



**T.C.**  
**SELÇUK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**ELEKTRİK AKIMI KULLANARAK ISITMA  
İLE TESTEREDE KESMEDE KESME  
PARAMETRELERİNİN KESMEYE  
ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

**Esra SARIASLAN**

**YÜKSEK LİSANS**

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Mart-2016**  
**KONYA**  
**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL VE ONAYI

Esra Sariaslan tarafından hazırlanan “ELEKTRİK AKIMI KULLANILARAK ISITMA İLE TESTERDE KESMEDE KESME PARAMETRELERİNİN KESMEYE ETKİSİNİN İNCELENMESİ” adlı tez çalışması 4/3/2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

#### Başkan

Prof. Dr. Ali ÜNÜVAR

#### Danışman

Prof. Dr. Ali ÜNÜVAR



#### Üye

Yrd. Doç. Dr. Mehmet BAĞCI

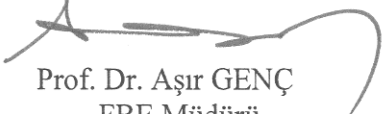
#### Üye

Yrd. Doç. Dr. Murat DİLMEÇ

İmza  
  

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

  
Prof. Dr. Aşır GENÇ  
FBE Müdürü

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## **DECLARATION PAGE**

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Öğrencinin Adı SOYADI  
Esra SARIASLAN

Tarih: 04.03.2016

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS

#### **ELEKTRİK AKIMI KULLANARAK ISITMA İLE TESTEREDE KESMEDE KESME PARAMETRELERİNİN KESMEYE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

**Esra SARIASLAN**

**Selçuk Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Anabilim Dalı**

**Danışman: Prof. Dr. Ali ÜNÜVAR**

**2016, 92 Sayfa**

**Jüri  
Prof. Dr. Ali ÜNÜVAR  
Yrd. Doç. Dr. Mehmet BAĞCI  
Yrd. Doç. Dr. Murat DİLMEÇ**

Bu çalışmanın amacı testere ile kesmede sıcak talaş kaldırma işlemi uygulanarak takım ömrü ve işleme zamanına kesme hızı, ilerleme, itme ve asıl kesme kuvvetleri ve ısıtma akımının etkilerini incelemek ve en uygun kesme parametrelerini bulmaktır.

Bu çalışmada elektrik akımı kullanarak ısıtma ile testerede kesme parametrelerinin kesmeye etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Ç1040 iş malzemesine belirlenen kesme parametrelerinde (V:kesme hızı, f:ilerleme, I=akım) deneyler yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Deneyler sonucunda parametrelerin etkileri hesaplanmış, parametrelerin seçilen seviyelerinde maksimum ve minimum takım ömrü elde edilen değerler bulunmuştur. Akımındaki artışla bir optimum değere kadar takım ömründe artma, optimum nokta aşıldığında ömürde azalma görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Sıcak kesme, Takım ömrü, Testerede kesme

**ABSTRACT**

**MS THESIS**

**INVESTIGATION OF THE EFFECT OF CUTTING PARAMETERS in BAND  
SAWING USING HEATING EFFECT OF ELECTRIC CURRENT**

**Esra SARIASLAN**

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF  
SELÇUK UNIVERSITY  
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE  
IN MECHANICAL ENGINEERING**

**Advisor: Prof. Dr. Ali ÜNÜVAR**

**2016, 92 Pages**

**Jury**

**Prof. Dr. Ali ÜNÜVAR  
Yrd. Doç. Dr. Mehmet BAĞCI  
Yrd. Doç. Dr. Murat DİLMEÇ**

The aim of this study is to define and calculate: the feed rate, impulse and main cutting forces and the effects of heating flow on tool life. Also it's important to identify the characteristics of the machining operation especially the hot machining processes by sawing then it's necessary to optimize the machining parameters.

In this study the objective was to determinate the effects of cutting parameters with heating on sawing, the operation have been conducted using the electric current. At the end of the procedure, the cutting parameters (V: cutting speed, f: feed rate; I: current) were established on workpiece and the results were compared.

After these experiment, the effects of the parameters were calculated, the optimization of cutting tool life parameters were defined by selecting the maximum and minimum levels. Experimental results proved that increasing tool life to an optimum value is related to the maximization of current, also it was obvious that the tool life decrease when the optimum point has been exceeding.

**Keywords:** Hot machining, Tool life, Sawing

## ÖNSÖZ

Çalışmalarım sırasında yönlendirmelerinden faydalandığım ve beni her zaman destekleyen danışmanım Prof. Dr. Ali ÜNÜVAR' a teşekkür ederim.

Aynı zamanda testere kesici takımı temini konusunda yardımcı olan Wikus'a ve teknik desteklerinden dolayı Perko Sanayi Ürünleri Tic. Ltd. Şti. satış temsilcisi Murathan Sarıçayır'a teşekkürleri bir borç bilirim.

Esra SARIASLAN  
KONYA-2016

# İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET .....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>v</b>
<b>ÖNSÖZ .....</b>	<b>vi</b>
<b>İÇİNDEKİLER .....</b>	<b>vii</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR .....</b>	<b>ix</b>
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI .....</b>	<b>2</b>
<b>3. TESTERE İLE KESME VE SICAK TALAŞLI İMALATIN ESASLARI.....</b>	<b>6</b>
3.1. Testere ile Kesme.....	6
3.1.1. Testere tezgâhı türleri .....	7
3.1.2. Testere tezgâhlarının kıyaslanması .....	10
3.1.3. Şerit testere tezgâhı .....	10
3.1.4. Şerit testere takımı seçimi .....	12
3.1.5. Aşınma tipleri .....	17
3.1.6. Aşınma modeli .....	18
3.1.7. Testere ile kesmede Kesme Parametrelerinin etkisi .....	19
3.2. Sıcak Talaşlı İmalat Yöntemleri .....	23
3.2.1. Isıtma yöntemleri .....	25
3.2.2. Isıtmanın teorik analizi .....	29
3.3. Aşınma Ölçüm Yöntemleri .....	32
3.3.1. Görüntüleme sistemleri .....	32
3.3.2. İş parçası boyutlarının ölçülmesi .....	33
3.3.3. Radyoaktif parçacık ölçümü .....	33
3.3.4. Kuvvet ölçümü.....	34
3.3.5. Titreşim ölçümü .....	34
3.3.6. Kesme bölgesi sıcaklığının ölçülmesi.....	34
3.4. Taguchi Yöntemi .....	34
3.5 Kesme Parametrelerinin ve Takım Ömrünün Matematik Modellenmesi .....	37
3.5.1 Cevap yüzey metodu(CYM).....	37
3.6. Testerede kesmede Kesme Koşularının Optimizasyonu.....	39
<b>4. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>	<b>42</b>
4.1. Deney Düzenegi.....	42
<b>5. DENEYSSEL SONUÇLAR .....</b>	<b>45</b>
<b>6. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA .....</b>	<b>69</b>
6.1. Deney Planlar ve Takım Ömrü Matematik Modelleri .....	69

6.2. Taguchi Tekniği Kullanılarak Testere Parametrelerinin Etkileri ve Optimizasyonu .....	75
6.2.1.Taguchi L9 Deney Planı İçin Deneysel Sonuçların Değerlendirilmesi .....	76
6.2.2.Ortalamalar için etki .....	76
6.2.3.S/N oranı için tepki .....	77
6.2.4.Ortalamalar için varyans analizi .....	78
6.2.5.S/N Oranı için varyans analizi .....	79
6.3.İkinci Dereceden Model İçin Deneysel Sonuçların Değerlendirilmesi .....	80
6.3.1.Ortalamalar için varyans analizi .....	81
6.4. Ölçülen Kuvvetlere Göre Deneysel Sonuçların Değerlendirilmesi .....	82
6.5. Optimizasyon ve Matematik Model .....	85
6.5.1.Takım mr maksimizasyonu.....	85
6.5.2 Bir takım ömrü zamanında kaldırılan talaş hacmi maksimizasyonu .....	86
<b>7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>89</b>
7.1 Sonuçlar .....	89
7.2 neriler .....	89
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>90</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>92</b>

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

$R_T$	Takım- iş parçası arası toplam direnç (ohm)
$R_I$	Takım-talaş ara yüz direnci (ohm)
$R_C$	Talaş malzemesi direnci (ohm)
$R_M$	Ölçme problemleri, kesme düzlemi arasındaki toplam direnç (ohm)
$R_F$	Takım-iş parçası ara yüz direnci (ohm)
$\rho_I$	Talaş-takım ara yüz özgül direnci (ohm.mm)
$\rho_C$	Talaş malzemesi özgül direnci (ohm.mm)
$\rho_F$	Takım-iş parçası ara yüz özgül direnci (ohm.mm)
$l$	Talaş-takım temas boyu (mm)
$l_F$	Takım-iş parçası temas boyu (mm)
$t_1$	Deforme olmamış talaş kalınlığı (mm)
$t_2$	Talaş kalınlığı (mm)
$I$	Akım (amper)
$\Delta$	Kanal derinliği (mm)
$F_r$	Toplam radyal itme yükü
$F_t :$	Toplam teğetsel itme yükü
$B$	İş parçası genişliği (mm)
$C$	İş parçası yüksekliği (mm)
$t$	Testere kalınlığı (mm)
$p$	Hatve
$n_c$	Temastaki diş sayısı
$L$	Şerit uzunluğu (mm)
$A$	İş parçası kesit alanı (mm <sup>2</sup> )
$z_w$	Diş sayısı
$A_s$	Kesme oranı (mm <sup>2</sup> /dk)
$f$	İlerleme (mm/dk)
$V$	Kesme hızı (m/dk)
$n$	Parça sayısı
$V_B$	Aşınma şeridi genişliği (mm)
$T$	Ömür (dk)
$K_e$	Kesme sabiti
$\delta_a$	Diş başına kesme derinliği
$K$	Kayıp
$m$	Örnekleme sayısı
$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5, \lambda_6$	Lagrangian çarpanı
$F_{X_1}, F_{X_2}, F_{X_3}$	Amaç fonksiyonu türevleri
$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5$	Amaç fonksiyonu sabit katsayıları
$g_1, g_2, g_3, g_4, g_5, g_6$	Kısıt fonksiyonları

## 1. GİRİŞ

Malzemelerin kolay işlenebilirliğinin sağlanmasında uygulanabilir metotlardan birisi sıcak işlemedir. Sıcak işlemede iş malzemelerine ısı kesme bölgesi civarında kayma mukavemetini azaltmak için uygulanır. Yüksek mukavemetli malzemelerin işlenmesinde sıcak işleme iki önemli fonksiyona sahiptir. Birincisi diğer çok pahalı araçlarla imal edilecek parçaların işlenmesini mümkün kılmak, ikincisi ise diğer yöntemlerle düşük kesme hızları ve kısa takım ömürleriyle işlenen malzemelerin işleme ekonomisini ve üretim hızlarını iyileştirmektir.

İş parçalarının ısıtılarak işlenmesi yeni bir proses değildir. 1941li yıllarından bu yana değişik talaş kaldırma proseslerinde uygulanmıştır. Yapılan araştırmalar ve incelemeler uygun iş parçası ısıtma yöntemi ile takım ömründe artmalar ve kesme kuvvetlerinde önemli azalmalar olduğunu göstermiştir.

Talaşla imalat işlemleri genellikle testerede kesme işlemi ile başlamaktadır. Endüstride önemli problemlerden biride malzemelerin istenilen boyutlarda kesilmesidir. Testerede kesme işleminin en önemli özelliklerinden bir tanesi, bu işlemde yapılacak her iyileştirmenin diğer işlemleri de etkileyecek olmasıdır.

Kesme işleminin bazı özellikleri testere takımının aşınmasını etkiler. Dişlerin tek tek kaldırdığı talaş miktarı, testerenin uygulanan basıncı iş parçasına ne kadar iyi ilettiğine bağlıdır. Testere ile kesmede meydana gelen talaş kaldırma kuvvetleri bu nedenle diğer talaş kaldırma işlemlerine göre daha önemlidir. Sıcak talaşlı imalatın testerede kesme işlemine uygulanmasıyla kesme kuvvetlerinde azalma olacaktır. İşlemin uygulandığı parçanın toplam imalat süresi kısılacak, takım ömürleri artacaktır.

Talaşlı imalat sektörünün üretim maliyetlerinin büyük kısmını kesici takımlar oluşturmaktadır ve kesme işleminde kullanılan testereleler ithal edilmektedir. Bu yöntemle takım için yapılan harcamalardan ve zamandan tasarruf elde edilecek ekonomiye büyük katkı sağlayacaktır.

Testerede sıcak talaşlı imalat ilk kez yapılmıştır. Çalışmamızda bu alanda yapılan benzer çalışmalar hakkında bilgi verilmiş ve testerede sıcak talaşlı imalat deneyleri yapıp sonuçlar değerlendirilmiştir.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Testere ile kesmeyle ilgili ilk çalışmalar 1950 yıllarında dairesel ve bantlı testere ile kesme alanlarında yapılmıştır. 1960'lı yıllarda şerit ve kollu testerelele kesmenin maliyet yönünden karşılaştırılması ve kesme ekonomisi üzerine araştırmalar yapılmıştır.

Sıcak talaşlı imalat, özellikle işlenmesi güç malzemeleri işlenmesini kolaylaştırmak için 1950 yıllarda akademik çalışmalar yapılmaya başlanmıştır.

Ahmad, Hogan ve Goodet (1988).çalışmalarında değişken diş sayılarında ve kesme parametrelerinde kesme kuvvetlerini incelemiştir. Kesme hızı arttıkça asıl kesme kuvvetinde hızlı bir düşüş olurken teğetsel kuvvette daha az düşüş gözlenmiştir.

Barrow'un (1966) tornalama işleminde elektrik akımıyla sıcak kesme üzerine yaptığı araştırmada elektrik akımıyla ısıtma yönteminde diğer ısıtma yöntemlerine nazaran daha fazla özgül ısı girişi sağlanabildiğini belirtmiştir. Elektrik akımıyla ısıtma yönteminde kesme bölgesinde veya civarında ısıtma gerçekleşir. Bu yöntemle takım ömürlerinde %300 artma gözlenmiştir. Barrow, düşük kesme hızlarında takım ömrü artarken yüksek kesme hızlarında takım ömrü azaldığını deney çalışmalarında göstermişlerdir. Bu, düşük kesme hızlarında yüksek kesme hızların göre ara yüzey sıcaklığında artma daha yüksek olmasından dolayıdır. Talaşla taşınan ısı düşük hızlarda daha az olması nedeniyle olduğunu belirtmişlerdir..

Barrow (1968) akım, kesme hızı ve sürtünme katsayısı arasındaki bağıntıyı araştırmıştır. Ortogonal kesme üzerine yapılan araştırmada farklı kesme hızlarında, farklı akımlara göre sürtünme katsayısındaki değişim gözlenmiştir. Düşük kesme hızlarında sürtünme katsayısında önce artma sonra azalma görülmüştür. Kesme hızlarındaki ve akımdaki artışla beraber sürtünme katsayısında lineer azalma görülmektedir. Barrowun deneysel bulgularında talaş-takım arayüzeyinden geçen akım takım- iş arayüzeyinden geçen akımdan daha fazla olmaktadır.

Barrow ve Ellis (1971)'in yaptıkları deneylerde farklı kesme hızları ve akımlar kullanılmıştır. Yüzey şekilleri, geometrik ve metalürjik şekiller incelenmiştir. Optimum hız ve akım seçildiğinde yığıma ağız oluşmadığı gözlenmiştir. Ve yüzey pürüzlülüğünde düzelme saptanmıştır.

Chen ve Ho (1976) dört farklı kesici uç kullanarak farklı devir, ilerleme ve akımlarda yüzey sıcaklık değişimlerini ölçmüşlerdir. Kesici uçların farklılığına göre oluşan dirençler farklılık göstermiş ve yüzey sıcaklıkları değişmiştir.

Demircioğlu, Böğrekci, Çerçi ve Durakbaşı(2013) çalışmalarında termal kamera ile iş parçası işlenirken görüntü kaydetmiş ve aşınma-sıcaklık arasındaki bağlantıyı incelemişlerdir. Kesici uçtaki ısı transferi azaltılarak aşınmanın azaltılabileceğini gözlemlemişlerdir. Üç boyutlu görüntü işleme yöntemiyle aşınma incelenmiştir.

Ertunç ve Sevim (2001) kesici takım aşınmasının anlık gözlenmesi üzerine çalışmıştır. Takım kırılmadan aşınma miktarı gözlenmesi ve ömür tamamlandığında delme işlemine son verilmesi hedeflenmiştir. Ses, görüntü, titreşim ölçüm yöntemleri hakkında bilgi vermişlerdir.

Ganta ve Chakradhar (2014) çalışmalarında alevle ısıtma yöntemi kullanarak sıcak talaşlı imalat yapmıştır. Taguchi metodu ile deney planı ve etkiler hesaplanmıştır. Kesme hızının pürüzlülükte en büyük etkiye sahip olduğunu sıcaklığın en az etkiye sahip olduğunu gözlemlemiştir.

Jurkovic ve arkadaşları (2005) görüntü işleme yöntemiyle takım ömrü belirlemiştir. Led ve halojen lambayla takımı aydınlatıp CCD kamera ile anlık takım aşınması görüntülerini kaydetmiş ve kaydettiği görüntüleri hazırladıkları görüntü işleme yazılımıyla yorumlamıştır.

Krabacher ve Merchant (1951) yapmış oldukları deneysel çalışmada metallerin sıcak talaşlı imalatında takım ömrüne temel faktörlerin etkilerini incelemişlerdir. Metallerin sıcak talaşlı imalatında kesme kuvvetlerinde azalma, yükseltilmiş sıcaklıkta akma gerilmesinde azalmadan dolayı olduğunu ve yüksek sıcaklık alaşımlarında sıcaklığın etkisi uzama sertleşmesini azaltmak için olduğunu belirlemişlerdir.

Kainth ve Chaturvedi (1975) elektrik akımıyla kesme yöntemini matematiksel olarak modellemiştir. Teori ve deneyler arasında tutarlılığı gözlemlemişlerdir. Takım-

talaş ve takım-iş parçası arasındaki elektriksel direnci ölçmüş ve kritik değerlerde artma saptamıştır.

Lajis ve arkadaşları (2009) kaplanmış karbür uçlarla sertleştirilmiş çeliklerin endüksiyon bobini ile sıcak talaşlı imalatını incelemiştir. Isıtmayla yapılan işlemlerde ısıtmasız olanlara göre takım ömürlerinde artış gözlenmiştir. Sıcaklıktaki artışla ömür artışı bir optimum noktaya kadar devam etmiş optimum noktadan daha yüksek sıcaklıklarda düşmüştür.

Muhammad ve arkadaşları (2014) dirençle ısıtma yöntemi ile sıcak talaşlı imalat yapmıştır. Yüzey pürüzlülüğünde iyileşme ve kesme kuvvetlerinde düşüş gözlemlemiştir.

Özler ve arkadaşları (1999) sıcak talaşlı işleme yöntemiyle ısı arttıkça yüzey pürüzlülüğünde azalma olduğunu deneylerle ispatlamıştır. Matematiksel bir model oluşturmuştur ve deneylerle teorinin uyum sağladığı görülmüştür.

Pentland, Wennberg ve Mehl (1962) Isıtma yöntemlerinin avantaj ve dezavantajlarını araştırmışlar ve her yöntemin uygulama alanına göre fayda ve zararları olduğunu görmüşlerdir. Radyo frekansla ısıtma yöntemi üzerinde yoğunlaşarak bobin mesafesinin ısı üzerine etkisini vurgulamışlardır. Mesafe arttıkça ölçülen sıcaklık azalmıştır.

Sarwan, Persson ve Hellbergh (2007) yaptıkları çalışmalarında östenitik paslanmaz çelik keserken kesici takım aşınmasını gözlemiştir. Takım geometrisindeki değişikliğin özgül kesme enerjilerinde değişime yol açtığı saptanmıştır. Kesilen parça adedi arttıkça kesme kuvvetlerinde artış olmuştur. Bu kuvvetler bir dinamometre yardımıyla ölçülmüştür. Aynı zamanda özgül kesme enerjisi de kesilen parça adedi arttıkça artmıştır.

Thaler, Potocnik, Bric, Govekar (2014) şerit testerede ses özelliklerinin ayrılma analizi ile tespiti üzerine çalışmıştır. Kuvvet ölçümü, ses ölçümleri ve titreşim ölçümü yapılmıştır. Ölçümlerden elde edilen verilerle iş parçası boyutlarındaki artışla ses

şiddetinde artışa sebep olmuştur. Testler sanayi ortamında yapıldığından ve ses titreşim yalıtımı olmadığından tam verim elde edilememiştir.

Thompson (1974) çalışmasında sert metallerin kollu testere ve şerit testerede kesilmesinde kesme hızına etki eden faktörleri incelemiştir. İnç başına diş sayısındaki değişim ve kesme hızındaki değişimle kesme yükünde değişiklik olduğunu gözlemlemiştir. İş parçası ile temas halindeki diş sayısı sabit tutulduğunda kollu testeredeki kesme sabiti şerit testeredeki kesme sabitinden daha büyük olduğunu grafiklerle göstermiştir.

Ünüvar, Sağlam ve Ersoyoğlu (2005a) yaptıkları çalışmada şerit testerede kesmede testere geometrisini dikkate alarak çeşitli malzemelerin kesilmesinde özgül kesme kuvvetlerindeki değişimi ve kesme hızı ile ilerleme gibi kesme parametrelerinin kesme kuvvetlerine etkilerini incelemiştir. İlerleme hızındaki artışın kesme kuvvetlerinde artışa sebep olduğunu saptamışlardır.

Ünüvar, Sağlam ve Ersoyoğlu (2005b) yaptıkları çalışmada şerit testerede kesme parametrelerinin takım aşınmasına etkisini araştırmış ve cevap yüzey metodu ile takım ömür denklemini oluşturmuştur. Aşınmaya en büyük etkiyi sırası ile malzeme sertliği, ilerleme hızı ve kesme hızının; en az etkiyi parça boyutlarının yaptığını gözlemlemiştir.

### 3. TESTERE İLE KESME VE SICAK TALAŞLI İMALATIN ESASLARI

#### 3.1. Testere ile Kesme

Endüstride önemli problemlerden biri de malzemelerin istenilen boyutlarda kesilmesidir. İş parçasının malzemesi, kesime biçimine göre kullanılacak tezgâhlar farklılık gösterir.

Testere ile kesmede her dişin kaldırdığı talaş miktarı yük büyük olsa bile küçüktür. Diğer birçok talaş kaldırma operasyonunda kesme derinliği seçilirken testerede kesmede her diş için kesme derinliği seçmek mümkün değildir. İlerleme kontrolü; iş parçası ve kesici uç arasındaki itme yükü seçimi ile gerçekleştirilir.

Kesme işleminde kesici aletler kesilen malzemeden daha dayanıklı, daha sert ve aşınma direnci daha yüksek olan malzemelerden yapılır. Takım aşınması kesme hızı, kesme kuvvetleri, talaş geometrisi gibi pek çok değişkene bağlıdır. Testere takımı dişleri ile iş parçası sürekli temas halinde değildir. Kesme kesintili olur. Her dişin kaldırdığı talaş miktarı iş parçasına uygulanan basıncı testere takımının ne kadar iyi ilettiğine bağlıdır.

Şerit testere tezgâhında kesme performansını etkileyen pek çok etken vardır. Diş tasarımı, kesme hızı, ilerleme hızı, talaş oluşum mekanizması performansı etkileyen başlıca faktörlerdir.

. Testere ile kesmede testere dişlerinin iş parçası ile teması üretilen oluşan talaşın şekli ve sürekli kesilen kısa talaş ve sürtme etkisi ile özellikle küçük kesme derinliği çok şiddetli aşınma koşullarına olanak verir. Takım aşınmasına kesme hızı, kesme kuvveti, ve talaş geometrisi etki eder. Şerit temas halindeki iş parçası yüzeyi şiddetli bir iş sertleşmesi sahiptir. Şerit dişleri aşınırken, kesme derinliği azalır. Şerit ömrü sona ererken talaş oluşum geometrisi değişir.

Testere ile kesmede plastik deformasyon şekilleri, aşınma oluşumu ve aşınma tipleri aşağıda verilmiştir.

- 1- Yüksek sıcaklıkla kesme ile plastik deformasyon
- 2- Kesme kenarının plastik deformasyonu
- 3- Difüzyon aşınması
- 4- Adezyon aşınması
- 5- Abrazif aşınma

Testere ile kesme ile üretilen talaş oluşum mekanizmasının karakteri ve Küçük kesme derinliğinde yapılan kesme çok şiddetli aşınma koşullarına olanak verir. Talaş oluşurken meydana gelen plastik deformasyon prosesi esnasında testerenin kestiği yüzeyler şiddetli iş sertleşmesine uğrarlar. Testere dişleri iş parçası ile sürekli temasta değildir. Her bir diş virgül şeklinde küçük bir talaşı kaldırır ve kesintili kesme gerçekleşir. Şerit testere ile kesmede itme yükü normal olarak sabit kalır. Şerit testere ile kesme, broşlama ve yüzey frezeleme ile benzerlik gösterir. Her bir dişin kaldırdığı talaş miktarı iş parçasına uygulanan itme yükünü testere takımının ne kadar iyi ilettiğine ve kesme dişlerinin iş parçasına nüfuziyet kabiliyetine bağlıdır. Testere ile kesmede meydana gelen itme ve kesme kuvvetleri bu nedenle diğer talaş kaldırma işlemlerine göre önemi büyüktür.

Şerit testerede kesme işlemini diş tipi, kesme hızı, ilerleme hızı, talaş oluşum mekanizmasının tipi, tezgahın rijitliği ve iş ve takım malzemesi etkileyen faktörlerdir.. Şerit direnci ve rijitliği, şeridin genişliğine ve kılavuzlar arasındaki mesafeye bağlıdır. Ancak şeritle kesme dinamik bir olaydır ve çeşitli faktörlerin kesme performansına etkilerini belirlenmesinde deneysel çalışmalar yapılması gerekmektedir.

### **3.1.1.Testere tezgâhı türleri**

#### **3.1.1.1.Kollu testere tezgâhı**

En eski ve en ekonomik kesme yöntemidir. Kesme işlemi açısından el testereleriyle benzerlik gösterirler. Elektrik motorundan alınan hareket eksantrik bir disk ile testere koluna iletilir. Hareket eden testere kolu aşağı inerek kesme işlemini gerçekleştirir. (Şekil 3.1.).



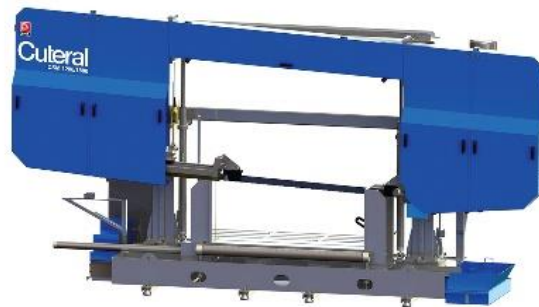
Şekil 3.1. Kollu testere tezgahı(Anonim,2016)

### 3.1.1.2.Şerit testere tezgâhı

Dairesel kesici şerit testere takımına sahiptir. Dairesel şerit iki kasnakla gerdirilir. Kasnaklardan biri elektrik motoruyla tahrik edilir.

#### 3.1.1.2.1.Sütunlu şerit testere tezgâhı

Kesici takımın bağlı olduğu kafa kısmı iki sütun üzerinde düşey inme yaparak kesme işlemini gerçekleştirir. Şeridin dönme hareketi, elektrik motoru ile kasnağın tahrik edilmesiyle gerçekleştirilir. (Şekil 3.2.)



Şekil 3.2. Sütunlu şerit testere tezgahı(Anonim,2016)

#### 3.1.1.2.2.Mafsallı şerit testere tezgâhı

Tezgâhın kafa olarak adlandırılan (kesici takımın bağlı olduğu kısım) kısmı bir ucundan ana gövdeye mafsallanmıştır. Kafa, mafsal etrafında dönme hareketi yaparak

aşağı doğru iniş yapar, kesme gerçekleşir. Şeridin dönüşü kasnakların elektrik motoru ile tahrik edilmesiyle sağlanır.(Şekil 3.3.)



Şekil 3.3. Mafsallı şerit testere tezgahı(Anonim,2016)

### 3.1.1.2.3.Dikey kesim şerit testere tezgâhı

Diğer şerit testere tezgâhlarıyla benzer mantıkta çalışır. Yaygın olarak ağaç kesme işlemlerinde kullanılır.(Şekil 3.4.).



Şekil 3.4. Dikey kesim şerit testere tezgahı(Anonim,2016)

### 3.1.1.3.Daire testere tezgâhı

Daire plaka üzerindeki dişler ile malzeme kesmekte kullanılır. Her tür profil malzeme kesiminde kullanılır. Elektrik motoruyla doğrudan tahrik edilir.(Şekil 3.5.).



Şekil 3.5. Daire testere tezgahı(Anonim,2016)

### 3.1.2. Testere tezgâhlarının kıyaslanması

Çizelge 3.1. Testere tezgahları karşılaştırması

Özellik	Makine Tipleri		
	Düşük	Orta	Yüksek
Makine Maliyeti	K	Ş	D
Güç ihtiyacı	Ş	K	D
Verimlilik	K	D	Ş
Çok Yönlülük	K	D	Ş
Takım Maliyeti	D	K	Ş
Takım Ömrü	K	Ş	D
Hassasiyet	K	Ş	D

\*K=kollu testere tezgâhı, Ş=şerit testere tezgâhı, D=daire testere tezgâhı

### 3.1.3. Şerit testere tezgâhı

Şerit testerelerde tahrik motordan alınan hareketle gerçekleşir. Tahrik kasnağı ile diğer kasnak arasında gergin halde bulunan testere şeridi ile diğer kasnağa hareket iletilir. İş parçasının bağlı olduğu kısımda küçük makaralar yardımıyla şerit düzleştirilir. Testere kafasının gerçekleştirdiği inme hareketi ile kesme tamamlanır.(Şekil 3. 6.).



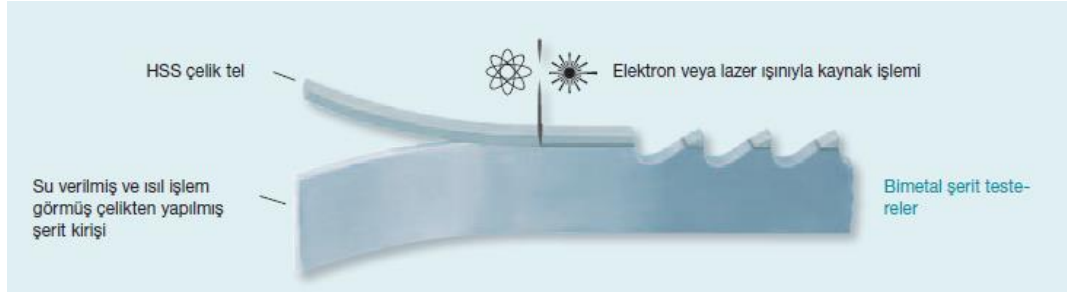
Şekil 3.6. Mafsallı şerit testere tezgahı kısımları(Anonim,2016)

### 3.1.3.1.Şerit testere tezgâhının faydaları

- İstenmeyen malzeme ve talaşlar dişlerin ilerleyişiyle iş parçasından uzaklaştırılır.
- Daha küçük kaldırılan talaş kalınlıklarıyla güç minimizasyonu sağlar.
- Şerit, dairesel olduğundan kesme işlemi süreklidir zaman kaybı olmaz.
- Çok çeşitli malzeme ve farklı boyutlarda iş parçaları kesilebilir.
- Şerit ince olduğundan kayıp azdır.

### 3.1.3.2.Şerit çeşitleri

1. Karbon çeliği şerit testere takımı: Tamamı karbon çeliği olup uçları sertleştirilmiş, gövdesi daha esnek olarak imal edilen testereledir.(wikus)
2. Bi-Metal şerit testere takımı: Yüksek hız çeliği ile genellikle AISI 6150 veya tungstenkarbid malzemenin birbirine kaynatılması ile oluşan testere türüdür. Yüksek hız çeliği yüksek kesme oranlarına dayanıklı ve uzun ömürlü olduğundan tercih sebebidir. (Şekil3.7.).



Şekil 3.7. Bi-metal şerit testere takımı kısımları(Anonim,2016)

3. Karbür uçlu şerit testere takımı: Testere şeridinin kesmeyi gerçekleştiren dış kısımları karbürden imal edilmiştir.
4. Elmas şerit testere takımı: Elmas en sert malzeme olarak bilinir. Bu grup şerit testerelecilerin ucunda farklı tane boyutunda elmaslar bulunur.

#### 3.1.4.Şerit testere takımı seçimi

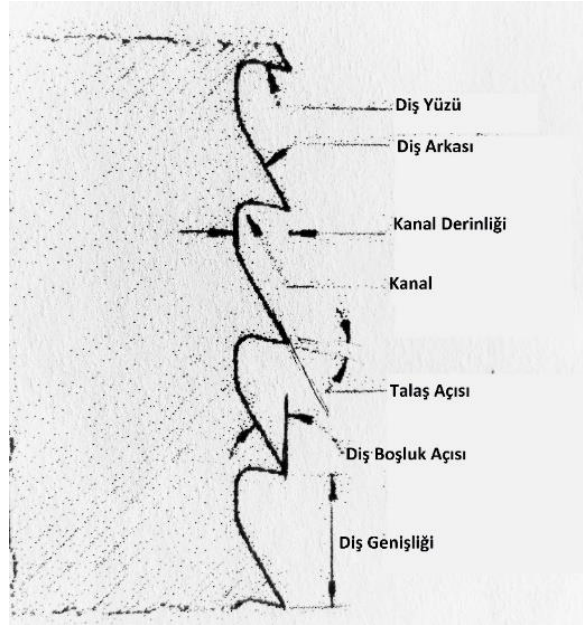
Uygun testere takımı seçiminde şerit genişliği, dişlerin biçimi, adımı, çapraz tipi, kesilecek iş parçasının cinsine ve genişliğine göre belirlenir. Dar iş parçaları için diş sayısı fazla olan testere takımı kullanılır.

Testere takımı kalınlığı iş parçası genişliğine göre seçilir. Kesme kanalında sıkışmadan kavis yapmaya olanak sağlayan en kalın testere takımı seçilir.

Kesilecek malzemenin cinsine göre testere takımı sertliğine ve adım başına düşen diş sayısına karar verilir. Kesme hızı, ilerleme değerlerinin seçimi de önemlidir. Yapılacak her değişimin takım ömrüne etkisi vardır.

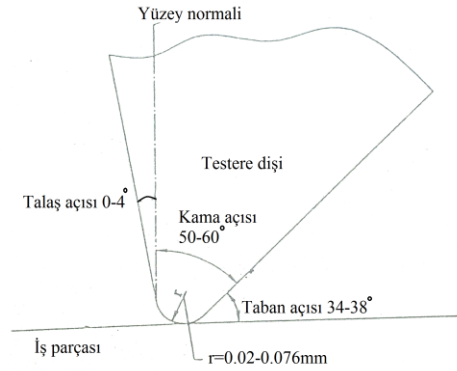
##### 3.1.4.1. Diş formları

Kesme ucu malzemesi, iş parçası malzemesine bağlı olarak değişkenlik gösterir. Testere takımının dişlerindeki her açı ve yüzey, talaş akışına ve kesme kuvvetlerine etki eder. (Şekil3.8.).



Şekil 3.8. Şerit testere takımında açılar ve yüzeyler

Testere takımının diş açlarına detaylı bakacak olursak talaş açısı, kama açısı ve taban açısı (boşluk açısı) olmak üzere üç adet açı bulunmaktadır. (Şekil 3.9.).



Şekil 3.9. Şerit testere takımı açıları

Diş formları standartlaştırılmıştır. Sekiz tip diş formu bulunmaktadır. Wikus marka şerit testere 2012/2013 kataloğunda diş formları aşağıdaki gibi adlandırılmış açıklanmıştır.

Atlayan dişler(L) (Şekil 3.10.) tarak açısı  $0^{\circ}$  dir. Esnek malzemelerde (alüminyum ve ağaç) ve karbon çeliğinde kullanılır.



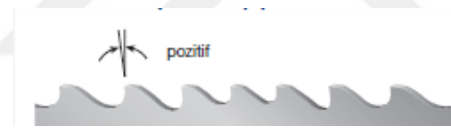
Şekil 3.10. Atlayan diş formu

Tarak diş (S) (Şekil 3.11.) tarak açısı  $0^0$  dir. Kısa talaş oluşan malzemelerde, yüksek karbon içerikli malzemeler, takım çelikleri, dökme demirler, küçük kesit alanlı malzemeler, ince duvarlı profillerin kesilmesinde kullanılır.



Şekil 3.11. Tarak diş formu

İnce duvarlı profiller (P) (Şekil 3.12.) pozitif tarak açılıdır. İçi boş ve açılı profiller, çelik kirişler, demet ve katmanlı kesimler, titreşim hassasiyeti olan uygulamalar da bu tür dişler kullanılır.



Şekil 3.12. P diş formu

Kanca diş (K) (Şekil 3.13.) tarak açısı pozitifdir. Genel amaçlı kullanımlar, karbon içeriği olan demir içermeyen metal ve çelikler, profil ve katı malzemelerin kesimi için uygundur.



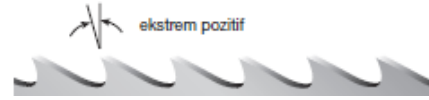
Şekil 3.13. Kanca diş formu

HV diş formu(Şekil 3. 14.) pozitif tarak açılıdır ve dişler farklılık gösterir. Katı malzemeler, kısa talaşlı malzemeler ve tavllanmış çelikleri kesmede kullanılması uygundur.



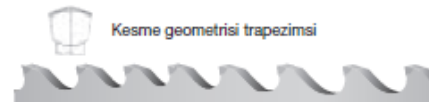
Şekil 3.14. HV diş formu

VA diş formu (Şekil 3.15.) tarak açısı ekstrem pozitifdir. Katı malzemeler, uzun talaşlı malzemeler, pasa ve aside dayanıklı çelikler, süper alaşımların kesilmesi için kullanılır.



Şekil 3.15. VA diş formu

Trapez diş (T) (Şekil 3.16.) kesme geometrisi trapezimsidir. En iyi yüzey kalitesini veren diş tipidir.



Şekil 3.16. Trapez diş formu

TSN diş formu (Şekil3.17.) tarak açısı negatiftir. Sertleştirilmiş millerin, 62 HRC sertliğe kadar olan sertleştirilmiş çelikler, sert mangan çeliği, sert krom levha kaplamalı iş parçaları ve 300mm'ye kadar çapı olan malzemelerin kesilmesinde kullanılır.



Şekil 3.17. TSN diş formu

### 3.1.4.2. Diş düzenleri

Kesme esnasında, şeridin arka kısmı bir yan boşluk meydana getirmek için dişler belirli bir miktar eğilir. Testere kesici takım dişleri, düzgün kesim ve sıkışmama için iki taraflı ve farklı şekillerde çaprazlanmıştır. Diş düzenleri standartlarda raker, düz, dalgalı olarak görülür. Yaygın olarak raker diş düzeni kullanılır.(Ünüvar ve ark., 2005a)

Raker dişlerde eğim verilmemiş dişin arkasından gelen dişlerden biri sağa diğeri sola eğimlidir.(Şekil 3.18.)



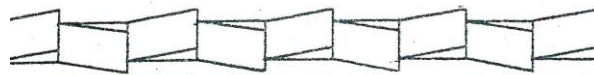
Şekil 3.18. Raker diş düzeni

Dalgalı dişlerde gruplar halinde çaprazlama vardır. Bir grup diş sağa çaprazlanırken sonraki grup sola çaprazlanır.(Şekil 3.19.)



Şekil 3.19. Dalgalı diş düzeni

Düz dişlerde diş eğimleri düzenlidir. Bir diş sağa bir diş sola çaprazlanarak devam eder çaprazlama.(Şekil 3.20.)



Şekil 3.20. Düz diş düzeni

### 3.1.4.3. Diş sayısı(TPI)

Diş sayısı inç başına düşen diş sayısı olarak tanımlanır. Diş sayısı arttıkça parça ile temas eden diş sayısı artar. Bu da diş başına düşen kuvveti etkiler. Genellikle iş parçası genişliği arttıkça inç başına düşen diş sayısı azalır.

### **3.1.5. Aşınma tipleri**

Takım aşınması; takımın ömrünün sona ermesine neden olan tahribattır. Takım aşınması farklı koşullarda farklılık gösterir. Metal kesmede aşınma sınıflandırılması aşağıdaki gibidir;

- Difüzyon aşınması
- Adezyon (yapışarak) aşınması
- Abrasif aşınma

#### **3.1.5.1 Difüzyon aşınması**

Yüksek sıcaklıklarda kesmede takımın bir bileşeni talaş malzemesiyle katı bir çözelti oluşturur. Takım yüzeyini zayıflatır ve takımın talaş yüzeyi üzerinde bir aşınma oluşturur. Bu aşınmaya difüzyon aşınması denir.

#### **3.1.5.2 Adezyon (yapışarak) aşınması**

İki metal arasında kaynaklı sert birleşimlerin kırılmasıyla ortaya çıkan aşınmadır. Takım ve talaşın birbirine kaynaklı birleşmesi ve kaynağın kırılması ile ortaya çıkan aşınmaya denir. Kaynak koparken yanında takımında yüzeyinden küçük parçacıklar koparır.

#### **3.1.5.3. Abrasif (çizilerek) aşınma**

Sert bir malzemenin yumuşak bir malzeme üzerinde sürtünerek oluşturduğu aşınmadır. Talaş altındaki sert parçacıkların takım yüzeyinden geçerken sürtünmesi ile aşınma oluşur.

Bahsedilen aşınma türlerinden farklı olarak da takım ömrünü tamamlayabilir. Plastik deformasyonunda takım kırılmasında etkili olduğu görülmüştür. Fazla ilerleme de takım da kırılmalara sebep olabilir.

### 3.1.6. Aşınma modeli

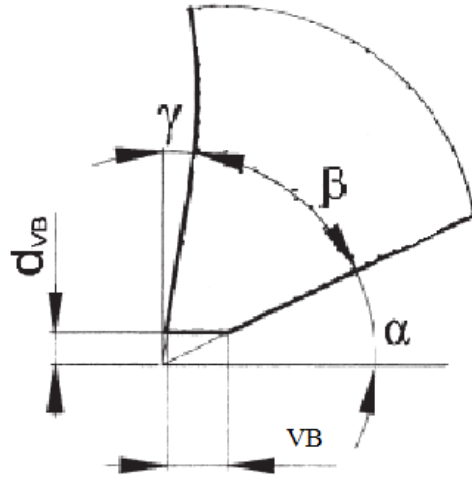
Ünüvar ve ark. (2005) şerit testerede kesme üzerine yaptıkları çalışmada ömür hesaplaması için bir model oluşturmuştur. Testere ile kesmede, diş başına ortalama kesme derinliği ile birim kalınlık ve diş başına itme yükü arasında lineer bir ilişki vardır. Eğim kesme sabiti olarak tanımlanır. Diş başına ortalama talaş derinliği ( $\delta_a$ ) ve diş başına ortalama itme kuvveti ( $f_m$ ), kesme sabiti ( $K_e$ ) olarak tanımlanırsa,

Şerit testerede kesmede ortalama itme yükü;

$$f_m = \frac{F_m}{B \cdot t \cdot p} \quad (3.1)$$

Temastaki diş sayısı;

$$n_c = B \cdot p \quad (3.2)$$



Şekil 3.21. Şerit testere takımı uç açıları ve aşınma görünümü (Ünüvar ve ark., 2005b)

Şerit testerenin her dişi diş başına eşit kesme derinliği kaldığı kabulüyle bu hesaplar yapılır.

$$\delta_a = \frac{f \cdot L}{V \cdot z_w \cdot 10^3} = \frac{A_s \cdot T}{C \cdot V \cdot 10^3} \quad (3.3)$$

$$T = \frac{L}{z_w} \quad (3.4)$$

$$A_s = f \cdot C \quad (3.5)$$

n adet parça kesilince takım ömrü tamamlandığı kabulü ile takım ömrü;

$$T = n \cdot \frac{A}{A_s} \quad (3.6)$$

Birim şerit uzunluğu için ömür;

$$T = \frac{1}{L} \cdot n \cdot \frac{A}{A_s} [\text{dk}] \quad (3.7)$$

Kesilen parça alanı cinsinden ömür;

$$T = \frac{1}{L} \cdot n \cdot A [\text{mm}^2] \quad (3.8)$$

Kesme sabiti, iş parçası malzemesi, iş parçası geometrisi ve şerit karakteristiklerine bağlıdır. Kesme sabiti şerit aşınması ve dişin nufuz etmesi için gerekli itme yükü azalır. Aşınmış durumda diş için, diş başına ortalama talaş derinliği ( $\delta_a$ ) ve diş başına ortalama itme kuvveti ( $f_m$ ), artık doğrudan orantılı değildir. Deneyler göstermiştir ki ilk nufuziyet yükü küçüktür ve 8 N/mm den azdır. Aşınma testleri zaman bağlı olarak efektif kesme sabitinde değişmeyi tayin etmek için yapılır.(Ünüvar ve ark., 2005b)

Kesme sabiti için takım ömrü;

$$K_e = \frac{\delta_a}{F_r} \quad (3.9)$$

$$\frac{dK_e}{dn} \quad (3.10)$$

$$\frac{dK_e}{dT} \quad (3.11)$$

Taban aşınmasına göre takım ömrü;

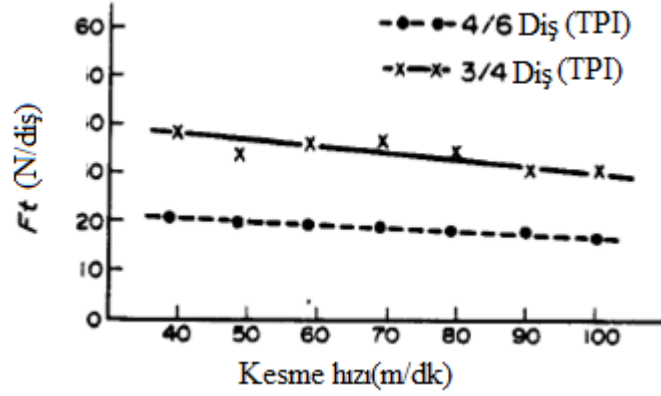
$$\frac{dVB}{dn} \quad (3.12)$$

### 3.1.7. Testere ile kesmede Kesme Parametrelerinin etkisi

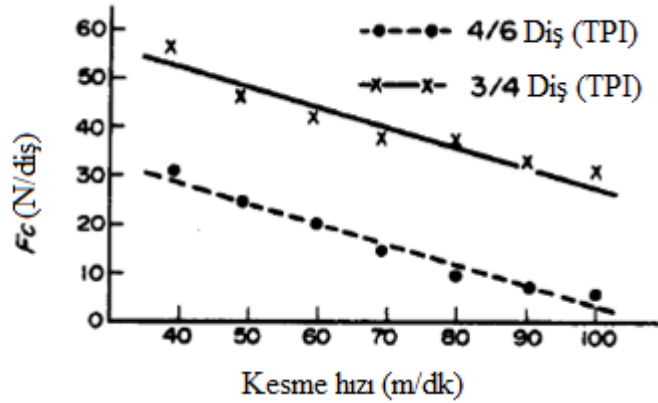
Ahmad ve ark.(1988) alaşımlı çelik bir malzemeyi (32x1.1x4100) boyutunda ve  $\frac{3}{4}$  ve  $\frac{4}{6}$  değişken hatveli bimetal şerit testere ile kesmede kesme parametrelerinin etkilerini incelemişlerdir.(Ahmad ve ark., 1988)

### 3.1.7.1 Kesme Kuvvetlerinin Etkisi

Diş ve birim kalınlık başına  $\dot{t}$ me ve kesme kuvvetlerinin kesme hızında artma ile azaldığını deneysel olarak bulmuşlardır. Bunun nedeninin kayma açısı nda artmayla talaş kalınlık oranında azalma ve bu nedenle talaş kaldırma için gerekli enerjide azalma olduğunu ileri sürmüşlerdir. Talaş oluşumu mekanizması kayma gerilmesi bir malzeme özelliği, kayma gerinimi kesme hızının bir fonksiyonu olarak azaldığı işaret etmişlerdir. Bir metal hacmi kaldırmak için istenen kayma enerjisi kesme hızı artarken azaldığı bunun nedenidir.



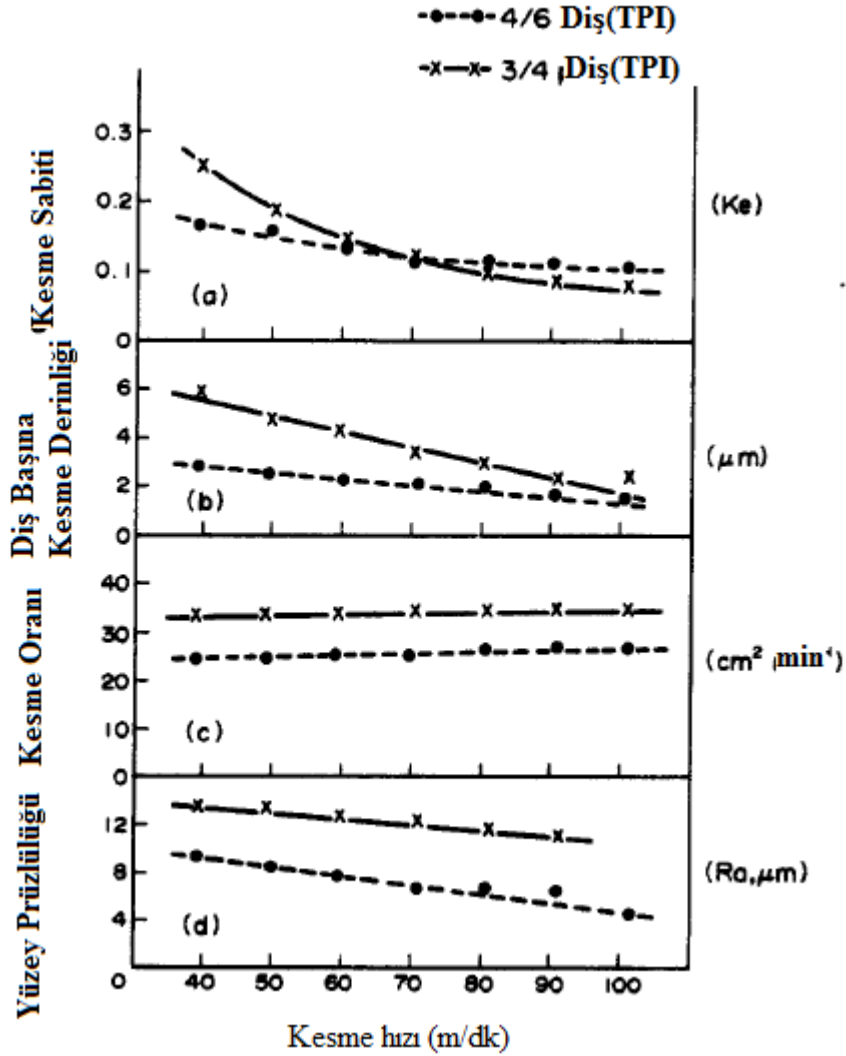
Şekil 3.22. İtme kuvvetleri üzerine şerit hızının etkisi (Ahmad ve ark., 1988)



Şekil 3.23. Kesme kuvvetleri üzerine şerit hızının etkisi (Ahmad ve ark., 1988)

### 3.1.7.2 Kesme Hızının etkisi

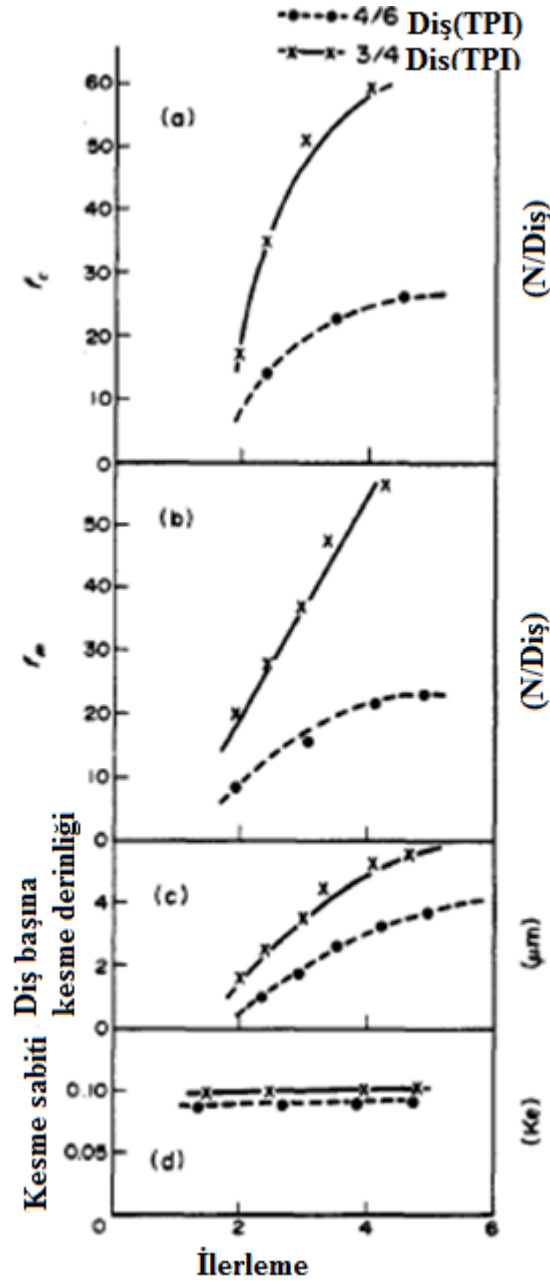
Ahmad ve Ark.(1988), kesme sabiti, diş başına kesme derinliği, yüzey pürüzlülüğü kesme hızıyla azaldığını, kesme oranının kesme hızıyla değişmediğini deneysel olarak göstermişlerdir.(Ahmad ve ark., 1988)



Şekil 3.24. Kesme hızının kesme oranı, kesme sabiti, diş başına kesme derinliğine etkisi (Ahmad ve ark., 1988)

### 3.1.7.3 İlerlemenin Etkisi

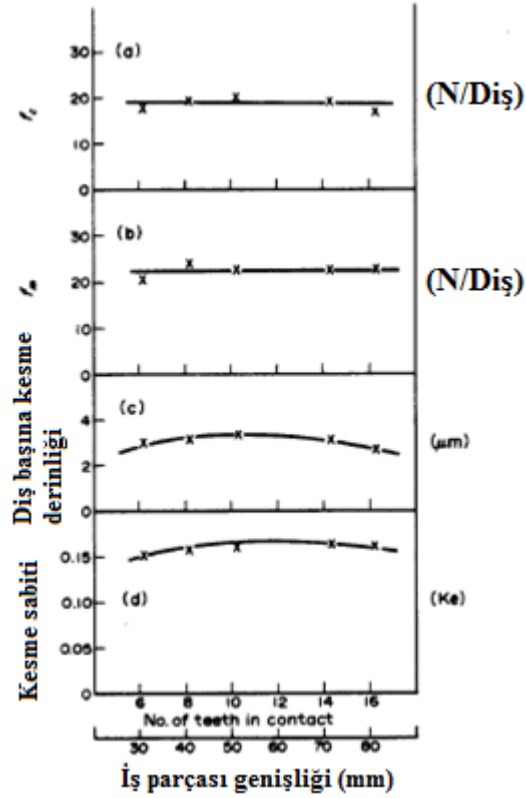
Diş başına kesme ve itme kuvvetleri, ve diş başına kesme derinliği ilerlemenin artması ile arttığı ve  $\frac{3}{4}$  hatveli serit testerenin etkisinin fazla olduğu görülmüştür. İlerlemenin kesme sabitine etkisi fazla olmadığı deneylerde gösterilmiştir.



Şekil 3.25. Diş başına kesme ve itme kuvvetleri, diş başına kesme derinliği ve kesme sabitine ilerlemenin etkisi (Ahmad ve ark., 1988)

#### 3.1.7.4 İş parçası genişliğinin etkisi

Diş başına kesme ve itme kuvvetleri, diş başına kesme derinliği ve kesme sabitinin iş parçası genişliğinin ile değişmesi az olduğu görülmüştür.



Şekil 3.26. Diş başına kesme ve itme kuvvetleri, diş başına kesme derinliği ve kesme sabitinin iş parçası genişliğinin etkisi (Ahmad ve ark., 1988)

### 3.2. Sıcak Talaşlı İmalat Yöntemleri

Talaşlı imalatın temel prensibi kesici takımın kesilecek malzemeden sert olmasıdır. Bu sebeple yüksek sertlikte malzemelerin işlenmesi zor olmaktadır. Gelişen teknolojiyle imalatta sert malzemelerin kullanımı yaygınlaşmıştır. Sert malzemeler için daha sert takım arayışına girmektense yeni imalat yöntemleri geliştirilmesi daha mantıklıdır. Bu yöntemlerden biride sıcak talaşlı imalattır.

Sıcak talaşlı imalat yöntemleri çeşitlidir. İndüksiyon, plazma arkı, alev, radyo-frekans elektrik akımı ısıtma yöntemlerinden bazılarıdır. Isıtma yönteminin seçiminde; malzeme ve imalat işlemine uygulanabilirliği göz önünde buldurulmalıdır.

Bir malzemenin işlenebilirliği takım ömrü, kesme kuvvetlerinin büyüklüğü, yüksek hızlarda işleme ve talaş akışındaki kolaylığın bir göstergesidir. Genelde yüksek çekme mukavemetine sahip olan malzemeler düşük işlenebilirlik endeksine sahiptir. Malzemelerin kolay işlenebilirliğinin sağlanmasında uygulanabilir metotlardan birisi sıcak işlemedir. Sıcak işlemede iş malzemelerine ısı kesme bölgesi civarında kayma mukavemetini azaltmak için uygulanır. Yüksek mukavemetli malzemelerin

işlenmesinde sıcak işleme iki önemli fonksiyona sahiptir. Birincisi diğer çok pahalı araçlarla imal edilecek parçaların işlenmesini mümkün kılmak, ikincisi ise diğer yöntemlerle düşük kesme hızları ve kısa takım ömürleriyle işlenen malzemelerin işleme ekonomisini ve üretim hızlarını iyileştirmektedir.

İş parçalarının ısıtılarak işlenmesi yeni bir proses değildir. 1941 yıllarından bu güne değişik talaş kaldırma prosesleri için uygulanmıştır. Yapılan araştırmalar ve incelemeler uygun iş parçası ısıtma yöntemi ile takım ömründe artmalar ve kesme kuvvetlerinde önemli azalmalar olduğunu göstermiştir. Sıcak talaş kaldırmada ana istekler;

1. Isıtma mümkün olduğunca kayma düzlemini kapsamalıdır
2. Yüksek özgül ısı girişi gereklidir. Yalnız çok yüksek değerler iş malzemesine termal zararlar getirebilir.
3. Kullanıcı için tehlikesiz olmalıdır
4. Sıcaklık kolayca kontrol edilebilir olmalıdır.

Sıcak talaşlı imalat yöntemleri çeşitlidir. Isıtma yönteminin seçiminde; malzeme ve imalat işlemine uygulanabilirliği göz önünde buldurulmalıdır.

İş parçalarının ısıtılarak işlenmesi yeni bir proses değildir. 1941 yıllarından bu güne değişik talaş kaldırma prosesleri için uygulanmıştır. Yapılan araştırmalar ve incelemeler uygun iş parçası ısıtma yöntemi ile takım ömründe artmalar ve kesme kuvvetlerinde önemli azalmalar olduğunu göstermiştir. Sıcak talaş kaldırmada ana istekler;

1. Isıtma mümkün olduğunca ısıtma düzlemini kapsamalıdır
2. Yüksek özgül ısı girişi gereklidir. Yalnız çok yüksek değerler iş malzemesine termal zararlar getirebilir.
3. Kullanıcı için tehlikesiz olmalıdır
4. Sıcaklık kolayca kontrol edilebilir olmalıdır.

Sıcak kesme işlemi için çeşitli ısıtma yöntemleri vardır. Bazıları;

- 1) Fırın
- 2) Alev
- 3) Ark
- 4) Direnç
- 5) Endüksiyon
- 6) Radyo-Frekans

Her yöntemin avantaj ve dezavantajları olabilir.

**Çizelge 3.2.** Isıtma metotlarının kıyaslanması

Isıtma metodu	Avantajlar	Dezavantajlar
<b>Fırın</b>	Basit ve ucuz	Uzun süreli işlemlerde kullanılması uygun değildir.
<b>Alev</b>	Isı kaynağı sayısı artırılarak daha fazla ısı girişi elde edilebilir.	Bölgesel ısıtma zordur.
<b>Elektrik Akımı</b>	Yüksek ısı elde edilebilir.	Isıtma düzensizdir, kullanıcı açısından tehlike arzeder.
<b>Direnç</b>	Kontrolü kolaydır.	Sıcaklık sınırlıdır.
<b>Endüksiyon</b>	Güvenli bir yöntemdir. Temizdir ve yüksek ısı girişi sağlanabilir.	Manyetik iş parçası olmalıdır, Zor ve pahalı bir yöntemdir. Sıcaklığın oluşacağı derinlik sınırlıdır.

### 3.2.1. Isıtma yöntemleri

#### 3.2.1.1. Fırında ısıtma

İş parçası işlemeye başlamadan önce ısıtılır. Fırında ısıtılan malzeme yeterli sıcaklığa ulaştıktan sonra işlenmek üzere tezgâha bağlanır. Uzun süreli işlemlerde, işlem bitmeden iş parçası soğuyacağından bu yöntem tercih edilmez.

#### 3.2.1.2. Alevle ısıtma

İş parçasının alevle, kesilme esnasında ısıtılır. Oksijen altı ısıtma kullanılarak ısıtma operasyonu gerçekleştirilir. Termocouple yardımıyla sıcaklık ölçümü yapılır. İş parçası sıcaklığı istenen değere ulaştınca kesme operasyonu başlatılır. Isı kaynağı sayısındaki artışla ısı artışı sağlanabilir. Isıtma bölgesel değildir. Alev etrafa yayılır.



Şekil 3.27. Alevle ısıtma uygulaması (Ganta ve Chakradhar, 2014)

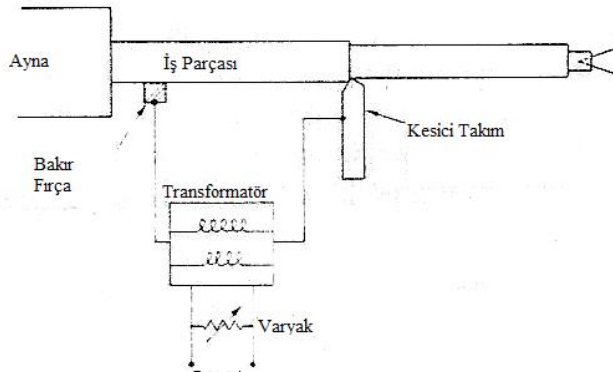
### 3.2.1.3. Elektrik akımı ile ısıtma

İş parçasına da kesici takımada elektrik akımı verilir. İş parçası kesici takımla temas ettiğinde devre tamamlanarak akım geçişi sağlanır. Temas noktasındaki oluşan elektriki dirençle bölgesel ısıtma meydana gelir.

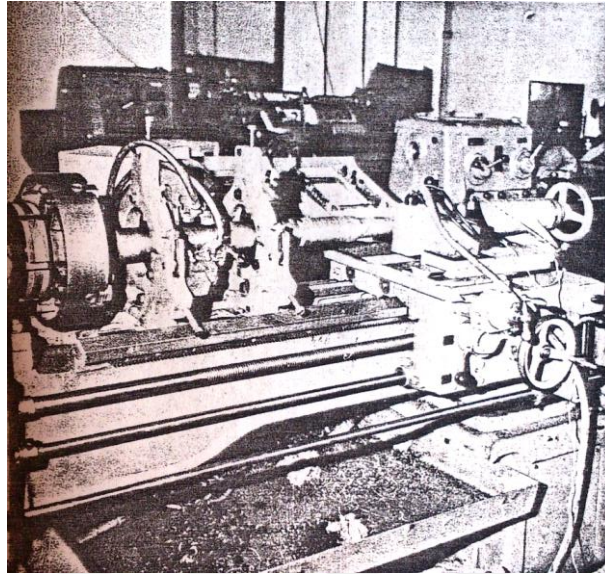
Bu yöntemle işleminin başından sonuna kadar takım-talaş arasından alternatif akım geçer. Kaynak tipi transformatör takım iş parçası arasına bağlanır. Giriş voltajı transformatör yardımıyla yardımcıyla kontrol altına alınır.

Transformatör ve iş parçası arasında bağlantı grafit emdirilmiş bakır fırça ile sağlanır. Bakır fırça yayla sabit yüklenmektedir. Bu sayede iş parçası ile fırça arasındaki mesafe muhafaza edilmektedir.

Parça ve takım arası elektrik direnci alçaktır. Isıtma düşük voltaj kullanılarak meydana getirilir. Talaş takım ara yüzeyi civarında daha yüksek direnç oluşur. Bu yüzden kesme bölgesine yakın veya kesme bölgesinde daha yüksek direnç meydana gelir. (Barrow, 1966)



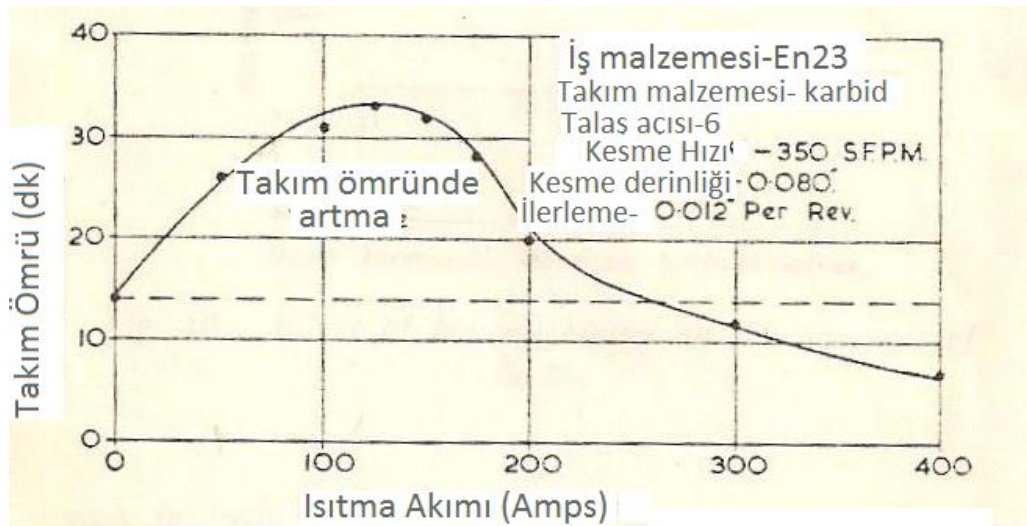
Şekil 3.28. Elektrik akımı ile ısıtma şematik gösterimi (Barrow, 1966)



Şekil 3.29. Elektrik akımı ile ısıtma uygulaması (Kainth ve Chaturvedi, 1975)

Kuvvet değişimi tahribatı çeliğin kompozisyonuna, ısıl işleme ve imalat modeline bağlıdır.

Kesme kuvvetleri sıcak işleme ile azaldığı zaman takım ömründe kayma gerilmesindeki azalmadan dolayı artar.



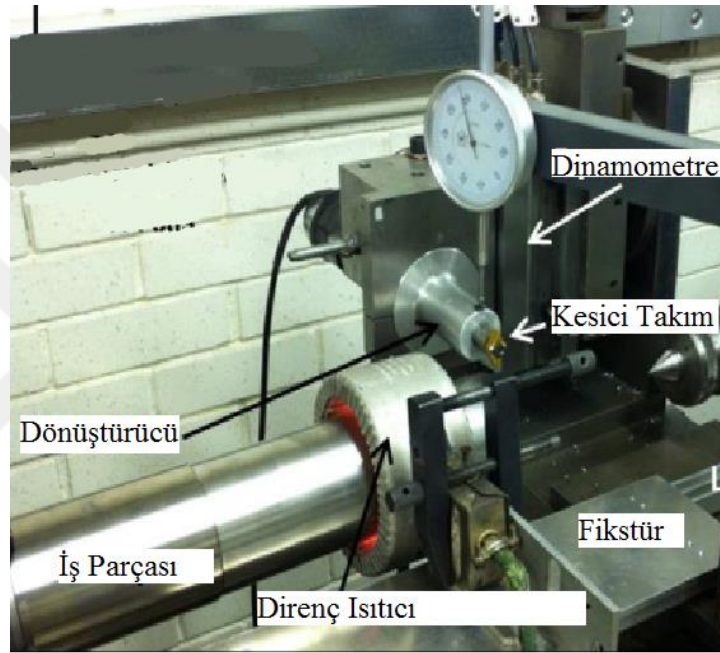
Şekil 3.30. Akımdaki artışla takım ömründeki değişim (Barrow, 1966)

Barrow ve arkadaşlarının çalışmalarına göre maksimum takım ömrü için akımın bir optimum değeri vardır. 75A ile 175A arası akımda takım ömründe %200 artma

vardır. Bir optimum noktadan çok bir optimum aralık vardır ve bazı avantajlara sahiptir.

#### 3.2.1.4. Dirençle ısıtma

İş parçasının dışına band direnç yerleştirilir. Direncin yaydığı ısıyla iş parçasında ısınma meydana gelir. Sıcaklık sınırlıdır. Sıcaklık termocouple ile ölçülür iş parçası yeterli sıcaklığa ulaştınca kesme işlemi başlatılır.

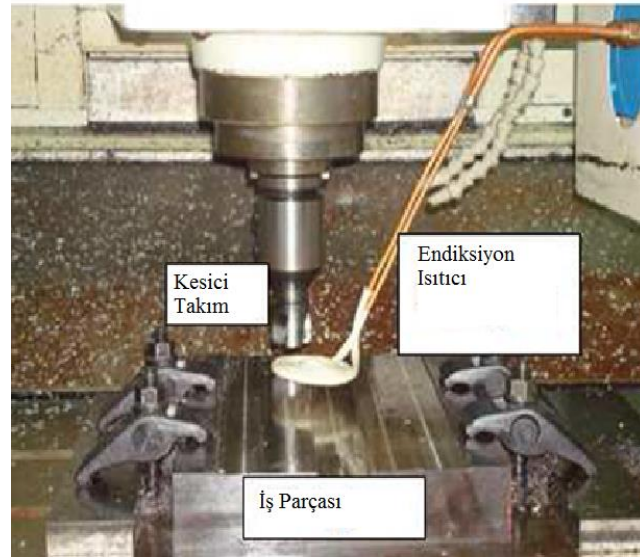


Şekil 3.31. Dirençle ısıtma uygulaması (Muhammad ve ark., 2014)

Isıtma ile yapılan kesmelerde kuvvetlerde düşüş görülür. Yüzey pürüzlülüğünde iyileşme de olumlu sonuçlar arasındadır.

#### 3.2.1.5 Endüksiyonla ısıtma

İş parçasının yakınına yerleştirilen endüksiyon bobini oluşturduğu manyetik alan ile iş parçası ısıtılır. Termocouple ile iş parçasının sıcaklığı ölçülür. İş parçası istenen sıcaklığa ulaştınca kesme operasyonu başlar.



Şekil 3.32. Endüksiyonla ısıtma uygulaması (Lajis ve ark., 2009)

### 3.2.2. Isıtmanın teorik analizi

Talaş, takım ve iş parçası arasındaki sıcaklık dağılımı tam olarak bilinmemektedir. Barrow (1968) de yaptığı bir çalışmayla akımla ısıtmada direnç modellemesi yapmıştır. (Barrow, 1968)

- 1) Takım-talaş ara yüzü arasında belirli bir direnç ( $\rho_i$ ) vardır. Bowden ve Tabor göstermiştir ki talaş yüzeyindeki basınçta veya hızdaki normal bir artış, yüzey direncini azaltır.
- 2) Talaş özgül direnci( $\rho_c$ ) belirli bir talaş malzemesi için belirli bir kesme hızında sabittir.
- 3) Yan yüzey özgül direnci( $\rho_f$ ) belirli bir iş parçası- takım çifti için sabittir.
- 4) Temas alanları kesme koşullarına bağlı olarak eşit veya orantılıdır.

Bu varsayımlar kullanılarak toplam direnç ifadesi elde edilebilir.

$$R_T = R_I + R_C + R_M \quad (3.13)$$

$R_T$ =Toplam direnç

$R_I$ = Ara yüz direnci

$R_C$  = Talaş malzemesi direnci

$R_M$ =Ölçme problemleri- ara yüz kesme düzlemi arasındaki direnç

Llewellyn Jones göstermiştir ki  $R_M$  çok küçüktür ihmal edilebilir.

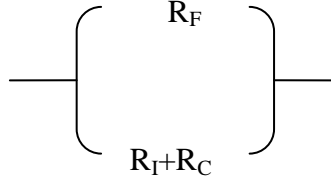
$$R_T = R_I + R_C \quad (3.14)$$

veya

$$R_T = \frac{\rho_l}{l} + \frac{l\rho_c}{2t_2} \quad (3.15)$$

(birim kesme genişliği için).

Dirençleri modelleyecek olursak;



$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_F} + \frac{1}{R_I + R_C} \quad (3.16)$$

$$R_T = \frac{R_F(R_I + R_C)}{R_F + R_I + R_C} \quad (3.17)$$

Temas kontrol testi;

Bir dizi ortogonal kesme testi yapıp toplam direnç büyük oranda takım- iş parçası arasında ölçülmüştür.

Kesme derinliği etkisi;

$$R_T = \frac{\rho_l}{l} + \frac{l\rho_c}{2t_2} \quad (3.18)$$

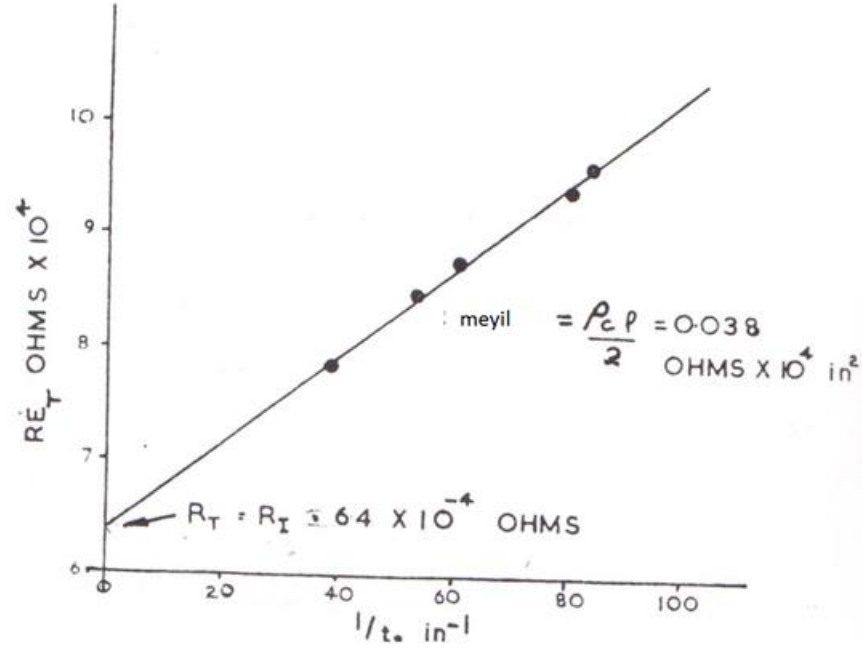
Göz önüne alınırsa,  $\rho_l$  sabit ise belirli bir temas uzunluğu için

$$R_T = X + \frac{l\rho_c}{2t_2} \quad (3.19)$$

Böylece  $R_T$  çizilirse  $\frac{l}{2t_2}$  temas uzunluğu için ve  $t_2$  nin çeşitli değerleri için eğim çizgisinden  $R_c$  hesaplanabilir.

$$t_2 \rightarrow \infty \frac{l\rho_c}{2t_2} \rightarrow 0 \quad (3.20)$$

$$R_T = X = R_I \quad (3.21)$$



Şekil 3.33.  $R_T$  ile  $1/t_2$  ilişkisi (Barrow, 1968)

Şekil 3.33.' de görüldüğü gibi  $R_T$  grafiğinde görüldüğü gibi  $t_2$  artarken dağılan toplam ısı oranı azalmaktadır.

Yüzey aşınması etkisi;

$$R_T = \frac{R_F(R_I + R_C)}{R_F + R_I + R_C} \quad (3.22)$$

Bazı değişkenler sabitlenirse;

$$R_C + R_I = Y \quad (3.23)$$

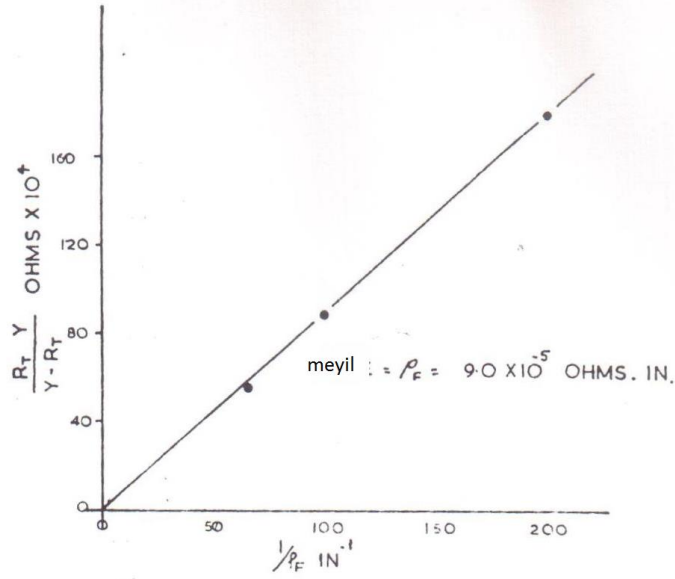
Aslında  $R_C$  sabit değildir fakat toplam dirençte etkisi düşük olduğundan (%4) .

Bu yüzden yok sayılabilir.

$$R_T = \frac{R_F Y}{R_F + Y} \quad (3.24)$$

$$R_F = \frac{R_T Y}{Y - R_T} \quad (3.25)$$

Eğer  $\frac{RT.Y}{Y-RT}$  ye karşı  $1/l_F$  çizilirse doğrunun eğiminden  $\rho_f$  bulunabilir ve  $R_f$  hesap edilebilir.



Şekil 3.34.  $R_T/Y-R_T$  ile  $I/I_f$  ilişkisi (Barrow, 1968)

Şekil 3.34.' de görülen grafik sayesinde takım-iş parçası arayüz özgül direnci talaş-takım ara yüz özgül direncinin 10 katı kadardır. Çizilen grafik sayesinde takım-iş parçası ara yüz özgül direnci okunabilir ve takım-iş parçası ara yüz direnci hesaplanabilir.

### 3.3. Aşınma Ölçüm Yöntemleri

Son yıllarda imalat sektörünün önemli problemlerinden biri de takım aşınması ve kırılmasıdır. Belirli bir limitten sonra kesici takım aşınması kırılmaya sebep olmaktadır. Takım kırılmadan aşınma gözlenip operasyona son verilmesi takım maliyetlerini büyük ölçüde azaltacaktır.

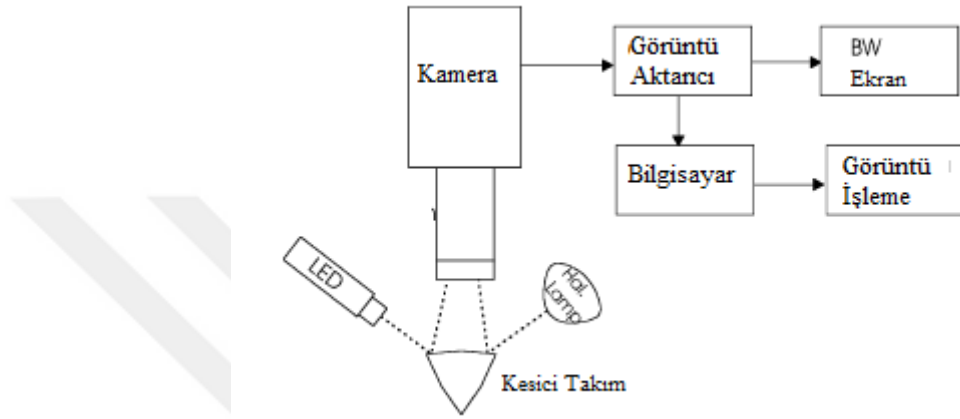
Takım aşınması incelemelerinde pek çok yöntem kullanılmaktadır. İmalat sektöründe teknolojik gelişmeler ve bilgisayar destekli cihazların imalatta da kullanılması yeni yöntemlerin ortaya çıkmasını sağlamıştır.

#### 3.3.1. Görüntüleme sistemleri

Kesici takımın kesme yüzeyindeki tahribatına aşınma denir. Bu tahribatın analizi yapılarak aşınma miktarının ve takım ömrünün tayin edilmesi mümkündür.

Testere kesici takımında aşınma, aşınma şeridi genişliği ile ölçülür. Aşınma arttıkça aşınma şeridi genişliği artar. Aşınma şeridi farklı zamanlarda ölçülerek takım ömrünün ne kadar sürede tamamlanacağı saptanabilir.

Görüntüleme sistemleri ile aşınma incelemesi için iş parçası aydınlatılır, kamera ile kesici takımın görüntüsü kaydedilir, kameradan görüntü aktarıcı yardımıyla görüntü bilgisayara aktarılır ve görüntü işleme yöntemleriyle ölçümler yapılır.(Şekil 3.35.)



Şekil 3.35. Görüntü işleme yöntemi şematik gösterimi (Jurkovic ve ark., 2005)

### 3.3.2. İş parçası boyutlarının ölçülmesi

Aşınma arttıkça iş parçasının yüzey kalitesinde düşüşler, iş parçasının işlem sonu hedeflenen boyutlarında sapmalar meydana gelir. Bu sapmalar incelenerek aşınma durumu değerlendirilebilir.

### 3.3.3. Radyoaktif parçacık ölçümü

Kesici takım yüzeyi radyoaktif malzeme ile kaplanır. Radyoaktif sensörler aracılığı ile talaşa aktarılan radyo aktif madde miktarı ölçülür. Bu ölçümle aşınmanın hacimsel boyutu gözlenir. Sağlık için uygun olmadığından yaygın kullanılan bir yöntem değildir (Ertunç ve Sevim, 2001).

### 3.3.4. Kuvvet ölçümü

Aşınma ilerleyişi karmaşık bir olaydır. Kesme kuvvetleri aşınmanın artışıyla artar. Malzeme kusurları ve işleme şartlarına göre kuvvetlerde ani değişiklikler gözlenebilir. Bu yüzden kesme kuvvetlerinin ölçümü ile aşınmayı belirlemek için anlık kuvvet ölçümleri değil sürekli kuvvet ölçümü yapmak gerekir.

Kuvvetler sensör yardımıyla ölçülür ve bilgisayara aktarılır. Artış oranlarına göre takım ömürleri belirlenir.

### 3.3.5. Titreşim ölçümü

Kesme kuvvetlerindeki artış titreşimde de artışa yol açar. Titreşim gürültüye sebep olur. Titreşim ölçümü ile aşınma artışı gözlenebilir.

Sağlıklı bir yöntem değildir. Atölye ortamında çok sayıda tezgâh olduğundan her tezgâhtan titreşim meydana gelmektedir. Bu yöntemle ölçüm yapabilmek için titreşim yalıtımı yapmak gerekir.

### 3.3.6. Kesme bölgesi sıcaklığının ölçülmesi

Kesme kuvvetleri ve kesici takım-iş parçası arasındaki sürtünme sonucu ısı enerji açığa çıkar. Oluşan ısı enerji kesici takım, iş parçası ve talaşa dağılır.

Termal kamera kesme boyunca ısı akısını kaydederek veri akışı sağlar ve termal sayısal analiz simülasyonları ile ısı akısı değişimine bağlı aşınma değerlendirmesi yapılır. (Demircioğlu ve ark., 2013)

## 3.4. Taguchi Yöntemi

Deney tasarımı için sistem iyileştirmelerinin araştırmalarda önemli bir yeri vardır. Optimum performans değerlerinin belirlenmesi için tüm parametrelerin tüm seviyelerini ele almak gerekir. Her seviye sırayla sabit tutularak diğer parametrelerin sırayla değiştirilmesi ile en uygun değerler belirlenebilir. Fakat bu çok sayıda deney yapmayı gerektirir ve pratik bir yöntem değildir.

Deney tasarımı ilk olarak İngiliz istatistikçi Ronald Aymler Fisher tarafından yapılmıştır.

Ronald Fisher çalışmalarını yoğun olarak genetik üzerine yapmıştır. Varyans analizi ve ayırıcı analiz gibi önemli konular ortaya atmıştır. Fisher 'ın deney tasarımları Amerika'da kullanılmış yayılmış ve geliştirilmeye başlanmıştır. İmalat sektöründe bu yöntem 1970ler sonuna kadar yaygınlaşmamıştır.

Genichi Taguchi kalite sistemleri ve istatistik üzerine çalışmıştır. Çalışmalarının sonucunda Taguchi deneysel yöntemini bulmuştur. Taguchi deneysel tasarımlara büyük yenilikler getirmiştir. Taguchi yöntemine batılı muhafazakârlar karşı çıkmasına rağmen büyük ilgi görmüş ve kullanımı yaygınlaşmıştır.

Taguchi yaptığı sistemle minimum deney sayısı ile en uygun parametre seviyelerini belirlemeyi hedeflemiştir. Daha az deney yapılarak hem maliyet düşürülmüş hem zaman kazancı sağlanmıştır.

Taguchi yöntemi, üretim alanı ve mühendislik analizinde yaygın olarak kullanılan işlem parametrelerinin en uygun aralıklarını belirlemek için Dr. Genichi Taguchi tarafından geliştirilmiş deneysel bir tekniktir. Deney sayısı parametre sayısına bağlı olarak artacak yada azalacaktır. Taguchi yöntemi, ortogonal deneysel tasarım, sinyal gürültü (S/N) oranı ve varyans analizi (ANOVA) gibi üç farklı yöntemi birleştirerek sonucu ortaya koyar. Ortogonal deneysel tasarım, çok az sayıda deney ile tüm parametre seviyelerini tarayarak sonuca ulaşmayı sağlar. Ortogonal deneysel tasarıma göre hazırlanan deneylerde elde edilen sonuçlar, S/N oranı uygulanarak değerlendirilir. S/N oranı, belirlenen değerlerden çıkarılan performans karakteristiklerin ölçülmesi için kullanılır. S/N oranı, “ (S/N)<sub>SB</sub>, daha küçük-daha iyisi ”, “ (S/N)<sub>LB</sub>, daha büyük-daha iyisi ” ve “(S/N)<sub>NB</sub>, nominal-en iyisi ” gibi üç temel performans karakteristiğine göre saptanır. ANOVA ise performans karakteristikleri üzerine etkili olan işlem parametrelerinin önemlilik derecesini istatistiksel olarak saptamak için uygulanır. Bu üç önemli aracın dışında, Taguchi yöntemi elde edilen en iyi sonuçların güvenilirliğini kontrol etmek amacıyla son bir doğrulama testi gerçekleştirir. Bahsedilen bu üç temel performans karakteristiği aşağıdaki denklemlerle ifade edilir. Burada  $y_1$ ; deneylerden ölçülen sonucu,  $\bar{y}$ ; deneylerde ölçülen sonuçların ortalamasını,  $\eta$ ; deney sayısını  $s_y^2$ ;  $y$  'nin varyansını göstermektedir.

$$S/N_{SB} = \eta = -10 \log \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \quad (3.26)$$

$$S/N_{LB} = \eta = -10 \log \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right] \quad (3.27)$$

$$S/N_{NB} = \eta = 10 \log \left[ \frac{\bar{y}}{y s^2} \right] \quad (3.28)$$

İç etkileri incelemeyeceğimizden Taguchi L9 ortogonal dizaynı için deneysel plan Çizelge 3.3 de verilmiştir.tercih edildi. Taguchi deney planı ile etkiler ve yüzdeleri hesaplanmıştır.

Çizelge 3.3. Taguchi L9 ortogonal dizaynı

L9	A	B	C
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	2	1	3
5	2	2	1
6	2	3	2
7	3	1	3
8	3	2	2
9	3	3	1

### 3.5 Kesme Parametrelerinin ve Takım Ömrünün Matematik Modellenmesi

Testerede ıstma yapılarak kesme işleminde kesme hızı, ilerleme hızı ve ısıtma akımı ile takım ömrü ilişkisini belirlemek için analitik model oluşturmak üzere cevap yüzey metodu kullanılmıştır.

#### 3.5.1 Cevap yüzey metodu(CYM)

CYM, bağımsız değişkenlerden etkilenen bir bağılı değişkenin ve bu bağılı değişkenin optimize edilmesini amaçlayan problemlerin modellenmesi ve analiz edilmesinde kullanılan, matematiksel ve istatistiksel tekniklerin bir derlemesidir. CYM, bir ya da daha fazla ölçülen yanıtlar ve önemli giriş faktörleri arasındaki ilişkileri belirlemektedir.

Deneylerin tasarlanmasında CYM ve Taguchi teknikleri, talaş kaldırmada takım ömrü, yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvvetleri ve diğer çıktılar tahmin edilmesi problemi için en yaygın metodolojiler olarak görülmektedir. RSM metodolojisi aşağıda açıklanmıştır.

Cevap Yüzey Metodunda bağılı değişkenler olarak alınan önemli olarak görülen faktörlerin bağımsız değişken olan deneylerin cevabı ile ilişkisinin olduğu bir polinom modelin oluşturulmasında kullanılmaktadır.

Aşamalar;

1. İncelenecek olan parametreleri seçilir.
2. Cevap yüzeyin sınırlandırılmış bir bölgesinde bir faktöriyel deney tasarımı yapılır .
3. Sonuçlara ilişkin tahminleri hesaplanır ve böylece doğrusal modelin katsayılarını hesaplanır.

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n. \quad (3.29)$$

Deneylerden toplanan veri, CYM kullanılarak bir matematiksel yüzey modelin oluşturulmasında kullanılmaktadır. CYM, pek çok değişkenden etkilenen bir yanıt ve bu yanıtın optimize edilmesini amaçlayan problemlerin modellenmesi ve analiz edilmesinde kullanılan, matematiksel ve istatistiksel tekniklerin bir derlemesidir. CYM,de ilk step bağılı değişken( cevap değişkeni) ve bağımsız değişkenler takımı

arasında gerçek fonksiyonel ilişki için uygun bir yaklaşım tahmin etmektir. Bu ilişki birinci yada ikinci dereceden bir polinomla ifade edilebilir.

Buna ulaşmak için aşağıdaki ilişki dikkate alınır.

$$Y = f(v, v_f, I, \dots) + \varepsilon \quad (3.30)$$

Buradaki  $v$ ,  $v_f$ , proses parametreleridir ve sırasıyla kesme hızı, ilerleme hızı, ve ısıtma akımı vb. dir.  $\varepsilon$  gözlemlenen  $Y$  cevabına göre ortalamasının sıfır (0) olduğu normal olarak dağıtılmış hatadır.

$$f(v, v_f, \dots) = \eta \quad (3.31)$$

' $\eta$ ' olarak temsil edilen yüzey, cevap yüzeyi olarak isimlendirilmektedir. Cevap ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiler aşağıdaki gibi modellenir.

Testere ile kesmede, cevap takım ömrü ve kesme kuvvetleri olmaktadır. Bağımsız değişkenler kesme hızı, ilerleme hızı ve ısıtma akımı parametreleri olmaktadır. Takım ömrü için bağımsız değişkenler kesme hızı, ilerleme hızı ve ısıtma akımı alınarak

$$T = C_T v^{\alpha_1} v_f^{\alpha_2} I^{\alpha_3} \quad (3.32)$$

Kesme kuvvetleri (asıl kesme ve ilerleme kuvvetleri) için bağımsız değişkenler kesme hızı, ilerleme ve ısıtma akımı alınarak

$$F = C_F v^{\rho_1} v_f^{\rho_2} I^{\rho_3} \quad (3.33)$$

Buradaki ' $C_T$ ' ve  $C_F$  bir sabittir ve  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\alpha_3$  ve  $\rho_1$ ,  $\rho_2$ ,  $\rho_3$  parametre katsayılarıdır. Yukarıdaki fonksiyon, doğrusal matematiksel şeklindeki temsili aşağıdaki gibidir.

$$\ln T = \ln C_T + \alpha_1 \ln v + \alpha_2 \ln v_f + \alpha_3 \ln I \quad (3.34)$$

$$\ln F = \ln C_F + \rho_1 \ln v + \rho_2 \ln v_f + \rho_3 \ln I \quad (3.35)$$

Yukarıdaki denklemin birinci dereceden doğrusal modeli kodlanmış değişkenlerle aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$Y' = y - \varepsilon = b_0 x_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 \quad (3.36)$$

Veya ikinci derece modeli

$$Y' = y - \varepsilon = b_0 x_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_{11} x_1^2 + b_{22} x_2^2 + b_{12} x_1 x_2 \quad (3.37)$$

Buradaki  $Y'$  ler 'birinci ve ikinci derece denklemlere bağlı olarak tahmin edilen cevaptır ve  $y$  bir logaritmik ölçekte ölçülen Takım ömrü veya kesme kuvvetleridir.  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$  sırasıyla kesme hızı, ilerleme hızı, ve ısıtma akımının logaritmik dönüşümleridir. ' $\varepsilon$ ' deneysel hata ve ' $b$ ' de ilgili parametrelerin değerlerinin tahminleridir.

$$Y = XB + \varepsilon \quad (3.38)$$

Bir merkezi ortogonal dizayn için n deney yapılırsa, burada Y, cevap sutun vektörü, ε hata vektörü, X katsayılar matrisi alınır ve hata kareleri toplamını minimum yapan katsayılar vektörü aşağıda verilmiştir.

$$B=(X'X)^{-1}X'Y \quad (3.39)$$

### 3.6. Testerede kesmede Kesme Koşullarının Optimizasyonu

Kesme işlemlerinde optimum kesme koşullarının bulunması için takım ömür denkleminin belirlenmesi gerekir. Konvansiyonel talaş kaldırma işlemlerinde kesme koşullarının bulunmasında üç ekonomik kriter kullanılmaktadır. Bu kriterler birim maliyet, üretim hızı ve kardır. Sıcak talaş kaldırmada kesme hızı ve ilerleme gibi kesme parametreleri yanında ısıtma akımı bağımsız bir parametre olarak takım ü ve kaldırılan ömrü denkleminde girmekte ve amaç fonksiyonlarına girmektedir. Bu çalışmada optimum kesme koşullarının elde edilmesinde takım ömrü ve kaldırılan talaş hacminin maksimizasyonu gibi teknik kriterlere dayanan optimizasyon önem kazanmaktadır. Çalışmada bir takım ömrü zamanında kaldırılan talaş hacminin maksimum yapılması kesme koşullarının optimizasyonu için yeni bir matematik model olarak sunulmuştur.

Toplam işleme zamanı (Bir takım ömrü zamanında üretilen parça sayısı için geçen süre)

$$T_u = n \cdot t_m + n \cdot (t_m/T) \cdot t_c + t_h \quad (3.40)$$

$T_u$ =işlem zamanı+takım değiştirme zamanı+hazırlık zamanı

İşlem zamanı;

$n \cdot t_m$  ve  $n \cdot t_m/T$  in fonksiyonudur. Dolayısıyla işlem zamanının minimizasyonu için  $n \cdot t_m$  ve  $n \cdot t_m/T$  inin minimum yapılması yeterlidir. Bir parça kesmek için işlem zamanı

$$t_m = h/f \quad (3.41)$$

$h$ =iş parçası yüksekliği

$$n \cdot t_m/T = n \cdot h/(f \cdot T) \quad (3.42)$$

Testere ile kesmede kaldırılan talaş hacmi  $\Delta = f \cdot w \cdot t$

$t$ =testere kalınlığı=0.9 mm,  $w$ =parça genişliği

$\Delta = f \cdot w \cdot t$  de  $f$  değişken ve  $w \cdot t$  kesilecek parça ve şerit testere için seçilen sabitlerdir.

Dolayısıyla  $t_m/T$  in minimizasyonu,  $f \cdot T$  den dolayı  $\Delta \cdot T$  yani bir takım ömrü zamanında kaldırılan talaş hacmi maksimizasyonu ile eşdeğerdir.

$$Z = \ln(\Delta \cdot T) = \ln(\Delta) + \ln(T) \quad (3.43)$$

$$\Delta \cdot T \quad (\text{mm}^3/\text{dk}) \cdot \text{dk} = \text{mm}^3 \quad (3.44)$$

$$\Delta = f \cdot w \cdot t \quad (3.45)$$

$$t = \text{testere kalınlığı} = 0.9 \text{ mm}$$

Bir takım ömrü zamanında kaldırılan talaş hacminin logaritmik skalada fonksiyonuna Z denirse,

$$Z = \ln(f \cdot t \cdot w) + \ln(T) = \ln w + \ln v_f + \ln t + Y = \ln A + \ln f + Y \quad (3.46)$$

$$A = w \cdot t = \text{sabit} \quad (3.47)$$

Z fonksiyonu ile kesme hızı, ilerleme hızı ve ısıtma akımının kodlanmış değişkenlerle ifade edilir.

Takım ömrü maksimizasyonu ve bir takım ömrü zamanında kaldırılan talaş hacmi maksimizasyonu amaç fonksiyonları ve kısıtlarla birlikte bir optimizasyon problemi olarak alınır. Kodlanmış değişkenler, kesme parametreleri ve ısıtma akımı alt ve üst seviyeleri alınarak takım ömrü denklemi cevap yüzey metodu ile oluşturduğu için kısıtlar alt ve üst seviyelerle belirlenir.

$$v_{\min} \leq v \leq v_{\max}$$

$$f_{\min} \leq f \leq f_{\max}$$

$$I_{\min} \leq I \leq I_{\max}$$

veya kodlanmış değişkenlerle

$$-2 \leq v \leq 2$$

$$-2 \leq f \leq 2$$

$$-2 \leq I \leq 2$$

alınır.

Takım ömrü için optimizasyon problemi;

Maksimizasyon  $Z = Y$

Kısıtlar

$$-2 \leq v \leq 2$$

$$-2 \leq f \leq 2$$

$$-2 \leq I \leq 2$$

şeklinde yazılır. Burada Y kodlanmış değişkenlerle takım ömrü denklemdir.

Bir takım ömrü zamanında kaldırılan talaş hacmi optimizasyon problemi;

Maksimizasyon  $Z = \ln A + \ln v_f + Y$

Kısıtlar

$$-2 \leq v \leq 2$$

$$-2 \leq f \leq 2$$

$$-2 \leq I \leq 2$$

şeklinde yazılır.

Optimizasyon probleminin analitik yöntemi ile çözümünde Lagrangian çarpanları ve Kuhn-Tucker teoremi kullanılmıştır.

Lagrangian çarpanları ve Kuhn-Tucker teoremi eşit olmayan kısıt durumunda kullanılan optimizasyon yöntemlerinden biridir.

$$F = y + \sum_{k=1}^m \lambda_k \Phi_k \quad (3.48)$$

Fonksiyonun stasyoner değerleri,

$$\Phi_k = g_k + S_k(X_{n+k}) = 0 \quad k = 1, 2, \dots, m \quad (3.49)$$

M kısıtına maruz  $y(x)$  in optimum değeri tayin edilecekse, aranmalıdır. Burada  $g_k \leq 0$  eşit olmayan kısıttır. Ve  $S_k(X_{n+k})$  negatif olmayan hayali fonksiyondur. F n+m değişkeninin bir fonksiyonudur. Kısıtlanmış stasyoner noktalar  $\Phi_k=0$  denklemini sağlar ve n+2m denklemin çözülmesiyle bulunabilir.

$$\frac{\partial F}{\partial x_j} = 0 \quad j = 1, 2, \dots, n + m \quad (3.50)$$

$$\frac{\partial F}{\partial \lambda_k} = 0 \quad (3.51)$$

$$\Phi_k=0 \quad k=1, 2, \dots, m \text{ 'dir} \quad (3.52)$$

Çözümde  $\lambda$  çarpanının işareti ( negatif ve pozitif) veya sıfır olması çözümün sınırda yada fizibil bölgenin içinde olup olmadığına karar verilir.

## 4.MATERYAL VE YÖNTEM

Deneysel çalışmada elektriki direnç yöntemi ile ısıtma işlemi için takım-iş parçası arasında alternatif akım uygulanmıştır. Bu amaçla kaynak tipi transformatör takım iş parçası arasına bağlanmış ve giriş voltajı transformatör yardımıyla kontrol altına alınmıştır. Deneyler sırasında gerekli güç sağlanması için akım artırılmış ve bu sayede voltaj düşürmüştür. Oluşturulan düşük voltaj kullanıcı açısından tehlike olmamasını sağlamıştır.

### 4.1. Deney Düzeneği

Deneylerde iş parçası ve şerit testere arasında yeterli yüksek akımı sağlayacak şekilde kaynak tipi transformatör, mafsallı tip, çekerek kesme yapan bir şerit testere tezgâhı ve kesme sırasında kesme kuvvetleri ölçülmesi için özel olarak tasarlanmış ve imal edilmiş dinamometre kullanılmıştır (Şekil 4.1.).



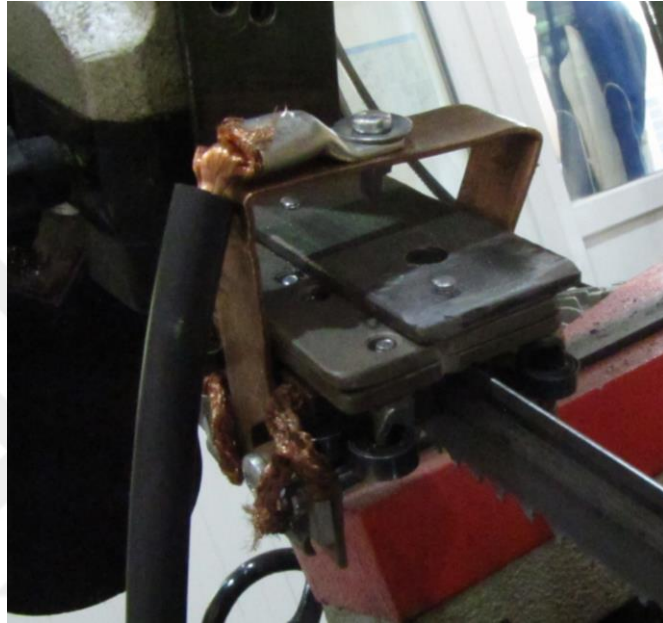
Şekil 4.1. Elektrik akımı kullanarak ısıtma ile testerede imalat uygulaması

Takım aşınması, Canon marka fotoğraf makinesi ile çekilen fotoğrafların Adobe Photoshop CS6 isimli program ile görüntülerinin işlenmesi yöntemiyle belirlenmiştir. Takım aşınma şeridi genişliği programdaki mevcut ölçüm yöntemleriyle ölçülüp yorumlanmış ve görüntü işleme yönteminin doğruluğu optik komparatörde yapılan

ölçümlerle teyit edilmiştir. Testere üzerinde eşit aralıklı olarak 5 diş işaretlenmiş ve her 10 parça kesiminden sonra aşınma şeridi genişliği kontrol edilmiştir.

Akım varyak'dan sağlanmış ve transformatörle voltaj akım ayarları yapıp kontrol edilmiştir.

İş parçasına akım geçişi bakır levha ile sağlanmıştır. Kesici takıma akım geçişi yaylı aparatın içine yerleştirilen bakır fırçalar ile gerçekleşir. Yaylı aparat bakır fırça ve kesici takım arasındaki baskıyı sabit tutmak için kullanılmıştır (Şekil4.2.).



Şekil 4.2. Kesici takım akım aktarma sistemi

Deneyler Ç1040 kalitesinde ve 50x100 boyutlarında iş parçası üzerinde kesme yapılarak gerçekleştirilmiştir..

Şerit testere takımı olarak WIKUS Ecoflex M42(HSS);Ultra(Bi-metal:HSS+Yay çeliği) TPI 3/4 diş sayısı bulunan kanca dişli kesici takım kullanılmıştır. Testere takımı boyutları 0.9x27x3670 dir.

Kesme parametreleri;

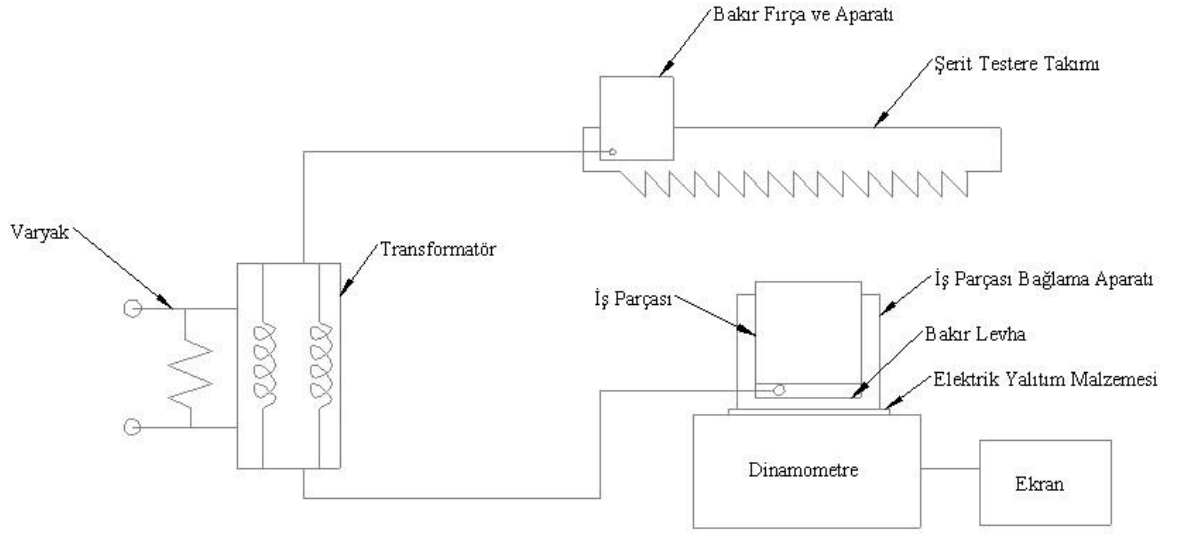
Kesme hızları;95-65-45 (m/dk)

İlerleme hızları;70-45-30 (mm/dk)

Akım;50-100-200 A seçilmiştir.

Kesme parametreleri, deneysel planda belirlenen seviyeler, iş parçası malzemesi ve testere malzemesi ve geometrisi dikkate alınarak testere takımı üreticilerinin önerileri dikkate alınarak belirlenmiştir.

Deney düzeneği şematik görüntüsü şekil 4.3 de verilmiştir.

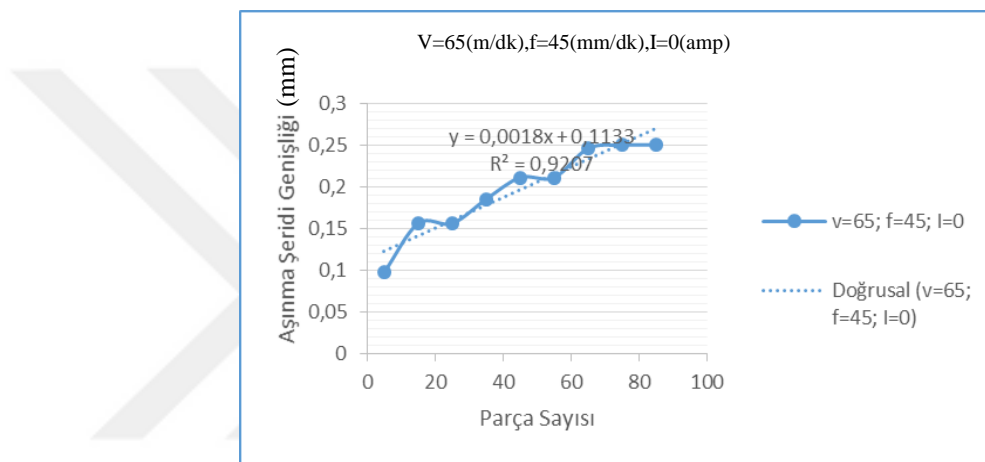


Şekil 4.3. Deney düzeneği şeması

## 5. DENEYSEL SONUÇLAR

Deneysel plana uygun olarak kesme deneyleri yapılmış ve takım ömrü tayin etmek için belirli sayıda parça kesildikten sonra VB aşınma şeridi genişliği ile kesme ve itme kuvvetleri ölçülmüştür. Takım ömür kriteri olarak 0,3 mm olarak alınmıştır. Ayrıca kesme kuvvetlerinin aşınmaya bağlı olarak değişimini( parça sayısına) gösteren Kesme sabitinin yapılan deneylerde 1.4 e ulaştığı değerde takım ömür kriteri olarak alınmıştır.

Şekil 5.1.  $v=65(\text{m/dk})$ ,  $f=45(\text{mm/dk})$ ,  $I=0(\text{amp})$  kesme parametreleri için aşınma şeridi genişliğinin parça sayısı yada kesme süresine bağlı değişimini göstermektedir



Şekil 5.1.  $V=65(\text{m/dk})$ ,  $f=45(\text{mm/dk})$ ,  $I=0(\text{amp})$ de parça sayısı-aşınma şeridi genişliği değişimi

$$y=0,0018x+0,1133$$

lineer regresyon doğrusunda  $y=VB=0,3\text{mm}$  aşınma şeridi genişliği için

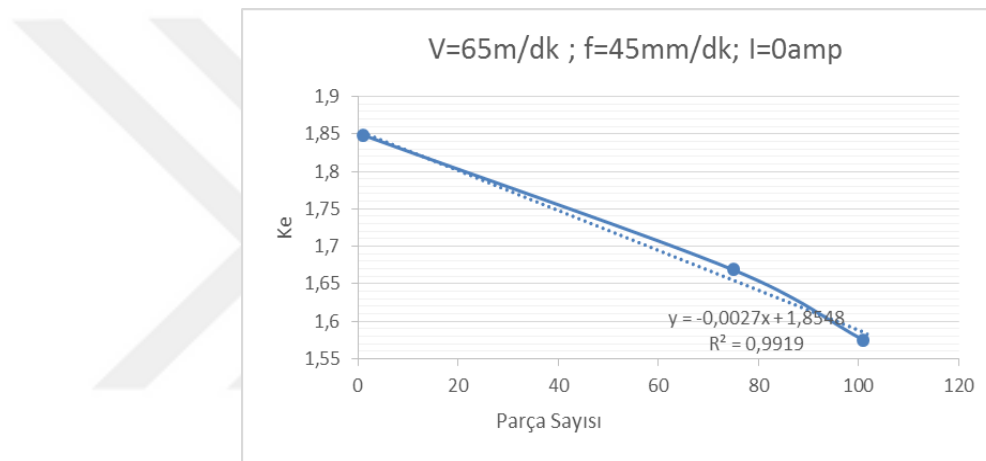
$$y=0,3; x=103 \text{ adet parça veya } T=228,9 \text{ dk bulunur.}$$

Çizelge 5.1.  $V=65(\text{m/dk})$ ,  $f=45(\text{mm/dk})$ ,  $I=0(\text{amp})$  için ölçülen kesme ve itme kuvvetleri, dış başına gelen kuvvetleri ve kesme sabiti ile dış başı ilerleme değerlerini göstermektedir.

**Çizelge 5.1.** V=65(m/dk), f=45(mm/dk), I=0(amp)de kesme kuvvetleri

Parça Sayısı	$F_r$	$f_r$	$F_t$	$f_t$	$A \cdot 10^3 \text{ mm}^2$	t(dk)	$Ke \times 10^4$	V	F	$\delta_a$
1	334	26,951	353	28,48	5	1,378	1,8485237	65	45	0,0049819
75	370	29,856	420	33,89	375	103,3	1,6686674	65	45	0,0049819
101	392	31,631	490	39,54	505	139,2	1,5750177	65	45	0,0049819

Şekil 5.2. v=65(m/dk), f=45(mm/dk), I=0(amp) kesme parametreleri için kesme sabitinin parça sayısı yada kesme süresine bağlı değişimini göstermektedir.



**Şekil 5.2.** V=65(m/dk), f=45(mm/dk), I=0(amp)de parça sayısı-Ke değişimi

$y = -0,0027x + 1,8548$  regresyon doğrusunda

Ke 1,4 olduğu değerde son buluyor kabulü ile;

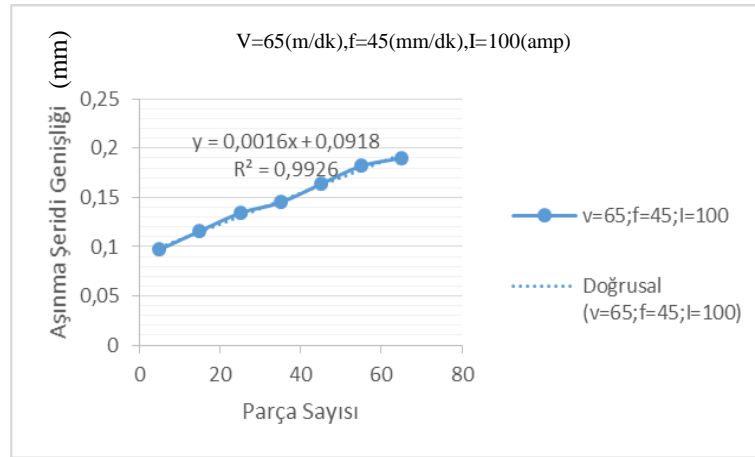
$y = Ke = 1,4$  için

$x = 168$  adet parça kesilebilir.

$T = 373,3$  dk bulunur.

Kesme sorunsuz devam etmiş, aşınma anlık değişimler göstermemiştir. Ömür tamamlandığında seste artış olmuştur. Aşınma şeridi genişliği 0,3mm ulaştığında ömür tamamlandı kabulü ile ömür dakika cinsinden hesaplanmıştır.

Şekil 5.3. v=65(m/dk), f=45(mm/dk), I=100(amp) kesme parametreleri için VB'nin parça sayısı yada kesme süresine bağlı değişimini göstermektedir.



Şekil 5.3.  $V=65(m/dk)$ ,  $f=45(mm/dk)$ ,  $I=100(amp)$  de parça sayısı-aşınma şeridi genişliği değişim

$y=0,0016x+0,0918$  tahmin doğrusunda

$y= Ke =1,4$  için

$x=130$  adet parça kesilebilir

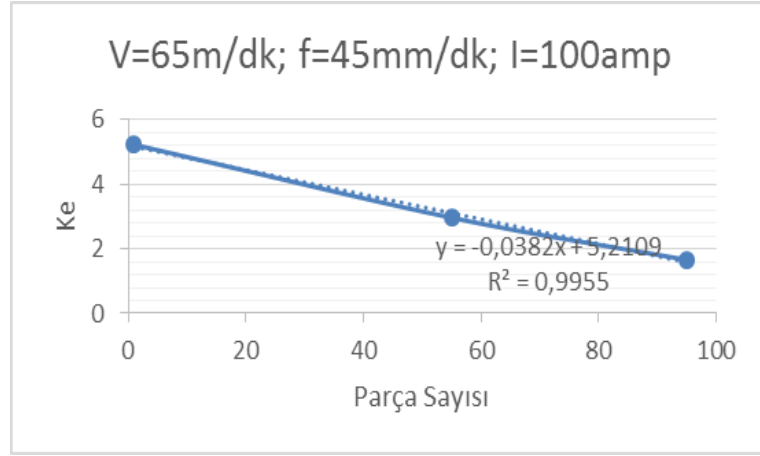
$T=288,9$  dk bulunur.

Çizelge 5.2.  $V=65(m/dk)$ ,  $f=45(mm/dk)$ ,  $I=100(amp)$  için ölçülen kesme ve itme kuvvetleri, diş başına gelen kuvvetleri ve kesme sabiti ile diş başı ilerleme değerlerini göstermektedir.

Çizelge 5.2.  $V=65(m/dk)$ ,  $f=45(mm/dk)$ ,  $I=100(amp)$  de kesme kuvvetleri

Parça Sayısı	$F_r$	$f_r$	$F_t$	$f_t$	$A * 10^3 mm^2$	$t(dk)$	$Ke \times 10^4$	V	F	$\delta_a$
1	118	9,5215	275	22,19	5	1,378	5,2322621	65	45	0,0049819
55	208	16,784	250	20,17	275	75,78	2,9683025	65	45	0,0049819
95	372	30,017	451	36,39	475	130,9	1,659696	65	45	0,0049819

Şekil 5.4.  $v=65(m/dk)$ ,  $f=45(mm/dk)$ ,  $I=100(amp)$  kesme parametreleri için kesme sabitinin parça sayısı yada kesme süresine bağlı değişimini göstermektedir.



Şekil 5.4. V=65(m/dk), f=45(mm/dk), I=100(amp)de parça sayısı-Ke değişimi

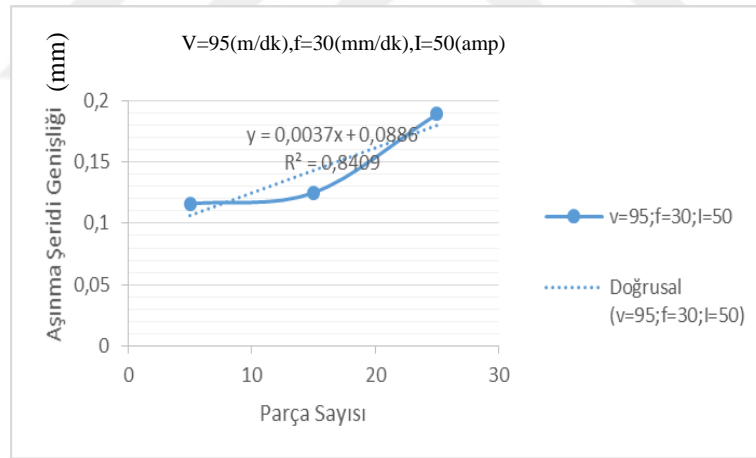
$$y = -0,0382x + 5,2109$$

x=99 adet parça kesilebilir.

$$T = 220 \text{ dk}$$

Kesme sorunsuz devam etmiş, aşınma anlık değişimler göstermemiştir.

Şekil 5.5. v=95(m/dk), f=30(mm/dk), I=50(amp) kesme parametreleri için VB'nin parça sayısı yada kesme süresine bağlı değişimini göstermektedir.



Şekil 5.5. V=95(m/dk), f=30(mm/dk), I=50(amp)de parça sayısı-aşınma şeridi genişliği değişimi

$$y = 0,0037x + 0,0886$$

x=57 adet parça kesilebilir.

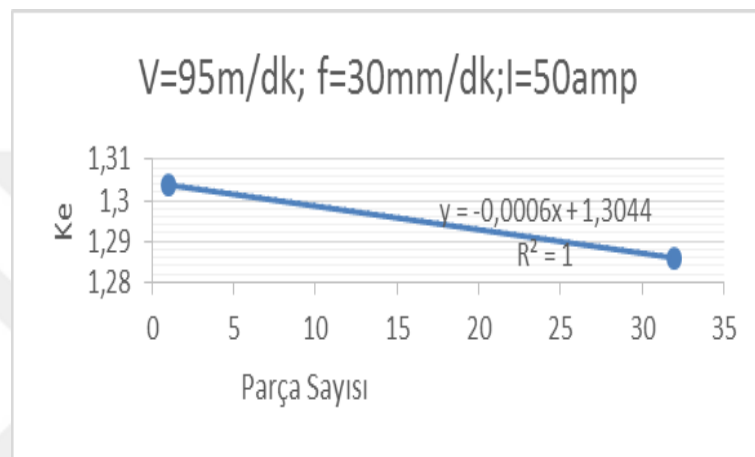
$$T = 190 \text{ dk}$$

Çizelge 5.3. V=95(m/dk), f=30(mm/dk), I=50(amp) için ölçülen kesme ve itme kuvvetleri, diş başına gelen kuvvetleri ve kesme sabiti ile diş başı ilerleme değerlerini göstermektedir.

Çizelge 5.3.  $V=95(\text{m/dk})$ ,  $f=30(\text{mm/dk})$ ,  $I=50(\text{amp})$ de kesme kuvvetleri

Parça Sayısı	$F_r$	$f_r$	$F_t$	$f_t$	$A \cdot 10^3 \text{mm}^2$	$t(\text{dk})$	$Ke \times 10^4$	V	F	$\delta_a$
1	216	17,429	177	14,28	5	2,067	1,3038158	95	30	0,002272446
32	219	17,671	211	17,03	160	66,13	1,2859553	95	30	0,002272446

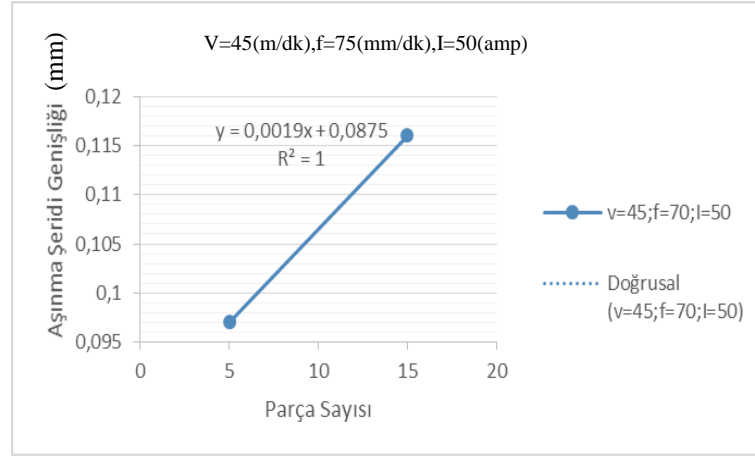
Şekil 5.6.  $v=95(\text{m/dk})$ ,  $f=30(\text{mm/dk})$ ,  $I=50(\text{amp})$  kesme parametreleri için kesme sabitinin parça sayısı yada kesme süresine bağlı değişimini göstermektedir



Şekil 5.6.  $V=95(\text{m/dk})$ ,  $f=30(\text{mm/dk})$ ,  $I=50(\text{amp})$ de parça sayısı-Ke değişimi

Kesme hızının yüksek, ilerlemenin kesme hızına kıyasla düşük olması kesici takımın talaş kaldırmadan boşta hareket etmesine sebep olmuştur. Talaş kaldırmadan hareket eden kesici takım, iş parçasıyla oluşan sürtünme ile ısınmıştır. İş parçası yüzeyinde ve kesici takımda yanıklar oluşmuştur.

Şekil 5.7.  $v=45(\text{m/dk})$ ,  $f=75(\text{mm/dk})$ ,  $I=50(\text{amp})$  kesme parametreleri için VB'nin parça sayısı yada kesme süresine bağlı değişimini göstermektedir.



Şekil 5.7.  $V=45(m/dk)$ ,  $f=75(mm/dk)$ ,  $I=50(amp)$  de parça sayısı-aşınma şeridi genişliği değişimi

$$y=0,0019x+0,0875$$

İlerleme değeri kesme hızından yüksek olduğundan darbeli kesim gerçekleşmiş, dişler kırılmış, 9 parçada ömür tamamlanmıştır.

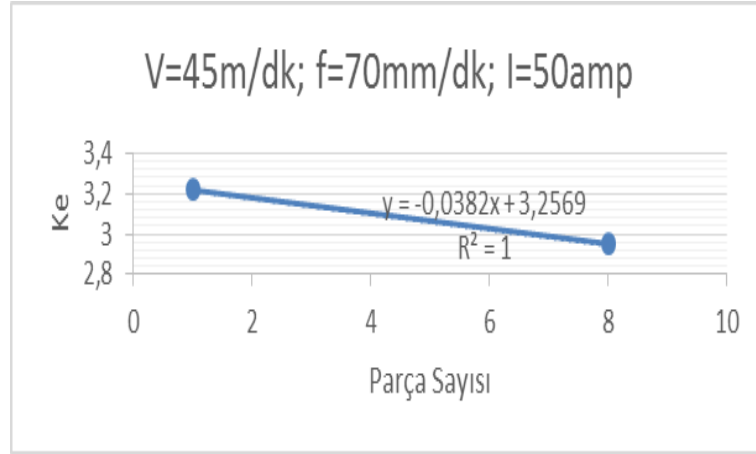
$$T=12,85 \text{ dk}$$

Çizelge 5.4.  $V=45(m/dk)$ ,  $f=70(mm/dk)$ ,  $I=50(amp)$  için ölçülen kesme ve itme kuvvetleri, diş başına gelen kuvvetleri ve kesme sabiti ile diş başı ilerleme değerlerini göstermektedir.

Çizelge 5.4.  $V=45(m/dk)$ ,  $f=70(mm/dk)$ ,  $I=50(amp)$  de kesme kuvvetleri

Parça Sayısı	$F_r$	$f_r$	$F_t$	$f_t$	$A \cdot 10^3 \text{ mm}^2$	$t(\text{dk})$	$Ke \cdot 10^4$	$V$	$f$	$\delta_a$
1	431	34,778	382	30,82	5	0,886	3,2187007	45	70	0,0111939
8	470	37,925	427	34,45	40	7,086	2,951617	45	70	0,0111939

Şekil 5.8.  $v=45(m/dk)$ ,  $f=70(mm/dk)$ ,  $I=50(amp)$  kesme parametreleri için kesme sabitinin parça sayısı yada kesme süresine bağlı değişimini göstermektedir.



Şekil 5.8. V=45(m/dk), f=70(mm/dk), I=50(amp)de parça sayısı-Ke değişimi

$y = -0,0382x + 3,2569$  regresyon doğrusunda

Ke 1,4 olduğu değerde son buluyor kabulü ile;

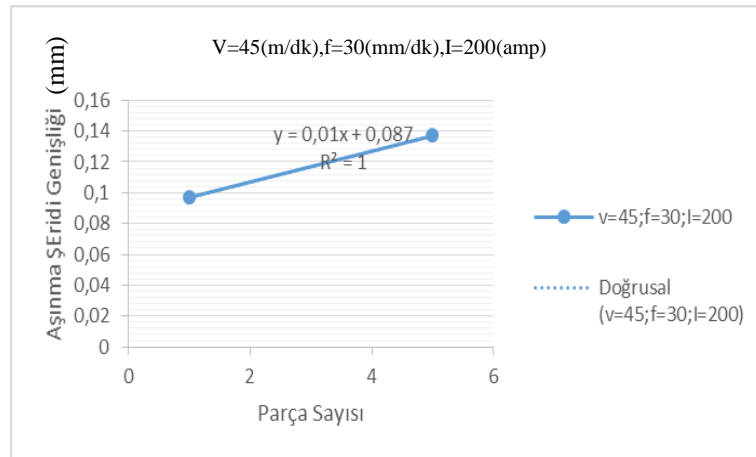
$y = Ke = 1,4$  için

$x = 48$  adet parça.

$T = 68,57$  dk

İlerleme değerinin yüksek olduğu deneylerde kesici takım talaş kaldıramadan ilerleme gerçekleşmektedir ve büyük kuvvetler oluşmaktadır. 70mm/dk ilerleme değerinde oluşan büyük kuvvetlerin etkisiyle aşınma şeridi genişliği 0,3mm ye ulaşmadan kesici takım dişlerinde kırıklar oluşmuştur.

Şekil 5.9.  $v=65$ (m/dk),  $f=30$ (mm/dk),  $I=200$ (amp) kesme parametreleri için VB 'nin parça sayısı yada kesme süresine bağlı değişimini göstermektedir.



Şekil 5.9. V=45(m/dk), f=30(mm/dk), I=200(amp)de parça sayısı-aşınma şeridi genişliği değişimi

$y = 0,01x + 0,087$

$x=21$  adet parça kesilebilir.

$T=70$  dk

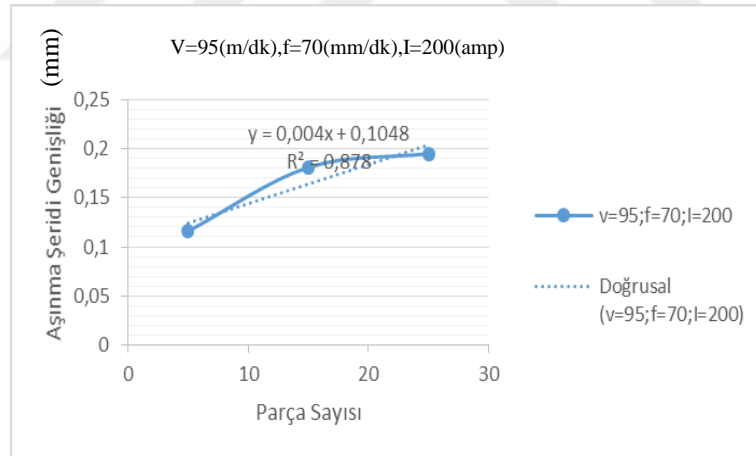
Çizelge 5.5.  $V=45$ (m/dk),  $f=30$ (mm/dk),  $I=200$ (amp) için ölçülen kesme ve itme kuvvetleri, diş başına gelen kuvvetleri ve kesme sabiti ile diş başı ilerleme değerlerini göstermektedir.

Çizelge 5.5.  $V=45$ (m/dk),  $f=30$ (mm/dk),  $I=200$ (amp)de kesme kuvvetleri

Parça Sayısı	$F_r$	$f_r$	$F_t$	$f_t$	$A \cdot 10^3 \text{ mm}^2$	$t(\text{dk})$	$K_e \cdot 10^4$	V	F	$\delta_a$
1	412	33,245	397	32,03	5	2,067	1,4430583	45	30	0,004797386

İlerleme değeri kesme hızına göre yüksektir ve talaş kaldırılamadan takım ilerlemektedir, bu sebepten kesme kuvvetleri yüksektir. Akımın fazla olmasıyla kesici takımda oluşan küçük yumuşamalar yüksek kuvvetlerinde etkisiyle kırılmaya sebep olmuştur.

Şekil 5.10.  $v=95$ (m/dk),  $f=70$ (mm/dk),  $I=200$ (amp) kesme parametreleri için VB'nin parça sayısı yada kesme süresine bağlı değişimini göstermektedir.



Şekil 5.10.  $V=95$ (m/dk),  $f=70$ (mm/dk),  $I=200$ (amp)de parça sayısı-aşınma şeridi genişliği değişimi

$$y=0,004x+0,1048$$

$x=48$  adet parça.

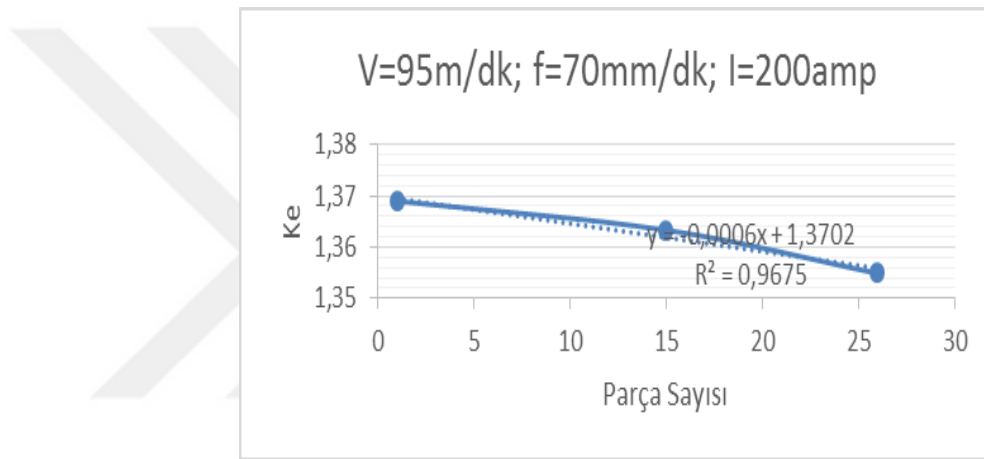
$T=68,6$  dk

Çizelge 5.6.  $V=95$ (m/dk),  $f=70$ (mm/dk),  $I=200$ (amp) için ölçülen kesme ve itme kuvvetleri, diş başına gelen kuvvetleri ve kesme sabiti ile diş başı ilerleme değerlerini göstermektedir.

**Çizelge 5.6.**  $V=95(\text{m/dk})$ ,  $f=70(\text{mm/dk})$ ,  $I=200(\text{amp})$ de kesme kuvvetleri

Parça Sayısı	$F_r$	$f_r$	$F_t$	$f_t$	$A \cdot 10^3 \text{ mm}^2$	$t(\text{dk})$	$Ke \times 10^4$	V	F	$\delta_a$
1	480	38,732	510	41,15	5	0,886	1,3690066	95	70	0,005302374
15	482	38,893	513	41,39	75	13,29	1,3633261	95	70	0,005302374
26	485	39,135	513	41,39	130	23,03	1,3548931	95	70	0,005302374

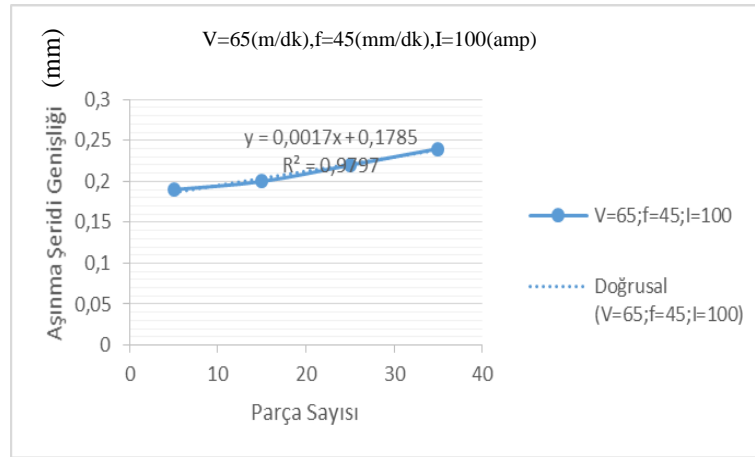
Şekil 5.11.  $v=95(\text{m/dk})$ ,  $f=70(\text{mm/dk})$ ,  $I=200(\text{amp})$  kesme parametreleri için kesme sabitinin parça sayısı yada kesme süresine bağlı değişimini göstermektedir.



**Şekil 5.11.**  $V=95(\text{m/dk})$ ,  $f=70(\text{mm/dk})$ ,  $I=200(\text{amp})$ de parça sayısı- $Ke$  değişimi

İlerleme değerinin yüksek olduğu deneylerde kesici takım talaş kaldıramadan ilerleme gerçekleşmektedir ve büyük kuvvetler oluşmaktadır. 70mm/dk ilerleme değerinde oluşan büyük kuvvetlerin etkisiyle aşınma şeridi genişliği 0,3mm ye ulaşmadan kesici takım dişlerinde kırıklar oluşmuştur.

Şekil 5.12.  $v=65(\text{m/dk})$ ,  $f=45(\text{mm/dk})$ ,  $I=100(\text{amp})$  kesme parametreleri için VB 'nin parça sayısı yada kesme süresine bağlı değişimini göstermektedir.



Şekil 5.12. V=65(m/dk), f=45(mm/dk), I=100(amp) de parça sayısı-aşınma şeridi genişliği değişimi

$$y = 0,0017x + 0,1785$$

$$x = 71 \text{ adet parça.}$$

$$T = 157,7 \text{ dk}$$

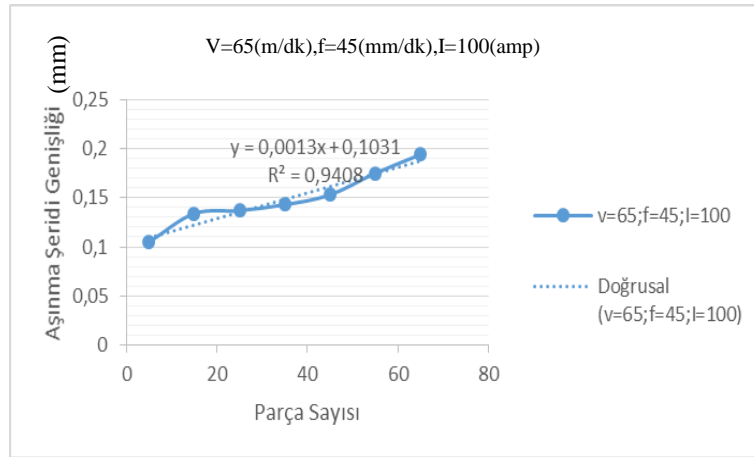
Çizelge 5.7. V=65(m/dk), f=45(mm/dk), I=100(amp) için ölçülen kesme ve itme kuvvetleri, diş başına gelen kuvvetleri ve kesme sabiti ile diş başı ilerleme değerlerini göstermektedir.

Çizelge 5.7. V=65(m/dk), f=45(mm/dk), I=100(amp) de kesme kuvvetleri

Parça Sayısı	$F_r$	$f_r$	$F_t$	$f_t$	$A * 10^3 \text{ mm}^2$	$t(\text{dk})$	$K_e \times 10^4$	V	f	$\delta_a$
1	441	35,585	510	41,15	5	1,378	1,4000157	65	45	0,0049819
45	445	35,907	519	41,88	225	62	1,3874313	65	45	0,0049819
75	453	36,553	520	41,96	375	103,3	1,3629292	65	45	0,0049819

Kesme sorunsuz devam etmiş, aşınma anlık değişimler göstermemiştir.

Şekil 5.13. v=65(m/dk), f=45(mm/dk), I=100(amp) kesme parametreleri için VB'nin parça sayısı yada kesme süresine bağlı değişimini göstermektedir.



Şekil 5.13. V=65(m/dk), f=45(mm/dk), I=100(amp) de parça sayısı-aşınma şeridi genişliği değişimi

$$y = 0,0013x + 0,1031$$

x=151 adet parça kesilebilir.

$$T = 335,5 \text{ dk}$$

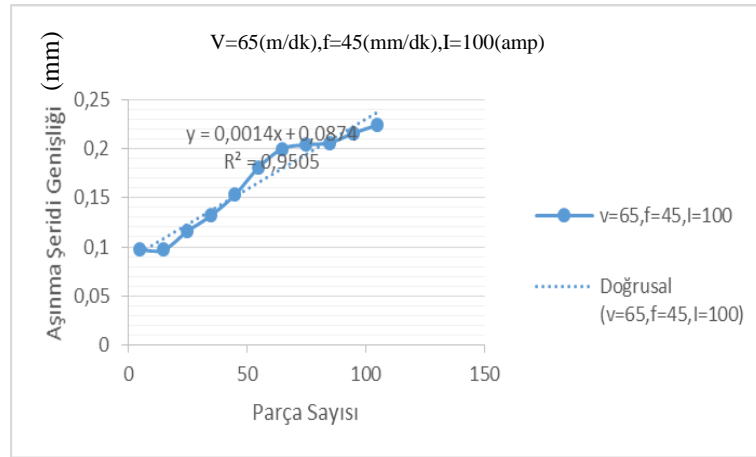
Çizelge 5.8. V=65(m/dk), f=45(mm/dk), I=100(amp) için ölçülen kesme ve itme kuvvetleri, diş başına gelen kuvvetleri ve kesme sabiti ile diş başı ilerleme değerlerini göstermektedir.

Çizelge 5.8. V=65(m/dk), f=45(mm/dk), I=100(amp) de kesme kuvvetleri

Parça Sayısı	$F_r$	$f_r$	$F_t$	$f_t$	$A * 10^3 \text{ mm}^2$	t(dk)	$K_e \times 10^4$	V	F	$\delta_a$
1	372	30,017	431	34,78	5	1,378	1,659696	65	45	0,0049819
75	372	30,017	435	35,1	375	103,3	1,659696	65	45	0,0049819
104	372	30,017	441	35,58	520	143,3	1,659696	65	45	0,0049819

Kesme sorunsuz devam etmiş, aşınma anlık değişimler göstermemiştir.

Şekil 5.14. v=65(m/dk), f=45(mm/dk), I=100(amp) kesme parametreleri için VB'nin parça sayısı yada kesme süresine bağlı değişimini göstermektedir.



Şekil 5.14. V=65(m/dk), f=45(mm/dk), I=100(amp) de parça sayısı-aşınma şeridi genişliği değişimi

$$y = 0,0014x + 0,087$$

x=152 adet parça kesilebilir.

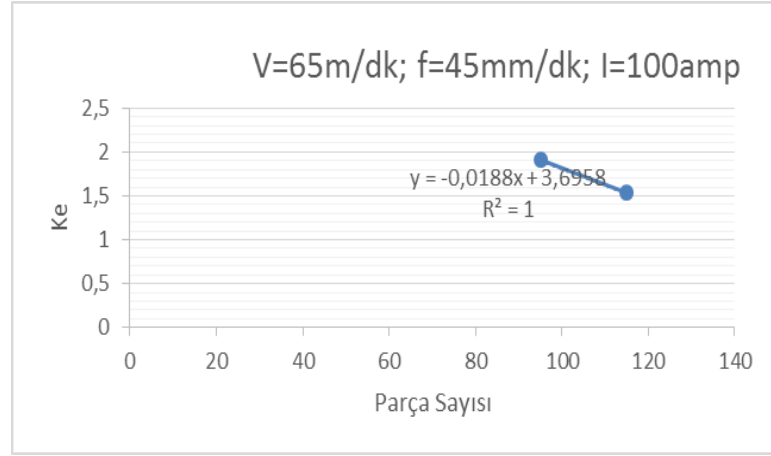
T=388 dk

Çizelge 5.9. V=65(m/dk), f=45(mm/dk), I=100(amp) için ölçülen kesme ve itme kuvvetleri, diş başına gelen kuvvetleri ve kesme sabiti ile diş başı ilerleme değerlerini göstermektedir.

Çizelge 5.9. V=65(m/dk), f=45(mm/dk), I=100(amp) de kesme kuvvetleri

Parça Sayısı	$F_r$	$f_r$	$F_t$	$f_t$	$A * 10^3 \text{ mm}^2$	t(dk)	$K_e \times 10^4$	V	F	$\delta_a$
1	431	34,778	490	39,54	5	1,378	1,4324987	65	45	0,0049819
95	323	26,063	362	29,21	475	130,9	1,9114765	65	45	0,0049819
115	402	32,438	441	35,58	575	158,4	1,5358381	65	45	0,0049819

Şekil 5.15. v=65(m/dk), f=45(mm/dk), I=100(amp) kesme parametreleri için kesme sabiti'nin parça sayısı yada kesme süresine bağlı değişimini göstermektedir.



Şekil 5.15. V=65(m/dk), f=45(mm/dk), I=100(amp)de parça sayısı-Ke değişimi

$y = -0,0188x + 3,658$  regresyon doğrusunda

Ke 1,4 olduğu değerde son buluyor kabulü ile;

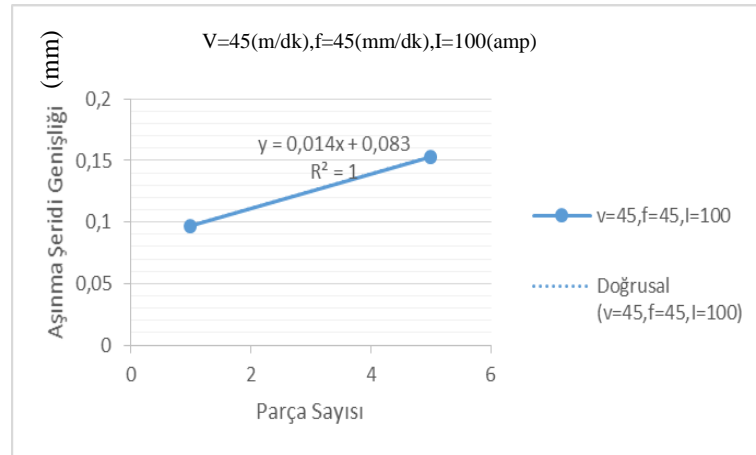
$y = Ke = 1,4$  için

$x = 120$  adet parça kesilebilir.

$T = 266,6$  dk

Kesme sorunsuz devam etmiş, aşınma anlık değişimler göstermemiştir.

Şekil 5.16.  $v = 45$ (m/dk),  $f = 45$ (mm/dk),  $I = 100$ (amp) kesme parametreleri için VB'nin parça sayısı yada kesme süresine bağlı değişimini göstermektedir.



Şekil 5.16. V=45(m/dk), f=45(mm/dk), I=100(amp)de parça sayısı-aşınma şeridi genişliği değişimi

$y = 0,014x + 0,083$

$x = 20$  adet parça kesilebilir.

$T = 46$  dk

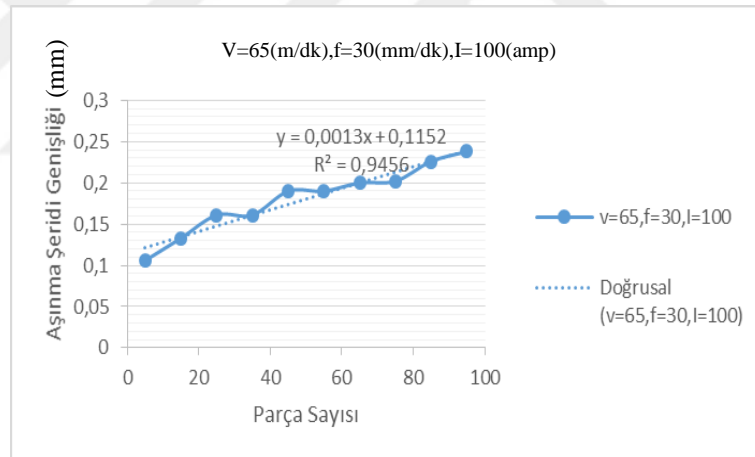
Çizelge 5.10.  $V=65(\text{m/dk})$ ,  $f=45(\text{mm/dk})$ ,  $I=100(\text{amp})$  için ölçülen kesme ve itme kuvvetleri, diş başına gelen kuvvetleri ve kesme sabiti ile diş başı ilerleme değerlerini göstermektedir.

Çizelge 5.10.  $V=45(\text{m/dk})$ ,  $f=45(\text{mm/dk})$ ,  $I=100(\text{amp})$ de kesme kuvvetleri

Parça Sayısı	$F_r$	$f_r$	$F_t$	$f_t$	$A \cdot 10^3 \text{ mm}^2$	$t(\text{dk})$	$K_e \times 10^4$	$V$	$f$	$\delta_a$
1	402	32,438	500	40,35	5	1,378	2,2184328	45	45	0,007196078

İlerleme değeri kesme hızına göre yüksektir ve talaş kaldırılamadan takım ilerlemektedir, bu sebepten kesme kuvvetleri yüksektir. Yüksek kuvvetlerin etkisiyle testere takımı dişlerinde kırıklar oluşmuştur.

Şekil 5.17.  $v=65(\text{m/dk})$ ,  $f=30(\text{mm/dk})$ ,  $I=100(\text{amp})$  kesme parametreleri için VB'nin parça sayısı yada kesme süresine bağlı değişimini göstermektedir.



Şekil 5.17.  $V=65(\text{m/dk})$ ,  $f=30(\text{mm/dk})$ ,  $I=100(\text{amp})$ de parça sayısı-aşınma şeridi genişliği değişimi

$$y = 0,0013x + 0,1152$$

$x = 142$  adet parça kesilebilir.

$$T = 473 \text{ dk}$$

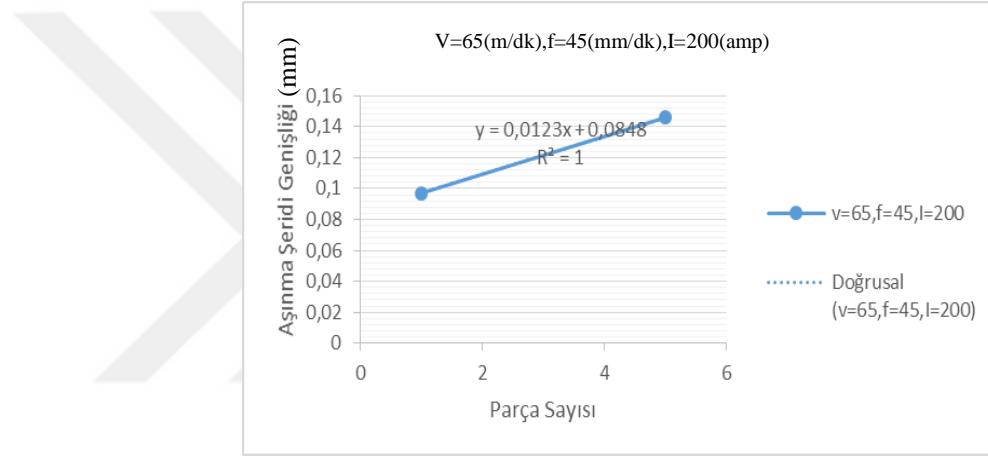
Çizelge 5.11.  $V=65(\text{m/dk})$ ,  $f=30(\text{mm/dk})$ ,  $I=100(\text{amp})$  için ölçülen kesme ve itme kuvvetleri, diş başına gelen kuvvetleri ve kesme sabiti ile diş başı ilerleme değerlerini göstermektedir.

**Çizelge 5.11.** V=65(m/dk), f=30(mm/dk), I=100(amp)de kesme kuvvetleri

Parça Sayısı	$F_r$	$f_r$	$F_t$	$f_t$	$A \cdot 10^3 \text{ mm}^2$	t(dk)	$Ke \times 10^4$	V	F	$\delta_a$
1	392	31,631	529	42,69	5	2,067	1,0500118	65	30	0,003321267
75	362	29,21	431	34,78	375	155	1,1370293	65	30	0,003321267
95	402	32,438	441	35,58	475	196,3	1,0238921	65	30	0,003321267

Kesme sorunsuz devam etmiş, aşınma anlık değişimler göstermemiştir.

Şekil 5.18. v=65(m/dk), f=45(mm/dk), I=200(amp) kesme parametreleri için VB'nin parça sayısı yada kesme süresine bağlı değişimini göstermektedir.



**Şekil 5.18.** V=65(m/dk), f=45(mm/dk), I=200(amp)de parça sayısı-aşınma şeridi genişliği değişimi

$$y=0,0123x+0,0848$$

x=17 adet parça kesilebilir.

$$T=38,8 \text{ dk}$$

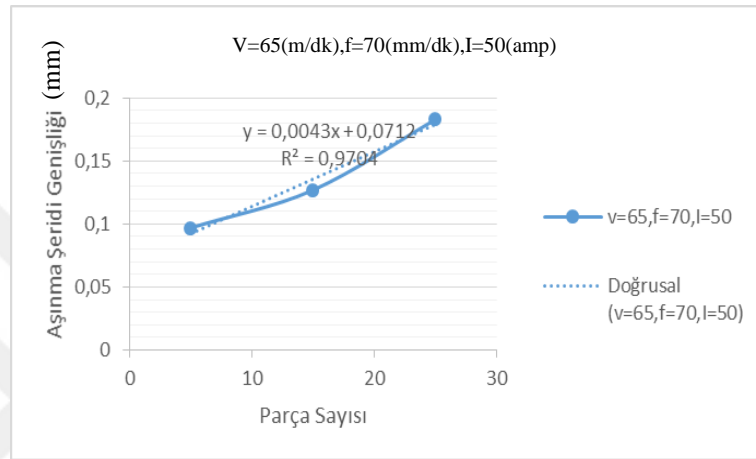
Çizelge 5.12. V=65(m/dk), f=45(mm/dk), I=200(amp) için ölçülen kesme ve itme kuvvetleri, diş başına gelen kuvvetleri ve kesme sabiti ile diş başı ilerleme değerlerini göstermektedir.

**Çizelge 5.12.** V=65(m/dk), f=45(mm/dk), I=200(amp)de kesme kuvvetleri

Parça Sayısı	$F_r$	$f_r$	$F_t$	$f_t$	$A \cdot 10^3 \text{ mm}^2$	t(dk)	$Ke \times 10^4$	V	F	$\delta_a$
1	441	35,585	588	47,45	5	1,378	1,4000157	65	45	0,0049819

Akım, kesme hızı ve ilerleme değerlerine göre yüksek gelmiş ve ısınma istenenin üzerinde olmuştur. Sıcaklık artışı yığılma ağız oluşumuna sebep olmuştur. Yığılma ağız kesme esnasında koparak testere takımından ayrılırken, takım yüzeyinde tahribata sebep olmuştur. Beklenenden daha kısa sürede kesici takımda diş kırılmaları gözlenmiştir.

Şekil 5.19.  $v=65(\text{m/dk})$ ,  $f=70(\text{mm/dk})$ ,  $I=50(\text{amp})$  kesme parametreleri için VB'nin parça sayısı yada kesme süresine bağlı değişimini göstermektedir.



Şekil 5.19.  $V=65(\text{m/dk})$ ,  $f=70(\text{mm/dk})$ ,  $I=50(\text{amp})$ de parça sayısı-aşınma şeridi genişliği değişimi

$$y=0,0043x+0,0712$$

$x=53$  adet parça kesilebilir.

$$T=75 \text{ dk}$$

Çizelge 5.13.  $V=65(\text{m/dk})$ ,  $f=70(\text{mm/dk})$ ,  $I=50(\text{amp})$  için ölçülen kesme ve itme kuvvetleri, diş başına gelen kuvvetleri ve kesme sabiti ile diş başı ilerleme değerlerini göstermektedir.

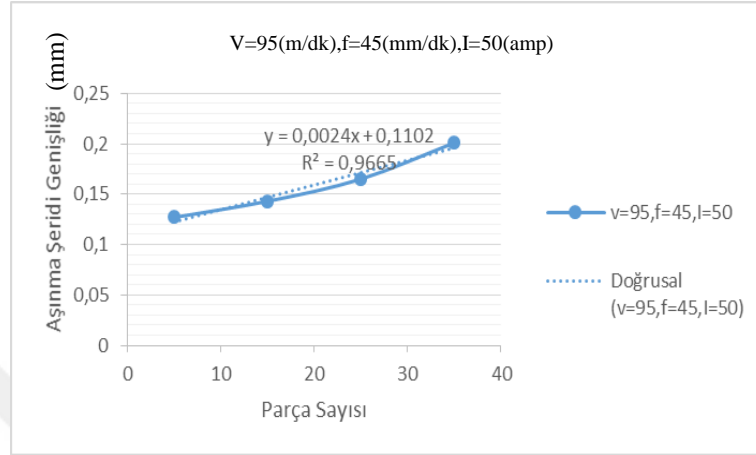
Çizelge 5.13.  $V=65(\text{m/dk})$ ,  $f=70(\text{mm/dk})$ ,  $I=50(\text{amp})$ de kesme kuvvetleri

Parça Sayısı	$F_r$	$f_r$	$F_t$	$f_t$	$A \cdot 10^3 \text{ mm}^2$	$t(\text{dk})$	$K_e \times 10^4$	$V$	$f$	$\delta_a$
1	441	35,585	589	47,53	5	0,886	2,1778022	65	70	0,007749623

İlerleme değerinin yüksek olduğu deneylerde kesici takım talaş kaldıramadan ilerleme gerçekleşmektedir ve büyük kuvvetler oluşmaktadır. 70mm/dk ilerleme

değerinde oluşan büyük kuvvetlerin etkisiyle aşınma şeridi genişliği 0,3mm ye ulaşmadan kesici takım dişlerinde kırıklar oluşmuştur.

Şekil 5.20.  $v=95(m/dk)$ ,  $f=45(mm/dk)$ ,  $I=50(amp)$  kesme parametreleri için VB 'nin parça sayısı yada kesme süresine bağlı değişimini göstermektedir.



Şekil 5.20.  $V=95(m/dk)$ ,  $f=45(mm/dk)$ ,  $I=50(amp)$ de parça sayısı-aşınma şeridi genişliği değişimi

$$y=0,0024x+0,1102$$

$x=79$  adet parça kesilebilir.

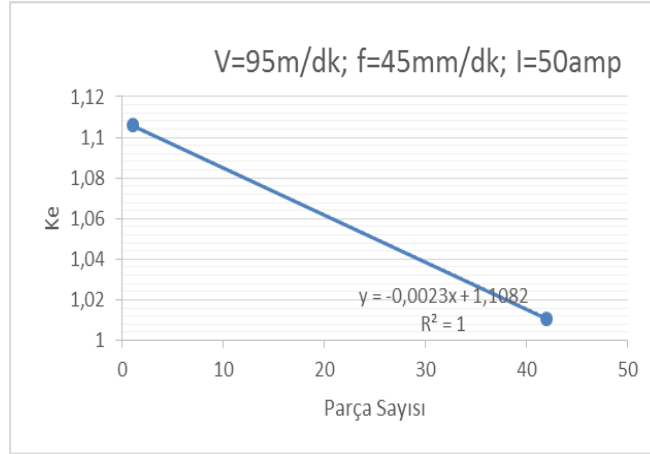
$$T=175,7 \text{ dk}$$

Çizelge 5.14.  $V=95(m/dk)$ ,  $f=45(mm/dk)$ ,  $I=50(amp)$  için ölçülen kesme ve itme kuvvetleri, diş başına gelen kuvvetleri ve kesme sabiti ile diş başı ilerleme değerlerini göstermektedir

Çizelge 5.14.  $V=95(m/dk)$ ,  $f=45(mm/dk)$ ,  $I=50(amp)$ de kesme kuvvetleri

Parça Sayısı	$F_r$	$f_r$	$F_t$	$f_t$	$A*10^3 \text{ mm}^2$	$t(\text{dk})$	$K_e \times 10^4$	$V$	$f$	$\delta_a$
1	382	30,824	451	36,39	5	1,378	1,1058542	95	45	0,003408669
42	418	33,729	502	40,51	210	57,87	1,0106132	95	45	0,003408669

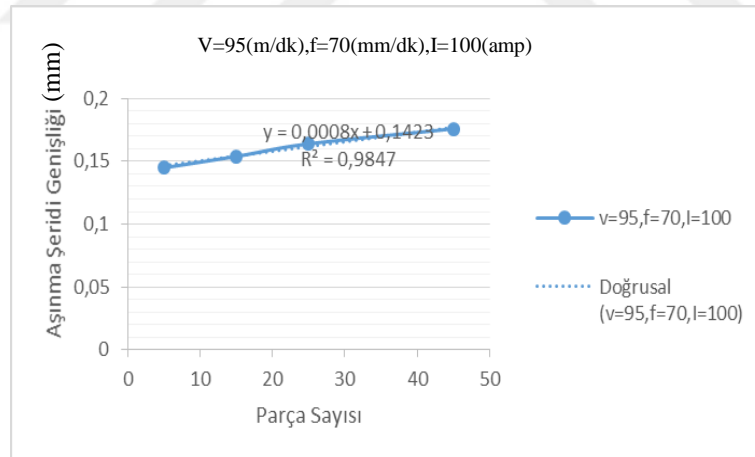
Şekil 5.21.  $v=95(m/dk)$ ,  $f=45(mm/dk)$ ,  $I=50(amp)$  kesme parametreleri için kesme sabitinin parça sayısı yada kesme süresine bağlı değişimini göstermektedir.



Şekil 5.21. V=95(m/dk),f=45(mm/dk), I=50(amp)de parça sayısı-aşınma şeridi genişliği değişimi

.Kesme hızının yüksek, ilerlemenin kesme hızına kıyasla düşük olması kesici takımın talaş kaldırmadan boşta hareket etmesine sebep olmuştur. Talaş kaldırmadan hareket eden kesici takım, iş parçasıyla oluşan sürtünme ile ısınmıştır. İş parçası yüzeyinde ve kesici takımda yanıklar oluşmuştur.

Şekil 5.22. v=95(m/dk), f=70(mm/dk), I=100(amp) kesme parametreleri için VB'nin parça sayısı yada kesme süresine bağlı değişimini göstermektedir



Şekil 5.22.V=95(m/dk),f=70(mm/dk),I=100(amp)de parça sayısı-aşınma şeridi genişliği değişimi

$$y=0,0008x+0,1423$$

Kesme hızının yüksek olması ve akımın etkisi ile kesme işlemi başladığı andan itibaren yanık talaş oluştu. Kırkıncı parçada takım ömrünü tamamladı.

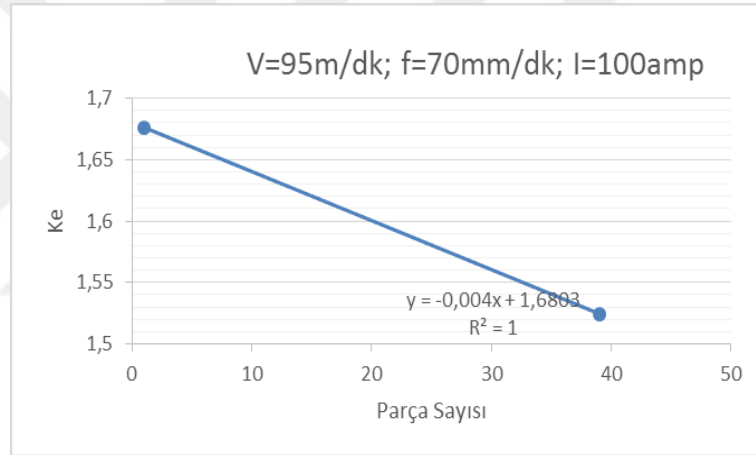
$$T=57 \text{ dk}$$

Çizelge 5.15.  $V=95(\text{m/dk})$ ,  $f=70(\text{mm/dk})$ ,  $I=100(\text{amp})$  için ölçülen kesme ve itme kuvvetleri, diş başına gelen kuvvetleri ve kesme sabiti ile diş başı ilerleme değerlerini göstermektedir.

Çizelge 5.15.  $V=95(\text{m/dk})$ ,  $f=70(\text{mm/dk})$ ,  $I=100(\text{amp})$ de kesme kuvvetleri

Parça Sayısı	$F_r$	$f_r$	$F_t$	$f_t$	$A \cdot 10^3 \text{ mm}^2$	$t(\text{dk})$	$Ke \times 10^4$	V	F	$\delta_a$
1	392	31,631	402	32,44	5	0,886	1,6763346	95	70	0,005302374
39	431	34,778	445	35,91	195	34,54	1,5246477	95	70	0,005302374

Şekil 5.23.  $v=95(\text{m/dk})$ ,  $f=70(\text{mm/dk})$ ,  $I=100(\text{amp})$  kesme parametreleri için kesme sabitinin parça sayısı yada kesme süresine bağlı değişimini göstermektedir.



Şekil 5.23.  $V=95(\text{m/dk})$ ,  $f=70(\text{mm/dk})$ ,  $I=100(\text{amp})$ de parça sayısı-aşınma şeridi genişliği değişimi

$y = -0,004x + 1,6803$  regresyon doğrusunda

$Ke$  1,4 olduğu değerde son buluyor kabulü ile;

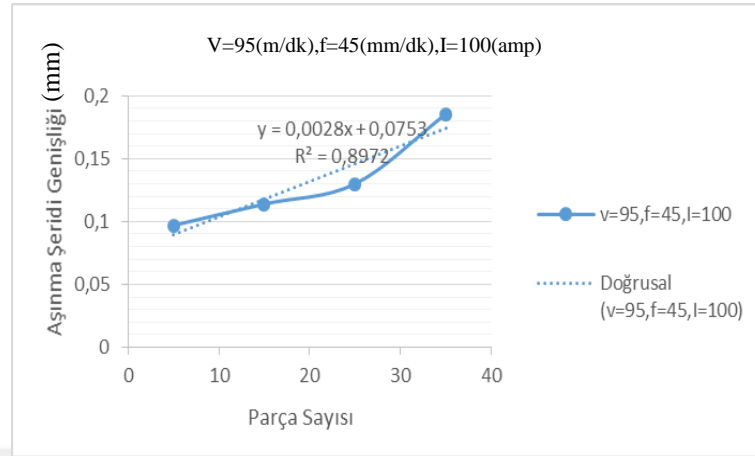
$y = Ke = 1,4$  için

$x = 70$  adet parça kesilebilir.

$T = 100 \text{ dk}$

İlerleme değerinin yüksek olduğu deneylerde kesici takım talaş kaldıramadan ilerleme gerçekleşmektedir ve büyük kuvvetler oluşmaktadır. Isıtmanın etkisiyle diğer  $70 \text{ mm/dk}$  ilerleme değerindeki deneyler kadar büyük kuvvetler oluşmamıştır. Oluşan büyük kuvvetlerin etkisiyle aşınma şeridi genişliği  $0,3 \text{ mm}$  ye ulaşmadan kesici takım dişlerinde kırıklar oluşmuştur.

Şekil 5.24.  $v=95(\text{m/dk})$ ,  $f=45(\text{mm/dk})$ ,  $I=100(\text{amp})$  kesme parametreleri için VB'nin parça sayısı yada kesme süresine bağlı değişimini göstermektedir



Şekil 5.24.  $V=95(\text{m/dk})$ ,  $f=45(\text{mm/dk})$ ,  $I=100(\text{amp})$ de parça sayısı-aşınma şeridi genişliği değişimi

$$y=0,0028x+0,0753$$

Kesme hızının yüksek olması ve akımın etkisi ile kesme işlemi başladığı andan itibaren yanık talaş oluştu. Otuz beşinci parçada takım ömrünü tamamladı.

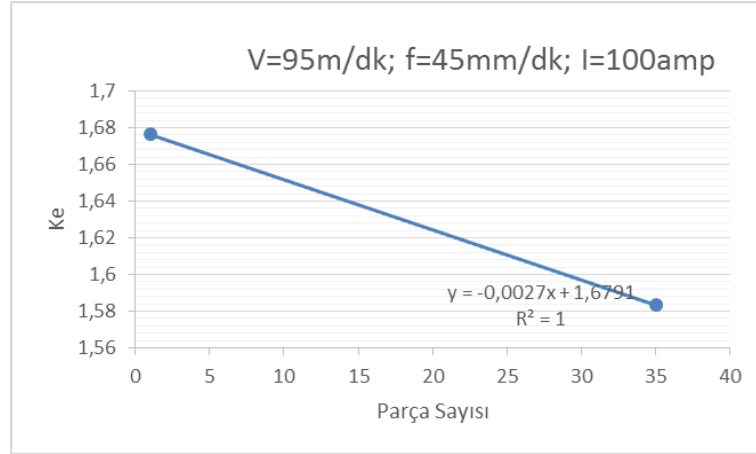
$$T=77,8 \text{ dk}$$

Çizelge 5.16.  $V=95(\text{m/dk})$ ,  $f=45(\text{mm/dk})$ ,  $I=100(\text{amp})$  için ölçülen kesme ve itme kuvvetleri, diş başına gelen kuvvetleri ve kesme sabiti ile diş başı ilerleme değerlerini göstermektedir.

Çizelge 5.16.  $V=95(\text{m/dk})$ ,  $f=45(\text{mm/dk})$ ,  $I=100(\text{amp})$ de kesme kuvvetleri

Parça Sayısı	$F_r$	$f_r$	$F_t$	$f_t$	$A*10^3 \text{ mm}^2$	$t(\text{dk})$	$K_e \times 10^4$	$V$	$f$	$\delta_a$
1	392	31,631	421	33,97	5	0,886	1,6763346	95	70	0,005302374
35	415	33,487	432	34,86	175	31	1,5834293	95	70	0,005302374

Şekil 5.25.  $v=95(\text{m/dk})$ ,  $f=45(\text{mm/dk})$ ,  $I=100(\text{amp})$  kesme parametreleri için kesme sabitinin parça sayısı yada kesme süresine bağlı değişimini göstermektedir



Şekil 5.25. V=95(m/dk), f=45(mm/dk), I=100(amp)de parça sayısı-Ke değişimi

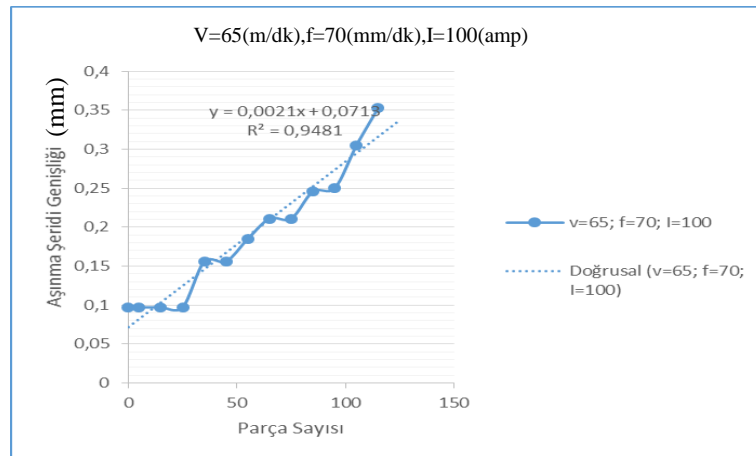
$$y = -0,0027x + 1,6791$$

Kesme hızının yüksek olması ve akımın etkisi ile kesme işlemi başladığı andan itibaren talaş rengi standart dışıdır. Otuz beşinci parçada takım ömrünü tamamlanmıştır.

$$T = 77 \text{ dk}$$

Kesme hızının yüksek, ilerlemenin kesme hızına kıyasla düşük olması kesici takımın talaş kaldırmadan boşta hareket etmesine sebep olmuştur. Talaş kaldırmadan hareket eden kesici takım, iş parçasıyla oluşan sürtünme ile ısınmıştır. İş parçası yüzeyinde ve kesici takımda yanıklar oluşmuştur.

Şekil 5.26. v=65(m/dk), f=70(mm/dk), I=100(amp) kesme parametreleri için VB'nin parça sayısı yada kesme süresine bağlı değişimini göstermektedir



Şekil 5.26. V=65(m/dk), f=70(mm/dk), I=100(amp)de parça sayısı-aşınma şeridi genişliği değişimi

$$y = 0,0021x + 0,0715$$

x=105 adet parça kesilebilir.

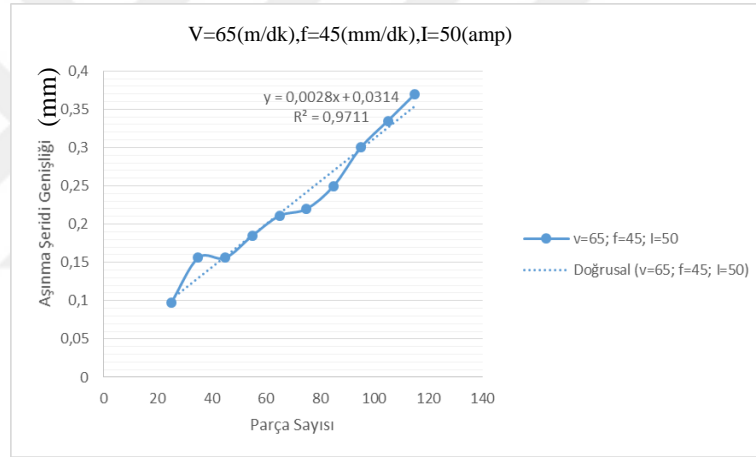
T=150 dk

Çizelge 5.17. V=65(m/dk), f=70(mm/dk), I=100(amp) için ölçülen kesme ve itme kuvvetleri, diş başına gelen kuvvetleri ve kesme sabiti ile diş başı ilerleme değerlerini göstermektedir.

Çizelge 5.17. V=65(m/dk), f=70(mm/dk), I=100(amp)de kesme kuvvetleri

Parça Sayısı	$F_r$	$f_r$	$F_t$	$f_t$	$A \cdot 10^3 \text{ mm}^2$	t(dk)	$K_e \cdot 10^4$	V	f	$\delta_a$
1	431	34,778	519	41,88	5	0,886	2,2283313	65	70	0,007749623

Şekil 5.27. v=65(m/dk), f=45(mm/dk), I=50(amp) kesme parametreleri için VB'nin parça sayısı yada kesme süresine bağlı değişimini göstermektedir



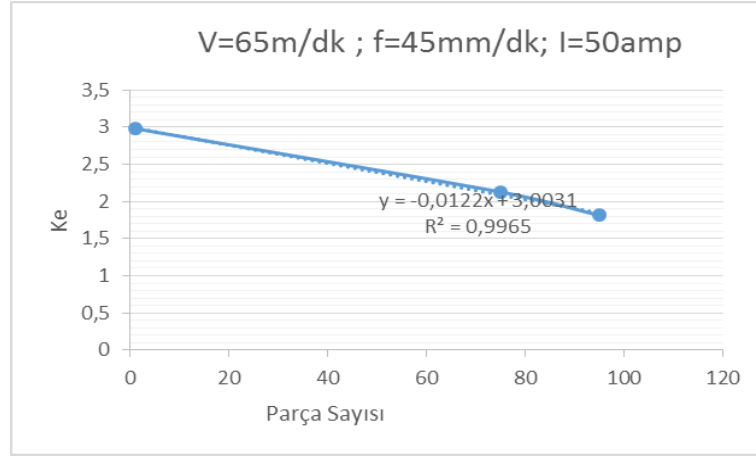
Şekil 5.27.V=65(m/dk),f=45(mm/dk),I=50(amp)de parça sayısı-aşınma şeridi genişliği değişimi

$$y=0,0028x+0,0314$$

x= 95 adet parça kesilebilir.

T= 210dk

Şekil 5.28. v=65(m/dk), f=45(mm/dk), I=50(amp) kesme parametreleri için kesme sabitinin parça sayısı yada kesme süresine bağlı değişimini göstermektedir.



Şekil 5.27.  $V=65(m/dk)$ ,  $f=45(mm/dk)$ ,  $I=50(amp)$  de parça sayısı-aşınma şeridi genişliği değişimi

$y=-0,0122x+3,0031$  regresyon doğrusunda

Ke 1,4 olduğu değerde son buluyor kabulü ile;

$y= Ke =1,4$  için

$x=131$  adet parça kesilebilir.

$T=291$  dk

Çizelge 5.18 de deneysel plana göre kesme parametrelerinin her bir deneye göre elde edilen takım ömrü değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.18. Kesme parametrelerine göre ömürler

Deney No	V(m/dk)	f(mm/dk)	I(amp)	Ömür(dk)
1	45	30	200	70
2	45	45	100	46
3	45	70	50	13
4	65	30	100	473
5	65	45	50	210
6	65	45	100	288
7	65	45	200	39
8	65	70	50	75
9	65	70	100	150
10	95	30	50	190
11	95	45	50	175
12	95	45	100	78
13	95	70	100	57
14	95	70	200	65

## 6. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

### 6.1. Deney Planlar ve Takım Ömrü Matematik Modelleri

Deneyde kullanılan kesme parametrelerinin değerleri ve kodlanmış seviyeleri Çizelge 6.1 de verilmiştir.

**Çizelge 6.1.** Deney parametleri ve seviyeleri

	1	0	-1
V	95	65	45
F	70	45	30
I	200	100	50

Birinci dereceden matematik model ve taguchi tekniği L9 ortogonal dizini için iki ayrı deney planı oluşturulmuş ve Deney planlarına uygun olarak toplam 13 deney yapılmıştır. Genelleştirilmiş takım ömür denklemi aşağıda verilmiştir.

$$V T^u f^m I^r = C \quad (3.29)$$

Takım ömrünün logaritmik ölçekte birinci derece modeli denklem(3.30) de verilmiştir.

$$\eta = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 \quad (3.30)$$

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \varepsilon$$

Birinci derece modelin tahmin denklemi denk(3.31) deki gibidir.

$$\bar{y} = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 \quad (3.31)$$

Çizelge 6.2.Kodlanmış değişkenlerle L9dizinine ait deneysel plan takım ömür değerleri

Sıra No	Kesme hızı	İlerleme hızı	Akım	Kesme hızı(m/dk)	İlerleme hızı(mm/dk)	Akım(A)	Takım Ömrü(dk)
1	-1	-1	1	45	30	200	70
2	-1	0	0	45	45	100	46
3	-1	1	-1	45	70	50	13
4	0	-1	0	65	30	100	473
5	0	0	1	65	45	200	39
6	0	1	-1	65	70	50	75
7	1	-1	-1	95	30	50	190
8	1	0	0	95	45	100	78
9	1	1	0	95	70	200	65

Çizelge6.3. Birinci derece model için kodlanmış değişkenler için deneysel plan

Sıra No	Kesme hızı	İlerleme hızı	Akım	Kesme hızı(m/dk)	İlerleme hızı(mm/dk)	Akım(A)
1	-1	-1	-1	45	30	50
2	1	1	-1	95	70	50
3	1	-1	1	95	30	200
4	-1	1	1	45	70	200
5	0	0	0	65	45	100
6	0	0	0	65	45	100
7	0	0	0	65	45	100

**Çizelge6.4.** Birinci derece model için kodlanmış değişkenler için alternatif deneysel plan ve takım ömür değerleri

Sıra No	Kesme hızı	İlerleme hızı	Akım	Kesme hızı(m/dk)	İlerleme hızı(mm/dk)	Akım(A)	Takım Ömrü(dk)
1	1	-1	-1	95	30	50	190
2	-1	1	-1	45	70	50	13
3	-1	-1	1	45	30	200	70
4	1	1	1	95	70	200	65
5	0	0	0	65	45	100	288
6	0	0	0	65	45	100	335
7	0	0	0	65	45	100	388

Birinci derece matematik model Takım ömür denklemi katsayılarını bulmak için  $X$ ,  $X'$ ,  $X' \cdot X$ ,  $(X' \cdot X)^{-1}$ ,  $(X' \cdot X)^{-1} \cdot X'$ ,  $Y$  ve  $(X' \cdot X)^{-1} \cdot X' \cdot y$  matris ve vektörleri aşağıda verilmiştir.

$$X = \begin{pmatrix} 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$X' = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$X' \cdot X = \begin{pmatrix} 7 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 4 \end{pmatrix}$$

$$(X' \cdot X)^{-1} = \begin{pmatrix} 0,14286 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,25 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,25 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,25 \end{pmatrix}$$

$$(X' \cdot X)^{-1} \cdot X' = \begin{pmatrix} 0,14 & 0,14 & 0,14 & 0,14 & 0,14 & 0,14 & 0,14 \\ 0,25 & -0,25 & -0,25 & 0,25 & 0 & 0 & 0 \\ -0,25 & 0,25 & -0,25 & 0,25 & 0 & 0 & 0 \\ -0,25 & -0,25 & 0,25 & 0,25 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$y = \begin{pmatrix} 5,247 \\ 2,553 \\ 4,248 \\ 4,2195 \\ 5,666 \\ 5,816 \\ 5,96 \end{pmatrix}$$

$$(X' \cdot X)^{-1} \cdot X' \cdot y = \begin{pmatrix} 4,81564 \\ 0,66638 \\ -0,68063 \\ 0,16688 \end{pmatrix}$$

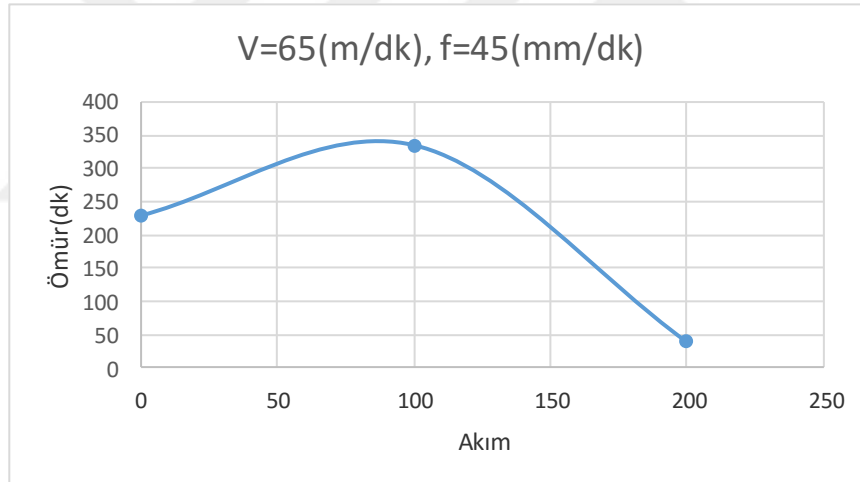
$$\begin{aligned}\beta_0 &= 4,81564 \\ \beta_1 &= 0,66638 \\ \beta_2 &= -0,68063 \\ \beta_3 &= 0,16688\end{aligned}$$

Takım ömrü için birinci derece tahmin modeli aşağıdaki şekilde elde edilmiştir.

$$\bar{y} = 4,81564 + 0,66638x_1 - 0,68063x_2 + 0,16688x_3$$

Bu modelin Varyans Analizinden denklemin uygun olmadığı görülmüştür

Yapılan planlamaya göre deneylerin sonuçları yorumlandığında değişimin lineer olmadığı görülmüştür (Şekil 6.1.). Akım değişimine göre ömür ikinci dereceden bir değişim eğrisi göstermiştir. Bu durum göz önünde bulundurulduğunda yeni bir deney planına ihtiyaç duyulmuştur. İkinci dereceden deney planına göre deneyler yeniden yapılmıştır.



Şekil 6.1.  $V=65(m/dk)$ ,  $f=45(mm/dk)$  değerlerinde akımdaki değişimin ömür üzerindeki etkisi.

İkinci dereceden deney planı yapılmıştır. Plan çerçevesinde birinci dereceden deney planında olmayıp ikinci dereceden deney planında olan deneyler tamamlanmıştır.

**Çizelge 6.5.** İkinci dereceden deney planı ve takım ömrü değerleri aşağıda verilmiştir.

Sıra No	Kesme hızı	İlerleme hızı	Akım	Kesme hızı(m/dk)	İlerleme hızı(mm/dk)	Akım(A)	Takım Ömrü(dk)
1	1	-1	-1	95	30	50	190
2	-1	1	-1	45	70	50	13
3	-1	-1	1	45	30	200	70
4	1	1	1	95	70	200	65
5	-1	0	0	45	45	100	46
6	1	0	0	95	45	100	100
7	0	-1	0	65	30	100	473
8	0	1	0	65	70	100	150
9	0	0	-1	65	45	50	210
10	0	0	1	65	45	200	39
11	0	0	0	65	45	100	288
12	0	0	0	65	45	100	335
13	0	0	0	65	45	100	387

İkinci derece matematik model Takım ömür denklemi katsayılarını bulmak için  $X$ ,  $X'$  .  $X' \cdot X$  .  $(X' \cdot X)^{-1}$   $(X' \cdot X)^{-1} \cdot X'$  .  $Y$  ve  $(X' \cdot X)^{-1} \cdot X' \cdot y$  matris ve vektörleri hesaplandıktan sonra ikinci derece model katsayıları aşağıda verilmiştir.

$$(X' \cdot X)^{-1} \cdot X' \cdot y = \begin{pmatrix} 5,566323 \\ 0,388265 \\ -0,5745 \\ -0,84172 \\ -1,16528 \\ 0,202313 \\ -0,87691 \\ 0,756889 \\ -0,3521 \\ 0,02353 \end{pmatrix}$$

İkinci derece matematik model Takım ömür denklemi

$$Y=5.566323+0.388265X_1-0.5745X_2-0.841727X_3-1.16528X_1^2+0,202313X_2^2-0,87691X_3^3+0,756889X_1X_2-0,3521X_1X_3+0,02353X_2X_3$$

bulunur

## 6.2. Taguchi Tekniği Kullanılarak Testere Parametrelerinin Etkileri ve Optimizasyonu

Taguchi deneysel modeli ile etkiler hesaplanmıştır. İç etkiler dikkate alınmadığı L9 deney planı kullanılmıştır. Taguchi L9 deney planı;

Çizelge 6.6. Taguchi L9 deney planı

Kodlanmış Değişkenler			v	f	I
1	1	1	95	70	200
1	0	0	95	45	100
1	-1	-1	95	30	50
0	1	-1	65	70	50
0	0	1	65	45	200
0	-1	0	65	30	100
-1	1	-1	45	70	50
-1	0	0	45	45	100
-1	-1	1	45	30	200

### 6.2.1.Taguchi L9 Deney Planı İçin Deneysel Sonuçların Değerlendirilmesi

Taguchi L9 deney planına göre Çizelge 6.7. de görülen ömürler elde edilmiştir. İç etkiler önemsenmeden parametrelerin etkileri hesaplanmıştır.

Çizelge 6.7. Taguchi L9 ortogonal dizayna göre deneysel plan ve ömürler

v	f	I	Takım Ömrü	Kayıp	S/N
95	70	200	65,0000	1408,333333	-31,4871
95	45	100	78,0000	2028	-33,0707
95	30	50	190,0000	12033,33333	-40,8039
65	70	50	75,0000	1875	-32,73
65	45	200	39,0000	507	-27,0501
65	30	100	473,0000	74576,33333	-48,726
45	70	50	13,0000	56,33333333	-17,5077
45	45	100	46,0000	705,3333333	-28,4839
45	30	200	70,0000	1633,333333	-32,1307

### 6.2.2.Ortalamalar için etki

Birinci seviyede hız değerinin ortalamalar için etkisi hesaplanması;

$$\frac{65 + 78 + 190}{3} = 111$$

Birinci seviyede ilerleme değerinin ortalamalar için etkisi hesaplanması;

$$\frac{65 + 75 + 13}{3} = 51$$

Birinci seviyede akım değerinin ortalamalar için etkisi hesaplanması;

$$\frac{65 + 39 + 70}{3} = 58$$

Çizelge 6.8. Ortalamalar için etki

Seviye	Hız	İlerleme	Akım
1	111	51	58
2	195,6667	54,33333	199
3	43	244,3333	92,66667
<b>Fark</b>	152,6667	193,3333	141
<b>Sıralama</b>	2	1	3

Ortalamalar için etkiler yorumlanırsa hızın ikinci seviyesi, ilerlemenin üçüncü seviyesi, akımın ikinci seviyesi ömrün maksimum olduğu değerleri verir. Hızın üçüncü seviye, ilerlemenin birinci seviye, akımın birinci seviye olduğu durum ömrün minimum olduğu sonucu vermektedir. Ortalamaların farklarına göre etki sıralaması yapılırsa ömür üzerinde en büyük etkiyi ilerleme göstermektedir. İkinci sırada etkiyi hız, en az etkiyi akımın yaptığı görülmüştür.

### 6.2.3.S/N oranı için tepki

Birinci seviyede hız değerinin S/N oranı için tepkisinin hesaplanması;

$$\frac{(-31,4871) + (-33,0707) + (-40,8039)}{3} = -35,1205$$

Birinci seviyede ilerleme değerinin S/N oranı için tepkisinin hesaplanması;

$$\frac{(-31,4871) + (-32,73) + (-17,5077)}{3} = -27,2416$$

Birinci seviyede akım değerinin S/N oranı için tepkisinin hesaplanması;

$$\frac{(-31,4871) + (-27,0501) + (-32,1307)}{3} = -30,2226$$

Çizelge 6.9. S/N oranı için etki

Seviye	Hız	İlerleme	Akım
1	-35,1205	-27,2416	-30,2226
2	-36,1687	-29,5349	-36,7602
3	-26,0408	-40,5535	-30,3472
<b>Fark</b>	10,12792	13,31197	6,537584
<b>Sıralama</b>	2	1	3

S/N oranı için tepkiler yorumlanırsa hızın ikinci seviyesi, ilerlemenin üçüncü seviyesi, akımın ikinci seviyesi ömrün maksimum olduğu değerleri verir. Hızın üçüncü seviye, ilerlemenin birinci seviye, akımın birinci seviye oldu durum ömrün minimum olduğu sonucu vermektedir. Farklara göre etki sıralaması yapılırsa ömür üzerinde en büyük etkiye ilerlemede yapılan değişiklik sebep olmaktadır. İkinci sırada etkiyi hız, en az etkiyi akımın yaptığı görülmüştür.

#### 6.2.4.Ortalamalar için varyans analizi

Kesme hızı için kareler toplamı;

$$\left(\frac{(65+78+190)^2}{3}\right) + \left(\frac{(75+39+473)^2}{3}\right) + \left(\frac{(13+46+70)^2}{3}\right) - \frac{(65+78+190+75+39+473+13+46+70)^2}{9} = 35099,56$$

Kesme hızı için kareler Ortalaması;

$$\frac{35099,56}{2} = 17549,77778$$

Kesme hızı için F-Oranı;

$$\frac{17549,77778}{10612,11111} = 1,65375$$

Kesme hızı için %Etki;

$$\frac{35099,56}{162202,2} = 21,63938$$

**Çizelge 6.10.** Ortalamalar için varyans analiz

	<b>DOF</b>	<b>Kareler Toplamı</b>	<b>Kareler Ortalaması</b>	<b>F-Oranı</b>	<b>%cont.</b>
Kesme hızı	2	35099,56	17549,77778	1,65375	21,63938
İlerleme	2	73488,89	36744,44444	3,462501	45,30696
Akım	2	32389,56	16194,77778	1,526066	19,96863
Hata	2	21224,22	10612,11111		13,08504
<b>Toplam</b>	<b>8</b>	<b>162202,2</b>			

Varyans analiz hesaplamalarına göre en büyük etkiyi %45,3 ile ilerleme, ikinci büyük etkiyi %21,64 ile kesme hızı, en küçük etkiyi %19,94 ile akım yapmaktadır. Hata oranı %13dür.

#### 6.2.5.S/N Oranı için varyans analizi

**Çizelge 6.11.** S/N oranı için varyans analizi

	<b>DOF</b>	<b>Kareler Toplamı</b>	<b>Kareler Ortalaması</b>	<b>F-Oranı</b>	<b>%cont.</b>
<b>Kesme hızı</b>	2	186,1152	93,05761734	6,107264	30,79592
<b>İlerleme</b>	2	303,8782	151,9390807	9,971586	50,28179
<b>Akım</b>	2	83,88254	41,94127074	2,752557	13,87979
<b>Hata</b>	2	30,47441	15,23720305		5,042507
<b>Toplam</b>	<b>8</b>	<b>604,3503</b>			

S/N oranı için varyans analiz hesaplamalarına göre en büyük etkiyi %50,28 ile ilerleme, ikinci büyük etkiyi %30,79 ile kesme hızı, en küçük etkiyi %13,88 ile akım yapmaktadır. Hata oranı %5dir.

### 6.3.İkinci Dereceden Model İçin Deneysel Sonuçların Değerlendirilmesi

İkinci dereceden modele göre Çizelge 6.12. da görülen ömürler elde edilmiştir.

**Çizelge 6.12.** İkinci dereceden modele göre deneysel plan ve ömürler

V	f	I	Takım ömrü	LnT
95	30	50	189	5,241747
45	70	50	13	2,564949
45	30	200	70	4,248495
95	70	200	25	3,218876
45	45	100	46	3,82864
95	45	100	100	4,60517
65	30	100	473	6,159
65	70	100	150	4,8283
65	45	50	210	5,4027
65	45	200	39	3,66356
65	45	100	288	5,66296
65	45	100	335	5,814131
65	45	100	387	5,958425

### 6.3.1.Ortalamalar için varyans analizi

**Çizelge 6.13.** İkinci dereceden modele göre varyans analiz

Kaynak	Kareler top.	Serbeslik derecesi		Ort.Kareler	F-oranı <sub>tablo</sub>
<b>Regresyon</b>	304,291	10		304,291	
<b>b0</b>	289,2696	1		289,2696	
<b>1.derece model</b>	5,43308			1,811027	
<b>b1</b>	0,941041		1	0,941041	
<b>b2</b>	2,789437		1	2,789437	
<b>b3</b>	1,702602		1	1,702602	
<b>2.derece model</b>	9,588849	6			
<b>Quadratik etki</b>	8,501878		3	29,61818	
<b>iç etki</b>	1,086971		3	0,362324	
<b>Kalan</b>	0,461835	8		0,057729	
<b>Uy.Nok.</b>	0,418178		5	0,083636	18.51
<b>Hata</b>	0,043657		3	0,014552	
<b>Toplam</b>	304,7533	13		16,93074	

\*  $F_{HES} = 19,15$

**Çizelge 6.14.** %95 güvenilirlik ile 1 ve 8 serbestlik dereceli F-testi

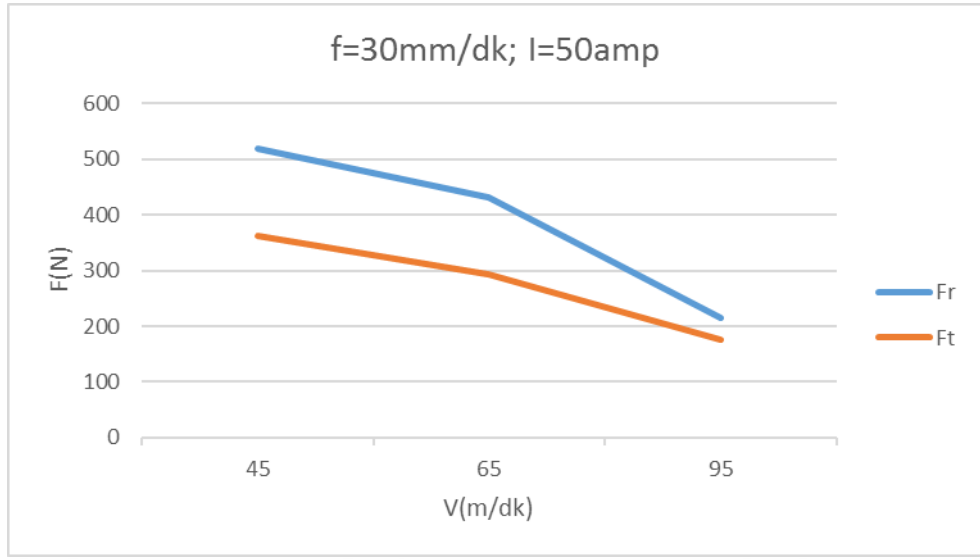
kaynak	ORT. Kareler	S.D	Hes. F-oranı	F-hesaplanan		
<b>X1</b>	0,941041	1	0,941041	64,66536	$F[1,8,5\%]=5,32$	F-hesaplanan>5,32 ise X1 önemlidir.
<b>X2</b>	2,789437	1	2,789437	191,6813		F-hesaplanan >5,32 ise X2 önemlidir.
<b>X3</b>	1,702602	1	1,702602	116,9974		F-hesaplanan >5,32 ise X3 önemlidir.

\*95%güvenirlik ile 1 ve 8 serbestlik dereceli F-testi

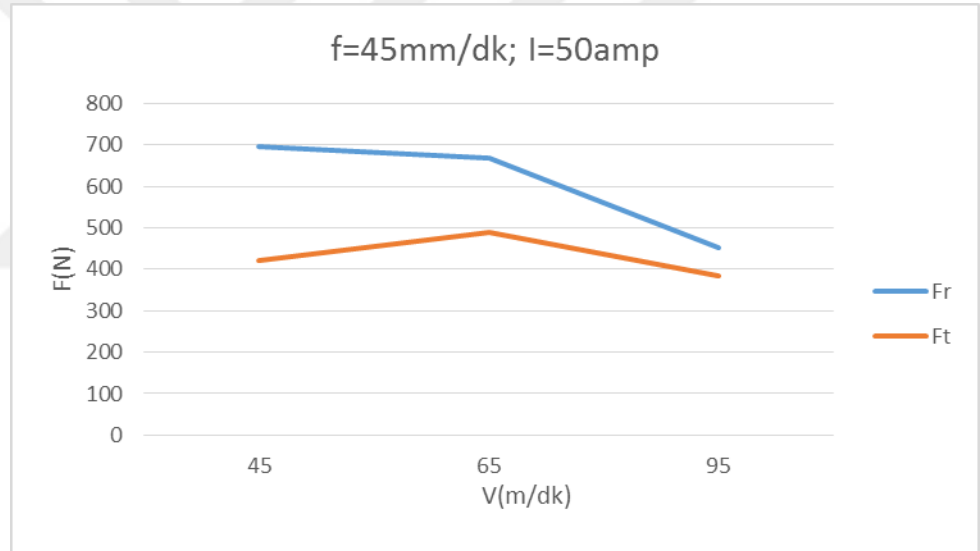
#### 6.4. Ölçülen Kuvvetlere Göre Deneysel Sonuçların Değerlendirilmesi

Çizelge 6.15. Deneysel ve kuvvetler

Deney No	V	f	I	F <sub>x</sub>	F <sub>y</sub>
1	45	30	50	519,93	362,97
2	45	30	100	618,03	510,12
3	45	30	200	397,31	412,02
4	45	45	50	696,51	421,83
5	45	45	100	500,31	402,21
6	45	70	50	431,64	382,59
7	65	30	50	431,64	294,3
8	65	30	100	529,74	392,4
9	65	30	200	519,93	382,59
10	65	45	50	667,08	490,5
11	65	45	100	510,12	441,45
12	65	45	200	588,6	441,45
13	65	70	50	588,6	441,45
14	65	70	100	519,93	431,64
15	95	30	50	215,82	176,58
16	95	45	50	451,26	382,59
17	95	45	100	421,83	382,59
18	95	45	200	568,98	500,31
19	95	70	50	686,7	559,17
20	95	70	100	402,21	392,4
21	95	70	200	510,12	480,69

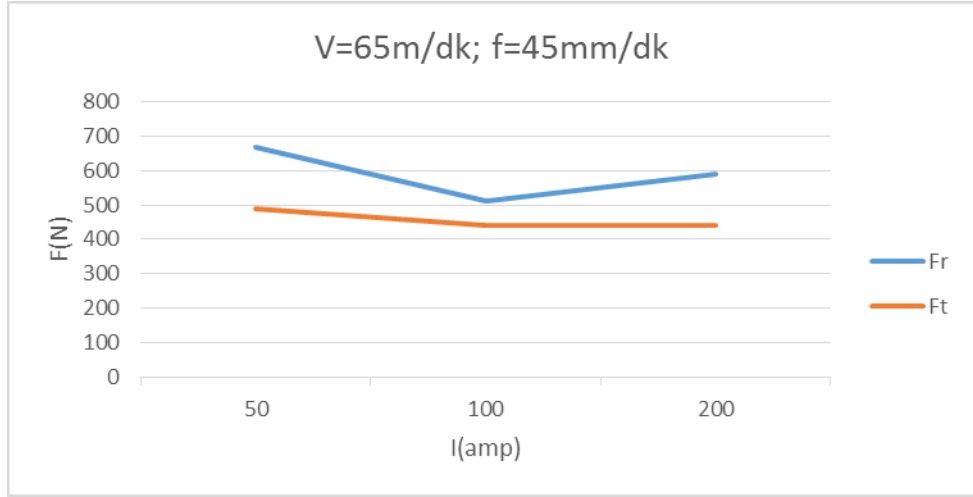


Şekil 6.2.  $f=30$  (mm/dk),  $I=50$ (amp)de kesme hızı-kuvvet değişimi

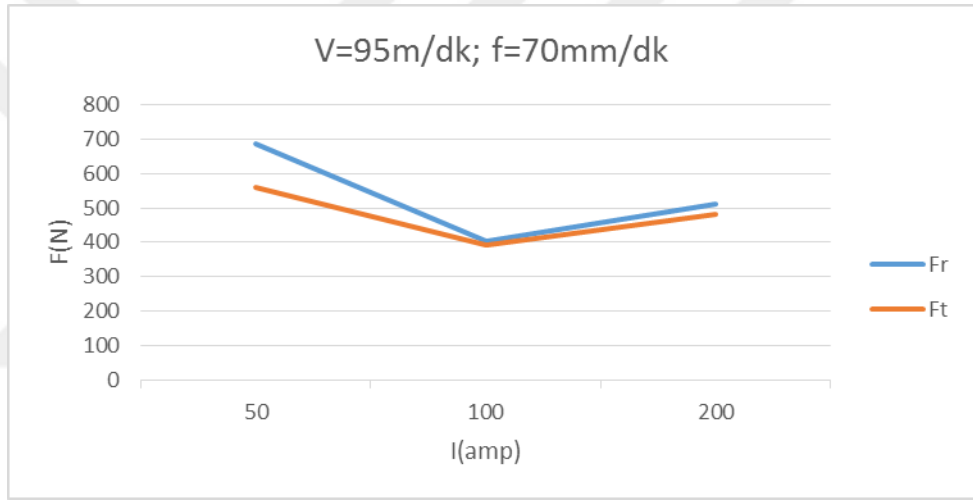


Şekil 6.3.  $f=45$  (mm/dk),  $I=50$ (amp)de kesme hızı-kuvvet değişimi

İlerleme ve akım sabit tutulup kesme hızında yapılan değişiklikler göstermiştir ki kesme hızı arttıkça kesme kuvvetlerinde düşüş görülmüştür. Kuvvetlerdeki bu düşüşün nedeni diş başına düşen talaş miktarındaki azalmadır.

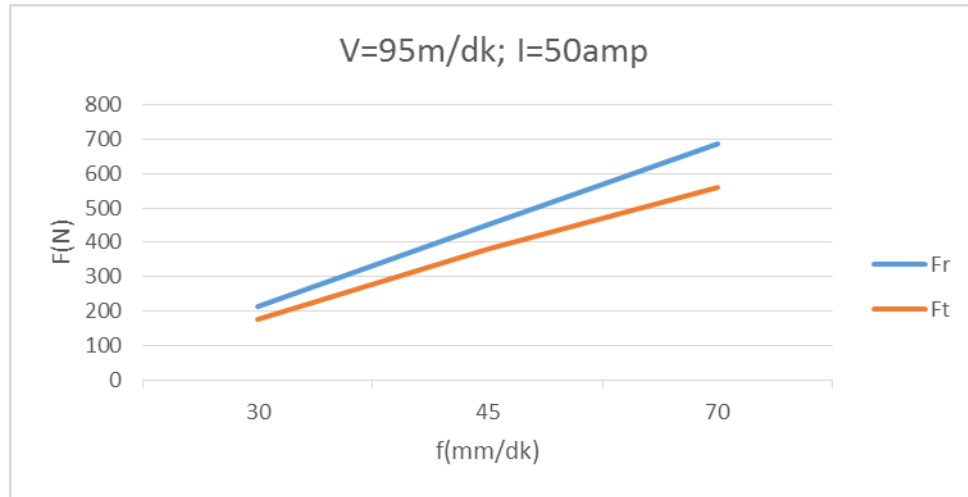


Şekil 6.4. V=65(m/dk),f=45 (mm/dk) akım-kuvvet değişimi



Şekil 6.5. V=95(m/dk),f=70 (mm/dk) akım-kuvvet değişimi

Kesme hızı ve ilerleme sabitken akımda yapılan artışla görülmüştür ki, akımdaki artış bir optimum noktaya kadar azalma gösterirken optimum nokta aşıldığında küçük artış görülmüştür. Ömür incelemelerinde de akım değişiminin başta artışa optimum noktadan sonra azalmaya sebep olduğu görülmüştü.



Şekil 6.6. V=95(m/dk),I=50amp ilerleme-kuvvet değişimi

Kesme hızı ve akım sabitken ilerlemede artışla kuvvette artış gözlenmiştir. Kuvvette görülen artış diş başına düşen talaş miktarındaki artışla açıklanabilir.

## 6.5. Optimizasyon ve Matematik Model

$$Y=5.566323+0.388265X_1-0.5745X_2-0.841727X_3-1.16528X_1^2+0,202313X_2^2-0,87691X_3^2+0,756889X_1X_2-0,3521X_1X_3+0,02353X_2X_3$$

Kısıtlar;

$$-1 \leq X_1 \leq 1$$

$$-1 \leq X_2 \leq 1$$

$$-1 \leq X_3 \leq 1$$

### 6.5.1. Takım ömrü maksimizasyonu

Khun-Tucker koşullarında modifiye amaç fonksiyonu;

$$F=5.566323+0.388265X_1-0.5745X_2-0.841727X_3-1.16528X_1^2+0,202313X_2^2-0,87691X_3^2+0,756889X_1X_2-0,3521X_1X_3+0,02353X_2X_3+\lambda_1(-1-X_1)+\lambda_2(X_1-1)+\lambda_3(-1-X_2)+\lambda_4(X_2-1)+\lambda_5(-1-X_3)+\lambda_6(X_3-1)$$

$$g_1=-1-X_1 \leq 0$$

$$g_2=-1+X_1 \leq 0$$

$$g_3=-1-X_2 \leq 0$$

$$g_4=-1+X_2 \leq 0$$

$$g_5=-1-X_3 \leq 0$$

$$g_6 = -1 + X_3 \leq 0$$

$$F_{X1} = 0,388265 - 2,33056X_1 + 0,756889X_2 - 0,3521X_3 - \lambda_1 + \lambda_2$$

$$F_{X2} = -0,5745 + 0,404626X_2 + 0,756889X_1 + 0,02353X_3 - \lambda_3 + \lambda_4$$

$$F_{X3} = -0,84172 - 1,75382X_3 - 0,3521X_1 + 0,02353X_2 - \lambda_5 + \lambda_6$$

$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5, \lambda_6 \neq 0$  ise,  $g_1, g_2, g_3, g_4, g_5, g_6 = 0$  olamaz örneğin  $g_1 = -1 - X_1 = 0$  dan  $X_1 = -1$   $g_2 = -1 + X_1 = 0$  dan  $X_1 = 1$  olamaz

$\lambda_1, \lambda_3, \lambda_5 \neq 0$   $g_1, g_3, g_5 = 0$  durumunda  $g_1 = -1 - X_1 = 0$  dan  $X_1 = -1$ ,  $g_2 = -1 - X_2 = 0$  dan  $X_2 = -1$ ,  $g_3 = -1 - X_3 = 0$  dan  $X_3 = -1$ , veya

$\lambda_2, \lambda_4, \lambda_6 \neq 0$   $g_2, g_4, g_6 = 0$  durumunda  $g_2 = 1 - X_1 = 0$  dan  $X_1 = 1$ ,  $g_2 = 1 - X_2 = 0$  dan  $X_2 = 1$ ,  $g_3 = 1 - X_3 = 0$  dan  $X_3 = 1$ , çözümler sınırda olur.

$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5, \lambda_6 = 0$  ise,  $g_1, g_2, g_3, g_4, g_5, g_6 \neq 0$  bu durumda,  $F_{X1}, F_{X2}, F_{X3} = 0$  için çözüm aranır. Elde edilen çözüm

$g_1, g_2, g_3, g_4, g_5, g_6 \leq 0$  sağlayıp sağlamadığına bakılır. Sağlamayan kısıt için değişkenin değeri bu kısıtı sağlayan değer olarak alınır.

Çözüm:

$$X_1 = 0,44992$$

$$X_2 = 0,61091$$

$$X_3 = -0,562065$$

Takım ömrü maksimizasyonu için optimum parametreleri

$$V = 74,3781529 \text{ m/dk}$$

$$f = 59,361957 \text{ mm/dk}$$

$$I = 67,7330045 \text{ A}$$

### 6.5.2 Bir takım ömrü zamanında kaldırılan talaş hacmi maksimizasyonu

$$Z = \ln(\Delta \cdot T) = \ln(\Delta) + \ln(T) =$$

$$\Delta \cdot T \quad (\text{mm}^3/\text{dk}) \cdot \text{dk} = \text{mm}^3$$

$$\Delta = v_f \cdot w \cdot t$$

$$t = \text{testere kalınlığı} = 0,9 \text{ mm}$$

$$Z = \ln(v_f \cdot t \cdot w) + \ln(T) = \ln w + \ln v_f + \ln t + Y = \ln A + \ln v_f + Y$$

$$A = w \cdot t = \text{sabit}$$

$$X_2 = 2[(\ln v_f - \ln 70) / (\ln 70 - \ln 30)] + 1$$

$$\ln_f = 0.5(x_2 - 1)(\ln 70 - \ln 30) + \ln 70 = 0.4236489(x_2 - 1) + 4.24849 = 0.4236489x_2 + 3.82486$$

$$\ln v_f = 0.4236489x_2 + 3.82486$$

$$Z = \ln A + 0.4236489x_2 + 3.82486 + Y$$

$$Y = 5.566323 + 0.388265X_1 - 0.5745X_2 - 0.841727X_3 - 1.16528X_1^2 + 0.202313X_2^2 -$$

$$0.87691X_3^2 + 0.756889X_1X_2 - 0.3521X_1X_3 + 0.02353X_2X_3$$

$$\ln A = \ln 100 * 0.9 = 4.4998$$

$$Z = \ln A + 0.4236489x_2 + 5.566323 + 0.388265X_1 - 0.5745X_2 - 0.841727X_3 -$$

$$1.16528X_1^2 + 0.202313X_2^2 - 0.87691X_3^2 + 0.756889X_1X_2 - 0.3521X_1X_3 + 0.02353X_2X_3$$

$$Z = 10.0661 + 0.388265X_1 - 0.1508511X_2 - 0.841727X_3 - 1.16528X_1^2 + 0.202313X_2^2 -$$

$$0.87691X_3^2 + 0.756889X_1X_2 - 0.3521X_1X_3 + 0.02353X_2X_3$$

$$Z = 10.0661 + 0.388265X_1 - 0.1508511X_2 - 0.841727X_3 - 1.16528X_1^2 + 0.202313X_2^2 -$$

$$0.87691X_3^2 + 0.756889X_1X_2 - 0.3521X_1X_3 + 0.02353X_2X_3$$

Çözüm aşağıdaki türevler ve kısıtlar kullanılarak Khun –Tucker koşulları ve Lagrangian çarpanları yöntemi ile çözüm aranacaktır.

$$Z_{X_1} = 0.388265 - 2 * 1.16528X_1 + 0.756889X_2 - 0.3521X_3 - \lambda_1 + \lambda_2$$

$$Z_{X_2} = -0.1508511 + 2 * 0.202313X_2 + 0.756889X_1 + 0.02353X_3 - \lambda_3 + \lambda_4$$

$$Z_{X_3} = -0.841727 - 2 * 0.87691X_3 - 0.3521X_1 + 0.02353X_2 - \lambda_5 + \lambda_6$$

$$g_1 = -1 - X_1 = 0$$

$$g_2 = -1 + X_1 = 0$$

$$g_3 = -1 - X_2 = 0$$

$$g_4 = -1 + X_2 = 0$$

$$g_5 = -1 - X_1 = 0$$

$$g_6 = -1 + X_3 = 0$$

Modifiye amaç fonksiyonu türevleri:

$$Z_{X_1} = 0.388265 - 2.33056X_1 + 0.756889X_2 - 0.3521X_3 - \lambda_1 + \lambda_2$$

$$Z_{X_2} = -0.1508511 + 0.404626X_2 + 0.756889X_1 + 0.02353X_3 - \lambda_3 + \lambda_4$$

$$Z_{X_3} = -0.841727 - 1.75382X_3 - 0.3521X_1 + 0.02353X_2 - \lambda_5 + \lambda_6$$

$$Z_{X_1} = 0.388265 - 2.33056X_1 + 0.756889X_2 - 0.3521X_3$$

$$Z_{X_2} = -0.1508511 + 0.404626X_2 + 0.756889X_1 + 0.02353X_3$$

$$Z_{X_3} = -0.841727 - 1.75382X_3 - 0.3521X_1 + 0.02353X_2$$

Çözüm:

Bir Takım ömrü zamanında talaş hacmi maksimizasyonu için kodlanmış değişkelerle optimum parametreler

$$X_1=0,234736$$

$$X_2=-0,0356$$

$$X_3=-0,52754$$

Bir Takım ömrü zamanında talaş hacmi maksimizasyonu için optimum parametreler

$$V= 69,0331352 \text{ m/dk}$$

$$f= 45,1396686 \text{ mm/dk}$$

$$I= 69,3733265 \text{ A}$$

bulunur.

## 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 7.1 Sonuçlar

Yapılan deneyler göstermiştir ki;

1. 100 amper civarına kadarki akım artışıyla takım ömründe artış görülmüştür. Akım 200 ampere doğru yaklaştıkça ömürde bir azalma görülmüştür. Genel bir ifadeyle bir optimum değere kadar akımdaki artış ömürde artışa, optimum değerden sonraki akım artışları ömürde azalmaya sebep olmuştur.
2. Kesme kuvvetleri de akım etkisiyle ömürdeki değişime benzer bir değişim göstermiştir. Akımdaki artış bir optimum değere kadar kesme kuvvetlerinde düşüşe, optimum değer aşıldığında kuvvetlerde artışa sebep olmuştur.
3. Kesme hızı arttıkça kuvvetler düşmüş, ilerleme arttıkça kesme kuvvetleri artmıştır.

### 7.2 Öneriler

Kesilmesi zor, yüksek mukavemetli malzemelerde elektrik akımı kullanarak ısıtma ile testerede kesme işlemi yapılarak yüksek mukavemetli malzemelerde de ısıtmanın takım ömrü üzerindeki etkisi incelenebilir.

Yapılan çalışmada soğutma sıvısı kullanılmamıştır. Soğutma sıvısı kesici takım ve iş parçasının soğutulmasının yanında talaşın kesici takımdan uzaklaştırılmasını da sağlamaktadır. Soğutma sıvısı kullanılmadığından kesici takım dişlerinde kalan talaşlar yüksek kesme hızlarında sürtünmesinde etkisiyle yanmış ve takım ve iş parçası yüzeyinde tahribata sebep olmuştur. Bundan sonra yapılacak çalışmada dielektrik soğutma sıvısı ile kesme yapılarak dişlerde biriken talaşların ömür üzerinde etkisi olup olmadığı gözlemlenebilir.

## KAYNAKLAR

- Ahmad, M. M., Hogan, B. ve Goode, E., 1988, Effect of machining parameters and workpiece shape on a bandsawing process, *Int. J. Mach. Tools Manufact.*, 29, 173-183.
- Barrow, G., 1966, Machining of high strength materials at elevated temperatures using electric current heating, *Annals of the c.i.r.p.*, 145-151.
- Barrow, G., 1968, The effect of hot machining by electric current on the mechanics of orthogonal cutting, *Advances in machine tool design and research*, 795-819.
- Chen, N. N. S. ve Ho, C. F., 1976, Measurement of tool-work interface temperature in hot machining, *Int. J. Prod. Res.*, 14, 657-667.
- Demircioğlu, P., Böğrekci, İ., Çerçi, Y. ve Durakbaşı, M. N., 2013, Kesici takım endüstrisinde mühendislik uygulamaları ile mikro/nanoteknolojinin termal ve görüntü işleme ile analizi, *Mühendis ve makina*, 55 (652), 19-24.
- Ellis, J. ve Barrow, G., 1971, Some observations on the contact resistance hot machining process, *Annals of the c.i.r.p.*, 775-785.
- Ertunç, H. M. ve Sevim, İ., 2001, Kesici takımların aşınmasını gözleme üzerine yapılan çalışmalar, *Pamukkale üniversitesi mühendislik fakültesi mühendislik bilimleri dergisi*, 7, 55-62.
- Ganta, V. ve Chakradhar, D., 2014, Multi Objective Optimization of Hot Machining of 15-5PH Stainless Steel Using Grey Relation Analysis, *Procedia Materials Science*, 5, 1810-1818.
- Jurkovic, J., Korosec, M. ve Kopac, J., 2005, New approach in tool wear measuring technique using CCD vision system, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 45 (9), 1023-1030.
- Kainth, G. S. ve Chaturvedi, M. N., 1975, Theoretical investigation of temperature in hot machining, *Int. J. Mach. Tool Des. Res.*, 156, 241-256.
- Krabacher, E. J. ve Merchant, M. E., 1951, Basic factors in hot machining of metal, *Trans. ASME*.
- Lajis, M. A., Amin, A. K. M. N., Karim, A. N. M., Radzi, H. C. D. M. ve Ginta, T. L., 2009, Hot Machining of Hardened Steels with Coated Carbide Inserts, *American J. of engineering and applied sciences*, 2, 421-427.
- Muhammad, R., Maurotto, A., Demiral, M., Roy, A. ve Silberschmidt, V. V., 2014, Thermally enhanced ultrasonically assisted machining of Ti alloy, *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 7 (2), 159-167.
- Özler, L., Tosun, N. ve İnan, A., 1999, Östenitik manganlı çeliğin sıcak talaşlı işlenmesinde yüzey pürüzlülüğünün incelenmesi, *Turk J Engin Environ Sci*, 24, 287-296.
- Pentland, W., Wennberg, J. L. ve Mehl, C. L., 1962, Research into Workpiece Heating for High Temperature Machining, *International Journal of Production Research*, 1 (2), 45-53.
- Sarwar, M., Persson, M. ve Hellbergh, H., 2007, Wear of the cutting edge in the bandsawing operation when cutting austenitic 17-7 stainless steel, *Wear*, 263 (7-12), 1438-1441.
- Thaler, T., Potočník, P., Bric, I. ve Govekar, E., 2014, Chatter detection in band sawing based on discriminant analysis of sound features, *Applied Acoustics*, 77, 114-121.
- Thompson, P. J., 1974, Factors influencing the sawing rate of hard ductile metals during power hacksaw and bandsaw operations, *Metals technology*, 437-443.

- Ünüvar, A., Sağlam, H. ve Ersoyoğlu, A. S., 2005a, Şerit testere ile kesmede, kesme kuvveti modeli oluŐturulması, *4th International advanced technologies symposium*.
- Ünüvar, A., Sağlam, H. ve Ersoyoğlu, A. S., 2005b, Şerit testere ile kesmede, kesme parametrelerinin takım ömrüne etkisinin incelenmesi, *TMMOB Makine mühendisleri odası Konya Őubesi 3. makine tasarımı ve imalatı teknolojileri kongresi*.



## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Esra SARIASLAN  
**Uyruğu** :  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : Konya- 1990  
**Telefon** : 0 531 576 07 90  
**Faks** : -  
**e-mail** : [esrasariaslan58@gmail.com](mailto:esrasariaslan58@gmail.com)

### EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Enderun Lisesi	2008
Üniversite	: Selçuk Üniversitesi	2013
Yüksek Lisans	:	
Doktora	:	

### İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2013-2015	İsotekCncTak.Tez.Mak.San.Tic.Ltd.Şti.	Makine Mühendisi
2016-	Özen Kompresör	Makine Mühendisi

### UZMANLIK ALANI

### YABANCI DİLLER

İngilizce