



OPTIMIZATION OF CUTTING PARAMETERS IN MILLING OF FLAX FIBER REINFORCED COMPOSITE BY FULL FACTORIAL DESIGN AND TOPSIS METHOD

Mehmet Suat Alp^{*1}, Yahya Hışman elik¹, Erol Kılıřkap², Ahmet Yardımeden²

¹Batman niversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Batman, Türkiye

²Dicle niversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, Türkiye

Abstract

Original scientific paper

In this study, in the milling of flax fiber reinforced polymer composites using high speed steel (HSS) and tungsten carbide (WC) cutting tools, with a rotational speed of 2500 and 7500 rpm and feed rates of 0.01 and 0.02 mm/rev, the effects of rotational speed, feed rate and cutting tool type on cutting force, deformation factor and surface roughness were analyzed with full factorial experimental design, and technique for order preference by similarity to ideal solution (TOPSIS). As a result of the experiments, the optimum cutting parameter was obtained from the high rotational speed and low feed rate value of the WC cutting tool. It was observed that the most important factor among the cutting parameters is the rotation speed, then the cutting tool type and feed rate, respectively.

Keywords: Delamination factor, cutting force, surface roughness.

KETEN FİBER TAKVİYELİ KOMPOZİTİN FREZELENMESİNDE KESME PARAMETRELERİNİN TAM FAKTÖRİYEL TASARIM VE TOPSİS YÖNTEMİYLE OPTİMİZASYONU

Özet

Orjinal bilimsel makale

Bu çalışmada, keten fiber takviyeli polimer kompozitlerin yüksek hız çeliği (HSS) ve tungsten karbür (WC) kesici takımlar kullanılarak 2500 ve 7500 dev/dak devir sayısı ile 0,01 ve 0,02 mm/dev ilerleme değerlerinde frezelenmesinde; devir sayısı, ilerleme ve kesici takım cinsinin kesme kuvveti, deformasyon faktörü ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri tam faktöriyel deney tasarımı ve ideal çözüme benzerlik bakımından sıralama performansı tekniği (TOPSIS) ile analizleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda; optimum kesme parametresi WC kesici takımın yüksek devir sayısı ve düşük ilerleme değerinden elde edilmiştir. Kesme parametrelerinden en önemli faktörün devir sayısı daha sonra sırasıyla kesici takım cinsi ve ilerleme olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Deformasyon faktörü, kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü.

1 Giriş

Bitki esaslı doğal fiberlerin kompozit malzemelerde takviye elemanı olarak kullanımı, çevresel etkileri azalttığından ve döngüsel ekonomi ile sürdürülebilir kalkınmaya katkıda bulunduğundan dolayı ön plana çıkmaktadır [1].

Doğal fiberlerin karakteristik özellikleri özellikle sentetik cam fiberlere yakın olduğundan dolayı doğal fiber takviyeli kompozitler, cam fiber takviyeli kompozitlere alternatif olmuş ve endüstriyel uygulamalarda yerini almıştır [2].

Doğal fiber takviyeli kompozitler, el yatırması, basınç altında kalıplama ve vakum altında kalıplama gibi yöntemler kullanılarak nihai forma yakın üretilmelerine [3,4] rağmen, montaj hattında fonksiyonel özelliklerini

karşılaması için talaşlı olarak işlenmesine ihtiyaç duyulmaktadır. elik ve Alp (2020), jüt ve keten fiber takviyeli kompozitlerin farklı kesici takımlarla frezelenmesinde, kesme derinliği, ilerleme ve devir sayısının kesme kuvveti, titreşim, yüzey pürüzlülüğü ve deformasyon faktörü üzerine etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. Kesici takım sertliğinin ve rijitliğinin titreşim üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu, artan ilerlemenin kesme kuvvetini, yüzey pürüzlülüğünü ve deformasyon faktörünü arttırdığını, artan devir sayısının kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülük değerini düşürdüğünü, ancak deformasyon faktörünü arttırdığını ve jüt fiber takviyeli kompozitlere kıyasla keten fiber takviyeli kompozitlerin daha düşük yüzey kalitesine ve daha yüksek deformasyon faktörüne sahip olduğunu belirtmişlerdir [5]. John ve ark. (2021), jüt, kenaf ve pirinç kabuğu takviyeli

*Corresponding author.

E-mail address: msuat.alp@batman.edu.tr (M. S. Alp)

Received 23 May 2022; Received in revised form 06 October 2023; Accepted 27 March 2023

2587-1943 | © 2023 IJIEA. All rights reserved.

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.1120136>

kompozitlerin frezelenmesinde, yüzey kalitesi üzerine işleme parametrelerinin etkisini incelemişlerdir. Kenaf fiber takviyeli kompozitlerde daha düşük deformasyon faktörü ve daha iyi yüzey kalitesi elde edildiğini ifade etmişlerdir [6]. Çelik ve ark. (2019), farklı oryantasyon açılara sahip jüt takviyeli kompozitlerin frezelenmesinde; freze çakısı ağız sayısının artmasıyla kesme kuvvetinin ve yüzey pürüzlülük değerinin azaldığını ancak deformasyon faktörünün arttığını belirtmişlerdir. En düşük kesme kuvvetini $\pm 45^\circ$ oryantasyon açılı kompozitten ve en düşük yüzey pürüzlülük değerini ve deformasyon faktörünü ise $0/90^\circ$ oryantasyon açılı kompozitten elde edildiğini, oryantasyon açısına bağlı oluşan farklılığın kompozitlerin çekme dayanımı ile ilişkili olduğunu vurgulamışlardır [7]. Benzer olarak Chegdani ve ark. (2017) fiber malzemesinin karakteristik özelliği ve ilerlemenin işlenmiş yüzey pürüzlülüğüne katkı oranının, kompozit içindeki doğal lif yapısının mekanik özellikleri ile doğrudan ilişkili olduğunu ifade etmişlerdir [8]. Ancak Chegdani ve ark. (2020), fiber oryantasyon açısının 45° olduğu kompozitlerde, verimli bir fiber kesmenin meydana geldiğini ve dolayısıyla daha düşük yüzey pürüzlülük değerinin ve iyi bir işlenebilirliğin sağlandığını belirtmiştir [1].

Doğal fiber takviyeli kompozitlerin işleme performansı, doğal liflerin karmaşık selülozik yapısından [9], matris, takviye elemanı, fiber/matrisin oluşturduğu bağ, üretim yöntemi, tezgâhın rijitliği ve kesme parametrelerinden etkilenmektedir [10]. Bu yüzden optimizasyon yöntemleri kullanılarak analizlerin yapılması ön plana çıkmaktadır. Tran ve ark. (2020), yeni bir hibrit biyokompozitin delinmesinde, kesme parametrelerinin ve matkap ucu çapının itme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü, spesifik kesme enerjisi ve toz emisyonu üzerindeki etkisini optimize etmek için tam faktöriyel bir tasarım kullanmıştır [11]. Azmi ve ark. (2021), kenaf elyaf takviyeli kompozitin işlenmesi sırasında kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve deformasyon faktörü üzerindeki etkisini optimize etmek için yanıt yüzey yöntemini kullanmıştır [12]. Shagwira ve ark. (2021), kesme hızının, ilerleme hızının ve kesme derinliğinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini Taguchi yöntemi ile optimize etmişlerdir [13]. Rajendran ve ark (2021), jüt fiber takviyeli kompozitlerin frezelenmesinde, kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü, talaş kaldırma oranı ve takım aşınması üzerindeki performansı gri ilişkiler analizini ile gerçekleştirilmiştir [14]. Farklı doğal fiber takviyeli kompozitlerin işlenmesinde kesme parametrelerinin optimizasyonu Taguchi yöntemi [15], merkezi kompozit tasarım [16,17], genetik algoritma [18] ve ideal çözüme benzerlik bakımından sıralama performansı tekniği (TOPSIS) [19] gibi yöntemlerle

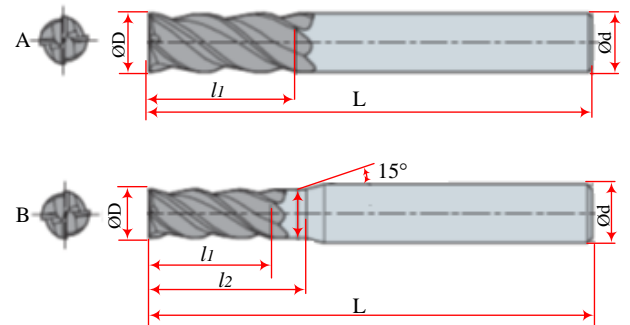
yapılarak optimum kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü, deformasyon faktörünün hangi parametrelerden elde edildiği analiz edilmiştir.

Yapılan çalışmalar incelendiğinde; keten fiber takviyeli polimer kompozitlerin frezelenmesinde, kesici takım cinsi, devir sayısı ve ilerlemenin kesme kuvveti, deformasyon faktörü ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkilerini içeren çalışmaların olduğu görülmüştür, ancak tam faktöriyel deney tasarımı ve TOPSIS yöntemini formülize edip deneysel olarak ele alan makalelerin eksikliği gözlemlendiğinden bu çalışmada, keten fiber takviyeli polimer kompozitin frezelenmesinde, kesici takım cinsi, devir sayısı ve ilerlemenin kesme kuvveti, deformasyon faktörü ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri tam faktöriyel deney tasarımı ve TOPSIS yöntemi ile analiz edilmiştir. Bu bağlamda kesme parametrelerinin önem sırasına göre tespit edilmesi ve optimum kesme parametrelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2 Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada doğal fiber takviyeli kompozitler vakum infüzyon yöntemi ile üretilmiştir. Üretim için takviye elemanı olarak keten fiber, matris malzemesi olarak Propox marka RIMR300 epoksi ve RIMH300 sertleştirici tercih edilmiştir. Epoksi reçine ve sertleştirici için üretici tarafından önerilen 2/1 karışımı sağlanmıştır. Tercih edilen keten fiberin yoğunluğu $1,4-1,5 \text{ g/cm}^3$, çekme dayanımı $320-800 \text{ MPa}$ gerilim modülü $27,6-103 \text{ GPa}$ ve uzama oranı $\%1,2-4,6$ 'dır. Üretilen kompozit malzeme 12 tabaka olup, $0/90^\circ$ oryantasyon açısına sahip ve kalınlığı 10 mm 'dir. Deney malzemesinin çekme dayanımı 49 MPa ve eğilme dayanımı 60 MPa 'dır.

Frezeleme deneyleri, çapı 4 mm olan yüksek hız çeliği (HSS) ve sert karbür (WC) parmak freze kesici takımlarla yapılmıştır. Kullanılan parmak freze takımlarının şematik görüntüsü Şekil 1'de, boyutları ise Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Parmak freze takımlarının şematik gösterimi
A)WC, B) HSS.

Tablo 1. Parmak freze takımlarının boyutları.

Parmak Freze	Tip	ØD (mm)	Ød (mm)	l_1 (mm)	l_2 (mm)	L (mm)
WC	A	4	4	9	12	50
HSS	B	4	6	9	12	50

Devir sayısı ve ilerleme parametreleri literatür çalışması, CNC tezgâhı ve takım uçlarının mekanik yapıları ve ön deney gözlemleri göz önüne alınarak belirlenmiştir. Her bir deney parametresi (faktör) için

düşük ve yüksek olmak üzere 2 seviye belirlenmiştir. Deneylerde kullanılan faktörler ve seviyeleri Tablo 2'de verilmiştir.

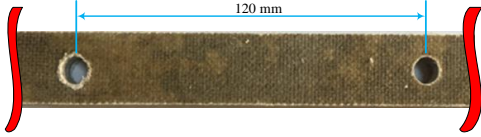
Tablo 2. Faktörler ve seviyeleri.

Faktörler (k)	Birim	Sembol	Seviyeleri	
			Düşük (-)	Yüksek (+)
Devir sayısı	dev/dak	<i>n</i>	2500	7500
İlerleme	mm/dak	<i>u</i>	0,01	0,02
Kesici takım cinsi		<i>T</i>	HSS	WC

Deneyler, 2k tam faktöriyel deney tasarımına göre Tablo 2’de verilen parametrelerin kombinasyonu doğrultusunda 3 tekrarlı yapılmıştır.

Frezeleme deneyleri için 20 mm genişliğinde ve 200 mm uzunluğunda kesilen keten fiber takviyeli polimer kompozit, Şekil 2’de verilen ve merkez uzaklığı 120 mm olacak şekilde delinen yüzeylerden Kistler marka 9257B model kuvvet ölçüm cihazına (Dinamometreye) sabitlenmiştir. Kistler 9257B dinamometreden gelen sinyaller, çok kanallı amplifikatör olan Kistler 5070-A ile bilgisayara aktarılmıştır. Verilerin değerlendirilmesi ve gerekli grafiklere dönüştürülmesi için Kistler DynoWare 2825A yazılımı kullanılmıştır. Bu yazılım programı frezeleme esnasında oluşan F_x , F_y ve F_z doğrultusundaki ilerleme, eksenel ve radyal kuvveti vermiştir. Denklem 1’deki formül kullanılarak kesme kuvveti (F_K) hesaplanmıştır.

$$F_K = \sqrt{F_X^2 + F_Y^2 + F_Z^2} \quad (1)$$

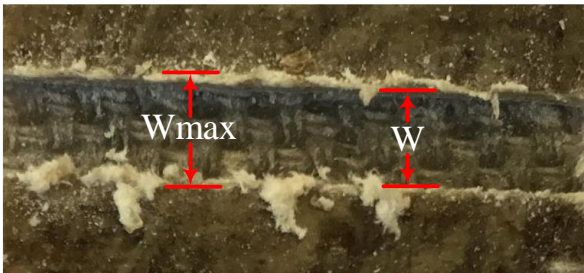

Şekil 2. Kompozitlerin cihaza sabitlenmesi için delinen delikler.

Frezelenen kanal civarında oluşan deformasyonu ölçmek için Nikon Epiphot 200 model optik bir mikroskop kullanılmıştır. Denklem 2 kullanılarak deformasyon faktörü (F_d) hesaplandı.

$$F_d = W_{maks}/W \quad (2)$$

Burada; W_{maks} : frezelenen kanalda hasara uğramış maksimum kesit, W : frezelenen kanalın nominal genişliğidir.

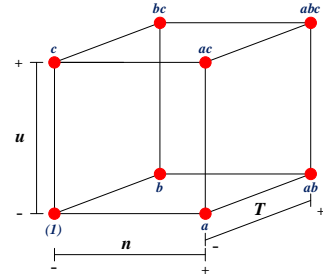
Frezelenen kompozitlerin yüzey pürüzlülüğünü ölçmek için Time marka TR200 model dijital göstergeli ve mekanik iğneli yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı kullanılmıştır. Time TR200 yüzey pürüzlülük cihazının ortalama yüzey pürüzlülük (R_a) ölçüm aralığı 0,01-40 μm 'dir. Ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a), frezelenen yüzeylere paralel olarak ölçülmüştür. Ölçümler üç kez tekrarlanmış olup üçünün ortalaması alınarak ortalama yüzey pürüzlülüğü hesaplanmıştır.


Şekil 3. Frezelenen kompozitte oluşan deformasyon.

3 Faktöriyel Deney Tasarımı

Deney kombinasyonundan elde edilen değerler Minitab programında tam faktöriyel deney tasarımı ile analiz edilmiştir. Tasarımda 3 faktör ve her bir faktöre ait düşük ve yüksek olmak üzere 2 seviye kullanılmıştır. Tam faktöriyel deney tasarımı ile kesici takım cinsinin (T), devir sayısının (n) ve ilerlemenin (u) kesme kuvveti (F_K), deformasyon faktörü (F_d) ve yüzey pürüzlülüğü (R_a) üzerine etkileri araştırılmış ve ANOVA ile sonuçlar irdelenmiştir.

Analizler, Şekil 4’te küp çizim üzerinde gösterilen sembollerin denklemlerde yerine yazılmasıyla gerçekleştirilmektedir.


Şekil 4. 3 faktör ve 2 seviyeli tasarımın küp çizimi.

$$\text{Faktör Etkisi} = \text{Kontrast}/(r2^{k-1}) \quad (3)$$

Bağıntısı ile hesaplanır [20]. Burada r , deney tekrar sayısı ve k ise faktör sayısıdır. Faktör sayısı 3 olduğundan;

$$\text{Faktör Etkisi} = \text{Kontrast}/4r \quad (4)$$

olur. Dolayısıyla her bir faktörün etkisi hesaplanabilir. Örneğin n faktörünün (devir sayısının) etkisi;

$$n = \text{Kontrast}_n/4r \quad (5)$$

şeklinde hesaplanır. Diğer faktörlerin etkisi de aynı formül kullanılarak hesaplanır. Burada değişen kontrast değerleridir. n , T , u , nT , nu , Tu ve nTu faktörlerinin kontrastı denklem 6-12’deki gibi olur.

$$\text{Kontrast}_n = a + ab + ac + abc - b - c - bc - (1) \quad (6)$$

$$\text{Kontrast}_T = b + ab + bc + abc - a - c - ac - (1) \quad (7)$$

$$\text{Kontrast}_u = c + ac + bc + abc - a - b - ab - (1) \quad (8)$$

$$\text{Kontrast}_{nT} = ab + (1) + abc + c - b - a - bc - ac \quad (9)$$

$$\text{Kontrast}_{nu} = ac + (1) + abc + b - a - c - ab - bc \quad (10)$$

$$\text{Kontrast}_{Tu} = bc + (1) + abc + a - b - c - ab - ac \quad (11)$$

$$\text{Kontrast}_{nTu} = abc - bc - ac + c - ab + b + a - (1) \quad (12)$$

Burada; (1): n, u ve T'nin düşük, a: n'nin yüksek, u ve T'nin düşük, b: T'nin yüksek, n ve u'nun düşük, c: u'nun yüksek, n ve T'nin düşük, ab: u'nun düşük, n ve T'nin yüksek, ac: T'nin düşük, n ve u'nun yüksek, bc: n'nin düşük, T ve u'nun yüksek, abc: n, u ve T'nin yüksek deney seviyelerinden elde edilen toplam tekrarlanmış deney sonuçlarıdır.

Her bir etki için kareler toplamının (SS) hesaplanması;

$$SS = Kontrast^2 / r2^k \quad (13)$$

dır. Faktör sayısı 3 olduğundan denklem 13, denklem 14 şeklinde yazılır.

$$SS = Kontrast^2 / r2^3 \quad (14)$$

n faktörünün kareler toplamı;

$$SS_n = (Kontrast_n)^2 / 8r \quad (15)$$

şeklinde hesaplanır ve diğer faktörlerin kareler toplamı da aynı formül kullanılarak hesaplanır. Toplam kareler toplamı (SS_T), denklem 16'daki gibi olur.

$$SS_T = SS_n + SS_T + SS_u + SS_{nT} + SS_{nu} + SS_{Tu} + SS_{nTu} + SS_E \quad (16)$$

SS_E : Toplam kareler toplamındaki hatadır. Serbestlik Derecesi (DF), Model (DF_M), hata (DF_E) ve toplam (DF_T) için denklem 17-19'deki gibi olur.

$$DF_M = D_S - 1 \quad (17)$$

$$DF_E = D_S x r - D_S \quad (18)$$

$$DF_T = D_S x r - 1 \quad (19)$$

Burada D_S , deney sayısıdır. Her bir faktörün ortalama karesi (MS), o faktörün kareler toplamının serbestlik derecesine bölümüyle elde edilir (Denklem 20).

$$MS = \frac{SS}{DF} \quad (20)$$

F değeri, katkı oranı ve determinasyon katsayısı ise sırasıyla denklem 21-23'teki gibi hesaplanır.

$$F = \frac{MS}{MS_E} \quad (21)$$

$$Katkı = \frac{SS}{SS_T} \quad (22)$$

$$R^2 = \frac{SS_M}{SS_T} \quad (23)$$

Burada, MS_E : ortalama kare hatası, SS_M : modelin toplam kareler toplamıdır. Düzeltilmiş regresyon denklemi;

$$R_{Adj}^2 = 1 - (1 - R^2) \frac{D_S * r - 1}{D_S * r - DF_M - 1} \quad (24)$$

dir. Varyans analizi sonucu elde edilen tahmin model denklem 25'teki gibi yazılır.

$$y = \beta_0 + \beta_1 n + \beta_2 T + \beta_3 u + \beta_{12} nT + \beta_{13} nu + \beta_{23} Tu + \beta_{123} nTu \quad (25)$$

β_0 regresyon katsayısıdır, deneyler ile elde edilen tüm gözlem değerlerinin ortalamasıdır. Diğer β_1 , β_2 ve β_3 gibi regresyon katsayıları, faktör etkileri ve faktörler arası etkileşimin etkisi kullanılarak hesaplanmaktadır [20].

4 TOPSIS Yöntemi

Deneysel sonuçlardan elde edilen veriler ışığında optimum kesme parametreleri, çok kriterli karar verme yöntemlerinden olan ideal çözüme benzerlik bakımından sıralama performansı tekniği (TOPSIS) ile analiz edilmiştir. 1995 yılında formülize edilen TOPSIS yaklaşımı [21], seçilen seçeneğin pozitif ideal çözüme minimum mesafenin yanı sıra negatif ideal çözüme maksimum mesafeye sahip olması gerektiği planı üzerine kurulmuştur. Bu bağlamda, deneysel sonuçlardan elde edilen ortalama değerlere göre işlemler yapılmış olup, TOPSIS yöntemi için kullanılan eşitlikler denklem 26-32'da verilmiştir [22,23].

$$R_{ij} = X_{ij} / \sqrt{\sum_{i=1}^m X_{ij}^2} \quad (26)$$

Burada $i=1 \dots m$ ve $j=1 \dots n$ 'e kadar olan X faktörüne ait j. deneyin i. gerçek değerlerini temsil eder (X_{ij}). R_{ij} ise normalize edilmiş değerdir.

Ağırlıklar (W_i), normalize edilmiş değerlerle çarpılarak ağırlıklı normalize veriler (V_{ij}) hesaplanır. Ancak her bir çıkış için verilen ağırlıkların toplamı 1 değerini geçmemelidir.

$$V_{ij} = R_{ij} x W_i \quad (27)$$

Elde edilen verilere bağlı iyiye en yakın (V^+) ve kötüye en uzak (V^-) değerler belirlenerek En iyiden ve en kötüden öklid uzaklıkları hesaplanır.

$$V^+ = (V_1^+, V_1^+, \dots, \dots, V_n^+) \quad (28)$$

$$V^- = (V_1^-, V_1^-, \dots, \dots, V_n^-) \quad (29)$$

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (V_{ij} - V_j^+)^2} \quad (30)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (V_{ij} - V_j^-)^2} \quad (31)$$

Elde edilen değerlerden performans puanına göre büyükten küçüğe göre sıralama yapılır. Elde edilen en büyük değer optimumu verir.

$$CC_i = S_i^- / (S_i^+ + S_i^-) \quad (32)$$

5 Sonuçlar ve Tartışma

Talaşlı imalat yöntemlerinde, üretim esnasında kesici takım ile iş parçası temas halinde oldukları için iş parçası ve takım arasında sürtünme meydana gelmektedir.

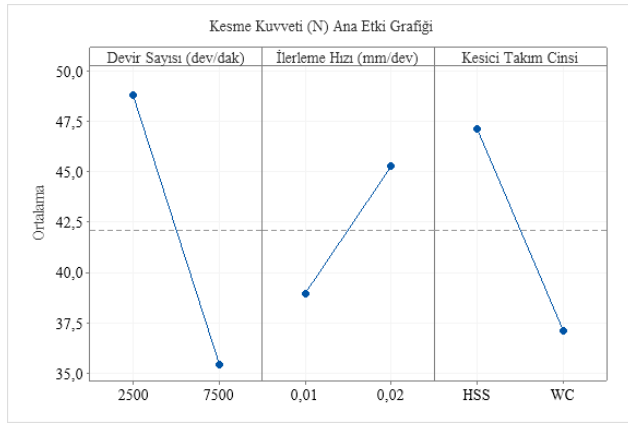
Sürtünme; kesici takım geometrisi, kesme hızı, ilerleme, iş parçası ve kesici takım malzemeleri gibi parametrelerden etkilenmektedir. Bu parametrelerin yanlış seçimi, kesici takıma gelen kuvvetlerin artmasına sebebiyet vererek işlenmiş yüzeyin kalitesini kötüleştirmektedir. Keten fiber takviyeli kompozitlerin farklı parametrelerde frezelenmesinin kesme kuvveti,

deformasyon faktörü ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri araştırılmış. Kesme parametrelerinin kombinasyonuna bağlı olarak deney sayısı sekizdir. Ancak her bir deney üç tekrarlı yapılmıştır. Tekrarlanmış deneysel sonuçlardan elde edilen veriler Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Farklı parametrelerde frezelenen kompozitlerden elde edilen sonuçlar.

Deney No	T	n	u	Sembol	F_K			F_d			R_a		
					r_1	r_2	r_3	r_1	r_2	r_3	r_1	r_2	r_3
1	HSS	2500	0,01	(1)	51,68	52,14	52,84	1,045	1,053	1,061	6,25	6,34	6,37
2		2500	0,02	c	55,42	55,64	57,60	1,065	1,066	1,070	6,34	6,39	6,62
3		7500	0,01	a	36,02	37,84	39,15	1,075	1,083	1,100	5,76	5,79	5,97
4		7500	0,02	ac	41,95	42,40	42,85	1,089	1,095	1,110	5,96	6,10	6,18
5	WC	2500	0,01	b	35,96	36,11	36,50	1,023	1,024	1,025	5,74	5,89	5,95
6		2500	0,02	bc	49,62	50,55	51,42	1,040	1,042	1,047	5,99	6,21	6,31
7		7500	0,01	ab	28,55	29,05	31,71	1,047	1,055	1,054	4,89	5,06	5,11
8		7500	0,02	abc	31,58	32,01	32,05	1,069	1,072	1,075	5,21	5,35	5,73

Deney sonuçları Minitab programında tam faktöriyel deney tasarımı ile modellendiği zaman kesme kuvveti, deformasyon faktörü ve yüzey pürüzlülüğü için elde edilen ortalama ana etki grafikleri sırasıyla Şekil 5-7'deki gibi oluşmuştur.

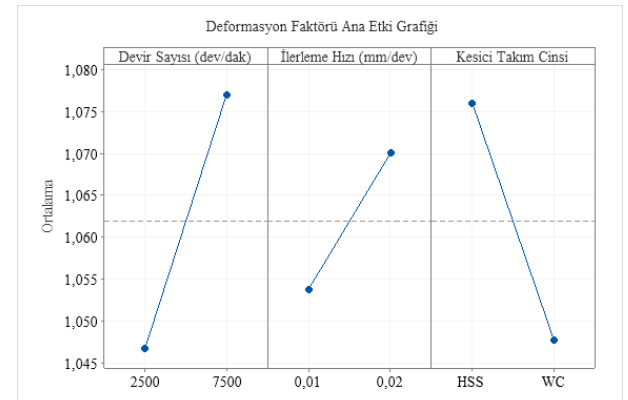


Şekil 5. Kesme parametrelerinin kesme kuvveti üzerine etkileri.

Şekil 5'te, kesme kuvvetinin artan devir sayısı ile azaldığı, artan ilerleme ile arttığı görülmektedir. Ayrıca WC kesici takımlardan elde edilen kesme kuvvetleri, HSS kesici takımlarından daha düşük elde edilmiştir. Devir sayısındaki artış, sürtünmeden dolayı daha yüksek ısı oluşumuna neden olmaktadır. Yüksek ısı, kesme bölgesinde matris malzemesinin yumuşamasına neden olduğu için kesme kuvvetinin düşmesine yol açmıştır. Öte yandan artan ilerleme, birim zamanda kaldırılan talaş hacmini artırır. Bu artış kesme kuvveti üzerinde dinamik bir etki oluşturarak kesme kuvvetini yükseltmiştir [24]. WC takımlarla frezelenen kompozitlerde düşük sürtünme katsayısının oluşması, kesme kuvvetlerinin düşük olarak elde edilmesini sağlarken; HSS takımlarla frezelenen kompozitlerde daha yüksek sürtünme katsayısının oluşması, takımın ilerlemesini zorlaştırarak kesme kuvvetini arttırmıştır. Chegđani ve Mansori (2019), keten fiber takviyeli kompozitlerin frezelenmesinde ilerleme kuvvetinin elde ettiğimiz sonuçlara paralel olarak artan ilerleme ile arttığını, ancak yaptığımız çalışmanın aksine artan kesme hızıyla da arttığını belirtmişlerdir. Bu durumun işleme esnasında oluşan sürtünme katsayısı ile

ilişkili olduğunu ifade etmişlerdir [25]. Ellenberger ve ark. (2021) da benzer sonuçları elde etmişlerdir. Ancak onlar, deneysel çalışmalarda kesme hızlarını oldukça yüksek tutmuşlardır [26].

Şekil 6'daki deformasyon faktörü grafiğinden görüldüğü gibi frezeleme işleminde artan ilerleme ile deformasyon faktörü artmıştır. Bu artış, kesici takımın fiberi kesecek zaman bulamamasından ve ayrıca Şekil 5'te görüldüğü gibi artan ilerleme ile oluşan yüksek kesme kuvvetinin, kesilemeyen fiberleri kanalın dış yüzeyine doğru iterek koparmasından kaynaklanmaktadır. Deformasyon faktöründeki artış yüksek dönme devirlerinde de gözlemlenmiştir. Buradaki artış ise sürtünmeden kaynaklı oluşan ısının matrisi yumuşatmasından ve matris ile fiber arasındaki bağın zayıflamasındandır. Kesici takım açısından deformasyon faktörü değerlendirildiğinde ise daha düşük kesme kuvvetinin elde edildiği WC takımlarda deformasyon faktörü de düşük elde edilmiştir. Babu ve ark. (2013), doğal fiber takviyeli kompozitlerin frezelenmesinde, fiber cinsinin, ilerlemenin ve kesme hızının deformasyon faktörü üzerine etkilerini analiz etmişlerdir. Fiber cinsine bağlı olarak deformasyon faktörünün değişiklik gösterdiğini, kesme hızı arttıkça deformasyon faktörünün azaldığını ve ilerleme arttıkça deformasyon faktörünün arttığını belirtmişlerdir. Düşük bir deformasyon faktörü ve yüzey pürüzlülük değeri için yüksek kesme hızı ve düşük ilerleme değerlerin kullanılması gerektiğini vurgulamışlardır [27].

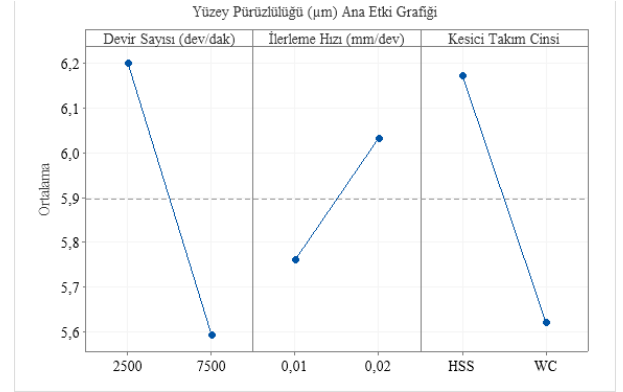


Şekil 6. Kesme parametrelerinin deformasyon faktörü üzerine etkileri.

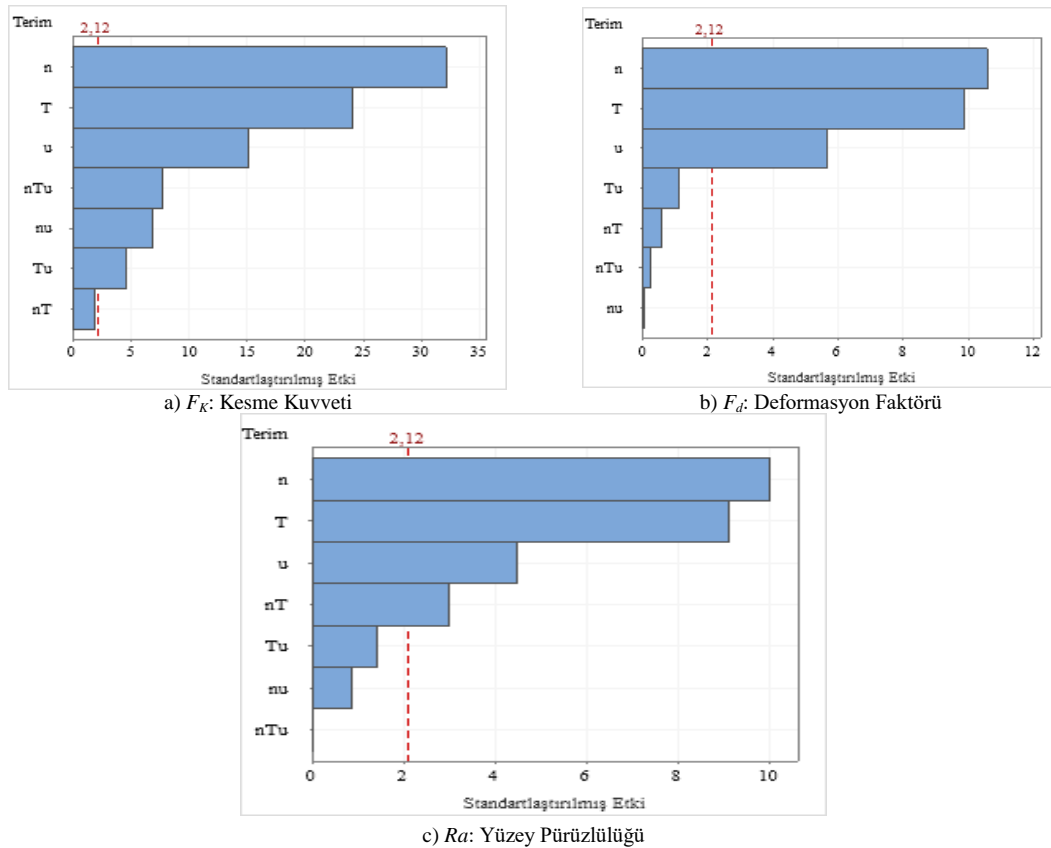
Şekil 7’de, kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerine etki grafiği Şekil 5’te verilen kesme kuvveti gibi benzer eğilim sergilemiştir. Düşük devir sayısı ve yüksek ilerleme yüzey pürüzlülük değerini arttırmıştır. Kesme kuvveti ve deformasyon faktöründe olduğu gibi WC kesici takımında daha iyi yüzey pürüzlülük sonuçları elde edilmiştir. Geleneksel malzemelere göre fiber takviyeli polimer kompozitlerde, yüzey pürüzlülük değerlerinin yüksek çıkması, kesici takımın kesme işleminin her anında farklı elyaf açıları ile karşılaşmasından ve buna bağlı olarak frezelenen yüzeylerde elyaf kopması, uzaması ve bükülmesinden kaynaklanmaktadır. Ancak Chegani ve ark. (2020), farklı oryantasyon açıları ile ürettikleri keten fiber takviyeli kompozitlerin ortogonal kesme işleminde, oryantasyon açısının yüzey pürüzlülüğü üzerinde önemli etkiye sahip olduğunu, kesme hızının ve dolayısıyla devir sayısının artmasıyla oryantasyon açısına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünün artıp veya azalabileceğini belirtmiştir [1]. Yüzey pürüzlülüğü ile ilgili yapılan diğer çalışmalarda ise Davim ve ark. (2009), ilerleme arttıkça yüzey pürüzlülük değerinin arttığını, devir sayısı arttıkça azaldığını belirtmişlerdir [28]. Azmi ve ark. (2016) ise yüzey pürüzlülük üzerine en etkili kesme parametresinin

ilerleme olduğunu, kesme hızının ve talaş derinliğinin yüzey pürüzlülük üzerinde önemli bir etki sergilemediğini ve iyi bir yüzey kalitesi için düşük ilerleme değerinin seçilmesi gerektiğini belirtmişlerdir [29].

Devir sayısı (n), ilerleme (u) ve kesici takım (T) faktörlerinin ve bu faktörlerin etkileşim sonuçlarının kesme kuvveti (F_K), deformasyon faktörü (F_d) ve yüzey pürüzlülüğü (R_a) üzerindeki standartlaştırılmış etkilerinin Pareto grafiği Şekil 8’de verilmiştir.



Şekil 7. Kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri.



n : Devir sayısı (dev/dak), T : Kesici takım cinsi, u : İlerleme (mm/dev)

Şekil 8. Kesme parametrelerinin sonuçlar üzerindeki standartlaştırılmış Pareto grafikleri ($\alpha=0,05$).

Şekil 8’de verilen Pareto grafiğinde, kesme kuvveti için hem faktörler hem de faktörler arası etkileşim kesme kuvveti için önem arz etmektedir. Devir sayısı ve kesici takım etkileşimi (nT) Pareto çizgisinin altında kalarak kesme kuvveti üzerinde önemsiz bir etki sergilemiştir. Deformasyon faktörü için faktörler Pareto çizgisi üzerinde ve faktörler arası etkileşim 2,12 çizgisi altında kalmıştır. Sadece devir sayısı, ilerleme ve kesici takım cinsi

deformasyon faktörü üzerinde önem taşımıştır. Yüzey pürüzlülüğünde ise faktörler ve kesme kuvvetinde göz ardı edilebilen devir sayısı ve kesici takım etkileşimi (nT) Pareto çizgisinin üzerine çıkmıştır. Her ne kadar kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğünde faktörler arası etkileşim Pareto çizgisinin üzerine çıksa da % katkıları oldukça düşük görülmektedir. Bunların % olarak değerleri Tablo 4-6’da verilmiştir.

Tablo 4. Kesme kuvveti (F_K) için faktörlerin ve etkileşimlerinin ANOVA sonuçları.

Kaynak	DF	Adj SS	Adj MS	F-Değeri	P-Değeri	% Katkı
Model	7	2051,92	293,13	282,67	0,000	99,20
Doğrusal	3	1912,91	637,64	614,88	0,000	92,48
n	1	1070,94	1070,94	1032,71	0,000	51,77
u	1	237,76	237,76	229,28	0,000	11,49
T	1	604,21	604,21	582,64	0,000	29,21
2 Yönlü Etkileşimler	3	76,03	25,34	24,44	0,000	3,68
n*u (nu)	1	49,59	49,59	47,82	0,000	2,40
n*T (nT)	1	4,08	4,08	3,94	0,065	0,20
T*u (Tu)	1	22,35	22,35	21,55	0,000	1,08
3 Yönlü Etkileşimler	1	62,99	62,99	60,74	0,000	3,04
n*T*u (nTu)	1	62,99	62,99	60,74	0,000	3,04
Hata	16	16,59	1,04			0,80
Toplam	23	2068,51				100,00

S 1,01834; R-Sq %99,20; R-sq(Adj) %98,85; R-Sq(Prep) %98,20

Tablo 5. Deformasyon faktörü (F_d) için faktörlerin ve etkileşimlerinin ANOVA sonuçları.

Kaynak	DF	Adj SS	Adj MS	F-Değeri	P-Değeri	% Katkı
Model	7	0,011949	0,001707	34,75	0,000	93,83
Doğrusal	3	0,011863	0,003954	80,50	0,000	93,16
n	1	0,005490	0,005490	111,76	0,000	43,11
u	1	0,001584	0,001584	32,25	0,000	12,44
T	1	0,004788	0,004788	97,47	0,000	37,60
2 Yönlü Etkileşimler	3	0,000082	0,000027	0,56	0,651	0,64
n*u (nu)	1	0,000000	0,000000	0,01	0,931	0,00
n*T (nT)	1	0,000018	0,000018	0,37	0,549	0,14
T*u (Tu)	1	0,000063	0,000063	1,29	0,273	0,50
3 Yönlü Etkileşimler	1	0,000003	0,000003	0,07	0,797	0,03
n*T*u (nTu)	1	0,000003	0,000003	0,07	0,797	0,03
Hata	16	0,000786	0,000049			6,17
Toplam	23	0,012735				100,00

S 0,0070089; R-Sq %93,83; R-sq(Adj) %91,13; R-Sq(Prep) %86,11

Tablo 6. Yüzey pürüzlülüğü (R_a) için faktörlerin ve etkileşimlerinin ANOVA sonuçları.

Kaynak	DF	Adj SS	Adj MS	F-Değeri	P-Değeri	% Katkı
Model	7	4,75376	0,67911	30,92	0,000	93,12
Doğrusal	3	4,49141	1,49714	68,17	0,000	87,98
n	1	2,21434	2,21434	100,82	0,000	43,37
u	1	0,44554	0,44554	20,29	0,000	8,73
T	1	1,83154	1,83154	83,39	0,000	35,88
2 Yönlü Etkileşimler	3	0,26231	0,08744	3,98	0,027	5,14
n*u (nu)	1	0,01654	0,01654	0,75	0,398	0,32
n*T (nT)	1	0,19984	0,19984	9,10	0,008	3,91
T*u (Tu)	1	0,04594	0,04594	2,09	0,167	0,90
3 Yönlü Etkileşimler	1	0,00004	0,00004	0,00	0,968	0,00
n*T*u (nTu)	1	0,00004	0,00004	0,00	0,968	0,00
Hata	16	0,35140	0,02196			6,88
Toplam	23	5,10516				100,00

S 0,148198; R-Sq %93,12; R-sq(Adj) %90,11; R-Sq(Prep) %84,51

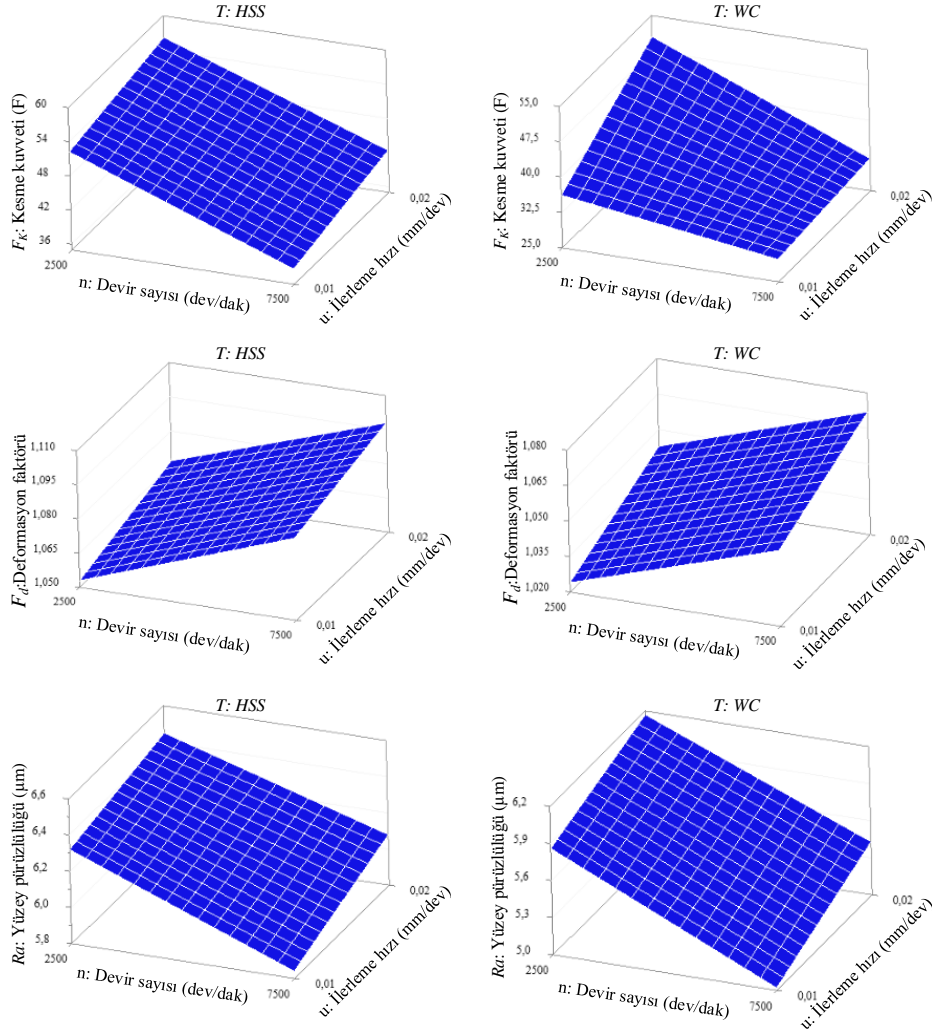
Tablo 4-6'daki ANOVA sonuçları, denklem 1-24'te verilen eşitliklerle hesaplanmaktadır. Elde edilen sonuçlara bağlı olarak Pareto grafiğinin açıklamasında da değinildiği gibi faktörlerin % katkısı, faktörler arası etkileşimden oldukça yüksek meydana gelmiştir. Kesme kuvveti (F_K), deformasyon faktörü (F_d) ve yüzey pürüzlülüğü (R_a) için en büyük katkıya sahip faktör devir sayısı olmuştur. Bunu sırasıyla kesici takım cinsi ve ilerleme takip etmiştir. İlerleme katkı değerinin düşük elde edilmesinin muhtemel nedeni, deneysel çalışmada

değerlerinin oldukça düşük tutulmasından kaynaklanmaktadır. F_K , F_d ve R_a için regresyon katsayı değerleri R^2 sırasıyla 0.9920, 0.9383 ve 0.9312 olarak elde edilmiştir. Bu faktörlerin düzeltilmiş regresyon katsayıları 0.9885, 0.9113 ve 0.9011 iken tahmini regresyon katsayıları 0.9820, 0.8611 ve 0.8451 olarak hesaplanmıştır. Regresyon katsayısı değerlerinin 1'e yakın olması, modellemenin başarılı olduğunu göstermektedir. F_K , F_d ve R_a için elde edilen regresyon eşitlikleri sırasıyla denklem 33-35'te verilmiştir.

$$F_K = 37,40 - 0,000947 * n + 1204,5 * u - 18,46 * T - 0,1150 * nu + 0,002109 * nT + 841,0 * Tu - 0,1296 * nTu \quad (33)$$

$$F_d = 1,0065 + 0,000006 * n + 1,675 * u - 0,0150 * T - 0,000010 * nu - 0,000001 * nT + 0,175 * Tu + 0,000030 * nTu \quad (34)$$

$$Ra = 6,252 - 0,000153 * n + 16,7 * u - 0,232 * T + 0,00210 * nu - 0,000035 * nT + 9,2 * Tu - 0,00010 * nTu \quad (35)$$



Şekil 9. Kesme parametrelerinin F_K , F_d ve Ra üzerindeki etkileri.

Faktöriyel deney tasarımı ile elde edilen sonuçlar Şekil 9'da verilen grafiklerle analiz edildiğinde; en düşük kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve deformasyon faktörü WC kesici takımlarla 0,01mm/dev ilerleme ile frezelenen kompozitlerde elde edilirken, en yüksek ise HSS kesici takımlarla 0,02mm/dev ilerleme ile frezelenen kompozitlerden elde edilmiştir. Ancak devir sayısına bağlı olarak kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve deformasyon faktörü analiz edildiğinde, yüksek devir sayısında kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü düşük,

deformasyon faktörü yüksek, düşük devir sayısında ise tam tersi elde edilmiştir. Optimum kesme parametresinin belirlenmesi ve deney parametrelerinin sıralanması için ideal çözüme benzerlik bakımından sıralama performansı tekniği (TOPSIS) önem taşımaktadır. TOPSIS için deneysel sonuçlardan elde edilen ortalama değerlere (Tablo 7) bağlı olarak denklem 25-31'deki eşitlikler kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır. Tablo 8'de normalize edilmiş deney sonuçları verilmiştir.

Tablo 7. Frezeleme sonucu elde edilen ortalama değerler.

Deney No	T	n	u	F_K	F_d	Ra
				F_{ort}	F_{ort}	F_{ort}
1	HSS	2500	0,01	52,22	1,053	6,32
2		2500	0,02	56,22	1,067	6,45
3		7500	0,01	37,67	1,086	5,84
4		7500	0,02	42,40	1,098	6,08
5	WC	2500	0,01	36,19	1,024	5,86
6		2500	0,02	50,53	1,043	6,17
7		7500	0,01	29,77	1,052	5,02
8		7500	0,02	31,91	1,072	5,43

Tablo 8. Normalize edilmiş deney sonuçları.

Deney No	T	n	u	F_K	F_d	Ra
1	HSS	2500	0,01	0,428206825	0,350521068	0,37788751
2		2500	0,02	0,461007042	0,355181367	0,385660513
3		7500	0,01	0,308896038	0,361506058	0,349187193
4		7500	0,02	0,347682294	0,3655006	0,363537352
5	WC	2500	0,01	0,296759958	0,340867591	0,35038304
6		2500	0,02	0,414348734	0,347192282	0,368918661
7		7500	0,01	0,244115611	0,350188189	0,300157485
8		7500	0,02	0,261663726	0,356845759	0,324672339

F_K , F_d ve Ra'nın ağırlıkları toplamı 1 olacak şekilde sırasıyla 0,3; 0,4 ve 0,3 seçilmiştir. F_d 'ni ağırlık değerinin diğerlerinden daha yüksek belirlenmesinin nedeni montaj hattında daha önemli olmasındandır. Tablo 8'deki normalize edilmiş değerler bu ağırlıklarla çarpılarak iyiye en yakın (V+) ve kötüye en uzak (V-) değerler hesaplanır (Tablo 9).

En iyiden ve en kötüden öklid uzaklıkları belirlenen verilerin performans puanına göre büyükten küçüğe göre sıralama sonuçları yapılarak TOPSIS analizi tamamlanır. Tablo 10'da verilerin öklid uzaklıkları ve sıralama performansı verilmiştir.

Tablo 10'da verilen sıralamaya bağlı olarak en iyi sonuçlar 7 numaralı deneyden, en kötü sonuçlar ise 2 numaralı deneyden elde edilmiştir.

Tablo 9. İyiye en yakın (V+) ve kötüye en uzak (V-) değerler.

Deney No	T	n	u	F_K	F_d	Ra
1	HSS	2500	0,01	0,128462048	0,140208427	0,113366253
2		2500	0,02	0,138302112	0,142072547	0,115698154
3		7500	0,01	0,092668811	0,144602423	0,104756158
4		7500	0,02	0,104304688	0,14620024	0,109061206
5	WC	2500	0,01	0,089027987	0,136347036	0,105114912
6		2500	0,02	0,12430462	0,138876913	0,110675598
7		7500	0,01	0,073234683	0,140075276	0,090047245
8		7500	0,02	0,078499118	0,142738304	0,097401702
V+				0,073234683	0,136347036	0,090047245
V-				0,138302112	0,14620024	0,115698154

Tablo 10. Performans puanına göre sıralama sonuçları

Deney No	T	n	u	Si+	Si-	CCi	Sıralama
1	HSS	2500	0,01	0,060072858	0,011754423	0,163648449	7
2	HSS	2500	0,02	0,070174931	0,004127693	0,055552459	8
3	HSS	7500	0,01	0,025733031	0,046954004	0,645974955	4
4	HSS	7500	0,02	0,037735415	0,034639197	0,478609778	5
5	WC	2500	0,01	0,021828033	0,051352021	0,701721548	3
6	WC	2500	0,02	0,055136809	0,0165767	0,231151705	6
7	WC	7500	0,01	0,003728239	0,070208651	0,949575384	1
8	WC	7500	0,02	0,011074773	0,062635001	0,849751634	2

6 Sonuçlar

Bu çalışmada, keten fiber takviyeli kompozitlerin HSS ve WC kesici takımlarla frezelenmesinde, kesici takım cinsinin, devir sayısının ve ilerlemenin kesme kuvveti, deformasyon faktörü ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri tam faktöriyel deney tasarımı ve TOPSIS yöntemi ile analiz edilmiştir ve elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

Keten fiber takviyeli kompozitlerin frezelenmesinde oluşan kesme kuvveti, deformasyon faktörü ve yüzey pürüzlülük değerleri, devir sayısı, ilerleme ve kesici takım cinsinden etkilenmiştir.

Tam faktöriyel deney tasarımıyla yapılan analizlerde, kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü, devir sayısının artmasıyla azalmış, ilerlemenin artmasıyla artmıştır. Deformasyon faktörü ise hem artan kesme hızı hem de artan ilerleme ile artmıştır. WC kesici takımların sonuçları HSS kesici takımlardan daha iyi elde edilmiştir. Kesme kuvveti, deformasyon faktörü ve yüzey pürüzlülüğü üzerine kesme parametrelerinin % katkısı sırasıyla kesme

hızı, kesici takım cinsi ve ilerleme şeklinde gerçekleşmiştir.

TOPSIS analiziyle optimum deneysel sonuç, WC kesici takımın 7500 dev/dak devir sayısı ve 0,01 mm/dev ilerleme ile doğal kompoziti frezelediği deneylerden elde edilmiştir. En kötü sonuç ise HSS kesici takımın 2500 dev/dak devir sayısı ve 0,02 mm/dev ilerleme ile doğal kompoziti frezelediği deneylerden elde edilmiştir.

Bilgilendirme

Gerçekleştirilen bu çalışmada Etik Kurul Onay belgesine gerek yoktur.

Kaynaklar

- [1] Chegiani F., Takabi B., El Mansori M., Tai B. L., Bukkapatnam S. T., (2020), "Effect of flax fiber orientation on machining behavior and surface finish of natural fiber reinforced polymer composites", *Journal of Manufacturing Processes*, 54: 337-346.

- [2] Bledzki A. K., Faruk O., Sperber V. E. (2006), "Cars from bio-fibres", *Macromolecular Materials and Engineering*, 291(5): 449-457.
- [3] Barreto, A. C. H., Rosa, D. S. (2011), Fehine, P. B. A., Mazzetto, S. E., Properties of sisal fibers treated by alkali solution and their application into cardanol-based biocomposites, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 42(5), 492-500.
- [4] Andersons, J., Joffe, R., (2011), Estimation of tensile strength of an oriented flax fibre reinforced polymer composite, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 42(9), 1229-1235.
- [5] Çelik, Y. H., Alp, M. S., (2020), Determination of milling performance of jute and flax fiber reinforced composites, *Journal of Natural Fibers*, 1-15.
- [6] John, R., Lin, R., Jayaraman, K., Bhattacharyya, D., (2021), Effects of machining parameters on surface quality of composites reinforced with natural fibers, *Materials and Manufacturing Processes*, 36(1), 73-83.
- [7] Çelik, Y. H., Kilickap, E., Kilickap, A. İ., (2019), An experimental study on milling of natural fiber (jute)-reinforced polymer composites, *Journal of Composite Materials*, 53(22), 3127-3137.
- [8] Chegdani, F., Mezghani, S. and Mansori M. E., (2017), Correlation between mechanical scales and analysis scales of topographic signals under milling process of natural fibre composites, *Journal of Composite Materials*, 51(19), 2743-2756.
- [9] Choudhury, M. R., Srinivas, M. S., Debnath, K., (2018), Experimental investigations on drilling of lignocellulosic fiber reinforced composite laminates, *Journal of Manufacturing Processes*, 34, 51-61.
- [10] Vigneshwaran, S., John, K. M., Deepak Joel Johnson, R., Uthayakumar, M., Arumugaprabu, V., Kumaran, S. T., (2021), Conventional and unconventional machining performance of natural fibre-reinforced polymer composites: A review, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 40(15-16), 553-567.
- [11] Tran, D. S., Songmene, V., Ngo, A. D., Kouam, J., Rodriguez-Urbe, A., Misra, M., Mohanty, A. K., (2020), Experimental investigation on machinability of polypropylene reinforced with miscanthus fibers and biochar, *Materials*, 13(5), 1181.
- [12] Azmi, H., Haron, C. C., Zailani, Z. A., Hamidon, R., Bahari, M. S., Zakaria, S., Hamid, S. H. A., (2021), Study the effect of cutting parameter in machining kenaf fiber reinforced plastic composite materials using DOE. In: Bahari, M. S., Harun, A., Zainal Abidin, Z., Hamidon, R., Zakaria, S. (eds) In *Intelligent Manufacturing and Mechatronics*, 401-412, Springer, Singapore, doi: 10.1007/978-981-16-0866-7_35.
- [13] Shagwira, H., Mwema, F. M., Obiko, J. O., Mbuya, T. O., Akinlabi, E. T., (2021), The optimization of the surface roughness of milled polypropylene + 60 wt.% quarry dust composite using the Taguchi technique. In: Awang, M., Emamian, S. S. (eds) *Advances in Material Science and Engineering*, 169-174, Springer, Singapore, doi: 10.1007/978-981-16-3641-7_20.
- [14] Rajendran, A., Paul, B., Shunmugesh, K., (2021), Optimization of milling parameters in jute fiber reinforced epoxy composite using GRA, *Materials Today: Proceedings*, 43, 3951-3955.
- [15] Choudhury, M. R., Rao, G. S., Debnath, K., Mahapatra, R. N., (2021), Analysis of force, temperature, and surface roughness during end milling of green composites, *Journal of Natural Fibers*, 1-15.
- [16] Rashid, M. A. N., Zain, Z. M., Khairushshima, M. N., Noor, W. I., Mullah, M., Khan, S. A., (2021), Analysis and modelling of surface roughness in milling of JFRP composite using central composite design, In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 1092(1), 012013, IOP Publishing.
- [17] Rashid, M. A. N., Zain, Z. M., Khairushshima, M. N., Noor, W. I., Mullah, M., Khan, S. A., (2021), Machinability study of JFRP composite using design of experiment, In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 1092(1), 012014, IOP Publishing.
- [18] Kanwar, S., Singari, R., Butola, R., (2021), Comparison of genetic algorithm and taguchi optimization techniques for surface roughness of natural fiber-reinforced polymer composites, *SAE International Journal of Materials and Manufacturing*, 14(2), 141-151.
- [19] Amarnath, K., Babu, K. J., Kumar, M. S., (2021), Selection of optimal flax fiber reinforced components for experimental investigation by using TOPSIS method, In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1057(1), 012055, IOP Publishing.
- [20] Gardiner, W. P., Gettinby, G., (1998), Experimental design techniques in statistical practice, *Woodhead Publishing*, ISBN: 9781898563358, page: 210.
- [21] Yoon, K. P. and Hwang, C-L, (1995), Multiple attribute decision making: an introduction, *Sage publications*.
- [22] Shanmugam, A., Mohanraj, T., Krishnamurthy, K. and Gur, A. K., 2021, Multi-response optimization on abrasive waterjet machining of glass fiber reinforced plastics using Taguchi method coupled with TOPSIS, *Surface Review and Letters*, 2150120.
- [23] Yuvaraj, N. and Pradeep Kumar, M., (2015), Multiresponse optimization of abrasive water jet cutting process parameters using TOPSIS approach, *Materials and Manufacturing Pocess*, 30 (7), 882-889.
- [24] Çakır, M. C., 1999, Modern talaşlı imalatın esasları, Vipass Yayınları, Bursa, 324 sayfa.
- [25] Chegdani, F., Mansori, M. E., (2019), Tribo-functional effects of double-crossed helix on surface finish, cutting friction and tool wear mechanisms during the milling process of natural fiber composites, *Wear*, 426-427 (Part B), 1507-1514.
- [26] Ellenberger, A., Polli, M. L., Azevedo, E. C., De Lara, A. P., Dos Santos, R. D. O., (2021), End milling of banana stem fiber and polyurethane derived from castor oil composite. *Journal of Natural Fibers*, 18(10), 1491-1500.
- [27] Babu, G. D., Babu, K. S., Gowd, B. U. M., (2013), Effect of machining parameters on milled natural fiber reinforced plastic composites, *Journal of Advanced Mechanical Engineering*, 1, 1-12.
- [28] Davim, J. P., Clemente, V. C., Silva, S., (2009), Surface roughness aspects in milling MDF (medium density fibreboard), *International Journal of advanced Manufacturing Technology*, 49 (1-2), 49-55.
- [29] Azmi, H., Haron, C. H. C., Ghani, J. A., Suhaily, M., Sanuddin, A. B. and Song, J. H., (2016), Study on machinability effect of surface roughness in milling kenaf fiber reinforced plastic composite (unidirectional) using response surface methodology, *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, 11(7), 4761-4766.