



Aşınma Test Cihazından Alınan Veriyi İşleyen Bir Program Geliştirilmesi

Software Development for Processing Data from the Wear Testing Machine

Lutuf Ertürk^{*1} , Burhan Selçuk² 

¹Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, 58140 Sivas, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 11/12/2023

Kabul/Accepted: 27/12/2023

Çevrimiçi Basım/Published Online: 31/01/2024

Son Versiyon/Final Version: 31/01/2024

Öz

Aşınma miktarını en aza indirmek için, aşınmaya neden olan parametrelerin incelenmesi gerekmektedir. Aşınmayı incelemek için birçok farklı deneysel yöntem kullanılmaktadır. Aşınmanın laboratuvar araştırmaları genellikle ya aşınmanın meydana geldiği mekanizmaları incelemek ya da pratikteki uygulamaları simüle edip aşınma oranı ve sürtünme katsayıları hakkında faydalı tasarım verileri sağlamak için yapılır. Aşınma test cihazlarında veriler, veri kaydediciler veya cihaza özgü yazılımlar vasıtasıyla alınır. Literatürde Arduino ile tasarlanan birçok sistem bulunmasına rağmen, aşınma test cihazındaki verilerin Arduino vb. geliştirme kartları aracılığıyla alınması ve bu verilerin geliştirilen bir yazılım yardımıyla işlenmesi konusunda bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu kapsamda, Arduino (Nano) geliştirme kartı kullanılarak, kendine özgü bir yazılımı bulunmayan Sürtünme ve Aşınma Test Cihazı'nın analog sinyal çıkışlarından verilerin alınıp işlenilmesi amaçlanmıştır. Arduino ile bilgisayar arasında verilerin aktarımı ve işlenmesi için açık kaynak kodlu Lazarus uygulaması kullanılmıştır. Geliştirilen programda aşınma test cihazının analog sinyal çıkışları kullanılarak veriler sorunsuz bir şekilde bilgisayara aktarılmıştır. Sürtünme kuvveti verilerinin, uygulanan yükü bölünmesiyle sürtünme katsayıları hesaplanmıştır. Programa girilen devir sayısı ve karşı elemanın disk çapı sayesinde mesafe belirlenmiştir. Bu sayede, belirli mesafeye karşılık gelen aşınma derinliği, sürtünme kuvveti ve katsayısı grafikleri çizdirilebilmiştir. Bu yöntemin sinyal çıkışı olan birçok cihazda rahatlıkla kullanılabileceği söylenebilir. Bu sayede eski tip cihazlar yeni nesil teknolojilere uyumlu hale getirilebilir.

Anahtar Kelimeler

"Aşınma testi, Sürtünme katsayısı, Makine, Arduino, Lazarus programlama, Program geliştirme"

Abstract

In order to minimize the amount of wear, the parameters that cause wear must be examined. Many different experimental methods are used to study wear. Laboratory studies of wear are generally conducted either to examine the mechanisms by which wear occurs or to simulate practical applications and provide useful design data on wear rate and friction coefficients. In wear test devices, data is captured via data loggers or device-specific software. Although there are many systems designed with Arduino in the literature, the data in the wear tester is transferred to Arduino etc. No study has been found on obtaining data through development cards and processing this data with the help of developed software. In this context, it is aimed to receive and process data from the analog signal outputs of the Friction and Wear Testing Device, which does not have its own software, by using the Arduino (Nano) development board. The open source Lazarus application was used to transfer and process data between Arduino and the computer. In the developed program, the data was transferred to the computer without any problems by using the analog signal outputs of the wear tester. Friction coefficients were calculated by dividing the friction force data by the applied load. The distance was determined by the number of revolutions entered in the program and the disc diameter of the counter element. In this way, graphs of wear depth, friction force and coefficient corresponding to a certain distance could be drawn. It can be said that this method can be easily used in many devices with signal output. In this way, old type devices can be made compatible with new generation technologies.

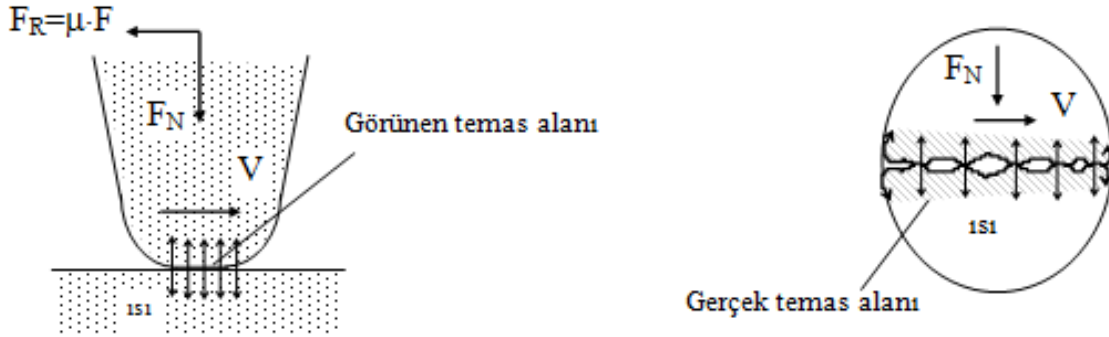
Key Words

"Wear test, Friction coefficient, Machine, Arduino, Lazarus programming, Software development"

1. Giriş

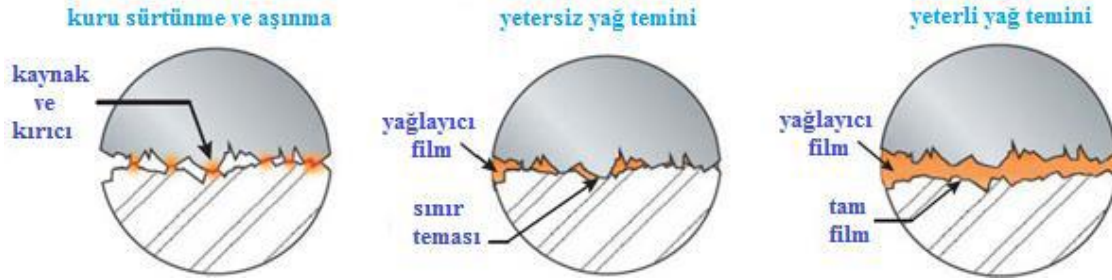
Sürtünme kavramının ilk olarak Leonardo da Vinci tarafından önerildiği düşünülmektedir. Daha sonra Amontons 1699 yılında iki temel sürtünme yasası bulmuştur. Bunlardan birincisi sürtünmenin görünen temas alanından (Şekil 1) bağımsız olduğunu, ikincisi ise normal kuvvetle sürtünme kuvvetinin orantılı olduğunu ifade eder. Normal kuvvetle (F_N) sürtünme kuvveti (F_S) arasındaki oran, Denklem 1.1'de görüldüğü üzere sürtünme katsayısı (μ) olarak karşımıza çıkar (Halling, 1978; Wen ve Huang, 2012; Yücel, 2015).

$$\mu = F_S / F_N \quad (1)$$



Şekil 1. Görünen ve Gerçek Temas Alanı (Yücel, 2015)

Sürtünme, temas eden yüzeyler arasında bir yağlayıcının bulunup bulunmamasına göre kuru, sınır ve sıvı sürtünme olarak üçe ayrılır. Yüzeyler doğrudan temas halinde ise kuru, yağlayıcı yüzeyleri birbirinden tam olarak ayırmıyorsa sınır, ayırıyorsa sıvı sürtünme olarak ifade edilir (Selçuk, 1994). Sürtünme çeşitleri Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Sürtünme Çeşitleri (Güngör, 2016)

Aşınma, bir yüzeyde başka bir maddeye göre göreceli hareketin neden olduğu ilerleyici hasardır. İki katı yüzeyde, pürüzlü temas nedeniyle en verimli şekilde yağlanan sistemlerde bile aşınma söz konusudur. Yıllarca çeşitli araştırmacılar tarafından farklı aşınma türleri kategorize edilmiştir. Genel olarak en yaygın aşınma türlerinin (1) adhezif, (2) abrazif, (3) korozif, (4) erozif, (5) kavitasyon, (6) yorulma ve (7) fretting aşınması olduğu söylenebilir. Aşınma sırasında malzemenin yüzeylerden ayrılması söz konusu olup, bu olay aşınma mekanizmalarına göre farklı şekillerde gerçekleşebilir. Belirtilen aşınma mekanizmalarından biri veya daha fazlası, belirli bir mekanik sistemde çalışıyor olabilir (Bayer, 2004; Buckley, 1981). Aşağıda aşınma türleri hakkında kısaca bilgi verilmiştir.

- **Adhezif aşınma:** İki pürüzsüz yüzey birbirine sürtündüğünde meydana gelen yüzey hasarı ve malzeme kaybı olarak karşımıza çıkar (Neale ve Gee, 2001).
- **Abrazif aşınma:** Malzeme yüzeylerinin kendisinden daha sert partiküllerle etkileşip malzeme yüzeyinden partikül kopmasıdır (Kurgan, 2020).
- **Korozif aşınma:** Korozif aşınma, malzemenin bulunduğu çevre koşullarının etkisiyle malzeme yüzeyinde oluşur. Korozif aşınma, belirli bir reaksiyon için mevcut ortamın türüne bağlı olarak ıslak veya kuru olabilir (Upadhyay ve Kumaraswamidhas, 2018).
- **Erozif aşınma:** katı parçacıkların, sıvı damlacıkların, kabarcıkların veya elektrik kıvılcıklarının yüzeylere yüksek hızda çarpmalarıyla oluşan aşınmalardır (Shibe ve Chawla, 2014).
- **Kavitasyon aşınması:** Bir sıvıda çözülmüş gazların kısmi basıncı, bir titreşim veya türbülanslı bir akış nedeniyle yerel olarak azaldığında, akışkan üzerinde bazı kabarcıklar oluşur. Basınç koşullarının hızla tersine dönmesi durumunda oluşan baloncuklar aniden patlar. Kaviteasyon çarpması, yalnızca pasif tabakanın kaldırılmasına neden olabilir ve bu durumda ortaya çıkan malzeme kaybı, kaviteasyon korozyonu olarak adlandırılır. Ancak malzeme kaybının, malzeme yüzeyinde

meydana gelen yorulma süreçleriyle ilgili olması durumunda kavitasyon aşınması veya kavitasyon erozyonu adını alır (Dular vd., 2019).

- **Yorulma aşınması:** Temas yüzeyleri arasında yağlayıcı film olsun ya da olmasın, çok yüksek yerel gerilmelerin uzun bir süre boyunca yüzeyde tekrar tekrar etmesi sonucu ortaya çıkan yorulma aşınması, malzemenin yorulmasına ve kırılmasına neden olur (Upadhyay ve Kumaraswamidhas, 2018).
- **Fretting aşınması:** Fretting aşınması, iki yüzeyin etkileşimini gerektiren ve küçük salınım genliklerine maruz kalan bir kombinasyondan meydana gelir. Temas eden yüzeyler arasındaki döngüsel hareket, her türlü fretting aşınmasında temel bileşendir (Swain vd., 2020).

Aşınma sonucu makine parçalarında yalnızca kütle kaybı değil, boyutsal değişimler ve yüzey hasarları da oluşabilir. Bu nedenle aşınma, üretimin sürekliliği ve kalitesi bakımından oldukça önem arz etmektedir. Aşınma miktarını en aza indirmek için, aşınmaya neden olan parametrelerin incelenmesi gerekmektedir (Selçuk, 1994; Davis, 2001; Yücel, 2015). Aşınmayı incelemek için birçok farklı deneysel yöntem kullanılmaktadır. Aşınmanın laboratuvar araştırmaları genellikle ya aşınmanın meydana geldiği mekanizmaları incelemek ya da pratikteki uygulamaları simüle edip aşınma oranı ve sürtünme katsayıları hakkında faydalı tasarım verileri sağlamak için yapılır. Her iki amaç için de aşınmayı etkileyebilecek tüm değişkenlerin seçimi, kontrolü ve ölçümü çok önemlidir (Hutchings ve Shipway, 2017; Kurgan, 2020). Aşınma test cihazlarında veriler, veri kaydediciler (data logger) veya cihaza özgü yazılımlar vasıtasıyla alınır. Özellikle eski tip bazı cihazların kendine özgü bir yazılımı bulunmamakta veya tasarlanan yazılımlar günümüzdeki donanımlar ve işletim sistemleri tarafından desteklenmemektedir. Bu çalışmanın öncelikli amaçlarından birisi kendine özgü yazılımı bulunmayan cihazlardan verilerin alınıp işlenebilmesini sağlamaktır. Çalışmanın diğer amacı ise, alınan verilerin kullanıcının isteklerine göre yorumlanmasını sağlamaktır. Bu sayede, cihazdan gelen verilerle çeşitli fonksiyonlar hesaplanabilir ve bu fonksiyonların eğilimleri hakkında bilgi edinilebilir.

Bir cihazdan verilerin alınıp işlenmesi için mikrodenetleyicilere ihtiyaç duyulur. Mikrodenetleyiciler evlerde, ofislerde ve araştırma ortamlarında yaygın kullanım alanı bulmuştur. Basit bir ifadeyle mikrodenetleyiciler, bir cihaz içindeyken o cihazın eylemlerini ve özelliklerini kontrol eden gömülü sistemlerdir. Çoğu zaman, cihazın tüm işlevlerini değil, cihazdaki özel bir görevi kontrol ederler. Mikrodenetleyicilerin hem yazılım hem de donanım bileşeni vardır. Mikrodenetleyiciler, popüler olarak tek kartlı bilgisayarlar olarak bilinen mikrobilgisayarlar olarak tanımlanabilir. Mikrodenetleyiciler vücuda yerleştirilebilir tıbbi cihazlarda, proses kontrol sistemlerinde, otomobil motor kontrol sistemlerinde, uzaktan kontrol sistemlerinde, endüstriyel otomasyon cihazlarında, voltmetrede, ofis ekipmanlarında, elektronik cihazlarda, elektrikli aletlerde ve oyuncaklarda bulunabilir (Rafiqzaman vd., 2011; Güven vd., 2017; Kondaveeti vd., 2021). Mikrodenetleyicileri programlamak için birçok sistem mevcut olsa da, Arduino'nun bu konuda daha yaygın olduğu söylenebilir. Açık kaynaklı bir donanım ve yazılıma sahip olması ve kullanıcı etkileşimli topluluğu olan Arduino, 2005 yılından bu yana mikro denetleyici tabanlı Arduino kartları üretmektedir (Kondaveeti vd., 2021).

Arduino geliştirme kartlarında Atmega firmasının 8 ve 32 bit mikrodenetleyicileri vardır. Arduino kütüphaneleriyle bu mikrodenetleyiciler C programlama dili kullanılarak kolay bir şekilde programlanabilir. Arduino platformuyla kullanılacak çok sayıda giriş ve çıkış aygıtı ve sensörler mevcuttur. Sensörlerden gelen veriler kullanılabilir ve dış dünyaya çıktılar (ses, ışık, hareket vs.) üretilebilir (Schultz ve van Vugt, 2016; Akar vd., 2018). Düşük maliyetli ve açık kaynak kodlu olması nedeniyle Arduino, tüm disiplinlerde yeni teknolojilerin geliştirilmesi, oluşturulması veya genişletilmesi açısından popülerdir (Varacha vd., 2012). Arduino'nun bazı uygulama alanları (Kondaveeti vd., 2021) Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Arduino'nun Uygulama Alanları

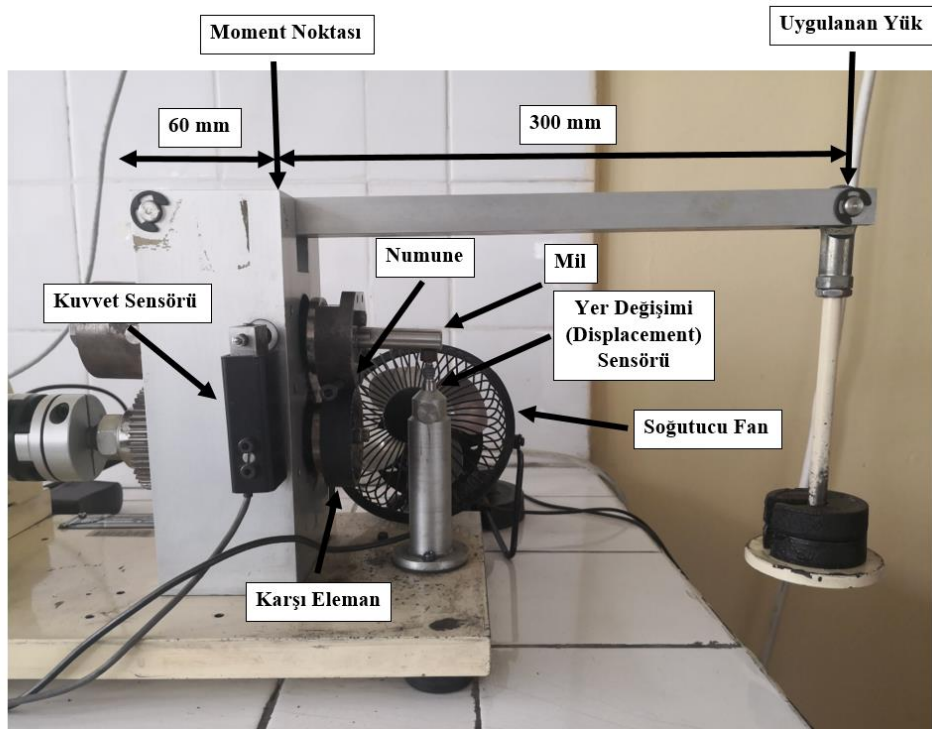
Literatürde Arduino ile tasarlanan, ışıkölçer (McClain, 2014), kimyasal ölçüm araçları (Famularo vd., 2016; Kubínová vd., 2015), hava kalitesi ölçümü (Stefanov vd., 2015; Hernández-Rodríguez vd., 2023), güneş paneli sistemleri (López-Vargas vd., 2019), çeşitli tarımsal uygulamalar (Dipova, 2017; Hemeda vd., 2017) ve çekme testi cihazı (Arrizabalaga vd., 2017; Jarkovsky ve Rokitanského, 2018; Zariatin vd., 2023) gibi birçok örnek bulunmaktadır. Ancak, literatürde aşınma test cihazındaki verilerin Arduino vb. geliştirme kartları aracılığıyla alınması ve bu verilerin geliştirilen bir yazılım yardımıyla işlenmesi konusunda bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu kapsamda, Arduino (Nano) geliştirme kartı kullanılarak, Sürtünme ve Aşınma Test Cihazı'nın analog sinyal çıkışlarından verilerin alınıp işlenmesi amaçlanmıştır. Arduino ile bilgisayar arasında verilerin aktarımı ve işlenmesi için Object Pascal dilinde derleyicinin entegre olduğu, açık kaynak kodlu Lazarus uygulaması kullanılmıştır. Lazarus'ta buton, metin kutusu vb. bileşenler istenen yerlere sürüklenip bırakılarak kolay bir şekilde uygulama arayüzleri oluşturulabilmektedir. Tasarlanan program birçok farklı işletim sistemleri için derlenebilmektedir. Ayrıca, birçok farklı uygulama alanlarını içeren zengin kütüphanesi bulunmaktadır (Url-1). Geliştirilen programda, Sürtünme ve Aşınma Test Cihazı'ndan gelen analog sinyaller aşınma derinliği (displacement) ve sürtünme kuvveti verilerine dönüştürülmüş, bu verilerden de sürtünme katsayısı hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler grafik olarak çizdirilmiş, ayrıca verilerin diğer uygulamalarda kullanılabilmesi için csv formatında kaydedilmesi sağlanmıştır.

2. Materyal ve Metod

Aşınma testleri, SCÜ Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde bulunan Plint TE-53 Çok Amaçlı Sürtünme ve Aşınma Test Cihazı'nda (Şekil 4) gerçekleştirilmiştir. Numunenin yerleşimi, cihazda bulunan sensörlerin konumları ve moment noktası Şekil 5'te verilmiştir. Numune-karşı elemanın yerleşimi blok-disk şeklinde olmaktadır. Numune olarak 950 °C'de 1 saat süreyle sinterlenen demir esaslı numune, karşı eleman olarak 600 kum SiC zımpara kağıdı yapıştırılmış disk kullanılmıştır. Numunedeki ısınmayı azaltmak için soğutucu fan kullanılmaktadır. Sürtünme kuvveti numuneye teğetsel olarak yerleştirilmiş kuvvet sensöründen alınmaktadır. Normal kuvvet ise moment dengesi ile hesaplanmaktadır. Moment noktasının sol ve sağ tarafı arasında 1'e 5 oranı (60/300) bulunmaktadır. Cihazın kataloğunda numuneye etkiyen normal kuvvet $42 + 5 \times$ asılı yük olarak verilmiştir. Aşınma derinliği ise yer değişimi (displacement) sensörü ile belirlenmektedir. Numune aşındıkça mil aşağı hareket etmekte, bu sayede aşınma derinliği bulunmaktadır.



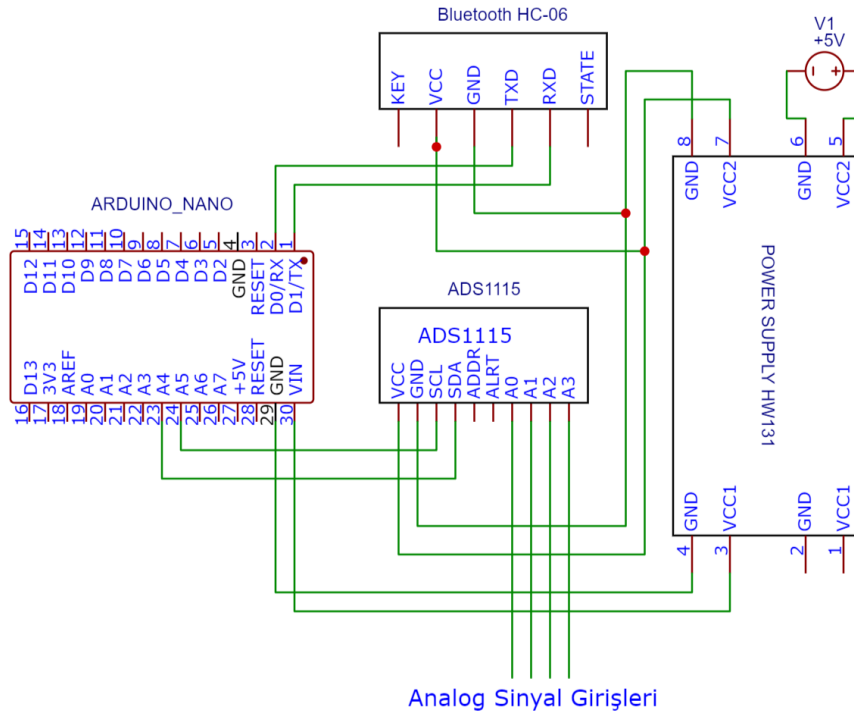
Şekil 4. Plint TE-53 Çok Amaçlı Sürtünme ve Aşınma Test Cihazı



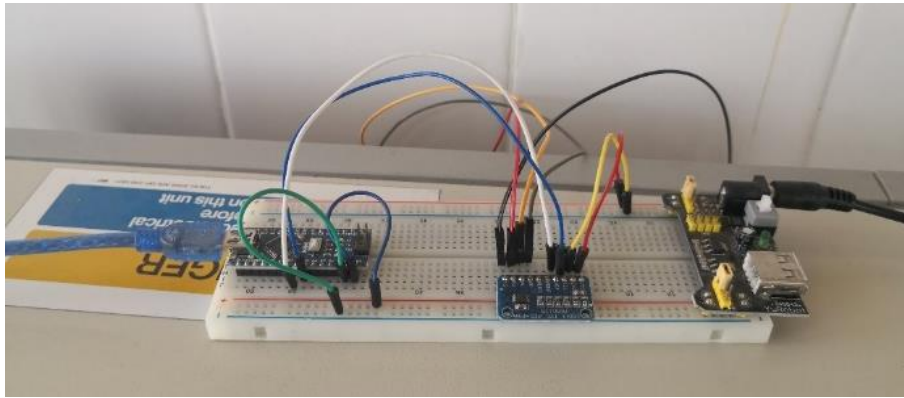
Şekil 5. Aşınma Test Cihazında Numune Yerleşimi, Sensör Konumları Ve Moment Noktasının Gösterimi

Cihazdan gelen analog sinyallerin (voltaj) dönüştürülmesinde, sinyalleri yüksek hassasiyette almak için 16-bit analog dijital sinyal dönüştürücü (ADS 1115) modülü, uzaktan bağlantı sağlanabilmesi için HC-06 Bluetooth modülü kullanılmıştır. Gerekli güç ihtiyacı HW-131 güç modülünden sağlanmıştır. Bağlantı şeması Şekil 6'da gösterilmiştir.

Arduino Nano geliştirme kartı ile kullanılan modüllerin bağlantıları breadboard üzerinde jumper kablolar kullanılarak yapılmıştır (Şekil 7). ADS 1115 modülüne cihazdaki analog sinyallerin aktarılabilmesi için bir ucu jumper bir ucu krokodil kablolar kullanılarak cihazla bağlantı yapılmıştır (Şekil 8).



Şekil 6. Bağlantı Şeması



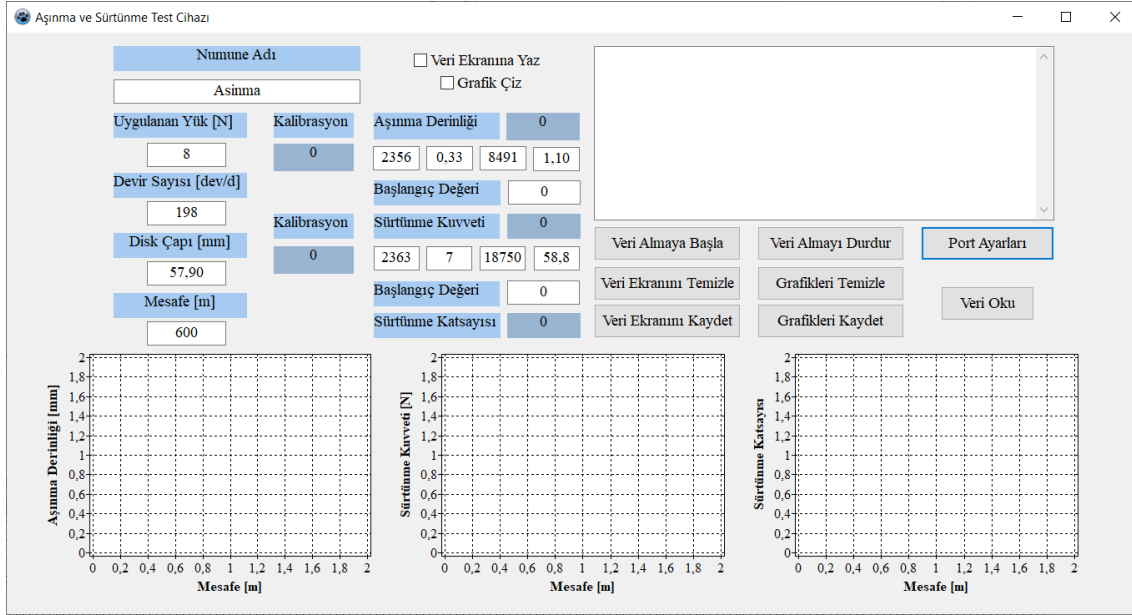
Şekil 7. Arduino Nano Geliştirme Kartı ve Bağlantıların Yerleşimleri



Şekil 8. Cihazın Analog Sinyal Çıktılarındaki Bağlantı

ADS 1115 modülünün 0-1, 2-3 kanallarındaki sinyaller readADC_Differential fonksiyonu ile okunmuştur. Micros fonksiyonu ile de verilerin okunması arasında geçen süre bulunmuştur. Bulunan değerler, print fonksiyonu ile serial porta yazdırılmıştır.

Arduino, USB ile bilgisayara bağlandığında verileri bilgisayara göndermek ve almak için yeni bir COM Port oluşturmaktadır. Ayrıca bluetooth modülüne bilgisayardan bağlanıldığında da bilgisayarda otomatik olarak COM Port oluşmaktadır. Veriler bu port aracılığı ile kullanılabilir. Porttan gelen verileri kullanabilmek için Lazarus'ta LazSerial kütüphanesi kullanılmıştır. Cihazdan gelen verilerin kalibre edilmesi için farklı yüklemeler yapılmış, cihazın panelinden okunan değer ile sensörden gelen veriler okunmuştur. Benzer şekilde cihazdaki yer değişimi sensörü farklı konumlarda ayarlanarak, ADS 1115 sensöründeki değer ile cihazın panelindeki değerler okunmuştur. Programın bulunan bu değerler arasında interpolasyon yaparak cihazdan alınan voltaj sinyallerini sürtünme kuvveti ve aşınma derinliği verilerine dönüştürmesi sağlanmıştır. Ayrıca kalibrasyonun zaman zaman yenilenmesi veya farklı cihazlara uyarlanabilmesi için bulunan değerler metin kutularına girilerek değişken haline getirilmiştir. Kullanıcının uyguladığı asılı yük, devir sayısı ve aşındırıcı diskin çapını metin kutularına girmesi sağlanmış, program ise devir sayısı, zaman ve disk çapını kullanarak mesafeyi ve sürtünme katsayısını (sürtünme kuvvetinin uygulanan normal kuvvete bölünmesiyle) hesaplamıştır. Program yaptığı tüm hesaplamaları Memo bileşenine csv formatına uygun halde yazmıştır. Chart bileşenlerine de grafik olarak çizdirmiştir. Aşınma testi bittiğinde sonuçları kaydetmek ve temizlemek için butonlar konulmuştur. Ayrıca kaydedilen verilere yeniden ulaşabilmek için Veri Oku butonu yerleştirilmiştir. Programın genel görünümü Şekil 9'da verilmiştir.

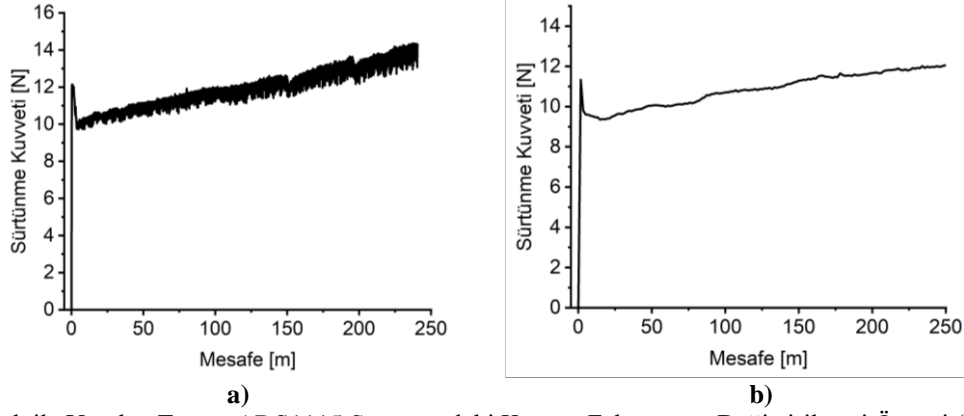


Şekil 9. Aşınma Test Programı

Yapılan testler, 0,6 m/s kayma hızında, 42, 62 ve 82 N yük altında kuru kayma koşullarında, 600 kum SiC zımpara kağıdı yapılandırılmış karşı eleman ile gerçekleştirilmiştir. Karşı eleman olarak, zımpara kağıdı kullanıldığı için, baskın aşınma türünün abrazif olduğu söylenebilir.

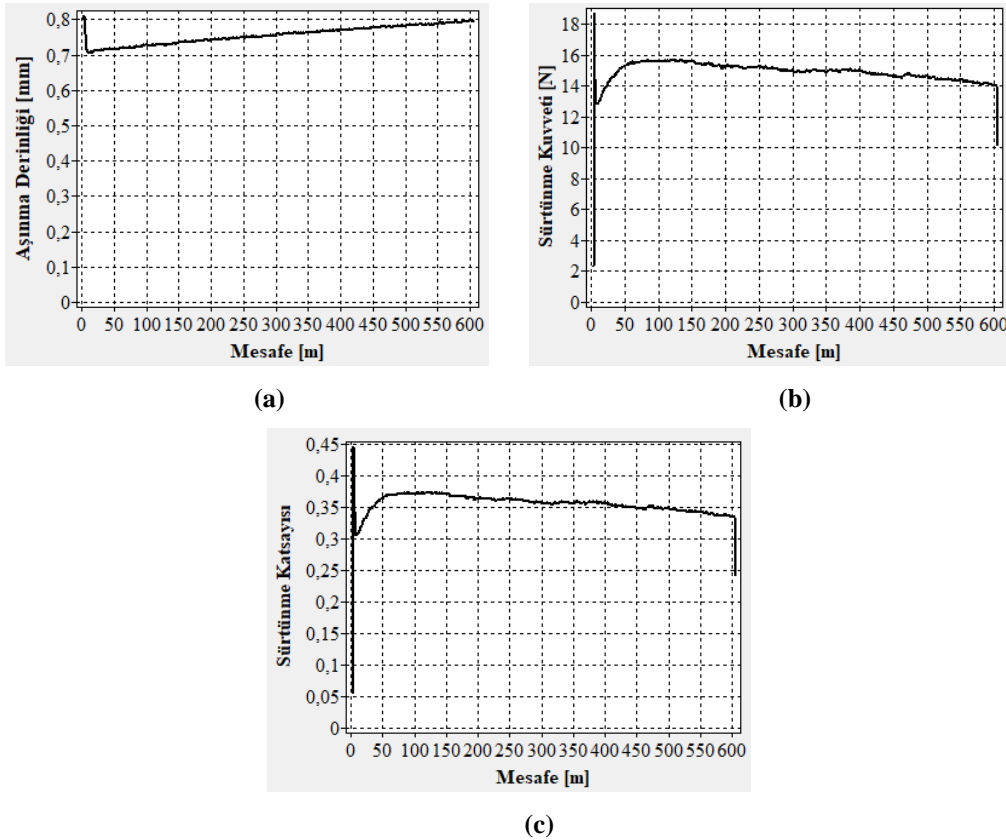
3. Sonuçlar

Yapılan ilk testlerde alınan verilerin cihaz paneline göre çok fazla oynadığı elde edilen grafiklerin ise gürültülü olduğu görülmüştür (Şekil 10-a). ADS1115 modülünde ölçüm aralığı kazanç faktörü ile belirlenmektedir. ADS1115 modülünün standart ayarında kazanç faktörü ± 6.144 V aralığındadır. Cihazın çıkışındaki analog sinyaller multimetre ile ölçüldüğünde aşınma derinliği sinyalinin 2 V civarında, kuvvet sinyalinin ise 50 mV civarında olduğu görülmüştür. Bu nedenle standart kazanç faktörü kullanıldığında, ölçüm hassasiyeti açısından uygun olmamaktadır. Grafikteki gürültünün de bundan kaynaklandığı tespit edilmiştir. Arduino kodlarında sensörden veri okuma öncesi kazanç faktörü GAIN_ONE ve GAIN_EIGHT fonksiyonları ile değiştirilerek, aşınma derinliği için ± 4.096 V, sürtünme kuvveti için ise ± 0.512 V olarak ayarlanmıştır. Bu sayede ADS 1115 modülünden gelen değerlerin daha hassas olması sağlanmış ve grafikleri gürültü giderilmiştir (Şekil 10-b). En düşük ve en yüksek kuvvet değerleri için ADS115 sensöründen alınan ortalama değerler (2363'e 3,5 N; 18750'e 29,4 N) ile benzer şekilde en düşük ve en yüksek aşınma derinliği için alınan ortalama değerler (2356'e 0,33 mm; 8491'e 1,10 mm) programa girilmiştir. Kalibrasyon bu şekilde yapılmıştır. ADS 1115'ten gelecek en büyük değer 16-bit çözünürlüklü ölçüm yapıldığından 32768'dir. Bu nedenle bu kalibrasyon ile ölçülebilecek en büyük sürtünme kuvveti değeri 51,38 N olacaktır. Bu değerın üstüne çıkılması durumunda kazanç faktörünün değiştirilmesi gerekir.

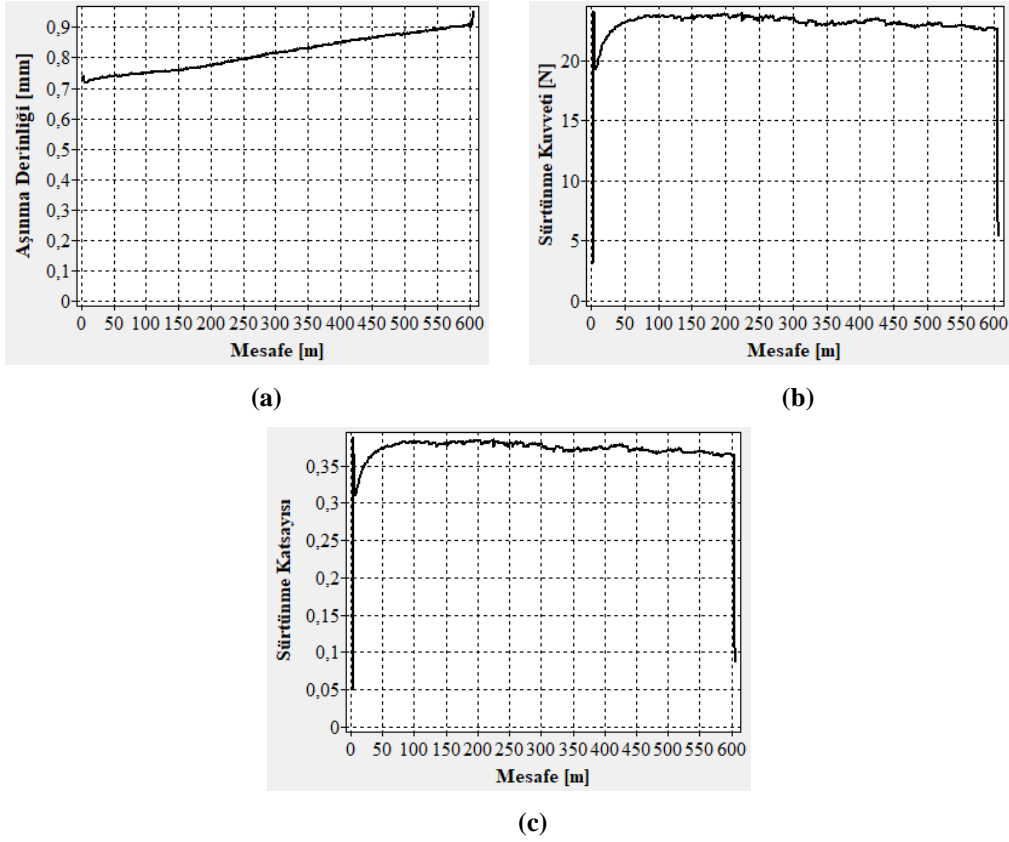


Şekil 10. 42 N Yük ile Yapılan Testte, ADS1115 Sensöründeki Kazanç Faktörünün Değiştirilmesi Öncesi (a) Ve Sonrası (b) Sürtünme Kuvveti Grafiği

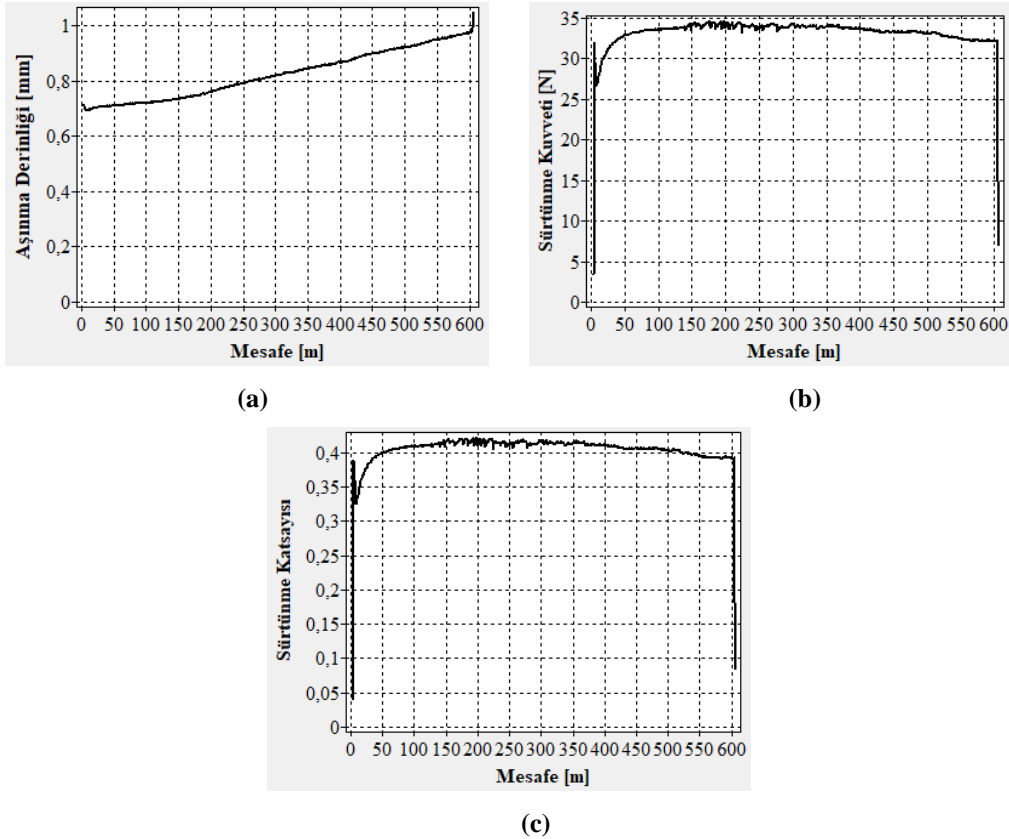
Yapılan testlerde bazen veri akışının durduğu kendiliğinden devam etmediği görülmüştür. Bu gibi sorunlarda veri kaybının yaşanmaması için Lazarus'ta Timer bileşeni eklenmiş her 2 sn'de porttan veri gelip gelmediği kontrol edilmiş, veri gelmediğinde port kapatılmış, 3 sn sonra geri açılmıştır. Bu sayede en az kayıpla veri akışının devamı sağlanmıştır. Programda herhangi problem olup olmadığını anlamak için, farklı parametrelerde birçok aşınma testi yapılmıştır. Yapılan birçok aşınma testi sonucunda programın sorunsuz bir şekilde çalıştığı görülmüştür. 42, 62 ve 82 N yük ile yapılan aşınma testlerine ait grafikler sırasıyla Şekil 11, 12, 13'te verilmiştir.



Şekil 11. Programdan Alınan a) Aşınma Derinliği b) Sürtünme Kuvveti c) Sürtünme Katsayısı Grafiği (42 N).



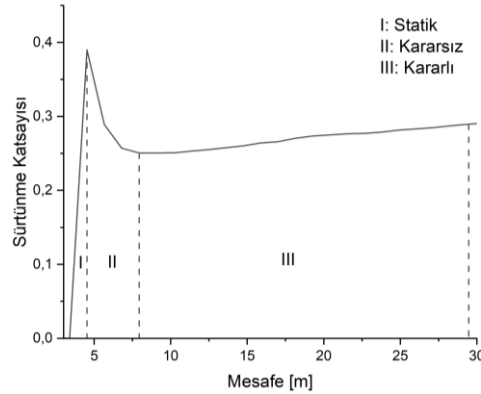
Şekil 12. Programdan Alınan a) Aşınma Derinliği b) Sürtünme Kuvveti c) Sürtünme Katsayısı Grafiği (62 N).



Şekil 13. Programdan Alınan a) Aşınma Derinliği b) Sürtünme Kuvveti c) Sürtünme Katsayısı Grafiği (82 N).

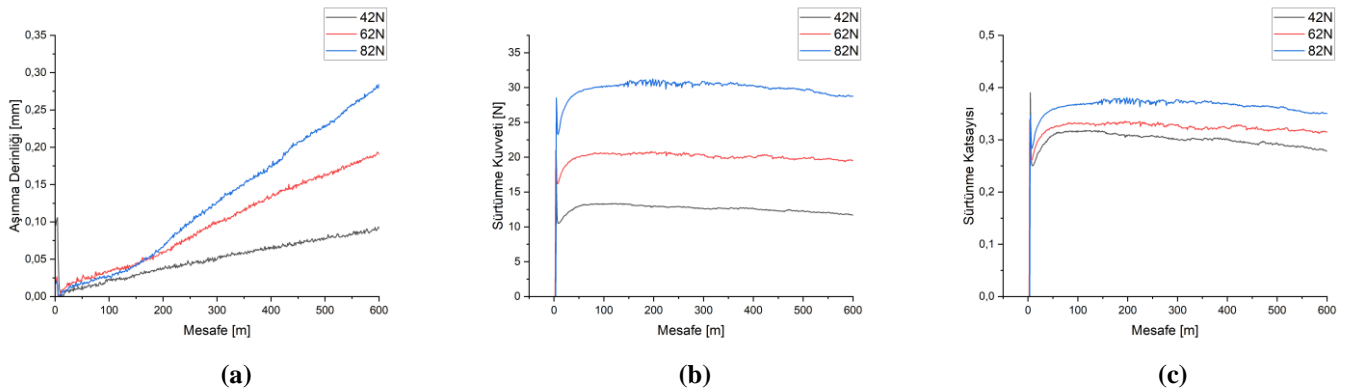
Aşınma derinliği grafiklerinde numunede farklı bölgeler (farklı faz bölgeleri veya kaplama vb.) bulunmadığı için lineere yakın bir artış görülmüştür. Sürtünme kuvveti ve katsayısı grafiklerinde ise statik, kararsız ve kararlı olmak üzere 3 farklı bölge oluşmaktadır.

Bu bölgeler Şekil 14'te gösterilmiştir. Literatürde, farklı malzemeler ve karşı elemanlarla gerçekleştirilen birçok aşınma testinde (Cetinel ve Özyayın, 2022; Fang, 2020; Günen, 2022; Hardell, 2014) benzer bölgelerin oluştuğu görülmektedir. Sürtünme kuvveti ve katsayısı değerleri ise kullanılan malzeme, karşı eleman ve aşınma test tipine (blok-disk, pin-disk vb.) göre değişiklik göstermektedir.



Şekil 14. Aşınma Bölgeleri

Farklı parametrelerin etkisi incelenmek istendiğinde programdan kaydedilen csv dosyaları çeşitli programlara aktararak sorunsuz bir şekilde grafikler oluşturulmuştur. Örneğin farklı kuvvetlerde yapılan aşınma testlerine ait verilerin Origin Pro Öğrenci Sürümü'nde yüke bağlı olarak çizdirilen örnek grafikler Şekil 15'te görülmektedir.



Şekil 15. Yüke Bağlı Olarak a) Aşınma Derinliği b) Sürtünme Kuvveti c) Sürtünme Katsayısı Grafiği

4. Tartışma

- Arduino Nano ve Lazarus kullanılarak geliştirilen programda aşınma test cihazının analog sinyal çıkışları kullanılarak veriler sorunsuz bir şekilde bilgisayara aktarılmıştır. Sürtünme kuvveti verilerinin, uygulanan yüke bölünmesiyle sürtünme katsayıları hesaplanmıştır. Programa girilen devir sayısı ve karşı elemanın disk çapı sayesinde mesafe belirlenmiştir. Bu sayede, belirli mesafeye karşılık gelen aşınma derinliği, sürtünme kuvveti ve katsayısı grafikleri çizdirilebilmiştir.
- Bu yöntemin, sinyal çıkışı olan birçok cihazda rahatlıkla kullanılabilceği söylenebilir. Bu sayede eski tip cihazlar yeni nesil teknolojilere uyumlu hale getirilebilir.
- Kaydedilen veriler yeniden açıldığında, yeniden kalibrasyon veya çeşitli düzenlemeler yapılmasına olanak sağlanabilir.
- Tasarlanan programda her yeni test için veriler kaydedilmekte daha sonra veri ekranı temizlenmektedir. Farklı parametrelerin incelenmesi için, yeni testlerin grafiklerinin eski testlerin üstüne çizdirilmesi sağlanabilir. Örneğin, aynı devirde daha fazla bir yüklemeye yapıldığında, yükün artışının etkisi test esnasında görülebilir.
- Cihazın çalıştırılması kontrol panelindeki açma ve motor çalıştırma butonları ile yapılmaktadır. Bu butonlar da Arduino'ya entegre edilirse, cihaz otomatik çalıştırılabilir, belirlenen mesafede durdurulabilir, ani yük değişimleri olduğunda otomatik durabilir veya çeşitli uyarılar verebilir.

Kaynaklar

- Akar, F., Aslay, F., & Ceylan, Y. (2018). Arduino ile Uzaktan Switch Konfigürasyonu Yönetimi Tasarımı. *Erzincan University Journal of Science and Technology*, 11(3):571-575. doi:10.18185/erzifbed.422928
- Arrizabalaga, J. H., Simmons, A. D., & Nollert, M. U. (2017). Fabrication of an economical Arduino-based uniaxial tensile tester. Davis, J.R. (ed.) (2001). *Principles of Friction and Wear, Surface engineering for corrosion and wear resistance*. ASM international, Ohio.
- Bayer, R. J. (2004). *Terminology and Classifications, Mechanical Wear Fundamentals and Testing, Revised and Expanded*. Marcel Dekker Inc., 1-5, New York, USA.
- Buckley, D. H. (1981). Chapter 7: Wear, Surface effects in adhesion, friction, wear, and lubrication. *Elsevier Scientific Publishing Company*, 429-509, Amsterdam, Netherlands.
- Çetinel, H., Özeydin, D. (2022). Wear Behavior of Boronized Fe-Based Mmc Produced by Powder Metallurgy. *SSRN Electronic Journal*.
- Dipova, N. (2017). Design of low cost and innovative data acquisition in soil mechanics Testing using open source hardware. *The Eurasia Proceedings of Science Technology Engineering and Mathematics*, (1), 104-110.
- Dular, M., Požar, T., Zevnik, J., Petkovšek, R. (2019). High speed observation of damage created by a collapse of a single cavitation bubble. *Wear*, 418–419(July 2018), 13–23.
- Famularo, N., Kholod, Y., & Kosenkov, D. (2016). Integrating chemistry laboratory instrumentation into the industrial internet: building, programming, and experimenting with an automatic titrator. *Journal of Chemical Education*, 93(1), 175-181.
- Fang, H., Xu, F., Zhang, G. (2020). Investigation of Dry Sliding Wear Behavior of Pack Boriding Fe-Based Powder Metallurgy. *Integrated Ferroelectrics*, 208(1), 67–82.
- Günen, A., Keddani, M., Erdoğan, A., Karakaş, M. S. (2022). Pack-Boriding of Monel 400: Microstructural Characterization and Boriding Kinetics. *Metals and Materials International*, 28(8), 1851–1863.
- Güngör, K. (2016). Sinterlenmiş bronz esaslı kaymalı yataklarda polimer kullanımının tribolojik özelliklere etkisi. Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya.
- Güven, Y., Coşgun, E., Kocaoğlu, S., Gezici, H., & Yılmazlar, E. (2017). Understanding the concept of microcontroller based systems to choose the best hardware for applications, *Res. Inventory Int. J. Eng. Sci.* 7 (38).
- Halling, J. (1978). *Principles of Tribology*. The Macmillan Press Ltd, UK.
- Hardell, J., Yousfi, A., Lund, M., Pelcastre, L., Prakash, B. (2014). Abrasive wear behaviour of hardened high strength boron steel. *Tribology-Materials, Surfaces & Interfaces*, 8(2), 90-97.
- Hemeda, S. G., Aboukarima, A. M., & Minyawi, M. (2017). Developing a logging unit for measuring and recording power data using Arduino board. *Misr Journal of Agricultural Engineering*, 34(4), 2053-2072.
- Hernández-Rodríguez, E., González-Rivero, R. A., Schalm, O., Martínez, A., Hernández, L., Alejo-Sánchez, D., ... & Jacobs, W. (2023). Reliability Testing of a Low-Cost, Multi-Purpose Arduino-Based Data Logger Deployed in Several Applications Such as Outdoor Air Quality, Human Activity, Motion, and Exhaust Gas Monitoring. *Sensors*, 23(17), 7412.
- Hutchings, I., Shipway, P. (2016). Chapter 5: Sliding Wear, Friction and Wear of Engineering Materials Second Edition, *Elsevier Ltd*, 107-164, Butterworth-Heinemann.
- Jarkovsky, R., & Rokitanského, C. (2018). Testing device for tensile test based on Arduino. *WSEAS Transactions on Systems and Control Archive*, 13, 568-572.
- Kondaveeti, H. K., Kumaravelu, N. K., Vanambathina, S. D., Mathe, S. E., & Vappangi, S. (2021). A systematic literature review on prototyping with Arduino: Applications, challenges, advantages, and limitations. *Computer Science Review*, 40, 100364.

- Kubínová, S., & Šlégr, J. (2015). ChemDuino: Adapting Arduino for low-cost chemical measurements in lecture and laboratory.
- López-Vargas, A., Fuentes, M., García, M. V., & Muñoz-Rodríguez, F. J. (2019). Low-Cost datalogger intended for remote monitoring of solar photovoltaic standalone systems based on Arduino™. *IEEE Sensors Journal*, 19(11), 4308-4320.
- Kurgan, N. (2020). MAK453 - Triboloji Ders Notları. *Ondokuzmayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü*.
- McClain, R. L. (2014). Construction of a Photometer as an Instructional Tool for Electronics and Instrumentation. *Journal of Chemical Education*, 91(5), 747-750.
- Neale, M. J., Gee, M. (2001). Chapter 2: Industrial Wear Problems, Guide to Wear Problems and Testing for Industry, *William Andrew Incorporated*, 3-31, New York, USA.
- Rafiqzaman, M. (2011). Microcontroller Theory and Applications with the PIC18F, 1st. ed., Wiley Publishing, 2011.
- Schultz, B.G., & van Vugt, F.T. (2016). Tap Arduino: An Arduino microcontroller for low-latency auditory feedback in sensorimotor synchronization experiments. *Behav. Res.* 48:1591–1607. doi: 10.3758/s13428-015-0671-3
- Selçuk, B. (1994). Borlanmış AISI 1020 ve 5115 çeliklerinin sürtünme ve aşınma davranışlarının incelenmesi. Doktora Tezi. Erciyes Üniversitesi, Kayseri.
- Shibe, V., Chawla, V. (2014). A Review of Surface Modification Techniques in Enhancing the Erosion Resistance of Engineering Components. *International Journal of Research in Mechanical Engineering & Technology*, 4, 2249-5762.
- Stefanov, B. I., Lebrun, D., Mattsson, A., Granqvist, C. G., & Österlund, L. (2015). Demonstrating online monitoring of air pollutant photodegradation in a 3D printed gas-phase photocatalysis reactor. *Journal of Chemical Education*, 92(4), 678-682.
- Swain, B., Bhuyan, S., Behera, R., Mohapatra, S. S., Behera, A. (2020). Wear: A Serious Problem in Industry. Patnaik, A., Singh, T., Kukshal, V. (Ed.), *Tribology in Materials and Manufacturing*. IntechOpen.
- Upadhyay, R. K., Kumaraswamidhas, L. A. (2018). Chapter 11: Bearing failure issues and corrective measures through surface engineering, Makhlof, A. S. H., Aliofkhazraei M. (Ed.), *Handbook of Materials Failure Analysis*. Elsevier Ltd, 209–233, Butterworth-Heinemann.
- Url-1 <http://www.lazarus-ide.org/index.php?page=features> Erişim: 15 Ekim 2023
- Varacha, P., Mastorakis, N., Jasek, R., Pospisilik, M., Chramcov, B., & Samek, D. (2012). Technical devices for supervising of a household via internet based on Arduino microcontroller. *Advances in Applied Information Science*, WSEAS Press, ss 252–257.
- Wen, S., & Huang, P. (2012). Part II Friction And Wear, Principles of tribology. John Wiley & Sons (Asia) Pte Ltd, Tsingua University Press, China.
- Yücel, A. (2015). Bor karbür takviyeli metal matrisli kompozitlerden kam üretiminin araştırılması. Doktora Tezi. Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas.
- Zariatin, D. L., Kurniawan, Y., & Afika, N. R. (2023). Development of Data Acquisition System on an Arduino-Based Tensile Test Machine for Composite Materials. *Jurnal Asimetrik: Jurnal Ilmiah Rekayasa dan Inovasi*, 331-340.