

Cenk Mirza* 

Karcan Kesici Takım San. ve Tic. A.Ş.,
Eskişehir/ Türkiye

Şükran Katmer 

Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi,
İmalat Mühendisliği Bölümü
Ankara/ Türkiye

Çağla Gökbulut Avdan 

Karcan Kesici Takım San. ve Tic. A.Ş.,
Eskişehir/ Türkiye

Çağlar Yavaş 

Karcan Kesici Takım San. ve Tic. A.Ş.,
Eskişehir/ Türkiye

Ulvi Şeker 

Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi,
İmalat Mühendisliği Bölümü
Ankara/ Türkiye

17-4 PH Malzemedan Pervane Kanatlı Turbo Disklerin Kaba İşlemleri için Kesme Parametrelerinin Deneysel Optimizasyonu

Uçak motorlarının kritik parçalarından biri olan pervane kanatlı turbo diskler (blisk), karmaşık geometrik yapıları ve yüksek sıcaklık, basınç ve devir hızlarında çalışmaları nedeniyle zorlu üretim süreçlerine sahiptir. Çalışmada, 17-4 PH paslanmaz çelikten üretilen blisklerin simültane beş eksen parmak freze ile kaba kanal boşaltma işlemi için kesme parametrelerinin optimizasyonu deneysel olarak incelenmiştir. Tam faktöriyel deney tasarımı ile üç farklı kesme hızı ve ilerleme miktarı kullanılarak dokuz deney gerçekleştirilmiştir. Kesme kuvveti, eğilme ve burulma momentleri analiz edilerek ANOVA yöntemiyle en uygun parametreler belirlenmiştir. Sonuçlar, kısa işleme süresi hedefiyle yüksek kesme hızı + orta veya yüksek ilerleme miktarının en uygun kombinasyon olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Pervane kanatlı turbo disk, blisk, 17-4 PH, Simültane 5 eksen işleme, Kesme parametreleri

Makale Bilgisi:

Araştırma Makalesi

Gönderilme: 14 Mart 2025

Kabul: 16 Mayıs 2025

*Sorumlu Yazar: Cenk Mirza

Email: c.mirza@karcan.com

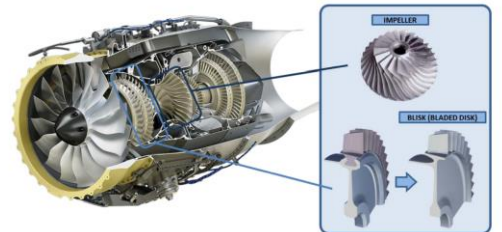
DOI: <https://doi.org/10.56193/matim.1658069>

1. GİRİŞ

Uçak motorlarındaki, özellikle kompresör ve türbin aşamalarındaki turbo makine döner bileşenleri, aynı rotor boyunca dağıtılmış bir dizi kanatlı diskten oluşan karmaşık bir geometriye sahiptir. Son yıllarda, bıçakları ve rotoru monolitik bir bileşen halinde entegre etme ve 5 eksenli frezeleme işlemiyle üretilmesi konusunda çalışılmaktadır. Bu tür bileşenlerin ortak tanımı, entegre kanatlı rotor IBR (Entegre Kanatlı Rotorlar) veya blisk'tir [1, 2].

Uçak motorlarının en önemli parçalarından biri olan pervane kanatlı turbo disklerin (blisk), derin ve dar kanal, küçük ve değişken eğrilik, farklı kalınlıkta ön ve arka kenar özelliklerine sahip bir parça olması nedeniyle, üretimi zordur [3]. Aynı zamanda yüksek

sıcaklık, yüksek basınç ve yüksek devir hızı altında çalışmaları nedeniyle imalatında paslanmaz çelik, titanyum alaşımları ve nikel bazlı süper alaşımlar (Inconel) gibi yüksek mekanik özelliklere sahip malzemeler kullanılmaktadır [1].



Şekil 1. Blisk ve pervane örnekleri [3]

Bu malzemeler arasında yer alan çökeltmeyle sertleştirilen (PH) paslanmaz çelikler, martensitik paslanmaz çeliğin yüksek mukavemeti ile östenitik paslanmaz çeliğin mükemmel korozyon direncini bir araya getiren bir martensitik PH tipidir. Uçak motoru parçaları, dişliler, kimyasal cihazlar, nükleer reaktör ve gemi bileşenleri gibi birçok önemli endüstriyel uygulama aparatı bu malzemenin şekillendirilmesi ile üretilmektedir [4, 5]. Pekleşme, yığıntı talaş oluşumu (BUE), uzun ve yapışık talaş vermesi sebebiyle PH paslanmaz çelikleri işlenmesi zor malzemeler grubunda olup işlenebilirliği sertlik seviyelerine ve alaşımın içeriğine bağlı olarak da değişmektedir [6]. İşlenmesi zor olan PH (çökeltme sertleşmeli) paslanmaz çeliklerin işlenebilirlik süreçlerinin doğru analizi, işlenebilirlik maliyetlerinin azaltılmasında önemli bir rol oynamaktadır [7]. Yaşar vd. (2019) yaptıkları çalışmada 17-4 PH paslanmaz çeliğin farklı kaplama türlerine sahip kesici takımlar ile farklı kesme ve ilerleme kuvvetleri denemeleri ile işlenebilirliğini incelenmiştir. Çalışma sonucunda PVD kaplamalı takımlarda artan kesme hızı ile ilerleme kuvveti değerinin %0,97 ile %3,18 arasında azaldığı, CVD kaplamalı takımlarda ise %2,78 ile %7,11 arasında arttığı tespit edilmiştir [8]. Yine Yaşar vd. (2020), yaptıkları çalışmada bu sefer 17-4 PH ve 15-5 PH paslanmaz çeliklerin tornalanmasında CVD ve PVD kaplama türleri ve farklı kesme parametrelerinin kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Sonuçlar incelendiğinde 17-4 PH ve 15-5 PH için kesme kuvveti açısından optimum kesme parametreleri 210 m/dk ve 168 m/dk kesme hızları, 0.15 mm/dev ilerleme oranı, 1.5 mm kesme derinliği ve PVD kaplama olarak belirlenmiştir [9]. Mohanty vd. (2016), kuru işleme şartlarında 17-4 PH çeliğinin tornalanması esnasındaki işleme karakteristiklerini incelemişlerdir. Bu kapsamda talaş morfolojisi, takım

aşınması, kesme sıcaklığı ve yüzey pürüzlülüğü incelemiş, kaplamasız takımlar için yüksek kesme hızlarının takım aşınmasına sebep olduğunu, tüm kesme hızlarında her iki kesici takımda da artan işleme mesafesiyle takım aşınmasının arttığını, kesme hızındaki artışın sıcaklığı artırdığını, CVD kaplamalı takımın kaplamasız takıma göre daha fazla ısı ürettiğini belirlemişlerdir [10].

Turbo disklerin dolu malzemeden şekillendirilmesi sırasında kanat arası boşlukların kaba frezeleme işlemleriyle boşaltılması gerekmekte olup, literatürde de işaret edildiği gibi optimum şartlarda işlenmemesi halinde düşük takım ömrü, yüksek işleme zamanı ve maliyeti gibi olumsuzlukları beraberinde getirmektedir. Bu sebeple bu çalışma kapsamında, 17-4 PH paslanmaz çelik malzemeden üretilmiş kanatlı turbo disklerin kaba işlenmesinde farklı kesme parametrelerinin etkilerinin araştırılması ve optimum kesme parametrelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

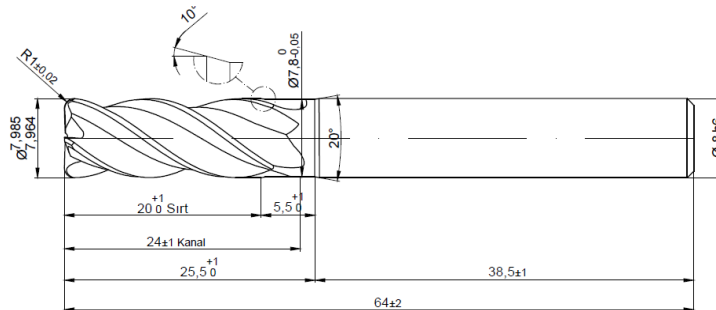
2. MATERTAL VE METOD

Çalışma kapsamında üretilecek pervane kanatlı turbo disk (blisk) malzemesi olarak kullanılan 17-4 PH paslanmaz çelik malzemenin kimyasal kompozisyonu Tablo 1’de verilmiştir.

Kaba boşaltma işleminde, 4 ağızlı, paslanmaz çelik malzemeye özgü kalitede, sementit karbür parmak freze (Karcan, Eskişehir) kullanılmıştır. Takımın makro geometrisi Şekil 2.’de gösterilmiştir. Deneysel çalışmalarda kullanılan kesme parametreleri Tablo 2’de verilmiştir. Her bir parametre grubu için deneyler 2 kez (2 kanal boşaltma) tekrarlanmıştır. Toplam 20mm derinliğe sahip kanallar a_p : 4mm olacak şekilde 5 pasada alınması planlanmıştır.

Tablo 1. 17-4 PH paslanmaz çeliğin kimyasal kompozisyonu (%ağırlık)

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	Nb+Ta	Nb	Ta
Min						3	15		3	0,15	0,15	
Maks	0,07	1	1	0,04	0,03	5	17,5	0,35	5	0,45	0,45	0,05
Ölçü	0,02	0,44	0,62	0,02	<0,001	4,22	15,2	0,14	3,35	0,22	0,21	<0,01

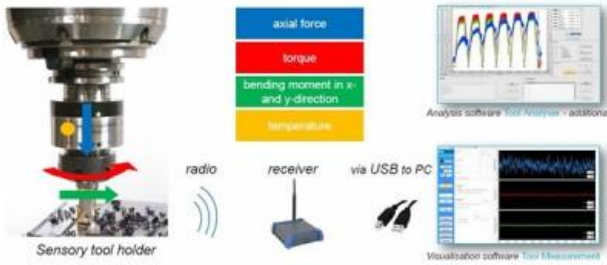


Şekil 2. Parmak freze geometrisi

Tablo 2. Deneylerde kullanılan kesme parametreleri

Faktörler	Seviyeler		
	1	2	3
Kesme Hızı (m/dk)	60	70	80
İlerleme Miktarı (mm/diş)	0,021	0,025	0,03

Kuvvet ve moment ölçümleri sensörlü tutucu (Spike, Almanya) (Şekil 3) ile gerçekleştirilmiştir. Kesme kuvveti, eğilme ve burulma momentleri her bir kanalda her bir paso için ölçülmüştür. Deneysel çalışmalarda üretilen pervane diske ait görsel Şekil 4.'te verilmiştir.



Şekil 3. Sensörlü tutucu



Şekil 4. Çalışmada üretilen pervane diskinin görseli

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

İki parametre ve üçer seviye için hazırlanmış tam faktöriyel deney tasarımına tablosuna göre kaba işlemler gerçekleştirilmiş ve her takımla iki pervane kanalı işlenmiştir. İşleme esnasında kaydedilen, kesme kuvveti, eğilme ve burulma momentleri verileri çok yönlü varyans analizi (ANOVA) ile analiz edilmiş ve parametrelerin sonuçlar üzerinde etkili olup olmadığı ve etki yüzdeleri belirlenmiştir. Ayrıca her iki pervane kanalı işlenirken, takıma gelen yükler açısından boşluklar arasında istatistiki olarak anlamlı bir değişim olup olmadığını kontrol için ANOVA'ya kanal sırası da tekrarın etkisi olarak eklenmiştir. Sonuçlar, kesme kuvveti, eğilme momenti ve burulma momenti sırası ile sunulmuştur.

Tablo 3'de verilen ANOVA sonuç tablosunda parametrelerin sonuçlarının birbirinden farklı ve $\alpha=0,05$ düzeyinde anlamlı olduğunu göstermektedir. Eşzamanlı beş eksenli işleme esnasında kesme kuvvetleri üzerinde en etkili parametrenin ilerleme miktarı ($p<0,05$) olduğu ve bunu sırası ile kanal sırası ($p<0,05$) ve kesme hızı*ilerleme miktarı ikili etkileşiminin ($p=0,05$) takip ettiği bulunmuştur. İlerleme miktarının artmasıyla kesme kuvvetinin arttığı literatürde yapılan çalışmalarda belirtilmiştir [9, 11]. Kareler toplamı üzerinde hesaplanan yüzdelik etki oranına göre sıralama ise ilerleme miktarı, kesme hızı*ilerleme miktarı ikili etkileşimi ve kanal sırası şeklindedir. Kurulan modelin deneysel sonuçları temsil oranı %87,47 olmuştur.

Tablo 3. Kesme kuvvetleri ANOVA sonuç tablosu

Faktör	SD*	KT	KO	F-Değeri	P-Değeri	%Etki
Model	9	75570	8397	6,21	0,009	87,47
Kanal Sırası (Tekrar)	1	17450	17450	12,9	0,007	20,20
Lineer	4	37531	9383	6,94	0,01	43,44
Kesme Hızı	2	8023	4011	2,97	0,109	9,29
İlerleme Miktarı	2	29509	14754	10,91	0,005	34,16
2-Yönlü Etkileşim	4	20589	5147	3,8	0,051	23,83
Kesme Hızı*İlerleme Miktarı	4	20589	5147	3,8	0,051	23,83
Hata	8	10822	1353			12,53
Toplam	17	86392				100

*SD: Serbestlik derecesi, KT: Kareler toplamı, KO: Kareler ortalaması

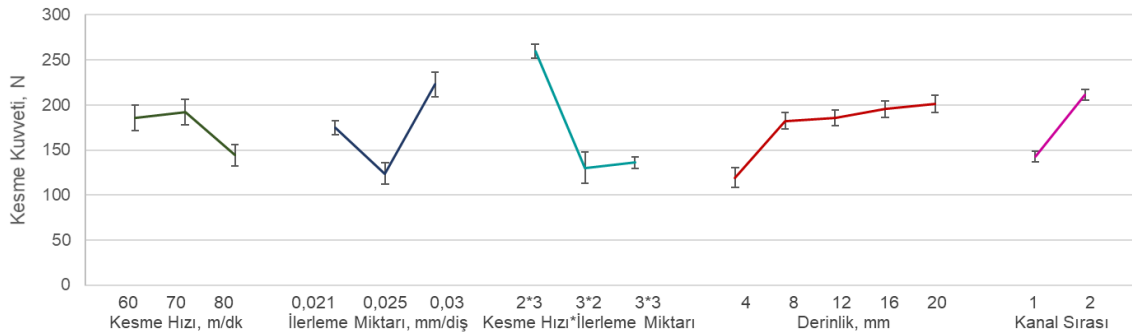
Parametrelerin kesme kuvveti üzerindeki etki yönlerini gösteren ana etki grafiği Şekil 5'te sunulmuştur. Ana etki grafiğinde soldan sağa, kesme hızı, ilerleme miktarı, kesme hızı*ilerleme miktarı ikili etkileşimi, kesme derinliği ve kanal sırasına göre kesme kuvvetlerindeki değişimi göstermektedir. ANOVA sonucunda en etkili bulunan ilerleme miktarının artışı ile kesme kuvvetleri önce azalmış sonra artmıştır. Kesme hızı*ilerleme miktarı ikili etkileşiminde; yüksek kesme hızı-yüksek ilerleme miktarı hem kesme kuvveti hem sağlayabileceği hızlı işleme avantajı ile ne çıkmaktadır. Kesme hızının etkisi ANOVA sonucunda anlamlı bulunmasa da yüksek seviye kesme hızının etkisi düşük ve orta seviye kesme hızına göre anlamlı bir farka sahiptir. Kesme derinliği arttıkça kesme kuvvetlerinin önce artış sergilediği ancak sonrasında durağan bir seyir izlediği görülmektedir. Birinci ve ikinci kanal arasında kuvvetlerin arttığı ve bu artışın anlamlı olduğu görülmektedir. Bunun muhtemel sebebinin takım aşınması mekanizmalarının etkisi olduğu söylenebilir.

Tablo 4.'te görülen bileşke eğilme momenti ANOVA sonuç tablosuna göre, parametrelerin tekil etkileri ve kanal sırası $\alpha=0,05$ anlamlılık düzeyine göre anlamlı bulunmuştur. p-değerine göre bileşke eğilme momenti üzerinde en etkili parametre ilerleme miktarı olurken, ikinci kanal sırası ve üçüncü kesme hızı olmuştur. Kesme hızı*ilerleme miktarı ikili etkileşimi bileşke eğilme momenti üzerinde anlamlı bir etkiye sahip çıkmamıştır. Yüzdelik etki oranlarına göre ise ilerleme miktarı %72,13 oranı ile model (%92,31) içerisinde oldukça yüksek orana sahiptir. Yüzdelik ağırlıkça ikinci etkin parametre ise kesme hızı (%10,19) bulunmuştur.

Bileşke eğilme momentinin ana etki grafiği (Şekil 6), ilerleme miktarının artışı ile eğilme momentinin arttığını ortaya koymaktadır. Kesme

hızının düşük ve orta seviyeleri arasında sonuç üzerinde anlamlı bir fark bulunmazken, yüksek kesme hızında eğilme momentinde artış oluşmaktadır. Ancak oluşan artış, yüksek kesme hızının sağlayacağı saha şartlarında kısa işleme süresi avantajı yanında kabul edilebilir bir artış olarak değerlendirilebilir. Derinlik arttıkça, takımın maruz kaldığı bileşke eğilme momenti de düzenli olarak artış göstermektedir. Kesme kuvveti sonuçlarına benzer olarak, işlenen kanal sayısı arttıkça bileşke eğilme momenti de artış eğilimi sergilemektedir.

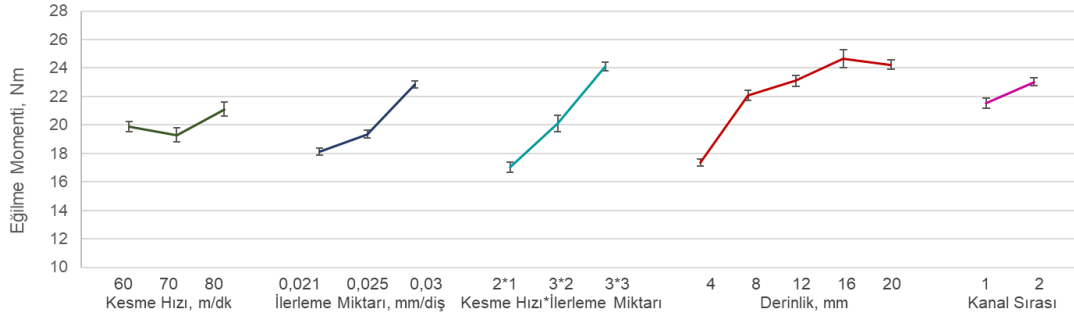
Burulma momenti ANOVA sonuç tablosuna göre, burulma momenti üzerinde en etkili parametre kesme hızı*ilerleme miktarı ikili etkileşimidir ($p=0,000$) ve onu kesme hızı ($p=0,001$) takip etmektedir. İlerleme miktarı ve kanal sırasının burulma momenti üzerindeki etkileri istatistiki olarak anlamlı bulunmamıştır. Burulma momenti üzerinde en etkili parametre kesme hızı*ilerleme miktarı olduğu literatürde yapılan çalışmalarda belirtilmiştir [12]. Şekil 7'de verilen burulma momenti ana etki grafiğinde özellikle, yüksek kesme hızı-düşük ilerleme miktarı etkileşiminde ($3*1$) burulma momenti, 3 ayrı kesme hızının düşük seviye ilerleme miktarı ile etkileşim sonuçları içerisinde, en düşük değerini almıştır. Ancak yüksek kesme hızı*orta ilerleme hızı ($3*2$) veya yüksek kesme hızı*yüksek ilerleme miktarı ($3*3$) sonuç değerlerinin de burulma momenti açısından yüksek değerler olmaması işleme zamanı açısından avantajlı olan bu parametre çiftlerinin kullanılabilirliğini göstermektedir. Kesme hızı tekil etki grafiğinde de bu sonuca paralel olarak kesme hızı arttıkça burulma momenti düzenli bir azalma göstermiştir. İlk iki pasoda derinlik artışı ile burulma momenti artarken sonraki derinliklerde durağan bir seyir izlemektedir.



Şekil 5. Deney değişkenlerinin kesme kuvvetleri üzerindeki etkisi

Tablo 4. Bileşke eğilme momenti ANOVA sonuç tablosu

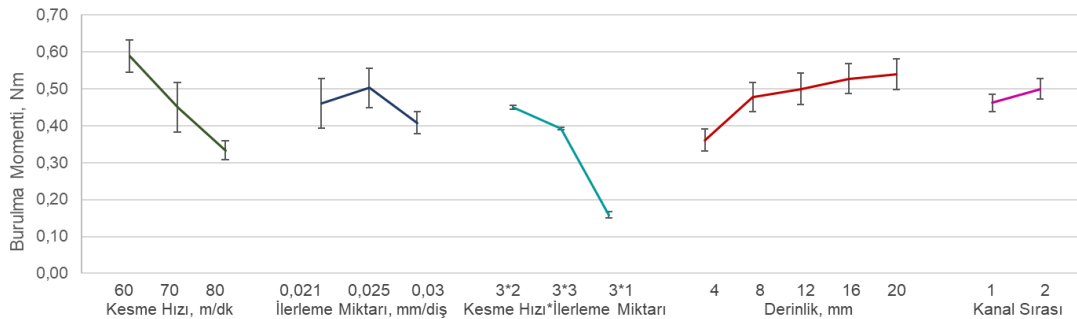
Faktör	SD	KT	KO	F-Değeri	P-Değeri	%Etki
Model	9	92,881	10,3201	10,67	0,001	92,31
Kanal Sırası (Tekrar)	1	8,134	8,1339	8,41	0,02	8,08
Lineer	4	82,826	20,7066	21,41	0	82,32
Kesme Hızı	2	10,251	5,1255	5,3	0,034	10,19
İlerleme Miktarı	2	72,575	36,2877	37,52	0	72,13
2-Yönlü Etkileşim	4	1,921	0,4803	0,5	0,74	1,91
Kesme Hızı*İlerleme Miktarı	4	1,921	0,4803	0,5	0,74	1,91
Hata	8	7,737	0,9671			7,69
Toplam	17	100,618				100



Şekil 6. Deney değişkenlerinin bileşke eğilme momentleri üzerindeki etkisi

Tablo 5. Burulma momentleri ANOVA sonuç tablosu

Faktör	SD	KT	KO	F-Değeri	P-Değeri	%Etki
Model	9	1,17179	0,130199	26,41	0	96,74
Kanal Sırası (Tekrar)	1	0,005	0,005	1,01	0,343	0,41
Lineer	4	0,2233	0,055826	11,32	0,002	18,44
Kesme Hızı	2	0,19642	0,09821	19,92	0,001	16,22
İlerleme Miktarı	2	0,02688	0,013441	2,73	0,125	2,22
2-Yönlü Etkileşim	4	0,94349	0,235872	47,84	0	77,90
Kesme Hızı*İlerleme Miktarı	4	0,94349	0,235872	47,84	0	77,90
Hata	8	0,03944	0,004931			3,26
Toplam	17	1,21123				100



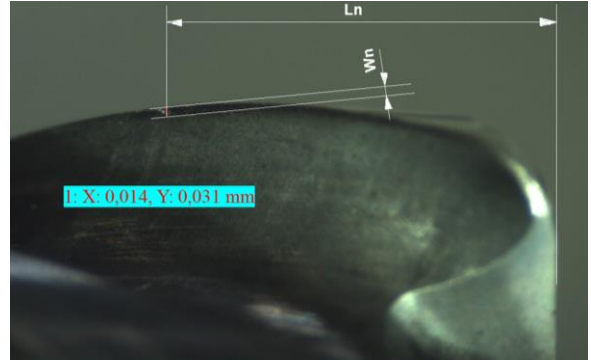
Şekil 7. Deney değişkenlerinin burulma momentleri üzerindeki etkisi

Tek deney satırında kullanılan takım, iki kanal boşaltma işleminden sonra incelenmiştir. Şekil 8’de şematize edildiği üzere, tüm takımların kesici kenarları üzerinde farklı büyüklüklerde çentik aşınması gözlenmiş olup, çentik derinliği ve kesici takım ucuna olan mesafesi deney sayısına göre değişmektedir. W_n ; çentik derinliğini, L_n ; çentiğin takımın uç kısmına olan mesafesini göstermektedir. Her bir deneyden elde edilen takım aşınması değerleri Tablo 6.’da verilmiştir.

Takım aşınması verileri ANOVA ile değerlendirildiğinde kesme parametrelerinin çentik derinliği ve çentik mesafesi üzerinde istatistiki olarak anlamlı bir etkisi bulunmamıştır. Ancak Şekil 9’da sunulan ana etki grafiği çentik derinliği ve çentik mesafesi ile kesme parametreleri arasında ilişki kurulabileceğine işaret etmektedir.

Çentik derinliği (W_n) grafiğinde, kesme hızının düşük seviyesi ile orta/yüksek seviyesi arasındaki fark anlamlı olup, kesme hızının artışı ile çentik derinliği, dolayısıyla takım aşınması azalmaktadır. İlerleme miktarının artışı ile takım aşınması anlamlı düzeyde artmaktadır. Çentik mesafesi, takım aşınmasının takım üzerindeki konumunu göstermekte olup hem kesme hızı hem ilerleme miktarı değişiminden etkilenmektedir. Kesme hızının düşük ve üst seviyesi arasındaki fark anlamlı

olup, kesme hızı artışı ile aşınma yeri takım ucundan uzaklaşmaktadır. İlerleme miktarının düşük ve orta seviyesi arasındaki fark anlamlı olmayıp, ilerlemenin artışı ile aşınma bölgesi takımın uç kısmına yaklaşmaktadır.

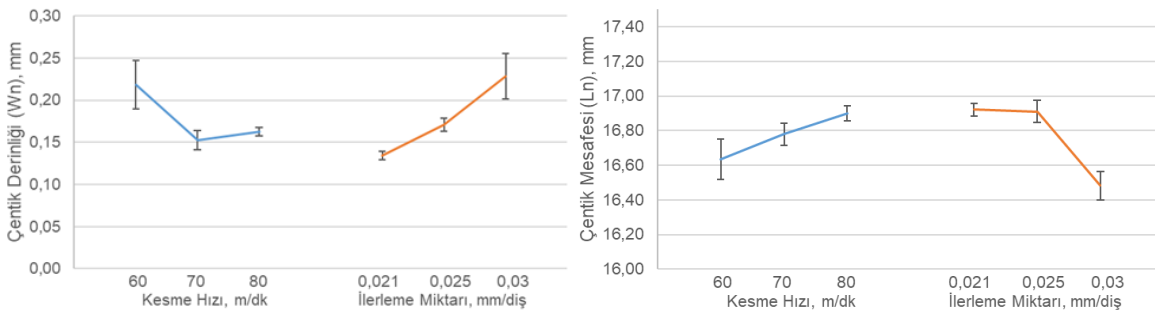


Şekil 8. Takım aşınması ölçümü

Kesme parametreleri esas alınarak kesme kuvvetleri ve takım aşınması arasındaki ilişki irdelendiğinde; yüksek kesme hızı ve düşük ilerleme miktarında, daha düşük kesme kuvveti ve daha az takım aşınması olduğu anlaşılmaktadır. Buradan, kesme kuvveti ve takım aşınması mekanizmalarının birbirini doğru orantılı olarak etkilediği sonucuna varılmıştır.

Tablo 6. Takım aşınması

	Kesme (m/dk)	Hızı	İlerleme Miktarı (mm/diş)	Çentik Derinliği W_n (mm)	Çentik Mesafesi L_n (mm)
L1	60		0,021	0,15	16,78
L2	60		0,025	0,14	17,05
L3	60		0,03	0,36	16,08
L4	70		0,021	0,11	17,09
L5	70		0,025	0,21	16,60
L6	70		0,03	0,14	16,65
L7	80		0,021	0,14	16,90
L8	80		0,025	0,16	17,08
L9	80		0,03	0,18	16,71



Şekil 9. Kesme hızı ve ilerleme miktarı ile takım aşınması ilişkisi

4. SONUÇLAR

17-4 PH paslanmaz çelik malzemeden kanatlı turbo disk üretimi sürecinde, kaba işleme şartlarının kesme kuvveti, bileşke eğilme momenti ve burulma momenti üzerindeki etkileri araştırılmış ve yüksek hızda işleme için optimum kesme parametreleri belirlenmiştir. İlerleme miktarı, kesme kuvveti ve bileşke eğilme momenti üzerinde en yüksek etkiye sahipken burulma momenti en fazla kesme hızı*ilerleme miktarı ikili etkileşiminden etkilenmiştir. İlerleme miktarının tekil etkisi özellikle ilerleme miktarındaki artış ile kesme kuvveti ve bileşke eğilme momentinde artışa neden olduğunu gösterirken, kesme hızı*ilerleme miktarı etkileşiminde yüksek kesme hızı ile orta veya yüksek seviye ilerleme miktarı seçiminin kuvvet ve momentlerde kabul edilebilir artışlara neden olduğunu ortaya koymaktadır. Kaba işlemede, yüzey kalitesi beklentisi olmadan, kısa işleme süresi hedefiyle, sonuçlar irdelendiğinde, yüksek kesme hızı*orta ilerleme miktarı ve/veya yüksek kesme hızı*yüksek ilerleme miktarının değerlendirilen şartlarda en uygun kuvvet, momentler ve süre hedeflerini karşılayacak parametre çifti olduğu sonucuna varılmıştır. Bir sonraki çalışmada, önerilen en uygun parametrelerin takım ömrü sonuçları açısından değerlendirilmesi ve takım ömrü-işleme süresi dolayısıyla işleme maliyeti dengesinin araştırılması planlanmaktadır.

EXPERIMENTAL OPTIMIZATION OF CUTTING PARAMETERS FOR ROUGH MACHINING OF 17-4 PH MATERIAL FAN BLADE TURBO DISKS

Fan blade turbo disks (blisks), which are critical components of aircraft engines, have complex geometric structures and operate under high temperatures, pressures, and rotational speeds, making their manufacturing process challenging. In this study, the optimization of cutting parameters for rough channel milling of blisks made from 17-4 PH stainless steel using simultaneous five-axis end milling was experimentally investigated. A full factorial experimental design was applied with three different cutting speeds and feed rates, resulting in nine experiments. Cutting forces, bending, and torsional moments were analyzed, and the optimal parameters were determined using ANOVA. The results indicate that for shorter machining times, the best combination is high cutting speed with medium or high feed rate.

Keywords: Fan blade turbo disk, blisk, 17-4 PH, Simultaneous 5-axis machining, Cutting parameters

KAYNAKLAR

1. Lee, J., Yeh, H., Chen, T. (2022) Improvement in the Efficiency of the Five-axis Machining of Aerospace Blisks. *Science Progress*. 105(4).

2. González-Barrio, H., Calleja-Ochoa, A., Lamikiz, A., López de Lacalle, L. N. (2020) Manufacturing Processes of Integral Blade Rotors for Turbomachinery, Processes and New Approaches. *Applied Sciences*. 10(9) : 1-21.
3. Xin, H., Shi, Y., Zhao, T. (2018) Compound Efficient and Powerful Milling Machine Tool of Blisk”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 98 : 1745-1753.
4. Karthik, D., Kalainathan, S., Swaroop, S. (2015) Surface Modification of 17-4 PH Stainless Steel by Laser Peening Without Protective Coating Process. *Surface and Coatings Technology*. 278: 138–45.
5. Çiftçi, İ., Kasap, M. Şeker, U. (1999) Östenitik Paslanmaz Çeliklerin İşlenebilirlik Parametrelerinin Belirlenmesi Üzerine Yapılmış Deneysel Çalışmalar. *Z.K.Ü. Karabük Tek Eğitim Fakültesi Teknol Derg.* 3(4): 130-141.
6. Mohanty, A. (2014) Influence of CVD Multilayer Coating on Machinability Characteristics of Aerospace Grade Stainless Steel. *Yüksek Lisans Tezi. National Institute of Technology*.
7. Yurtkuran, H., Günay, M. (2022) Analyzing the Effects of Cutting Parameters on Machinability Criteria in Milling of 17-4PH Stainless Steel under Dry Environment. *İmalat Teknolojileri ve Uygulamaları*. 3(3): 8-19.
8. Yaşar, S., A., Uzun, G., Korkut, İ. (2019) 17-4 PH Paslanmaz Çeliklerin Tornalamasında Farklı Kaplama Tiplerinin Kesme Kuvvetlerine Etkilerinin İncelenmesi. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8: 1-11.
9. Yaşar, S., A., Uzun, G., Korkut, İ. (2020) 17-4 PH ve 15-5 PH Paslanmaz Çeliklerinin Tornalanmasında Kesme Parametrelerinin Kesme Kuvveti ve Yüzey Pürüzlülüğüne Etkilerinin Araştırılması. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*. 10(1): 71-81.
10. Mohanty, A., Gangopadhyay, S., Thakur, A. (2016) On Applicability of Multilayer Coated Tool in Dry Machining of Aerospace Grade Stainless Steel. *Mater Manuf Process*. 31(7): 869–879.
11. Ay, M., Kalyon, A. (2011) CNC Torna Tezgahında 17-4 PH Paslanmaz Çeliğin İşleme Parametrelerinin Deneysel Olarak Belirlenmesi. 6 th International Advanced Technologies Symposium (IATS’11).
12. Yavuz, M., Gökçe, H., Yavaş, Ç., Korkut, İ., Şeker, U. (2017) Matkap geometrisinin delik kalitesi ve kesme performansına etkisi. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21(5): 1051-1066.