

S-Cam Fiber Takviyeli Polimer Kompozitlerin Delinmesinde İşleme Parametrelerinin Etkilerinin Deneysel Olarak İncelenmesi

Zafer Kaya^{1*}, Hakan Mumcu², Murat Koyunbakan²

¹ Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Simav Meslek Yüksek Okulu, Simav/Kütahya, Türkiye

² Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Simav Teknoloji Fakültesi, Simav/Kütahya, Türkiye

MAKALE BİLGİSİ

Alınma: 13.08.2024

Kabul: 28.10.2024

Anahtar Kelimeler:

S-Cam fiber

Delme

Delaminasyon

Ağaç matkabı

Taguchi analizi

Varyans analizi

ÖZET

Fiber takviyeli kompozit malzemeler günümüz endüstrisinin vazgeçilmez malzemeleri arasına girmiştir. Bu malzemeler üretim süreçleri sonrasında tek başlarına ya da montaj yoluyla çoklu olarak kullanılırlar. Montajlı olarak çalışacakları yapı içerisinde üzerine matkaplar ile açılan delikler vasıtasıyla sökülebilir ya da sökülemez olarak birleştirilirler. Bu çalışmada, S-cam fiber takviyeli polimer kompozit malzemenin farklı kesme parametreleri ve farklı çaplardaki ağaç matkapları kullanılarak delinmesi sonucunda oluşan delik kalitesi ve kesme parametrelerinin etkisi araştırılmıştır. Delik kalitesini tanımlamak için delaminasyon ve yüzey pürüzlülüğü (Ra) incelenerek değerlendirilmiştir. Taguchi metodu kullanılarak kesme parametrelerinin delaminasyon ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki ilişkileri analiz edilmiş ve varyans analizi yapılmıştır. Yapılan analizler ile giriş ve çıkış delaminasyon faktörleri için en önemli etken parametre matkap çapı olarak tespit edilmiştir. En düşük yüzey pürüzlülüğü 10 mm çapında matkapla, 40 mm/dak ilerlemede ve 1000 devir/dak devir sayısında yapılan deneylerde ölçülmüştür.

Experimental Investigation of the Effects of Processing Parameters on Drilling of S-Glass Fiber Reinforced Polymer Composites

ARTICLE INFO

Received: 13.08.2024

Accepted: 28.10.2024

Keywords:

S-Glass fiber

Drilling

Delamination

Wood drill

Taguchi analysis

Variance analysis

ABSTRACT

Fiber reinforced composite materials have become one of the indispensable materials of today's industry. These materials are used alone or in multiples through assembly after the production processes. They can be assembled as either removable or non-removable by drilling holes in the structure where they will be installed. In this study, the hole quality resulting from drilling S-glass fiber reinforced polymer composite material using different cutting parameters and wood drills of different diameters and the effect of cutting parameters were investigated. To define the hole quality, delamination and surface roughness (Ra) were examined and evaluated. Using the Taguchi method, the relationships of cutting parameters on delamination and surface roughness were analyzed and variance analysis was performed. The analysis revealed that the most important parameter for input and output delamination factors was determined to be the drill diameter. The lowest surface roughness was measured in experiments performed with 10 mm diameter drill, a feed rate of 40 mm/min and a speed of 1000 rpm.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Fiber takviyeli tabakalı polimer kompozitler geliştirilme olanağına sahip yenilikçi mühendislik malzemeleridir. 1960'lı yıllardan bu yana yüksek performanslı ve hafif bileşenlere olan ihtiyacı karşılamak amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır [1]. Bu malzemelerin kullanımları için diğer mühendislik malzemelerine kıyasla sahip oldukları üstün özellikler bulunmaktadır. Bunlardan bazıları özgül mukavemet, rijitlik, hafiflik ve son şekline yakın üretilebilmeleri sayılabilir [2].

Tabakalı kompozit yapılar her ne kadar son şekline yakın olarak üretilseler de gerekli ölçü tamlığını sağlamak veya çeşitli montaj işlemleri için ikinci bir talaşlı imalat işlemine gereksinim

*Corresponding author, e-mail: zafer.kaya@dpu.edu.tr

To cite this article: Z. Kaya, H. Mumcu, M. Koyunbakan, Experimental Investigation of the Effects of Processing Parameters on Drilling of S-Glass Fiber Reinforced Polymer Composites, Manufacturing Technologies and Applications, 5(3), 214-223, 2024.

<https://doi.org/10.52795/mateca.1549461>, This paper is licensed under a CC BY-NC 4.0

duyulabilmektedir [3]. Fiber takviyeli polimer kompozit malzemelerin işlenebilirlik özelliklerinin araştırılmasına ve beraberinde bu konuyla ilgili bilimsel çalışmalar yoğun olarak devam etmektedir [4]. Fiber takviyeli polimer kompozit malzemelerin üretilmesinde sert fiberler ve yumuşak matris kullanıldığından dolayı işlenebilirliği metallere kıyasla daha zordur ve katman ayrışması gibi birtakım problemlerle karşılaşmaktadır [5]. Meydana gelen hasarların genel nedeni bu malzemelerin anizotropik yapıya sahip olmalarına atfedilebilir [6]. Oluşan hasarların azaltılmasında ve işlenebilirlik çalışmalarının optimum şekilde yapılabilmesi için kesme prosesinin anlaşılması önemlidir [7]. Kompozit yapıların delinmelerinde genellikle konvansiyonel yöntemler kullanılmaktadır [8]. Cam fiber takviyeli polimer kompozit malzemelerin delinmelerinde ortaya çıkan en önemli sorun katman ayrışmasıdır. Polimer kompozitlerin delinmelerinde istenilen iyi yüzey kalitesi ve az katman ayrışması için kesme parametrelerinin uygun olarak seçilmesi gerekmektedir [9]. Kalite kontrol esnasında katman ayrışmasına uğramış parçalar hurdaya ayrılmaktadır. Havacılık endüstrisinde hurdaya ayrılan parça oranı yaklaşık %60'tır [10]. Deliklerin giriş ve çıkış yüzeylerinde farklı deformasyon mekanizmaları meydana gelmektedir. Bunlar delik girişlerinde kıvrılma ve çekilme (peel-up), delik çıkışlarında dışa itme (push-out) şeklinde gözlemlenmektedir [11]. Delik giriş ve çıkış yüzeylerinde oluşan deformasyonun azaltılması yönünde çok sayıda çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarda kesme parametrelerinin deformasyon üzerindeki etkileri deneysel ve analitik olarak incelenmiştir [12–15]. Yapılan çalışmalarda ilerlemenin itme kuvvetleri ve deformasyonlar üzerinde en etkili parametre olduğu belirlenmiştir. Ünüvar ve diğ., katkılı ve katkısız cam fiber takviyeli polimer kompozit malzemelerin delinmelerinde ilerlemenin en önemli faktör olduğunu ve düşük ilerleme kullanımının daha az deformasyon oluşumuna etki ettiğini söylemişlerdir [16]. Benzer sonuçlar farklı çalışmalarda da elde edilmiştir [14,17,18]. Fiber takviyeli polimer kompozit malzemelerin delinmelerinde meydana gelen deformasyonların üzerinde kesme parametreleri kadar matkap geometrisi de etkilidir. Can ve Ünüvar, çalışmalarında delme işleminde farklı matkap uç açıları kullanmışlardır. Değişen matkap geometrisinin itme kuvvetleri ve deformasyon üzerindeki etkilerini incelemişlerdir [19]. Abrao ve diğerleri, farklı kesici takım geometrisi ve malzemeleri ile cam fiber takviyeli polimer kompozit malzemelerin delinmelerinde meydana gelen itme kuvveti ve delaminasyonu araştırmışlardır. Daha düşük uç açısının sonuçlar açısından daha uygun olduğunu tespit etmişlerdir [20]. Ayrıca Koyunbakan ve arkadaşları, farklı çaplardaki ağaç matkapları kullanarak cam fiber takviyeli polimer kompozit malzemeleri delmişler ve meydana gelen itme kuvveti ve deformasyonları incelemişlerdir [21].

Yapılan literatür araştırması değerlendirildiğinde üretim yöntemi, kompozit bileşenleri (reçine ve sertleştirme ajanı ikilisi), katman sayısı gibi özellikleri sebebiyle çalışmanın konusu olan S-cam kompozit diğer fiber takviyeli kompozitlerden (E-cam, Karbon fiber, Aramid vb.) farklılık göstermektedir. Yine literatürde S-cam fiber takviyeli kompozitlerin işleme parametrelerinin araştırılmasında ağaç matkabının kullanımına rastlanmamıştır. Bu çalışmada S-cam fiber takviyeli polimer kompozit malzemelerin işlenebilirlik özellikleri delme deneyleri yapılarak araştırılmıştır. Delme deneyleri farklı kesme parametreleri kullanılarak farklı çaplarda ağaç matkapları ile yapılmıştır. Deneyler sonrası yüzeylerde oluşan delaminasyonlar ve delik yüzeylerindeki yüzey pürüzlülükleri Taguchi metodu ve varyans analizi yapılarak değerlendirilmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)

2.1. Kompozit Levhaların Üretilmesi (Production of Composite Boards)

Ortalama olarak 2 mm kalınlıkta oluşan, 8 tabakalı S-cam kompozit malzeme vakum destekli reçine transfer metodu (VARTM) kullanılarak üretilmiştir. Takviye elemanı olarak kullanılan S-cam kumaşın ağırlığı 190 g/m^2 her bir kumaş tabakasının kalınlığı ise $130 \mu\text{m}$ 'dir. Matris malzemesi iki bileşenden oluşmaktadır. Bunlardan ilki reçine (Hexion MGS L285) ikincisi ise termoset yapının oluşmasında kullanılan sertleştirme ajanıdır (Hexion H287) [22]. Üretimi yapılan S-cam kompozit plakaların mekanik özellikleri daha önce incelenerek yayınlanmış ve bilimsel literatüre kazandırılmıştır. Mekanik testler sonucunda elde edilen malzeme özelliklerinin bir özeti

Tablo 1’de görülmektedir. T_1 çözüğü yönündeki, T_2 atkı yönündeki çekme yükü altında gerilme ve gerinme miktarlarını ifade etmektedir. C_1 çözüğü yönündeki, C_2 ise atkı yönündeki bası yükü altındaki gerilme ve gerinme miktarlarıdır. Ayrıca E_1 çözüğü yönü elastisite modülünü, E_2 ise atkı yönündeki elastisite modülünü belirtmektedir.

Tablo 1. Kompozit plakanın mekanik özellikleri [23] (Mechanical properties of the composite plate)

Çekme deney cihazı çene hızı (mm/dakika)	T_1		T_2		C_1		C_2		E_1 (GPa)	E_2 (GPa)
	Gerilme (MPa)	Gerinme (mm/mm)	Gerilme (MPa)	Gerinme (mm/mm)	Gerilme (MPa)	Gerinme (mm/mm)	Gerilme (MPa)	Gerinme (mm/mm)		
5	364.64	0.0326	336.92	0.0217	314.42	0.098	326.80	0.1199	16.92	17.39

2.2. Delme Deneyleri (Drilling Experiments)

S-cam fiber takviyeli polimer kompozit malzemenin delinme özelliklerinin belirlenmesinde 6-8-10 mm çaplarında BOSCH marka HSS malzemeden üretilmiş 2-608-595-52X koduyla satışı yapılan spiral ağaç matkapları kullanılmıştır. Farklı kesme parametreleri ile delme deneyleri maksimum 18000 dev/dk sahip Skilled 2040 CNC takım tezgahında kuru ortamda gerçekleştirilmiştir. Şekil 1’de, kullanılan takım tezgahı görülmektedir.



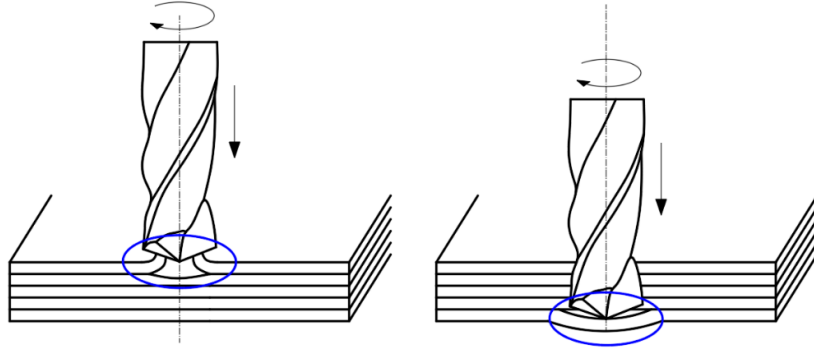
Şekil 1. Skilled 2040 CNC takım tezgahı (Skilled 2040 CNC machine tool)

Deneylerde kullanılan kesme parametreleri Tablo 2’de gösterilmiştir. Kesme parametreleri belirlenirken literatür dikkate alınmıştır. Fiber takviyeli polimer kompozitlerin farklı geometrilere sahip matkap uçları kullanılarak delinmesi üzerine yapılan çalışmalar vardır [2,4,24]. Bu çalışmada farklı bir geometriye ve keskin kesme kenarlarına sahip ağaç matkapları tercih edilmiştir.

Tablo 1. Delme deneyi için kesme parametreleri (Cutting parameters for the drilling test)

Parametreler	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
Devir Sayısı (dev/dak)	1000	1500	2000
İlerleme (mm/dak)	20	40	60
Matkap Çapı (mm)	6	8	10

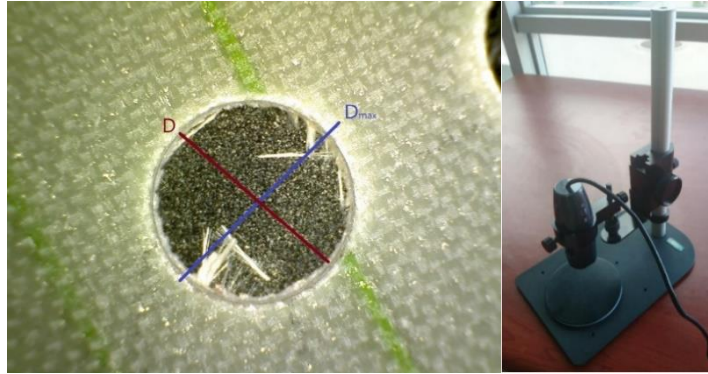
Fiber takviyeli tabakalı polimer kompozitlerin delinmelerinde alt ve üst yüzeylerinde oluşan hasar mekanizması ve delaminasyonun şematik gösterimi Şekil 2’de verilmiştir. Doğal renginden beyaz renge dönüşen deformasyonun belirlenmesinde sıklıkla tahribatsız bir muayene tekniği olan deformasyon faktörü belirlenmesi yöntemi kullanılmaktadır. Delaminasyon faktörü, ölçülen en büyük hasar çapı matkap çapına orantılanarak bulunmaktadır.



Şekil 2. Oluşan delaminasyonu meydana getiren mekanizmanın şematik resmi (Schematic drawing of the mechanism that causes the delamination)

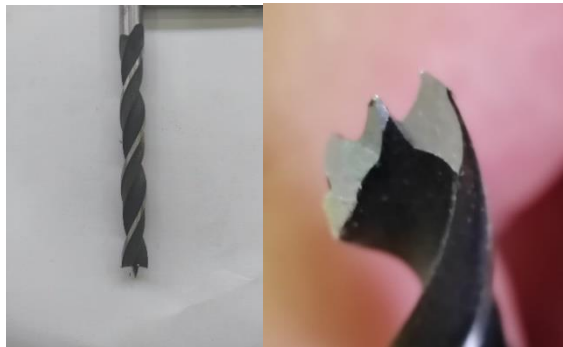
Bu çalışmada delme deneyleri sonrası oluşan yüzey deformasyon hasarlarının tespit edilmesi için Insıze ISM-PM 200SB marka optik mikroskop kullanılmıştır. Matkap ucunun kompozit malzemeye giriş ve çıkış yüzeylerinde delik etrafında oluşan hasarın matkap çapına oranı olarak delaminasyon faktörü tanımlanmış ve aşağıda verilen denklem 1 ile hesaplanmıştır. Burada; F_D - Delaminasyon faktörü, D_{max} - Maksimum hasar çapı, D ise matkap çapıdır [4]. Delaminasyon faktörünün bulunması için kullanılan optik mikroskop ve alınan ölçülerin örneği Şekil 3'te verilmiştir.

$$F_D = \frac{D_{max}}{D} \quad (1)$$



Şekil 3. Optik mikroskop ve deformasyon faktörünün bulunması (Optical microscope and finding the deformation factor)

Delme deneylerinde kullanılan matkap uçlarının görünümü Şekil 4'te verilmiştir. Delme deneyleri L27 (3³) ortogonal deney tasarımı kullanılarak yapılmıştır. MİNİTAB 17 ile Taguchi metodu kullanılarak kesme parametrelerinin işlenebilirlik üzerine olan etkileri tespit edilmiştir. Ayrıca varyans analizi (ANOVA) yapılarak bağımsız değişkenlerin (deney parametreleri) bağımlı değişkenler (ölçülen sonuçlar) üzerindeki etkileri belirlenmiştir.



Şekil 4. Kesici takım (Cutting tool)

2.3. Yüzey Pürüzlülüğü (Surface Roughness)

Yüzey pürüzlülüğü ölçümü Time TR200 (Time Group Inc., China) marka ve model cihaz ile yapılmıştır. Bu cihaz iğne taramalı yöntem ile ölçüm yapmaktadır. Kompozit plaka kalınlığının az olması sebebiyle 0.25 mm örnekleme uzunluğu alınmıştır. Yüzey pürüzlülükleri $\pm 0.01 \mu\text{m}$ hassasiyetle ölçülmüştür. Cihaz üzerinden prob hızı 10 mm/dk olarak ayarlanmıştır. Ölçüm iğnesinin çapı $4 \mu\text{m}$ ve iğne ucu 90° 'dir. Ölçüm ortamının $18-22^\circ\text{C}$ sıcaklıkta ve titreşimsiz olmasına özen gösterilmiştir. Ölçme cihazı ölçümden önce kalibre edilmiş ve kalibrasyon 5 ölçümde bir kontrol edilmiştir (Şekil 5).



Şekil 5. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı (Surface roughness measuring device)

Sonuçların analizinde Dr. Genichi Taguchi tarafından geliştirilen metot kullanılmıştır. Taguchi metodunda analiz yapılırken S/N oranı olarak bilinen bir istatistiksel performans ölçüsü kullanılmaktadır. Sonuçlar sinyal/gürültü oranına (S/N) çevrilmektedir. S/N oranındaki S sinyal faktörünü, N ise gürültü faktörünü ifade etmektedir [25]. S/N oranı, üç temel performans karakteristiğine göre bulunmaktadır. S-cam fiber takviyeli kompozit malzemelerin delinmelerinde deformasyon faktörünün ve yüzey pürüzlülüğünün az olması istendiğinden S/N oranı için “daha küçük-daha iyisi” performans karakteristiği seçilmiştir. S/N oranlarının hesaplanmasında kullanılan Denklem 2 aşağıda verilmiştir [26]. Deney tasarımı ve istatistiksel analizler, Taguchi metoduna göre Minitab 17 yazılımı ile yapılmıştır.

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

3. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Genel olarak fiber takviyeli kompozit malzemelerin delinmelerinde kesme parametrelerinin etkileri bilinmektedir ancak matkap geometrisinin etkileri için aynı şeyi söylemek oldukça zordur [27]. Bu çalışmada S-cam fiber takviyeli polimer kompozit malzemelere farklı kesme parametreleri ile farklı çaplarda ağaç matkapları kullanılarak delme deneyleri yapılmıştır. Deneyler sonrası meydana gelen giriş ve çıkış yüzeylerindeki delaminasyon faktörleri hesaplanmıştır. Ayrıca delik duvarlarındaki yüzey pürüzlülükleri tespit edilmiştir. Deney tasarımı ve sonuçlar Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 2. L27 (3³) delme işlemi için ortogonal deney tasarımı ve sonuçlar (Orthogonal experimental design and results for L27 (3³) drilling process)

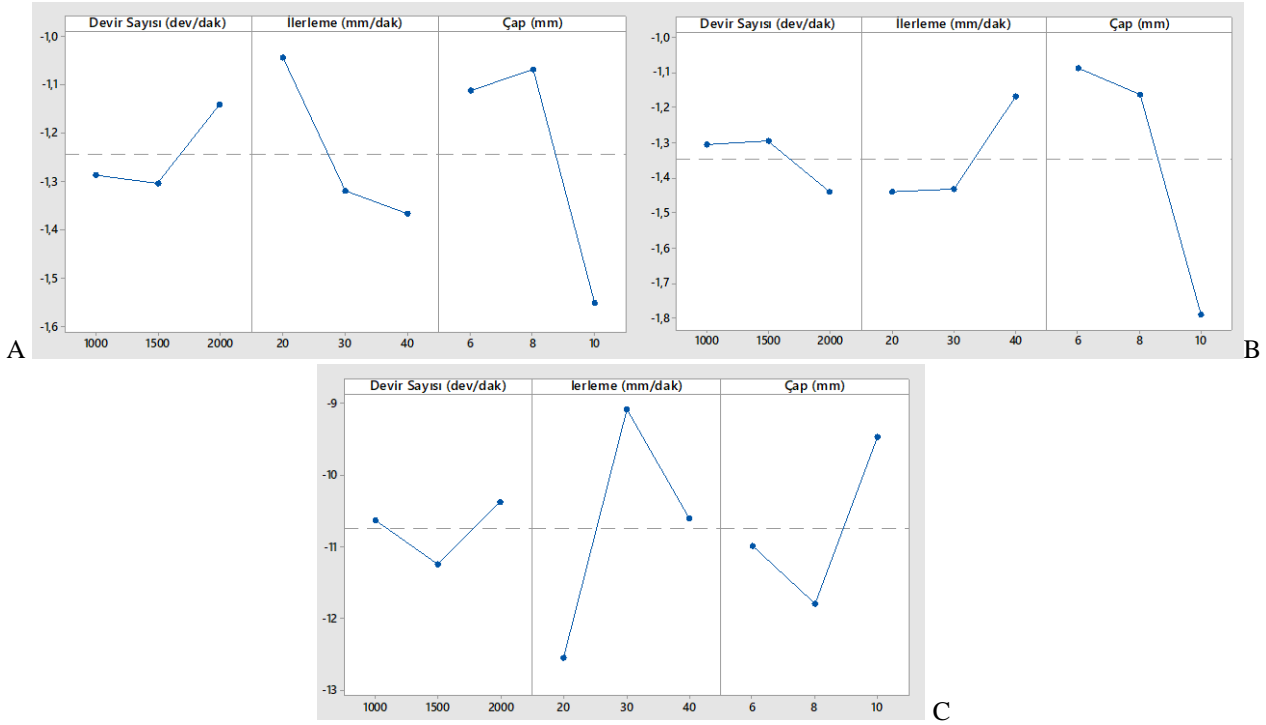
Deney No	Devir Sayısı (dev/dak)/ Kesme Hızı (m/dak)	İlerleme (mm/dak)	Matkap Çapı (mm)	Yüzey pürüzlülüğü (Ra, μ m)	Giriş Delaminasyon Faktörü	Çıkış Delaminasyon Faktörü
1	1000 /18.84	20	6	5.103	1.13391	1.11960
2	1000 /18.84	20	6	4.323	1.14754	1.15072
3	1000 /18.84	20	6	4.301	1.16296	1.14040
4	1000 /25.13	60	8	3.311	1.13193	1.14928
5	1000 /25.13	60	8	3.405	1.11668	1.14648
6	1000 /25.13	60	8	3.228	1.14499	1.16069
7	1000 /31.41	40	10	3.676	1.15906	1.22916
8	1000 /31.41	40	10	1.053	1.34013	1.20823
9	1000 /31.41	40	10	2.319	1.10276	1.15618
10	1500 /37.69	20	8	5.71	1.12460	1.14702
11	1500 /37.69	20	8	3.87	1.10982	1.15757
12	1500 /37.69	20	8	3.721	1.16930	1.14282
13	1500 /47.12	60	10	2.273	1.29631	1.20789
14	1500 /47.12	60	10	2.328	1.20421	1.33137
15	1500 /47.12	60	10	3.534	1.15802	1.14225
16	1500 /28.27	40	6	4.24	1.17856	1.10963
17	1500 /28.27	40	6	4.35	1.11882	1.13227
18	1500 /28.27	40	6	2.813	1.17444	1.07880
19	2000 /62.83	20	10	3.925	1.11396	1.24848
20	2000 /62.83	20	10	3.879	1.14754	1.16554
21	2000 /62.83	20	10	3.164	1.13376	1.35596
22	2000 /37.69	60	6	2.6	1.12614	1.14021
23	2000 /37.69	60	6	2.47	1.13722	1.13502
24	2000 /37.69	60	6	2.455	1.16431	1.19530
25	2000 /50.26	40	8	2.998	1.13023	1.13448
26	2000 /50.26	40	8	4.844	1.13377	1.13689
27	2000 /50.26	40	8	3.66	1.13391	1.11375

Sonuçlar incelendiğinde genel olarak giriş delaminasyon faktörlerinin çıkış delaminasyon faktörlerinden daha az olduğu görülmektedir. Kesme parametrelerinin delaminasyonlar üzerinde etkili oldukları görülmekte ve ilerlemenin artması ile oluşan deformasyonların arttığı söylenebilir. Delme deneylerinde kullanılan ağaç matkaplarının sahip oldukları profil nedeni ile giriş deformasyon faktörlerinin çıkış deformasyon faktörlerinden daha az olduğu düşünülmektedir. Çıkış deformasyonunun daha fazla çıkmasında matkap ucunda bulunan merkezleme yapan ucun etkisi vardır. Matkap ucunun geometrisinin en altta bulunan tabakaya uyguladığı baskı kuvveti fazla olmakta ve deformasyona zorlamaktadır. Benzer sonuçlar Koyunbakan ve arkadaşları tarafından da elde edilmiştir [21].

Giriş, çıkış delaminasyon faktörleri ve yüzey pürüzlülüğü S/N oranları için ana etki grafikleri Şekil 6'da, cevap tablosu ise Tablo 4'te verilmiştir. Tablo 4 incelendiğinde giriş ve çıkış delaminasyon faktörü için matkap çapının en önemli parametre olduğu görülmektedir. Yüzey pürüzlülüğü için Tablo 3 incelendiğinde en düşük yüzey pürüzlülüğü 10 mm matkap çapı, 40 mm/dak ilerleme ve 1000 devir/dak devir sayısında elde edilmiştir. Tablo 4'te S/N oranları cevap tablosunda yüzey pürüzlülüğü için en etkin parametrenin ilerleme olduğu görülmektedir. İlerlemenin artması tabakalı kompozitlerin işlenmesinde genellikle deformasyon faktörlerini artırmaktadır. Literatürde yapılan kompozit malzemelerin işlenebilirliği çalışmalarında ilerlemenin en önemli faktör olduğu görülmektedir [28].

Tablo 3. S/N oranları için cevap tablosu (Response table for S/N ratios)

Seviye	Giriş delaminasyonu			Çıkış Delaminasyonu			Yüzey pürüzlülüğü		
	Devir Sayısı (dev/dk)	İlerleme (mm/dk)	Matkap Çapı (mm)	Devir Sayısı (dev/dk)	İlerleme (mm/dk)	Matkap Çapı (mm)	Devir Sayısı (dev/dk)	İlerleme (mm/dk)	Matkap Çapı (mm)
1	-1.286	-1.045	-1.112	-1.305	-1.441	-1.089	-10.629	-12.550	-10.990
2	-1.305	-1.349	-1.068	-1.296	-1.431	-1.162	-11.238	-9.087	-11.788
3	-1.140	-1.367	-1.551	-1.439	-1.168	-1.789	-10.377	-10.608	-9.466
Fark	0.168	0.323	0.483	0.144	0.273	0.700	0.861	3.463	2.322
Derecesi	3	2	1	3	2	1	3	1	2



Şekil 6. S/N oranları için ana etki grafikleri; A-Giriş deformasyon, B-Çıkış deformasyon, C-Yüzey pürüzlülüğü

Deleminasyon faktörleri ve yüzey pürüzlülüğü sonuçları için ayrıca varyans analizi yapılmış ve kesme parametrelerinin sonuçlara olan katkıları tespit edilmiştir. Tablo 5'te S/N oranı için varyans analizi tablosu görülmektedir. S/N oranlarının her bir parametre için büyük olduğu değerler optimal faktör kombinasyonunu vermektedir [29]. Herhangi bir faktörün yüzde dağılımı, o faktörün karelerinin toplamının tüm faktörlerin karelerinin toplamına oranı ile elde edilir [30]. Buna göre Tablo 5 incelendiğinde giriş ve çıkış delaminasyon faktörü açısından en fazla katkıyı sırasıyla %62.18 ve %82.63 ile matkap çapı yapmıştır. Devir sayısı parametresinin sonuçlar üzerinde önemli bir katkı sağlamadığı bulunmuştur. Yüzey pürüzlülüğü sonuçları açısından en fazla etkili parametre %56.73 ile ilerleme olurken, matkap çapı %26.22 etkiye sahiptir. Düşük ilerleme olması durumunda sürtünmenin fazla olduğu düşünülmektedir. Bu nedenle yüzey pürüzlülüğü için ilerlemenin orta ve yüksek seviyeleri uygundur [31]. Yüzey pürüzlülüğüne devir sayısının etkisi giriş ve çıkış deleminasyon faktörleri sonuçlarında olduğu gibi az çıkmıştır. Fakat bunun yanında yüksek devir sayısının yüzey pürüzlülüğünü olumlu yönde etkilediği yönünde çalışmalar da mevcuttur [32-33].

Tablo 4. S/N oranı için varyans analizi tablosu

Kaynak	SD	Kareler Toplamı			Düzeltilmiş Ortalama Kareler			F-Oranı			% Katkı		
		GDF	ÇDF	Ra	GDC	ÇDF	Ra	GDF	ÇDF	Ra	GDF	ÇDF	Ra
Devir Sayısı	2	0.04873	0.03870	1.176	0.0243	0.01935	0.588	1.66	9.64	0.28	7.09	3.59	3.69
İlerleme	2	0.18175	0.14401	18.073	0.0908	0.07200	9.036	6.20	35.85	4.25	26.45	13.39	56.73
Matkap Çapı	2	0.42724	0.88871	8.353	0.2136	0.44435	4.176	14.58	221.24	1.96	62.18	82.63	26.22
Hata	2	0.02930	0.00402	4.253	0.0146	0.00200	2.126						
Toplam	8	0.68702	1.07544	31.856									

SD: Serbestlik Derecesi, GDF: Giriş Delaminasyon Faktörü, ÇDF: Çıkış Delaminasyon Faktörü, Ra: Yüzey Pürüzlülüğü

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

S-cam fiber takviyeli polimer kompozit malzemelerin ağaç matkabı ile delinmelerinde kesme parametrelerinin ve matkap çapının giriş/çıkış delaminasyon faktörleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkilerinin incelendiği bir deneysel çalışma yapılmış ve bu parametrelerin sonuçlar üzerindeki etkilerinin analizi için Taguchi metodu kullanılmıştır. Yapılan analizlere dayalı olarak sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

- İlerleme ve matkap çapının değişimi giriş/çıkış deformasyonunu etkilemektedir.
- Taguchi metodu ile yapılan analizlerde “en küçük en iyidir” kuralına göre giriş delaminasyon faktörleri açısından ilerleme %26.45 ve matkap çapı %62.18 etkili oldukları belirlenmiştir.
- Çıkış delaminasyon faktörü açısından ise ilerleme %13.39 ve matkap çapı %82.63 etkili oldukları belirlenmiştir.
- İlerlemenin düşük ve matkap çapının az olması delaminasyonu azaltmaktadır.
- Delaminasyon faktörü ve yüzey pürüzlülüğü üzerine devir sayısının doğrusal bir etkisi gözlenmedi. Giriş delaminasyon faktörü ve yüzey pürüzlülüğü için yüksek devir sayısı etkin parametreyken, çıkış delaminasyon faktörü için orta seviye devir sayısı etkin parametre olmuştur.
- Yüzey pürüzlülüğü için en fazla etkiye sahip parametrenin %56.73 ile ilerleme olduğu belirlenmiştir. Delaminasyon faktörleri sonuçlarından farklı olarak seçilen parametreler açısından yüksek devir sayısı, orta seviye ilerleme ve büyük matkap çapı yüzey pürüzlülüğü için uygun parametrelerdir.
- Giriş delaminasyon faktörü için en küçük değer 1.10276 ile 1000 dev/dak devir sayısı, 40 mm/dak ilerleme ve 10 mm çapında matkapla elde edilmiştir. Çıkış delaminasyon faktörü için de benzer inceleme yapıldığında 1500 dev/dak devir sayısı, 40 mm/dak ilerleme ve 6 mm matkap çapı ile 1.0788 olarak tespit edilmiştir. Son olarak yüzey pürüzlülüğü için sonuçlar incelendiğinde en iyi yüzey kalitesi Ra=1.053 µm olarak bulunmuştur.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENT)

Yazarlar deneylerin yapılmasında katkılarından dolayı lisans öğrencilerine teşekkür ederler.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. A.I. Azmi, R.J.T. Lin, D. Bhattacharyya, Experimental study of machinability of GFRP composites by end milling, *Materials and Manufacturing Processes*, 27(10): 1045-1050, 2012.
2. V.A. Nagarajan, S. Sundaram, K. Thyagarajan, J. Selwin Rajadurai, T.P.D. Rajan, Measuring delamination severity of glass fiber-reinforced epoxy composites during drilling process, *Experimental Techniques*, 37(2): 66-73, 2013.
3. S. Morkavuk, U. Köklü, M. Bağcı, L. Gemi, Cryogenic machining of carbon fiber reinforced plastic (CFRP) composites and the effects of cryogenic treatment on tensile properties: A comparative study, *Composites Part B: Engineering*, 147: 1-11, 2018.
4. E. Kilickap, Optimization of cutting parameters on delamination based on Taguchi method during drilling of GFRP composite, *Expert Systems with Applications*, 37(8): 6116-6122, 2010.

5. J.P. Davim, P. Reis, Drilling carbon fiber reinforced plastics manufactured by autoclave—experimental and statistical study, *Materials & Design*, 24(5): 315-324, 2003.
6. C.-J. Tzeng, Y.-H. Lin, Y.-K. Yang, M.-C. Jeng, Optimization of turning operations with multiple performance characteristics using the Taguchi method and Grey relational analysis, *Journal of Materials Processing Technology*, 209(6): 2753-2759, 2009.
7. S.J. Dastin, in *Joining and Machining Techniques*, ed. by George Lubin, Springer US, Boston, Handbook of Composites. Springer US; 1982.
8. C.C. Tsao, Experimental study of drilling composite materials with step-core drill, *Materials & Design*, 29(9): 1740-1744, 2008.
9. Y.-K. Yang, J.-R. Shie, C.-H. Huang, Optimization of dry machining parameters for high-purity graphite in end-milling process, *Materials and Manufacturing Processes*, 21(8): 832-837, 2006.
10. U.A. Khashaba, I.A. El-Sonbaty, A.I. Selmy, A.A. Megahed, Machinability analysis in drilling woven GFR/epoxy composites: Part II – Effect of drill wear, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 41(9): 1130-1137, 2010.
11. I. El-Sonbaty, U.A. Khashaba, T. Machaly, Factors affecting the machinability of GFR/epoxy composites, *Composite Structures*, 63(3-4): 329-338, 2004.
12. H. Hocheng, C.C. Tsao, Comprehensive analysis of delamination in drilling of composite materials with various drill bits, *Journal of Materials Processing Technology*, 140(1-3):335-339, 2003.
13. J.P. Davim, P. Reis, C. Conceição António, Drilling fiber reinforced plastics (FRPs) manufactured by hand lay-up: influence of matrix (Viopal VUP 9731 and ATLAC 382-05), *Journal of Materials Processing Technology*, 155-156: 1828-1833, 2004.
14. J.P. Davim, P. Reis, C. C. António, Experimental study of drilling glass fiber reinforced plastics (GFRP) manufactured by hand lay-up, *Composites Science and Technology*, 64(2): 289-297, 2004.
15. U. A. Khashaba, Delamination in drilling GFR-thermoset composites, *Composite Structures*, 63(3-4): 313-327, 2004.
16. A. Ünüvar, M. Koyunbakan, M. Bağcı, Optimization and effects of machining parameters on delamination in drilling of pure and Al₂O₃/SiO₂-added GFRP composites, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 119(1-2): 657-675, 2022.
17. A. Gupta, R. Vaishya, R. Kumar, K. L. A. Khan, S. Chhabra, A. Singh Verma, A. Bharadwaj, Effect of drilling process parameters on delamination factor in drilling of pultruded glass fiber reinforced polymer composite, *Materials Today: Proceedings*, 64: 1290-1294, 2022.
18. N. S. Mohan, S. M. Kulkarni, A. Ramachandra, Delamination analysis in drilling process of glass fiber reinforced plastic (GFRP) composite materials, *Journal of Materials Processing Technology*, 186(1-3): 265-271, 2007.
19. A. Can, A. Ünüvar, Optimization of process parameters in drilling of SMC composites using Taguchi method, *Tehnicki vjesnik - Technical Gazette*, 24(2): 435, 2017.
20. A. M. Abrão, J. C. C. Rubio, P. E. Faria, J. P. Davim, The effect of cutting tool geometry on thrust force and delamination when drilling glass fibre reinforced plastic composite, *Materials & Design*, 29(2): 508-513, 2008.
21. M. Koyunbakan, A. Ünüvar, V. Eskizeybek, A. Avcı, CETP kompozitlerin ağaç matkabilıyla delinme performanslarının deneysel incelenmesi, *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 10(2): 770-776, 2021.
22. Z. Kaya, H. E. Balcioglu, H. Gün, Single edge crack fracture behavior of S2 glass/epoxy under different temperature, strain rate and crack length, *Research on Engineering Structures and Materials*, 7(2): 297-314, 2021.
23. Z. Kaya, H. Ersen, H. Gün, The strain rate and temperature effects on the static and dynamic properties of S2 glass / epoxy composites, *Applied Physics A*, 126(8): 1-15, 2020.
24. Y. Fedai, Karbon nano tüp katkılı cam elyaf takviyeli kompozit malzemenin delme parametrelerinin Taguchi tabanlı Critic-CoCoSo yöntemleriyle optimizasyonu, *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7(2): 729-750, 2024.
25. F. Kara, O. Özbek, M. Kam, H. Saruhan, AISI 4140 ıslah çeliğinin tornalanmasında yüzey pürüzlülüğü ve titreşimin taguchi metodu ile optimizasyonu, *International Academic Research Congress*, 1132-1140, 2017.
26. A. Kaçal, M. Gülesin, Determination of optimal cutting conditions in finish turning of austempered ductile iron using Taguchi design method, *Journal Of Scientific & Industrial Research*, 70(4): 278-283, 2011.
27. L. Gemi, S. Morkavuk, U. Köklü, D.S. Gemi, An experimental study on the effects of various drill types

- on drilling performance of GFRP composite pipes and damage formation, *Composites Part B: Engineering*, 172: 186-194, 2019.
28. H.B. Kaybal, A. Ünüvar, M. Koyunbakan, A. Avcı, A novelty optimization approach for drilling of CFRP nanocomposite laminates, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 100: 2995-3012, 2019.
 29. T.N. Valarmathi, K. Palanikumar, B. Latha, Measurement and analysis of thrust force in drilling of particle board (PB) composite panels, *Measurement*, 46(3): 1220-1230, 2013.
 30. H. Tanyıldızı, A. Coşkun, Varyans analizi (ANOVA) yöntemi ile silis dumanı katkılı hafif betonun mekanik özelliklerine deney parametrelerinin etkilerinin belirlenmesi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 29(3): 227-233, 2013.
 31. A. Genç, F. Yıldırım, M. Koyunbakan, S. H. Yetgin, V. Eskizeybek, G. Kuş, Investigation of drilling performance of reinforced polyamide 6 polymer composite, *Konya Journal of Engineering Sciences*, 11(1): 160-179, 2023.
 32. F. Ceritbinmez, A. Yapıcı, E. Kanca, The effect of nanoparticle additive on surface milling in glass fiber reinforced composite structures, *Polymers and Polymer Composites*, 29(9): 575-585, 2021.
 33. G. Uslu, M. Demirhan, N. Yaşar, M. E. Korkmaz, Influence of glass fiber ratio on machining characteristics of PA66 polymer for aerospace applications, *Manufacturing Technologies and Applications*, 3(1): 59-66, 2022.