
	SAKARYA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ <i>SAKARYA UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE</i>		
	e-ISSN: 2147-835X Dergi sayfası: http://dergipark.gov.tr/saufenbilder		
	<u>Geliş/Received</u> 13-02-2017 <u>Kabul/Accepted</u> 14-08-2017	<u>Doi</u> 10.16984/saufenbilder.292019	

Matkap geometrisinin delik kalitesi ve kesme performansına etkisi

Mehtap Yavuz ^{*1}, Harun Gökçe², Çağlar Yavaş³ İhsan Korkut⁴ Ulvi Şeker⁵

ÖZ

Bu çalışmada, farklı matkap geometrileri ve kesme parametrelerinin delme performansı üzerine etkileri sistematik bir şekilde incelenmiştir. Farklı geometrilere sahip dört tip matkap kullanılarak itme kuvveti, moment, yüzey pürüzlülüğü ve geometrik toleranstan sapma değerleri ölçülmüştür. Deneysel çalışmalarda ticari olarak temin edilebilen yaygın iki takım geometrisi ile özgün iki kanal geometrisinin performansları test edilmiştir. Delme operasyonu, 10 mm çapında, iki ağızlı, helisel, yekpare sementit karbür matkaplar kullanılarak GGG 50 malzemesi üzerinde gerçekleştirilmiştir. Deney deseni için matkabin geometrik formu, kesme hızı ve ilerleme miktarı olmak üzere dörder seviyeli üç farklı kontrol faktörü ile bir Taguchi Deney Tasarımı oluşturulmuştur. Deney sonuçlarının değerlendirilmesinde Taguchi S/N analizi ve elde edilen verilerin işlendiği grafikler kullanılmıştır. Anova analizi yardımıyla da deney parametrelerinin deney sonuçları üzerindeki önemi ve etki oranları bulunmuştur. Deneysel sonuçlar değerlendirilerek optimum geometri ve optimum işleme şartları belirlenmiştir. Taguchi Sinyal-Gürültü analizinde “en küçük en iyidir” yaklaşımıyla değerlendirilen sonuçlara göre; ilerleme kuvveti, giriş-çıkış yüzey pürüzlülüğü, dairesellikten sapma ve diklikten sapma açısından özgün olarak geliştirilen 4 numaralı takım geometrisi diğer geometrilere üstünlük sağlarken, ilerlemenin en düşük olduğu (0,15 mm/dev.) ve kesme hızının en yüksek olduğu (110-120 m/dak.) kesme parametreleri ise kontrol faktörlerinin optimum seviyeleri olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Delik Delme, Matkap Geometrisi, GGG 50, Optimizasyon, Taguchi Metodu

Effect of drill geometry on hole quality and cutting performance

ABSTRACT

In this study, the effects of different drill geometries and cutting parameters on drilling performance have been systematically investigated. Using four types of drills with different geometries, thrust, torque, surface roughness and geometric tolerance deviations are measured. Experimental studies have tested the performance of commercially available two-tool geometry and developed original two-channel geometry. The drilling operation was performed on GGG 50 material using a 10 mm diameter, two-spindle, helical, solid cementitious carbide drills. For experiment design, a Taguchi Test Design was created with three different control factors of four levels, geometric form of drill, cutting speed and feed. The taguchi S/N analysis and the graphs in which the obtained data were processed were used in the evaluation of the test results. With the help of the Anova analysis, importance and influence rate on the test results of experimental parameters found. Experimental results were evaluated and optimum geometry and optimum cutting conditions were determined. According to the results evaluated by "the smallest best" approach in Taguchi signal-noise analysis; The originally tool 4 has superiority to other geometries in terms of thrust force, Input-output surface roughness, deviation from circularity, deviation from perpendicularity, The cutting parameters with the lowest feed rate (0,15 mm/rev.) and the highest cutting speed (110-120 m/min.) were determined as the optimum levels of control factors.

Keywords: Drilling, Drill Geometry, GGG 50, Optimization, Taguchi Method

* Sorumlu Yazar / Corresponding Author

¹ Çankırı Karatekin Üniversitesi, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Çankırı- mehtapyavuz@karatekin.edu.tr

² TÜBİTAK SAGE, Aerodinamik Birimi, Ankara- harungokce@yahoo.ca

³ Karcan Kesici Takım San. ve Tic. Ltd. Şti., Ürün Geliştirme Bölümü, Eskişehir- c.yavas@karcan.com

⁴ Gazi Üniversitesi, İmalat Müendisliği, Ankara- ikorkut@gazi.edu.tr

⁵ Gazi Üniversitesi, İmalat Müendisliği, Ankara- useker@gazi.edu.tr

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Delik delme işlemi çok eski zamanlardan beri kullanılmasına rağmen, bu operasyonun verimliliğini arttırmak ve işleme maliyetini en aza indirmek hala araştırmacılar için önemli bir konu olmuştur [1]. Geçtiğimiz yüzyıl boyunca, helisel matkaplar üzerine çok önemli araştırmalar yapılmış ve bu kesici takımlar endüstride yaygın olarak kullanılmıştır. Şu ana kadar endüstride, 200'den fazla farklı helisel matkap ucu görülmüştür [2].

Matkaplar en yaygın metal işleme takımları olmasına rağmen, talaş kaldırma mekanizması diğer yöntemlere göre daha karmaşık ve anlaşılması zordur. Delik delme işlemi ve delme performansını etkileyen birçok faktör mevcuttur. Bunlardan biri de matkap geometrisidir. Matkap uç geometrisi ile buna bağlı olarak oluşturulan matkap kanal formları matkabin en kritik tasarım kriterleridir. Bu geometrilerdeki en küçük değişiklik dahi talaş kaldırma performansını önemli ölçüde etkilemektedir [3]. Helisel matkap geometrisinin belirlenmesinde; düşük kesme kuvveti, yüksek aşınma direnci, yüksek burulma ve eğilme dayanımı, talaş tahliye yeteneği gibi farklı tasarım kriterleri vardır. Matkap tasarımında bu parametrelerin tamamının değerlendirilmesi yüksek düzeyde tecrübe gerektirir [4].

Matkap uç geometrisini değiştirerek kesme performansını arttırmaya, matkap ömrünü arttırmaya ve taşlama sürecini geliştirmeye yönelik birçok araştırma yapılmıştır. Delme işleminde tork, itme ve matkap ömrü, matkap performansını değerlendirmek için önemli kriterlerdir. Bu nedenle yapılan literatür araştırmasında görülmektedir ki tork ve itme üzerine çeşitli matkap çapları, matkap uç şekilleri, iş parçası malzemeleri, kesme koşulları ve talaşın kolayca uzaklaştırılması için birçok araştırma yapılmış ve tork ve itmeyi azaltmak için önemli bulgular veya tahminler elde edilmiştir. Fuji ve ark., matkap geometrisinde bulunan ve delme performansını doğrudan etkileyen karmaşık formların belirlenmesi için bir çalışma yapmışlardır. Matkap geometrisi, düşey ve eğimli kesme düzlemi olmak üzere iki farklı açıdan deneysel çalışmalar ile ele alınmış, matkap geometrisindeki profillerin, kesme parametrelerine etkisi belirlenmiştir [5]. Diğer bir çalışmalarında ise, matkap uç geometrisindeki radyal kesici kenarın, kesme performansına etkisini incelemiştir. Ayrıca,

matkap performansı için optimum koni açısı değerinin ne olması gerektiği ifade edilmiştir [6]. Tsai ve ark., matkap uç tasarımı ve taşlama parametreleri ile ilgili matematiksel bir model geliştirmişlerdir. Yapılan çalışmada, konik, hiperbolik ve eliptik uç geometrisine sahip matkaplar modellenerek, taşlama parametrelerinin belirlenmesinde daha doğru tahminler yapabilmeyi ortaya koymuştur [7]. Thangaraj ve ark., delik delme sürecinde iki kenarlı matkaplarda oluşan sıcaklık dağılımını metalografik ve mikrosertlik teknikleri uygulanmıştır. Matkap performansının artırılması için optimum matkap geometrisinin yanında, malzeme sertliği, tokluğu ve sıcaklığa karşı davranışının da dikkate değer bir önem arz ettiğini vurgulamışlardır [8]. Chen ve diğerleri, split uçlu matkaplara etkileyen kuvvet ve momentin belirlenmesi amacıyla, split geometrisi matematiksel modeli hazırlanmıştır. Deneysel ve sonlu elemanlar analizleri sonucunda, JIS 45 iş parçası için, 8 mm çapında split uç geometrisine sahip bir matkabin, sabit devir sayısı (1030 dev/dak), delik derinliği (20 mm) ve ilerleme (0,12 mm/dev.) ortamında, optimum split açısı 57,70 olarak belirlenmiştir [9]. Ren ve ark. ise, matkap geometrisindeki kesici kenar açılarının talaş oluşumuna etkisini teorik bir çalışma ile incelemiştir. Hazırlanan matematiksel modeller ile yapılan analizler, kesme açılarının delik hatalarına %5 oranından daha az etki ettiğini göstermiştir [10]. Hocheng ve Tsao, helisel matkapların yanı sıra, farklı matkap geometrilerinin etkilerini de ele aldıkları çalışmalarında, farklı matkap türlerinin kullanımında, delaminasyonun (katmanlara ayırma) kapsamlı bir analizini sunmuşlardır. Bu analiz yapısında, delaminasyon seti üzerinde oluşan kritik ilerleme kuvvetleri tahmin edilmiş ve helisel matkap ile karşılaştırılmıştır [11]. Matkap geometrisi ve kesme parametreleri ile ilgili literatürdeki diğer çalışmalarda, delik delme işleminde helisel matkap uç geometrilerinin optimizasyonu incelenmiş ve özellikle matkap uç geometrisi, tork ve itme arasındaki ilişkiye bağlı olarak çeşitli matematiksel modeller geliştirilmiştir [12-25].

Yapılan çalışmalar ışığında, endüstride yaygın kullanım alanına sahip ve pek çok önde gelen kesici takım firmasının zorlandığı ve yüksek aşınma/düşük ömür sergilediği GGG50 malzemesinin delinmesi esnasında oluşabilecek problemlerin önüne geçilmesi ve delme performansının ve delik kalitesinin optimum

seviyeye getirilmesi için en uygun kesme şartlarının ve matkap geometrisinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. MATERİYAL ve METOT (MATERIAL AND METHOD)

2.1. Deneyler için kullanılan Taguchi L16 deney tasarımı (Designing a Taguchi L16 experiment used for tests)

Deneyisel çalışmalar için dört seviyeli üç farklı kontrol faktörü ile bir Taguchi Deney Tasarımı oluşturulmuştur. Deney girdisi olarak dört farklı geometride matkap, dört farklı kesme hızı ve dört farklı ilerleme değeri seçilmiştir. Kullanılan Minitab paket programı vasıtasıyla dört seviyeli Taguchi L16 deney tasarımı oluşturulmuştur. Kesme parametrelerinin belirlenmesinde; öncelikle üreticilerin katalog değerleri dikkate alınmıştır. Deneyler soğutma sıvısı kullanılarak yapılmıştır. Tablo 1’de söz konusu tasarımın seviyeleri ve kontrol faktörleri verilmiştir.

Tablo 1. Deneyler için kontrol faktörleri ve seviyeleri
(Control factors and levels for experiments)

Faktörler	Birim	1. Seviy	2. Seviy	3. Seviy	4. Seviy
Geometri		1	2	3	4
Kesme Hızı	m/dk	90	100	110	120
İlerleme	mm/de v	0,15	0,20	0,25	0,30

Tablo 1’deki faktörler göz önünde bulundurularak, deneylerde kullanılan parametrelerin ilerleme kuvveti, moment ve delik kalitesine (giriş-çıkış yüzey pürüzlülüğü, dairesellik toleransı, silindiriklik toleransı, diklik toleransı) olan etkilerinin tespiti için Tablo 2’de Minitab istatistik yazılımı yardımı ile belirlenen deney tasarımı verilmiştir. Yapılan deneylerde 16 kesici takım ile 100 delik delme tekrarı yapılarak toplamda 1600 delik delme işlemi yapılmıştır.

Tablo 2. Taguchi L16 orthogonal deney tasarımı (Taguchi L16 orthogonal experiment design)

Deney No	Değişkenler	Geometri (A)	İlerleme (B)	Kesme Hızı (C)
1	A1B1C1	MG1	0,15	90
2	A1B2C2	MG1	0,20	100
3	A1B3C3	MG1	0,25	110
4	A1B4C4	MG1	0,30	120
5	A2B1C2	MG2	0,15	100
6	A2B2C1	MG2	0,20	90
7	A2B3C4	MG2	0,25	120
8	A2B4C3	MG2	0,30	110
9	A3B1C3	MG3	0,15	110
10	A3B2C4	MG3	0,20	120
11	A3B3C1	MG3	0,25	90
12	A3B4C2	MG3	0,30	100
13	A4B1C4	MG4	0,15	120
14	A4B2C3	MG4	0,20	110
15	A4B3C2	MG4	0,25	100
16	A4B4C1	MG4	0,30	90

2.2. Deneylerde kullanılan iş parçası malzemesi (Material of used workpiece)

Deneylerde iş parçası malzemesi olarak 30 mm kalınlığında ve 140 × 140 ebatlarında küresel grafitli dökme demir (GGG50) kullanılmıştır. Bu malzemenin kimyasal özellikleri Tablo 3’de, mekanik özellikleri Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 3. GGG50 Küresel grafitli dökme demirin bileşimi, % ağı (Component percentages of ductile cast iron) [26]

C	Si	Mn	P	S
3,60	2,42	0,430	0,010	0,005
Mg	Cr	Ni	Mo	Cu
0,045	0,053	0,048	0,047	0,01

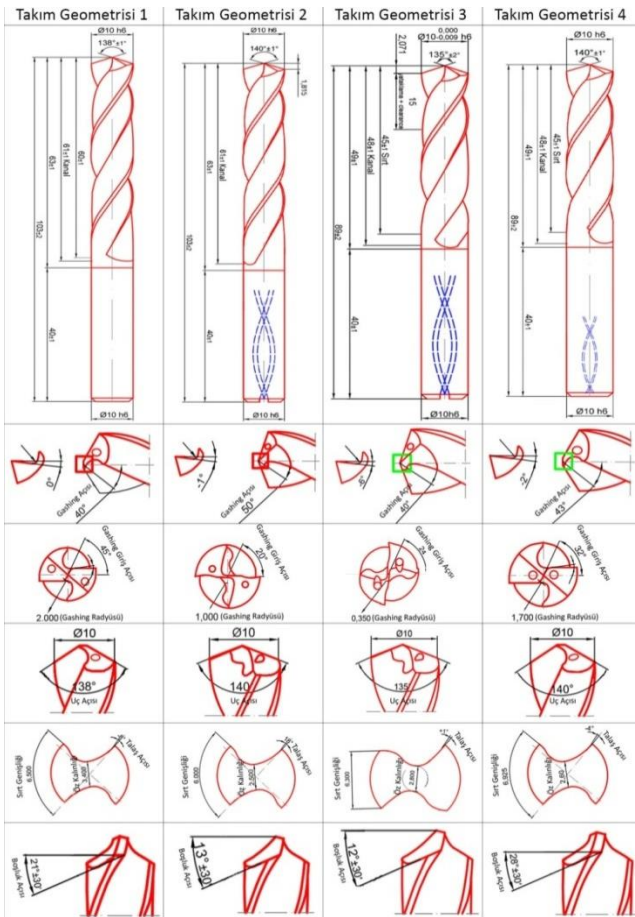
Tablo 4. GGG50 Küresel grafitli dökme demirin mekanik özellikleri, % ağı (Specifications of GGG50 material) [27]

Tür	Mikroyapı	Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Sınırı (MPa)	Kopma Uzunluğu (%)	Brinell Sertliği (kgf/mm ²)
GGG50	Ferritik-Perlitik	490,3	352,8	7	170-241

Bu malzemeden elde edilen deney numunelerinin şekli ve boyutları çalışma şartlarına bağlı olarak şekillendirilmiştir. 10mm takım çapı için $3 \times D \leq L$ olacak şekilde, delinen malzemelerin kalınlığı 30 mm olarak işlenmiş ve delikler boydan delinmiştir. 100’er delik tekrarı sağlamak amacıyla her deney için ikişer adet plaka kullanılmıştır.

2.3. Deneylerde kullanılan kesici takımlar (Used cutting tools in experimental setup)

Bu çalışmada iki ağızlı, helisel, 10 mm çaplı, yekpare, karbür, içten soğutmalı matkaplar kullanılmıştır. Matkaplardan ikisi ticari olarak temin edilebilen farklı firmalara ait takımlar (MG1 ve MG2), diğer ikisi ise özgün olarak geliştirilen takımlardır (MG3 ve MG4). Kullanılan matkap geometrilerine ait bilgiler Şekil 1’de verilmiştir.



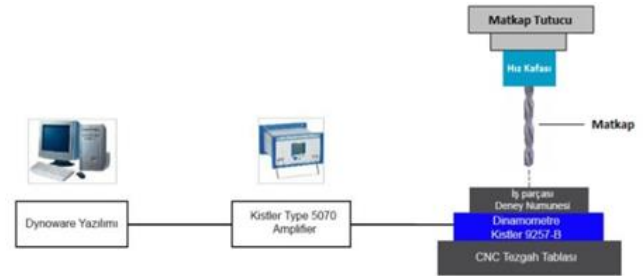
Şekil 1. Kullanılan kesici takım geometrilerine ait bilgiler (Information about cutting tool geometry used)

2.4. Yapılan ölçümler, kullanılan ölçüm tezgahları ve takım tezgahı (Performed measurements, used measurement tools and machine tools)

Deneyler, üç eksenli lineer ve dairesel interpolasyon yapabilen, metrik ve inç birimlerinde ISO formatlı programlanabilir Fanuc kontrol ünitesi Johnford VMC-550 CNC Dik İşleme Merkezinde yapılmıştır. İlerleme kuvveti ve moment ölçümleri için Kistler 9257-B tipi dinamometre ve Kistler Type 5070 amplifiyer kullanılmıştır. Takım içinden soğutma uygulaması

Giss SC-16 seramik hız kafası üzerinden gerçekleştirilmiştir.

İlerleme kuvvetleri ve momentleri ölçmek için kullanılan deney düzeneğinin bileşenleri Şekil 2’de görülmektedir. 100 delik delme tekrarında dinamometreden elde edilen verilerden 1., 10., 20., 30., 40., 50., 60., 70., 80., 90. ve 100. delik olmak üzere her şart için 11 deliğin kuvvet ve moment ölçümleri Dynoware yazılımı kullanılarak incelenmiştir. Ortalama kuvvet ve moment değerlerinin alındığı ölçümlerde delik giriş ve çıkışındaki kararsız bölgeler ihmal edilmiştir.



Şekil 2. Deney düzeneği (The experimental setup)

Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri için “Mahr” marka Perthometer M1 tipi yüzey pürüzlülük ölçme cihazı kullanılmıştır. Her farklı şart için 1., 10., 20., 30., 40., 50., 60., 70., 80., 90. ve 100. delik sonrası oluşan yüzeylerin pürüzlülük değerleri, giriş ve çıkış bölgesinden dörder ölçüm yapılmış ve aritmetik ortalamaları alınmıştır. Ölçümler sonucu elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması alınarak her delik için girişteki ve çıkıştaki ortalama yüzey pürüzlülük (R_a , μm) değerleri belirlenmiştir. Dairesellik, silindiriklik ve diklik toleransı ölçümleri, 0.001 mm hassasiyetinde ve tam ölçüm yapabilen Hexagon Global Performance CMM cihazı ile yapılmıştır.

3. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA (RESULTS OF THE EXPERIMENT AND DISCUSSION)

Aşağıda yapılan deneyler sonunda elde edilen ortalama ilerleme kuvveti (F_t), Moment (M), giriş yüzey pürüzlülüğü, çıkış yüzey pürüzlülüğü, dairesellik toleransı, silindiriklik toleransı ve diklik toleransı değerleri verilmiştir (Tablo 5). Bu değerler, 100 delik delme tekrarında 1., 10., 20., 30., 40., 50., 60., 70., 80., 90. ve 100. delik olmak üzere her şart için 11 deliğin ölçüm sonucu elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması alınarak belirlenmiştir.

Tablo 5. GGG50 malzemesinin delinmesinde elde edilen ortalama ilerleme kuvveti, moment, yüzey pürüzlülükleri, geometrik toleranstan sapmalar (Mean thrust force, moment, surface roughness, geometric tolerance deviations)

Deney No	Moment (N.cm)	İlerleme Kuvveti (N)	Giriş Yüzey Pürüzlülüğü (μm)	Çıkış Yüzey Pürüzlülüğü (μm)	Dairesellik Toleransı (mm)	Silindiriklik Toleransı (mm)	Diklik Toleransı (mm)
1	337,55	1060,68	1,834	1,874	0,018	0,011	0,021
2	431,72	1300,85	1,476	1,537	0,072	0,010	0,016
3	499,94	1498,43	1,357	1,438	0,015	0,008	0,027
4	630,99	1640,58	1,624	1,750	0,064	0,014	0,028
5	299,76	987,90	1,734	1,790	0,017	0,008	0,017
6	350,41	1201,99	2,175	2,172	0,034	0,007	0,022
7	422,70	1294,21	1,491	1,651	0,031	0,008	0,015
8	497,52	1452,76	1,469	1,518	0,034	0,011	0,018
9	403,49	1338,80	1,701	1,817	0,03	0,009	0,014
10	506,41	1664,64	1,629	1,738	0,039	0,017	0,019
11	611,05	2090,94	2,099	2,213	0,039	0,011	0,019
12	655,51	2354,93	1,676	1,705	0,030	0,023	0,023
13	311,27	886,19	1,202	1,246	0,022	0,009	0,012
14	414,11	1089,26	1,301	1,356	0,023	0,010	0,017
15	476,48	1249,65	1,598	1,795	0,026	0,013	0,016
16	527,25	1515,57	1,897	1,987	0,032	0,013	0,021
max.	655,51	2354,93	2,175	2,213	0,072	0,023	0,028
min.	299,76	886,19	1,202	1,246	0,015	0,007	0,012

3.1. İlerleme kuvveti ve momentin değerlendirilmesi (Thrust force and torque evaluation)

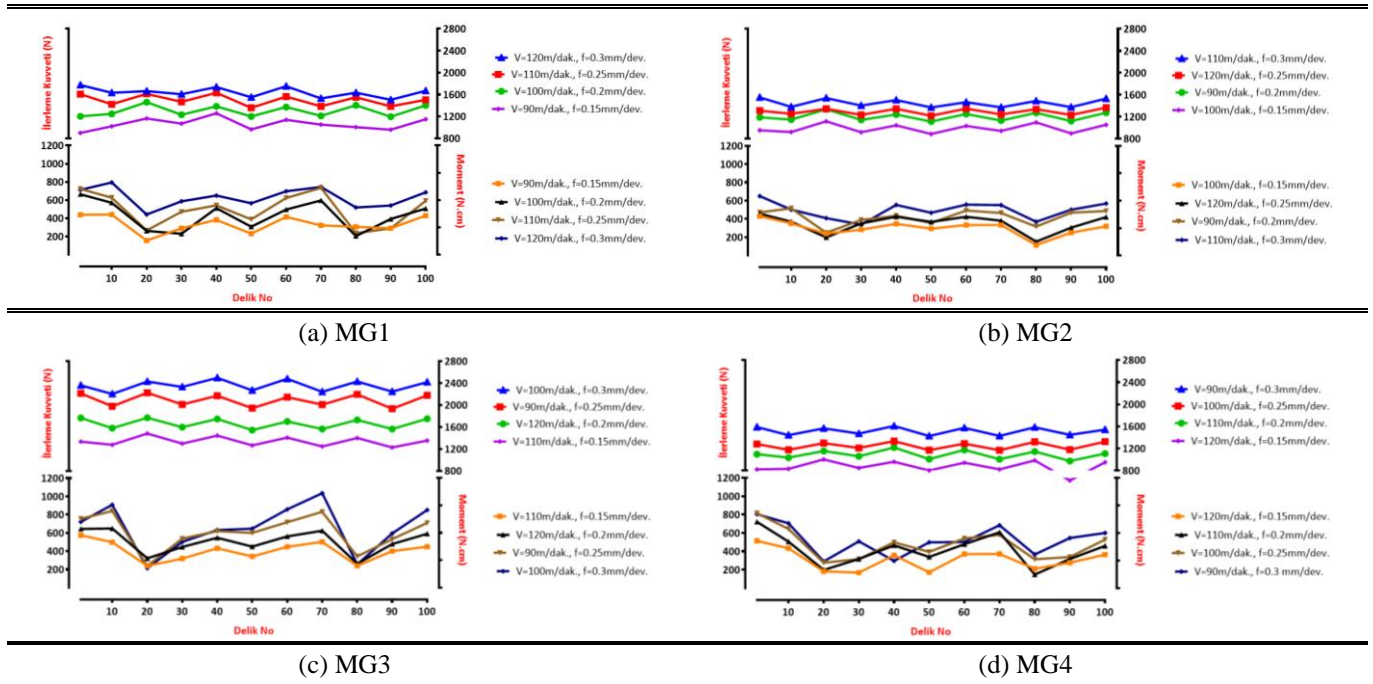
3.1.1. Delme tekrarına göre ilerleme kuvveti ve momentin değerlendirilmesi (Thrust force and torque evaluation by drilling repetition)

İlerleme kuvveti ve moment ölçüm sonucu kullanılarak elde edilen ilk delikten son deliğe kuvvet ve moment değişimleri dört farklı matkap geometrisi için Şekil 3'deki grafikte gösterilmiştir. Grafikler incelendiğinde; her bir farklı matkabın farklı kesme şartları için ilk delikten son deliğe ilerleme kuvvetlerinde hemen hemen bir değişim olmamıştır. Grafiklerde görülen küçük sapmaların muhtemelen talaş kaldırma esnasında talaş sıkışmasına veya talaşın yeniden kesilmesine bağlı olduğu düşünülmektedir.

Kesme parametrelerine bağlı olarak ilk delikten son deliğe en düşük ve en yüksek ilerleme kuvveti değerlerinin; MG1 ile yapılan delik delme işlemlerinde 898-1774 N arasında, MG2 ile 887-1553 N arasında, MG3 ile 1227-2498 N arasında, MG4 ile 781-1607 N arasında değiştiği görülmektedir.

Buna göre en düşük ilerleme kuvvetinin görüldüğü matkap geometrileri sırasıyla; MG4, MG2, MG1 ve MG3 olarak kaydedilmiştir. En yüksek ilerleme kuvvetinin görüldüğü matkap geometrileri ise sırasıyla; MG3, MG1, MG4 ve MG2 şeklinde elde edilmiştir.

Diğer taraftan kesme parametrelerine bağlı olarak ilk delikten son deliğe en düşük ve en yüksek moment değerlerinin; MG1 ile yapılan delik delme işlemlerinde 157-794 N.cm arasında, MG2 ile 114-650 N.cm arasında, MG3 ile 213-1034 N.cm arasında, MG4 ile 147-815 N.cm arasında değişirken en düşük moment değerleri sırasıyla; MG2, MG4, MG1 ve MG3 ile sağlanmıştır. En yüksek moment değerleri ise sırasıyla; MG3, MG4, MG1 ve MG2 ile elde edilmiştir.

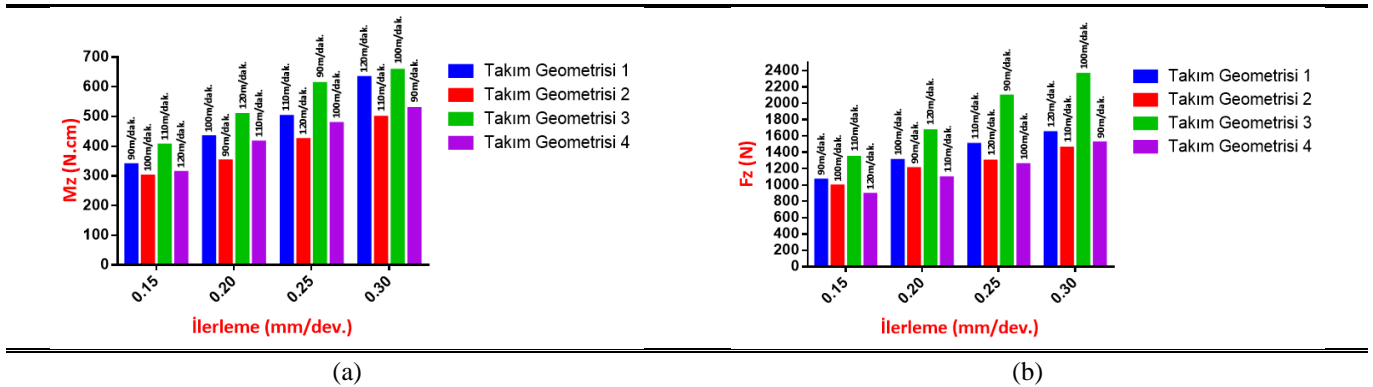


Şekil 3. Kesme parametrelerindeki değişime bağlı olarak F_1 ve M değerlerindeki değişim
(Depending on the change in the cutting parameters, the thrust force and torque change)

3.1.2. Kesme hızı (V_c), ilerleme (f) ve takım geometrisine göre ortalama ilerleme kuvveti ve momentin değerlendirilmesi (Average thrust force and torque evaluation according to cutting speed, feed rate and tool geometry)

GGG50 malzemesinin delinmesinde, ortalama ilerleme kuvveti (F_t) ve ortalama moment (M) değerlerinin, takım geometrisi, ilerleme ve kesme hızına göre değişimi Şekil 4'deki grafiklerde verilmiştir. Grafikler incelendiğinde her bir matkap geometrisinde ilerleme arttıkça ilerleme kuvveti ve momentin de arttığı görülmektedir.

İlerleme miktarının artması birim zamanda kaldırılan talaş hacminin artmasına neden olur. Bu da matkaba gelen yükü arttırmaktadır. Diğer taraftan, matkabin delik içerisinde ilerlemesi sırasında artan sıcaklık, sürtünme ve oluşan talaş sıkışması da bu artışa sebep gösterilebilir. Delik boyu arttıkça talaş sıkışmalarına bağlı olarak ısıda artmaktadır. Isı artışı ile ortaya çıkan talaşlar matkap üzerine sıvanarak matkabin rahat bir şekilde ilerlemesini engellemektedir.



Şekil 4. Kesme parametreleri ve takım geometrisine göre; a) Ortalama moment b) Ortalama ilerleme kuvveti değerleri
(According to cutting parameters and tool geometry; change of average torque (a) and average thrust force (b))

İlerleme miktarına bağlı olarak moment (M) ve ilerleme kuvvetindeki (F_t) değişim incelendiğinde, dört farklı matkap için en düşük F_t - M , deneylerde kullanılan en düşük ilerleme miktarı olan 0,15

mm/dev. ilerleme miktarında, en yüksek F_t - M ise en yüksek ilerleme miktarı seçilen 0,30 mm/dev.'de elde edilmiştir. Genel anlamda deliğin delinmesi sırasında oluşan M ve F_t kuvvetlerinin

dağılımında matkap geometrisinin çok fazla etkisi olduğu görülmektedir. F_t -M grafiğinde en düşük ilerleme kuvvetinin elde edildiği MG4 ile delerken elde edilen kuvvet yaklaşık 886 N iken, en yüksek ilerleme kuvvetinin elde edildiği MG3 ile delerken elde edilen kuvvetin yaklaşık 2354 N olduğu görülmüştür. Yine bu grafikte en yüksek ve en düşük moment değerlerinin elde edildiği değerlere bakıldığında, MG2 ile delerken elde edilen moment yaklaşık 300 N.cm iken, MG1 ile delerken elde edilen momentin yaklaşık 655 N.cm olduğu görülmüştür.

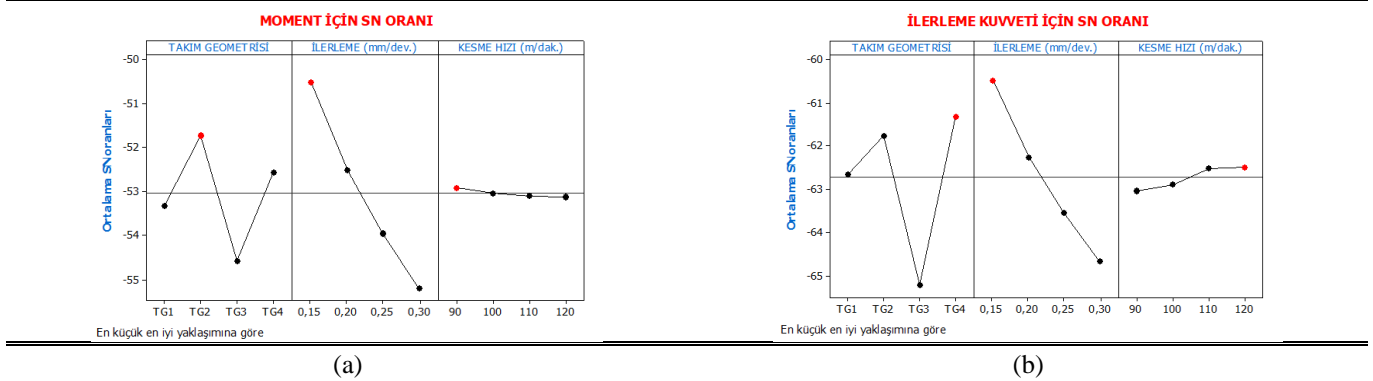
GGG50 malzemesine yönelik dört farklı matkap geometrisi için kullanılan tüm kesme şartlarında (ilerleme, kesme hızı) en yüksek M ve F_t değerleri sırasıyla; MG3, MG1, MG4 ve MG2 ile elde edilmiştir. Uç açısının büyüyen değerlerinde moment değerlerinde azalmalar gözlemlenmiştir. MG3: 135°, MG1: 138° uç açısına sahip, MG2 ve MG4 ise 140° uç açısına sahiptir. En düşük moment değerleri, en büyük uç açısının kullanıldığı MG2 ve MG4'de gözlemlenmiştir. Genellikle daha düşük uç açısının torku artırdığı literatürde de yer almaktadır. Diğer taraftan en yüksek ilerleme kuvveti MG1 ve MG3'de meydana gelirken MG2 ve MG4'de daha az ilerleme kuvveti elde edilmiştir. Bu matkapların geometrileri incelendiğinde öz kalınlıklarının da ilerleme kuvveti üzerinde etkili olduğu saptanmıştır. Bu durum literatürdeki bilgilerle de örtüşmektedir. Radyal ağız, itme kuvvetine önemli derecede katkı sağlar ve bu katkının boyutu radyal ve ana kesici kenarların uzunluğuna bağlıdır. Çapın %20 sine eşit öz kalınlığına sahip tipik bir matkapta, radyal ağız itme kuvvetine yaklaşık %50 oranında katkıda bulunur [28].

3.1.3. Sinyal/Gürültü (S/N) analizine göre ortalama ilerleme kuvveti (F_t) ve moment

(M)'nin değerlendirilmesi (Evaluation of mean thrust force and torque according to (S/N) analysis)

Momentlerin en düşük olduğu seviyeler en iyi seviyeler olarak Taguchi (S/N) analizinde "en küçük en iyidir" yaklaşımıyla değerlendirilmiş ve sonuçlar Şekil 5-a'deki grafikte gösterilmiştir. Şekil 5-a'daki grafikten yararlanarak yapılan moment optimizasyonunda, uygun kesme parametreleri "A2B1C1" olarak bulunmuştur. MG2'de ilerleme 0,15 mm/dev. ve kesme hızı 90 m/dak. kombinasyonundan en iyi sonuçların elde edildiği görülmektedir.

İlerleme kuvveti için yapılan değerlendirme ise yine ilerleme kuvvetinin en düşük olduğu seviyeler en iyi seviyeler olarak Taguchi (S/N) analizinde "en küçük en iyidir" yaklaşımıyla değerlendirilmiş ve sonuçlar sonuçlar Şekil 5-b'deki grafikte gösterilmiştir. Grafiklerden yararlanılarak uygun kesme parametreleri "A4B1C4" olarak belirlenmiştir. MG4'de ilerleme 0,15 mm/dev. ve kesme hızı 120 m/dak. kombinasyonu en iyi sonuçlar elde edilmiştir.



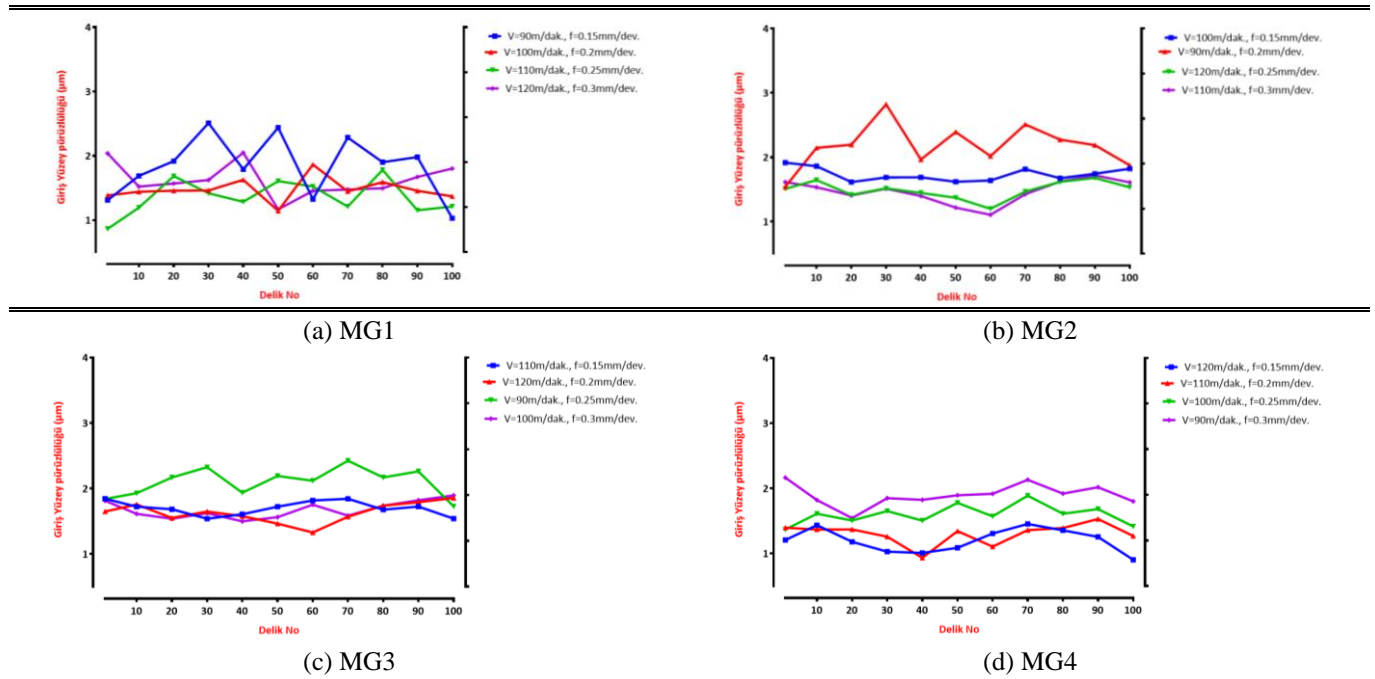
Şekil 5. a) Ortalama moment (N.cm) için S/N oran grafiği b) Ortalama ilerleme kuvveti (N) için S/N oran grafiği (Mean S/N ratio graph for the torque (a) and the thrust force (b))

3.2. Delik içi yüzey pürüzlülüklerinin değerlendirilmesi (Evaluation of surface roughness in hole)

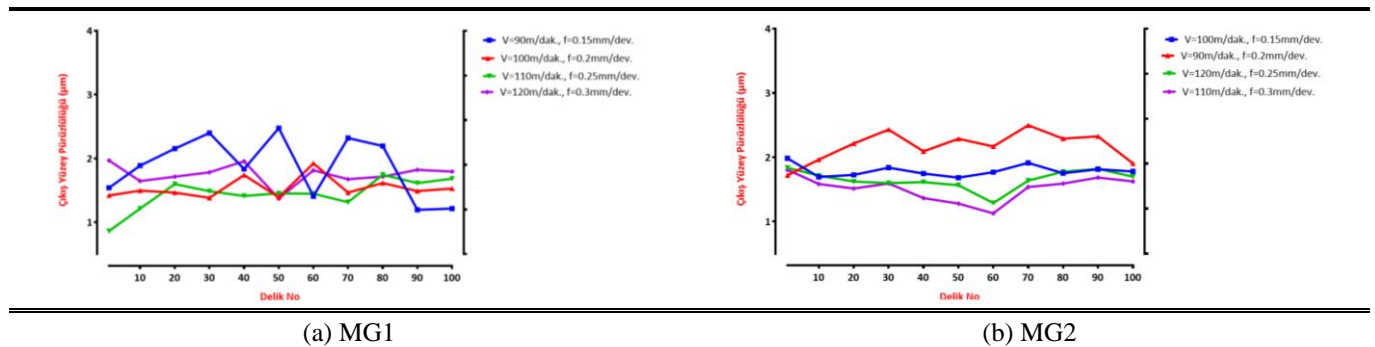
3.2.1. Delme tekrarına göre yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi (Evaluation of surface roughness by repetition of drilling)

Yüzey pürüzlülük ölçüm sonucu kullanılarak elde edilen ilk delikten son deliğe giriş ve çıkış yüzey pürüzlülüğü değişimleri dört farklı matkap geometrisi için Şekil 6 ve Şekil 7'deki grafiklerde gösterilmiştir. Şekil 6'da gösterilen grafik incelendiğinde; kesme parametrelerine bağlı olarak ilk delikten son deliğe en düşük ve en yüksek giriş yüzey pürüzlülüğü değerlerinin; MG1 ile yapılan delik delme işlemlerinde 0,864-2,508 μm arasında MG2 ile 1,105-2,822 μm arasında, MG3 ile 1,328-2,424 μm arasında, MG4 ile 0,903-2,163 μm arasında değiştiği görülmektedir.

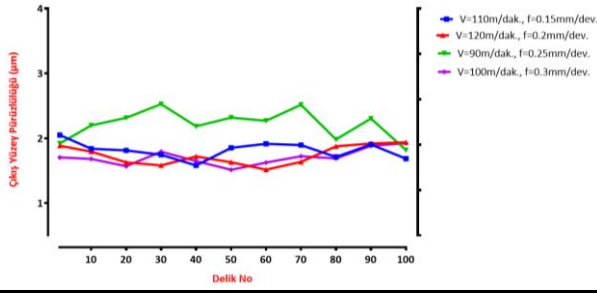
Buna göre en düşük giriş yüzey pürüzlülüğünü sağlayan matkap geometrileri sırasıyla; MG1, MG4, MG2 ve MG3 şeklindedir. En yüksek giriş yüzey pürüzlülüğünü sağlayan matkap geometrileri ise sırasıyla; MG2, MG1, MG3 ve MG4 şeklindedir. Şekil 7'deki grafiklerde; kesme parametrelerine bağlı olarak ilk delikten son deliğe en düşük ve en yüksek çıkış yüzey pürüzlülüğü değerlerinin; MG1 ile yapılan delik delme işlemlerinde 0,860-2,475 μm arasında, MG2 ile 1,127-2,498 μm arasında, MG3 ile 1,514-2,527 μm arasında, MG4 ile 0,898-2,152 μm arasında değiştiği görülmektedir. Buna göre en düşük çıkış yüzey pürüzlülüğü değerleri sırasıyla; MG1, MG4, MG2 ve MG3 ile sağlanmıştır. En yüksek çıkış yüzey pürüzlülüğü değerleri ise sırasıyla; MG3, MG2, MG1 ve MG4 ile elde edilmiştir.



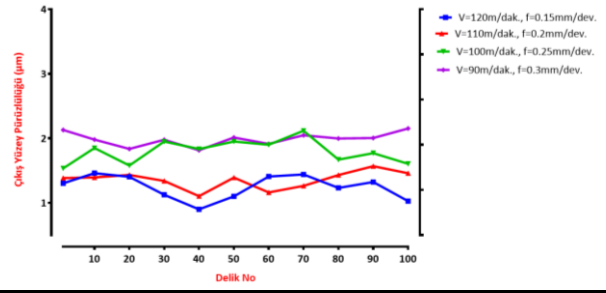
Şekil 6. Kesme parametrelerindeki değişime bağlı olarak giriş yüzey pürüzlülüğü değerlerindeki değişim (Depending on the change in the cutting parameters, the inlet surface roughness change)



Şekil 7. Kesme parametrelerindeki değişime bağlı olarak çıkış yüzey pürüzlülüğü değerlerindeki değişim (Depending on the change in the cutting parameters, the outlet surface roughness change)



(c) MG3



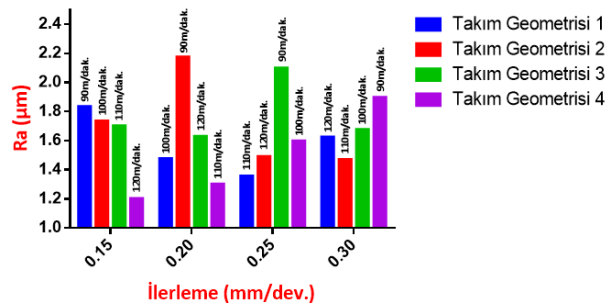
(d) MG4

Şekil 7. Kesme parametrelerindeki değişime bağlı olarak çıkış yüzey pürüzlülüğü değerlerindeki değişim (Depending on the change in the cutting parameters, the outlet surface roughness change)

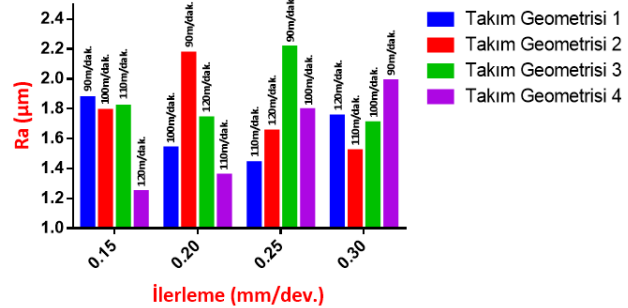
Her bir matkap geometrisi için tüm kesme şartlarında ilk delikten son deliğe yüzey pürüzlülüğü değerlerinde dalgalanmalar olduğu görülmektedir. Bu durum kesme hızının artmasıyla birlikte birim zamanda oluşan talaş hacminin artması ve talaş tahliyesini zorlaştırması ile açıklanabilir. Çünkü delik delme işlemi diğer işleme türlerinden farklı olarak talaş tahliyesi büyük bir problemidir. Talaş sıkışmasının takıma gelen yükleri artırarak titreşimin artmasına sebep olduğu ve takımın kesici kenarlarını ve delik yüzeylerini olumsuz etkilediği düşünülmektedir.

3.2.2. Kesme hızı, ilerleme ve takım geometrisine göre ortalama yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi (Evaluation of average surface roughness according to cutting speed, feed rate and tool geometry)

GGG50 malzemesinin delinmesinde, ortalama Giriş Yüzey Pürüzlülüğü (R_a) ve ortalama Çıkış Yüzey Pürüzlülüğü (R_a) verilerinin, takım geometrisi, ilerleme ve kesme hızına göre değişimi Şekil 8'deki grafiklerde verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 8. Kesme parametreleri ve takım geometrisine göre; a) Ortalama giriş yüzey pürüzlülüğünün değişimi b) Ortalama çıkış yüzey pürüzlülüğünün değişimi (According to cutting parameters and tool geometry; change of average (a) inlet surface roughness and (b) outlet surface roughness)

Grafikler değerlendirildiğinde; kesme hızının artması ile yüzey pürüzlülükleri azalmakta, ilerlemenin artması ile bazı takımlarda azalırken bazı takımlarda artmaktadır. Bu kararsız yapı kesme hızlarının değişimi ile açıklanabilir. Çünkü bu çalışmada Taguchi deney tasarımı kullanıldığından her şartta deney yapılamamıştır. Kesme hızına bağlı olarak yüzey pürüzlülüklerindeki değişim incelendiğinde dört geometri içinde en düşük yüzey pürüzlülüğü deneylerde kullanılan en yüksek kesme hızları olan 110 ve 120 m/dak. kesme hızlarında, en

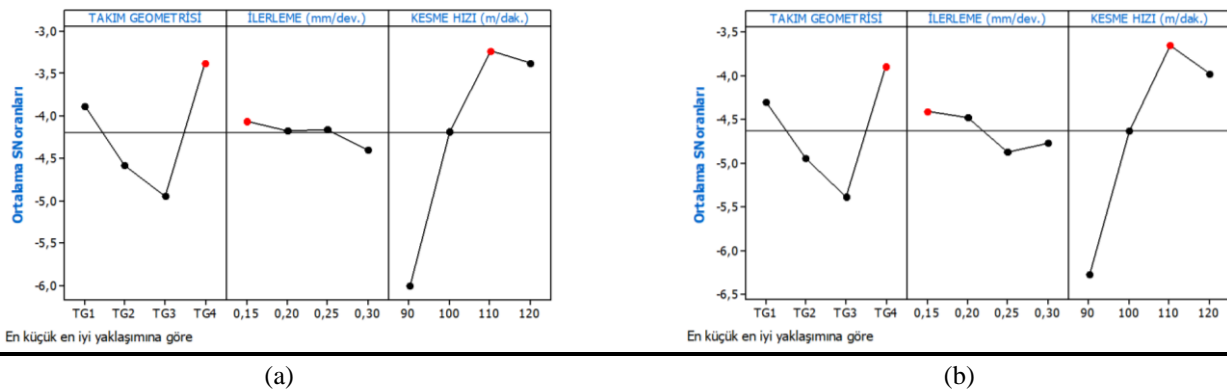
yüksek yüzey pürüzlülüğü ise en düşük kesme hızı seçilen 90m/dak.'da elde edilmiştir. Kesme hızlarının artmasıyla birlikte belli bir noktaya kadar artışın yüzey kalitesini olumlu etkilediği literatür çalışmalarında da belirtilmiştir [29]. İlerlemenin artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün artması ise ilerlemenin artmasına bağlı olarak talaş hacminin artmasıyla açıklanabilir. Literatüre bakıldığında talaş kaldırma işlemlerinde yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili parametrenin ilerleme miktarı olduğu görülmektedir [30].

Genel anlamda deliğin delinmesi sırasında matkap geometrisinin R_a üzerindeki çok fazla etkisi olduğu görülmektedir. Şekil 8 R_a grafiğinde ortalama en düşük yüzey pürüzlülüğünün elde edildiği MG4 ile delerken elde edilen giriş yüzey pürüzlülüğü yaklaşık 1,202 μm iken, en yüksek giriş yüzey pürüzlülüğünün elde edildiği MG2 ile delerken elde yüzey pürüzlülüğünün yaklaşık 2,175 μm olduğu görülmüştür. Aynı şekilde ortalama en düşük çıkış yüzey pürüzlülüğünün elde edildiği MG4 ile delerken elde edilen yüzey pürüzlülüğü yaklaşık 1,246 μm iken, en yüksek yüzey pürüzlülüğünün elde edildiği MG3 ile delerken elde yüzey pürüzlülüğünün yaklaşık 1,738 μm olduğu görülmüştür. GGG50 malzemesine yönelik dört farklı matkap geometrisi için kullanılan tüm kesme şartlarında (ilerleme, kesme hızı) en yüksek giriş yüzey pürüzlülük değerleri sırasıyla; MG2, MG3, MG4 ve MG1 ile, en yüksek çıkış yüzey pürüzlülük değerleri ise sırasıyla; MG3, MG2, MG4 ve MG1 ile elde edilmiştir. Giriş ve çıkış yüzey pürüzlülüklerine ait grafikler incelendiğinde her dört geometri için de, yüzey kalitesinin bir delme işleminden beklenen yüzey pürüzlülüğü değer aralığında (1,2 ila 2,4 μm arası) olduğu görülmektedir.

3.2.3. Sinyal/Gürültü (S/N) analizine göre ortalama yüzey pürüzlülüğün (R_a)'nın değerlendirilmesi (Evaluation of average surface roughness according to (S/N) analysis)

Yüzey pürüzlülüklerinin en düşük olduğu seviyeler en iyi seviyeler olarak Taguchi Sinyal-Gürültü analizinde “en küçük en iyidir” yaklaşımıyla değerlendirilmiş ve sonuçlar Şekil 9’da gösterilmiştir.

Şekil 9-a’da gösterilen grafikten yararlanarak yapılan giriş tarafındaki yüzey pürüzlülüğü optimizasyonu için uygun kesme parametreleri “A4B1C3” olarak bulunmuştur. MG4 ile ilerleme 0,15 mm/dev. ve kesme hızı 110 m/dak. kombinasyonu için en iyi sonuçların elde edildiği söylenebilir. Çıkış tarafındaki yüzey pürüzlülüğü için yapılan optimizasyonda ise, Şekil 9-b’den yararlanarak uygun kesme parametreleri yine “A4B1C3” olarak belirlenmiştir. MG4 ile ilerleme oranı 0,15 mm/dev. ve kesme hızı 110 m/dak. kombinasyonunun en iyi sonuçları sergilediği görülmektedir.



Şekil 9. a) Giriş tarafındaki yüzey pürüzlülüğü için (μm) ortalama S/N oranı grafiği b) Çıkış tarafındaki yüzey pürüzlülüğü için (μm) ortalama S/N oranı grafiği ((Mean S/N ratio graph for the (a) inlet and (b) outlet surface roughness)

3.3. Geometrik toleranstan sapmaların değerlendirilmesi (Evaluation of the geometric tolerance deviation)

3.3.1. Geometrik toleranstan sapmaların delme tekrarına göre değerlendirilmesi (Evaluation of deviation geometric tolerance deviation by repetition of drilling)

Geometrik toleranstan sapma ölçüm sonucu kullanılarak elde edilen ilk delikten son deliğe dairesellik, silindiriklik ve diklik toleransı değişimleri, 4 farklı matkap geometrisi için Şekil

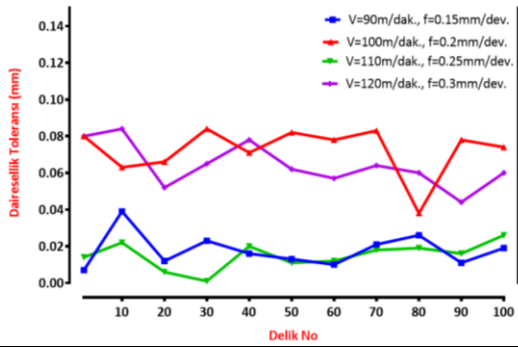
10, 11 ve 12’deki grafiklerde gösterilmiştir. Her bir takımın farklı kesme şartında ilk delikten son deliğe dairesellikten sapma değerlerinde hemen hemen bir değişim olmamıştır.

Şekil 10’daki grafikler incelendiğinde; kesme parametrelerine bağlı olarak ilk delikten son deliğe en düşük ve en yüksek dairesellik toleransı değerlerinin; MG1 ile yapılan delik delme işlemlerinde 0,001-0,084 mm arasında, MG2 ile 0,006-0,046 mm arasında, MG3 ile 0,013-0,054 mm arasında, MG4 ile 0,012-0,039 mm arasında değiştiği görülmektedir. Buna göre en düşük dairesellik toleransı değerleri sırasıyla; MG1,

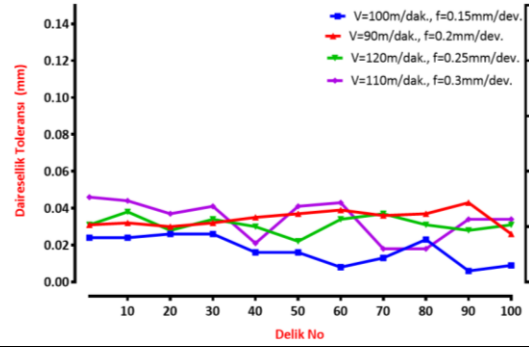
MG2, MG4 ve MG3 ile elde edilmiştir. En yüksek dairesellik toleransı değerleri ise sırasıyla; MG1, MG3, MG2 ve MG4 ile elde edilmiştir.

Her bir matkap için ilk delikten son deliğe silindiriklik toleransı değerlerinde hemen hemen bir değişim olmamıştır. Şekil 11'deki grafikler incelendiğinde; kesme parametrelerine bağlı olarak ilk delikten son deliğe en düşük ve en yüksek silindiriklik toleransı değerlerinin; MG1 ile yapılan delik delme işlemlerinde 0,002-0,023 mm arasında, MG2 ile 0,003-0,022 mm arasında, MG3 ile 0,004-0,034 mm arasında, MG4 ile 0,003-0,023 mm arasında değiştiği görülmektedir. Buna göre en düşük silindiriklik toleransı değerleri sırasıyla; MG3, MG1-MG2 ve MG4 ile elde edilmiştir. En yüksek silindiriklik toleransı değerleri ise sırasıyla; MG3, MG1-MG4 ve MG2 ile elde edilmiştir.

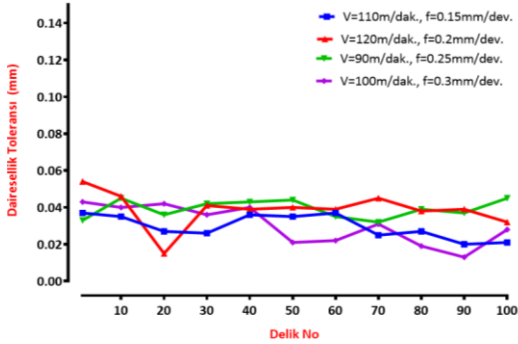
Her bir matkabın farklı kesme şartında ilk delikten son deliğe diklik toleransı değerlerinde hemen hemen her takım geometrisi için farklı kesme şartlarında iniş çıkışlar olduğu görülmektedir. Şekil 12'deki grafikler incelendiğinde; kesme parametrelerine bağlı olarak ilk delikten son deliğe en düşük ve en yüksek diklik toleransı değerlerinin; MG1 ile yapılan delik delme işlemlerinde 0,006-0,044 mm arasında, MG2 ile 0,001-0,037 mm arasında, MG3 ile 0,002-0,041 mm arasında, MG4 ile 0,002-0,042 mm arasında değiştiği görülmektedir. Buna göre en düşük diklik toleransı değerleri sırasıyla; MG2, MG4-MG3, ve MG1 ile elde edilmiştir. En yüksek diklik toleransı değerleri ise sırasıyla; MG1, MG4, MG3 ve MG2 ile elde edilmiştir.



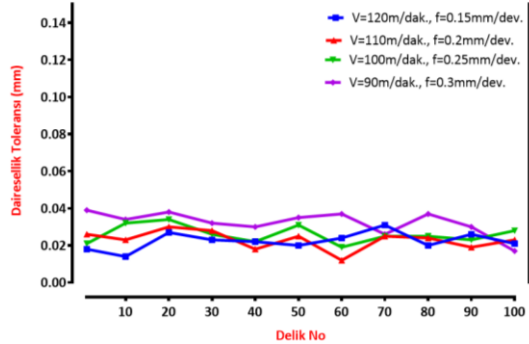
(a) MG1



(b) MG2

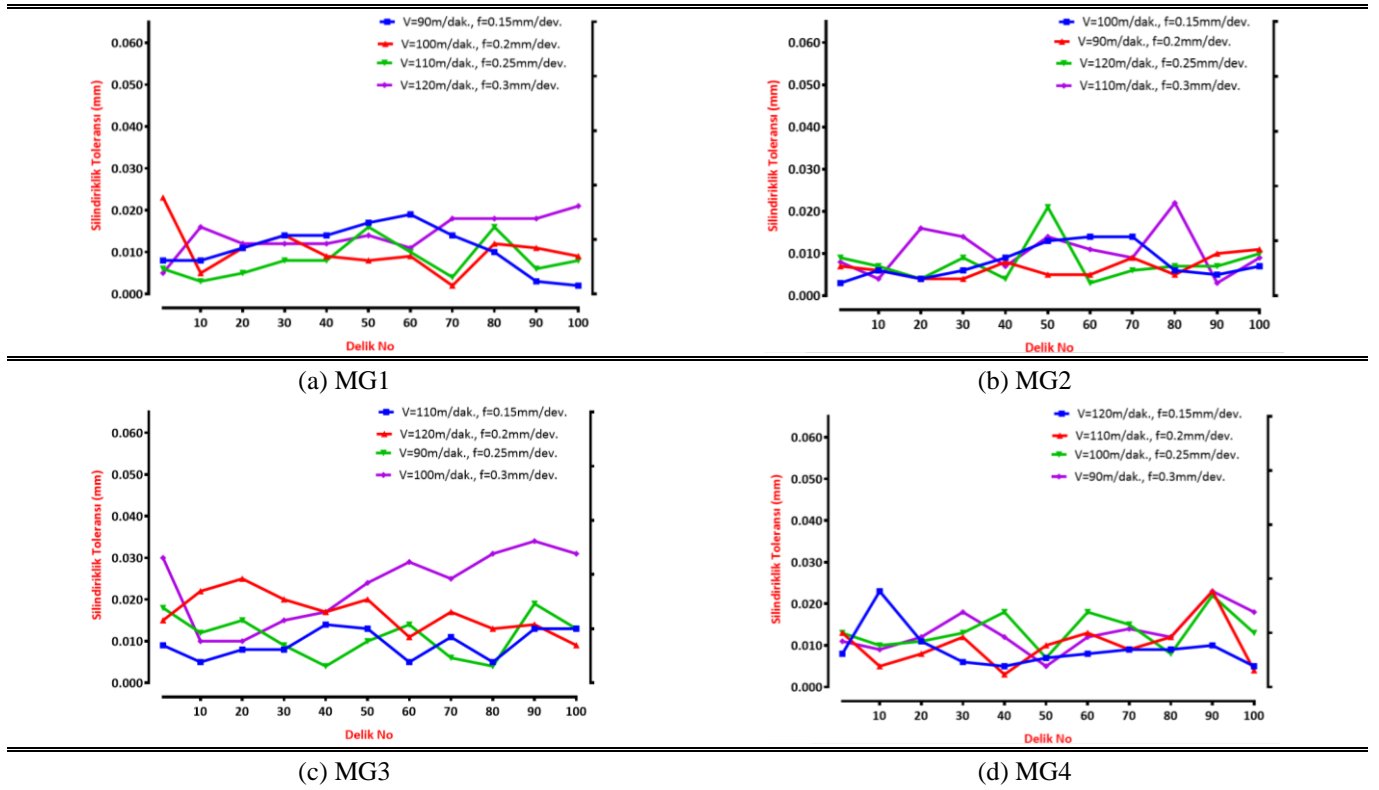


(c) MG3

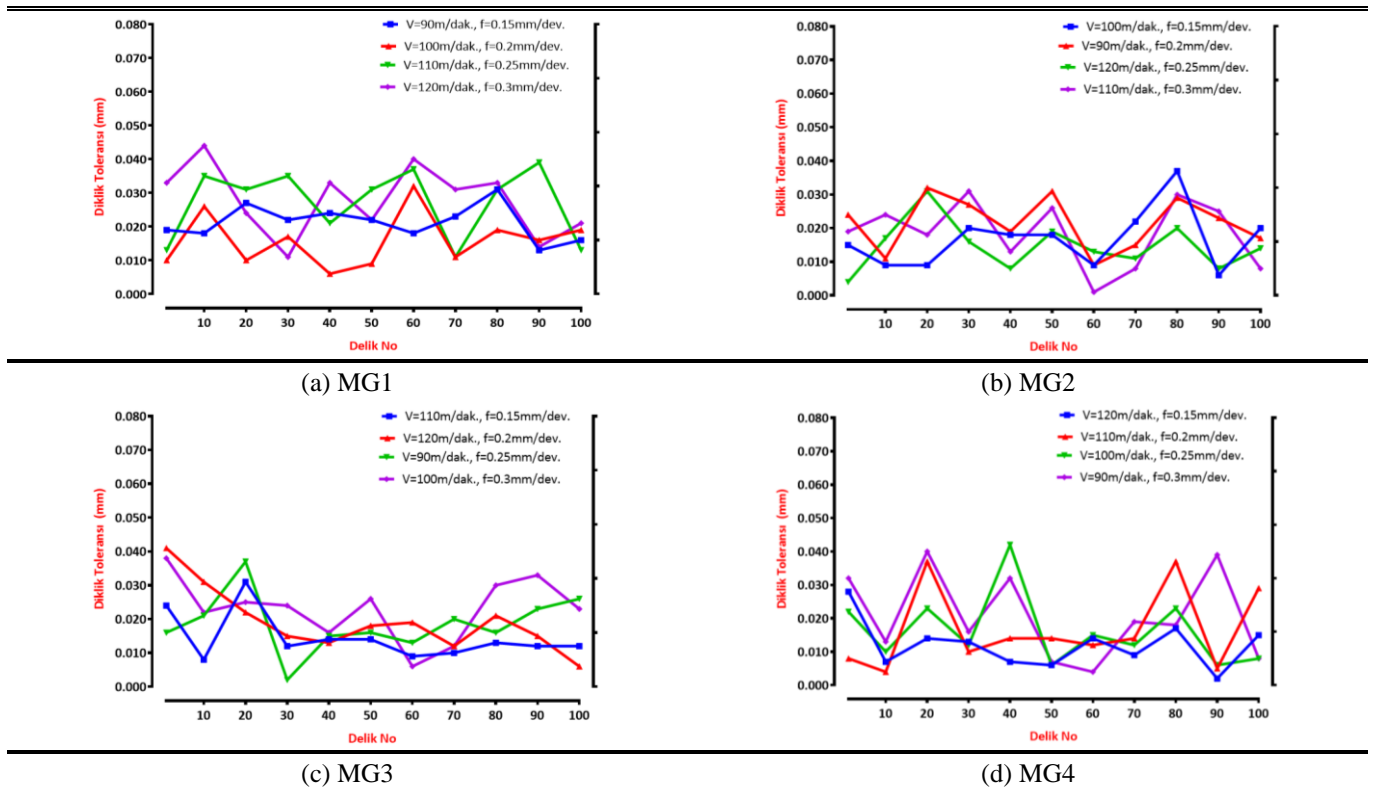


(d) MG4

Şekil 10. Kesme parametrelerindeki değişime bağlı olarak dairesellik toleransı değerlerindeki değişim
(The change in the deviation from circularity values, depending on the change in cutting parameters)



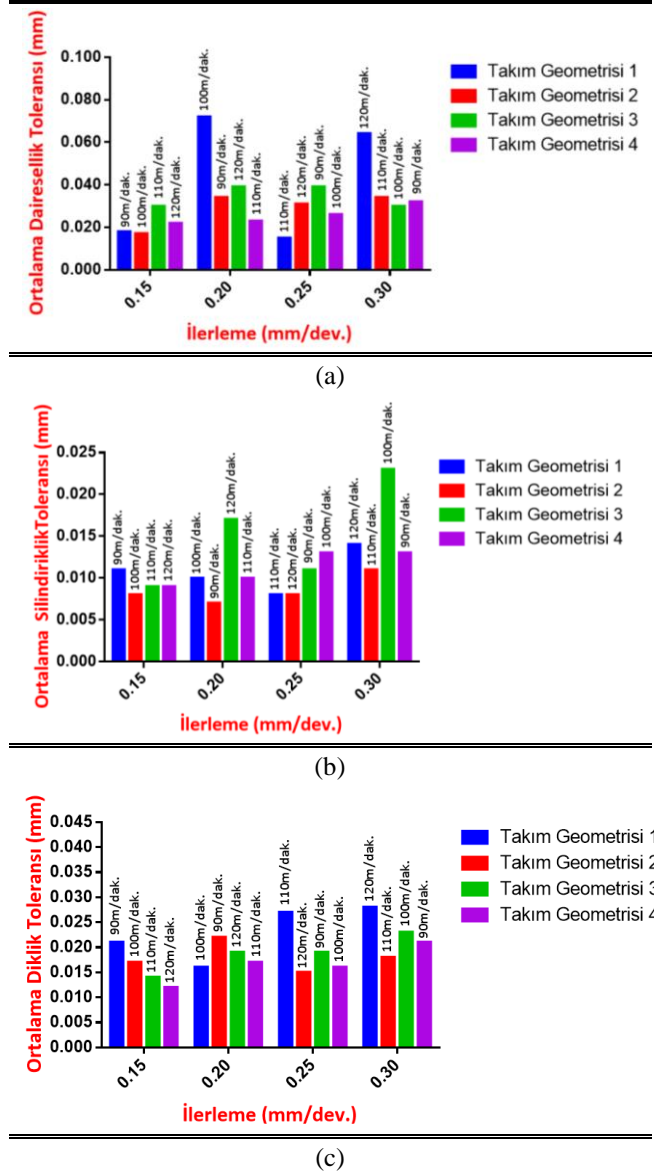
Şekil 11. Kesme parametrelerindeki değişime bağlı olarak silindiriklik toleransı değerlerindeki değişim
(The change in the deviation from cylindricality values, depending on the change in cutting parameters)



Şekil 12. Kesme parametrelerindeki değişime bağlı olarak diklik toleransı değerlerindeki değişim
(The change in the deviation from perpendicularity values, depending on the change in cutting parameters)

3.3.2. Ortalama geometrik toleranstan sapmaların, kesme hızı, ilerleme ve takım geometrisine göre değerlendirilmesi (Evaluation of average geometric tolerance deviation according to cutting speed, feed rate and tool geometry)

GGG50 malzemesinin delinmesinde, ortalama dairesellik, silindiriklik ve diklik toleransı verilerinin, takım geometrisi, ilerleme ve kesme hızına göre değişimi Şekil 13'deki grafiklerde verilmiştir.



Şekil 13. a) Kesme parametreleri ve takım geometrisine göre; a) Ortalama dairesellik toleransı, b) Ortalama silindiriklik toleransı c) Ortalama diklik toleransı değerlerinin değişimi (According to cutting parameters and tool geometry; change in average circularity, cylindricality and perpendicularity tolerance values)

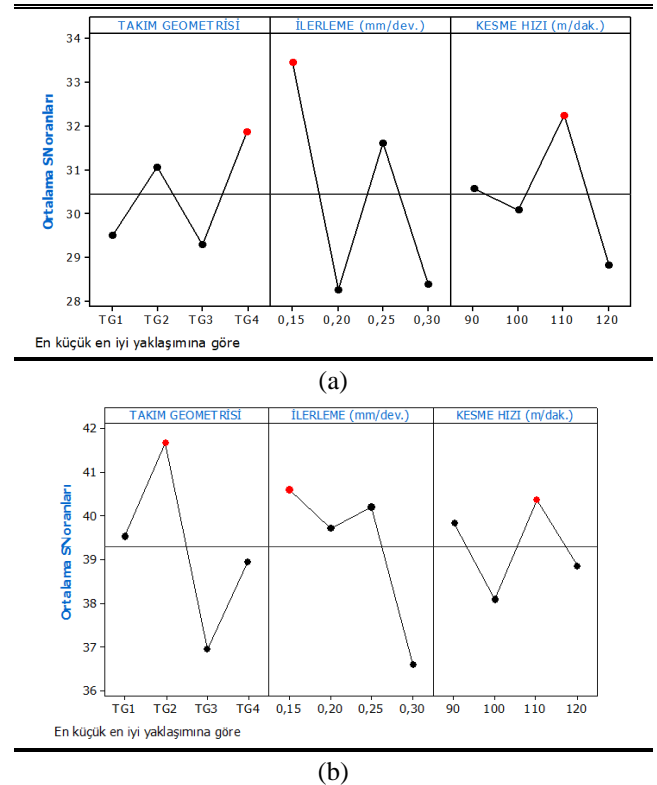
Genel anlamda Şekil 13'de gösterilen grafik incelendiğinde; dairesellik toleransı, silindiriklik toleransı ve diklik toleransı değerlerinin

dağılımında kesme şartlarının (ilerleme, kesme hızı) çok fazla etkisi olduğu görülmektedir.

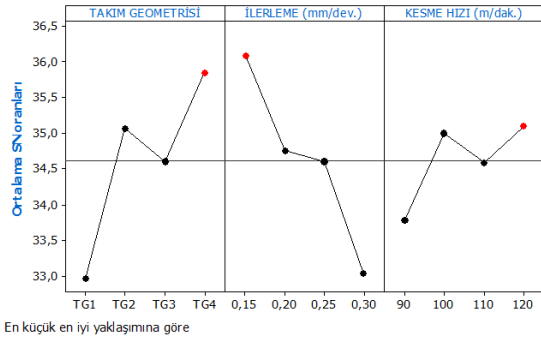
Grafikte en düşük dairesellik toleransı değeri olan 0,015 mm ve en yüksek dairesellik toleransı değeri olan 0,072 mm de MG1 ile elde edilmiştir. GGG50 malzemesine yönelik dört farklı matkap geometrisi için kullanılan tüm kesme şartlarında (ilerleme, kesme hızı) takım geometrisinin de sonuçlar üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. En yüksek silindiriklik toleransı değeri 0,023 mm, MG3 ile elde edilirken, en düşük silindiriklik toleransı değeri 0,007 mm, MG2 ile elde edilmiştir. En yüksek diklik toleransı değeri 0,028 mm, MG1 ile elde edilirken, en düşük diklikten sapma değeri 0,012 mm, MG4 ile elde edilmiştir.

3.3.2. Sinyal/Gürültü (S/N) analizine göre ortalama geometrik sapmaların değerlendirilmesi (Evaluation of average geometric tolerance deviation according to (S/N) analysis)

Geometrik sapmaların en düşük olduğu seviyeler en iyi seviyeler olarak Taguchi Sinyal-Gürültü analizinde "en küçük en iyidir" yaklaşımıyla değerlendirilmiş ve sonuçlar **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**'deki grafiklerde gösterilmiştir.



(b)



(c)

Şekil 14. a) Dairesellik toleransı için (mm) ortalama S/N oranı grafiği b) Silindiriklik toleransı (mm) ortalama S/N oranı grafiği c) Diklik toleransı için (mm) ortalama S/N oranı grafiği (Mean S/N ratio graph for the deviation from circularity, cylindricity and perpendicularity)

Dairesellik toleransı için yapılan optimizasyonda ise **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**-a'den yararlanarak uygun kesme parametreleri "A4B1C3" olarak belirlenmiştir. MG4, ilerleme 0,15 mm/dev. ve kesme hızı 110 m/dak. kombinasyonunun en iyi sonuçları sergilediği görülmektedir.

Silindiriklik toleransı için yapılan optimizasyonda ise **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**-b'den yararlanarak uygun kesme parametreleri "A2B1C3" olarak belirlenmiştir. MG2, ilerleme 0,15 mm/dev. ve kesme hızı 110 m/dak. kombinasyonu ile en iyi sonuçlar elde edilmiştir. Diklik toleransı için yapılan optimizasyonda ise **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**-c'den yararlanarak uygun kesme parametreleri "A4B1C4" olarak belirlenmiştir. MG4, ilerleme 0,15 mm/dev. ve kesme hızı 120 m/dak. kombinasyonunun optimum sonucu verdiği söylenebilir.

3.4. Delme işleminde girdi parametrelerinin performans çıktıları üzerine etkisinin anova analizi ile değerlendirilmesi (Evaluation of the effect of input parameters on performance outcomes in drilling by anova analysis)

Yapılan deneysel çalışmada, ilerleme kuvveti, moment, yüzey pürüzlülüğü, dairesellik toleransı, silindiriklik toleransı ve diklik toleransı değerlerine etkisi olabileceği düşünülen birden fazla parametre kullanılmıştır. Bu parametrelerin her birinin birden fazla seviyesi vardır. Bu durumda, elde edilen değerler için, deneysel çalışmada kullanılan değişkenlerin etki oranlarının saptanması oldukça önemlidir. Böylece deneysel çalışma sonuçları daha iyi anlaşılabilir ve

yorumlanabilir. İlerleme kuvveti, moment, giriş ve çıkış yüzey pürüzlülükleri, dairesellik toleransı, silindiriklik toleransı, diklik toleransı ortalama değerleri Minitab yazılımında anova analizi yapılarak değerlendirilmiştir.

Anova analizi sonuçları incelendiğinde; ilerleme kuvveti sonuçları üzerindeki en etkili parametrelerin sırasıyla; %50,5 ile ilerleme, %47,7 ile takım geometrisi ve %1,2 ile kesme hızı olduğu, moment sonuçları üzerindeki en etkili parametrelerin sırasıyla; %72,1 ile ilerleme, %26,3 ile takım geometrisi ve %0,2 ile kesme hızı olduğu, giriş yüzey pürüzlülüğü sonuçları üzerindeki en etkili parametrelerin sırasıyla; %65,3 ile kesme hızı, %19,8 ile takım geometrisi ve %0,8 ile ilerleme olduğu, çıkış yüzey pürüzlülüğü sonuçları üzerindeki en etkili parametrelerin sırasıyla; %57,3 ile kesme hızı, %18,4 ile takım geometrisi ve %2,2 ile ilerleme olduğu, dairesellikten sapma sonuçları üzerindeki en etkili parametrelerin sırasıyla; %37,2 ile ilerleme, %11,5 ile kesme hızı ve %8,8 ile takım geometrisi olduğu, silindiriklikten sapma sonuçları üzerindeki en etkili parametrelerin sırasıyla; %40,1 ile takım geometrisi, %35,6 ile ilerleme ve %10,8 ile kesme hızı olduğu, diklikten sapma sonuçları üzerindeki en etkili parametrelerin sırasıyla; %31,8 ile ilerleme, %30,1 ile takım geometrisi ve %7,4 ile kesme hızı olduğu bulunmuştur.

Genel anlamda anova analizi değerlendirildiğinde; silindiriklik toleransı için en etkili parametrenin takım geometrisi, ilerleme kuvveti, moment, dairesellik toleransı ve diklik toleransı için en etkili parametrenin ilerleme, giriş ve çıkış yüzey pürüzlülüğü için en etkili parametrenin kesme hızı olduğu söylenebilir.

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Elde edilen veriler ışığında; her bir matkap geometrisinde ilerleme arttıkça ilerleme kuvveti ve momentin de arttığı, kesme hızının artması ile yüzey pürüzlülüklerinin azaldığı gözlemlenmiştir. Ancak, ilerlemenin artması ile bazı takımlarda yüzey pürüzlülüğünün azaldığı, bazılarında arttığı görülmüştür. Uç açısının arttığı durumlarda, moment değerlerinde azalmalar gözlemlendiği, öz kalınlıklarının artmasıyla itme kuvvetinin de arttığı belirlenmiştir. Taguchi Sinyal-Gürültü (S/N) analizinde "en küçük en iyidir" yaklaşımıyla

değerlendirilen sonuçlara göre en uygun kesme parametreleri:

- ✓ Moment optimizasyonunda; MG 2, ilerleme 0,15 mm/dev. ve kesme hızı 90 m/dak.,
- ✓ İlerleme kuvveti optimizasyonunda; MG 4, ilerleme 0,15 mm/dev. ve kesme hızı 120 m/dak.,
- ✓ Giriş tarafındaki yüzey pürüzlülüğü optimizasyonunda; MG 4, İlerleme 0,15 mm/dev. ve kesme hızı 110 m/dak.,
- ✓ Çıkış tarafındaki yüzey pürüzlülüğü için yapılan optimizasyonda; MG 4, ilerleme oranı 0,15 mm/dev. ve kesme hızı 110 m/dak.,
- ✓ Dairesellik toleransı için yapılan optimizasyonda; MG 4, ilerleme 0,15 mm/dev. ve kesme hızı 110 m/dak.,
- ✓ Silindiriklik toleransı için yapılan optimizasyonda; MG 2, ilerleme 0,15 mm/dev. ve kesme hızı 110 m/dak.,
- ✓ Diklik toleransı için yapılan optimizasyonda ise; MG 4, ilerleme 0,15 mm/dev. ve kesme hızı 120 m/dak.,

uygulanabilir parametreler olarak belirlenmiştir. Anova analizine göre; silindiriklik toleransı için en etkili parametrenin takım geometrisi, ilerleme kuvveti, moment, dairesellik toleransı ve diklik toleransı için en etkili parametrenin ilerleme, giriş ve çıkış yüzey pürüzlülüğü için en etkili parametrenin kesme hızı olduğu söylenebilir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmayı “TÜBİTAK 1501- Sanayi Ar-Ge Projeleri Destekleme Programı” kapsamında “3130691” no’lu proje ile destekleyen TÜBİTAK-TEYDEB’e teşekkür ederiz.

KAYNAKÇA

- [1] Q. Zhang, “A Study of high performance twist drill design and the associated predictive force models”, *PhD. Thesis*, The University of New South Wales Mechanical and Manufacturing Engineering, Australia, 2007.
- [2] J. Zhu, “Machining Feature based geometric modeling of twist drills”, *M. Sc.*

Thesis, Concordia University Mechanical & Industrial Engineering, Applied Science (Mechanical Engineering), Canada, 2011.

- [3] W.D. Tsai, S.M. Wu, “A Mathematical Model for Drill Point Design and Grinding”. *Journal of Engineering for Industry*, 101, 333-340, 1979.
- [4] E. Abele, M. Fajara, “Simulation-based twist drill design and geometry optimization”, *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 59(1), 145-150, 2010.
- [5] S. Fujii, M. F. Devries, and S. M. Wu, "An Analysis of Drill Geometry for Optimum Drill Design by Computer ", *Journal Of Engineering for Industry*, 70(5), 1970.-----
- [6] S. Fujii, M.F. Devries and S.M. Wu, “Analysis of the chisel edge and the effect of the d-theta relationship on drill point geometry”, *ASME Journal of Engineering for Industry*, 93, 1093-1105, 1971.
- [7] W.D. Tsai, S.M. Wu, “Computer Analysis of drill point geometry international”, *Journal of Machine Tools and Manufacture*, 19, 95-108, 1979.
- [8] A. Thangaraj, P. Wright and M. Nissle, “New experiments on the temperature distribution in drilling”, *Journal of Engineering Materials and Technology*, 106(3), 242-247, 1984.
- [9] W. C. Chen, K. H. Fuh, C. F. Wu and B. R. Chang, “Design optimization of a split-point drill by force analysis”, *Journal of Materials Processing Technology*, 58(2-3), 314-322, 1996.
- [10] K. Ren, J. Ni, “Analyses of drill flute and cutting angles”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 15, 546-553, 1999.
- [11] H. Hocheng, C.C. Tsao, “Comprehensive analysis of delamination in drilling of composite materials with various drill bits”, *Journal of Materials Processing Technology*, 335–339, 2003.

- [12] J. A. Degenhardt, R. E. DeVor and S. G. Kapoor, "Generalized groove-type chip breaker effects on drilling for different drill diameters and flute shapes". *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 45(14), 1588-1597, 2005.
- [13] J. F. Hsieh, "Mathematical model for helical drill point". *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 45(7), 967-977, 2005.
- [14] J. Jung, R. Mayor and J. Ni, "Development of freeform grinding methods for complex drill flank surfaces and cutting edge contours", *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 45(1), 93-103, 2005.
- [15] A. Paul, S. G. Kapoor and R. E. DeVor, "Chisel edge and cutting lip shape optimization for improved twist drill point design". *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 45(4), 421-431, 2005.
- [16] M. Pirtini, I. Lazoglu, "Forces and hole quality in drilling", *International Journal Of Machine Tools and Manufacture*, 45(11), 1271-1281, 2005.
- [17] H. Hocheng, C. C. Tsao, "Effects of special drill bits on drilling-induced delamination of composite materials", *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 46(12), 1403-1416, 2006.
- [18] A. Vijayaraghavan, "Automated drill design software", *Berkeley: University of California*, 2006.
- [19] A. Vijayaraghavan, D. Dornfeld, "Automated Drill Modeling for Drilling Process Simulation", *Laboratory for Manufacturing and Sustainability*, (2006).
- [20] J. Audy, "A study of computer-assisted analysis of effects of drill geometry and surface coating on forces and power in drilling", *Journal of Materials Processing Technology*, 204(1), 130-138, 2008.
- [21] C. C. Tsao, "Investigation into the effects of drilling parameters on delamination by various step-core drills", *Journal of Materials Processing Technology*, 206(1), 405-411, 2008.
- [22] J. Wang, Q. Zhang, "A study of high-performance plane rake faced twist drills, Part I: Geometrical analysis and experimental investigation", *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 48(11), 1276-1285, 2008.
- [23] K. Sambhav, S. G. Dhande, P. Tandon, "CAD based mechanistic modeling of forces for generic drill point geometry", *Computer-Aided Design and Applications*, 7(6), 809-819, 2010.
- [24] E. M. A. Satoshi, "Effects of twist drill point geometry on torque and thrust", *Natural Science*, 36-165, 2012.
- [25] M. Yavuz, H. Gökçe, U. Şeker, "Matkap geometrisinin takım aşınması ve talaş oluşumu üzerine etkisinin araştırılması", *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 3(1), 1-8, 2017.
- [26] E. Güneş, Ç. Demirel, G. Toprak, M. Çetin, F. Gül, "GGG50 Malzemenin Abrasif Aşınma Davranışına Borlamanın Etkisi", *6th International Advanced Technologies Symposium*, 2011.
- [27] B. Kılınc, "GGG 50 Sınıfı Dökme Demire Bakır İlavesinin Mekanik Özelliklere Etkisi", *Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Üniversitesi*, 2009.
- [28] M.B. Lazar, "Cutting force modelling for drilling of fiber-reinforced composites", *in à la faculté des sciences et techniques de l'ingénieur. PhD. Thesis, École Polytechnique Fédérale De Lausanne*, 2012.
- [29] U. Şeker, "Kesici takım tasarımı ders notları", *Ankara: Gazi Üniversitesi*, 2008.
- [30] S. Yağmur, "Delik Delme işlemlerinde kesme parametrelerine bağlı olarak oluşan sıcaklığın deneysel olarak incelenmesi", *Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 2011.