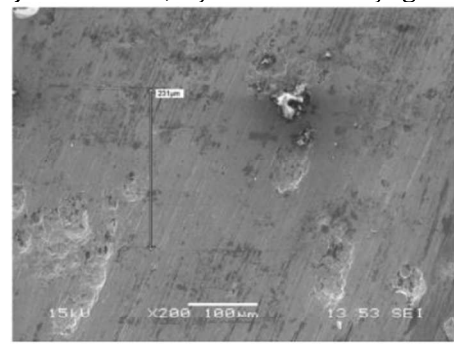
Şekil 11. B2, Aşınma İzi Genişliği-1



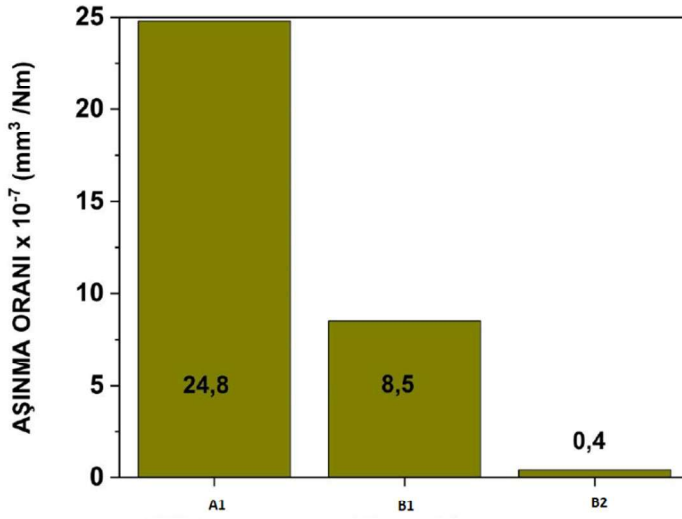
Şekil 12. B2, Aşınma İzi Genişliği-2



Şekil 13. B2, Aşınma İzi Genişliği-3



Şekil 14. B2, Aşınma İzi Genişliği-4



Grafik 4. Katı Yağlayıcı ve Aşınma Oranları

SONUÇ

İnovasyon yönetimi kapsamında endüstride kullanılan farklı tedarikçilere ait üç farklı katı yağlayıcının tribolojik özellikleri çalışılmıştır. Yapılan çalışmada kalsiyum yağlayıcılarının sodyum yağlayıcısından daha yüksek sürtünme katsayılarına sahip olduğu gözlemlenmiştir. Oda koşullarında yapılan test sonucu yağlayıcıların erime ve camsı geçiş sıcaklığı değerlerine ulaşmadan stabiliteyi uzun mesafe baz alınarak ortaya konmuştur. A1 kalsiyum katı yağlayıcının stabilitesinin B1 katı yağlayıcıdan düşük olduğu ve bu sebeple yüzeyde daha fazla iz bırakacağı gösterilmiştir. B1 katı yağlayıcının stabilite sorunu sebebi ile kullanıldığı bloklarda enerji artışına sebep olacağı ortaya konmuştur. Sodyum katı yağlayıcı düşük sürtünme katsayısı ve yüzeyde bıraktığı dar olan aşınma izi genişliğinin parlak tel çekimine ve düşük enerji tüketimine sebep olacağı gösterilmiştir.

Yapılan çalışmalar katı yağlayıcıların karakterizasyonlarının gerçekleştirilip üretimde meydana gelen sıcaklıklarda tribolojik özelliklerin araştırılması ile proses analizinin daha kapsamlı yapılması için ön adımları oluşturmuştur. Üretim hızları ve soğutma sistemi koşulları plastik deformasyon sonucu açığa çıkan ısının miktarını belirlemekte olup, katı yağlayıcı ve tedarikçi seçiminin bu çalışmalar sonucu belirlenmesi sektöre uzun vadede üretim kalitesi artışı, enerji sarfıyatı düşüşü faydaları olacaktır.

KAYNAKÇA

- Jose, J., & Behera, N. (2020). Lubrication capability of solid powder lubricants in high-pressure situations. *Jurnal Tribologi*, 101-119.
- Natarajan, A., & Pandey, R. K. (2007). Tribological Behaviour of Additive Free Calcium Stearate Greases. *Tribology Online*, 34-39.
- Schlichting, M. L., Wong, J., Masen, M., Pauw, S. D., Hoecke, H. V., & Kadiric, A. (2024). Experimental study of frictional behaviour of powdered soaps for wire drawing. *Tribology International*.
- Tortora, A. M., & Veeregowda, D. H. (2016). True stability of lubricants determined using the ball-on-disk test. *Advances in Tribology*.
- Wen, X., Yao, H., & Yang, S. (2018). Improvement of Sliding Performance for Ball on Disc Tribo-Partners Using Graphite Like Carbon Solid Lubricant Coating. *Material Sciences and Applications*, 191-209.