

## **KOMPAKT LAMİNAT KOMPOZİTLERİN PARMAK FREZE İLE DELİNMESİNDE TAKIM AŞINMASININ YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ VE BOYUTSAL TAMLIK ÜZERİNE ETKİLERİ**

Tuncay BİLGE<sup>1</sup> Ali Riza MOTORCU<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale Teknik Bilimler M.Y.O., Malzeme ve Malzeme İşleme Teknolojileri Bölümü, 17020, Çanakkale, TÜRKİYE

<sup>2</sup> Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 17100, Çanakkale, TÜRKİYE

tuncaybilge@comu.edu.tr, armotorcu@comu.edu.tr

**Özet-**Kompak laminat kompozit (KLK) malzemelerin delinmesinde yoğun olarak kullanılan kesici takımlardan biri de parmak frezeler olup bu takımlar yüksek işleme oranları sergilemektedirler. Kesici takım aşınması delik kalitesini de etkileyen önemli bir unsurdur. Aşınmış takımlarla delme prosesini sürdürmek bileşenlerin montajını güçleştirmektedir. Bu çalışmada, ön delik delinmiş KLK plakalar üzerinde aşınmamış ve aşınmış (yan kenar aşınması kriteri  $V_b=0.3$  mm ve üzeri) parmak freze takımlarla işleme deneyleri yapılmış, takım aşınmasının ve delme parametrelerinin (delme tipi, kesme hızı ve ilerleme miktarı) delik yüzey bütünlüğü (delik çapı boyutsal tamlığı ve yüzey pürüzlülüğü) üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Varyans analizi ile delme parametrelerinin yüzey bütünlüğü üzerindeki % katkıları belirlenmiş ve aşınmamış/aşınmış takımlarla delme işlemleri için delme parametrelerinin optimal seviyeleri belirlenmiştir. Deneysel çalışma sonuçlarının istatistiki değerlendirmelerine göre; boyutsal tamlık üzerinde en etkili parametreler sırasıyla kesici takım (yaklaşık %57) ve kesme hızı (yaklaşık %22) olmuş iken yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili parametreler kesici takım (yaklaşık %85) ve delme tipi (yaklaşık % 5) olmuştur. Aşınmamış parmak freze takımlarıyla yüksek kesme hızlarında ve düşük ilerleme miktarlarında sürekli delme işlemi yapıldığında nominal ölçüye daha yakın delik çapları elde edilmişken aşınmamış takımlarla düşük kesme hızı ve düşük ilerleme miktarlarında kademeli delik delme işlemi yapıldığında deliklerin yüzey kalitesi iyileşmiştir.

**Anahtar Kelimeler-** Kompakt laminat kompozit, Delik delme, Parmak freze, Boyutsal tamlık, Yüzey pürüzlülüğü.

## **EFFECT OF TOOL WEAR ON THE SURFACE ROUGHNESS AND DIMENSIONAL ACCURACY IN THE DRILLING OF COMPACT LAMINATE COMPOSITES WITH END MILL**

*Bu makale, 4. Uluslararası Mobilya ve Dekorasyon Kongresi'nde sunulmuş ve İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi'nde yayınlanmak üzere seçilmiştir.*

**Abstract-**One of the cutting tools commonly used in the drilling of compact laminate (KLK) material is end mills, which exhibit high material removal rates. Cutting tool wear is also an important factor affecting hole quality. Continuing the drilling process with worn tools makes it difficult to assemble of components. In this study, machining experiments were carried out on pre-drilled KLK plates with unworn and worn end mill tools (flank wear criterion  $V_b=0.3$  mm or more) and, the effects of cutting tool wear and drilling parameters (drilling type, cutting speed and feed rate) on the hole surface integrity (dimensional accuracy of hole diameter and surface roughness) were investigated. The % contributions of the drilling parameters on the surface integrity were determined by the variance analysis and the optimal levels of the drilling parameters were determined for the drilling operations using unworn and worn tools. According to statistical evaluations of experimental study results; the most effective parameters on the surface roughness were the cutting tool (approx. 85%) and the drilling type (approx. 5%) while the most effective parameters on dimensional accuracy were the cutting tool (approx. 57%) and the cutting speed (approx. 22%), respectively. While the hole diameters at closer to the nominal dimension are obtained during continuous drilling using unworn end mill tools at the high cutting speeds and low feed rates, the surface quality of the holes improved during step drilling with the worn end mill tools at the low cutting speed and low feed rates.

**Key Words-** Compact laminated composite, Drilling, End mill, Dimensional accuracy, Surface roughness.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kompakt laminat kompozit (KLK) malzemeler darbelere, yangına, suya ve neme dayanıklılık özelliklerinin yanısıra çürümeme, bakteri barındırmama ve kolaylıkla temizlenebilme özellikleri sayesinde yapı inşaat sektörü ile mobilya ve dekorasyon uygulamalarında geniş bir kullanım alanı bulmuştur. Tabaka halindeki KLK'lerin işlenmesinde kullanılan yöntemlerden biri olan delik delme tüm işleme operasyonlarının yaklaşık üçte birini kapsamaktadır. KLK'lar üzerine delinmiş deliklerin istenilen boyutsal tamlıkta ve yüzey kalitesinde, delaminasyonsuz bir şekilde delinmesi parçaların montajı, fonksiyonelliği, kullanım amacı, kullanım süresi, görsel kısıtlar vd. açısından oldukça önemlidir. Delme tipi, takım aşınması, delme parametreleri, titreşim, kesici takım tipi ve geometrisi vd. unsurlar deliklerin boyutsal tamlığını ve kalitesini etkilemektedir. İmalat işlemlerinde Bilgisayar Destekli Tasarım/Üretim/Tezgahlar'ın (CAD/CAM/CNC) birlikte kullanılır olması delme operasyonlarının farklı delme tipleriyle gerçekleşmesine olanak sağlamıştır. Bunlardan; talaş atılımını kolaylaştırarak takım ömrünü uzatan kademeli delik delme operasyonu çevrim olarak CAM programlarında yerini almıştır. Takım aşınmasının işlenebilirlik üzerine etkileri bilinmesine rağmen pratikte kesici takım katastrofik aşınmaya maruz kalıncaya/takım ömrünü yitirinceye kadar kesmeye devam edilmektedir. Diğer taraftan, uygun seçilmeyen delme parametreleri kalitesiz delikler üretmenin sebebidir. Metal matrisli kompozitler (MMK), karbon elyaf takviyeli polimer kompozitler (CFRP), cam elyaf takviyeli polimer kompozitler (GFRP), lamine kompozitler (LK) vd.'nin üretim ve uygulama alanı arttıkça bu malzemelerin işlenebilirliklerinin değerlendirilmesine yönelik araştırmalar da önemini korumaktadır. Karpat vd. CFRP laminatların kaplamasız karbür ve elmas kaplı karbür matkapla delinmesinde matkap geometrisinin delme performansı üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Yüksek ilerleme miktarlarında, bu malzemelerin delinmesinde delik çap toleransının delik çıkış delaminasyonundan daha kritik olduğu gözlemlenmiştir [1]. Krishnaraj vd. tarafından yapılan çalışmada, ince CFRP laminatların K20

karbür matkaplarla delinmesinde delme parametrelerinin delik çapı, dairesellik, soyma delaminasyonu ve dışarı doğru itme delaminasyonu üzerindeki etkileri araştırılmıştır [2]. Giasin vd. cam alüminyum takviyeli epoksi (GLARE) elyaf-metal laminatların delinmesi sırasında kriyojenik soğutmanın ve minimum miktarda yağlamanın (MQL) etkisini, kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü, kesici takım kondisyonu ve işleme sonrası mikrosertlik açısından araştırmışlardır. Kuru delik işleme ile karşılaştırıldığında, her ikisi de, işlenmiş deliklerin yüzey pürüzlülüğünü azaltmıştır [3]. Shyha vd. ince, CFRP laminata küçük delikler delinmesinde matkap geometrisinin ve delme koşullarının takım ömrü ve delik kalitesi üzerindeki etkisini değerlendirmiştir. Matkap geometrisi ve ilerleme miktarı genel olarak ölçülen bu çıktılar üzerinde en büyük etkiye sahip olmuştur [4]. Rawat ve Attia tarafından yapılan çalışmada devir sayıları ve ilerleme miktarlarının delaminasyon, yüzey pürüzlülüğü, elyaf çekilmesi, termal hasar, delik daireselliği ve delik çapı hatalarına olan etkileri İşlenebilirlik Haritaları kavramı kullanılarak oluşturulmuştur. Sonuçlar takım aşınmasının kaliteye etkisinin, itme ve kesme kuvvetlerinde meydana gelen değişikliklerle belirlenebileceğini göstermiştir [5]. Khashaba vd. doküma cam elyaf takviyeli epoksi (GFRE) kompozitlerin işlenmesinde işleme parametrelerinin itme kuvveti, delaminasyon boyutu ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini araştırmışlardır. İncelenen kesme parametreleri aralığında delaminasyon gözlenmemiştir [6]. Durão vd. KL'lerin farklı matkap uç geometrileri ve ilerleme miktarında delinmesi üzerine karşılaştırmalı bir araştırma sunmuştur. Çalışmada, itme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve delaminasyon değerlendirilmiştir. Çalışmada, matkap ucu geometrisi veya ilerleme miktarının uygun kombinasyonu ile delaminasyon hasarının azaltılacağı belirtilmektedir [7]. Xu vd. T800S/250F CFRP laminatın CVD kaplı helisel matkap ve CVD kaplı kama tip matkaplarla işlenebilirliğini delme kuvvetleri, çapak kusurları, delik duvar yüzeyi morfolojisi ve delaminasyon hasarı açısından değerlendirmişlerdir. İlerleme miktarı yüzey pürüzlülüğünü etkileyen en önemli faktör olarak tespit edilmiş ve bunu iş mili devir sayısının takip etmiştir [8]. Shyha vd. tarafından yapılan çalışmada CFRP laminata karbür kademeli matkaplarla 1.5 mm çaplı delikler delinerek itme kuvveti, tork, delaminasyon ve delik çapı değerlendirilmiştir. Delik giriş ve çıkışında ölçülen delaminasyon faktörü sırasıyla yaklaşık olarak 1.2-1.8 ve 1.0-2.1 arasında değişmiştir [9]. Rao ve Rodrigues tarafından yapılan araştırma çalışmasının amacı, HSS helisel matkaplarla GFRP kompozit laminatları delerken delme faktörlerini kontrol etmek ve malzeme yüzey kalitesi üzerindeki önemini analiz etmektir. Çalışmanın sonuçları, yüzey kalitesini etkileyen en önemli faktörün matkap çapı olduğunu ve bunu matkap ilerleme miktarı ile devir sayısının takip ettiğini göstermiştir [10]. Sofuoğlu İskoç çamından yapılmış masif ahşap panellerin işlenmesinde yüzey pürüzlülüğü üzerine beş işleme parametresinin etkilerini değerlendirmiştir. Minimum yüzey pürüzlülüğü için optimum kesme şartları, 16.000 dev/dak devir sayısı, 1000 mm/dak ilerleme miktarı ve 4 mm derinlikli bir takım temizleme stratejisi olarak tespit edilmiştir [11]. El-Hofy vd. kesme parametreleri, takım malzemesi ve kesme ortamının yüzey pürüzlülüğü ve işlenmiş CFRP laminatlarının bütünlüğü üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Çalışmada, kaplamalı karbür takıma kıyasla PCD takım kullanımının yüzey pürüzlülüğünü önemli ölçüde iyileştireceği belirtilmektedir [12]. Nurhaniza vd. CFRP'nin PCD takım ile parmak frezelemesinde işleme parametrelerinin yüzey kalitesi üzerindeki etkilerini analiz etmişlerdir. Daha iyi yüzey kalitesi için optimal kesme parametreleri kombinasyonu yüksek kesme hızı, düşük ilerleme miktarı ve düşük kesme derinliği olarak belirlenmiştir [13]. Azmi vd. GFRP kompozitlerin kaplamalı karbür takımlarla işlenebilirliğini takım aşınması, takım ömrü, parça işleme kalitesi ve işleme kuvvetleri açısından araştırmışlardır. Çalışmada, takım performansını tahmin etmek için işlenebilirlik verileri Taylor denklemi şeklinde değerlendirilmiştir [14]. Suntaların frezelemesi sırasında talaş çıkartma sisteminin verimliliği Pałubicki ve Rogoziński tarafından yapılan çalışmada sunulmuştur. Araştırma sonucunda talaş çıkartma sisteminin verimliliği frezeleme moduna bağlı bulunmuştur [15]. Doğal elyaf takviyeli plastik (NFRP) kompozitlerin karbür parmak frezelerle frezelenmesinde kesme parametrelerinin delaminasyon faktörü ve yüzey pürüzlülüğü altındaki liflere etkisi Babu vd. tarafından araştırılmış ve delaminasyon faktörü ve yüzey pürüzlülüğü için kesme hızı ve ilerleme miktarı ile bağlantılı modeller sunulmuştur [16]. Bilge vd. tarafından yapılan çalışmada KLK

malzemenin yeni ve aşınmamış tungsten karbür matkaplarla delinmesinde delme parametrelerinin delik çıkış bölgesindeki delaminasyona etkileri araştırılmıştır. KLK malzemenin aşınmış takımlarla delinmesinde delaminasyon faktörü daha büyük değerlerde çıkmıştır [17]. Bu araştırmanın tamamlayıcısı olarak bir diğer çalışmalarında Bilge vd. KLK'nın yeni ve aşınmış HSS matkaplarla delinmesinde delme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Yeni takımlar aşınmış takımlara göre %75 daha iyi delik yüzey kalitesi sağlamıştır. Araştırmada ayrıca, yüzey pürüzlülüğünün tahmini için tahminsel denklemler de geliştirilmiştir [18]. Yukarıda incelenen çalışmalar değerlendirildiğinde; laminat/lamine edilmiş malzeme/kompozit malzeme olarak CFRP [1, 2, 4, 8, 9, 13], GFRP [10, 14], GFRE [6] GLARE [3], NFRP/masif/sunta/orman ürünü/KLK [7, 11, 15-18] malzemelerin çalışılmış olduğu ve en çok HSS [10, 18], kaplamasız karbür [1, 2, 16, 17], kaplamalı karbür [1, 10, 12, 14], PCD [12, 13] takımlarla işlendiği görülmektedir. Bağımsız değişkenler/kontrol faktörleri olarak; delme parametreleri (kesme hızı, ilerleme miktarı, devir sayısı vd.) [1-18], matkap geometrisi [4], takım malzemesi [12] ve kesme ortamı/soğutma şekli [3, 12] seçilmiş ve bu faktörlerin delik çapı [1, 2, 5, 9], dairesellik [2, 5], mikrosertlik [3], delaminasyon [1, 2, 5-9, 16, 17], kesme/delme/itme kuvveti [3, 6-9, 14], yüzey pürüzlülüğü/yüzey morfolojisi [3-8, 10-14, 16, 18], takım kondisyonu [3], tork [9], çapak kusurları [8], takım ömrü/takım aşınması [4, 14], termal hasar [5] ve elyaf çekilmesi [5] üzerine etkileri araştırılmıştır. Yukarıda bir bölümü sunulan literatürün değerlendirmesinden KLK malzemelerin işlenebilirliği üzerine oldukça kısıtlı çalışmaların yapılmış olduğu görülmektedir.

Bu çalışmanın amacı, KLK malzemelerin yeni ve aşınmış takımlarla delinmesinde delme tipi ve delme parametrelerinin delik çapı boyutsal tamlığı ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkilerini sistematik bir yaklaşımla belirlemektir. Deneysel çalışma sonucunda elde edilen bulgu ve sonuçların ilgili sektörel uygulamalara ve akademik çalışmalara katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

## 2. YÖNTEM (METHOD)

Delme deneylerinde iş parçası malzemesi olarak 300x100x12 mm boyutlarında EN 438-2 standardı, CGS sınıfı, eğilme modülü 9000 Mpa, eğilme dayanımı min 80 MPa çekme dayanımı 60 MPa olan standart KLK numuneler kullanılmıştır (Şekil 1.a). KLK malzeme fiziksel ve kimyasal özellikleri sebebiyle eğitim kurumları, spor salonları, sağlık kurumları, hava alanları, alışveriş merkezlerinin duvar kaplamalarında, tuvalet kabinlerinde, soyunma dolaplarında ve mobilya ve dekorasyon alanlarında kullanılmaktadır [17, 18]. İş parçası numunelerini Tablo 1'de verilen kontrol faktörlerinin farklı seviyelerinde boydan boya delmek için altlık malzeme ve bağlama kalıbı hazırlanmış ve kullanılmıştır (Şekil 1.a).

KLK'lerin CNC tezgahlarda işlenmesinde HSS ve karbür takımlar kullanılmakta olup işleme parametrelerinin seçimi mesleki deneyimlere ya da kesici takım firmalarının katalog önerilerine göre yapılmaktadır. Bu takımlarla talaş kaldırmada temel sorunlardan biri de kesici takımların ömürlerinin aşularak yüksek aşınma oranlarıyla kullanılmaya devam edilmesidir [17]. Aşınmış takım kullanmanın parçaların kalitesine yansımalarının olacağı bilindiği halde kesici takımlarla iş parçaları işlenmeye devam edilmektedir. Bu çalışmanın amacı aşınmış takımlarla işlemeyi sürdürmenin delik çapı boyutsal tamlığı ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini değerlendirmektir. Delik delme deneylerinde, ROYCE AYR firmasına ait Tervelli R 60-12004 kodlu tungsten karbür kalitesine sahip Ø12.7 x 76.2 mm yeni ve aşınmış düz parmak frezesi takımlar ve bu takımlara uygun takım tutucu kullanılmıştır (Şekil 1.b). Bu kesici takımlar, KLK, kaplamalı ağaç ve ağaç kompozit malzemelerin işlenmesinde üst ve alt yüzeylerin bitirme kalitesinin kritik olduğu işlemlerde (delik delme ve büyütme, cep işleme, kanal açma vd.) tercih edilmektedir [17]. KLK ürünlerin seri imalatında yoğun olarak kullanılan bu düz parmak frezeler seçilerek takımların kesme kenarları x1000 büyütme yapabilen, 0.001 mm

hassasiyetinde ölçümler yapabilen portatif Dino Lyte optik mikroskop altında incelenmiştir. Takımların kesme kenar ve yüzeylerinde yapılan takım aşınması incelemelerinde, köşe ve serbest/yan kenar aşınması  $V_b=0.3-0.5$  mm aralığında olduğu hassas olarak ölçülmüş olan 18 adet parmak freze aşınmış takım olarak deneylerde kullanılmak üzere ayrılmıştır.

Delme deneyleri motor gücü 9 kW, maksimum devir sayısı 24000 dev/dk olan 3 eksenli AES RAPTOR 2128 CNC dik işleme merkezi kullanılmıştır (Şekil 1.c).

CNC takım tezgahı üzerinde yürütülen deneysel çalışmalar Şekil 1.d ve e’de gösterilmektedir. Taguchi Metodu’na göre, Tablo 1’den verilen kesici takım (yeni ve aşınmış takım), delme tipi (sürekli/doğrusal delik delme ve kademeli delik delme) ve delme parametreleri (kesme hızı, ilerleme miktarı) kontrol faktörleri olarak seçilmiş ve bu kontrol faktörlerinin seviyelerine göre serbestlik derecesi gözetilerek  $L_{36}$  ( $2^2 \times 3^3$ ) ortogonal deney düzeni belirlenmiştir (Şekil 1.d). Delme deneyleri için  $L_{36}$  ortogonal dizi gözetilerek uygun bir CNC program yazılmıştır. Delme deneyleri öncesi  $\varnothing 8$  mm çapında HSS helisel matkapla ön delikler delinmiştir. Daha sonra  $\varnothing 12.7$  mm çapındaki yeni ve aşınmış takımlar kullanılarak doğrusal delik delme ve kademeli delik delme operasyonları ile nihai delikler delinmiştir (Şekil 1.e). 12 mm kalınlığındaki KLK malzeme üzerine kademeli delik delme ile delikler delinirken kesici takım referans alınan iş parçası üst yüzeyinden  $z=+10$  mm güvenli mesafede delmeye başlamış ve -z yönünde  $Q=5$  mm delerek talaşı atmak için emniyet mesafesine geri gelmiş ve tekrar -z yönünde bu sefer  $Q=5+5$  mm ilerleyerek ikinci talaşı kaldırmış ve bir önceki işlemleri tekrar etmiştir. Doğrusal delik delme işlemlerinde ise matkap iş parçası üst yüzeyinden  $z=+10$  mm güvenli mesafeden delik delmeye başlamış ve iş parçasının alt yüzeyinden 8 mm dışarıya çıkıncaya kadar delmeye devam edilerek delikler elde edilmiştir. Her deneye yeni bir kesici takım ile başlanılmıştır [17].

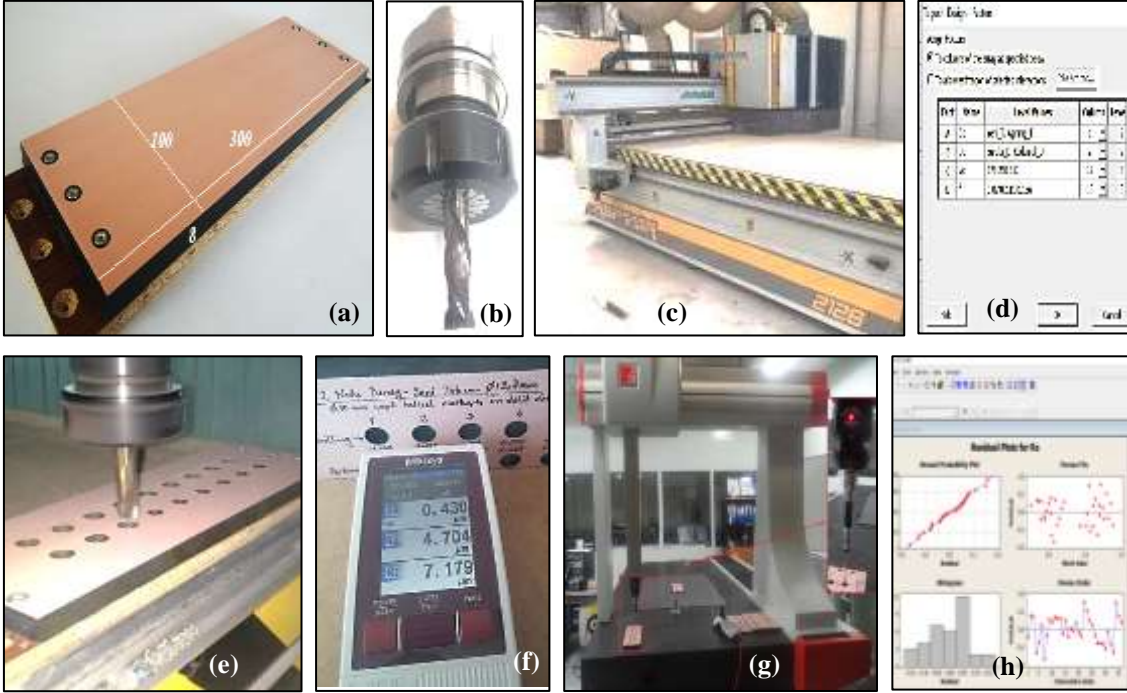
Yüzey pürüzlülük ölçümlerinde Şekil 1.f’de görülen Mitutoyo SurfTest SJ-210 taşınabilir yüzey pürüzlülük cihazı kullanılmıştır. Yüzey pürüzlülüklerinin ölçümünde ortalama yüzey pürüzlülük değeri ( $R_a$ ) ölçümü esas alınmıştır. Ölçme işlemine geçmeden önce yüzey pürüzlülük cihazı  $R_a$  pürüzlülük değeri önceden bilinen bir kalibrasyon bloğu ile kalibre edilmiştir. Örneklem uzunluğu  $\lambda_c=0.8$  mm alınmıştır. Ölçülecek yüzey uzunluğu (L) örneklem uzunluğunun en az 5 katı olacağından 4 mm olarak seçilmiştir. Her delikte ölçüm yapılırken iş parçası ölçüm yapılan delik ekseninde eşit açılarda döndürülerek 7 ölçüm alınmış ve elde edilen sonuçlar veri tablosuna kayıt edilerek ortalaması alınmıştır.

Delinmiş deliklerin çap boyutsal tamlığı nominal çap  $\varnothing 12.7$  mm’den daha küçük ya da daha büyük delik çaplarının ölçümleri COORD3 marka üç boyutlu koordinat ölçüm (CMM) tezgahında yapılmıştır (Şekil 1.g). Deliklerin üst yüzeyinden itibaren 2 mm, 6 mm ve 10 mm yüksekliklerde olmak üzere 36 adet delik üzerinden ikişer ölçüm alınarak toplam 216 (36 delik x 3 farklı yükseklik x 2 farklı açıda ölçüm=216 ölçüm) alınmıştır. 36 adet delik için alınan boyutsal tamlık ölçümleri gözden geçirilerek birbirine en yakın üç ölçüm sonucu değerlendirmeye alınmıştır. KLK’nin delinmesinde delik çapı boyutsal tamlığı kalite karakteristiği sinyal/gürültü (S/N) oranları dB cinsinden “Nominal daha iyi” yaklaşımına göre, yüzey pürüzlülüğü kalite karakteristiği ise “Daha küçük daha iyi” yaklaşımına göre hesaplanmıştır (Şekil 1.h). Kontrol faktörlerinin ana etkileri ise % 95 güven seviyesinde gerçekleştirilen Varyans Analizi (ANOVA) ile belirlenmiştir.

**Tablo 1.** Kontrol faktörleri ve seviyeleri. (Control factors and their levels)

Sembol	Kontrol Faktörleri	Birim	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
A	Kesici Takım (Ct)	-	Yeni Takım	Aşınmış Takım	
B	Delme Tipi, (Dt)	-	Doğrusal delik delme	Kademeli delik delme	-
C	Kesme Hızı, (Vc)	m/dak	178	250	350

D	İlerleme Miktarı, (f)	mm/dev	0.07	0.111	0.156
---	-----------------------	--------	------	-------	-------



**Şekil 1.** Deneysel prosedür. a) İş Parçası, b) Kesici takım ve takım tutucu, c) CNC tezgah, d) Deney tasarımı, e) Delme deneyleri, f) Yüzey pürüzlülük ölçümleri g) Çap boyutsal tamlık ölçümü h) İstatistiksel çözümlenme (Experimental procedure. a)Workpiece, b)Cutting tool and tool holder, c) CNC machine tool, d) Experimental design, e) Drilling experiments, f) Surface roughness measurement, g) Diameter dimensional accuracy measurement, h) Statistical evaluation.)

### 3. BULGULAR (FINDINGS)

KLK'nın yeni ve aşınmış düz parmak freze takımlarla delme parametrelerinin farklı seviyelerinde sürekli ve kademeli delik delinmesinde elde edilen delik çapı boyutsal tamlık ( $D_a$ ) ve  $R_a$  yüzey pürüzlülük ölçümlerinin ( $R_a$ ) aritmetik ortalama değerleri Tablo 2'de sunulmuştur.  $D_a$  ve  $R_a$  aritmetik ortalamaları Minitab 16.1 istatistik programında çözümlenmiştir. Tablo 2'de görüleceği üzere; yeni ve aşınmış takımların herikisinde de nominal delik çapı 12.7 mm'den daha küçük delik çapları elde edilmiştir. Bu durum KLK'nın malzeme yapısına bağlanmıştır. KLK, birçok tabakadan oluşan sodyum kraft kâğıtlarının fenolik reçine ile empenye edilmesiyle ana katmanı, melamin reçinesi emdirilmiş dekoratif kâğıtlarla da üst tabakaları oluşturulan çok tabakalı panellerdir. Delme işlemi tamamlandıktan sonra delme sürecinde oluşan sıcaklıkla ısınan iş parçası matris ve takviye malzemesinin mikron seviyesinde serbest kalması sonucu daha küçük delik çaplarının oluştuğu düşünülmektedir. Kontrol faktörlerinin farklı seviyelerinde yapılan tüm delme işlemlerinde nominal çaptan yaklaşık -0.04 mm daha düşük delik çapları elde edilmiştir. KLK'nın karbür takımlarla elde edilen bu delik çapı boyutsal tamlıktan sapma değerinin oldukça düşük ve tatmin edici olduğunu söylemek mümkündür. Bilge vd. tarafından yapılan çalışmada aynı malzemenin HSS helisel matkaplarla delinmesinde nominal çaptan ( $\varnothing 12.0$ ) yaklaşık + 0.3 mm daha büyük delik çapları elde edilmiştir. Buradan kaplamasız karbür parmak frezelerin HSS helisel matkaplara göre çap boyutsal tamlığı sağlamada daha üstün performans sergilediğini söylemek mümkündür. Diğer taraftan; KLK'nın parmak freze ile delinmesinde elde edilen  $R_a$  değerleri 0.294  $\mu\text{m}$  - 1.402  $\mu\text{m}$  aralığında (ortalama 0.832  $\mu\text{m}$ ) elde edilmiştir.

Bilge vd. tarafından yapılan çalışmada, aynı malzeme KLK'nın aynı kesme şartlarında HSS helisel matkaplarla delinmesi sonrasında ölçülen Ra yüzey pürüzlülük değerleri ortalaması yeni takımlar için 2.525  $\mu\text{m}$ , aşınmış takımlar için ise 4.416  $\mu\text{m}$ 'dir [18]. Dolayısıyla HSS helisel matkaplarla kıyaslandığında KLK'nın yeni kaplamasız karbür takımlarla delinmesinde yaklaşık %500, aşınmış kaplamasız karbür takımlarla delinmesinde ise yaklaşık %375 daha iyi delik yüzey kaliteleri elde edilmiştir [18]. Yüzey kalitesindeki bu iyileşme aynı zamanda kesici takım malzemesi ve geometrisine de atfedilebilir.

**Tablo 2.** Da ve Ra için deneysel sonuçlar (Experimental results for Da ve Ra)

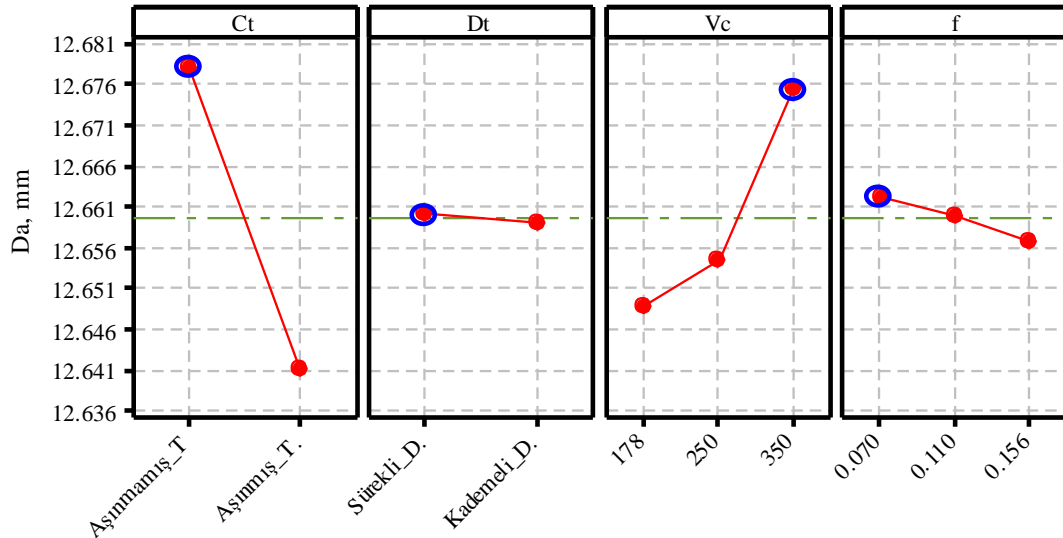
D.N.	Ct	Dt	Vc (m/dak)	f (mm/dev)	Da (mm)	Ra ( $\mu\text{m}$ )
1	Aşınmamış T.	Sürekli D. D.	178	0.070	12.6787	0.397
2	Aşınmamış T.	Sürekli D. D.	178	0.110	12.6777	0.603
3	Aşınmamış T.	Sürekli D. D.	178	0.156	12.6752	0.651
4	Aşınmamış T.	Sürekli D. D.	250	0.070	12.6797	0.403
5	Aşınmamış T.	Sürekli D. D.	250	0.110	12.6772	0.545
6	Aşınmamış T.	Sürekli D. D.	250	0.156	12.6748	0.699
7	Aşınmamış T.	Sürekli D. D.	350	0.070	12.6788	0.399
8	Aşınmamış T.	Sürekli D. D.	350	0.110	12.6772	0.615
9	Aşınmamış T.	Sürekli D. D.	350	0.156	12.6760	0.764
10	Aşınmamış T.	Kademeli D.D.	178	0.070	12.6796	0.294
11	Aşınmamış T.	Kademeli D.D.	178	0.110	12.6783	0.405
12	Aşınmamış T.	Kademeli D.D.	178	0.156	12.6757	0.455
13	Aşınmamış T.	Kademeli D.D.	250	0.070	12.6787	0.411
14	Aşınmamış T.	Kademeli D.D.	250	0.110	12.6783	0.407
15	Aşınmamış T.	Kademeli D.D.	250	0.156	12.6775	0.540
16	Aşınmamış T.	Kademeli D.D.	350	0.070	12.6821	0.340
17	Aşınmamış T.	Kademeli D.D.	350	0.110	12.6807	0.470
18	Aşınmamış T.	Kademeli D.D.	350	0.156	12.6801	0.511
19	Aşınmış T.	Sürekli D. D.	178	0.070	12.6235	1.152
20	Aşınmış T.	Sürekli D. D.	178	0.110	12.6209	1.179
21	Aşınmış T.	Sürekli D. D.	178	0.156	12.6174	1.218
22	Aşınmış T.	Sürekli D. D.	250	0.070	12.6373	1.366
23	Aşınmış T.	Sürekli D. D.	250	0.110	12.6351	1.397
24	Aşınmış T.	Sürekli D. D.	250	0.156	12.6276	1.402
25	Aşınmış T.	Sürekli D. D.	350	0.070	12.6816	1.268
26	Aşınmış T.	Sürekli D. D.	350	0.110	12.6762	1.289
27	Aşınmış T.	Sürekli D. D.	350	0.156	12.6676	1.306
28	Aşınmış T.	Kademeli D.D.	178	0.070	12.6214	0.850
29	Aşınmış T.	Kademeli D.D.	178	0.110	12.6196	0.933
30	Aşınmış T.	Kademeli D.D.	178	0.156	12.6180	0.961
31	Aşınmış T.	Kademeli D.D.	250	0.070	12.6311	1.013
32	Aşınmış T.	Kademeli D.D.	250	0.110	12.6304	1.024
33	Aşınmış T.	Kademeli D.D.	250	0.156	12.6284	1.037
34	Aşınmış T.	Kademeli D.D.	350	0.070	12.6756	1.205
35	Aşınmış T.	Kademeli D.D.	350	0.110	12.6667	1.211
36	Aşınmış T.	Kademeli D.D.	350	0.156	12.6635	1.235
Maksimum					12.6821	1.402
Minimum					12.6174	0.294
Ortalama					12.6597	0.832

### 3.1. Boyutsal Tamlık (Dimensional Accuracy)

Kontrol faktörlerinin delik çapı boyutsal tamlığı (Da) üzerindeki etkilerini gösteren ana etki grafikleri Şekil 2'de verilmiştir. Yeni takımlarla nominal çapa ( $\varnothing 12.7$  mm) daha yakın değerler (çap ölçüsel tamlığının daha iyi olması) elde edilmiştir (Şekil 2). Bu durum yeni takımların aşınmış takımlara göre daha keskin kenar ve köşe geometrisine sahip olmasına atfedilebilir. Kim vd. tarafından yapılan çalışmada aşınmış takımlarla nominal çaptan daha küçük delik çaplarının elde edilmesinin sebebi takımların aşınmış olmasına atfedilmektedir [19]. KLLK'nın yeni ya da aşınmış düz parmak freze ile farklı delme tipinde delinmesinin (sürekli/doğrusal delme veya kademeli delme) Da üzerinde belirgin bir etkisi gözlenmemiştir. Bilge vd.'nin yaptığı çalışmada aynı malzemenin HSS matkaplarla delinmesinde, delme tipi yeni takımlarla delmede yaklaşık % 20 ve aşınmış takımlarla delmede ise yaklaşık %12.5 etkili olmuştur.

KLLK'nın karbür düz parmak freze ile delinmesinde kesici takımdan sonra etkili diğer parametrenin kesme hızı olduğu Şekil 2'den anlaşılmaktadır. Kesme hızının artışına bağlı olarak nominal çapa yakın oldukça yüksek boyutsal tamlıkta delik çapları elde edilmiştir. Yüksek kesme hızında devir sayısı artmaktadır. Artan devir sayısı sonucunda oluşan sürtünme kaynaklı ısı oluşumu takıma göre oldukça düşük sertlikte olan iş parçası matris malzemesi olan reçinenin ergiyerek kesme bölgesine sıvanmasına sebep olmakta ve bu da delik çaplarının (düşük kesme hızlarında delmeye göre) yaklaşık +0.03 mm daha büyük çıkmasını sağlamaktadır [2].

Yine, Şekil 2'den görüleceği üzere; ilerleme miktarı artışına bağlı olarak nominal çap değerine daha uzak delik çapları elde edilmiştir. Bunun sebebi kesici takımın daha düşük ilerleme miktarlarında delme işlemini sürdürürken takım kesme kenarı ve köşesinin delik duvar yüzeyine daha fazla teması sebebiyle delik duvar yüzeyindeki iş parçası malzemesinin daha iyi temizlenmesine atfedilebilir. KLLK'nın yeni düz parmak freze takımlarla, sürekli/doğrusal delme tipinde düşük kesme yüksek kesme hızlarında ( $V_c=178$  m/dak) ve düşük ilerleme miktarlarında ( $f=0.070$  mm/dev) delinmesinde nominal çapa/istenilen boyutsal tamlığa yakın çap değerleri elde edilecektir.



Şekil 2. Da üzerinde kontrol faktörlerinin ana etkileri (Main effects of control factors on Da)

KLLK'nın yeni ve aşınmış takımlarla delinmesinde Da için yapılan ANOVA sonuçları Tablo 3'te sunulmuştur. ANOVA'nın korelasyon katsayısı ( $R^2$ ) 0.798 olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan bu korelasyon katsayısı kontrol faktörlerinin Ra üzerindeki etkisini %79.8 oranında açıklayabilmekte olup bu değer Da'nın ölçüm hassasiyeti, kontrol faktörü sayısı ile toplam deney sayısı göz önünde bulundurulduğunda kabul edilebilir düzeydedir. Tablo 3'ten görüleceği



üzere; Da üzerinde en etkili parametreler sırasıyla kesici takım (%56.98) ve kesme hızı (%21.93) olup diğer kontrol faktörlerinin etkisi istatistiksel olarak anlamsız çıkmıştır.

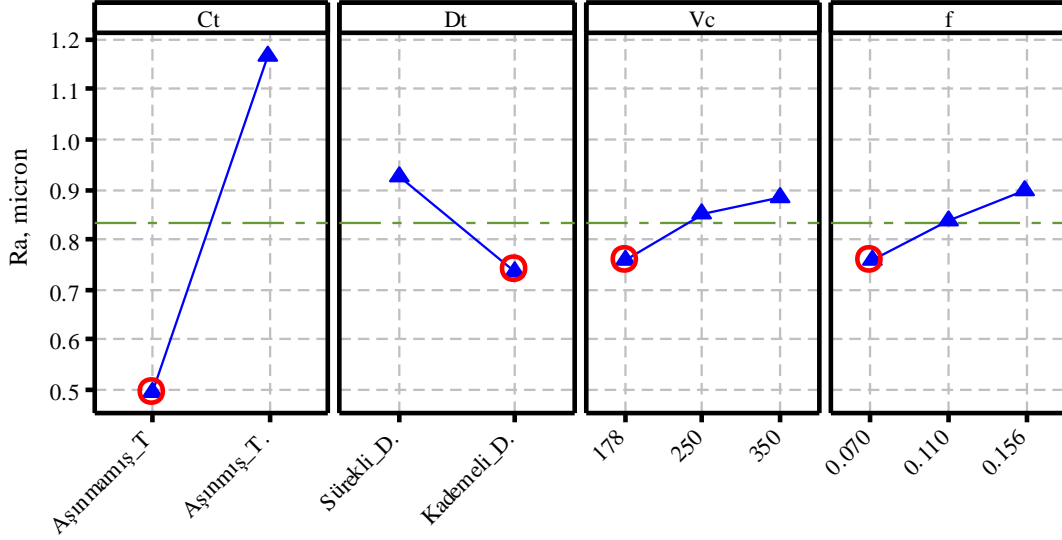
**Tablo 3.** Da için varyans tablosu (Analysis of variance for Da)

Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F	P	% Katkı
Ct	1	0.0122619	0.0122619	81.790	0.000	<b>56.98</b>
Dt	1	0.0000078	0.0000078	0.050	0.821	0.04
Vc	2	0.0047188	0.0023594	15.740	0.000	<b>21.93</b>
f	2	0.0001838	0.0000919	0.610	0.549	0.85
Artık Hata	29	0.0043476	0.0001499			20.20
Toplam	35	0.0215199				100.00
S=0.0122440 R <sup>2</sup> =%79.80 Ayarlı R <sup>2</sup> =%75.62						

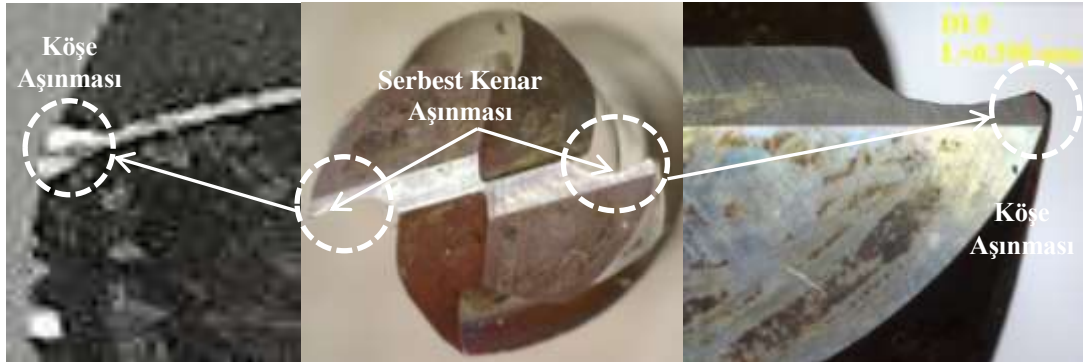
### 3.2. Yüzey Pürüzlülüğü (Surface Roughness)

Delik içi yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesinde pratikte bir üst ve alt sınır bulunmama ile birlikte pratikte 4 µm ve altı yüzey pürüzlülük değerlerinin daha uygun olacağı uygulamalar tarafından belirtilmektedir. Yine, KLK'nın delinmesinde Ra alt sınır değeri ise uygulamalar tarafından elde edilebilecek en düşük Ra değerleri olarak belirtilmektedir [18]. Bu çalışmada ön delik delinmiş deliklerin düz parmak freze ile delinmesinde ortalama 0.832 µm Ra değeri elde edilmiş olup bu değer oldukça tatmin edici ve düz parmak freze takımlarının minimum Ra değerlerinin sağlanması açısından oldukça uygun olduğunu söylemek mümkündür (Tablo 2). Dokuma cam elyaf takviyeli kompozit laminatların sinterlenmiş Ø13 mm karbür takımlarla delinmesinde yaklaşık 1.5~3.0 µm [6], GFRP kompozitlerin HSS takımlarla delinmesinde 4.5~8.0 µm [10], masif panellerin işlenmesinde 1.7~7.0 µm [11], CFRP panellerin PCD takımlarla işlenmesinde 3.6 µm [12], CFRP-Al'ın PCD parmak freze ile işlenmesinde 0.45~1.2 µm [13], doğal elyaf takviyeli kompozitlerin karbür parmak freze ile işlenmesinde işlenmesinde 0.80~4.39 µm [14] Ra yüzey pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. Kontrol faktörlerinin delik duvar Ra yüzey pürüzlülüğü üzerine ana etkileri Şekil 3'te sunulmuştur. Şekil 3'ten görüleceği üzere; KLK'ların delinmesinde Ra üzerinde en etkili parametre kesici takım olmuştur. Yeni takımlarla ortalama Ra=0.495 µm yüzey pürüzlülük değeri elde edilirken aşınmış takımlarla Ra=1.169 µm yüzey pürüzlülük değeri elde edilmiştir. KLK'nın yeni karbür frezelerle delinmesinde yüzey kalitesi %236 daha iyi elde edilmiştir. Aynı malzemenin yeni HSS helisel matkaplarla delinmesinde aşınmamış HSS helisel matkaplara göre yüzey kalitesi %75 oranında daha iyi elde edilmiştir [18]. KLK'nın delinmesinde diğer önemli bir faktör de delme tipidir. Sürekli delme operasyonu (Ortalama Ra=0.925 µm) ile kıyaslandığında kademeli delik delme işlemiyle (Ortalama Ra=0.739 µm) delme operasyonunu gerçekleştirmek delik yüzey kalitesini %25 iyileştirmiştir. Kademeli delik delmede daha düşük yüzey pürüzlülük değerlerinin elde edilmesinin sebebi takımın delik ekseninde belli bir mesafede (5 mm) ilerledikten sonra talaş boşaltmak için +z yönünde parça dışına çıkması ve yine -z yönünde tekrar delmeye devam etmesi sırasında takım kesme kenarı köşeleri ve sınırlarının kaldırılamamış mikron boyutundaki malzemeyi de kaldırmasına atfedilebilir [18]. Kesme hızına bağlı olarak yüzey pürüzlülük değerlerinin artması artan devir sayısı nedeniyle kesici takım aşınmasına bağlanmıştır (Şekil 4). Çünkü, uygun kesme şartlarını belirlemek için yapılan ön testlerde, yüksek kesme şartlarında yapılan delme işlemlerinde delinen delik sayısı arttıkça takımın kısa sürede aşındığı ve takım ömrünün de daha kısa olduğu tespit edilmiştir. Optik mikroskopla özellikle aşınmış takımlar üzerinde yapılan incelemelerde 0.35-0.40 mm aralığında serbest kenar aşınması ile köşe aşınmalarının olduğu görülmüştür (Şekil 4). [17, 18]. İlerleme miktarına bağlı olarak yüzey pürüzlülük değerlerinin artmış olması işlenebilirlik deneylerinde beklenen bir sonuçtur [6, 11, 13, 16, 17]. Artan ilerleme miktarı ile birlikte takım -z yönünde daha hızlı hareket edeceğinden kesilmeye çalışılan talaş kesiti de artacaktır. Diğer taraftan, artan ilerleme miktarı ısı oluşuma

sebeptir [13]. KLL'nin matris ve katkı malzemeleri düşünöldüğünde ergimif matrisin takım kesme kenarlarına adhezyonu yüzey pürüzlölüğünün artmasına sebep olacaktır. CFRP-aluminyum kompozit laminatların PCD parmak freze ile işlenmesinde ve yine masif ahşap panellerin karbür parmak freze ile işlenmesinde daha düşük kesme hızı ve daha düşük ilerleme miktarlarında işlemede daha düşük yüzey pürüzlölük değeri elde edilmiştir [6, 11, 13]. Bu bağlamda, bu çalışmanın sonuçları literatürde yapılmış olan diğer çalışmaların sonuçlarıyla benzerlik göstermektedir [11, 13].



Şekil 3. Ra üzerinde kontrol faktörlerinin ana etkileri. (Main effects of control factors on Ra)



Şekil 4. Aşınmış bir kesici takımın optik mikroskop aşınma görüntüleri (Optical microscope wear images of a worn cutting tool)

KLL'nin yeni ve aşınmış takımlarla delinmesinde delik duvar Ra yüzey pürüzlölüğü için yapılan ANOVA sonuçları Tablo 4'te verilmiştir. ANOVA'nın korelasyon katsayısı ( $R^2$ ) 0.956 olarak hesaplanmıştır. Korelasyon katsayısının yüksek çıkması kontrol faktörlerinin Ra üzerindeki etkisinin %95.6 oranında açıklandığını göstermektedir. Tablodan görüleceği üzere; Ra üzerinde en etkili faktör % 84.55 katkı oranıyla kesici takım olmuştur. Buradan, aşınmış takım ya da yeni takım ile işlemin yüzey pürüzlölüğü üzerinde ne kadar etkili olduğu anlaşılmaktadır. Kesici takımı % 6.45 katkı oranıyla delme tipi takip etmiştir. Kesme hızı ve ilerleme miktarının Ra üzerindeki etkisi % 5.0'in altında kalmıştır (Tablo 4). Benzer sonuçlar, Rao vd. tarafından yapılan çalışmada, GFRP kompozit laminatların işlenmesinde elde edilmiştir. Matkap çapı Ra üzerinde en etkili parametre (%75.76) olarak tespit edilmiştir [10]. İlerleme miktarının etkisi kesme hızının etkisinden daha yüksek olmuştur [6, 8, 10, 11]. CFRP'nin karbür ve PCD takımlarla delinmesinde ise kesici takım malzemesi Ra üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır [12]. Bilge vd.'nin deneysel çalışmalarında KLL'nin

yeni HSS helisel matkaplarla delinmesinde en etkili parametre kesme hızı (%34.38) hızı olmuşken onu delme tipi (%30.69) izlemiştir. KLLK'nın aşınmış HSS helisel matkaplarla delinmesinde ise delme tipi (%34.77) daha etkili olmuştur [18].

**Tablo 4.** Ra için varyans analizi (Analysis of variance for Ra)

Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F	P	% Katkı
Ct	1	4.09185	4.09185	557.120	<b>0.000</b>	<b>84.55</b>
Dt	1	0.31192	0.31192	42.470	<b>0.000</b>	<b>6.45</b>
Vc	2	0.10402	0.05201	7.080	0.003	2.15
f	2	0.11882	0.05941	8.090	0.002	2.46
Artık Hata	29	0.21299	0.00734			4.40
Toplam	35	4.83961				100.00
S=0.0857006 R <sup>2</sup> =%95.60 Ayarlı R <sup>2</sup> =%94.69						

#### 4. SONUÇ VE TARTIŞMA (CONCLUSION AND DISCUSSION)

Kompakt laminat kompozit malzemenin yeni ve aşınmış kaplamasız karbür takımlarla delinmesinde delik çapı boyutsal tamlığı ve delik duvarı yüzey pürüzlülüğü üzerinde kontrol faktörleri olarak seçilen kesici takım (Ct), delme tipi (Dt), kesme hızı (Vc) ve ilerleme miktarı (f) etkilerinin araştırıldığı bu deneysel çalışmada elde edilen sonuçlar şunlardır:

1. Yeni ve aşınmış takımlarla nominal delik çapından yaklaşık -0.04 mm daha küçük delik çapları elde edilmiştir. Bu delik çapı boyutsal tamlıktan sapma değeri oldukça düşük ve tatmin edici seviyededir.
2. Yeni takımlarla nominal çapa (Ø12.7 mm) daha yakın değerler elde edilmiştir. Bu durum yeni takımların aşınmış takımlara göre daha keskin kenar ve köşe geometrisine sahip olması ile ilgilidir.
3. Delme tipinin (sürekli/doğrusal delme veya kademeli delme) delik çapı boyutsal tamlığı üzerinde belirgin bir etkisi gözlenmemiştir.
4. Kesme hızının artırılmasına bağlı olarak nominal çapa yakın, daha büyük delik çapları elde edilmekte iken ilerleme miktarının artırılmasıyla nominal çap değerine uzak, daha küçük delik çapları elde edilmiştir.
5. Delik çapı boyutsal tamlığı üzerinde en etkili parametreler sırasıyla kesici takım (%56.98) ve kesme hızı (%21.93) olmuştur. Diğer kontrol faktörlerinin istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi tespit edilmemiştir.
6. Ortalama Ra=0.832 µm yüzey pürüzlülük değeri elde edilmiş olup bu değer oldukça iyi bir yüzey kalitesidir. Bu nedenle, düz parmak freze takımların minimum Ra değerlerinin sağlanması açısından oldukça uygun olduğunu söylemek mümkündür.
7. Ra üzerinde en etkili parametre (% 84.55) kesici takımın yeni yada aşınmış olmasıdır. Kesici takım % 6.45 katkı oranıyla delme tipi takip etmiştir. Kesme hızı ve ilerleme miktarının Ra üzerindeki etkisi % 5.0'in altında kalmıştır.
8. Yeni takımlarla ortalama Ra=0.495 µm yüzey pürüzlülük değeri elde edilirken aşınmış takımlarla ortalama Ra=1.169 µm yüzey pürüzlülük değeri elde edilmiştir.
9. Sürekli delme operasyonu yerine kademeli delik delmek delik yüzey kalitesini %25 iyileştirmektedir.
10. Kesme hızına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğü artmıştır. Bunun nedeni kesici takım aşınmasına bağlanmıştır. İlerleme miktarına bağlı olarak ta yüzey pürüzlülük değerleri artmıştır.

## 5. KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1]. Karpat, Y., Değer, B., and Bahtiyar, O., (2012). Drilling thick fabric woven CFRP laminates with double point angle drills, *Journal of Materials Processing Technology*, 212, 2117–2127.
- [2]. Krishnaraj, V., Prabukarthi, A., Ramanathan, A., Elanghovan, N., Kumar, M.S., Zitoune, R. and Davim, J.P., (2012). Optimization of machining parameters at high speed drilling of carbon fiber reinforced plastic (CFRP) laminates”, *Composites: Part B*, 43, 1791–1799.
- [3]. Giasin, K., Ayvar-Soberanis, S., and Hodzic, A., (2016). Evaluation of cryogenic cooling and minimum quantity lubrication effects on machining GLARE laminates using design of experiments, *Journal of Cleaner Production*, 135, 533-548.
- [4]. Shyha, I.S., Aspinwall, D.K., Soo, S.L., and Bradley, S., (2009). Drill geometry and operating effects when cutting small diameter holes in CFRP, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 49, 1008–1014.
- [5]. Rawat, S., and Attia, H., (2009). Characterization of the dry high speed drilling process of woven composites using Machinability Maps approach, *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 58, 105–108.
- [6]. Khashaba, U.A., El-Sonbaty, I.A., Selmy, A.I., and Megahed, A.A. (2010). Machinability analysis in drilling woven GFR/epoxy composites: Part I–Effect of machining parameters, *Composites: Part A*, 41, 391–400.
- [7]. Durão, L.M.P., Gonçalves, D.J.S., Tavares, J.M. R.S., De Albuquerque, V.H.C., Vieira, A.A., and Marques, A.T., (2010). Drilling tool geometry evaluation for reinforced composite laminates, *Composite Structures*, 92, 1545–1550.
- [8]. Xu, J., An, Q., Cai, X., and Chen, M., (2013). Drilling machinability evaluation on new developed high-strength T800S/250F CFRP laminates, *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 14 (10), 1687-1696.
- [9]. Shyha, I., Soo, S.L., Aspinwall, D., and Bradley, S., (2010). Effect of laminate configuration and feed rate on cutting performance when drilling holes in carbon fibre reinforced plastic composites, *Journal of Materials Processing Technology*, 210, 1023–1034.
- [10]. Rao, U.S., and Rodrigues, L.L.R., (2015). Controlling process factors to optimize surface quality in drilling of GFRP composites by integrating DoE, ANOVA and RSM techniques, *Indian Journal of Science and Technology*, 8 (29), 1-8.
- [11]. Sofuoglu, S.D., (2017). Determination of optimal machining parameters of massive wooden edge glued panels which is made of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) using Taguchi design method, *European Journal of Wood and Wood Products*, 75 (1), 33–42.
- [12]. El-Hofy, M.H., Soo, S.L., Aspinwall, D.K., Sim, W.M., Pearson, D., and Harden, P., (2011). Factors affecting workpiece surface integrity in slotting of CFRP, *Procedia Engineering*, 19, 94-99.
- [13]. Nurhaniza, M., Ariffin, M.K.A.M., Mustapha, F., and Baharudin, B.T.H.T., (2016). Analyzing the effect of machining parameters setting to the surface roughness during end milling of CFRP-aluminium composite laminates, *International Journal of Manufacturing Engineering*, 1-9.
- [14]. Azmi, A.I., Lin, R.J.T., and Bhattacharyya, D., (2010). Experimental study of machinability of GFRP composites by end milling, *Materials and Manufacturing Processes*, 27 (10), 1045-1050.
- [15]. Pałubicki, B. and Rogoziński, T., (2016). Efficiency of chips removal during CNC machining of particleboard, *Wood Research*, 61 (5), 811-818.
- [16]. Babu, G.D., Babu, K.S., and Gowd, B.U.M., (2013). Effect of machining parameters on milled natural fiber reinforced plastic composites, *Journal of Advanced Mechanical Engineering*, 1, 1-12.

- [17].Bilge, T., Motorcu, A.R., and Ivanov, A., (2017). Kompakt laminat kompozit malzemenin tungsten karbür takımlarla delinmesinde delaminasyon faktörünün değerlendirilmesi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, (Yayın Baskıda.), pp.1-10.
- [18].Bilge, T., Motorcu, A.R., and Ivanov, A., (2016). Kompakt Laminant Kompozitin Delinmesinde Yüzey Pürüzlülüğünün Değerlendirilmesi”, *17. Uluslararası Makina Tasarım ve İmalat Kongresi*, pp.1-16.
- [19].Kim, D., Beal, A., Kwon, P., (2015). Effect of tool wear on hole quality in drilling of carbon fiber reinforced plastic–Titanium alloy stacks using tungsten carbide and polycrystalline diamond tools, *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 138 (3), doi: 10.1115/1.4031052.