
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
Gazi
1926

MATKAP UÇ VE KANAL GEOMETRİSİ TASARIMI VE DELME PERFORMANSI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Güven MERAL

DOKTORA TEZİ
MAKİNA EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KASIM 2016

Güven MERAL tarafından hazırlanan "MATKAP UÇ VE KANAL GEOMETRİSİ TASARIMI VE DELME PERFORMANSI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Makine Eğitimi Anabilim Dalında DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Hakan DİLİPAK
İmalat Mühendisliği, Gazi Üniversitesi
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum .....

Başkan : Prof. Dr. İhsan KORKUT
İmalat Mühendisliği, Gazi Üniversitesi
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum .....

Üye : Doç. Dr. Hüdayim BAŞAK
Endüstriyel Tasarım Mühendisliği, Gazi Üniversitesi
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum .....

Üye : Yrd. Doç. Dr. Murat SARIKAYA
Makine Mühendisliği, Sinop Üniversitesi
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum .....

Üye : Yrd. Doç. Dr. Şener KARABULUT
Makine, Hacettepe Üniversitesi
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum .....

Tez Savunma Tarihi: 17/11/2016

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Doktora Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Hadi GÖKÇEN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Güven MERAL

17/11/2016

MATKAP UÇ VE KANAL GEOMETRİSİ TASARIMI VE DELME PERFORMANSI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

(Doktora Tezi)

Güven MERAL

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Kasım 2016

ÖZET

Makine imalat sektöründe önemli bir yere sahip delme takımları için ödenen ithalat bedelleri gün geçtikçe hızla artmaktadır. Ar-ge çalışmaları ile bu takımların üretim maliyetleri düşürülerek yerli hale getirilmesi ülkemiz ekonomisinde dışa bağımlılığı azaltmak açısından büyük önem arz etmektedir. Yapılan bu çalışmada, farklı matkap uç ve kanal geometrilerinin delik delme performansı üzerine etkisinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla, iki adet özgün matkap kanal geometrisi tasarlanmış ve üretilmiştir. Deneysel çalışmalarda ticari olarak tedarik edilebilen en yaygın iki takım geometrisi (Geometri 1, Geometri 2) ile geliştirilen özgün iki kanal geometrisi (Geometri 3, Geometri 4) performansları test edilmiştir. Deney parametreleri olarak dört farklı kesme hızı (90, 100, 110, 120 m/dk) ve dört farklı ilerleme (0.15, 0.20, 0.25, 0.30 dev/dk) değeri kullanılmıştır. Deneyler AISI 4140 malzeme üzerinde, içten soğutma kanallı 10 mm çapında helisel yekpare karbür matkaplar kullanılarak yapılmıştır. Takım geometrilerinin delik delme performansı üzerindeki etkilerini araştırmak ve ideal işleme parametrelerinin belirlemek için Taguchi L_{16} (4^3) deney tasarımı kullanılmıştır. Elde edilen veriler ışığında AISI 4140 malzemesi için geliştirilen özgün matkap geometrisi olan Geometri 4 diğer geometrilere (Geometri 1 ve Geometri 2) ve geliştirilen diğer özgün geometriye (Geometri 3) kuvvet, yüzey pürüzlülüğü çaptan sapma, silindiriklikten sapma, diklik ve eşmerkezlilik açısından üstünlük sağlamıştır. Artan ilerleme miktarının kesme kuvvetlerini ve delik kalitesini olumsuz yönde etkilediği görülmüştür. Anova analizi ile giriş parametrelerinin deney sonuçları üzerindeki etkisi istatistiksel olarak bulunmuştur. Ayrıca Taguchi'nin Sinyal/Gürültü (S/G) analizi, yardımıyla en iyi sonuç için kontrol faktörlerinin optimum seviyeleri belirlenmiştir.

Bilim Kodu : 70028
Anahtar Kelimeler : Delil delme, matkap tasarımı, kanal geometrisi, kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü, delik kalitesi, taguchi
Sayfa Adedi : 130
Danışman : Doç. Dr. Hakan DİLİPAK

AN INVESTIGATION OF THE EFFECTS ON DRILLING PERFORMANCE AND TWIST DRILL POINT AND FLUTE GEOMETRY DESIGN

(Ph. D. Thesis)

Güven MERAL

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

November 2016

ABSTRACT

Import prices paid for drilling tools, which have an important place in the machining sector are increasing day by day. From the point of decreasing the outside dependency in the economy it is significantly important to decrease the production costs of these tools via research&development studies and make them local . The purpose of this study is the investigation of the effect of different drill points and flute geometries on the drilling performance. For this purpose, two original drill channel geometries have been designed and produced. In the experimental studies , the performance of the two specific flute geometries (Geometry 3 , Geometry 4) developed by two very common tool geometries (Geometry 1, Geometry 2) was tested. As the test parameters, four different cutting speeds (90, 100, 110, 120 m/min) and four different feed rates (0.15, 0.20, 0.25, 0.30 rev/min) were used. Experiments were carried out on AISI 4140 material using 10 mm diameter helical solid carbide drills with internal cooling channels. Taguchi's orthogonal array design of experiment $L_{16}\,(4^3)$ was utilized to investigate the influence of the tool geometry on the drilling performance and to determine the optimal drilling parameters during experimental study. After the tests it was observed that the specific drill geometry Geometry 4 which was developed for AISI 4140 material gained an advantage over the other geometries (Geometry1 and Geometry 2) and the other developed specific geometry (Geometry 3) from the points of force,surface roughness, deviation from diameter, deviation from cylindricity, perpendicularity and concentricity. It was seen that, increasing of feed rate had an adverse effect on the cutting forces and hole quality. The effect of the input parameters on the experimental results was statistically determined by the Anova analysis. In addition, Taguchi's Signal / Noise (S / G) analysis has been used to determine optimal levels of control factors for best results.

Science Code : 70028
Key Words : Drilling, drill design, flute geometry, cutting force, surface roughness, hole quality, taguchi
Page Number : 130
Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Hakan DİLİPAK

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca bilgi, tecrübe ve görüşleriyle beni yönlendiren ve desteğini esirgemeyen sayın danışmanım Doç. Dr. Hakan DİLİPAK'a, Tez izleme komitesi üyeleri sayın Prof. Dr. İhsan KORKUT ve sayın Doç. Dr. Hüdayim BAŞAK'a teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca çalışmam sırasınca yardımlarını esirgemeyen Prof. Dr. Ulvi Şeker, Yrd. Doç. Dr. Murat SARIKAYA, Arş. Gör. Dr. Gültekin UZUN, Uzm. Dr. Selçuk YAĞMUR, Yafes ÇAVUŞ ve bütün mesai arkadaşlarıma ve bu süreçte beni yalnız bırakmayan aileme teşekkür ederim. Kesici takımların geliştirilmesi ve üretilmesi sırasında proje ortağı olarak katkıları sebebiyle Karcan Kesici Takım Sanayi Ve Ticaret Limited Şirketi'ne ve Ar-Ge sorumlusu Sayın Çağlar YAVAŞ'a teşekkür ederim. Bu tez kapsamında her türlü imkanı sağlayan Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Bölüm Başkanlığına teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv

ABSTRACT v

TEŞEKKÜR vi

İÇİNDEKİLER vii

ÇİZELGELERİN LİSTESİ x

ŞEKİLLERİN LİSTESİ xi

RESİMLERİN LİSTESİ xv

SİMGELER VE KISALTMALAR xvi

1. GİRİŞ 1

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI 5

2.1. AISI 4140 ile İlgili Delme Üzerine Yapılan Çalışmalar 5

2.2. AISI 4140 ile İlgili Yapılan Diğer Çalışmalar 6

2.3. Delme ile İlgili Yapılan Diğer Çalışmalar 10

3. KURAMSAL TEMELLER 21

3.1. AISI 4140 21

3.2. Talaşlı İmalat 26

3.2.1. Talaşlı imalatta yüzey pürüzlülüğü 26

3.2.2. Yüzey pürüzlülüğünü etkileyen ana faktörler 28

3.2.3. Yüzey pürüzlülüğü belirleme metodu 29

3.3. İşlenebilirlik 31

3.4. Delik Delme 32

3.4.1. Delik delme işlemini etkileyen faktörler 33

3.4.2. Delik daireselliği, silindiriklik, diklik ve eş merkezlilik 40

Sayfa

3.4.3. Delme işlemlerinde dikkat edilmesi gereken hususlar 42

3.4.4. Delik delme işlemlerinde oluşan sorunlar ve çözüm önerileri 49

3.4.5. İş parçası hatalarının teşhisi ve düzeltilmesi..... 51

3.5. Taguchi Metodu 52

3.5.1. Taguchi'nin sinyal / gürültü oranları 55

3.5.2. Uygun ortogonal dizinin seçilmesi 56

3.5.3. Varyans analizi (ANOVA) 57

3.5.4. Doğrulama deneylerinin yapılması 67

4. ÖZGÜN MATKAP GEOMETRİSİ TASARIMI VE İMALATI 59

5. MATERYAL ve METOT 69

5.1. İş Parçası Malzemesi 69

5.2. Bağlama Kalıbı Tasarımı 70

5.3. Kesici Takımlar (Matkaplar) 71

5.4. Deneyler İçin Kullanılan Taguchi Deney Tasarımı 71

5.5. Takım Tezgahı 72

5.6. Ölçümler ve Kullanılan Ölçüm Tezgâhları / Cihazlar 73

5.6.1. Takıma etkiyen kuvvetlerin ve momentlerin ölçülmesi 73

5.6.2. Delik çapı ve delik sapma değeri ölçümü 74

5.6.3. Deliklerin yüzey pürüzlüklerinin ölçülmesi 75

5.7. Varyans Analizi 76

5.8. S/G Analizi 77

6. DENEY SONUÇLARI, ANALİZ VE TARTIŞMA 79

6.1. Deneysel Sonuçlar 79

6.1.1. İlerleme kuvvetleri (Fz) ve momentlerin (Mz) genel değerlendirilmesi ... 80

Sayfa

6.1.2. Yüzey pürüzlülüğünün genel değerlendirmesi 86

6.1.3. Ölçü tamlığı ve geometrik saplamaların değerlendirilmesi 91

6.2. İstatistiksel Analiz 101

6.2.1 Varyans analizi ve matematiksel modelleme 101

6.2.2. S/G Analizi 107

7. SONUÇ VE ÖNERİLER 117

KAYNAKLAR 121

ÖZGEÇMİŞ 129

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 3.1. AISI 4140 çeliğinin kimyasal kompozisyonu 21

Çizelge 3.2. AISI 4140 çeliğinin ısıl özellikleri 22

Çizelge 3.3. AISI 4140 çeliğinin mekanik özellikleri 22

Çizelge 3.4. AISI 4140 çeliğinin elektriksel özelliği 22

Çizelge 3.5. AISI 4140 çeliğinin ısıl işlem özellikleri 23

Çizelge 3.6. AISI 4140 çeliğinin yaklaşık kritik sıcaklıkları 23

Çizelge 3.7. Delme işlemlerindeki problemler, nedenleri ve çözüm önerileri 49

Çizelge 3.8. Delme işlemlerinde hatalar ve düzeltilmesi 51

Çizelge 5.1. Deneylerde kullanılan AISI 4140 malzemesinin kimyasal kompozisyonu 69

Çizelge 5.2. Ana deneyler için kontrol faktörleri ve seviyeleri 71

Çizelge 5.3. Taguchi L16 orthogonal deney tasarımı 72

Çizelge 5.4. Johnford VMC–550 CNC Dik İşleme Merkezi özellikleri 73

Çizelge 5.5. Kistler 9272 dinamometrenin teknik özellikleri 74

Çizelge 5.6. Kistler Type 5070 amplifier teknik özellikleri 74

Çizelge 5.7. CMM tezgâhının teknik özellikleri 75

Çizelge 5.8. Yüzey pürüzlülük ölçme cihazının teknik özellikleri 76

Çizelge 5.9. Kontrol faktörleri ve seviyeleri 76

Çizelge 6.1. Deneysel çalışmalar esnasında belirlenen girdiler ile deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen çıktılar 79

Çizelge 6.2. Varyans analizi sonuçları 101

Çizelge 6.3. S/G oranları 108

Çizelge 6.4. S/N oranları ve sonuçların ortalaması 104

Çizelge 6.5. Optimum seviyeler ve değerleri 115

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 1.1. Üretkenlik açısından karbür matkapların diğer matkap çeşitlerine göre endüstride tercih edilirliği 1

Şekil 1.2. Delik kalitesi açısından karbür matkapların diğer matkap çeşitlerine göre endüstride tercih edilirliği 2

Şekil 3.1. AISI 4140 çeliğine ait TTT diyagramı 24

Şekil 3.2. AISI 4140 çeliğine ait CCT diyagramı 25

Şekil 3.3. Yüzey pürüzlülüğüne etki eden faktörler 29

Şekil 3.4. Yüzey pürüzlülük ölçümü için kullanılan koordinatlar 30

Şekil 3.5. İzleyici uçlu cihazların çalışma prensibi 31

Şekil 3.6. Delme işlemi 32

Şekil 3.7. Delik delme performansı kriterlerini etkileyen faktörler 34

Şekil 3.8. Çift ağızlı matkap ve kovanın geometrisi 35

Şekil 3.9. Kesme hızı-ilerleme hızı 37

Şekil 3.10. a) Delme işlemlerinde talaş kesit alanı b) Kesici kenar başına ilerleme 38

Şekil 3.11. Dairesellikten sapmanın değerlendirilmesi 40

Şekil 3.12. Silindiriklikten sapmanın değerlendirilmesi 41

Şekil 3.13. Diklikten sapmanın değerlendirilmesi 41

Şekil 3.14. Eş merkezlilikten sapmanın değerlendirilmesi 42

Şekil 3.15. Delik delmede minimum salgı 43

Şekil 3.16. Tutucuyla ve kesme sıvısı adaptörüyle delik delme 43

Şekil 3.17. Gagalayarak delme çevrimi 44

Şekil 3.18. 5°’ den daha düşük eğim 45

Şekil 3.19. Matkap deliğin içinden çıkarken ilerleme 45

Şekil 3.20. 5~10°’ lik eğim 45

Şekil **Sayfa**

Şekil 3.21. 10°'den daha büyük eğim açısı 46

Şekil 3.22. Düzensiz yüzeyler 46

Şekil 3.23. İç bükey yüzeyler 47

Şekil 3.24. Dış bükey yüzeyler 47

Şekil 3.25. Çapraz delik delme 47

Şekil 3.26. İstif delik delme 48

Şekil 4.1. 5 Eksen taşlama işlemi 59

Şekil 4.2. Deneylerde kullanılan yekpare karbür matkaplar; a) Geometri 1, b) Geometri 2, c) Geometri 3 (Özgün Geometri 1), d) Geometri 4 (Özgün Geometri 2) 62

Şekil 4.3. Geometri 3'e ait kanal formu ve taşlama formu 64

Şekil 4.4. Geometri 4'e ait kanal formu ve taşlama formu 65

Şekil 5.1. Üzerine delikler açılmış formuyla deney numuneleri 70

Şekil 5.2. Deneylerde kullanılan bağlama kalıbı ve dinamometre üzerindeki gösterimi 70

Şekil 5.3. Deney düzeneği 73

Şekil 6.1. Geometri ve ilerleme miktarına bağlı ilerleme kuvvetlerindeki değişim 80

Şekil 6.2. Geometri ve kesme hızına bağlı olarak ilerleme kuvvetlerindeki değişim 81

Şekil 6.3. İlerleme miktarı ve kesme hızına bağlı ilerleme kuvvetlerindeki değişim 81

Şekil 6.4. İlerleme kuvveti ortalama etki grafiği 82

Şekil 6.5. Geometri ve ilerleme miktarına bağlı momentlerdeki değişim 84

Şekil 6.6. Geometri ve kesme hızına bağlı olarak momentlerdeki değişim 84

Şekil 6.7. İlerleme miktarı ve kesme hızına bağlı olarak momentlerdeki değişim 85

Şekil 6.8. Moment ortalama etki grafiği 85

Şekil 6.10. Geometri ve kesme hızına bağlı olarak Ra-giriş'deki yüzey pürüzlülük değişimi 87

Şekil **Sayfa**

Şekil 6.11. İlerleme miktarı ve kesme hızına bağlı olarak Ra-giriş'deki yüzey pürüzlülük değişimi 87

Şekil 6.12. Ra-giriş ortalama etki grafiği 88

Şekil 6.13. Geometri ve ilerleme miktarına bağlı olarak Ra-çıkış'daki yüzey pürüzlülük değişimi 89

Şekil 6.14. Geometri ve kesme hızına bağlı olarak Ra-çıkış'daki yüzey pürüzlülük değişimi 89

Şekil 6.15. İlerleme miktarı ve kesme hızına bağlı olarak Ra-çıkış'daki yüzey pürüzlülük değişimi 90

Şekil 6.16. Ra-çıkış ortalama etki grafiği 90

Şekil 6.17. Geometri ve ilerleme miktarına bağlı olarak çaptan sapmadaki değişim..... 92

Şekil 6.18. Geometri ve kesme hızına bağlı olarak çaptan sapmadaki değişim 92

Şekil 6.19. İlerleme miktarı ve kesme hızına bağlı olarak çaptan sapmadaki değişim .. 93

Şekil 6.20. Çaptan sapma ortalama etki grafiği 93

Şekil 6.21. Geometri ve ilerleme miktarına bağlı olarak silindiriklikten sapmadaki değişim 95

Şekil 6.22. Geometri ve kesme hızına bağlı olarak silindiriklikten sapmadaki değişim 95

Şekil 6.23. İlerleme miktarı ve kesme hızına bağlı olarak silindiriklikten sapmadaki değişim 96

Şekil 6.24. Silindiriklikten sapma ortalama etki grafiği 96

Şekil 6.25. Geometri ve ilerleme miktarına bağlı olarak diklikteki değişimler 97

Şekil 6.26. Geometri ve kesme hızına bağlı olarak diklikteki değişimler 98

Şekil 6.27. İlerleme miktarı ve kesme hızına bağlı olarak diklikteki değişimler 98

Şekil 6.28. Diklik ortalama etki grafiği 99

Şekil 6.29. Geometri ve ilerleme miktarına bağlı olarak eş merkezlilikten sapma 99

Şekil 6.30. Geometri ve kesme hızına bağlı olarak eş merkezlilikten sapma 100

Şekil 6.31. İlerleme miktarı ve kesme hızına bağlı olarak eş merkezlilikten sapma 100

Şekil **Sayfa**

Şekil 6.32. Eş merkezlilik ortalama etki grafiği 101

Şekil 6.33. Varyans analizinin grafiksel gösterimi 102

Şekil 6.34. Elde edilen normal olasılık grafikleri 107

Şekil 6.35. S/G oranları ve ortalamalar grafiği a) çaptan sapma b) silindirlikten sapma c) diklik d) eşmerkezlilik e) kuvvet f) moment g) Ra-giriş h) Ra-çıkış 112

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim **Sayfa**

Resim 4.1. Mitutoyo round-test cihazı..... 60

Resim 4.2. Rollomatic NP5 özel hassas silindirik taşlama tezgâhı 60

Resim 4.3. a) Walter Helicheck, b) Mitutoyo Surface Test SJ-400 61

Resim 4.4. Zoller Genius Smart..... 61

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
ap	Talaş genişliği veya radyal talaş derinliği, mm
D	Matkap çapı, mm
f	Devir başına ilerleme, mm/dev
Fc	Esas kesme kuvveti, N
Fr	Radyal kuvvet, N
Ft	İlerleme Kuvveti (Thrust Force), N
Fy	Teğetsel Kuvveti, N
fz	Diş başına ilerleme, mm/diş
k	Isı geçirgenlik katsayısı, W/mK
L	İlerleme uzunluğu, mm
M	Moment, Ncm
n	Devir sayısı, dev/dk
P	Anlamlılık değeri
Ra	Ortalama yüzey pürüzlüğü, µm
Vc	Kesme hızı, m/dk
Vf	İlerleme hızı, mm/dk
y	Östenit
Fe_3 C	Sementit
a	Ferrit
Ms	Martensit başlangıcı
Mf	Martensit bitişi
B	Beynit
P	Perlit
Ac1	Çeliklerin ısıtılmalarında perlitin östenite kritik dönüşüm sıcaklığı

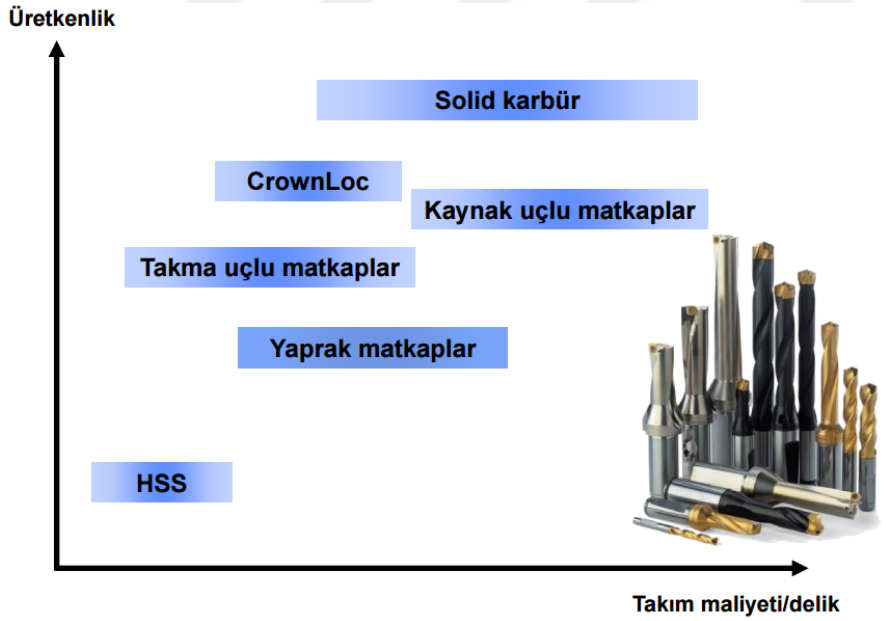
Simgeler	Açıklamalar
Ac 3	Çeliklerin ısıtılmalarında çelik hacminin östenite kritik dönüşüm sıcaklığı
Ar1	Çeliklerin soğutulmasında östenitten perlite kritik dönüşüm sıcaklığı
Ar 3	Çeliklerin soğutulmasında östenitten ferrite kritik dönüşüm sıcaklığı

Kısaltmalar	Açıklamalar
AISI	American Iron and Steel Institute (Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü)
ANOVA	Analysis of Variances (Varyans Analizi)
CMM	Coordinate Measuring Machine (Koordinat Ölçme Tezgahı)
CNC	Computer Numerical Control (Bilgisayarlı Sayısal Denetim)
DIN	Deutch Industrie Normen (Alman Endüstri Normları)
S/G	Sinyal / Gürültü Oranı
TiAlN	Titanyum Alüminyum Nitrit
TGÖ	Toplam Gösterge Okuması

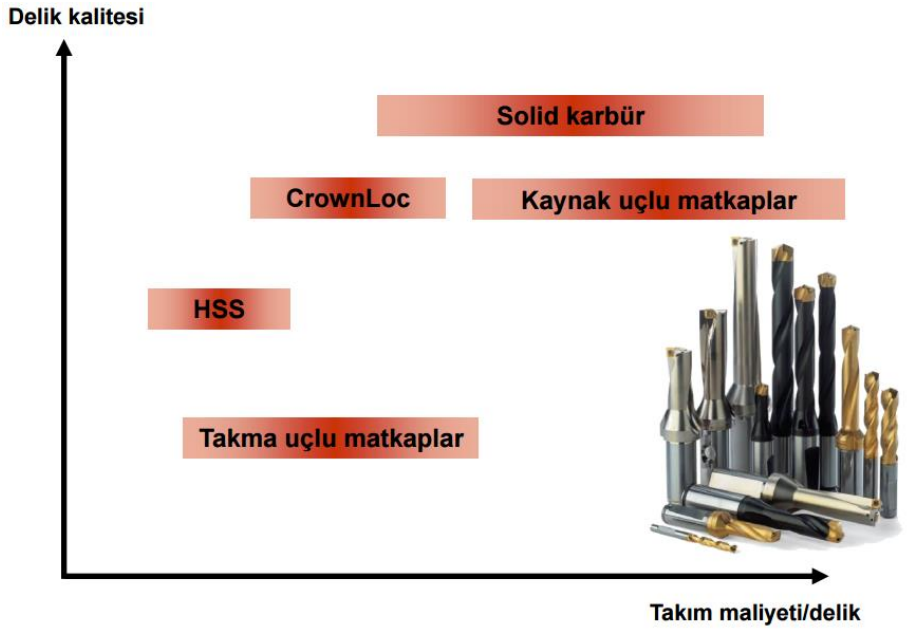
1. GİRİŞ

Günümüz talaş kaldırma işlemlerinin önemli bir kısmını delik delme işlemleri oluşturmaktadır. Delik delme işlemlerinin en önemli hedeflerinin başında düşük maliyet ve delik kalitesi gelmektedir. Helisel matkap tarafından delinen deliklerin kalitesi iş parçası, kesme parametreleri ve kesici takım olarak sıralanabilecek üç ana faktöre bağlıdır. Kesici takımı etkileyen ana faktörler ise matkap uç geometrisi, statik ve dinamik rijitlik, deliğin yüzey kalitesi, takım malzemesi ve matkabın genel geometrisidir. Matkapta kullanılan değişkenler matkabın özelliğini belirlemektedir bunlar; uzunluk, talaş açısı, farklı matkap uç geometrileri, serbest açı ve talaş kanalı konstrüksiyonudur [1].

Endüstride kullanılan matkap uçlarının %90'ından fazlası 13 mm'nin altındaki matkap uçlarından oluşmaktadır [2]. Delik başına takım maliyeti dikkate alınarak yapılan incelemede ise üretkenlik (Şekil 1.1) ve delik kalitesi (Şekil 1.2) açısından karbür matkapların diğer matkap çeşitlerine göre endüstride daha tercih edilmektedir [3].



Şekil 1.1. Üretkenlik açısından karbür matkapların diğer matkap çeşitlerine göre endüstride tercih edilirliği [3]



Şekil 1.2. Delik kalitesi açısından karbür matkapların diğer matkap çeşitlerine göre endüstride tercih edilirliği [3]

Endüstride nitelikli çeliklerin kullanılma sıklığı gün geçtikçe artmaktadır. Yapılan işin daha kaliteli olması ve daha çok verim alınabilmesi adına kaliteli malzeme kullanımı büyük öneme sahiptir. Fakat nitelikli çeliklerin hammadde teminleri ve işleme masrafları, diğer çelik türlerine göre daha yüksek maliyette olduklarından dolayı işlenebilirlik değerinin analizi önem kazanmaktadır [4]. Son yıllarda özellikle otomotiv endüstrisi ve savunma sanayinde AISI 4140 çelikleri oldukça yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Örneğin AISI 4140 makine imalat çeliği, talaşlı imalat endüstrisinde yaklaşık %10 oranında kullanılmaktadır ve içerdiği alaşım elementleri nedeni ile yüksek sertleşebilirlik özelliğine sahip bir çeliktir [5]. Bu çeliklerin delinmesinde yüksek kesme hızı kapasitesi ve yüksek proses güvenliği nedeniyle en çok tercih edilen delme takımları karbür matkaplardır.

Makine imalat sektöründe önemli bir yere sahip delme takımları için ödenen ithalat bedelleri gün geçtikçe hızla artmaktadır. Ar-ge çalışmaları ile bu takımların üretim maliyetleri düşürülerek yerli hale getirilmesi ülkemiz ekonomisinde dışa bağımlılığı azaltmak açısından büyük önem arz etmektedir. Yapılan bu çalışmalarda ana hedefler maliyetlerin düşürülmesi, kalitenin arttırılması ve üründen maksimum performans elde edilmesi yönündedir.

En iyi sonuçların elde edileceği şartları ortaya koyabilmek için öncelikle performansı belirleyen özellik belirlenir ve bu özelliği etkileyen faktörler incelenir. Ardından bu faktörlerin performansı belirleyen özellik üzerindeki etkilerinin tespit edilmesi ve en uygun kombinasyonunun bulunması için (kontrol edilemeyen faktörler de gözetilerek) deneyler yapılır. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen performans göstergesi değerlendirilerek optimum şartlar tespit edilir [6].

Endüstriyel şartlar göz önüne alındığında hem bu deneyleri ekonomik şartlar ve zamansal kısıntıları gözeterek en verimli şekilde gerçekleştirebilmek, hem de sonuçları doğru yorumlayabilmek için (kontrol edilebilen ve edilemeyen faktörler ile çıktılar arasındaki ilişkiyi tespit edebilmek ve optimizasyonu gerçekleştirebilmek için) deney tasarımı yöntemlerinin uygulanması son derece verimli bir yaklaşımdır. Ayrıca kalite ve verimliliği artırmak amacıyla uygulanan tüm diğer metotları destekleyici, yönlendirici rolü vardır. Bu modern yaklaşım çerçevesinde Taguchi Deney Tasarımı metodu optimizasyon problemlerinin çözümünde başarılı bir metot olarak ortaya çıkmaktadır. Taguchi metodu, çözümün sadece en az sayıda deneyle elde edilmesini sağlamakla kalmaz, yüksek kalitede proses ve ürün geliştirilmesini her açıdan destekler [7].

Bütün bu etmenler göz önünde bulundurulduğunda bu tezin temel başlatılma gerekçesi ve amacı, özgün bir kanal formu tasarımı ve üretilmesidir. Geliştirilen bu kanal form ve geometrisi gerçek ortam performans testlerine tabi tutulmuştur. Performans testleri için deney parametreleri olarak dört farklı kesme hızı (90, 100, 110, 120 m/dk) ve dört farklı ilerleme hızı (0,15-0,20-0,25-0,30 dev/dk) değeri kullanılmıştır. Deneylerde iki ağızlı, helisel, 10 mm çaplı ve dört farklı geometride karbür matkaplar kullanılmıştır. Bu dört farklı geometrinin iki tanesini piyasada rahatlıkla tedarik edilebilen ve sıklıkla tercih edilen iki farklı matkap üretici firmalarına ait karbür matkaplar, diğer iki tanesini ise geliştirilen özgün kanal formuna sahip karbür matkaplar oluşturmuştur. Deneylerde optimum kesme şartlarını sağlamak için kesici takımlar içten soğutma kanallı olarak seçilmiştir. Minitab paket programı vasıtasıyla dört değişkenli ve dörder seviyeli Taguchi L_{16} deney tasarımı oluşturulmuş ve bu sayede deney sayısı 64'ten 16'ya düşürülmüştür. Deneylerde iş parçası malzemesi olarak AISI 4140 kullanılmıştır. Aşınma ve/veya sıvanmaları görebilmek amacıyla her matkap için 100'er delme tekrarı yapılarak delikler boydan boya delinmiştir. Takım çapı 10 mm seçildiği için $3 \times D \leq L$ formülüyle malzemelerin kalınlığı 30 mm olacak şekilde üzerlerinden talaş kaldırılmıştır. Deliklerde ölçü tamlığı, delik

dairesellikleri, delik giriş ve çıkış ağzı arasındaki eksenel kaçıklık, delik boyunca oluşan yüzey pürüzlülüğü, talaş kaldırma esnasında oluşan kesme kuvvetleri ve momentler ölçülerek sonuçlar yorumlanmıştır. Gerçekleştirilen bu performans testleri ve yorumlar neticesinde geliştirilen ürünlerin kullanım şartları için en uygun kesme parametreleri belirlenmiştir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

AISI 4140 imalat endüstrisinde yaygın olarak kullanılan bir çelik türüdür. Özellikle otomotiv, savunma ve havacılık sektörlerinde kullanılan bu malzemenin işlenmesi son yıllarda daha da önem kazanmıştır. Bu malzemenin işlenmesi esnasında karşılaşılan sorunlar ve çözüm önerileri araştırmacıların başlıca hedefleri arasında yer almıştır. AISI 4140 üzerine yapılan çalışmalar delik delme ve diğer talaş kaldırma yöntemlerine göre ayrı olarak araştırılmıştır.

2.1. AISI 4140 ile İlgili Delme Üzerine Yapılan Çalışmalar

Schulze ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada delme esnasında sürtünme, plastik deformasyon ve kesim nedeniyle yüksek termal ve mekanik yüklere maruz kalan delik yüzey tabakalarındaki faz değişimlerini incelemişlerdir. 2B sonlu eleman işleme simülasyonlarına ve deneysel sonuçlara dayanarak kesme hızı ve ilerlemeye bağlı mekanik ve termal yükler altındaki delme işlemi için bir model geliştirilmiştir. 42CrMo4 (AISI 4140) malzemenin yüzey tabakaları arasındaki faz dönüşümlerini tahmin etmek için 3B sonlu eleman yazılımı olarak ticari ABAQUS programı kullanılmıştır. Delme süreci ve yüzey katmanları arasındaki ilişkiyi simüle etmek için farklı kesme parametre kombinasyonları kullanılmıştır. Hesaplanan sıcaklık alanları Termal görüntüleme ile iyi bir uyum göstermiştir [8].

Tofana ve arkadaşları, yapmış oldukları çalışmada 42CrMo4 (AISI 4140) malzemesinin delinmesinde aşınma mekanizmalarını incelenmiştir. Deneylerde RT100U kesme kenarı geometrisine sahip karbür matkaplar kullanılmıştır. Matkap aşınması üzerinde en belirgin etkilerin kaplama uygulaması ve matkap uç geometrisi üzerindeki modifikasyonların etkili olduğunu tespit etmişlerdir [9].

Pavel ve Leonardo, üç kanallı karbür matkaplar ve 6 kanallı sementit raybalar kullanarak 42CrMo4 (AISI 4140) malzemenin delinmesinde kesme kuvvetleri ve delik kalitesi üzerine araştırma yapmışlardır. Farklı kesme derinliklerinde tork, delik çapı, formu ve yüzey bütünlüğü değerleri analiz edilmiştir. Deneyler neticesinde düşük form hataları ve düşük yüzey pürüzlülük değerleri elde edilmiştir [10].

Yalçın ve Yılmaz, PVD yüzey kaplama metoduyla TiN kaplanmış matkaplarda takım aşınmasını incelemişlerdir. AISI 4140 ıslah çeliğinin delinmesinde TiN kaplamalı ve kaplamasız takımlar kullanılmıştır. Sonuç olarak nispeten ucuz HSS matkaplara, özellikle ark PVD tekniği ile TiN kaplanması sayesinde, yüksek kesme özellikleri kazandırılarak takım performansının arttırılabileceği ortaya konmuştur. Araştırmacılar, TiN kaplamalı matkapların, kaplamasız olanlara nazaran 5-8 kat daha fazla çalışma ömrüne sahip olduğunu belirtmişlerdir [11].

N. Tosun ve arkadaşları yaptıkları çalışmada AISI 4140 çelik malzemesinin çeşitli matkaplar ile delik delme esnasında kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisini araştırmışlardır. Deneylerde, 10 mm kalınlığında AISI 4140 malzeme ve 5 mm çapında, 90º-118º-130º uç açısına sahip HSS, TiN kaplı HSS ve karbür matkaplar kullanılmıştır. Kesme parametreleri olarak üç farklı ilerleme (0,1-0,2-0,3 mm/dev), üç farklı devir sayısı (450, 1120, 1800 dev/dak) kullanılmıştır. Deneyler sonucunda tüm matkaplarda en iyi yüzey pürüzlülüğü 118º uç açısında elde edilmiştir. Ayrıca matkap sertliği arttıkça yüzey pürüzlülüğü değeri düşmüştür. Buna göre is parçası yüzey pürüzlülüğü değerleri küçükten büyüğe doğru sıralandığında kullanılan matkap cinsine göre karbür, TiN ve HSS matkap seklinde değiştiği belirtilmiştir. HSS matkaplar hariç, ilerleme hızı ve devir sayısının artması ile yüzey pürüzlülüğünün değerlerinin arttığı belirtilmiştir [12].

2.2. AISI 4140 ile İlgili Yapılan Diğer Çalışmalar

Gopalsamy ve arkadaşları yaptıkları çalışmalarında Taguchi metodu kullanarak AISI 4140 malzemenin frezelenmesinde optimum parametreleri bulmayı amaçlamışlardır. Kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği ve genişliğinin yüzey kalitesi ve takım ömrü üzerindeki etkilerini tespit edebilmek amacıyla L_{18} ortogonal dizisi kullanılmıştır. Yapılan incelemelerde çentik ve adhezyon ana aşınma mekanizmaları olarak belirlenmiştir. ANOVA sonuçları yüzey kalitesi ve takım aşınması üzerinde en etkili parametrenin kesme hızı olduğunu göstermiştir [13].

Motorcu, ısıl işlemsiz ve ısıl işlem görmüş Ç 4140 çeliğinin kaplamalı karbür, sermet, seramik ve kübik bor nitrür (KBN) kesici takımlarla işlenmesinde kesme parametreleri ve takım geometrisinin yanı sıra, iş parçası ve takım sertliklerinin, takım ömrü, takım aşınması, talaş atılabilirliği ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini araştırmıştır.

Taguchi tekniği kullanılarak en yüksek takım ömrü değerlerini veren optimal kontrol faktörleri belirlenmiştir. Kontrol faktörlerinin talaş tipleri ve talaş eğrilik yarıçapları üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Isıl işlemsiz Ç 4140 çeliklerinin seramik takımlarla işlenmesinde kesici ucun aşınması ve krater aşınması gözlenmiştir. Fakat kaplamasız seramik takımlarda çentik aşınması oluşmuştur. Isıl işlem görmüş çelikleri kaplamalı seramik ve karbürlerle işlenmesinde takım kırılması etkin olarak görülmekte iken kaplamasız seramiklerle işlemede krater aşınması etkin olarak oluşmaktadır. Isıl işlemsiz Ç 4140 çeliklerinin işlenmesinde kaplamasız seramik takımlarla daha düşük yüzey pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. Isıl işlem görmüş çeliklerin işlenmesinde genelde en düşük yüzey pürüzlülükleri sırasıyla kübik bor nitrür, kaplamasız seramik, kaplamalı seramik ve kaplamalı karbür takımlarla elde edilmiştir. Ayrıca, talaş tipleri ve eğrilik yarıçapları en çok talaş derinliği ve kesme hızına bağlı olarak değişmiştir [14].

Motorcu ve Şahin, AISI 4140 çeliğinin farklı kaplamalı karbür ve sermet kesici takımlarla işlenebilirliğini inceledikleri çalışmalarında; TP100, TP1000 karbür takımlar ve sermet kesici takımlarla, torna tezgâhında AISI 4140 çeliği üzerinde işlenebilirlik deneyleri yapmışlardır. İşleme testleri, ilerleme miktarı ve kesme derinliği sabit tutularak değişik kesme hızlarında kuru kesme şartlarında gerçekleştirilmiştir. Tüm takımlar için, kesme hızının düşmesiyle, takım ömrü belirgin bir şekilde artmıştır. Sermet takımlar kaplamalı karbür takımlardan daha iyi takım ömrü performansı sergilemiştir [15].

Ulutan, çalışmasında AISI 4140 çeliğine, üç farklı yüzey işlemi uygulanarak, mikro yapıda oluşacak değişimlerin malzemenin sertliğine ve aşınma davranışları üzerine etkilerini araştırmıştır. Mikroyapı incelemelerinde optik mikroskop, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve noktasal analiz teknikleri (EDS, EDX) ile birlikte X-ısını difraksiyonu (XRD) tekniklerinden yararlanılmıştır. AISI 4140 deney numunelerine sertleştirme sonrası; 350, 450, 550, ve 650 °C'de dört farklı sıcaklıklarda temperleme işlemi yapılmış olup mikro yapıları incelenmiştir [16].

Akkuş ve Asiltürk, yapmış oldukları çalışmada 51 HRC sertliğindeki AISI 4140 malzemenin tornalanmasında ortalama yüzey pürüzlülük değerlerini elde etmek için bulanık mantık, yapay sinir ağları ve çoklu regresyon eşitlikleri kullanmışlardır. Girdi parametreleri olarak kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği, çıktı parametresi olarak ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) kullanılmıştır. Bulanık mantık ve yapay sinir ağları

modellemeleri için MATLAP, Varyans analizi için ise MINITAB programları kullanılmıştır. Ortalama öngörülen değerler kare hataları (MSE) üç modelin karşılaştırılması için kullanılmıştır. Sonuçlar öngörü modeli olarak en uygun modelin bulanık mantık olduğunu göstermiştir [17].

Dhar ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada, AISI 4140 çeliğinin sıvı azot ile kriyojenik soğutma koşullarında ince tornalanmasında takım talaş ara yüzey sıcaklığı, takım aşınması ve ölçü tamlığını incelemişlerdir. Bitirme yüzeyi ve ölçüsel tamlığın AISI 4140 çeliğin tornalanmasında kriyojenik soğutma şartlarında önemli ölçüde iyileştirildiğini, günümüz teknikleriyle kriyojenik soğutmanın yanak aşınmasında önemli azalmalara neden olduğunu ve bu nedenle beklenen iyileştirilmiş takım ömrünü sağladığını belirtmişlerdir. Kriyojenik soğutmanın uygun takım-talaş etkileşimi ve kesme bölgesi sıcaklığında önemli azalmalar sağladığını tespit etmişlerdir [18].

Kahraman, yapmış olduğu çalışmada AISI 4140 malzemenin yüzey pürüzlülüğünün öngörüsü ve analizi için yanıt yüzey metodunu kullanmıştır. Yanıt yüzey yöntemi kullanılarak AISI 4140'ın tornalama sürecinde regresyon modellemesi yapılmıştır. Kesme koşulları ve yüzey pürüzlülüğü arasındaki tahmini ve analizi için kuadratik bir model geliştirilmiştir. Tahmini modellerin geliştirilmesinde kesme parametreleri kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği model değişkenler olarak, yüzey pürüzlülüğü ise yanıt değişkeni olarak ele alınmıştır. İstatistiksel analiz sonucunda, kesme hızı ve ilerlemenin yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili parametreler olduğunu belirlenmiştir. Öngörülen değerler ile gerçek değerler benzer bulunmuştur [19].

Turhan, ıslah çeliklerinde ısıl işlem parametrelerinin aşınma davranışına etkisi adlı çalışmasında, 42 CrMo4 (AISI 4140) Islah çeliğinin abrasiv aşınma davranışı incelemiştir. 850°C ve 900°C de 10 dakika sureyle su verilen 42 CrMo4 çeliği 250°C, 500°C ve 650°C de 60 dakika sureyle temperlenmişdir. Isıl işleme tabi tutulan AISI 4140 malzemenin aşınma davranışları incelenmiştir [20].

Karayel ve Nalbant, Ç4140 çeliğinin işlenebilirlik özelliklerini CNC torna tezgâhında, tornalama yöntemiyle; takım aşınması ve ortalama yüzey pürüzlülüğü açısından değerlendirmişlerdir. Deneylerde iki farklı kesici takım kullanılmıştır. Takımlardan biri GM talaş kırıcı formuna sahip ve CVD yöntemiyle Al_2O_3 ve TiCN malzemesiyle

kaplanmış NC3020 (P20) kalitesinde, diğeri ise; 220408 boyutlarında HM talaş kırıcı formuna sahip ve CVD yöntemiyle Al_2O_3, TiC ve TiCN malzemeleriyle kaplanmış NC3030 (P30) kalitesindedir. Kuru kesme şartlarında yapılan deneylerde, kullanılan kesme parametreleri; yüzey pürüzlülüğü deneylerinde beş farklı kesme hızı (150, 200, 250, 300, 350 m/dak), üç farklı ilerleme miktarı (0,15-0,25-0,35 mm/dev) ve 2 mm sabit kesme derinliği kullanılmıştır. Takım ömrü deneylerinde; beş farklı kesme hızı (150, 200, 250, 300, 350 m/dak), 0,25 mm/dev sabit ilerleme miktarı ve 2 mm sabit kesme derinliği kullanılmıştır. Kullanılan kesici takımlar tarama elektron mikroskobu (SEM) ile incelendiğinde, çıtlama ve çentik aşınması tiplerinin etkin olduğu görülmüştür. Genel olarak değerlendirildiğinde; kesme hızının yüzey pürüzlülüğüne etkisinin pek olmadığı, ilerleme miktarı ve uç kalitesinin ise etkili olduğu, takım ömrüyle üçüncü dereceden azalan bir ilişkisi olduğu, ilerleme miktarı ile ortalama yüzey pürüzlülük değeri arasında artan doğrusal ilişki olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca NC3020 uç ile NC3030 uçlara göre daha az yüzey pürüzlülüğü elde edilmiştir. En uzun takım ömrü; TNMG 220408 kesici takımıyla 150 m/dak kesme hızında 73,70 dak talaş kaldırarak gerçekleştirilmiştir. En düşük ortalama yüzey pürüzlülüğü; TNMG 160408 kesici takım ile 150 m/dak kesme hızında, 0,15 m/dev ilerleme miktarında 0,983 μm olarak ölçülmüştür. En yüksek ortalama yüzey pürüzlülük değeri ise; TNMG 160408 kesici takımı ile 200 m/dak kesme hızında 0,35 m/dev ilerleme miktarında 5,138 μm olarak ölçülmüştür [21].

Çökelek, ıslah çeliklerinde ısıl işlem parametrelerinin yorulma limitine etkisi adlı çalışmasında, su verme işlemleri neticesinde çekme ve akma değerlerine göre yorulma numuneleri dönen eğmeli yorulma deneyine tabi tutulmuşlardır. Malzemelerin yorulma ömrü açısından en uygun ısıl işlem parametreleri belirlenerek malzeme israfını önlemek amaçlanmıştır [22].

Casto ve diğerleri, yaptıkları çalışmada P10 kalitesinde WC-TiC-Co içerikli sinterlenmiş karbür, silisyum nitrür, alumina esaslı seramik, karma esaslı alumina seramik, SiCW takviyeli alumina, zirkona esaslı alumina ve CBN kesici uçları AISI 1040 çeliğinin tornalanmasında kullanmışlardır. Yapılan çalışmada, alümina esaslı ve karma esaslı alümina seramik kesici takımlar en iyi performans sergilemişken P10 kalitesine sahip sinterlenmiş karbür ucun yüksek aşınma oranına sahip olduğu belirlenmiştir [23].

Khrais ve Lin, AISI 4140 çeliğinin PVD yöntemiyle TiAlN kaplanmış kesici takımlar

kullanılarak işlenmesinde, aşınma mekanizmaları ve takım performansını değerlendirmişlerdir. Sonuç olarak kesme hızının artmasıyla takım aşınmasında bir artış olduğunu saptamışlardır. Ayrıca, yüksek kesme hızlarında soğutma sıvısından olumsuz etkilendiğinden, kuru kesme şartlarının, soğutma sıvısı kullanılarak yapılan kesmeden daha iyi sonuç verdiği sonucuna varmışlardır [24].

Çakmak, yaptığı çalışmada AISI 4140 çeliğini CNC tornada, kaplamalı karbür kesici takımlarla tornalamıştır. Deneylerde farklı uç geometrisine sahip kaplamalı uçlar kullanılmıştır. Kesici takım talaş kırıcı formunun, yüzey pürüzlülüğüne ve talaş formuna etkisi araştırılmıştır. Talaşlı imalatta en önemli sorunlardan biri talaşı kıramamadır. Bu yüzden bu çalışmada talaş kırma üzerinde incelemeler yapılmıştır. Farklı kesme parametreleri kullanılarak, CNC torna tezgâhında bir dizi deney yapılmıştır. Deneylerde kesme hızı, talaş derinliği ve ilerleme hızı değişkenleri kullanılıp talaş tipleri kıyaslanarak incelenmiştir. İşlenen malzemeler üzerinde yüzey pürüzlülüğü ölçülüp, elde edilen değerler yorumlanmıştır. Genel olarak ilerleme hızı arttığında talaşın rahat kırıldığı ancak yüzey pürüzlülüğünün arttığı gözlemlenmiştir [25].

2.3. Delme ile İlgili Yapılan Diğer Çalışmalar

Küçük, yaptığı çalışmada delik işleme operasyonlarında takımlama sisteminin, kesme parametreleri ile birlikte delik kalitesini nasıl etkilediğini deneysel tasarım yöntemi kullanarak belirlemiştir. Deneylerde AISI 1040 malzeme kullanılmıştır. Deneylerin gerçekleştirilmesinde en az zaman ve maliyet ile en uygun sonuçları elde etmek için Taguchi deney tasarım metodu ile elde edilen deney kombinasyonları kullanılmıştır. Deney sonuçları, mevcut katalog verileri ile anlamlı bir ilişki ve paralellik göstermiştir. Sonuçlar, Minitab programı yardımıyla 3 boyutlu grafiklere dönüştürülmüş ve yorumlanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre; yüzey pürüzlülüğü üzerinde en fazla ilerleme miktarının (f), daha sonra takım malzemesinin etki ettiği tespit edilmiştir. Dairesellikten sapma için; en fazla ilerleme miktarının (f), ikinci olarak kesme derinliğinin (a_p) etki ettiği saptanmıştır. Titreşim genliğini en fazla kesme hızının (V_c) etkilediği, delik düzlemselliğini ise en çok kesme derinliğinin (a_p) etkilediği görülmüştür [26].

Meral, delme işlemlerinde kesme kuvvetleri, yüzey kalitesi, delik çapındaki değişim, dairesellikten sapma ve silindiriklikten sapma deneysel olarak araştırmıştır. Deneylerde,

işlenebilirlik özellikleri iyi bilinen AISI 1050 çelik malzemeyi referans almıştır. Deneylerde 6, 8, 10 mm çaplarında kaplamasız ve PVD metodu ile TiAlN kaplanmış kaplamalı HSS matkapları kullanmıştır. Deneyleri üç farklı kesme hızı (20, 30, 40 m/min) ve üç farklı ilerleme (0,05-0,1-0.15 mm/rev) değerinde kuru delme şartlarında CNC dik işleme merkezinde yapmıştır. Delik uygulama biçimi olarak boydan boya 17 mm uzunlukta delikler delmiş, deliklerde ölçü tamlığı, delik dairesellikleri, delik giriş ve çıkış ağzı arasındaki eksenel kaçıklık, delik boyunca oluşan yüzey pürüzlülüğü ve talaş kaldırma esnasında oluşan kesme kuvvetlerini ölçmüştür. Sonuç olarak, kaplamalı matkapların, kaplamasız matkaplara göre; tüm değerlendirme kriterleri için olumlu sonuçlar sergilediği, ilerleme kuvveti üzerinde ilerleme hızının kesme hızına göre daha etkili bir parametre olduğu, yüzey pürüzlülük değerleri artan kesme hızı değerlerine bağlı olarak azalırken, ilerleme hızındaki artışla arttığı belirlenmiştir [27].

Çakıroğlu, tarafından Al6061 malzemesinin kuru kesme şartlarındaki delme performansı araştırılmıştır. Performans göstergesi olarak kesme hızı, ilerleme oranı ve kesici takım giriş parametreleri olarak belirlenmiştir. Çıkış parametresi olarak da kesme kuvveti ve takım talaş ara yüzeyinde oluşan sıcaklık değerleri analiz edilmiştir. Taguchi L_{18} (2^1x3^2) ortogonal dizini esas alınarak deney düzeneği hazırlanmıştır. Kaplamasız ve kaplamalı (TiN/TiAl/TiCN) kesici takımlarda üç farklı ilerleme oranı (0,1-0,2-0,3 mm/dak ve kesme hızı (170-200-230 m/dak) kullanılarak deneyler yapılmıştır. elde edilen deney verileri kullanılarak Taguchi, Regresyon, ANOVA (varyans analizi) ve Yapay Sinir Ağları (YSA) modelleri ile optimizasyon yapılarak yeni modeller geliştirilmiştir. Deney sonuçları ile tahmin değerlerinin karşılaştırılmasında en iyi sonuç YSA modeliyle elde edilmiştir [28].

Yağmur, yaptığı çalışmada AISI 1050 malzemenin delinebilirliğini araştırmıştır. Girdi parametreleri olarak; delik delme uygulama biçimleri (delik tipi, uygulama biçimi ve delik boyu), kesme parametreleri (kesme hızı ve ilerleme miktarı) ve kesici takım tipi (kaplamasız ve TiN/TiAl/TiCN kaplamalı solid karbür) baz alınmıştır. Çıktı parametreleri olarak ise; kesme kuvvetleri, moment, talaş kaldırma sırasında oluşan sıcaklık ve delik kalitesi (ölçü tamlığı, yüzey kalitesi) baz alınmıştır. Sıcaklık ve kesme kuvvetleri ölçümleri sırasıyla; K tipi ısıl çift uygulaması ve Kistler 9257 B model dinamometre yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre kesme bölgesindeki sıcaklığın artan ilerleme miktarı ile azaldığı gözlenmiştir. Kesici takıma kaplama uygulaması neticesinde, kesme bölgesindeki sıcaklıkla önemli ölçüde düşmüştür. Takıma kaplama yapılması

değerlendirilen bütün parametreler açısından önemli avantajlar sağlamıştır [29].

Korucu, talaşlı imalatta önemli bir yere sahip olan delme işlemlerinde oluşan kesme kuvvetlerinin deneysel olarak belirlenmesi, ölçülen bu kesme kuvvetleri etkisiyle kesici takımda meydana gelen gerilmelerin sonlu elemanlar metodu kullanılarak analiz edilmesi ve analizi yapılan bu gerilmeleri tanımlamak için bir matematiksel model geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla, birinci aşamada deneysel çalışmalar için iş parçası malzemesi olarak AISI 1050 seçilmiştir. Bu malzemeden hazırlanan numunelere CNC dik işleme merkezinde, Mitsubishi firmasına ait takma uçlu UP20M kalitesinde GPMT070204-U1, GPMT070204—U2 ve GPMT070204-U3 formunda takma uçlu ve TAWN200TVP15TF formunda yekpare takma uçlu kesici takımlarla 20 mm çapında ve 20 mm derinliğinde delikler delinmiştir. Delme işlemleri sırasında her takım için, beş farklı kesme hızı ve iki farklı ilerleme uygulanmak suretiyle oluşan kesme kuvvetleri KISTLER 9272 tipi dinamometre yardımıyla ölçülmüştür. Kesici takımda oluşan gerilmelerin sonlu elemanlar metoduna dayalı olarak ANSYS 6.1 ticari yazılımı ile analizi yapılmıştır. Üçüncü aşamada deneysel veriler ve analizlere bağlı olarak modellerin oluşturulması gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla da MATLAB paket programından istifade edilmiştir. Bu çalışma sonunda, tüm kesme hızları ve ilerleme değerlerindeki artışa paralel olarak artan kesme kuvvetleri sebebiyle gerilme bileşenlerinde de yükselmeler olduğu belirlenmiştir. Gerilme dağılımları açısından, her iki takım grubu için gerilmelerin çok küçük bir bölgede yoğunlaşması sebebi ile noktasal temas biçimli bir gerilme davranışı sergilediği söylenebilir. ANSYS yardımıyla elde edilen gerilme sonuçları ile geliştirilen modelle hesaplanan gerilme bileşenleri arasında çok yakın ilişkiler belirlenmiş ve geliştirilen bu modellerin bu takımlar için farklı kesme parametrelerinin kullanıldığı pratik uygulamalarda kullanılabileceği görülmüştür [30].

Siyambaş, yaptığı çalışmada HSLA-DIN EN 10149 çeliğine delik delme işlemi yaparak eksenel kuvvetler, momentler, çap değişimleri, çapak yükseklikleri ve dairesellikten sapma değerlerini ölçmüştür. Deneylerde, 8 mm çapında 130º uç ve 30º helis açılı TiAlN kaplamalı ve kaplamasız HSS iki farklı matkap çeşidi kullanılmıştır. Kesme parametreleri olarak, üç farklı ilerleme hızı (0,05-0,075-0,1 mm/dev) ve beş farklı kesme hızı (10, 18, 26, 34, 42 m/dak) değeri kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda, ilerleme hızının artması ile eksenel kuvvetler, momentler, çap değişimleri, çapak yükseklikleri ve dairesellikten sapma değerlerinde artış olduğu görülmüştür. Kaplamalı matkap, kesme kuvvetleri ve

momentler açısından kaplamasız matkaba göre iyi sonuç verirken, çap değişimleri, çapak yükseklikleri ve dairesellikten sapma açısından daha kötü sonuçlar vermiştir [31].

Tosun, yaptığı çalışmada Al/SiCp takviyeli metal matrisli kompozitlerin delinmesinin yüzey tamlığına etkisini incelemişlerdir. Dört farklı ısıl işleme tabi tutulan iş parçası malzemeleri delinmiştir. Deneyler için 5 mm çapında üç farklı uç açısına sahip (90°, 118°, 130°) sahip HSS, TiN kaplamalı HSS ve karbür matkaplar kullanılmıştır. Deneyler esnasında iki farklı ilerleme (0.08, 0.16 mm/dev) miktarı ve iki farklı devir sayısı (260, 1330 dev/dak) kullanılarak delme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçları incelendiğinde tüm ısıl işlemli malzemeler için sertlik ve matkap uç açısı arttığında yüzey pürüzlülüğünün azaldığı görülmüştür. En iyi yüzey pürüzlülük değerini 130° uç açılı, 0.16 mm/dev ilerleme miktarına sahip karbür matkaplar vermiştir [32].

Nouari, List, Girot ve Coupard, alüminyum alaşımının kuru şartlarda delme işlemindeki kesici takım aşınmasının deneysel olarak analizini ve optimizasyonunu yapmışlardır. Kesme parametrelerinin delik kalitesine tesirini inceleyerek, alüminyum malzeme için en uygun kesme hızını belirlemiştir. Deliğin ortalama yüzey pürüzlülüğünü, çapak boyunu ve sapmalarını da kesme parametrelerine bağlı olarak incelemiştir. Ayrıca değişik kaplama türlerinin delik kalitesine tesirini de inceleyen araştırmacılar, kaplamaların işleme kalitesini ciddi mahiyette etkilemediğini ortaya koymuştur [33].

Arafat, yaptığı çalışmada delme işleminde iş mili devir sayısı ve ilerleme hızına bağlı olarak delik içi yüzey pürüzlülüğünü tahmin eden ve yüzey pürüzlülüğünü en aza indirmek için devir sayısı ve ilerleme hızı seçimini optimize eden bir Yapay Sinir Ağları (YSA) modeli geliştirilmiştir. Delme deneyleri, diğer parametreler sabit tutularak değişen devir sayısı ve ilerleme hızları ile gerçekleştirilmiştir. Deneylerde, takım olarak 10 mm çapında TiN kaplı matkaplar ve is parçası olarak AISI 1040 ve AISI 2080 malzemeleri kullanılmıştır. Geliştirilen YSA modeli delik yüzey pürüzlülüğünü basarıyla tahmin etmiş ve yüzey pürüzlülük değerini (Ra) AISI 1040 malzemesi için 0,36 μm, AISI 2080 malzemesi için ise 0,12 μm'ye kadar düşürecek şekilde delme parametreleri seçiminde optimizasyon sağlamıştır [34].

Lauderbaugh, yapmış olduğu çalışmada Al 2024 -T351 ve Al 7075 – T6 malzemeler üzerinde kesme parametrelerinin çapak oluşumu üzerindeki etkilerini deneysel olarak

araştırmıştır. Deney parametreleri olarak iki farklı ilerleme hızı (0,101-0,254 mm/dev) ve iki farklı devir sayısı (900, 1500 dev/dak) kullanılmıştır. Deneylerde iki farklı çap (3,175-4,762 mm) ve helis açısına (30°, 45°) sahip matkaplar kullanmıştır. Deney sonuçları incelendiğinde ilerleme hızı arttıkça çapak yüksekliğinin de arttığı gözlenmiştir. Kullanıcının uygun işleme parametrelerini seçerek çapak yüksekliğini kontrol edebileceği sonucuna varılmıştır [35].

Kıvak, yaptığı çalışmada Ti-6Al-4V titanyum alaşımının delinmesinde kesme parametreleri, kesme şartları ve kesici takımlara uygulanan işlemlerin; kesme kuvvetleri, moment, yüzey pürüzlülüğü, delik çapı, dairesellik ve silindiriklikten sapma ile takım aşınması ve takım ömrü üzerindeki etkileri araştırmıştır. Kesici takım olarak kaplamasız ve TiAlN/TiN kaplı M42 HSS ile tungsten karbür matkaplar kullanılmıştır. Her iki kesici takım malzemesinde de kaplamasız takımların bir kısmına -145 °C'de 24 saat bekletmek suretiyle kriyojenik işlem diğer bir kısmına ise kriyojenik işlem ardına 200 °C'de iki saat bekletmek suretiyle temperleme işlemi uygulanmıştır. Delme deneylerinde kesme parametreleri olarak HSS ve tungsten karbür takımlar için ayrı ayrı belirlenen dört farklı kesme hızı ve üç farklı ilerleme hızı kullanılmıştır. 5 mm çapında matkaplarla kuru ve ıslak kesme şartları altında CNC dik işleme merkezinde 15 mm derinliğinde boydan boya delikler delinmiştir. Delme deneyleri sonucunda, soğutma sıvısı kullanımının kesme kuvvetleri ve moment dışındaki tüm deney çıktıları üzerinde olumlu etkilere sahip olduğu görülmüştür. Özellikle her iki kesici takım malzemesinde de takım ömründe önemli artışlar sağlamıştır. Hem HSS hem de tungsten karbür takımlar için delik kalitesi ve takım ömrü açısından en iyi sonuçlar TiAlN/TiN kaplı takımlardan alınmıştır. Kriyojenik işlem ve kriyojenik işlem ardına yapılan temperleme işleminin HSS ve tungsten karbür takımların isleme performansını arttırmada önemli etkilere sahip olduğu görülmüştür. Islak kesme şartlarında KİT HSS ve tungsten karbür takımlar işlemsiz takımlara göre takım ömründe sırasıyla %87 ve %83 ömür artısı sağlamıştır. İsleme çıktıları üzerindeki etkileri göz önüne alındığında kriyojenik işlemin HSS takımlar üzerindeki etkisinin karbür takımlara göre daha fazla olduğu görülmüştür [36].

Kim ve Ahn, yaptıkları çalışmada, Al 2024 malzemenin delinmesi esnasında oluşan kesme kuvvetlerini ölçmüşlerdir. Deneylerde iki ağızlı, iki farklı çapta (6,35-9,5mm) ve iki farklı uç açılı (55°, 118°) matkaplar kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda matkap performansını artırmaya yönelik olarak belirlenen delme şartlarının uygun olduğu

görülmüştür [37].

Feng, Jun ve Stephenson, yaptıkları çalışmada sürekli (helisel talaş ve tel talaş) talaş oluşum sürecini araştırmıştır. Talaş kaldırma hareketleri ve kuvvetleri analiz edilmiştir. Sırasıyla spiral ve tel talaş oluşum tahmin modelleri geliştirilmiştir. Kanal sapma ve kesme kenarında talaş oluşumu nedeni ile bükülme seviyesine göre ortalama talaş uzunluğunda kanal helis açısı ve nokta açısı ile ilişkisi araştırılmıştır. Delme deneyleri spiral ve tel talaş için talaş uzunluğun her iki modelle de tahminini doğrulamıştır [38].

İnçal, yaptığı çalışmada C45 çelik malzeme üzerine HSS matkaplar ile delik genişletme işlemi uygulamıştır. Deney parametreleri olarak 550 dev/dak devir sayısı, 22,4 m/dak kesme hızı ve 0,13 mm/dev takım ilerlemesi kullanılmıştır. İş parçası yüzeyine önce 15 mm aralıklarla 5 mm çapında delikler delinmiş daha sonra 5 mm çapındaki deliklerin 13 mm ye genişletilmesi ile delik büyütme işlemi tamamlanmıştır. Delik büyütme işlemi esnasında oluşan ortalama yüzey pürüzlülük değerleri yüzey pürüzlülük cihazı ile ölçülerek incelenmiştir [39].

Kaplan, dik işleme merkezinde delik delme süreci esnasında farklı parametrelerin ilerleme kuvveti, moment, titreşim, aşınma, yüzey pürüzlülüğü ve çapak oluşumuna etkisini incelemiştir. Çalışmalarında; iki farklı sertlikteki (20 HRc ve 28 HRc) soğuk iş takım çeliğini (AISI D2 ve AISI D3) iki farklı çaptaki (Ø8 mm ve Ø10 mm) ve iki farklı uzunluktaki HSS kesici takım kullanmıştır. Deneylerde üç farklı kesme hızı (5 m/dak, 10 m/dak, 15 m/dak) ve üç farklı ilerleme (0,04 mm/dev, 0,05 mm/dev, 0,06 mm/dev) değeri kullanmıştır. Her bir deneye yeni bir kesici takımla başlamış ve CNC tezgâhıyla her kesici takımla uzunluğu 50 mm olan boydan boya 20 adet delik delmiştir. Deneyleri tam faktöriyel deney tasarımı tertibinde yapmış, sonuçları MATLAB-R2008 paket programında çizilen grafikler ve SAS 9.0 programında yapılan varyans ve regresyon analizleriyle yorumlamıştır. Ayrıca deneysel çalışmalar sonlandıktan sonra matkapların SEM analizini yaparak aşınmaları yorumlamıştır. Çalışma sonucunda, malzeme sertliğinin, matkap çapının, matkap boyunun, kesme hızının, ilerlemenin ve delik sayısının ilerleme kuvveti, moment ve titreşime etkili olduğu, ayrıca matkap çapı haricindeki diğer deney parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve çıkış çapağı oluşumuna etkili olduğunu görmüştür [40].

Kıvak, yaptığı çalışmada Inconel 718'in delinebilirliği için kuru kesme koşulları altında optimum delme şartlarını tespit etmiştir. Deneysel çalışmalarda, 5 mm çapında kaplamasız, TiN ve TiAlN kaplı karbür matkaplar kullanılarak kuru kesme şartlarında CNC dik işleme merkezinde talaş kaldırılmıştır. Kesme parametreleri olarak dört farklı kesme hızı (10, 12,5-15-17,5 m/dak) ve üç farklı ilerleme (0,05-0,075-0,1 mm/dev) kullanılmıştır. Kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü, delik çapı ve dairesellikten sapma ölçülmüş ve bu ölçümler ışığında kesici takımlar arasında mukayese yoluyla bir değerlendirme yapılmıştır. Inconel 718'in kuru kesme şartlarında delinmesinde en iyi performans kaplamasız takımlardan alınırken en kötü sonuçlar ise TiAlN kaplı takımlardan alındığı gözlenmiştir. Yüksek kesme hızı ve ilerleme kombinasyonlarında takım performansı ve delik kalitesinin düştüğü görülmüştür [41].

Soylu, yaptığı çalışmada delme işlemi esnasında meydana gelen ilerleme (itme) kuvveti ve döndürme momentini ölçebilecek, uzama ölçer esaslı bir dinamometre tasarımı ve imalatı gerçekleştirmiş ve dinamometreden alınan kuvvet, moment sinyalleri sinyal yükselticiler ve veri toplama kartı aracılığı ile bilgisayara transfer etmiştir. Deney numuneleri, farklı matkap uç geometrisi (100°, 118°, 130°) ve helis açısı (20°, 25°, 30°) ile birlikte farklı kesme hızı (18, 22, 28 m/dak) ve ilerleme (0,1-0,2-0,3 mm/dev) parametreleri kullanılarak delinmiştir. Deneylerde çapı 10 mm TS 95/1, HSS %10 Co alaşımlı yüksek hız çeliğinden özel olarak imal edilmiş matkaplar kullanılmıştır. Deney numunesi malzemesi olarak makine imalatında yaygın kullanılan AISI 1040 çeliği seçilmiştir. Deneyler sonucunda AISI 1040 imalat çeliğinin delinmesinde optimum takım geometrisi ve kesme parametreleri için helis açısı 30°, uç açısı 118°, kesme hızı 28 m/dak ve ilerleme 0,2 mm/dev olarak tespit edilmiştir [42].

Armerago ve Cheng, geleneksel ve modifiye edilmiş farklı ölçülerdeki matkaplara etki eden kuvvet ve momentleri teorik olarak incelemiş ve geometrik benzerlik kurarak kuvvet ve moment tahmini yaparak deneylerle doğrulamışlardır. Deneylerde üç farklı çapta (0,75"-1" ve 1,25") matkap kullanılmıştır. Deney malzemesi olarak 65S-T6 alüminyum alaşımı seçilmiştir. Deney parametresi olarak ise üç farklı ilerleme (0,005-0,008 ve 0,012 in/dev) miktarı kullanarak delme işlemlerini gerçekleştirmiş dinamometre ile tepki kuvvetlerini ölçmüşlerdir. Elde ettikleri verileri istatistiksel metotlar kullanarak kıyaslamış ve yorumlamışlardır. Buna göre modifiye edilmiş matkaplarda kuvvetlerin % 40-42 oranında; momentin ise % 15 oranında azaldığını tespit etmişlerdir. Armerego ve

arkadaşları bu çalışmalarında bilinen basit eğik kesme parametrelerinden faydalanarak matkap asıl kesici kenarlarındaki kuvvet ve momentlerin hesaplanabileceğini ortaya koymuştur [43].

Gaitonde, Karnik, Achyutha ve Siddeswarappa, matkap geometrisi ve kesme şartları tarafından etkilenen çapak kalınlığı ve çapak yüksekliğinin eş zamanlı azaltılması için Taguchi optimizasyon uygulamasını ortaya koymuştur. Bu çalışmada, AISI 316L paslanmaz çelik parçanın delinmesi boyunca devir sayısı, kesme hızı, uç açısı, kenar boşluk açısı, çapak kalınlığı ve çapak yüksekliğini en aza indirmek için matkabın çapı belirlenmiştir [44].

Cheung, Zhou, Gedam ve Li, yaptıkları çalışmada kesme kenarının HSS takımlarda takım ömrü ve takım aşınması üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Deneysel çalışma için Böhler M238 (DIN 40CrMnNiMo8-6-4) kalıp çeliği malzeme kullanılmıştır. Moment ve bileşke kuvvet ölçümü için Kistler 9124A dinamometre CNC dik işleme merkezine bağlanarak ölçümler yapılmıştır. Deneysel işlemler 1200 dev/dak devir sayısı ve farklı ilerleme hızı (120, 140, 150, 160, 170, 180 mm/dak) değerleri kullanılarak yapılmıştır. SEM ve polimetreden elde edilen gözlemler kaplamalı HSS matkaplar için değişik boyutlarda kesme kenarı radyüsü oluşturabildiğini göstermiştir. Deneyler sonucunda kesme koşulları için en iyi takım ömrünü 24 ve 27 μm arasındaki kenar radyüsü vermiştir [45].

Paul, Kapoor ve Devor, yaptıkları çalışmada delmede kuvvet ve torku minimuma indirmek için matkap ucu geometrilerinin optimizasyonunu araştırmışlardır. Delme noktası geometrisi optimize edilmiş, geometrinin üretilebilirliğini sağlamak için matkap taşlama parametrelerine dayalı olarak parametrelerle ifade edilmiştir. Yaygın olarak kullanılan üç delme noktası (konik, helis ve racon) geometrisi delme kuvvetleri için optimize edilmiştir. [46].

Öztürk ve Altan, yaptıkları bu çalışmada, çift uç açılı helisel matkaplar ele almış, deneylerde ikinci uç açıları 60° ve 90° olan helisel matkaplar kullanılmıştır. Aynı kesme hızında ve farklı uç açılarına sahip matkaplarla çelik malzeme delinerek gerçekleştirilen deneylerle, iki farklı uç açısına sahip helisel matkapla tek uç açısına sahip klasik helisel matkap ömür açısından karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda, 60°-118°'lik iki uç açısına

sahip çift uç açılı matkabın klasik matkaba (118° uç açılı) göre daha fazla takım ömrüne sahip olduğu görülmüştür [47].

Zaquini, delme işleminde kaplamasız ve DLC (Elmas benzeri karbon) kaplamalı matkaplar kullanarak %7 Si içeren alüminyum ve pirinç (Cu-Zn38Pb2) malzeme üzerinde delme işlemleri gerçekleştirmiştir. Kesme kuvvetleri Kistler 9271 dinamometre ile ölçülmüştür. Bu çalışmaya göre araştırmacılar DLC kaplamalı takımın eksenel kuvvetlerinin ortalamasının kaplamasız matkaptan ortalama 2,5 kat daha düşük olduğunu gözlemlemiştir [48].

Strenkowski, yaptığı çalışmada delik delme esnasında oluşan ilerleme (itme) kuvveti ve tork'u tahmin etmek için sonlu elemanlar tekniği geliştirmiştir. Bu yaklaşıma göre kesici uçtaki kesme kuvveti, eğik kesme davranışı, radyal bölgedeki kesme kuvveti ise dik kesme davranışı gösteriyor kabul edilmektedir. Her iki kısımdaki ilerleme kuvveti ve torkların bileşkesi alınarak toplam kuvvet belirlenmeye çalışılmıştır. Deneylerde AISI 1020 çeliği kullanılmıştır. Dik kesmede talaş açısı değerleri; 30°, 15°, 0°, 10°, 20° ve 30° tercih edilmiştir. Tüm takımların kesici ağız boşluk açısı 10º seçilmiştir. Yatay da ise talaş açısı sıfır derece ama eğim açısı ise 5°, 15°, 25°, 35° ve 45° olarak seçilmiştir. Tahmin edilen ve deneysel olarak ölçülen, ilerleme kuvveti ve torklar arasındaki fark oldukça azdır. Elde edilen veriler incelendiğinde; talaş açısı arttığı zaman, ilerleme kuvveti'nin azaldığı ve matkap çapı arttığı zaman ise delmedeki ilerleme kuvveti'nin arttığı görülmektedir [49].

Literatürde yapılan çalışmaların genel bir değerlendirilmesi aşağıda verilmiştir;

- Delik delme sürecinde işleme performansına etki eden faktörlerden kesici takım türü ve uç geometrisi, iş parçası malzemesi, delik çapı, tezgâh rijitliği, soğutma sıvısı, kesme hızı ve ilerleme gibi kesme parametreleri ile ilgili çeşitli araştırmaların yapıldığı tespit edilmiştir.
- Takım ömrü ve matkap uç geometrisi üzerine yapılan çalışmaların çokluğu dikkat çekmektedir. Bu çalışmaların ise daha çok matkap uç geometrisinin kesme kuvveti üzerindeki ve optimum kesme şartlarına ulaşabilmek için matkap uç geometrisindeki değişikliklerin yapıldığı çalışmaları kapsamaktadır. Yapılan bazı çalışmalarda özellikle uç geometrisine bağlı olarak kesme kuvveti ve moment ile ilgili çeşitli matematiksel modeller geliştirilmiştir.

- Takım ömrünü belirleyen aşınma ve aşınmaya sebep olan kesme kuvvetleri ve momentleriyle ilgili yapılan çalışmalarda, uç geometrisi haricinde kesme hızı, ilerleme, delik çapı, tezgâh rijitliği gibi faktörlerin etkileri de çeşitli deneysel ve teorik çalışmalarla incelenmiştir.

Bu çalışmada delik delme üzerinde matkap formunun etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu bağlamda iki adet matkap tasarlanarak imal edilmiştir. Bu yeni iki profile sahip matkaplar, yoğun olarak kullanılan iki adet matkapla kıyaslanarak matkap formunda yapılan değişikliklerin en uygun kesme şartlarını ortaya çıkarması sağlanmıştır.

3. KURAMSAL TEMELLER

3.1. AISI 4140

AISI 4140 çeliği, düşük alaşımlı Cr-Mo'li ıslah çeliklerinin en yaygın kullanılanım alanına sahip olup, krom- molibden çeliği olarak bilinmektedir. AISI 4100 serisi çeliği, düşük alaşımlı yapı çelikleri, dövme kalite çelikler, orta karbonlu çelik ve alaşımlı çelik olarak da isimlendirilmektedir.

AISI 4140 çeliğinin kullanım alanları arasında, otomobil ve uçak yapımı, krank mili, aks mili ve kovanı, yivli mil ve benzeri sünekliği yüksek parçalar, ayrıca dişli çark ve bandaj vb. parçaları sayılabilmektedir.

Ayrıca, soğuk çekme mil ve çubukları, makine çelikleri, yaylar, türbin motorları, turbo jeneratörlerin fren halka ve kolları, gemi zincir ve demirleri yapımında, demir yol tekerlekleri ve millerinde, dişlilerinde ve birçok yerde kullanılmaktadırlar.

Çizelge 3.1-3.6'da AISI 4140 çeliğine ait kimyasal kompozisyonlar, mekanik, ısıl işlem, ısı ve elektrik özellikleri ile kritik sıcaklıklar görülmektedir.

Çizelge 3.1. AISI 4140 çeliğinin kimyasal kompozisyonu

Element	% Ağırlık
C	0,38-0,45
Mn	0,75-1,00
P	0,035 (maks.)
S	0,04 (maks)
Si	0,15-0,30
Cr	0,80-1,10
Mo	0,15-0,25

Çizelge 3.2. AISI 4140 çeliğinin ısıl özellikleri

Özellikler		Koşullar	
		T (°C)	İşlem
Isıl Genleşme (10-6/°C)	12.3	20-100	Yağda sertleştirilmiş, 600°C'de temperlenmiş
Isıl İletkenlik (W/m-K)	42.7	100	
Özgül Isı (J/kg-K)	473	150-200	

Çizelge 3.3. AISI 4140 çeliğinin mekanik özellikleri

Özellikler		Koşullar	
		T (°C)	İşlem
Yoğunluk (×1000 kg/m3)	7,7-8,03	25	
Poison Oranı	0,27-0,30	25	
Elastisite Modülü (GPa)	190-210	25	
Çekme Dayanımı (Mpa)	655,0	25	815°C ‘de tavlanmış
Akma Dayanımı (Mpa)	417,1		
% Uzama	25,7		
% Kesit Daralması	56,9		
Sertlik (HB)	197	25	815°C ‘de tavlanmış
Darbe Dayanımı (J)	54,5	25	815°C ‘de tavlanmış

Çizelge 3.4. AISI 4140 çeliğinin elektriksel özelliği

Özellikler		Koşullar	
		Sıcaklık (°C)	Soğutma
Elektrik Direnci (10-9 Ω -m)	12,3	222	20

Çizelge 3.5. AISI 4140 çeliğinin ısıl işlem özellikleri

Özellikler	Koşullar	
	Değer	T (°C)
Sıcak Şekil Verme	850-1050 °C	
Normalizasyon	840-880 °C	
Yumuşak Tavlama	680-720 °C	
Sertleştirme	820-860 °C	Su
	820-860 °C	Yağ

Çizelge 3.6. AISI 4140 çeliğinin yaklaşık kritik sıcaklıkları

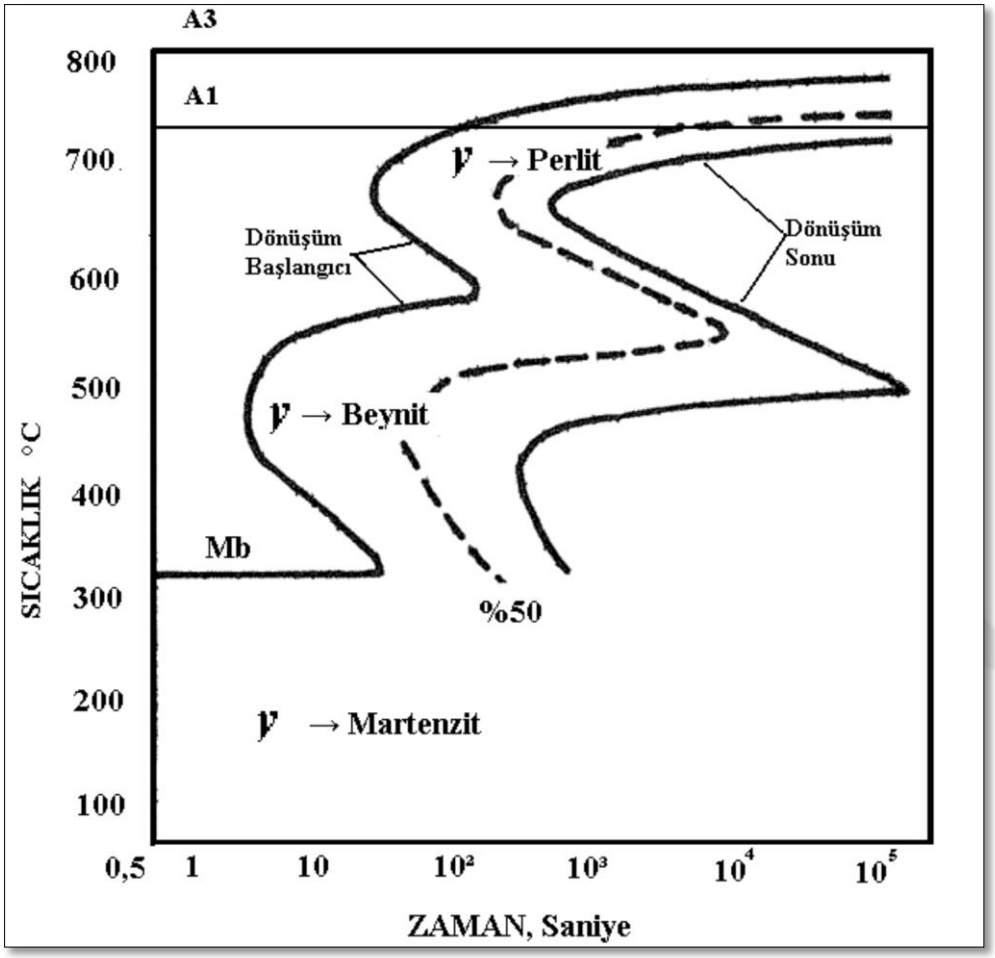
Element	Mf	Ms	Ar1	Ac1	Ar3	Ac3
Sıcaklık (°C)	260 °C	343 °C	680 °C	732 °C	743 °C	804 °C

AISI 4140 çeliği aynı gruptan çeliklerle kıyaslandığı zaman orta derecede sertleşebilir ancak onlara nazaran dayanım ve tokluğu ise daha iyidir. Bunun yanı sıra, çalışma ortamlarındaki performansı normal değerlerdedir. Yüksek karbon içeriğinden dolayı daha iyi sertleşir ve mukavemeti artar. Çekme dayanımları 1650 MPa'a kadar çıkabilir. Sertleştirme ve temperleme ısıl işlemine uygundurlar. Çalışma ortamlarındaki dayanımı 480 °C'den sonra hızlı bir şekilde azalır. Isıl işlem ve gerilme konsantrasyonu ile çeşitli sıcaklıklarda dönüşüme uğrayabilirler.

AISI 4140 çeliğinden yüksek dayanım istendiğinde, ısıl işlem sonucu hidrojen gevrekliği oluşabilir. Ancak bu esnada hidrojen gevrekliğini önlemek ve süneklik kazandırmak için 2-4 saat 190 °C'de ısıl işleme tabi tutulurlar. 540 °C'ye kadar sürünme dirençlerini korurlar. 1100- 1200 °C'de kolayca şekillendirilebilirler ve sıcak şekillendirildikten sonra yavaşça soğutulmalıdırlar. Bu çelikler, bu ısıl işlemlerden sonra kaynak kabiliyeti iyileşir. Soğuk şekillendirme ile % 62 oranında şekillendirilebilirler. C-4140 çelikleri çubuk, merdane, levha, plaka, mil veya dokum yöntemiyle üretilip şekillendirilebilirler. Yüksek dayanımlı makine parçaları ve elemanlarında kullanılır [50].

Östenit dönüşümü sırasında görülen ve öncelikle dönüşüm ürününün özelliklerini belirleyen çok yönlü olayların irdelenmesinde zaman-sıcaklık-dönüşüm diyagramlarından

faydalanılır. TTT (Time – Temperature - Transformation) ve CCT (Continuously – Cooling - Transformation) diyagramları olarak bilinen bu diyagramlarla dönüşüm olayları sıcaklık ve zamana bağlı olarak gösterilir. Şekil 3.1'de izotermik dönüşüm için AISI 4140 çeliğine ait TTT diyagramı görülmektedir.

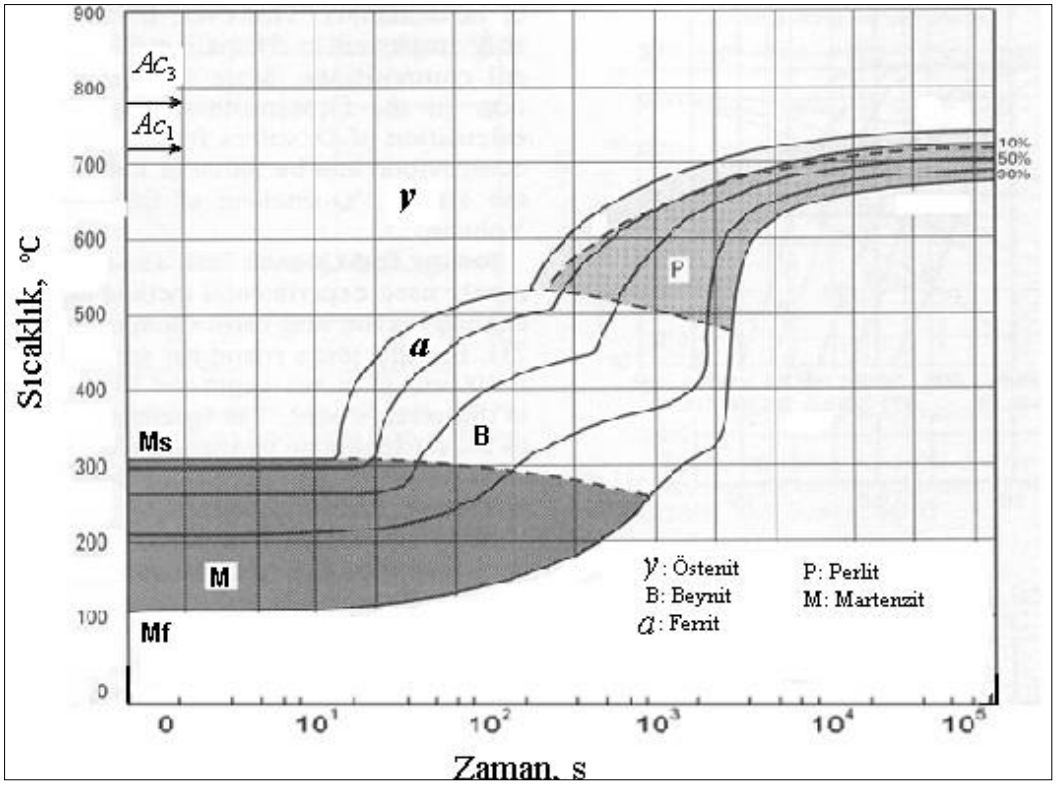


Şekil 3.1. AISI 4140 çeliğine ait TTT diyagramı [51]

TTT diyagramı ile malzeme istenilen yapı göz önüne alınarak belirlenen bir sıcaklığa hızla soğutulur ve bu sıcaklıkta bekletilir. İstediğimiz dönüşüm gerçekleşinceye kadar sabit sıcaklıkta bekletilir ve tekrar soğutulur.

Çelikte yapının tamamen perlit ya da beynit olması istendiğinde bu diyagramdan faydalanılır. AISI 4140 çeliğinin yapısının tamamen perlit ya da beynit olması istenildiğinde Şekil 3.1'deki değerler okunarak bu yapılar elde edilir.

AISI 4140 çeliğine ait CCT diyagramı Şekil 3.2' te görülmektedir. Bu diyagram, özel soğutma ortamlarında ulaşılabilen soğutma hızının, östenitten martenzite veya beynitten perlite faz dönüşümünün etkilerini içermektedir. Bu diyagramlar su verme ortamının etkilerinin teorik olarak görülebileceği diyagramladır [51].



Şekil 3.2. AISI 4140 çeliğine ait CCT diyagramı [51]

AISI 4140 çeliklerinin soğutma prosesini anlamak için hayli kritik öneme sahip olan martensit dönüşümünün başlangıç ve bitiş sıcaklıkları (Ms, Mf) bu diyagramdan okunabilir (Şekil 3.2). Bu sıcaklıklarla birlikte AISI 4140 çeliğine ait olarak çeliğin ısıtılmasında kritik Östenit dönüşüm sıcaklıkları olan Ac_1 ve Ac_3 ile çeliğin soğutulmasında ostenitten perlite dönüşüm dönüşüm sıcaklığı olan Ar_1 ve Östenitten ferrite dönüşüm sıcaklığı olan Ar_3 sıcaklıkları Çizelge 3.6'da verilmiştir.

CCT diyagramı ile soğutma hızları sonunda malzemedeki yapılar görülür. Çok hızlı soğutma (örneğin su) ile yapının tamamen martenzite dönüşeceği şekilde çok acık bir şekilde görülmektedir. Çok hızlı olmamak kaydı ile örneğin yağda soğutularak beynitik bir yapı elde edilebilir. Yine Şekil 3.2'de malzemede ferrit ve perlit yapısı oluşturmak için yavaş soğuma gerektiği görülmektedir.

3.2. Talaşlı İmalat

Talaşlı üretim işlemi en önemli imalat yöntemlerinden biridir. Talaşlı imalat işleminde iş parçasını istenilen geometriye getirmek için üzerindeki fazlalıklar uygun takım tezgâhı (torna, freze, matkap) ve kesici takım kullanılarak talaşlar seklinde uzaklaştırılıp, istenilen boyutlar ve yüzey kalitesi sağlanır.

Döküm, dövme, haddeleme ve diğer şekillendirme yöntemleriyle üretilmiş mühendislik malzemelerinin kullanıma hazır hale getirilmesi için çoğunlukla talaşlı imalat işlemlerine maruz kalmaları gerekir. Uzay ve havacılık, otomotiv ve kalıp gibi endüstriyel alanlarda çoğu ürüne son şekli talaşlı imalat işlemleriyle verilir [52].

Talaşlı imalat işlemiyle;

a) Çok çeşitli malzemeler talaşlı imalat yöntemiyle şekillendirilebilir. Gerçekte bütün katı malzemeler işlenebilir. Polimer ve polimer esaslı kompozitler de talaşlı imalat yöntemiyle işlenebilir.
b) Talaşlı imalat işlemiyle düz ve dairesel yüzeyler gibi düzenli geometriler oluşturulabilir. Birkaç talaşlı imalat işlemi sırasıyla uygulanarak hemen hemen bütün karmaşık geometriler elde edilebilir.
c) Talaşlı imalat işlemiyle iş parçası ölçüleri istenilen toleranslarda ve arzu edilen yüzey kalitesinde elde edilebilmektedir [52,53].

3.2.1. Talaşlı imalatta yüzey pürüzlülüğü

İşleme metodu, kesicinin cinsi ve işlenen malzemeye bağlı olarak, işleme sırasında fiziksel, kimyasal ve ısıl faktörlerle, kesen ve kesilen arasındaki mekanik hareketlerin de etkisiyle işlenmiş yüzeylerde, genellikle istenmediği halde tabi olarak bazı izler oluşur. Nominal yüzey çizgisinin altında ve üstünde düzensiz sapmalar meydana getiren bu duruma yüzey pürüzlülüğü denir [54].

Çeşitli metotlarla imal edilen bir iş parçası bu işlemler esnasında çeşitli mekanik, fiziksel, ısıl ve kimyasal etkilere maruz kalır ve dolayısıyla bu parçanın yüzeyinin özellikleri genellikle bu parçanın iç tarafının özelliklerinden önemli derecede farklılıklar gösterir. Bir parçanın mekanik özelliklerini genellikle parçanın iç tarafı (gövdesi) belirlemesine

rağmen, imal edilen bir parçanın yüzeyi önemli bazı özellikleri ve nitelikleri doğrudan etkiler [55].

İş parçasının yüzeyinin önemli olduğu özellikler ile ilgili aşağıda bilgiler verilmiştir;

a) Daha sonraki işlemlerde takımlarla ve kalıplarla doğrudan temas ettiğinde veya kullanılacağı yerde sürtünme ve aşınma özellikleri etkiler,
b) İmalat işlemi esnasında ve aynı zamanda kullanılacağı yerde yağlayıcının etkinliği belirler,
c) Parçanın görünümünü ve geometrik özelliklerini ve parçanın maruz kalacağı boyama, kaplama, kaynaklama, lehimleme ve birleştirme işlemlerini ve aynı zamanda korozyon direncini etkiler,
d) Yorulma veya diğer kırılma mekanizmaları vasıtasıyla parçanın zayıflamasına ve daha kısa sürede kırılmasına neden olan yüzey kusurlarından (pürüzlülük, çizikler (oluklar), izler ve ısıdan etkilenmiş bölgeler gibi) dolayı kırılma başlangıcını tetikler,
e) Temas eden yüzeylerin ısıl ve elektrik iletkenliğini etkiler. Örneğin, kaba yüzeyler ince yüzeylerden daha yüksek ısı ve elektrik direncine sahiptir [55].

Sürtünme, aşınma ve yağlama yüzey özellikleri olup triboloji olarak isimlendirilir. Sürtünme, kuvvetleri, güç gereksinimini ve parçaların yüzey kalitesini etkiler [55].

Yüzey bütünlüğü yalnızca yüzeylerin geometrik özellikleri ile ilgili olmayıp aynı zamanda yüzeylerin mekanik ve metalurjik niteliklerini de tanımlar. İmalat işlemlerinde yüzey bütünlüğü dikkate alınması gereken önemli bir faktördür çünkü yüzey bütünlüğü imal edilen bir parçanın yorulma dayanımını, korozyon direncini ve çalışma ömrünü etkiler [55].

Parçanın imal edilmesinden veya imal edilme esnasında meydana gelen çeşitli kusurlar, kusurlu yüzey bütünlüğünün nedenidir. Bu kusurlar çoğunlukla orijinal iş parçasındaki kusurlardan, imalat yönteminden ve aşırı derecede gerilme ve sıcaklığa neden olan işlem parametrelerinden kaynaklanır [55].

Yüzey bütünlüğü = Yüzey pürüzlülüğü + kalıcı gerilmeler + yüzey katmanındaki değişiklikler [55].

İşlenmiş yüzeylerde, işleme metodu ne olursa olsun (örnek: lepleme, taşlama, tornalama vb.) belli bir yüzey pürüzlülüğünün oluşması kaçınılmazdır. Pürüzlülüğe sebep olan faktörlerin tek tek etkilerini ayırt etmek her zaman mümkün olmayabilir. Eşitlik 3.4'de ortalama yüzey pürüzlülük değerinin hesaplanması verilmiştir.

$$R_a = 0{,}064 \times f^2 / 8r \qquad (3.1)$$

Eşitliğe göre;

- Ra: Ortalama yüzey pürüzlülüğü,
- f: İlerleme miktarı,
- r: Kesici takım uç yarı çapı.

İşlenen yüzeylerin kalitesi işleme performansı üzerinde önemli rol oynar. Kaliteli işlenmiş bir yüzey yorulma mukavemetini, korozyon direncini ve sürtünme ömrünü önemli derecede iyileştirir. Yüzey pürüzlülüğü ayrıca yüzey sürtünmesine sebep olan temas, aşınma, ışık yansıtma, ısı iletimi, yağ filminin, tutulması ve dağıtılması kabiliyeti, kaplama veya direnç ömrü gibi parçaların çeşitli fonksiyonel özelliklerini de etkiler. Bu sebeple istenilen yüzey tamlığı genellikle belirlenir ve ihtiyaç duyulan kaliteye ulaşmak için uygun işlemler seçilir. Son yüzey pürüzlülüğü iki bağımsız faktörün toplamı olarak dikkate alınabilir [56].

3.2.2. Yüzey pürüzlülüğünü etkileyen ana faktörler

Genellikle yüzey kalitesini etkileyen faktörler kısaca aşağıda özetlenmiştir;

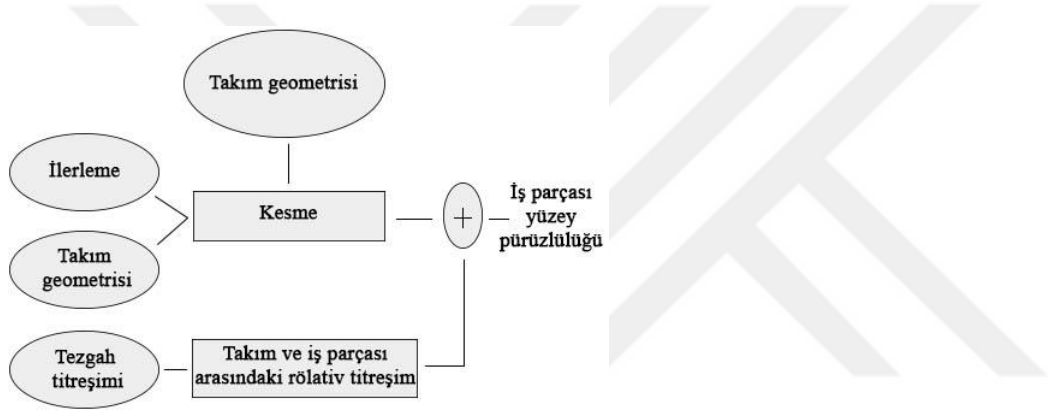
a) İş parçasının özellikleri (İş parçası sünekliği veya sertliği): İş parçasının sünek olması direk olarak BUE oluşumuna bu durum ise kötü yüzey pürüzlülüğüne neden olur. İş parçasının sert olması ise yüzey pürüzlüğünün daha iyi fakat kesme kuvvetini ve takım aşınımını artırarak yüzeyde istenmeyen gerilimlere sebep olur.
b) Kesici takımın geometrisi (Kesici takım uç yarıçapı, talaş açısı, uç açısı vb.): Uç yarıçapının artması daha iyi yüzey çıkmasına, uç yarıçapının azalması ise takımın kısa sürede aşınması bu ise yüzey pürüzlülüğünün kötü çıkmasına neden olacaktır. İş parçası özelliklerine bağlı olarak diğer geometrik özellikleri değişir.
c) İşleme parametreleri (ilerleme hızı, kesme hızı): İlerleme hızı arttıkça yüzey daha pürüzlü çıkar ilerleme değeri ile doğru orantılıdır. Kesme hızı sünek malzemelerde

yüksek olması BUE oluşumunu azaltarak yüzey pürüzlülüğünün daha iyi olmasını sağlar.

d) Soğutma sıvısının kullanılması: Talaşın kesme bölgesinden daha hızlı atılması ve BUE oluşumunu azaltmak, kesme esnasında oluşan ısının azaltılmasında etkilidir.

e) Tezgâhın rijitliği (Titreşim, tezgâh kapasitesi,): Titreşimin oluşması ile tırlama yüzeyi olumsuz etkiler.

İş parçasının bitmiş yüzey pürüzlülüğünü etkileyen bu faktörler; ilerleme değeri, takım geometrisi ve takım-iş parçası arasında kendiliğinden meydana gelen titreşim olmak üzere üç kısma ayrılmıştır. Şekil 3.3'de yüzey pürüzlülüğüne etki eden faktörler ele alınmıştır.



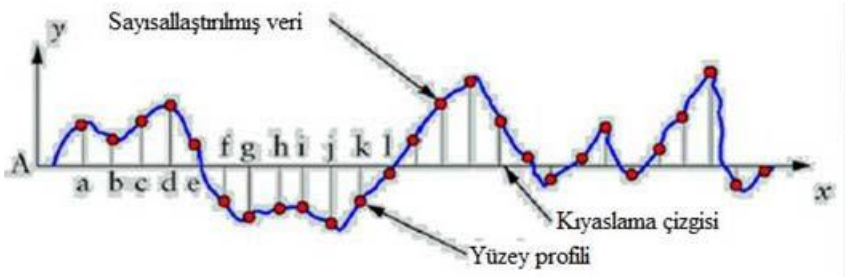
Şekil 3.3. Yüzey pürüzlülüğüne etki eden faktörler [57]

3.2.3. Yüzey pürüzlülüğü belirleme metodu

Yüzey pürüzlülüğü genel olarak iki metotla belirlenir: Aritmetik ortalama değer (Ra) ve kareköklerin ortalaması (Rq). Daha önceleri merkez çizgi ortalaması (CLA) olarak da tanımlanan aritmetik ortalama Şekil 3.4'de şematik olarak gösterilen bir yüzeyin pürüzlülüğünün ölçülmesi esasına dayanır. Aritmetik ortalama değer (Ra) hesaplanması eşitlik 3.2'de verildiği gibi belirlenir [55].

$$R_a = \frac{a+b+c+d+\ldots}{n} \tag{3.2}$$

buradaki bütün koordinatlar (a,b,c,…) mutlak değerlerdir.



Şekil 3.4. Yüzey pürüzlülük ölçümü için kullanılan koordinatlar [55]

Kareköklerin ortalaması ile belirlenen yüzey pürüzlülük değeri (Rq) ise aşağıdaki eşitlikle belirlenir:

$$R_q = \sqrt{\frac{a^2 + b^2 + c^2 + d^2 + \ldots}{n}} \tag{3.3}$$

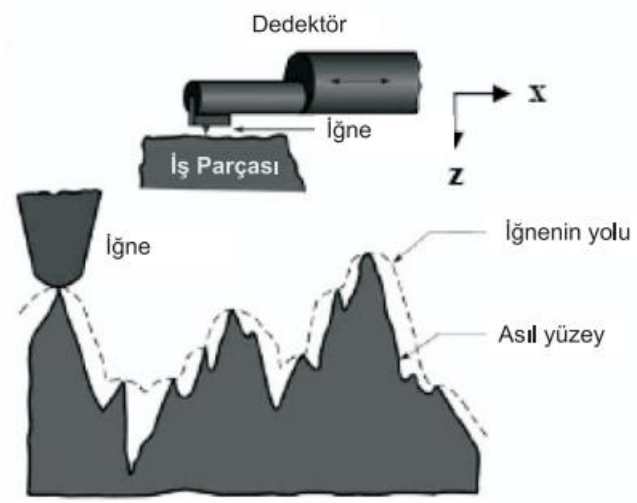
Şekil 3.4'deki Ax çizgisi, bu çizginin altında kalan alanların toplamı üzerinde kalan alanların toplamına eşit olacak şekilde konumlandırılır. Yüzey pürüzlülüğü için kullanılan birim μm'dir [55].

Ayrıca bazı durumlarda en yüksek yüzey pürüzlülük değeri de (Rt) bir pürüzlülük kriteri olarak kullanılabilir. Bu değer, bir yüzeyin en dip noktasından en yüksek noktasına olan mesafe olarak tanımlanır. Bu değer aynı zamanda parlatma veya diğer metotlarla düzgün bir yüzey elde etmek için kaldırılması gerekli malzeme miktarını da gösterir. Günümüzde yüzey pürüzlülüğü ölçümünde çoğunlukla Ra değeri kullanılır [55].

Genel olarak, bir yüzey yalnızca Ra değerleriyle yeterince tanımlanamaz. Çünkü, bu değerler ortalama değerlerdir. İki yüzey aynı yüzey pürüzlülük değerine sahip olabilir ancak gerçek topografyaları oldukça farklı olabilir. Örneğin, birkaç tane derin girintinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi önemsiz olabilir. Ancak, üretilmiş bir parçanın yüzey profilindeki farklılıklar yorulma, sürtünme ve aşınma özellikleri bakımından önemli olabilir [55].

Yüzey pürüzlülüğünü ölçmek ve kaydetmek için "yüzey profilometresi" olarak isimlendirilen çeşitli ticari cihazlar kullanılır. En yaygın olarak kullanılan cihaz, yüzey üzerinde doğru bir hat boyunca bir yol takip eden elmas izleyici uç ile yapılan yöntemdir

[55]. Şekil 3.5'de İzleyici uçlu cihazların çalışma prensibi gösterilmiştir.



Şekil 3.5. İzleyici uçlu cihazların çalışma prensibi [55]

3.3. İşlenebilirlik

İşlenebilirlik, talaşlı imalatla şekillendirilmek istenen hammaddenin özelliklerini (alaşım elementleri ve mikroyapı özellikleri ile sertlik, akma ve çekme dayanımı, ısıl iletkenlik, taneler arası bağ özellikleri, elastik modülü gibi parametreler), seçilen talaşlı imalat yöntemindeki parametrelere (işleme şekli, tezgâh gücü ve özellikleri, takım tutucu ve formu, kesici uç malzemesi ve formu, kesme hızı, ilerleme hızı, kesme derinliği, kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü, soğutma tipi ve yöntemi, vb.) bağlı olarak, hammaddenin ve talaşlı imalat yönteminin değişkenlerinin ayrı ayrı ve bütün olarak sergiledikleri davranışlardır. İşlenebilirlik, genellikle malzemenin özgül bir özelliği olarak algılansa da, sadece işlenen malzemeye bağlı olmayıp aynı zamanda işleme yöntemi ve işleme parametrelerini de kapsamaktadır [58,59].

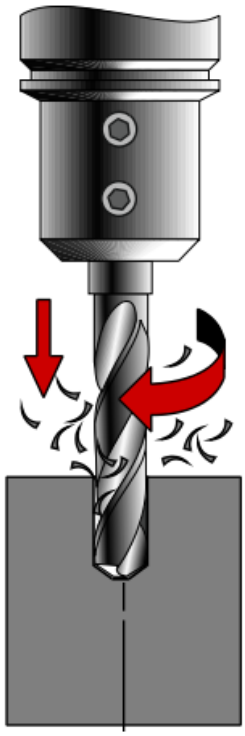
Malzemelerin işlenebilirliklerini etkileyen malzeme özellikleri sertlik, süneklik, ısıl iletkenlik, pekleşme, malzeme içindeki kalıntıları (inklüzyonlar) ve malzemenin kimyasal bileşimidir. Örnek olarak, sertlik arttıkça kesici takımda abrasif aşınma artar ve dolayısıyla takım ömrü kısalır. Düşük sertlik ve dayanım genelde iyi işlenebilirlik anlamına gelmekle birlikte sertliği az olan çok sünek malzemelerde yığıntı talaş (Built-Up-Edge - BUE) oluşumu gerçekleştiği için yüzey kalitesi kötüleşir ve takım ömrü kısalır. Çok düşük sertlik talaşlı imalat işleminin performansını kötü yönde etkileyebilir.

İşlenebilirliği etkileyen faktörler aşağıdaki şekilde sıralanabilir [60];

- İşlenecek malzemenin kimyasal ve mekanik özellikleri.
- Kesici takımın kimyasal ve mekanik özellikleri.
- Kesici takım geometrisi.
- Talaş kaldırmada işleme yöntemi.
- Kesici takımın ve iş parçasının bağlama rijitliği.
- Talaş kaldırma parametreleri.
- Takım tezgâhının rijitliği gibi sıralanabilir.

3.4. Delik Delme

Delik delme, kesici bir takımla iş parçasından talaş kaldırarak silindirik delik açma metotlarının tamamına verilen bir addır. Dönen ve eksenel bir hareketle iki ağza sahip bir kesiciye iş parçası üzerinde silindirik boşluklar elde etmek üzere yapılan işleme delme denir. Delme işleminin bir görüntüsü Şekil 3.6'da görülmektedir [61].



Şekil 3.6. Delme işlemi [3]

Delme terimi kısa ve derin delik delme işlemleri için olduğu kadar bunu takip eden broşlama, raybalama, havşa açma işlemleri ve ovalama (veya parlatma) gibi çeşitli son işlemler için de kullanılır [62]. Bütün bu işlemlerin ortak noktası, takımın kendi ekseni etrafında dönme hareketi ile ekseni yönünde ilerleyerek yapılan bir talaş kaldırma işlemi olmasıdır [63].

Delme işlemi en önemli talaş kaldırma işlemlerinden biridir ve talaş kaldırma işlemlerinin yaklaşık %33'ünü içermektedir. Delme işlemi çoğunlukla talaş kaldırma işlemlerinin sonuncusudur. Tornalama ve frezeleme işlemleri ile delme işlemleri karşılaştırıldığında, işlemlerin kinematik ve dinamik yapısının benzer olup talaş akışı ve kesme sıcaklığı dağılımının aynı şekilde olduğu görülür. Diğer taraftan delme işleminde olumsuz durumlar da oluşmaktadır. Talaş oluşumu kapalı alanda oluşur ve görülemez. Talaş akışını sınırlandıran sadece matkapta oluşan talaş kalınlığıdır. Takım ve iş parçası arasındaki sürtünme önemlidir; yüzeyden akan sıcaklığın yetersiz olması ve dönme ekseninde kesici ağız boyunca kesme hızı değerinin sıfır olması ana problemdir. Bu yüzden matkap ve işlem tezgâha ve iş parçasına özgü adapte edilmeli, delik kalitesi sağlanmalı ve gerekli yöntem doğruluğu oluşturulmalıdır. Bu nedenlerden dolayı birçok takım geometrisi ve takım malzemesi geliştirilmiştir [64].

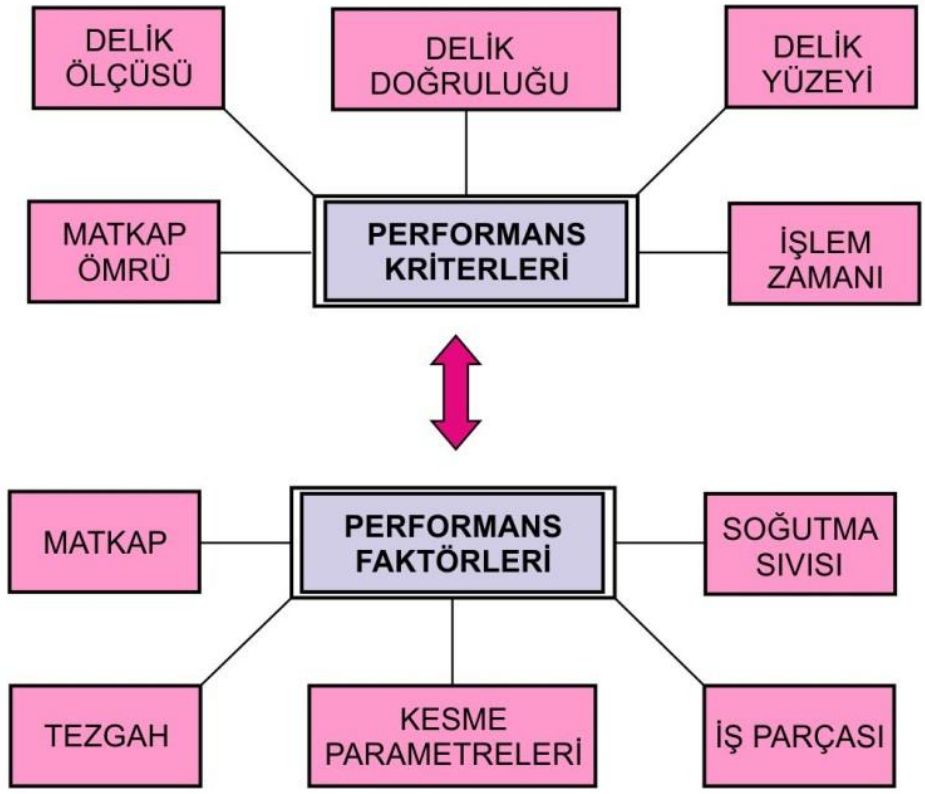
Delik delme ve işleme işlemi birçok değişik iş parçasına ve malzemeye uygulanabilir. Bazen cıvata, vida ve diğer bileşenler için delinmesi gereken delikte yüksek derecede tolerans doğruluğuna gerek olmayabilir. Fakat aynı zamanda, kama yuvası veya kalıp pimleri gibi hassas deliklerde ise tolerans tamlığı büyük önem arz etmektedir [65].

3.4.1. Delik delme işlemini etkileyen faktörler

Talaşlı imalatta işleme performansını etkileyen faktörler kesme parametreleri, takım malzemesi ve geometrisi, soğutma şartları, işlenen malzemenin metalurjik yapısı, işlemin yapıldığı tezgâh özellikleri vb. olarak sayılabilir. Bu faktörler diğer işleme türlerinde olduğu gibi delik delme performansında da etkilidirler.

Delik delme işleminde bir performans değerlendirmesi yapılacak olursa değerlendirme kriterleri; kesici takım ömrü, delik kalitesi (yüzey kalitesi, deliklerde ölçü-şekil doğruluğu)

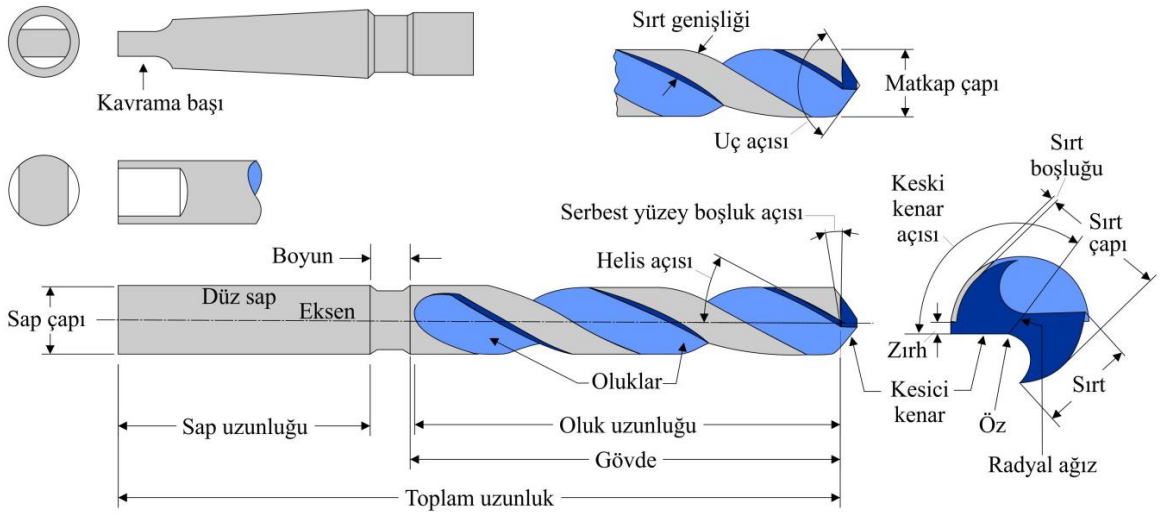
ve talaş kaldırma verimliliği ile nitelendirilebilir. Bu kriterleri etkileyen faktörler Şekil 3.7'de şematik olarak gösterilmiştir [66].



Şekil 3.7. Delik delme performansı kriterlerini etkileyen faktörler

Matkap

Delik delme için kullanılan kesici takımlar matkaplardır. Matkaplar dönel yapıya sahip bir veya birden fazla kesici ağzı olan, talaş akışı için bir veya daha fazla helisel ya da düz kanala sahip talaş kaldırma takımlarıdır. Bu tip kesici takımlar birçok çeşitte, çeşitli formlarda, ölçülerde ve toleranslarda üretilmektedir. Endüstriyel uygulamaların tamamına yakın oranda kullanılan matkaplar, helisel matkaplardır [64]. Şekil 3.8'de çift ağızlı matkap geometrisi görülmektedir.



Şekil 3.8. Çift ağızlı matkap ve kovanın geometrisi [64]

Delik delme işlemlerini kendi içinde sınıflara ayırmak mümkündür. Delme işlemlerinde delik boyu/çap oranı 3 ve daha düşük olan deliklere kısa delik, delik boyu/çap oranı 4-10 arasında olan deliklere normal delik, delik boyu/çap oranı 10 ve daha büyük ise bu deliklere de derin delik adı verilir [62].

Delme terimi kısa veya derin delik delme işlemleri için olduğu kadar, bunların ardından yapılan broşlama, raybalama, havşa yuvası açma ve ovalama (veya parlatma) gibi çeşitli son işlemler için de kullanılır. Bütün bu işlemlerin ortak noktası, ana dönme hareketinin doğrusal bir ilerleme hareketiyle beraber yapılmasıdır [62].

Kesme (delik delme) parametreleri

Delik delme işleminde takımın kendi etrafında dönüşü ve ilerleme hareketi olmak üzere iki hareket söz konusudur. Bu hareketler kesme hızı ve ilerleme hızı parametrelerini belirler. Aynı zamanda takım geometrisi ile birlikte bu iki hareket talaş kesitini belirlemektedir [66].

Kesme Hızı (Vc) (3.4)

Delme işlemlerinde ana hareket takım veya iş parçası tarafından yapılan dönme hareketidir. Ana hareketi oluşturan ana mil hızı (n) dakikada yapılan devir sayısı olarak tanımlanır. Delme işlemi için kesme hızı (*Vc*), çevresel hızdan yararlanılarak belirlenir.

Bu hız dakikadaki devir sayısı bilindiğinde kolaylıkla hesaplanabilir. Takım çapı (D) olmak üzere matkap bir dönüşte, çevresi π . D olan bir daire çizer. Dönme hareketi (n) bağlı olarak kesme hızı buna göre;

$$Vc = \pi.D.n/1000 \ \{\text{m/dk}\} \quad (3.5)$$

şeklinde hesaplanır.

Delik delme işleminde kesme hızı çevreden merkeze doğru düştüğü için kesme kenarı matkabın ucunda etkin bir şekilde çalışmayacaktır. Kesme hızı matkap ucunda sıfıra yakın olduğu için matkabın ucu malzemeyi kesmek yerine malzemeye basınç uygulayarak ezmeye çalışır. Bu bölgede negatif kesme açısı ve düşük kesme hızından dolayı plastik deformasyon eğilimi olur.

Kesme hızının etkileri

Takım ömrünün saptanmasında temel faktördür ve güç tüketimini etkiler.

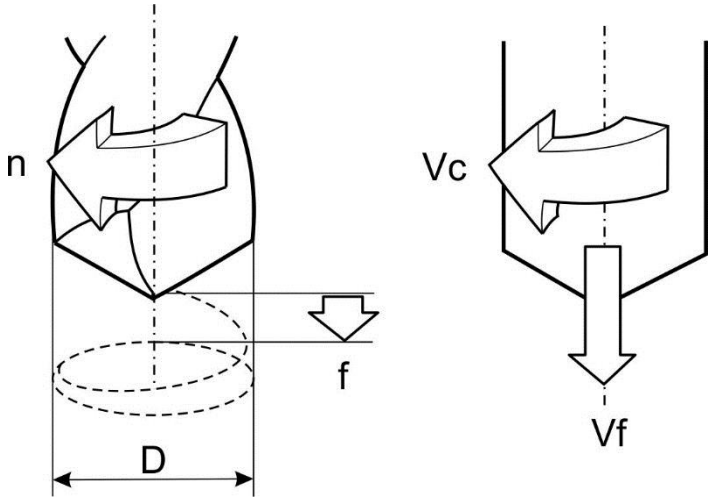
Yüksek kesme hızı;

- Matkap üzerinde hızlı serbest yüzey aşınmasına,
- Kesme kenarlarında plastik deformasyona,
- Düşük delik kalitesine,
- Tolerans dışı sonuçlara yol açabilir [65].

Çok düşük kesme hızı ise;

- Matkap üzerinde talaş yığılması oluşumuna,
- Talaş tahliyesinin olumsuz etkilenmesine,
- Düşük verimlilik/delik başına yüksek maliyete sebep olur.

Şekil 3.9'da Kesme hızı-ilerleme hızı görülmektedir.



Şekil 3.9. Kesme hızı-ilerleme hızı [62]

İlerleme hızı (V_f)

İlerleme hızı (V_f) birim zamanda alınan yol olarak tanımlanır ve takımın iş parçasına göre ilerlemesidir. Bu aynı zamanda tezgahın veya tablanın ilerleme hızı olarak da bilinir. Devir başına ilerleme (f) ilerleme hızını hesaplamak için kullanılan bir büyüklük olup, takım veya iş parçasının bir devirdeki ilerlemesidir.

$$Vf = f.n\ \{mm/dk\} \tag{3.6}$$

İlerleme hızının etkileri

Talaş oluşumu için belirleyici faktördür ve kesme hızında olduğu gibi güç tüketimini etkiler mekanik ve termal gerilmelere katkıda bulunur.

Yüksek ilerleme hızı;

- İyi talaş kontrolü,
- Daha düşük kesme süresi,
- Daha düşük takım aşınması,

Sağlarken;

- Daha yüksek matkap kırılması riskine,
- Delik kalitesinin kötüleşmesine sebep olur.

Düşük ilerleme hızı ise;

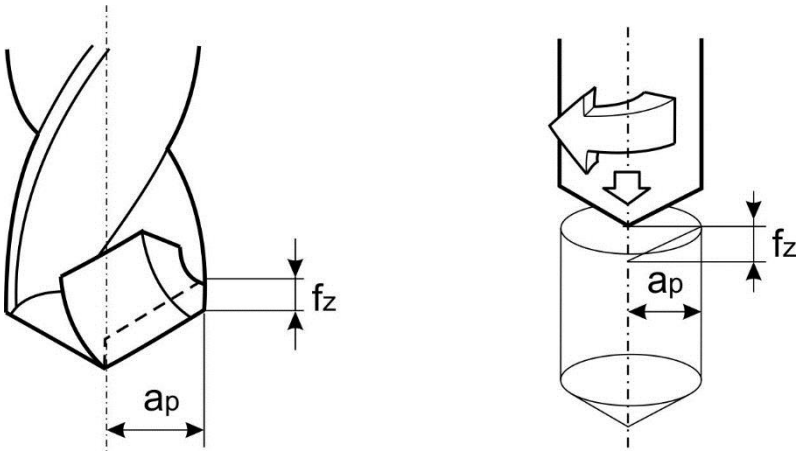
- Daha uzun talaşlar,
- Kalitede iyileşme,
- Takım aşınmasında daha hızlı artış,
- Daha uzun kesme süresi/delik başına daha yüksek maliyet anlamı taşır [69].

Talaş kesiti

Talaş kaldırma işlemi sırasında delik içerisinde oluşan talaşlar işlenen yüzeye zarar vermeden, kolaylıkla kesme bölgesinden uzaklaştırılacak bir şekle sahip olmalıdırlar [70]. Talaş genişliği veya radyal talaş derinliği (ap), takımın temasta olduğu iş parçası yüzeyidir ve tornalamada olduğu gibi yarıçap cinsinden ifade edilir.

$a_p = (D-d)/2$ {mm} (3.7)

Şekil 3.10. Delme işlemlerinde talaş kesit alanı (a) ve kesici kenar başına ilerleme (b) görülmektedir.



(a) (b)

Şekil 3.10. a) Delme işlemlerinde talaş kesit alanı b) Kesici kenar başına ilerleme [62]

Takımda birden fazla kesici kenar olduğundan (z kesici kenar-sayısı) talaş kesit alanının (A) tanımında kenar başına ilerleme (fz -mm/z) değeri kullanılır. Bu alan bir kenar tarafından kaldırılan malzemenin alanıdır ve radyal talaş derinliği ile kesici kenar başına ilerlemenin çarpımına eşittir (Şekil 3.10). Bu tanımlardan bazıları kullanılarak talaş debisi

(V) veya birim zamanda kaldırılan talaş hacmi hesaplanabilir. Burada talaş hacmi, kesme hızı ile talaş kesit alanının çarpımıdır.

$$V = A.Vc.1000\ \{\text{mm}^3/\text{dk}\} \quad (3.8)$$

Takım tezgahı

Matkap tezgahları; masaüstü matkap tezgahı, sütunlu matkap tezgahı, radyal matkap tezgahı, borwerg (yatay delik işleme tezgahında),kütle imalatında kullanılan çok matkaplı tezgahlar ve CNC tezgahlar şeklinde gruplandırılabilir.

Matkap tezgahlarındaki fener mili, takım tutucu ve matkap sisteminin tamamında maksimum rijitlik esastır. Rijitliğin olmaması tüm takım sisteminin rijitliğinin üzerinde ağır bir yük oluşturmaktadır. Bu rijitliğin sağlanamaması takıma gelen kuvvetlerde değişime neden olur ki bu da kesici takımın ömrünü ve iş parçası yüzey pürüzlülüğünü etkileyen önemli bir faktördür. Tezgah gücünün işlenen malzeme ve kullanılan kesme parametrelerine uygun olması gerekir. Tezgâhın mukavemeti, açılması gereken delik için gereken kesme kuvvetine göre zayıfsa, tezgâhın fener mili eksenden sapabilir veya sonuç olarak oval delikler oluşabilir. Ayrıca matkabı tezgaha bağlarken de dikkat edilmesi gereken hususlar vardır. Matkap çapının, boyuna göre çok küçük olma durumunda, burkulma tesiriyle matkap kırılabilir [66].

İş parçası malzemesi

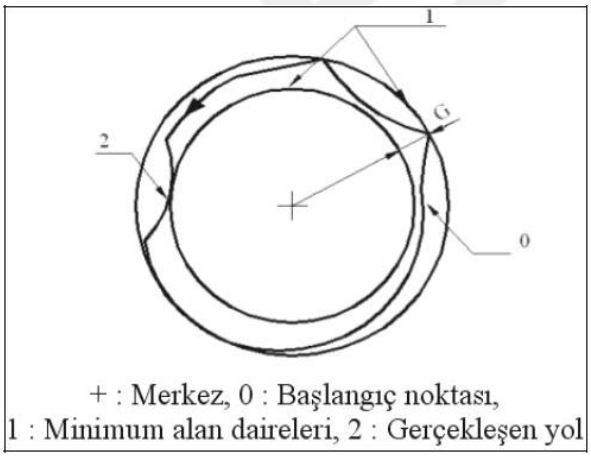
İş parçası malzemesinin sertlik, akma mukavemeti, süneklik ve deformasyon sertleşmesi gibi mekanik özellikleri işlenebilirlikle ilişkilidir. Delik delme sürecinde işlenen malzemenin tane yapısı ve sertliğinin kesme olayına etkisi farklı malzemelerde farklılıklar göstermektedir. Bu farklılıklara bağlı olarak iş parçası malzemesinde oluşan farklı ısılar takım aşınmasını dolayısıyla matkap ömrünü de değiştirmektedir. Ayrıca kesme hızı ve ilerlemeler de işlenen malzemenin türüne uygun olarak değişik aralıklarda seçilmelidir. Bu da işleme zamanını, dolayısıyla işleme ekonomisini etkilemektedir [66].

Bu çalışmada deney numunesi olarak kullanılan AISI 4140 çelik malzeme ve işlenebilirlikleriyle ilgili bilgiler *Bölüm 3.1*'de geniş kapsamlı olarak verilmiştir.

3.4.2. Delik daireselliği, silindiriklik, diklik ve eş merkezlilik

Delme işlemlerinde daireselliğin, silindirikliğin, diklik ve eş merkezliliğin bozulması takım aşınması, takımın doğru pozisyonlanmaması, sehim ya da kesme sırasında uygulanan kuvvetlerin düzensizliğinden kaynaklanmaktadır. Üretilen delikler üzerinde dairesellik, silindiriklik, diklik, eş merkezlilik ve yüzey pürüzlülüğünden kaynaklı bazı hatalar olabilmektedir. Bu değerlerin ölçülmesi işlenen parçanın tolerans değerlerinin sınır değerleri arasında olup olmadığının belirlenme hata oranını azaltma açısından son derece önemlidir.

En küçük kareler dairesi, etrafındaki maksimum radyal aralık olarak da değerlendirilebilir. En çok ölçümü yapılan sapma tipidir. Şekil 3.11'de dairesellikten sapmanın değerlendirilmesi verilmiştir.

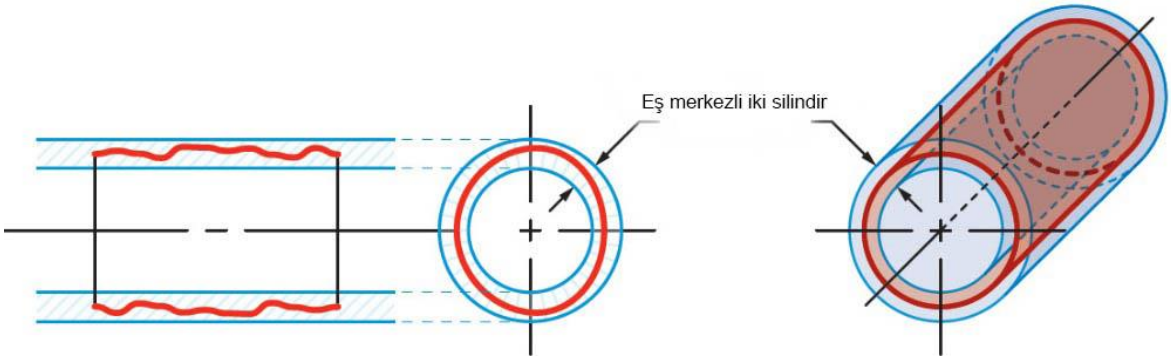


Şekil 3.11. Dairesellikten sapmanın değerlendirilmesi [71]

EKK metodu, günümüzde özellikle CMM tezgahlarında en sık kullanılan yöntem olup, diğer yaklaşımların karşılaştırılmasında referans alınan bir tekniktir. Bu metotla elde edilen dairenin merkezi, en küçük dış teğet ve en büyük iç teğet dairelerin profile uydurulması için kullanılır. Bu iki daire arasındaki fark dairesellik hatası olarak ifade edilir [71,72].

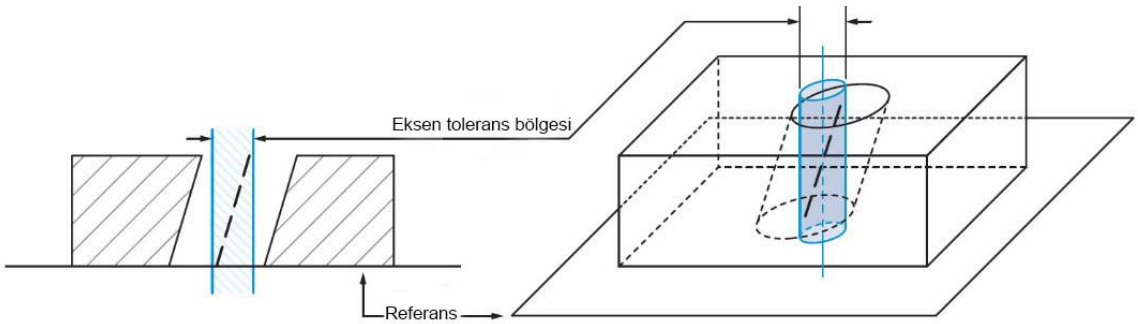
Silindiriklik, bir nesnenin gerçek bir silindire ne kadar yakın olduğunu tanımlamak için kullanılır. Bir parçanın ekseni boyunca hem yuvarlak hem de düz olması gerekiyorsa, o zaman silindiriklik ölçümünden faydalanılır. Delik üzerinden en az iki daire ölçümü

yapılarak saptanır. Ölçülen bu dairelerin eksenleri aradaki fark sapla değerini vermektedir. Şekil 3.12'de silindiriklikten sapmanın değerlendirilmesi verilmiştir.



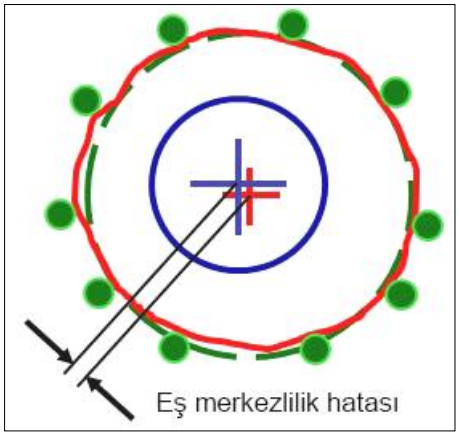
Şekil 3.12. Silindiriklikten sapmanın değerlendirilmesi

Diklik, referans yüzeyin veya çizginin bir referans noktası yüzeyinden veya çizgiden 90° dik veya dikey olması gereken bir koşulu ifade eder. İş parçası düzlem yüzeyi referans olarak kabul edilir, toleranslandırılmış delik ölçülür ve bu deliğin ekseni ile referans yüzey arasındaki 90° açıya göre koordinat sapmaları tespit edilir. Şekil 3.13'de diklikten sapmanın değerlendirilmesi verilmiştir.



Şekil 3.13. Diklikten sapmanın değerlendirilmesi

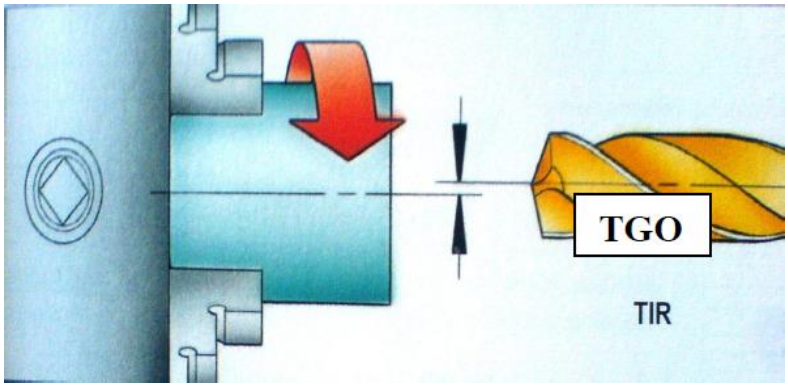
Eşmerkezlilik, deliklerin merkezlerindeki sapmaların kontrolünü tanımlamak için kullanılır. CMM ile unsur üzerinden noktalar alınarak bu noktalardan geçen 'en uygun daire' ve bu dairenin ekseni belirlenir. Belirlenen bu eksen ile referans ekseni arasındaki mesafe eşmerkezlilik olarak değerlendirilir. Şekil 3.14'de eş merkezlilikten sapmanın değerlendirilmesi verilmiştir.



Şekil 3.14. Eş merkezlilikten sapmanın değerlendirilmesi

3.4.3. Delme işlemlerinde dikkat edilmesi gereken hususlar

Fener mili, takım tutucu ve matkap sisteminin tamamında maksimum rijitlik esastır. Rijitliğin olmaması tüm takım sisteminin rijitliğinin üzerinde ağır bir yük oluşturmaktadır. Yekpare karbür mevcut en sert takımdır ve bu sebeple, tüm diğer matkap tiplerine oranla, daha yüksek kalitedeki delikleri yüksek hızla üretme kapasitesine sahiptir. Bununla birlikte, işleme koşulları rijit olmadığında veya takımda tokluk ihtiyacı olması halinde önlem alınmalı veya alternatif düşünülmelidir. Titreşim çok düşük frekansta olsa bile (kesme kenarlarında serbest yüzey aşınması yerine tanecik kopması oluşabileceğinden) takım ömrü ve üretim güvenliği üzerinde olumsuz bir etkiye sahiptir. Bu durum kötü yüzey kalitesi ve çabuk kırılmaya sebep olur. Yüksek kalitede tork iletimi ve kesme sıvısı temini de delme işleminin başarısı için önemli faktörlerdir. Dönen bir matkap uygulaması tercih edilmelidir. Ancak, tornalamada olduğu gibi sabit bir matkap kullanılacaksa, matkap merkezinin fener mili merkezi ile hizalandığından emin olmak için gerekli kontroller yapılmalıdır. Özel amaçlı tezgâhlardaki uygulamalarda kovanların kullanılması tavsiye edilmez. Delik delmede minimum salgı esastır. Yekpare karbür matkapların kullanımında en önemli şartlardan biri en düşük salgıyı sağlamaktır. IT8 aralığına kadar düşebilen toleranslar ve en iyi takım ömrü elde edebilmek maksadıyla matkap ve pens için 20 mikronluk TGO (Toplam Gösterge Okuması) değerlerinin aşılmaması tavsiye edilir. (Şekil 3.15). Matkabın sapa göre anma salgısı, matkabın toplam uzunluğu için 0,015 mm' yi geçmemelidir.



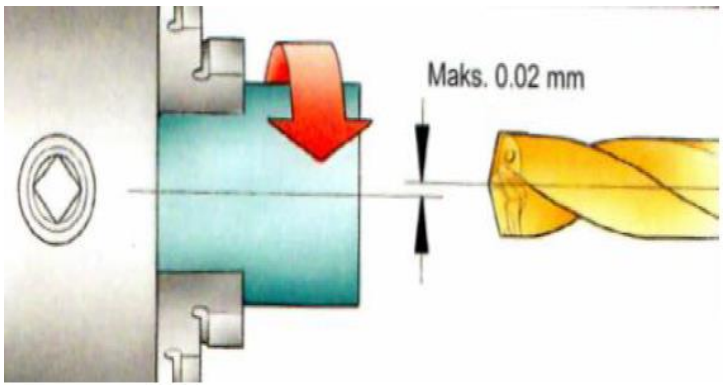
Şekil 3.15. Delik delmede minimum salgı [69]

Başarılı bir delik delme işlemi için temel tavsiyeler aşağıda verilmiştir;

- Tezgâh düzenlemesinin rijitliği takım tutmanın ve bağlamanın kalitesi kontrol edilir.
- Güç, ilerleme kuvveti ve tezgâh fener milinde oluşturacağı tork kontrol edilmeli.
- Kesme sıvısı basıncı ve mevcut akış hızları kontrol edilmeli.
- İşlem için doğru takımı seçilmeli, doğru uygulayın ve optimizasyon yapılmalı.
- İyi talaş tahliyesi için kesme hızı ve ilerleme hızı optimize edilmeli.
- Takımların düzenli olarak bakımı yapılmalı, varsa – matkap üzerindeki kesici uç bağlama vidası arada bir değil sıklıkla değiştirilmeli.

Ayar tavsiyeleri

Sabit bir matkap kullanırken işlem için bahsedilen toleransın sağlanabilmesi için matkabın merkez çizgisi ile iş parçasının merkez çizgisi arasındaki salgı 0,02 mm' yi aşmamalıdır (Şekil 3.16)

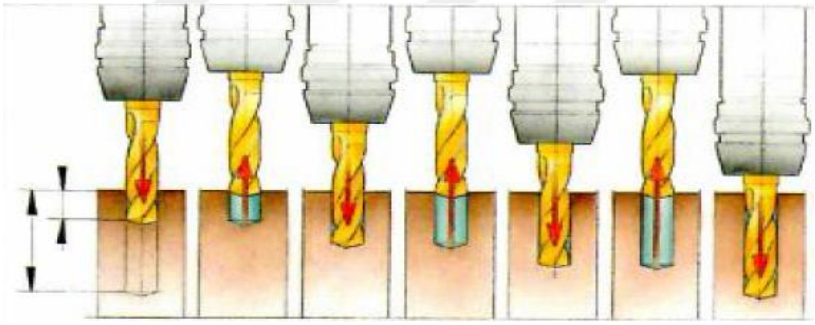


Şekil 3.16. Tutucuyla ve kesme sıvısı adaptörüyle delik delme [69]

Kesme sıvısı adaptörüne sahip bir tutucu kullanırken yatağın dönmesini önleyecek bir döner durdurma stopu kullanılmalıdır. Rulman sararsa, yatak dönecektir ve temin borusu ciddi bir kazaya yol açabilecek şekilde yatakla birlikte bükülebilir. Tutucu uzun bir zamandır kullanılmadıysa, tezgâh fener mili çalışmaya başlamadan tutucunun yatakta döndüğü kontrol edilmelidir.

Limitler

Düz olmayan yüzeylerde veya çapraz delikli iş parçalarında delik delme, ilerleme tavsiye edilen değerlerin 1/3 – 1/4' üne indirilirse mümkündür. Genellikle delik delme tek bir adımda yapılabilir, ancak harici kesme sıvısı teminiyle, derin (3xD'den daha uzun) delik delinecekse, bu işlem delk derinliğinin üçte biri sürekli delme, ardından gagalayarak delme çevrimiyle yapılabilir. Derin deliklerin gagalamayla delinmesi sadece sorun çözücü olarak uygulanmalıdır. Gagalayarak delme çevriminde, derinliğin üçte biri delindikten sonra, talaş tahliyesi ve derinliğin temizlenmesi için matkap yeterli miktarda geri alınır ve ardından delik delme çevrimiyle işlem tekrarlanır (Şekil 3.17).

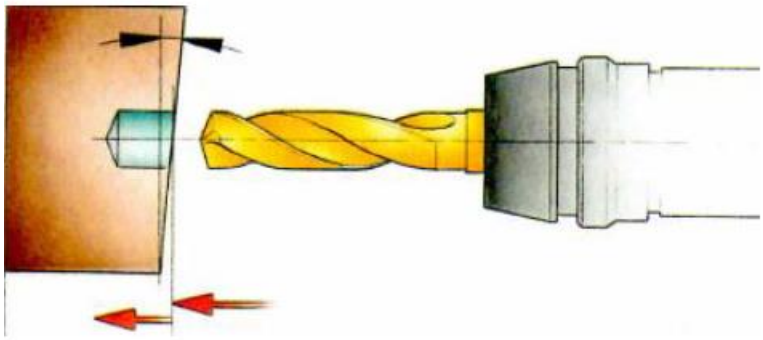


Şekil 3.17. Gagalayarak delme çevrimi [69]

Maksimum 10°'lik eğime kadar eğik yüzeylere sahip parça yüzeylerine doğrudan delik delinmesi kabul edilebilir bir uygulamadır. Ancak, girişte matkabın kaymasına engel olmak ve çıkışta silindirik yüzey üzerindeki aşınmaya ve matkabın kırılmasına engel olmak için, ilerlemenin düşürülmesi esastır.

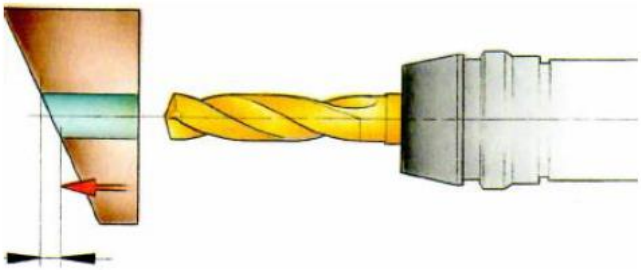
5º'den daha düşük eğim

Kesme işlemi zordur. Tam kesme çapına kadar ilerleme normal ilerleme hızının 1/3' üne düşürülmelidir (Şekil 3.18).



Şekil 3.18. 5°’ den daha düşük eğim [69]

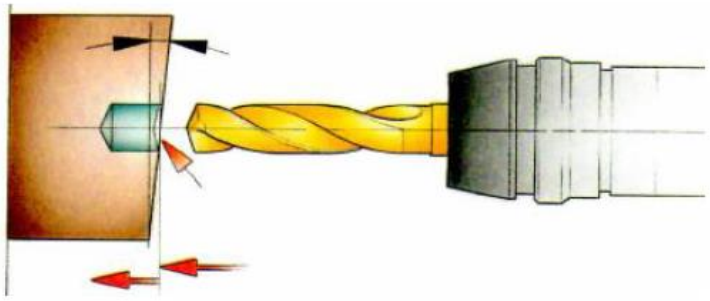
Matkap deliğin içinden çıkarken de ilerleme, normal ilerleme hızının 1/3’ üne düşürülmelidir (Şekil 3.19).



Şekil 3.19. Matkap deliğin içinden çıkarken ilerleme [69]

5~10°’ lik eğim

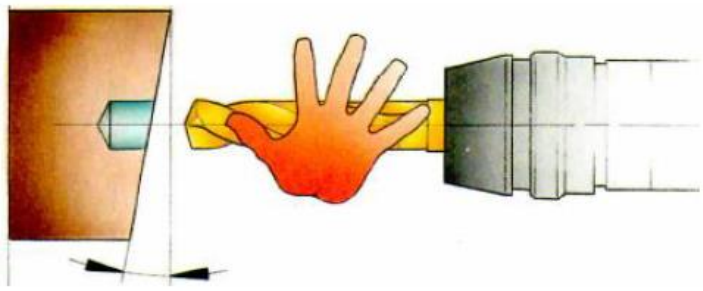
Aynı uç açısına sahip kısa bir matkapla merkezleme işlemi yaparak işleme başlamalıdır. Alternatif olarak küçük bir düzlük frezelenebilir (Şekil 3.20).



Şekil 3.20. 5~10°’ lik eğim [69]

10°’ den daha büyük eğim açısı

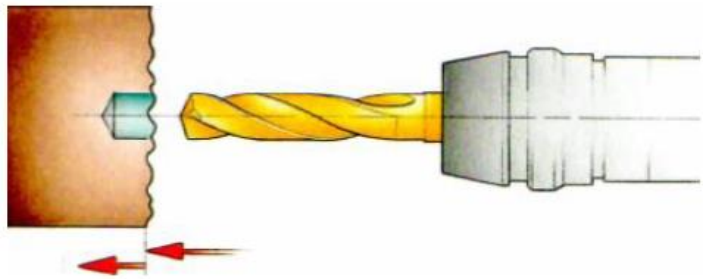
Giriş yüzeyi hazırlamadıkça delik delmek mümkün değildir (Şekil 3.21).



Şekil 3.21. 10°’den daha büyük eğim açısı [69]

Düzensiz yüzeyler

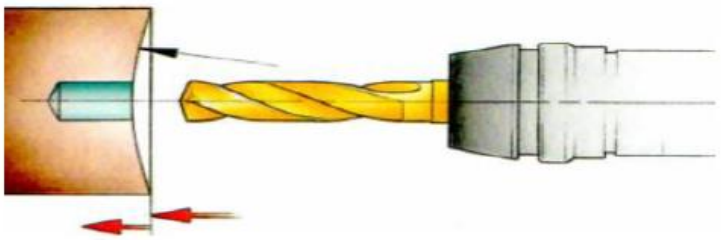
Tanecik kopmasına engel olmak için, girişte ilerleme normal ilerleme hızının 1/4’ üne kadar düşürülmelidir (Şekil 3.22).



Şekil 3.22. Düzensiz yüzeyler [69]

İç bükey yüzeyler

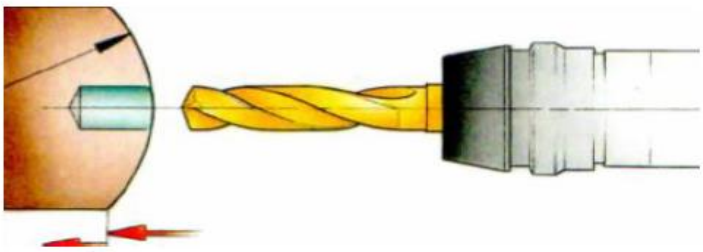
İş parçası yarıçapı, matkap çapının 15 katından daha büyükse bu yüzeylerde delik delmek mümkündür. Girişteki ilerleme hızı, normal ilerleme hızının 1/3’ üne düşürülmelidir (Şekil 3.23).



Şekil 3.23. İç bükey yüzeyler [69]

Dış bükey yüzeyler

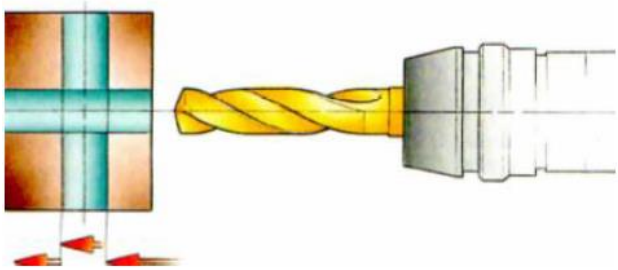
İş parçası yarıçapı, matkap çapının dört katından daha büyükse ve delik yarıçapa dik ise delik delmek mümkündür. Girişteki ilerleme, normal ilerleme hızının yarısına düşürülmelidir (Şekil 3.24).



Şekil 3.24. Dış bükey yüzeyler [69]

Çapraz delik delme

İlerleme çapraz geçilen deliğe girişte ve çıkışta normal ilerlemenin 1/4’ üne kadar düşürülmelidir (Şekil 3.25).



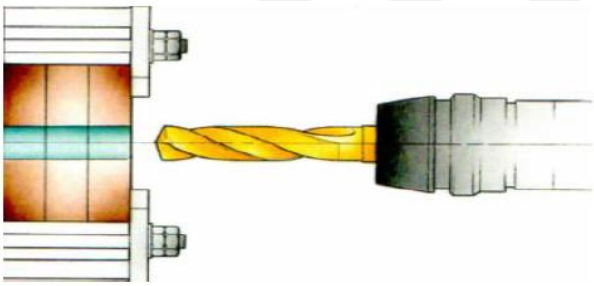
Şekil 3.25. Çapraz delik delme [69]

İstif delik delme

Birden fazla iş parçası levhasının hep beraber delinmesi tam ilerlemeyle yapılabilir. Ancak aşağıdaki önlemlerin alınması gereklidir.

Levhaların iyi bağlanması gereklidir, özellikle de levhalar genellikle mükemmel bir şekilde düz olmadığı hellerde bu hususta daha da dikkatli olunmalıdır. Yaygın uygulama levhaların arasına endüstriyel kağıt (yaklaşık 0,5-1 mm kalınlığında) konulmasıdır. Bu işlem düzensizlikleri dengeler ve titreşimleri azaltır.

Daha da önemlisi, bu kağıdın talaşları yerinde tutması ve aynı zamanda matkabı her levhanın çıkışında oluşan son disklerin yaratacağı hasarlara karşı korumasıdır. Eğer mümkünse, levhalar delik delme işlemi başlamadan önce, aynı zamanda eş merkezli sağlamlaştırılmalı ve bağlanmalıdır (Şekil 3.26).



Şekil 3.26. İstif delik delme [69]

Kesici uç aşınması

Matkabın kesme kenarlarında tanecik kopmasının pek çok sebebi vardır. Bu sebepler aşağıda verilmiştir;

- Matkap delik merkezinden kaçık.
- Aşırı kullanma boyu, ilerleme hızı veya matkap uzunluğu nedeniyle matkabın eksenden sapmış.
- Kesici ucun matkap yuvasına hatalı oturması veya yuvanın ve vidaların hasar görmesinden dolayı kesici uç rijitliği yetersiz.
- Hatalı takım tutma nedeniyle matkap rijitliği, fener mili veya taret durumu ve hizalandırılması zayıf.

- Tezgâh ve iş parçasının rijitliği yetersiz.
- Kesme sıvısı temini yetersiz.
- Hatalı kesici uç seçimiyle kalite, geometri merkezi ve çevresel kesme kenarları uygun olmayabilir.

Şeklinde sıralanabilir [69].

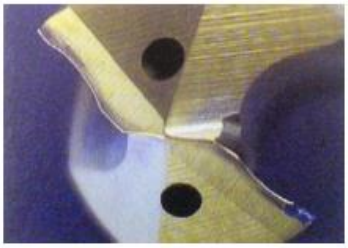
Matkaba 0,5-4,0 mm x (20º - 45º) köşe pahları ilave edilerek performans arttırılabilir. ISO H malzemelerinde, aşınma oranını düşürmek için ayrıca köşe radyüsü ilave edilebilir. Bu radyüs;

$r_\varepsilon = 0{,}2 – D_c / 10$ mm olmalıdır [69]. (3.9)

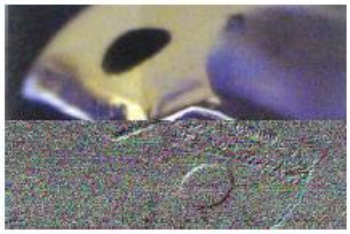
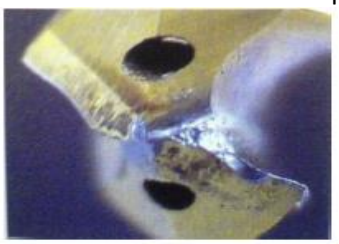
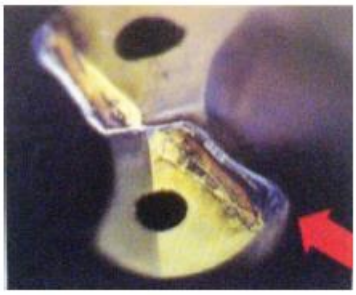
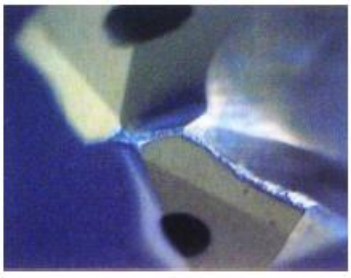
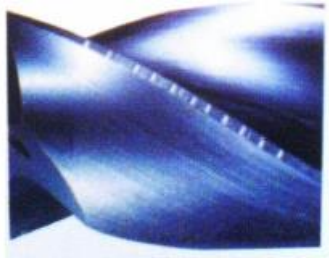
3.4.4. Delik delme işlemlerinde oluşan sorunlar ve çözüm önerileri

Delik delme işlemlerinde yaygın olarak karşılaşılan problemler, bunların nedenleri ve engellenmesi için alınabilecek tedbirler Çizelge 3.7'de özetlenmiştir.

Çizelge 3.7. Delme işlemlerindeki problemler, nedenleri ve çözüm önerileri [69]

Problem	Sebep	Çözüm
Talaş yığılması 	1. Çok düşük kesme hızı ve kenar sıcaklığı 2. Çok büyük negatif yüzey 3. Kaplama yok 4. Kesme sıvısında yağ oranı çok düşük	1. Kesme hızını arttıran veya harici kesme sıvısı kullanın. 2. Daha keskin kesme kenarı. 3. Kenar kaplaması. 4. Kesme sıvısındaki yağ miktarını arttırın.
Kesme kenarı köşesinde tanecik kopması 	1. Rijit olmayan bağlama 2. TGO çok büyük 3. Darbeli kesim 4. Yetersiz kesme sıvısı temini	1. Bağlantıyı kontrol edin. 2. Radyal salgıyı kontrol edin 3. İlerlemeyi düşürün. 4.Uygun kesme sıvısı temini olup olmadığını kontrol edin

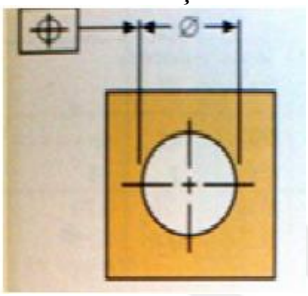
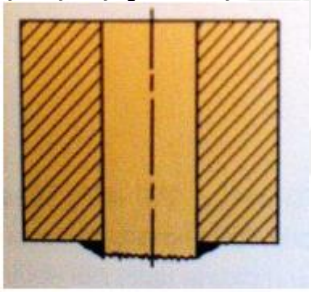
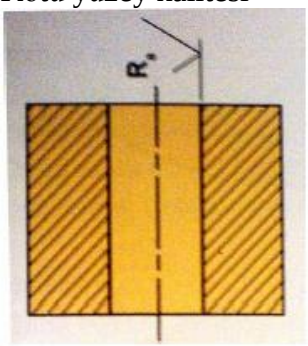
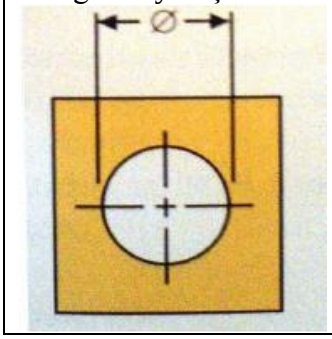
Çizelge 3.7. (devam) Delme işlemlerindeki problemler, nedenleri ve çözüm önerileri [69]

Kesme kenarında büyük aşınma 	1. Kesme hızı çok yüksek 2. İlerleme çok düşük 3. Kalite çok yumuşak 4. Yetersiz kesme sıvısı temini	1. Kesme hızını azaltın. 2. İlerlemeyi arttırın. 3. Daha sert bir kaliteyle değiştirin. 4. Uygun kesme sıvısı olup olmadığını kontrol edin.
Kesme kenarında tanecik kopması 	1. Rijit olmayan koşullar 2. Maksimum izin verilen aşınma aşılmış 3. Kalite çok sert	1. Kurulumu kontrol edin. 2. Matkabı daha kısa zaman da değiştirin. 3. Daha yumuşak bir kaliteye geçin.
Dairesel yüzeylerde aşınma 	1. TGO çok büyük 2. Kesme hızı çok yüksek 3. Kesme hızı çok yüksek 4. Aşındırıcı malzeme	1. Radyal salgıyı kontrol edin. 2. Katıksız yağ veya daha güçlü emülsiyon kullanın. 3. Kesme hızını düşürün. 4. Daha sert bir kaliteyle değiştirin.
Kesme kenarında aşınma 	1. Kesme hızı çok düşük 2. İlerleme çok yüksek 3. Kesme kenarı çok küçük	1. Kesme hızını arttırın. 2. İlerlemeyi düşürün. 3. Ölçüleri kontrol edin.
Matkabın kırılması 	1. Kesme hızı ve/veya ilerleme çok yüksek 2. Yetersiz kesme sıvısı temini 3. Uygun olmayan matkap / kalite	1. Kesme hızını ve/veya ilerlemeyi düşürün .2. Kesme sıvısı basıncını ve hacmini arttırın. 3. Daha sert bir kalite kullanın.
Termal çatlaklar (çentikler) 	1. Düzensiz kesme sıvısı temini	1 . Kesme sıvısı teminini kontrol edin 2. Kesme sıvısı tankını doldurun.

3.4.5. İş parçası hatalarının teşhisi ve düzeltilmesi

Çizelge 3.8'de delme işlemlerindeki hataların teşhisi ve düzeltilmesiyle ilgili sebep/çözüm ilişkileri verilmiştir.

Çizelge 3.8. Delme işlemlerinde hatalar ve düzeltilmesi [69]

Problem	Sebep	Çözüm
Merkezden kaçık olması 	1. Değişken matkap/iş parçası Koşulları 2. TGO çok büyük 3. Eğimli yüzeylere delik delmek 4. Simetrik olmayan (yeniden bilenmiş kenarlar) 5. İlerleme çok yüksek	1. İş parçası bağlamasını İyileştirin . 2. TGO'ı iyileştirin. 3. Delinecek yüzeyi önce frezeyle düzleyin. 4. Yeniden bileme geometrisini kontrol edin. 5. İlerleme hızını azaltın.
Çıkışta çapak oluşumu 	1. İlerleme çok yüksek 2. Matkap aşınmış 3. Kesme kenarındaki – (negatif) yüzey çok geniş 4. Dış çap köşesi çok keskin	1. İlerlemeyi azaltın. 2. Matkabı daha sık değiştirin. 3. Daha düşük – (negatif) yüzey genişliği. 4. Köşesi pahlı veya radyüslü matkap kullanın.
Kötü yüzey kalitesi 	1. Rijit olmayan koşullar 2. Çok büyük TGO 3. Yetersiz veya zayıf Kesme sıvısı temini (hacim veya basınç) 4. Talaş sıkışması 5. İlerleme çok yüksek	1. İş parçası/matkabın bağlanmasını iyileştirin. 2. TGO' ı iyileştirin. 3. Kesme sıvısı teminini kontrol edin. 4. Kesme değerlerini /kesme sıvı teminini ayarlayın. 5. İlerlemeyi düşürün.
Deliğin büyük çıkması 	1. Uygun olmayan kesme koşulları 2. Zayıf iş parçası bağlaması ve zayıf matkap tutuşu 3. Simetrik olmayan geometri 4. Çok büyük TGO	1. Hızı arttırın, ilerlemeyi azaltın. 2. Takım tutuşu ve iş parçası bağlamasını kontrol edin. 3. Yeniden bilemeyi kontrol edin. 4. TGO' ı iyileştirin.

3.5. Taguchi Metodu

Taguchi metodu, ekonomik ve teknolojik koşullara bağlı olarak değişen tüketici gereksinimlerini karşılamak ve topluluklar oluşturarak rekabeti hızlandıran dünya pazarlarında kalıcı ve büyük pay alabilmek için ürün ve süreçteki değişkenleri azaltarak belirlenen hedef değere ulaşma yolunda yapılan çalışmaları içerir. Taguchi metodu performansın, kalitenin ve maliyetin optimizasyonunu sağlayan metoddur [73].

Taguchi'nin kalite felsefesi yedi temele dayanır [73,74];

1. Üretilmiş ürünün kalitesi topluma verdiği kayıpla ölçülür.
2. Rekabetçi kalite ortamında iş hayatında tutunabilmek için devamlı kalite gelişimi ve düşük maliyet şarttır.
3. Devamlı kalite geliştirme programı ürün performans karakteristiklerinin hedef değerler etrafında azaltılması ile sağlanır.
4. Ürün performans değişiminin sebep olduğu kayıplar performans karakteristiklerinin hedef değerden sapmasının karesi ile orantılıdır.
5. Üretilmiş ürün kalitesi ve maliyeti ürünün mühendislik tasarımı ve imalat prosesi tarafından kontrol edilir. (Çevrim İçi ve Çevrim Dışı Kalite Kontrol)
6. Performans karakteristikleri üzerinde ürün parametrelerinin lineer olmayan etkisi ortadan kaldırılarak ürün performans değişimlerini azaltmak gereklidir.
7. Performans değişimini azaltan ürün veya proses parametreleri gruplarının kombinasyonlarını belirlemek için istatistiki deneyler yapılır [73,74].

Dr. Taguchi kalite sistemini çevrim dışı kalite kontrolü ve çevrim içi kalite kontrolü olarak ikiye ayırmayı tercih etmiştir. Çevrim dışı kalite kontrol ile ilgili olanlar aşağıdaki gibidir;

- Müşteri ihtiyaç ve beklentilerini doğru bir şekilde tanımlamak,
- Müşteri beklentilerini karşılayacak bir ürün tasarlama,
- Aynı ilkelere dayanan ve ekonomik olan bir imalat ile ürün tasarlama,
- İmalat için uygun özellikler, standartlar, prosedürler ve donanımların geliştirilmesi.

Çevrim dışı kalite kontrol metotlarının başlıca gereksinimi belirli işletme şartları altında oluşan riskleri minimize edecek nominal parametre tasarım değerlerinin belirlenmesidir.

Sistemin çıktısı ya da özelliklerindeki değişkenliğin derecesini kontrol etmesi istenir [75,76].

Çevrim dışı kalite kontrol' ün iki bölümü vardır; ürün tasarımı ve proses tasarımı. Ürün tasarımı süresince, yeni bir ürün geliştirilir ya da var olan ürünler üzerinde değişiklikler yapılır. Burada hedef müşteri ihtiyaçlarına karşılık verebilecek ve imalatı yapabilecek bir ürün tasarlamaktır.

Çevrim içi kalite kontrol, proses tasarımı süresince geliştirilen prosedürleri kullanarak ürün tasarımı kullanılarak kurulan özelliklerindeki ürünlerin imalatı ile ilişkilidir [75,77].

Taguchi metodunda çevrim dışı kalite kontrol kapsamında hem ürün tasarımı hem de proses tasarımı için kalite aşamaları vardır.

Bunlar;

- Sistem Tasarımı
- Parametre Tasarımı
- Tolerans Tasarımıdır

Sistem tasarımı

Sistem tasarımı metodun ilk aşamasıdır. Bu aşamada tasarımcı tarafından yapıların değişimi incelenir, bir ürünün istenen fonksiyonları elde edebilmesi için teknolojiler tasarlanır ve ürün için en uygun olan bir tanesi seçilir.

Üretilmesi düşünülen ürünle ilgili; pazarın tanımlanması, buluşların değerlendirilmesi, bilimsel ve mühendislik bilgilerinin toplanması, malzeme ve ekipmanla ilgili gerekli tercihlerin yapılması bu aşamanın konusunu oluşturur. Ayrıca burada malzeme alımında, ürün ağacındaki parçaların özelliklerinin iyileştirilmesinde bir takım kararlar verilir.

Kalitenin tasarımı ve geliştirilmesi çalışmalarının yatırıma dönük aşaması da denilebilir. Burada temel amaç, üretim aşamasında, spesifik limitler ve toleranslar dahilinde en düşük maliyetle, mamul üretimini gerçekleştirmektir. Bunun için pazar araştırması, teknolojik gelişmeler ve bilimsel buluşlardan faydalanılabilir [70,78].

Parametre tasarımı

Genichi Taguchi sağlam parametre dizaynının öncülerinden biri olarak kabul edilmektedir. Parametre dizaynı, üretim ve proses dizaynı sırasında, varyasyon ve kontrol edilemeyen faktörlere karşı olan duyarlılığın azaltılması için kullanılan bir mühendislik metodudur. Taguchi dizaynları uygun bir şekilde kullanıldığı takdirde, çeşitli çalışma koşullarında çok güçlü ve etkili bir metottur. Sağlam parametre tasarımında temel amaç, proses hedef değerini korurken varyasyonu minimize edecek faktör seviyelerini belirlemektir. Varyasyona etki eden faktörleri belirledikten sonra, kontrol edilebilir faktörler üzerinde ayarlamalar yapılabilir. Kontrol edilemeyen faktörler ise değişiklikler için duyarsız hale getirilmeye çalışılır. Proses tasarımında temel amaç, sürekli aynı çıktıyı üretmektir. Üretim dizaynında ise temel amaç, çevre faktörlerine rağmen sürekli bir performans ölçüsü yakalamaktır [79].

Tolerans tasarımı

Tolerans tasarımı, parametre tasarımının varyasyonu azaltmada yeterli olmadığı durumlarda kullanılır. Parametre tasarımında düşük maliyetli, geniş ölçüde değişen bileşenler veya faktörler kullanılabilir. Varyasyonu istenilen değere düşürmek için bu bileşenlerin kalitesinin geliştirilmesi halen gerekiyorsa, tolerans tasarımı uygulanır. Tolerans tasarımında üç tür kalite değişkeni vardır.

Bunlar;

- En büyük en iyi,
- En küçük en iyi ve
- Hedef değer en iyi' dir.

En büyük en iyi

Bu tip tolerans çalışmalarında kalite değişkeninin bir üst sınır yoktur ve dolayısıyla hedef değer de yoktur. Ölçü büyüdükçe verimlilik artacaktır. Buna örnek olarak malzemelerin dayanıklılığı verilebilir.

En küçük en iyi

Bu karakteristik tipi negatif yönden bir sapma göstermez. Daima alt sınırın olması istenir. Tolerans azaldıkça durumda iyileşme artar. Bu tipe örnek olarak bir üretim sürecindeki hurda miktarı verilebilir.

Hedef değer en iyi

Bu durumda sapmalar iki yönlü olarak değişebilir. Dolayısıyla iki taraflı toleransa sahiptir. Buna en iyi örnek olarak boyut kriterleri verilebilir [78].

3.5.1. Taguchi'nin sinyal / gürültü oranları

Deney sonuçlarının yorumlanması noktasında Taguchi'nin önerilerinden bir diğeri ise Sinyal/Gürültü oranlarıdır. Performans kriteri olarak kullanılmak üzere önerilen Sinyal/Gürültü oranları (S/G) kontrol edilemeyen gürültü faktörlerinin varlığı halinde varyasyonun bir ölçüsüdür. Taguchi, parametre tasarımının mühendislik uygulamalarında kullanılmak üzere altmışın üzerinde sinyal gürültü oranı tanımlamıştır [80,81]. Bunların en yaygın bilinenleri; En büyük-en iyi, en küçüken iyi ve hedef değer-en iyi şeklindeki sinyal/gürültü oranlarıdır. Her üç durumda da maksimize edilmesi amaçlanan bu oranlar şu şekilde tanımlanmıştır;

En küçük-En iyi;

$$S/G = -10.\log\left(\sum \frac{y_i^2}{n}\right) \tag{3.10}$$

En Büyük-En iyi;

$$S/G = -10.\log\left(\sum \frac{1/y_i^2}{n}\right) \tag{3.11}$$

Hedef değer- En iyi;

$$S/G = 10.\log\left(\sum \frac{\left(\frac{y_i}{r}\right)^2}{S^2}\right) \quad (3.12)$$

Ancak bazı istatistikçiler S/G oranlarının optimal sonuçlar vermeyeceğini savunmuş ve standart sapma analizini önermişlerdir. Yani her bir deneme için elde edilen standart sapma (S) analiz edilip varyasyonu etkileyen faktör veya etkileşimler de ortaya çıkarılabilir. Ancak varyasyona ilişkin yorumların sağlıklı yapılabilmesi için denemelerin en az 5 tekrarlı yapılması tavsiye edilmektedir [80,82].

3.5.2. Uygun ortogonal dizinin seçilmesi

Dizilerin seçimi seviye sayısı ve toplam serbestlik derecesi yardımıyla yapılır. Seviye sayısı dizilerin sınıflandırılmasında belirleyici unsurdur. Eğer seviyelerde karışıklık varsa düzeltmelere gidilerek faktörlerde seviye homojenliği sağlanır. Bundan sonra toplam serbestlik derecesine bakılır. Bir dizinin toplam serbestlik derecesi her bir faktörün ayrı ayrı serbestlik derecelerinin toplamına eşittir. Dizide sütunlara atanan faktörler tek başına faktör veya iki faktörün etkileşimi olabilmektedir.

Serbestlik dereceleri sırasıyla şöyle hesaplanır;

- V_A : A faktörünün serbestlik derecesi
- V_{A*B} : A ile B etkileşiminin serbestlik derecesi
- k_A: A faktörü seviye sayısı

$$V_A = (k_A - 1),\ V_{A*B} = (V_A)(V_B) \quad (3.13)$$

Faktör grubunun serbestlik derecesi ise tüm faktör ve etkileşimlerin serbestlik dereceleri toplamına eşittir.

Bu aynı zamanda toplam deney sayısından bir çıkarmakla da bulunur;

- V_T: Dizinin toplam serbestlik derecesi
- N: Dizideki toplam deney sayısı

$V_T=N-l$ (3.14)

Serbestlik derecesi belli olmuş bir faktörler grubu için ortogonal dizi seçimi rahatlıkla yapılabilir. Serbestlik derecesi herhangi birinin deneme sayısına uygun düşüyorsa o tercih edilir. Toplam serbestlik derecesi en fazla seçilecek olan dizinin deneme sayısından bir eksik olabilir. Yoksa eşit olursa o zaman bir üst dizi seçmek zorunda kalınacaktır. O halde mevcut serbestlik derecesine l eklendiğinde eldeki dizilerden hangisine eşit olursa o seçilir. Şayet hiç birine eşit olmuyor da herhangi ikisinin arasında kalıyorsa bir alt değil bir üstteki seçilir [78].

3.5.3. Varyans analizi (ANOVA)

ANOVA, deneysel verileri yorumlamada ve karar vermede kullanılan bir istatistik yöntemdir. Sir Ronald Fisher tarafından 1930'da tarımsal deneylerin sonuçlarını değerlendirmek üzere geliştirilmiştir. ANOVA, test edilen grupların ortalama performansındaki değişimi tespit etmek için kullanılan karar aracıdır. Deneylerin analizi aşamasında sonuç değişken veya kalite karakteristiği olarak isimlendirilen bağımlı değişkende görülen varyansın kaynağı incelenir. Bu inceleme çok basit olarak faktörlerin veya etkileşimlerin etkisi hesaplanıp daha sonra bu değerlerin grafiklerle gösterilmesi ile gerçekleştirilebileceği gibi daha karmaşık ama daha anlamlı olan Varyansların Analizi (ANOVA) adı verilen istatistiksel yaklaşımla da gerçekleştirilebilir. Bu noktada tüm deney sonuçları sadece grafik olarak veya sadece faktörlerin tek tek etkisi olarak elde edilir. Buna göre değişik faktörlerin anlamının belirlenmesi varyans analizi ile sağlanır.

ANOVA, temelde deneyde kullanılan faktörlerin veya onların etkileşimlerinin deneye katkısının belirlenmesi için sonuç değişkenlerin karelerinin değişik gruplar içinde toplamını ele alır ve toplam varyanslarını belirler. Daha sonra da değişimlerin sisteme katkı yüzdesini hesaplayıp en uygun faktör/parametre tasarımının seçimini mümkün kılar [83,84].

3.5.4. Doğrulama deneylerinin yapılması

Taguchi metoduna göre, optimal sonuçları verecek parametrelerin tahmininden sonra, optimizasyonda son aşama olarak doğrulama deneyleri yapılmakta ve yapılan

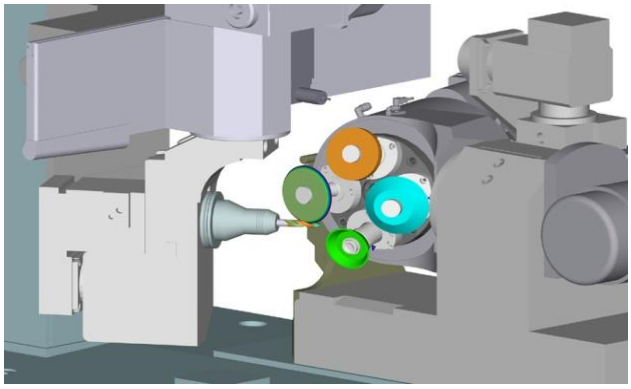
optimizasyonun doğruluğu test edilmektedir. Ancak, tahmin edilen seviyeler optimizasyon öncesi yapılan deneysel çalışmaların arasından biri olduğu taktirde doğrulama deneylerine gereksinim olmaksızın, optimizasyonun performansı test edilebilmektedir [85].

4. ÖZGÜN MATKAP GEOMETRİSİ TASARIMI VE İMALATI

Matkap tasarımı ve kalitesi endüstriyel talaşlı işleme operasyonlarında teknolojik ve ekonomik olarak önemlidir. Matkap yüzey kalitesini etkilediği gibi verimlilik ve üretim maliyetinin artmasını da beraberinde getirir.

Bir helisel matkap geometrisi genel olarak; talaş tahliyesi, burulma direnci, mukavemet, tork ve soğutma sıvısı akışı gibi parametrelere göre optimize edilir. Bu parametrelerin tamamı matkap kanal formu ile doğrudan alakalıdır ve dünyanın önde gelen delme takımları üreten bütün firmaları Ar-Ge çalışmalarını geometri tanımlama ve kanal formunun üretilebilirliği (taşlanabilirliği) üzerine odaklamışlardır. Kanal formundaki ve kesici kenar konturundaki ufak geometrik değişiklikler matkap performansını doğrudan etkilemektedir. Delme takımı üreten firmaların tamamının kendilerine has geliştirdikleri farklı bir kanal formu söz konusudur. Geliştirilen bu kanal formlarından yaygın kullanıma sahip iki tanesi incelenerek AISI 4140 malzemenin delinmesinde daha yüksek performans sağlayan özgün bir kanal geometrisine sahip matkap üretimi amaçlanmıştır.

Bu amaçla, Karcan Kesici Takım Sanayi ve Ticaret Limited Şirketi bünyesinde var olan dönel takımların CAD/CAM faaliyetleri için özelleşmiş olan NUMROTO yazılımı ile belirlenen hedefler ve tanımlanan parametreler doğrultusunda hedef özgün geometrinin tasarım ve üretim modelleri (CAD/CAM tasarımı) elde edilmiştir. Bu programda direk olarak istenen kanal formuna göre taşlama operasyonun hem simülasyonu yapılabilmekte hem de 5 eksen olarak taşlama imkânı mümkün olmaktadır. Şekil 4.1'de 5 eksen taşlama işlemi temsili olarak gösterilmektedir.



Şekil 4.1. 5 Eksen taşlama işlemi

Hedef yekpare karbür matkaplar olduğundan istenen delik kalitesine bağlı olarak özel salgı toleranslarında Ceratizit firmasına ait CTS20D kalitesinde %10 Co içeren sementit karbür çubuklar temin edilmiştir. Karbür çubuk hammadde ilk olarak hassas boy kesimi işlemine tabi tutulmuştur. Kesim işleminden sonra Mitutoyo round-test cihazında salgı kontrolleri gerçekleştirilmiştir. Mitutoyo round-test cihazı Resim 4.1'de görülmektedir.



Resim 4.1. Mitutoyo round-test cihazı

Salgı kontrolleri tamamlanan karbür çubuklar, uygun yüzey kalitesi ve koniklik elde edilmek üzere Rollomatic NP5 özel hassas silindirik taşlama tezgâhında taşlanmıştır. Resim 4.2'de Rollomatic NP5 özel hassas silindirik taşlama tezgâhı gösterilmiştir.



Resim 4.2. Rollomatic NP5 özel hassas silindirik taşlama tezgâhı

Taşlama işlemi sonrası gerekli ölçüler, yüzey kaliteleri ve salgı değerleri Walter Helicheck, Mitutoyo Surface Test SJ-400 ve Mitutoyo round-test cihazlarında kontrol edilmiştir. Resim 4.3'de Walter Helicheck ve Mitutoyo Surface Test SJ-400 cihazları gösterilmiştir.



a) b)

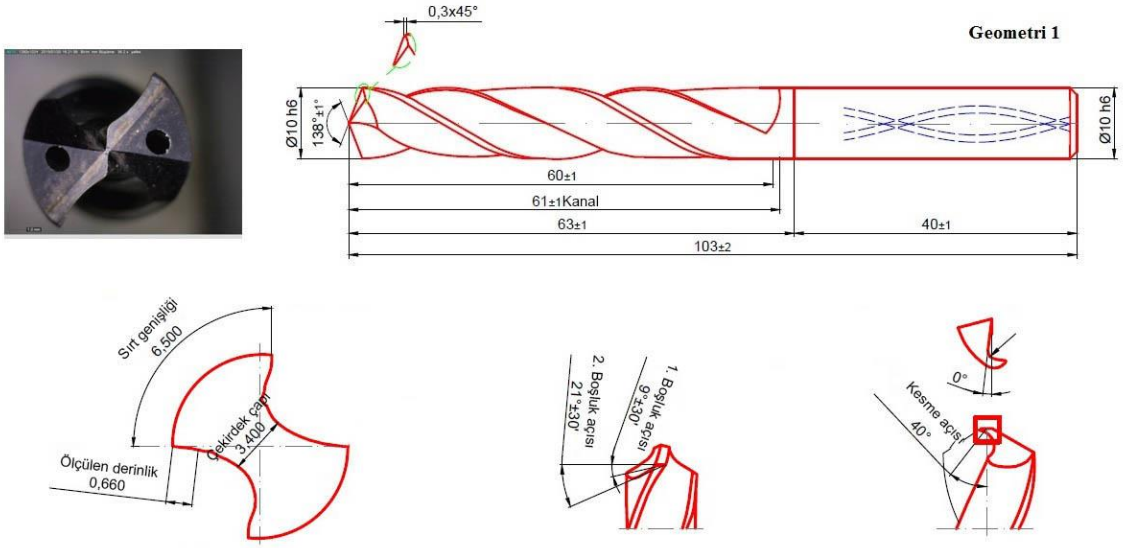
Resim 4.3. a) Walter Helicheck, b) Mitutoyo Surface Test SJ-400

Kontrol aşamasından başarı ile geçen takımların CAM işlemleri firmada mevcut özel alt dayamalı CNC taşlama tezgâhlarında yapılmıştır. Geometrik form üretimi tamamlanan helisel matkapların gerekli ölçümleri firma bünyesindeki Zoller Genius Smart, Quickcheck 75X Görüntüleme ölçüm sistemleri ile yapılmıştır. Zoller Genius Smart Resim 4.4'de gösterilmiştir

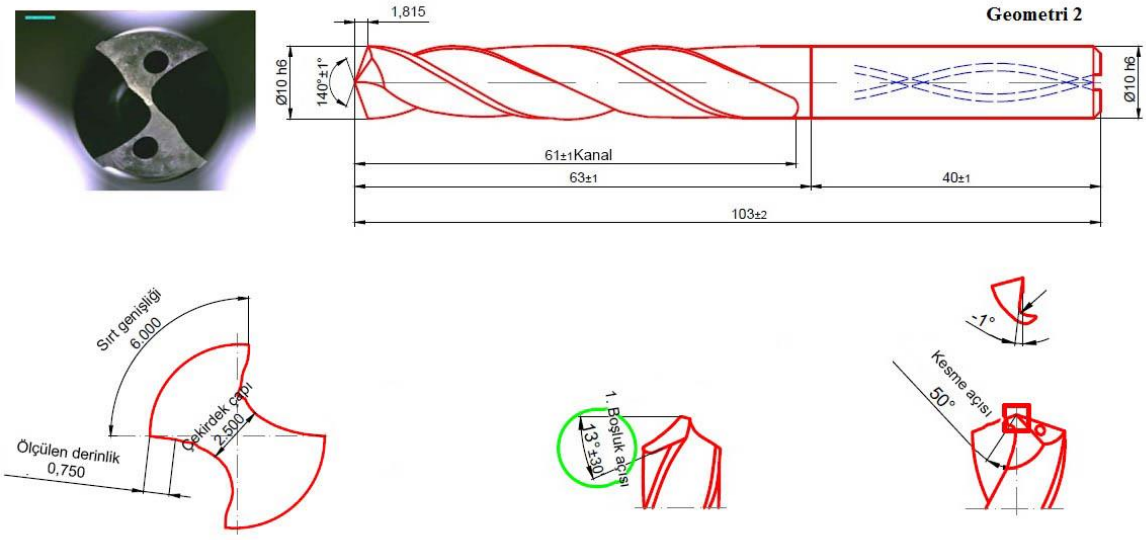


Resim 4.4. Zoller Genius Smart

Bu aşamanın başarı ile gerçekleştirilmesinden sonra kesici kenar (köşe) işlemleri yapılarak Oerlikon Balzers firmasında kaplama işlemi yaptırılmıştır. Bu firmanın Balinit Fatura Top adlı, mikro sertliği 3300 HV, kuru sürtünme katsayısı 0,25 sıcak sertliği 900°C olan ve yüksek oksidasyon direncine sahip TiAlN kaplama uygulaması kullanılmıştır. Kaplama işlemi neticesinde prototip ürünlerin üretimi tamamlanmıştır. Üretilen kesici takımlara ait geometrik özellikler Şekil 4.2'de verilmiştir.

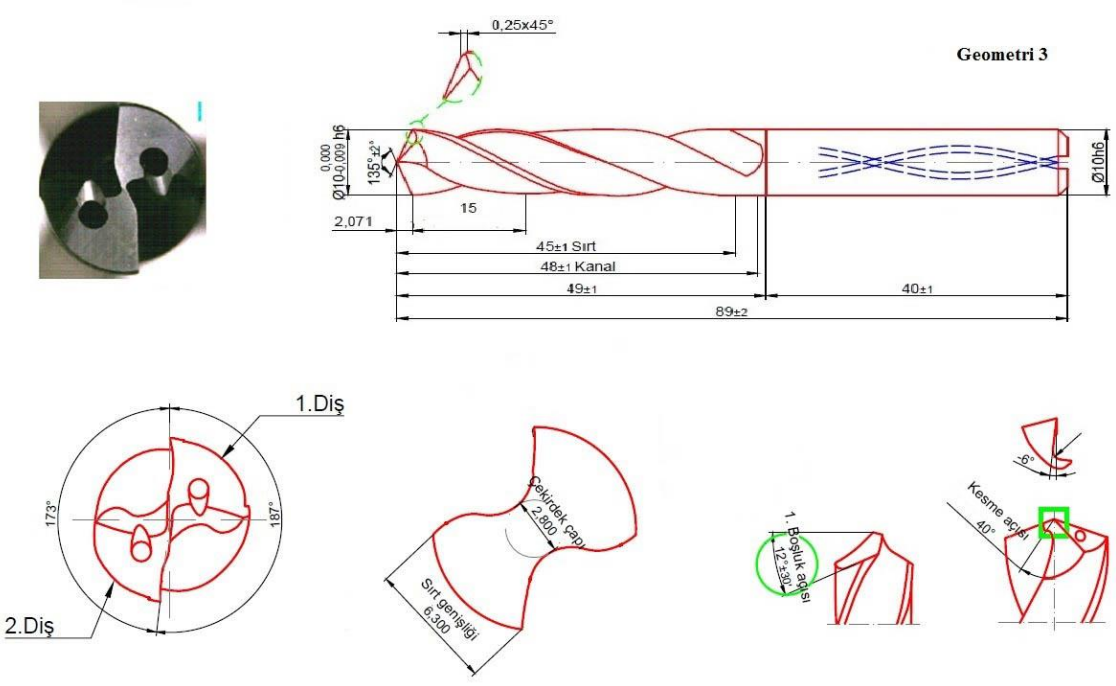


a)

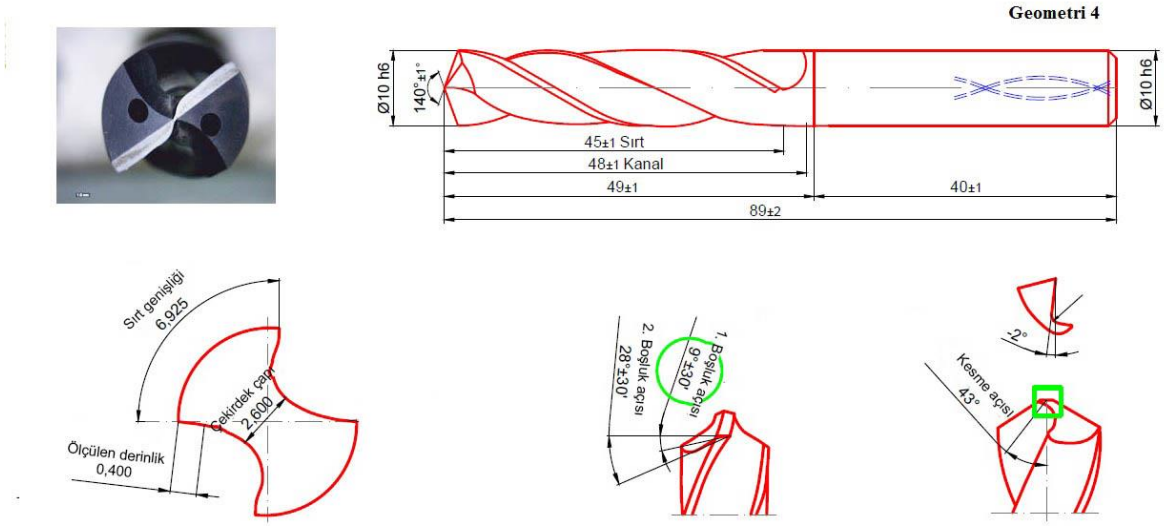


b)

Şekil 4.2. Deneylerde kullanılan yekpare karbür matkaplar; a) Geometri 1, b) Geometri 2, c) Geometri 3 (Özgün Geometri 1), d) Geometri 4 (Özgün Geometri 2)



c)



d)

Şekil 4.2. (devam) Deneylerde kullanılan yekpare karbür matkaplar; a) Geometri 1, b) Geometri 2, c) Geometri 3 (Özgün Geometri 1), d) Geometri 4 (Özgün Geometri 2)

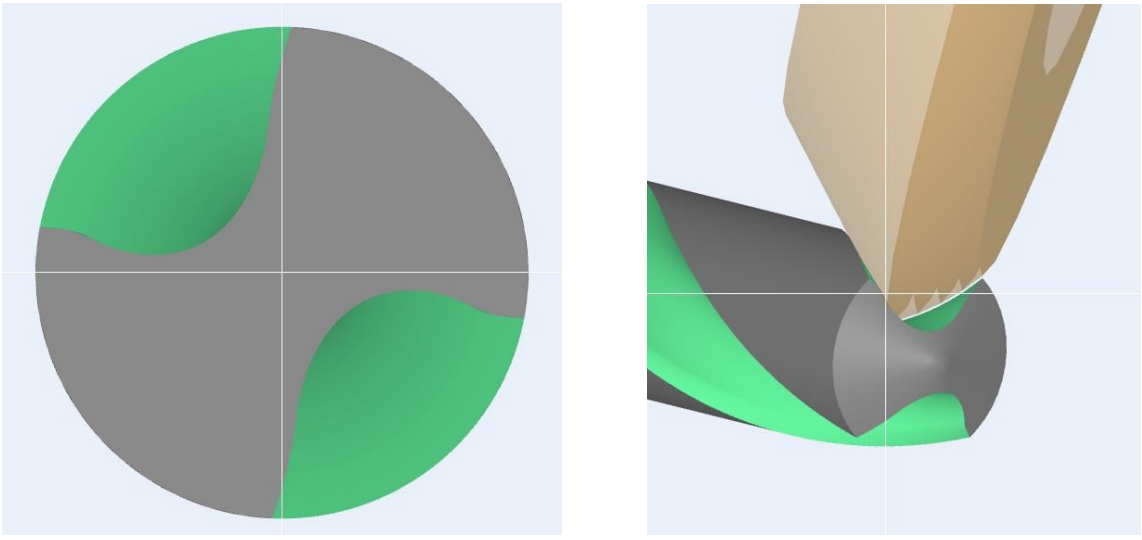
Geometrik özellikleri verilen matkaplardan Geometri 1 (a) ve Geometri 2 (b) piyasada kullanım alanı geniş ve tedarik edilebilir iki matkap geometrisini, Geometri 3 (c) ve Geometri 4 (d) ise geliştirilen özgün matkap geometrilerini ifade etmektedir. Geometrilere ait açısal farklılıklar her bir matkap kanal formunu oluşturan kanal yan yüzeylerinin ve

kesici kenar konturlarının tasarımlarındaki farklılıklardan dolayı değişkenlik göstermektedir. Farklı takım üreticilerinin modellerindeki farklarda bu sınırlamalara bağlı olarak ortaya çıkmaktadır. Literatür araştırmaları ve firma tecrübelerine göre AISI 4140 malzemenin delinmesinde kullanılan matkaplara ait uç açıları kanal formlarına göre 135° ila 142° arasında değişkenlik gösterebilmektedir.

Uç açısında değişim, kesici ağız geometrilerindeki değişim, öz çekirdek inceltme ve bileme işlemlerindeki yöntem değişiklikleri aşağıdaki özellikleri elde etmek için yapılır. Bunlar [1];

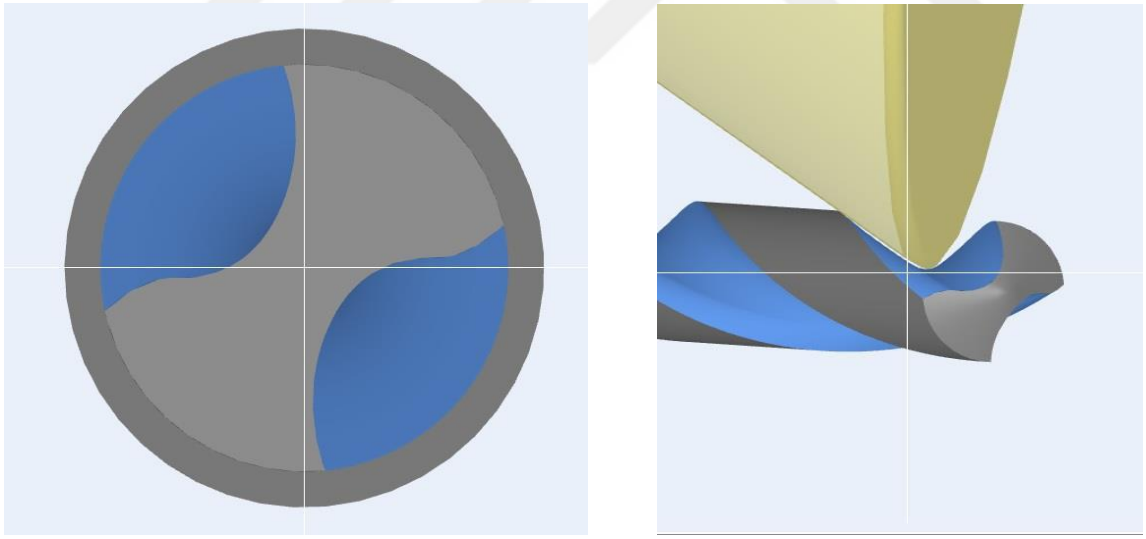
- Talaş oluşumunu kontrol altına almak
- Talaşın boyut ve şeklinin kontrolü
- Talaş kanalı boyunca talaşın akış kontrolü
- Kesici ağzın boyunu arttırmak
- Kesici ağızdaki aşınmada azalma
- Delme için gerekli eksenel kuvvetin azalması
- Delik boyutu ve kalitesinin kontrolü
- Oluşan ısının azaltılması
- Kesme hızı ve ilerleme değerlerinde yeterli değişiklikler yaparak verimli delme işleminin yapılmasını sağlamaktır .

Özgün geometrilere ait kanal ve taşlama formları Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'de gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Geometri 3'e ait kanal formu ve taşlama formu

Delik delme operasyonlarında talaşın iş parçası içerisinden etkin bir şekilde tahliyesi son derece önemlidir. Aksi taktirde talaş tahliyesindeki yetersizlikler yüksek ısı oluşumuna ve sürtünmeye neden olarak radyal kuvvetlerde artışa, delik yüzey kalitesinde kötüleşmeye neden olabilmekte ve hatta bu olumsuzluklar kontrol edilemezse matkabın kırılmasına sebebiyet verebilmektedir. Matkapta olması gereken bu gibi yeterlilikler göz önünde bulundurularak tasarlanan ilk özgün kanal ve matkap formu Geometri 3'dür. Bu geometriyi diğerlerinden ayıran en büyük fark matkaba ait 2. dişin merkez eksenden 7° kaydırılmış olmasıdır. Endüstride bu gibi takımlar şaşırtmalı takım olarak da nitelendirilmektedir. Buradaki amaç titreşimleri absorbe etmektir. Her ne kadar titreşimlerden kaynaklanabilecek olumsuzluklar giderilmeye çalışılsa da Geometri 3'ün üzerinde yapılan değişikliler olumlu sonuçlar vermemiştir. Kanal formunun diğer geometrilere oranla daha dar oluşu talaş tahliyesini zorlaştırmış, kuvvetlerde artışa neden olarak yüzey kalitesini olumsuz etkilemiştir. Geometri 3'ün performans testleri esnasında tespit edilen bu olumsuzluklar neticesinde matkap kanal formu ve açıları yeniden revize edilerek Geometri 4 elde edilmiştir.



Şekil 4.4. Geometri 4'e ait kanal formu ve taşlama formu

Özgün iki matkaba ait geometrik özellikler ve kanal formları incelendiğinde Geometri 4'e ait kanal formunun Geometri 3'e oranla daha geniş ve "S" şeklinde parabolik olduğu görülmektedir. Bu tür tasarımın ilk örneği 1958 yılında J.W.Haggerty tarafından bulunmuştur. Bu tasarım klasik matkaplara veya dar kanal hacmine sahip matkaplara göre daha az eksenel kuvvet ve daha iyi merkezleme performansı oluşturmaktadır. Geometri 3'ün sahip olduğu tek kesici ağız serbest açısı Geometri 4'de iki kademeye çıkarılarak

matkabın malzeme üzerindeki hareketi esnasında sürtünme minimize edilmiştir. Serbest açı matkap çapına, kesici ağız boyuna, kanal tipine ve iş parçası malzemesine bağlıdır. Genel olarak sert malzemeler için büyük açı değeri, yumuşak malzemeler için ise düşük serbest açı değeri kullanılır. Kesici ucun malzemeye batma işleminden sonra talaş oluşumu başlamakta, talaşın şekillenmesi için yönlendirilmesi gerekmektedir. Özellikle öz inceltilmesi ilerleme basıncının azalmasını, kesme şartlarının iyileşmesini sağlar. Bu nedenle uç orta kenar kalınlığı ve matkap öz kalınlığı azaltılmış (inceltilmiş), kanal yan yüzeyi ile kesici kenar arasında var olan ve kesme açısı olarak nitelendirilen açı değeri 40°'den 43°'ye çıkarılarak talaşın biraz daha erken şekillenip kanalı terk etmesi sağlanmıştır. Bu sayede talaşın tahliyesi kolaylaştırılmış, yüzey kalitesinin iyileşmesi sağlanmış ve eksenel yükler azaltılmıştır. Öz kalınlığında yapılan bu inceltme işlemi matkabın özelliğine uyacak şekilde olmalıdır. Eğer öz kalınlığı çok ince olursa matkap delme esnasında oluşan kuvvete karşı rijitliğini koruyamaz. Standart matkap için helis açısı 25-30° arasında değişir. Helis açısının önemi iş parçası malzemesine göre değişmektedir. Literatür incelendiğinde helis açısındaki artışın eksenel kuvvet ve momenti azalttığı, helisel matkap geometrisinin yük ve etkilere karşı dayanma gücünün aynı çapta helisel olmayan bir matkaba oranla %85 daha yüksek olduğu gibi bir takım önemli sonuçlar elde edildiği görülmektedir [86]. Buna rağmen helis açısının gereğinden fazla arttırılması öz kalınlığında olduğu gibi eksenel rijitliğin bozulmasına neden olur. Bu yüzden tüm geometriler için helis açısı 30° olarak seçilmiştir.

Kuvvet artışlarını minimize etme açısından bir diğer önemli unsur radyal ağızdır. Radyal ağız, kesici ağızların öz üzerinde birleşerek oluşturduğu doğru şeklindeki kısımdır. Radyal ağzın delmeye direkt olarak etkisi vardır diyebiliriz. Radyal ağız kanal formuna göre şekillenmekte ve kesme işlemini kolaylaştırarak talaş tahliyesine katkı sunmaktadır.

Kesici takım performansını etkileyen noktalarından biride kaplamadır. Doğru takım doğru kaplama ile maksimum sertliğe, aşınma, kimyasal ve ısıl dirence sahip olarak kullanım ömründe uzama, bunun sonucunda da kaliteli üretimin yanında maliyet iyileştirmesi elde etmiş oluruz. Bu nedenle üretilen özgün geometrilere yüksek oksidasyon direncine sahip TiAlN kaplama uygulanmıştır. TiAlN kaplamanın yüksek sertlik düşük sürtünme katsayısına sahip olması kesme esnasında talaş oluşumunu kolaylaştırması sürtünme katsayısını düşürmesi sonucu ilerleme kuvvetlerinin düşüşüne imkân sağladığı söylenebilir. Uygun kanal formu ile birlikte uygulanan kaplama işlemi talaş tahliyesine

katkı sağlayarak radyal kuvvetlerde düşüşe neden olmaktadır. Bu yüzden de aynı kaplama uygulaması yapılmasına rağmen kaplamanın Geometri 4'e diğer matkap formlarına oranla daha fazla katkı sağladığı deney sonuçları incelendiğinde görülmektedir.

5. MATERYAL VE METOT

5.1. İş Parçası Malzemesi

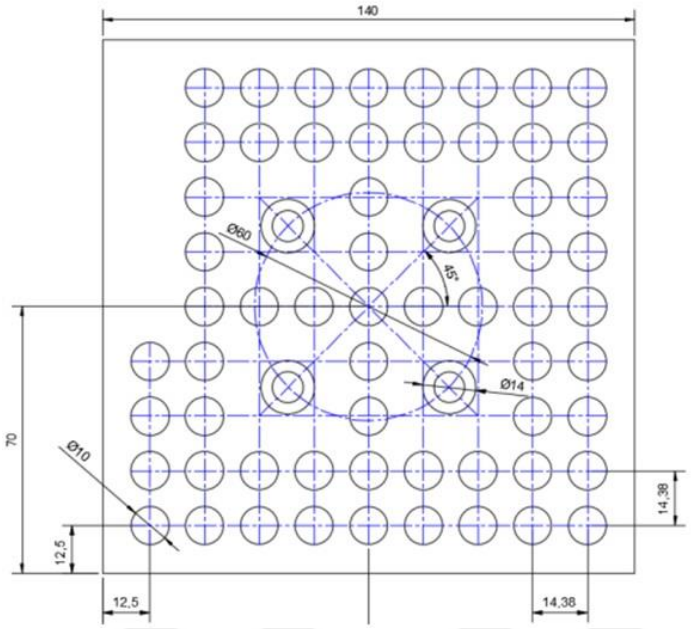
AISI 4140 çeliği endüstride, makine ve takım imalatında, oto akslarında, aks mafsallarında ve basınçlı kaplarda en fazla kullanılan imalat çeliğidir [21].

En önemli özelliği, içerdiği Cr ve Mo alaşım elementleri nedeniyle, su verme sonrasında sert martenzitik bir yapı oluşturabilmesi, mukavemet, süneklik ve tokluk gibi mekanik özelliklerin bir arada sağlanmasına imkân vermesidir. Tüm bu nedenlerle AISI 4140 çeliğinin her zaman yaygın bir kullanım alanı vardır. Başlıca kullanım alanları arasında, otomobil ve uçak yapımı, krank mili, aks mili ve kovanı, yivli mil ve benzeri sünekliği yüksek parçalar, ayrıca dişli çark ve bandaj vb. parçalar gelmektedir [21]. AISI 4140 çeliği, imalat endüstrisinde çok sık kullanılan malzeme olduğu için seçilen kesici takımların performanslarının değerlendirilmesinde tercih sebebi olmuştur. Bu malzemenin kimyasal kompozisyonu Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Deneylerde kullanılan AISI 4140 malzemesinin kimyasal kompozisyonu

Element	C	Mn	Si	Cr	S	P	Mo	Fe
% Ağırlık	0,41	0,83	0,21	0,9	0,027	0,027	0,18	Kalan

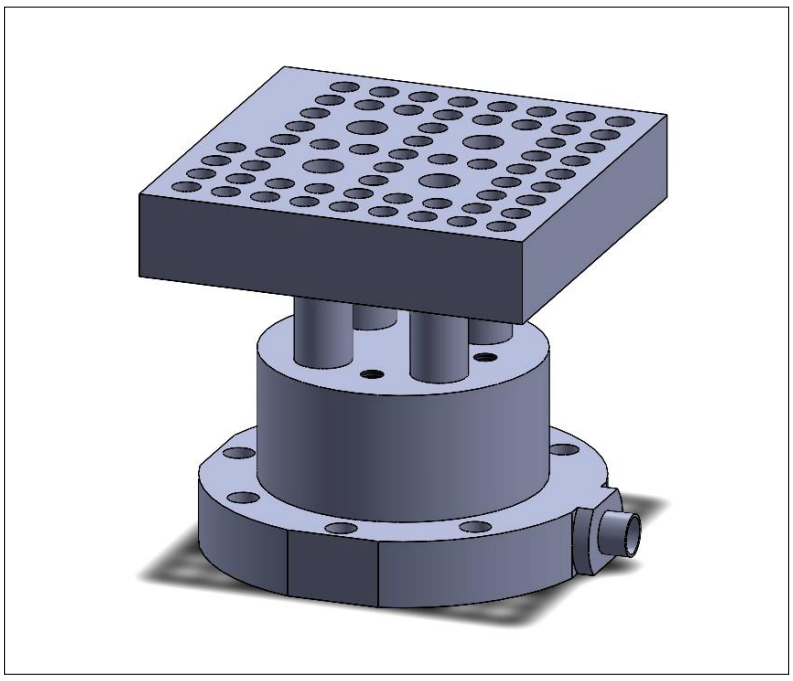
Bu malzemeden elde edilen deney numunelerinin şekli ve boyutları, kullanılan takım tezgâhları ve çalışma şartlarına bağlı olarak şekillendirilmiştir. Deneylerde kullanılan numunelerin üzerine deney deliklerinin açılmış olduğu formuyla temsili resmi Şekil 5.1'de verilmiştir. Deneylerde boydan boya delikler delinmiştir. Takım çapı 10 mm seçildiği için $3xD \leq L$ formülüyle malzemelerin kalınlığı 30 mm olacak şekilde belirlenmiştir. Dinamometre üzerinden sağlıklı ölçüm yapabilmek için dinamometre çapının (125 mm) dışına taşmayacak şekilde plakalar üzerine delik yerleşimleri yapılmıştır. 100'er delik tekrarını sağlamak amacıyla her deney için ikişer adet plaka kullanılmıştır.



Şekil 5.1. Üzerine delikler açılmış formuyla deney numuneleri

5.2. Bağlama Kalıbı Tasarımı

Deney numunelerinin dinamometreye bağlanarak delme esnasındaki ilerleme kuvveti ve moment değerlerinin sağlıklı bir şekilde alınabilmesi amacıyla Şekil 5.2'de resmi verilen bağlama kalıbı tasarlanmış ve imal edilmiştir.



Şekil 5.2. Deneylerde kullanılan bağlama kalıbı ve dinamometre üzerindeki gösterimi

5.3. Kesici Takımlar (Matkaplar)

Deneylerde ikisi ticari olarak tedarik edilebilen en yaygın iki takım geometrisine ait, diğer ikisi ise proje kapsamında geliştirilen, iki ağızlı, helisel, 10 mm çaplı yekpare karbür matkaplar kullanılmıştır.

Tez kapsamında tasarlanan matkaplar Ceratizit firmasına ait CTS20D kalitesinde %10 Co içeren sementit karbür çubuklardan üretilmiştir. Kaplama işlemi Oerlikon Balzers firmasında yaptırılmıştır. Bu firmanın Balinit Fatura Top adlı, mikrosertliği 3300 HV, kuru sürtünme katsayısı 0,25 sıcak sertliği 900°C olan ve yüksek oksidasyon direncine sahip TiAlN kaplama uygulaması kullanılmıştır. Deneylerde optimum kesme şartlarını sağlamak için kesici takımlar içten soğutma kanallı olarak seçilmiş ve soğutma sıvısı kullanılmıştır. Deneyler sırasında salgı, titreşim, eksenden sapma vb. şartların yaratacağı olumsuz etkiye bağlı olarak karşılaştırmayı olumsuz etkilemesini elimine etmek için "takım taşma mesafeleri" tüm takımlar için sabit tutulmuştur. Kullanılan kesici takımlarla ilgili geometrik özellikler ve deney tasarım çizelgesinde ifade ettikleri geometrilere ait bilgiler Bölüm 4'de detaylı şekilde verilmiştir.

5.4. Deneyler İçin Kullanılan Taguchi Deney Tasarımı

Deneylerde ikisi ticari olarak tedarik edilebilir en yaygın kullanıma sahip takım geometrisine ait, diğer ikisi ise proje kapsamında geliştirilen iki özgün geometriye sahip takım dikkate alınarak; matkabın geometrik formu, kesme hızı ve ilerleme miktarı olmak üzere dörder seviyeli üç faklı kontrol faktörü ile Taguchi Deney Tasarımı oluşturulmuştur. Deney girdisi olarak dört farklı geometride matkap, dört farklı kesme hızı ve dört farklı ilerleme değeri seçilmiştir. Minitab paket programı vasıtasıyla dört değişkenli Taguchi L_{16} deney tasarımı oluşturulmuştur. Çizelge 5.2'de deney tasarımının seviyeleri ve kontrol faktörleri verilmiştir.

Çizelge 5.2. Ana deneyler için kontrol faktörleri ve seviyeleri

Faktörler	Birim	1. Seviye	2. Seviye	3. Seviye	4. Seviye
Geometri	-	Geometri 1	Geometri2	Geometri 3	Geometri 4
Kesme Hızı	m/dk	90	100	110	120
İlerleme	mm/dev	0,15	0,20	0,25	0,30

Çizelge 5.3'de Minitab istatistik yazılımı yardımı ile belirlenen deney tasarımı verilmiştir. Yapılan deneylerde AISI 4140 malzemesi için 16 kesici takım ile (aşınma ve/veya sıvanmaları görebilmek amacıyla) 100 delik delme tekrarı yapılarak toplamda 1600 delik delme işlemi yapılmıştır.

Çizelge 5.3. Taguchi L16 orthogonal deney tasarımı

DENEY NO	DEĞİŞKENLER	GEOMETRİ (A)	İLERLEME (mm/dev) (B)	KESME HIZI (m/dak) (C)
1	A1B1C1	Geometri 1	0,15	90
2	A1B2C2	Geometri 1	0,20	100
3	A1B3C3	Geometri 1	0,25	110
4	A1B4C4	Geometri 1	0,30	120
5	A2B1C2	Geometri 2	0,15	100
6	A2B2C1	Geometri 2	0,20	90
7	A2B3C4	Geometri 2	0,25	120
8	A2B4C3	Geometri 2	0,30	110
9	A3B1C3	Geometri 3	0,15	110
10	A3B2C4	Geometri 3	0,20	120
11	A3B3C1	Geometri 3	0,25	90
12	A3B4C2	Geometri 3	0,30	100
13	A4B1C4	Geometri 4	0,15	120
14	A4B2C3	Geometri 4	0,20	110
15	A4B3C2	Geometri 4	0,25	100
16	A4B4C1	Geometri 4	0,30	90

5.5. Takım Tezgahı

Deneyler Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, CNC atölyesinde mevcut olan JOHNFORD VMC–550 CNC freze tezgâhı kullanılmıştır. CNC tezgâhı; üç eksende lineer ve dairesel enterpolasyon yapabilen, metrik ve inç birimlerinde ISO formatlı programlanabilir FANUC kontrol üniteli bir Dik İşleme Merkezidir. Bu tezgâhın teknik özellikleri Çizelge 5.4'de verilmiştir.

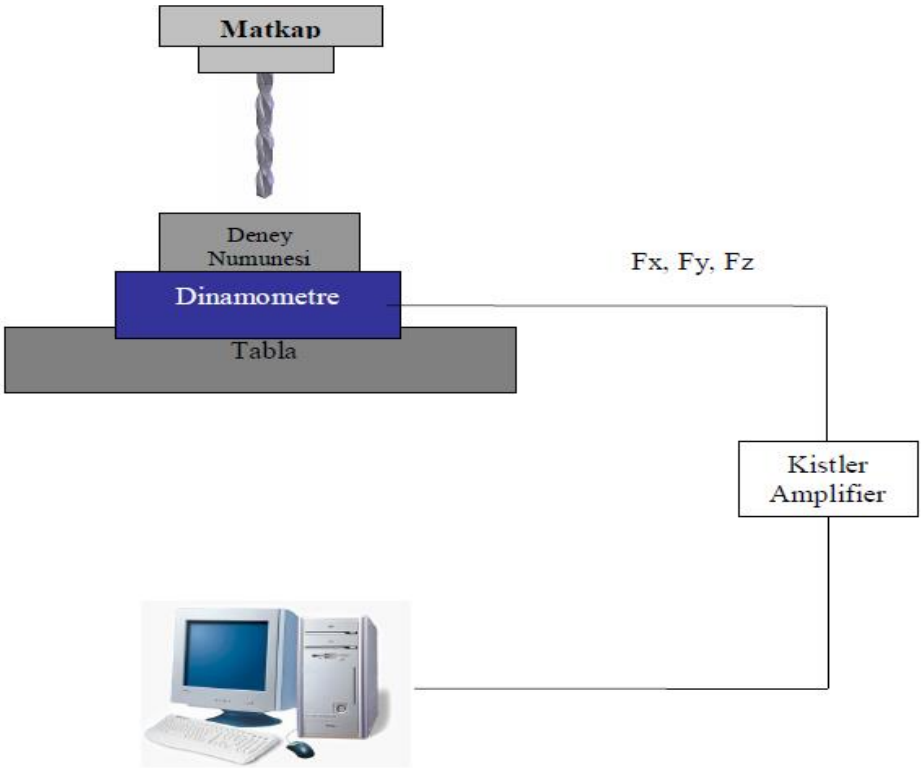
Çizelge 5.4. Johnford VMC–550 CNC Dik İşleme Merkezi özellikleri

Tezgâh Adı	Johnford VMC–550
Kontrol Ünitesi	Fanuc
Maksimum Devir Sayısı	8000 rpm
İşleme Tablası	600, 500, 600 mm
Ölçü hassasiyeti	0,001 mm

5.6. Ölçümler ve Kullanılan Ölçüm Tezgâhları / Cihazlar

5.6.1. Takıma etkiyen kuvvetlerin ve momentlerin ölçülmesi

Johnford VMC–550 CNC Dik İşleme Merkezi'nde yapılan deneylerde delik delme işlemine tabi tutulan AISI 4140 malzemeler için takıma etkiyen kuvvet ve momentler ölçülmüştür. Her takım için 100 tekrar yapılarak gerçekleştirilen deneylerden elde edilen kuvvet verileri bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Şematik olarak deney düzeneği Şekil 5.3'de gösterilmiştir.



Şekil 5.3. Deney düzeneği

Kesme kuvvetlerinin ve momentin deneysel olarak belirlenmesi için Gazi Üniversitesi İmalat Mühendisliği Bölümü'nde mevcut kuartz kristal esasıyla çalışan KISTLER 9272 tipi dinamometre ve Kistler Type 5070 amplifier kullanılmıştır. Bu dinamometrenin teknik özellikleri Çizelge 5.5'de, Amplifier'in teknik özellikleri ise Çizelge 5.6'da verilmiştir.

Çizelge 5.5. Kistler 9272 dinamometrenin teknik özellikleri



Kuvvet aralığı (kN) (Fx, Fy,Fz)	-5…10
Tepki verme (N)	<0,01
Hassasiyet (pC/N) Fx, Fy	-7,5
Fz	-3,5
Doğrusallık	%1 FSO
Histerezis	%0,5 FSO
Doğal frekans fo(x,y,z) (kHz)	3,5
Çalışma sıcaklığı (oC)	0…70
Kapasitans (pF)	220
20 oC'daki yalıtım direnci (Ω)	> 1013
Topraklama sınıfı (Ω)	> 108
Koruma sınıfı	IP 67
Ağırlık (kg)	7,3

Çizelge 5.6. Kistler Type 5070 amplifier teknik özellikleri



Kanal sayısı	8
Bağlantı	BNC neg.
Ölçme aralığı (pC)	±200...200000 ±600 ... 600 000 (optional)
Frekans aralığı (kHz)	≈0...>45
Çıkış sinyali (V)	±10
Kapasitans (V)	100 ... 240
Arayüz	RS-232C and IEEE-488

5.6.2. Delik çapı ve delik sapma değeri ölçümü

Takımların delme performansına ve seçilen parametrelerin uygunluğuna göre deliklerin dairesselliklerinin değişeceği göz önüne alınarak deliklerin dairesellik ölçümleri yapılmıştır. Deneyler sonucunda elde edilen deliklerin dairesselliklerini tespit etmek için delik çap ve dairesellik ölçümleri Hexagon marka üç boyutlu CMM (Coordinat Measuring Machine) tezgâhında yapılmıştır. Tek noktadan alınacak ölçümlerin güvenli olmayacağından dolayı

her bir deliğin farklı 4 noktasından ölçülen değerlerin ortalaması alınmıştır. CMM tezgâhına ait teknik özellikler Çizelge 5.7'te verilmiştir.

Çizelge 5.7. CMM tezgâhının teknik özellikleri

Ölçüm Aralığı (mm)		
X	**Y**	**Z**
500	500 - 700	500
700	700 - 1000	500 - 660
900	1200 - 1500 - 2000	800
Hassasiyet: $MPE_E = 1,9 + L/300$ µm'den itibaren		

5.6.3. Deliklerin yüzey pürüzlüklerinin ölçülmesi

Numunelere açılan delik yüzeylerinin yüzey pürüzlülüğü ölçümleri için Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Bölümü bünyesinde mevcut olan "Mahr" marka Perthometer M1 tipi, masa üstü ve yazılı çıktı alınabilen yüzey pürüzlülük ölçme cihazı kullanılmıştır. Yatay olarak düz bir zemine konumlandırılan deney numunelerindeki deliklerin ölçümü, yüzey pürüzlük ölçüm cihazını bir aparatla dikey olarak sabitleyerek gerçekleştirilmiştir. Her farklı şart için yapılan 100 delik delme tekrarında 1., 10., 20., 30., 40., 50., 60., 70., 80., 90. ve 100. olmak üzere her şart için 11 deliğin yüzey pürüzlüğü ölçülmüştür. Bu şekilde 100 tekrar için kullanılan aynı kesici takımın bu deliklerdeki durumunun gözlenmesi amaçlanmıştır. Ölçümlerin güvenirliği için ölçülen her delik için ayrı noktalardan dört ölçüm yapılmıştır. Ölçümler sonucu elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması alınarak her delik için ortalama girişteki ve çıkıştaki yüzey pürüzlülük (Ra) değerleri belirlenmiştir. Kullanılan yüzey pürüzlülük ölçme cihazının teknik özellikleri Çizelge 5.8'de verilmiştir.

Çizelge 5.8. Yüzey pürüzlülük ölçme cihazının teknik özellikleri

	MODEL	Mahr Perthometer M1
	Ölçme prensibi	Sylus metodu
	Tarama hızı (mm/sn)	0,5
	Ölçüm aralıkları	100-150
	Profil çözünürlüğü	12
	Filtre	Gaussian
	Cut off'lar (mm)	0,08 – 0,25 -0,8 – 2,5
	Tarama uzunlukları (mm)	1,75 – 5,6 – 17,5
	Örnekleme uzunluğu sayısı	1-5 arası seçilebilir

5.7. Varyans Analizi

Varyans analizi (Analysis of variance: ANOVA) ile hangi işlem üzerinde hangi faktörlerin ne derecede etkili oldukları istatistiksel olarak ortaya konulmuştur. Yapılan deneylerde Çaptan sapma, silindirlikten sapma, diklik, eşmerkezlilik, kuvvet, moment, girişteki ortalama yüzey pürüzlülüğü ve çıkıştaki ortalama yüzey pürüzlülüğü sonuçlarının, girdi parametresi olarak kullanılan kesme hızı ve ilerleme gibi kontrol faktörlerine göre değiştiği kabul edilmiş ve bu kabule dayalı olarak varyans analizi ve çoklu regresyon analizi yapılmıştır. Varyans analizi yöntemi; aslında deney sonuçlarında ortaya çıkan toplam değişimin, değişime sebep olduğu varsayılan faktörlere göre ayrıştırılarak toplam varyansın içindeki paylarının belirlenmesini esas alan bir yöntemdir. F-testi olarak da bilinen varyans analizi faktörler veya seviyelerinin birbirinden farksız olduğunu kabul eden belirli bir hipotezin kontrolünde kullanılır. Burada hesaplanan test istatistiği değerinin tablo değerinden küçük olması durumunda faktör veya seviyelerinin etkilerinin önemsiz olduğuna, büyük olması durumunda ise, faktör veya seviyelerinin etkilerinin önemli olduğuna karar verilir. Bu hüküm analiz için belirlenen önem düzeyine göre verilir [87]. Yüzde katkı oranı her bir faktör ve/veya etkileşimin deney sonuçlarının toplam varyasyonuna ne oranda katkı sağladığını temsil etmektedir. Katkı oranı hatalara bağlı olarak deneylerin doğruluğunun yüzdelik olarak belirlenmesini sağlar [88]. Çizelge 5.9'da verilen deney sonuçlarının istatistiksel analizinde kullanılan kontrol faktörleri ve seviyeleri verilmiştir.

Çizelge 5.9. Kontrol faktörleri ve seviyeleri

Faktör	Sembol	Birim	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Seviye 4
Geometri	G	-	Geometri 1	Geometri 2	Geometri 3	Geometri 4
İlerleme	V	mm/dev	0,15	0,20	0,25	0,30
Kesme hızı	f	m/dak	90	100	110	120

Regresyon analizi bağımlı değişken ile bir veya daha çok bağımsız değişken arasındaki ilişkiyi incelemek amacıyla kullanılan bir analiz yöntemidir. Bir tek bağımsız değişkenin kullanıldığı regresyon tek değişkenli regresyon analizi, birden fazla bağımsız değişkenin kullanıldığı regresyon analizi de çok değişkenli regresyon analizi olarak adlandırılmaktadır [89]. Bağımlı değişken (Y) ile bir bağımsız değişken (X_1) arasındaki bağıntıyı inceleyen yönteme basit regresyon, bir bağımlı değişken (Y) ile iki ya da daha fazla bağımsız

değişken (X_1, X_2, X_3,…..,X_p) arasındaki bağıntıları modeller aracılığı ile inceleyen yönteme ise çoklu regresyon adı verilmektedir [90]. Üç farklı çoklu regresyon analizi vardır. Bunlar; birinci dereceden lineer regresyon, ikinci dereceden regresyon ve logaritmik regresyon modelidir. Bu çalışmada, farklı deney parametrelerinde tahminsel sonuçlar elde etmek için genel yapısı Eş. 5.1'de verilen ikinci dereceden çoklu regresyon analiziyle matematiksel modeller elde edilmiştir.

$$T = k_0 + k_1x + k_2y + k_3z + k_4x^2 + k_5y^2 + k_6z^2 + k_7xy + k_8xz + k_9yz \quad (5.1)$$

Bu çalışmada elde edilen bütün deney sonuçları Minitab 17,0 programında analiz edilmiştir.

5.8. S/G Analizi

Bu araştırmada Taguchi'nin L_{16} ortoganal dizi deney tasarım metodu kullanılmıştır. Taguchi yöntemi, deney tasarımı içerisinde optimum noktaların elde edilmesi için sinyal/gürültü (S/G) analizini kullanmaktadır. S/G analizinde sinyal; deney sonuçları içerisinde arzu edilen veya ölçülmek istenen değeri temsil ederken, gürültü ise; ölçülen deney sonuçları içerisinde istenmeyen değerleri temsil etmektedir. Dolayısıyla bir deney tasarımı içerisinde hesaplanan maksimum S/G oranı optimum sonucu vermektedir. S/G oranının hesaplanmasında ulaşılması hedeflenen kalite karakteristiğinin özelliği oldukça önemlidir. Burada S/G oranının hesaplaması yapılırken ulaşması istenen hedefler esas alındığında üç temel analiz karşımıza çıkmaktadır [7].

Bunlar;

- En düşük değer en iyidir (Hedef deney sonuçlar içerisinde en düşük cevaplara ulaşmaktır.)
- En büyük değer en iyidir (Hedef deney sonuçlar içerisinde en büyük cevaplara ulaşmaktır.)
- Nominal değer en iyidir (Hedef deney sonuçlar içerisinde nominal cevaplara ulaşmaktır.)

6. DENEY SONUÇLARI, ANALİZ VE TARTIŞMA

6.1. Deneysel Sonuçlar

Bu çalışmada, delik delmede matkap geometrisinin delme performansına olan etkisi araştırılmıştır. Bu bağlamda, iki farklı yeni matkap geometrisi tasarlanmış ve imalatı gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen bu iki yeni geometriye sahip matkabın delme esnasında oluşan kesme kuvvetleri ve delik kalitesi üzerindeki etkilerini incelemek için ticari olarak tedarik edilebilen ve çalışma kapsamında geliştirilen iki yeni geometriye sahip dört matkabın performansları incelenmiştir. Kesme parametreleri için dört farklı kesme hızı (90, 100, 110, 120 m/dak) ve dört farklı ilerleme (0,15-0,20-0,25-0,30 mm/dev) değeri seçilmiştir. Bu kesme parametreleri belirlenirken firmalara ait katalog değerlerinden faydalanılmış ve ön deneyler ile bu parametrelerin uygunlukları kontrol edilmiştir.

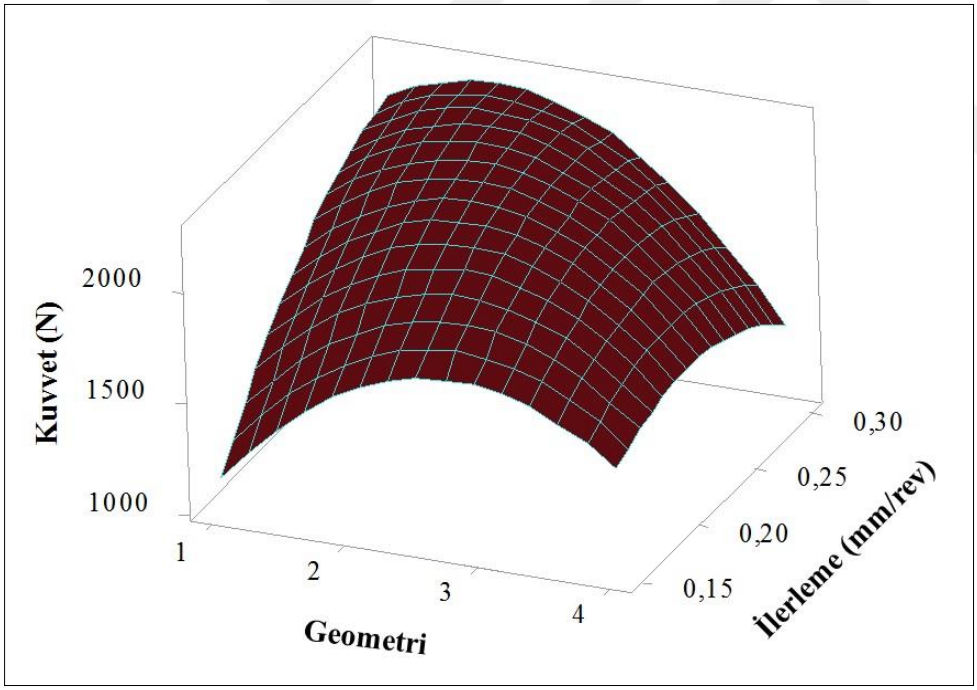
Deneysel çalışmalar Taguchi L_{16} ortagonal dizinine göre oluşturulan deney tasarımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Girdi parametreleri olarak matkap geometrisi, kesme hızı ve ilerleme değeri, çıktı parametreleri olarak ise kesme kuvvetleri açısından değerlendirmede kullanılmak üzere ilerleme kuvveti ve moment değerleri, delik kalitesi açısından değerlendirmelerde kullanılmak üzere ise çaptan sapma (ölçü tamlığı), silindiriklikten sapma (eksenel kaçıklık), diklik ve eş merkezlilik değerleri belirlenmiştir. Deneysel çalışmalar esnasında belirlenen girdiler ile deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen çıktılar Çizelge 6.1'de toplu halde verilmiştir.

Çizelge 6.1. Deneysel çalışmalar esnasında belirlenen girdiler ile deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen çıktılar

Geometry	İlerleme	Kesme hızı	Çaptan sapma	Silindirlikten sapma	Diklik	Eşmerkezlilik	Kuvvet	Moment	Ra-giriş	Ra-çıkış
1	0.15	90	0,054	0,028	0,041	0,038	1341,963	585,273	1,079	1,028
1	0.2	100	0,156	0,070	0,045	0,039	1718,418	637,459	1,084	1,133
1	0.25	110	0,193	0,090	0,070	0,063	1812,013	692,672	1,672	2,097
1	0.3	120	0,210	0,126	0,099	0,100	2405,150	933,871	1,912	2,210
2	0.15	100	0,055	0,055	0,044	0,025	1260,217	440,524	0,655	0,696
2	0.2	90	0,061	0,066	0,069	0,031	1392,229	428,580	0,672	0,830
2	0.25	120	0,111	0,082	0,087	0,037	1524,162	499,174	0,894	1,071
2	0.3	110	0,130	0,090	0,076	0,028	1463,510	471,641	0,699	0,845
3	0.15	110	0,066	0,055	0,032	0,024	2106,215	650,284	0,537	0,691
3	0.2	120	0,078	0,066	0,031	0,035	2572,012	811,413	1,372	1,469
3	0.25	90	0,083	0,080	0,047	0,050	2626,276	1310,914	1,655	1,721
3	0.3	100	0,104	0,079	0,065	0,066	2725,012	1518,314	1,803	1,904
4	0.15	120	0,063	0,057	0,015	0,020	1291,997	514,019	0,550	0,663
4	0.2	110	0,071	0,062	0,025	0,023	1466,056	596,564	0,693	0,704
4	0.25	100	0,080	0,073	0,043	0,024	1681,065	721,449	0,655	0,784
4	0.3	90	0,083	0,031	0,010	0,015	924,797	1237,597	0,897	1,021

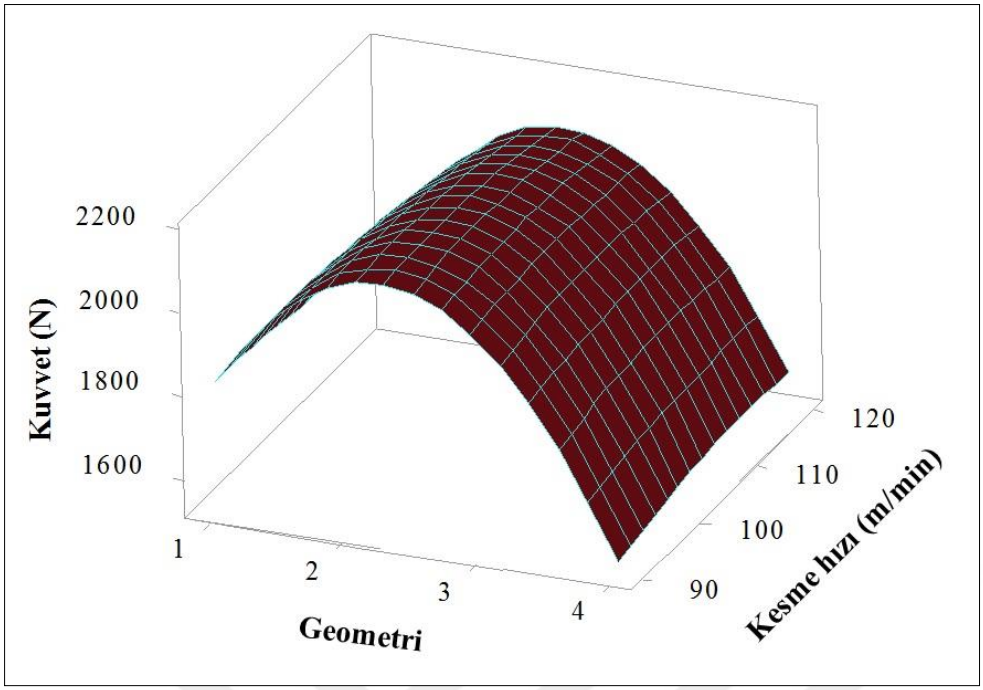
6.1.1. İlerleme kuvvetleri (Fz) ve momentlerin (Mz) genel değerlendirilmesi

Dört farklı geometriye sahip matkaplar ile yapılan deneyler sırasında kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak her deney için 1. Delikten 100. Deliğe ilerleme kuvvetlerinin ortalamaları alınmıştır. Kesme parametrelerine bağlı olarak ilerleme kuvvetlerindeki değişimler Şekil 6.1, Şekil 6.2, Şekil 6.3 ve Şekil 6.4'deki grafiklerde gösterilmiştir. Deney sonuçlarına göre oluşturulan tüm grafiklerde ilerleme miktarındaki ve kesme hızındaki artışa bağlı olarak kuvvet değerlerindeki artışı görebilmek için kesme hızının sabit olması gerektiği noktalarda bu değer 105 m/dak, ilerleme miktarının sabit olması gerektiği noktalarda ise bu değer 0,225 mm/dev olarak belirlenmiştir. Yine benzer şekilde ilerleme miktarı 0,225 mm/dev'de sabit tutularak kesme hızındaki değişime bağlı olarak ilerleme kuvvetindeki değişimler grafiklere aktarılmıştır. Şekil 6.1'de Geometri ve ilerleme miktarına bağlı olarak ilerleme kuvvetlerindeki değişim görülmektedir.



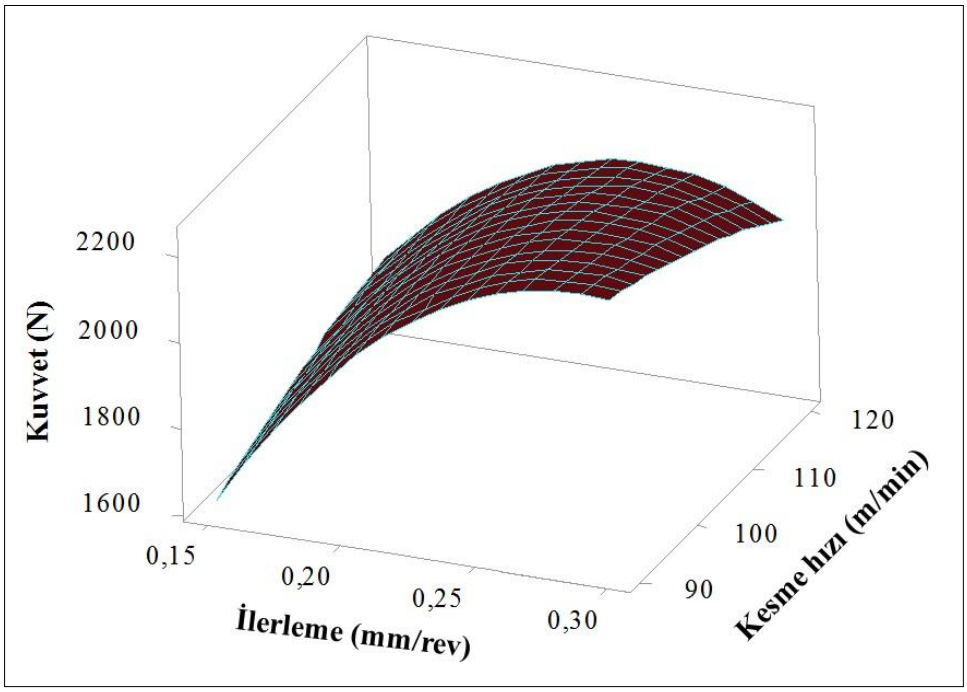
Şekil 6.1. Geometri ve ilerleme miktarına bağlı ilerleme kuvvetlerindeki değişim

Şekil 6.2'de Geometri ve kesme hızına bağlı olarak ilerleme kuvvetlerindeki değişim görülmektedir.



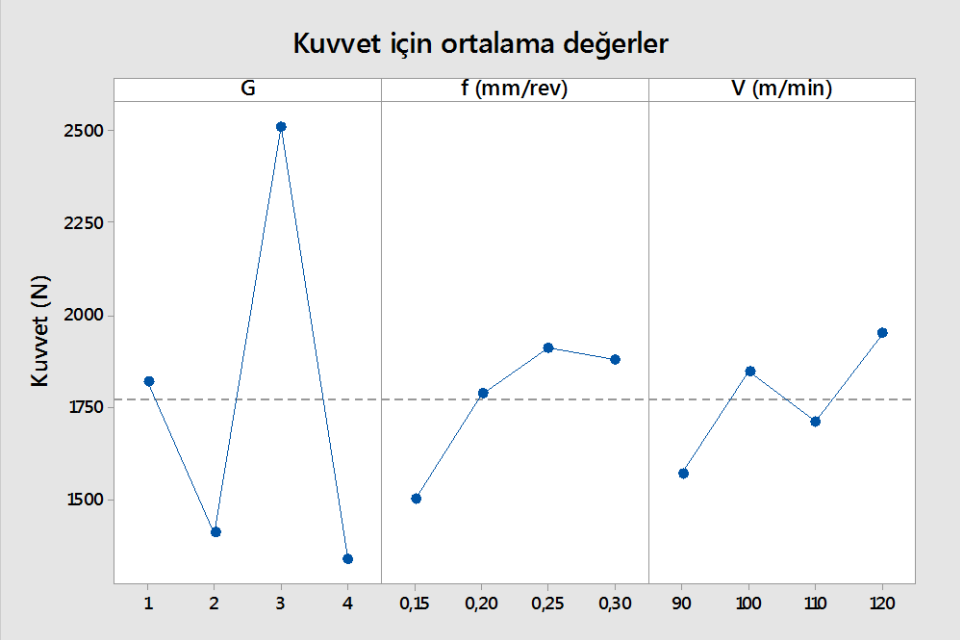
Şekil 6.2. Geometri ve kesme hızına bağlı olarak ilerleme kuvvetlerindeki değişim

Şekil 6.3'de İlerleme miktarı ve kesme hızına bağlı olarak ilerleme kuvvetlerindeki değişim görülmektedir.



Şekil 6.3. İlerleme miktarı ve kesme hızına bağlı ilerleme kuvvetlerindeki değişim

İlerleme kuvveti üzerinde girdi parametrelerinin etkilerini daha açık bir biçimde göstermek için Taguchi analizinden elde edilen ortalama etki değerleri Şekil 6.4' de verilmiştir.

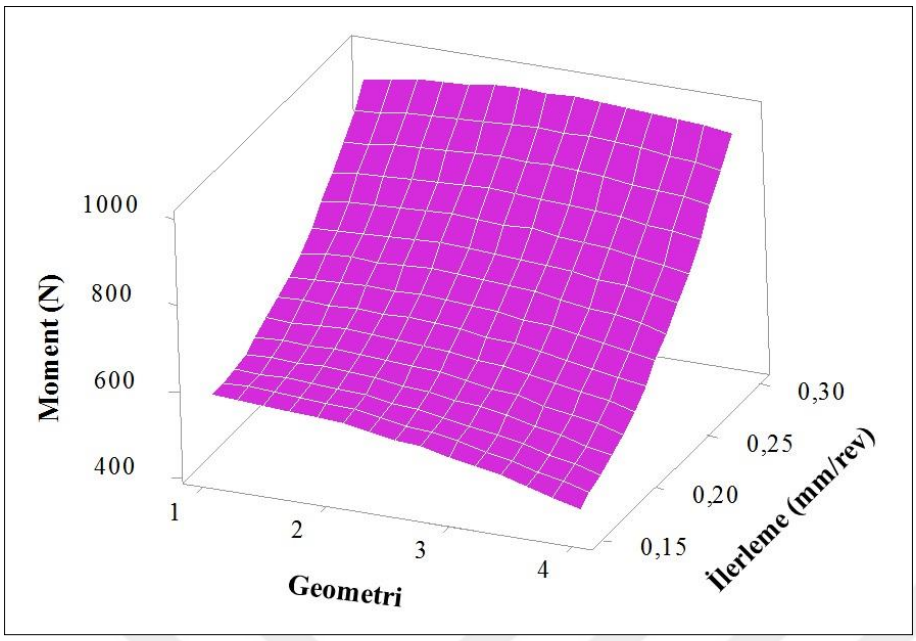


Şekil 6.4. İlerleme kuvveti ortalama etki grafiği

Grafikler değerlendirildiğinde; dört farklı geometri için de en yüksek kesme kuvveti en yüksek kesme hızı ve ilerleme değerlerinde elde edilmiştir. Özellikle ilerleme hızının artmasıyla artan talaş kesitine bağlı olarak kesme kuvvetlerinin artması beklenen bir durumdur [40]. Kesme hızının artmasıyla kuvvetlerde belli bir miktar artış ve sonrasında kısmen bir düşüş eğilimi görülmektedir. Bu düşüş eğilimi de işlenen parçadaki sıcaklıkla beraber ısınmaya bağlı olarak malzemedeki plastik deformasyonun kolaylaşmasına atfedilebilir [91]. Artan kesme hızı ile artan enerji tüketiminin kesme esnasında ısı enerjisine dönüşmesi sonucu artan sıcaklık plastik deformasyonu ve talaş akışını kolaylaştırmakta, buna bağlı olarak da kesme kuvvetlerinde bir düşüş gözlenmektedir [59, 92]. Delme esnasında ilerleme kuvvetinin büyüklüğünü belirleyen en önemli parametrelerden biri de ilerlemedir. Dolayısıyla ilerlemedeki artışla ilerleme kuvvetinin artırması beklenen bir durumdur. Literatürde yapılan benzer çalışmalarda da ilerlemedeki artışın kesme kuvvetlerini artırdığı ifade edilmektedir [93,94]. Buradan hareketle yapılan çalışmada kesme kuvvetlerinin değişimi üzerinde ilerlemenin kesme hızından daha etkili olduğunu söylemek mümkündür. Grafikler incelendiğinde ilerleme miktarındaki artışla beraber kuvvetlerin de hızlı bir şekilde arttığı açıkça görülmektedir. Şekil 6.4

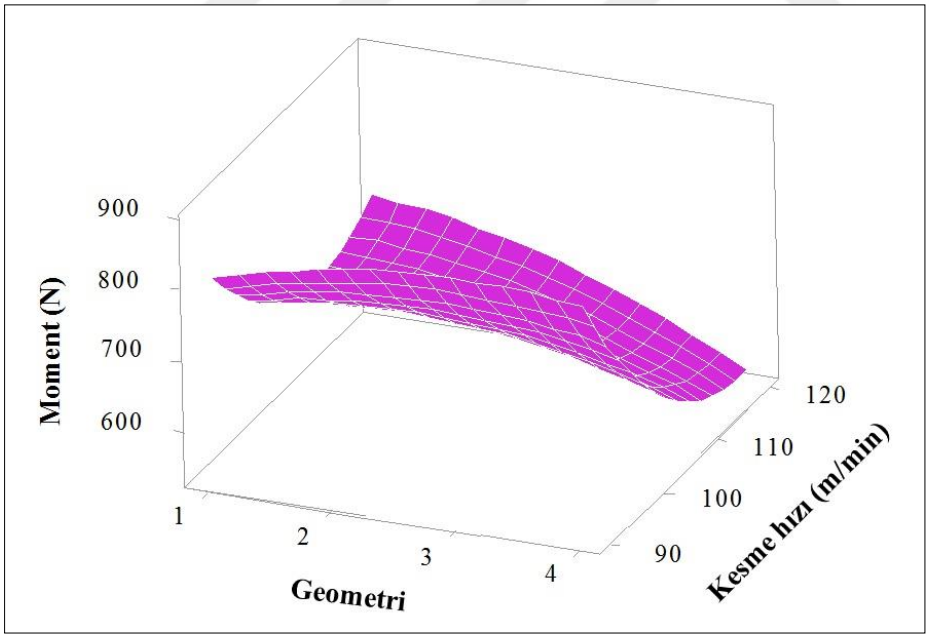
incelendiğinde ortalama etki değerini gösteren çizgilerin en üst ve en alt sınırları arasındaki en büyük fark o parametrenin deney sonucu üzerindeki en etkili faktör olduğunu göstermektedir. Buradan yola çıkarak kuvvet üzerindeki en etkili faktörün matkap geometrisi olduğu açıkça görülebilir. Matkapların sahip olduğu kesici kenar, uç ve kanal formları kuvvetler üzerinde doğrudan etkili olduğu tespit edilmiştir. Özgün geometri olan Geometri 3'ün talaş kaldırma ve talaş tahliye yeteneğindeki yetersizlikler nedeniyle yeniden tasarlanan Geometri 4'ün bu anlamda en iyi sonuçların elde edildiği matkap formu olduğu gözlenmiştir. Geometrilere ait ilerleme kuvvetlerinin genel ortalaması alındığında en düşük ilerleme kuvvetine göre Geometri 4'de yaklaşık % 26'lık bir iyileşme sağlandığı görülmektedir. Bu iyileşmenin nedeni olarak matkabın sahip olduğu özgün uç geometrisi ve kanal formuna bağlı talaş kaldırma ve talaş tahliye yeteneğinin daha iyi olması gösterilebilir. Geometri 4'ün sahip olduğu özgün kanal formu ve kesici kenarı diğerlerine oranla daha parabolik ve geniştir. Matkap üzerine konumlanan iki kademeli boşluk açısı sürtünmeyi minimuma indirirken, inceltilen öz kalınlığı sayesinde batma işlemi kolaylaştırılmıştır. İlerleme miktarındaki artışla birlikte birim zamanda kaldırılan talaş hacmindeki artışlara rağmen talaşın daha rahat tahliyesi sağlanarak kesici ağız üzerine etkiyen kuvvetlerde azalma sağlanmıştır.

Dört farklı geometriye ait matkaplar ile yapılan deneyler sonucunda ölçülen kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak her deney için 1. Delikten 100. Deliğe ortalamaları alınan momentlerdeki değişimler Şekil 6.5, Şekil 6.6, Şekil 6.7 ve Şekil 6.8'deki grafiklerde gösterilmiştir. Şekil 6.5'de Geometri ve ilerleme miktarına bağlı olarak momentlerdeki değişim görülmektedir.



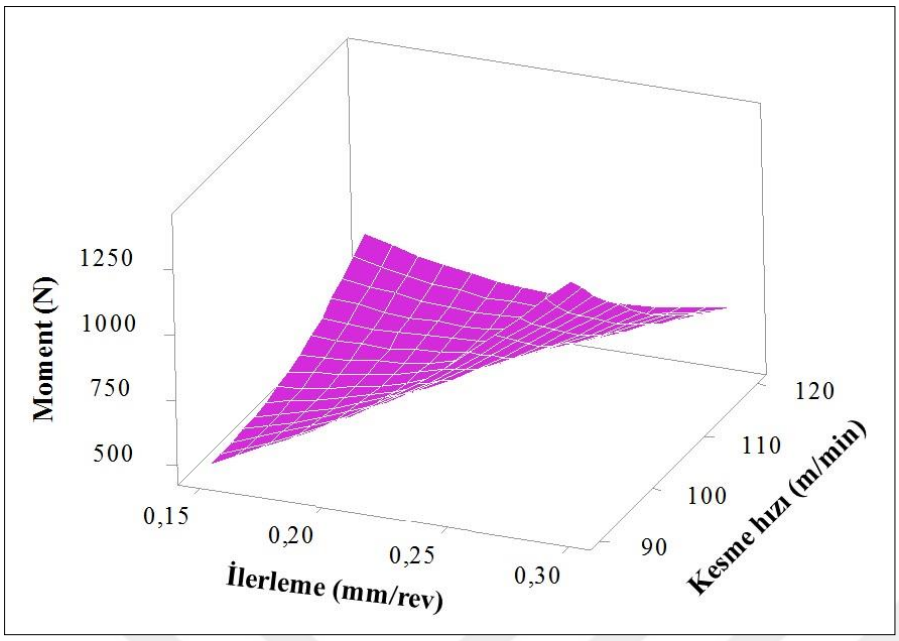
Şekil 6.5. Geometri ve ilerleme miktarına bağlı momentlerdeki değişim

Şekil 6.6'da Geometri ve kesme hızına bağlı olarak momentlerdeki değişim görülmektedir.



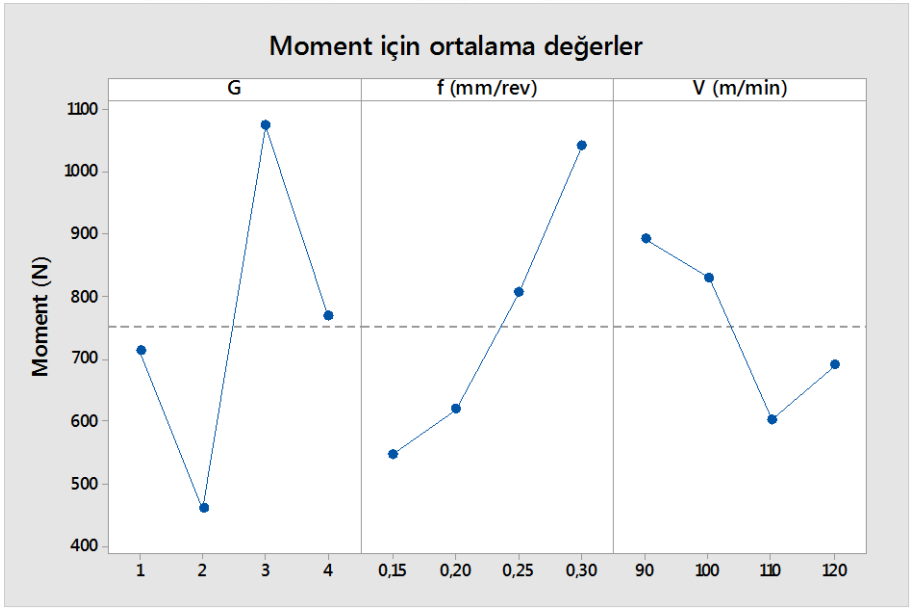
Şekil 6.6. Geometri ve kesme hızına bağlı olarak momentlerdeki değişim

Şekil 6.7'de İlerleme miktarı ve kesme hızına bağlı olarak momentlerdeki değişim görülmektedir.



Şekil 6.7. İlerleme miktarı ve kesme hızına bağlı olarak momentlerdeki değişim

Momentler üzerinde girdi parametrelerinin etkilerini daha açık bir biçimde göstermek için elde edilen ortalama etki değerleri Şekil 6.8'de verilmiştir.



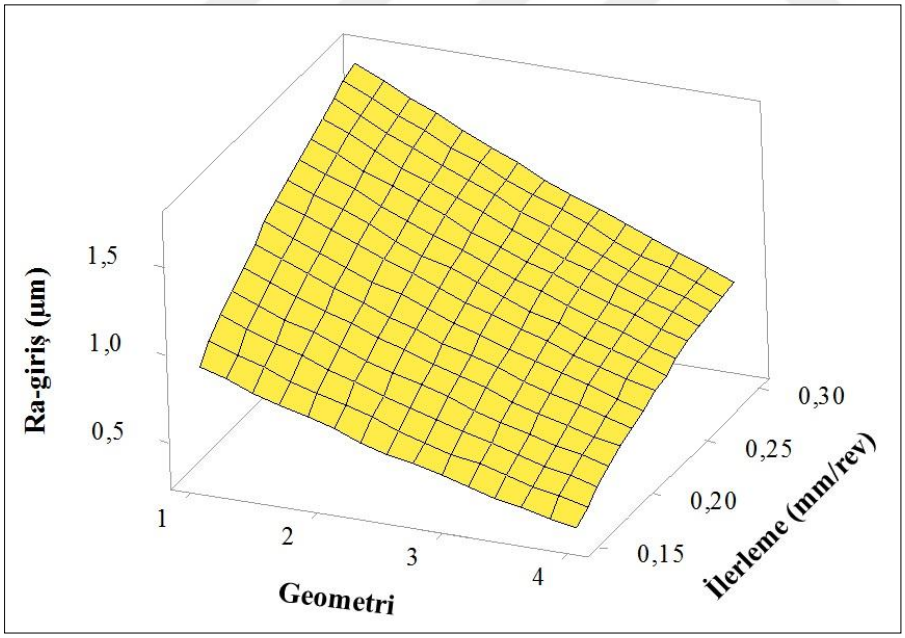
Şekil 6.8. Moment ortalama etki grafiği

İlerleme kuvvetlerinde gözlenene benzer eğilim momentler (Geometri 2 hariç) için de geçerli olup ilerleme kuvvetindeki artışa paralel olarak momentlerin de arttığı görülmektedir. Her dört geometri içinde kesme hızındaki artışla moment değerlerinde

düşüş olduğu, artan ilerleme ile ise kuvvetlerde ciddi bir artışın olduğu görülmektedir. Kesme kuvvetlerinde olduğu gibi kesme hızındaki artışla moment değerlerindeki düşüşün, kesme bölgesinde oluşan yüksek sıcaklıkların iş parçası malzemesinin akma mukavemetini düşürmesinden kaynaklandığı söylenebilir [95,96]. İlerlemedeki artış ile meydana gelen moment artışını ise, takım/talaş ara yüzeyindeki sürtünmenin bir sonucu olarak meydana geldiği söylenebilir. İlerleme kuvvetlerinde olduğu gibi ilerleme miktarının momentler üzerinde de en etkili parametre olduğu söylenebilir.

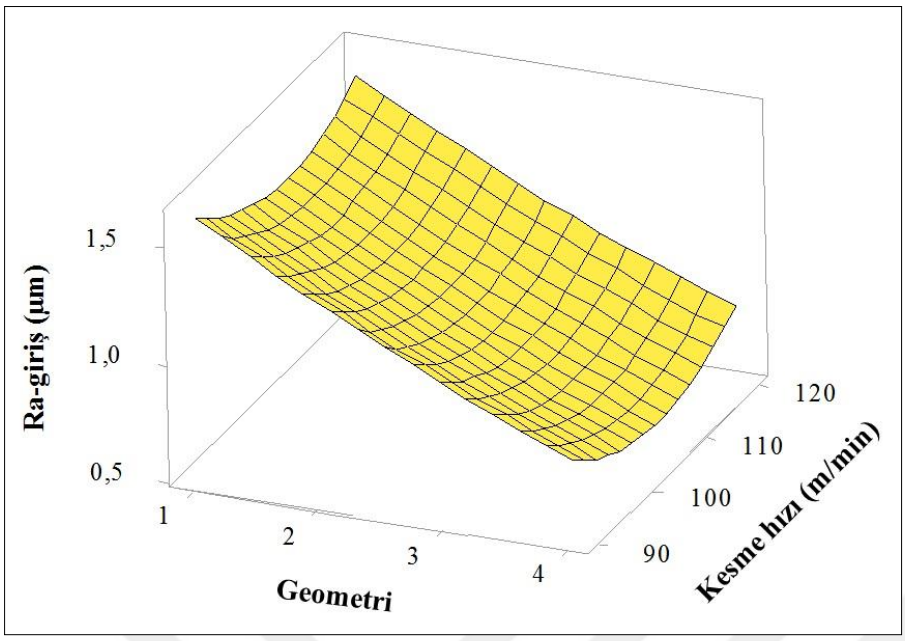
6.1.2. Yüzey pürüzlülüğünün genel değerlendirmesi

Kesme parametrelerindeki değişime bağlı olarak, her deney için 1. delikten 100. deliğe, giriş yüzey pürüzlülüklerindeki değişim Şekil 6.9, Şekil 6.10, Şekil 6.11 ve Şekil 6.12'deki grafiklerde, çıkış yüzey pürüzlülüklerindeki değişim ise Şekil 6.13, Şekil 6.14, Şekil 6.15 ve Şekil 6.16'daki grafiklerde gösterilmiştir. Şekil 6.9'da Geometri ve ilerleme miktarına bağlı olarak Ra-giriş'deki yüzey pürüzlülük değişimi görülmektedir.



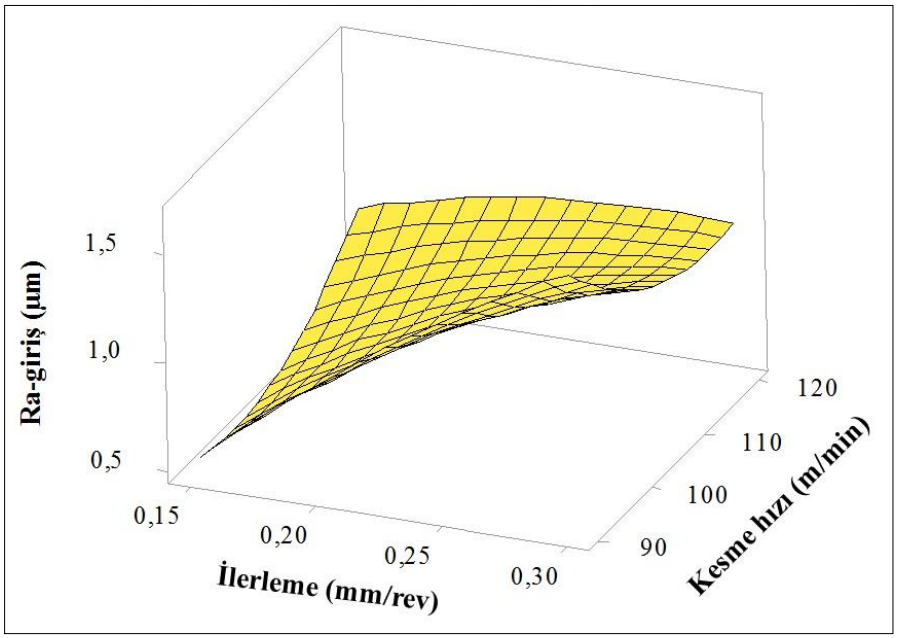
Şekil 6.9. Geometri ve ilerleme miktarına bağlı olarak Ra-giriş'deki yüzey pürüzlülük değişimi

Şekil 6.10'da Geometri ve kesme hızına bağlı olarak Ra-giriş'deki yüzey pürüzlülük değişimi görülmektedir.



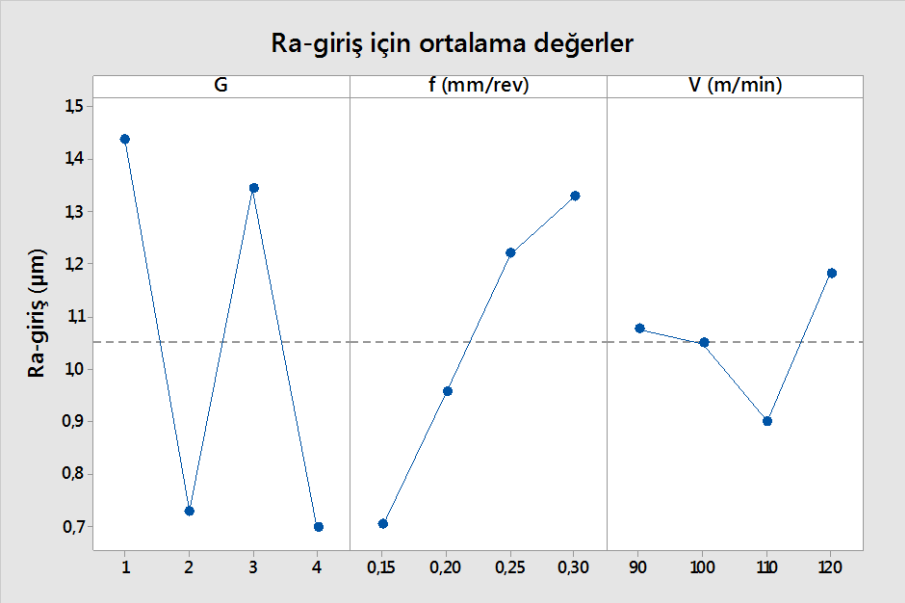
Şekil 6.10. Geometri ve kesme hızına bağlı olarak Ra-giriş'deki yüzey pürüzlülük değişimi

Şekil 6.11'de İlerleme miktarı ve kesme hızına bağlı olarak Ra-giriş'deki yüzey pürüzlülük değişimi görülmektedir.



Şekil 6.11. İlerleme miktarı ve kesme hızına bağlı olarak Ra-giriş'deki yüzey pürüzlülük değişimi

Ra-giriş üzerinde girdi parametrelerinin etkilerini daha açık bir biçimde göstermek için Taguchi analizinden elde edilen ortalama etki değerleri Şekil 6.12'de verilmiştir.

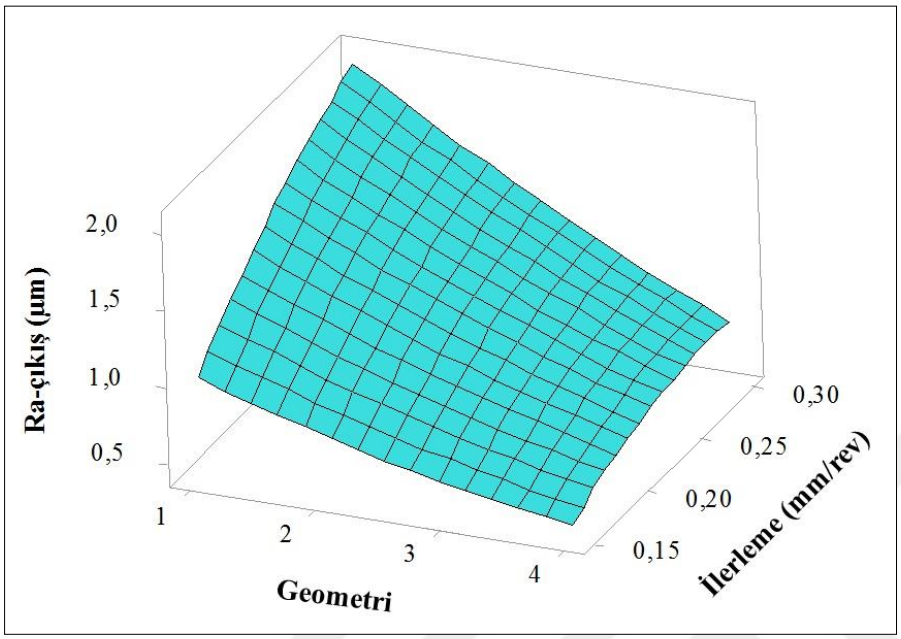


Şekil 6.12. Ra-giriş ortalama etki grafiği

Giriş ve çıkış yüzey pürüzlülüklerine ait grafikler incelendiğinde her dört geometri için de, yüzey kalitesinin bir delme işleminden beklenen yüzey pürüzlülüğü değerlerinin altında olduğu ve delme işlemi için dört geometride de tatminkâr (1,2 ila 2,4 µm arası) yüzey kalitelerinin elde edildiği söylenebilir. Delik yüzey kalitesi üzerinde en önemli etken ideal bir matkap kanal formu ile talaşın delik içerisinde sıkışmasını engelleyerek talaşın tahliyesini kolaylaştırmak ve böylelikle talaşın delik yüzeyinde oluşturabileceği çizikleri ortadan kaldırmaktır. Elde edilen sonuçlara bakıldığında yüzey pürüzlülüğü üzerinden en etkili iki parametrenin matkap geometrisi ve ilerleme miktarı olduğu söylenebilir.

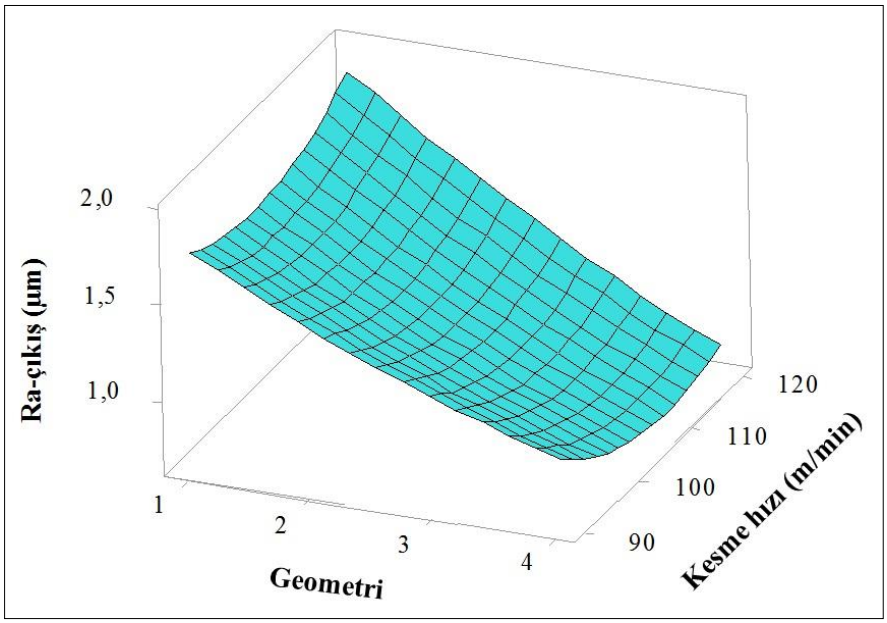
Geometrilere ait yüzey pürüzlülüklerinin genel ortalaması alındığında en iyi yüzey pürüzlülük değerleri ilerleme kuvvetlerinde olduğu gibi Geometri 4'de ölçülmüştür. Bunun nedeni olarak Geometri 4'e ait özgün kanal formunun delme esnasında talaşın akışını kolaylaştırdığı ve delik içerisinde talaşın sıkışmasını engelleyerek delik kalitesini arttırdığı söylenebilir. Elde edilen yüzeylerde ölçülen ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin artan kesme hızı ile azaldığı, artan ilerleme değerlerine bağlı olarak ise artığı görülmektedir. Bu durum, geleneksel talaş kaldırma işlemlerinde beklenen tarzda gelişmiştir. Kesme hızında belli bir noktaya kadar artışın yüzey kalitesini olumlu etkilediği bilinmektedir [92,97,98]. Ayrıca talaş kaldırma işlemlerinde yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili parametreler geometri ve ilerleme miktarıdır [97]. Dolayısı ile artan kesme hızına bağlı olarak yüzey kalitesinin iyileşmesi, artan ilerlemeye bağlı olarak ise kötüleşmesi beklenen bir sonuçtur.

Şekil 6.13'de Geometri ve ilerleme miktarına bağlı olarak Ra-çıkış'daki yüzey pürüzlülük değişimi görülmektedir.



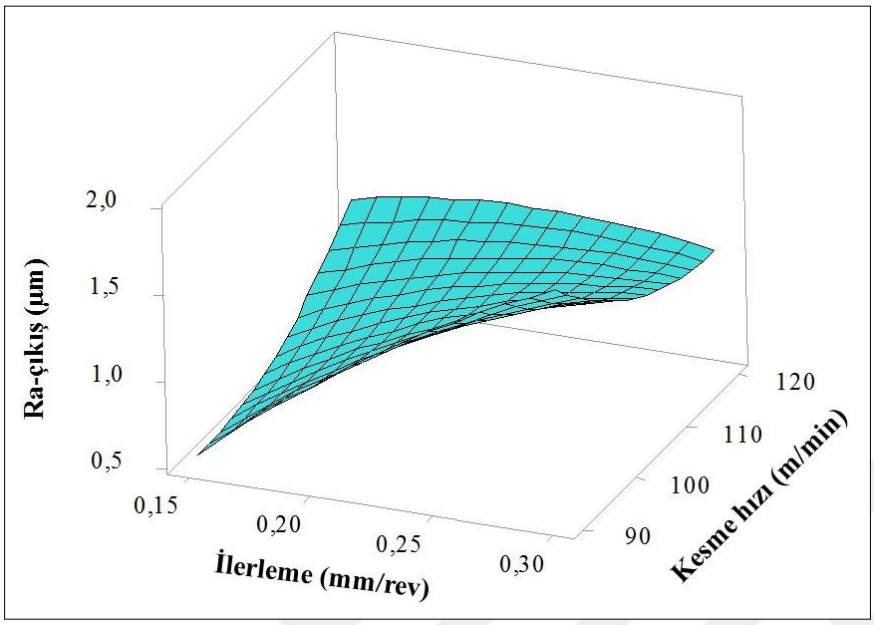
Şekil 6.13. Geometri ve ilerleme miktarına bağlı olarak Ra-çıkış'daki yüzey pürüzlülük değişimi

Şekil 6.14'de Geometri ve kesme hızına bağlı olarak Ra-çıkış'daki yüzey pürüzlülük değişimi görülmektedir.



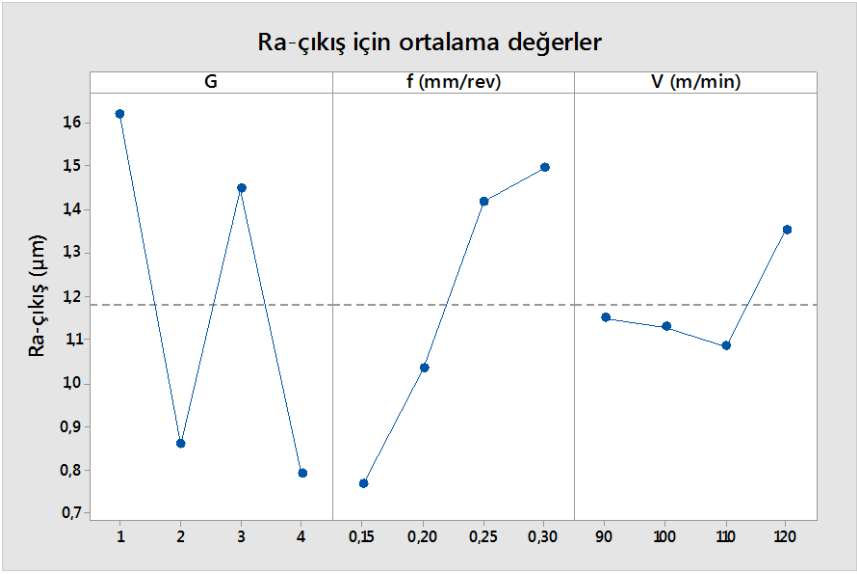
Şekil 6.14. Geometri ve kesme hızına bağlı olarak Ra-çıkış'daki yüzey pürüzlülük değişimi

Şekil 6.15'de İlerleme miktarı ve kesme hızına bağlı olarak Ra-çıkış'daki yüzey pürüzlülük değişimi görülmektedir.



Şekil 6.15. İlerleme miktarı ve kesme hızına bağlı olarak Ra-çıkış'daki yüzey pürüzlülük değişimi

Ra-çıkış üzerinde girdi parametrelerinin etkilerini daha açık bir biçimde göstermek için Taguchi analizinden elde edilen ortalama etki değerleri Şekil 6.16'da verilmiştir.



Şekil 6.16. Ra-çıkış ortalama etki grafiği

Artan ilerleme değerleri, birim zamanda kaldırılan talaş hacminin artmasına ve buna bağlı olarak da kesme kuvvetlerinin büyümesine sebep olacaktır [99,100]. Artan kesme kuvvetlerinin ise talaşın erken kırılmasına neden olarak yüzey kalitesini olumsuz etkilediği düşünülmektedir. Her dört geometri için de, artan ilerleme miktarı ile yüzey pürüzlülük değerlerinin arttığı görülmektedir.

6.1.3. Ölçü tamlığı ve geometrik saplamaların değerlendirilmesi

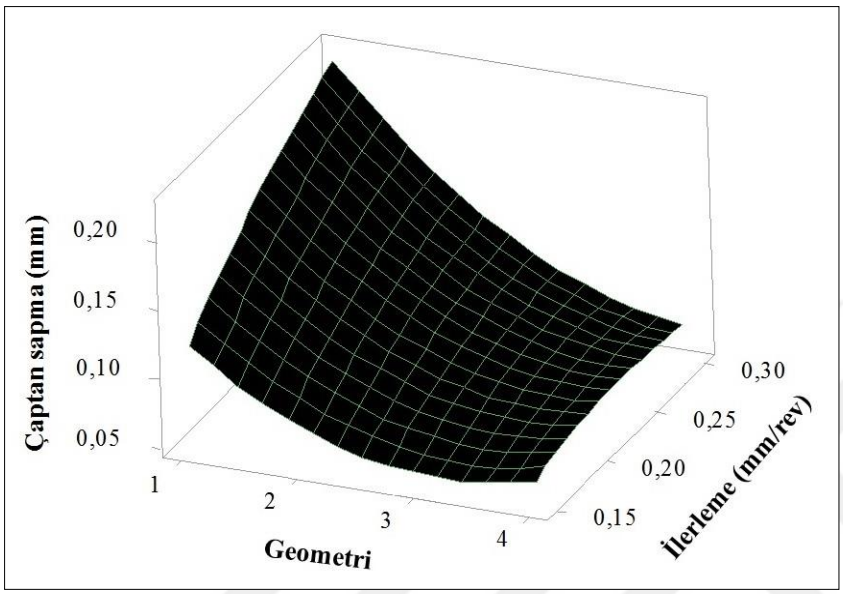
Talaşlı imalatta, delme işlemlerinde arzu edilen delik kalitesinin elde edilmesi en önemli hususlardan birisidir. Matkap ile doğrudan delinmiş bir delikte, delik çapının istenen toleranslar dâhilinde ölçü tamlığını ve geometrik olarak daireselliğini garanti altına almak oldukça güçtür. Aynı şekilde delik boyuna bağlı olarak, eksenel ve radyal kuvvetlerin etkisiyle, eksenel sapmalar da söz konusu olmaktadır. Bu problemlerin önüne geçmek maksadıyla genellikle delik büyütme ve raybalama gibi ikincil işlemlerin uygulanması yaygındır [69]. Fakat kullanılacak bu gibi ikincil işlemler maliyet üzerinde olumsuz etkilere sahiptir.

Yukarıda belirtilen hususlar dikkate alındığında istenilen delik kalitesine sahip deliğin tek seferde üretilebilmesi için ölçü tamlığı, dairesellik ve eksenel kaçıklık gibi değerlerin önemi büyüktür. Bu bölümde girdi parametrelerine bağlı olarak bu değerlerdeki değişimin delik kalitesi üzerindeki etkileri sıra ile incelenmiştir. Dairesellikten sapma, çaptan sapma ve eksenel kaçıklık değerleri CMM tezgâhında ölçülerek elde edilen veriler doğrultusunda değerlendirmeler yapılmıştır.

Çaptan sapma (Ölçü tamlığı)

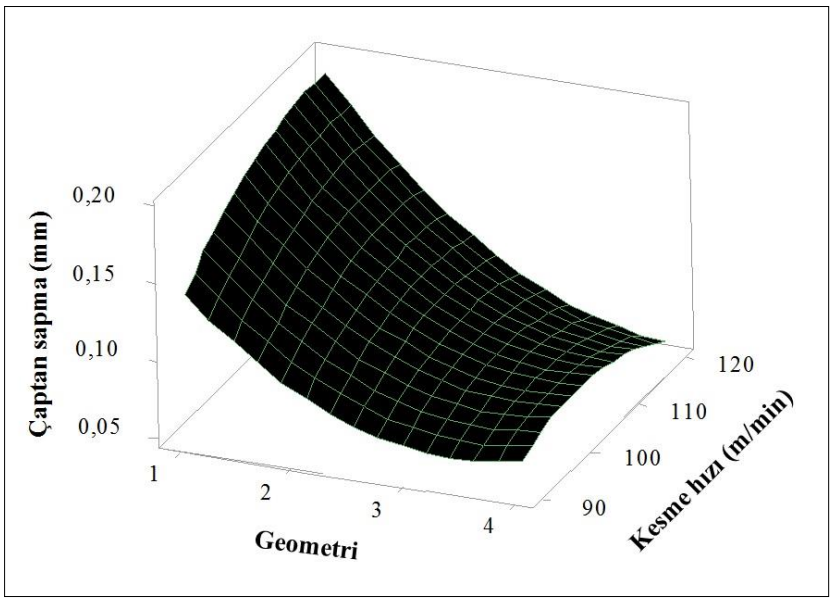
Delme işleminde; uygulama biçimi (dönen matkap sabit iş parçası veya sabit matkap-dönen iş parçası), kullanılan bağlama araçlarının kararlılığı, rijitlik, takım tezgâhının genel durumu ve özellikle de doğru takım geometrisinin temini elde edilen deliğin ölçü tamlığını etkiler. Bu sayılan dış etkenler tüm deneylerde aynı şartlarda kalmak koşuluyla yapıldığından, matkap geometrisi, kesme hızı ve ilerleme gibi parametrelerin elde edilen deliklerin ölçü tamlığını nasıl etkilediği net bir şekilde görülmüştür [69,97,101].

Her deney için kesme parametrelerine bağlı olarak 1. delikten 100. deliğe ölçülen ortalama çaptan sapma değerlerindeki değişim Şekil 6.17, Şekil 6.18, Şekil 6.19 ve Şekil 6.20'deki grafiklerde gösterilmiştir. Şekil 6.17'de Geometri ve ilerleme miktarına bağlı olarak çaptan sapmadaki değişim görülmektedir.



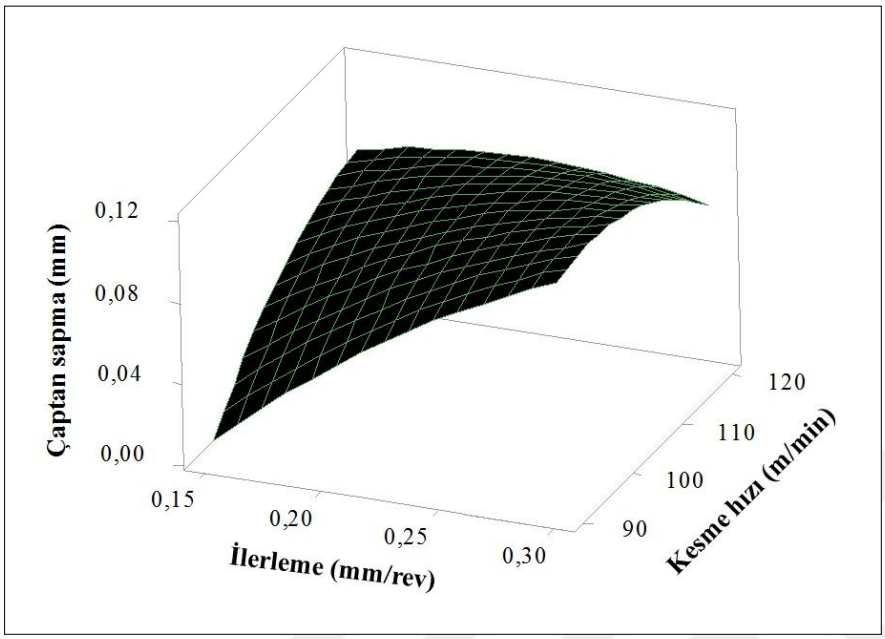
Şekil 6.17. Geometri ve ilerleme miktarına bağlı olarak çaptan sapmadaki değişim

Şekil 6.18'de Geometri ve kesme hızına bağlı olarak çaptan sapmadaki değişim görülmektedir.



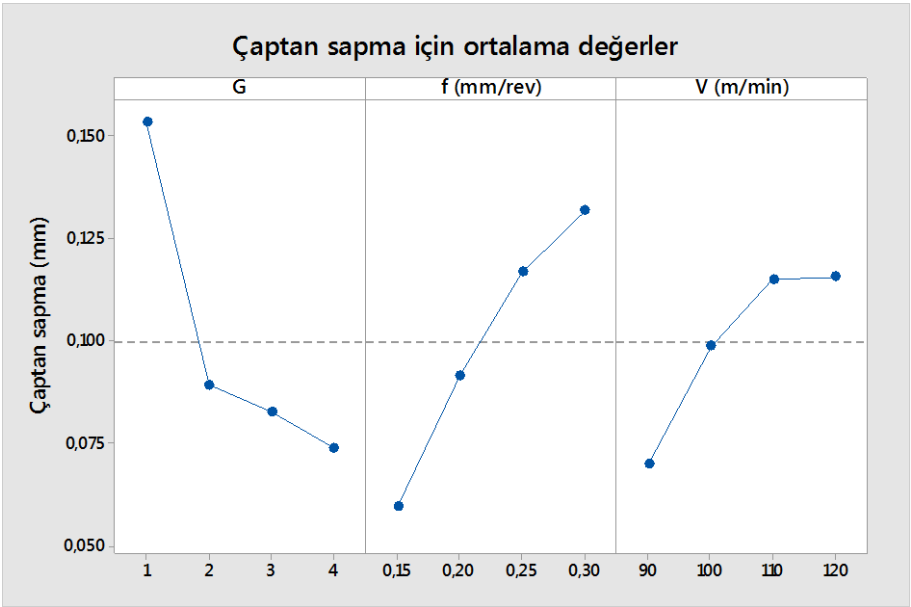
Şekil 6.18. Geometri ve kesme hızına bağlı olarak çaptan sapmadaki değişim

Şekil 6.19'da İlerleme miktarı ve kesme hızına bağlı olarak çaptan sapmadaki değişim görülmektedir.



Şekil 6.19. İlerleme miktarı ve kesme hızına bağlı olarak çaptan sapmadaki değişim

Çaptan sapma üzerinde girdi parametrelerinin etkilerini daha açık bir biçimde göstermek için Taguchi analizinden elde edilen ortalama etki değerleri Şekil 6.20'de verilmiştir.



Şekil 6.20. Çaptan sapma ortalama etki grafiği

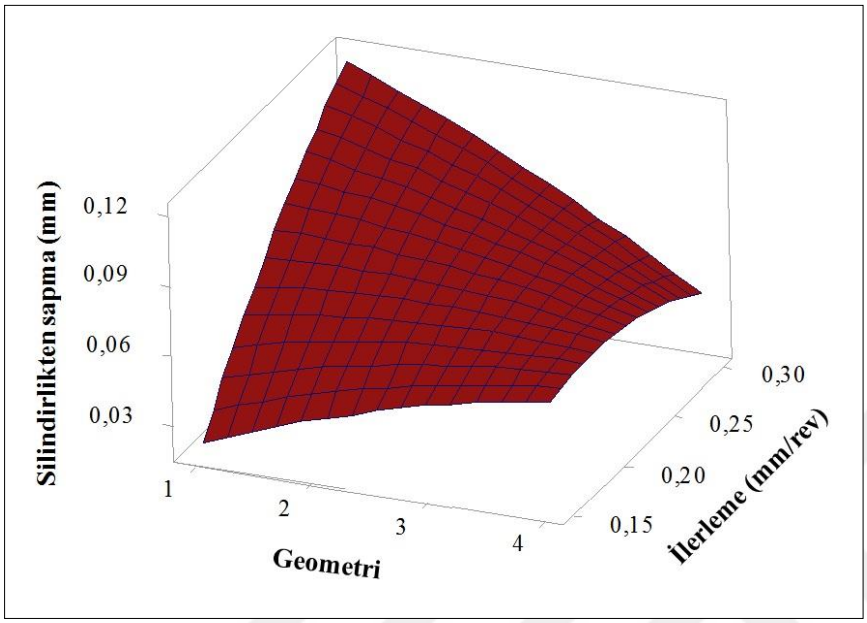
Grafikler incelendiğinde, göze çarpan ilk husus tüm şartlarda delik çaplarının anma çapından büyük elde edildiğidir. Grafikler genel olarak değerlendirildiğinde tüm grafiklerde kesme hızı ve ilerleme değerindeki artışa bağlı olarak çaptan sapma değerlerinde de artış olduğu görülmektedir. İlerleme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğünde olduğu gibi çaptan sapma değerlerinde de Geometri 4 diğer geometrilere göre düşük sapma değerleri ve arzu edilen delik anma çapı elde edilmesine olanak sağlamıştır. Bu durum takımın sahip olduğu geometrik formun ve kanal profilinin talaş tahliyesini kolaylaştırmasına atfedilebilir. Geometri sahip olduğu konstrüksiyon özellikleri sayesinde diğer matkaplara oranla daha iyi statik ve dinamik rijitlik sağlamış, böylelikle talaş kaldırma esnasında oluşabilecek titreşimleri ve salgıyı minimize etmiştir. Özellikle kuvvet, moment ve merkezleme yeteneği üzerinde önemli bir etkiye sahip olan matkap öz kalınlığının buradaki etkisi de belirleyici bir unsur olmuştur. Matkap uç noktasında ince tutulan öz kalınlığı matkabın sap kısmına doğru kalınlaşarak daha iyi merkezleme yeteneğine ve daha iyi talaş tahliyesine imkân sağlamıştır. Öz kalınlığının çok inceltilmesi veya çok kalınlaştırılması bu merkezlemeyi etkileyeceğinden dolayı Geometri 4'ün bu anlamda da ideal forma sahip olduğu rahatlıkla söylenebilir.

Silindiriklikten sapma (Eksenel kaçıklık), diklik, eşmerkezlilik

Bir deliğin geometrik toleransları değerlendirilirken önemli olan unsurlardan birisi de silindiriklikten sapma, bir diğer deyişle eksenel kaçıklıktır. Silindiriklikten sapma elde edilen deliğin giriş ve çıkış eksenleri arasında fark yaratarak silindirik formu olumsuz etkileyerek geometrik formun bozulmasına neden olur. Delik boyunun delik çapına oranla daha büyük olduğu uygulamalarda sapma değerindeki değişimin takibi daha da önem arz etmektedir.

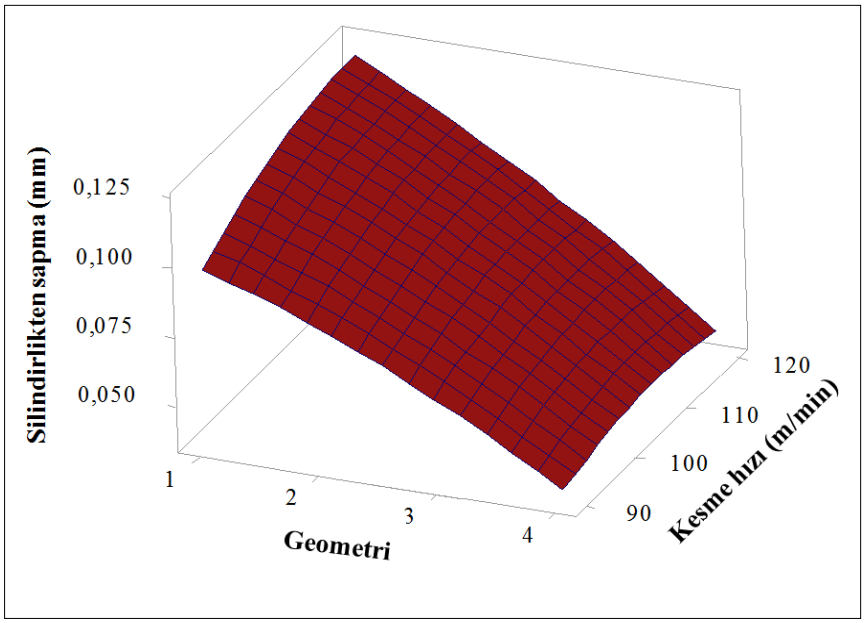
Şekil 6.21, Şekil 6.22, Şekil 6.23 ve Şekil 6.24'de silindiriklikten sapma, Şekil 6.25, Şekil 6.26, Şekil 6.27 ve Şekil 6.28'de diklik, Şekil 6.29, Şekil 6.30, Şekil 6.31 ve Şekil 6.32'de ise eşmerkezlilik ölçümleri esas alınarak elde edilen sonuçlar ve bu sonuçlara bağlı elde edilmiş grafikler görülmektedir. Grafiklere bakıldığında matkap geometrisi, ilerleme miktarı ve kesme hızına bağlı olarak silindiriklikten sapma, diklik ve eşmerkezlilik sonuçlarının delik kalitesi üzerinde benzer eğilimler sergilediği görülmektedir. Bu durum bu üç unsurun delik kalitesi üzerinde benzer şeyleri ifade ettiği ve delik kalitesi üzerinde benzer sonuçlar verdiğini göstermektedir. Silindiriklikten sapma esas alınarak yapılacak

bir değerlendirmenin eşmerkezlilik veya delik eksenlerinin diklik değerleri üzerinden de yorumlanabileceğini göstermektedir. Şekil 6.21'de Geometri ve ilerleme miktarına bağlı olarak silindiriklikten sapmadaki değişim görülmektedir.



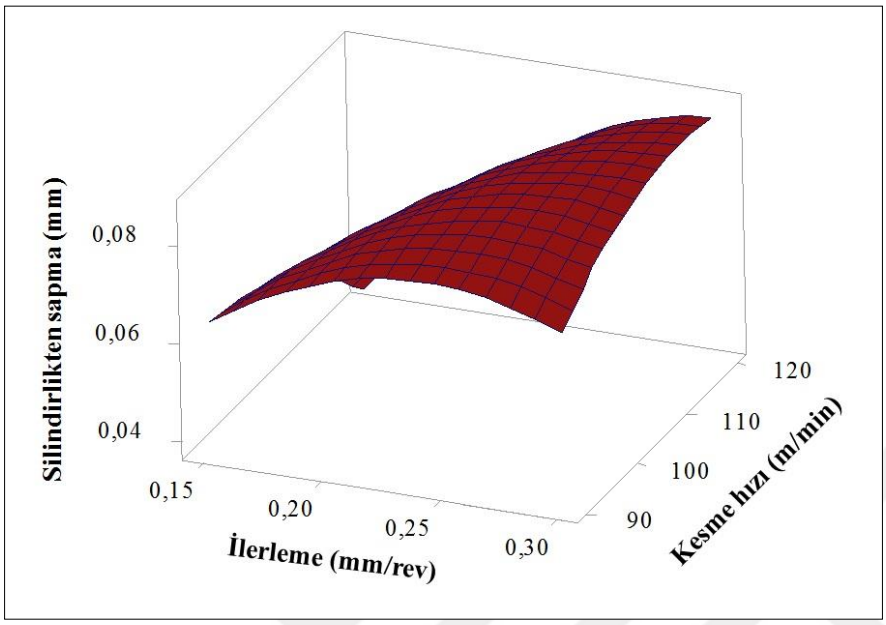
Şekil 6.21. Geometri ve ilerleme miktarına bağlı olarak silindiriklikten sapmadaki değişim

Şekil 6.22'de Geometri ve kesme hızına bağlı olarak silindiriklikten sapmadaki değişim görülmektedir.



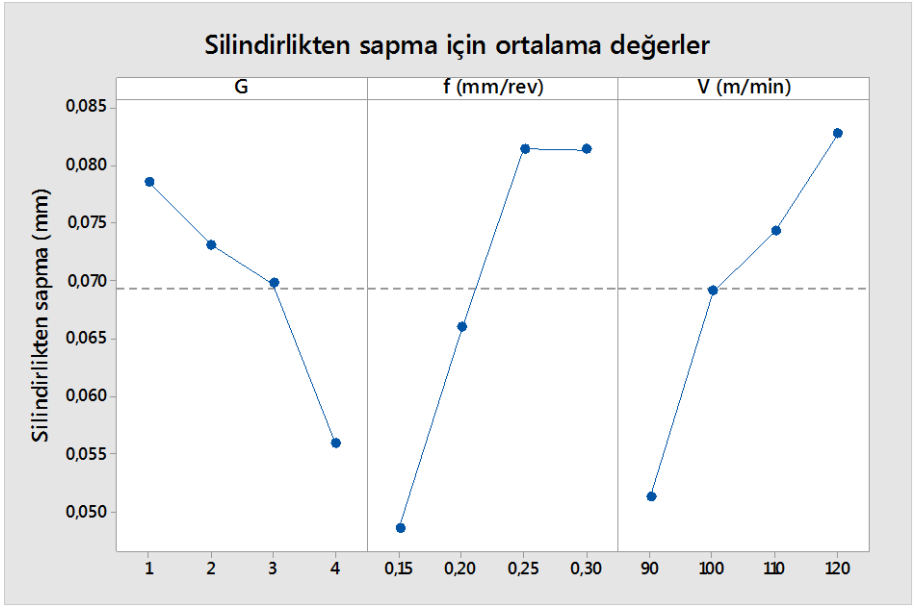
Şekil 6.22. Geometri ve kesme hızına bağlı olarak silindiriklikten sapmadaki değişim

Şekil 6.23'de İlerleme miktarı ve kesme hızına bağlı olarak silindiriklikten sapmadaki değişim görülmektedir.



Şekil 6.23. İlerleme miktarı ve kesme hızına bağlı olarak silindiriklikten sapmadaki değişim

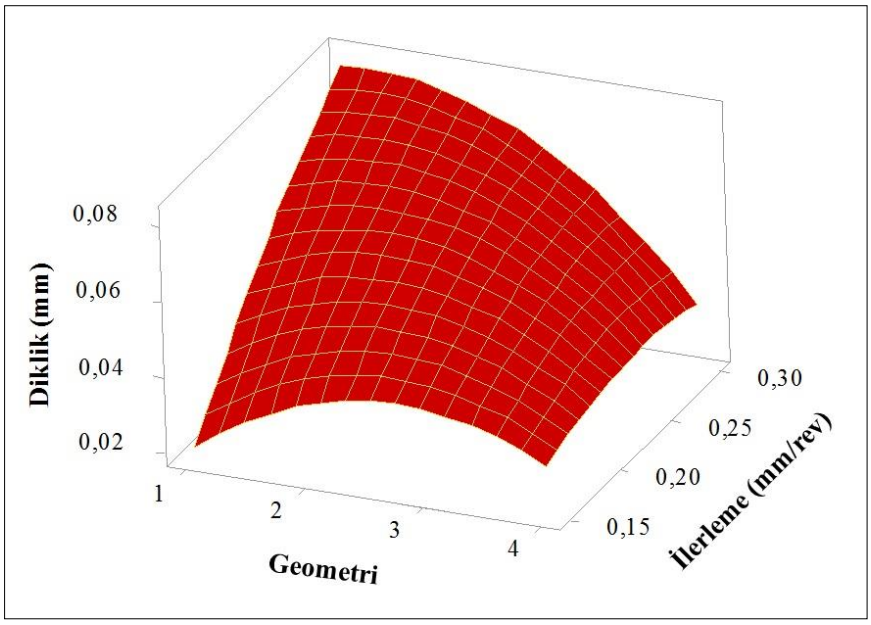
Silindiriklikten sapma üzerinde girdi parametrelerinin etkilerini daha açık bir biçimde göstermek için Taguchi analizinden elde edilen ortalama etki değerleri Şekil 6.24'de verilmiştir.



Şekil 6.24. Silindiriklikten sapma ortalama etki grafiği

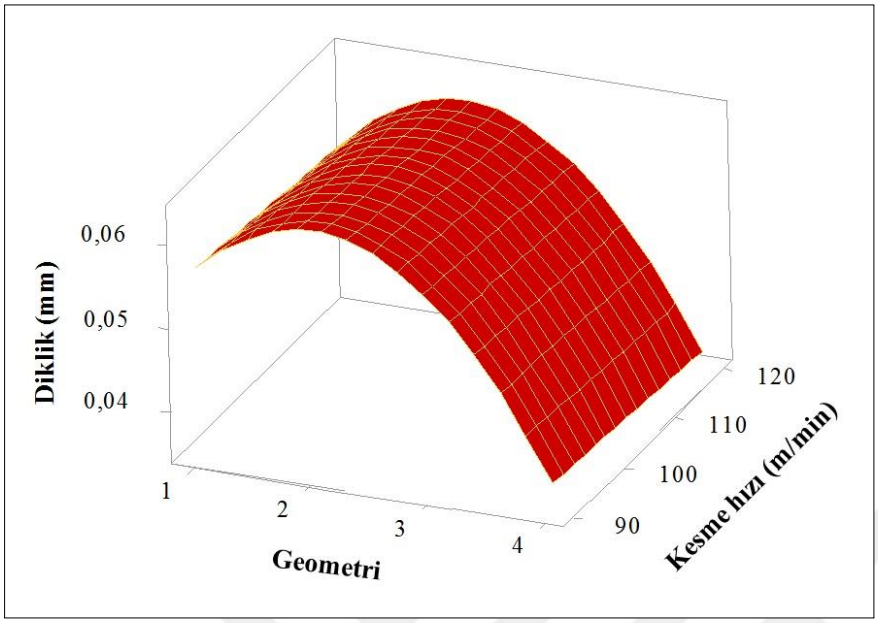
Grafikler genel olarak değerlendirildiğinde her dört geometri için de kesme hızı ve ilerleme miktarındaki artışla birlikte silindiriklikten sapma değerlerinde artış olduğu görülmektedir. Özgül kesme direnci yüksek olan AISI 4140 malzemenin delinmesi esnasında genel olarak yüksek ilerleme miktarı ve yüksek kesme hızları büyük eksenel kuvvetlerle sonuçlanmaktadır. Tezgâh ana mili üzerinde bir basınç oluşturan eksenel kuvvetin büyümesi ise ana mildeki sehimin artmasına neden olarak eksenel kaçıklığın büyümesine sebep olmaktadır [36]. Grafiklerden gözlenen en önemli detay yüksek ilerleme miktarında Geometri 4'ün sergilemiş olduğu düşük sapma değerlerinin elde edilmiş olmasıdır. Matkabın sahip olduğu kanal formu sayesinde kolaylaşan talaş tahliyesinin talaş sıkışmasını ve radyal kuvvetin büyümesini engellediği, sehim oluşumunu azaltarak sapma değerlerinde düşüş elde edilmesini sağladığı söylenebilir.

Silindiriklikten sapma değerlerinde gözlenen benzer eğilim diklik değerleri için de geçerli olup ilerleme miktarı ve kesme hızındaki artışla birlikte silindiriklikten sapma değerlerinde artış olduğu görülmektedir. Bu dört geometri içinde en düşük sapma değeri daha önce çaptan sapma ve silindiriklikten sapmada karşımıza çıktığı gibi Geometri 4'de oluşmuştur. Özellikle kesme hızının veya ilerleme miktarının minimum olduğu noktalarda sapma değeri en düşük seviyeye inmiştir. Şekil 6.25'de Geometri ve ilerleme miktarına bağlı olarak diklikteki değişimler görülmektedir.



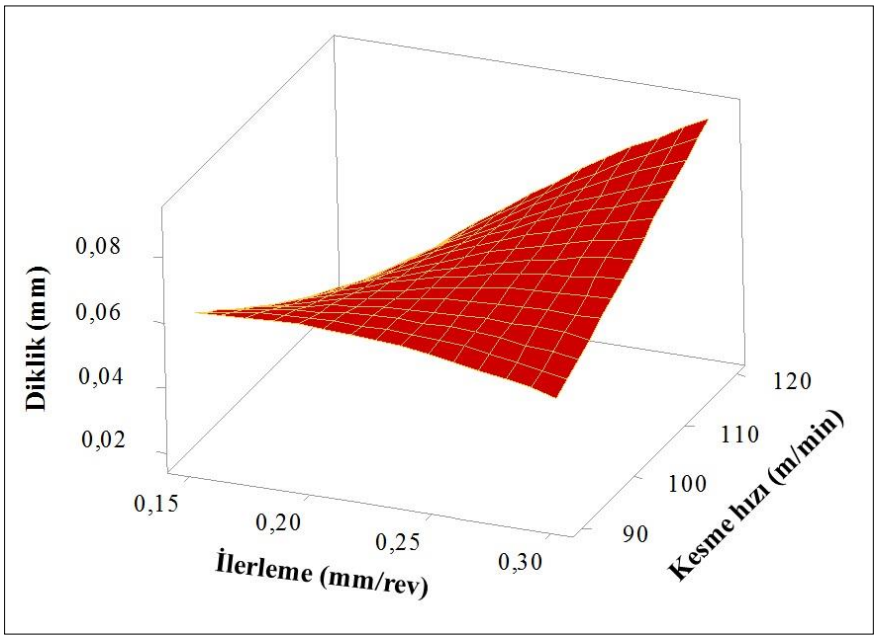
Şekil 6.25. Geometri ve ilerleme miktarına bağlı olarak diklikteki değişimler

Şekil 6.26'da Geometri ve kesme hızına bağlı olarak diklikteki değişimler görülmektedir.



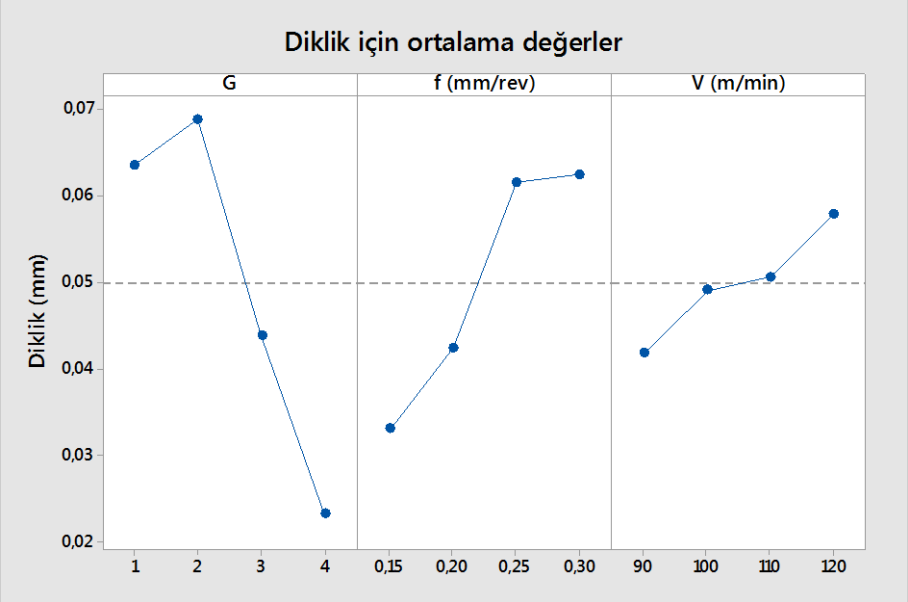
Şekil 6.26. Geometri ve kesme hızına bağlı olarak diklikteki değişimler

Şekil 6.27'de İlerleme miktarı ve kesme hızına bağlı olarak diklikteki değişimler görülmektedir.



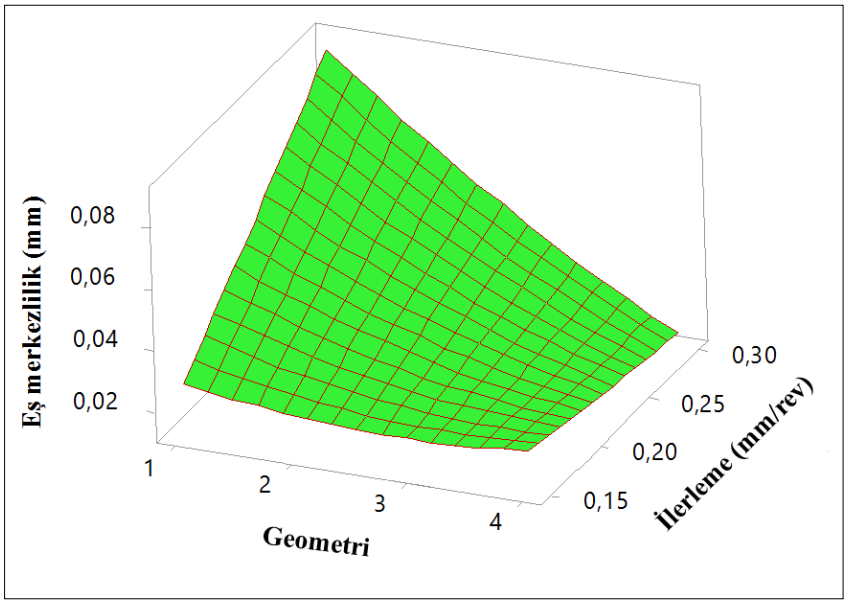
Şekil 6.27. İlerleme miktarı ve kesme hızına bağlı olarak diklikteki değişimler

Diklik üzerinde girdi parametrelerinin etkilerini daha açık bir biçimde göstermek için Taguchi analizinden elde edilen ortalama etki değerleri Şekil 6.28'de verilmiştir.



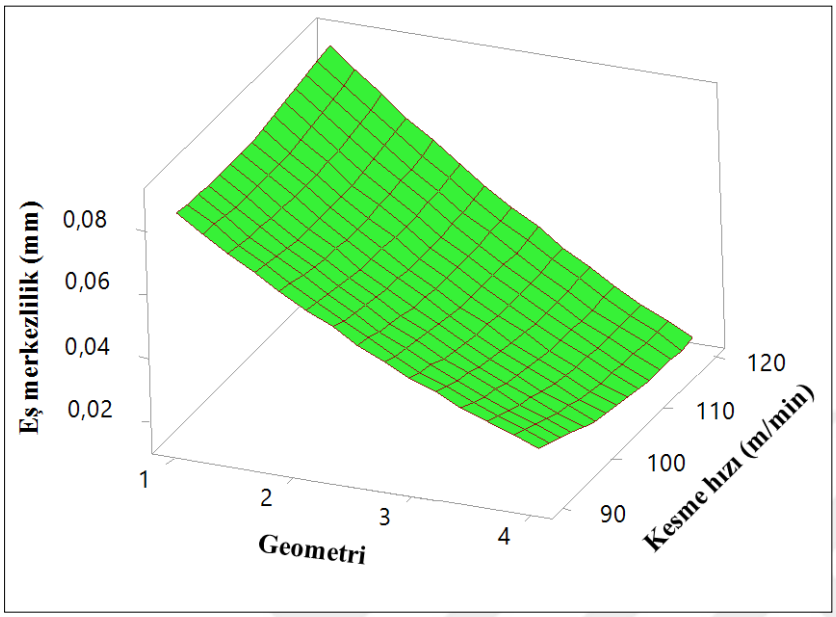
Şekil 6.28. Diklik ortalama etki grafiği

Silindiriklikten sapma ve diklik değerlerinde gözlenen benzer eğilimler eşmerkezlilik değerleri için de geçerli olup ilerleme miktarı ve kesme hızındaki artışla birlikte eş merkezlilikten sapma değerlerinde artış olduğu görülmektedir. Şekil 6.29'da Geometri ve ilerleme miktarına bağlı olarak eş merkezlilikten sapmadaki değişimler görülmektedir.



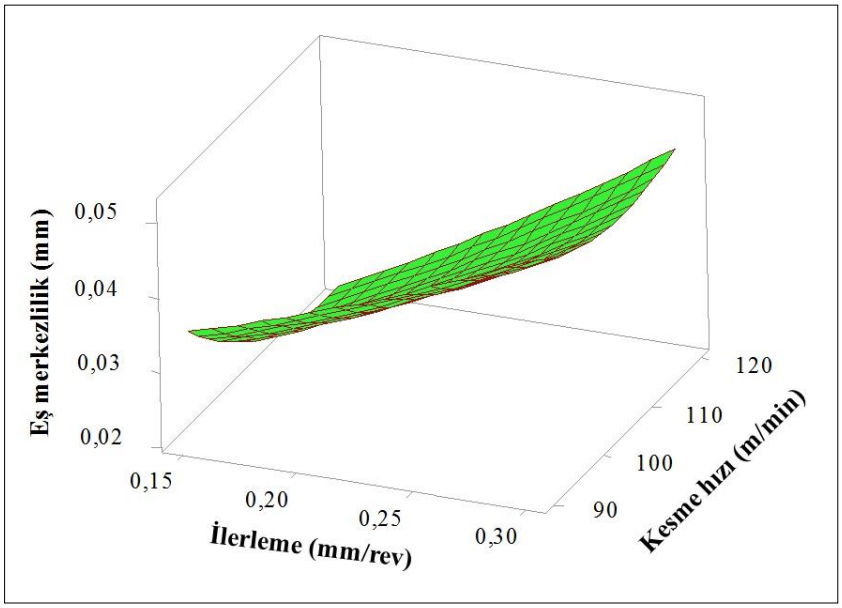
Şekil 6.29. Geometri ve ilerleme miktarına bağlı olarak eş merkezlilikten sapma

Şekil 6.30'da Geometri ve kesme hızına bağlı olarak eş merkezlilikten sapmadaki değişimler görülmektedir.



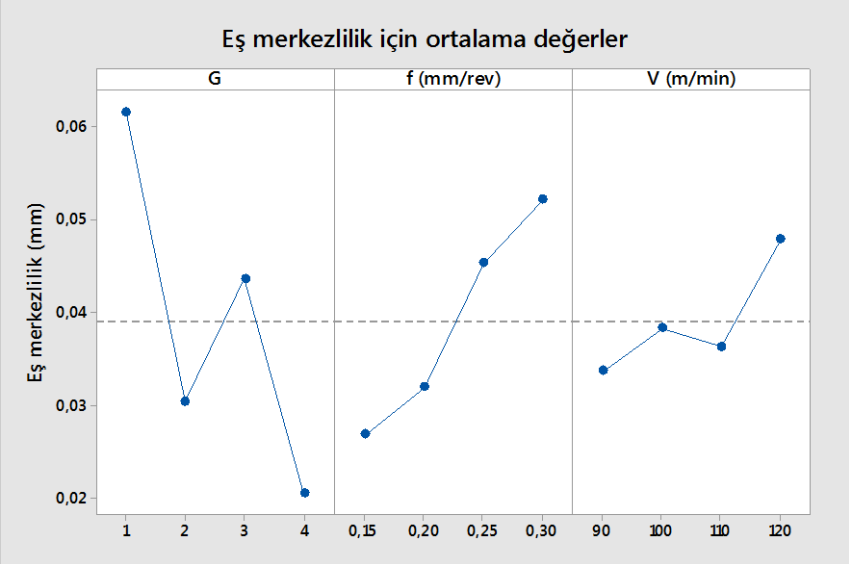
Şekil 6.30. Geometri ve kesme hızına bağlı olarak eş merkezlilikten sapma

Şekil 6.31'de İlerleme miktarı ve kesme hızına bağlı olarak eş merkezlilikten sapmadaki değişimler görülmektedir.



Şekil 6.31. İlerleme miktarı ve kesme hızına bağlı olarak eş merkezlilikten sapma

Eş merkezlilik üzerinde girdi parametrelerinin etkilerini daha açık bir biçimde göstermek için Taguchi analizinden elde edilen ortalama etki değerleri Şekil 6.32'de verilmiştir.



Şekil 6.32. Eş merkezlilik ortalama etki grafiği

6.2. İstatistiksel Analiz

6.2.1 Varyans analizi ve matematiksel modelleme

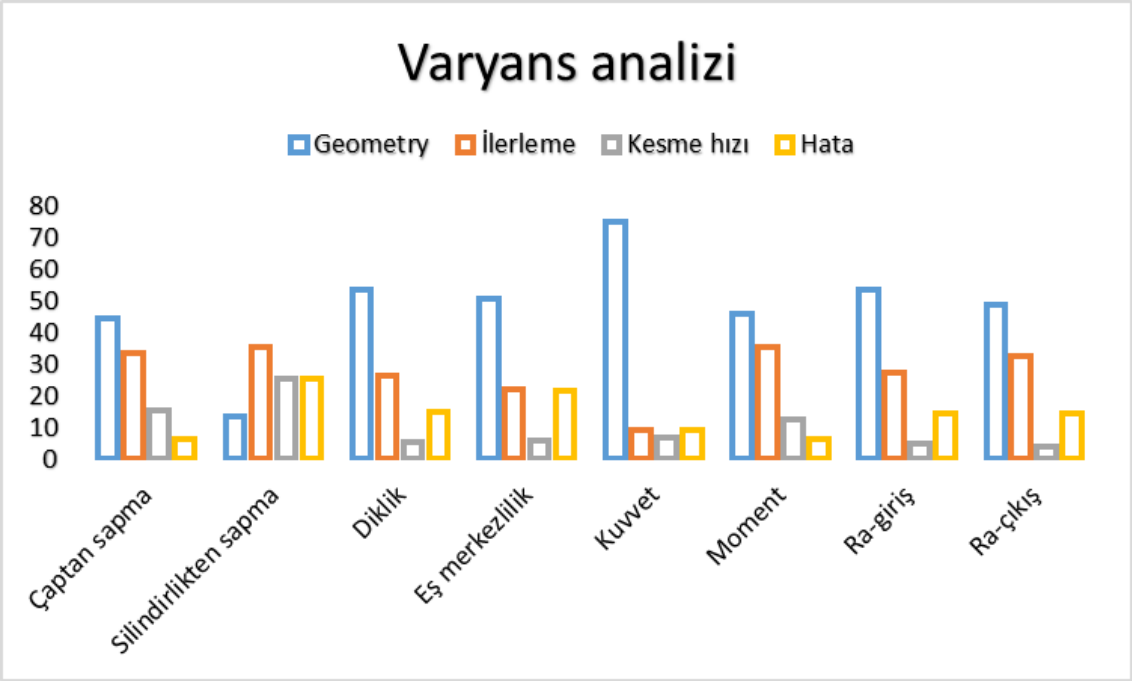
Varyans analizi için elde edilen sonuçlar Çizelge 6.2'de sunulmuştur. Ayrıca Çizelge 6.2'de elde edilen sonuçlar Şekil 6.33'de grafik olarak da verilmiştir.

Çizelge 6.2. Varyans analizi sonuçları

Faktör	Serbestlik derecesi, SD	Kareler Toplamı, KT	Kareler Ortalaması, KO	F oranı	P değeri	% Katkı
Çaptan sapma						
G	3	0,015710	0,005237	13,56	0,004	44,3
f	3	0,011965	0,003988	10,33	0,009	33,7
V	3	0,00548	0,001827	4,73	0,049	15,5
Hata	6	0,002317	0,000386			6,5
Toplam	15	0,035473				100
Silindirlikten sapma						
G	3	0,001120	0,000373	1,01	0,428	13,6
f	3	0,002920	0,000973	2,80	0,131	35,5
V	3	0,002112	0,000704	2,02	0,212	25,6

Çizelge 6.2. (devam) Varyans analizi sonuçları

Hata	6	0,002088	0,000348			25,3
Toplam	15	0,008240				100
Diklik						
G	3	0,005152	0,001717	7,18	0,021	53,5
f	3	0,002521	0,000840	3,51	0,089	26,1
V	3	0,000526	0,000175	0,73	0,569	5,5
Hata	6	0,001434	0,000239			14,9
Toplam	15	0,009633				100
Eş merkezlilik						
G	3	0,003759	0,001253	4,65	0,052	50,4
f	3	0,001633	0,000544	2,02	0,213	21,9
V	3	0,000451	0,000150	0,56	0,662	6
Hata	6	0,001617	0,000270			21,7
Toplam	15	0,0074461				100
Kuvvet						
G	3	3439212	1146404	16,71	0,003	74,9
f	3	420015	140005	2,04	0,210	9,1
V	3	321795	107265	1,56	0,293	7
Hata	6	411658	68610			9
Toplam	15	4592680				100
Moment						
G	3	759806	253269	14,52	0,004	46
f	3	582788	194263	11,14	0,007	35,3
V	3	205415	68472	3,93	0,073	12,4
Hata	6	104657	17443			6,3
Toplam	15	1652666				100
Yüzey pürüzlülüğü - giriş						
G	3	1,8427	0,61422	7,42	0,019	53,6
f	3	0,9343	0,31142	3,76	0,049	27,2
V	3	0,1618	0,05395	0,65	0,610	4,7
Hata	6	0,4964	0,08274			14,5
Toplam	15	3,4352				100
Yüzey pürüzlülüğü - çıkış						
G	3	2,0553	0,68510	6,69	0,024	48,7
f	3	1,3830	0,46098	4,50	0,046	32,7
V	3	0,1702	0,05673	0,55	0,664	4
Hata	6	0,6148	0,10246			14,6
Toplam	15	4,2232				100



Şekil 6.33. Varyans analizinin grafiksel gösterimi

Deney giriş parametrelerinin deney sonuçları üzerindeki % etkisini ve giriş parametrelerinin sonuçlar üzerindeki etkisinin istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını tespit etmek için yapılan ve Çizelge 6.2'de sunulan varyans analizi sonuçları içerisinde ilk olarak çaptan sapma sonuçları incelendiğinde; bu sonuç üzerindeki en etkili parametrenin %44,3 katkı oranı ile kesici geometrisi olduğu görülmüştür. Kesici geometrisinden sonra çaptan sapma üzerindeki en etkili parametreler ise %33,7 ile ilerleme ve %15,5 ile kesme hızı olduğu tespit edilmiştir. Anlamlılık göstergesi olan P değeri ise; regresyon analizine etki eden bağımsız değişkenlerin denklemde anlamlı olup olmadığını test etmektedir. Anlamlılık, $P<0,05$ olursa regresyon denkleminde bağımsız değişkenin bağımlı değişkene etkisinin olduğu sonucuna varılır [89]. Varyans analizinde kesici geometrisi, kesme hızı ve ilerleme için hesaplanan P değerleri 0,05'den küçük olduğu için tüm parametrelerin çaptan sapma sonucu üzerinde istatistiksel ve fiziksel öneme sahip olduğu tespit edilmiştir. Çizelge 6.2'de varyans analizi sonuçları incelendiğinde silindirlikten sapma sonuçları üzerindeki en etkili parametreler sırasıyla %35,5 ile ilerleme, %25,6 ile kesme hızı ve %16,6 ile kesici geometrisi olduğu bulunmuştur. Varyans analizinde kesici geometrisi, kesme hızı ve ilerleme için hesaplanan P değerleri 0,05'den büyük olduğu için tüm parametrelerin silindirlikten sapma sonucu üzerinde istatistiksel bir öneme sahip olmadığı sonucuna varılmıştır. AISI 4140 malzemenin farklı kesici geometrisine sahip matkaplar ile faklı kesme parametrelerinde delinmesinde delik geometrisinde ortaya çıkan diklik

sonuçları analiz edildiğinde en etkili parametrelerin sırasıyla %53,5 ile kesici geometrisi, %26,1 ile kesme hızı ve %5,5 ile ilerleme olduğu tespit edilmiştir. Diklik sonuçlarının P anlamlılık katsayıları incelendiğinde sadece kesici geometrisinin P<0,05' ten küçük olduğu (P=0,02) dolayısıyla bu parametrenin diklik üzerindeki etkisinin istatistiksel olarak da anlamlı olduğu görülmüştür. Elde edilen delik profillerinin eş merkezlilikleri varyans analizi ile incelendiğinde bu parametreyi etkileyen en önemli faktörün %50,4 ile kesici geometrisi olduğu bulunmuştur. Diğer etkili parametreler ise sırasıyla %21,9 ile ilerleme ve %6 ile kesme hızı olmuştur. Varyans analizinde kesici geometrisi, kesme hızı ve ilerleme için hesaplanan P değerleri 0,05'den büyük olduğu için tüm parametrelerin eş merkezlilik sonucu üzerinde istatistiksel bir öneme sahip olmadığı sonucuna varılmıştır. Çizelge 6.2'de verilen varyans analiz sonuçları incelendiğinde kuvvet üzerindeki en etkili parametreler sırasıyla %74,9 ile kesici geometrisi, %9,1 ile ilerleme ve %7 ile kesme hızıdır. P anlamlılık katsayısına bakıldığında kuvvet üzerinde sadece kesici geometrisi parametresinin istatistiksel olarak önemli olduğu görülmüştür. AISI 4140 malzemenin farklı kesici geometrisine sahip matkaplar ile faklı kesme parametrelerinde delinmesi esnasında oluşan moment sonuçları analiz edildiğinde moment üzerinde en etkili parametrelerin sırasıyla %46 ile kesici geometrisi, %35,3 ile ilerleme ve %12,4 ile kesme hızı olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca kesici geometrisi ve ilerlemenin moment üzerinde istatistiksel olarak anlamlı olduğu da tespit edilmiştir. AISI 4140 malzemesi üzerine delinen deliklerin matkap giriş ve çıkış noktalarında oluşan yüzey pürüzlülükleri değerleri için yapılan varyans analizi sonuçları birbirine benzerlik göstermiştir. Buna göre matkap giriş noktasında oluşan yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili parametrelerin sırasıyla %53,6 ile kesici geometrisi, %27,2 ile ilerleme ve %4,7 ile kesme hızı olmuştur. Aynı şekilde matkap çıkış noktasında oluşan yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili parametrelerin ise sırasıyla %48,7 ile kesici geometrisi, %32,7 ile ilerleme ve %4 ile kesme hızı olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca kesici geometrisi ve ilerlemenin yüzey pürüzlülüğü-giriş ve yüzey pürüzlülüğü-çıkış değerleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı olduğu ortaya çıkmıştır.

Bu bölümde deney giriş parametreleri ile deney sonuçları arasındaki neden sonuç ilişkisini ortaya koymak ve farklı giriş parametrelerinde de cevaplar elde etmek için ikinci dereceden çoklu regresyon analizi ile matematiksel denklemler elde edilmiştir. Bunun için yapılan çalışmada çaptan sapma, silindirlikten sapma, diklik, eş merkezlilik, kuvvet,

moment, Ra-giriş ve Ra-çıkış oluşmasında etkin faktörler arasındaki etkileşimden faydalanarak, bunların regresyon modeli aşağıda sunulmuştur.

Çaptan sapma için regresyon modeli (R^2=0,9885):

$$Çaptan\ sapma = -1{,}599 + 0{,}0198G + 4{,}103f + 0{,}02252V + 0{,}01380G * G - 1{,}712f * f - 0{,}000070V * V - 0{,}2066G * f - 0{,}000737G * V - 0{,}02348f * V \quad (6.1)$$

Silindirlikten sapma için regresyon modeli (R^2=0,9374):

$$Silindiriklikten\ sapma = -0{,}303 + 0{,}0890G + 0{,}747f + 0{,}00343V - 0{,}00212G * G - 1{,}745f * f - 0{,}000024V * V - 0{,}2608G * f - 0{,}000219G * V + 0{,}00836f * V \quad (6.2)$$

Diklik için regresyon modeli (R^2=0,9202):

$$Diklik = 0{,}313 + 0{,}0543G + 1{,}005f + 0{,}00418V - 0{,}00647G * G - 0{,}85f * f - 0{,}000000V * V - 0{,}1272G * f - 0{,}000003G * V + 0{,}01828f * V \quad (6.3)$$

Eş merkezlilik için regresyon modeli (R^2=0,7611):

$$Eşmerkezlilik = 0{,}175 + 0{,}0362G + 0{,}25f - 0{,}0038V + 0{,}00203G * G + 0{,}17f * f + 0{,}000017V * V - 0{,}156G * f - 0{,}000202G * V - 0{,}0020f * V \quad (6.4)$$

Kuvvet için regresyon modeli (R^2=0,7707):

$$Kuvvet = -5001 + 1253G + 31647f + 34V - 189G * G - 31834f * f - 0{,}10V * V - 2366G * f + 1{,}5G * V - 82f * V \quad (6.5)$$

Moment için regresyon modeli (R^2=0,7949):

$$Moment = 45 + 215G + 17647f - 30V - 13{,}2G * G + 16332f * f + 0{,}370V * V + 313G * f - 2{,}3G * V - 218f * V \quad (6.6)$$

Ra-giriş için regresyon modeli (R^2=0,7486):

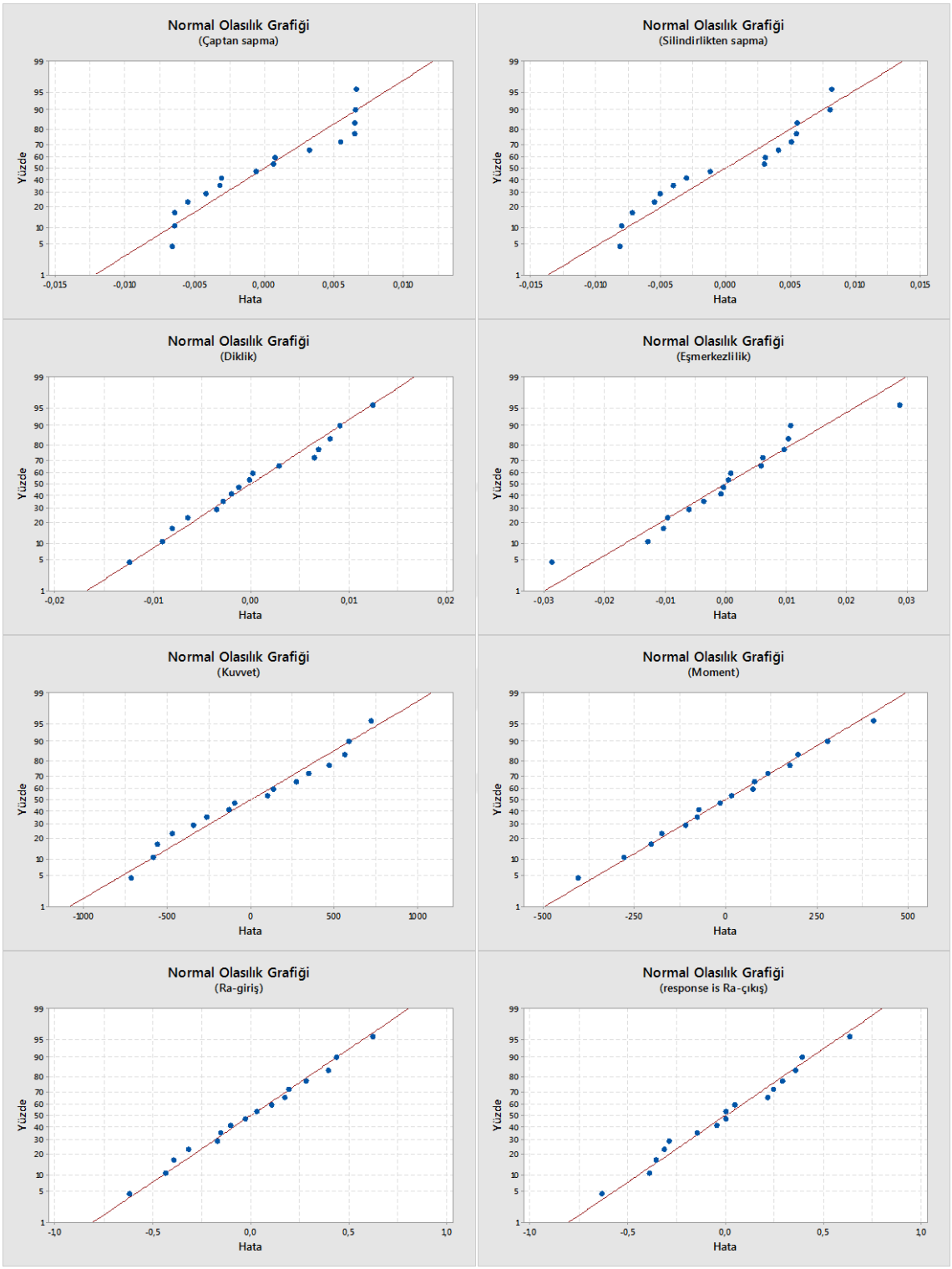
$$\text{Ra giriş} = 3{,}7 - 0{,}24G + 33{,}9f - 0{,}120V + 0{,}016G * G - 14{,}1f * f + 0{,}00077V * V - 0{,}74G * f + 0{,}007G * V - 0{,}203f * V \quad (6.7)$$

Ra-çıkış için regresyon modeli (R^2=0,7812):

$$\text{Ra çıkış} = -0{,}2 + 0{,}33G + 45{,}9f - 0{,}081V + 0{,}026G * G - 18{,}7f * f + 0{,}00072V * V - 1{,}59G * f - 0{,}0040G * V - 0{,}277f * V \quad (6.8)$$

Analizler sonucu elde edilen belirtme katsayısı (R^2) olarak bilinen bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkeni açıklama oranı ise; modeldeki açıklama miktarının açıklanamayan miktara olan oranıdır. Regresyon sonuçlarında belirtme katsayısı 1'e yakın bulunursa bağımlı değişkendeki değişimin büyük bir kısmı bağımsız değişken tarafından açıklanabilmektedir. R^2 1'e yaklaştıkça; bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi ifade eden regresyon modelinin, istatistiksel olarak reel ilişkiye yakınlığının arttığı kabul edilmektedir. R^2'nin 0.80 ve üzeri olması; kuvvetli ilişki olarak kabul edilmekle beraber, % 50 - % 75 arası orta seviyeli ilişki derecesi olarak sayılmaktadır. Bu durumda, modellenen istatistiksel regresyonlar (Denklem 1-8) incelendiğinde, kabul edilebilir sınırlarda olduğu görülmektedir.

Modellerin güvenirliliğini grafiksel olarak kontrol etmek için kullanılan diğer bir yöntem ise normal olasılık grafiği olmuştur. Normal olasılık grafiğinde gerçek deney sonuçları ile tahmin edilen sonuçlar arasındaki hatalar nokta şeklinde gösterilmektedir. Eğer bu noktalar grafikte verilen eğrinin üzerinde veya eğriye yakın ise modelin uygun olduğu anlaşılmaktadır. Bu çalışmada 8 farklı cevap için elde edilen normal olasılık grafikleri Şekil 6.34'de verilmiştir. Grafikler incelendiğinde hataların eğri etrafında normal olarak dağılım gösterdiği görülmektedir. Dolayısıyla grafiksel yöntemde de modellerin uygunluğu ortaya çıkarılmıştır.



Şekil 6.34. Elde edilen normal olasılık grafikleri

6.2.2. S/G Analizi

Bu araştırmada yapılan deneysel çalışmada elde edilecek çıktılar olan çaptan sapma, silindirlikten sapma, diklik, eşmerkezlilik, kuvvet, moment, Ra-giriş ve Ra-çıkış

sonuçlarının tamamı için en düşük değerlerin elde edilmesi hedeflendiğinden dolayı deneylerin analizinde "en düşük değer en iyidir" yaklaşımına göre hesaplanan sinyal/gürültü oranı kullanılacaktır. Bu yaklaşıma göre S/G oranlarının hesaplanmasında kullanılan denklem aşağıda verilmiştir [102].

$$S/G_{en\ küçük\ en\ iyi} = -10 \cdot \log \frac{1}{n}[\sum_{i=1}^{n} y^2] \quad (6.9)$$

Bu denklemde, y mevcut deney şartında elde edilen deney sonucunu, n ise test sayısını ifade etmektedir. Bu tezde ölçülen sonuçlar için eşitlik 1 kullanılarak elde edilen S/G sonuçları Çizelge 6.3'de verilmiştir.

Çizelge 6.3. S/G oranları

Test no	Deney giriş parametreleri			S/G oranları							
	G	f	V	Çaptan sapma	Silindirlikten sapma	Diklik	Eş merkezlilik	Kuvvet	Moment	Ra-giriş	Ra-çıkış
1	1	0,15	90	25,352	31,028	27,782	28,383	-62,554	−55,347	-0,663	-0,240
2	1	0,20	100	16,142	23,120	26,988	28,239	-64,702	-56,089	-0,699	-1,081
3	1	0,25	110	14,284	20,897	23,113	23,113	-65,163	-56,810	-4,464	-6,431
4	1	0,30	120	13,555	17,994	20,127	20,035	-67,622	-59,405	-5,629	-6,887
5	2	0,15	100	25,135	25,226	27,148	31,978	-62,008	-52,879	3,681	3,142
6	2	0,20	90	24,358	23,626	23,211	30,071	-62,874	-52,640	3,453	1,623
7	2	0,25	120	19,079	21,714	21,236	28,636	-63,660	-53,965	0,972	-0,593
8	2	0,30	110	17,729	20,956	22,425	30,972	-63,307	-53,472	3,108	1,461
9	3	0,15	110	23,622	25,221	29,798	32,362	-66,470	-56,262	5,393	3,204
10	3	0,20	120	22,107	23,622	30,122	29,209	-68,205	-58,184	-2,749	-3,338
11	3	0,25	90	21,647	21,948	26,591	25,942	-68,386	-62,351	-4,375	-4,715
12	3	0,30	100	19,666	22,100	23,741	23,669	-68,707	-63,627	-5,119	-5,593
13	4	0,15	120	24,082	24,938	36,321	33,900	-62,225	-54,219	5,199	3,575
14	4	0,20	110	22,950	24,101	32,136	32,629	-63,323	-55,513	3,184	3,049
15	4	0,25	100	21,992	22,701	27,385	32,395	-64,511	-57,164	3,670	2,111
16	4	0,30	90	21,660	30,122	39,613	36,373	-59,32	-61,851	0,945	-0,176

S/G analizinde bir sonraki safhada her giriş parametresinin her seviyedeki etkisinin belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için Çizelge 6.3'de hesaplanan S/G analizinin ortalaması her giriş parametresinin her bir seviyesi için ayrı ayrı hesaplanır. Örneğin ilerleme oranının 0,20 mm/rev olduğu ikinci seviyeye ait S/G oranını hesaplamak için 2, 6, 10 ve 14 numaralı deneyler için hesaplanan oranların ortalaması alınır. Çizelge 6.4'de tüm

faktörler ve seviyeler için bu şekilde hesaplanmış ortalama S/G oranları verilmiştir. Bunların yanı sıra her bir sonuç için yapılan toplam 16 deney sonucu için hesaplanan S/G oranlarının ortalaması denklem 6.10 yardımıyla hesaplanmıştır [7].

$$dB_{ort} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^{n} y_i \tag{6.10}$$

Buna göre ortalamam S/G oranı çaptan sapma için 20,835 dB, silindirlikten sapma için 23,707 dB, diklik için 27,359 dB, eş merkezlilik için 29,244 dB, kuvvet için -64,565 dB, moment için -56,861 dB, Ra-giriş için 0,369 dB ve Ra-çıkış için -0,680 dB olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 6.4. S/N oranları ve sonuçların ortalaması

Çaptan sapma						
Seviye	S/G ortalamaları (dB)			Sonuçların ortalaması		
	G	f	V	G	F	V
1	17,33	24,55	23,25	0,15325	0,05944	0,06997
2	21,58	21,39	20,73	0,08924	0,09153	0,09867
3	21,76	19,25	19,65	0,08275	0,11662	0,11502
4	22,67	18,15	19,71	0,07930	0,13159	0,11553
Fark	5,34	6,39	3,61	0,07930	0,07215	0,04557
Sıralama	2	1	3	1	2	3
Silindirlikten sapma						
Seviye	G	f	V	G	f	V
1	23,26	26,60	26,68	0,07852	0,04858	0,05126
2	22,88	23,62	23,29	0,07308	0,06599	0,06910
3	23,22	21,82	22,79	0,06979	0,08136	0,07423
	25,47	22,79	22,07	0,05586	0,08131	0,08265
Fark	2,58	4,79	4,61	0,02265	0,03278	0,03139
Sıralama	3	1	2	3	1	2

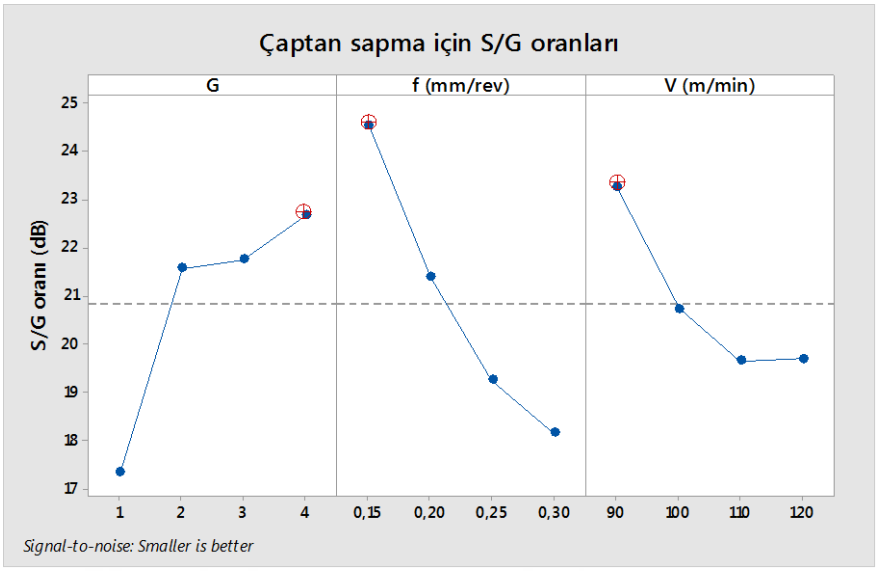
Çizelge 6.4. (devam) S/N oranları ve sonuçların ortalaması

Diklik						
Seviye	G	f	V	G	f	V
1	24,50	30,26	29,30	0,06349	0,03309	0,04180
2	23,51	28,11	26,32	0,06884	0,04243	0,04909
3	27,56	24,58	26,87	0,04384	0,06154	0,05065
4	33,86	26,48	26,95	0,02330	0,06241	0,05793
Fark	10,36	5,68	2,98	0,04555	0,02932	0,01614
Sıralama	1	2	3	1	2	3
Eş merkezlilik						
Seviye	G	f	V	G	f	V
1	24,94	31,66	30,19	0,06157	0,02689	0,03377
2	30,41	30,04	29,07	0,03045	0,03202	0,03836
3	27,80	27,52	29,77	0,04368	004533	0,03640
4	33,82	27,76	27,95	0,02068	0,05215	0,04785
Fark	8,88	4,13	2,25	0,04089	0,02526	0,01408
Sıralama	1	2	3	1	2	3
Kuvvet						
Seviye	G	f	V	G	f	V
1	-65,01	−63,31	-63,28	1819	1500	1571
2	-62,96	-64,78	-64,98	1410	1787	1846
3	-67,94	-65,43	-64,57	2507	1911	1712
4	-62,35	-64,74	-65,43	1341	1880	1948
Fark	5,60	2,12	2,14	1166	411	377
Sıralama	1	3	2	1	2	3
Moment						
Seviye	G	f	V	G	f	V
1	-56,91	-54,68	-58,05	712,3	547,5	890,6
2	-53,24	-55,61	-57,44	460,0	618,5	829,4
3	-60,11	-57,57	-55,51	1072,72	806,1	602,8
4	-57,19	-59,59	-56,44	767,4	1040,4	689,6
Fark	6,87	4,91	2,53	612,8	492,8	287,8
Sıralama	1	2	3	1	2	3

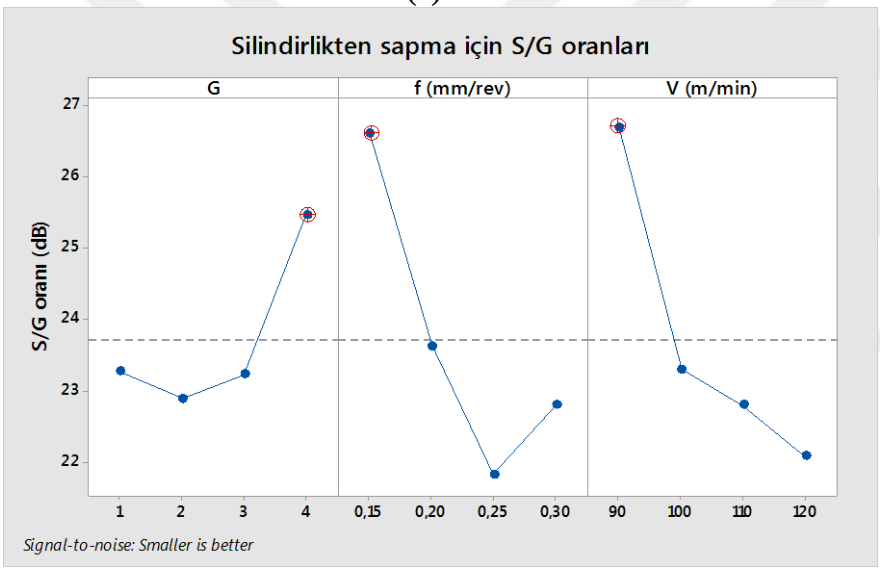
Çizelge 6.4. (devam) S/N oranları ve sonuçların ortalaması

Ra-giriş						
Seviye	G	f	V	G	f	V
1	-2,8641	3,4027	-0,1601	1,4368	0,7052	1,0758
2	2,8039	0,7972	0,3831	0,7299	0,9553	1,0492
3	-1,7132	-1,0494	1,8053	1,3420	1,2191	0,9004
4	3,2499	-1,6741	-0,5519	0,6987	1,3278	1,1820
Fark	6,1140	5,0768	2,3572	0,6987	1,3278	1,1820
Sıralama	1	2	3	0,7380	0,6225	0,2816
Ra-çıkış						
Seviye	G	f	V	G	f	V
1	-3,66039	2,42048	-0,87742	1,6169	0,7696	1,1498
2	1,40819	0,06323	-0,35516	0,8605	1,0337	1,1293
3	-2,61076	-2,40737	0,32086	1,4463	1,4182	1,0844
4	2,14009	-2,79921	-1,81114	0,7928	1,4949	1,3530
Fark	5,80048	5,21969	2,13200	0,8241	0,7253	0,2686
Sıralama	1	2	3	1	2	3

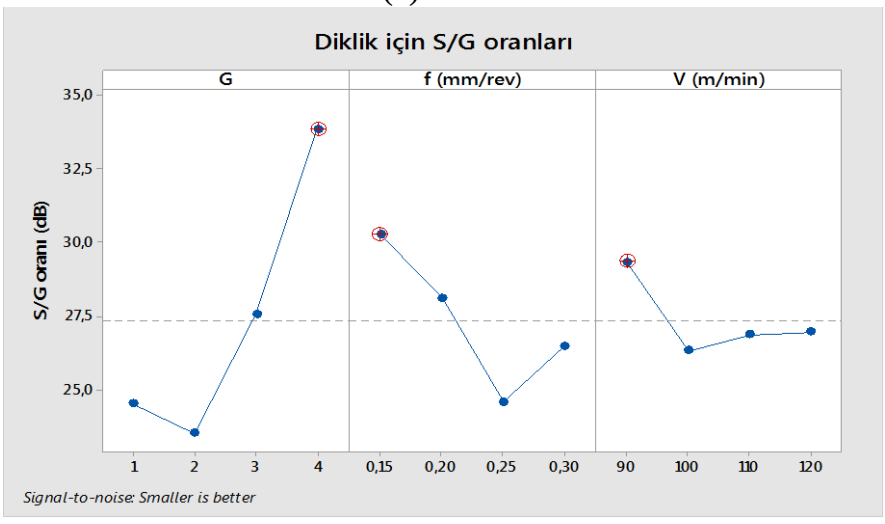
Bütün bu hesaplamalar sonucunda her faktör için belirlenen en yüksek S/G oranı en iyi deney sonucuna, yani bütün deney sonuçlarının en düşük olduğu deney sonucuna işaret eder. Çizelge 6.4'de verilen S/G ve deney sonuçlarının ortalamaları her faktör ve deney sonucu için Şekil 6.35'de ayrı ayrı grafik halinde de gösterilmişlerdir. Bu grafiklerde her bir deney sonucu için en iyi delme parametrelerini verilen seviyeler ayrıca belirtilmiştir.



(a)

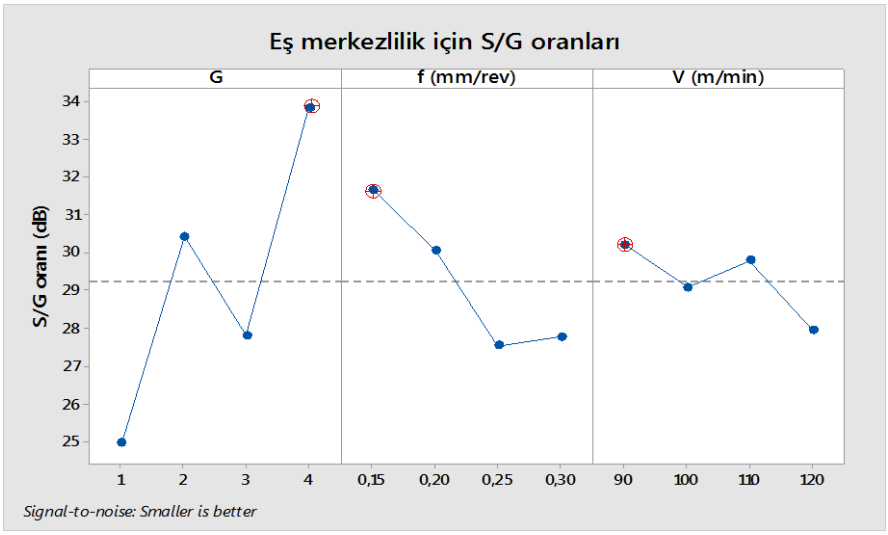


(b)

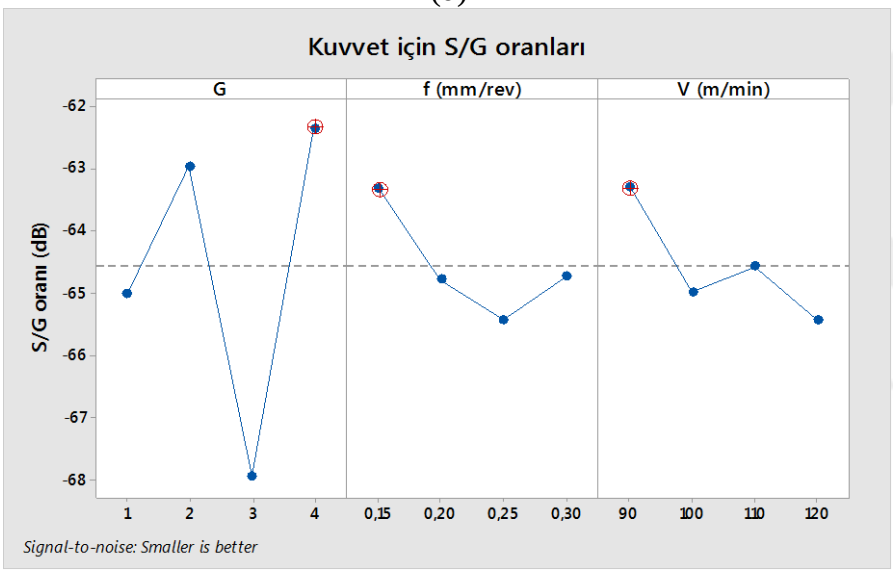


(c)

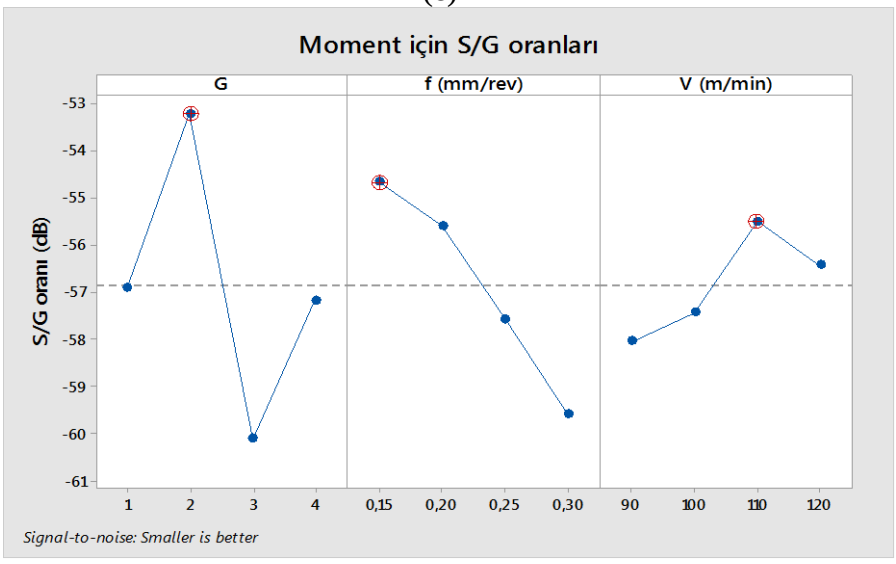
Şekil 6.35. S/G oranları ve ortalamalar grafiği a) çaptan sapma b) silindirlikten sapma c) diklik d) eşmerkezlilik e) kuvvet f) moment g) Ra-giriş h) Ra-çıkış



(d)

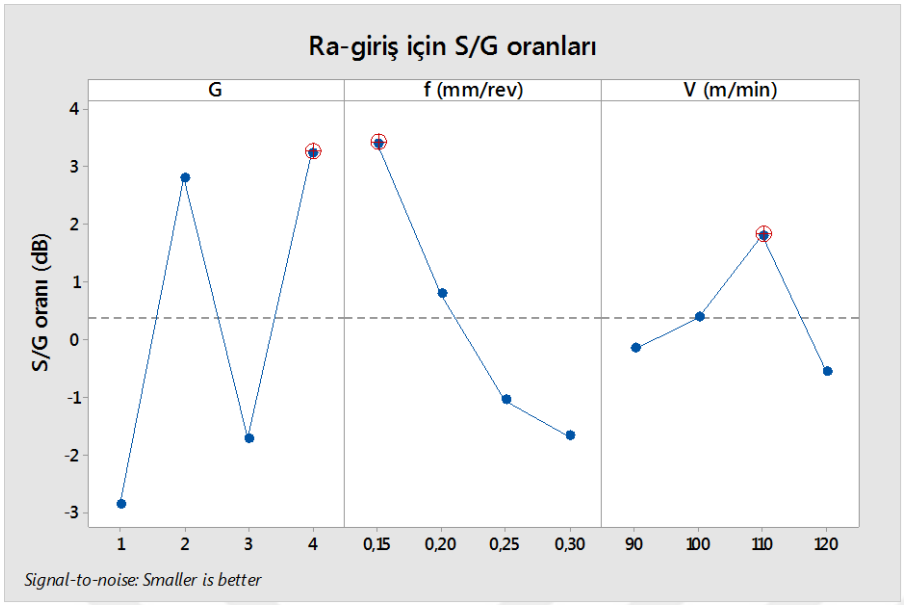


(e)

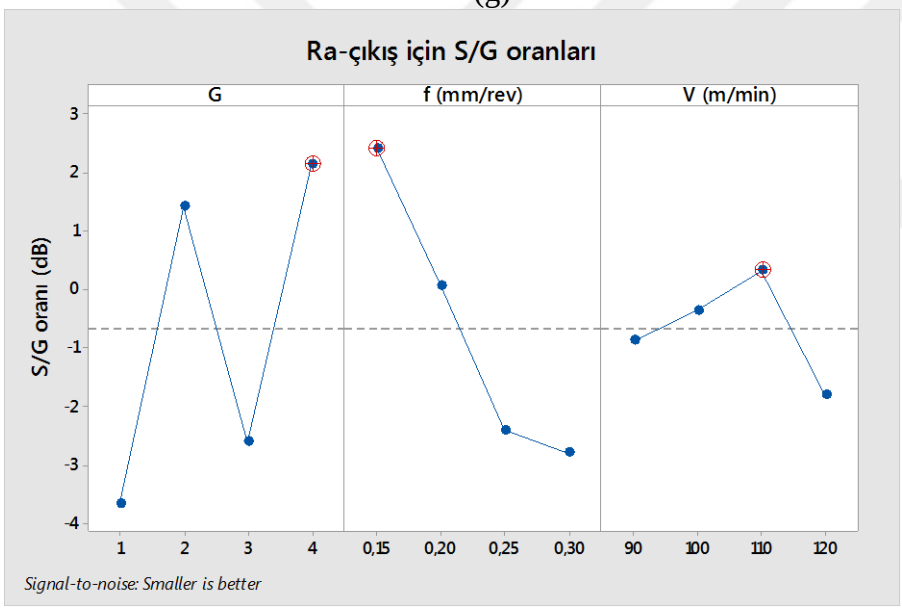


(f)

Şekil 6.35. (devam) S/G oranları ve ortalamalar grafiği a) çaptan sapma b) silindirlikten sapma c) diklik d) eşmerkezlilik e) kuvvet f) moment g) Ra-giriş h) Ra-çıkış



(g)



(h)

Şekil 6.35. (devam) S/G oranları ve ortalamalar grafiği a) çaptan sapma b) silindirlikten sapma c) diklik d) eşmerkezlilik e) kuvvet f) moment g) Ra-giriş h) Ra-çıkış

Şekil 6.35'deki grafiklerde de görüldüğü gibi herbir faktör için S/G oranının en yüksek olduğu noktalar çıktı parametresi için optimum seviyelerdir. Ayrıca S/G oranları kullanılarak belirlenen bu optimum nokta için beklenilen çıktıların değerinide hesaplamak mümkündür. Her faktör için belirlenen optimum seviye için hesaplanan ortalama S/G oranı değeri ve toplam ortalama S/G oranı değeri kullanılarak denklem 6.11 yardımı ile hesaplama yapıldığında bu şartlar aldında hesaplanan en iyi sonuçlar Çizelge 6.5'da toplu olarak verilmiştir.

$$\check{n} = n_m + \sum_{i=1}^{j} (n_i - n_m) \qquad (6.11)$$

Çizelge 6.5. Optimum seviyeler ve değerleri

	Optimum Seviyeler				Optimum Seviyeler		
Çaptan sapma	Faktör	Seviye	Değer	Kuvvet	Faktör	Seviye	Değer
	G	4	4		G	4	4
	f	1	0,15		f	1	0,15
	v	1	90		v	1	90
	Optimum S/G oranı		28,8030		Optimum S/G oranı		-59,8134
	Optimum değer		0,0037651		Optimum değer		873,506
Silindirlikten sapma	Faktör	Seviye	Değer	Moment	Faktör	Seviye	Değer
	G	4	4		G	2	2
	f	1	0,15		f	1	0,15
	v	1	90		v	3	110
	Optimum S/G oranı		31,3356		Optimum S/G oranı		-49,7079
	Optimum değer		0,0170864		Optimum değer		104,077
Diklik	Faktör	Seviye	Değer	Ra-giriş	Faktör	Seviye	Değer
	G	4	4		G	4	4
	f	1	0,15		f	1	0,15
	v	1	90		v	3	110
	Optimum S/G oranı		38,7092		Optimum S/G oranı		7,71970
	Optimum değer		0,01		Optimum değer		0,200659
Eş merkezlilik	Faktör	Seviye	Değer	Ra-çıkış	Faktör	Seviye	Değer
	G	4	4		G	4	4
	f	1	0,15		f	1	0,15
	v	1	90		v	3	110
	Optimum S/G oranı		37,1846		Optimum S/G oranı		6,24287
	Optimum değer		0,0031469		Optimum değer		0,288580

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, özgün kanal geometrisine sahip matkap uç tasarımı yapılmış ve tasarlanan geometrilere sahip matkap uçları başarılı bir şekilde üretilmiştir. Deneysel çalışmalar sonucu geliştirilen özgün kanal geometrisine sahip matkap uçları, piyasada ticari olarak satışa sunulan matkap uçları ile AISI 4140 malzeme üzerinde delik delme işlemine tabi tutularak kıyaslamaları yapılmıştır. Deneysel çalışmalardan elde edilen aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

Geliştirilen özgün matkap geometrisi olan Geometri 3 ile delme esnasında karşılaşılan olumsuzluklar dikkate alınarak yapılan geometri düzeltilmesiyle geliştirilen Geometri 4, diğer geometrilere (Geometri 1 ve Geometri 2) kuvvet ve yüzey pürüzlülükleri açısından üstünlük sağlamıştır. Geliştirilen bu özgün geometri (Geometri 4) için;

- AISI 4140 malzemesinin delinmesinde, kesme kuvvetleri ve enerji tüketimi açısından genel olarak uygulanabilir parametreler; "V=90 m/dak, f=0,15 mm/dev" olarak belirlenmiştir.
- Yüzey pürüzlülüğünün öne çıktığı uygulamalar açısından ise, hem giriş tarafında hem de çıkış tarafında daha iyi yüzey kalitesi elde etmek için bu parametrelerin; "V=100 m/dak, f=0,15 mm/dev" olarak uygulanması tavsiye edilir.
- Verimlilik beklentisinin yüksek olduğu uygulamalarda; AISI 4140 malzeme için "V=120 m/dak, f=0,20 mm/dev" parametrelerinin kullanımıyla dahi başarılı sonuçlar alınacağı tespit edilmiştir.

Tüm matkaplar için genel değerlendirme yapıldığında ise;

- Deneylerin tamamında ilerleme miktarı arttıkça ilerleme kuvvetlerinde de bir artış görülmüştür.
- İlerleme miktarının, ilerleme kuvvetleri üzerindeki etkisinin kesme hızına göre daha yüksek olması sebebiyle, düşük ilerleme hızlarında düşük ilerleme kuvveti değerleri elde edilmiştir.
- Varyans analiz sonuçları incelendiğinde kuvvet üzerindeki en etkili parametreler sırasıyla %74,9 ile kesici geometrisi, %9,1 ile ilerleme ve %7 ile kesme hızıdır.
- Her dört geometri içinde kesme hızındaki artışla moment değerlerinde düşüş olduğu, artan ilerleme ile ise kuvvetlerde ciddi bir artışın olduğu görülmüştür. İlerleme

kuvvetlerinde olduğu gibi kesme hızındaki artışla moment değerlerindeki düşüşün, kesme bölgesinde oluşan yüksek sıcaklıkların iş parçası malzemesinin akma mukavemetini düşürmesinden kaynaklandığı söylenebilir.

- İlerleme kuvvetlerinde olduğu gibi kesici takım geometrisinin ve ilerleme miktarının momentler üzerinde de en etkili parametreler olduğu söylenebilir.
- AISI 4140 malzemenin farklı kesici geometrisine sahip matkaplar ile faklı kesme parametrelerinde delinmesi esnasında oluşan moment sonuçları analiz edildiğinde moment üzerinde en etkili parametrelerin sırasıyla %46 ile kesici geometrisi, %35,3 ile ilerleme ve %12,4 ile kesme hızı olduğu tespit edilmiştir.
- Giriş ve çıkış yüzey pürüzlülüklerine ait grafikler incelendiğinde her dört geometri için de, yüzey kalitesinin bir delme işleminden beklenen yüzey pürüzlülüğü değerlerinin altında olduğu ve delme işlemi için dört geometride de tatminkâr yüzey kalitelerinin elde edildiği söylenebilir.
- Matkap giriş noktasında oluşan yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili parametrelerin sırasıyla %53,6 ile kesici geometrisi, %27,2 ile ilerleme ve %4,7 ile kesme hızı olmuştur. Aynı şekilde matkap çıkış noktasında oluşan yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili parametrelerin ise sırasıyla %48,7 ile kesici geometrisi, %32,7 ile ilerleme ve %4 ile kesme hızı olduğu tespit edilmiştir.
- Ölçülen ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin artan kesme hızı ile azaldığı, artan ilerleme değerlerine bağlı olarak ise artığı görülmektedir. Bu durum, geleneksel talaş kaldırma işlemlerinde beklendiği gibi olmuştur.
- Ölçüden sapma değerlerine bakıldığında, bütün şartlarda delik çapının anma çapından büyük elde edildiği görülmektedir.
- Tüm grafiklerde kesme hızı ve ilerleme değerindeki artışa bağlı olarak çaptan sapma değerlerinde de artış olduğu görülmektedir.
- Varyans analizi sonuçları içerisinde ilk olarak çaptan sapma sonuçları incelendiğinde; bu sonuç üzerindeki en etkili parametrenin %44,3 katkı oranı ile kesici geometrisi olduğu görülmüştür. Kesici geometrisinden sonra çaptan sapma üzerindeki en etkili parametreler ise %33,7 ile ilerleme ve %15,5 ile kesme hızı olduğu tespit edilmiştir.
- Silindiriklikten sapma, diklik ve eş merkezlilik değerlerinde benzer eğilimler gözlenmekte olup ilerleme miktarı ve kesme hızındaki artışla birlikte sapma değerlerinde artış olduğu görülmüştür.

- Varyans analizi sonuçları incelendiğinde silindirlikten sapma sonuçları üzerindeki en etkili parametreler sırasıyla %35,5 ile ilerleme, %25,6 ile kesme hızı ve %16,6 ile kesici geometrisi olduğu bulunmuştur.
- Diklik sonuçları analiz edildiğinde en etkili parametrelerin sırasıyla %53,5 ile kesici geometrisi, %26,1 ile kesme hızı ve %5,5 ile ilerleme olduğu tespit edilmiştir.
- Delik profillerinin eş merkezlilikleri varyans analizi ile incelendiğinde bu parametreyi etkileyen en önemli faktörün %50,4 ile kesici geometrisi olduğu bulunmuştur. Diğer etkili parametreler ise sırasıyla %21,9 ile ilerleme ve %6 ile kesme hızı olmuştur.

Bu çalışmadan elde edilen yukarıdaki bulgular ışığında bundan sonra yapılabilecek çalışmalara yön vermek amacıyla aşağıdaki öneriler getirilebilir;

- Delme sırasında oluşan sıcaklığın ölçülmesi ve delme performansı ve delik kalitesine olan etkisinin belirlenmesi için sıcaklık ölçümünün dâhil edildiği çalışmalar yapılabilir.
- Bu çalışmada boydan boya kısa delik uygulaması yapılmış olup diğer uygulama tipleri olan "kör delik ve matkapla delik büyütme" uygulamaları için de benzer girdi parametrelerinin kesme kuvvetleri ve delik kalitesi üzerindeki etkileri araştırılabilir.
- Matkapların performansları işlenmesi daha zor farklı malzemeler üzerinde araştırılabilir.
- Farklı soğutma/yağlama şartlarında matkapların performansları incelenebilir.
- Bu matkap geometrilerinin farklı çaplarda sergileyecekleri performanslar araştırılabilir.
- Delik delmede silindiriklikten sapmayı etkileyen parametreler nelerdir bunun üzerine farklı araştırmalar yapılabilir.
- Taguchi deney tasarımı yerine tam faktöriyel deney tasarımı ile deneyler yapılarak elde edilen sonuçlar Taguchi ile elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılabilir.
- Deney sonuçları yüzey yanıt yöntemi (RSM) ve gri ilişkisel analiz yöntemi (GRA) vb. yöntemler kullanılarak çoklu optimizasyon uygulanabilir.
- Ara deney değerlerinde sonuçlar elde etmek için yapay sinir ağları yöntemiyle tahmin modelleri geliştirilebilir.
- Tasarlanan matkaplara uygulanan kaplama türü ve kaplama yöntemleri değiştirilerek performansları araştırılabilir

KAYNAKLAR

1. Öztürk, S. (2001). *Spiral Matkap Uç Geometrileri ve Talaş Kaldırmaya Etkileri*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 7-8.

2. Dröse, J. (1987). *Titannitrid-Beschichtete HSS SpiralBohrer Leistungfähigkeit und Verschleissmechanismen*, Doctoral dissertation, RWTH Aachen University, Aachen, 1-26.

3. SECO Tools. (2013). *Delik Delme Sunum*. İstanbul: SECO Tools, 3-4.

4. Özkul, İ., Buldum, B.B., Akkurt, A. (2013). Dıevar sıcak iş takım çeliğinin delinmesinde kesme parametrelerinin kesme kuvvetleri ve yüzey kalitesine etkisinin regresyon analiziyle modellenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19, 1-9.

5. MKE Kurumu Genel Müdürlüğü. (1993). *1454 sayı 8 Nisan tarihli yazı*. Ankara: MKE Kurumu Genel Müdürlüğü

6. Scheffler, E. (1997). *Statistische Versuchsplanung und-auswertung, Eine Einführung in die Praxis der statistischen Versuchsplanung*. Germany: Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, 1-50.

7. Savaşkan, M., Taptık, Y., Üregen M. (2004). Deney tasarımı yöntemiyle matkap uçlarında performans optimizasyonu. *İstanbul Teknik Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 3(6), 117-128.

8. Schulze, V., Zanger, F., Michna,, J., Lang, F. (2013). 3D-FE-Modelling of the Drilling Process – Prediction of Phase Transformations at the Surface Layer. *14th CIRP Conference on Modeling of Machining Operations*, Italy, 33 – 38

9. Tofana, G.V., Popa, M.S., Sattel, S. (2013). Solid carbide tool wear monitoring and evaluation ın drilling processes. *International Journal of Modern Manufacturing Technologies*, 1, 2067–3604

10. Pavel, M., Leanardo, D.C. (2009). Investigation on Hole Manufacture in 42CrMo4 Steel Using 3-Flute Carbide Drills and 6-Flute Cermet Reamers. *Proceedings of The Swedish Production Symposium*, Sweden, 438-446.

11. Yalçın, B., Yılmaz, N. (2004). Arc pvd yüzey kaplama metoduyla titanyum nitrür (tialn) kaplanmış matkap takımlarında takım aşınmasının deneysel olarak incelenmesi. *Mühendis ve Makine Dergisi*, 531, 11-17.

12. Tosun, N., Özek, C., Tosun, G. (2004). Delme İşleminde Yüzey Pürüzlülüğünün Deneysel İncelenmesi. *11.Uluslararası Makine Tasarım ve imalat Kongresi,* Antalya, 867-874.

13. Gopalsamy, B.M., Mondal, B., Ghosh, S. (2009). Taguchi method and ANOVA: An approached for process parameters optimisation of hard machining while hardened steel . *Journal of Scientific&Industrial Research*, 68, 686-695.

14. Motorcu, A.R. (2006). *Ç 1050, Ç 4140 ve Ç 52100 Çeliklerinin İşlenebilirliliği ve Modeller Geliştirilmesi*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 11-14.

15. Motorcu, A.R., Şahin, Y. (2004). AISI 4140 Çeliğinin Farklı Kaplamalı Karbür ve Sermet Kesici Takımlarla İşlenebilirliği. *On Birinci Uluslararası Makine Tasarım ve İmalat Kongresi*, Antalya, 1-13.

16. Ulutan, M. (2007). *C-4140 Çeliğinin Yüzey Sertleştirme İşlemleri ve Kaplama Yöntemleri Sonrası Mekanik Davranışlarının Araştırılması*, Doktora Tezi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

17. Akkuş, H., Asiltürk, I. (2011). Predicting Surface Roughness of AISI 4140 Steel in Hard Turning Process through Artificial Neural Network, Fuzzy Logic and Regression Models. *Scientific Research and Essays,* 6, 2729-2736.

18. Dhar, N. R., Paul, S., Chattopadhyay, A. B. (2002). Machining Of AISI 4140 Steel Under Cryogenic Cooling-Tool Wear, Surface Roughness And Dimensional Deviation. *Journal of Materials Processing Technology,* 123(3), 483- 489.

19. Kahraman F., (2009). The Use Of Response Surface Methodology For Predıctıon And Analysis Of Surface Roughness Of Aisi 4140 Steel. *Materials and technology*, 43(5), 267.

20. Turhan E. (2001). *Islah Çeliklerinde, Isıl İşlem Parametrelerinin Aşınma Davranışına Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

21. Karayel, B., Nalbant M. (2014). Ç4140 malzemesinin tornalamasında ilerleme, kesme hızı ve kesici takımın yüzey pürüzlülüğü, takım ömrü ve aşınmaya etkileri. *Electronic Journal of Machine Technologies*, 11(3), 11-26.

22. Çökelek, M. (2001). *Islah Çeliklerinde, Isıl İşlem Parametrelerinin Yorulma Limitine Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

23. Casto, S.L., Valvo, E.L., Lucchini, E., Maschio, S., Ruisi, V.F. (1997). Wear rates and wear mechanisms of alumina-based tools cutting steel at a low cutting speed. *Elsevier Science Direct Wear*, 208, 67-72.

24. Khrais, S.K., Lin, Y.J. (2006). Wear mechanisms and tool performans of TiAlN pvd coated inserts during machining of AISI 4140 steels. *Elsevier Science Direct Wear***,** 116, 52-58.

25. Çakmak, S. (2015). *AISI 4140 Çeliğinin İşlenmesinde Kesici Uç Geometrisinin Talaş Kırmaya ve Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce.

26. Küçük, Y. (2009). *Delik İşlemede Takımlama Sisteminin Delik Kalitesi Üzerine Etkilerinin Deneysel Olarak Araştırılması*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

27. Meral, G. (2010). *AISI 1050 Malzemenin Delinmesinde Delme Parametrelerinin Kesme Kuvvetleri ve Delik Kalitesi Üzerindeki Etkisinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

28. Çakıroğlu, R. (2011). *Delik Delme İşlemlerinde Kesme Parametrelerine Bağlı Olarak Oluşan Sıcaklığın Modellenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

29. Yağmur, S. (2011). *Delik Delme İşlemlerinde Kesme Parametrelerine Bağlı Olarak Oluşan Sıcaklığın Deneysel Olarak İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

30. Korucu, S. (2007). *Delik İşlemlerinde Kesiciler Üzerine Etki Eden Gerilmelerin Matematiksel Olarak Modellenmesi*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

31. Siyambaş, Y. (2014). *HSLA DIN EN 10149 Çeliğin Farklı Kesme Şartlarında Delinmesinde Delik Kalitesinin Araştırılması ve Sonuçların YSA'da Modellenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

32. Tosun, G. (2004). The drilling of an Al/SiCp metal-matrix composites. Part I: Microstructure. *Composites Science and Technology*, 64, 299-308.

33. Nouari, M., List,G., Girot, F., Coupard, D. (2003). Experimental analysis and optimisation of tool wear in dry machining of aluminium alloys. *Elsevier Science Direct Wear*, 255, 1359-1368.

34. Arafat, M. (2009). *CNC Delme İşleminde Delme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğü Açısından Optimizasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.

35. Lauderbaugh, L.K. (2009). Analysis of the effects of process parameters on exit burrs in drilling using a combined simulation and experimental approach. *Journal of Materials Processing Technology*, 209, 1909-1919.

36. Kıvak, T. (2012). *Kesici Takımlara Uygulanan Kriyojenik İşlemin Ti-6Al-4V Alaşımının Delinebilirliği Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

37. Kim, K.W., Ahn, T.K. (2005). Force prediction and stress analysis of a twist drill from tool geometry and cutting conditions. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 6(1), 65-72.

38. Feng, K., Jun, N., Stephenson, D.A. (2005). Continuous chip formation in drilling. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 45, 1652–1658.

39. İnçal, E. (2007). *Pvd Yöntemi İle Kaplanan HSS Takım Çeliklerinin Karakterizasyonu ve Aşınma Dayanımının İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

40. Kaplan, Y. (2010). *Delik Delmede Farklı Parametrelerin Kesme Kuvveti, Moment, Titreşim, Yüzey Pürüzlülüğü, Aşınma ve Çapak Oluşumuna Etkileri*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

41. Kıvak, T. (2007). *Inconel 718'in Delinebilirliğinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

42. Soylu, A. (2007). *Bir Delme Dinamometresi Tasarım ve İmalatı ile HSS-1040 Malzeme Çiftinde İlerleme Kuvveti ve Döndürme Momentinden Analiz*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

43. Armerago, E.J.A., Cheng, O.Y. (1972). Drilling with flat face and canventional twist drill experimental investigation. *International Journal of Machine Tool Design and Research*, 12, 37-54.

44. Gaitonde, V.N., Karnik, S.R., Achyutha, B.T., Siddeswarappa, B.T. (2008). Taguchi optimization in drilling of AISI 316L stainless steel to minimize burr size using multi-performance objective based on membership function. *Journal of Materials Processing Technology*, 202, 374-379.

45. Cheung, F.Y., Zhou, Z.F., Gedam, A., Li, K.Y. (2008). Cutting edge preparation using magnetic polishing and its influence on the performance of high-speed steel drills. *Journal of Materials Processing Technology*, 208, 196-204.

46. Paul, A., Kapoor, S.G., Devor, R.E. (2005). Chisel edge and cutting lip shape optimization for improved twist drill point design. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 45(4-5), 421-431.

47. Öztürk, S., Altan, E. (2012). Çift Uç Açılı Spiral Matkapta Takım Ömrü. *3. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu*, Ankara, 115-122.

48. Zaquini, L. (2008). Expert system for the definition of the cutting parameters and machining strategies, *Caravelcut*, 145-173.

49. Strenkowski, J.S. (2004). An analytical finite element technique for predicting thrust force and torque in drilling. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 44, 1413-1421.

50. ASM Metals Handbook. (1997). *Properties and Selection, Iron, Steel and High Performance Alloys*. Ohio: ASM International, 1, 1063.

51. Smith, William F. (1993). *Structure and Properties of Engineering Alloys*. New York: McGraw Hill, 156.

52. Tonshoff, H.K. (1985). Material Aspects in Machining of Forged Parts. *International Conference on High Productivity Machining*, 4, 207-221.

53. Özcatalbaş, Y., Ercan, F. (2003). The effects of treatment on the machinability of mild steels. *Journal of Materials Processing Technology*, 136, 227-238.

54. Şahin, A. (2013). *Sertleştirilmiş Mikro Alaşımlı Çeliğin (30mnvs6) Farklı Kesicilerle İşlenmesinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 43.

55. Neşeli, S. (2006). *Tornalamada Takım Geometrisi ve Tırlama Titreşimlerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkileri*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 49-51.

56. Yazıcı, A.M. (2006). *Küresel Grafitli Dökme Demirin Bor Temperlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon, 1-5.

57. Seker, U., Çiftçi., Hasırcı, H. (2002). The effect of alloying elements on surface rougness and forces during machining of ductile iron. *Material and Design*, 24, 47-51.

58. Çiftçi, İ. (2003). *Alüminyum Esaslı Kompozitlerde Takviye Oranı ve Boyutunun Mekanik Özellikler ve İşlenebilirlik Üzerine Etkisinin Araştırılması*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-90.

59. Shaw, M. C. (1989). *Metal cutting principles*. Oxford: Oxford University Press, 1-29.

60. Griffin, R.D., Li, H.J., Eleftheriou, E., Bates, C.E. (2008). Machinability of gray cast iron. *American Foundry Society*, 1-20.

61. Böhler Sert Maden ve Takım Sanayi ve Ticaret. A.Ş. (1990). *Talaş kaldırma bilgileri*. İstanbul: Yeni Karar Yayıncılık, 31-42.

62. Çakır, M.C. (2000). *Modern Talaşlı İmalat Yöntemleri*. Bursa: Vipaş A.Ş., 49-410.

63. Avuncan, G. (1998). *Talaş Kaldırma Ekonomisi ve Kesici Takımlar*. İstanbul: Makine Takım Endüstrisi A.Ş.

64. Tonshoff, H.L., Spintig, W., Konig, W., Neises, A. (1994). Machining of holes developments in drilling techonolgy. *Annals of the CIRP*, 43(2), 551-560.

65. Krar, F.S., Rapisarda, M., Check, F.A. (1998). *Machine tool and manufacturing technology*. U.S.A: Delmar Publishers.

66. Çakır, A. (2015). *AA 7075 ve AA 2024 Alüminyum Malzemelerine Delik Delinmesinde Soğutma Yöntemlerinin İşleme Performansına Etkilerinin İncelenmesi*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

67. Schneider, G., (2002). *Cutting Tool Applications*. U.S.A.: ASM International, 8-2.

68. Akben, U., (2009). *Minimum Miktarda Yağlama (MMY) ile Kesmenin Takım Aşınması ve Yüzey Pürüzlüğüne Etkilerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

69. Sandvik Coromant. (2008). *Kesici Takım El Klavuzu*. İsveç: Sandvik Coromant.

70. Kutlu, L., (2008). *Al 2024-T4 Alüminyumun Elmas Benzeri Karbon (DLC) Kaplanmış Matkaplarla Delinmesinde Kesme Parametrelerinin Deneysel İncelenmesi ve Taguchi Yöntemiyle Optimizasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 63-65.

71. Pınar, A.M., Güllü, A. (2007). Dairesellik hatası ölçümünde kullanılan yöntemlerin incelenmesi. *Journal of Polytechnic*, 10(2), 137-144.

72. Akıncıoğlu, S. (2011). *AISI D2 Soğuk İş Takım Çeliğinin Farklı Kesici Takım ve Parametreler Kullanılarak Delinebilirliğinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 23-24.

73. Keskin, Z. (2006). *Aluminyum Kompozit Levhalarının İşlenmesinde, CNC Freze Kesici Takımlarının Kaplama Seçiminin ve İşlem Parametrelerinin Taguchi Metodu ile Optimizasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 26-27.

74. Kackar, R.N. (1986). Taguchi's quality philosopy. *Analysis and Comentary Quality Progress*, 21-19.

75. Durmaz, S. (2008). *Taguchi Metodunun Kauçuğun Vulkanizasyonu Prosesine Uygulanması*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 9.

76. Parkinson, D.B. (1993). Quality-based design by probability optimization. *Quality and Reliability Engineering International*, 9, 29-37.

77. Lochner, R.H., Matar, J.E. (1990). *Designing for Quality, An Introduction to The Best of Taguchi and Western Methods of Statistical Experimental Design*. Newyork: Chapman and Hall, 1-240.

78. Kayı, Y. (2006). *Plastik Enjeksiyon Prosesindeki Parametrelerin Çekme Problemine Etkilerinin Taguchi Metodu ile İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 45.

79. Bayrakdar, O.M. (2009). *Hata Türleri ve Etkileri Analizi (HTEA) ve Taguchi Metodu'nun Bonfiglioli A.Ş'de Ortak Uygulaması*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 47.

80. Öztop, M. (2007). *Taguchi Deney Tasarımı Yöntemi ile Alüminyum Ekstrüzyon Prosesinin İyileştirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 40-41.

81. Anthony, J. (2001). *Teaching the Taguchi Method to Industrial Engineers*. U.K: Emerald Group Publishing, 50(4), 141-149.

82. Şirvancı, M. (1996). *Kalite İçin Deney Tasarımı"Taguchi Yaklaşım"*. Milwauke: Literatür Yayıncılık, 112.

83. Gencel, İ. (2007). *Çok Yanıtlı Problemlerin Optimizasyonunda Taguchi Yönteminin Kullanılması ve Alkollü İçkiler Sektöründe Bir Uygulama*, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 29-30.

84. Graessel, B., Zeidler, P. (1993). Using quality function deployment to improve customer service. *Quality Progress,* 2, 19-23.

85. Kurt, M., Kaynak, Y., Bakır, B., Köklü, U., Atakök, G., Kutlu, L. (2009). Al 2024-T4 Aluminyumun Benzeri Karbon (DLC) Kaplanmış Matkaplarla Delinmesinde Kesme Parametrelerinin Deneysel İncelenmesi ve Taguchi Optimizasyonu. *5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS 09)*, Karabük, 5-6.

86. Galloway, D.F., Leicestershire, X., (1956). Some experiments on the influence of various factor on drilling performance. *The American Society of Mechanical Engineers,* 147, 191-237.

87. Isık, A. (2006). *Uygulamalı İstatistik II*. İstanbul: Beta Basım Yayın, 5-100.

88. Ross, R.P. (1988). *Loss Function, Orthogonal Experiments, Parameter and Tolerance Design*. U.S.A.: Mc Graw-Hill, 102-179.

89. Akkuş, H. (2010). *Tornalama İşlemlerinde Yüzey Pürüzlülüğünün İstatistiksel ve Yapay Zeka Yöntemleriyle Tahmin Edilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

90. Biçkici, B. (2007). *Çok Değişkenli Varyans Analizi Ve Çoklu Doğrusal Regresyon Analizinin Uygulamalı Olarak Karşılaştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.

91. Özçatalbaş, Y. (2006). *Talaş Kaldırmanın Esasları Ders Notları*. Ankara: Gazi Üniversitesi.

92. Boothroyd, G., (1981). *Fundamentals of Metal Machining and Machine Tools*. U.S.A.: McGraw-Hill, 1-27.

93. Kim, D., Ramulu, M. (2005). Cutting and drilling characteristics of hybrid titanium composite laminate (HTCL). *In Proceedings of Materials and Processing Technologies for Revolutionary Applications Fall Technical Conference,* U.S.A.,1-8.

94. Ramulu, M., Branson, T., Kim, D. (2001). A study on the drilling of composite and titanium stacks. *Composite Structures,* 54(1), 67-77.

95. Trent, E.M. (1989). *Metal cutting*. London: Butterworths Press, 1-171.

96. Williams, J.E., Smart, E.F., Milner, D.R. (1970). The Metallurgy of Machining- Part 2", *Metalurgia,* February, 51-60.

97. Sandvik Coromant. (1994). *Practical Handbook.* Sweden: Sandvik Coromant.

98. Gökkaya, H., Sur, G., Dilipak, H. (2004). Pvd ve cvd kaplamalı sementit karbür kesici takımların işleme parametrelerine bağlı olarak yüzey pürüzlülüğüne etkisinin deneysel olarak incelenmesi. *Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Teknoloji Dergisi*, 4(7), 473-478.

99. Seker, U. (2006). *Takım Tasarımı Ders Notları*. Ankara: Gazi Üniversitesi.

100. Sandvik Coromant. (2004). *Modern Metal Cutting*. Sweden: Sandvik Coromant, 2-61.

101. Akkurt, M. (1998). *Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları*. İstanbul: Birsen Yayınevi, 23-90.

102. Balki, M.K., Sayin, C., Sarikaya, M. (2016). Optimization of the operating parameters based on Taguchi method in an SI engine used pure gasoline, ethanol and methanol. *Fuel*,180, 630-637.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler



Soyadı, adı : MERAL, Güven
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 08.08.1983, Trabzon
Medeni hali : Bekar
Telefon : 0 (312) 354 84 01-1043
Faks : 0 5536475683
e-mail : guvenmeral@gazi.edu.tr

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Doktora	Gazi Üniversitesi /F.B.E	Devam ediyor
Yüksek Lisans	Gazi Üniversitesi /F.B.E	2010
Lisans	Gazi Üniversitesi /T.E.F	2006
Lise	H.M.B. Ulusoy Anadolu Meslek Lisesi	2001

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2011-Halen	Gazi Üniversitesi	Öğretim Görevlisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

Uluslararası hakemli dergilerde yayımlanan makaleler:

1. Meral, G., Sarıkaya, M., Dilipak, H. Şeker, U., (2015). Multi-Response Optimization of Cutting Parameters for Hole Quality in Drilling of AISI 1050 Steel, Arabian Journal for Science and Engineering, 40 (12) 3709-3722.

Ulusa hakemli dergilerde yayımlanan makaleler:

1. Meral G., Dilipak H., Sarıkaya M., (2011). AISI 1050 Malzemenin Delinmesinde Delme Parametrelerinin Delik Kalitesi Üzerindeki Etkisinin Çoklu Regresyon Metoduyla Modellenmesi, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 8(1), 37-46.

2. Meral G., Dilipak H., Sarıkaya M., (2011). AISI 1050 Malzemenin Delinmesinde İlerleme Kuvvetleri ve Yüzey Pürüzlülüğünün Regresyon Analiziyle Modellenmesi, Tübav Bilim Dergisi, 4(1), 31-41.

3. Meral G., Sarıkaya M., Dilipak H., (2011). Delme Parametrelerinin Taguchi Yöntemiyle Optimizasyonu, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 27(4), 332-338.

4. Meral G., Sarıkaya M., Dilipak H., (2011). Delik Delme Uygulamalarında Delik Kalitesinin Taguchi Yöntemiyle Optimizasyonu, Mühendis ve Makina Dergisi, 52(619), 42-49.

Projeler

1. Aurora 2014 – 2020 (AB Leonardo Da Vinci Ortaklık Projesi), Avrupa Birliği, Araştırmacı, , 01/08/2013 - 31/07/2015

Hobiler

Spor, gezi, fotoğrafçılık.



GAZİ GELECEKTİR..