



# Academic Research Journal of Technical Vocational Schools

artes@cumhuriyet.edu.tr

Founded: 2023

Available online, ISSN: 2822-5880

Publisher: Sivas Cumhuriyet Üniversitesi

## Experimental Investigation of Dynamic Friction Coefficient of AISI 1040 and AISI 4140 Steels

Netice Duman <sup>1,a\*</sup>, Burhan Selçuk <sup>2,b</sup>

<sup>1</sup> Department of Machinery and Metal Technologies, Sivas Vocational School of Technical Sciences, Sivas Cumhuriyet University, Sivas, Türkiye

<sup>2</sup> Department of Mechanical Engineering, Engineering Faculty, Sivas Cumhuriyet University, Sivas, Türkiye

\*Corresponding author

### Research Article

#### History

Received: 11/12/2023

Accepted: 27/12/2023

### ABSTRACT

A detailed study of the frictional behaviour of AISI 1040 and AISI 4140 steels, which are widely used in various engineering applications, is important for improving the performance of machines and optimising their durability. In this study, the factors affecting sliding friction and dynamic friction coefficients of steel materials are reviewed in the literature and the results of experimental studies on AISI 1040 and AISI 4140 steels are evaluated. Based on the data obtained under various experimental conditions, the effects of factors such as contact load, sliding speed, sliding time and surface roughness on the friction coefficients of steels are analysed in detail.

**Keywords:** Friction, Friction coefficient, Steel material

## AISI 1040 ve AISI 4140 Çeliklerinin Dinamik Sürtünme Katsayısının Deneysel İncelenmesi

#### Süreç

Geliş: 11/12/2023

Kabul: 27/12/2023

### Öz

Çeşitli mühendislik uygulamalarında yaygın olarak kullanılan AISI 1040 ve AISI 4140 çeliklerinin sürtünme davranışlarının detaylı bir şekilde incelenmesi, makinelerin performansını artırmak ve dayanıklılıklarını optimize etmek açısından önemlidir. Bu çalışmada, kayma sürtünmesi ve çelik malzemelerin dinamik sürtünme katsayılarını etkileyen faktörlerin literatür taraması yapılarak, AISI1040 ve AISI4140 çelikleri üzerinde gerçekleştirilen deneysel çalışmaların sonuçları değerlendirilmiştir. Çeşitli deney koşullarında elde edilen verilere dayanarak, temas yükü, kayma hızı, kayma süresi ve yüzey pürüzlülüğü gibi faktörlerin çeliklerin sürtünme katsayıları üzerindeki etkileri detaylı bir şekilde incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Sürtünme, Sürtünme katsayısı, Çelik malzeme

#### Copyright



This work is licensed under Creative Commons Attribution 4.0 International License

<sup>a</sup> [nduman@cumhuriyet.edu.tr](mailto:nduman@cumhuriyet.edu.tr)

<sup>b</sup> <https://orcid.org/0000-0002-9926-8511>

<sup>a</sup> [selcuk@cumhuriyet.edu.tr](mailto:selcuk@cumhuriyet.edu.tr)

<sup>b</sup> <https://orcid.org/0000-0001-5617-8674>

**How to Cite:** Duman N, Selçuk B, (2023). Experimental Investigation of Dynamic Friction Coefficient of AISI 1040 and AISI 4140 Steels, Academic Research Journal of Technical Vocational Schools, 2(2):19-24

## Giriş

Makine mühendisliği alanında, malzeme bilimi ve triboloji (sürtünme, aşınma ve yağlama) konuları, endüstriyel uygulamalarda karşılaşılan zorlukların anlaşılması ve çözülmesi için kritik bir rol oynamaktadır. Bu bağlamda, çeşitli mühendislik uygulamalarında yaygın olarak kullanılan çelik malzemelerin sürtünme davranışının detaylı bir şekilde incelenmesi, makinelerin performansını artırmak ve dayanıklılıklarını optimize etmek açısından önemlidir. AISI 1040 ve AISI 4140 çelikleri, endüstride geniş bir kullanım alanına sahip olan mühendislik malzemelerindendir. Bu çeliklerin dinamik sürtünme katsayıları, özellikle yüksek yük ve hız koşullarında çalışan makinelerde performans ve dayanıklılık açısından kritik bir faktördür. Bu nedenle, AISI 1040 ve AISI 4140 çeliklerinin dinamik sürtünme katsayılarının detaylı bir şekilde incelenmesi, mühendislik uygulamalarında kullanıldıkları yerlerde daha verimli ve güvenilir sistemlerin tasarlanabilmesi için temel bir gerekliliktir.

Kayma sürtünmesi, iki yüzeyin birbirine temas ettiği noktalarda, bu yüzeylerin birbirine göre hareketi sırasında ortaya çıkan sürtünme türüdür. Bu sürtünme türü genellikle bir cismin üzerindeki yüzeyin diğer bir cisimle temas ettiği noktalarda, bu iki cismin birbirine göre kaymasından kaynaklanır. Kayma sürtünmesi, genellikle iki yüzey arasındaki mikroskobik düzeydeki yükseklik farklarından ve pürüzlerden kaynaklanır. İki yüzey birbirine göre kaydığında, bu pürüzlerin birbirine sürtünmesi sonucu enerji kaybı oluşur. Bu sürtünme, cismi hareket ettirmek için harcanan enerjiyi artırır ve genellikle sıcaklık arttıkça, yüzeyler arasındaki sürtünme de artar.

Bu makalede, çeliklerinin dinamik sürtünme katsayılarını etkileyen faktörlerin bir literatür taraması yapılarak, deneysel olarak elde edilen sonuçlar değerlendirilecektir. Ayrıca, bu malzemelerin sürtünme davranışlarındaki farklılıkların altında yatan fiziksel mekanizmaların anlaşılması, mühendislik uygulamalarında çelik malzemelerin daha etkili bir şekilde kullanılmasına olanak tanıyacaktır. Bu çalışmanın sonuçları, makinelerin dayanıklılığını artırmak, enerji verimliliğini optimize etmek ve bakım maliyetlerini düşürmek amacıyla mühendislerin karşılaştığı günlük zorluklara değerli bir katkı sağlaması beklenmektedir.

Karamış ve Selçuk (1993), yaptıkları çalışmalarında yüzey pürüzlülüğünün civata bağlantılarındaki etkisini araştırmışlardır. Tanaka ve Kusumi (1998), sürtünen diskler ve kayıcılar arasındaki elastik teması inceleyerek bir analitik yöntem geliştirmişlerdir. Espinosa vd. (2000) tarafından, takım ile iş parçası arasındaki dinamik sürtünme süresi, aksenal statik yük ve dinamik tork altında yeni bir deneysel teknik kullanılarak

araştırılmıştır. Rajagopalan ve Prakash (2001), dinamik sürtünme özelliklerini kayma mesafesi 10 mm, normal basınç 125 MPa'a kadar ve kayma hızı 15 m/s şartlarında deneysel olarak araştırmışlardır. Philippon vd. (2004), statik ve dinamik yüklemeye metal-metal malzeme için kuru sürtünme durumunda yeni bir deney cihazı tasarımı yapmışlardır. Özdemir ve Erten (2004), çelik ve sinterlenmiş karbür malzeme çiftinin oda sıcaklığında kuru sürtünme durumunda, normal kuvvet 45 N ve dönme hızı 600 d/dk olacak şekilde tüm numunelerdeki sürtünme kuvvetini Pin on disk cihazı ile ölçmüşlerdir. Er (2011) tarafından 15B35H borlu çelik malzemelerin kuru kayma şartlarında sürtünme ve aşınma davranışları deneysel olarak araştırılmıştır. Deneyler sırasında numunelerin ortalama sürtünme katsayıları, aşınma oranları ve sertlik değerleri ölçülmüştür. Chowdhury ve Nuruzzaman (2013), çalışmalarında farklı çelik malzemelerin sürtünme katsayısı ve aşınma oranını incelemiş ve karşılaştırmışlardır. Pin on disk cihazında deneyler 10, 15 ve 20 N normal yükte ve kayma hızı 1, 1,5 ve 2 m/s gerçekleştirilmiştir. Farklı çelik malzemeler için sürtünme katsayısı sürtünme süresine, normal yüke ve kaymaya göre değiştiği belirlenmiştir. Balyalı (2015), dövme işlemi uygulanmış Ti6Al4V titanyum alaşımı ve AISI 316 paslanmaz çelik malzemeler numunelerin yüzey pürüzlülüğü, sertlik, sürtünme katsayısı ve aşınma hızı değerlerindeki değişimler incelemiştir. AISI 316 paslanmaz çelik numunelerin kuru çalışma şartlarında sürtünme katsayılarında yükselme gözlemlendiği çalışmada belirtilmiştir. Ünal vd. (2015) tarafından yapılan çalışmada PTFE katkılı kompozit malzemenin paslanmaz çelik malzemeye karşı kuru sürtünme davranışı incelenmiştir. Çalışma sonucunda polimer kompozitlerin sürtünme katsayısının kayma hızının artması ile arttığı belirtilmiştir. Demir vd. (2019) pin on disk cihazında yaptıkları deneyler sonucunda cam elyaf takviyeli kompozitlerdeki sürtünme katsayısının karbon elyaf takviyeli kompozitlerdeki sürtünme katsayısından daha düşük çıktığını belirlemişlerdir. Canbaz (2023) yaptığı doktora çalışmasında, AISI52100 paslanmaz çelik bilyalara karşı AISI2205 malzemenin kuru ortamda ball-on-flat aşınma test cihazında kayma mesafesi 100 m, kayma hızı 80 mm/s, kuvvetler ise 30, 40 ve 50 N kullanılarak sürtünme kuvveti değerlerini deneysel olarak elde etmiştir.

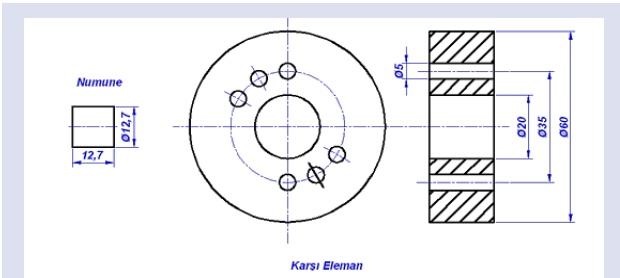
Bu çalışmada; kuru sürtünme olarak pin on ring sisteminde dinamik sürtünme katsayısı ele alınmıştır. Deneyde, bir pim (genellikle çelik veya alaşımlı bir malzeme) belirli bir kuvvetle bir bilezik üzerinde kaydırılır. Sürtünme katsayısı, pim ve bilezik arasındaki sürtünme kuvvetinin uygulanan normal kuvvete bölünmesi ile hesaplanır. Deneyler farklı yükler, hızlar ve sıcaklıklar altında tekrarlanmıştır.

## Materyal ve Metot

### Deneysel Çalışma

Bu çalışmada, pin-on-ring sisteminde AISI 1040 ve AISI 4140 çelik malzeme, temas yükü, kayma süresi, kayma hızı ve başlangıç yüzey pürüzlülüğünün sürtünme katsayısına olan etkileri araştırmak amacıyla kuru sürtünme deneyleri yapılmıştır. AISI 5115 çeliği karşı eleman olarak kullanılmıştır. Pin on- ring sisteminde kullanılan AISI 5115 malzemeye sahip aşındırıcı karşı eleman ve numune Şekil 1’de görülmektedir.

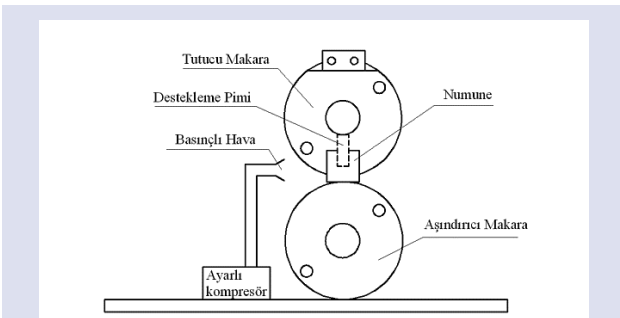
Numunelerin hazırlanması için AISI 1040 ve AISI 4140 çeliği  $\phi 16 \times 154 \text{ mm}$  ölçüsünde 5 adet silindirik çubuk işlenerek Çizelge 1’de belirtilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri (Ra) elde edilmiştir.



Şekil 1. Deneysel numunesi ve karşı elemanın yapısal resmi

Çizelge 1. Yüzey pürüzlülüklerinin elde edilmesi

Aşındırıcı Tipi	Devir sayısı (d/dk)	İlerleme Hızı V (m/s)	Yüzey Pürüzlülüğü Ra ( $\mu\text{m}$ )
80MCW-VK6	1340	0.00166	0.2
80MCW-VK6	1340	0.0020	0.8
KNUX 160405R11 uç	500	0.09	1.4
KNUX 160405R11 uç	500	0.14	2.0
P 80 Alüminyum zımpara	500	-	2.6



Şekil 2. Aşınma deney düzeneğinin şematik gösterimi

Deneylerin yapıldığı deney düzeneği Şekil 2’ de gösterilmiştir. PLINT marka çok amaçlı sürtünme ve aşınma deney cihazı kullanılarak sürtünme katsayısını tespit etmek için noktasal temas ve kuru sürtünme esas alınarak deneyler yapılmıştır. Yük miktarı, dönme hızı, yüzey pürüzlülüğü ve çalışma süresi değiştirilmiş ve her bir değişken için beş farklı değer kullanılmıştır. Deneyler

yapılırken her bir faktör değeri değiştirildiğinde diğerleri sabit tutulmuş böylece sürtünme katsayısına her bir faktörün etkisi incelenmiştir. Toplamda 146 adet sürtünme deneyi yapılmıştır.

### Deneysel Verilerin Hazırlanması

AISI 1040 numuneler için deneylerden elde edilen elde edilen veriler, sürtünme kuvveti değerleri Çizelge 2’de AISI 4140 numuneler için ise Çizelge 3’te verilmiştir. Deneyler sırasında cihaz tarafından ölçülen sürtünme kuvveti değerleri bilgisayara anlık kaydedilmiştir. Veri dosyaları saniyede 10 tane sürtünme kuvveti değeri alınarak oluşturulmuştur. Çizelgede belirtilen sürtünme kuvveti değerleri bu değerlerin ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Sürtünme kuvveti değerleri temas yükü değerine bölünerek Çizelgedeki sürtünme katsayısı değerleri elde edilmiştir.

Çizelge 2. AISI 1040 çeliğine ait deneysel ve hesaplanan veriler

Yük F(N)	Süre t(s)	Devir Sayısı n (d/dk)	Pürüzlülük Ra( $\mu\text{m}$ )	Sürtünme kuvveti Fs(N)	Sürtünme Katsayısı ( $\mu$ )
52	120	200	0.13	28.392	0.546
62	120	200	0.13	33.480	0.540
72	120	200	0.13	38.376	0.533
82	120	200	0.13	43.378	0.529
92	120	200	0.13	48.484	0.527
52	120	200	0.13	25.792	0.496
62	120	400	0.13	29.884	0.482
72	120	400	0.13	34.056	0.473
82	120	400	0.13	38.130	0.465
92	120	400	0.13	42.320	0.460
62	120	600	0.13	28.272	0.456
82	120	600	0.13	35.916	0.438
92	120	600	0.13	39.836	0.433
62	120	800	0.13	27.590	0.445
82	120	800	0.13	35.424	0.432
92	120	800	0.13	39.192	0.426
52	240	200	0.13	26.780	0.515
62	240	200	0.13	31.186	0.503
72	240	200	0.13	35.640	0.495
82	240	200	0.13	40.016	0.488
92	240	200	0.13	44.712	0.486
52	240	400	0.13	25.116	0.483
62	240	400	0.13	29.264	0.472
72	240	400	0.13	33.264	0.462
82	240	400	0.13	37.392	0.456
92	240	600	0.13	41.768	0.454
52	240	600	0.13	23.764	0.457
62	240	600	0.13	27.838	0.449
72	240	600	0.13	31.688	0.440
82	240	600	0.13	35.752	0.436
92	240	600	0.13	39.376	0.428
52	240	800	0.13	23.244	0.447
62	240	800	0.13	27.342	0.441
72	240	800	0.13	31.392	0.436
82	240	800	0.13	38.457	0.432
92	240	800	0.13	39.284	0.427
52	360	200	0.13	26.416	0.508
62	360	200	0.13	30.752	0.496
72	360	200	0.13	34.920	0.485
82	360	200	0.13	39.278	0.479
52	60	200	0.2	26.398	0.508
52	60	200	0.8	25.687	0.494
52	60	200	1.4	25.954	0.499
52	60	200	2.0	26.983	0.519
52	60	200	2.6	28.675	0.551

Çizelge 3. AISI 4140 çeliğine ait deneysel ve hesaplanan veriler

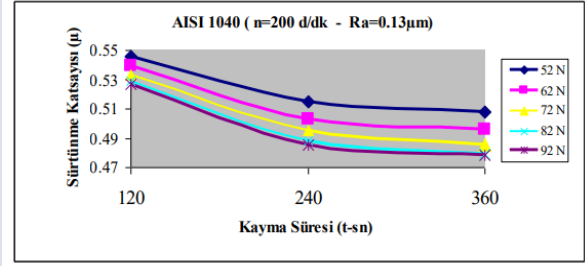
Yük F(N)	Süre t(s)	Devir Sayısı n (d/dk)	Pürüzlülük Ra( $\mu$ m)	Sürtünme kuvveti Fs(N)	Sürtünme Katsayısı ( $\mu$ )
52	60	200	1.20	25.210	0.485
52	60	300	1.20	24.024	0.462
52	60	400	1.20	23.140	0.445
52	60	500	1.20	22.506	0.433
52	60	600	1.20	22.105	0.425
52	60	700	1.20	21.840	0.420
52	60	800	1.20	21.632	0.416
62	60	200	1.20	28.312	0.457
72	60	200	1.20	35.200	0.489
82	60	200	1.20	34.933	0.426
92	60	200	1.20	38.481	0.418
72	60	300	1.20	30.910	0.429
72	60	400	1.20	29.664	0.412
72	60	500	1.20	29.210	0.406
72	60	600	1.20	28.915	0.402
72	60	700	1.20	28.714	0.399
72	60	800	1.20	28.512	0.396
92	60	300	1.20	38.603	0.420
92	60	400	1.20	37.205	0.404
92	60	500	1.20	36.432	0.396
92	60	600	1.20	36.119	0.393
92	60	700	1.20	35.862	0.390
92	60	800	1.20	35.604	0.387
52	120	200	1.20	29.619	0.570
62	120	200	1.20	34.664	0.559
72	120	200	1.20	39.511	0.549
82	120	200	1.20	44.583	0.544
92	120	200	1.20	49.846	0.542
52	240	200	1.20	28.600	0.550
62	240	200	1.20	33.232	0.536
72	240	200	1.20	37.836	0.526
82	240	200	1.20	42.722	0.521
92	240	200	1.20	47.601	0.517
52	360	200	1.20	28.200	0.542
62	360	200	1.20	32.581	0.526
72	360	200	1.20	37.310	0.518
82	360	200	1.20	42.214	0.515
92	360	200	1.20	47.242	0.514
52	180	200	1.20	27.165	0.522
52	300	200	1.20	30.180	0.580
52	60	200	0.2	26.731	0.514
52	60	200	0.8	26.572	0.511
52	60	200	1.4	27.286	0.525
52	60	200	2.0	26.227	0.504
52	60	200	2.6	28.721	0.552

## Bulgular

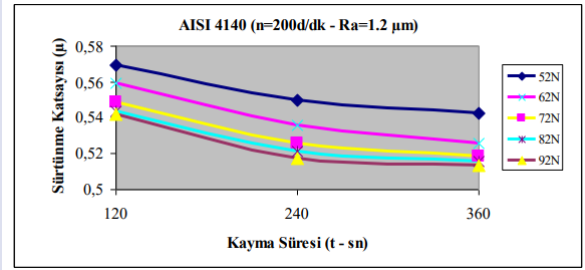
AISI 1040 ve AISI 4140 çelikleri kuru sürtünme deneyleri sonucunda elde edilen verilere göre sürtünme katsayısı grafikleri çizilerek yorumları yapılmıştır. Şekil 3' de AISI 1040 ve Şekil 4' de AISI 4140 çelikleri için sürtünme katsayısının kayma süresine bağlı olarak değişimi verilmiştir. Deneyler her iki malzeme için 200 d/dk sabit devirde, 120, 240 ve 360 s sürede beş farklı temas yükü için tekrarlanmıştır.

Şekil 3 ve Şekil 4 incelendiğinde kayma süresinin artması ile dinamik sürtünme katsayısının azalarak bir süre sonra yaklaşık sabitlendiği gözlenmiştir. Grafikte görüldüğü gibi yüksek temas yükü değerlerinde daha düşük sürtünme katsayısı olduğu görülmektedir.

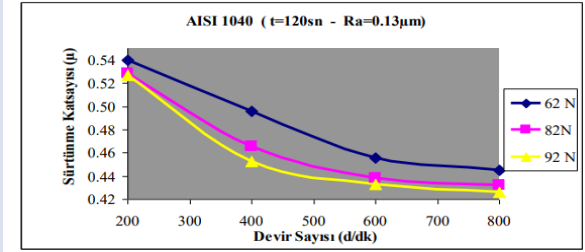
Şekil 5'te 120 s ve Şekil 6' da 240 s için AISI 1040, Şekil 7'de 60 s için AISI 4140 çelikleri için sürtünme katsayısının devir sayısına bağlı olarak değişimi görülmektedir. Devir sayısının artan değerlerinde dinamik sürtünme katsayısının azaldığı görülmektedir.



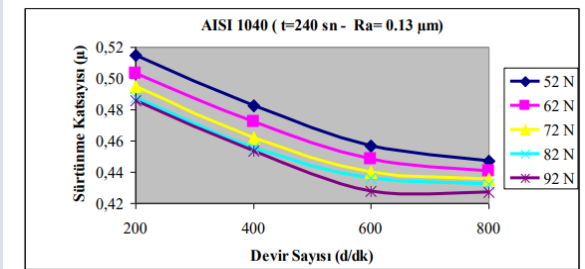
Şekil 3. AISI 1040 çelik malzeme için sürtünme katsayısının temas yüküne göre kayma süresi ile değişimi



Şekil 4. AISI 4140 çelik malzeme için sürtünme katsayısının temas yüküne göre kayma süresi ile değişimi

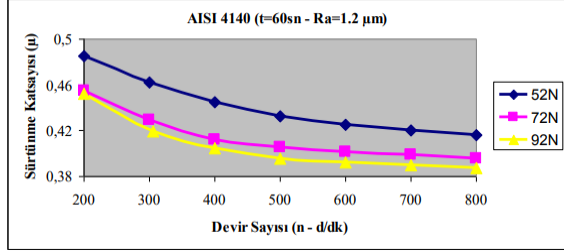


Şekil 5. AISI 1040 çeliğinde 120 s'de sürtünme katsayısının temas yüküne göre devir sayısı ile değişimi

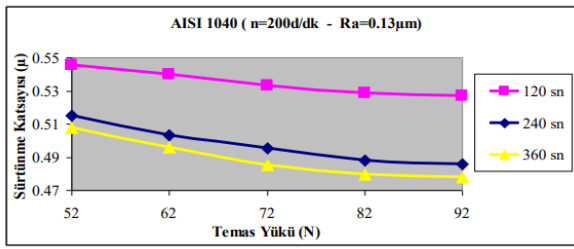


Şekil 6. AISI 1040 çeliğinde 240 s'de sürtünme katsayısının yük durumuna göre devir sayısı ile değişim grafiği

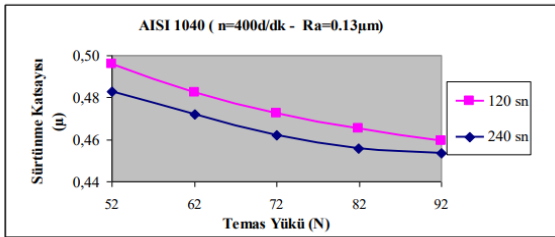
Şekil 8, şekil 9 ve şekil 10'da çelik malzemelerin farklı devirlerde sürtünme katsayısının temas yükü ile değişimi verilmiştir. Temas yükünün artması ile sürtünme katsayısının her iki devirde de azaldığı grafiklerde görülmektedir. Sürtünme katsayısının kayma süresiyle birlikte değerinin azaldığı gözlenmektedir. Şekil 11'de Sürtünme katsayısının pürüzlülük ile değişimi grafiği verilmiştir. AISI 1040 ve AISI 4140 çelikleri için farklı pürüzlülük değerlerinde sürtünme katsayısında artış görülmüştür.



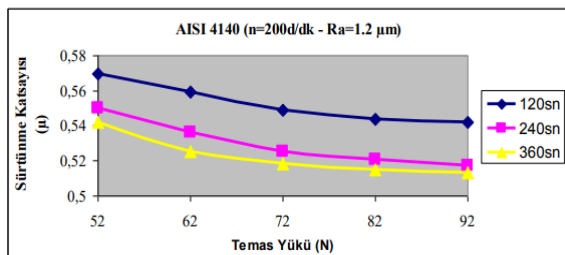
Şekil 7. AISI 4140 çeliğinde 60 s'de sürtünme katsayısının yük durumuna göre devir sayısı ile değişim grafiği



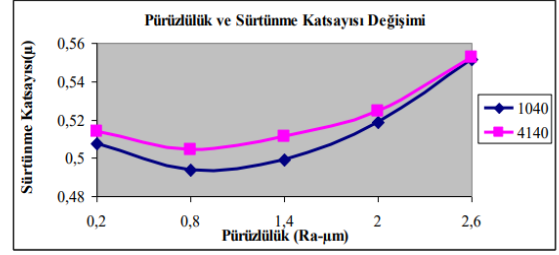
Şekil 8. AISI 1040 çeliğinin 200 d/dk devirdeki sürtünme katsayısının temas yükü ile değişimi



Şekil 9. AISI 1040 çeliğinin 400 d/dk devirdeki sürtünme katsayısının temas yükü ile değişimi



Şekil 10. AISI 4140 çeliğinde 200 d/dk devirdeki sürtünme katsayısının temas yükü ile değişimi



Şekil 11. Sürtünme katsayısının pürüzlülük ile değişimi

## Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışma, çelik malzemelerin sürtünme katsayısı üzerindeki etkilerini değerlendirmek amacıyla yapılan kapsamlı deneylerden elde edilen sonuçları özetlemektedir. Elde edilen veriler, temas yükü, kayma hızı ve kayma süresi gibi faktörlerin çeliklerin sürtünme katsayısı üzerinde belirgin bir etkisi olduğunu ortaya koymaktadır.

Deney sonuçlarına göre, temas yükü arttıkça sürtünme katsayısının azaldığı gözlenmiştir. Bu durum, temas yükünün çelik yüzeyler arasındaki mikro-pürüzleri düzleştirme eğiliminde olduğunu ve bu nedenle sürtünme katsayısının azaldığını işaret edebilir. Özellikle yüksek temas yükleri altında, çelik yüzeyler arasındaki temasın daha düzgün ve etkili olduğu gözlemlenmiştir.

Kayma hızı arttıkça sürtünme katsayısında bir azalma tespit edilmiştir. Bu durum, çelik malzemeler arasındaki kayma hızının artmasıyla birlikte, yüzeyler arasındaki sürtünme kuvvetinin azaldığını göstermektedir. Yüksek kayma hızlarında, yağlama etkisi gibi faktörlerin daha belirgin hale gelerek sürtünmeyi azalttığı düşünülmektedir.

Ayrıca, kayma süresi uzatıldığında sürtünme katsayısında bir azalma gözlemlenmiştir. Bu durum, çelik yüzeyler arasındaki sürtünmenin zamanla azaldığını ve yüzeylerin birbirine daha iyi adapte olduğunu işaret edebilir.

Pürüzlülük seviyelerinin etkisi de incelendiğinde, orta derecedeki pürüzlülüklerin sürtünme katsayısının daha hassas yüzeylere göre azaldığı, ancak pürüzlülüğün yüksek olduğu durumlarda sürtünme katsayısının arttığı gözlemlenmiştir. Bu, çelik yüzeylerin belirli bir pürüzlülük seviyesine kadar avantaj sağladığını, ancak aşırı pürüzlülük durumlarında sürtünmenin arttığını göstermektedir.

Bu bulgular, çelik malzemelerin sürtünme davranışının karmaşıklığını vurgulayarak, mühendislik uygulamalarında çelik malzemelerin seçimi ve kullanımı konusundaki tasarım kararlarını desteklemektedir. Bu çalışmanın elde ettiği sonuçlar, literatürdeki benzer çalışmalarla tutarlılık göstermekte ve çeliklerin sürtünme katsayısının kontrolüne yönelik mühendislik uygulamalarına rehberlik etme potansiyeline sahiptir.

## Beyannameler

Bu çalışma Prof. Dr. Burhan Selçuk danışmanlığında 04.02.2010 tarihinde tamamladığımız 'AISI 1040 VE AISI 4140 çeliklerinin dinamik sürtünme katsayısının cevap yüzey metodu ile incelenmesi' başlıklı yüksek lisans tezi esas alınarak hazırlanmıştır (Yüksek Lisans, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas, Türkiye, 2010).

## References

- Karamış M. B. ve Selçuk B. (1993). Analysis of The Friction Behaviour of Bolted Joints, *Wear*, Vol. 166, 73 -83
- Tanaka K. & Kusumi T. (1998). Elastic Contact and Friction Between Sliders and Circumferentially Textured Disks, *Journal of Tribology*, V120, 28 -34
- Espinosa, HD. Patenella, AJ. Fischer, M. (2000). Dynamic Friction Measurement at Sliding Velocities Representative of High Speed Machining Processes, *Journal of Tribology-Transactions of the Asme*, Volume 122, Issue 4, 834 -848
- Rajagopalan S. & Prakash V. (2001). An Experimental Method to Study High Speed Sliding Characteristics During Forward and Reverse Slip, *Wear*, Vol. 249 Issue. 8 687 -701
- Özdemir U. Erten M. (2004). Plazma Nitrürlemenin Sert Metal Plaketlerde Sürtünme Katsayısına Etkisi, *Havacılık ve Uzay teknolojileri dergisi*, cilt1, sayı 3, 29 -38
- Philippon S. Sutterb G. & Molinarib A. (2004). An Experimental Study of Friction at High Sliding Velocities *Wear*, Volume 257, 777 -784
- Chowdhury M. A.& Nuruzzaman D. M. (2013). Experimental investigation on friction and wear properties of different steel materials. *Tribology in Industry*, 35(1), 42.
- Balyalı H. A. (2015). Metalik malzemelerin bilyalı dövme uygulaması sonrası tribolojik davranışının deneysel olarak incelenmesi.
- Demir M. E., Çelik Y. H., & Kılıçkap E. (2019). Cam ve karbon elyaf takviyeli kompozitlerde elyaf cinsinin, yükün, kayma hızı ve mesafesinin abrazyon aşınmaya etkisi. *Politeknik dergisi*, 22(4), 811-817.
- Er Ü. (2011). 15B35H Borlu çeliğinin kuru kayma koşullarında sürtünme ve aşınma davranışının incelenmesi. *Journal of Science and Technology of Dumlupınar University*, (025), 75-82.
- Ünal H., Yetkin S. H. & Poyraz B. (2015). Bronz katkılı poli-tetra-flor-etilen (ptfe) kompozitlerin paslanmaz çelik malzemeye karşı aşınma ve sürtünme davranışları. *Journal of Science and Technology of Dumlupınar University*, (034), 87-98.
- Canbaz M. (2023). AISI 2205 Dupleks Paslanmaz Çelik Malzemelerin Farklı Ortamlarda Tribolojik Özelliklerinin İncelenmesi yüksek lisans tezi, Karabük Üniversitesi / Lisansüstü Eğitim Enstitüsü / Mekatronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 83s. Karabük