

## SERTLEŞTİRİLMİŞ ALAŞIMLI MAKİNE ÇELİĞİNİN SERAMİK KESİCİ TAKIMLARLA İŞLENEBİLİRLİĞİ VE TAKIM ÖMRÜ DENKLEMİ MODELİNİN OLUŞTURULMASI

Tuncay ÜNAL\*

Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğitimi Bölümü, 06500, Teknikokullar, Ankara, TÜRKİYE, tuncayun@mynet.com

Erkan AKORAL

Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü, Manisa, TÜRKİYE

### ÖZET

Bu çalışmada, 50 HRC sertliğinde Ç 8660 alaşımli makine çeliği, kaplamalı karbür (TP15) ve kaplamalı seramik (LX11) kesici takımlarla değişik kesme şartlarında işlenecek talaş kaldırma deneyleri yapılmıştır. Kesici takımlarda meydana gelen aşınmalar tarama elektron mikroskobu altında incelenmiştir. Sertleştirilmiş Ç 8660 alaşımli makine çeliğinin işlenmesinde, TP15 kesici takımlara göre LX11 kesici takımların daha iyi performans verdiğini göstermiştir. Kesme parametrelerinin takım ömrüne etkileri varyans analizi ile kontrol edilmiş ve % 99 güvenli oldukları görülmüştür. Elde edilen denklemlerin güvenilirlik (F test) testleri yapılmış ve % 99 güvenli oldukları tesbit edilmiştir. Deneysel takım ömrü ile tahmini takım ömrü arasındaki farklılığın önemli olup olmadığı  $X^2$  (Ki - kare) testi ile kontrol edilmiş ve % 99 önemli olmadığı sonucuna varılmıştır.

*Anahtar Kelimeler : Sertleştirilmiş çelikler, takım seçimi, matematiksel modelleme, takım ömrü*

## THE MACHINABILITY OF HARDENED ALLOY STEEL WITH CERAMIC CUTTING TOOLS AND FORMATION OF TOOL LIFE EQUATION

### ABSTRACT

In this study, the machining of hardened tool steels using various cutting tools was carried out and a mathematical modelling was formed. 50 HRC AISI 8660 alloy steels were turned by using coated carbide (TP15) and coated ceramic (LX11) cutting tools. Wear behaviour of the cutting tools was investigated under scanning electron microscope. The experimental results showed that the coated ceramic tools exhibited better performance than those of the coated carbide tools while machining these steels. Analysis of variance was applied to the model and 99% significance level was found. The reliability tests (F tests) of modelled equations were conducted and 99% significance level was obtained. The importance of the difference between the experimental tool life and the predicted tool life was controlled with  $X^2$  (Khi-square) test and it was found that the difference wasn't important (% 99).

*Key Words: Hardened steels, tool selection, mathematical modelling, tool life*

## 1. GİRİŞ

İmalat endüstrisinde kullanılan metaller ve alaşımlarından yapılan ürünlerin, ekonomik olarak işlenmesi için endüstrideki takım tezgahlarının verimli şekilde kullanılması gerekmektedir. Artan üretimin getirdiği otomasyondaki gelişmelerin sonucundan dolayı talaş kaldırma işlemlerine de artan oranda gereksinim duyulmaktadır (1). Son yıllarda kesici takım malzemeleri ve takım tezgahları geliştirilmiş, daha yüksek kesme hızları sağlanmış ve bunların neticesinde üretim artışı meydana gelmiştir. Kesme parametrelerinden özellikle kesme hızının artırılması, en çok tercih edilen tekniktir. Kesicinin kullanılma süresini kesme hızı doğrudan etkilemektedir. Çünkü diğer parametreleri arttırmak kesme gücünü artırır. Bundan dolayı daha rijit ve güçlü ekipman (tezgah ve avadanlıklar) gerekmektedir (1).

Metallerin verimli işlenmesi için, sadece işlenen malzeme hakkında verilere sahip olmak yeterli olmamakta, işlenecek malzemeye uygun kesici takımın doğru seçimi de gerekmektedir. Ayrıca kesici takım açıları, talaş açıları ve boşluk açıları talaş kaldırma işlemlerinde çok önemli bir yere sahiptir. Talaşlı imalat safhasında iyi seçilemeyen işleme parametreleri, kesicilerin kırılması, hızlı aşınması, yanması gibi ekonomik kayıpların yanı sıra, tezgah boş zamanının artması, iş parçasının bozulması veya işin yüzey kalitesinin yeni bir işlem gerektirecek derecede yetersizliği gibi yine bir dizi ekonomik kayıplara sebep olacaktır (2).

İşlenebilirlik; iş parçası sertliği ve dayanımı, deformasyon sertleşmesi kapasitesi, kesici takım ile iş parçası arasındaki sürtünme katsayısı gibi mekanik özelliklerinin yanı sıra ısıl özellikler ve mikro yapıya da bağlıdır (3). İş parçası ve malzemesinin sertliği ne kadar artarsa ve takımın sertliğine ne kadar yaklaşırsa talaşın takım üzerindeki aşındırıcı etkisi o kadar artar ve takım ömrü o kadar azalır.

İşlenebilirliği ve takım ömrünü etkileyen bir başka faktör, takım ile talaş arasındaki sürtünme katsayısıdır. Bu özellik sadece iş parçası değil takım malzemesine de bağlı bir özelliktir. Sürtünme katsayısı arttıkça işlenebilirlik artar (3).

Talaş kaldırma işleminde önemli olan parçanın boyutsal olarak tam, hassas ve işleme toleransına uygun olmasıdır. Talaşlı imalat işlemindeki bu ana amacın gerçekleştirilmesinin önemli olduğu göz önüne alınırsa işlenebilirlik için "eldeki bir iş parçası malzemesinden, istenilen ölçü, yüzey ve geometrik kalitelerin sağlanması koşuluyla, minimum zaman ve toplam maliyette, kesici takımı yenilemeksizin en fazla miktarda talaş kaldırılmasıdır" şeklinde bir tanım yapmak mümkün olacaktır (3).

Yüksek kesme hızları, kesici talaş yüzeyi arasında yüksek sıcaklıklar oluşturmaktadır. Bu durum, yüksek sıcaklıklarda kimyasal kararlılığını koruyan ve termal şoklara karşı iyi direnç gösteren dolayısıyla da iyi mekaniksel özellikleri içeren malzemeleri gerektirir (5).

Takım firmalarının ve araştırma birimlerinin yapmış oldukları araştırmalar sonucunda sertlik değeri yüksek (40-70 Rc) malzemelerin işlenmesinde en uygun takımların kaplamalı sert maden uçlu kesiciler, seramik kesiciler ve kübik boron nitrür (CBN) kesiciler olduğu görülmektedir.

Bu çalışmada, CNC (Bilgisayar kontrollü tezgah) torna tezgahında değişik kesme parametreleri ile sertleştirilmiş Ç 8660 alaşımlı makine çeliği talaş kaldırma deneylerine tabii tutulmuştur. Kesici takımlarda kesme hızına göre takım ömrü grafikleri oluşturulmuştur. Kesici takımlarda aşınan yüzeyler tarama elektron mikroskopunda incelenmiş ve resimleri çekilmiştir. Takım ömrü denklemi ile ilgili matematiksel modelin çözümü regrasyon yöntemi ile yapılmış ve deneyde kullanılan kesici takımlara ilişkin takım ömrü denklemleri oluşturulmuştur. Örnek veriler kullanılarak ve takım ömrü denklemlerinden faydalanılarak tahmini takım ömrü sonuçları elde edilmiştir. Kesme parametrelerinin takım ömrüne etkileri varyans analizi ile kontrol edilmiştir. Elde edilen denklemlerin güvenilirlik (katsayıların anlamlılığı) testi olan F testi yapılmıştır. Deneysel takım ömrü ile tahmini takım ömrü arasındaki farklılığın önemi Ki-Kare ( $X^2$ ) testi ile kontrol edilmiştir.

## 2. DENEYSEL METOT ve MODEL OLUŞTURULMASI

Takım ömrünü etkileyen en önemli parametreler olan, kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesme derinliği ile ilgili birçok çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalarda en uygun takım seçimi için takım ömrü kriterleri ortaya konmaya çalışılmaktadır. İş parçası malzemesine göre yapılan kesici takım seçimlerinde aynı malzemeyi işleyebilecek birkaç takım seçilebilmektedir.

Sertleştirilmiş malzemelerin işlenmesinde kullanılan kesici takımların uygun olanının seçimini yapmak için takım ömrü ve ekonomik yönden uygunluğunu göz önünde bulundurmaktadır. Bu sebepler kesici takım seçimi için en önemli kriterler olarak karşımıza çıkmaktadır. Çünkü maliyeti en aza indirmek için kesici takımın uzun ömürlü ve aynı zamanda fiyatının ucuz olması gerekmektedir. Bunların yanında diğer faktörler de dikkate alınmalıdır.

### 2.1. Deneylerde Kullanılan Malzeme ve Materyaller

50 Hrc sertliğinde Ç 8660 alaşımli makine çeliği kaplamalı karbür (TP15) ve kaplamalı seramik (LX11) kesici takımlarla tornalama işlemine tabi tutulmuştur. Yapılan deneylerde Johnford TC 35 marka sanayi tipi CNC torna tezgahı kullanılmıştır. Tezgah gücü 10 kW devir sayısı maksimum 3500 devir/dak olup kademesiz devir kontrol yapılabilir. Deneylerden daha iyi sonuçlar elde etmek için deney numunelerinin dış yüzeylerindeki kabuklanmalar alınarak deney verilerine başlanmıştır. Parça boyları her defasında aynı uzunlukta bağlanmıştır. Kesici takım ömrü için yan kenar aşınma kriteri ( $V_p$ ) 0,35 mm ve krater aşınması da ilerleme miktarına göre alınmıştır.

**Çizelge 1.** Deneylerde kullanılan kesici takımlar ve özellikleri

Kesici Takım	Takım Numarası	Kaplama Kompozisyonu	Kesme Sıvısı
TP15	CNMG 120408-F2	Ti(C,N)+TiC+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiN	Kuru
LX11	CNGA 120408	TiN	Kuru

Deneylerde kullanılan kesici takımlar CVD kaplamalı olup özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir. Takım tutucusu olarak Tungalay TAC M tipi MCLNR2525M12 numaralı takım tutucusu kullanılmıştır. Tornalama işleminde kullanılan malzemenin kimyasal bileşimi Çizelge 2'de verilmiştir.

**Çizelge 2.** Tornalama işleminde kullanılan iş parçasının kimyasal bileşimi

İş Malzemesi	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo
Ç 8660	0,61	0,93	0,28	0,01	0,03	0,51	0,52	0,36

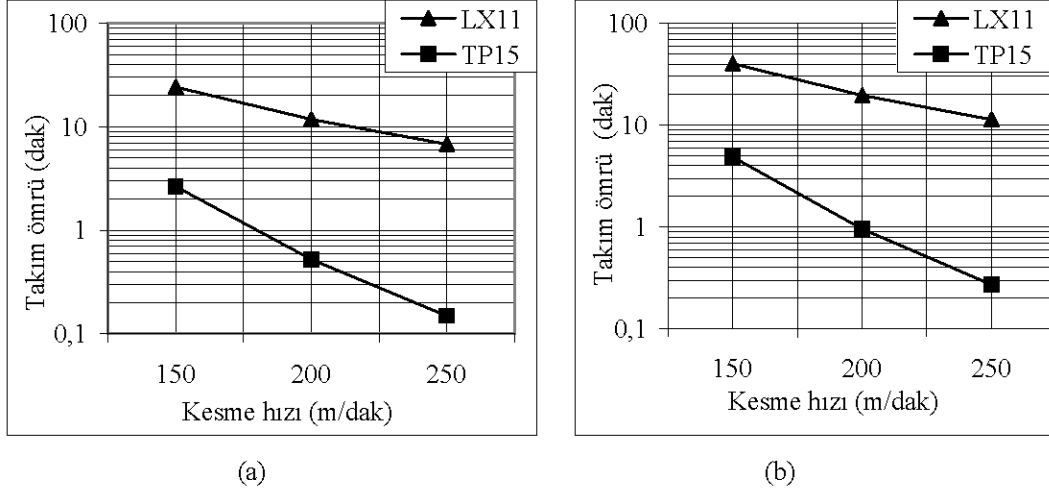
Kesici takım yan kenar aşınması 0,005 mm hassasiyetindeki Mititoyo TM kodlu alet mikroskobu ile, krater derinliği ise 0,001 hassasiyetli komparatörle ucuna ince uç takılarak ölçme işlemleri yapılmıştır. Ölçümlerin sağlıklı olması için ölçme işlemleri en az 3 defa yapılmıştır. ISO 3685 deney çalışma standartları, malzeme, kesici takım miktarları da dikkate alınarak her bir kesme değerleri için deneyler üçer defa yapılmıştır[6].

### 2.2. Deneyin Yapılışı

Ç 8660 alaşımli makine çeliği TP15 ve LX11 kesici takımlarla kesme hızı 150, 200, 250 m/dak; ilerleme hızı 0,1, 0,15 mm/dev ve talaş derinliği 2, 2,5 mm ve kuru kesme şartlarında kesme işlemine tabi tutulmuş ve Kesme Hızı ile Takım Ömrü arasındaki ilişkiler Şekil 1 'de gösterilmiştir.

Takım ömrü-kesme hızı grafikleri incelendiğinde LX11 kesici takımının kesme ömrü TP15 kesici takımına göre daha uzun olduğu görülmektedir. Şekil 1.a'da 150 m/dak kesme hızında, ilerleme miktarı 0,15 mm/dev, talaş derinliği 2 mm olarak yapılan kesme şartlarında TP15 kesici takımının ömrü 3 dakika iken LX11 kesici takımında 22,78 dakika olmaktadır. Fakat 200 m/dak kesme hızında

yapılan kesme işleminde TP15 takımının ömrü 0,43 dakikada biterken LX11 kesici takımının ömrü 12,68 dakikada bittiği görülmektedir. Kesme hızı artırıldığında örneğin, 250 m/dak kesme hızında TP15 kesici takımının ömrü 0,31 dakika iken, LX11 kesici takımın da 6,26 dakika olmaktadır. Şekil 1.b'de gösterildiği gibi talaş derinliği artırılıp ilerleme miktarı azaltılınca takım ömründe çok az miktarda değişim meydana gelmektedir. Bu grafiklerde de görüleceği gibi kesme hızı, talaş derinliği ve ilerleme miktarının artması ile takım ömrü azalmaktadır. Bu azalmada, genellikle lineer tarzda olmaktadır.

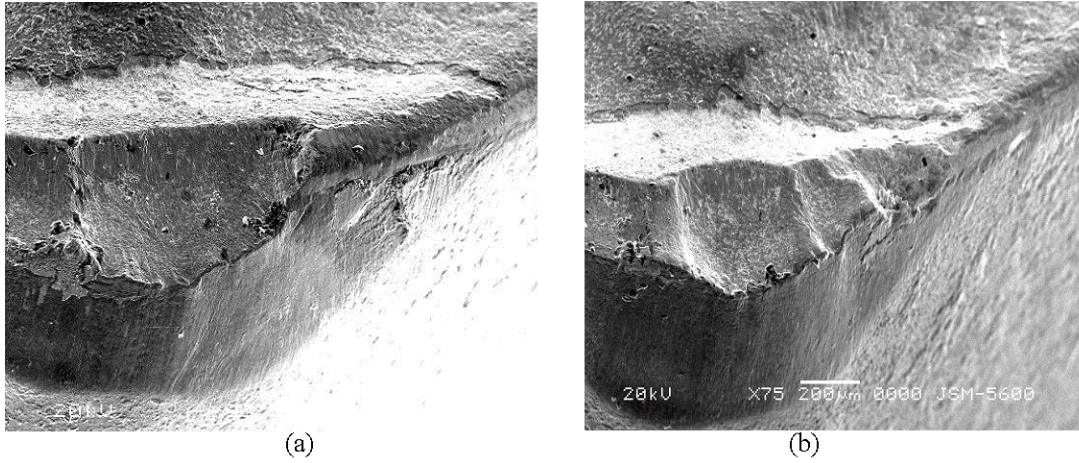


**Şekil 1.** Ç 8660 alaşımlı makine çeliğinin TP15 ve LX11 kesici takımlarla işlenmesinde kesme hızına göre takım ömrü grafikleri a)  $f=0,15$  mm/dev,  $d=2$  mm b)  $f=0,1$  mm/dev,  $d=2,5$  mm

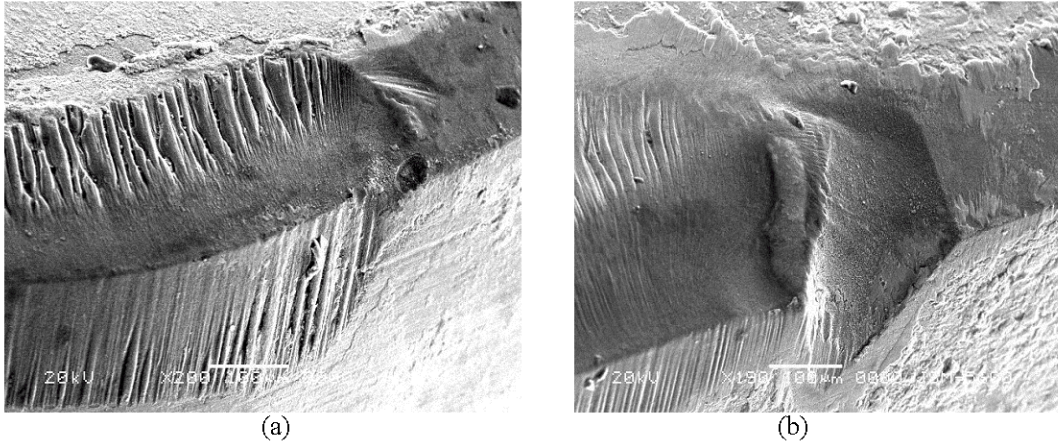
### 2.3. Kesici Takımlarda Aşınan Yüzeyler

Kesme sonrası takımların aşınan yüzeylerinin TEM'de çekilmiş fotoğrafları Şekil 2 ve Şekil 3'de gösterilmiştir. Şekil 2.a ve 2.b'de TP15 kesici takımla Ç 8660 malzemesinin kesme işlemi sonrası takım yüzeyinde oluşan aşınma biçimleri gösterilmiştir. Farklı kesme hızı değerlerinde kesici kenarında özellikle burun kısmında aşınma meydana geldiği, kaplama malzemesinin kesme yüzeyinden ayrıldığı görülmektedir.

Şekil 3.a ve 3.b'de LX11 kesici takımla Ç 8660 malzemesinin kesme işlemi sonrası takım yüzeyinde oluşan aşınma biçimleri gösterilmiştir. Bu şekillerden görüldüğü gibi aşınma mekanizması olarak çentikleme etkin olduğu, aralıklı çok sayıda yivlerin meydana geldiği gözlenmektedir. Bu yivlerin hem talaş yüzeyinde hem de serbest takım yüzeyinde oluştuğu ve esas kesme kenarından belli mesafede geriye doğru olan kısmında tarak şeklinde oluştuğu gözlenmektedir.



**Şekil 2.** Ç 8660 çeliğinin TP15 kesici takımla işlenmesinden sonra çekilmiş takım yüzeyinde meydana gelen değişiklikleri gösteren SEM fotoğrafları a)  $V=150$  m/dak,  $f=0,1$  mm/dev,  $d=2$  mm, b)  $V=200$  m/dak,  $f=0,1$  mm/dev,  $d=2$  mm



**Şekil 3.** Ç 8660 çeliğinin LX11 kesici takımla işlenmesinden sonra çekilmiş takım yüzeyinde meydana gelen aşınmaları gösteren SEM fotoğrafları a) V=250 m/dak, f=0,10 mm/dev, d=2 mm b) V=250 m/dak, f=0,15 mm/dev, d=2,5 mm

#### 2.4. Takım Ömrünün Matematiksel İfadesi

Takım ömrünün belirlenmesine yönelik birçok teorik formül geliştirilmiştir. Takım ömrü tahmini için birçok araştırmacı deneysel araştırmalar sonucunda elde edilen modellerin uygulanmasının daha uygun olduğu görüşündedirler (7, 8). Yapılan çalışmalarda kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesme derinliğine bağlı olarak bir model oluşturulabilmektedir. Genelde operatörlerin kontrolündeki bu faktörler bu modeller aracılığıyla imalat mühendisleri tarafından daha güvenilir olarak belirlenebilmektedir. Bunun sonucunda da zaman ve maliyette azalmalar oluşacaktır. Takım ömrünü etkileyen bağımsız kesme faktörlerine bağlı olarak takım ömrü dikkate alındığında geliştirilmiş Taylor denklemi olarak bilinen denklem [1]'deki gibi yazılabilir.

$$T = CV^n f^m d^p \quad [1]$$

Burada;

T : Takım ömrü [dak],

C : Parametrelerin sisteme etkime sabitesi,

V : Kesme hızı [m/dak],

n : Kesme hızı üssü,

f : İlerleme miktarı [mm/dev],

m : İlerleme miktarı üssü,

d : Talaş derinliği [mm],

p : Talaş derinliği üssü

olarak açıklanabilir.

Bu denklemin üslerinin hesaplanabilmesi için denklemin doğrusal forma dönüştürülmesi, matematiksel modelin oluşturulması ve bu matematiksel modelin çözümü gerekmektedir. Denklem en son haliyle;

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 \quad [2]$$

şeklinde yazılabilir. Burada  $X_1$ ,  $X_2$  ve  $X_3$ ; V, f ve d faktörlerinin logaritmik formlarıdır.  $\beta_0$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  ve  $\beta_3$  ise denklemin katsayılarıdır.

Birinci dereceden denklemin katsayılarını bulmak için çoklu regresyon yöntemi kullanılmıştır. Bunun için denklem matris formunda yazılarak modelin katsayıları bulunur. Bu denklemin matris formdaki çözümü  $B = (X'X)^{-1} X'$  şeklindedir. Denklem çözümünün sonunda dört katsayı elde edilecektir. Ancak işlemleri uzun yapmak yerine hazır programlardan faydalanılmıştır. Çözüm için Excel programı kullanılmıştır.

### 2.4.1. Takım ömrü denklemi modeli

Kaplamalı karbür TP15 kesici takıma ait takım ömrü denklemi deney verileri (T) ve tahmini takım ömrü sonuçları (T') Çizelge 3'de ve Takım Ömrü Denklemi denklem [3] nolu denklem ile verilmiştir.

$$T = 1.1437 \times (10^{12}) / V^{5.6453} \times f^{1.4905} \times d^{2.2743} \quad [3]$$

**Çizelge 3.** Ç 8660 çeliğinin TP15 kesici takım ile işlenmesinde kullanılan veriler, elde edilen takım ömrü ve tahmini takım ömrü sonuçları

V	f	d	T	T'
X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	Y <sub>i</sub>	Y <sub>i</sub> '
150	0,15	2,0	3,0	2,61
200	0,15	2,0	0,43	0,52
150	0,10	2,0	4,25	4,85
200	0,10	2,0	1,18	0,95
150	0,15	1,5	3,93	5,10
200	0,15	1,5	1,41	1,00
150	0,10	1,5	12,3	9,34
200	0,10	1,5	1,30	1,84

Kesme faktörlerinin takım ömrüne etkilerinin varyans analizi yapılarak elde edilen sonuçlar Çizelge 4'de verilmiştir. Bu çizelgede VK, Varyans Kaynağını; KT, Kareler Toplamını; SD, Serbestlik Derecesini; KO, Kareler Ortalamasını; GA, Gruplar Arasını ve Gİ de Gruplar İçini tanımlamaktadır.

Takım ömrünü etkileyen kesme parametrelerinin etkili olup olmadığı varyans analizi kullanılarak kontrol edilmiş ve kesme parametrelerinin bütün denklemlerde  $F_{hesap} > F_{tablo}$  olduğundan takım ömrü üzerine %99 güven %1 hata payı ile etkili olduğu görülmektedir.

**Çizelge 4.** TP15 kesici takıma ait varyans analizi sonuçları

VK	KT	SD	KO	F <sub>hesap</sub>	F <sub>tablo</sub> (%95)	F <sub>tablo</sub> (%99)
GA	40.853	3	13.617	252.19	2.93	4.57
Gİ	1.511	28	0.054			
Toplam	42.364	31				

Denklemin tahminde kullanılmasının uygun olup olmadığı regresyon analizi ile yapılmış ve sonuçları Çizelge 5'de verilmiştir. Burada R Korelasyon Katsayısı Determinasyonunu ve R<sup>2</sup> de Determinasyon Katsayısını ifade etmektedir.

**Çizelge 5.** TP15 kesici takıma ait regresyon analizi sonuçları

R	0,96	SD	KT	F <sub>hesap</sub>	F <sub>tablo</sub> (%95)	F <sub>tablo</sub> (%99)
R <sup>2</sup>	0,93	Regresyon	3	18,51	6,59	16,70
Ayarlı R Kare	0,88	Hata	4			
Standart Hata	0,15	Top	7			

Regresyon analizi sonucu incelendiğinde;  $F_{hesap} > F_{tablo}$  olduğundan dolayı 0,01 önem seviyesinde regresyon katsayısının önemli olduğuna ve bu denklemle tahminde bulunmanın uygun olacağı sonucuna varılmıştır.

Takım ömrünü etkileyen kesme hızı, ilerleme miktarı ve talaş derinliğinin katsayılarının denkleme etkilerinin güvenilirlik testi (F testi) sonuçları ise şöyledir.

$$\begin{aligned} \text{Kesme hızı için } F_1 &= 42,7037 > F_{\text{tablo } 0,01} = (1.4) 16,7 \\ \text{İlerleme miktarı için } F_2 &= 5,9139 > F_{\text{tablo } 0,25} = (1.4) 1,81 \\ \text{Talaş derinliği için } F_3 &= 6,9308 > F_{\text{tablo } 0,25} = (1.4) 1,81 \end{aligned}$$

DeneySEL takım ömrü sonuçları ile tahmini takım ömrü sonuçları arasındaki farklılığın önemli olup olmadığı  $X^2$  (Ki - Kare) testi ile yapılmıştır. Sonuçlar Çizelge 6'da verilmiştir.

**Çizelge 6.** TP15 kesici takıma ait  $X^2$  testi sonuçları

SD	$X^2_{\text{hesap}}$	$X^2_{\text{tablo } (\%95)}$	$X^2_{\text{tablo } (\%99)}$
7	1.73	14.07	18.48

$X^2$  testi sonucuna göre  $X^2_{\text{hesap}} < X^2_{\text{tablo}}$  olduğundan dolayı gerçek değerler ile tahmini değerler arasındaki farklılık 0.01 önem seviyesinde önemli değildir.

Seramik LX11 kesici takıma ait takım ömrü denklemi deney verileri ve tahmini takım ömrü sonuçları Çizelge 7'de verilmiştir. Takım ömrü denklemi denklem [4] nolu denklem ile verilmiştir.

Takım ömrü denklemi ise şöyledir;

$$T = 1874847,72 / V^{2,4881} \times f^{1,2592} \times d^{1,7040} \quad [4]$$

**Çizelge 7.** Ç 8660 çeliğinin LX11 kesici takımla işlenmesinde kullanılan veriler, elde edilen takım ömrü ve tahmini takım ömrü sonuçları

V	f	d	T	T'
200	0,10	2,0	21,56	19,70
250	0,10	2,0	10,45	11,30
200	0,15	2,0	12,68	11,82
250	0,15	2,0	6,26	6,78
200	0,10	2,5	11,33	13,47
250	0,10	2,5	9,10	7,73
200	0,15	2,5	8,20	8,08
250	0,15	2,5	4,63	4,64

Kesme faktörlerinin takım ömrüne etkilerinin varyans analizi yapılarak elde edilen sonuçlar Çizelge 8'de verilmiştir. Varyans analizi sonuçları incelendiğinde,  $F_{\text{hesap}} > F_{\text{tablo}}$  olduğundan kesme parametrelerinin takım ömrü üzerine % 99 güven % 1 hata payı ile etkili olduğu görülmektedir.

**Çizelge 8.** LX11 kesici takıma ait varyans analizi sonuçları

VK	KT	SD	KO	$F_{\text{hesap}}$	$F_{\text{tablo } (\%95)}$	$F_{\text{tablo } (\%99)}$
GA	44,1644	3	14,7215	1072,97	2,93	4,57
Gİ	0,38417	28	0,01372			
Toplam	44,54857	31				

Denklemin tahminde kullanılmasının uygun olup olmadığı regresyon analizi ile yapılmış ve sonuçları Çizelge 9'da verilmiştir.

**Çizelge 9.** LX11 kesici takıma ait regrasyon analizi sonuçları

<b>R</b>	<b>0,97</b>		<b>SD</b>	<b>KT</b>	<b>F<sub>hesap</sub></b>	<b>F<sub>tablo</sub> (%95)</b>	<b>F<sub>tablo</sub> (%99)</b>
R <sup>2</sup>	0,94	Regrasyon	3	0,2690	23,06	6,59	16,7
Ayarlı R Kare	0,90	Hata	4	0,0155			
Standart Hata	0,06	Toplam	7	0,2845			

Regresyon analizi sonucu incelendiğinde;  $F_{hesap} > F_{tablo}$  olduğundan dolayı 0,01 önem seviyesinde regresyon katsayısının önemli olduğuna ve bu denklemle tahminde bulunmanın uygun olacağı sonucuna varılmıştır.

Takım ömrünü etkileyen kesme hızı, ilerleme miktarı ve talaş derinliğinin katsayılarının denkleme etkilerinin güvenilirlik testi (F testi) sonuçları ise şöyledir;

$$\text{Kesme hızı için } F_1 = 29,9036 > F_{tablo} 0,01 = (1,4) 21,2$$

$$\text{İlerleme miktarı için } F_2 = 25,2881 > F_{tablo} 0,01 = (1,4) 21,2$$

$$\text{Talaş derinliği için } F_3 = 13,9937 > F_{tablo} 0,05 = (1,4) 7,71$$

Deneysel takım ömrü sonuçları ile tahmini takım ömrü sonuçları arasındaki farklılığın önemli olup olmadığı  $X^2$  (Ki - Kare) testi ile kontrolü yapılmıştır. Sonuç Çizelge 10'da verilmiştir.

**Çizelge 10.** LX11 kesici takıma ait  $X^2$  testi sonuçları

<b>SD</b>	<b>X<sup>2</sup><sub>hesap</sub></b>	<b>X<sup>2</sup><sub>tablo</sub> (%95)</b>	<b>X<sup>2</sup><sub>tablo</sub> (%99)</b>
7	0,92	14,07	18,48

$X^2$  testi sonucuna göre  $X^2_{hesap} < X^2_{tablo}$  olduğundan dolayı gerçek değerler ile tahmini değerler arasındaki farklılık 0,01 önem seviyesinde önemli değildir.

### 3. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Ç 8660 alaşımli makine çeliği kaplamalı karbür TP15 ve kaplamalı seramik LX11 kesici takımlarla değişik kesme parametreleri altında CNC torna tezgahında talaş kaldırma deneylerine tabi tutulmuştur. Bu deneylerde kaplamalı seramik LX11 takım Ç 8660 malzemenin işlenmesinde kaplamalı karbür TP15 takımdan daha iyi performans göstermiştir. Elde edilen takım ömrü denklemlerine göre de LX11 kesici takım ömrü tahminleri daha yüksek çıkmaktadır. Kesme sonrası aşınan takım yüzeyleri tarama elektron mikroskobu altında incelenmiş ve bu incelemede, Ç 8660 alaşımli makine çeliği TP15 takımla işlendiğinde abrasyonun etkili olduğu, aynı malzemenin kaplamalı seramik LX11 takımla işlenmesinde ise çentikleme ve tarak şeklinde yivlerin etkili olduğu gözlenmiştir.

Yapılan bu çalışmada da görülmektedir ki, az sayıda deneyler yapılarak takım ömrü denklemleri ortaya çıkartılabilir ve takım ömrü için tahminlerde bulunulabilir. Deney sayısının fazla olması denklemin daha sağlıklı sonuçlar vermesini ve tahminlerin daha isabetli olmasını sağlayabilir.

### KAYNAKLAR

1. Casto, S. L., Valvo, E. L., Ruisi, V.F., "Wear Mechanism of Ceramic Tools", *Wear*, 160, 227-235, (1993).
2. Özçatalbaş, Y., Ercan, F., "Talaşlı İmalatta İşlenebilirlik ve İşlenebilirliğin Ölçülmesi", *Standard*, Mayıs, 84-89 (1996).
3. Çakır, M., C., "Zor Malzemelerin İşlenebilirliği", *7. Denizli Malzeme Sempozyumu*, Denizli, 162-169 (1997).
4. Elizabeth, R., "Machining With Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiC-Whisker Cutting Tools", *Ceramic Bulletin*, 67, 6, 1016-1019 (1988).
5. Şahin, Y., Kayır, Y., "Son Yıllarda Geliştirilen Seramik Kesiciler ve Kesme Performansları", *Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Dergisi*, 1-2, 83, (1996).



6. ISO 3685, "Tool-life testing with single-point turning tools", *International Organization for Standardization*, 11 (1993).
7. Gülyaz, H. A., Abişev, E., Kılıç, S. E., "60 Rc Sertliğindeki Karbonlu Çeliklerin CBN İşlenmesi", *7.Uluslararası Makine Tasarım ve İmalat Kongresi*, Ankara (1996).
8. Platin, S., Doğramacı, M., Uluçağan, Ş., Kılıç, S. E., "Cutting Tool Selection and Data Optimization for Nickel Based Super Alloys", *8. International Machine Design and Production Conference*, Ankara, 251-264 (1998).

*Geliş Tarihi:09.05.2002*

*Kabul Tarihi:29.11.2002*

