



POLİTEKNİK DERGİSİ

*JOURNAL of POLYTECHNIC*

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



# Kriyojenik işlem yapılmış soğuk iş takım çeliklerinin abrasif aşınma davranışlarının incelenmesi ve istatistiksel analizi

## *Investigation and a statistical analysis of abrasive wear behaviors of cryogenically treated cold work tool steels*

*Yazar(lar) (Author(s)):* Ferhat GÜL<sup>1</sup>, Hakan DİLİPAK<sup>2</sup>, Onur YAMANOĞLU<sup>3</sup>

*ORCID*<sup>1</sup>: 0000-0001-9087-8236

*ORCID*<sup>2</sup>: 0000-0003-3796-8181

*ORCID*<sup>3</sup>: 0000-0002-6390-6999

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Gül F., Dilipak H. ve Ymanoğlu O., “Kriyojenik işlem yapılmış soğuk iş takım çeliklerinin abrasif aşınma davranışlarının incelenmesi ve istatistiksel analizi”, *Politeknik Dergisi*, 24(3): 1129-1135, (2021).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

**DOI:** 10.2339/politeknik.477373

# Kriyojenik İşlem Yapılmış Soğuk İş Takım Çeliklerinin Abrasif Aşınma Davranışlarının İncelenmesi ve İstatistiksel Analizi

## Investigation and a Statistical Analysis of Abrasive Wear Behaviors of Cryogenically Treated Cold Work Tool Steels

### Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Aşınma üzerinde, en etkili parametrenin Yük (Y) olduğu tespit edilmiştir. / It has been determined that the most effective parameter on wear is Load (Y).
- ❖ Malzemeye uygulanan kriyojenik işlem, aşınmayı azaltıcı yönde bir etki göstermiştir. / The cryogenic process applied to the material has an effect of reducing wear.

### Grafik Özet (Graphical Abstract)

Bu çalışmada, kriyojenik işlem uygulanmış olan DIN 1.2379 soğuk iş takım çeliğinin, abrasif aşınma direnci araştırılmıştır. / In this study, the abrasive wear resistance of DIN 1.2379 cold work tool steel, which was cryogenically processed, was investigated.



Şekil. Çalışmanın aşamaları / Figure. Stages of the study

### Amaç (Aim)

Bu çalışmanın amacı, malzemeye uygulanan kriyojenik işlem, yük ve aşındırıcı zımpara boyutunun aşınma üzerindeki etkilerinin incelenmesidir. / The aim of this study is to examine on abrasion the effects of cryogenic process applied to the material, load and abrasive grid size.

### Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

DIN 1.2379 soğuk iş takım çeliğine, herhangi bir işlem yapılmamış, sertleştirilmiş ve iki farklı kriyojenik işlem uygulanmıştır. Bu numuneler pin on disk aşınma cihazı kullanılarak aşındırılmıştır. / DIN 1.2379 cold work tool steel is unprocessed, hardened and applied two different cryogenic processes. These samples were subjected to abrasion process by using pin disc wear device.

### Özgünlük (Originality)

Bu çalışmada, kriyojenik işlemin malzemelerin aşınma davranışı üzerindeki etkileri istatistiksel olarak incelenmiştir. / In this study, the effects of the cryogenic process on the wear behavior of materials were statistically investigated.

### Bulgular (Findings)

Zımpara aşındırıcı boyutu, yük ve malzemeye uygulanan işlemler içerisinde aşınma üzerindeki en önemli faktör, %57,9 oranında zımpara aşındırıcı boyutu olmuştur. / The most important factor on abrasion among the abrasive grid size, load and the processes applied to the material was the abrasive size of the abrasive at 57.9%.

### Sonuç (Conclusion)

Sonuç olarak, zımpara aşındırıcı boyu ve yük parametreleri, aşınmayı doğru orantılı bir şekilde etkilerken, malzemeye uygulanan işlemler aşınmayı azaltıcı yönde bir etkisi olduğu tespit edilmiştir. / As a result, it has been determined that the abrasive grid size and load parameters of the abrasive have a direct effect on the wear, while the processes applied to the material have an effect on reducing the wear.

### Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

# Kriyojenik İşlem Yapılmış Soğuk İş Takım Çeliklerinin Abrasif Aşınma Davranışlarının İncelenmesi ve İstatistiksel Analizi

*Araştırma Makalesi / Research Article*

Ferhat GÜL<sup>1</sup>, Hakan DİLİPAK<sup>2\*</sup> Onur YAMANOĞLU<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Teknoloji Fakültesi, Metalurji Malzeme Müh. Bölümü, Gazi Üniversitesi, Türkiye

<sup>2</sup> Teknoloji Fakültesi, İmalat Müh. Bölümü, Gazi Üniversitesi, Türkiye

<sup>3</sup> Teknoloji Fakültesi, Metalurji Malzeme Müh. Bölümü, Gazi Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 01.11.2018 ; Kabul/Accepted : 07.12.2020 ; Erken Görünüm/Early View : 18.01.2021)

## ÖZ

Bu çalışmada, kriyojenik işlem uygulanmış olan DIN 1.2379 soğuk iş takım çeliğinin, abrasif aşınma direnci araştırılmıştır. Bu amaçla herhangi bir işlem uygulanmamış ve farklı kriyojenik ısıl işlem uygulanmış Ø6x50 mm ebatlarındaki deney numuneleri hazırlanmıştır. 1030°C'de 1 saat östenitlenmiş olan numunelere yağda su verilmiştir. Kriyojenik işlem -140°C'de 12 saat süre ile uygulanmıştır. Temperleme işlemi, 200°C sıcaklıkta ve 2 saat süre ile gerçekleştirilmiştir. Deney parametreleri, malzemeye uygulanan işlem, yük (10, 20 ve 30 N) ve aşındırıcı zımpara boyutu (800, 1000 ve 1200 mesh) olarak belirlenmiştir. Diğer taraftan kayma hızı ve kayma mesafesi gibi parametreler sabit tutulmuştur. Deneyler sonunda elde edilen veriler üzerinde, parametrelerin etki oranlarının belirlenmesi için varyans analizi tekniği uygulanmıştır. Sonuç olarak, aşınma üzerinde en önemli parametre yük olarak belirlenirken, her üç parametrenin de aşınma oranı üzerinde etkin olduğu tespit edilmiştir. Aşınma üzerinde yük parametresinin etkisi %57.9, zımparanın etkisi %19.7 ve işlemin etkisi ise %15.6 olarak belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** DIN 1. 2379, Kriyojenik işlem, ısıl işlem, varyans analiz, minitab.

## Investigation and a Statistical Analysis of Abrasive Wear Behaviors of Cryogenically Treated Cold Work Tool Steels

### ABSTRACT

In this study, the abrasive wear resistance of the cryotreated DIN 1.2379 cold work tool steel has been investigated. Therefore, untreated and different cryotreated specimens having dimensions of Ø6x50 mm were prepared. Samples austenised at 1030°C for 1 hour were quenched in oil. The cryogenic process was applied for 12 hours at -140°C. The tempering process was carried out at 200°C for 2 hours. The process applied to the material, the load parameters (10, 20 and 30 N) and the abrasive grid size (800, 1000 and 1200 mesh) were determined as the experimental parameters. On the other hand other parameters like sliding speed and sliding distance were kept constant. In order to determine the effect ratios of the parameters on the data obtained from test results, analysis of variance technique was applied. As a result, all three parameters are found to be effective on wear rate, while the most important parameter on wear is applied load. The effect of the load parameter on abrasion was determined as 57.9%, the effect of the abrasive as 19.7% and the effect of the process as 15.6%.

**Keywords:** DIN 1. 2379, cryogenic process, heat treatment, analysis of variance, minitab.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Çelikler süneklik ve mukavemet özellikleri ile iyi bilinmekte olup, bu iki özellik çeliğin tokluk ve darbe direncine büyük değer kazandırmaktadır. Çeliklerin özellikleri, bileşiminin kontrolü ve ısıl işlem ile geliştirilebilmektedir [1]. Takım çelikleri, özellikle takımların yapılması için çok uygun olan farklı karbon ve alaşım elementi içeriğine sahip çeliklerdir. Bu malzemelerin bu uygunlukları, yüksek sertlikleri, abrasif aşınmaya dirençleri, yüksek sıcaklıktaki dirençlerinden kaynaklanmaktadır. Takım çelikleri, kesme takımları,

zımbalar ve diğer endüstriyel takımlarda kullanılmaktadır. Kesme ve şekillendirme uygulama sıcaklıklarında aşınma direncini geliştirmek için farklı takım çelikleri geliştirilmiştir [2]. Isıl işlem, metallerin fiziksel ve mekanik özelliklerini, ürün şeklini değiştirmeksizin kontrollü şekilde ısıtma ve soğutma işlemidir [3]. Takım çelikleri genel olarak ısıl işlem yapılmış halde kullanılmaktadır. Geleneksel ısıl işlem, çeliğe tokluk, aşınma direnci ve sünekliğin yanı sıra sertlik kazandırmaktadır. Uygun şekilde yapılsa dahi, geleneksel ısıl işlem, çelikte bulunan kalıntı östeniti giderememektedir. Çelik içerisinde yumuşak bir faz olarak bulunan kalıntı östenit, malzeme ömrünü azaltabilmekte ve çalışma şartları altında martenzite

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)  
e-posta : hdilipak@gazi.edu.tr

dönüşebilmektedir [2]. Bu dönüşüm endüstride yaygın olarak bilinmekte ve dönüşümden istifade edilerek TRIP çelikleri geliştirilmiş olup, deformasyon sonucu martenzite dönüşen kalıntı östenit, TRIP çeliklerinde önemli bir mikroyapı elemanıdır. [4-7]. Takım çeliklerinde oluşan bu yeni martenzit ise, iş takımları için birçok problemlere neden olabilmektedir. Bu yeni martenzit çok kırılğan olup, temperlenmiş olan martenzitten farklıdır. Dahası bu, mikro çatlaklara neden olarak ürünün ömrünü azaltmaktadır. Bu nedenle bu östenitin kontrollü şekilde martenzite dönüşümü birçok parça için önemli olmaktadır. Bu dönüşümü temin etmek için düşük sıcaklık işlemi, diğer bir deyişle kriyojenik işlem kullanılmaktadır [2]. Kriyojenik işlem, kaplama işlemlerinin aksine tüm kütleyi veya kesiti etkileyen ekonomik ve kalıcı bir işlem olmaktadır. Bu işlem, geleneksel su verme işleminin ardından yapılan, uzun süreli bir işlemdir [8]. Düşük sıcaklık işlemleri, genellikle -80 C'ye kadar soğuk işlem olarak, -196 C'e kadar ise sıvı azot içerisinde yapılan derin kriyojenik işlem olarak sınıflandırılmaktadır. Kriyojenik işlem, temperleme işleminden önce uygulanması gereken bir iyileştirme işlemidir [9]. Özelliklerinin üstün, maliyetinin uygun olması nedeniyle, şekillendirme kalıplarında kalıp malzemesi olarak yaygın şekilde kullanılan AISI D2 veya DIN 1.2379 takım çeliklerinin servis ömrünün arttırılması için geleneksel su verme ve temperleme işlemine ilave olarak kriyojenik işlemin uygulanmasının, özelliklerde önemli derecede iyileşmelere imkân sağladığı anlaşılmaktadır [10-11]. Endüstride kriyojenik işlem yapılmış olan yüksek hız çeliklerinde % 92 ile 817 oranları arasında takım ömründe gelişme olduğu beyan edilmektedir [12]. Özelliklerde en büyük gelişme, su verme ile temperleme arasında uygun ısı işlem süreçleri, zamanı, sertleştirme sıcaklığı, ısıtma ve soğutma hızı seçilmek suretiyle elde edilmektedir [2]. Kriyojenik işlem üniteleri farklı boyut ve şekillerde olabilmektedir. Bu üniteler, banyo veya sürekli tip olmak üzere ön veya üst yükleme olarak tasarlanabilmektedir. Bu iki üniteye ait örnek Şekil 1'de gösterilmiştir.

Aşınma, bazı makine parçalarının çok ağır derecede hasar görmesine neden olan bir problem olup, çalışan yüzey ile sert partiküller arasında meydana gelmektedir. Bu parçaların servis ömrünü arttırmak için uygulanan yöntemler, aşınmaya dirençli malzemelerin uygulanması ve sert aşınma yüzeyli malzeme oluşturulması esasına dayanmaktadır [1]. Bazı sistemlerde aşınmayı etkileyen faktörlerin istatistiksel analizi, bu parçaların tasarlanmasında çok önemli olmaktadır. Bunun yanında imalat ile özellikle otomotiv parçaları, makine ve imalat sanayi gibi sektörlerde, istatistiksel analizin, kalıp malzemesi gibi maliyeti çok yüksek ürünlerde çok büyük önem arz etmektedir [13-14].



Şekil 1. a) Üst yükleme b) Ön yükleme sistemine sahip kriyojenik işlem üniteleri (Cryogenic processors with top loading and front loading) [12]

Birçok aşınma çalışmasında söz konusu istatistiksel ve optimizasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir [13,15-21]. Optimizasyon işlemi, farklı kombinasyonlara dayanan nedenlerin, katsayıların tahmini ve deneysel verilerin tahmin edilmesi ve tahmin edilen modelin uygunluğunun kontrol edilmesi çalışmaları, istatistiksel analizin kapsamını oluşturmaktadır [19]. Varyans analizinin ana konusu, önemli işlem parametrelerini bulmak ve faktörlerin yüzde katkıları ile, sonuca neden olan etkileşimleri tespit etmektir. Al-% 5SiC Metal matris kompozit malzemelerin aşınma davranışı üzerinde yapılan istatistiksel çalışmada, önemli test parametrelerinin ve aşınma davranışına tesir eden etkileşimlerinin bulunması için, varyans analizinin başarılı şekilde kullanıldığı ve optimizasyon sonuçlarının geçerliliğinin onay testleri ile gerçekleştirildiği ifade edilmektedir [20]. Öte yandan Rajmohan ve arkadaşlarının SiC+mika ikili takviyeli alüminyum kompozitlerin aşınma çalışmaları sonucu gerçekleştirilen varyans analizi sonucu, kompozitlerin aşınma kaybını etkileyen ana parametrenin yük olduğu ve bunu mika ağırlık oranının takip ettiği ifade edilmektedir [17]. Öte yandan AISI D2 (DIN 1.2379) soğuk iş takım çeliğinin işlenmesinde [22], kriyojenik işlem uygulanmış farklı çelik malzemelerin farklı istatistik programları kullanılarak, aşınma ve bazı diğer özelliklerinin optimizasyonu çalışmaları gerçekleştirilmiştir [23-25].

Bu çalışma da ise kriyojenik işlemin aşınma direncini nasıl etkilediği araştırılmıştır. Bu amaçla soğuk iş takım çeliği (DIN 1.2379), farklı şartlarda kriyojenik işleme tabii tutulmuştur. Kriyojenik işlem uygulanan ve herhangi bir işlem yapılmayan malzemenin abrasif aşınma direncinin incelenmesi için pin on disk tipi aşınma cihazında deneyler gerçekleştirilmiştir. Deney parametreleri olarak belirlenen, işlem, yük ve aşındırıcı zımpara boyutları istatistiksel anlamda değerlendirilmiştir. Gerçekleştirilen varyans analizi (ANOVA) ile kontrol faktörlerinin abrasif aşınma kaybı üzerindeki etki seviyeleri belirlenmiştir.

## 2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

### 2.1. Deney Numunelerinin Hazırlanması (Preparation of Test Specimen)

Deneyisel çalışmada kullanılan DIN 1.2379 soğuk iş takım çeliğinin kimyasal bileşimi Çizelge 1'de verilmiştir.

**Çizelge 1.** DIN 1.2379 soğuk iş takım çeliğinin kimyasal bileşimi, % (Chemical composition of DIN 1.2379 cold work tool steel, %)

Si	V	Cr	Mn	Ni	C	Mo	Fe
0,235	0,756	10,49	1,66	0,89	1,5	1,10	83,9

Deneyler için soğuk iş takım çeliği, işlemsiz, su verilmiş, su verilmiş + kriyojenik işlem uygulanmış ve su verilmiş + kriyojenik işlem uygulanmış + temperlenmiş olmak üzere 4 farklı numune olarak hazırlanmıştır. Bu numunelerde ısıtma işlemi uygulanması için 1 saat boyunca 1030 °C'de östenitlenmiş ve yağda su verilmiştir. Daha sonra kriyojenik işlem uygulanması hazırlanan malzemelere -140 °C de 12 saat boyunca kriyojenik işlem uygulanmıştır. Son olarak da, temperleme işlemi uygulanan malzemelere 200 °C de 2 saat boyunca temperleme işlemi yapılmıştır. Çizelge 2'de deney numunelerine uygulanan ısıtma işlemleri verilmiştir.

**Çizelge 2.** DIN 1.2379 soğuk iş takım çeliğine uygulanan deneysel işlemler (Experimental process applied to DIN 1.2379 cold work tool steel)

A	İşlemsiz DIN 1. 2379 soğuk iş takım çeliği
B	DIN 1. 2379 soğuk iş takım çeliği 1 saat boyunca 1030 °C'de östenitlenmiş su verilmiş ve yağda soğutulmuş malzeme
C	DIN 1. 2379 soğuk iş takım çeliği 1 saat boyunca 1030 °C'de östenitlenmiş su verilmiş ve yağda soğutulmuş daha sonra -140 °C'de 12 saat boyunca kriyojenik işlem uygulanmış malzeme
D	DIN 1. 2379 soğuk iş takım çeliğine 1 saat boyunca 1030 °C'de östenitlenmiş su verilmiş ve yağda soğutulmuş daha sonra ise -140 °C'de 12 saat boyunca kriyojenik işlem uygulanmış ve son olarak 200 °C'de 2 saat boyunca temperleme işlemi yapılmış malzeme

### 2.2. Sertlik Testi (Hardness Test)

Sertlik testleri için DIN 1.2379 soğuk iş takım çeliklerinden kesilen 6 mm çapında ve 10 mm uzunluğundaki numunelere, gerekli zımparalama işlemleri yapıldıktan sonra, Instron Wolpert marka Vickers sertlik ölçüm cihazında 30 kg yük kullanılarak HV30 sertlik testleri yapılmıştır. Her bir numune için 5 sertlik testi yapılmış ve bu değerlerin ortalaması alınmıştır.

### 2.3. İstatistiksel Analiz (Static analysis)

Kriyojenik işlem yapılmış olan DIN 1.2379 takım çeliği malzemelerin aşınma verilerinin istatistiksel olarak

değerlendirilmesi sürecinde numuneye uygulanan işlem, uygulanan yük ve zımpara boyutu parametre olarak seçilmiştir. Kriyojenik işlen uygulanmış ve uygulanmamış olan malzemelerin abrasif aşınma testlerinde kullanılan değişkenler ile bunların seviyeleri Çizelge 3'de verilmiştir.

**Çizelge 3.** Varyans analizinde kullanılan değişkenler ve seviyeleri (Parameters and levels used in statistical analysis)

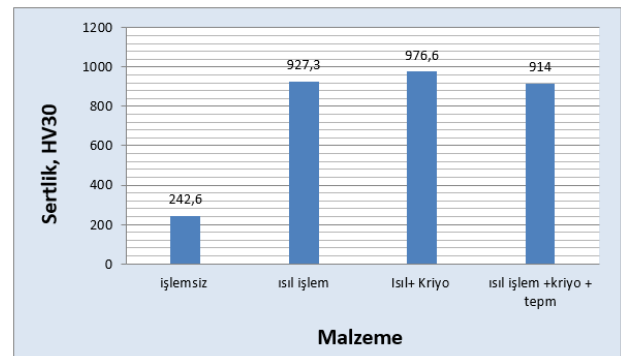
Değişkenler	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
Numuneye uygulanan işlem (İ)	1	2	3
Uygulanan yük , Newton, (Y)	10	20	30
Aşındırıcı zımpara boyutu, Mesh (Z)	1200	1000	800

Dört farklı işlem yapılmış malzemelerin aşınma sonuçlarından istatistiksel analiz için aşınma parametrelerinin, aşınma kaybı üzerindeki etkilerini tespit etmek için varyans analizi kullanılmıştır. Bu çalışmalarda % 95 güven aralığı düzeyi esas alınmıştır.

## 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULT AND DISCUSSION)

### 3.1. Sertlik Testi Sonuçları (Hardness Test Results)

DIN 1.2379 soğuk iş takım çeliğine ait işlemsiz, su verilmiş, su verilmiş + kriyojenik işlem uygulanmış ve su verilmiş + kriyojenik işlem uygulanmış + temperlenmiş olmak üzere 4 farklı numunenin sertlik testi sonuçları Şekil 2'de gösterilmiştir.

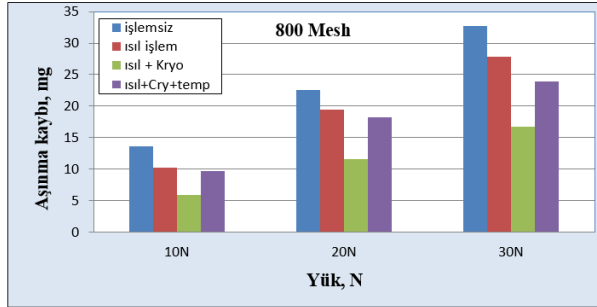


**Şekil 2.** DIN 1.2379 soğuk iş takım çeliğine ait sertlik testi sonuçları (Hardness test results of DIN 1.2379 cold work tool steel)

Şekil 2'de verilen sonuçlara göre, geleneksel su verme işlemi ile % 281.7 ve kriyojenik işlem ile ise % 302.5 oranında sertlik artış göstermiştir. Sadece kriyojenik işlemin sertliğe net % 19.4 oranında katkı sağladığı anlaşılmıştır. Kriyojenik işlem ardından yapılan temperleme işleminin ise sertlik azaltıcı bir işlem olduğu ve ancak malzemenin tokluğunun artması için temperleme işlemi gerekli olan bir işlemdir.

### 3.2. Abrasif Aşınma Testi Sonuçları (Abrasive Wear Test Results)

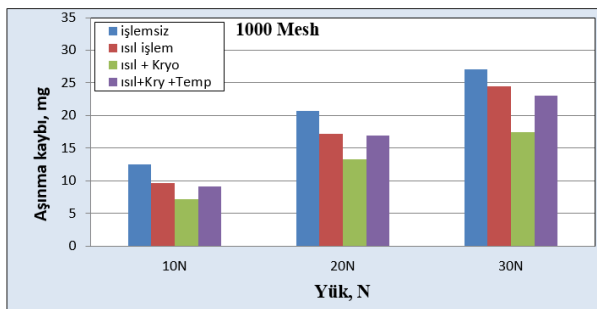
Şekil 3'de DIN 1.2379 soğuk iş takım çeliğine ait 800 mesh zımpara boyutunda ve farklı yüklerdeki aşınma kaybı değerleri gösterilmiştir.



Şekil 3. DIN 1.2379 soğuk iş takım çeliğinin aşınma kaybı (Wear loss of DIN 1.2379 cold work tool steel)

800 mesh zımpara ile yapılan testlerdeki aşınma kaybına bakıldığında su verme işlemi uygulamasının ve su verme işlemi ile beraber uygulanan kriyojenik işlemin malzemenin aşınma direncine olumlu etki yaptığı görülmektedir. Burada kriyojenik işlemin aşınma direncine etkisinin oldukça yüksek olduğu görülmekle beraber temperleme işleminin malzemenin aşınma direncine olumsuz yönde etki ettiği yani aşınma kaybını artırıcı bir etken olduğu ortaya çıkmıştır. En iyi aşınma direncinin su verme işlemi sonrası uygulanan kriyojenik işlem ile sağlandığı görülmüştür. En az aşınma direnci en az aşınma kaybı su verilmiş + kriyojenik işlem uygulanmış olan numunenin 10 N yük altında olduğu tespit edilmiştir. Malzemeye uygulanan yük arttıkça aşınma direncinin azaldığı dolayısı ile aşınma kaybının arttığı görülmüştür. Temperleme işleminin ise aşınma direncini azalttığı belirlenmiştir.

Şekil 4'de 1000 mesh zımpara boyutunda ve farklı yükler altında malzemelerin aşınma kaybı değerleri gösterilmiştir.

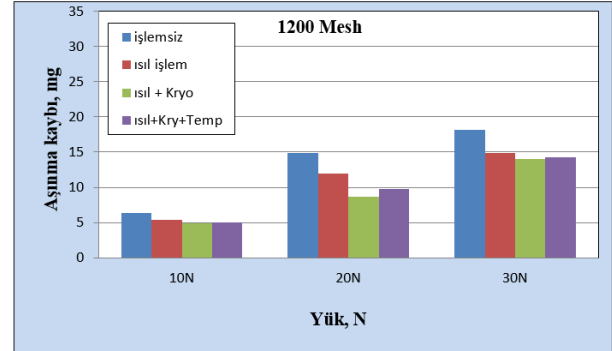


Şekil 4. DIN 1.2379 soğuk iş takım çeliğine ait aşınma kaybı değerleri (Wear loss of DIN 1.2379 cold work tool steel)

1000 mesh zımpara ile yapılan aşınma kayıplarına bakıldığında, en iyi aşınma direncinin yani en az aşınma kaybının su verilmiş + kriyojenik işlem uygulanmış olan numunenin 10 N yük altında olduğu görülmektedir.

Malzemeye uygulanan yük arttıkça aşınma direncinin azaldığı dolayısıyla aşınma kaybının arttığı belirlenmiştir. Temperleme işleminin ise aşınma direncini azaltan bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 5'de DIN 1.2379 soğuk iş takım çeliğine ait 1200 mesh zımpara boyutunda ve farklı yüklerdeki aşınma kaybı değerleri gösterilmiştir.



Şekil 5. DIN 1.2379 soğuk iş takım çeliğine ait aşınma kaybı değerleri (Wear loss of DIN 1.2379 cold work tool steel)

1200 mesh zımpara ile yapılan aşınma kayıplarına bakıldığında, en iyi aşınma direncinin su verme işlemi sonrası uygulanan kriyojenik işlem ile sağlandığı görülmüştür. En az aşınma direnci su verilmiş + kriyojenik işlem uygulanmış olan numunenin 20 N yük altında olduğu tespit edilmiştir. Malzemeye uygulanan yük arttıkça aşınma direncinin azaldığı dolayısı ile aşınma kaybının artış gösterdiği tespit edilmiştir. Temperleme işleminin ise aşınma direncini azaltıcı yönde etkisi olduğu ortaya çıkmıştır.

### 3.3. İstatistiksel Analiz Sonuçları (Statistical Analysis Results)

Deney parametrelerinin aşınma üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla istatistiksel analiz gerçekleştirilmiştir. Öncelikle, her bir parametrenin aşınma üzerindeki etkisinin tespiti için tek yönlü varyans analizi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra, bütün deney parametrelerinin aşınma üzerindeki etkisini belirlemek için varyans analizi uygulanmıştır.

Varyans analizi için zımpara (Z), işlem basamakları (İ) ve uygulanan yük (Y) faktörlerinin aşınma (A) yanıt değişkenindeki değişkenlik üzerine etkileri incelenmiştir. Bunların tek başlarına (A) yanıt değişkeni üzerindeki etkileri, tek faktörlü varyans analizi ile incelendiğinde aşağıda verilen Çizelge 4-6'daki bulgular elde edilmiştir.

Çizelge 4. Tek yönlü Anova sisteminde Z faktörü için A yanıt değişkeni (Response variable A for factor Z in one way Anova)

Source	DF	SS	MS	F	P
İşlem	3	270.5	90.2	1.98	0.13
Error	32	1457.3	45.5		
Total	35	1727.8			
S= 6.484 RSq= %19.7 RSq(adj)=%14.8					

P anlamlılık değerinin 0.05'ten küçük olması, girdi değişkeninin çıktı değişkeni üzerinde anlamlı olmadığını ifade etmektedir. Buna göre, Çizelge 4 incelendiğinde, Z faktörünün A üzerindeki anlamlılığını ifade eden P faktörü 0.027 olduğu görülmektedir. Bu durumda Zımpara da yapılan değişikliklerin Aşınma üzerinde tek başına anlamlı olduğu yargısına varılmaktadır. Yapılan varyans analizine göre belirleme katsayısı Z parametresi için % 14.83 olduğu görülmüş, yani tek başına Z faktörü A'daki değişkenliğin %14.83'ünü açıklayabilmiştir.

**Çizelge 5.** Tek yönlü Anova sisteminde İ faktörü için A yanıt değişkeni (Response variable A for factor İ in one way Anova)

Source	DF	SS	MS	F	P
İşlem	3	270.5	90.2	1.98	0.137
Error	32	1457.3	45.5		
Total	35	1727.8			
S = 6.748    RSq=%15.66    RSq(adj)=%7.75					

Çizelge 5 incelendiğinde P faktörünün değeri 0.137 olduğu görülmektedir. Yine Zımpara da olduğu gibi uygulanan işlemin de Aşınma üzerinde tek başına önemli bir parametre olmadığı anlaşılmaktadır. Çünkü yapılan varyans analizine göre belirleme katsayısı İ faktörü için % 7.75 olduğu görülmüş yani tek başına İ faktörü A'daki değişkenliğin % 7.75'ini açıklayabilmiştir.

**Çizelge 6.** Tek yönlü Anova sisteminde Y faktörü için A yanıt değişkeni (Response variable A for factor Y in one way Anova)

Source	DF	SS	MS	F	P
Yük	2	999.0	499.5	22.62	0.000
Error	33	728.8	22.1		
Total	35	1727.8			
S = 4.699    RSq = %57.82    R-Sq(adj) = %55.26					

Çizelge 6'ya göre P faktörünün 0 olduğu görülmektedir. Bu sebeple Y faktörünün A üzerindeki istatistiksel olarak en etkili parametre söylenebilmektedir. Yapılan varyans analizine göre belirleme katsayısı en yüksek Y faktörü için bulunmuş, Y faktörü tek başına A'daki değişkenliğin % 55.26'sını açıkladığı görülmektedir.

Tek yönlü varyans analizi sonucuna göre, Z ve Y'nin aşınmaya direk etkisi varken işlem basamaklarının aşınmayı azaltıcı etkisi yönde bir etkisi vardır. Yani aşınmadaki değişkenlik Zımpara ve Yük ile doğru orantılı iken, işlem basamakları ile ters orantılıdır. Bu nedenle işlem basamaklarının anlamlı bulunmaması yapılan çalışmanın güvenilirliğini açıklamaktadır.

Varyans analizinde faktör düzeylerinin yanıt değişkeni üzerinde etkili olduğu kararı verildikten sonra, farklılığın kaynağı olan grupların tespit edilmesi için çeşitli

yöntemler vardır. Çizelge 7'de, faktör düzeylerine göre A değişkenindeki farklılıklar ortaya konmuştur.

**Çizelge 7.** Tek yönlü Anova sisteminde Z, İ, Y ve Z\*İ, Z\*Y, İ\*Y faktörleri için A yanıt değişkeni (Response variable A for factor Z, İ, Y ve Z\*İ, Z\*Y, İ\*Y in one way Anova)

source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Zımpara	2	340.32	340.32	170.16	150.4	0.00
İşlem	3	270.52	270.52	90.174	79.71	0.00
Yük	2	998.99	998.99	499.49	441.5	0.00
Z*İ	6	50.827	50.827	8.471	7.49	0.002
Z*Y	4	30.834	30.834	7.708	6.81	0.004
İ*Y	6	22.726	22.726	3.788	3.35	0.036
Error	12	13.575	13.575	1.131		
Total	35	1727.8				
S = 0.06359    RSq=%99.21    RSq(adj)=%97.71						

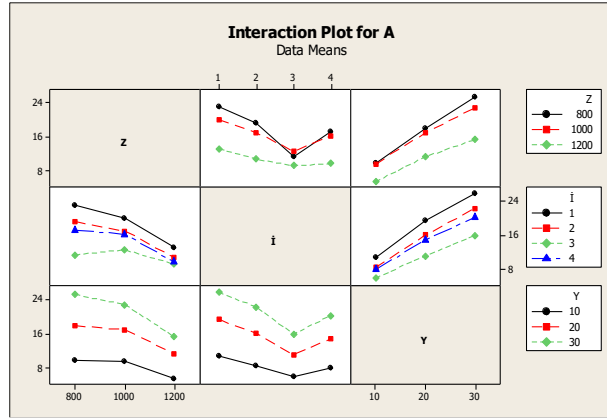
Çizelge 7'ye göre Z, İ ve Y faktörlerinin her üç düzeyine göre de A'nın ortalamaları birbirinden farklılık göstermektedir. Varyans çözümlemesine göre Z, İ, Y, Z\*İ, Z\*Y ve İ\*Y değişkenleri modelde anlamlı bulunmuştur. Hesaplanan F değerine bakıldığında Y değişkeninin model için anlamlılığının daha yüksek olduğu söylenebilir. İkili etkileşimlerden Z\*İ, Z\*Y, İ\*Y etkileşimlerinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmektedir. Varyans analizi tablosu incelendiğinde A üzerinde en fazla etkiye sahip faktörün Y faktörü olduğu görülmektedir. Bu faktörü sırasıyla Z\*İ, Z\*Y, İ\*Y etkileşimi izlemektedir. Varyans analizine göre modelin belirleme katsayısı %97.71 olarak bulunmuştur. Buna göre A'daki değişkenliğin % 97.71'i üç faktörlü model aracılığıyla bu değişkenler tarafından açıklanmaktadır. Bu sonuç, deneyde F değişkenini böyle bir modelle açıklanabileceğini gösterir. Modelin geçerliliğinin önemli göstergelerinden birisi de hataların dağılımının normal dağılım olmasıdır.

Çizelge 8'de Z, İ, Y faktörlerinin A yanıt değişkeni üzerindeki etkisinin belirlendiği Varyans Analizi tablosu görülmektedir.

**Çizelge 8.** Varyans Analizi sisteminde Z, İ, Y faktörü için A yanıt değişkeni (Response variable A for factors Z, İ, Y in Anova system)

Source	DF	SS	MS	F	P	%
Zımpara	2	340.33	170.16	40.39	0.00	19.7
İşlem	3	270.52	90.17	21.40	0.00	15.6
Yük	2	999.00	499.50	118.56	0.00	57.9
Error	28	117.75	4.21			6.8
Total	35	1725.33				100
S = 2.054    RSq = %93.7    R-Sq(adj) = %91.47						

Gerçekleştirilen model için belirleme katsayısı %91.47 bulunmuştur. Bu sonuç, deneyde F değişkenini böyle bir modelle açıklanabileceğini göstermektedir. Üç faktörlü deney tasarımına göre yapılan varyans analizine göre ortalama değerleri Şekil 6'daki grafik te verilmiştir.



Şekil 6. Z, Y ve İ faktörlerinin A yanıt değişkenine göre ortalama değerleri (Mean values of Z, Y ve İ factors according to A response variable factor)

Şekil 6'ya göre Z, Y ve İ faktörlerinin her üç düzeyinde A'nın ortalamaları birbirinden farklılık göstermektedir. Z ile Y etkileşiminde en yüksek A değeri ortalaması Z faktörünün 800, Y faktörünün 30 düzeyinde, en düşük A değeri ortalaması Z faktörünün 1200, Y faktörünün 10 düzeyinde görülmektedir. İ faktöründe ise en düşük A değeri ortalaması 3, en yüksek A değeri ortalaması ise 1 düzeyinde görülmektedir.

Bu çalışmada yapılan istatistik analiz neticesinde birincil olarak yük(Y) faktörünün, ardından zımpara (Z) faktörünün aşınmada etkili faktörler olduğu anlaşılmaktadır.

#### 4. SONUÇLAR (RESULTS)

Gerçekleştirilen çalışma sonunda, deney parametrelerinin Aşınma üzerindeki etkilerinin belirlendiği Varyans Analizi çözümlenmesi neticesinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

1. Tek başına, Zımpara değişkeninin Aşınma üzerinde etkili bir parametre olduğu varyans analizi neticesinde belirlenmiştir.
2. Tek başına, malzemeye uygulanan işlemin Aşınma üzerindeki etkileri istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır.
3. Tek başına, malzemeye uygulanan Yük değerlerinin Malzeme oluşan aşınma da etkili olduğu tekli varyans analizi neticesinde tespit edilmiştir.
4. Yapılan çalışmada Zımpara (Z) ve yük (Y)'in aşınmaya direk etkisi varken, işlem basamaklarının (İ) aşınmayı azaltıcı etkisi olduğu tespit edilmiştir. Yani aşınmadaki değişkenlik, Zımpara ve Yük ile doğru orantılı iken, işlem basamaklarına ters orantılıdır.

5. Varyans analizi tablosundaki değerler incelendiğinde Y değişkeninin model için anlamlılığının en yüksek olduğu tespit edilmiştir.
6. İkili etkileşimlerden, Z\*İ, Z\*Y, İ\*Y etkileşimlerinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu tespit edilmiştir.
7. Deneyler için belirlenen parametrelerin Aşınma üzerinde etkili olduğu bunların içerisinde etkili parametrenin, malzeme uygulanan yük, daha sonra zımpara ve en sonunda da işlem tipi olduğu yargısına ulaşılmıştır.

#### ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

#### YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

**Ferhat GÜL:** Deneyleri yapmış ve sonuçlarını analiz etmiştir.

**Hakan DİLİPAK:** Deneysel verilerin analizine yardımcı olarak ve makalenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir.

**Onur YAMANOĞLU:** Deneyleri yapmış ve sonuçlarını analiz etmiştir.

#### ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Devaraj M. R., Hemanth J., Yathisha N, "Effect of Cryogenic Treatment On Mechanical Properties of Steel-A Review" *International Journal Of Engineering Sciences & Research Technology* 12: 645-655, (2015).
- [2] A D Wale, Wakchaure V. D., "Effect of Cryogenic Treatment on Mechanical Properties of Cold Work Tool Steels", *International Journal of Modern Engineering Research (IJMER)* www.ijmer.com 149-154, (2013).
- [3] Bhateja A., "Study the Effect on the Hardness of three Sample Grades of Tool Steel i.e. EN-31, EN-8, and D3 after Heat Treatment Processes Such As Annealing, Normalizing, and Hardening & Tempering," *The International Journal of Engineering And Science (IJES)* , 253-259, (2012).
- [4] Jirkova H., Mašek B., Wagner M.F.-X., Langmajerova D., Kucerova L., Treml R., Kiener D., "Influence of metastable retained austenite on macro and micromechanical properties of steel processed by the Q&P process", *Journal of Alloys and Compounds*, 615, 163-168, (2014).
- [5] Toros S., "Trip 800 Çeliğinin Şekillendirme Kabiliyetinin İncelenmesi Ve Modellenmesi" Doktora Tezi Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Ağustos, (2013).
- [6] Asmari H., Emadodddin E., Habibolahzade A., "Effect of Retained Austenite Characteristics on Deep Drawability



- of TRIP-aided Steel Sheet”, **International Journal of Metallurgical Engineering**, 1(4): 66-71, (2012).
- [7] Fatih Hayat, “Trip Çeliklerinin Otomotiv Endüstrisinde Kullanımının İncelenmesi” *Gazi Üniv. Müh.Mim. Fak. Der.*, Cilt 25, No 4,701-712, (2010).
- [8] Priyadarshini A., “A Study of The Effect Of Cryogenic Treatment On The Performance of High Speed Steel Tools And Carbide Inserts”, **Master Thesis**, Department of Mechanical Engineering National Institute of Technology, Rourkela, (2007).
- [9] Podgornik, B. Majdi F., Leskovsek V., Vizintin J., “Improving tribological properties of tool steels through combination of deep-cryogenic treatment and plasma nitriding”, **Wear** 288, 88– 93, (2012).
- [10] Eylül DEMİR ve İhsan TOKTAŞ AISI D2 Çeliğine Uygulanan Farklı Bekletme Sürelerindeki Derin Kriyojenik İşlemin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin İncelenmesi, ISITES 2014 Karabük - TURKEY, 238-249, (2014).
- [11] Kaplan Y., Nalbant M., Gökkaya H., “AISİ D2 ve AISİ D3 Soğuk İş Çeliklerinin Delinmesinde İşleme Parametrelerinin Çapak Oluşumuna Etkilerinin Deneysel Olarak İncelenmesi”, **Karalması Fen ve Mühendislik Dergisi** (1), 37-46, (2011).
- [12] Farhani F., Niaki K.S., “Cryogenic Treatment Of Metals– A Review of Experimental Studies, Underlying Mechanism and Process Equipment”, Proceedings of the 4th BSME-ASME **International Conference on Thermal Engineering**, 27-29 December, Dhaka, Bangladesh, 832-840, (2008).
- [13] Naravade R.H., Belkar R.K., “Statistical Analysis of Factors Affecting the Dry Sliding Wear Behaviour of Al/SiCp on Automobile Friction Material”, **The International Journal Of Engineering And Science (IJES)**, Volume 3, Issue 12, 5-13, (2014).
- [14] El-Taleb A.S., “Investigation of Mold Design and Process Parameters in Microinjection Molding to Fabricate a Deformable Membrane Mirror” Graduate Program in Industrial and Systems Engineering, **PhD. Thesis**, The Ohio State University, (2013).
- [15] Naravade R.H., Belkar S.B., Kharde R.R., “Effects of Cryogenic Treatment, Hardening and Multiple Tempering on Wear Behavior of D6 Tool Steel”, **The International Journal of Engineering And Science (IJES)**, Volume 2, Issue 5, , Pages 01-15, (2013).
- [16] Naravade R.H., Belkar R.K., Bajaj D.S. “Effects of Deep Cryogenic Treatment on Wear Behavior of D6 Tool Steel” **International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology 2nd International Conference on Advances in Mechanical Engineering (ICAME-2016)**,73-80, (2016).
- [17] Rajmohan T., Palanikumar K., Ranganathan S., “Evaluation of mechanical and wear properties of hybrid aluminium matrix composites” **Trans. Nonferrous Met. Soc.**, China 23, 2509–2517, (2013).
- [18] Mishra P., “Statistical Analysis For The Abrasive Wear Behavior of Bagasse Fiber Reinforced Polymer Composite, **International Journal of Applied Research in Mechanical Engineering (IJARME)**, 7-11, (2012).
- [19] Baradeswaran A., Elayaperumal A., Issac F.R., “A Statistical Analysis of Optimization of Wear Behaviour of Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Composites Using Taguchi Technique” **Procedia Engineering** 64, 973-982, (2013).
- [20] Ghosh S., Sutradhar G. and Sahoo, P., “Wear Performance Of Al-5%SiC Metal Matrix Composites Using Taguchi Method”, **Journal of Tribology Research**, 1, 2, 33-40, (2010).
- [21] Bülbül, A. E., Dilipak, H., Sarıkaya, V. and Yılmaz, V. “Optimization of the wear behavior of uncoated, TiN and AlTiN coated cold work tool steel 1.2379 using response surface methodology”, **Materials Testing: Vol. 58**, No. 1, 12-19, (2016).
- [22] KARABATAK M., KARA F., “AISİ D2 Soğuk İş Takım Çeliğinin Sert Tornalanmasında Yüzey Pürüzlülüğünün Deneysel Optimizasyonu” **Politeknik Dergisi**, 19(3): 349-355, (2016).
- [23] Darwin, J.D., Lal, D.M. and Nagarajan, G. “Optimization of cryogenic treatment to maximize the wear resistance of 18% Cr martensitic stainless steel by Taguchi method”, **Journal of Materials Processing Technology**, 195(1-3), 241-247, (2008).
- [24] Kumar M. C., VijayaKumar P., Narayan B., “Optimization of cryogenic treatment parameters to maximise the tool wear of HSS tools by Taguchi method”, **International Journal of Modern Engineering Research (IJMER)**,3051-3055, (2012).
- [25] Venses G., Siva R. S. “Optimisation of Deep Cryogenic Treatment Process on the Wear Resistance of 100Cr6 Bearing Steel using Taguchi technique”, **Journal of Advances in Mechanical Engineering and Science**, 9-20, (2015).