

# KALIP ÇELİKLERİNDE AŞINMA DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

\*<sup>1</sup>Eda ERDEM, <sup>2</sup>Bahadır UYULGAN, <sup>3</sup>Kübra ÖZTÜRK, <sup>4</sup>Orçun SAF

<sup>1</sup>Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, İzmir / TÜRKİYE

<sup>2</sup> Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, İzmir / TÜRKİYE

<sup>3</sup> Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, İzmir / TÜRKİYE

<sup>4</sup>Standard Profil Ege Otomotiv San. ve Tic. A.Ş, Manisa / TÜRKİYE

## Özet

Bu çalışmada, kalıp çeliklerinde alaşım elementi etkisi ve içeriğine bağlı olarak dört farklı çeliğin sertlik ve aşınma direnci arasındaki ilişki araştırılmıştır. Kalıp çeliği olarak kullanılan dört farklı çelik numunede (A1, A2, A3, A4) sertlik ve aşınma testleri yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda sertlik-işlenebilirlik ve sertlik-aşınma direnci incelenmiş ve dört farklı kalıp çeliği arasında en uygun kalıp çeliği önerilmiştir. Çeliklerin sertlik değerleri göz önüne alındığında A3 kodlu numunenin istenilen sertliğe sahip olması nedeniyle diğer numuneler arasından öne çıkmaktadır. Aşınma deneyinin sonuçlarına bakıldığı zaman en az hacimce kayıp A3 kodlu numune de görülmüştür. Sonuç olarak, sertlik-işlenebilirlik, sertlik-aşınma direnci incelendiğinde, A3 kodlu numune dört farklı kalıp çeliği arasında en uygun öneri olarak belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Aşınma, Kalıp Çelikleri, Malzeme Bilimi, Mekanik Özellikler, Sertlik

## Abstract

In this study, the relationship between the hardness and wear resistance of four different steels depending on the alloying element effect and content was investigated in tool steels. Hardness and wear tests carried out on four different tool steel samples (A1, A2, A3, A4). As a result of studies, hardness-machinability and hardness-abrasion resistance were examined and the most suitable tool steel was proposed among four different tool steels. Considering the hardness values of the steels, it stands out among the other samples because the sample with A3 code has the desired hardness value. Considering the results of the wear test, the least volume loss was observed A3 coded sample. Consequently, when the hardness-machinability, hardness-abrasion resistance is examined, A3 coded sample was determined as the most suitable recommendation among four different tool steels.

**Key Words:** Abrasion, Hardness, Material Science, Mechanical Properties, Tool Steels

## 1. Giriş

Çelik; iyileştirilebilir mekanik özellikleri sebebiyle günümüzde inşaat, otomotiv, tıp, havacılık gibi pek çok endüstriyel alanda kullanımı oldukça yaygın olan bir metaldir. Kimyasal kompozisyonunun değiştirilmesi veya ısıtma işlem uygulanması amacıyla yapısal özelliklerinin iyileştirilmesi; çeliğin birçok alanda oldukça yaygın kullanılmasına olanak tanımaktadır. Dünya metal üretiminin yüzde 95'i demir olup demirin karbonla yaptığı alaşımlar yani çelikler en yaygın kullanılan mühendislik malzemelerini oluşturmaktadır [1]. Gelişen teknoloji ile birlikte ağırlaşan çalışma koşulları altında makine elemanları ve malzemelerde, kullanım yerlerine göre farklı tipte aşınma ve korozyona bağlı malzeme kayıpları görülmektedir. Bu durum malzemenin boyutsal toleranslarını etkilemesinin yanında kullanım ömrünün azalmasına bunların sonucu olarak ise işletmelerde bakım, onarım ve yedek parça değişimi, hatta kontrolsüz duruşlara neden olmaktadır [2]. Günümüz sanayisinde yaygın olarak kullanılan tribolojik sistemlerde korozyon ve yorulma sorunlarıyla birlikte görülen üçüncü büyük problem de aşınma olayıdır [3]. Aşınma direncini etkileyen en önemli faktör sertliktir. Sertliğin etkili bir şekilde artırılması, karbon içeriğinin artırılması ve diğer alaşım elementlerinin eklenmesi ile gerçekleştirilebilmektedir. Literatür araştırmalarına göre, aynı mekanik özelliklere sahip iki malzemenin, farklı kimyasal bileşimleri nedeniyle farklı aşınma davranışları sergilediği belirlenmiştir [4]. Malzeme tasarımında, korozyon ve aşınma gibi özelliklerin göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Özellikle sürtünerek çalışan makine elemanlarında, belirli bir süre sonra ortaya çıkan aşınma problemleri kaçınılmaz hale gelmektedir. Üretimi etkileyen ve önemli faktörlerden biri ise takım aşınmasıdır. Takım aşındıkça işleme kalitesi bozulmakta ve ayrıca takım aşınması arttıkça parçaların işleme maliyetleri de artmaktadır. Aşınma ve korozyon sebebiyle dünya genelinde her sene büyük oranlarda kayıplar olmaktadır Ekonomik kaybın büyük bir kısmı, makine ve gereçlerin çevresel etkilere maruz kalan mekanik parçalarında oluşan korozyon ve aşınmalar sebebiyle ortaya çıkmaktadır. Dolayısıyla etkili bir üretimde kalite, verimlilik ve ekonomikliği bir arada düşünmek gerekmektedir [5].

Bu çalışmada, Standard Profil Ege Otomotiv A.Ş firmasının mevcut durumda kullandığı dört farklı kalıp çeliği numunesinin alaşım elementi etkisi ve içeriğine bağlı olarak sertlik ve aşınma direnci arasındaki ilişki araştırılmıştır. Kalıp çeliği olarak kullanılan dört farklı çelik numunede (A1, A2, A3, A4) sertlik ve aşınma testleri yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda sertlik-işlenebilirlik ve sertlik-aşınma direnci incelenmiş ve dört farklı kalıp çeliği arasında en uygun kalıp çeliği önerilmiştir. Yapılan literatür çalışmaları ile ideal plastik kalıp çeliği sertliği skalası 30-35 HRC olduğu bilinmektedir. Sertlik-işlenebilirlik, sertlik-aşınma direnci incelemeleri sonucunda dört farklı kalıp çeliği arasında en uygun kalıp çeliği öneri olarak belirlenmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1 Çalışma Yapılacak Numuneler ve Kimyasal İçerikleri

Deneyde, 30mm çapında 20 mm yüksekliğinde olmak üzere dört farklı numune kullanılmıştır. Numuneler Standard Profil Ege Otomotiv San.ve Tic. A.Ş tarafından tedarik edilmiştir. Numunelere ait kimyasal içerikler ve sertlik değerleri tablo 1 ve tablo 2’ de gösterilmiştir.

**Tablo 1.** Numunelerin kimyasal içerik değerleri (Ağırlık %)

Numune Kodu	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	S	Cu	N
A1	0.1	0.3	2.5	3.0	1.0	0.3	-	-	
A2	0.05	0.4	1.2	12.6	-	-	0.12	-	-
A3	0.37	0.3	1.4	2.0	1.0	0.2	<0.010	-	
A4	0.05	-	1.3	3.0	-	-	1.5	3.0	

**Tablo 2.** Numunelerin sertlik değerleri

Numune Kodu	Sertlik Değerleri (HRC)
A1	39-42
A2	33
A3	36-41
A4	33-38

### 2.2 Sertlik Testi

Bu çalışmada kullanılacak olan numuneler,  $\phi 30 \times 20$  mm olacak şekilde tedarik edilmiştir. Tedarik edilen numunelere, sertlik ve aşınma testlerinden önce gerekli zımpara işlemleri uygulanmıştır. Zımpara işlemi sırasıyla 240, 400, 800, 1200 gritlik zımpara kağıtları ile uygulanmıştır. Zımparalama işlemi uygulandıktan sonra numune yüzeyleri, 1  $\mu\text{m}$   $\text{Al}_2\text{O}_3$  solüsyonunda parlatma işlemine tabi tutulmuş ve daha sonra etanol ile yüzeyleri temizlenerek kurulmuştur. Numunelerin sertlik ölçümleri SHIMADZU-HSV-30 marka Vickers sertlik ölçme cihazında 2000  $\mu\text{m}$  aralıklarla 100 gram yük altında 15 saniye bekletilerek gerçekleştirilmiştir. Her deney numunesi için 5 sertlik ölçümü yapılmıştır ve yapılan bu ölçümlerin ortalama değerleri alınarak, kaydedilmiştir.

### 2.3 Aşınma Testi

Aşınma deneyleri, Dokuz Eylül Üniversitesi Metalurji Malzeme Mühendisliği Bölümü Triboloji Laboratuvarı'nda yapılmış olup, numunelerin sertlik ölçümlerin alındıktan sonra ikinci deney aşaması olan lineer aşınma deneyi için numunelerin hazırlanması yapılmıştır. Numunelerin her biri Dokuz Eylül Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Numune Hazırlama Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. ASTM G133-05 "Lineer Aşınma Testi" standardından yardım alınarak numune boyutları belirlenmiştir. Her bir numuneye 4 parçaya ayrılması için kesim işlemi uygulanmıştır. Struers Labotom - 5 cihazında kesme işlemi gerçekleştirilmiştir. Numunelerin her birinden standarda uygun bir eş numune seçilmiştir. Tablo 3'de numune boyutlarının ölçüsü milimetre cinsinden gösterilmiştir. Seçilen numunelerin ASTM G133-05 "Lineer Aşınma Testi" standardına göre numune yüzeylerinin pürüzlülük seviyeleri her birinde eşit olması nedeni ile her numunenin yüzeyine SiC zımpara kağıtlarından P800C seçilerek, Presi Mecapol - P230 cihazında 10 dakika bu işlem uygulanmıştır. Zımparalama işleminden sonra her numune 250ml'lik cam beher içerisinde, 150ml'ye kadar doldurulan %95 saflıkta olan aseton içerisine konularak ultrasonik temizleme işlemine tabi tutulmuştur. Ultrasonik temizleme cihazında her numuneye 2'şer dakika ultrasonik temizleme işlemi uygulanmıştır. Numuneler ultrasonik temizleme cihazından çıkarıldıktan sonra hassas terazi ile ağırlıkları ölçülmüştür. Ölçüm sonuçları kaydedildikten sonra numuneler aşınma cihazına alınmıştır.

Aşınma testi için aşındırıcı uç olarak 100Cr6 çelik bilye kullanılmıştır. Bu çelik bilyenin sertliğinin 60 HRC olduğu bilinmektedir. Her bir numune için kullanılan çelik bilyeler ayrı ayrı kullanılmıştır. Numuneler, tablaya yerleştirildikten parametreler doğrultusunda aşınma deneyi başlatılmıştır. ASTM G133-05 Lineer Aşınma Testi standardından yardım alınarak kullanılan yük 5 kg'dır. Çevrim sayısı ise 2 strok olarak alınmıştır. Strok mesafesi ise 10.0mm olarak gösterilmiştir. Yapılan deneyde kullanılan yük, strok mesafesi standard bazında alınırken, Plint and Partners LTD TE88/8915 markalı aşınma cihazının frekans değeri 3.0 Hz'e sahip olduğundan deney bu frenkansta yapılmıştır. Ölçümler alınırken, 2'şer milimetre aralıklar ile 5 ölçüm alınmıştır. Her numunenin aşınma süresi 27 dakikada tamamlanmıştır. Aşınmaya giren her numune tekrardan yüzey temizleme işlemi için 250ml'lik cam beher içerisinde, 150ml'ye kadar doldurulan %95 saflıkta olan aseton içerisine konularak 2'şer dakika ultrasonik temizleme işlemi uygulanmıştır.

**Tablo 3.** Kesim sonrası numunelerin boyutları (mm).

Numune Kodu	En	Boy	Yükseklik
A1	27,12	27,57	13,70
A2	26,32	26,64	12,32
A3	26,16	29,97	13,19
A4	25,55	26,17	13,17

### 3.Bulgular ve Tartışma

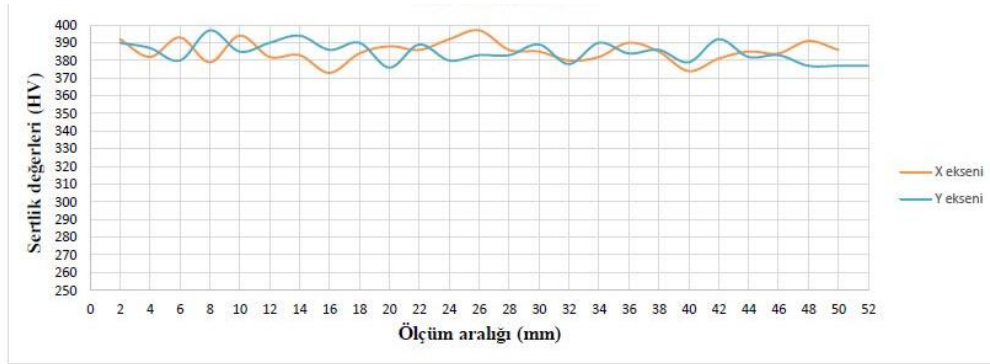
#### 3.1 Sertlik Testi Sonuçları

Sertlik değerleri alınan dört çelik numuneye ait X ve Y eksenlerindeki sertlik değerleri tablo 4’de gösterilmiştir. Numunelere ait X ve Y eksenlerinde alınan sertlik değerlerinin ortalaması ve bu değerlere ait standart sapma sonuçları tabloda gösterildiği gibi kaydedilmiştir. Sertlik testinin doğruluğunun kontrollüğü açısından hesaplanan standart sapma değerleri, ASTM E384-17 “Malzemelerin Mikrodentasyon Sertliği için Standart Test Yöntemi” standardında belirtilen güven aralıkları ile karşılaştırılmış ve yapılan testlerin standart sapma değerlerinin belirtilen aralıklarda olduğu doğrulanmıştır.

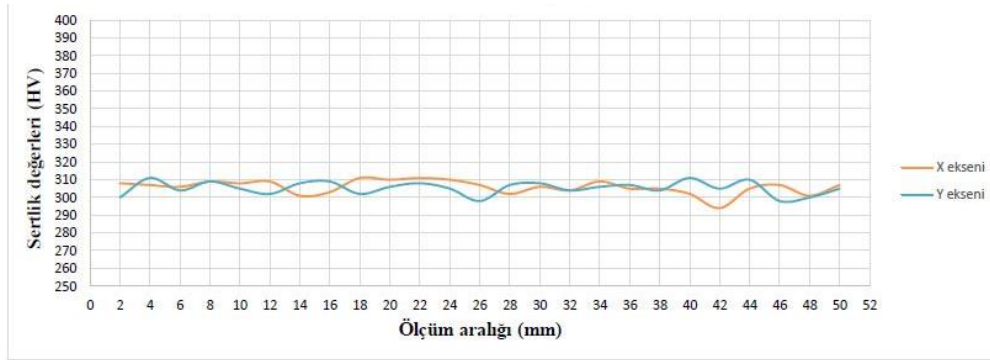
**Tablo 4.** Vickers Sertlik değerlerinin standart sapması ve ortalama değerleri

Numune Kodu	Eksenler	Ortalama Sertlik Değeri (HV)	Standart Sapma Değeri
		(HV)	
A1	X	386,33	4,16
A1	Y	384,66	4,2
A2	X	300,83	2,87
A2	Y	300,19	3,93
A3	X	308,75	3,59
A3	Y	307,93	3,15
A4	X	281,72	3,83
A4	Y	278,94	4,05

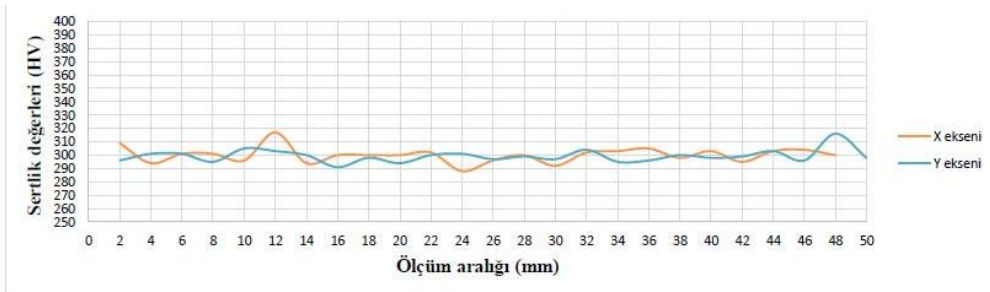
Deneyden elde edilen verilere bakıldığı zaman, sertlik değerlerinin 278,94 ile 386,33 HV değer aralığında olduğu elde edilmiştir. A2 numunesinin X ekseninden alınan değerlere göre 2,87 standart sapma değeri ile en düşük değere sahip olduğu, A4 numunesinin ise Y ekseninden alınan sertlik sonucuna bakıldığı zaman 4,05 değeri ile en yüksek standart sapma değerine sahip olduğu gözlemlenmiştir. X ve Y eksenlerinden alınan sertlik değerleri, tek bir grafikte toplanarak ölçüm değerlerinin dağılımları şekil 1, şekil 2, şekil 3 ve şekil 4 de gösterilmiştir. Grafiklerden de görüleceği üzere, X ve Y eksenlerinin birbirine yaklaştığı gözlemlenmiştir.



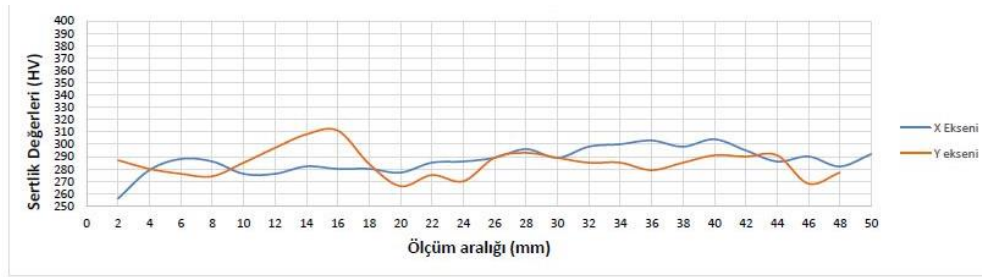
Şekil 1. A1 numunesinin X ve Y eksenlerindeki sertlik dağılım grafiği



Şekil 2. A2 numunesinin X ve Y eksenlerindeki sertlik dağılım grafiği



Şekil 3. A3 numunesinin X ve Y eksenlerindeki sertlik dağılım grafiği



Şekil 4. A4 numunesinin X ve Y eksenlerindeki sertlik dağılım grafiği

Numunelerden elde edilen sertlik değerleri, yorumlamaları ve karşılaştırmalarının daha anlaşılabilir yorumlanabilmesi için Vickers (HV) sertlik değerinden Brinell (HB) ve Rockwell (HR) sertlik değerlerine dönüştürülmüştür. Bu sertlik değerlerine ait veriler Tablo 5’de gösterilmiştir. Sertlik değerlerinin birim çevirmeleri yapılırken ASTM E140-12b standardı olan “Metaller Arasındaki Brinell Sertliği, Vickers Sertliği, Rockwell Sertliği, Yüzeysel Sertlik, Topuz Sertliği, Skleroskop Sertliği ve Leeb Sertliği İlişkisi için Standart Sertlik Dönüşüm Tabloları”ndan yararlanılmıştır. Bu standarda göre birim çeviriminin yapılmasında ise dikkat edilen husus, numunelere 10 kg yük altında 15 saniye süresince sertlik testi yapılmasıdır. Bu durum baz alındığında değerler Brinell’e dönüştürülürken 10mm, C-Ball, 3000kgf ‘a göre, Rockwell dönüşümü yapılırken ise C’de 150kgf’a göre dikkat edilerek yapılmıştır.

Tablo 5. Vickers sertlik değerinin, Brinell ve Rockwell sertlik değerleri karşılığı

Numune Kodu	HV	HBW	HRC
A1	343.26	365	39
A2	308.34	293	31
A3	300	286	30
A4	280.33	266	27

Tablo 5’de görüldüğü üzere, A1, A2, A3 ve A4 numunelerinin sertlik değerleri 27-39 HRC değerleri arasında değişim göstermektedir. En yüksek sertlik derecesine A1 numunesi sahipken; A4 numunesi ise 27 HRC sertlik değeri ile en düşük sertlik derecesine sahiptir. İdeal sertlik değer aralığı baz alındığında ise plastik kalıp çelikleri için 30-35 HRC sertlik aralığına uyan kalıp çeliği numuneleri ise 30 HRC değeri ile A3 ve 31 HRC değeri ile A2 numunesidir.

### 3.2 Aşınma Testi Sonuçları

Numunelerin aşınma bölgelerinden 5'er ölçüm alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Aşınma deneyinin sonuçlarına bakıldığı zaman en az hacimce kayıp A3 kodlu numune de ( $0,678 \text{ mm}^3$ ) görülmüştür. A1 ve A3 numunelerinin içerdikleri krom ve nikel alaşım elementleri ile aşınmaya yardımcı olduğunu deneysel çalışma ile teorik bilgileri Tablo 6'da hacim kayıpları verilerek desteklemiştir.

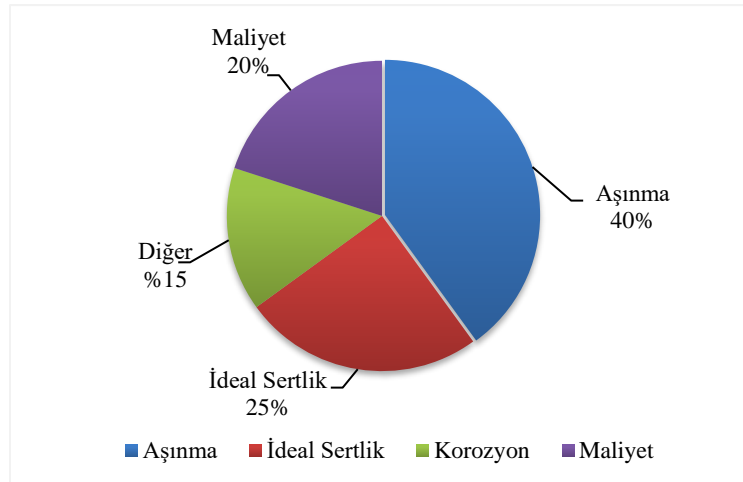
**Tablo 6.** Numunelerin aşınma miktarları ( $\text{mm}^3$ ).

Numune Kodu	Hacim Kaybı ( $\text{mm}^3$ )
A1	1,535
A2	3,159
A3	0,678
A4	1,821

Yapılan çalışmalar sonucunda düşük karbonlu çeliklerde aşınma direncinin daha düşük olduğu görülmüştür. Ancak malzeme içeriğinde kükürt ve mangan gibi alaşım elementi bulunduran çeliklerin aşınma dirençlerinin yüksek olduğu ve aşınma kaybının az olduğu deney sonuçları ile gösterilmiştir. Nikel ve molibden elementi ilavesi çeliğin aşınma dayanımını olumlu yönde etkilediği yapılan literatür çalışmalarında da yer almaktadır. Tablo 6'da gösterilen değerlere bakıldığı zaman ise; Tablo 1'de verilen kimyasal içerikler göz önüne alındığında A3 ve A1 numunelerinin kimyasal içeriklerinde bulunan nikel ve molibden miktarı aşınma kaybını olumlu yönde etkilemiştir. Yapılan aşınma deneyi sonucunda A3 ve A1 numunelerinde en az hacim kaybı görülmüştür.

Standard Profil A.Ş ile yapılan bu çalışmada; firmanın belirlediği parametrelere göre önerme yapılacak çelik malzemesi için yüzdeler dağılımları Şekil 6'da gösterildiği gibidir. %40 oranında önem verilen parametre aşınma iken, %25 oranında sertlik parametresi önem kazanmıştır.





Şekil 6. Standard Profil A.Ş. belirlediği parametreler (%)

#### 4.SONUÇLAR

Standard Profil Ege Otomotiv A.Ş firmasının belirlediği parametreler göz önüne alındığında, bu çalışmanın konusunu oluşturan kalıp çeliklerinde alaşım elementi etkisi ve içeriğine bağlı olarak dört farklı çeliğin sertlik ve aşınma direnci arasındaki ilişkinin araştırılması üzerine, firma için ideal malzeme seçiminde önemli bir kriter olan aşınma, sertlik ve maliyet analizlerine göre elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir;

- Yapılan literatür çalışmaları ile ideal plastik kalıp çeliği sertliği skalası 30-35 HRC olduğu bilinmektedir. Çeliklerin sertlik değerleri göz önüne alındığında A2 31 HRC ve A1 çeliğinin 30 HRC sertliğe sahip olması ile diğer numuneler arasından öne çıkmaktadır.
- Aşınma deneyinin sonuçlarına bakıldığı zaman, en çok hacimce kayıp, A2 ( 3,159 mm<sup>3</sup> ), en az hacimce kayıp A3 ( 0,678 mm<sup>3</sup> ) çeliğinde görülmüştür.
- Yüzeyinde çökme yapmaması, içerdiği kükürt ile iyi bir işlenebilirlik gibi mekanik özelliklere sahip olan EN/DIN 1.2738 çeliğinin plastik kalıp sektöründe tercih edilmesi ve yaygın olarak kullanıldığı bilinmektedir. A3 çeliğinin ise EN/DIN 1.2738 çeliğinin nikel modifiye edilmesi ile geliştirilen bir çeliktir. Bu da deneysel ve teorik sonuçların ortak bir paydası olan aşınma kabiliyetinin daha iyi olduğu göstermektedir.

- Standard Profil A.Ş firmasının bünyesinde kalıp tasarımı ve işleme yaptığı bilinmektedir. A3 numune çeliğinin işleme kabiliyeti ile işleme maliyeti daha düşük takımlarla kolay işlenebilirliği sayesinde fabrika bünyesinde ekstra bir maliyete sebebiyet vermeyecektir.
- 4 farklı kalıp çeliklerinin içerisinde, günümüz sanayisinde malzeme seçimi kriterleri göz önünde bulundurulduğunda (sertlik-aşınma-maliyet ) A3 numunesi kalıp en uygun öneri olarak belirlenmiştir.

#### 4.REFERANSLAR

[1] Albaraz, Z., ‘’ Isıl İşlem Parametrelerinin Ve Kimyasal Kompozisyonun Sıcak İş Takım Çeliklerine Etkisi’’ , Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, , Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, (2010).

[2] Uzun H., ‘’Borlama İle Yüzeyleri Sertleştirilen Çeliklerin Aşınma Ve Korozyona Karşı Dayanımları’’ , Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta, (2002).

[3] Erdem S., ‘’Yüksek Karbon İçeriğine Sahip, Yüksek Kromlu, Manganlı Ve Alaşımız Düşük Karbonlu Çeliklerin Aşınma Davranışlarının Araştırılması’’ , Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji Eğitimi Anabilim Dalı, Elazığ, (2006).

[4] Özcan, H., ‘’32CrMoV Çeliğinin Aşınma Direncini Arttırmak İçin Yeni Bir Isıl İşlem Metodunun Geliştirilmesi’’ , Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, (2012).

[5] Çalışkan O., ‘’Düzlemsel Homotetik Hareketler Altında C. Tornalamada Talaş Kaldırma Parametrelerinin Takım Ömrüne Etkilerinin Taguchi Yaklaşımıyla İncelenmesi, , Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, (2014).