



Tarım Makineleri İmalatında Kullanılan ST52 -ST37 ve Standart Dışı Çeliğinin Pin On Disk Aşınma Özelliklerinin Karşılaştırılması

Fuat Lüle^{1*} Vahdettin Koç²

^{1*}Adıyaman Üniversitesi, TBMYO Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Adıyaman, Türkiye (ORCID: 0000-0002-9332-0761), flule@adiyaman.edu.tr,

²Adıyaman Üniversitesi, TBMYO Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Adıyaman, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9510-8302), vkoc@adiyaman.edu.tr,

(İlk Geliş Tarihi 18 Mart 2022 ve Kabul Tarihi 9 Mayıs 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.)

ATIF/REFERENCE: Lüle F., & Koç V. (2022). Tarım Makineleri İmalatında Kullanılan ST52 -ST37 ve Standart Dışı Çeliğinin Pin On Disk Aşınma Özelliklerinin Karşılaştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (38), 191-197.

Öz

Bu çalışmada tarım makineleri imalatında kullanılan standart dışı çelik, ST37 ve ST 52 çeliklerinin kimyasal alaşımına bakılarak içerikleri ve aşınma özellikleri tespit edilmiştir. İmalatçı firmanın demir-çelik sanayisi hadde ünitesinden çekilen standart dışı, ST37 ve ST52 çeliklerinin Adıyaman Üniversitesi TBMYO Makine ve Metal Teknolojileri Bölüm atölyesinde ve laboratuvarında bulunan makine ve teçhizatlar kullanılarak bu çeliklerin mekanik davranışları incelenmiştir. Tarım makineleri imalatında kullanılan malzemelerin analizleri yapılarak aşınma davranışları karşılaştırılmıştır. Farklı yüklerde (10-20 ve 30N) ve 500m koşturularak pin on disk kuru aşınma testine tabi tutulmuşlardır. Çalışma sonucunda aşındırıcı topun malzemeye temas ettiği yerdeki izlerin mikroskop altında incelenmesi sonucunda yük arttıkça aşınma izlerinin iz genişliğinin ve iz derinliğinin arttığı görülmüştür

Anahtar Kelimeler: ST52, ST37, Standart dışı çelik, Aşınma, Tarım makinaları.

Comparison of Pin On Disc Abrasion Properties of ST52 -ST37 and Non-Standard Steel Used in Agricultural Machinery Manufacturing

Abstract

In this study, the chemical alloy of non-standard steel, ST37 and ST 52 steels used in the manufacture of agricultural machinery was examined and their contents and wear properties were determined. The mechanical behavior of non-standard, ST37 and ST52 steels drawn from the rolling unit of the iron and steel industry of the manufacturer company was studied using machines and equipment located in the workshop and laboratory of the Department of Mechanical and Metal Technologies of the Adıyaman University TBMYO. Wear behaviors were compared by analyzing the materials used in the manufacture of agricultural machinery. They were subjected to pin on disk dry wear test at different loads (10-20 and 30N) and by running 500m. As a result of the study, as a result of examining the traces where the abrasive ball contacted the material under the microscope, it was seen that the trace width and the depth of the wear traces increased as the load increased.

Keywords: Non-standard steel, Abrasion, Agricultural machinery.

* Sorumlu Yazar: flule@adiyaman.edu.tr

1. Giriş

Ülkemizde tarım makineleri imalat sanayi giderek üretim kalitesini arttırmaktadır. Traktörlerden çim biçme makinelerine, toprak işleme aletlerinden ekim makinelerine, sulama ekipmanlarından hasat-harman makinelerine kadar birçok makine üretilmekte ve Avrupa ülkeleri dahil olmak üzere dünyada yaklaşık 100 ülkeye ihraç edilmektedir (Yaltrık 2005).

Tarımsal üretimde, verimin artırılmasında tarımsal alet ve makinelerin önemi anlaşılmış olduğundan son yıllarda ülkemizde tarım alet ve makinelerinin imalatına hız verilmiştir. Eş zamanlı olarak İmal edilen tarım makinaları ve teçhizatında kullanılan metalik malzemelerin sürtünmeli kısımlarda çalışmakta olduğundan malzeme ömürleri dikkate alınması, cihazların çalışma ömürlerinin uzaması, kalite standartlarının yükselmesi ile ilgili tarım iş makinalarında önemli etkenlerdendir. Bundan dolayıdır ki tarım makinelerinin, kullanılma amacına uygun olarak tarımsal üretime katkısının iyi olması istenmektedir.

Malzeme bilimindeki hızlı gelişmeler, tarım makineleri imalatında kullanılmak üzere üretilen malzemelerin ısıtma işlem kimyasal içerik değiştirilebilirlik gibi teknik özelliklerinin ve kullanım kolaylığı ve ömürlerinin uzun olması istenmektedir. Ancak imalatta kullanılan malzemelerin tarımsal koşullara uygun karakteristikler göstermesi ile erişilebilir, ucuz, tamir onarım ve bakım gibi teknik özelliklerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Malzemesi uygun teknik özelliklere sahip malzemelerden imal edilmiş tarım alet ve makineleri, çok daha uzun ömürlü olmaktadır (Cingöz, 2008).

Son kullanıcı olarak sahada çalışan tarım makine operatörlerinin, uzun süre kullanabilecekleri verimli, arıza yapmadan minimum sorunla çalışan uzun ömürlü makineler tercih etmektedir. Bunun için kaliteli makine olarak tanımlanan ve üretilen aparat ve cihazların kalite faktörü, cihaz tasarımı ve malzeme seçimi çok önemlidir. Malzeme seçiminin ilk aşaması, kullanım şartlarına uygun malzemenin analizinin yapılması gerekmektedir. İmalatçılar bu konuda hassasiyetle davranmalı ve malzeme seçimini doğru yapmalıdırlar. Aynı zamanda eş zamanlı imal atelye ve fabrikalarda entegre imalat akışının yanı sıra çalışan kalifiye elemanların da tarım alet ve makinelerindeki imalat hataları üzerinde büyük etkileri bulunmaktadır.

Aşınma; sonuçlarını hissettirmeden oluşan ve oluşurken doğrudan ve dolaylı problemleri de beraberinde getiren mekanik bir olaydır. Genellikle makinede ki hasarların %62'si kullanım hatasından, %38'i teknik eksiklikten doğduğu tahmin edilmektedir. Aşınma %38'lik gruba girmektedir (Ulusoy 1981).

Metinoğlu ve ark. 2006 yılında Toprak işleme alet ve makinelerinde iş organlarının aşınmasının yakıt, güç ve zaman gereksinimi üzerine etkileri adlı çalışmada pulluk ve çizeldeki uç demirlerinin aşınma değerlerini saptamışlardır. Yapmış oldukları çalışma sonucunda bu uç demirlerinin işlevsel özelliklerini kaybedene kadar kullanılmaya devam edilmesinin ekonomik açıdan faydalı olacağını bildirmişlerdir (Metinoğlu ve ark. 2006). Bayhan (1996), çizel imalatı yapan firmaların uç demiri, yaylı kültivatör+döner tırmık kombinasyonlarında kullanılan uç demirlerinin aşınması ve ayrıca aşınmaya etkili olan bazı faktörlerin (ısıtma işlem, toprak nemi, toprak penetrasyon direnci, uç demir bileme şekli ve toprak çeşidi) etkilerini araştırmıştır. Araştırma sonucunda çizel üreten firmaların tamamının malzeme seçiminde hata yaptığını saptamış, aynı zamanda bu firmaların uç demiri olarak kullandıkları malzemeye uygun olan ısıtma işlemi uygulamadıklarını açıklamıştır.

Çelikler demir karbon alaşımları olup, diğer bazı alaşım elementlerini de bileşimlerinde bulundurulur. Çok farklı bileşimde veya değişik ısıtma işlem uygulamalarına tabi tutulmuş binlerce çelik türü vardır. Çeliklerin mekanik özellikleri içerdikleri karbon miktarından önemli ölçüde etkilenir ve karbon miktarı çoğunlukla %1'in altındadır (Bindal ve ark., 2013)

Abrasif aşınma yırtılma veya çizilme aşınması olarak da isimlendirilen abrasif aşınma, sistemde hızlı hasara neden olan önemli bir aşınma türüdür. Abrasif aşınma; biri diğerinden daha sert ve pürüzlü olan metal yüzeylerinin birbirleriyle temas halinde kayma sırasında meydana gelir. Sanayii uygulamalarında en sık karşılaşılan mekanik hasarlara genelde abrasif aşınmalar sebep olmaktadır. Bu tip aşınma; madencilik uygulamalarında, toprak kazıma alet ve makinalarında, minerallerin işlenmesinde, tarım aletlerinde ve diğer 13 pek çok uygulamalarda meydana gelmektedir (Misra ve Finnie, 1982).

Genel anlamda abrasif aşınma bir metal yüzeyin abrasif aşınması o yüzeyin aşındırıcı sert parçacıklarla veya kendisinden daha sert pürüzlü bir karşı metal yüzeyle bir yük etkisi altında veya birbirlerine göre zıt yönlerde yüzey boyunca kayma temasında bulunmaları durumunda yüzeyinden malzeme parçacıklarının kopması veya yer değiştirmesi şeklinde tarif edilir (Venkatesan vd, 1997; Axen ve Zum Gahr, 1992; Hutchings, 1992; Vjih, 1975; Khruschov, 1974).

Tarım alet ve makine imalatında birçok alanda ST37 ve ST52 standart çelik kullanılmaktadır. Yapılan literatür çalışmalarında bu çeliklerin çalışma ortamlarında sürtünmeye maruz kalmasına rağmen aşınma özellikleri ile ilgili yetersiz çalışmanın olduğu ve yerel imalatçılarla yapılan görüşmelerde bu çelikleri üreticiden veya toptancı firmadan katalog ürün olarak aldıkları ve ihtiyaca göre kullandıkları, kimyasal içeriğinin veya aşınma testinin yapıp yapılmadığını bilmediklerini bildirmişlerdir. Bu nedenlerden dolayı demir çelik sanayinden alınan ve yerel tarım makinaları imalatçısından temin edilen ST52 ve ST37 ayrıca standart dışı üç çeşit çelik malzeme alınarak yapısal durumu incelenmiş ve pin on disk kuru aşınma testine tabi tutulmuştur (Koç ve Demirel, 2019).

Çalışmada kullanılan standart dışı çelik, ST37 ve ST52 çelikler makalede sırasıyla 1 nolu, 2 nolu ve 3 nolu numeneler olarak adlandırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Çalışmada kullanılan materyal Tarım makineleri imalatı yapan firmanın demir-çelik fabrikası hadde ünitesinde çekilerek imal edilen 1 Nolu, 2 Nolu ve 3 Nolu numuneli çeliklerinin Adıyaman Üniversitesi TBMYO Makine ve Metal Teknolojileri atölyesinde bulunan cihazlarla teste tabi tutulmuştur.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Teste tabi tutulan 1 Nolu, 2 Nolu ve 3 Nolu numuneli çelikler laboratuvar ortamında çeşitli işlemlerden geçirilmiştir. 10mm kalınlığındaki parçalar 35 mm çapında CNC Plazma kesim cihazında kesilerek deney için kaba numuneler elde edilmiştir (Şekil 9). Kesilen kaba numuneler mekanik ve meteorolojik muayeneler için hassas işlemler yapılarak yüzey pürüzlülüğü giderilmiştir. Numuneler spektrometre cihazı ile numunelerin alaşımlandırılmış içeriklerinin analizleri tespit edilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Numunelerin alaşımlandırılmış içeriklerinin analizleri tespitinde kullanılan spektrometre (Figure 1. The spectrometer used to determine the analysis of alloyed contents of samples)

Zımparalama ve parlatma işlemi yapılan numuneler önceden hazırlanmış olan $C_2H_5OH+HNO_3$ kimyasal içerikli solüsyona 10 saniye daldırılarak dağlama işlemi yapılmıştır. Dağlanan numunelerin meteorografik yüzey görüntüleri mikroskop altında 20X ve 100X büyüklüklerinde görüntüleri çekilerek Şekil 2’de verilmiştir. Dağlanan numuneler aşınma testine alınmadan önce Şekil 3’deki zımparalama ve parlatma makinesinde yüzey pürüzlülüğü en asgari düzeye düşene kadar 500 Devir/dk hızla işlemler yürütülmüştür. Farklı kum büyüklükleri ile kaplı olan P100-P1200 aralığındaki numaralı zımpara kağıtlarında zımparalama işlemi yapılmıştır. Her zımpara kağıdında 5-10 dakika arasında işlenmiştir (Şekil 2). Zımparalama işlemi bittikten sonra parlatma bölümüne alınarak örnekler parlatılmıştır. Burada çuha kullanılarak 1 mikron pasta numuneler üzerine sürülerek parlatma işlemi gerçekleştirilmiştir.

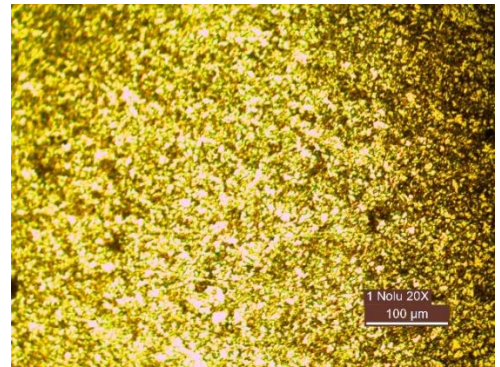
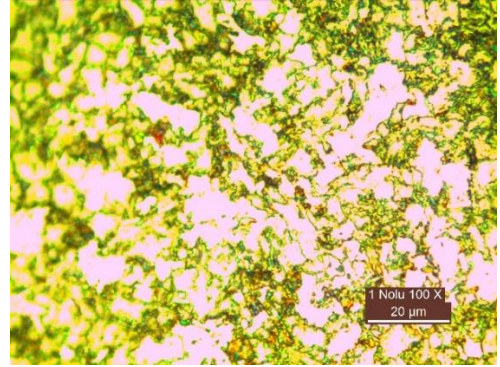


Şekil 2. Zımparalama ve parlatma cihazı (Figure 2. Sanding and polishing device)

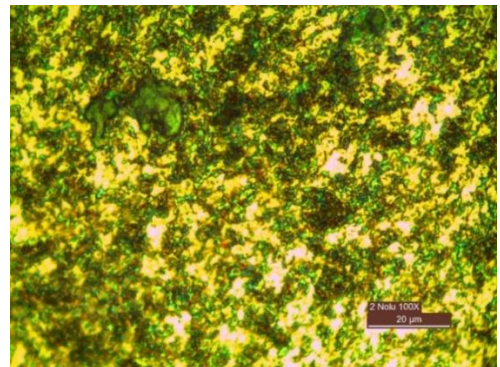
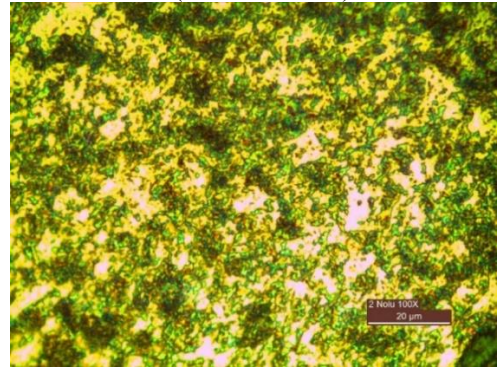
Yapılan dağlama işlemi sonucu metalografik yapıları incelenmek üzere Leica marka optik metal mikroskopunda yüzey taraması yapılarak aşınma testi öncesi malzemelerin 20X ve 100X büyütmede alınan optik mikroskop (Şekil 3) görüntüleri Şekil 4a,b,c’de verilmiştir.



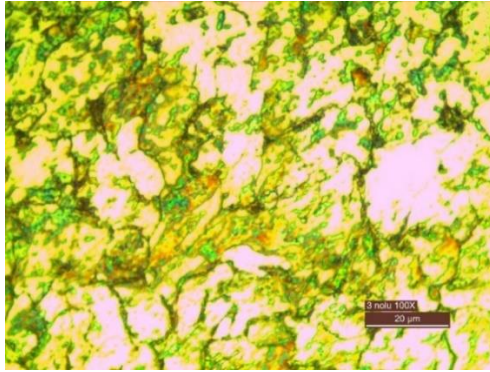
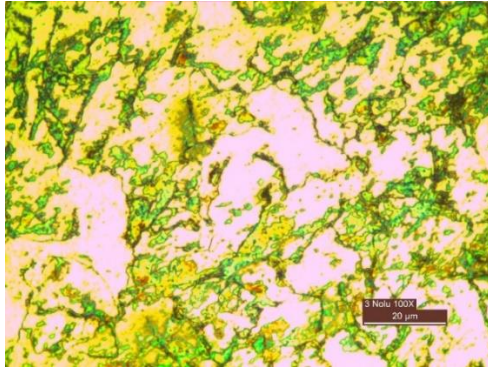
Şekil 3. Numunelerin aşınma öncesi ve sonrası meteorografik yüzey görüntülerinin alındığı mikroskop (Figure 3. A microscope that takes meteorological surface images of samples before and after abrasion)



a (1 nolu numune)



b (2 nolu numune)

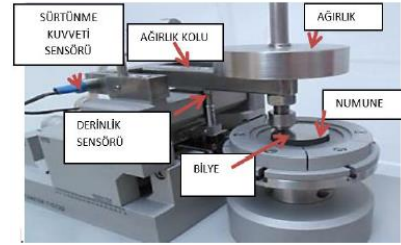


c (3 nolu numune)

Şekil 4(a,b,c). 1-2-3 nolu numunelerin aşınma öncesi 20X ve 100X Meteorografik yüzey görüntüleri (Figure 4(a,b,c). 20X and 100X Meteorological surface images of samples 1-2-3 before wear)

2.2. Aşınma Deneyi

Zımparalama ve parlatma işleminden geçirilen numuneler Tribometer T10/20 model ve markalı cihazda pin on disk aşınma testleri yapılmıştır. Cihaz 300 rpm kayma hızı ve 500 m'ye ayarlanarak koşturulmuştur. Farklı yüklerde uygulanan aşınma testi için aşındırıcı malzeme olarak standart 6 mm çapında çelik bilye (TS 100Cr6 esaslı bilye çeliği) kullanılmıştır. 10N, 20N ve 30N olmak üzere üç farklı yük uygulanarak, sonuçlar değerlendirilmiştir. Aşınma deneyinde kullanılan test cihazı Şekil 5'te verilmiştir.

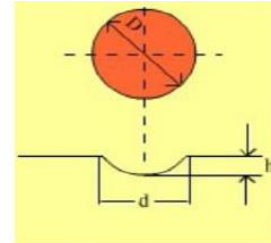


Şekil 5. Aşınma deneyinde kullanılan test cihazı (Figure 5. The tester used in the abrasion test)

Farklı yükler (10N, 20N ve 30N) uygulanan 1,2 ve 3 nolu numunelerin aşınma testi sonrası iz derinliğini hesaplamak için eşitlik 1 kullanılmıştır. Optik mikroskop altında işleme alınan parçaların sürtünme iz genişlikleri belirlendikten sonra eşitlik 1 yardımıyla iz derinlikleri hesaplanmıştır. Aşınma testlerinde kullanılan aşınma derinliği hesaplama yöntemi Şekil 6'da verilmiştir (Koç ve Demirel, 2019)..

$$h = \frac{D^2 - \sqrt{D^2 - d^2}}{2} \dots \dots \dots \text{Eşitlik 1 (Şekil 6)}$$

(h: iz derinliği, D: Bilye dış çap, d: iz genişliği)



Şekil 6. Aşınma testlerinde kullanılan aşınma derinliği hesaplama yöntemi (Figure 6. The method of calculating the depth of abrasion used in wear tests)

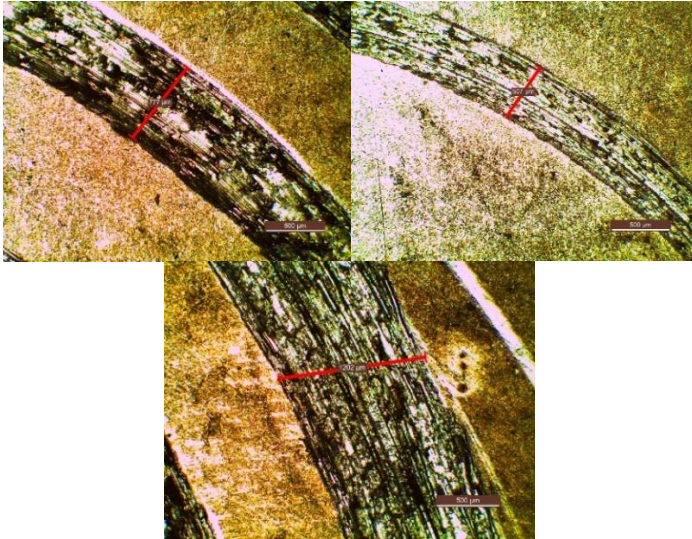
Numuneler Spektrometre ile numunelerin alaşımlandırılmış içeriklerinin analizleri tespit edilerek Çizelge 1'de verilmiştir. Çizelge 1 incelendiğinde 1 nolu malzemede demir oranı %98.826, 2 nolu malzemede % 98.176 ve 3 nolu malzemede %98.473 olduğu ayrıca her üç metalik elementte de görüldüğü üzere az alaşımli düşük karbonlu çelik olduğu görülmektedir.

Tablo 1. Numunelerin spektrometre ile ölçülen analiz sonuçları (Table 1. The results of the analysis of the samples measured by spectrometer)

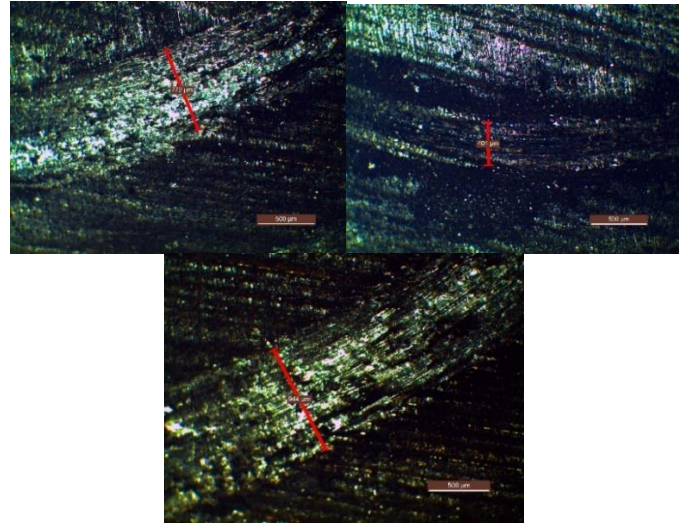
	C%	Si%	Mn%	P%	S%	Cr%	Mo%	Ni%	Nb%	Al%	Cu%	Co%	B%	Ti%
1 Nolu	0.097	0.047	0.546	0.0130	0.010	0.050	0.012	0.076	0.008	0.022	0.227	0.003	0.0005	0.001
2 Nolu	0.148	0.025	1.392	0.0126	0.014	0.037	0.004	0.045	0.018	0.024	0.041	0.003	0.0005	0.007
3 Nolu	0.106	0.157	1.002	0.0166	0.010	0.037	0.005	0.051	0.012	0.028	0.033	0.002	0.0005	0.013

	V%	W%	Sn%	Ca%	Ce%	La%	Mg%	Pb%	As%	Sb%	Zn%	Zr%	Fe%
1 Nolu	0.000	0.009	0.004	0.0035	0.02	0.005	0.0037	0.005	0.017	0.017	0.012	0.001	98.826
2 Nolu	0.000	0.010	0.001	0.0015	0.002	0.005	0.0042	0.004	0.017	0.013	0.001	0.001	98.176
3 Nolu	0.0000	0.009	0.001	0.0052	0.002	0.005	0.0037	0.004	0.018	0.011	0.001	0.001	98.473

Malzemelerin 10, 20 ve 30 N yükler altında yapılan aşınma testleri sonrası optik mikroskopta görüntülenen aşınma iz görüntüleri Şekil 7 a, b ve c'de verilmiştir. Aşınma testi sonrası alınan görüntüler yük arttıkça iz genişliğinin ve iz derinliğinin arttığı görülmektedir.



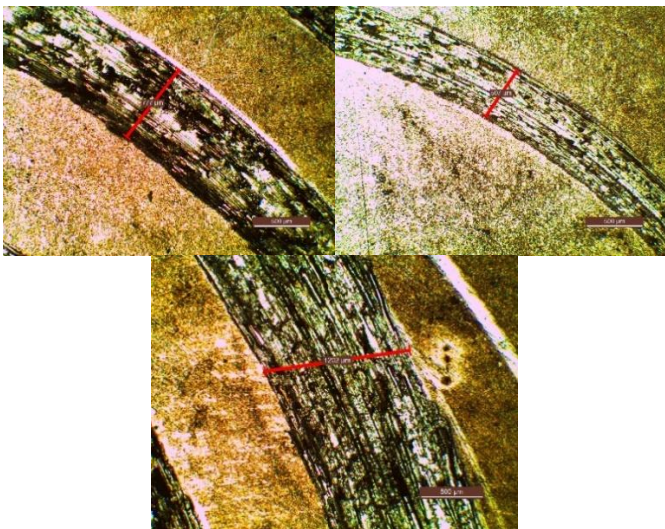
a



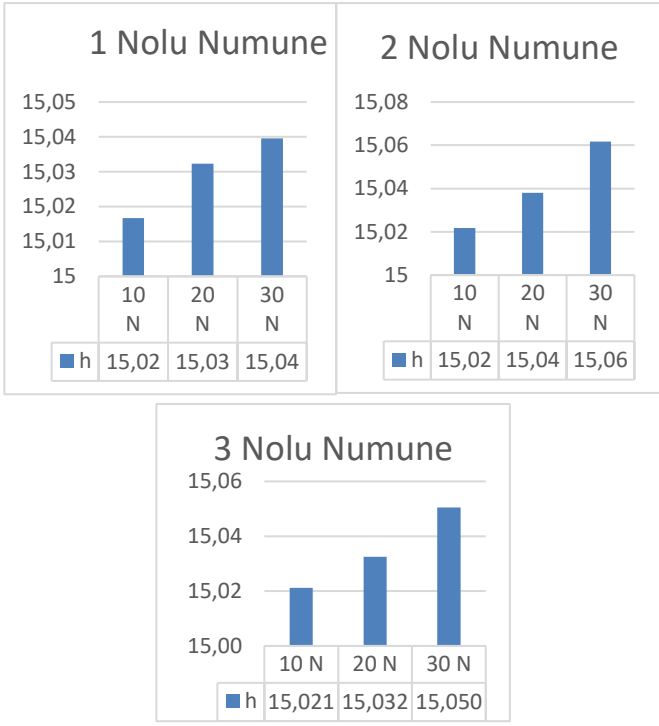
c

Şekil 7 a,b,c. Farklı yükler uygulanan numunelerin aşınma iz görüntüleri (a: 1 Nolu numune, b:2 Nolu numune, c: 3 Nolu numune) [Figure 7 a,b,c. Wear trace images of samples with different loads applied (a: sample No. 1, b: sample No. 2, c: sample No. 3)]

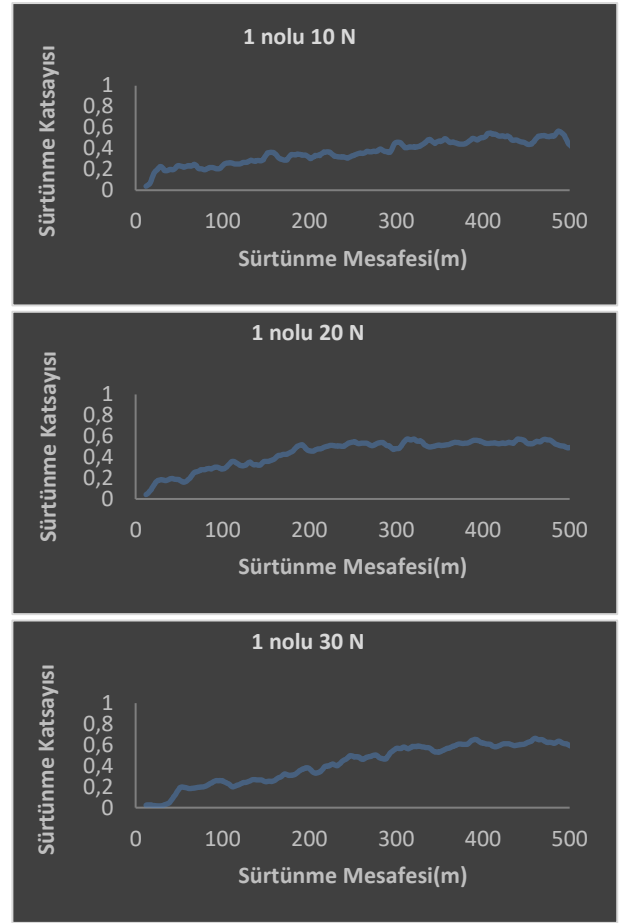
Farklı yükler uygulanan 1, 2 ve 3 nolu numelerinin aşınma işlemi sonucu iz yükseklikleri Şekil 8'de, numunelerin görüntüleri Şekil 9'da verilmiştir. Şekil 9 incelendiğinde numunelere uygulanan aşınma yükleri dıştan içe doğru artırılarak uygulanmıştır. Aşınma izlerine bakıldığında yükün azalması ile birlikte aşınma iz genişlediğinin azaldığı görülmektedir.



b

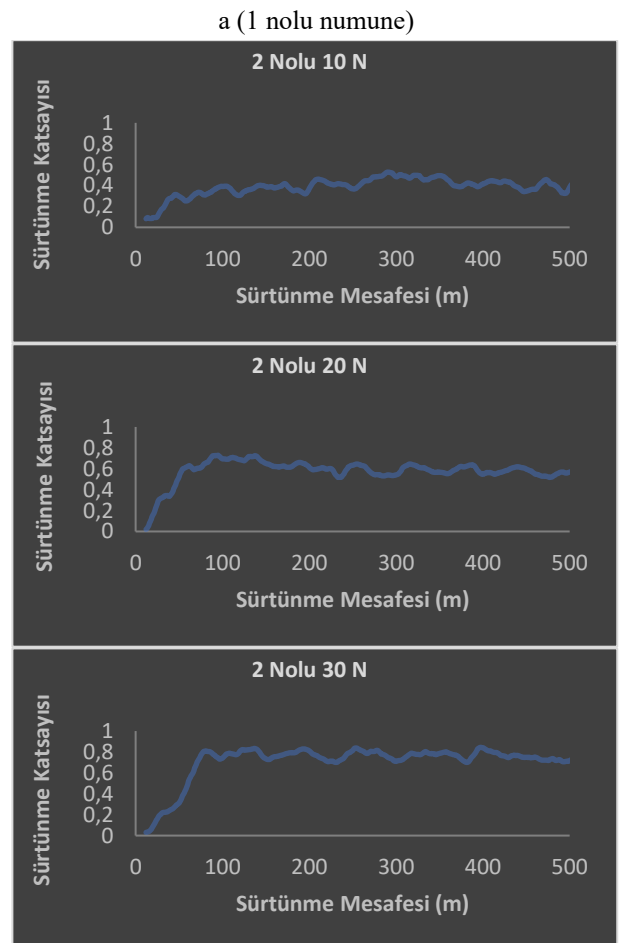


Şekil 8: Farklı yükler uygulanan numunelerin iz derinlikler (h)
[Figure 8. Trace depths of samples applied to different loads (h)]

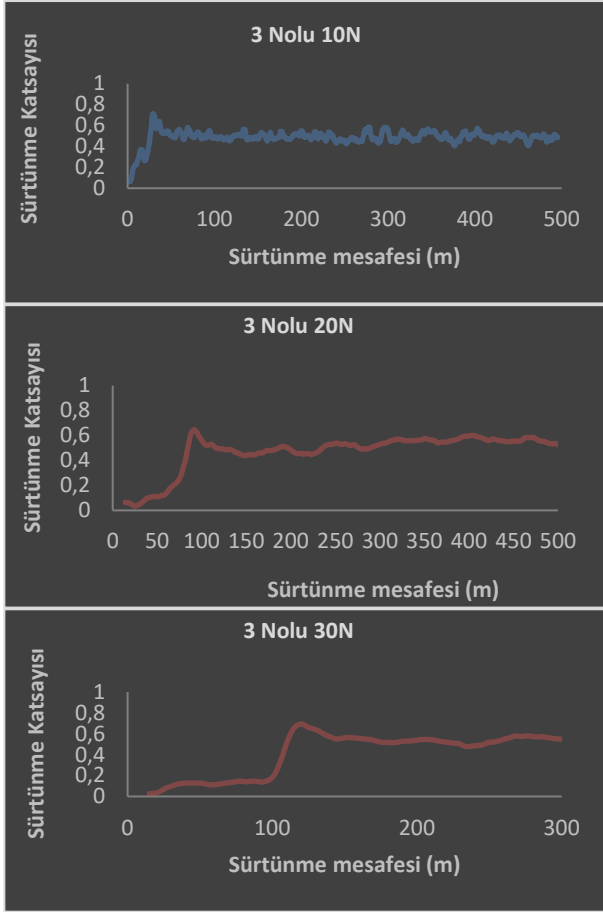


Şekil 9: Farklı yükler uygulanan 1, 2 ve 3 nolu numunelerinin görüntüleri (Figure 9. Images of samples 1, 2 and 3 with different loads applied)

Aşınma testleri sonrası sürtünme katsayısı-Koşurma mesafesi grafikleri Şekil 10 a,b,c'de verilmiştir.



b (2 nolu numune)



c (3 nolu numune)

Şekil 10 a,b,c. Aşınma testleri sonrası sürtünme katsayısı-koşturma mesafesi (Figure 10 a, b, c. Coefficient of friction after wear tests-running distance)

Şekil 10 incelendiğinde anlaşılacağı gibi en yüksek sürtünme katsayısı 3nolu malzeme için 30N yük uygulandığında gözlemlenmektedir. Diğer grafiklerle kıyaslandığında uygulanan yük arttıkça sürtünme katsayısı değerin de de artış gözlemlenmiştir. Ayrıca başlangıç sürtünmelerinde yine düşük yükte aşınma stabil değeri erken mesafelerde gözlenmektedir.

4. Sonuç

Tarım makineleri imalatında kullanılan 1, 2 ve 3 no'lu çeliklere farklı yüklerde aşınma testleri uygulanmıştır. Aşınma testleri sonucunda iz genişliği bütün numunelerde 10 N yük uygulanması sonucu sırasıyla 0.401, 0.507 ve 0.519 mm ölçülürken 30 N yük altında iz genişlikleri sırasıyla 0.944, 1.466 ve 1.202 mm olarak ölçülmüştür. İz derinliği ise sırasıyla 10 N yük uygulanması sonucunda 15.017, 15.021 ve 15.02 mm iken 30 N'da ölçülen iz yükseklikleri sırasıyla 15.040, 15.062 ve 15.051 mm olarak ölçülmüştür. Numunelere uygulanan farklı yüklerin aşınma cihazında 500m koşturulması sonucunda farklı iç genişliği ve iz derinliği bıraktığı gözlemlenmiştir.

Uygulanan yüklerle iz derinlikleri karşılaştırıldığında her üç numunede 10 N yük ile en az iz derinliği ile talaş kaldırma gözlemlenmiş, 30 N'luk yükte ise en yüksek iz derinliği ile birlikte talaş kaldırılması gözlemlenmiştir.

En fazla aşınma 2 nolu numunenin 30N yük altında 15.0617µm olduğu, en az ise 1 nolu numunede ise 15.04 µm

olarak gözlemlenmiştir. Bu yükler karşılaştırıldığında aşınma iz derinliklerinin birbirine yakın değerler olduğu görülmüştür. Bu değerler laboratuvar ortamında hassas ölçümler alınarak ölçülmüştür.

Ancak sahada çalışma şartlarının değişmesi ile küçük farklılıklar gözlenebilir. Yüklerin azalması ile aşınma iz derinlikleri orantılı olarak benzerlik göstermektedir.

Numunelerin sürtünme katsayıları diyagramları incelendiğinde 1 nolu numune için aşınma başlangıç değeri ilk 0-50m'de tırmanmaya başlamış daha sonraki değerleri stabil olarak gözlemlenmiştir. 2 nolu numunede ise 50-75m aralığında tırmanmaya başlamış daha sonraki değerleri stabil olarak gözlemlenmiştir. 3 nolu numunede ise düşük yükte (10N) kaymanın stabil hale gelmesi 0-50m de gözlemlenirken 20 ve 30N yüklerde kaymanın stabil hale gelmesi 100-125m aralığında gözlemlenmiştir.

Kaynakça

- Yaltırık A (2005). Avrupa Birliği Genişleme Sürecinde Türkiye Tarım Makineleri İmalat Sektörünün Değerlendirilmesi. www.zmo.org.tr/etkinlikler. Erişim 10.03.2022
- Cingöz S., 2008. Tahıl Ekim Makinaları İmalatında Kullanılan Malzemeler ve Bu Malzemelerin Karakteristik Özelliklerinin Saptanması. Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2008
- Ulusoy, E., 1981. Bazı Toprak İşleme Alet ve Makinelerinde İş Organlarının Aşınması Üzerinde Araştırmalar. E.Ü. Ziraat Fakültesi Yayınları No:390
- Metinoğlu F., B. Çakmak., Y. Balcı., M. E. Ulusoy. 2006, Toprak İşleme Alet Ve Makinelerinde İş Organlarının Aşınmasının Yakıt, Güç Ve Zaman Gereksinimi Üzerindeki Etkileri., Tarım Bilimleri Dergisi 2 (2), 173-179, 2006
- Bayhan, Y., 1996. Trakya Bölgesinde İmal Edilen Bazı Toprak İşleme Aletlerinin Uç Demirlerindeki Aşınma Ve Aşınmaya Etkili Bazı Etkenlerin Saptanması Üzerine Bir Araştırma. Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Tekirdağ
- Bindal C., K. Genel., M. Demirkol., R. Artır., M. Bakkal., A. Parasız., 2013. Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, (William D. Callister, David G. Rethwisch: Çeviri Editörü Kenan Genel), 8. Baskıdan Çeviri, ISBN:978-605-133-418-9
- Misra, A. and Finnie I., "A review of the abrasive wear of metals", Journal of Engineering Materials and Technology, 104 (2): 94-101 (1982).
- Venkatesan, K., Subramanian C. and Summerville E., "Three-Body abrasion of surface engineered die steel at elevated temperatures", Wear, 48 (5): 129-138 (1997).
- Axen, N., and Zum Gahr K. H., "Abrasive wear of tic-steel composite clad layers on tool steel", Wear, 157 (4): 189-201 (1992).
- Hutchings, I. M., "Surface Engineering In Tribology, chapter 8, in: tribology: friction and wear of engineering materials", Edward Arnold Pub., London, 273 (1992).
- Vijh, A. K., "The influence of solid state cohesion of metals an non-metals on the magnitude of their abrasive wear resistance", Wear, 35 (2): 205-209 (1975).
- Khrushchov, M. M., "Principles of abrasive wear", Wear, 28 (4): 69-88 (1974)