



**AA 7075 VE AA 2024 ALÜMİNYUM MALZEMELERİNE DELİK
DELİNMESİNDE SOĞUTMA YÖNTEMLERİNİN İŞLEME
PERFORMANSINA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

Ayşegül ÇAKIR

**DOKTORA TEZİ
MAKİNA EĞİTİMİ ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ŞUBAT 2015

Ayşegül ÇAKIR tarafından hazırlanan “AA 7075 VE AA 2024 ALÜMİNYUM MALZEMELERİNE DELİK DELİNMESİNDE SOĞUTMA YÖNTEMLERİNİN İŞLEME PERFORMANSINA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Makine Eğitimi Anabilim Dalında DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Ulvi ŞEKER

İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum

Başkan : Prof. Dr. Mahmut GÜLESİN

İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum

Üye : Prof. Dr. Ferhat GÜL

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum

Üye : Prof. Dr. İhsan KORKUT

İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum

Üye : Prof. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ

İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, Karabük Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum

Tez Savunma Tarihi: 16/02/2015

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

Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

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

- 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 çalışmada 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.



Ayşegül ÇAKIR

16.02.2015

AA 7075 VE AA 2024 ALÜMİNYUM MALZEMELERİNE DELİK DELİNMESİNDE
SOĞUTMA YÖNTEMLERİNİN İŞLEME PERFORMANSINA ETKİLERİNİN

İNCELENMESİ

(Doktora Tezi)

Ayşegül ÇAKIR

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Şubat 2015

ÖZET

Talaşlı imalat işlemlerinde kullanılan kesme sıvısı miktarının kontrolü, hem doğaya ve insan sağlığına olan etkisi açısından hem de toplam üretim maliyeti açısından çok önemlidir. Kesme sıvısının olumsuz etkilerini yok etmek, üretim maliyetini düşürmek ve ürün kalitesini artırmak için son yıllarda kullanılan Minimum Miktarda Yağlama (MMY) yönteminin incelendiği bu çalışmada, AA7075 ve AA2024 alüminyum alaşımları dört farklı soğutma yöntemi (içten MMY, dıştan MMY, geleneksel soğutma ve basınçlı havayla soğutma), dört farklı kesme hızı (100, 125, 150, 175 m/dk) ve dört farklı ilerleme (0,10, 0,15, 0,20, 0,25 mm/dev) kullanılarak delik delme işlemine tabi tutulmuştur. Teknik kısıtlarla ilgili olarak dört soğutma yöntemi iki ayrı tezgahta uygulanabildiği için, tezgah faktörünün belirlenebilmesi adına kuru kesme şartlarında ek deneyler yapılmıştır. Yapılan ek deneylerde üç farklı takım tezgahı (EcoSpeed-ES, DS Droop Rein-PMM ve Mori Seiki-MS), üç farklı kesme hızı (100, 125, 150 m/dk) ve üç farklı ilerleme (0,10, 0,15, 0,20 mm/dev) kullanılmıştır. Soğutma şartlarının karşılaştırıldığı ana deneyler ve tezgah faktörünün karşılaştırıldığı ek deneyler Taguchi deney tasarımına göre yapılmıştır. Deneyler sonunda deliklerin yüzey pürüzlüğü, çaptan sapma, dairesellikten sapma ve silindiriklikten sapma olmak üzere delik kalitesinin yanında, kesici takımlara etki eden ilerleme kuvvetleri ve momentler incelenmiştir. Elde edilen verilere ANOVA ve Sinyal/Gürültü (S/N) testleri yapılarak değerlendirilmiştir. Deneyler sonunda çıktı parametrelerini en çok soğutma yöntemlerinin etkilediği tespit edilmiştir. En düşük değerler geleneksel soğutma uygulamasında gözlenirken, içten MMY uygulamasında elde edilen sonuçların geleneksel soğutma yöntemine çok yakın olduğu görülmüştür. İlerlemelerdeki artış tüm çıktı parametrelerinde genelde artışa neden olurken, kesme hızının çıktı parametreleri üzerindeki etkisi daha belirsiz olmuştur. AA7075 alaşımından elde edilen sonuçların; kuvvet, moment ve yüzey pürüzlüğünde daha belirgin olmakla birlikte genel olarak çıktı parametrelerinde, AA2024 alaşımından daha düşük olduğu görülmüştür. Yapılan tekrar deneylerinde tüm çıktı parametreleri için 1. delikten 30. deliğe artış miktarı geleneksel soğutma ve içten MMY uygulamalarında düşük olurken, dıştan MMY ve basınçlı havayla soğutmada daha yüksek olmuştur. Tezgah kıyasının yapıldığı ek deneylerde ise kuru kesme şartlarında elde edilen tüm çıktı parametreleri tüm soğutma yöntemlerinin kullanıldığı uygulamalardan daha yüksek çıkmıştır. ES tezgahında yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar PMM tezgahından elde edilen sonuçlara yakın olmakla birlikte PMM tezgahında elde edilen sonuçların % 1-6 daha düşük olduğu görülmüştür.

Bilim Kodu : 708.3.028

Anahtar Kelimeler : Minimum miktarda yağlama (MMY), taguchi, delik delme, delik kalitesi, yüzey pürüzlüğü, ilerleme kuvveti, moment

Sayfa Adedi : 196

Danışman : Prof. Dr. Ulvi ŞEKER

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF COOLING CONDITIONS ON CUTTING PERFORMANCE IN DRILLING AA7075 AND AA2024 ALUMINUM MATERIALS

(Ph. D. Thesis)

Ayşegül ÇAKIR

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

February 2015

ABSTRACT

Controlling the amount of the cutting fluid used in machining processes is important in terms of its effects on the environment, human health, and also on the total cost of production. In this study, which the MQL technique were investigated, which is used in recent years in order to annihilate the negative effect of cutting fluid, decrease the cost of production and to increase the product quality, the AA7075 and AA2024 aluminum alloys were subjected to drilling process using four different cooling conditions (internal MQL, external MQL, conventional cooling and cooling with pressure air), four different cutting speeds (100, 125, 150, 175 m/min) and four different feed rates (0,10, 0,15, 0,20, 0,25 mm/rev). Because of technical constraint, the four cooling methods can be applied on the two different machine tools, extra experiments were conducted under dry cutting condition in order to determine the factor of machine tools. In the extra-experiments, three different machine tools (EcoSpeed-ES, DS Droop Rein-PMM ve Mori Seiki-MS), three different cutting speeds (100, 125, 150 m/min) and three different feed rates (0,10, 0,15, 0,20 mm/rev) were used. The main experiments in which the cooling conditions were compared and the extra experiments in which machine tools were compared have been performed with respect to Taghuchi experimental design method. At the end of experiments, in addition to the hole quality such as surface roughness of hole, diametrical deviation, ovality and axial deviation, the effect of thrust forces and torques on cutting tools were investigated. Experimental results were evaluated after being subjected to analysis of Signal/Noise (S/N) and ANOVA. At the end of experiments, it was determined that cooling methods have the most effect on output parameters. It was observed that while the lowest values were found at conventional cooling application, the results from the application of internal MQL were very similar to conventional cooling method. While increased feed rate generally caused increase in all output parameters, the cutting speed has unclear effect on output parameters. It was observed that although the results obtained from AA7075 aluminium alloy are more clear on thrust force, torque and surface roughness, it was generally lower than that the results obtained from AA2024 aluminium alloy in the output parameters. At repetition experiments the increase rate from 1st hole to 30th hole for all output parameters was low at the conventional cooling and internal MQL methods while it was high at the external MQL and cooling with pressure air methods. At extra-experiments in which the machine tools were compared, all output parameters obtained under dry conditions were higher than the parameters obtained from the applications with all cooling methods used. The results obtained from PMM machine tool were lower 1-6 % than from those obtained at ES machine tool, although the results obtained from ES machine tools were close to those obtained-from PMM machine tool.

Science Code : 708.3.028

Key Words : Minimum quantity lubrication (MQL), taguchi, drilling, hole quality, surface roughness, thrust force, moment

Page Number : 196

Supervisor : Prof. Dr. Ulvi ŞEKER

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca karşılaştığım her türlü zorlukta çözüme odaklı yaklaşımı ve engin tecrübesiyle yoluma ışık tutan çok değerli hocam ve tez danışmanım Prof. Dr. Ulvi ŞEKER'e saygı ve şükranlarımı sunarım. Yine kıymetli tecrübelerinden faydalandığım değerli hocalarım Prof. Dr. Mahmut GÜLESİN ve Prof. Dr. Ferhat GÜL'e teşekkürü bir borç bilirim. Tezimin her aşamasında desteklerini eksik etmeyen değerli arkadaşlarım Yrd. Doç. Dr. Murat SARIKAYA, Yrd. Doç. Dr. Turgay KIVAK, Ar. Gör. Dr. Gültekin UZUN ve Uzman Selçuk YAĞMUR'a teşekkür ederim.

Deneyleerin TUSAŞ-Türk Havacılık ve Uzay Sanayi'nde gerçekleştirilmesine imkan sağlayan Yapısal Grup Başkanı Sayın Abdullah Naki POLAT'a ve Entegre Ürün Destek Müdürü Sayın Bülent AYDIN'a teşekkürü bir borç bilirim. Deney sürecinde yardımlarını eksik etmeyen Talaşlı İmalat İşlem Merkezi Şefi Fatih YILDIRIM'a, NC Programlama Lideri Onur BAHTİYAR'a, Konvansiyonel Talaşlı İmalat Proses Lideri Mustafa YAVUZ'a, NC Talaşlı İmalat Proses Lideri Yavuz YILMAZ'a, mühendis arkadaşlarım Zühal PEKER GÜDÜL ve Tayfur DEMİRAL'a, kesici takım sorumlusu Yücel KAÇMAZ'a, operatörler Murat ÖZENEN ve İbrahim GÜR'e teşekkürlerimi sunarım. Deney sonuçlarının ölçümü sürecinde yine desteğini esirgemeyen Takım ve Talaşlı İmalat Muayene Şefi Lütfi Suat CİHAN'a, CMM sorumlusu Hasan ALTUN ve Mehmet KARAKAYA'ya teşekkür ederim. Değerli mesai arkadaşlarım Dursun ERDOĞ ve Yasin KÖSE'ye yardımlarından dolayı teşekkür ederim. Ayrıca ISCAR firması satış mühendisi değerli arkadaşım Cahit GÜDÜL'e ve GUHRING firmasının değerli çalışanlarına teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmalarım sürecinde manevi desteklerini eksik etmeyen çok değerli dostlarım Yrd. Doç. Dr. Nergizhan KAVAK, Rahime ÜN ILGIN, Nermin ALEMDAR, Hüseyin ÇETİN ve Gökhan TERZİ'ye teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca varlıklarıyla beni daha güçlü kılan kalabalık ve güzel ailemin her bir ferdine gönülden teşekkür ederim.

“Teşekkür” kelimesinin “şükür” kelimesinden geldiğinin bilinciyle, şükürün asıl sahibine sonsuz teşekkürler.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xiii
RESİMLERİN LİSTESİ	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xviii
1. GİRİŞ.....	1
2. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI	5
2.1. Alüminyum Hakkında Genel Bilgiler	5
2.2. Alüminyum Alaşımlarının Sınıflandırılması	8
2.3. Alüminyumun İşlenebilirliği	9
3. KESME SIVILARI VE UYGULAMA YÖNTEMLERİ	11
3.1. Kesme Sıvılarının Görevleri	11
3.2. Kesme Sıvılarının Sınıflandırılması	12
3.3. Kesme Sıvısı Uygulama Yöntemleri.....	15
4. DELİK DELME	21
4.1. Delik Delme İşlemi	21
4.2. Delik Delme İşlemini Etkileyen Faktörler	22
4.3. Delik Delme İşlemlerinde Delik Kalitesi	28
4.4. Delik Delme İşlemlerinde Kuvvet ve Momentler.....	31

5. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	39
5.1. MMY ve Diğer Soğutma Yöntemleriyle İlgili Yapılan Çalışmalar	39
5.2. Delik Delme İşlemiyle İlgili Yapılan Çalışmalar	50
5.3. Literatür Araştırmasının Değerlendirilmesi	53
6. MATERYAL VE METOT	59
6.1. Kullanılan Deneysel Tasarımı	61
6.2. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan İş Parçası Malzemeleri	64
6.3. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Kesici Takımlar	66
6.4. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Takım Tezgahları	66
6.5. Yapılan Ölçümler ve Kullanılan Ölçüm Tezgahları / Cihazları	68
7. BULGULAR VE TARTIŞMA	75
7.1. Ortalama Yüzey Pürüzlülüğünün (R_a) Değerlendirilmesi	75
7.2. Delik Çaplarındaki Sapmanın Değerlendirilmesi	98
7.3. Dairesellikten Sapmanın (Ovalite) Değerlendirilmesi	114
7.4. Silindiriklikten Sapmanın (Eksenel Kaçıklık) Değerlendirilmesi	131
7.5. İlerleme Kuvvetlerinin (F_t) Değerlendirilmesi	148
7.6. Momentlerin (M) Değerlendirilmesi	158
7.7. Tüm Çıktı Parametreleri için İşlem Parametrelerinin Değerlendirilmesi	166
8. SONUÇ VE ÖNERİLER	171
8.1. Sonuçlar	171
8.2. Öneriler	176
KAYNAKLAR	179

	Sayfa
EKLER.....	187
EK-1 Kullanılan AA2024 ve AA7075 alaşımlarına ait malzeme sertifikaları.	188
EK-2 Ana (L16) ve ek (L9) deney tasarımına göre hazırlanan rehber izelgeler.....	190
EK-3 Yapılan deneylerde kullanılan girdi faktörleri ve elde edilen çıktı parametreleri.....	191
ÖZGEÇMİŞ	193

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Alüminyumun fiziksel özellikleri.....	5
Çizelge 2.2. Alüminyumun imalat şekline göre mukavemet özellikleri.....	6
Çizelge 4.1. Ft'nin hesaplanmasında kullanılan K değerleri	34
Çizelge 4.2. Sürtünme katsayı değerleri	36
Çizelge 5.1. Soğutma yöntemleriyle ilgili literatürde incelenen çalışmalar	57
Çizelge 6.1. Deneysel çalışmalar için belirlenen girdi parametreler	59
Çizelge 6.2. Deneysel çalışmalar için belirlenen çıktı parametreler	59
Çizelge 6.3. Ana deneyler için kontrol faktörleri ve seviyeleri	62
Çizelge 6.4. Taguchi L16 orthogonal deney tasarımı.....	62
Çizelge 6.5. Ek deneyler için kontrol faktörleri ve seviyeleri	63
Çizelge 6.6. Ek deneyler için Taguchi L9 orthogonal deney tasarımlar.....	64
Çizelge 6.7. AA 2024 ve AA 7075 alaşımlarının kimyasal özellikleri	64
Çizelge 6.8. AA 2024 ve AA 7075 alaşımlarının mekanik özellikleri	64
Çizelge 6.9. Mori Seiki VS 60 CNC işleme merkezinin teknik özellikleri	67
Çizelge 6.10. DS Droop+Rein PMM tezgahının teknik özellikleri.....	67
Çizelge 6.11. ECOSPEED 2600 CNC tezgahının teknik özellikleri.....	68
Çizelge 6.12. VOGEL Digital Super1 MMY sisteminin teknik özellikleri.....	68
Çizelge 6.13. Kistler 9123C dönel tip dinamometrenin teknik özellikleri	70
Çizelge 6.14. Yüzey pürüzlülük ölçme cihazının teknik özellikleri.....	73
Çizelge 7.1. AA7075 ve AA2024 alaşımlarının delinmesinde elde edilen R_a ve S/N oranları.....	75
Çizelge 7.2. Deney tasarımına göre hesaplanan ilerleme hızı (V_f) değerleri.....	80
Çizelge 7.3. AA7075 ve AA2024 için yüzey pürüzlülüğü ile ilgili ANOVA sonuçları....	85
Çizelge 7.4. Yüzey pürüzlülüğü (R_a) için kontrol faktörlerinin optimum seviyeleri	87

Çizelge	Sayfa
Çizelge 7.5. AA7075 ve AA2024 alaşımlarının delinmesinde elde edilen R_a ve S/N oranları	88
Çizelge 7.6. Ek deney tasarımına göre hesaplanan ilerleme hızı (V_f) değerleri	91
Çizelge 7.7. AA7075 ve AA2024 için yüzey pürüzlüğü ile ilgili ANOVA sonuçları ..	96
Çizelge 7.8. Yüzey pürüzlülüğü (R_a) için kontrol faktörlerinin optimum seviyeleri	97
Çizelge 7.9. AA7075 ve AA2024 alaşımlarının delinmesinde ölçülen delik çapları ve S/N oranları	98
Çizelge 7.10. AA7075 ve AA2024 için çaptan sapmalar ile ilgili ANOVA sonuçları ..	105
Çizelge 7.11. Çaplardaki sapma için kontrol faktörlerinin optimum seviyeleri.....	107
Çizelge 7.12. AA7075 ve AA2024 alaşımlarının delinmesinde elde edilen çaptan sapma değerleri ve S/N oranları.....	107
Çizelge 7.13. AA7075 ve AA2024 için çaptan sapmalar ile ilgili ANOVA sonuçları ..	112
Çizelge 7.14. Çaptan sapmalar için kontrol faktörlerinin optimum seviyeleri.....	114
Çizelge 7.15. AA7075 ve AA2024 için dairesellikten sapmalar ve S/N oranları.....	114
Çizelge 7.16. AA7075 ve AA2024 için dairesellikten sapmalarla ilgili ANOVA sonuçları	121
Çizelge 7.17. Dairesellikten sapmalar için kontrol faktörlerinin optimum seviyeleri ...	123
Çizelge 7.18. AA7075 ve AA2024 alaşımlarının delinmesinde elde edilen dairesellikten sapma değerleri ve S/N oranları.....	123
Çizelge 7.19. AA7075 ve AA2024 için dairesellikten sapmalar ile ilgili ANOVA sonuçları	129
Çizelge 7.20. Dairesellikten sapmalar için kontrol faktörlerinin optimum seviyeleri ...	131
Çizelge 7.21. AA7075 ve AA2024 için silindiriklikten sapmalar ve S/N oranları.....	131
Çizelge 7.22. AA7075 ve AA2024 için silindiriklikten sapmalarla ilgili ANOVA sonuçları	138
Çizelge 7.23. Silindiriklikten sapmalar için kontrol faktörlerinin optimum seviyeleri .	140
Çizelge 7.24. AA7075 ve AA2024 için silindiriklikten sapmalarla ilgili ANOVA sonuçları	140

Çizelge	Sayfa
Çizelge 7.25. AA7075 ve AA2024 için silindiriklikten sapmalarla ilgili ANOVA sonuçları	146
Çizelge 7.26. Silindiriklikten sapmalar için kontrol faktörlerinin optimum seviyeleri .	148
Çizelge 7.27. AA7075 ve AA2024 alaşımlarının delinmesinde elde edilen F_t ve S/N oranları.....	149
Çizelge 7.28. Deney tasarımına göre hesaplanan ilerleme hızı (V_f) değerleri.....	152
Çizelge 7.29. AA7075 ve AA2024 için ilerleme kuvveti ile ilgili ANOVA sonuçları .	156
Çizelge 7.30. AA7075 ve AA2024 için ilerleme kuvveti ile ilgili ANOVA sonuçları	157
Çizelge 7.31. İlerleme kuvveti (F_t) için kontrol faktörlerinin optimum seviyeleri.....	157
Çizelge 7.32. AA7075 ve AA2024 alaşımlarının delinmesinde elde edilen M ve S/N oranları.....	159
Çizelge 7.33. AA7075 ve AA2024 için momentlerle ilgili ANOVA sonuçları.....	164
Çizelge 7.34. AA7075 ve AA2024 için momentlerle ilgili ANOVA sonuçları	165
Çizelge 7.35. Momentler (M) için kontrol faktörlerinin optimum seviyeleri.....	165
Çizelge 7.36. Tüm kalite karakteristikleri için işlem parametrelerine ait ANOVA sonuçları	167
Çizelge 7.37. Optimum şartlar için işlem parametrelerine ait S/N sonuçları	168
Çizelge 7.38. PMM tezgahındaki sonuçların ES tezgahına göre değerlendirilmesi.....	169
Çizelge 7.39. Ek deneylerdeki tüm kalite karakteristikleri için işlem parametrelerine ait ANOVA sonuçları	169
Çizelge 7.40. Ek deneylerdeki optimum şartlar için işlem parametrelerine ait S/N sonuçları.....	170

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Takım dışından soğutma.....	16
Şekil 3.2. Takım içinden soğutma.....	17
Şekil 3.3. Tek kanallı içten MMY sisteminin çalışma şeması.....	18
Şekil 3.4. Dıştan MMY sisteminde kullanılan nozulda yağ sisi oluşumu	18
Şekil 3.5. Dahili (içten) minimum miktarda yağlama.....	19
Şekil 3.6. Harici (dıştan) minimum miktarda yağlama.....	20
Şekil 4.1. Delik delme işleminin diğer talaş kaldırma işlemleriyle karşılaştırılması.....	21
Şekil 4.2. Delik delme işleminde takımın dönmesi (v) ve ilerlemesi (u)	21
Şekil 4.3. Delik delme performansı kriterlerini etkileyen faktörler.....	22
Şekil 4.4. Çift ağızlı matkap ve kovanın geometrisi	23
Şekil 4.5. Delme işlemlerinde talaş kesit alanı (a) ve kesici kenar başına ilerleme (b)..	25
Şekil 4.6. Kesme hızı-ilerleme hızı.....	26
Şekil 4.7. Dalgalılığın şematik gösterimi.....	29
Şekil 4.8. Ortalama yüzey pürüzlülüğü çizgi sistemi (Ra, Rq).....	30
Şekil 4.9. Dairesellik ölçümleri a) Dairesellikten sapma b) LSC (Least squares circle)	31
Şekil 4.10. Matkap ucunu etkileyen kuvvetler.....	33
Şekil 4.11. Kesme kuvvetlerinin oluşturduğu kesme momenti	35
Şekil 4.12. Matkap ucunun sürtünmesinde oluşan notasyonlar	35
Şekil 6.1. İlerleme hızı, kesme hızı ve ilerleme parametrelerinin hesaplanması.....	60
Şekil 6.2. Üzerine delikler açılmış formuyla deney numunesi teknik resmi	65
Şekil 6.3. Deneylerde kullanılan karbür matkaplar	66
Şekil 7.1. AA7075 alaşımının her şart için 30 delme tekrarında elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) değerlerinin ilk delikten son deliğe değişimi.....	76

Şekil	Sayfa
Şekil 7.2. AA2024 alaşımının her şart için 30 delme tekrarında elde edilen ortalama yüzey pürüzlüğü (R_a) değerlerinin ilk delikten son deliğe değişimi.....	77
Şekil 7.3. AA7075 (a) ve AA2024 (b) alaşımlarının delinmesinde ilerleme hızına bağlı olarak yüzey pürüzlüğünün değişimi.....	81
Şekil 7.4. R_a değerinin ilerleme (a) ve kesme hızı (b) olmak üzere kesme parametreleri ile soğutma şartlarına göre değişimi.....	83
Şekil 7.5. AA7075 (a) ve AA2024 (b) alüminyum alaşımları için R_a sonuçlarına göre kontrol faktörlerinin S/N oranları.....	87
Şekil 7.6. AA7075 alaşımına farklı tezgahlarda yapılan delik delme tekrarına göre R_a değişimi.....	89
Şekil 7.7. AA2024 alaşımına farklı tezgahlarda yapılan delik delme tekrarına göre R_a değişimi.....	90
Şekil 7.8. AA7075 (a) ve AA2024 (b) alaşımlarının delinmesinde ilerleme hızına göre yüzey pürüzlüğü değişimi.....	92
Şekil 7.9. R_a değerinin ilerleme (a) ve kesme hızı (b) olmak üzere kesme parametreleri ile takım tezgahlarına göre değişimi.....	94
Şekil 7.10. AA7075 (a) ve AA2024 (b) alüminyum alaşımları için R_a sonuçlarına göre kontrol faktörlerinin S/N oranları.....	97
Şekil 7.11. AA7075 alaşımını her şart için 30 delme tekrarında elde edilen delik çapı ölçülerinin ilk delikten son deliğe değişimi.....	99
Şekil 7.12. AA2024 alaşımını her şart için 30 delme tekrarında elde edilen delik çapı ölçülerinin ilk delikten son deliğe değişimi.....	100
Şekil 7.13. AA7075 (a) ve AA2024 (b) alaşımlarının delinmesinde ilerleme hızına bağlı olarak delik çaplarındaki değişim.....	102
Şekil 7.14. Delik çaplarındaki sapmanın ilerleme (a) ve kesme hızı (b) olmak üzere kesme parametreleri ve soğutma şartlarına göre değişimi.....	104
Şekil 7.15. AA7075 (a) ve AA2024 (b) alüminyum alaşımları için çaptan sapma sonuçlarına göre kontrol faktörlerinin S/N oranları.....	106
Şekil 7.16. AA7075 alaşımına farklı tezgahlarda yapılan delik delme tekrarına göre delik çaplarındaki değişim.....	108
Şekil 7.17. AA2024 alaşımına farklı tezgahlarda yapılan delik delme tekrarına göre delik çaplarındaki değişim.....	109

Şekil	Sayfa
Şekil 7.18. AA7075 (a) ve AA2024 (b) alaşımlarının delinmesinde ilerleme hızına bağlı olarak delik çaplarındaki değişim	110
Şekil 7.19. Delik çaplarındaki sapmanın ilerleme (a) ve kesme hızı (b) olmak üzere kesme parametreleri ile takım tezgahlarına göre değişimi	111
Şekil 7.20. AA7075 (a) ve AA2024 (b) alüminyum alaşımları için çaptan sapma sonuçlarına göre kontrol faktörlerinin S/N oranları.....	113
Şekil 7.21. AA7075 alaşımını her şart için 30 delme tekrarında elde edilen dairesellikten sapma değerlerinin ilk delikten son deliğe değişim	115
Şekil 7.22. AA2024 alaşımını her şart için 30 delme tekrarında elde edilen dairesellikten sapma değerlerinin ilk delikten son deliğe değişim	116
Şekil 7.23. AA7075 (a) ve AA2024 (b) alaşımlarının delinmesinde ilerleme hızına bağlı olarak dairesellikten sapma değerlerindeki değişim.....	118
Şekil 7.24. Dairesellikten sapmanın ilerleme (a) ve kesme hızı (b) olmak üzere kesme parametreleri ve soğutma şartlarına göre değişimi	120
Şekil 7.25. AA7075 (a) ve AA2024 (b) alüminyum alaşımları için dairesellikten sapma sonuçlarına göre kontrol faktörlerinin S/N oranları.....	122
Şekil 7.26. AA7075 alaşımına farklı tezgahlarda yapılan delik delme tekrarına göre dairesellikten sapma değerlerinin ilk delikten son deliğe değişimi	124
Şekil 7.27. AA2024 alaşımına farklı tezgahlarda yapılan delik delme tekrarına göre dairesellikten sapma değerlerinin ilk delikten son deliğe değişimi	125
Şekil 7.28. AA7075 (a) ve AA2024 (b) alaşımlarının delinmesinde ilerleme hızına bağlı olarak dairesel sapma değerlerindeki değişim	127
Şekil 7.29. Dairesellikten sapmanın ilerleme (a) ve kesme hızı (b) olmak üzere kesme parametreleri ile takım tezgahlarına göre değişimi.....	128
Şekil 7.30. AA7075 (a) ve AA2024 (b) alüminyum alaşımları için dairesellikten sapma sonuçlarına göre kontrol faktörlerinin S/N oranları.....	130
Şekil 7.31. AA7075 alaşımında her şart için 30 delme tekrarında elde edilen silindiriklikten sapmaların ilk delikten son deliğe değişimi	132
Şekil 7.32. AA2024 alaşımında her şart için 30 delme tekrarında elde edilen silindiriklikten sapmaların ilk delikten son deliğe değişimi	134
Şekil 7.33. AA7075 (a) ve AA2024 (b) alaşımlarının delinmesinde ilerleme hızına bağlı olarak silindiriklikten sapma değerlerindeki değişim.....	135

Şekil	Sayfa
Şekil 7.34. Silindiriklikten sapmanın ilerleme (a) ve kesme hızı (b) olmak üzere kesme parametreleri ve soğutma şartlarına göre değişimi.....	137
Şekil 7.35. AA7075 (a) ve AA2024 (b) alüminyum alaşımları için silindiriklikten sapma sonuçlarına göre kontrol faktörlerinin S/N oranları.....	139
Şekil 7.36. AA7075 alaşımına farklı tezgahlarda yapılan delik delme tekrarına göre silindiriklikten sapma değerlerinin ilk delikten son deliğe değişimi	141
Şekil 7.37. AA2024 alaşımına farklı tezgahlarda yapılan delik delme tekrarına göre silindiriklikten sapma değerlerinin ilk delikten son deliğe değişimi	142
Şekil 7.38. AA7075 (a) ve AA2024 (b) alaşımlarının delinmesinde ilerleme hızına bağlı olarak silindiriklikten sapma değerlerindeki değişim.....	143
Şekil 7.39. Silindiriklikten sapmanın ilerleme (a) ve kesme hızı (b) olmak üzere kesme parametreleri ve tezgah türüne göre değişimi.....	145
Şekil 7.40. AA7075 (a) ve AA2024 (b) alüminyum alaşımları için silindiriklikten sapma sonuçlarına göre kontrol faktörlerinin S/N oranları.....	147
Şekil 7.41. AA7075 ve AA2024 alaşımlarının farklı soğutma şartlarında delinmesinde 1. delikten 30. deliğe doğru takımlara etkiyen ilerleme kuvvetleri.....	150
Şekil 7.42. AA7075 ve AA2024 malzemelerinin farklı soğutma şartlarında delinmesinde. takımlara etkiyen kuvvetlerin ilerleme hızına göre değişim	153
Şekil 7.43. İlerleme (a) ve kesme hızına (b) göre ilerleme kuvvetlerindeki değişimler.	154
Şekil 7.44. AA7075 (a) ve AA2024 (b) alüminyum alaşımları için F_t sonuçlarına göre kontrol faktörlerinin S/N oranları	158
Şekil 7.45. AA7075 ve AA2024 alaşımlarının farklı soğutma şartlarında delinmesinde 1. delikten 30. deliğe doğru takımlara etkiyen momentlerdeki değişimler...	160
Şekil 7.46. AA7075 ve AA2024 malzemelerinin farklı soğutma şartlarında delinmesinde. takımlara etkiyen momentlerin ilerleme hızına göre değişimi	161
Şekil 7.47. İlerleme oranı (a) ve kesme hızına (b) göre momentlerdeki değişimler.....	163
Şekil 7.48. AA7075 (a) ve AA2024 (b) alüminyum alaşımları için M sonuçlarına göre kontrol faktörlerinin S/N oranları	166

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 6.1. ZOLLER T16000 salgı ölçme cihazı	69
Resim 6.2. Tezgaha entegre edilmiş Kistler dönen tip dinamometre (a) ve kontrol ünitesi (b).....	70
Resim 6.3. CMM koordinat ölçme tezgahının resmi	71
Resim 6.4. Veri ağına bağlı ortam sıcaklık ölçer.....	71
Resim 6.5. Numune üzerinde ölçülen delikler.....	72
Resim 6.6. Yüzey pürüzlülük ölçme cihazı ile ölçümlerin yapılması	74
Resim 7.1. İçten MMY (a), dıştan MMY (b), geleneksel soğutma (c) ve basınçlı havayla soğutma (d) şartlarında 30 delik delme sonunda matkapların aşınma/sıvanma eğilimleri	78
Resim 7.2. Geleneksel soğutma (a) ve basınçlı havayla soğutma (b) şartlarında 30 delik delme sonunda matkapların aşınma/sıvanma eğilimleri	151

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklamalar
a_p	Talaş genişliği veya radyal talaş derinliği, mm
D	Matkap çapı, mm
f	Devir başına ilerleme, mm/dev
F_c	Esas kesme kuvveti, N
F_r	Radyal kuvvet, N
F_t	İlerleme Kuvveti (Thrust Force), N
F_y	Teğetsel Kuvveti, N
f_z	Diş başına ilerleme, mm/diş
k	Isı geçirgenlik katsayısı, W/mK
K	K sabiti (Çizelge 4.1), N/mm ²
L	İlerleme uzunluğu, mm
M	Moment, Nm
M_c	Kesme momenti, Nm
M_f	Sürtünme momenti, Nm
n	Devir sayısı, dev/dk
P	Anlamlılık değeri
R_a	Ortalama yüzey pürüzlüğü, μm
V_c	Kesme hızı, m/dk
V_f	İlerleme hızı, mm/dk
z	Kesici kenar sayısı
α	Hata oranı
ε	Sıcaklık tesiri ile uzama, mm/dk
μ	Sürtünme katsayısı
ρ	Yoğunluk, gr/cm ³
ψ	Uç açısı, °

Kısaltmalar**Açıklamalar**

AISI	American Iron and Steel Institute (Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü)
ANOM	Analysis of Means (Anlamların Analizi)
ANOVA	Analysis of Variances (Varyans Analizi)
BUE	Built-Up Edge (Yığılma Kenar)
BUL	Built-Up Layer (Yığıntı Katman)
CBN	Cubic Bor Nitride (Kübik Bor Nitrür)
CFD	Computer Flow Dynamics (Bilgisayar Akış Dinamiği)
CMM	Coordinate Measuring Machine (Koordinat Ölçme Tezgahı)
CNC	Computer Numerical Control (Bilgisayarlı Sayısal Denetim)
CVD	Chemical Vapour Deposition (Kimyasal Buhar Çökeltme)
DIN	Deutch Industrie Normen (Alman Endüstri Normları)
EDX	Energy-Dispersive X-Ray (X Işını Enerji Dağıtım Analizi)
HB	Hardness Brinell (Brinell Sertliği)
HSS	High Speed Steel (Yüksek Hız Çeliği)
LQL	Little Quantity Lubrication (Az Miktarda Yağlama)
MMY	Minimum Miktarda Yağlama
MQL	Minimum Quantity Lubrication
NC	Numerical Control (Sayısal Denetim)
PLC	Programmable Logic Controller (Programlanabilir Mantıksal Denetleyici)
HRC	Hardness Rockwell C(Rockwell C Sertliği)
PVD	Physical Vapour Deposition (Fiziksel Buhar Çökeltme)
SEM	Scanning Electron Microscope (Tarama Elektron Mikroskobu)
S/N	Signal/Noise Rate (Sinyal/Gürültü Oranı)
TFA	Time Frequence Analysis (Zaman Frekans Analizi)

1. GİRİŞ

Son yıllarda endüstriyel alanda kullanımı hızla artan alüminyum, eşsiz özellik kombinasyonuna sahip olan çok yönlü yapı ve mühendislik malzemelerinden biri haline gelmiştir. Alüminyumun hafif olması ve birçok alaşımlarının da çok iyi mukavemete, elektriksel ve ısı iletkenliğine sahip olması; bilgisayar, uçak ve otomobil endüstrisindeki önemini artırmıştır. Ayrıca korozyona karşı direnci de sağlık sektörü için bu malzemeyi önemli hale getirmiştir. Çok çeşitli özellik kombinasyonlarına sahip bu malzemenin işleme sürecindeki davranışları üzerine bu güne kadar pek çok çalışma yapılmış olup halen bu konudaki araştırmalar devam etmektedir [1].

Alüminyumun işlenebilirliğini, işleme şartları ve malzemenin metalürjik yapısının değiştirdiği bilinmektedir. Alüminyumun temel işlenebilirlik problemi talaşların kontrolündedir. Alüminyum ve bazı alüminyum alaşımlarının işlenmesi esnasında talaş sürekli, oldukça kalındır ve kolay kırılmaz. Bu durum özellikle delik delme işleminde talaşın uzaklaştırılması konusunda ciddi problemlere neden olur. Ayrıca malzemenin sünekliliğinden dolayı takıma yapışması da bir diğer işleme problemini doğurmaktadır [2-3].

Talaşlı imalatta, iyi bir kesme performansı için kesme bölgesinde oluşan ısının kontrolü ve çıkan talaşın sorunsuz bir şekilde uzaklaştırılması önemlidir. Çünkü kesme sürecinde oluşan ısının büyük bir kısmı talaşla birlikte kesme bölgesinden uzaklaştırılmaktadır [4]. Talaşlı üretimde özellikle talaşın kesme bölgesinden uzaklaştırılması konusunda en çok problem yaşanan işleme türü delik delme işlemidir. Delme işleminde talaş oluşumu kapalı alanda oluşur ve görülemez. Çıkan talaşın tahliyesi ve kesme sıvısının verilmesi çok daha zor olduğu, talaş ile helis kanalların ve matkap ile işlenen yüzeyler arasında sürtünmenin çok daha büyük olduğu, talaş açısının ağız boyunca değişmesi ve bundan dolayı ağız boyunca farklı kesme şartlarının olduğu göz önünde tutulursa, matkapla talaş kaldırma, tek ağızlı takıma göre çok daha karmaşık ve ağır koşullarda meydana geldiği açıktır [5]. Delik delme işlemiyle diğer talaşlı imalat işlemleri arasında bir kıyas yapıldığında, delik delme işleminin yaklaşık % 33'lük uygulanma oranı ile en önemli talaş kaldırma işlemlerinden biri olduğu söylenebilir [6]. Talaşlı imalat işlemleri arasında delik delme işlemlerinin bu kadar önemli paya sahip olması, delik delme sürecinde karşılaşılan problemlerin çözümüyle ilgili yapılacak çalışmaların önemini de arttırmaktadır.

Talaşlı imalat sürecinde karşılaşılan problemlerin çözümünde kesme sıvısı uygulaması önem arz eder. Çünkü bu süreçte, kesme sıvıları kesme bölgesinde oluşan ısıyı düşürürken, yağlama etkisi ile takım-talaş ara yüzeyindeki sürtünmeyi azaltır. Çıkan talaşın kesme bölgesinden uzaklaşmasına da yardımcı olur. Bu şekilde kesme sıvıları takım ömrünün uzamasını ve ürün kalitesinin artmasını sağlar.

Talaşlı imalatta yüksek verimliliğe olan talepteki artışla birlikte yüksek kesme ve ilerleme hızlarına ihtiyaç duyulmuştur. Doğal olarak yüksek kesme sıcaklıkları ortaya çıkmakta ve bu da takım ömrünü azaltmakla kalmayıp parça kalitesini de düşürmektedir. Kesme sıvılarının uygulanması yağlama, soğutma ve talaş uzaklaştırma özellikleri sayesinde talaşlı imalat işleminin performansına olumlu katkı yapmaktadır [7].

Başarılı bir imalat süreci, sadece ürün kalitesi ve üretim miktarı ile zamanını da kapsayan üretim ekonomisi ile ifade edilemez. Ayrıca doğaya ve insan sağlığına olan etkisi ile de doğrudan ilgilidir. Kesme sıvıları ile geleneksel soğutma uygulamaları, sözü edilen avantajlarının yanında imalat sürecinde olumsuz etkilere de sebep olmaktadır. Atık yönetimi iyi yapılmadığında kimyasal içeriğe sahip kesme sıvısı toprağa karışarak doğaya zarar vermektedir. Üretim hattında çalışanların tenine temas eden bu kimyasal sıvıların insan sağlığına da zarar verdiği bir gerçektir [8]. Bunun yanında kesme sıvılarının depolanması, tedariki ve atığının yok edilmesi gibi safhaların maliyetlerinden dolayı toplam üretim maliyetini de yükseltmektedir. Talaşlı üretimde, takım maliyeti toplam maliyetin % 2 ile % 4'lük bir kısmını oluştururken, kesme sıvısı maliyeti % 7 - % 17'lik bir kısmını oluşturması, kesme sıvısı maliyetinin üretim maliyetine olan etkisini açıkça ortaya koymaktadır [9].

Talaşlı imalatta kullanılan kesme sıvısı miktarının kontrolü hem doğaya ve insan sağlığına olan etkisi açısından hem de toplam üretim maliyeti açısından önemli olduğu açıkça görülmektedir. Dolayısıyla kullanılan kesme sıvısı miktarının düşürülmesi sözü edilen hususlarla ilgili ihtiyaç olarak ortaya çıkmaktadır. Burada diğer önemli olan husus ise kullanılan kesme sıvısı miktarını düşürürken ürün kalitesi ve kesici takım ömrünü olumsuz etkilememektir [8].

Kesme sıvısı kullanımını azaltmak için ise bazı teknikler kullanılmaktadır. Bunlar kesme sıvısı kullanmadan kesme (kuru kesme), basınçlı hava ile kesme, Yüksek Hızda Kesme

(YHK) (High Speed Machining-HSM) ve Minimum Miktarda Yağlama (MMY) (Minimum Quantity Lubrication-MQL) teknikleridir. Kuru kesme ve basınçlı hava ile soğutma şu anda çevre dostu bir imalat yöntemi olarak kullanılmakta ise de, bu yöntem yüksek işleme verimliliği, daha iyi yüzey kalitesi istendiği durumlarda ve zor kesme şartlarında daha az etkin olabilmektedir. Son yıllarda geliştirilen Minimum Miktarda yağlama (MMY) yöntemi bu ihtiyaçlara cevap aramak için uygulanan bir yöntemdir [8].

Minimum miktarda yağlamada, yağ pulverize olarak basınçlı havayla kesme noktasına püskürtülüp iş parçası ve kesici takım arasında yağ filmi oluşturulur. Bu sayede kesici takımın ve iş parçasının daha az ısınması sağlanır. Kullanılan yağ miktarı saatte 10 ila 150 ml'dir. Sulu kesmede bu miktarın saatte 50 ila 500 litre olduğu dikkate alındığında minimum miktarda yağlamada kullanılan yağın ne kadar az olduğu görülür [10].

Minimum miktarda yağlama tekniği (MMY) dahili ve harici olmak üzere iki şekilde uygulanmaktadır. Dahili uygulamada kesme sıvısı takım içinden geçirilerek kesme bölgesine ulaştırılırken, harici uygulamada kesme sıvısı basınçlı hava ile birlikte özel hortumlarla taşınarak dışarıdan kesme bölgesine ulaştırılır [11]. Özellikle delik delme işleminde, uygulanan kesme sıvısının kesici uca zamanında noktasal iletilmemesi, çıkan talaşın uzaklaştırılmasındaki zorluk dikkate alındığında, MMY yönteminde kesme sıvısının küçük tanecikler halinde yüksek basınçla püskürtme şeklinde uygulanmasının, söz konusu problemlere çözüm sağlayarak işleme performansını artıracak değerlendirilmektedir. Konuyla ilgili yapılan literatür araştırmasında da bu yöntemin takım ömrü ve yüzey kalitesi açısından geleneksel soğutma yöntemine kıyasla daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

Bu çalışmada AA 7075 ve AA 2024 alüminyum malzemelerin matkapla delinmesi sürecinde kullanılacak olan içten MMY tekniği, dıştan MMY tekniği, geleneksel soğutma, basınçlı hava ile soğutma ve kuru kesme yöntemlerinin işleme performansına etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Elde edilen delik kalitesi (dairesellik, silindiriklik, ölçü tamlığı ve delik yüzeyi pürüzlülüğü), takıma etkiyen ilerleme kuvvetleri ve momentler işleme performans kriterleri olarak belirlenmiştir.

2. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI

2.1. Alüminyum Hakkında Genel Bilgiler

Alüminyum, yumuşak ve hafif bir metal olup mat gümüşümsü renktedir. Alüminyum yer kabuğunda en çok bulunan üçüncü elementtir. Saf alüminyumun çekme dayanımı yaklaşık 49 MPa iken alaşımlandırıldığında bu değer 700 MPa'a çıkar. Yoğunluğu, çeliğin veya bakırın yaklaşık üçte biri kadardır. Çok üstün korozyon özelliklerine sahip olması, üzerinde oluşan oksit tabakasının koruyucu olmasındandır. Saf alüminyumun çekme dayanımı düşük olmakla birlikte, bakır, çinko, magnezyum, manganez ve silisyum gibi pek çok elementle alaşımlandırılarak mekanik özellikleri geliştirilebilir. Yüksek dayanım/ağırlık oranlarından ötürü alüminyum alaşımları uçak ve uzay araçlarının vazgeçilmez bileşenidir. Tüm bu nedenlerden dolayı günümüzde alüminyum materyal kullanımını artmaktadır. Dünyadaki metaller içerisinde en fazla kullanım alanına sahip olan demirin kolay korozyona uğradığı ve yoğunluğunun alüminyuma göre fazla olduğu düşünülürse alüminyum kullanımının sanayide her geçen gün daha da fazla artacağı görülmektedir. Endüstrinin pek çok kolunda milyonlarca farklı ürünün yapımında kullanılmakta olup dünya ekonomisi içinde çok önemli bir yeri vardır [12]. Alüminyumun fiziksel özellikleri Çizelge 2.1'de görülmektedir.

Çizelge 2.1. Alüminyumun Fiziksel Özellikleri [13]

Fiziksel Özellik	Değeri	Birim
Atom ağırlığı (r)	26,97	gr/mol
Dökme alüminyumun yoğunluğu (ρ)	2,65 - 2,69	gr/cm ³
Hadde alüminyum yoğunluğu (ρ)	2,7	gr/cm ³
Ergime noktası	658	°C
Kaynama noktası	1800	°C
Isı geçirgenlik katsayısı (k)	173	W/mK
Sıcaklık tesiri ile uzama (ϵ)		mm/m
0 °C - 50 °C	1,17	
100 °C	2,38	
200 °C	4,94	
400 °C	9,60	
500 °C	13,70	
Hacimsel çekme (dl/l)	1,7 - 1,8	%
Katı halden sıvı hale geçerken meydana gelen hacim büyümesi	6,5	%

Alüminyum hafif olması yanında, yüksek elektrik ve ısı iletkenliği, korozyona dayanıklılığı, imal kolaylığı ve diğer metaller ile yüksek çekme mukavemetine sahip alaşımlar oluşturabilmesi önemini artırmaktadır. Isı ve ışığa çok iyi yansıtmakta olup, manyetik değildir[13].

Alüminyum ve alaşımlarının gösterdiği mukavemet özellikleri malzemenin saflığına ve imal edildiği yöntemine göre farklılıklar gösterir. Alüminyuma katılan alaşım elementleri, mukavemet özelliklerini yükseltir. Başlıca alaşım elementleri: Magnezyum (Mg), manganez (Mn), silisyum (Si), bakır (Cu), çinko (Zn) ve bazen de kurşun (Pb), nikel (Ni) ve titanyumdan ibarettir. Alüminyumun mukavemet özellikleri imalat şekline göre Çizelge 2.2’de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Alüminyumun imalat şekline göre mukavemet özellikleri [13]

	Döküm Al.	Hadde Al.	Is. _sl.Tb. Tut. Al.
Çekme muk.,(kg/mm ²)	9-12	18-28	7-11
Akma muk., (kg/mm ²)	3-4	16-24	5-11
Uzama, (%)	18-25	3-5	30-40
Büzülme, (%)	40-55	60-85	80-95
Sertlik (Brinell,BSD)	24-32	45-60	80-95

Saf alüminyum dinamik dayanıklılığı, statik dayanıklılığının 0,4-0,5 katıdır. Soğuk şekil değiştirmiş alüminyuma kaynak yapıldığında ısıdan etkilenen bölgenin mukavemeti düşer. Kaynak esnasında parça tavlandığı için mukavemeti azalmaktadır. Kaynaktan sonra parça soğuk olarak şekil değişimine maruz bırakılırsa (çekiçlenirse) dayanıklılık kazanır. Alüminyum oksijene karşı ilgisi çok fazladır. Hava ile temas neticesinde, kısa zamanda oksijen ile birleşerek alüminyum oksit (Al₂O₃) oluşturur. Bunun sonucu bütün yüzeyi çok renkli alümin tabakası ile örtülür. Alüminyum bu özellikleri korozyona karşı mukavemetini yükseltmektedir. Alüminyum bu özelliği kullanma sahasını genişletmiştir. Soğuk şekil değiştirme korozyon mukavemetini düşürür. Alüminyumun saflık derecesi azaldığı takdirde de korozyon mukavemeti düşer. Yabancı elementler korozyon mukavemetini azaltmaktadır [13].

Sıcak ve soğuk şekil değiştirme, yeniden kristalleşme sıcaklığı yardımıyla su sekilde ifade edilir: Soğuk şekil değiştirme, yeniden kristalleşme sıcaklığının altında sıcak şekil değiştirme ise yeniden kristalleşme sıcaklığı üzerinde yapılan şekil değiştirmedir. Soğuk şekil değiştirmeden sonra taneler bozulmuş olarak kalır; sıcak şekil değiştirmeden sonra ise

taneler tekrar düzgün bir halde teşekkül eder. Alüminyum oda sıcaklığında soğuk şekil değiştirildiği takdirde, çekme ve akma mukavemeti yükselir. Buna karşılık uzama miktarı ve şekil değiştirme kabiliyeti azalır. Bu artma ve azalma şekil değiştirme derecesine bağlıdır. Soğuk şekil değiştirmiş alüminyum, yumuşak alüminyumdan daha az bir korozyon mukavemetine sahiptir. Daha önce soğuk şekil değiştirmiş bir alüminyum parça sıcak şekil değiştirilebilir. Fakat mukavemet düşer. Sıcak şekil değiştirme sıcaklığı 300-450 °C arasındadır [13].

Alüminyum alaşımları başlıca aşağıdaki özelliklere sahiptir:

- Yoğunluğu düşüktür.
- Mekanik özelliklerinin geniş dağılım aralığı vardır. Mukavemet, sertlik ve diğer özellikler ısıtılma işlemi ile çok değişik değerlere ulaşabilir.
- İyi bir akıcılığı vardır. Bu da ince kesitlerin doldurulmasında önemlidir.
- Düşük ergime ve döküm sıcaklıkları nedeniyle özellikle çelik, dökme demir gibi malzemeler göre ergitme işlemi ve dökümü kolaydır.
- Sıvı alüminyumdan kalıba ısı transferi hızlıdır.
- Atmosferik ve nemli ortama karşı korozyon direnci yüksektir.
- İyi yüzey düzgünlüğü ve parlaklığı vardır. Bu nedenle de mimari ve dekoratif değeri iyidir.
- Zehirlenme özelliği yoktur. Bu özelliğinden dolayı gıda endüstrisinde yaygın olarak koruma amacı ile kullanılır.
- Elektrik iletkenliği ve hafif olması nedeni ile yüksek gerilim hatlarında kablo ve iletken parça olarak kullanılmaktadır. İşlenebilmesi kolaydır.
- Hafifliğinden ötürü taşıma kolaylığı ve ucuzluğu vardır.

Mühendislik açısından alüminyum alaşımlarının kullanımını sınırlayan nedenleri şöyle sıralanabilir:

- Sürtünme ve aşınmaya karşı direnci düşüktür.
- Korozyon direnci; paslanmaz çelik, bakır esaslı alaşımlara ve nikel esaslı alaşımlara göre düşüktür.

- Alüminyum alaşımlarında kopma mukavemeti, tokluk ve sertlik düşük değerdedir. Ancak özel alaşımlandırma ile geliştirilebilir.

2.2. Alüminyum Alaşımlarının Sınıflandırılması

Alüminyum alaşımları temel olarak döküm ve dövme (işlem) alaşımlarına ayrılabilir. Ana alaşım elementi silisyum olan alaşımlar döküm alaşımlarının en önemli gurubudur. Bu alaşımların mikroyapılarında hızlı takım aşınmasına neden olan sert aşındırıcı silisyum parçacıklar içerirler. Bu alaşımlar düşük kesme hızı ve ilerlemelerde daha ekonomik işlenebilirler. İkili alüminyum silisyum alaşımlarına bakır ilavesi dayanımı artırır ve azalan süneklik ile takım ömrü iyileştirilir. Alüminyum-magnezyum ve alüminyum-çinko-magnezyum alaşımlarının tümü iyi işlenebilirliğe sahiptir [3].

Alüminyum *işlem* ve *döküm* alaşımı olarak iki ana gruba ayrılır ve alaşımlar dört rakam ile ifade edilir. İşlem alaşımlarında aşağıda verildiği gibi ilk rakam bileşikteki ana elementi belirtir.

- 1xxx % 99.0 veya daha fazla Al
- 2xxx Cu ana alaşım elemanı
- 3xxx Mn ana alaşım elemanı
- 4xxx Si ve Cu ve /veya Mg ana alaşım elemanı
- 5xxx Mg ana alaşım elemanı
- 6xxx Mg,Si ana alaşım elemanı
- 7xxx Zn ana alaşım elemanı
- 8xxx Diğer elementler
- 9xxx Yaygın olarak kullanılmayan seriler.

Döküm alaşımlarında da dört rakam vardır. Yalnız üçüncü rakamdan sonra bir nokta konulmuştur. Bu rakam döküm parçasını veya dökümhanede kullanılacak ingotu ifade eder. İlk rakam alaşım grubunu belirler [14].

- 1xx.x % 99.00 minimum alüminyum
- 2xx.x Cu ana alaşım elemanı

- 3xx.x Si Cu ve/veya Mg ilaveli
- 4xx.x Si ana alaşım elementi
- 5xx.x Mg ana alaşım elementi
- 7xx.x Zn ana alaşım elementi
- 8xx.x Sn ana alaşım elementi
- 9xx.x Diğer elementler
- 6xx.x yaygın kullanılmayan alaşımlar

Sonraki iki rakam alüminyumun saflığını, nokta ile ayrılan son rakam ise ürünün şeklini (döküm parçası veya ingot) belirtir (0:Döküm,1:İngot ,2:Modifiye edilmiş ingot).

2.3. Alüminyumun İşlenebilirliği

Alüminyumun işlenebilirliğini etkileyen faktörler iki başlık altında toplanabilir. Bunlar işleme Şartları ve malzemenin metalürjik yapısı olarak sınıflandırılabilir. Alüminyum alaşımlarının işlenmesinde kesici takım geometrisinin önemi çok büyüktür. Bu alaşımların işlenmesinde pozitif talaş açılı takımlar kullanılır. Pozitif talaş açısının büyüklüğü malzemenin sertliği de gözönünde bulundurularak 0-30° arasında değişmektedir [15].

Genelde alüminyum alaşımlarının işlenmesindetakıma etkiyen kuvvetler düşüktür ve kesme hızı artarken kuvvetler azalma eğilimi gösterir. Ticari saf alüminyumun özellikle düşük hızlarda kesilmesi sırasında yüksek kuvvetler oluşur. Özellikle düşük kesme hızlarında çoğu alaşım ilavelerinin yada soğuk işlermelrin saf alüminyum üzerindeki etkisi takım kuvvetlerini azaltır.

Alüminyumun temel işlenebilirlik problemi talaşların kontrolündedir. Alüminyum ve bazı alüminyum alaşımlarının işlenmesi esnasında talaş süreklidir, oldukça kalındır ve kolay kırılmaz. Talaşın gerçek şekli oldukça değişkendir. Alüminyumun işlenmesinde kontrol edilebilir talaş oluşumunu sağlayabilmek için çeşitli takım tasarımları geliştirilmiştir. Talaş şekli, talaş ve yaklaşma açısının değişimi ile veya talaş kırıcılar ile iyileştirilebilir. Kırılmış veya daha kolay kontrol edilebilir talaş üretmek için diğer bir yaklaşım, alaşımların bileşimini değiştirmektir [3].

Genellikle, saf alüminyumun işlenmesi çoğu alüminyum alaşımlarından daha zordur. Saf alüminyumun işlenmesinde uzun tel tel talaşlar çıkar ve bunların aşındırıcı özelliği nedeniyle yüzey kalitesi kötüleşir. Çoğu alüminyum alaşımları, yüksek kesme hızlarında işlenerek, iyi yüzey kalitesi ve uzun takım ömrü verirler. Genellikle, yaşlandırılmış alaşımlar, tavlanmış alaşımlardan daha kolay işlenir ve daha iyi yüzey meydana getirirler. Takım talaş arayüzeyi temas alanı çok büyük olduğunda, yüksek ilerleme kuvveti (F_t) düşük kayma düzlemi açısı ve çok kalın talaşların oluşmasına yol açmaktadır. Bunun sonucu olarak, yüksek kesme kuvveti (F_c) ve fazla güç sarfiyatı ortaya çıkmaktadır. Bu etki, alaşım yaparak veya soğuk çekme ile özellikle düşük hızlarda, azaltılır. Genellikle, çoğu alüminyum alaşımlarının (döküm ve işlem alaşımlar) işlenmesi, sahip olduğu düşük kayma dayanımlarından dolayı saf alüminyumdan daha kolaydır. Çoğu alüminyum alaşımları birden fazla faz ihtiva ettiği için düşük kesme hızlarında kesici kenarlarda yığıntı talaş oluşumuna (BUE) sebep olur. Bu sorun kesme hızındaki artışla giderilebilir [16].

Standart alüminyum alaşımları kurşun, kurşun-bizmut yada kalay-antimuan katkılarını içerir. Bu ilavelerle talaşlar küçük parçalara daha hızlıca ayrılır. Bunlar düşük ergime noktalı metallerdir. Alüminyum içinde ince tanelere ayrılarak yapı içinde mevcut olurlar. Bunlar talaşı oluşturmak için kesme kenarı boyunca alüminyum talaşının sürekliliğini azaltıcı rol oynarlar. Alüminyum alaşımlarının içindeki katkı elementlerinin temel görevi takım ömründen daha çok, talaş oluşumunu iyileştirmektir [3].

3. KESME SIVILARI VE UYGULAMA YÖNTEMLERİ

Kesme sıvılarının ve metal kesme tekniklerinin gelişimi, makine tasarımı ve kesici takım malzemeleri ile paralel gelişme göstermiştir. Talaşlı imalat sürecinde karşılaşılan problemlerin çözümünde kesme sıvısı ve uygulanma şekli önem arz etmektedir. Çünkü bu süreçte, kesme sıvıları kesme bölgesinde oluşan ısıyı düşürürken, yağlama etkisi ile takım-talaş ara yüzeyindeki sürtünmeyi azaltır. Çıkan talaşın kesme bölgesinden uzaklaşmasına da yardımcı olur. Bu şekilde kesme sıvıları takım ömrünün uzamasını ve ürün kalitesinin artmasını sağlar.

3.1. Kesme Sıvılarının Görevleri

Talaşlı imalat sürecinde kesme sıvılarının asıl görevi soğutma ve yağlama sayesinde sıcaklığı kontrol altında tutmaktır. Ancak bu sıvılar başka önemli işlevleri de yerine getirmektedir [17]. Bu işlevlerin başlıcaları şu şekilde sıralanabilir:

- Takımı ve iş parçasını soğutmak,
- Takım-talaş ve takım- iç parçası ara yüzeyini yağlamak,
- Çıkan talaşı uzaklaştırmak,
- Kaynak oluşumunu engellemek,
- Güç sarfiyatını düşürmek,
- Korozyonu engellemek,
- Takım ömrünü ve verimliliğini artırmak,
- Çıkan talaş biçimini değiştirmek.

Bütün talaş kaldırma işlemleri yüksek miktarda ısı oluşumuna neden olur. Kesme hareketi sırasında oluşan ısı; kesici takım ucunda metalin plastik deformasyonundan ve takım-talaş ara yüzeyi boyunca kayan talaşın sürtünmesinden dolayı oluşur [16]. Talaşlı imalat sırasında uygulanan kesme sıvısı ısıyı kesici takım-is parçası ara yüzeyinden uzaklaştırmaktadır [18]. Bu soğutucu etki, takımların akma dayanımının düşmesini sağlamakta ve aşınmanın başladığı kritik sıcaklığı aşmasını geciktirmektedir [19].

Kesme sıvısının diğer bir önemli görevi takımı, iş parçasını ve talaşı yağlamasıdır. Yağlayıcılık bağıl hareket halinde bulunan iki yüzey arasında bir film oluşturarak ve sürtünme katsayısını azaltarak hareketi kolaylaştırmak ve bağıl hareket halindeki yüzeylerin aşınmasını engellemektir [16,18]. Çoğu kesme sıvısı sürtünmeyi azaltarak belli bir malzemeyi işlemek için gereken güç miktarını düşürür. Bu, sadece enerji tasarrufu anlamına gelmemektedir; ayrıca daha az güç, daha az ısı oluşumu demektir. Daha az ısı oluştuğunda da takımın ömrü artar ve iş parçasının yüzey bütünlüğü korunur [20]. Kesme sıvılarının önemli işlevlerinden biri de talaşı kesme bölgesinden uzaklaştırmak, aynı zamanda talaşı soğutmak ve toz gibi küçük parçacıkların havaya karışmasını önleyerek sıvının içinde kalmasını sağlamaktır [20]. Bitirilmiş yüzeyin bozulmasını önlemek için, işleme sırasında kesme bölgesinin oluşan talaşlardan sürekli olarak temizlenmesi gerekmektedir [21]. Kesme sıvısı sayesinde talaşın takım ile iş parçası arasında sıkışması önlenerek, yüzeyde oluşabilecek çiziklerin önüne geçilmiş ve yüzey kalitesinin bozulması da engellenmiş olur. Kesme sıvısı uygulaması talaş oluşumunu etkilemektedir. Yüksek basınçlı sistemlerde sıvı bir talaş kırıcı rolü oynarlar. Talaşın arkasından yapılan püskürtme talaşı soğutmakla kalmayıp aynı zamanda talaşın küçük parçalara ayrılmasını da sağlar. Yüksek basınçta takım içinden uygulama, özellikle delmede iki kat fayda getirir. Talaşın soğutulması ve küçük parçalara ayrılmasının yanında, delikten hızlı bir şekilde dışarı atılması da sağlanır. Böylece delikte oluşabilecek çizilmeler ve talaşın takım helislerinin içinde sıkışma ve tıkama yapmasından kaynaklanabilecek sürtünmenin oluşturacağı fazladan ısı oluşumu azaltılmış olur [20, 22].

Kesme sıvıları bir miktar korozyon koruması özelliği sunmalıdır. Demir esaslı malzemelerin işlenmiş yüzeyi, koruyucu tabakanın ortadan kalkmasından dolayı hızlı bir şekilde paslanma eğilimi gösterir. İyi bir kesme sıvısı, paslanmayı önleyerek tezgâh parçalarının ve iş parçasının zarar görmesini engeller. Ayrıca talaş üzerinde koruyucu bir tabaka oluşturarak, bakımı zorlaştıran topaklanma ve cüruf gibi oluşumların da önüne geçilir [23].

3.2. Kesme Sıvılarının Sınıflandırılması

Kesme sıvıları kimyasal bileşimlerine göre kesme yağları ve su esaslı kesme sıvıları olarak ikiye ayrılabilir. Su esaslı kesme sıvıları ise kendi içinde; çözülebilir yağlar, yarı sentetik ve sentetik kesme sıvıları olarak sınıflandırılabilir [21].

3.2.1. Kesme yağları

Kesme yağları, su katılmamış mineral, hayvansal, bitkisel ve sentetik yağlardır. Düşük maliyetlerinden dolayı petrol esaslı mineral yağlar hafif çözücüler, nötr yağlar ve ağır yağlar sıkça kullanılan yağlardandır. Kesme yağları kararlıdır ve iyi bir pas koruyuculuğu sağlar. Yüksek hızdaki işlemlerde uygulanabilirliği düşüktür çünkü duman ve yangın oluşumu riski vardır ve cilt hastalıklarına ve başka sağlık sorunlarına yol açabilirler. Genel olarak düşük kesme hızlarındaki işlemlerde soğutucu özelliği daha az önemli olduğu için kesme yağları kullanılır [24]. Kesme yağları, soğutucu özelliklerinden çok yağlayıcı özellikleriyle etkilidirler. Taşlama ve honlama gibi işlemlerde su bazlı sıvılara göre daha iyi yüzey kalitesi ve daha düşük yüzey hasarı sağladıkları için yaygın olarak kullanılırlar. Genel olarak düşük kesme hızlarındaki işlemlerde soğutucu özelliği daha az önemli olduğu için kesme yağları kullanılır [21].

3.2.2. Su esaslı kesme sıvıları

Su esaslı kesme sıvıları sulu emülsiyonlar ve su içinde yağ çözümleridir. Kesme yağlarına göre daha düşük bir yağlama sağlarlar ancak daha iyi bir soğutma ve talaş uzaklaştırma işi görürler. Su, mineral yağlara göre iki-üç kat daha hızlı bir soğutucudur ve iki kattan fazla ısı tutar. Genellikle yüksek kesme hızları gerektiren işlemlerde kullanılırlar. Üç temel tipi vardır. Bunlar çözülebilir, yarı sentetik ve sentetik yağlardır [25].

Çözülebilir yağlar

Çözülebilir yağlar (emülsiyonlar ya da suda çözünen yağlar) % 60-90 petrol veya mineral yağ, emülsiyon yapıcılar ve diğer katkıları içerir. Bir miktarı suyla karıştırılarak kesme sıvısı oluşturulur. Su:yağ oranı 30:1 mertebesindedir [25].

Çözülebilir yağlar, su ve yağ karışımları oldukları için iyi bir soğutma ve yağlama özelliği gösterirler. Ayrıca tezgâhın hareketli parçalarının üzerinde bir yağ filmi bırakarak, makine yağı ve kızak yağının emülsiyon oluşturmasını engellerler. Bu özelliklerinin yanında pas önleme özelliğine de sahiptir. Mikrobik saldırılara duyarlılıkları, duman oluşumuna yatkınlıkları, cilt hastalığı oluşturma riskleri ve atık problemi bu sıvıların olumsuz yanlarıdır [21, 26].

Yarı sentetik kesme sıvıları

Yarı sentetikler çözülebilir yağlarla kimyasalların bir karışımıdır. Yüzde 2 ila 30 oranında küçük taneli mineral yağ içerirler. Kalan oranı ise esas olarak emülsiyon yapıcılar ve su oluşturur. Korozyon önleyici, yüksek basınç katkısı ile bakteri ve mantar önleyiciler de diğer katkılardır. Yarı sentetiklerin ıslatma kabiliyetleri yüksektir, ısıyı hızlı bir şekilde uzaklaştırabilirler ve atık olarak uzaklaştırılmaları kolaydır. Ayrıca bu sıvılar küçük emülsiyon taneleri ve daha düşük mineral yağ oranları sayesinde bakteri oluşumuna karşı da dayanıklıdır. Ancak su sertliği, yarı sentetik kesme sıvılarının kararlılığını etkiler ve çökelti oluşumuna neden olabilir. Ayrıca kimyasal katkılardan dolayı köpürme oluşumu da daha kolaydır ve genelde çözülebilir yağlara göre daha düşük bir yağlayıcılıkları vardır [21,25].

Sentetik kesme sıvıları

Sentetik kesme sıvıları, su esaslı kesme sıvısı içine sadece kimyasallar eklenerek elde edilir. Petrol veya mineral yağ içermez [26]. İçeriğinde kimyasal yağlayıcılar, yüksek basınç katkıları, pas önleyici katkıları ve bakteri önleyiciler bulunur. Bu sıvıların yüksek soğutma kabiliyetleri ve korozyon önleme özellikleri vardır. Ayrıca sentetikler, iyi bir yüzey kalitesi sağlar. Soğutma kabiliyetlerinin iyi olması nedeniyle fazla ısının oluştuğu yüksek kesme hızlarında kullanılırlar. Dumansız bir ortamın gerektiği ve köpük oluşumunun istenmediği uygulamalarda da bu sıvılar çözülebilir yağlara tercih edilir. Ancak yağ içermedikleri için yağlayıcılıkları daha düşüktür. Yağ içeren kesme sıvılarına göre daha az probleme neden olsalar da köpük ve ince bir sis oluşumu problemdir. Yağlayıcılığı ve ıslatmayı sağlamak için eklenen katkıları, kızak yağı ve diğer yabancı yağlarla emülsiyon oluşumuna neden olarak sert kalıntıların oluşumuna neden olabilir [21, 25, 26].

3.2.3. Gazlar ve gaz/sıvı karışımları

Bazı işlemlerde, kesme sıvısı yerine gazlar kullanılmaktadır. Özellikle havacılık ve uzay sanayisi gibi, iş parçası üzerinde sıvı artığının kalmasına izin verilmeyen uygulamalarda bu durum geçerlidir. Kullanılan gazlar; hava, helyum, CO₂, argon ve azot olabilir. Hava, düşük maliyeti nedeniyle en çok kullanılan gazdır. Zorlanmış taşınım ile soğutma

sağlayabilmek için hava sıkıştırılıp kullanılabilir. Yüksek basınçlı hava akımı, talaşı uzaklaştırabilir. Ancak yüksek hızlı ve basınçlı hava sistemlerinde gürültü, bir problemdir. CO₂, sıkıştırılıp kesme bölgesine püskürtülürse, buharlaşmayla soğutma sağlar. Çelik, paslanmaz çelik ve Inconel parçalarda, kriyojenik soğutma (örneğin hava akımıyla karıştırılmış sıvı nitrojen) başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Sıvı argon veya azot, sıfırın altındaki sıcaklıklara soğumaya müsaade eder.

Su esaslı kesme sıvısı damlacıklarının havayla karışımını içeren hava-yağ sisi, birçok uygulamada kesme sıvısı olarak kullanılabilir. Bu yöntem, parmak frezeleme gibi küçük kesme alanlarının olduğu yüksek hız uygulamalarında kullanılmıştır. Takım içinden soğutma sistemlerinin gelişimiyle birlikte, kullanım alanı daha çok düşük hızlı delik delme gibi uygulamalarla kısıtlı kalmıştır [21].

3.3. Kesme Sıvısı Uygulama Yöntemleri

Soğutucu uygulamasının üç temel yöntemi vardır: Sıvı fişkırtma, sis püskürtme ve elle uygulama. Yağdanlık veya boya fırçası kullanarak yapılan elle uygulama, kesme hızlarının düşük olduğu ve sürtünmenin problem olduğu diş açma ve diğer işlemlerde yağlama sağlamak amacıyla kullanılabilir. Ancak kesme sıvısını sürekli uygulamak ve iş parçasını etkili bir şekilde soğutmak bu yöntemle kolay olmadığı için, bu uygulama sadece az sayıda üretimin olduğu atölyelerde kullanılır [17].

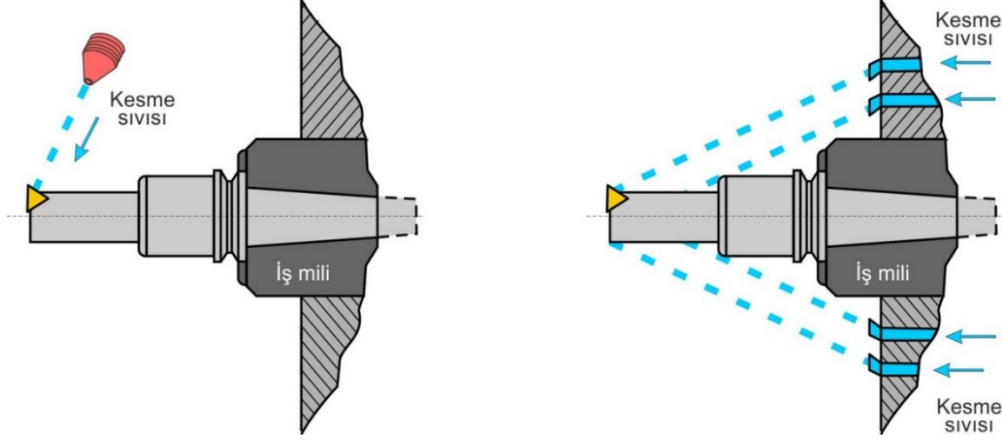
3.3.1. Sıvı fişkırtma (Geleneksel soğutma)

Sıvı fişkırtma yöntemi de kendi içinde takım dışından soğutma ve takım içinden soğutma olarak ayrılabilir.

Takım dışından soğutma

Takım dışından soğutmada sıvı, düşük basınçta akıtılabilir ya da yüksek basınçta fişkırtılabilir. Düşük basınçta akıtma sistemlerinde soğutucu, nozullar vasıtasıyla kesme bölgesine belli bir basınçla sevk edilir. Soğutucu sabit veya esnek borularla uygulanabilir. İki durumda da nozullar yeterli miktarda sıvıyı kesme bölgesine uygulayacak ve iş

parçasını ve kesici takımın önünü bu sıvıyla kapatacak şekilde yönlendirilmiş olmalıdır (Şekil 3.1).



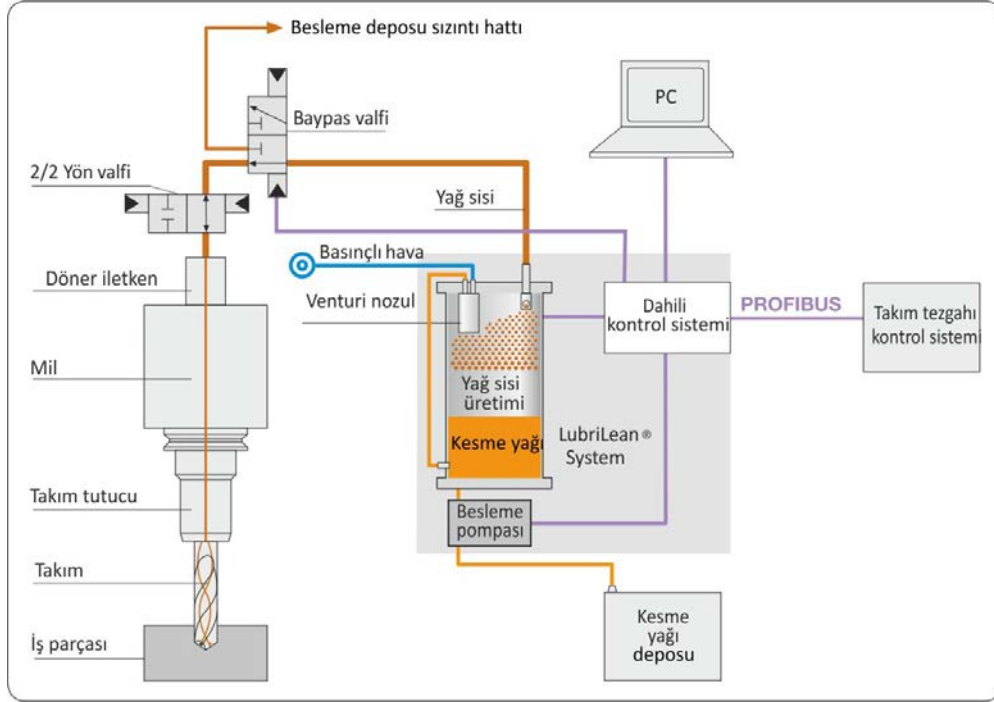
Şekil 3.1. Takım dışından soğutma [21].

Eğer soğutucu miktarı yeterliyse, düşük basınçta akıtma uygulaması talaşları uzaklaştırma ve iş parçasını boyutsal toleransları sağlayacak şekilde soğutma konusunda etkili olur ancak bu uygulamanın yağlama etkisi düşüktür. Yüksek basınçta fişkırtma uygulamasında ise soğutucu, nozullar vasıtasıyla yüksek basınçta kesici takımın önüne çarpacak şekilde yönlendirilmiştir.

Nozul iç basıncı borunun çapına göre geniş bir aralıkta olabilir ancak genelde 5-50 bar'dır. Bazı taslama işlemlerinde ve talaş kırıcı jet sistemlerinde göreceli olarak daha yüksek basınçlar kullanılır [29]. Delik delme, frezeleme ve delik delme işlemlerinde soğutucu, genellikle iş milinin çevresindeki bir halkaya monte edilmiş nozullar vasıtasıyla rijit bir boru içinden geçirilerek uygulanır. Tornalamada bu nozullar takım tutucuya; taşlamada ise tasın önündeki bir boruya monte edilir. Yüksek basınç uygulaması daha etkin bir yağlama ve talaşı uzaklaştırma işlevi görürken; eğer düzgün bir toplama ve filtreleme sistemi yoksa operatöre zarar verebilecek duman oluşumuna neden olur. Ayrıca soğutucu bu uygulamada havayla temas etmeye ve köpürmeye daha meyilli olur [21].

Takım içinden soğutma

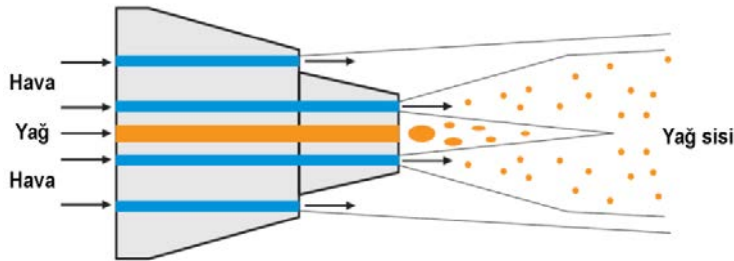
Takım içinden soğutma uygulamasında soğutucu, mil içinden takımdaki soğutucu yoluna yüksek basınçla verilir. 13 bar'lık basınçlar birçok tezgâh için standarttır ve 35-100 bar'lık



Şekil 3.3. Tek kanallı içten MMY sisteminin çalışma şeması [11]

Minimum miktarda yağlama (MMY)

Bu sistemlerde az miktarda bitkisel yağ veya su bazlı kesme sıvısıyla oluşturulmuş yağ sisi (aerosol) takım içinden veya dışarıdan uygulanır (Şekil 3.4). Gerekli sıvı miktarı, uygulamanın ve sıvının çeşidine göre değişmekle birlikte, genellikle saatte 10 ila 150 ml'dir. Parça işleme sırasında yağ neredeyse tüketildiği için havaya sis karışmamaktadır. Talaşlar kuruya yakındır ve kolayca geri dönüştürülebilir [21].

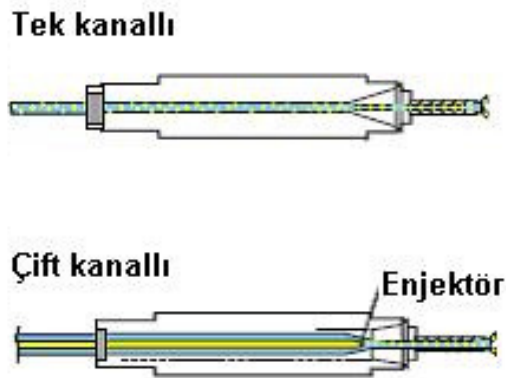


Şekil 3.4. Dıştan MMY sisteminde kullanılan çift kanallı bir nozulda yağ sisi oluşumu [11]

Minimum Miktarla Yağlama (MMY) tekniği *içten (dahili)* ve *dıştan (harici)* olmak üzere iki farklı şekilde uygulanabilir.

Dahili (içten) minimum miktarda yağlama

Dahili MMY yönteminde soğutma uygulaması hava, hava akımı içerisinde yağ sisi (aerosol) küçük yağ damlacıkları ile yapılır. Aerosol, yağlama sisteminin rezervuarı içerisinde üretilerek hortumlarla dönen milin içinden geçer. Takımın içindeki MMY soğutma kanallarından da geçerek iş parçasına ulaşır (Şekil 3.3) [10].



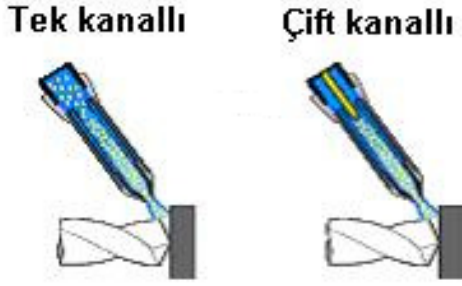
Şekil 3.3. Dahili (içten) minimum miktarda yağlama [27]

Dahili MMY yöntemi de kendi içinde tek kanallı ve çift kanallı olmak üzere ikiye ayrılır. Tek kanallı sistemde, yağ-hava karışımı dışarıda hazırlanarak püskürtülür, çift kanallı sistemde ise yağ ve hava ayrı ayrı takım içine gelir ve orada karıştırılır. Dahili MMY sistemlerinde yağ sisi (aerosol) oluşturmak için özel bir alet kullanılmaktadır. Bu alet sayesinde damlacıkların büyüklüğü 0,3-1 μ m'ye kadar düşürülebilmektedir. Damlacıkların kütleleri az olması sebebiyle ataletleri de küçüktür. Aerosol bu sayede çok uzak mesafelere taşınabilir. Keskin dönüşler ya da yüksek hızda dönen millerden önemli bir değişikliğe uğramadan geçebilir ve istenilen yağlama noktasına ulaştırılır [11].

Sıvının mil ve takım içinden geçtiği dahili yağlama, uzunluk/çap (l/d) oranının daha büyük olduğu delme, raybalama ve diş açma işlemlerinde faydalıdır. Bu yöntemle takımın pozisyonundan bağımsız olarak püskürtülen sıvı kesme kenarına ulaşır. Derin delik delme işlemlerinde, büyük l/d oranı içten püskürtmeli minimum miktarda yağlamayı vazgeçilmez hale getirmektedir. Bu yöntemin diğer avantajları ise nozul konumlandırılmadan kaynaklanabilecek hataların önlenmiş olması ve takım içinden püskürtme yapıldığı için işleme alanının besleme borularıyla işgal edilmemiş olmasıdır [23].

Harici (dıştan) minimum miktarda yağlama

Harici MMY yönteminde soğutma uygulaması sabit nozullarla dışarıdan püskürtme şeklinde yapılır. Rezervuar, bir veya daha fazla karışım düzenleyicisi ve soğutma hortumlarına ek olarak püskürtme ağzından oluşur. Sıkıştırılmış hava sisteme beslenir. Bu sayede kesme sıvısı rezervuarının üzerindeki basıncı artırır. Üniteye beslenen basınçlı hava sayesinde sistemde artan basıncın etkisiyle kesme sıvısı hava ile karışmadan taşınır. Sprey nozuldan eş merkezli şekilde hava ile karışarak atomize olmuş bir halde iş parçasına tatbik edilir (Şekil 3.4) [28, 29].



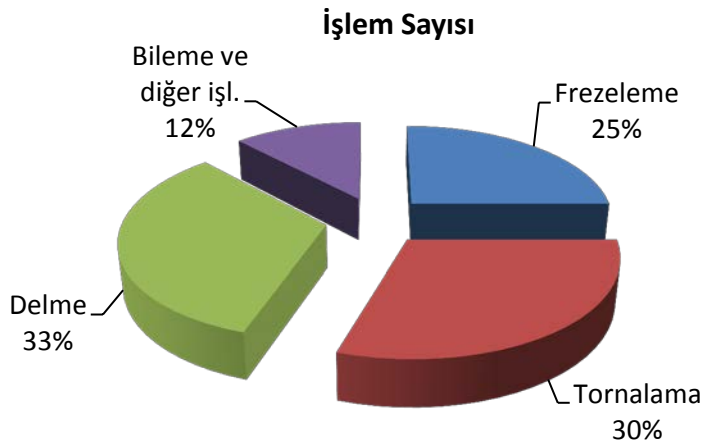
Şekil 3.4. Harici (dıştan) minimum miktarda yağlama [27]

Dahili sisteme benzer şekilde, harici sistem de kendi içinde tek kanallı ve çift kanallı olmak üzere ikiye ayrılır. Tek kanallı sistemde, yağ hava karışımı dışarıda hazırlanarak püskürtülür, çift kanallı sistemde ise yağ ve hava ayrı ayrı nozul (meme) içine veya takım içine gelir ve orada karıştırılır. Dıştan püskürtmeyi gerektiren uygulamalarda aerosol kesici uca dışarıdan bir veya daha fazla nozulla ulaştırılır. Burada nozul sayısı, yönü ve düzeni yöntemin kalitesini belirlemede önemlidir. Bu teknik; kesmede, parmak ve alın frezelemede ve tornalamada kullanılmaktadır. Delme, raybalama ve diş açma gibi işlemlerde sadece uzunluk/çap oranı $l/d < 3$ olduğu durumlarda dıştan püskürtme kullanışlıdır [22, 28, 30].

4. DELİK DELME

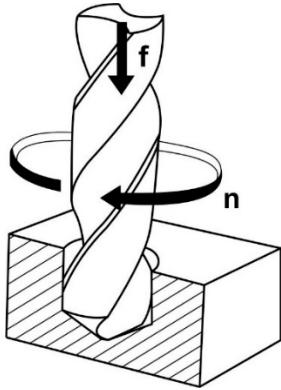
4.1. Delik Delme İşlemi

Delik delme, imalat endüstrisinde yaygın olarak uygulanan talaş kaldırma işlemidir. Delik delme işlemiyle diğer talaşlı imalat işlemlerinin uygulanma sıklığı konusunda bir mukayese yapıldığında, delik delme işleminin yaklaşık % 33'lük uygulanma oranı ile en önemli talaş kaldırma işlemlerinden biri olduğu görülmektedir (Şekil 4.1) [6].



Şekil 4.1. Delik delme işleminin diğer talaş kaldırma işlemleriyle karşılaştırılması [6].

Delik delme işlemi, matkap adı verilen kesici takımın kendi etrafında dönerken eş zamanlı olarak aksenal doğrultuda ilerlemesi ile iş parçasından talaş kaldırmak suretiyle yaptığı silindirik boşluk açma işlemidir.

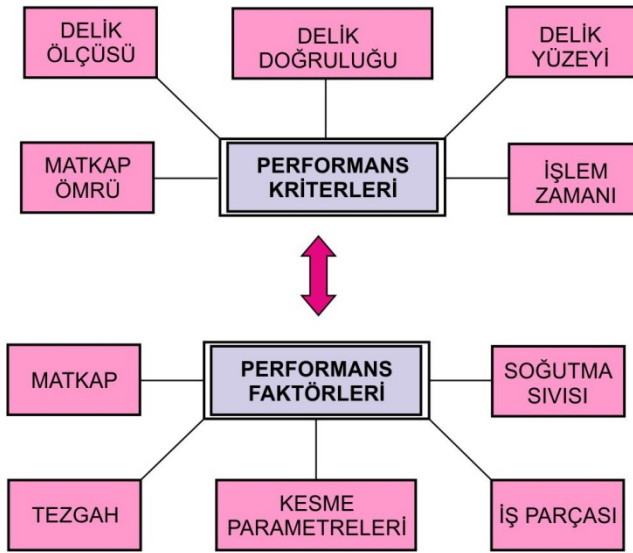


Şekil 4.2. Delik delme işleminde takımın dönmesi (n) ve ilerlemesi (f) [5]

4.2. Delik Delme İşlemini Etkileyen Faktörler

Talaşlı imalatta işleme performansını etkileyen faktörler kesme parametreleri, takım malzemesi ile geometrisi, soğutma şartları, işlenen malzemenin metalurjik yapısı, işlemin yapıldığı tezgah özellikleri vb. olarak sayılabilir. Bu faktörler diğer işleme türlerinde olduğu gibi delik delme performansında da etkilidirler [31, 32].

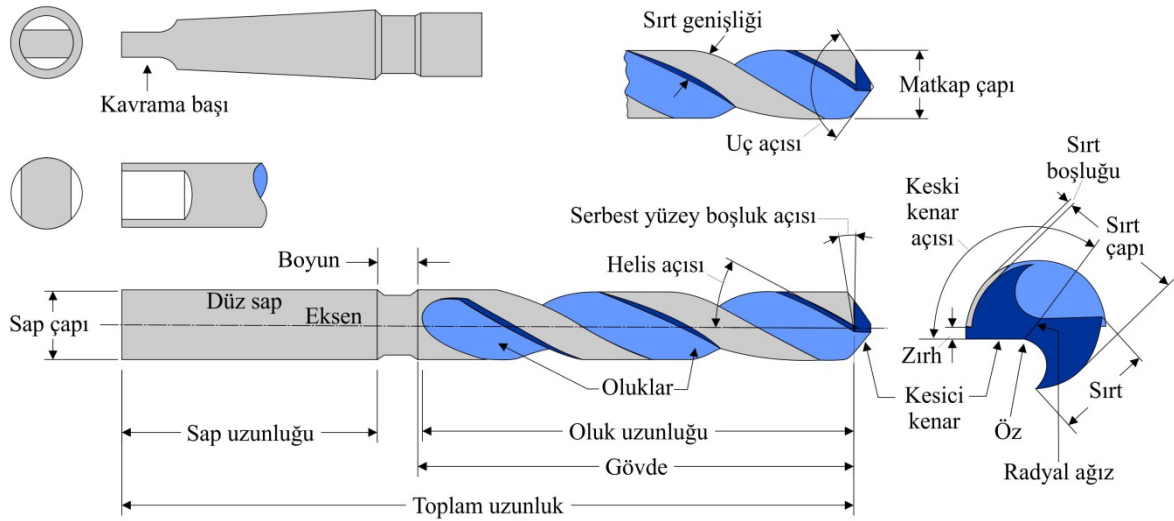
Delik delme işleminde bir performans değerlendirmesi yapılacak olursa değerlendirme kriterleri; kesici takım ömrü, delik kalitesi (yüzey kalitesi, deliklerde ölçü-şekil doğruluğu) ve talaş kaldırma verimliliği ile nitelendirilebilir. Bu kriterleri etkileyen faktörler Şekil 4.3’de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Delik delme performansı kriterlerini etkileyen faktörler [1]

4.2.1. 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 [33].



Şekil 4.4. Çift ağızlı matkap ve kovanın geometrisi [34]

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 [35].

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 [35].

4.2.2. 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 kesimini belirlemektedir.

Kesme hızı (V_c)

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 (V_c), çevresel hızdan yararlanılarak belirlenir.

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

$$V_c = \pi \cdot D \cdot n / 1000 \text{ \{m/dk\}} \quad (4.1)$$

şeklinde hesaplanır.

Delik delme işlemin de kesme hızı çevreden merkeze doğru düştüğü için kesme kenarı matkabın enine (radyal) kesici kenarda 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

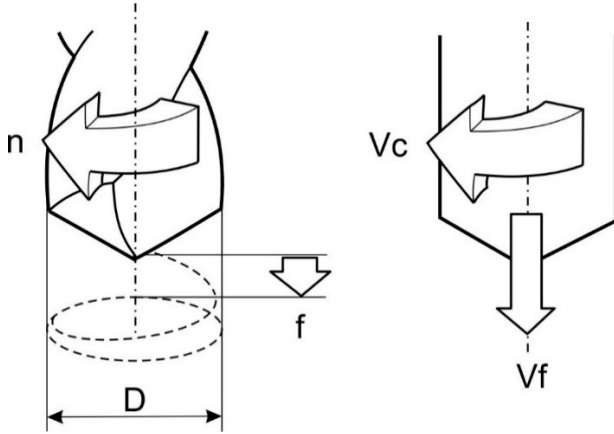
Takım ömrünün saptanmasında temel faktördür ve güç tüketimini etkiler.

Yüksek kesme hızı;

- Matkap üzerinde hızlı serbest yüzey aşınmasına,
 - Kesme kenarlarında plastik deformasyona,
 - Düşük delik kalitesine,
 - Tolerans dışı sonuçlara
- yol açabilir [36].

Çok düşük kesme hızı ise;

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



Şekil 4.5. Kesme hızı-ilerleme hızı [35]

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.

$$V_f = f \cdot n \text{ \{mm/dk\}} \quad (4.2)$$

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.

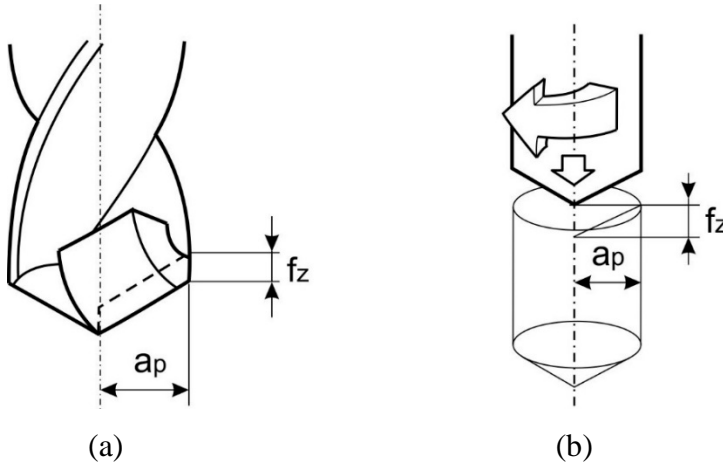
Düşük ilerleme hızı ise;

- Daha uzun talaşlar,
- Yüzey kalitesinde iyileşme,
- Takım aşınmasında daha hızlı artış,
- Daha uzun kesme süresi/delik başına daha yüksek maliyet anlamı taşır [36].

Talaş kesiti

Talaş kaldırma işlemi sırasında delik içerisinde oluşan talaşlar işlenen yüzeye zarar vermeden, kolaylıkla kesme bölgesinden uzaklaştırılacak bir şekle sahip olmalıdırlar [37]. Talaş genişliği veya radyal talaş derinliği (a_p), takımın temasta olduğu iş parçası yüzeyidir ve tornalamada olduğu gibi yarıçap cinsinden ifade edilir.

$$a_p = (D-d)/2 \text{ \{mm\}} \quad (4.3)$$



Şekil 4.6. Delme işlemlerinde talaş kesit alanı (a) ve kesici kenar başına ilerleme (b) [35]

Takımda birden fazla kesici kenar olduğundan (z kesici kenar-sayısı) talaş kesit alanının (A) tanımında kenar başına ilerleme (f_z -mm/z) değeri kullanılır. Bu alan bir kenar tarafından kaldırılan malzemenin alanıdır ve radyal talaş derinliği ile kesici kenar başına ilerlemenin çarpımına eşittir (Şekil 4.6). Bu tanımlardan bazıları kullanılarak talaş debisi (V) veya birim zamanda kaldırılan talaş hacmi hesaplanabilir. Burada talaş hacmi, kesme hızı ile talaş kesit alanının çarpımıdır.

$$V = A.Vc.1000 \{mm^3/dk\} \quad (4.4)$$

4.2.3. Takım tezgahı

Matkap tezgahları; masaüstü matkap tezgahı, sütunlu matkap tezgahı, radyal matkap tezgahı, borwerg (yatay delik işleme tezgahında), talaşlı imalatta kullanılan çok matkaplı tezgahlar ve CNC tezgahları 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 ve oval delikler oluşabilir. Ayrıca matkap tezgaha bağlanırken matkap çapının boyuna göre çok küçük olması durumunda burkulma tesiriyle matkap kırılabilir [5, 32].

4.2.4. 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 [2, 3].

Bu çalışmada deney numunesi olarak kullanılan AA7075 ve AA2024 alüminyum alaşımları ve işlenebilirlikleriyle ilgili bilgiler *Bölüm 2*'de geniş kapsamlı olarak verilmiştir. Ayrıca delik delme performansını etkileyen bir diğer faktör olan soğutma yöntemi uygulaması ve soğutma sıvılarına yönelik bilgiler de *Bölüm 4*'de yine kapsamlı olarak verilmiştir.

4.3. Delik Delme İşleminde Delik Kalitesi

Günümüzde gelişen teknolojiye paralel olarak üretimden yüksek hassasiyet beklentileri artmıştır. Üretilecek bir ürün üzerindeki delik ihtiva eden unsurlar için de aynı yüksek hassasiyet beklentileri söz konusudur. Delik kalitesini belirleyen en önemli özellikler;

- Delik yüzeylerinin kalitesi,
- Çaptan sapma (Ölçüden sapma),
- Dairesellikten sapma (ovalite) ve
- Silindiriklikten sapma (eksenel kaçıklık)

olarak sınıflandırılabilir.

Deliklerde bu özellikleri sağlamak için ikincil bir işlem olarak “raybalama” işleminin uygulanması yaygındır. Ancak günümüzde modern takım tezgahları ve modern delme takımları ile, ilave bir işlem ve önemli bir maliyet getiren bu uygulama yapılmadan da arzu edilen delik kalitesinin elde edilmesi mümkün olabilmektedir. Doğru seçilmiş kesme parametreleri ve soğutma şartları arzu edilen delik kalitesinin elde edilmesi için en önemli etkenlerdir [5, 36].

4.3.1. Delik yüzeylerinin kalitesi

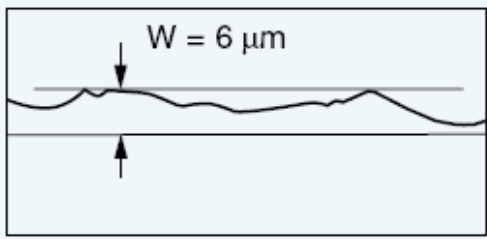
Malzemelerin işlenebilirliğinin değerlendirilmesinde kullanılan en önemli kriterlerden birisi işlenen yüzeylerden ölçülen yüzey pürüzlülük değerleridir. İyi bir yüzey pürüzlülüğü bitmiş ürünün tribolojik özellikleri, yorulma dayanımı, korozyon direnci ve estetik görünümünde önemli iyileşmeler sağlamaktadır. Birbiri üzerinde hareket eden parçaların iç yüzey kalitesi ve pürüzlülüğü bu parçaların performansında önemli rol oynar. Delik iç yüzeyleri bitirme işlemlerinde birçok problemle karşılaştığı için üretimde zaman olarak büyük yer tutmaktadır. Bu yüzden delik delme işlemlerinde yüzey pürüzlülüğünün ölçümü önemli bir yer tutmaktadır [44].

Talaş kaldırma ile işlenen yüzeylerde, dalga ve pürüzlülük olmak üzere iki türlü yüzey sapması meydana gelir. Dalga geometrik sapmalar grubuna dâhildir. Dolayısıyla yüzey kalitesini esasen yüzey pürüzlülüğü tayin eder [5]. Yüzey pürüzlülüğü, şekil ve dalgalanma

hataları dikkate alınmadan, sınırlanmış bir alandaki işlenen yüzeyin belirli şekilde tanımlanan bütün bozukluklarının tamamıdır. Yüzey kalitesine etki eden çok değişik faktörler vardır. Parçanın talaşlı imalatı sırasındaki kesici takım hatalarına ve kesme esnasında meydana gelen titreşime bağlı olarak iş parçasının yüzeyinde geometrik hatalar meydana gelir. Kesici takım hataları; kesici ağızların aksel ve radyal olarak hatalı yerleştirilmesi, kesici ağızların kesme esnasında kesme kuvveti etkisi altında şekil değiştirmesi ve takım aşınması olarak karşımıza çıkar.

Dalgalılık

Biçim titreşimi veya dalgalılık (W) yüzeyin makro yapısıdır (Şekil 4.7). Kabul edilemeyen dalgalılık hassas olmayan kesici takım tutucu, fener mili veya kesici uçların aksel hareketinden dolayı meydana gelir. Dalga tepesi arasındaki mesafe genellikle devir başına ilerleme ile çakışır [36].



Şekil 4.7. Dalgalılığın şematik gösterimi [36]

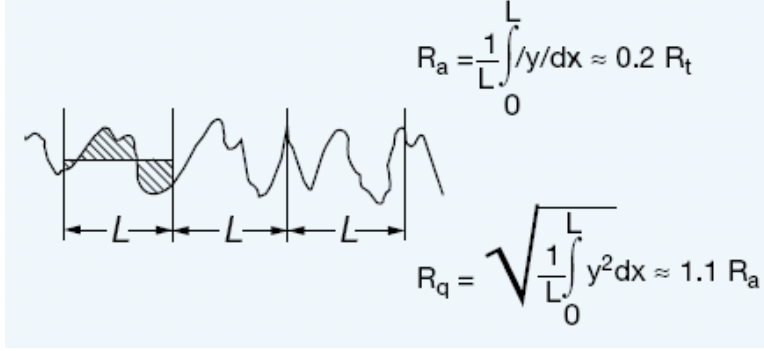
Yüzey pürüzlüğü

Yüzey düzensizliği veya pürüzlülüğü kesici kenar kalitesine, iş parçasının malzeme kalitesi, kesme parametreleri bağlıdır. [5]. Pürüzlülük yüzeyin mikro yapısıdır. Profilmetre denilen bir cihazla ölçülür. Yüzey düzensizlikleri, dalgalılık üzerinde yüzey pürüzlülüğü olarak uygulanır ve W+Rmax grafiği gerçek yüzey kalitesini gösterir [36].

Ra, Rq (Ortalama çizgi sistemi)

Ra bir pürüzlülük parametresidir. Profilin orta çizgisinden ayrılmalarının aritmetik ortalamasıdır ve Şekil 4.8.'in incelenmesi ile görüleceği üzere birbiri ardına gelen birkaç L örnekleme uzunluk boyunca meydana gelen tepe ve çukurların oluşturduğu alanların

ortalamasının sonucu olarak belirlenir. Grafikteki R_a değerleri yüzey kalitesinin yetersiz göstergeleridir, yalnızca ortalama sapmayı gösterir ve dalgalılığı içermez. R_t değerlendirilen uzunluk boyunca maksimum tepe-çukur değeridir, yani L örnekleme uzunluğu, R_{max} bir L örnekleme uzunluğundaki yüksekliktir [36].



Şekil 4.8. Ortalama yüzey pürüzlülüğü çizgi sistemi (R_a , R_q) [36]

Ortalama çizgi tepe ve çukurlar boyunca merkezi olarak devam eder. Ortalama çizgi, matematiksel olarak çizginin alt ve üstünde yer alan tepe ile çukurları birbirinden alansal olarak ikiye ayırır [37]. R_q bilimsel ölçüm ve istatistiklerde kullanılan ortalama alanı hesaplamasının diğer bir yöntemidir ve ortalama alanların kareleri toplamının karekökünü alma şeklinde ifade edilir.

$$R_a = \frac{a+b+c+d}{4} \quad \text{ve} \quad R_q = \sqrt{\frac{a^2+b^2+c^2+d^2}{4}} \quad (4.5)$$

R_a değerini profilden kaydederek grafiksel olarak belirlemek daha kolaydır. R_a değeri, pürüzlülük ölçüm cihazları genel kullanımda yaygınlaşmadan önce kullanılmaya başlanmıştır. Pürüzlülük parametresi aletsel olarak belirlendiği zaman R_q değeri elektriksel filtrelerdeki faz etkisinin önemsiz olmasından dolayı basitlik avantajına sahiptir. [28].

4.3.2. Geometrik toleranslardan sapmalar

Çaptan sapma

Delik delme işleminde delik yüzeylerinin kalitesi kadar delik ölçülerinin geometrik toleranslar dahilinde olması da önem arz eder. Özellikle savunma ve uzay sanayi gibi hassas

matkaba delik çıkısına kadar deliğin klavuzluk etmesinden kaynaklandığı söylenmektedir [46-47].

Silindiriklikten sapma (Eksenel kaçıklık)

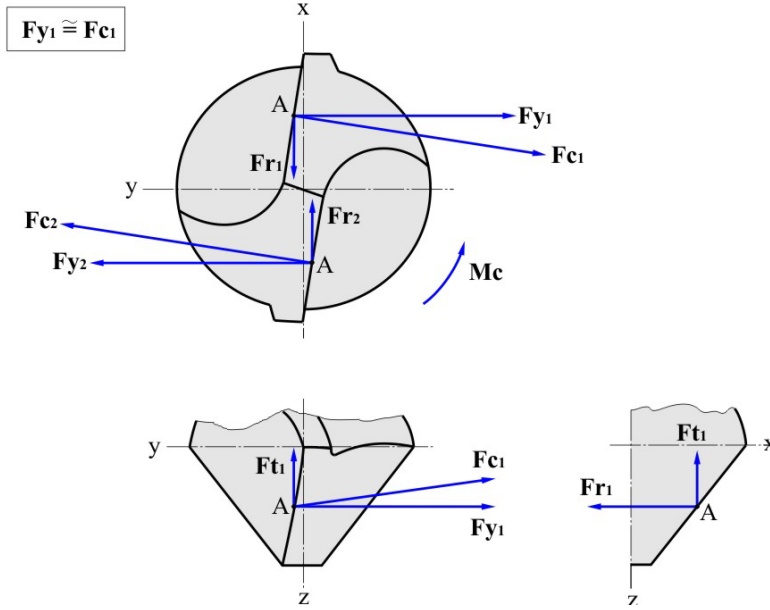
Bir deliğin geometrik toleransları değerlendirilirken delik çap ve daireselliğinin yanısıra, deliğin silindirikliği de önem taşımaktadır. Silindiriklikten sapma deliğin çeşitli faktörlerin etkisiyle düşey ilerleme ekseninden kaçıklığı olarak ifade edilebilir. Özellikle delik boyunun delik çapına oranının (L/D) büyük olduğu derin delik uygulamalarında bu kriter daha önemli olmaktadır. Tezgâh ana mili üzerinde bir basınç oluşturan eksenel kuvvetin büyümesi ana mildeki sehimin artmasına neden olmakta, bu da eksenel kaçıklığın büyümesine sebep olmaktadır. Delme işlemlerinde deliğin kalitesini belirleyen en önemli unsurlardan birinin talaş tahliyesi olduğu düşünülürse kesme sıvısının talaş tahliyesini kolaylaştırarak delik kalitesinin artması konusunda önemli bir etkiye sahip olduğu söylenebilir. Ayrıca termal bozulmalar da deliğin silindirikliğini olumsuz yönde etkileyen faktörlerdendir [48]. Dolayısıyla kesme sıvısı uygulaması hem talaş tahliyesi hem de kesme bölgesindeki sıcaklığın kontrolü açısından silindiriklikten sapmaların azalması konusunda olumlu etkiye sahiptir.

4.4. Delik Delme İşlemlerinde Kuvvet ve Momentler

Delik delme işleminde matkap, delik boyunca ilerlemek ve talaş kaldırmak için enerji harcar. Matkabin kesici kenarları talaş kaldırmaya başladığı an kesme kuvvetleri matkabin kesici kenarlarına etki etmeye başlar ve bu işlem için bir miktarda güç gereklidir. Gerekli olan bu güç, iş parçası malzemesinin cinsine göre farklılık gösterdiği için gücün, momentin ve ilerleme kuvvetinin hesaplanmasında özgül kesme kuvvetine (k_c - N/mm²) ihtiyaç vardır [49]. Delik delme işlemlerinde özgül kesme kuvveti, 1 milimetrekarelik bir talaş kesit alanını kesmek için gerekli olan teğetsel kuvveti veya efektif kesme kuvvetinin teorik talaş alanına oranı olarak tanımlanır [50].

4.4.1. Kuvvetlerin hesaplanması

Delme işlemi esnasında matkabin bir ağzına gelen talaş kaldırma kuvveti bileşenleri kesme kuvveti ($F_c = F_y$), ilerleme kuvveti (F_t) ve radyal kuvvetten (F_r) oluşmaktadır (Şekil 4.10).



Şekil 4.10. Matkap ucunu etkileyen kuvvetler [32].

Matkapta bulunan ağızların konumu itibarıyla her ağızda oluşan radyal kuvvetler birbirini dengelemektedirler. Bundan dolayı delme işleminde sadece F_c ve F_t kuvvetleri hesaba katılmaktadır [32]. Matkap ucu incelendiğinde, kesici ağızlardan birinin üç kuvvetin etkisi altında olduğu görülür. Takımın iki kesici ağızdan oluştuğunu kabul edersek, aşağıdaki bağıntılar yazılabilir;

$$F_t = F_{t1} + F_{t2} \quad (\text{eksenel kuvvet}) \quad (4.6)$$

$$F_{y1} = F_{y2} \quad (\text{teğetsel kuvvet}) \quad (4.7)$$

$$F_{c1} = F_{c2} \quad (\text{kesme kuvveti}) \quad (4.8)$$

İlerleme kuvveti (F_t) genelde deneysel yollarla belirlenir. F_y teğetsel kuvvet ile F_c kesme kuvveti pratikte birbirine eşit olarak kabul edilir. Bugüne kadar yapılan çalışmalar neticesinde ilerleme kuvveti ;

$$F_t = 2F_c \cdot \sin \psi/2 \quad (\text{N}) \quad (4.9)$$

$$F_t = K \cdot (s \cdot d)^{0.8} \quad (\text{N}) \quad (4.10)$$

Yazılan bu eşitliklerden $F_t = K.(s.d)^{0.8}$ (N) gerçeğe daha yakın sonuçlar verdiği için ilerleme kuvveti hesaplamalarında daha çok tercih edilmektedir. Bu eşitliklerde;

F_c : Esas kesme kuvveti (N),

s : İlerleme miktarı (mm/dev),

d : Takım çapı (mm),

ψ : Uç açısı,

K : Çizelge 4.1'deki K sabitini ifade etmektedir.

Çizelge 4.1. F_t 'nin hesaplanmasında kullanılan K değerleri [31].

Delinen gereç cinsi (genel)	K (N/mm ²)
Çelikler	1650
Döküm gereçler	800
Hafif metal alaşımlar	900

4.4.2. Momentlerin hesaplanması

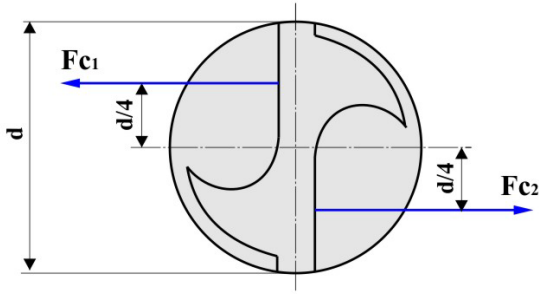
Delme işleminde, kesme kuvvetlerinin meydana getirdiği momenti iki ayrı açıdan incelemek gerekir. Birincisi delme (kesme) momenti (M_c), diğeri ise sürtünme momenti (M_f) olup, delme esnasında oluşan toplam moment bu iki momentin toplamından oluşmaktadır. Delme momenti, F_c kesme kuvvetinin matkap yarıçapının dörtte bir uzunluğunun çarpımı sonucu elde edilir (Şekil 2.10). Matkapta bulunan ağız sayısı kadar moment oluşacağından F_c 'nin oluşturduğu moment ağız sayısı ile çarpılarak delme momenti toplamı elde edilir. Şekil 4.11'deki kesme kuvvetinin tarafsız eksene göre momenti alınır,

$$M_c = F_c \cdot (d/4) + F_c \cdot (d/4) \text{ (Nm)} \quad (4.11)$$

$$M_c = 2 \cdot F_c \cdot (d/4) \text{ (Nm)} \quad (4.12)$$

$$M_c = F_c \frac{d}{2} \text{ (Nm)} \quad (4.13)$$

olur [32].

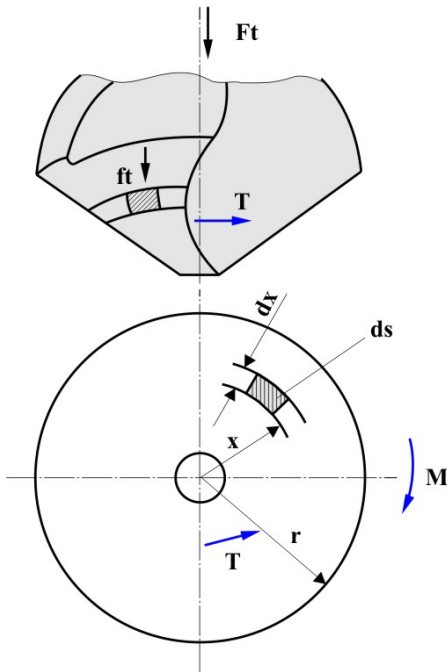


Şekil 4.11. Kesme kuvvetlerinin oluşturduğu kesme momenti [32].

Sürtünme momenti (M_f) ise; matkap ucunun, delik yuvasına dik konumlandırılmış bir mil olduğu ve delme sürecinde matkap konik ucunun delik taban yüzeyine kayma sürtünmesi ile temas ettiği varsayılır. Şekil 4.12 incelendiğinde, (ds) elemanter yüzeyini etkileyen aksenal kuvvetin ve teğetsel kuvvetin diferansiyelleri alınarak yapılan işlemler sonucunda;

$$M_f = \mu \cdot F_t \frac{d}{3} \quad (\text{Nm}) \quad (4.14)$$

eşitliği elde edilir.



Şekil 4.12. Matkap ucunun sürtünmesinde oluşan notasyonlar [32].

Bu eşitlikte sürtünme katsayısı (μ) Çizelge 4.2'den işlenen malzeme grubuna göre değerler alınır. Delik delme işleminde toplam moment kesme kuvveti momenti ile sürtünme kuvvetinin oluşturduğu momentler toplamına eşittir. Toplam moment sayısal olarak;

$$M_{top} = M_c + M_f \text{ (Nm)} \quad (4.15)$$

$$M_{top} = (Fc/2) + \mu.(Ft/3) \cdot d \text{ (Nm)} \quad (4.16)$$

eşitliğiyle hesaplanır [32].

Çizelge 4.2. Sürtünme katsayı değerleri [32]

Sürtünen gereç cinsi	μ
Çelik / Çelik	0,10
Çelik / Döküm	0,16
Çelik / Bronz	0,18
Çelik / Hafif met. Alaşım	0,20
Çelik / Ağaç	0,5-0,6

4.4.3. Delik delme kuvvetlerini etkileyen faktörler

Kesme işlemi sırasında oluşan titreşimler kesme kuvvetlerini büyük ölçüde etkilemektedir. Bunun için tezgah rijitliği kesme kuvvetlerinin oluşumunda önemli bir faktördür. Matkap çapı ve çekirdek kalınlığı özellikle kesme momentlerinin oluşumunda dikkate değer niteliktedir [1]. Kesme olayının çoğu takım uçunda gerçekleştiği için talaş açısı, yaklaşma açısı ve uç açısı gibi uç geometrisi unsurları kesme kuvvetlerini birebir etkiler. Takım ucunda ana kesici kenarlarda ve enine matkabın dönüşüne bağlı olarak, enine kesici kenarlarda ise matkabın ilerleme (batma) miktarına bağlı olarak kesme olayı gerçekleşmektedir. Ayrıca enine kesici kenar ile ana kesici kenarlardaki kesme açıları farklı olduğundan dolayı toplam kuvvet ve momenti kesaplarken bu iki farklı kesici kenara etki eden kuvvet ve momentleri ayrı ayrı değerlendirilerek toplam kuvvet bulunur [51, 52]. Delik delme işleminde takıma gelen kuvvet ve momentlerin büyüklüğü birçok faktöre bağlı olarak değişir. Bunlar sıralanacak olursa:

- Kesme hızı

- İlerleme
- Talaş-takım temas boyu
- Delik derinliği
- İşlenen malzemenin özelliği
- Tezgah özellikleri
- Talaş şekli
- Soğutma sıvısı
- Matkap malzemesi ve geometrisi

delik delme işleminde kuvvetleri etkileyen faktörler arasında yer alır [1, 5].

Delik delme sırasında matkapta oluşan sıcaklık farkının matkap ömrünü olumsuz etkileyerek uç kısımda aşınmalara sebep olmaktadır. Bu aşınmalar sonucunda uç geometrisi değişir ve buna bağlı olarak kesme kuvvetleri de değişir. Matkap ucunda ve kesici kenarlarda aşınma kesme olayını zorlaştırdığından kuvvet ve momentlerde artma söz konusu olur. Soğutma sıvısının kullanılması takım ucundaki ısıyı azaltarak aşınmayı engellediği için, dolayısıyla “soğutma sıvısı kesme kuvvetlerini etkiler” sonucuna ulaşılabilir. Talaşın delikten dışarıya zorlanarak çıkması da kesme kuvvetlerini etkilemektedir. Bunun için talaş şekli ve matkaptaki helis açısı da kesme kuvvetlerini etkilemektedir [1, 52 , 53].

5. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Talaşlı üretimin temel elemanları olan takım tezgâhı, kesici takım ve işlenecek malzeme üzerinde yıllardır devam eden araştırma ve geliştirmelerle talaş kaldırma esnasında meydana gelen ısının kontrol edilmesinin gerekli olduğu tespit edilmiştir. Talaş kaldırma işleminde bir performans değerlendirmesi yapılacak olunursa; kesici takım ömrü, yüzey kalitesi, ölçü tamlığı temel kriterler olarak nitelendirilebilir. Bu kriterleri etkileyen kesici takım, işlenen malzeme, kullanılan takım tezgahı ve kesme parametrelerinin yanı sıra; kesme sıvısının kullanılıp kullanılmadığı, kullanılıyorsa özellikleri talaş kaldırma performansını etkileyen önemli faktörlerdir. Talaşlı üretimde özellikle talaşın kesme bölgesinden uzaklaştırılması konusunda en çok problem yaşanan işleme türü delik delme işlemidir. Son yıllarda geliştirilen Minimum Miktarda Yağlama (MMY) gibi teknikler, konuyla ilgili problemlere çözüm bulabilmek için geliştirilmiştir ve bu konuda araştırmalar yapılmaya devam edilmektedir. Bu araştırmaların bir kısmı aşağıda verilmiştir.

5.1. MMY ve Diğer Soğutma Yöntemleriyle İlgili Yapılan Çalışmalar

Toshiyuki Obikawa ve arkadaşları yaptıkları çalışmada TiC/TiCN/TiN kaplamalı karbür kesici takımlar kullanarak çelik malzemeye yüksek kesme hızlarında yapılan kanal açma işlemi sırasında, uygulanan MMY tekniğinin işleme performansına etkilerini incelemişlerdir. 4 ve 5 m/s yüksek kesme hızları ve 7 ml/h sabit debi kullanılarak ince bitkisel yağ ile yapılan MMY uygulamasında takımda gözledikleri yan yüzey ve köşe aşınmalarının, emülsiyon tipi kesme sıvısı kullanılarak yapılan uygulamalara oranla, daha etkili biçimde azaldığını gözlemişlerdir. MMY tekniği kullanılarak yapılan kanal açma işleminde artan hava basıncının aşınmayı büyük ölçüde azalttığını görmüşlerdir. MMY tekniğinde yağı sis haline getiren basınçlı hava kullanılmasının işlenen yüzeye ve takım kesici kenarına kesme sıvısı ulaşmasında önemli rolü olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca yaptıkları bu çalışmada yağ püskürtme yön kontrollü bir takım tasarlayıp bu takımla soğutmada az miktarda yağ uygulayarak yüksek performans elde etmişlerdir [54].

Y.S. Liao ve arkadaşları, sertleştirilmiş NAK80 çeliğe kaplamalı karbür takım ile yüksek hızlı frezeleme işlemi yapılırken uygulanan MMY tekniğinin fizibilite çalışmasını yapmışlardır. Kesme sıvısı kullanılarak yapılan kesme işlemleri ile kuru kesme işlemlerini karşılaştırmışlardır. Deneyler sonunda kesme sıvısı kullanılan kesme şartlarında termal

çatlaklardan dolayı takım ömründe azalma olurken; MMY uygulamalarında bu açıdan daha iyi performans elde edildiğini gözlemişlerdir. MMY uygulamasının hem düşük hem de yüksek kesme hızlarında takım ömrü açısından faydalı olduğunu tespit etmişlerdir. Özellikle yüksek kesme hızlarında düşük viskoziteli yağlar kullanılarak uygulanan MMY yönteminde soğutma işlemi daha etkili olmuştur. Yüksek kesme hızlarında MMY kullanımının talaşın takıma yapışıp kaynamasını engellediği için kuru kesme şartlarına kıyasla takım ömrünün uzamasını sağladığını SEM sonuçlarında gözlemişlerdir. Ayrıca yüksek kesme hızlarında işlenmesinde MMY metodunun işlenmiş yüzey kalitesinde iyi sonuçlar verdiğini tespit etmişlerdir [55].

Y. Kamata ve T. Obikawa yaptıkları çalışmada nikel esaslı süper alaşım olan Inconel 718'i üç farklı şekilde kaplanmış karbür takımlar ile 1 ve 1,5 m/s kesme hızları kullanarak yaptıkları bitirme yüzeyi tormalama işleminde MMY tekniğini uygulamışlardır. Seçtikleri kaplamalar; TiCN/Al₂O₃/TiN (CVD), TiN/AlN (PVD) ve TiN/AlN (PVD) kaplamalardır. 1 m/s kesme hızında TiCN/Al₂O₃/TiN kaplamalı takımın MMY uygulamasında en iyi performansa, TiN/AlN süper kafes yapılı kaplamalı takımın aynı metot ile ikinci iyi performansa sahip olduğunu gözlemişlerdir. En uzun takım ömrüne ıslak kesme yöntemi ile TiCN/Al₂O₃/TiN kaplamalı takım kullanarak ulaşmışlardır. Fakat bu şartlarda iyi bir bitirme yüzeyi elde edememişlerdir. Inconel 718'in MMY metodu ile işlenmesinde tormalamada bitirme yüzeyi işlemi için optimum hava basınç oranını hesaplamışlardır. Ayrıca deneylerde taşıyıcı gaz olarak argon kullanarak bu taşıyıcı gazın MMY tekniği ile kesme işleminde; kesme noktasındaki soğutma işleminde önemli rol oynadığını tespit etmişlerdir. Kesme hızı 1,5 m/s'ye çıktığında takım ömrünün büyük ölçüde kısaldığını görmüşlerdir. Buna ek olarak MMY ile bitirme yüzeyi tormalama işleminde takım aşınmasındaki artış yüzey pürüzlülüğünü de artırdığını gözlemişlerdir [56].

Vishal S. Sharma ve arkadaşları yaptıkları çalışmada modern malzemelerin tormalanmasında ısı oluşum mekanizmasını incelemiştir. Bu malzemelerin düşük ısı iletkenliği, yüksek sıcaklıklardaki yüksek dayanımı ve aşınmaya karşı direnci gibi karakteristik özellikleri, söz konusu malzemelerin işlenmesi sırasında oldukça negatif rol oynamaktadır. Yazar ve arkadaşları bu malzemelerin daha etkili ve ekonomik bir biçimde işlenmesi için ısı oluşumunun en aza indirilmesi gerekliliğinden yola çıkarak, kesme sıvısı uygulamalarının işleme performansına etkilerini incelemeyi amaçlamışlardır. Bu kapsamda MMY/kuru makine çevresi(NDM), yüksek basınçlı soğutucular (HRC), kriyojenik

soğutucular, basınçlı hava ile soğutma ile katı yağ/soğutucu kullanılarak uygulanan soğutma tekniklerini temel avantajları bakımından karşılaştırmışlardır. Bu soğutma tekniklerinin kullanılmasının kesme bölgesindeki sürtünmenin ve ısının azalmasını sağladığını, buna bağlı olarak işleme sürecindeki verimliliğin arttığını deneyler sonunda gözlemişlerdir [57].

M. Rahman ve arkadaşları yaptıkları çalışmada 35 HRC sertliğindeki ASSAB 718HH malzemenin kaplamasız karbür uçlarla frezelenmesinde kuru kesme, MMY tekniği ve geleneksel soğutma tekniği kullanmışlardır. Kesme sıvısı akış oranını MMY yönteminde 8,5 ml/s, geleneksel soğutma yönteminde 42 l/dk olarak uygulamışlardır. Kuru kesme şartlarındaki kesici takımında oluşan aşınma ve geleneksel soğutma yönteminde takımında oluşan çatlaklardan farklı olarak, MMY yöntemi takım ömrünü olumlu yönde etkilediğini tespit etmişlerdir. Yazar ve arkadaşları deneyler sonunda inceledikleri kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü, talaş biçimi ve EDX bulgularına dayanarak MMY yönteminin düşük kesme hızı, ilerleme ve düşük kesme derinliğinde ekonomik ve çevreye zarar vermeyen bir teknik olduğunu ifade etmişlerdir [58].

H.A. Kishawy ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, otomotiv endüstrisi için kullanılan A356 alüminyum alaşımının yüksek hızda frezeleme işleminde farklı soğutma uygulamalarının etkilerini araştırmışlardır. Geleneksel soğutma uygulaması, kuru kesme ve MMY tekniklerinin; kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınmasına olan etkilerini incelemişlerdir. MMY uygulamasında elde edilen sonuçları, kuru kesme ve geleneksel soğutma yöntemiyle kıyaslamışlardır. Deneyler sonunda MMY yönteminin geleneksel soğutma yöntemine alternatif olabileceğini tespit etmişlerdir. Adhesiv aşınma mekanizması ve bu mekanizmaların yüzey pürüzlülüğüne olan etkisinin MMY yöntemi ile azaldığını gözlemişlerdir [59].

N.R. Dhar ve arkadaşları yaptıkları çalışmada AISI 1040 çeliğinin tornalanması sürecinde MMY tekniğinin ve kuru kesme tekniğinin performanslarını kesme sıcaklığına, kesme kuvvetine, takım aşınmasına, bitirme yüzeyine ve ölçü sapmalarına göre deneysel olarak kıyaslamışlardır. Yazar ve arkadaşları deneyler sonunda MMY yönteminde; kesme sıcaklıkları, kesme kuvvetleri, takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü ve ölçü sapmaları ile ilgili çok daha düşük değerler elde ederek, kuru kesmeye göre daha iyi sonuçlara ulaşmışlardır [60].

P.S. Sreejith tarafından yapılan bu araştırmada, elmas kaplamalı karbür takımlar ile AA6061 alüminyum alaşımının işlenmesinde farklı kesme sıvısı uygulamaları konu edilmiştir. Yazar kesme kuvvetlerini, yüzey pürüzlülüğünü ve takım aşınmasını dikkate alarak kuru kesme, MMY ve geleneksel soğutma tekniklerini analiz etmiş, böylece üç farklı soğutma şartını karşılaştırmıştır. Deneyler sonunda MMY tekniğinin geleneksel soğutma tekniği için bir alternatif olabileceğini saptayarak, geleneksel soğutma tekniğinin yerini uygun şekilde tatbik edilen MMY tekniğinin alabileceğini ortaya koymuştur. Yazar elde ettiği sonuçlar ışığında, MMY tekniğinin sadece çevre dostu olduğu için değil, aynı zamanda işleme karakteristiğini yükselttiği için de tercih sebebi olabileceğini ifade etmiştir [61].

L.N. L'opez de Lacalle ve arkadaşları yaptıkları deneysel ve teorik çalışmada alüminyum alaşımlarının yüksek hızda frezelenmesinde takımda mevcut ve sürekli büyüyen BUE üzerinde durmuşlardır. Bu oluşumda takım kesici kenarındaki yağlama/soğutmanın çok önemli bir faktör olduğunu vurgulamışlardır. Bu problemi engellemek için iki teknik kullanışlardır. Bunlardan ilki geleneksel soğutma yöntemi, ikincisi hava ile yağ püskürtme (MMY) yöntemidir. Yaptıkları çalışmayla bu teknikleri iki açıdan ele almışlardır. İlk olarak, geleneksel soğutma tekniğinin yavaş soğutma yapmasına karşılık; MMY tekniğinin hızlı ve etkili bir soğutma yaptığını gözlemişlerdir. Bu durumu Bilgisayarlı Akış Dinamiği (CFD) ile simülasyonunu yaparak da incelemişlerdir. İkinci olarak ise, ilerleme yönüne bağlı olarak nozul enjeksiyon konumunun etkisini deneysel olarak araştırmışlardır. Kesme yağı tüketimini en aza indirmek için çeşitli analizler yapmışlardır. Yaptıkları karşılaştırmada geleneksel soğutma yönteminin verimsiz olmasının; takım kesici kenarlarının iç kesme bölgelerine kesme sıvısının ulaşamamasından kaynaklandığını görmüşlerdir. MMY yönteminde ise soğutucu sıvının kesme bölgesinin içine işleyerek takım ve iş parçasını soğuturken yağlama görevini de yaparak basınçlı hava özelliği ile çıkan talaşların uzaklaşmasına yardım ettiğini gözlemişlerdir. MMY uygulamasında nozul konumunun uygun olarak ilerleme yönüne göre belirlenmesinin verimlilik için önemli olduğu sonucuna varmışlardır. Ayrıca geleneksel soğutma sistemine göre MMY'de yaklaşık % 95 civarında kesme sıvısı tüketim miktarının azalmasının, işleme maliyetini de olumlu yönde etkilediğini vurgulamışlardır. Deneysel sonuçlarda yağ tüketiminin saatte $3,6\text{cm}^3$ 'den daha az olduğunu gözlemişlerdir [62].

Weiwu Zhong ve arkadaşları yaptıkları çalışmada kullanılan kesme sıvısının çevreye verdiği zararı azaltmak için tüketilen miktarı mümkün olduğunca azaltmayı amaçlamışlardır. Hala kuru kesme ve MMY metotlarında çeşitli zorluklar olduğu gerçeğinden yola çıkarak, yaptıkları çalışmada yeni geliştirilen az miktarda yağlama (LQL) ile işlemede titreşim sinyallerini baz alarak kuru kesme ile kıyaslamışlardır. Bu analizde frezeleme işleminde titreşim sinyallerini, belirli aralıklarda iş parçası yüzeyinden alarak zaman-frekans analizi yapmışlardır. Sonuç olarak frezeleme işleminde oluşan titreşimlerde kesme sıvısının oldukça etkili olduğunu görmüşlerdir. Titreşimleri azaltmak için kesme sıvısının nasıl uygulanacağına karar verirken süreçteki parametreleri de dikkate almışlardır. Bu araştırmayla imalatta az miktarda yağlama (LQL) uygulamasının önemini vurgulamışlardır [63].

M.Hüseyioğlu ve N.Tosun yaptıkları çalışmada, AA7075 alüminyum alaşımı bir malzemenin MMY yöntemi kullanılarak frezelenmesinde işleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Farklı kesici takımlar, kesme hızları ve ilerlemeler kullanarak yaptıkları deneylerde, ilerleme arttıkça yüzey pürüzlülüğünün arttığını, fakat kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün azaldığını tespit etmişlerdir. Ayrıca karbür takımlarla yapılan deneylerde, TiN kaplamalı takımlar ve HSS takımlara göre daha iyi yüzey pürüzlülüğünün elde edildiğini gözlemişlerdir [64].

Attanasio ve arkadaşlarının yaptıkları araştırmada tornalama işleminde MMY tekniğinin takım aşınma sürecinde avantajlı olup olmadığını incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada tornalama işleminde iki farklı ilerleme ve kesme uzunluğu ile MMY tekniği kullanmışlardır. Deneyler sonunda ilgili kesici takımların SEM analizlerini de yaparak değerlendirmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre takım yan yüzeyine uygulanan MMY tekniğinin takım ömründe kuru kesmeden farklı bir sonuç vermediğini, fakat aynı tekniğin takımın talaş yüzeyine uygulandığında takım ömrünü artırabildiğini gözlemişlerdir [65].

M.M.A. Khan ve arkadaşları yaptıkları bu çalışmada AISI 9310 çelik alaşımının tornalama işleminde bitkisel yağ esaslı kesme sıvısı kullanılarak MMY tekniğini incelemişlerdir. Makalede, takım-talaş arayüz sıcaklığı, talaş şekli, takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü açısından MMY tekniğini ıslak kesme (geleneksel soğutma) ve kuru kesme teknikleri ile kıyaslayarak işleme performansı hakkında bilgi vermişlerdir. MMY tekniğinde basınçlı hava ile bitkisel yağ sis halinde kesme bölgesine noktasal olarak aktarıldığı için; kesme

bölgesi sıcaklığı, talaş şekli ve uzaklaştırılması açısından MMY tekniğinin diğer iki tekniğe göre daha iyi performans gösterdiğini gözlemişlerdir. Ayrıca takım ömründe ve bitirme yüzeyinde iyileşmeler görmüşlerdir. Buna ek olarak MMY tekniği daha çevre dostu olduğu için bu açıdan işleme şartlarında gelişme sağladığını vurgulamışlardır [66].

N.R. Dhar ve arkadaşları bu çalışmada AISI 4340 çeliğini endüstride uygulanan kesme hızı ve ilerleme şartları ile kaplamasız karbür takım kullanarak tornalama işlemine tabi tutmuşlardır. Deneyle sonunda takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü açısından kullanılan MMY tekniğinin işleme performansına etkisiyle ilgili bir araştırma yapmışlardır. MMY tekniğini kullanarak takım-talaş ile iş parçası-talaş arasındaki sürtünmenin azalması, kesme bölgesinde oluşan ısının azalması, takım aşınmasının azalması ve yüzey kalitesinin iyileşmesi gibi olumlu yönde önemli sonuçlar elde etmişlerdir [8].

V.N. Gaitonde ve arkadaşları bu çalışmada pirinç malzemenin (CuZn39Pb3/DIN 12164) sementit karbür takımla (K10) tornalama işlemlerinde en uygun kesme hızı, ilerleme ve optimum MMY şartlarını belirlemeyi amaçlamışlardır. Çeşitli analiz metotlarını kullanarak eş zamanlı olarak yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetini minimize etmeye çalışmışlardır. Optimum MMY debisi, kesme hızını ve ilerlemeyi ANOM (anlamların analizi) metodu kullanılarak belirlemişlerdir. Parametrelerin bağıl önemlerini ise ANOVA (varyans analizi) metodu ile belirlemişlerdir. Deneyle sonunda MMY için 200 ml/h debi, 200 m/dk kesme hızı ve 0.05 mm/dev ilerleme parametreleri minimum kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğünü eş zamanlı veren şartlar olduğunu tespit etmişlerdir [67].

Asif Iqbal ve arkadaşları yaptıkları çalışmada kaplamalı karbür takım kullanarak soğuk iş takım çeliklerinin (AISI D2 ve X210 Cr1) bitirme yüzeyi frezeleme işleminin analizini yapmışlardır. D-optimizasyon tekniğini kullanarak yaptıkları analizde iş parçası malzemesine, iş parçası eğim açısına, kesme hızına ve radyal kesme derinliğine bağlı olarak takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğünü incelemişlerdir. Takım aşınması için iş parçası malzemesinin kimyasal bileşimi ve sertliğinin en etkili parametre olduğunu belirlemişlerdir. Bu parametreyi kesme hızının takip etmiş olduğunu gözlemişlerdir. AISI D2 malzemenin işlenebilirliğinin X210 Cr12 malzemesinden daha düşük olduğunu saptamışlardır. Yüksek kesme hızı olumsuz takım ömrüne sebep olurken, yüzey kalitesini iyileştirdiğini tespit etmişlerdir [68].

M.C. Kang ve arkadaşları yaptıkları çalışmada hibrit metotla farklı kaplanmış takımlarla AISI D2 soğuk iş takım çeliğini yüksek hızda işlerken kuru, geleneksel soğutma ve MMY yöntemi kullanarak bir karşılaştırma yapmayı amaçlamışlardır. Makino V55 dikey işleme merkezli takım tezgahı kullanılarak yapılan yüksek hızlı frezeleme işleminde kaplamalı takımlardaki takım aşınması değerlerini incelemişlerdir. Deneyler sonunda MMY yöntemiyle takım ömründe en iyi performansa ulaşıırken, geleneksel soğutma yönteminde bazı termal çatlaklardan dolayı takım ömrünün daha düşük olduğunu gözlemişlerdir. Kullanılan iki kaplama tekniğinde de MMY yönteminin takım ömrü için faydalı olduğunu tespit etmişlerdir. Bu sonuçlarla endüstriyel uygulamalarda sert malzemelerin yüksek hızda işlenebilirliğinin fizibilitesini kanıtlamışlardır [69].

Kuan-Ming Li ve Shih-Yen Chou yaptıkları araştırmada MMY yönteminin takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğüne olan etkisini belirleyebilmek için deneysel bir çalışma yapmışlardır. Özellikle kesici takım malzemesi, kesme sıvısı (yağ) debisi ve hava debisinin MMY tekniği ile işleme yaparken takım performansına etkileri üzerinde çalışmışlardır. Yaptıkları çalışmalar sonucunda MMY tekniği ile yapılan mikro frezeleme işlemlerinin kuru kesmeye göre takım ömründe, yüzey pürüzlülüğünde dikkate değer bir gelişme sağladığını gözlemişlerdir. Ayrıca mikro frezeleme işleminde yüzey pürüzlülüğünün takım aşınma şartlarıyla yakından ilgili olduğunu görmüşlerdir. Yapılan deneyler sonucunda müsaade edilen maksimum takım aşınması olan 600 µm değerinin, aslında 80 µm civarında olduğu tespit edilmiştir. Çünkü takım aşınması 80 µm'yi geçtiğinde bitiş yüzey pürüzlülüğü maksimum olduğu; takım aşınma değeri 100 µm'yi geçtiğinde ise takımın kırıldığını görmüşlerdir. Optimum MMY şartları ise, kesme sıvısı (yağ) debisi 1,88 ml/h ve hava debisi 40 l/dk olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca MMY yönteminin işleme performansına etkisiyle ilgili hava debisinin kesme sıvısı (yağ) debisine göre daha önemli bir rolü olduğunu yaptıkları çalışmada görmüşlerdir [70].

T.Thepsonthi ve arkadaşları yaptıkları çalışmada imalatta kullanılan kesme sıvısı üretim maliyetini artırdığı ve çevreye zarar verdiği için, tüketilen kesme sıvısı miktarını azaltmayı amaçlayan MMY tekniğini araştırmışlardır. Kesme sıvısının takım aşınmasını önlediğini ve yüzey pürüzlülüğünü azalttığı dikkate alarak, kullanılan kesme sıvısı miktarını optimum seviyelerde tutup işleme performansı için en etkili uygulama yöntemini araştırmışlardır. Bunun için yüksek hızlı ve püskürtme oranı 2 ml/dk debi ile kesme sıvısı uygulamışlardır. Bu soğutma tekniğini (MMY), kuru kesme ve geleneksel soğutma tekniği ile kıyaslamak

için sert çelikler yüksek hızda frezelenirken bu üç teknik kullanılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Deneyler sonunda MMY uygulamasında kesme kuvvetlerin, takım aşınması ve yüzey pürüzlüğü diğer iki tekniğe göre daha düşük olduğu için işleme performansında daha iyi sonuçlar gözlemişlerdir. Yaptıkları çalışma sonunda parmak ve küresel uçlu parmak frezeleri kullanılarak, sert çeliklerin işlenmesinde MMY uygulamasının çevreye olan olumsuz etkiyi azalttığını ve işleme performansını artırdığını ortaya koymuşlardır [71].

Y.S. Liao ve H.M. Lin yaptıkları çalışmada MMY tekniğinin işleme performansına etkilerini araştırmışlardır. MMY tekniğinin kuru kesmeye göre kullanılan tüm kesme hızlarında takım performansını artırdığını gözlemişlerdir. MMY tekniği ile takım ve talaş ara yüzne ekstra oksijen iletilerek Fe, Si, Mn ve AlO_2 bileşiklerinden oluşan koruyucu oksit tabakanın oluşumuna katkı sağladığını görmüşlerdir. Oluşan bu katmanın etkili bir şekilde difüzyonu engelleyip takım dayanımını ve aşınma direncini koruyarak takım ömründe önemli gelişme sağladığını tespit etmişlerdir. Yaptıkları incelemelerde kesme hızı düşük olduğunda daha az oksit katmanının oluştuğunu bunun da takım ömrünü olumsuz etkilediğini görmüşlerdir. Kesme hızı için optimum değerden uzaklaşarak çok yüksek değerler seçildiğinde ise koruyucu katmanın kaybolup kesici kenarlardaki büyük sıcaklık değişimlerinden dolayı termal çatlaklar meydana geldiğini gözlemişlerdir. Yapılan çalışma sonunda NAK80 sert çelik malzemenin yüksek hızlarda işlenmesinde MMY tekniği kullanılarak uygun parametreler seçildiğinde takım ömründe dikkate değer bir ilerleme kaydedildiğini ortaya koymuşlardır [72].

U. Akben ve M. Erten yaptıkları çalışmada çelik parçalardaki ince delik işlemlerinde TiAlN kaplamalı karbür takımlarla, geleneksel soğutma ile MMY yöntemlerinin takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü açısından karşılaştırması yapılmıştır. Çalışmalar sonunda kesici uç için, firmanın önerdiği kesme hızı değer aralığı içinde MMY, geleneksel soğutmaya göre daha iyi yüzey kalitesi ve daha uzun takım ömrü sağladığı gözlenmiştir [73]

L. De Chiffre ve arkadaşları yaptıkları çalışmada HSS-E takımlarını kullanarak AISI 316L paslanmaz çeliğini işlemişlerdir. İşlemler delik delme, raybalama ve kılavuz çekmeyi içermektedir. Çalışmalarında bitkisel esaslı yağların gelişimi ile ilgili olarak farklı yağlayıcıların kesme kuvvetleri ve güç üzerine etkisini araştırmışlardır. Geliştirilen bitkisel

esaslı kesme sıvılarının bazıları referans olarak kullanılan ticari yağlardan daha iyi veya onlara eşit sonuç vermiştir [74].

M.A. Xavior ve M. Adithan, kesme sıvılarının AISI 304 malzemesinin karbür kesici takım ile tormalanması esnasında takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini incelemiştir. Çalışmada tormalama esnasında takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğünü azaltmada Hindistan cevizi yağının etkisi araştırılmıştır. Hindistan cevizi yağının performansı, emülsiyon ve saf kesme yağları (su ile karışmayan) ile karıştırılmıştır. Hindistan cevizi yağı takım aşınmasını azaltmada ve yüzey kalitesini iyileştirmede diğer iki kesme sıvısından daha iyi sonuç vermiştir [75].

C.H. Vikram ve arkadaşları, AISI 4340 çeliğinin (TiCN)/T1 ve (ZrN)/T2 kaplamalı sert metal uçlarla tormalanmasında kesme sıvısını 10 MPa basınç ve 8 ml/dk debiyle uygulamışlardır. Kuru kesme, sulu kesme ve minimum miktarda yağlama (MMY) arasında kesme kuvveti, yüzey kalitesi ve kesme sıcaklığı arasında bir karşılaştırma yapmışlardır. Kesme kuvvetlerinin minimum miktarda yağlamada, her iki takım için de kuru kesme ve sulu kesmeye göre daha düşük olduğunu görmüşlerdir [76].

A.E. Diniz ve arkadaşları yaptıkları çalışmada AISI 52100 rulman çeliğini CBN takım ile işlerken 10 ml/h debili kesme sıvısını 4,5 bar hava basınç uygulayarak MMY tekniğini kullanmışlardır. Yaptıkları çalışmada takım aşınmasının MMY tekniği ve kuru kesmede benzer değerlere sahip olduğunu gözlemişlerdir. Ayrıca bu değerlerin geleneksel soğutma yöntemi ile işlemedeki sonuçlardan daha düşük olduğunu tespit etmişlerdir. MMY tekniği kullanılarak elde edilen yüzey pürüzlülük değerinin ise diğer iki teknikte elde edilen sonuçlara yakın olduğunu gözlemişlerdir [77].

D.U. Braga ve arkadaşları yaptıkları çalışmada Alüminyum-Silisyum alaşımlarında kaplamasız karbür ve elmas kaplamalı karbür takımlarla yaptıkları delme işleminde MMY tekniğini geleneksel soğutma tekniğiyle karşılaştırmışlardır. Yaptıkları çalışma sonunda takıma etkileyen kuvvet, delik kalitesi ve takım aşınması açısından delik delme performansını en çok etkileyen faktörün soğutma yöntemi olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca hem kaplamalı hem de kaplamasız takımlarda MMY tekniği ile geleneksel soğutma tekniğinin işleme performansı açısından birbirine yakın sonuçlar verdiğini gözlemişlerdir [78].

E. Lugscheider ve arkadaşları yaptıkları çalışmada MMY tekniğini alüminyum alaşımı ve gri dökme demirin kaplamalı karbür takımlarla raybalanması sürecinde kullanmıştır. Kuru kesme ile kıyaslandığında MMY tekniğinin takım aşınmasında dikkate değer bir azalmayı ve delik yüzey kalitesinde de iyileşmeyi sağladığını tespit etmişlerdir [79].

E.A. Rahim ve *H. Sasahara* yaptıkları çalışmada palmiye yağı kullanılarak uyguladıkları MMY tekniğinin (MMY-PO) Titanyum alaşımlarının (Ti6Al-4V) yüksek hızda delinmesine etkisini araştırmışlardır. MMY-PO soğutma yöntemi, sentetik ester yağı kullanılarak uygulanan MMY (MMY-SE), hava püskürtme, sulu şartlarda kesme (geleneksel soğutma) teknikleri ile karşılaştırmışlardır. Yaptıkları incelemelerde takımda yan yüzey aşınması, mikro çentikler, termal çatlaklar, yanak aşınması en çok görülen aşınma türleri olmuştur. MMY-PO ve MMY-SE yöntemlerinde sulu kesme şartlarına yakın sonuçlar elde etmişlerdir. Ayrıca MMY-PO'nun kesme kuvvetleri, sıcaklık, güç ve spesifik kesme enerjisi konusunda MMY-SE uygulamasından daha iyi performans gösterdiğini saptamışlardır. Yapılan çalışma sonunda Palmiye yağının MMY yağı olarak sentetik ester yağlarına alternatif olabileceğini görmüşlerdir [80].

S. Bhowmick, *A.T. Alpas* yaptıkları çalışmada hidrojenli elmas benzeri karbon (Diamond Like Carbon-DLC) ve hidrojeniz elmas benzeri karbon olmak üzere iki tür kaplamalı HSS takım ile Al-%6Si (319 Al) alaşımları delme testine tabi tutmuşlardır. 30 ml/h debi ile su (H₂O) püskürtülerek uygulanan MMY tekniğinde kuru kesmeye göre daha iyi, geleneksel soğutmaya ise yakın sonuçlar elde etmişlerdir. H₂O-MMY uygulamasında yapışmalardan kaynaklanan ani moment ve kuvvet artışlarının kuru kesmeye göre ciddi ölçüde azaldığını gözlemişlerdir. Ayrıca hidrojeniz DLC kaplamalı takımlarda hidrojenli DLC kaplamalı takımlara göre daha düşük yığıntı talaş (BUE) oluşumu, ilerleme kuvvetleri ve momentler tespit etmişlerdir [81].

D.L. Coz ve arkadaşları yaptıkları çalışmada dönel kesici takımlar için yeni bir sıcaklık ölçme sistemi elde etmeyi amaçlamışlardır. Yeni sistem kesici kenarlara ve kesme yüzeyine mümkün olduğunca yakın konumlandırılacak şekilde matkap ve freze kesici takım içine entegre edilmiş bir ısıl çiftten oluşmaktadır. Sistem uzay endüstrisinde yapılan çalışmalarda başarılı bir şekilde kullanılmıştır. İlk çalışmada Minimum Miktarla Soğutma (MMY) şartları altında Titanyum (Ti6Al4V) alaşımının delinmesi sürecinde kesme şartlarının optimizasyonu yapmışlardır. İkinci çalışmada ise bir havacılık alüminyum

alaşımının (AA7075) üç farklı kaplanmış takımlarla kuru kesme şartlarında frezelenmesi sürecinde takımların ısıl davranışlarını incelemiştir. Kesme hızı, ilerleme, takım geometrisi, takım kaplaması gibi kesme şartlarındaki en ufak değişimi ölçüm sistemiyle çok hassas bir şekilde ortaya koymuşlardır. Ayrıca hem alüminyumun delinmesindeki düşük sıcaklık değerlerini, hem de titanyumun delinmesindeki yüksek sıcaklık değerlerini de ölçebilmişlerdir. Çalışmalar sonunda dönel takımlarda kesme prosesini optimize etmede sistemin kullanılabilirliği teyit etmişlerdir [82].

Rabinovich ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada minimum miktarda soğutma (MMY) şartı altında farklı kaplanmış sementit karbür takımların kesme performanslarını detaylı bir şekilde araştırmıştır. Araştırma kapsamında yapılan deneysel çalışmalar için OKUMA CNC işleme merkezine, gelişmiş iki kanallı Biolomatik MMY sistemini entegre etmiştir. MMY takım tutucu ile takım arasındaki boşluğu ortadan kaldırmak için özel tasarlanmış bir takım kullanmıştır. Sis debisi 25 ml/dk olarak uygulamıştır. Deneyler sonunda ilerleyen sürtünme/aşınma sürecini incelemiştir. Kaplamalı takımları üç safhada (50, 500, 700 delik) test etmiştir. Kısa süreli delik delme testleri boyunca (50-delik seviyesi) kesme performansı kesme kuvvetleri, talaş şekli, yüzey morfolojisi vb. gibi, kesme sürecindeki sürtünmenin tetiklediği faktörler bakımından kaplama türlerinin karakteristiğini kapsamlı bir şekilde değerlendirmiştir. Kesici takımlardaki aşınma döngülerini belirlemiştir. 500 deliklik testlerde en iyi performansı elmas kaplamalı takımlarda ölçmüştür. Düşük hidrojenli DLC kaplamalı takımlarla 7200 deliğe kadar işlem tekrarı yapıldığında takım yan yüzey aşınması sadece 110 µm'ye ulaştığını gözlemiştir. MMY ile yapılan deneylerde geleneksel soğutma yönteminin kullanıldığı düşük hidrojenli DLC kaplamalı takımlarla yapılan deneylere kıyaslanabilir bir işleme performansı sağlamıştır. Yazar çalışma sonunda MMY ile çevresel ve ekonomik avantajlar sağlamanın mümkün olduğu ortaya koymuştur [83].

Meena ve El Mansori yaptıkları çalışmada rot, şaft gibi hafif ağırlıktaki otomotiv parçaları için kullanılan yeni sınıf malzeme olan östemperlenmiş dökme demirin (ADI) kuru ve MMY şartlarında delinmesi ile ilgili işleme performansını incelemiştir. Yazar ve arkadaşları, ADI alaşımının TiAlN kaplamalı tungsten karbür takımlarla delinmesinde özellikle MMY tekniğinin kesme kuvvetlerine, takımdaki aşınmalara, yüzey kalitesine etkisini endüstride kullanılan kesme hızı-ilerleme kombinasyonunu kullanarak deneysel olarak irdelemiştir. MMY tekniği ile elde edilen sonuçları kuru kesme ve geleneksel

soğutma yöntemindeki aynı şartlarda yapılan deneylerden elde edilen sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Deneysel sonuçlara göre kesme kuvvetlerinde, takım aşınmalarında ve yüzey pürüzlüğünde, özellikle kesme bölgesindeki sıcaklığın azalmasına bağlı olarak MMY sisteminde ciddi düşüşler elde etmişlerdir [84].

5.2. Delik Delme İşlemiyle İlgili Yapılan Çalışmalar

Galloway ve arkadaşları, delik delme tekniklerinin gelişmesiyle ilgili endüstride kullanılabilecek temel bilgileri elde etmek için çeşitli araştırmalar yapmışlardır. Delik delme performansının asıl kriterleri ve bu kriterleri etkileyen başlıca faktörler üzerinde durmuşlardır. Bu faktörlerden özellikle kesici geometrisi üzerinde durup ve kendiliğinden gerilemeli titreşim (self-regeneratif vibration) teorisini incelemiş, delik ölçülerinde ve doğruluğunda meydana gelen hatalar üzerine araştırmalar yapmışlardır [85].

Shin ve Waters yaptıkları bu çalışmada delik delme ile ilgili kesici takımlardaki işleme sürecinde takım ucuna gelen kesme kuvvetlerini inceleyerek işleme kuvvetlerini belirlemeyi amaçlamışlardır. Bundan önce yapmış oldukları çalışmada işleme esnasında takıma gelen kuvvetlerin hesaplanması için geliştirdikleri matematiksel modelde kesme kuvvetlerini etkileyen katsayıları bu çalışmada yaptıkları çeşitli deneylerle doğrulamayı amaçlamışlardır. Bu deneylerde; takım ve iş parçası malzemelerini, takımdaki talaş akış açısı, ilerleme, kesme hızı, kesme derinliğinin kesme kuvvetleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Bunun için Dökme-Demir ve alüminyum malzemeli iş parçalarını; çapları 3-4" arasında değişen Seramik, Silisyum-Nitrat, Karbür, Kaplamalı Karbür ve Elmas uçlu takımlarla; 3 farklı ilerleme, 2 farklı kesme hızı ve 6 farklı kesme derinliği kullanarak incelemişlerdir. Matematiksel modellerde çeşitli faktörlere bağlı olarak kullandıkları katsayılardan yararlanarak elde ettikleri tahmini kuvvetlerle deneysel sonuçları karşılaştırmışlardır [86].

Pal ve arkadaşları, yaptıkları bu araştırmalarda sünek malzemelerde delme işlemlerine işlenen malzemenin özelliklerini, matkabın geometrisini ve kesme şartlarını baz alarak eğilme momentinin hesaplanması için teorik bir metot geliştirmiştir. Yazar teorik çalışmasında araştırma konusuyla ilgili incelemeler yapmış olan Baston ve Gilbert'in çeliklerde delik delme olayı için ortaya koydukları eşitliğe dayanıp, Sathe ve Laledze'nın araştırmalarını referans alarak, Abuladze'nin kesme-gerilim faktörünü kullandı ve talaş

kalınlığının katsayılarını genelleştirdi. Yazar bu teorik sonuçlarını desteklemek için, çapları 1” ve ¾” olan farklı iki HSS matkap ile yumuşak çelik deney numunesini iki ayrı 80 ve 40 m/dk kesme hızı ve 3,05 mm/dev, 5,08 mm/dev, 8,62 mm/dev gibi üç farklı ilerleme uygulayarak yaptığı deneylerde bulduğu sonuçların, araştırmalarında elde ettiği teorik verilerle örtüştüğünü gözlemlemiştir [87].

Yuzo ve arkadaşları, delme işleminde kullandıkları alüminyum (AA1100-0) alaşımında artan talaş kalınlığı ve talaş şekli yönünden 4 farklı çap ve 6 farklı delik boyunda kesme kuvvetini incelemişlerdir. İnceleme sonucunda momenti ve kesme kuvvetini delik boyutu, delik çapı ve ilerlemeye karşı değerlendirmişlerdir. Deneyler sonunda kesme hızı ve ilerlemelerdeki artışın kesme kuvvetleri artırdığını gözlemişlerdir. En düşük kesme kuvvetleri ile en yüksek kesme kuvvetleri arasındaki farkın yüksek ilerlemelerde daha fazla olduğunu görmüşlerdir. Takım-talaş ara yüzndeki sürtünme mekanizmasının küçük kayma açısına neden olduğunu tespit etmişlerdir [88].

Radhakrishnan ve arkadaşları, dinamik veriler kullanılarak kompozit malzemelerde delik delme işlemi için delik içi kalitesini değerlendirmişlerdir. Delik içi kalitesinin matkap aşınmasına bağlı olarak değiştiğini vurgulayan yazar ve arkadaşları bu çalışmayla Dinamik Veri Tekniğini kullanarak yaptığı analizde matkap şartlarının çevirim içi izlenebilirliği için katman sıklığındaki değişimin delik delme kuvvetleri ile ilişkilerini tespit etmişlerdir. Böylece delik delme esnasında yüzeydeki bu katman sıklığının ilerleme ve hıza bağlı olduğu kadar, kompozit malzemenin özelliklerine de bağlı olduğunu savunmaktadırlar [89].

Stephenson ve arkadaşı, tarafından tornalama ve delme işlemlerinde üç boyutlu kesme mekaniği için bir bilgisayar modeli oluşturulmuştur. Moment, kesme hızı ve ilerlemeye karşılık talaş kalınlığı ve talaşın şeklini incelemişlerdir. Yapılan deneylerde AA 6061 25mm ve 29 mm çapındaki iki kesici ağızlı HSS takım ile 2 farklı devir sayısında ve 2 farklı ilerleme ile işlenerek elde edilen verileri yorumlamışlardır. Çalışma sonucunda teorik ve deneysel çalışma sonunda elde edilen verileri karşılaştırmışlardır [90].

Thangaraj ve Wright, delik delme işleminde ilerleme kuvvetini ölçerek bilgisayar yardımı ile takımdaki aşınmanın tahmini üzerinde inceleme yapmışlardır. Çalışmada 8 mm çapında 2 kesici ağızlı HSS kesici takım ile AISI 1045 çelik malzemeye 24 mm derinlikte delik delme işleminde, kesme hızı ve ilerleme parametrelerinin etkilerini incelemişlerdir.

Filtreleme tekniğini kullanarak çeşitli kesme şartlarında sonuçları incelemiştir. Yaptıkları çalışmada değişen ilerleme kuvvetlerini titreşim durumuna göre hesaplamışlardır. Takım kırılmalarından birkaç saniye önce keskin artışlar görmüşlerdir [91].

Rubbenstein, delik delme işleminde matkap ucunda oluşan kuvvet ve momentlerin tahmini için teorik bir çalışma yapmıştır. Yazar aynı konuda çalışma yapan Watson Armerago ve Cheng'in çalışmalarından yola çıkarak yaptığı analizlerde iki kenarlı helisel matkap ile yassı matkapdaki geometrik unsurların benzerliğini gözlemiş ve kuvvetlerin tespitinde bu benzerlikten faydalanmıştır [92].

Ogawa ve arkadaşları, alüminyum AA5056 alaşımına mikro delik delme işleminde talaş şekli, moment, ilerleme kuvveti ve deliğin yüzey pürüzlülüğü kriterlerini baz alarak işleme performansını incelemiştir. Kesici kenarın uzunluğunun ve ilerlemenin talaş şekline olan etkisini de dikkate alınmıştır. Deney sonuçlarında mikro delik delmede küçük çaptan dolayı kesici kenarların iç tarafındaki talaş açısının yeterli büyüklükte olmasıyla ilgili olarak; delik derinliği fazla olsa bile momentlerde ve ilerleme kuvvetlerinde aşırı artışın olmadığını gözlemişlerdir. Matkaptaki artan öz kalınlığının ve uç açısının büyük adımlı helisel talaş şekli oluşturduğunu; bunun da kolay talaş akışı, düşük kesme kuvvetleri ve takım kırılmalarıyla ilgili ilerleme parametresindeki kritik seviyeyi artırarak delik delme performansını iyileştirdiğini tespit etmişlerdir [93].

Mellinger ve arkadaşları, delme işleminde çapaklanmanın tahmini ve talaş kaldırırken oluşan kuvvetin modellenmesini yapmışlardır. Delik boyunun çapak miktarına etkisi, kuvvetin artmasına sebep olması, düşük delik kalitesi, kesicide oluşan olumsuz sıcaklık ve kesici deformasyonunu dikkate almışlardır. Teorik çalışmaya ek olarak yapılan deneylerde alüminyum 356-T6.A malzeme 3,175 mm çapında 2 kesici ağızlı helis açısı sıfır olan karbür kesici kullanılmıştır. Deneyler ve teorik çalışmalar sonunda elde ettikleri sonuçlara göre hazırlamış oldukları model ile muhtemel talaş sıkışmasının hangi derinlikte gerçekleşebileceği önceden tahmin edilip gagalama döngüsünü belirleyebilmişlerdir [94]. Takıma etki eden maksimum yüklerin hangi derinlikte olabileceğinin tahmini ile takım kırılmalarını en aza indirebilmişlerdir.

Pirtini ve Lazoğlu, delme işleminde delik kalitesini ve kuvveti araştırmışlardır. Çalışmada teorik modellemeye ilave olarak deneysel çalışma da yapmışlardır. Deneysel alüminyum AA7039 malzeme, sabit kesme hızında 5 farklı ilerleme ile işlenmiştir. Yaptıkları teorik modelde tanımlanan her farklı şart için kesme kuvvetlerini tahmin edebilmişlerdir. Deneysel CMM ile ölçtükleri delik kalitesinin teorik modelle hesapladıkları değerlerle uyumlu olduğunu ortaya koymuşlardır. Bu şekilde deney sayısı en az seviyede tutularak, matematiksel modeller ile ilgili şartlar için deney sonuçları ile uyumlu çıktılar elde edilebilmiştir [95].

Sangay ve arkadaşı, delik yüzey pürüzlülüğünün matematiksel analizinde yapay sinir ağlarını kullanmışlardır. Yüzey pürüzlülüğünün kareler toplamının minimum değerlerini içeren kriterleri baz alarak analizleri gerçekleştirmişlerdir. Kesici çapı, kesme hızı, ilerleme, işleme zamanı yapay sinir ağlarına girdi olarak verilerek yüzey pürüzlülüğünü değerlendirmişlerdir. Deneysel çalışmada çelik malzeme kullanılıp çap sabit tutularak 3 kesme hızı ve 3 ilerleme ile 30 mm delik derinliği ile çalışılmışlardır. Deneysel sonunda elde edilen gerçek değerler ile matematik modeller ve yapay sinir ağları ile tahmin edilen değerlerin karşılaştırılmalı analizlerini yapmışlardır. Yapay sinir ağı analizi ile tüm kesme hızı ilerleme kombinasyonları için gerçekçi ve doğrulanabilir yüzey pürüzlülüğü sonuçları elde etmişlerdir [96].

5.3. Literatür Çalışmasının Değerlendirilmesi

Yapılan literatür araştırmasında farklı soğutma şartları ve diğer kesme şartlarının işleme performansına etkilerinin irdelendiği gözlenmiştir. Konuyla ilgili yapılan araştırmalar Çizelge 3.1.'de tablo halinde verilmiştir.

İncelenen soğutma yöntemleri:

- Geleneksel soğutma yöntemi
- Yüksek basınçla kesme sıvısı kullanımı
- Minimal miktarda kesme sıvısı uygulanması (MMY)
- Kriyojenik soğutucularla kesme yöntemi
- Basınçlı hava ile kesme

- Kuru kesme
- Katı yağ/soğutucularla yapılan kesme yöntemi

Bu yöntemlerden özellikle Minimum Miktarda Soğutma (MMY), geleneksel soğutma ve kuru kesme şartları üzerinde sıklıkla çalışıldığı gözlenmiştir. Ayrıca soğutma uygulaması türlerinden MMY yöntemi de kendi içerisinde incelenmiştir.

MMY yöntemi uygulaması:

- Kullanılan kesme sıvısı türü (Bitkisel yağlar, kimyasal yağlar, yağ-su emüls. vb.)
 - Uygulanma şekli (Farklı debi ve basınçlar)
 - Nozul enjeksiyon konumu (mesafesi)
- değişkenlerine bağlı olarak incelenmiştir.

Yapılan çalışmalarda değişen soğutma şartlarının yanında değişen diğer kesme şartlarının da kesme performansına etkileri incelenmiştir. İncelenen diğer kesme şartların:

- İşlem türü (Torna, Freze, vb.)
 - İş parçası malzemesi
 - Kesici takım ve kaplama türü
 - Kesme hızı
 - İlerleme oranı
 - Kesme derinliği
- şeklinde sıralanabilir.

Yapılan çalışmalarda performans değerlendirmesi için kullanılan kriterler ise:

- Takım aşınması ve takım ömrü
- Yüzey pürüzlülüğü
- Kesme kuvvetleri
- Takım ve iş parçasında oluşan sıcaklık
- Ölçü sapmaları
- Titreşimler

- Çıkan talaş şekli ve uzaklaştırılma durumu gibi kriterler incelenip analiz edilerek sonuca ulaşılmaya çalışılmıştır.

Araştırmalarda kesme şartları ve işleme kriterleriyle ilgili elde edilen sonuçları değerlendirmek için kullanılan yöntemleri ise:

- Bilgisayarlı Akış Dinamiği (CFD - Computer Flow Dynamics)
- Zaman Frekans Analizi (TFA - Time Frequency Analysis)
- Varyans Analizi (ANOVA - Analysis of Variances)
- Anlam/Ortalama Analizi (ANOM - Analysis of Means)
- D-Optimum Metodu
- Tarama Elektron Mikroskobu (SEM - Scanning Electron Microscopy) ile görsel analizler şeklinde sıralanabilir.

Konuyla ilgili yapılan çalışmaların incelenmesinden sonra aştırmacıların ulaştıkları sonuçlar şu şekilde özetlenebilir:

- MMY yönteminde geleneksel soğutma yöntemine göre sarf edilen kesme sıvısı miktarının azaltılıp ekonomik bir imalat sağlamanın yanında aynı zamanda kesme performansını da yükseltir. Buna bağlı olarak MMY yöntemi diğer soğutma yöntemlerine alternatif olabilir sonucu çıkarılabilir.
- Ayrıca uygulanan kesme sıvısı miktarının minimal miktarlarda olmasından dolayı çevre ve insan sağlığına verilen zarar önlenmiş veya minimuma indirgenmiş olur.
- MMY yöntemi kullanılan bazı kesme şartlarında takım ömrünü olumlu etkiler. Geleneksel soğutma yönteminde kesici takımda termal çatlaklara rastlanırken MMY yönteminde ya rastlanmaz ve çok az görülür.
- MMY ile inceltirilerek damlacık halinde kesme bölgesine yüksek basınçlarla uygulanan kesme sıvısı, geleneksel soğutma yöntemine göre bu bölgeye daha iyi nüfuz eder. Böylece takım-talaş ve takım-iş parçası ara yüzeylerinin daha iyi yağlanması sağlanır. Buna bağlı olarak MMY yöntemi, kuru kesme ve geleneksel soğutma yöntemine göre kesme sıcaklığı ve dolayısıyla takım aşınması konusunda daha iyi sonuçlar vermiştir.
- Çıkan talaşın uzaklaştırılması hususunda MMY tekniği geleneksel soğutma tekniğine oranla daha iyi sonuçlar vermiştir.

- Özellikle kesici takım ucundaki BUE oluşumu MMY yöntemiyle sağlanan daha iyi yağlama etkisiyle engelleyerek bazı kesme şartlarında kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü konusunda daha iyi sonuçlar vermiştir.
- Bazı araştırmacılar düşük hızlarda MMY yönteminden daha olumlu sonuç aldığını vurgularken diğer bir araştırmacı grubu yüksek hızlarda da MMY yönteminden iyi performans aldıkları sonucuna varmışlardır.
- MMY yönteminde kullanılan farklı kesme sıvıları işleme performansını değiştirmektedir. Bazı bitkisel yağlar kimyasal yağlara oranla takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğünde daha iyi sonuçlar vermiştir.
- MMY soğutma yönteminde uygulanan kesme sıvısı debisindeki değişim, uygulanan hava basıncındaki değişime oranla kesme performansını daha az etkilemektedir.
- Harici MMY uygulamalarında kesme sıvısının püskürtüldüğü nozul konumu ilerleme yönüne göre konumlandırıldığına kesme performansını olumlu etkilemektedir.

Yapılan literatür araştırmasında delik delme işlemi ile ilgili MMY yönteminin kesme performansına etkisi konusunda birkaç çalışma haricinde araştırma yapılmadığı gözlenmiştir (Çizelge 5.1). Özellikle talaşın uzaklaştırılması ve kesme sıvısının kesme bölgesine ulaştırılması konusunda MMY tekniğinin avantajları düşünüldüğünde, delik delme işleminde bu yöntemin faydalı olacağı değerlendirilmektedir. MMY yöntemi harici ve dahili olmak üzere iki farklı şekilde uygulandığı bilinmektedir. Aynı şartlar altında bu iki MMY yönteminin delik delme performansına etkileri ile ilgili çalışma yapılmadığı gözlenmiştir.

Bu çalışmada sıvanma probleminde dolayı delik delme sürecinde zorluklar yaşanan alüminyum alaşımlarına delik delme deneyleri yapılmıştır. Soğutma yöntemlerinden harici MMY ve dahili MMY soğutma yöntemleri aynı şartlarda uygulanarak karşılaştırılmıştır. Ayrıca basınçlı hava ile soğutma ve kuru kesme yöntemleri de yine aynı şartlar altında incelenerek tüm bu soğutma şartlarının kesme performansına etkisi incelenmiştir. Yapılan gözlemlerden yola çıkarak gerçekleştirilen bu yeni çalışmanın literatürde bir boşluğu dolduracağı düşünülmektedir.

Çizelge 5.1. Soğutma yöntemleriyle ilgili literatürde incelenen çalışmalar

Kaynak No	Yapılan İşlem	Kesme Sıvısı Uygulaması	İş Parçası Malzemesi	Kesici Takım Türü	İncelenen Kriterler
[54]	Kanal açma	MMY(Bitkisel, Emülsiyon)	Çelik	Kaplamalı Karbür	Takım aşınması
[55]	Frezeleme	MMY-Kuru-Geleneksel	NAK80 Çelik	Kaplamalı Karbür	Takım aşınması, Yüzey pürüzlülüğü
[56]	Tornalama	MMY-Geleneksel	İnconel 718	Kaplamalı Karbür	Takım aşınması, Yüzey pürüzlülüğü
[57]	Tornalama	MMY - Yüksek basınçlı soğutucular - Kriyojenik soğutucular - Basınçlı hava ile soğutma - Katı yağ/soğutucu	Modern Malzemeler	Kaplamalı Karbür..	Sıcaklık
[58]	Frezeleme	MMY-Kuru-Geleneksel	ASSAB 718HH	Kaplanmasız Karbür	Kesme kuvveti, Yüzey pürüzlülüğü, Talaş biçimi
[59]	Frezeleme	MMY-Kuru-Geleneksel	A356 Alüminyum		Kesme kuvvetleri, Yüzey pürüzlülüğü, Takım aşınmasına
[60]	Tornalama	MMY-Kuru Kesme	AISI 1040		Kesme sıcaklığı, Kesme kuvvetleri, Takım aşınmaları, Bitiş yüzeyi, Ölçüsel sapmaların
[61]	Frezeleme	MMY-Kuru-Geleneksel	6061 Alüminyum	Kaplamalı Karbür	Kesme kuvvetleri, Yüzey pürüzlülüğü,
[62]	Frezeleme	MMY-Geleneksel	Alüminyum alaşımları	HSS	Takım aşınması
[63]	Frezeleme	MMY-Kuru-Geleneksel	Alüminyum alaşımı (7050-T7451)	Kaplamalı Karbür	Titreşim sinyalleri
[64]*	Frezeleme				Takım aşınması
[65]	Tornalama	MMY-Kuru Kesme			Takım aşınması
[66]	Tornalama	MMY(Bitkisel yağ)-Kuru-Geleneksel	AISI 9310		Takım-talaş ara yüzeyi sıcaklığı, Talaş şekli, Takım aşınması, Yüzey pürüzlülüğü
[67]	Tornalama	MMY	Pirinç	K10 Karbür	Yüzey pürüzlülüğü, Kesme kuvvetini
[68]	Frezeleme	MMY	Sert Çelik (AISI D2 ,X210 Cr12)	Kaplamalı Karbür	Takım ömrü, İş parçası yüzey pürüzlülüğünü
[69]	Frezeleme	MMY-Kuru-Geleneksel	Sert Çelik (AISI D2)	Kaplamalı Karbür	Takım aşınması
[70]	Frezeleme	MMY-Kuru kesme	Çelik (SKD61)	Özel takım(Mikro tool)	Takım aşınması, Yüzey pürüzlülüğü

Çizelge 5.1. Soğutma yöntemleriyle ilgili literatürde incelenen çalışmalar (Devam)

Kaynak No	Yapılan İşlem	Kesme Sıvısı Uygulanması	İş Parçası Malzemesi	Kesici Takım Türü	İncelenen Kriterler
[71]	Frezeleme	MMY-Kuru-Geleneksel	Sert Çelik (ASSABDF3)	Kaplamalı Karbür (TiAlN)	Takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvvetleri
[72]	Frezeleme	MMY-Kuru Kesme	Sert Çelik (NAK80)	Kaplamalı Karbür (TiAlN, TiN)	Takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvvetleri
[73]	Tornalama	MMY-Geleneksel	Çelik (AISI1030-AISI1040)	Karbür (TiAlN)	Takım aşınması, Yüzey pürüzlülüğü
[74]	Delik Delme	MMY (Bitkisel yağlar - Saf kesme yağları)	Paslanmaz çelik (AISI 316L)	HSS-E Helisel Matkap	Kesme kuvveti
[75]	Tornalama	MMY (Bitkisel yağ, emülsiyon ve saf kesme yağları)	Çelik (AISI304)	Karbür takımlar	Takım aşınması, Yüzey pürüzlülüğü
[76]	Tornalama	MMY-Kuru-Geleneksel	Çelik (AISI 4340)	Kaplamalı Karbür (TiCN, ZrN)	kesme kuvveti, Yüzey pürüzlülüğü, Kesme sıcaklığı
[77]	Frezeleme	MMY-Kuru-Geleneksel	Çelik (AISI 52100)	CBN	Takım aşınması ve Yüzey pürüzlülüğü
[78]	Delik Delme	MMY-Geleneksel	Alüminyum alaşımları	Kaplamasız karbür, Kaplamalı karbür (elmas)	Takım aşınması
[79]	Raybalama	MMY-Kuru kesme	Gri dökme demir, Alüminyum alaşımları	Kaplamalı Karbür	Takım aşınması ve Yüzey pürüzlülüğü
[80]	Delik Delme	MMY (Bitkisel, Sentetik), Basınçlı hava, Geleneksel	Titanyum alaşımı (Ti6Al-4V)	Kaplamalı karbür takım (AlTiN)	Takımlardaki aşınmaları kesme kuvvetleri, Sıcaklık
[81]	Delik Delme	MMY-Kuru-Geleneksel	Al 319 Alüminyum alaşımı	Farklı kaplamalı HSS takımlar (DLC)	Takımlardaki aşınmalar, Kesme kuvvetleri ve Momentler
[82]	Delik Delme, Frezeleme	MMY-Kuru	Titanyum alaşımı (Ti6Al-4V), Alüminyum alaşımı (AA7075)	Farklı kaplanmış takımlar	Takımlardaki sıcaklık
[83]	Delik Delme	MMY-Geleneksel	B 319-T7 alüminyum alaşımı	Farklı kaplanmış sementit karbür takımlar	Takımlardaki aşınma, kesme kuvvetleri, yüzey kalitesi
[84]	Delik Delme	MMY-Kuru-Geleneksel	Dökme demir (ADI)	Kaplamalı tungsten karbür (TiAlN) takım	Kesme kuvvetleri, Takımdaki aşınmalar, Yüzey kalitesi

6. MATERYAL VE METOT

Deneysel çalışmalarda kullanılan malzeme ve uygulanan metotlar ayrı başlıklar halinde açıklanmadan önce belirlenen tüm girdi ve çıktı unsurları Çizelge 6.1 ve 6.2’de bir bütün olarak verilmiştir.

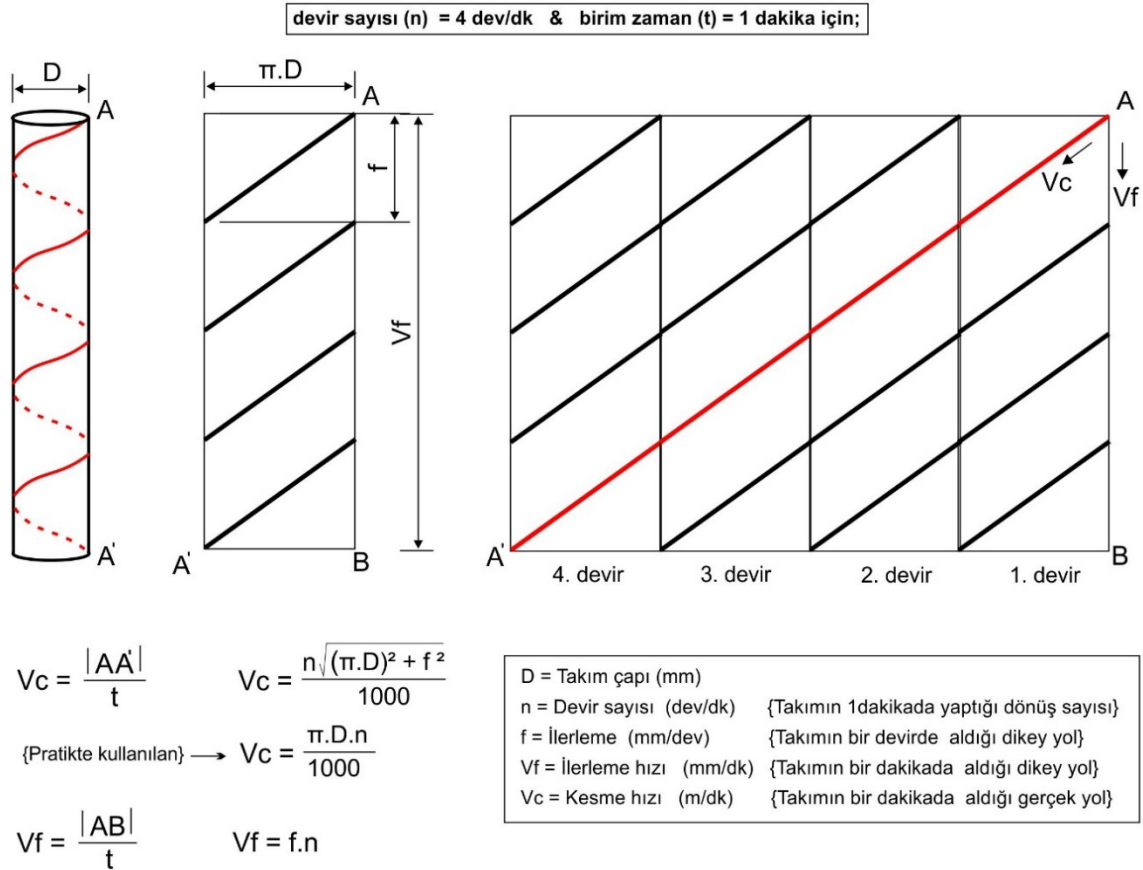
Çizelge 6.1. Deneysel çalışmalar için belirlenen girdi parametreleri

Kesici tipi,	İşleme tipi	İşlenen malzeme	Kesme hızı (V_c)	İlerleme (f)	Soğutma tipi	Tezgah tipi
8mm çapında içten soğutma kanallı kaplamasız karbür matkap	Boydan boya delik delme (25 mm)	AA2024 ve AA7075 alüminyum alaşımları	V_c 1 (100 m/dk)	f 1 (0,10 mm/dev)	İçten minimum miktarda soğutma (İ)	ECOSPEED 2600 (HSM) yüksek hızlı CNC işleme merkezi (ES) DS Droop+Rein PMM yüksek hızlı CNC işleme merkezi (PMM) Mori Seiki VS80 üç eksenli CNC dik işlem merkezi (MS)
			V_c 2 (125 m/dk)	f 2 (0,15 mm/dev)	Dıştan minimum miktarda soğutma (D)	
			V_c 3 (150 m/dk)	f 3 (0,20 mm/dev)	Geleneksel soğutma (G)	
			V_c 4 (175 m/dk)	f 4 (0,25 mm/dev)	Basıncılı hava ile soğutma (H) {Kuru şartlarda işleme (K)}	
1	1	2	4	4	4 {+1}	3

Çizelge 6.2. Deneysel çalışmalar için belirlenen çıktı parametreleri

Yüzey kalitesi (μm , mm)	İlerleme Kuvveti (N)	Moment (Nm)	Matematiksel modeller
Ra (Ortalama yüzey pürüzlüğü)	F_t	M	Ra; D; $D_{X,Y}$; D_Z
D (Çaptan sapma)			F_t
$D_{X,Y}$ (Dairesellikten sapma)			M
D_Z (Silindiriklikten sapma)			

Yapılan çalışmada devir sayısı (n) ve ilerlemenin (f) bir fonksiyonu olan ‘ilerleme hızı (V_f)’ parametresinin, çıktı parametreleri üzerindeki etkisi de incelenmiştir. Delik delme deneyleri için hazırlanan CAM programında da kullanılan bu parametrenin kesme hızı ve ilerleme arasındaki ilişkisi Şekil 6.1’deki gibi açıklanabilir.



Şekil 6.1. İlerleme hızı, kesme hızı ve ilerleme parametrelerinin hesaplanması

İşlem parametreleri ile işlem parametrelerine ait ikili etkileşimlerinin kalite karakteristiği üzerindeki etkisini ölçmek için eldeki verilere varyans analizi (ANOVA) uygulanmıştır. Bu çalışmada yüzey pürüzlüğü (Ra), çaptan sapma, dairesellikten sapma, silindiriklikten sapma, ilerleme kuvveti (F_t) ve momentler (M) olmak üzere seçilen kalite karakteristiklerine ayrı ayrı ANOVA testi uygulanmıştır. Bu testlerde soğutma yöntemi (S_y), kesme hızı (V_c), ilerleme (f), ilerleme hızı (V_f), malzeme faktörü (m) tezgah faktörü (T_g) gibi unsurlar işlem parametreleri olarak seçilmiştir.

ANOVA'da söz konusu işlem parametresinin anlamlılığı, ona ait varyans değerinin hatanın varyansına oranı ile belirlenmektedir. Bu işlem F test istatistiği olarak da adlandırılır. F_{test} değeri belli güvenlik seviyesinde F_{tablo} değeriyle mukayese edilerek parametrenin kalite karakteristiği üzerinde anlamlı olup olmadığı belirlenir. F_{test} değeri F_{tablo} değerinden büyük ise parametre anlamlı kabul edilir. Bunun yanında P anlamlılık değeri yapılan test sonucunda anlamlılık tespitini yapmada daha pratik bir yol olarak kullanılır. P değeri α

değerinden küçük ise veri seti anlamlı olarak kabul edilir. Sayısal analizlerde % 95 güven aralığı yeterli olduğu için bu çalışmada da hata oranı (α) 0,05 olarak alınmıştır.

6.1. Kullanılan Deney Tasarımı

Deney tasarımı Taguchi Yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Taguchi Yönteminde, deney tasarımı analiz değişkeni ya da performans kriteri olarak kullanılması amacıyla, bir dizi, adına “sinyal/gürültü (signal/noise) oranı” denilen, kriter tanımlanmıştır [97]. Bu yöntemde, varyasyonu azaltmak amacıyla, deney tasarımında performans kriteri olarak kullanılmak üzere, sinyal/gürültü (S/N) oranı olarak adlandırılan bir dizi istatistik geliştirilmiştir. Uygulamadaki problemler, hedefin türüne göre üçe ayrılmıştır. Bunlar, kalite karakteristiğine göre “*en küçük en iyi*”, “*en büyük en iyi*” ve “*hedef değer en iyi*” yaklaşımlarıdır [98]. Bu çalışmada kalite karakteristiği olarak seçilen yüzey pürüzlülüğü, ovaliteden sapma, aksel sapma ve çaptan sapma gibi delik kalitesini belirleyen unsurlar ile ilerleme kuvveti ve moment değerlerinin en az olması istendiği için “*en küçük en iyi*” prensibi uygulanmıştır. “*En küçük en iyi*” durumunda, y 'nin hedef değeri sıfırdır. Bu durumda sinyal/gürültü oranı şöyle tanımlanmaktadır:

$$S/N = -10 \cdot \log \left(\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (6.1)$$

Eşitlik 6.1’de n yapılan deney sayısını, y ise gözlenen karakteristiği (bağımlı değişkeni) ifade etmektedir [97].

Çıktı faktörlerinin (Ft, M, Ra, vb.) optimum seviyelerini belirleyebilmek için yapılan Taguchi Sinyal-Gürültü (S/N) analizinde en küçük en iyidir yaklaşımı kullanılmış ve çıktı faktörlerinin en düşük olduğu seviyeler en iyi seviyeler olarak değerlendirilmiştir. Buna bağlı olarak yapılan testlerde, bir parametrenin tüm seviyeleri içerisinde elde edilen en büyük S/N oranı, o parametre için en iyi değer olarak kabul edilmiştir.

6.1.1. Ana deneyler için kullanılan Taguchi L16 deney tasarımı

Deney girdisi olarak dört farklı kesme hızı, dört farklı ilerleme ile dahili (içten) MMY tekniği (İ), harici (dıştan) MMY tekniği (D), geleneksel soğutma tekniği (G) ve basınçlı

hava ile soğutma tekniği (H) olmak üzere dört farklı soğutma şartı seçilmiştir. Kullanılan Minitab paket programı vasıtasıyla dört seviyeli 4x4x4 Taguchi L16 deney tasarımı oluşturulmuştur. Bu şekilde 64 adet deney sayısı 16'ya düşürülmüştür. Aynı tasarım her iki malzeme (AA7075 ve AA2024) için de tekrarlanarak toplam deney sayısı 128 adetten 32 adede düşürülmüştür. Çizelge 6.3'de söz konusu tasarımın seviyeleri ve kontrol faktörleri verilmiştir.

Çizelge 6.3. Ana deneyler için kontrol faktörleri ve seviyeleri

	Faktörler	Birim	1. Seviye	2. Seviye	3. Seviye	4. Seviye
1	Soğutma Yöntemi (A)		İçten(Dahili) MMY (İ)	Dıştan(Harici) MMY (D)	Geleneksel Soğutma(G)	Basıncılı Havayla Soğutma (H)
2	KesmeHızı (B)	m/dk	100	125	150	175
3	İlerleme (C)	mm/dev	0,10	0,15	0,20	0,25

Çizelge 6.3'deki faktörler göz önünde bulundurularak, deneysel çalışma için en uygun tasarım olan Taguchi L16 ortogonal dizin seçilmiştir. Çizelge 6.4'de Minitab istatistik yazılımı yardımı ile belirlenen deney tasarımı görülmektedir.

Çizelge 6.4. Taguchi L16 orthogonal deney tasarımı

Deney No	Değişkenler	A Soğutma Yöntemi	B Kesme hızı (m/dk)	C İlerleme (mm/dev)
1	A1B1C1	1	1	1
2	A1B2C2	1	2	2
3	A1B3C3	1	3	3
4	A1B4C4	1	4	4
5	A2B1C2	2	1	2
6	A2B2C1	2	2	1
7	A2B3C4	2	3	4
8	A2B4C3	2	4	3
9	A3B1C3	3	1	3
10	A3B2C4	3	2	4
11	A3B3C1	3	3	1
12	A3B4C2	3	4	2
13	A4B1C4	4	1	4
14	A4B2C3	4	2	3
15	A4B3C2	4	3	2
16	A4B4C1	4	4	1

Bu şekilde tasarımı yapılarak deney sayısı belirlendikten sonra ikinci bir çizelge hazırlanmıştır. Deney çalışmalarında rehber olarak kullanılan bu çizelgede kaç numaralı takımla, hangi tezgahta, hangi şartlarla, hangi malzemeye delik delineceğini açıklayan

bilgileri içermektedir. Hazırlanan bu çizelge ile sadece takım numarasının bilinmesi; o takımla yapılacak deney ile ilgili her türlü bilgiye ulaşılmamasını sağlamıştır. Söz konusu çizelge EK-2’de verilmiştir. Yapılan deneylerde her iki malzeme için 16 kesici takım olmak üzere toplam 32 adet kesici takım ile aşınma ve/veya sıvanmaları görebilmek amacıyla 30 delik delme tekrarı yapılarak toplamda 960 delik delme işlemi yapılmıştır.

Deneylerde teknik kısıtlardan dolayı iki ayrı takım tezgahı kullanılmıştır. İçten MMY ve dıştan MMY uygulamaları ECOSPEED 2600 yüksek hızlı CNC işleme merkezinde (ES), geleneksel soğutma ve basınçlı hava ile soğutma uygulamaları DS Droop+Rein yüksek hızlı CNC işleme merkezinde (PMM) gerçekleştirilmiştir.

6.1.2. Ek deneyler için kullanılan Taguchi L9 deney tasarımı

İki ayrı tezgah kullanılarak gerçekleştirilen ana deneylerde takım tezgahı faktörünün belirlenebilmesi için ek deneyler yapılması gereği hasıl olmuştur. Tezgah faktörünün daha iyi görülebilmesi için bu iki tezgahın yanında üçüncü bir tezgah daha kullanılarak kuru kesme (K) şartlarında ek deneyler yapılmıştır. Deney girdisi olarak üç farklı kesme hızı, üç farklı ilerleme ile ES ve PMM takım tezgahlarının yanında Mori Seiki (MS) CNC dik işleme merkezi de kullanılarak üç farklı takım tezgahında delme testleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan ek deneyler için en uygun tasarım olarak üç seviyeli 3x3x3 Taguchi L9 ortogonal dizin seçilmiştir. Bu şekilde 27 adet deney sayısı 9’a düşürülmüştür. Aynı tasarım her iki malzeme (AA7075 ve AA2024) için de tekrarlandığı için toplam deney sayısı 54 adetten 18 adede düşürülmüştür. Çizelge 6.5’de söz konusu tasarımın seviyeleri ve kontrol faktörleri verilmiştir.

Çizelge 6.5. Ek deneyler için kontrol faktörleri ve seviyeleri

	Faktörler	Birim	1. Seviye	2. Seviye	3. Seviye
1	Takım tezgahı (A)		EcoSpeed (ES)	DS Droop+Rein (PMM)	Mori Seiki (MS)
2	Kesme hızı (B)	m/dk	100	125	150
3	İlerleme (C)	mm/dev	0,10	0,15	0,20

Yapılan ek deneylerde her iki malzeme için 9 kesici takım olmak üzere toplam 18 adet kesici takım ile 30 delik delme tekrarı yapılmak suretiyle toplam 540 adet delik delme işlemi yapılmıştır. Deliklerin numaralandırılması ise; ilk olarak hangi takımla delindiği ve

kaçıncı delik olduğunu ifade eden harf ve rakamlarla verilmiştir. Örneğin yirmidördüncü takımın açtığı onaltıncı deliğin isimlendirilmesi T24-16 şeklindedir. EK-2’de bu deliğin hangi kesme şartlarında, hangi tezgahta, hangi malzemeye uygulandığı açıkça gösterilmiştir. Çizelge 6.6’da Minitab istatistik yazılımı yardımı ile belirlenen L9 deney tasarımı görülmektedir.

Çizelge 6.6. Ek deneyler için Taguchi L9 orthogonal deney tasarımı

Deney No	Değişkenler	A Tezgah Türü	B Kesme hızı (m/dak)	C İlerleme (mm/dev)
1	A1B1C1	1	1	1
2	A1B2C2	1	2	2
3	A1B3C3	1	3	3
4	A2B1C2	2	1	2
5	A2B2C3	2	2	3
6	A2B3C1	2	3	1
7	A3B1C3	3	1	3
8	A3B2C1	3	2	1
9	A3B3C2	3	3	2

Bu şekilde asıl deneylerde (L16) 32 adet, ek deneylerde (L9) 18 adet olmak üzere iki deney tasarımında toplam 50 adet kesici takım kullanılmıştır. Bu 50 takımın 30 delik delme tekrarı yapılmak suretiyle toplamda 1500 adet delik delme deneyi gerçekleştirilmiştir.

6.2. Kullanılan İş Parçası Malzemeleri

Deneylerde iş parçası malzemesi olarak iki farklı alüminyum alaşımı kullanılmıştır. Bunlar AA 7075 ve AA 2024 alüminyum alaşımlarıdır. Bu iki alaşımların kimyasal ve mekanik özellikleri Çizelge 6.7 ve Çizelge 6.8’de verilmiştir.

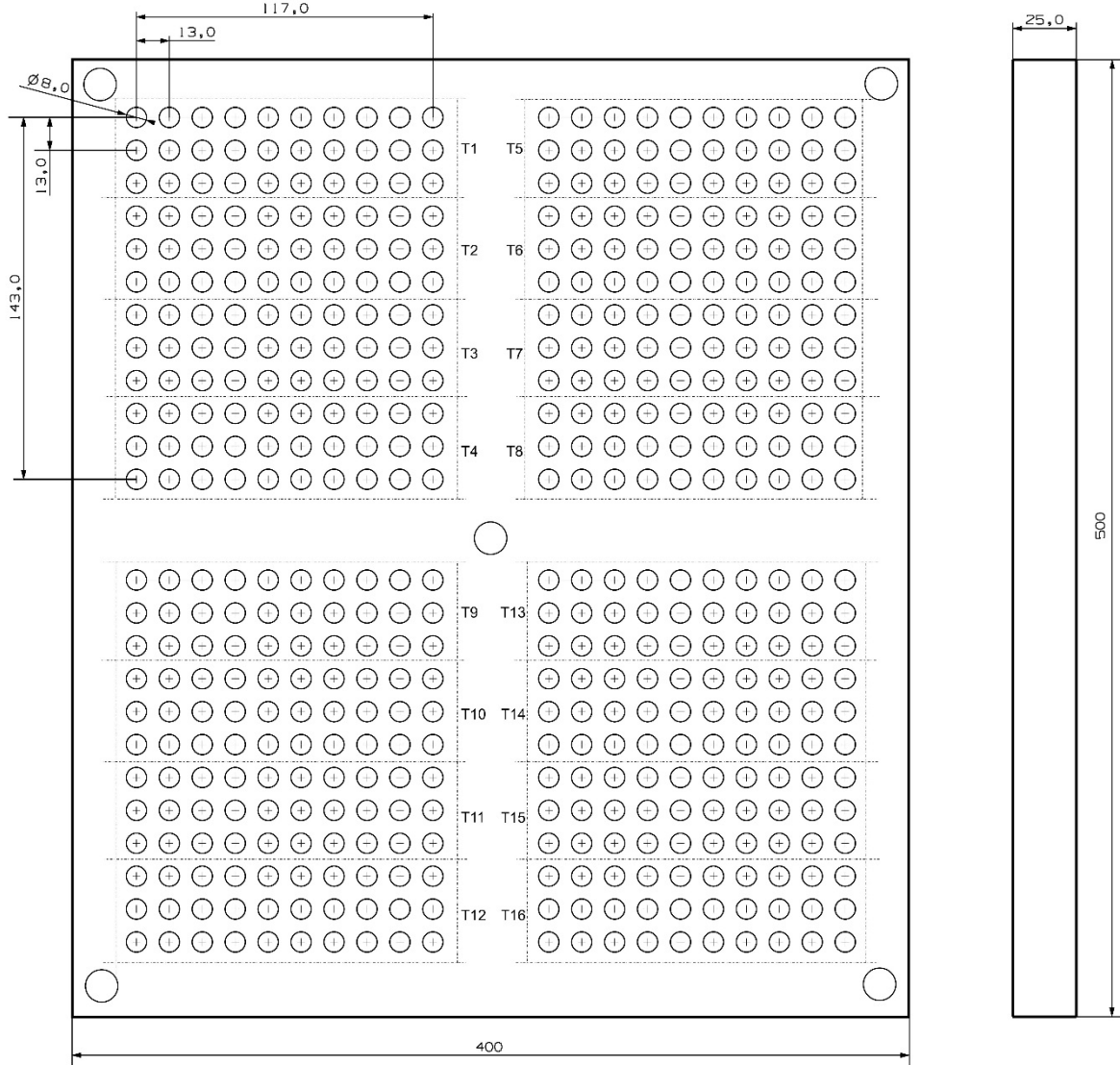
Çizelge 6.7. AA2024 ve AA7075 alaşımlarının kimyasal özellikleri

	Si	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn
AA 2024	0,50	4,50	0,60	1,50	0,10	0,20
AA 7075	0,40	1,60	0,30	2,50	0,30	5,6

Çizelge 6.8. AA2024 ve AA7075 alaşımlarının mekanik özellikleri [99-100]

	Isıl İşlem	Elastik Modül (GPa)	Akma Gerilimi (MPa)	Çekme Gerilimi (MPa)	Uzama (%)	Sertlik (Brinell)
AA 2024	T4	73,1	315 -330	440 -465	20,0	120
AA 7075	T6	72	460 -505	530 -570	10,0	150

Bu malzemelerden elde edilen deney numunelerinin şekli ve boyutları, kullanılan takım tezgahları ve çalışma şartlarına bağlı olarak şekillendirilmiştir. Deneylerde kullanılan numunelerin üzerine deney deliklerinin açılmış olduğu formuyla temsili resmi Şekil 6.2’de verilmiştir. Deneylerde boydan boya delikler delinmiştir.

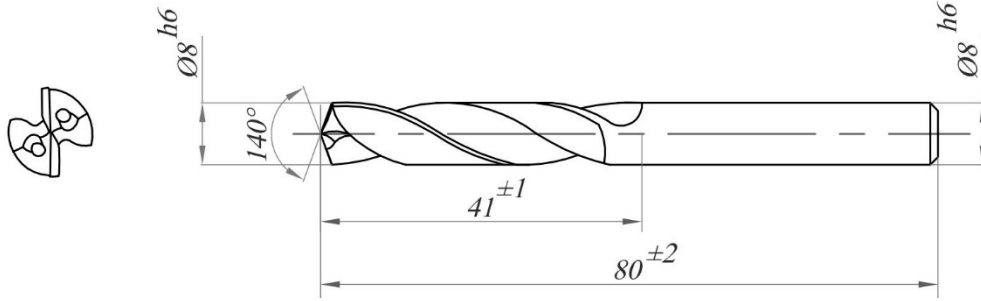


Şekil 6.2. Üzerine delikler açılmış formuyla deney numunesi teknik resmi

Takım çapı 8 mm seçildiği için $3xD < L$ formülüyle malzemelerin kalınlığı 25 mm olacak şekilde üzerlerinden talaş kaldırılmıştır. Plakaların kesitleri, üzerlerine açılacak delik sayılarına göre 420x500 mm olarak belirlenmiştir. Şekilde verilen temsili resim Ecospeed tezgahında işlenen AA7075 iş parçası malzemesine aittir. İkişer adet AA7075 ve ikişer adet AA2024 malzemelerden, toplamda dört plaka kullanılmıştır. Her malzeme için iki plaka kullanılması, deney yapılan her iki tezgah için ayrı ayrı plakaların kullanılmasıyla ilgilidir. Böylece levhalar tezgahlara tek bağlama işlemiyle bağlanarak deneye tabi tutulmakta, buna bağlı olarak bağlamadan kaynaklanabilecek hatalar da en aza düşürülmüş olmaktadır.

6.3. Kullanılan Kesici Takımlar

Deneylerde iki ağızlı, helisel, 8 mm çaplı, Gühring marka kaplamasız karbür matkaplar kullanılmıştır. Deneylerde dahili MMY sistemi uygulandığı için kesici takımlar içten soğutma kanallı olarak seçilmiştir. Kullanılan kesici takımlarla ilgili ölçüsel bilgiler Şekil 6.3'de verilmiştir.



Şekil 6.3. Deneylerde kullanılan karbür matkaplar

Deneylerde soğutma şartlarını kıyaslamak için 32 adet, tezgah faktörünü kıyaslamak için 18 adet olmak üzere toplam 50 adet karbür matkap kullanılmıştır. Matkaplar Çizelge 6.3'de belirlenen numaralara göre deneylerden önce lazer işaretleyici bir cihazla numaralandırılmıştır.

6.4. Kullanılan Takım Tezgahları

Deneyler TUSAŞ-TAI Türk Havacılık ve Uzay Sanayi bünyesinde mevcut olan ECOSPEED 2600 (HSM) yüksek hızlı CNC işleme merkezi ve DS Droop+Rein PMM

yüksek hızlı CNC işleme merkezi kullanılarak yapılmıştır. Deneyleerde iki ayrı tezgah kullanılmasının sebebi, incelenecek olan 4 soğutma şartının aynı tezgahta yapılmasının teknik olarak mümkün olamamasından kaynaklanmaktadır. İçten MMY ve dıştan MMY teknikleri ECOSPEED tezgahında uygulanabilirken; geleneksel soğutma ve basınçlı hava ile soğutma teknikleri PMM tezgahında uygulanabilmiştir. Bu durumda, elde edilecek deney sonuçlarını değerlendirirken tezgah faktörü ve kesici takım bağlama faktörü dikkat edilmesi gereken önemli bir husus olarak ortaya çıkmıştır. Bu hususu da her iki tezgahta aynı şartlarda kuru kesme yaparak, söz konusu faktörlerin etkisini ölçüp diğer soğutma şartlarında yapılacak karşılaştırmalarda ölçülen faktörlerin etkilerini dikkate alarak değerlendirmeler yapılması düşünülmüştür. Bu şekilde tezgah faktörünün de bulunmasına imkan sağlayacak, daha geniş açıdan problemlere yaklaşabilen matematiksel modeller geliştirilebileceği değerlendirilmiştir.

Deneysel çalışmada tezgah faktörünü daha net belirleyebilmek adına kullanılan Mori Seiki VS80 üç eksenli CNC dik işlem merkezi, sadece kuru şartlarda delik delme işlemi yapılmıştır. Tezgahın teknik özellikleri Çizelge 6.9’da verilmiştir.

Çizelge 6.9. Mori Seiki VS 80 CNC tezgahının teknik özellikleri

Tezgah Adı	Mori Seiki VS80 üç eksenli CNC dik işlem merkezi	
Kontrol Ünitesi	SEICOS FANUC 18	
Maksimum Devir Sayısı	20 000	dev/dk
İşleme Tablası	2250x850	mm
İlerleme	20 000	mm/dk
Eksenel Hareket	X: 2050, Y: 860, Z: 600	mm

Droop+Rein CNC tezgahı (PMM), özellikle otomotiv ve uçak sanayinde, kompozit ve alüminyum alaşımlarının işlenmesi için tasarlanmış yüksek hızlarda işlem yapabilen bir tezgahdır. Geleneksel soğutma, basınçlı hava ile soğutma ve kuru kesme şartlarıyla deney yapılan PMM tezgahının teknik özellikleri Çizelge 6.10’da verilmiştir. ECOSPEED 2600 CNC tezgahı (ES), özellikle alüminyum işleme için tasarlanmış uçak sanayinde kullanılan yüksek hızlarda işlem yapılabilen bir tezgahdır. Soğutma sistemlerinden MMY sistemlerini ihtiva etmektedir. Tezgahın teknik özellikleri Çizelge 6.11’de verilmiştir.

Çizelge 6.10. DS Droop+Rein CNC tezgahının teknik özellikleri

Tezgah Adı	DS Droop+Rein yüksek hızlı CNC işleme merkezi (PMM)	
Kontrol Ünitesi	CNC SIEMENS Sinumerik 840D (5 eksenli için)	
Maksimum Devir Sayısı	24.000	dev/dk
Eksenlerde İlerleme	X ,Y:40.000; Z:30.000; B,C: 4.320°/dk	mm/dk
Eksenel Hareket	X: 6800, Y: 4500, Z: 1700 B: ±120°, C: n x 360°	mm

Çizelge 6.11. ECOSPEED 2600 CNC tezgahının teknik özellikleri

Tezgah Adı	ECOSPEED 2600 (HSM) yüksek hızlı CNC işleme merkezi	
Kontrol Ünitesi	SIEMENS 840D	
Maksimum Devir Sayısı	30 000	dev/dk
İşleme Tablası	2500x7000	mm
Eksenlerde İlerleme	X:65 000, Y ve Z:50.000	mm/dk
Eksenel Hareket	X: 6800, Y: 2600, Z: 670 A:±40°, B: ±40°	mm

ECOSPEED tezgahındaki soğutma sistemi VOGEL Digital-Super MMY soğutma sistemidir. Bu sistem hem içten hem de dıştan soğutma yapabilmektedir. Bu takım tezgahında içten MMY tekniği, dıştan MMY tekniği ve kuru kesme şartlarının test edildiği delik delme deneyleri yapılmıştır. Deneylerde sabit debi ve basınçlar kullanılmıştır. Kullanılan VOGEL marka MMY sisteminin teknik özellikleri Çizelge 6.12’de verilmiştir.

Çizelge 6.12. VOGEL DigitalSuper1MMY sisteminin teknik özellikleri

Keme sıvısı uygulaması	İçten / Dıştan MMY	
Dıştan MMY		
Nozul sayısı	8	adet
Filtre kapasitesi	0.025	mm
Maksimum debi	50	l/dk
Maksimum Basınç	5	Bar
İçten MMY		
Maksimum debi	20	l/dk
Maksimum Basınç	7	Bar

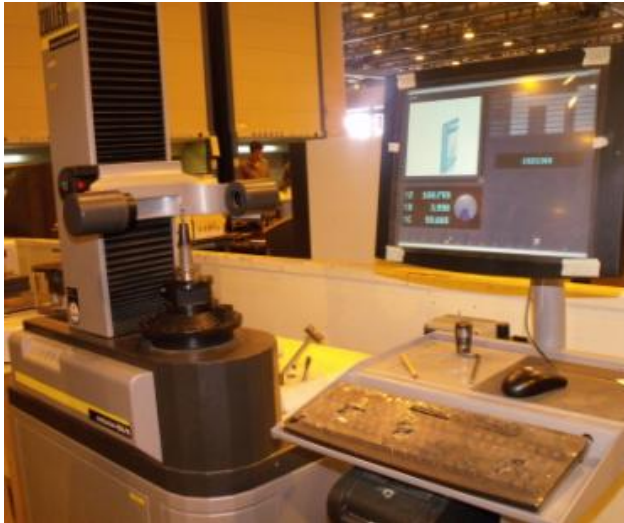
Sistemde Haughton CDT MAX-ML 200 marka kesme sıvısı kullanılmaktadır. MMY yöntemi için deneyler, savunma sanayinde güvenilirlik belgesi de olan bu kesme sıvısı kullanılarak yapılmıştır. İçten MMY ve dıştan MMY uygulamalarında bu kesme sıvısı

sabit 5 bar basınçla uygulanmıştır. Geleneksel soğutma yönteminde kullanılan Opet Fuchs Ecocool S PT 45 özelliğindeki kesme sıvısı ise takım dışından 10 bar basınçla kesme bölgesine uygulanmıştır. Basınçlı hava ile soğutma yönteminde kesme bölgesine gönderilen hava yine 10 bar basınçla, takım içinden uygulanmıştır.

6.5. Yapılan Ölçümler ve Kullanılan Ölçüm Tezgahları / Cihazlar

6.5.1. Takım tutucuların salgılarının ölçülmesi

Tüm takım tutuculara takımlar bağlandıktan sonra aksel sapmadan kaynaklanan salgıların ölçülmesi için takımlar tutucularla birlikte ayrı bir salgı ölçme cihazında test edilmiştir. ZOLLER T16000 marka salgı ölçme cihazı, dönen takımın ucunu lazer prop ile tarayarak sapmaları bilgisayar ekranına görsel ve her eksen için sayısal olarak aktarma özelliğine sahiptir. Salgı ölçme cihazının görüntüsü Resim 6.1’de verilmiştir.



Resim 6.1. ZOLLER T16000 salgı ölçme cihazı

Yapılan testler sonunda ölçülen değerler uygun olan takım tutucuları, ilgili tezgaha delik delme deneyleri yapmak üzere gönderilmiş; ölçülen değerler değerleri uygun olmayan tutucular ise shrink takım tutucu bağlama cihazına geri gönderilerek sökölüp tekrar takılmıştır. Bu işlemler takım tutucuya bağlanan takımların salgı değerleri istenilen noktaya gelene kadar tekrarlanmıştır. Ayrıca deneyler sonunda kesici takımlar üzerindeki aşınma ve malzeme yapışmaları AM413ZT Polarize Dijital Mikroskop ile 50X büyütme yapılarak görüntülenmiştir.

6.5.2. Takıma etkiyen kuvvetlerin ölçülmesi

Yine Türk Havacılık ve Uzay Sanayi bünyesinde mevcut olan Kistler dönel tip bir dinamometre vasıtasıyla PMM tezgahında yapılan deneylerde takıma etkiyen kuvvet ve momentler ölçülmüştür. Diğer tezgaha yapılan deneylerde ise; kullanılan dinamometrenin söz konusu tezgaha entegrasyonu konusundaki teknik imkansızlıklar nedeniyle kuvvet ölçümü yapılamamıştır. Dinamometreye ait teknik özellikler Çizelge 6.13’de verilmiştir.

Çizelge 6.13. Kistler 9123C dönel tip dinamometrenin teknik özellikleri

Ölçme Aralığı	.Fx, Fy	-5....5 kN
	Fz (Ft)	-20....20 kN
	Mz	-0.200...0.200 kNm
Devir sayısı (max)		10000 dev/dk
Operasyon sıcaklığı		0....60 °C
Çıkış sinyali		-10....10 VDC
Eksen Sayısı		4

Resim 6.2’de kullanılan Kistler 9123C dönel tip dinamometreye ait görüntüler verilmiştir



Resim 6.2. Tezgaha entegre edilmiş Kistler dönel tip dinamometre (a) ve kontrol ünitesi(b)

PMM tezgahında yapılan deneylerde delik delme işlemine tabi tutulan AA7075 ve AA2024 olmak üzere iki alüminyum malzeme için geleneksel soğutma, basınçlı hava ile soğutma ve kuru kesme şartlarında takıma etkiyen kuvvet ve momentler ölçülmüştür. Kuvvet ve moment ölçümleri her takım (dolayısıyla kesme şartı) için ayrı ayrı kaydedilmiştir. Her takım için 30 tekrar yapılarak gerçekleştirilen deneylerden elde edilen kuvvet verileri bilgisayar ortamına aktarılmıştır.

6.5.3. Delik kalitesiyle ilgili olarak deliklerin dairesellik, silindiriklik ve ölçü tamlığının ölçülmesi

Deliklerin dairesellik, silindiriklik ve ölçü tamlığı TUSAŞ-TAI Türk Havacılık ve Uzay Sanayi bünyesinde mevcut olan DUE Global Performance marka CMM koordinat ölçüm tezgahı ile ölçülmüştür. Tezgahın hassasiyeti 0,002 mm olup, ortam sıcaklığı sabit tutulan (21-24°C) bir odada bulunmaktadır. Söz konusu tezgahın görseli Resim 6.3’de verilmiştir.



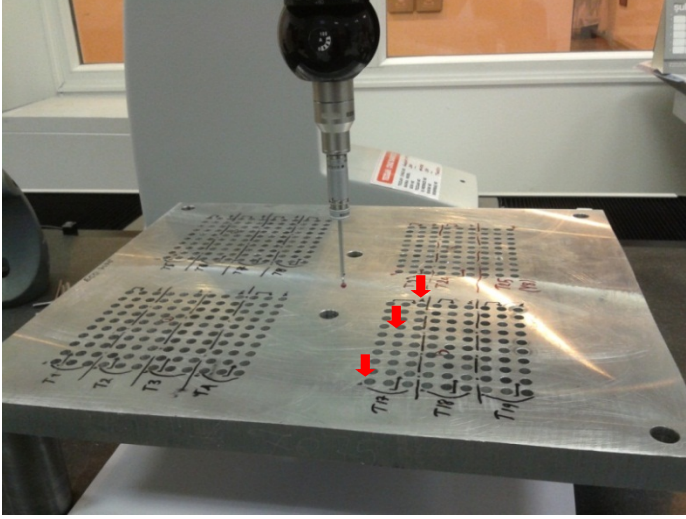
Resim 6.3. CMM koordinat ölçme tezgahının resmi

CMM tezgahının bulunduğu odanın sıcaklığı, kalite kontrol merkezinde anlık olarak kayıt altına alınmaktadır. Amaç ölçümlerde ısı faktörü etkisinin dikkate alınarak, daha hassas bir ölçüm yapılabilmesidir. Odanın sıcaklık bilgisini merkeze gönderen ölçüm cihazı Resim 6.4’de görülmektedir.



Resim 6.4. Veri ağına bağlı ortam sıcaklık ölçer

Ölçümlerin daha hassas yapılabilmesi için üç gün bu odada tutulan deney numuneleri, ısı dengeye kavuştuktan sonra ölçümlere başlanmıştır. Ayrıca ölçülen delik yüzeyleri alkol ile temizlenerek yüzeylere yapışmış olası talaş ya da tozlardan arındırılmıştır.



Resim 6.5. Numune üzerinde ölçülen delikler

Numuneler üzerinde; incelenen 50 farklı şart için, her bir şart 30 kez tekrarlanarak açılan 1500 adet delik mevcuttur. Resim 6.5’deki gibi her şart için 1. 15. ve 30. olmak üzere üçer delik ölçümü yapılmıştır. Böylece hem her şart için üç adet delik ölçümü yapılmış, hem de başta ortada ve sonda olmak üzere takımın aşınma eğiliminin delik kalitesine olan etkisinin gözlenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca deliklerin giriş çaplarının yanı sıra çıkış çaplarındaki ölçü tamlığı da ölçülmüştür. Ölçümler için öncelikle numunelerin üç boyutlu katı modelleri kullanılmıştır. Bu katı modele uygun olarak tezgahla ilişkili kullanılan paket programı (PC DMIS CAD 2011) ile CMM programları hazırlanmıştır.

6.5.4. Delik kalitesiyle ilgili olarak deliklerin yüzey pürüzlüklerinin ölçülmesi

Numunelere açılan delik yüzeylerinin yüzey pürüzlülüğü ölçümleri için Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi bünyesinde mevcut olan “Mahr” marka Perthometer M1 tipi, masa üstü ve yazılı çıktı alınabilen yüzey pürüzlülük ölçme cihazı kullanılmıştır. Resim 6.6’da olduğu gibi 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 30 delik delme tekrarında 1., 15. ve 30. olmak üzere her şart için üç deliğin yüzey pürüzlüğü ölçülmüştür. Bu şekilde 30 tekrar için

kullanılan aynı kesici takımın ilk, orta ve son seviyedeki durumunun gözlenmesi amaçlanmıştır. Ölçümlerin güvenilirliği için ölçülen her delik için ayrı noktalardan dört ölçüm yapılmıştır. Ölçümler sonucu elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması alınarak her delik için ortalama yüzey pürüzlülük (R_a) değerleri belirlenmiştir. Kullanılan yüzey pürüzlülük ölçme cihazının teknik özellikleri Çizelge 6.14’de verilmiştir.

Çizelge 6.14. Yüzey pürüzlülük ölçme cihazının teknik özellikleri

MODEL	Mahr Perthometer M1
Ölçme prensibi	İzleyici uç metodu
Tarama hızı (mm/sn)	0,5
Ölçüm aralığı	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
Dil	Seçilebilir, 10 Avrupa 3 Asya dili
Güç kaynağı	Entegre NiCd şarj edilebilir pil.
Boyutlar (mm)	190x170x75
Yaklaşık ağırlık (gr)	900



Resim 6.6. Yüzey pürüzlülük ölçme cihazı ile ölçümlerin yapılması

7. BULGULAR VE TARTIŞMA

7.1. Ortalama Yüzey Pürüzlüğünün (R_a) Değerlendirilmesi

7.1.1. Uygulanan soğutma yöntemine göre R_a 'nın değerlendirilmesi

Taguchi L16 metodu kullanılarak soğutma yöntemi (A: S_y), kesme hızı (B: V_c) ve ilerleme (C:f) olmak üzere dörder seviyeli üç farklı kontrol faktörü ile bir deney tasarımı oluşturulmuştur. Oluşturulan deney tasarımı iki farklı alüminyum alaşımı için (AA7075 ve AA2024) ayrı ayrı uygulanmıştır. Deneyler sonunda elde edilen ortalama yüzey pürüzlüğü değerleri (R_a) ve “en küçük en iyidir” yaklaşımına göre yapılan Taguchi Sinyal/Gürültü (S/N) testinde hesaplanan S/N oranları Çizelge 7.1’de verilmiştir. Yüzey pürüzlüğü değerlerinin soğutma yöntemleri ve kesme parametrelerine bağlı olarak 0,494-1,955 μm arasında değiştiği görülmektedir.

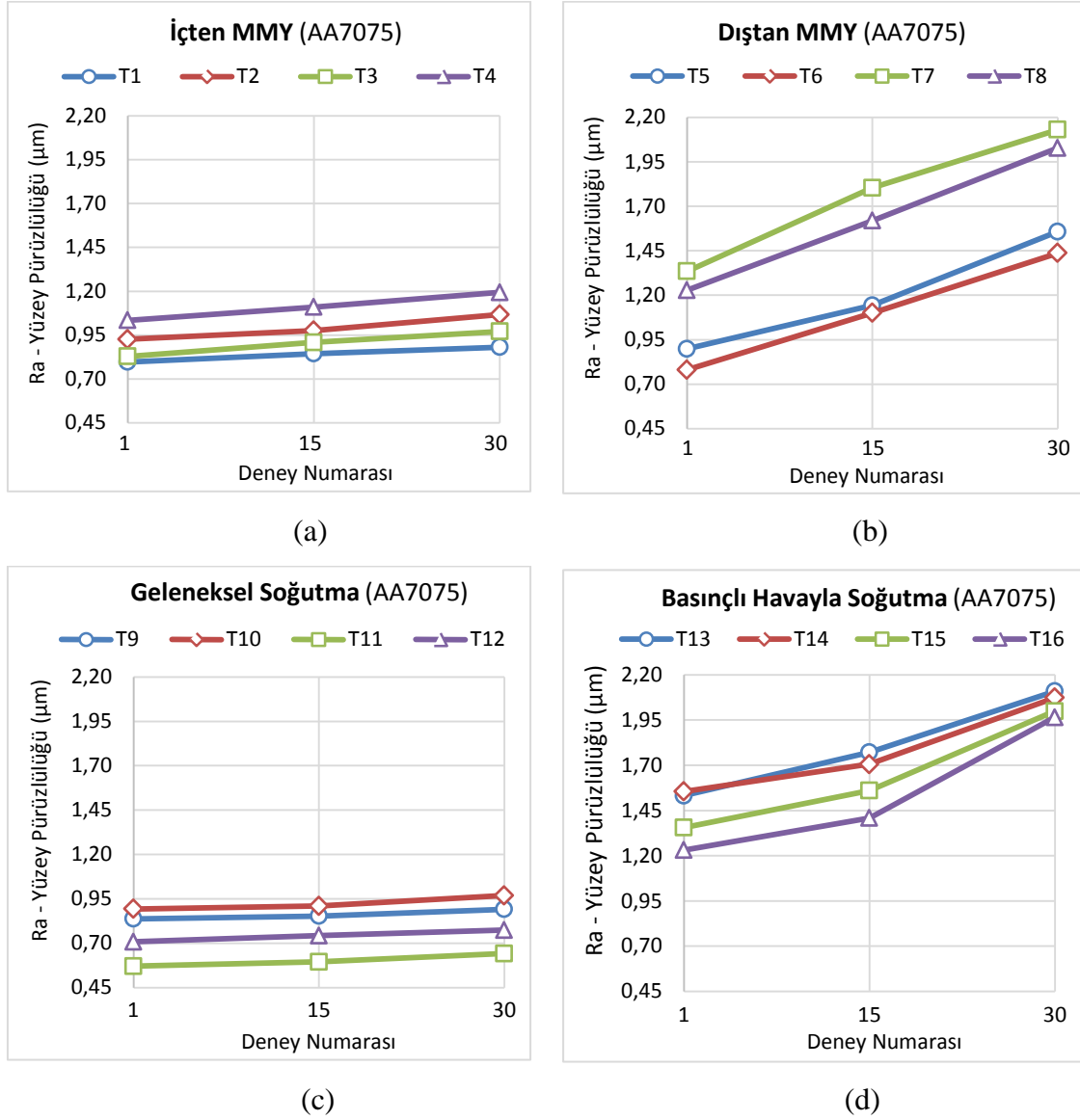
Çizelge 7.1. AA7075 ve AA2024 alaşımlarının delinmesinde elde edilen R_a ve S/N oranları

AA7075 Deney No	Değişkenler	R_a - Yüzey Pürüzlüğü (μm)	S/N Oranı (dB)	AA2024 Deney No	Değişkenler	R_a -Yüzey Pürüzlüğü (μm)	S/N Oranı (dB)
T1	A1B1C1	0,841	1,508	T26	A1B1C1	0,500	6,029
T2	A1B2C2	0,989	0,092	T27	A1B2C2	0,834	1,578
T3	A1B3C3	0,903	0,890	T28	A1B3C3	0,660	3,606
T4	A1B4C4	1,113	-0,926	T29	A1B4C4	0,942	0,521
T5	A2B1C2	1,200	-1,581	T30	A2B1C2	1,473	-3,364
T6	A2B2C1	1,106	-0,878	T31	A2B2C1	1,387	-2,841
T7	A2B3C4	1,756	-4,892	T32	A2B3C4	2,052	-6,246
T8	A2B4C3	1,625	-4,217	T33	A2B4C3	1,955	-5,824
T9	A3B1C3	0,861	1,304	T34	A3B1C3	0,724	2,811
T10	A3B2C4	0,924	0,690	T35	A3B2C4	0,870	1,205
T11	A3B3C1	0,602	4,408	T36	A3B3C1	0,494	6,128
T12	A3B4C2	0,741	2,603	T37	A3B4C2	0,663	3,563
T13	A4B1C4	1,805	-5,128	T38	A4B1C4	1,904	-6,158
T14	A4B2C3	1,779	-5,003	T39	A4B2C3	1,918	-5,658
T15	A4B3C2	1,639	-4,291	T40	A4B3C2	1,817	-5,186
T16	A4B4C1	1,536	-3,725	T41	A4B4C1	1,743	-4,659

Aynı şartlarda delme tekrarına göre yüzey pürüzlüğündeki değişim

Her kesme şartı için 30 delme tekrarı yapılan deneylerde, 1., 15. ve 30. olmak üzere, her şart için üç deliğin yüzey pürüzlüğü ölçülmüştür. Çizelgede 7.1’de görülen yüzey pürüzlüğü (R_a) verileri, bu üç deliğe ait R_a verilerinin aritmetik ortalaması alınarak

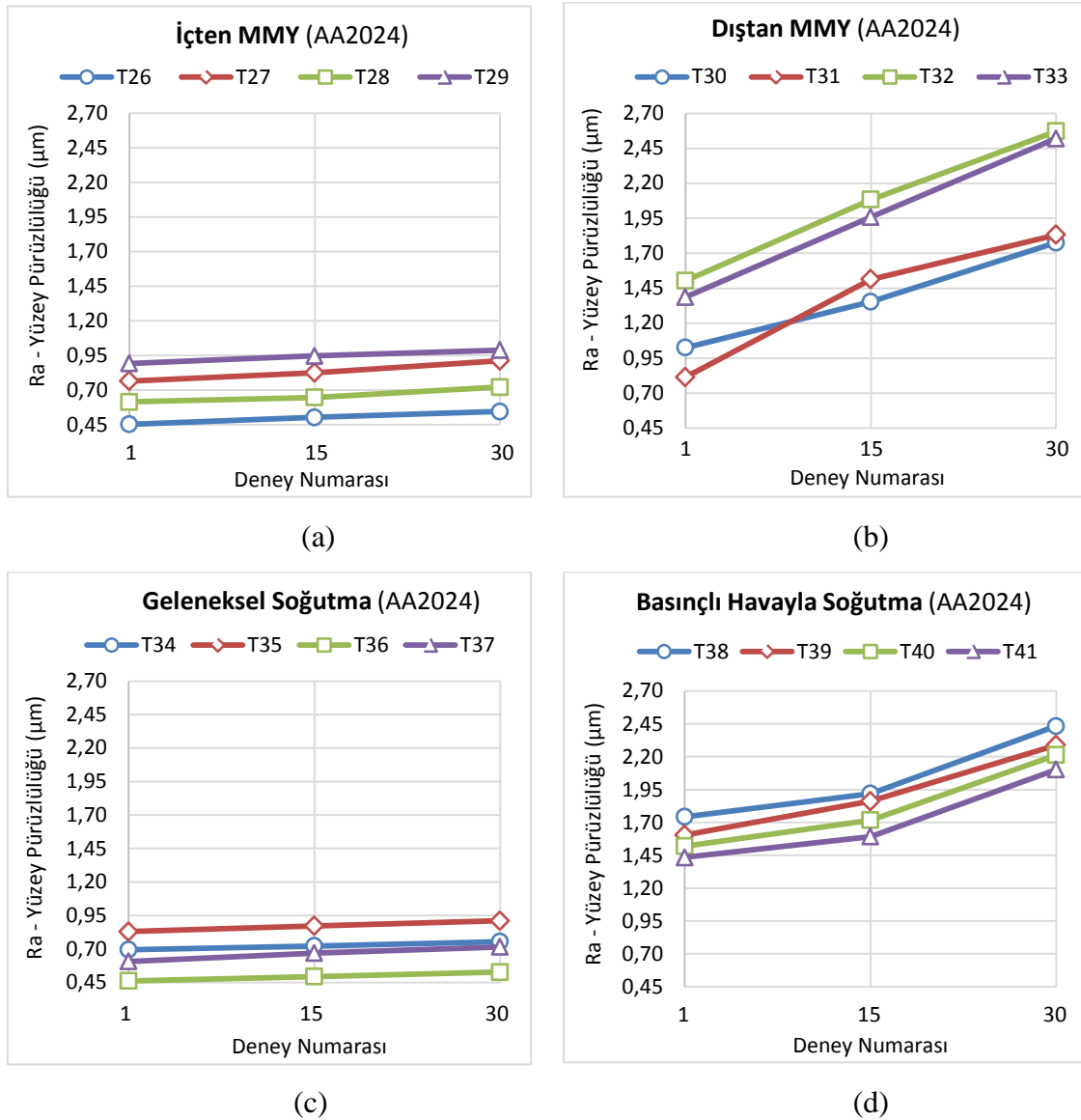
hesaplanmıştır. 32 farklı kesme şartında delik delme tekrarı yapılarak elde edilen R_a verilerinin, ilk delikten son deliğe doğru değişim grafikleri Şekil 7.1 ve Şekil 7.2’de verilmiştir.



Şekil 7.1. AA7075 alaşımının her şart için 30 delme tekrarı elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) değerlerinin ilk delikten son deliğe değişimi

Şekil 7.1’deki grafiklerde AA7075 alüminyum alaşımının delinmesinde, içten minimum miktarda yağlama (a), dıştan minimum miktarda yağlama (b), geleneksel soğutma (c) ve basınçlı hava ile soğutma (d) yöntemleri kullanılarak, her soğutma şartında farklı kesme parametreleri (kesme hızı - ilerleme) kombinasyonuna sahip olan dört farklı kesme için elde edilen R_a değerleri verilmiştir. Grafiklerde kullanılan T(x) serileri farklı kesme şartlarını ifade etmektedir. Deney numarası eksenindeki değerler ise tekrar deneylerinde

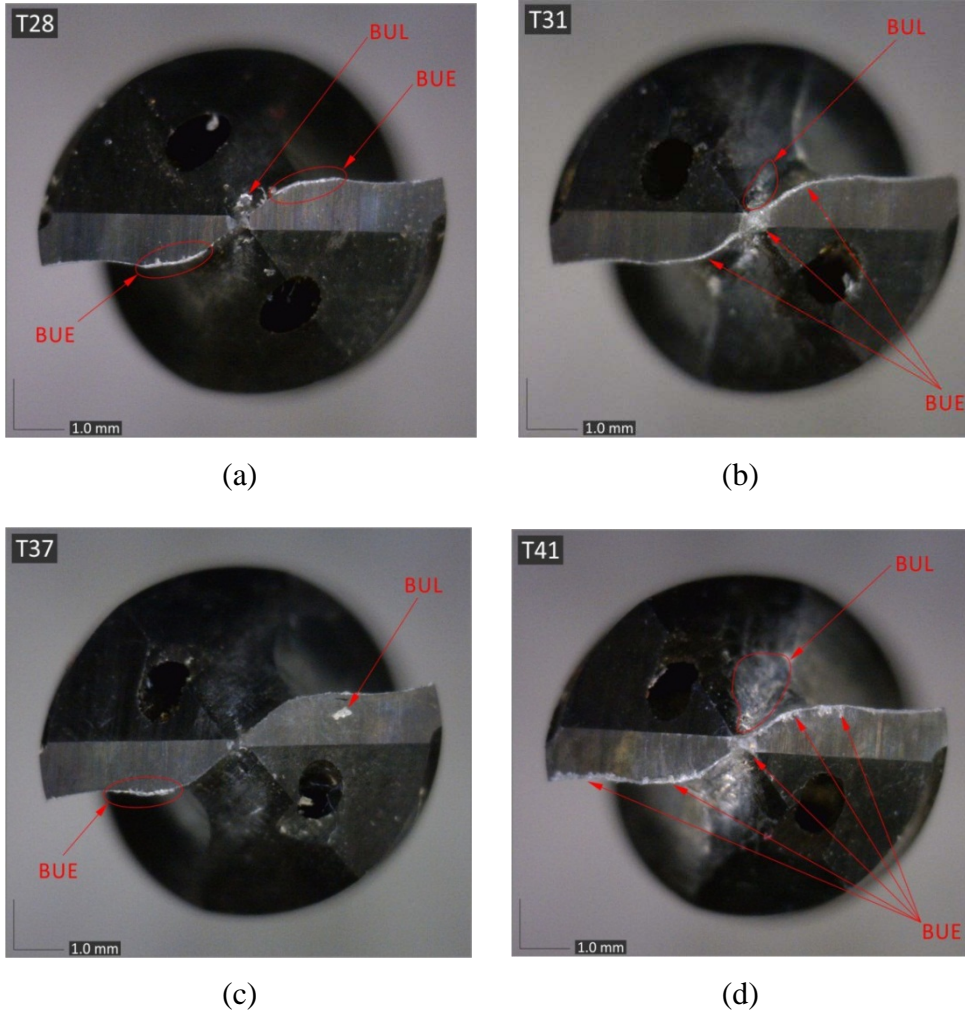
İlgili kesme şartı için aynı takım kullanılarak delinen 1., 15. ve 30. delikleri ifade etmektedir. Şekil 7.1'deki grafiklerde tüm kesme şartları için ilk delikten son deliğe R_a yüzey pürüzlüğü değerlerinde bir miktar artış olduğu görülmektedir. Geleneksel soğutma uygulamasında (c) ilk delikten son deliğe R_a 'daki artış % 10'un altındayken, içten MMY uygulamasında (a) yaklaşık % 15, dıştan MMY uygulamasında (b) % 65 ve basınçlı havayla soğutma uygulamasında (d) yaklaşık % 45 civarında olduğu grafiklerde görülmektedir.



Şekil 7.2. AA2024 alaşımının her şart için 30 delme tekrarında elde edilen ortalama yüzey pürüzlüğü (R_a) değerlerinin ilk delikten son deliğe değişimi

AA7075 alüminyum alaşımının delinmesinde uygulanan tüm kesme şartları AA2024 alüminyum alaşımının delinmesinde de tatbik edilmiş ve elde edilen R_a sonuçları Şekil

7.2’de gösterilmiştir. AA7075 alüminyum alaşımına benzer şekilde AA2024 alaşımının delinmesinde de tüm kesme şartları için ilk delikten son deliğe yüzey pürüzlüğü değerlerinde bir miktar artış olduğu Şekil 7.2’deki grafiklerde görülmektedir. Yüzey pürüzlüğünde ölçülen bu artış; geleneksel soğutma uygulamasında (c) % 15, içten MMY uygulamasında (a) yaklaşık % 20, dıştan MMY uygulamasında (b) % 70, basınçlı hava uygulamasında (d) yaklaşık % 40 civarında olduğu gözlenmiştir. Basınçlı havayla soğutma ve dıştan MMY uygulamalarında diğer uygulamalara oranla çok daha fazla olan bu artışın, 30 delik sonunda takımların kesici kenarlarındaki sıvanma ve/veya aşınmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir.



Resim 7.1. İçten MMY (a), dıştan MMY(b), geleneksel soğutma (c) ve basınçlı havayla soğutma (d) şartlarında 30 delik delme sonunda matkapların aşınma/sıvanma eğilimleri

Resim 7.1’de içten MMY uygulaması (a), dıştan MMY uygulaması (b), geleneksel soğutma (c) ve basınçlı havayla soğutma (d) şartlarında kullanılan matkapların 30 delik

delme sonunda optik mikroskopla çekilen makro fotoğrafları verilmiştir. Sıvanmayla birlikte kesici kenarlardaki yığıntı talaş (Built Up Edge-BUE) ve talaş akış yüzeylerindeki yığıntı katman (Built Up Layer-BUL) oluşumlarının basınçlı havayla soğutma (c) ve dıştan MMY uygulamasında daha fazla olduğu Resim 7.1’de görülmektedir. Bu iki soğutma şartlarının kesme bölgesinde oluşan ısıyı düşürme ve yağlama etkisiyle sürtünmeyi azaltma etkisinin içten MMY (a) ve geleneksel soğutma (c) şartlarına göre çok daha yetersiz olduğu için kesici kenar ve akış yüzeylerinde sıcaklığa ve basınca bağlı olarak oluşan sıvanmaları (BUE-BUL) önlemekte yetersiz kaldığı söylenebilir. Bu durumun yüzey pürüzlüğü sonuçlarında da gözlenen artışlara sebep olduğu düşünülmektedir.

Her iki malzemedede elde edilen R_a değerleriyle ilgili, ilk delikten son deliğe dıştan MMY uygulamasında ölçülen artış miktarının, basınçlı hava ile soğutma uygulamasında ölçülen artış miktarından daha fazla olduğu görülmüştür. Bu durum, basınçlı havayla soğutma takım içinden uygulanırken, dıştan MMY’de hava ve kesme sıvısı takımın dışındaki nozullardan harici olarak uygulanmasına atfedilmiştir. Dıştan MMY uygulamasında az miktarda dışardan püskürtülen kesme sıvısının delik içerisine nüfuz edememesi ve kesici takımın ucuna ulaşamamasına karşılık, basınçlı havayla soğutma uygulamasında havanın takım içinden 10 bar basınçla verilmesinin çıkan talaşın daha hızlı tahliye edilmesini sağladığı düşünülmektedir. İlk delikten son deliğe R_a değerinde ölçülen artış miktarı açısından AA7075 alaşımı ile AA2024 alaşımı karşılaştırıldığında, genelde AA2024 alaşımından elde edilen R_a değerindeki artış miktarının daha fazla olduğu görülmektedir. Bunun sebebi alüminyum alaşımının delinmesinde takımın aşınmadan çok sıvanmaya maruz kalacağına beklenmesi ve AA2024 alaşımının AA7075 alaşımına kıyasla daha % uzama değerinin daha fazla olması buna bağlı olarak daha sünek olmasından dolayı takıma daha çok sıvanmasına atfedilmiştir [101].

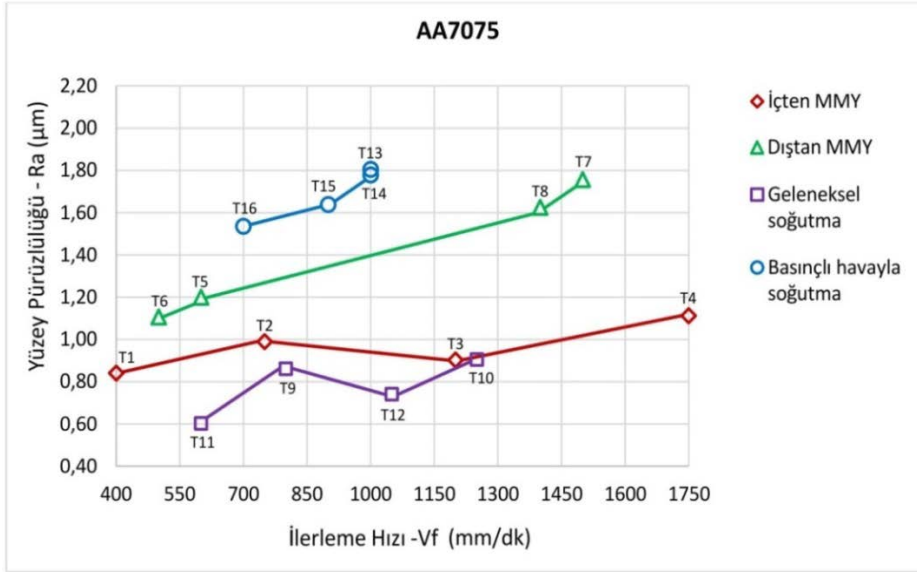
İlerleme hızı (V_f) ve soğutma şartlarına göre yüzey pürüzlüğü (R_a) değerlerindeki değişim

Talaşlı üretimde kesme hızı (V_c) ve ilerlemenin (f) uyumu önemlidir. Bu çalışmada Taguchi deney tasarımı ile deney sayısı belirlendiği için her şartta deney yapılmamıştır. Buna bağlı olarak grafiklerde kesme hızı ve ilerleme birbirinden bağımsız incelenememiştir. Çizelge 7.2’de L16 deney tasarımına göre hesaplanan ilerleme hızı (V_f) değerleri verilmiştir. İlerleme ve devir sayısı farklı olsa da ilerleme hızları aynı olan şartlar (T13-T14 ve T38-T39) elde edildiği Çizelge 7.2’de görülmektedir.

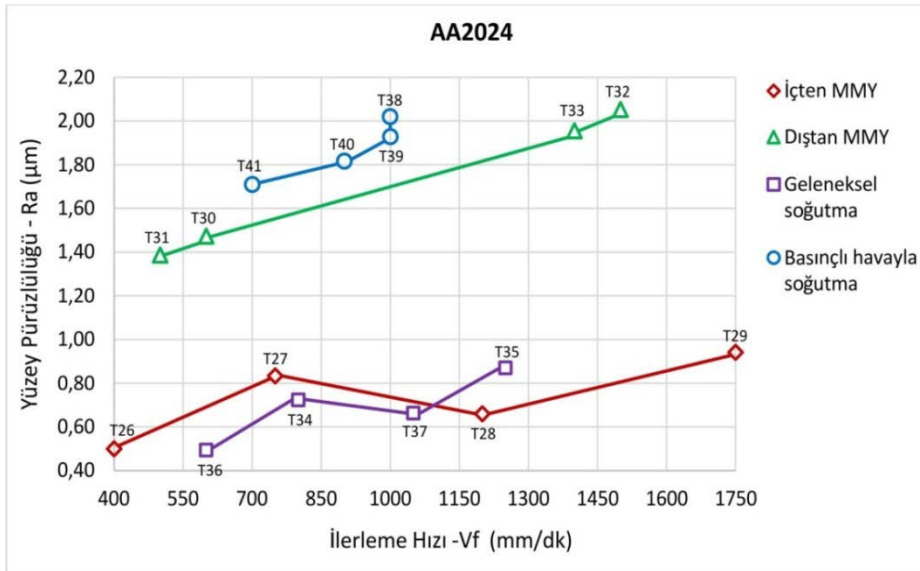
Çizelge 7.2. Deney tasarımına göre hesaplanan ilerleme hızı (V_f) değerleri

AA7075 Deney No	AA2024 Deney No	İlerleme f (mm/dev)	Devir sayısı n (dev/dk)	İlerleme Hızı V_f (mm/dk) { $V_f = f \times n$ }
T1	T26	f1	n1	400
T2	T27	f2	n2	750
T3	T28	f3	n3	1200
T4	T29	f4	n4	1750
T5	T30	f2	n1	600
T6	T31	f1	n2	500
T7	T32	f4	n3	1500
T8	T33	f3	n4	1400
T9	T34	f3	n1	800
T10	T35	f4	n2	1250
T11	T36	f1	n3	600
T12	T37	f2	n4	1050
T13	T38	f4	n1	1000
T14	T39	f3	n2	1000
T15	T40	f2	n3	900
T16	T41	f1	n4	700

Her kesme şartı için tekrarlanan 30 delme deneyinde ölçülen yüzey pürüzlüğü (R_a) değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak ortalama R_a verileri hesaplanmıştır. Şekil 7.3’de verilen grafiklerde tüm soğutma şartlarında AA7075 (a) ve AA2024 (b) alüminyum alaşımlarının delinmesinde ilerleme hızına göre ortalama yüzey pürüzlüğü değişimi verilmiştir. Deney tasarımına bağlı olarak her soğutma şartında farklı kesme hızı-ilerleme kombinasyonları mevcuttur (Çizelge 7.2). Her malzeme için elde edilen 16 farklı kesme şartı 16 farklı takım numarasıyla (T1-T16 ve T26-T41) ifade edilmiştir. Grafiklerde ortalama yüzey pürüzlüğünü (R_a) en çok soğutma yönteminin etkilediği açık bir şekilde görülmektedir (Şekil 7.3). İlerleme hızının R_a üzerindeki etkisine bakıldığında ise, aynı soğutma şartında ilerleme hızının aynı olduğu şartlarda (T13-T14 ve T38-T39) kesme hızı (V_c) ve ilerlemeler (f) farklı olsa da yüzey pürüzlüğü değerlerinin birbirine çok yakın olduğu görülmüştür. Örneğin AA7075 alaşımının delinmesinde, T13 kesme şartında V_c 100 m/dk ve f 0,25 mm/dev için V_f ’nin 1000 mm/dk olduğu durumda yüzey pürüzlüğü 1,805 μm olarak ölçülmüştür. T14 kesme şartında V_c 125 m/dk ve f 0,20 mm/dev için V_f ’nin yine 1000 mm/dk olduğu durumda ise yüzey pürüzlüğü 1,779 μm olarak ölçülmüştür. AA2024 alaşımının bu şartlar altında delinmesinde de ölçülen R_a değerleri birbirine çok yakındır. Bu durum Şekil 7.1 ve 7.2’de özellikle basınçlı havayla soğutma grafiklerinde (d) gözlenmiştir.



(a)



(b)

Şekil 7.3. AA7075 (a) ve AA2024 (b) alaşımlarının delinmesinde ilerleme hızına bağlı olarak yüzey pürüzlüğünün değişimi

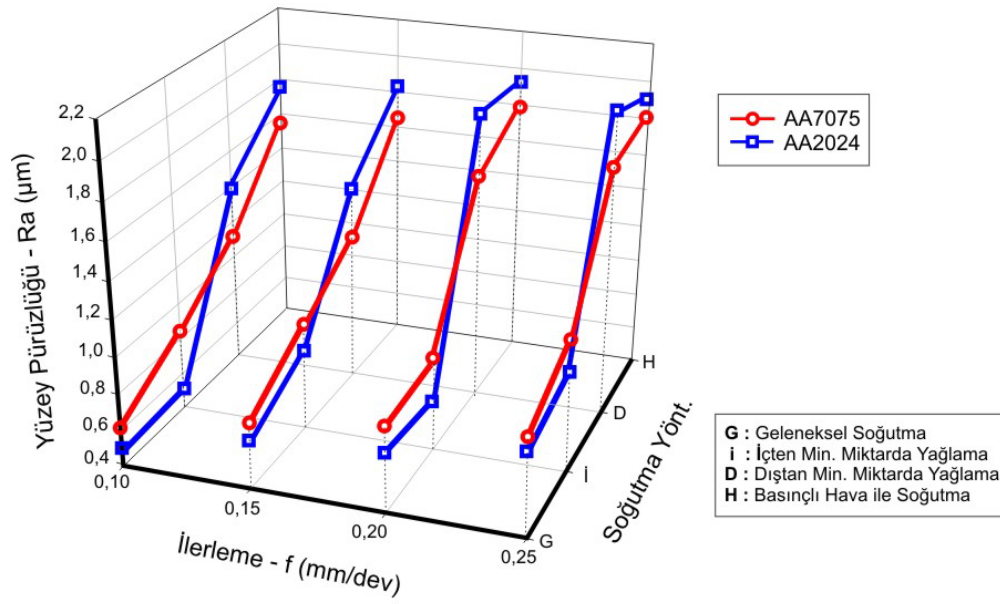
Bu grafiklerde veri serilerinin birbirine çok yakın çıkması, Şekil 7.3’de basınçlı havayla soğutma şartında uygulanan ilerleme hızlarının diğer soğutma şartlarına kıyasla birbirine yakın olması ile açıklanabilir. Aynı durumu dıştan MMY uygulamasında da görmek mümkündür. İlerleme hızları birbirine yakın olan T5-T6 yada T7-T8 şartlarında yüzey pürüzlüğü sonuçlarının birbirine yakın olduğu görülmektedir. Artan ilerleme hızının ise hemen hemen tüm şartlarda yüzey kalitesini olumsuz yönde etkilediği görülmektedir. İstisnai olarak geleneksel soğutma uygulamasında 1050 mm/dk ve içten MMY

uygulamasında 1200 mm/dk ilerleme hızında yüzey pürüzlüğü her iki malzeme için de azalmıştır. Yüzey pürüzlüğünün artan ilerleme hızıyla birlikte artıp bu şartlarda azalma eğilimi göstermesi, deney tasarımıyla ilgili kesme hızı-ilerleme kombinasyonu ile açıklanabilir. Geleneksel soğutmada ilerleme hızı 800 mm/dk olan T9 şartından, ilerleme hızı 1050 mm/dk olan T12 şartına geçişte kesme hızları ve ilerlemelerdeki değişim incelendiğinde; kesme hızı 100 m/dk'dan 175 m/dk'ya çıkarken, ilerleme 0,20 mm/dev'den 0,15 mm/dev'e düştüğü görülmektedir. Kesme hızınının % 75 artmasının yanında ilerlemenin de % 25 düşmesi (ilerleme hızının artmasına rağmen) yüzey kalitesini olumlu etkilediği gözlenmiştir.

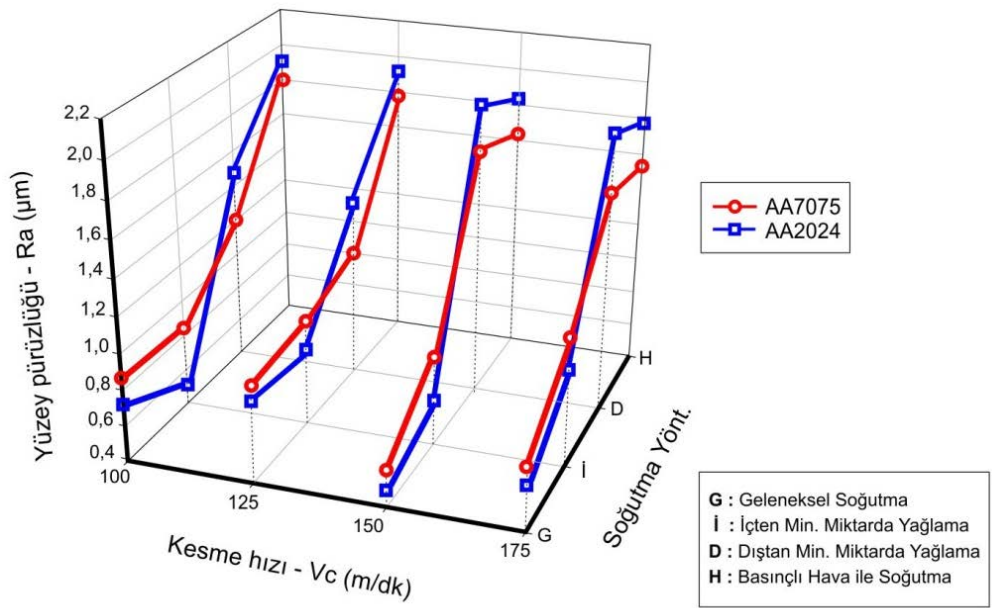
Kesme hızı (V_c), ilerleme (f) ve soğutma şartlarına göre yüzey pürüzlüğündeki değişim

Her kesme şartı için tekrarlanan 30 delme deneyinde ölçülen yüzey pürüzlüğü (R_a) değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak hesaplanan ortalama R_a verilerinin kesme parametreleri (V_c ve f) ve soğutma şartlarına göre değişimi Şekil 7.4'deki grafiklerde gösterilmiştir. AA7075 ve AA2024 alaşımlarına delik delme işleminde Şekil 7.4 (a)'da ilerleme ve soğutma yönteminin, (b)'de ise kesme hızı ve soğutma yönteminin R_a üzerindeki etkisi üç boyutlu grafiklerle verilmiştir.

Şekil 7.4'de R_a üzerindeki en etkili faktörün soğutma yöntemi olduğu açık bir şekilde görülmektedir. Aynı kesme şartlarında en yüksek yüzey pürüzlüğü basınçlı hava ile soğutma yönteminde (H), en düşük yüzey pürüzlüğü geleneksel soğutma yönteminde (G) görülmektedir. Geleneksel soğutma yöntemini sırasıyla içten MMY (İ) ve dıştan MMY (D) yöntemleri takip etmektedir. AA7075 alaşımı için basınçlı havayla soğutma uygulamasında ölçülen R_a değerlerine göre dıştan MMY, içten MMY ve geleneksel soğutma uygulamasında ölçülen R_a değerlerinde sırasıyla % 15, % 40 ve % 55 oranında düşüş gözlenmiştir. AA2024 alaşımı için ise basınçlı havayla soğutma uygulamasında ölçülen R_a değerlerine göre dıştan MMY, içten MMY ve geleneksel soğutma uygulamasında ölçülen R_a değerlerinde sırasıyla % 5, % 60 ve % 60 oranında düşüş gözlenmiştir. Sonuçlara bakıldığında malzeme faktörünün, soğutma yöntemlerinin yüzey pürüzlüğü üzerindeki etkisini değiştirdiği görülmektedir.



(a)



(b)

Şekil 7.4. R_a değerinin ilerleme (a) ve kesme hızı (b) olmak üzere kesme parametreleri ile soğutma şartlarına göre değişimi

Şekil 7.4'deki grafiklerde geleneksel soğutma ve içten MMY yönteminde tüm şartlarda AA2024 alışımda daha düşük yüzey pürüzlüğü görülürken, dıştan MMY ile basınçlı havayla soğutma yönteminde tüm şartlarda AA7075 alışımda daha düşük yüzey pürüzlüğü görülmüştür. Talaşlı imalatta yüzey kalitesini olumsuz yönde etkileyen en önemli unsurlardan biri yığıntı talaş (YT) oluşumudur. Kesici kenardaki yığıntı talaşın büyük ve kararsız olması ise işlenen yüzeyin kalitesini bozmakta ve yüzey pürüzlülük değerlerini artırmaktadır [4]. Sünek olan alüminyum alaşımlarındaki sıvanma kesici

takımın kesme kenarlarında yığıntı talaş oluşumunu tetiklemektedir. İyi bir soğutma yöntemi ile takım-talaş arayüzeyinde oluşan film tabakası, takımın kesici kenarında oluşan sıvanmayı engelleyerek takım geometrisinin korunmasını sağladığı ve bozulmayan takım geometrisinin de yüzey kalitesini olumlu etkilediği bilinmektedir [2, 55]. Yapılan araştırmalarda takım-işparçası arayüzeyindeki yağlama konusunda içten MMY uygulamasının geleneksel soğutma uygulaması kadar etkin olduğu gözlenmiştir [57, 59]. Bu bilgiler ışığında Şekil 7.4 (a) ve (b) grafikleri incelendiğinde, AA7075 alaşımına göre daha sünek olan AA2024 alaşımının takıma sıvanması durumu yağlamanın iyi olduğu geleneksel soğutma ve içten MMY uygulamasında daha az olurken, yağlamanın kötü olduğu basınçlı havayla soğutma ve dıştan MMY uygulamasında çok daha fazla olduğu düşünülmektedir. Dolayısıyla soğutma yöntemlerinin, iş parçası malzemesinin yüzey pürüzlüğüne (R_a) etkisini değiştirdiği söylenebilir. Ölçülen R_a sonuçlarına bakıldığında yüzey kalitesi açısından AA2024 gibi sünek malzemelerde içten MMY yönteminin geleneksel soğutma yöntemine alternatif olabileceği düşünülmektedir.

Kesme parametrelerindeki değişim ise, özellikle dıştan MMY uygulamasının yüzey kalitesine etkisini değiştirdiği görülmüştür. Dıştan MMY uygulamasında ölçülen R_a değerleri ile Basınçlı havayla soğutma uygulamasında ölçülen R_a değerleri arasındaki fark düşük kesme parametrelerinde fazla iken, bu farkın yüksek kesme parametrelerinde oldukça azaldığı görülmektedir. Bu sonuçlardan yola çıkarak, dıştan MMY uygulamasının düşük kesme parametrelerinde yağlama ile sürtünmeyi engelleme özelliği nispeten etkin iken, yüksek kesme parametrelerinde takımı etkileyen yüklerin artması ve artan talaş hacmi kesme şartlarını zorlaştırdığı için yağlama özelliğinin yetersiz kaldığı söylenebilir.

Şekil 7.4.(a) grafiğine bakıldığında ilerlemedeki artışın yüzey pürüzlüğünde de artışa sebep olduğu görülmektedir. İstisnai olarak her iki malzeme için içten MMY'de 0,20 mm/dev ilerlemede R_a değerinde düşüş görülmüştür. Bu, deney tasarımıyla ilgili olarak 0,15 mm/dev ilerlemede 125 m/dk kesme hızı kullanılırken, 0,20 mm/dev ilerlemede 150 m/dk kesme hızı kullanılmasına atfedilmiştir. Kesme hızındaki artışın genelde yüzey pürüzlüğünü düşürmesi beklenirken Şekil 7.4 (b) grafiğinde kesme hızının R_a üzerinde daha kararsız bir etkisinin olduğu görülmektedir. Artan kesme hızının kesme bölgesinde sıcaklığı artırarak kesmeyi kolaylaştırdığı bilinmektedir. Artan sıcaklıkla takım-iş parçası arayüzeyinde temas alanının azalmasına bağlı olarak sürtünmenin azalmasının yüzey kalitesini artırdığı düşünülmektedir [103]. Fakat aşırı sıcaklık artışına sebep olacak kesme

parametrelerinin kesici takımın deformasyonunu hızlandırarak ömrünü azaltacağı da göz ardı edilmemelidir. Ayrıca diğer işleme türlerinden farklı olarak delik delme işleminde talaş tahliyesi büyük bir problemdir. Kesme hızının artmasıyla birlikte birim zamanda oluşan talaş hacminin artması talaş tahliyesini zorlaştırmaktadır. Talaş sıkışması takıma gelen yükleri artırarak titreşimin artmasına sebep olduğu, takımın kesici kenarlarını ve delik yüzeylerini olumsuz etkilediği düşünülmektedir (Bkz. Resim 7.1).

Tüm şartlara bakıldığında elde edilen en düşük yüzey pürüzlüğü değeri 0,494 μm 'dir. Bu değer, geleneksel soğutma şartlarında, en düşük ilerleme olan 0,10 mm/dev ve ikinci büyük kesme hızı olan 150 m/dk'da, AA2024 alaşımında ölçülmüştür. Elde edilen en yüksek yüzey pürüzlüğü değeri ise 2,032 μm 'dir. Bu değer, basınçlı havayla soğutma şartlarında, en yüksek ilerleme olan 0,25 mm/dev ve en düşük kesme hızı olan 100 m/dk'da, AA2024 alaşımında ölçülmüştür. Sonuçlara bakıldığında soğutma yöntemi, ilerleme ve daha kararsız bir etkiye sahip olsa da kesme hızının yüzey pürüzlüğünü etkileyen unsurlar olduğu görülmektedir.

Ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) için varyans analizi

İşlem parametrelerinin (ilerleme, kesme hızı, soğutma yöntemi ve malzeme türü) kalite karakteristiği olarak belirlenen yüzey pürüzlüğüne (R_a) olan etkisini görebilmek için, ilgili verilere ait ANOVA sonuçları Çizelge 7.3'de toplu olarak verilmiştir.

Çizelge 7.3. AA7075 ve AA2024 için yüzey pürüzlüğü ile ilgili ANOVA sonuçları

Kaynak	SD	KT'	KT	KO	F	P	YD (%)
Malzeme türü (m)	1	0,00839	0,00839	0,00839	0,31	0,584	0,4
Soğt. yöntemi (S)	3	6,36370	6,36370	2,12123	78,12	0,000	88,0
Kesme hızı (V_c)	3	0,06532	0,06532	0,02177	0,80	0,508	0,9
İlerleme (f)	3	0,69579	0,69579	0,23193	8,54	0,001	9,6
Hata	21	0,57020	0,57020	0,02715	-	-	1,1
Toplam	31	7,70341	-	-	-	-	100,0

SD : Serbeslik derecesi, KT' : Saf kareler toplamı, KT : Kareler toplamı,
 KO : Kareler ortalaması, YD : Yüzde dağılım F: Test istatistiği,
 P : Anlamlılık değeri

Yapılan varyans analizi sonunda elde edilen soğutma yöntemi ve ilerleme olmak üzere işlem parametrelerine ait P değerleri α (0,05) değerinden küçük çıkmıştır. $P < \alpha$ olduğu için bu işlem parametreleri kalite karakteristiği olan yüzey pürüzlüğü üzerinde anlamlı bir

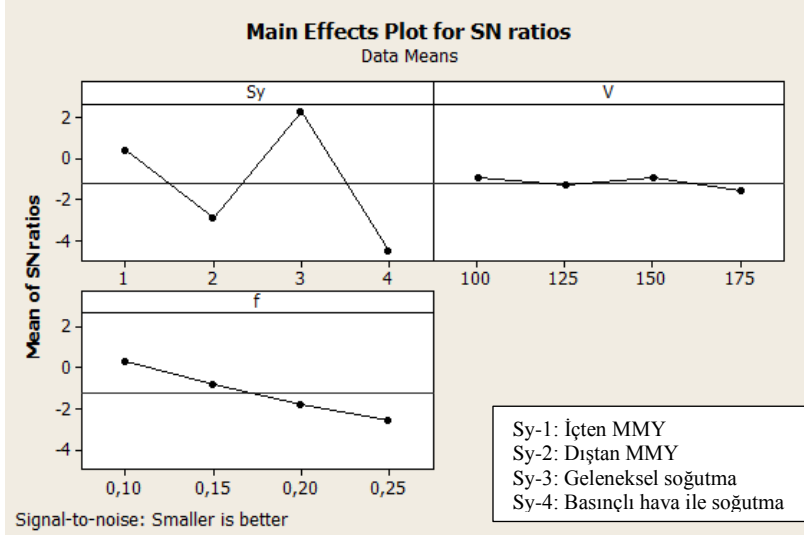
etkiye sahiptir. YD sütunundan işlem parametrelerinin etki derecelerine bakılacak olursa, yüzey pürüzlüğünü % 88 ile en çok soğutma yönteminin etkilediği görülmektedir. Soğutma yöntemi faktörünü, % 9,6 ile ilerleme faktörü takip etmektedir.

İşlem parametreleri arasından malzeme türü ve kesme hızı faktörlerine ait P değerlerinin ise sırasıyla 0,584 ve 0,507 ile kabul edilebilir hata oranı olan 0,05'den büyük olduğu görülmektedir. Bu durumda kesme hızı ve malzeme türünün yüzey pürüzlüğü üzerinde diğer işlem parametrelerine oranla daha kararsız bir etkiye sahip olduğu sonucu çıkarılabilir. Şekil 7.4. (b) grafiğinde kesme hızının R_a üzerindeki etkisi açıklanırken vurgulandığı gibi, kesme hızının artması kesmeyi kolaylaştırmakta buna bağlı olarak yüzey kalitesini iyileştirmektedir. Fakat kesme hızının artmasıyla birim zamanda oluşan talaş ve birim alanda sıkışan talaş artmaktadır. Sıkışan talaş işlenen yüzeyi deforme etmesinin yanında takıma etkileyen yükleri ve buna bağlı olarak titreşimi de artırmaktadır. Dolayısıyla kesme hızının artması bir yandan kesmeyi kolaylaştırarak yüzey kalitesini iyileştirirken, diğer yandan daha fazla talaş sıkışmasıyla yüzeyi deforme etmektedir. Bu ikili etki, ANOVA sonuçlarında da gözlenen kararsız etkiye sebep olduğu değerlendirilmektedir. Soğutma yöntemi, malzeme faktörünün R_a üzerindeki etkisini değiştirmiş, buna bağlı olarak maksimum ve minimum R_a değerleri aynı alüminyum alaşımında (AA2024) ölçülmüştür. Genel olarak AA7075'in daha yüksek mukavemeti ve sertliğinin, kuru şartlarda BUE eğilimini azaltarak yüzey kalitesini olumlu etkilediği bilinmektedir. Bu çalışmada kesme sıvısı uygulanmasıyla AA2024'ün daha yüksek sünekliğinin yarattığı yüksek sıvanma eğilimi azalmıştır. BUE oluşturma eğilimindeki bu düşüş malzemenin düşük mukavemeti ile birleşerek yüzey kalitesi üzerinde olumlu sonuçlar sergilemiştir [101-102]. Malzeme faktörüyle ilgili bu durumun R_a üzerinde kararsız etkiye sebep olduğu ANOVA sonuçlarında da gözlenmektedir.

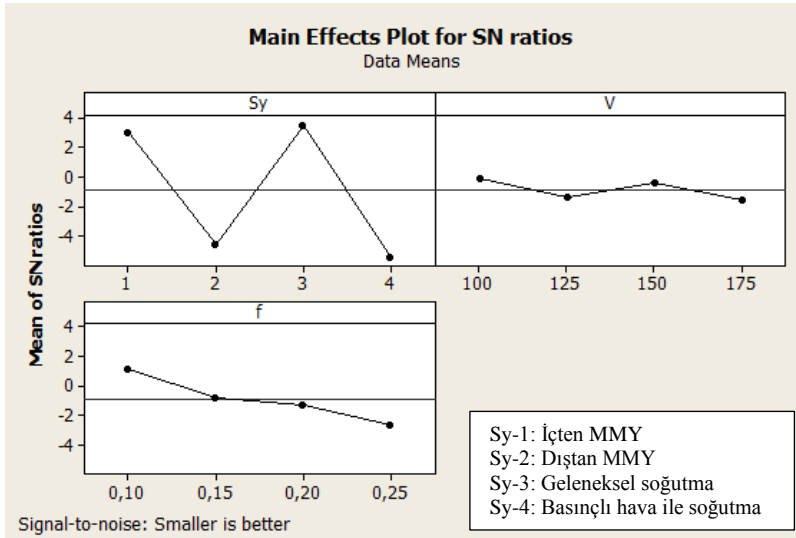
Ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) için Sinyal/Gürültü (S/N) analizi

En küçük en iyidir yaklaşımıyla yapılan Taguchi Sinyal-Gürültü (S/N) analizinde hem AA7075 için, hem de AA2024 için optimum yüzey pürüzlülüğü değerleri; soğutma yönteminin üçüncü seviyesinde (A3), kesme hızının üçüncü seviyesinde (B3) ve ilerlemenin birinci seviyesinde (C1) elde edilmiştir. Buna göre her iki malzeme için de yüzey pürüzlülüğü ilerleme değerinin artışıyla belirgin bir şekilde artarken, kesme hızı artışıyla kısmen azalmış ve geleneksel soğutma şartlarında ise belirgin olarak azalmıştır.

Bu durum en yüksek S/N oranlarının optimum şartları ifade ettiği Şekil 7.5'deki grafiklerde açık bir şekilde görülmektedir.



(a)



(b)

Şekil 7.5. AA7075 (a) ve AA2024 (b) alüminyum alaşımları için Ra sonuçlarına göre kontrol faktörlerinin S/N oranları

Şekildeki Sinyal/Gürültü (S/N) grafiklerine bakılarak elde edilen optimum parametreler her iki malzeme için Çizelge 7.4'de verilmiştir.

Çizelge 7.4. Yüzey pürüzlülüğü (R_a) için kontrol faktörlerinin optimum seviyeleri

Kontrol faktörleri	Simge	Birim	Optimum seviye	Optimum değer
Soğutma yönt. (A)	S_y		3	G
Kesme hızı (B)	V_c	m/dk	3	150
İlerleme (C)	F	mm/dev	1	0,1

7.1.2. Kullanılan takım tezgahına göre R_a 'nın değerlendirilmesi

Tüm soğutma şartlarının tek tezgahta uygulanmasıyla ilgili teknik kısıtlardan dolayı ana deneyler için EcoSpeed (ES) ve DS Droop+Rain (PMM) olmak üzere iki farklı tezgah kullanılmıştır. Bu sebeple tezgah türünün R_a üzerindeki etkisi, yapılan ek deneylerde incelenmesi gereği hasıl olmuştur. Tezgah faktörünün ortalama yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini daha açık görebilmek için bu iki tezgahın yanında üçüncü bir tezgah (Mori Seiki - MS) daha kullanılıp bu üç tezgahta kuru kesme şartlarında (K) ek deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneyler için Taguchi L9 metodu kullanılarak takım tezgahı (A: T_g), kesme hızı (B: V_c) ve ilerleme (C:f) olmak üzere üçer seviyeli üç kontrol faktörü ile ek bir deney tasarımı oluşturulmuştur. Oluşturulan deney tasarımı iki farklı alüminyum alaşımı için (AA7075 ve AA2024) ayrı ayrı tatbik edilmiştir. Çizelge 7.5'de deneyler sonunda elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri (R_a) ve “en küçük en iyidir” yaklaşımına göre hesaplanan Sinyal/Gürültü (S/N) oranları gösterilmiştir.

Çizelge 7.5. AA7075 ve AA2024 alaşımlarının delinmesinde elde edilen R_a ve S/N oranları

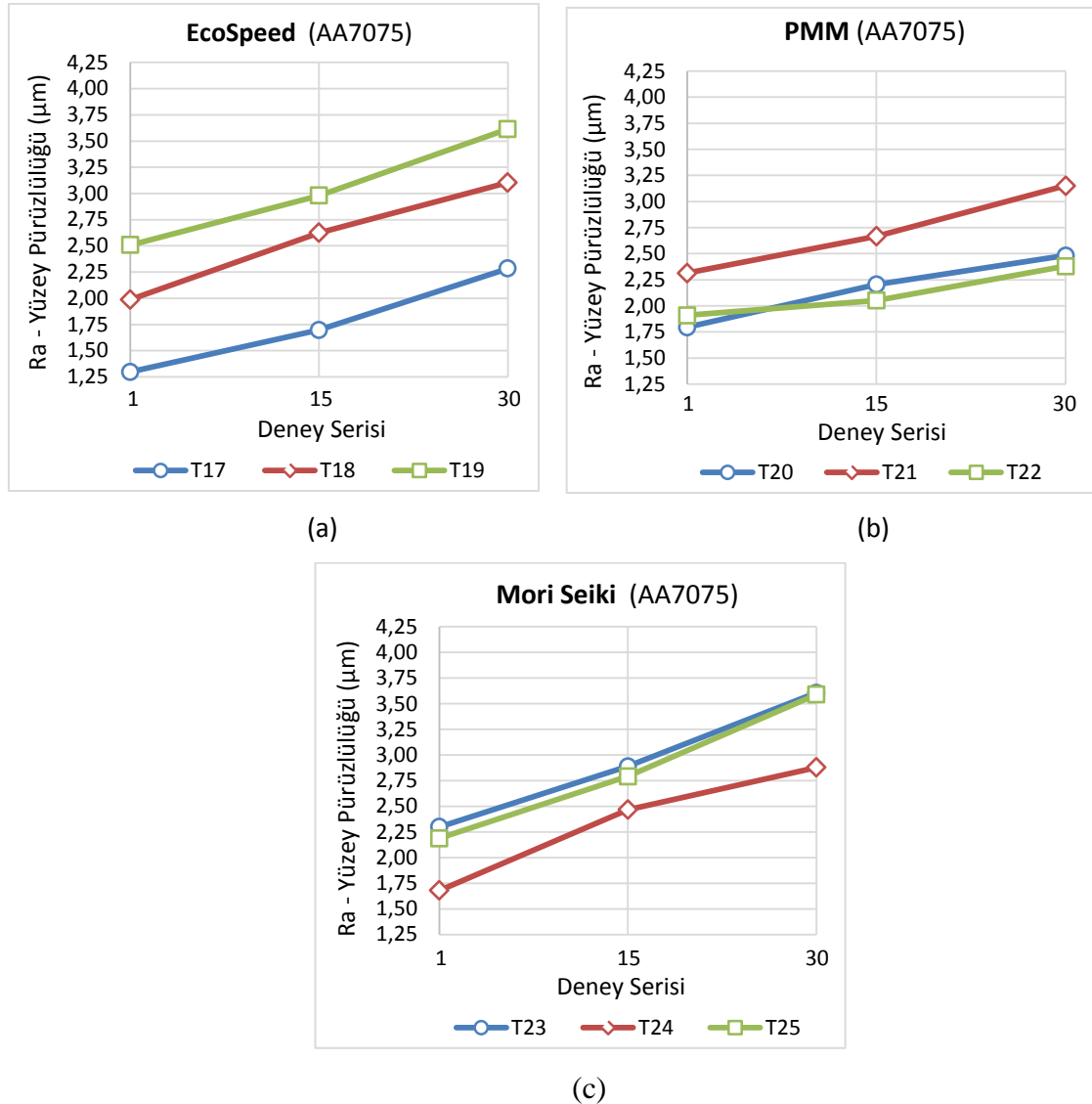
AA7075 Deney No	Değişkenler	R_a - Yüzey Pürüzlülüğü (μm)	S/N Oranı (dB)	AA2024 Deney No	Değişkenler	R_a - Yüzey Pürüzlülüğü (μm)	S/N Oranı (dB)
T17	A1B1C1	1,759	-4,907	T42	A1B1C1	2,394	-7,581
T18	A1B2C2	2,572	-8,204	T43	A1B2C2	2,743	-8,765
T19	A1B3C3	3,034	-9,640	T44	A1B3C3	3,304	-10,382
T20	A2B1C2	2,161	-6,691	T45	A2B1C2	2,419	-7,674
T21	A2B2C3	2,711	-8,661	T46	A2B2C3	3,059	-9,710
T22	A2B3C1	2,113	-6,498	T47	A2B3C1	2,389	-7,565
T23	A3B1C3	2,932	-9,342	T48	A3B1C3	3,194	-10,087
T24	A3B2C1	2,342	-7,391	T49	A3B2C1	2,628	-8,393
T25	A3B3C2	2,856	-9,115	T50	A3B3C2	3,104	-9,837

Aynı şartlarda delme tekrarına göre yüzey pürüzlülüğündeki (R_a) değişim

Ana deneylerde olduğu gibi ek deneylerde de her kesme şartında 30 delme tekrarı yapılmıştır. 1., 15. ve 30. deliklerden ölçüm alınarak, her şart için ilk orta ve son

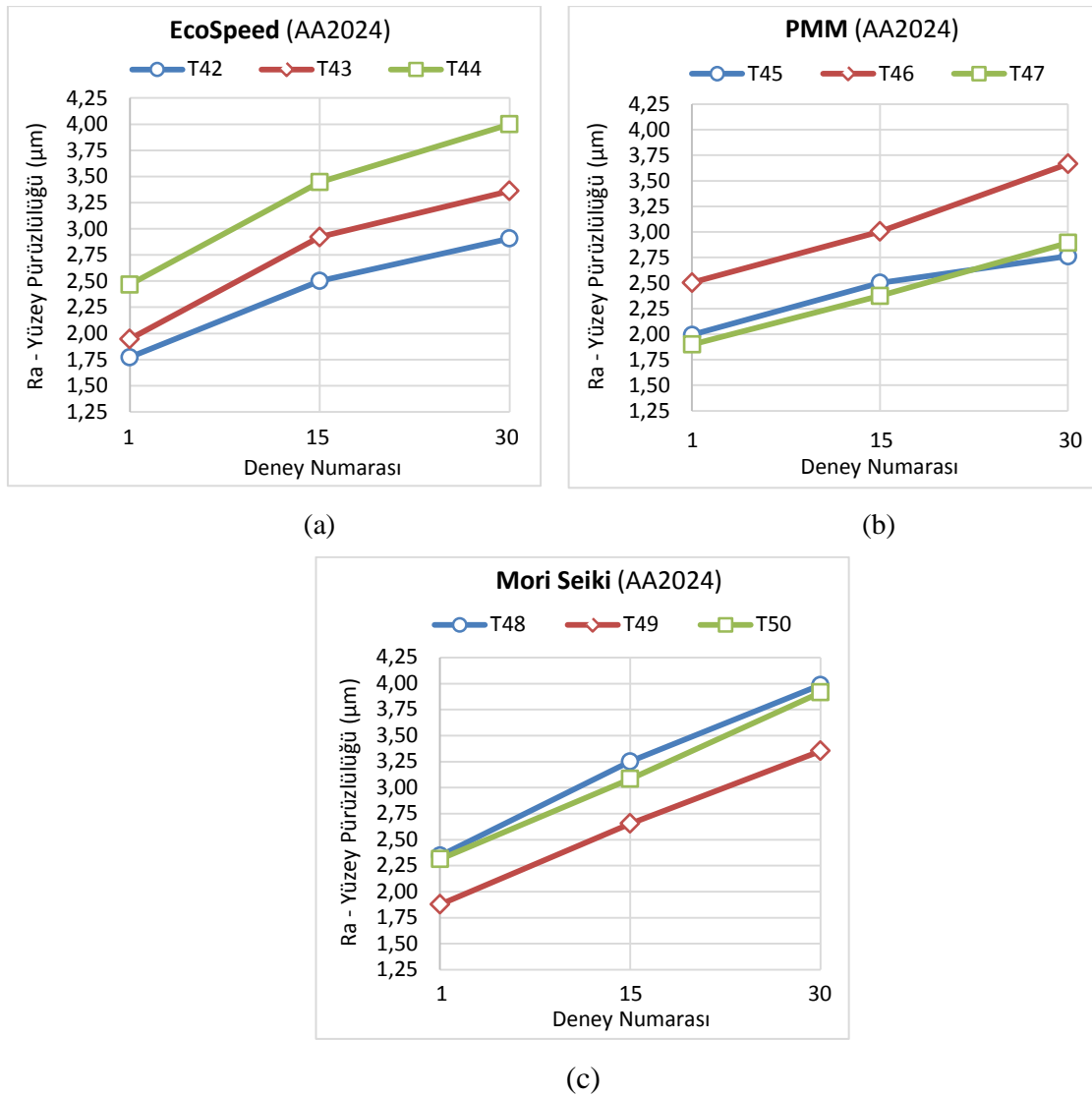
seviyedeki yüzey pürüzlüğü ölçülmüştür. Ortalama R_a verileri bu üç deliğe ait R_a verilerinin aritmetik ortalaması alınarak hesaplanmıştır (Çizelge 7.5). Şekil 7.7 ve 7.8'deki grafiklerde 18 farklı kesme şartında delik delme tekrarı yapılarak elde edilen R_a verilerinin, ilk delikten son deliğe doğru değişimleri gösterilmiştir.

Şekil 7.6'daki grafiklerde AA7075 alüminyum alaşımının delinmesinde, EcoSpeed (a), PMM (b) ve Mori Seiki (c) tezgahları kullanılarak, her tezgahta farklı kesme parametreleri kombinasyonu ile üç farklı kesme için elde edilen R_a değerleri gösterilmiştir. Grafiklere bakıldığında tüm kesme şartları için ilk delikten son deliğe R_a yüzey pürüzlüğü değerlerinde artış olduğu görülmektedir. Bu artış EcoSpeed tezgahında (a) % 60, PMM'de (b) % 35 ve Mori Seiki tezgahında (c) % 65 civarında olduğu görülmektedir.



Şekil 7.6. AA7075 alaşımına farklı tezgahlarda yapılan delme tekrarına göre R_a değişimi

AA7075 alüminyum alaşımının delinmesinde uygulanan tüm kesme şartları AA2024 alüminyum alaşımının delinmesinde de uygulanmıştır. Elde edilen R_a sonuçları Şekil 7.7'deki grafiklerde gösterilmiştir. Tüm kesme şartları için ilk delikten son deliğe R_a yüzey pürüzlüğü değerlerinde bir artış olduğu grafiklerde görülmektedir. Bu artış EcoSpeed (a), PMM (b), ve Mori Seiki (c) tezgahlarında sırasıyla % 65, % 50 ve % 70 civarında olduğu gözlenmektedir. Sonuçlara bakıldığında AA7075 alaşımının delinmesinde gözlenen durum burada da gözlenmiştir. Yani, PMM tezgahında yapılan deneylerde diğer iki tezgaha kıyasla R_a değerlerinde daha az artış olduğu görülmektedir. Her iki malzemede de, delik delme tekrarında ilk delikten son deliğe R_a değerlerinde en fazla artışın Mori Seiki tezgahında olduğu görülmektedir.



Şekil 7.7. AA2024 alaşımına farklı tezgahlarda yapılan delme tekrarına göre R_a değişimi

İki malzeme karşılaştırıldığında, her üç tezgahta da AA2024 alaşımında R_a değerlerinde gözlenen artışın, AA7075 alaşımındaki artıştan daha fazla olduğu görülmektedir. Daha önce 7.1.1 başlığında açıklandığı gibi, yüzey kalitesiyle ilgili yetersiz soğutma şartlarından en çok AA2024 alüminyum alaşımının etkilendiği dikkate alınır, kuru kesme şartında R_a değerlerindeki artışın AA2024 alaşımında daha fazla olması beklenen bir durumdur.

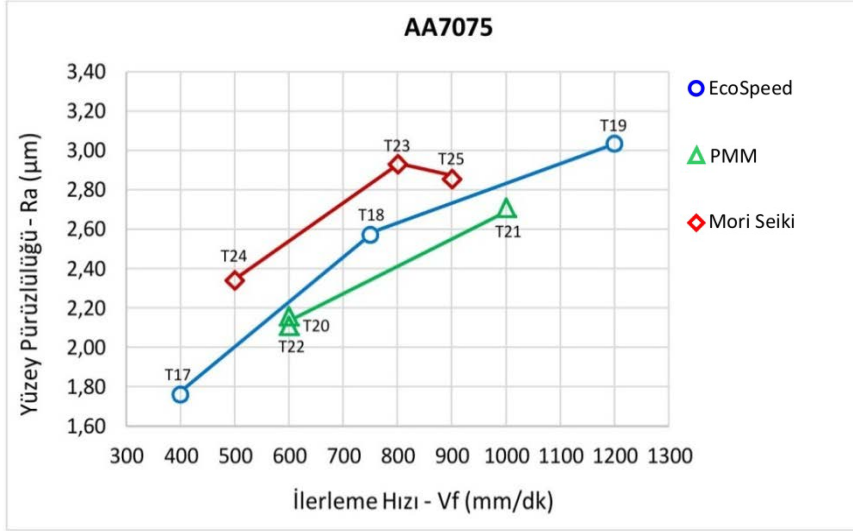
İlerleme hızı (V_f) ve takım tezgahlarına göre ortalama R_a değerinin değişimi

Ana deneylerde olduğu gibi, yapılan ek deneylerde de Taguchi deney tasarımı ile deney sayısı belirlendiği için her şartta deney yapılmamıştır. Bu sebeple kesme hızı ve ilerleme birbirinden bağımsız incelenememiştir. L9 deney tasarımına göre hesaplanan ilerleme hızı değerleri Çizelge 7.6'da verilmiştir. Deney tasarımına bağlı olarak her soğutma şartında farklı kesme hızı-ilerleme kombinasyonları mevcuttur. Çizelge 7.6 incelendiğinde L16 ana deney tasarımında olduğu gibi, L9 ek deney tasarımında da ilerleme ve devir sayısı farklı, fakat ilerleme hızları aynı olan şartlar (T20-T22 ve T45-T47) elde edildiği görülmektedir.

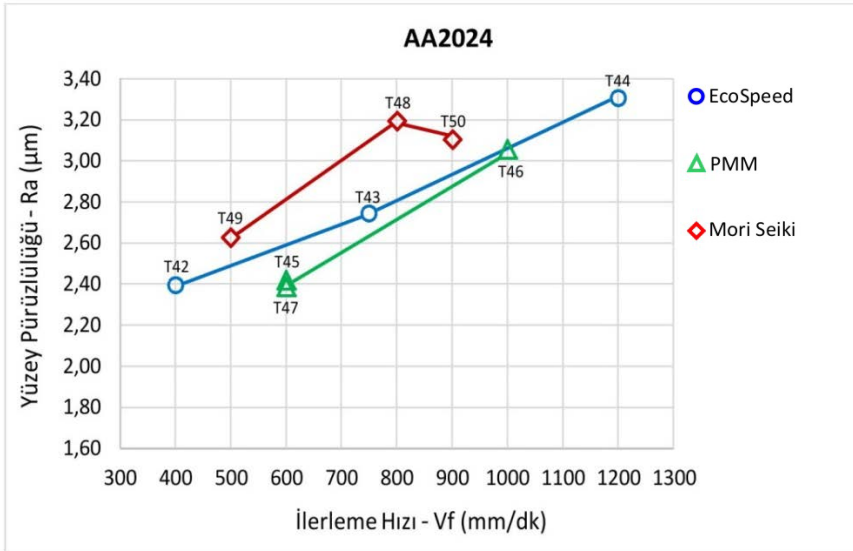
Çizelge 7.6. Ek deney tasarımına göre hesaplanan ilerleme hızı (V_f) değerleri

AA7075 Deney No	AA2024 Deney No	İlerleme f (mm/dev)	Devir sayısı n (dev/dk)	İlerleme Hızı V_f (mm/dk) { $V_f = f \times n$ }
T17	T42	f1	n1	400
T18	T43	f2	n2	750
T19	T44	f3	n3	1200
T20	T45	f2	n1	600
T21	T46	f3	n2	1000
T22	T47	f1	n3	600
T23	T48	f3	n1	800
T24	T49	f1	n2	500
T25	T50	f2	n3	900

Yapılan ek deneylerde tüm kesme şartları için gerçekleştirilen 30 delme tekrarıyla ölçülen ortalama yüzey pürüzlüğü (R_a) değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak ortalama R_a verileri hesaplanmıştır (Çizelge 7.5). Şekil 7.8'deki grafiklerde her üç tezgahta (ES, PMM ve MS), AA7075 (a) ve AA2024 (b) alüminyum alaşımlarının delinmesinde ilerleme hızına (V_f) göre ortalama yüzey pürüzlüğü değişimi verilmiştir. Her malzeme için elde edilen 9 farklı kesme şartı 9 farklı takım numarasıyla (T17-T25 ve T42-T50) gösterilmiştir. Mori Seiki tezgahında ölçülen ortalama yüzey pürüzlüğünü (R_a) değerleri diğer iki tezgaha kıyasla daha fazla olduğu Şekil 7.8'deki grafiklerde görülmektedir.



(a)



(b)

Şekil 7.8. AA7075 (a) ve AA2024 (b) alaşımlarının delinmesinde ilerleme hızına göre yüzey pürüzlüğü değişimi

PMM ve EcoSpeed tezgahlarında ölçülen değerler birbirine yakın olmakla birlikte, EcoSpeed tezgahında ölçülen R_a değerlerinin biraz daha fazla olduğu söylenebilir. İlerleme hızının (V_f) ortalama yüzey pürüzlüğü üzerindeki etkisine bakıldığında ise, artan ilerleme hızının hemen hemen tüm şartlarda yüzey kalitesini olumsuz yönde etkilediği görülmektedir. İstisnai olarak Mori Seiki tezgahında 900 mm/dk ilerleme hızında yüzey pürüzlüğü azalmıştır. Deney tasarımıyla ilgili kesme hızı-ilerleme kombinasyonu, yüzey pürüzlüğünün artan ilerleme hızıyla birlikte artarken bu şartta azalma eğilimi göstermesinin sebebi olarak gösterilebilir. Mori Seiki tezgahında ilerleme hızı 800 mm/dk olan T23 şartından ilerleme hızı 900 mm/dk olan T25 şartına geçişte kesme hızları ve

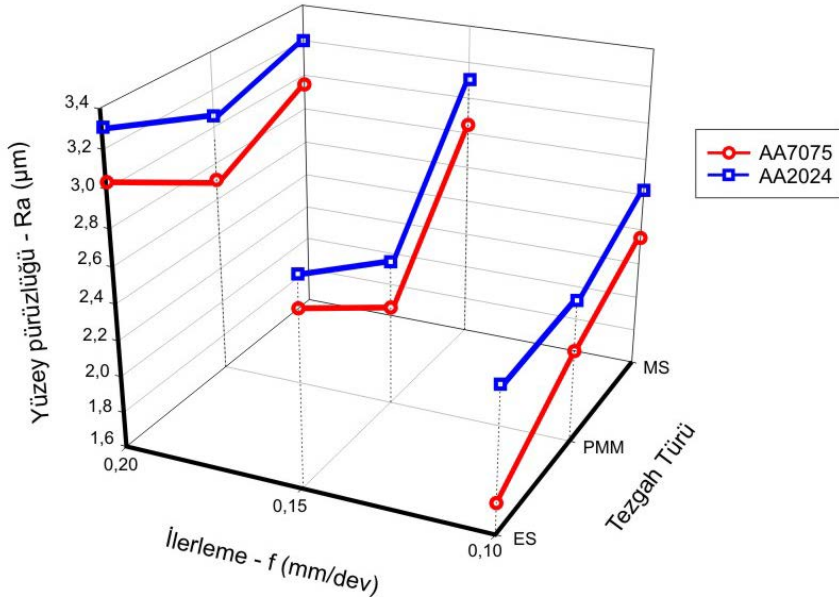
ilerlemelerdeki değişim incelendiğinde, kesme hızı 100 m/dk'dan 150 m/dk'ya çıkarken, ilerleme 0,20 mm/dev'den 0,15 mm/dev'e düştüğü görülmektedir. Kesme hızınının % 50 artmasıyla birlikte ilerlemenin de % 25 düşmesi (ilerleme hızı artmasına rağmen) yüzey kalitesini olumlu etkilediği gözlenmiştir.

Aynı takım tezgahında ilerleme hızının (V_f) aynı olduğu şartlarda (T20-T22 ve T45-T47), kesme hızı (V_c) ve ilerleme (f) farklı olsa da, ana deneylerde gözlendiği gibi, ek deneylerde de yüzey pürüzlüğü değerlerinin birbirine çok yakın olduğu görülmüştür. Örneğin AA7075 alaşımının delinmesinde, T20 kesme şartında 600 mm/dk ilerleme hızında yüzey pürüzlüğü 2,161 μm olarak ölçülürken, T22 kesme şartında ilerleme hızının yine 600 mm/dk olduğu durumda yüzey pürüzlüğü 2,113 μm olarak ölçülmüştür. AA7075 alaşımının delinmesinde 0,05 μm gibi oldukça küçük bir fark elde edilirken, AA2024 alaşımının delinmesinde de benzer şekilde 0,03 μm 'lik bir fark elde edilmiştir. Ayrıca Şekil 7.6 ve 7.7'de verilen grafiklerde özellikle (a) grafiğinde veri serilerinin (b) ve (c) grafiklerine kıyasla birbirinden uzak çıkması, Şekil 7.8'de görülen bu tezgahta (ES) kullanılan ilerleme hızları arasındaki farkın diğer tezgahlara göre daha fazla olmasıyla ilgili olduğu düşünülmektedir.

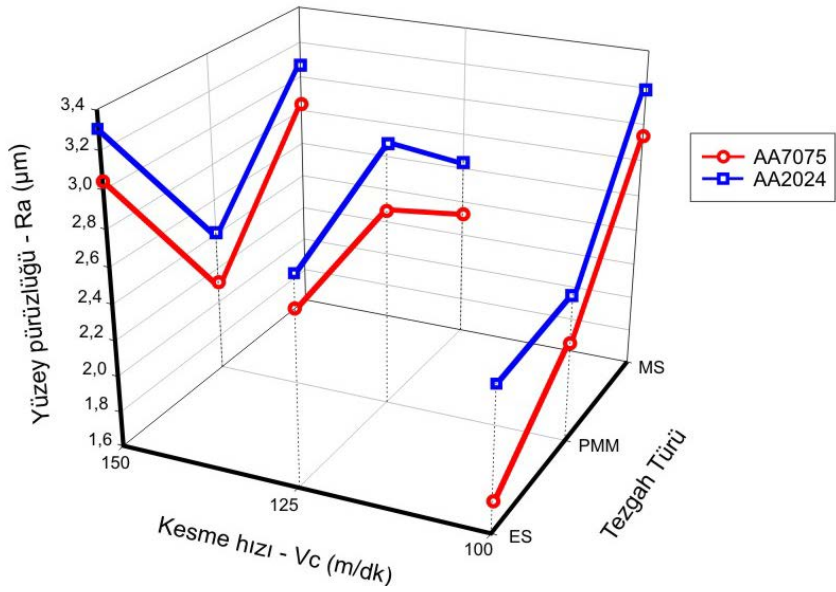
Kesme hızı (V_c), ilerleme (f) ve takım tezgahlarına göre ortalama R_a değerinin değişimi

AA7075 ve AA2024 alaşımlarına delik delme işleminde tezgah türüyle birlikte ilerlemenin (a) ve kesme hızının (b) R_a üzerindeki etkisi Şekil 7.9'daki üç boyutlu grafiklerde gösterilmiştir. Grafiklere bakıldığında en düşük yüzey pürüzlüğü PMM tezgahında ölçüldüğü görülmektedir. PMM tezgahını sırasıyla EcoSpeed (ES) ve Mori Seiki (MS) tezgahları takip etmektedir.

AA7075 alaşımı için MS tezgahında ölçülen R_a değerlerine göre, ES ölçülen R_a değerlerinde % 10; PMM tezgahlarında ölçülen R_a değerlerinde ise % 13 civarında düşüş görülmüştür. AA2024 alaşımı için ise MS tezgahında ölçülen R_a değerlerine göre ES ve PMM tezgahlarında ölçülen R_a değerlerinde sırasıyla % 6 ve % 12 civarında düşüş görülmüştür.



(a)



(b)

Şekil 7.9. R_a değerinin ilerleme (a) ve kesme hızı (b) olmak üzere kesme parametreleri ile takım tezgahlarına göre değişimi

Sonuçlara bakıldığında tezgah faktörünün soğutma yöntemleri kadar yüzey pürüzlüğü üzerinde etkili olmadığı görülmektedir. Özellikle ES ve PMM tezgahları arasında %3-6 farkın etkisi, bu tezgahlarda sırasıyla içten MMY ve geleneksel soğutma uygulamalarının R_a değerini düşürmede % 50-60 etkisine karşılık çok düşük olduğu söylenebilir. Tezgah faktörünün az da olsa bu etkisi dikkate alındığında ise, ana deneylerde içten MMY

uygulamsında ölçülen R_a değerlerinin geleneksel soğutma yöntemine biraz daha yaklaşabileceği yorumu yapılabilir.

Malzeme faktörünün R_a üzerindeki etkisine bakıldığında, kuru işleme şartlarında yapılan ek deneylerde AA2024 alaşımında ölçülen R_a değerleri, aynı şartlarda AA7075 alaşımında ölçülen değerlerden daha yüksek olduğu görülmektedir. Ana deneylerde basınçlı havayla soğutma ve dıştan MMY uygulamsında bu durumla karşılaşmış ve yetersiz soğutma uygulamasından dolayı takım-talaş ara yüzeyinde yeterince film tabakası oluşmadığı için takımın kesici kenarında oluşan sıvanmanın engellenemediğine ve bozulan takım geometrisinin de yüzey kalitesini olumsuz etkilediğine vurgu yapılmıştı [2, 55]. Kuru kesme şartlarında ise kesme sıvısı uygulaması söz konusu olmadığı için AA7075 alaşımına göre daha sünek olan AA2024 alaşımında yüzey kalitesinin daha kötü çıkması beklenen bir durumdur.

Şekil 7.9 (a) grafiğine bakıldığında ilerlemedeki artışın ortalama yüzey pürüzlüğünde de artışa sebep olduğu görülmektedir. İlerleme oranının 0,1 mm/dev'den 0,20 mm/dev'e çıkarak % 100 artması, ortalama yüzey pürüzlüğünde % 25-50 oranında artışa sebep olduğu görülmüştür. Kesme hızındaki artışın genelde yüzey pürüzlüğünü düşürmesi beklenirken Şekil 7.9 (b) grafiğinde kesme hızının R_a üzerinde daha kararsız bir etkisinin olduğu görülmektedir. Soğutma yöntemlerinin R_a üzerindeki etkisinin anlatıldığı başlıkta, artan kesme hızının kesme bölgesindeki sıcaklığı artırarak kesmeyi kolaylaştırdığı, fakat kesme hızının artmasıyla birlikte birim zamanda oluşan talaş hacminin artmasıyla talaş tahliyesinin zorlaştığına değinilmişti. Kuru işleme şartlarında ise talaş tahliyesine yardımcı olacak ve sıvanmayı engelleyecek kesme sıvısı uygulaması olmadığı için bu şartlarda söz konusu kararsız etkiyle daha çok karşılaşılacağı düşünülmektedir.

Tüm kuru kesme şartlarına bakıldığında elde edilen en düşük yüzey pürüzlüğü değeri 1,494 μm 'dir. Bu değer, en düşük ilerleme olan 0,10 mm/dev ve en düşük kesme hızı olan 100 m/dk'da (dolayısıyla en düşük ilerleme hızında (400 mm/dk)) AA7075 alaşımında ölçülmüştür. Elde edilen en yüksek yüzey pürüzlüğü değeri ise 3,305 μm 'dir. Bu değer, en yüksek ilerleme olan 0,20 mm/dev ve en yüksek kesme hızı olan 150 m/dk'da (dolayısıyla en yüksek ilerleme hızında (1200 mm/dk)) AA2024 alaşımında ölçülmüştür. Bu sonuçlara bakılarak malzeme türü, ilerleme ve kesme hızının yüzey pürüzlüğünü etkileyen unsurlar olduğu görülmektedir. Özde kesme hızı artışının yüzey kalitesine etkisi soğutma

uygulamalarında daha olumlu etkilere sahipken, kuru kesme şartlarında daha olumsuz etkiye sahip olduğu söylenebilir.

Ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) için varyans analizi

Çizelge 7.7’de ilerleme, kesme hızı, tezgah türü ve malzeme türü olmak üzere işlem parametrelerinin, kalite karakteristiği olarak belirlenen R_a ’ya etkisini açıklayan ANOVA sonuçları toplu olarak verilmiştir. Yapılan varyans analizi sonunda elde edilen malzeme türü (m), takım tezgahı (T_g), kesme hızı (V_c) ve ilerleme (f) olmak üzere işlem parametrelerine ait P değerleri α olarak belirlenen 0,05’den küçük çıkmıştır. $P < \alpha$ olduğu için bu işlem parametreleri kalite karakteristiği olan yüzey pürüzlülüğü üzerinde anlamlı bir etkiye sahiptir.

Çizelge 7.7. AA7075 ve AA2024 için yüzey pürüzlülüğü ile ilgili ANOVA sonuçları

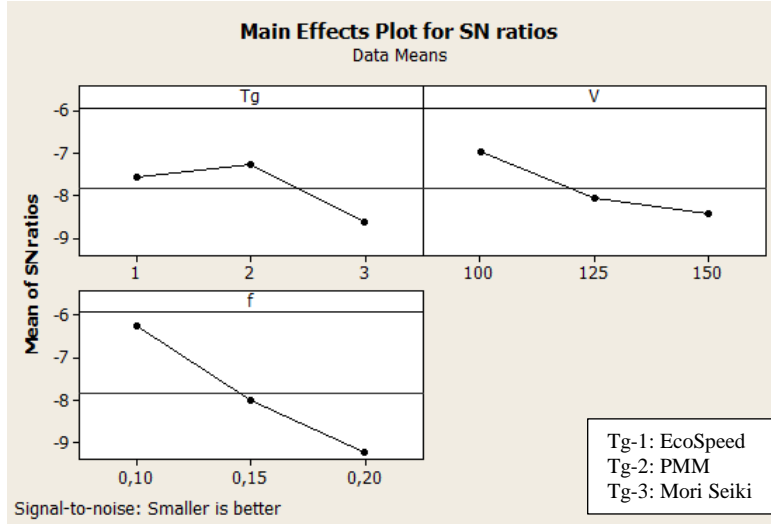
Kaynak	SD	KT'	KT	KO	F	P	YD(%)
Malzeme türü (m)	1	0,42197	0,42197	0,42197	60,94	0,000	25,2
Tezgah türü (T_g)	2	0,40721	0,40721	0,20361	29,40	0,000	12,1
Kesme hızı (V_c)	2	0,31959	0,31959	0,15980	23,08	0,000	9,6
İlerleme (f)	2	1,77042	1,77042	0,88521	127,83	0,000	52,6
Hata	10	0,06925	0,06925	0,00692	-	-	0,5
Toplam	17	2,98845	-	-	-	-	100,0
SD : Serbeslik derecesi, KT' : Saf kareler toplamı, KT : Kareler toplamı, KO : Kareler ortalaması, YD : Yüzde dağılım F: Test istatistiği, P : Anlamlılık değeri							

YD sütunundan işlem parametrelerinin etki derecelerine bakılacak olursa; yüzey pürüzlülüğü; % 52,6 ile en çok ilerlemenin etkilediği görülmektedir. İlerleme faktörünü sırasıyla % 25,2 ile malzeme türü, % 12,1 ile tezgah türü ve % 9,6 ile kesme hızı faktörünün takip ettiği görülmektedir.

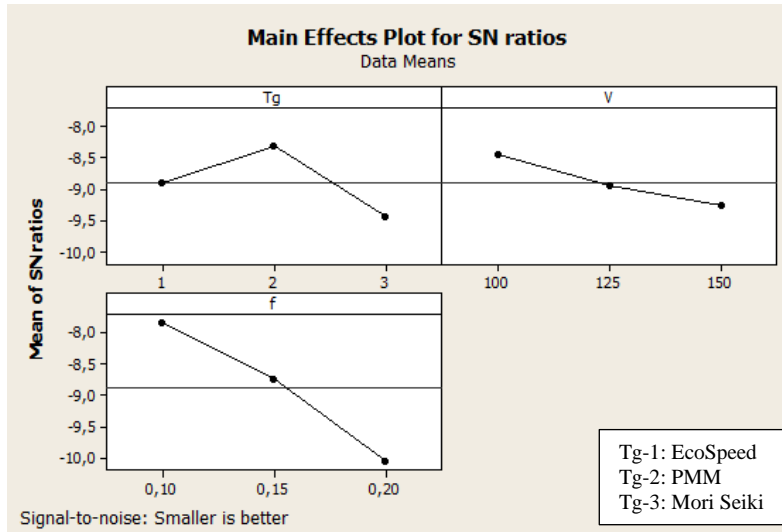
Ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) için Sinyal/Gürültü (S/N) analizi

Yapılan Taguchi Sinyal-Gürültü (S/N) analizinde AA7075 ve AA2024 alüminyum alaşımları için optimum yüzey pürüzlülüğü değerleri; tezgah türünün ikinci seviyesinde (A2), kesme hızının birinci seviyesinde (B1) ve ilerlemenin birinci seviyesinde (C1) elde edilmiştir. Buna göre her iki malzeme için de yüzey pürüzlülüğü ilerlemenin artışıyla belirgin bir şekilde artarken, kesme hızı artışıyla da artmış, PMM tezgahı kullanımında ise

azalmıştır. Şekil 7.10'daki grafiklerde en yüksek S/N oranlarının işaret ettiği optimum seviyeler açık bir şekilde görülmektedir. Elde edilen optimum seviyeler ise Çizelge 7.8'de verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 7.10. AA7075 (a) ve AA2024 (b) alüminyum alaşımları için Ra sonuçlarına göre kontrol faktörlerinin S/N oranları

Çizelge 7.8. Yüzey pürüzlülüğü (Ra) için kontrol faktörlerinin optimum seviyeleri

Kontrol faktörleri	Simge	Birim	Optimum seviye	Optimum değer
Tezgah türü (A)	T_g		2	PMM
Kesme hızı (B)	V_c	m/dk	1	100
İlerleme (C)	f	mm/dev	1	0,10

7.2. Delik aplarındaki Sapmanın Değerlendirilmesi

7.2.1. Uygulanan soğutma yöntemine göre çaplardaki sapmanın değerlendirilmesi

İçten MMY uygulaması (İ), dıştan MMY uygulaması (D), geleneksel soğutma (G) ve basınçlı havayla soğutma (H) şartlarında yapılan delik delme testlerinde, bu soğutma şartlarının ve farklı kesme parametrelerinin delik çaplarındaki sapmalara etkisi incelenmiştir. Aynı testler iki ayrı alüminyum alaşımına (AA7075 ve AA2024) uygulanarak malzeme faktörünün de delik çaplarındaki sapmaya etkisine irdelenmiştir. Takım apı 8 mm olan, h8 hassasiyetine sahip takımlarla yapılan delik delme testlerinde tüm değerler anma çapından (8 mm) büyük çıkmıştır. Bu sapmalar, özellikle soğutma yönteminin etkisiyle ortalama sonuçlarda 0,003 ile 0,045 arasında değişerek delik çapına göre % 0,5 saptığı grlmştir. Çizelge 7.9’da deneyler sonunda ölçülen takım çapları ve “en küçük en iyidir” yaklaşımına göre hesaplanan Sinyal/Gürültü (S/N) oranları verilmiştir.

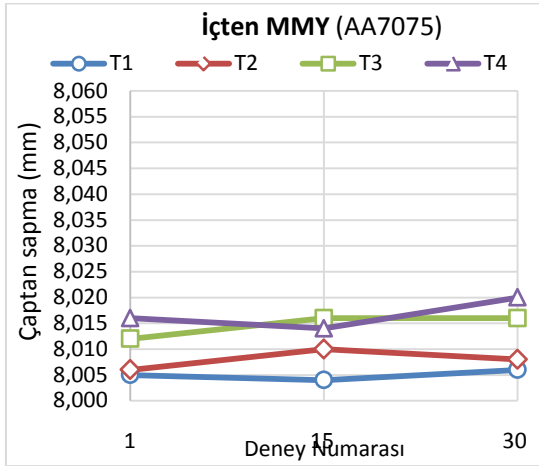
Çizelge 7.9. AA7075 ve AA2024 alaşımlarının delinmesinde ölçülen delik çapları ve S/N oranları

AA7075 Deney No	Değişkenler	çaptan sapma (mm)	S/N Oranı (dB)	AA2024 Deney No	Değişkenler	çaptan sapma (mm)	S/N Oranı (dB)
T1	A1B1C1	8,003	-18,065	T26	A1B1C1	8,007	-18,065
T2	A1B2C2	8,008	-18,071	T27	A1B2C2	8,009	-18,071
T3	A1B3C3	8,015	-18,078	T28	A1B3C3	8,014	-18,077
T4	A1B4C4	8,017	-18,080	T29	A1B4C4	8,018	-18,082
T5	A2B1C2	8,021	-18,085	T30	A2B1C2	8,024	-18,088
T6	A2B2C1	8,018	-18,082	T31	A2B2C1	8,023	-18,087
T7	A2B3C4	8,032	-18,097	T32	A2B3C4	8,035	-18,100
T8	A2B4C3	8,030	-18,094	T33	A2B4C3	8,033	-18,098
T9	A3B1C3	8,004	-18,067	T34	A3B1C3	8,007	-18,069
T10	A3B2C4	8,010	-18,072	T35	A3B2C4	8,013	-18,076
T11	A3B3C1	8,003	-18,065	T36	A3B3C1	8,002	-18,064
T12	A3B4C2	8,009	-18,071	T37	A3B4C2	8,009	-18,072
T13	A4B1C4	8,042	-18,107	T38	A4B1C4	8,045	-18,110
T14	A4B2C3	8,039	-18,104	T39	A4B2C3	8,044	-18,109
T15	A4B3C2	8,033	-18,097	T40	A4B3C2	8,038	-18,103
T16	A4B4C1	8,029	-18,094	T41	A4B4C1	8,034	-18,099

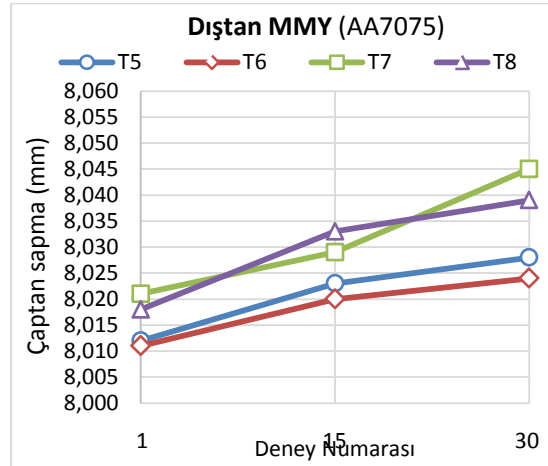
Aynı şartlarda delme tekrarına göre delik çaplarındaki değişim

Her kesme şartı için 30 delme tekrarı yapılan deneylerde, bu tekrar sürecinde takımlardaki aşınmanın ve/veya sıvanmanın delik çaplarının ölçüsüne etkisi incelenmiştir. Her şart için

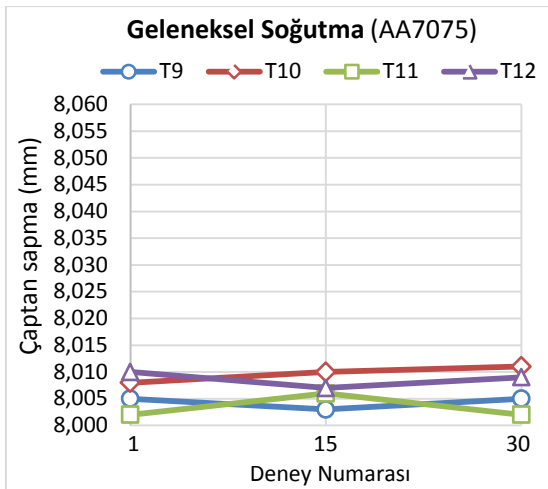
1. 15. ve 30. delik çaplarının ölçüsü kullanılarak elde edilen Şekil 7.11'deki grafiklerde, AA 7075 alüminyum alaşımıyla ilgili sonuçlar verilmiştir. Grafikler sırasıyla incelendiğinde içten MMY uygulamasında (a), çap değerlerinin 8,005-8,020 mm arasında olduğu görülmektedir. Bu soğutma şartında ilk delikten son deliğe yaklaşık % 20-30 civarında bir artış olmuştur. Dıştan MMY uygulamasında ise (b) bu artışın % 120 civarında olduğu görülmektedir. Bu soğutma şartında ilk deliklerde ölçülen çap değerleri 8,010-8,020 mm arasında iken son deliklerde çaplar 8,025-8,045 mm aralığına çıkmıştır. Geleneksel soğutma şartlarındaki (c) çap değerleri incelendiğinde ise, dıştan MMY uygulamasından çok daha küçük sapmalarla (8,001-8,010 mm), anma çap değerine (8,000 mm) en yakın sonuçlar ölçülmüştür. İlk delik ile son delik arasındaki artış miktarları da % 10-15 civarında olduğu görülmektedir.



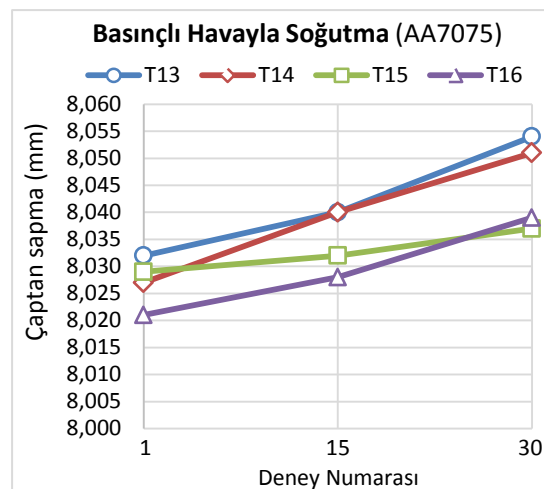
(a)



(b)



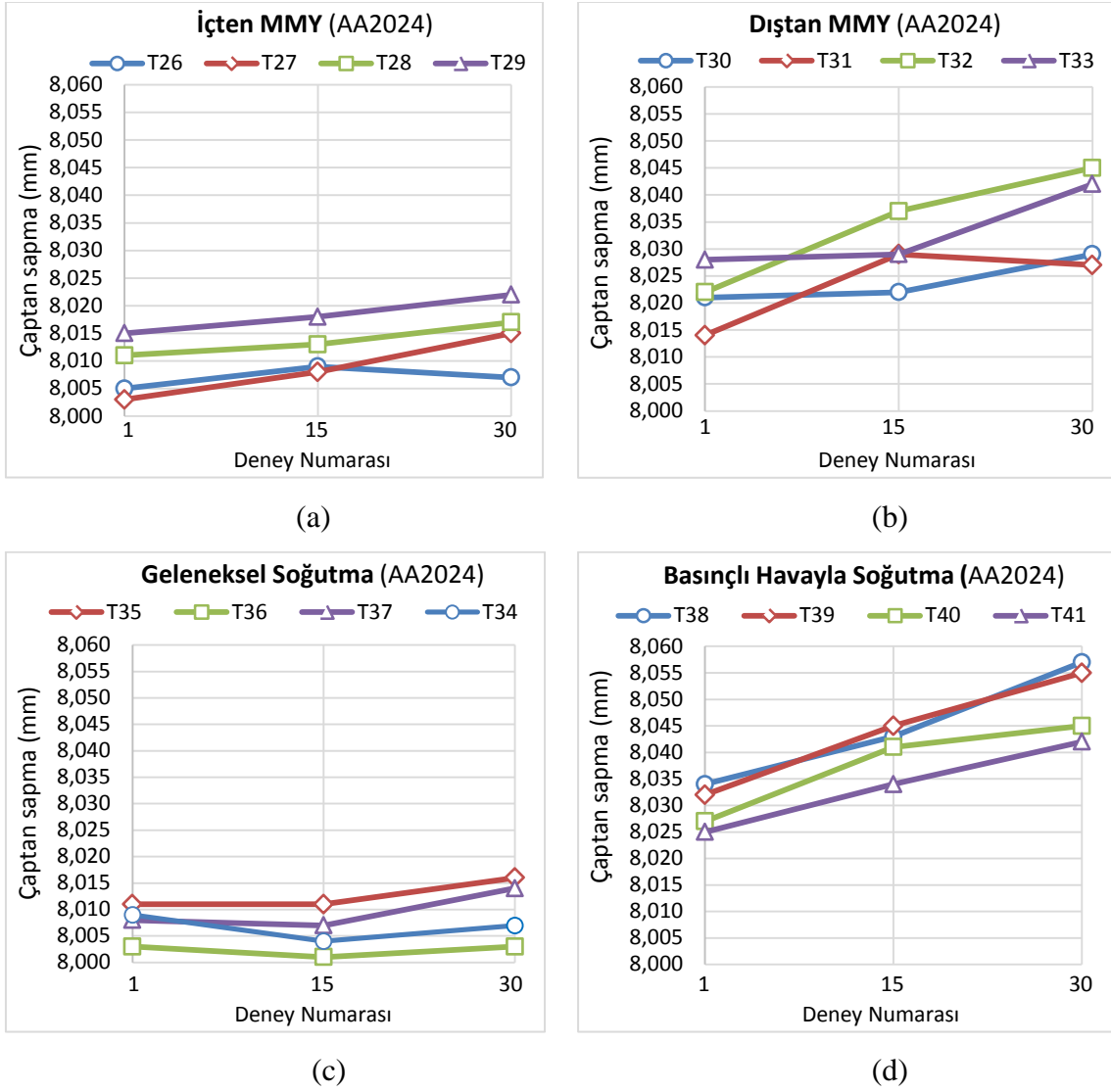
(c)



(d)

Şekil 7.11. AA7075 alaşımını her şart için 30 delme tekrarında elde edilen delik çapı ölçülerinin ilk delikten son deliğe değişimi

Basınçlı havayla soğutmada (d) dıştan MMY uygulamasında (b) olduğu gibi aynı şartlarda ilk delikten son deliğe çaplarda belirgin bir artış olduğu görülmektedir. Bu soğutma şartında ilk delikten son deliğe ortalama % 70 civarında artış olmuştur. Ölçülen çap değerleri ilk deliklerde 8,020 - 8,030 mm arasında iken, son deliklerde 8,035 - 8,055 mm değerlerine çıktığı görülmektedir. Şekil 7.12'deki grafiklerde AA7075 alüminyum alaşımının delinmesinde kullanılan aynı deney şartları bu kez AA2024 alaşımına tatbik edilmesiyle elde edilen deney sonuçları verilmiştir. Grafikler incelendiğinde aynı şartlarda yapılan tekrar deneylerinde, AA7075 alaşımında olduğu gibi, 1 delikten 30. deliğe çaplardaki sapmalarda genelde bir artış olduğu görülmektedir.



Şekil 7.12. AA2024 alaşımını her şart için 30 delme tekrarında elde edilen delik çapı ölçülerinin ilk delikten son deliğe değişimi

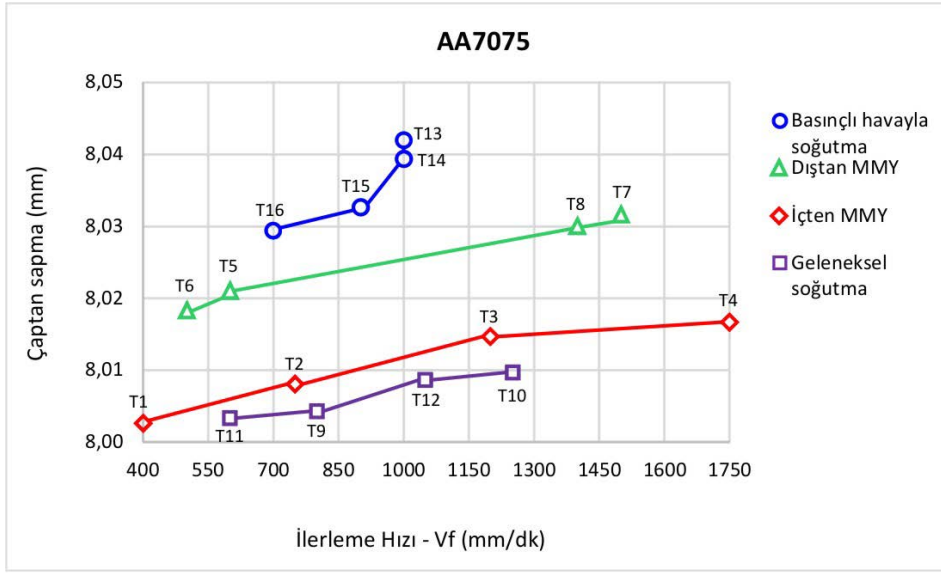
Şekil 7.12 (a) grafiğinde içten MMY uygulamasında ilk delikten son deliğe delik çaplarındaki sapmalarda % 40-50 civarında artış olduğu gözlenmektedir. Çap değerleri ilk deliklerde 8,003-8,015 mm arasında değişirken son deliklerde 8,015-8,020 mm civarında olduğu gözlenmiştir. Dıştan MMY uygulamasında (b) ise ilk delik ile son delik arasında gözlenen artış miktarı % 80 civarındadır. İlk deliklerde 8,015-8,030 mm civarında ölçülen çap değerleri son deliklerde 8,030-8,045 mm civarında olduğu görülmüştür. Geleneksel soğutma yönteminde ise (c) % 30 civarında gözlenen bu artış, içten MMY ve dıştan MMY uygulamasındaki artışlardan daha düşüktür. Ölçülen çap değerleri 0,003-0,015 mm arasında değiştiği görülmektedir. Basınçlı havayla soğutma yönteminde (d) ise çap değerleri ilk deliklerde 8,025-8,035 mm, son deliklerde 8,042-8,057 mm arasında değişmektedir. Ayrıca bu soğutma şartında 1. delikten 30. deliğe çap değerlerindeki sapma miktarı % 70 civarında olduğu gözlenmektedir.

Yapılan tekrar deneyleri sürecinde ilk delikten son deliğe çaptan sapmalarla ilgili artış miktarları iki malzeme için karşılaştırıldığında, yüzey pürüzlüğü sonuçları kadar belirgin olmamakla birlikte, aynı şartlarda AA2024 alaşımında çaptan sapmalardaki artış miktarının AA7075 alaşımına oranla daha fazla olduğu söylenebilir. Sadece dıştan MMY uygulamasında bu durumun aksine, AA7075 alaşımında ilk delikten son deliğe çaptan sapmalardaki artış miktarı daha fazla olmuştur. Her iki alüminyum alaşımında yapılan deneylerde delik çaplarının anma ölçüsünden sapması konusundaki ilk delikten son deliğe en düşük artış geleneksel soğutma uygulamasında gözlenirken, geleneksel soğutma yöntemini sırasıyla içten MMY uygulaması, basınçlı havayla soğutma ve dıştan MMY uygulamasının takip ettiği gözlenmiştir. Dıştan MMY uygulamasında ilk delikten son deliğe ölçülen artış miktarı sonuçlarının basınçlı havayla soğutma uygulamasında ölçülen sonuçlardan fazla çıktığı daha önce yüzey pürüzlüğü sonuçlarında da gözlenmişti. Bu durum, basınçlı havayla soğutmada havanın takım içinden verilmesine karşılık dıştan MMY uygulamasında yağ sisinin nozullardan harici olarak uygulanmasına atfedilmiştir.

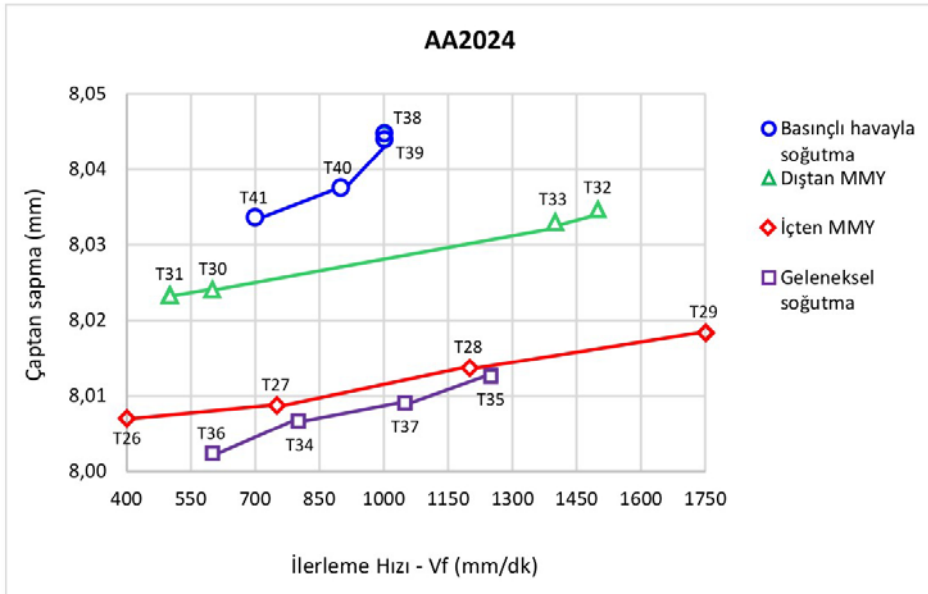
İlerleme hızı (V_f) ve soğutma şartlarına göre delik çaplarındaki değişim

Taguchi deney tasarımı metodu kullanılarak yapılan deneylerde kesme hızı (V_c) ve ilerleme (f) birbirinden bağımsız değerlendirilememiştir. Buna bağlı olarak, delik çaplarındaki sapmalarla ilgili elde edilen sonuçlar bu iki kesme parametresinin bir kombinasyonu olan ilerleme hızına (V_f) göre değerlendirilmiştir. Bundan önce “Ortalama

Yüzey Pürüzlüğünün Değerlendirilmesi” başlığı altındaki Çizelge 7.2’de Taguchi L16 deney tasarımı bağlı olarak hesaplanan ilerleme hızı değerleri verilmişti. Şekil 7.13 (a) ve (b) grafiklerinde sırasıyla AA7075 ve AA2024 alüminyum alaşımlarında yapılan deneylerde delik çaplarındaki sapmanın hesaplanan ilerleme hızlarına bağlı olarak değişimi verilmiştir. Bu grafiklerde görülen delik çapı değerleri, her kesme şartı için yapılan 30 tekrar deneyinden elde edilen sonuçların aritmetik ortalaması alınarak belirlenen ortalama çaptan sapma değerleridir.



(a)



(b)

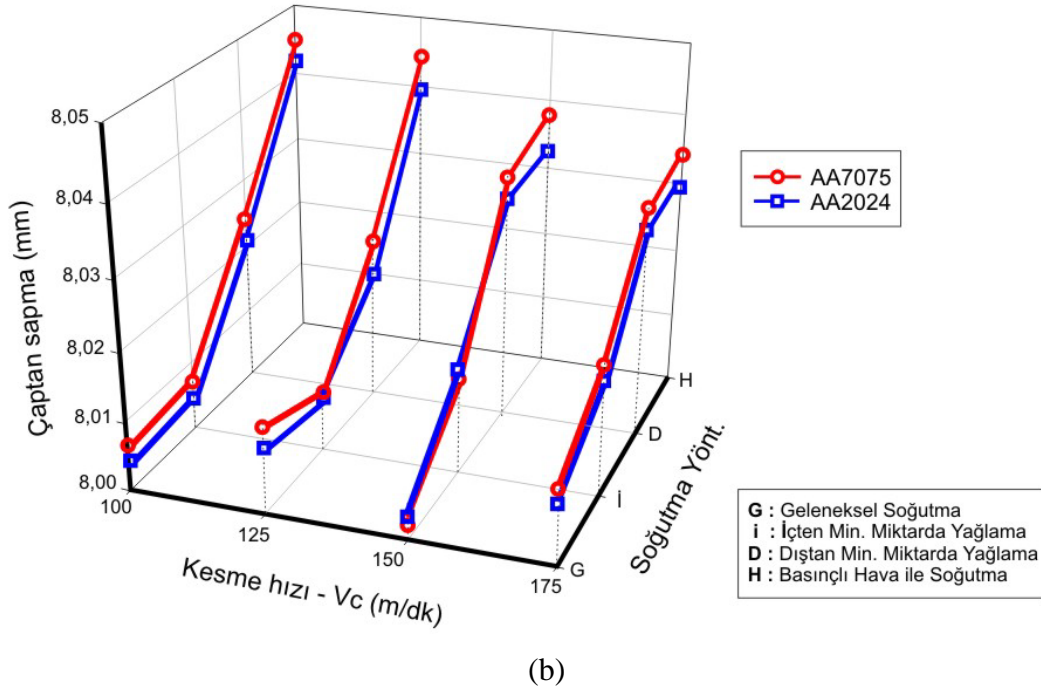
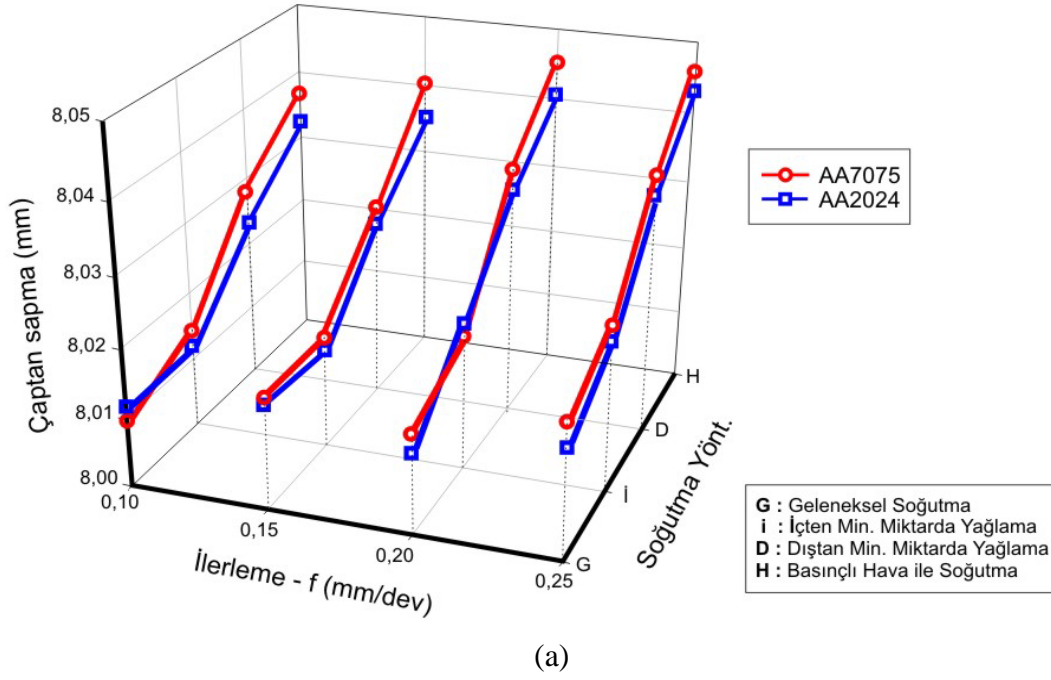
Şekil 7.13. AA7075 (a) ve AA2024 (b) alaşımlarının delinmesinde ilerleme hızına bağlı olarak delik çaplarındaki değişim

Şekil 7.13'deki grafiklerde tüm soğutma şartında ilerleme hızındaki artışın deliklerdeki çaptan sapmaları artırdığı görülmektedir. Aynı ilerleme hızının olduğu şartlarda (T13-T14 ve T38-T39) ise çaplardaki sapmanın birbirine çok yakın değerlerdedir. Geleneksel soğutmada ilerleme hızlarındaki % 55 civarında artışa karşılık delik çaplarındaki sapmalarda % 85'den fazla artış olduğu görülmektedir. Basınçlı havayla soğutma şartlarında ise, ilerleme hızlarında % 40 civarında artış, çaptan sapmalarda % 160'dan fazla artışa neden olduğu görülmektedir. Ayrıca her iki grafikte de ortalama delik çapı değerlerinin anma ölçüsüne (8 mm) en yakın soğutma şartlarının geleneksel soğutma ve içten MMY yöntemleri olduğu; bu yöntemleri ise sırasıyla, dıştan MMY ve basınçlı havayla soğutma yöntemlerinin takip ettiği görülmektedir. İdeal kesmenin gerçekleşmediği durumlarda; yani takım aşınmasının etkisiyle sürtünmelerin artması, sıvanmaların artması ve yüksek sıcaklıkların oluşması gibi durumların delik çapındaki sapmaları artırdığı söylenebilir. Bu noktada kesici takımın uzun süre sahip olduğu geometrisini koruyabilecek soğutma şartlarının sağlanmasının önemi ortaya çıkmaktadır [104].

Kesme hızı (V_c), ilerleme (f) ve soğutma şartlarına göre delik çaplarındaki değişim

Yapılan deneylerde delik çaplarındaki sapmaya kesme hızının (V_c), ilerlemenin (f) ve soğutma şartlarının etkisini incelemek amacıyla Şekil 7.14'deki üç boyutlu grafikler oluşturulmuştur. Şekil 7.14 (a) grafiğinde ilerleme ve soğutma şartlarının, (b) grafiğinde ise kesme hızı ve soğutma şartlarının çaptan sapmalara etkisi verilmiştir.

Grafiklere bakıldığında soğutma yönteminin çaptan sapmalarda büyük ölçüde etkili olduğu açıkça görülmektedir. Basınçlı havayla soğutmada maksimum değerlere ulaşan çaptan sapmalar geleneksel soğutma yönteminde anma çap değerine oldukça yaklaşarak minimum değerlere düşmüştür. Basınçlı havayla soğutma yöntemiyle karşılaştırıldığında dıştan MMY yönteminde % 30, içten MMY yönteminde % 70 ve geleneksel soğutma yönteminde % 80 civarında çaptan sapma değerlerinde düşüşler gözlenmiştir. Düşük kesme hızı ve ilerlemelerde içten MMY yöntemiyle geleneksel soğutma yönteminde elde edilen sonuçların birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir. Yüksek kesme hızlarında ise dıştan MMY yöntemi ve basınçlı havayla soğutma yönteminde elde edilen sonuçların yakın değerlerde olduğu görülmektedir.



Şekil 7.14. Delik çaplarındaki sapmanın ilerleme (a) ve kesme hızı (b) olmak üzere kesme parametreleri ve soğutma şartlarına göre değişimi

Şekil 7.14 (a) grafiğinde ilerlemenin çaptan sapma miktarına etkisi incelendiğinde, ilerlemelerdeki artışın çaptan sapma miktarlarını artırdığı söylenebilir. İlerleme oranlarındaki % 150 artışın çaplarda ortalama % 200 civarında artışa sebep olduğu gözlenmektedir. Kesme hızının çaplardaki sapmaya etkisini incelemek için Şekil 7.14 (b) grafiğine bakıldığında, kesme hızındaki % 75 artışın % 50 - % 90 arasında artışa sebep olduğu görülmektedir. Kesme hızının artması titreşimleri artırarak delik çaplarının

büyümesine sebep olduğu düşünülmektedir [105]. Her iki malzemede basınçlı havayla soğutma şartlarında görülen düşüş ise kesme hızları artarken aynı şartlarda ilerlemelerin düşmesine atfedilebilir.

Delik çaplarındaki sapmalar için varyans analizi

Malzeme türü (m), soğutma yöntemi (S_y), kesme hızı (V_c) ve ilerleme (f) olmak üzere işlem parametrelerinin, kalite karakteristiği olarak belirlenen çaptan sapmalara etkisi Çizelge 7.10'da toplu olarak verilmiştir.

Çizelge 7.10. AA7075 ve AA2024 için çaptan sapmalar ile ilgili ANOVA sonuçları

Kaynak	SD	KT'	KT	KO	F	P	YD (%)
Malzeme türü (m)	1	0,0000543	0,0000543	0,0000543	13,95	0,001	1,0
Soğt. yöntemi (S_y)	3	0,0049058	0,0049058	0,0016353	420,55	0,000	86,2
Kesme hızı (V_c)	3	0,0000487	0,0000487	0,0000162	4,18	0,018	0,9
İlerleme (f)	3	0,0005969	0,0005969	0,0001990	51,17	0,000	10,5
Hata	21	0,0000817	0,0000817	0,0000039	-	-	1,4
Toplam	31	0,0056873	-	-	-	-	100,0

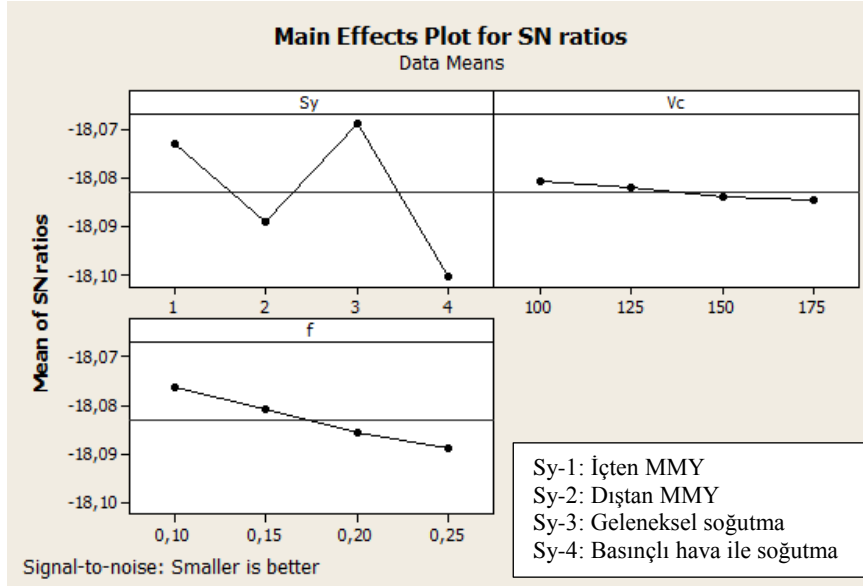
SD : Serbeslik derecesi, KT' : Saf kareler toplamı, KT : Kareler toplamı,
 KO : Kareler ortalaması, YD : Yüzde dağılım F: Test istatistiği,
 P : Anlamlılık değeri

Yapılan varyans analizi sonunda elde edilen malzeme türü, soğutma yöntemi, kesme hızı ve ilerleme olmak üzere işlem parametrelerine ait P değerleri α (0,05) değerinden küçük çıkmıştır. $P < \alpha$ olduğu için kalite karakteristiği olan delik çapları üzerinde bu işlem parametrelerinin anlamlı bir etkiye sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır. İşlem parametrelerinin etki dereceleri için YD sütunu incelendiğinde, çaptan sapmayı % 86,2 ile en çok soğutma yönteminin etkilediği görülmektedir. Soğutma yöntemi faktörünü, % 10,5 ile ilerleme faktörü, % 1 ile malzeme türü faktörü ve % 0,9 ile kesme hızı faktörü takip etmektedir.

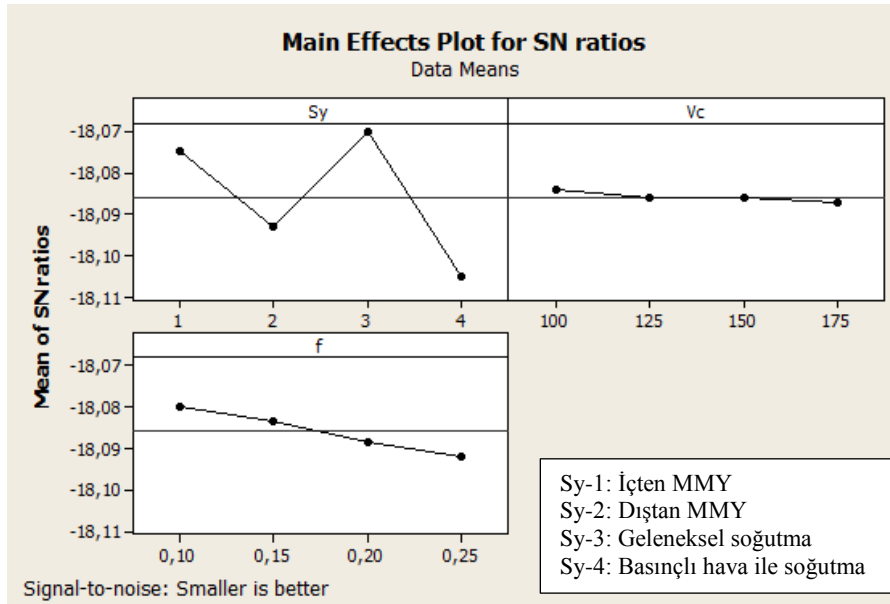
Delik çaplarındaki sapmalar için Sinyal/Gürültü (S/N) analizi

AA7075 ve AA2024 alüminyum alaşımlarında yapılan delik delme deneylerinde anma çapına (8mm) en yakın sonuçlara ulaşmak için en küçük en iyidir yaklaşımıyla yapılan Taguchi Sinyal-Gürültü (S/N) analizinde optimum sonuçlar; soğutma yönteminin üçüncü seviyesinde (A3), kesme hızının birinci seviyesinde (B1) ve ilerlemenin birinci seviyesinde

(C1) elde edilmiştir. Şekil 7.15'deki grafiklerde S/N oranlarına göre optimum seviyeler açık bir şekilde görülmektedir.



(a)



(b)

Şekil 7.15. AA7075 (a) ve AA2024 (b) alüminyum alaşımları için çaptan sapma sonuçlarına göre kontrol faktörlerinin S/N oranları

Buna göre her iki malzeme için de çaptan sapmalar ilerleme ve kesme hızının artışıyla artarken, geleneksel soğutma şartlarında ise belirgin olarak azalmıştır. Şekil 7. 15'deki Sinyal/Gürültü (S/N) grafiklerine bakılarak elde edilen optimum parametreler her iki malzeme için Çizelge 7.11'de verilmiştir.

Çizelge 7.11. Çaplardaki sapma için kontrol faktörlerinin optimum seviyeleri

Kontrol faktörleri	Simge	Birim	Optimum seviye	Optimum değer
Soğutma yönt. (A)	S_y		3	G
Kesme hızı (B)	V_c	m/dk	1	100
İlerleme (C)	f	mm/dev	1	0,1

7.2.2. Kullanılan takım tezgahına göre çaplardaki sapmanın değerlendirilmesi

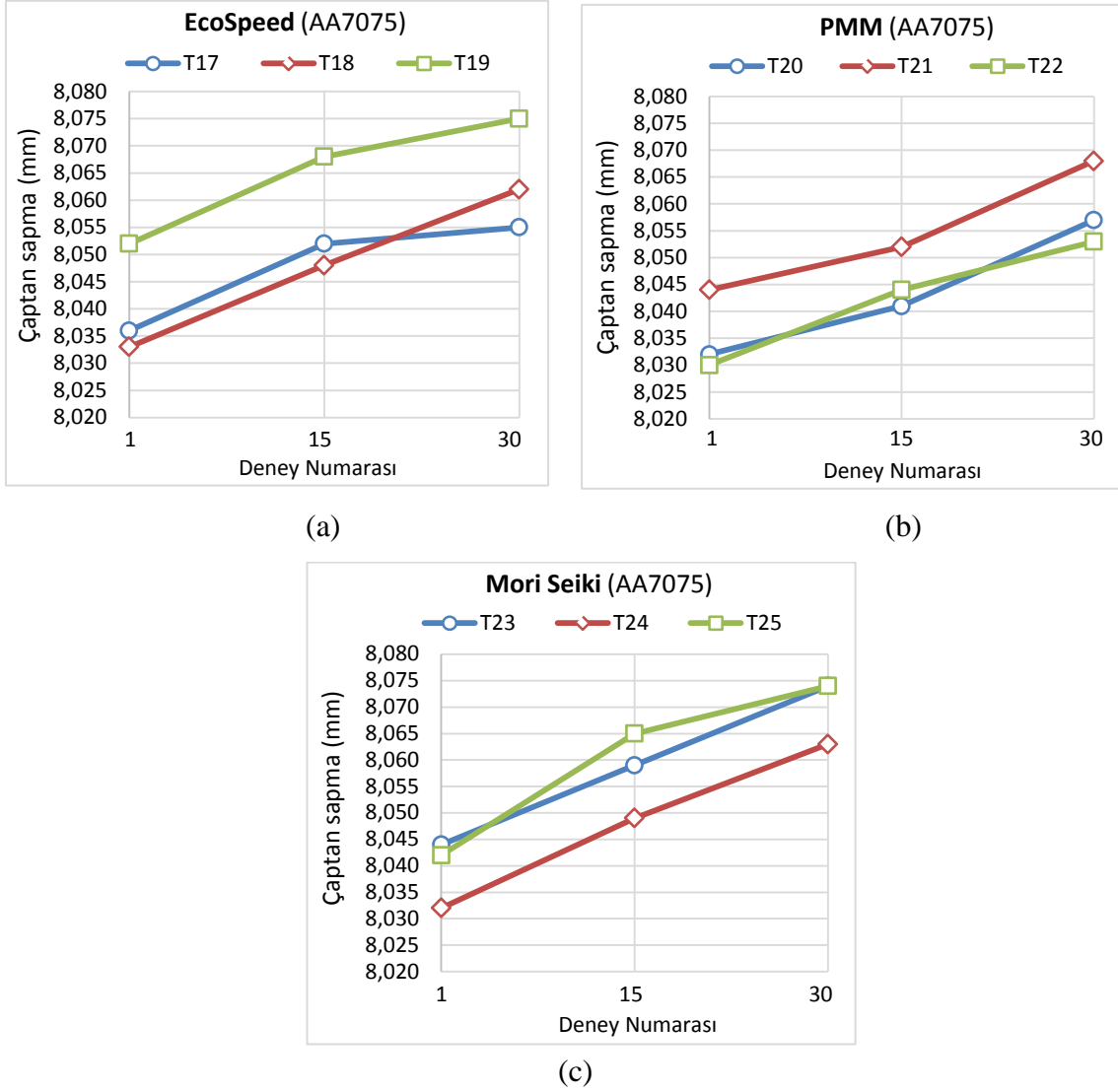
Yapılan deneylerde soğutma yöntemleri farklı tezgahlarda uygulanabildiği için, bu farklı tezgahların da aynı şartlarda karşılaştırılması ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Tezgah türünün çıktı parametreleri üzerindeki etkisinin incelenmesi amacıyla yapılan ek deneylerde kuru kesme şartlarında üç farklı takım tezgahı (EcoSpeed, PMM, MoriSeiki) karşılaştırılmıştır. Her iki alüminyum alaşımı (AA7075 ve AA2024) kullanılarak yapılan deneyler sonunda elde edilen ortalama çaptan sapma değerleri ve “en küçük en iyidir” yaklaşımına göre hesaplanan Sinyal/Gürültü (S/N) oranları Çizelge 7.12’de toplu olarak verilmiştir.

Çizelge 7.12. AA7075 ve AA2024 alaşımlarının delinmesinde elde edilen çaptan sapma değerleri ve S/N oranları

AA7075 Deney No	Değişkenler	Çaptan sapma (mm)	S/N Oranı (dB)	AA2024 Deney No	Değişkenler	Çaptan Sapma (mm)	S/N Oranı (dB)
T17	A1B1C1	8,048	-18,1134	T42	A1B1C1	8,053	-18,1192
T18	A1B2C2	8,048	-18,1134	T43	A1B2C2	8,053	-18,1195
T19	A1B3C3	8,065	-18,1321	T44	A1B3C3	8,066	-18,1335
T20	A2B1C2	8,043	-18,1087	T45	A2B1C2	8,047	-18,1123
T21	A2B2C3	8,055	-18,1210	T46	A2B2C3	8,056	-18,1227
T22	A2B3C1	8,042	-18,1076	T47	A2B3C1	8,046	-18,1120
T23	A3B1C3	8,059	-18,1256	T48	A3B1C3	8,066	-18,1335
T24	A3B2C1	8,048	-18,1138	T49	A3B2C1	8,048	-18,1134
T25	A3B3C2	8,060	-18,1271	T50	A3B3C2	8,063	-18,1299

Aynı şartlarda delme tekrarına göre delik çaplarındaki değişim

Yapılan ek deneylerde ana deneylerde olduğu gibi her kesme şartında 30 delme tekrarı yapılarak, her şart için ilk, orta ve son seviyedeki delik çapları ölçülmüştür. Bu üç deliğe ait çaptan sapma verilerinin aritmetik ortalaması alınarak Çizelge 7.12’de verilen ortalama çaptan sapma verileri hesaplanmıştır. 18 farklı kesme şartında delik delme tekrarı yapılarak elde edilen sonuçlarda, çaptan sapma miktarlarının ilk delikten son deliğe doğru değişimleri Şekil 7.16 ve 7.17’deki grafiklerde gösterilmiştir.

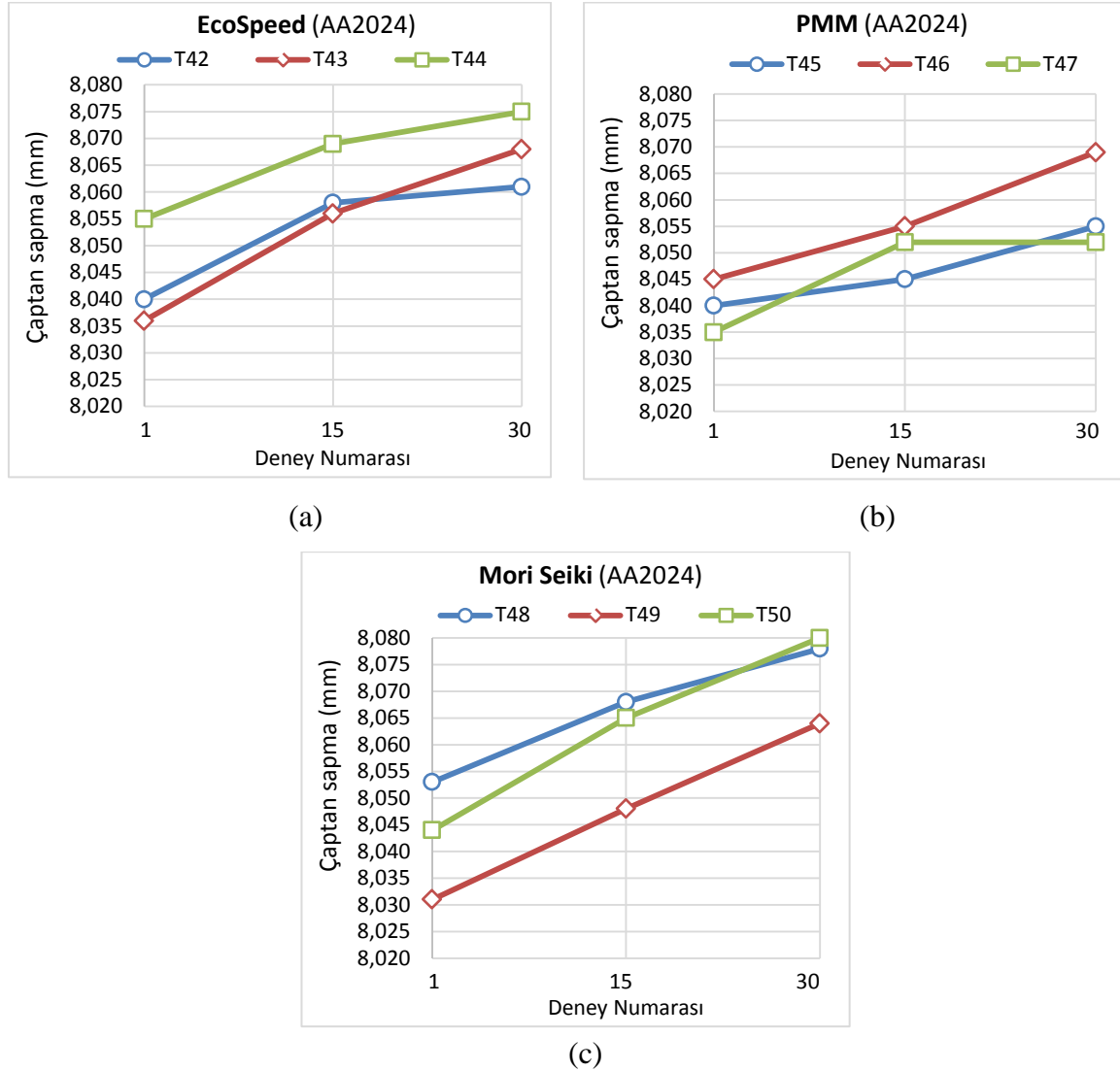


Şekil 7.16. AA7075 alaşımına farklı tezgahlarda yapılan delik delme tekrarına göre delik çaplarındaki değişim

AA7075 alüminyum alaşımının delinmesinde elde edilen sonuçların verildiği Şekil 7.16'daki grafiklere bakıldığında ilk delikten son deliğe delik çaplarındaki sapmalarda belirgin bir artış olduğu görülmektedir. Bu artış ES tezgahında (a) % 60, PMM'de (b) % 70 ve MS tezgahında (c) % 80 civarında olduğu görülmektedir.

Şekil 7.17'de ise AA2024 alüminyum alaşımının delinmesinde elde edilen çaptan sapma değerleri verilmiştir. Grafiklere bakıldığında her üç tezgahta da ilk delikten son deliğe çaptan sapmalarda artış olduğu görülmektedir. En yüksek artış miktarı yaklaşık % 80 ile Mori Seiki tezgahında (c) gözlenirken, Mori Seiki tezgahını % 60 ile EcoSpeed tezgahı ve % 50 ile PMM (b) takip etmektedir. Her iki alüminyum alaşımında da en yüksek artış

miktarları MS tezgahında gözlenirken, PMM ve ES tezgahlarındaki artış miktarlarının oldukça yakın değerlerde oldukları görülmektedir.

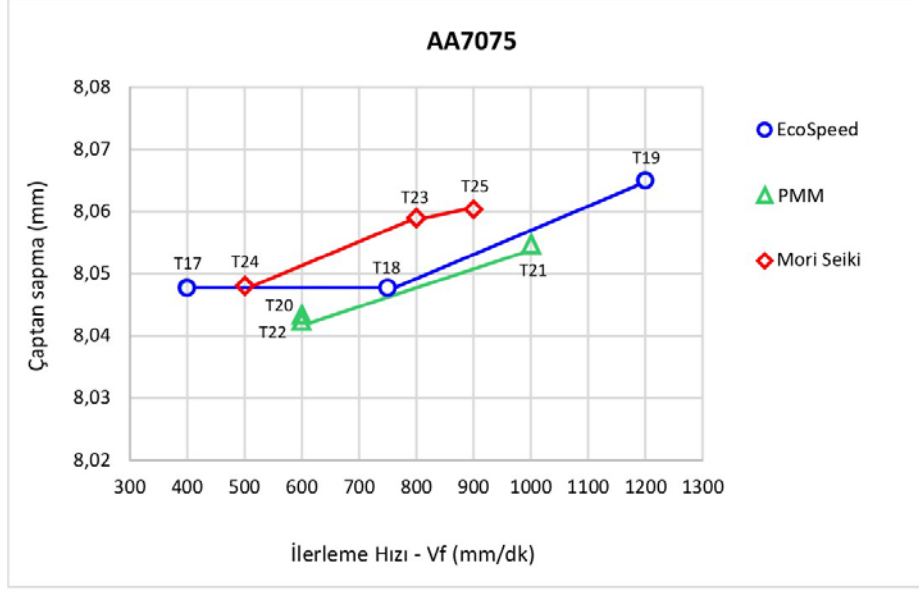


Şekil 7.17. AA2024 alaşımına farklı tezgahlarda yapılan delik delme tekrarına göre delik çaplarındaki değişim

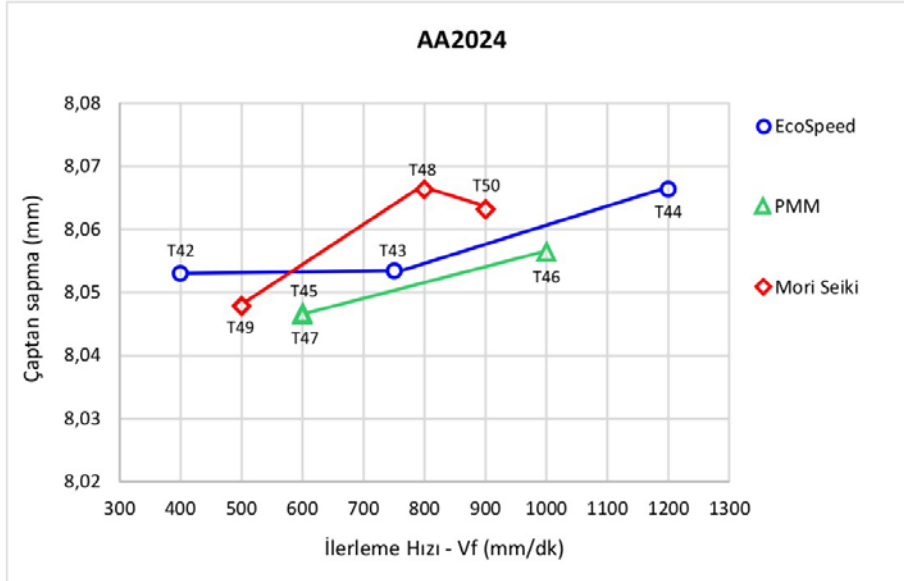
İlerleme hızı (V_f) ve tezgah türüne göre delik çaplarındaki değişim

Yapılan ek deneylerde L9 deney tasarımına göre belirlenen kesme hızı (V_c) ve ilerlemeye (f) göre hesaplanan ilerleme hızı değerleri (V_f) daha önce “Ortalama Yüzey Pürüzlüğünün Değerlendirilmesi” başlığı altındaki Çizelge 7.6’da verilmişti. Her kesme şartı için yapılan 30 delik delme tekrarında elde edilen çaptan sapma değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak ortalama delik çapı değerleri hesaplanmıştır. Şekil 7.18’de AA7075 (a) ve

AA2024 (b) alüminyum alaşımlarının delinmesinde delik çaplarındaki sapmaların ilerleme hızlarına göre değişimi verilmiştir.



(a)



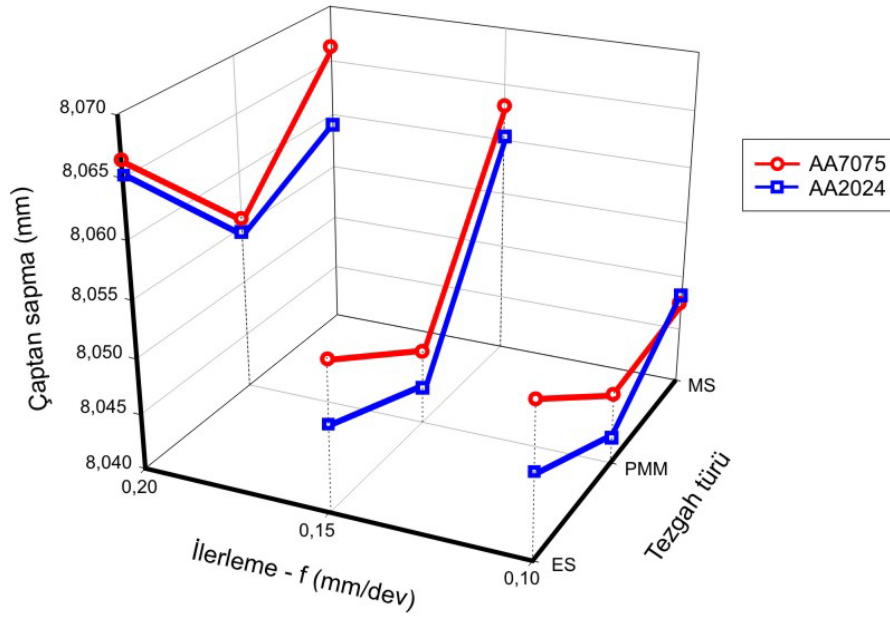
(b)

Şekil 7.18. AA7075 (a) ve AA2024 (b) alaşımlarının delinmesinde ilerleme hızına bağlı olarak delik çaplarındaki değişim

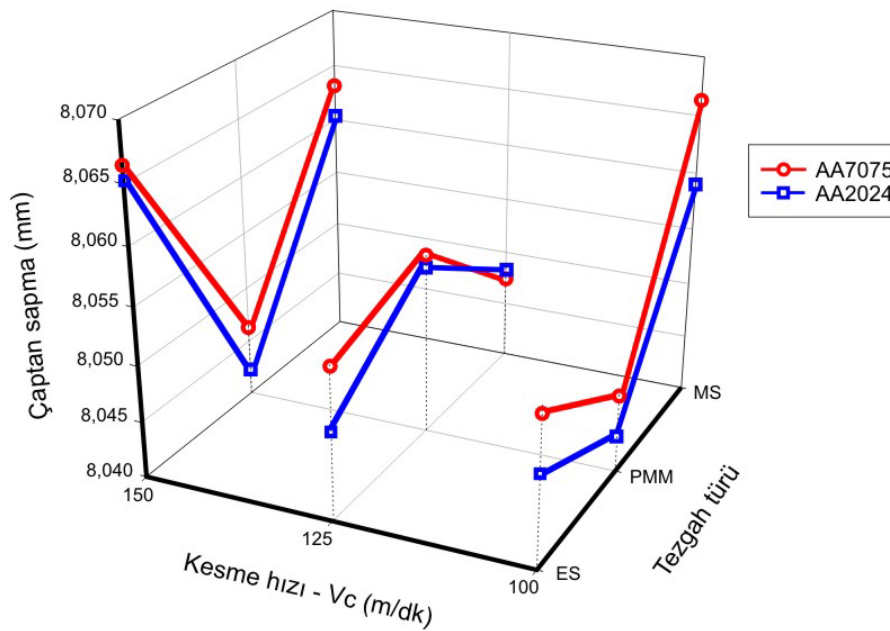
Her iki grafikte de ilerleme hızının artışı delik çaplarındaki sapmalarda artışa sebep olduğu söylenebilir. Ortalama delik çap ölçüsü ve bu çaplardaki sapmanın ilerleme hızına göre artışı açısından en düşük değerlerin PMM tezgahında ölçüldüğü, bu tezgahı sırasıyla ES ve MS tezgahlarının izlediği tesbit edilmiştir.

Kesme hızı (V_c), ilerleme (f) ve tezgah türüne göre delik çaplarındaki değişim

Yapılan ek deneylerde AA7075 ve AA2024 alüminyum alaşımlarının delinmesinde kesme hızı, ilerleme ve tezgah türünün delik çapı ölçülerine etkisi Şekil 7.19'daki grafiklerde verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 7.19. Delik çaplarındaki sapmanın ilerleme (a) ve kesme hızı (b) olmak üzere kesme parametreleri ile takım tezgahlarına göre değişimi

Grafiklere bakıldığında en yüksek çaptan sapma değerlerinin Mori Seiki (MS) tezgahında ölçüldüğü görülmektedir. MS tezgahına göre ES tezgahındaki çaptan sapma değerlerinin % 2-4; PMM tezgahındaki çaptan sapma değerlerinin ise % 14-16 düşük olduğu tesbit edilmiştir. Şekil 7.19 (a) grafiğinde ilerlemenin çaptan sapma miktarlarına etkisi incelendiğinde, ilerlemedeki % 100 artışın çaptan sapmalarda yaklaşık % 30 artışa sebep olduğu söylenebilir. Kesme hızının delik çapındaki sapmalar üzerindeki etkisinin ise ilerlemenin etkisinden daha kararsız olduğu, Şekil 7.19 (b) grafiği incelendiğinde görülmektedir. Kesme hızlarındaki % 50 artışın çaptan sapma değerlerinde ortalama % 5-10 civarında artışa neden olduğu söylenebilir. Bu artış özellikle ES tezgahında daha net görülmektedir. Diğer tezgahlarda az da olsa çaptan sapmalarda düşüşler de gözlenmiştir. Malzeme türünün çaptan sapmalar üzerindeki etkisine bakıldığında ise hemen hemen tüm şartlarda AA2024 alaşımında ölçülen sapma değerlerinin AA7075 alaşımında ölçülen değerlerden fazla olduğu grafiklerde açık bir şekilde görülmektedir.

Delik çaplarındaki sapmalar için varyans analizi

Çizelge 7.13’de kalite karakteristiği olarak belirlenen delik çaplarındaki sapmalara, ilerleme, kesme hızı, tezgah türü ve malzeme türü gibi işlem parametrelerinin etki derecelerine ait sonuçlar toplu olarak verilmiştir. Elde edilen ANOVA sonuçlarına bakıldığında malzeme türü, takım tezgahı, kesme hızı ve ilerleme olmak üzere işlem parametrelerine ait P değerleri α (0,05) değerinden küçük çıktığı için bu işlem parametreleri, çaptan sapmalar üzerinde anlamlı bir etkiye sahiptir. YD sütununda işlem parametrelerinin çaptan sapmalar üzerindeki etki derecelerine bakıldığında; % 53,4 ile ilerlemenin, % 25,3 ile tezgah türünün, % 10,6 kesme hızının ve % 4,9 ile malzeme türünün sonuçları etkilediği görülmektedir.

Çizelge 7.13. AA7075 ve AA2024 için çaptan sapmalar ile ilgili ANOVA sonuçları

Kaynak	SD	KT'	KT	KO	F	P	YD(%)
Malzeme türü (m)	1	0,0000534	0,0000534	0,0000534	8,39	0,016	4,9
Tezgah türü (T_g)	2	0,0002775	0,0002775	0,0001387	21,79	0,000	25,3
Kesme hızı (V_c)	2	0,0001160	0,0001160	0,0000580	9,11	0,006	10,6
İlerleme (f)	2	0,0005855	0,0005855	0,0002927	45,98	0,000	53,4
Hata	10	0,0000637	0,0000637	0,0000064	-	-	5,8
Toplam	17	0,0010961	-	-	-	-	100,0

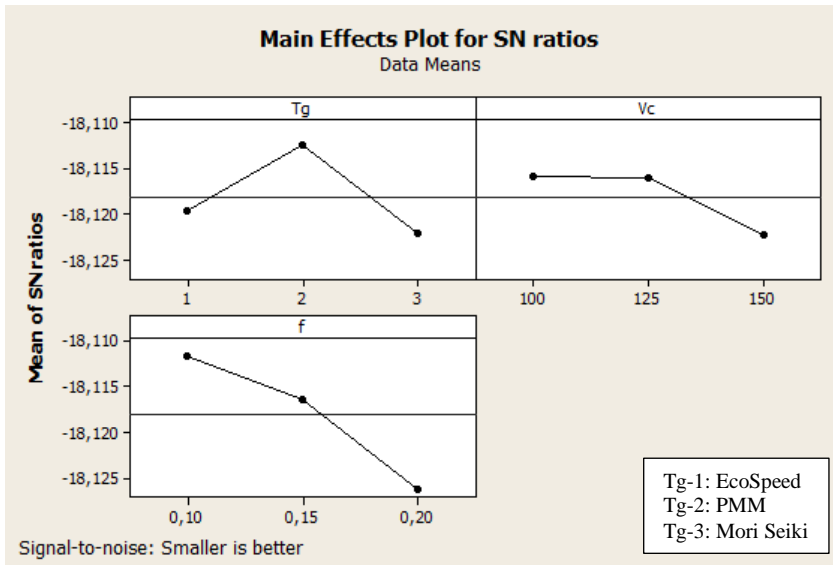
SD : Serbeslik derecesi,
 KO : Kareler ortalaması,
 P : Anlamlılık değeri

KT' : Saf kareler toplamı,
 YD : Yüzde dağılım

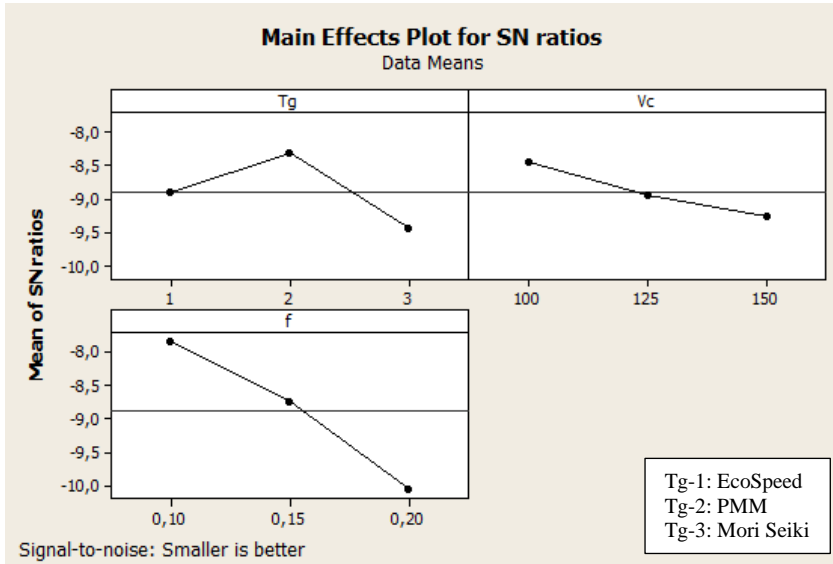
KT : Kareler toplamı,
 F: Test istatistiği,

Delik çaplarındaki sapmalar için Sinyal/Gürültü (S/N) analizi

AA7075 ve AA2024 alüminyum alaşımlarının delinmesinde optimum çaptan sapma değerleriyle ilgili “en küçük en iyidir” yaklaşımına göre yapılan Taguchi Sinyal-Gürültü (S/N) analizinde; tezgah türünün ikinci seviyesi (A2), kesme hızının birinci seviyesi (B1) ve ilerlemenin birinci seviyesi (C1) optimum şartlar olarak belirlenmiştir.



(a)



(b)

Şekil 7.20. AA7075 (a) ve AA2024 (b) alüminyum alaşımları için çaptan sapma sonuçlarına göre kontrol faktörlerinin S/N oranları

S/N oranlarına göre optimum seviyeler Şekil 7.20'deki grafiklerde açık bir şekilde görülmektedir. Buna göre her iki malzeme için de en düşük çaptan sapmalar ilerlemenin ve kesme hızının en düşük seviyelerinde, PMM tezgahı kullanımında gözlenmiştir. Çizelge 7.14'de AA7075 ve AA2024 alüminyum alaşımları için elde edilen optimum seviyeler verilmiştir.

Çizelge 7.14. Delik çaplarındaki sapmalar için kontrol faktörlerinin optimum seviyeleri

Kontrol faktörleri	Simge	Birim	Optimum seviye	Optimum değer
Tezgah türü (A)	T_g		2	PMM
Kesme hızı (B)	V_c	m/dk	1	100
İlerleme (C)	f	mm/dev	1	0,10

7.3. Dairesellikten Sapmanın (Ovalite) Değerlendirilmesi

7.3.1. Uygulanan soğutma yöntemine göre dairesellikten sapmanın değerlendirilmesi

Farklı soğutma yöntemlerinin, kesme parametrelerinin ve iş parçası malzemelerinin dairesellikten saptmaya (ovalite) etkisi deneyler sonunda elde edilen sonuçlar üzerinden incelenmiştir. Elde edilen dairesellikten sapma sonuçlarına bakıldığında verilerin mikron seviyesinde olduğu görülmektedir (Çizelge 7.15).

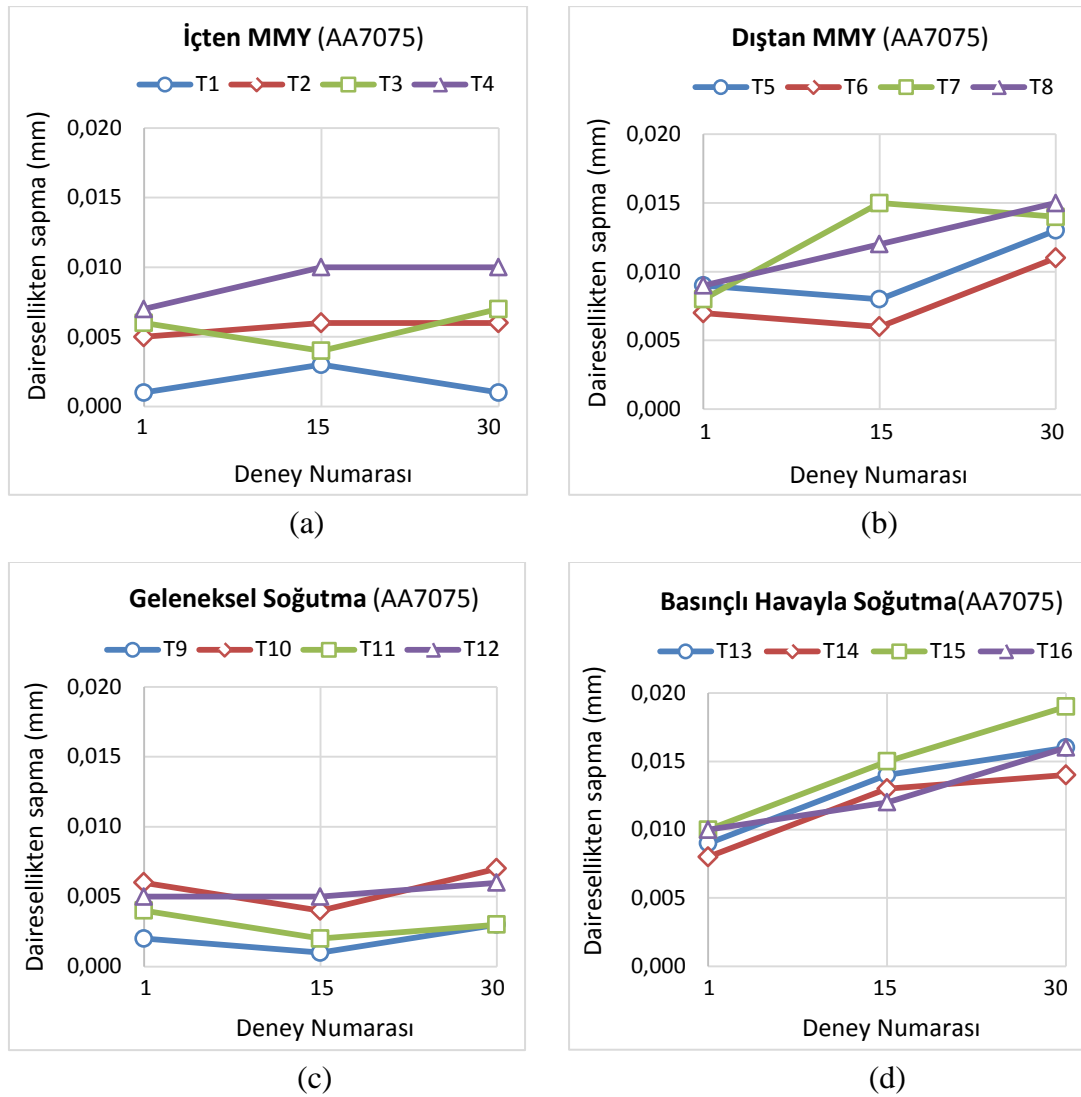
Çizelge 7.15. AA7075 ve AA2024 için dairesellikten sapmalar ve S/N oranları

AA7075 Deney No	Değişkenler	Dairesellikten sapma (mm)	S/N Oranı (dB)	AA2024 Deney No	Değişkenler	Dairesellikten sapma (mm)	S/N Oranı (dB)
T1	A1B1C1	0,002	55,563	T26	A1B1C1	0,003	50,458
T2	A1B2C2	0,006	44,933	T27	A1B2C2	0,005	46,021
T3	A1B3C3	0,006	44,933	T28	A1B3C3	0,007	43,098
T4	A1B4C4	0,009	40,915	T29	A1B4C4	0,009	40,599
T5	A2B1C2	0,010	40,000	T30	A2B1C2	0,008	41,938
T6	A2B2C1	0,008	41,938	T31	A2B2C1	0,008	41,938
T7	A2B3C4	0,012	38,178	T32	A2B3C4	0,011	38,913
T8	A2B4C3	0,012	38,416	T33	A2B4C3	0,012	38,178
T9	A3B1C3	0,005	46,021	T34	A3B1C3	0,002	52,641
T10	A3B2C4	0,005	46,022	T35	A3B2C4	0,005	46,021
T11	A3B3C1	0,003	50,458	T36	A3B3C1	0,003	50,458
T12	A3B4C2	0,005	45,460	T37	A3B4C2	0,005	46,620
T13	A4B1C4	0,013	37,721	T38	A4B1C4	0,013	37,721
T14	A4B2C3	0,012	38,661	T39	A4B2C3	0,013	37,721
T15	A4B3C2	0,015	36,673	T40	A4B3C2	0,014	37,077
T16	A4B4C1	0,013	37,947	T41	A4B4C1	0,013	37,501

Çizelge 7.15’de kesme şartlarına ve malzeme türüne göre delik ovalitelerinde büyük değişiklik olmamakla birlikte, değerler 0,002-0,015 mm arasında değiştiği görülmektedir.

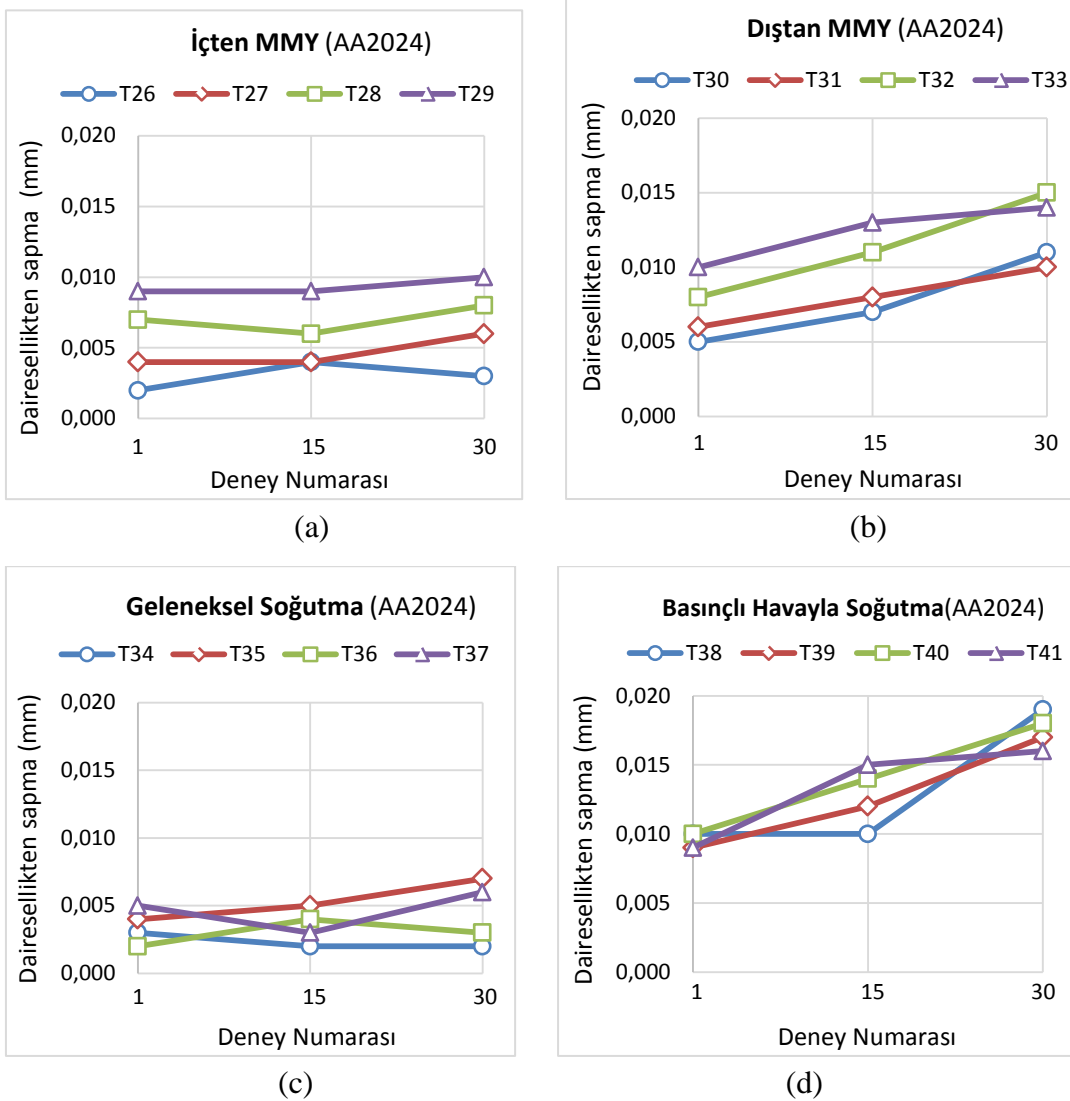
Aynı şartlarda delme tekrarına göre dairesellikten sapma değerlerindeki değişim

Farklı her kesme şartı için yapılan 30 delik delme tekrarında deliklerin 1., 15. ve 30. olmak üzere aynı takım için ilk, orta ve son seviyedeki dairesellikten sapma değerleri ölçülmüştür. Farklı soğutma yöntemi, farklı kesme hızı ve farklı ilerlemeleri ihtiva eden 16 farklı kesmede AA7075 alüminyum alaşımında yapılan delik delme tekrarları için ölçülen dairesellikten sapma sonuçları Şekil 7.21’deki grafiklerde verilmiştir.



Şekil 7.21. AA7075 alaşımını her şart için 30 delme tekrarında elde edilen dairesellikten sapma değerlerinin ilk delikten son deliğe değişimi (devam)

Grafiklere bakıldığında içten MMY uygulaması (a) ve geleneksel soğutma yönteminde (c) ilk delikten son deliğe dairesellikten sapma değerleri diğer iki soğutma yöntemine kıyasla daha düşük olduğu görülmektedir. İçten MMY uygulamasında dairesellikten sapma değerleri 0,001-0,010 mm aralığında değişirken, geleneksel soğutma yönteminde ölçülen dairesellikten sapma değerleri 0,002-0,007 mm aralığındadır. İçten MMY ve geleneksel soğutma yöntemi olmak üzere her iki yöntemde ilk delikten son deliğe sapmalardaki artış miktarının % 20 civarında olduğu gözlenmektedir. Dairesellikten sapma değerlerinin 0,006-0,015 mm arasında değiştiği dıştan MMY uygulamasında (b) ise bu artışın yaklaşık % 60 olduğu görülmektedir. Basıncılı havayla soğutmada ise ilk delikten son deliğe yaklaşık % 75 artış gösteren dairesellikten sapma değerleri 0,008-0,019 mm aralığına çıktığı gözlenmiştir.



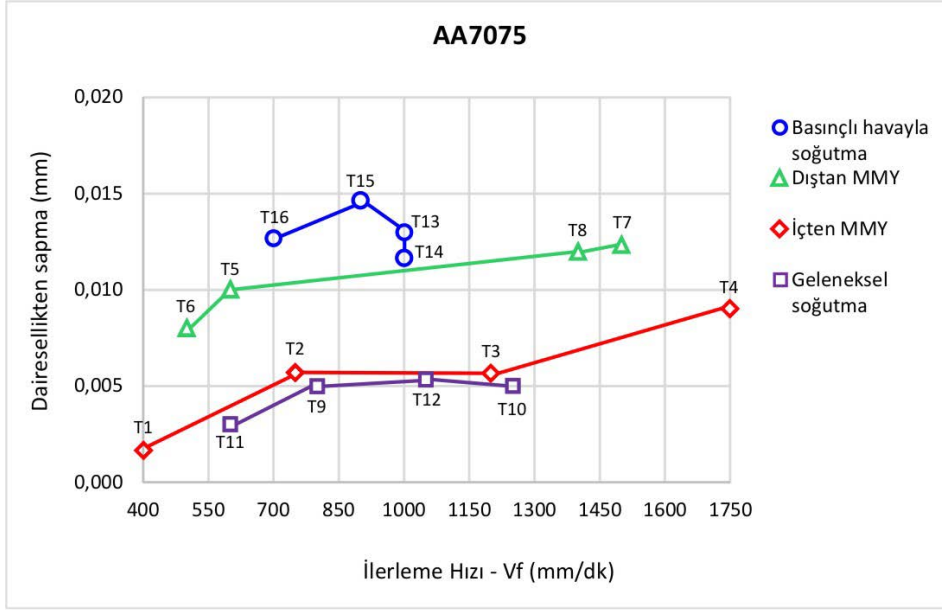
Şekil 7.22. AA2024 alaşımını her şart için 30 delme tekrarında elde edilen dairesellikten sapma değerlerinin ilk delikten son deliğe değişimi

Şekil 7.22'deki grafiklerde AA2024 alüminyum alaşımında farklı soğutma yöntemi ve farklı kesme parametreleriyle 16 farklı kesmede yapılan tekrarlar için ölçülen dairesellikten sapma sonuçları verilmiştir. Şekil 7.22 (a) ve (c) grafiğinde sırasıyla içten MMY uygulaması ve geleneksel soğutma şartlarında ilk delikten son deliğe dairesellikten sapma değerlerindeki artışın % 30 civarında olduğu gözlenmektedir. İçten MMY uygulamasında dairesellikten sapma verileri 0,002-0,010 mm arasındayken, geleneksel soğutma uygulamasında 0,002-0,007 mm arasındadır. Dıştan MMY uygulamasında (b) ise bu veriler 0,005-0,015 mm aralığına yükseldiği görülmektedir. Bu soğutma şartlarında ilk delikten son deliğe dairesellikten sapma değerlerindeki artışın % 78'lere ulaştığı gözlenmektedir. Basınçlı havayla soğutma uygulamasında ise ilk delikten son deliğe artış miktarı dıştan MMY uygulamasındaki verilere yakın (% 83) olsa da, dairesellikten sapma değer aralığının 0,010-0,020 mm'ye çıktığı görülmektedir.

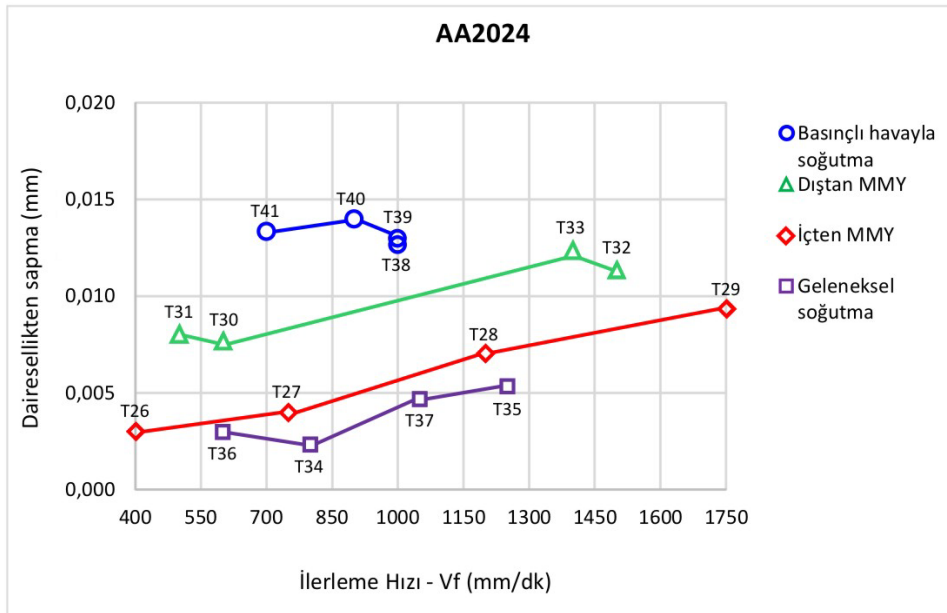
Her iki alüminyum alaşımının delinmesinde soğutma şartlarının ilk delikten son deliğe dairesellikten sapma değerlerinin artışına etkisine bakıldığında, geleneksel soğutma ve içten MMY uygulamasında artışların düşük olduğu (% 20-30) gözlenirken, dıştan MMY uygulaması ve basınçlı havayla soğutma uygulamasında daha yüksek artışların olduğu (% 60-80) gözlenmiştir.

İlerleme hızı (V_f) ve soğutma şartlarına göre dairesellikten sapma değerlerindeki değişim

Deneylede kesme hızı (V_c) ve ilerleme (f) birbirinden bağımsız değerlendirilemediği için, dairesellikten sapma verileri bu iki parametreye göre hesaplanan ilerleme hızına (V_f) göre de değerlendirilmiştir. Taguchi L16 deney tasarımına bağlı olarak hesaplanan ve daha önce Çizelge 7.2'de verilmiş olan bu ilerleme hızlarının dairesellikten sapmaya olan etkisi ise Şekil 7.23'deki grafiklerde verilmiştir. Şekil 7.23'de AA 7075 (a) ve AA2024 (b) alüminyum alaşımlarının delinmesinde elde edilen sonuçların verildiği bu grafiklerde görülen dairesellikten sapma değerleri, her kesme şartı için yapılan tekrar deneylerinden elde edilen sonuçların aritmetik ortalaması alınarak hesaplanan ortalama dairesellikten sapma değerleridir. Grafiklere bakıldığında genellikle ilerleme hızındaki artışın dairesellikten sapma değerlerini artırdığı söylenebilir. Basınçlı havayla soğutma şartlarında ise her iki alüminyum alaşımında yüksek ilerleme hızlarında dairesellikten sapma değerlerinde düşüşler gözlenmiştir.



(a)



(b)

Şekil 7.23. AA7075 (a) ve AA2024 (b) alaşımlarının delinmesinde ilerleme hızına bağlı olarak dairesellikten sapma değerlerindeki değişim

Dairesellikten sapma verileri mikron derecesinde olduğu için en ufak bir dış etki veriler üzerinde beklenmeyen sonuçlar doğurabilmektedir. Her iki alaşımda aynı soğutma şartında gözlenen beklenmeyen bu sonuç dış etkenlerden kaynaklanmış olabileceği gibi; basınçlı havanın kullanıldığı bu şartlarda kesme bölgesinde oluşan ısı kesmeyi kolaylaştırarak dairesellikten sapma değerlerini azaltmış da olabilir.

AA7075 ve AA2024 alüminyum alaşımlarıyla ilgili ortalama dairesellikten sapma değerlerinin verildiği Şekil 7.23 (a) ve (b) grafiklerinin her ikisinde de en düşük sonuçlar geleneksel soğutma şartlarında gözlenirken, bu soğutma şartını sırasıyla içten MMY uygulaması, dıştan MMY uygulaması ve basınçlı havayla soğutma şartı takip etmektedir.

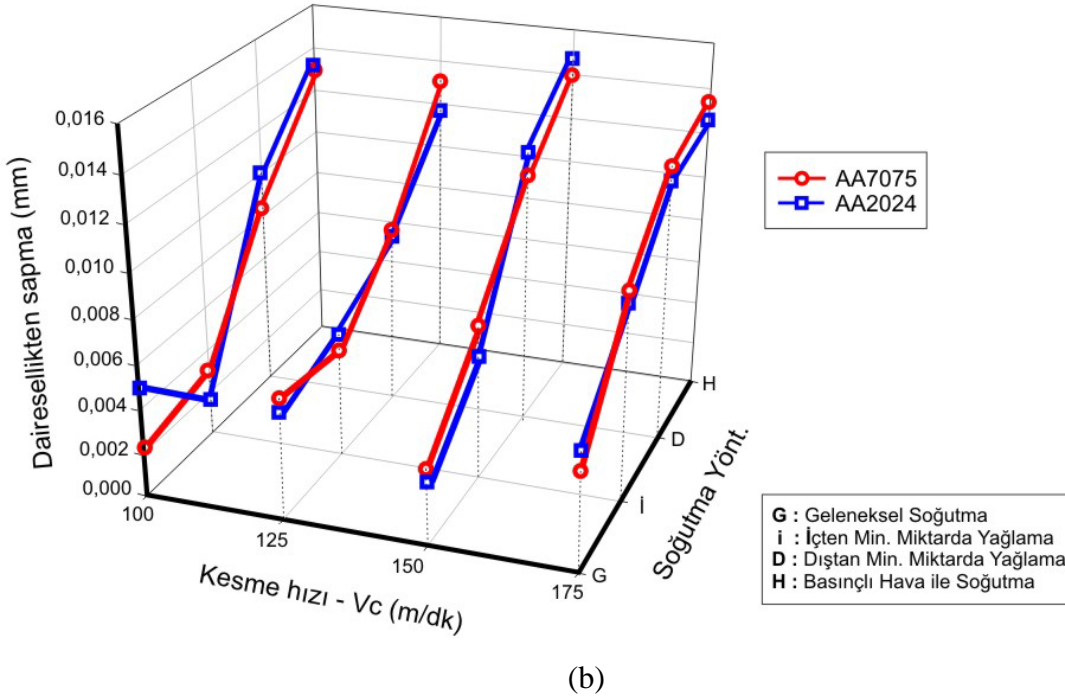
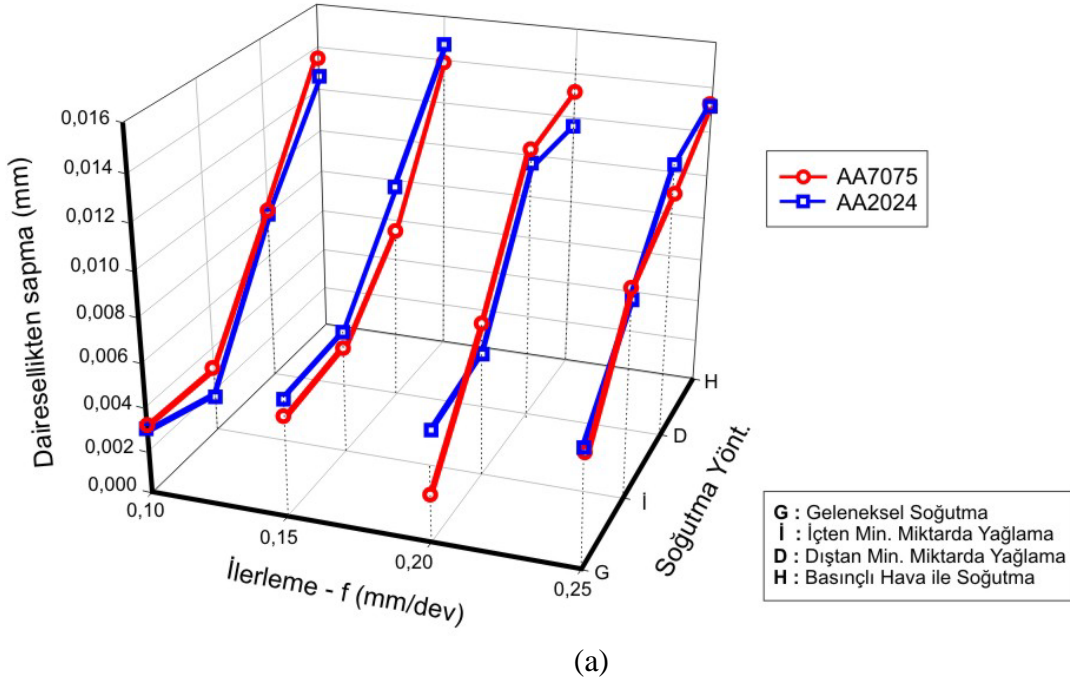
Kesme hızı (V_c), ilerleme (f) ve soğutma şartlarına göre dairesellikten sapma değerlerindeki değişim

Şekil 7.24'deki grafiklerde kesme hızı, ilerleme, soğutma şartları ve iş parçası malzemesinin dairesellikten sapmaya etkisi verilmiştir. Grafiklere bakıldığında dairesellikten sapma değerlerini en çok soğutma yöntemlerinin etkilediği açık bir şekilde görülmektedir. En yüksek dairesellikten sapma değerleri basınçlı havayla soğutma yönteminde görülmektedir. Basınçlı havayla soğutma yöntemiyle mukayese edildiğinde dairesellikten sapma değerlerinde dıştan MMY uygulamasında % 20-25, içten MMY uygulamasında % 55 ve geleneksel soğutma yönteminde % 60-70'lere varan düşüşler gözlenmektedir. Şekil 7.24. (a) grafiğinde ilerlemenin dairesellikten sapma değerleri üzerindeki etkisine bakıldığında ilerleme oranlarındaki artışın genellikle dairesellikten sapmalarda artışa neden olduğu söylenebilir. Soğutma şartlarına bağlı olarak bu artışın % 75-110 arasında değiştiği tesbit edilmiştir.

Şekil 7.24. (b) grafiğinde ise kesme hızının dairesellikten sapmalar üzerindeki etkisi verilmiştir. Grafiğe bakıldığında kesme hızındaki artışın da dairesellikten sapma değerlerinde genelde artışa neden olduğu söylenebilir. Uygulanan soğutma yöntemlerine bağlı olarak bu artışın % 20-100 arasında değiştiği belirlenmiştir. Yüksek kesme hızı (150-175 m/dk) ve ilerlemelerde (0,20-0,25 mm/dev) basınçlı havayla soğutma ve dıştan MMY uygulamasında elde edilen dairesellikten sapma sonuçlarının birbirine daha yakın olduğu görülmektedir. Benzer şekilde düşük kesme hızı (100-125 m/dk) ve ilerlemelerde (0,10-0,015 mm/dev) geleneksel soğutma ve içten MMY uygulamasında elde edilen sonuçların da birbirine yakın olduğu söylenebilir.

Her iki grafiğe bakıldığında kullanılan iş parçası malzemesinin dairesellikten sapma verilerine etkisi, yüzey kalitesi ve çaptan sapma sonuçlarına etkisiyle karşılaştırıldığında daha belirsiz olduğu söylenebilir. Deliğin daireselliğini etkileyen kesme hızı, ilerleme, kesici takım malzemesi ve geometrisi ve kesme sıvısı kullanımı istenilen nitelikte

daireselliğin elde edilebilmesi için delme işlemine etki eden parametrelerdir [105]. Genel olarak dairesellikten sapma değerlerinin delik çaplarındaki sapma ile paralellik gösterdiği görülmektedir. Delik çapının büyümesine neden olan olumsuz kesme şartlarının deliğin daireselliğinin de bozulmasına yol açtığı benzer çalışmalarda gözlenmiştir [104].



Şekil 7.24. Dairesellikten sapmanın ilerleme (a) ve kesme hızı (b) olmak üzere kesme parametreleri ve soğutma şartlarına göre değişimi

Dairesellikten sapmalar için varyans analizi

AA7075 ve AA2024 alüminyum alaşımlarının delinmesinde kalite karakteristiği olarak belirlenen dairesellikten sapmalara malzeme türü (m), soğutma yöntemi (S_y), kesme hızı (V_c) ve ilerleme (f) parametrelerinin etkisi Çizelge 7.16'da verilmiştir. Soğutma yöntemi, kesme hızı ve ilerleme olmak üzere işlem parametrelerine ait P değerleri α (0,05) değerinden küçük çıktığı, ANOVA sonuçlarının verildiği Çizelge 7.16'da görülmektedir. $P < \alpha$ olduğu için bu işlem parametreleri kalite karakteristiği olan dairesellikten sapma üzerinde anlamlı bir etkiye sahiptir.

Çizelge 7.16. AA7075 ve AA2024 için dairesellikten sapmalarla ilgili ANOVA sonuçları

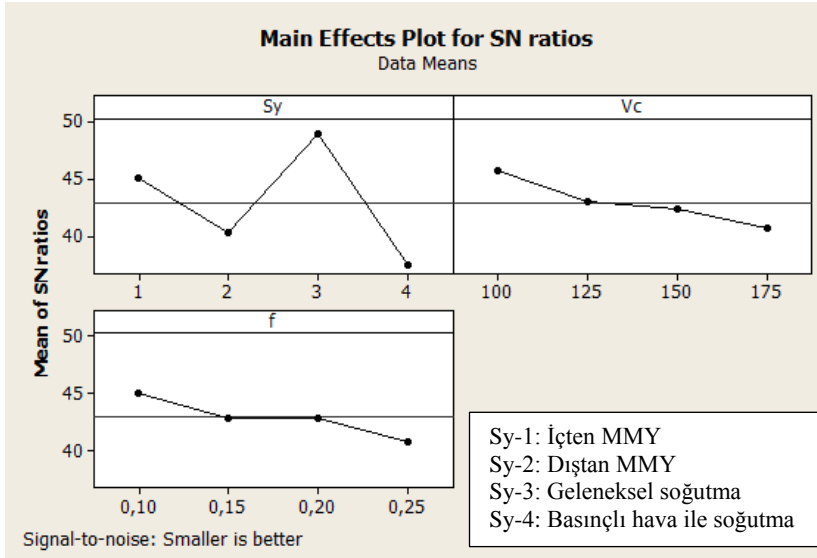
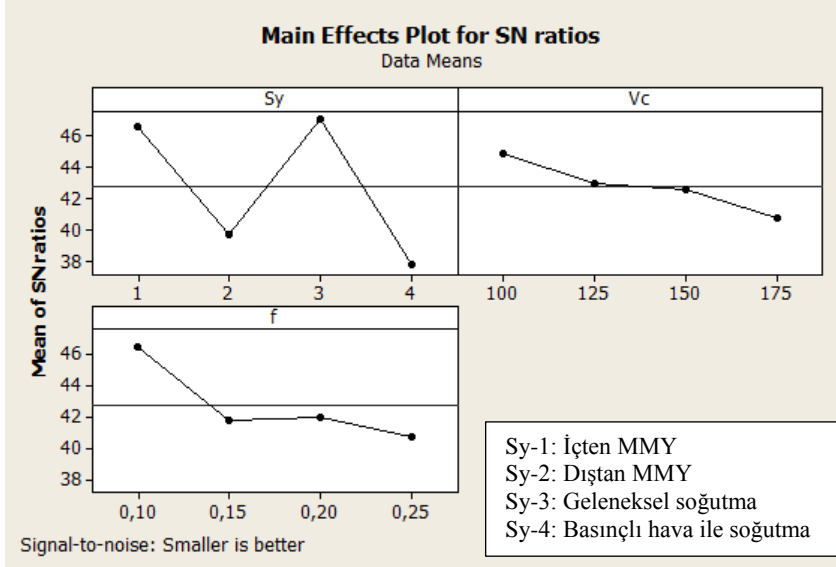
Kaynak	SD	KT'	KT	KO	F	P	YD(%)
Malzeme türü (m)	1	0,0000002	0,0000002	0,0000002	0,26	0,615	0,1
Soğutma Y. (S_y)	3	0,0004068	0,0004068	0,0001356	208,12	0,000	81,3
Kesme hızı (V_c)	3	0,0000381	0,0000381	0,0000127	19,50	0,000	7,6
İlerleme (f)	3	0,0000413	0,0000413	0,0000138	21,12	0,000	8,3
Hata	21	0,0000137	0,0000137	0,0000007	-	-	2,7
Toplam	31	0,0005001	-	-	-	-	100,00

SD : Serbeslik derecesi, KT' : Saf kareler toplamı, KT : Kareler toplamı,
 KO : Kareler ortalaması, YD : Yüzde dağılım F: Test istatistiği,
 P : Anlamlılık değeri

Malzeme türüne ait P değeri ise 0,615 ile hata oranı olan 0,05'den büyük çıkmıştır. Bu durumda malzeme türü parametresinin diğer işlem parametrelerine kıyasla dairesellikten sapma verileri üzerinde daha kararsız bir etkiye sahip olduğu söylenebilir. İşlem parametrelerinin kalite karakteristiği olan dairesellikten sapma sonuçları üzerindeki etki derecelerini görmek için YD sütununa bakıldığında; dairesellikten sapmayı % 81,3 ile en çok soğutma yönteminin etkilediği görülmektedir. Soğutma yöntemini sırasıyla % 8,3 ile ilerleme, % 7,6 ile kesme hızı ve % 0,1 ile malzeme faktörünün takip ettiği görülmektedir.

Dairesellikten sapmalar için sinyal/gürültü (S/N) analizi

AA 7075 ve AA2024 alüminyum alaşımlarının farklı kesme şartlarında delinmesi sonucunda elde edilen dairesellikten sapma verileri Taguchi Sinyal/Gürültü (S/N) testine tabi tutulmuştur. En küçük en iyidir yaklaşımına göre yapılan S/N testinde elde edilen oranlar daha önce Çizelge 7.15'de verilmiştir. Bu oranlara ilgili oluşturulan Şekil 7.25'deki grafiklerde en yüksek S/N oranları optimum şartları ifade etmektedir.



Şekil 7.25. AA7075 (a) ve AA2024 (b) alüminyum alaşımları için dairesellikten sapma sonuçlarına göre kontrol faktörlerinin S/N oranları

Grafiklere bakıldığında AA707 (a) ve AA2024 (b) alaşımlarının delinmesinde dairesellikten sapmalar basınçlı havayla soğutma uygulamasında en yüksek değerlere çıkarken, geleneksel soğutma uygulamasında en düşük sapma değerleri gözlenmektedir. Kesme hızının ve ilerlemenin artışıyla dairesellikten sapma değerlerin arttığı görülmektedir. AA7075 ve AA2024 alüminyum alaşımları için elde edilen optimum seviyeler Çizelge 7.17’de verilmiştir. Çizelgeye bakıldığında optimum seviyeler geleneksel soğutma şartlarında, kesme hızı ve ilerlemenin en düşük seviyeleri olarak belirlenmiştir.

Çizelge 7.17. Dairesellikten sapmalar için kontrol faktörlerinin optimum seviyeleri

Kontrol faktörleri	Simge	Birim	Optimum seviye	Optimum değer
Soğutma Yönt. (A)	S_y		3	G
Kesme hızı (B)	V_c	m/dk	1	100
İlerleme (C)	f	mm/dev	1	0,10

7.3.2. Kullanılan takım tezgahına göre dairesellikten sapmanın değerlendirilmesi

Deneyleerde soğutma yöntemleri için farklı tezgahlar kullanıldığından dolayı, bu farklı tezgahların da aynı şartlarda karşılaştırılabilmesi amacıyla ek deneyler yapılmıştır. Kuru kesme şartlarında yapılan ek deneylerde üç farklı takım tezgahı (EcoSpeed, PMM, MoriSeiki) ve malzeme faktörünün etkisini de inceleyebilmek için iki alüminyum alaşımı (AA7075 ve AA2024) kullanılarak deliklerin dairesellikten sapma değerleri açısından mukayese edilmiştir. Çizelge 7.18’de deneyler sonunda elde edilen ortalama dairesellikten sapma değerleri ve “en küçük en iyidir” yaklaşımına göre hesaplanan Sinyal/Gürültü (S/N) oranları toplu olarak verilmiştir.

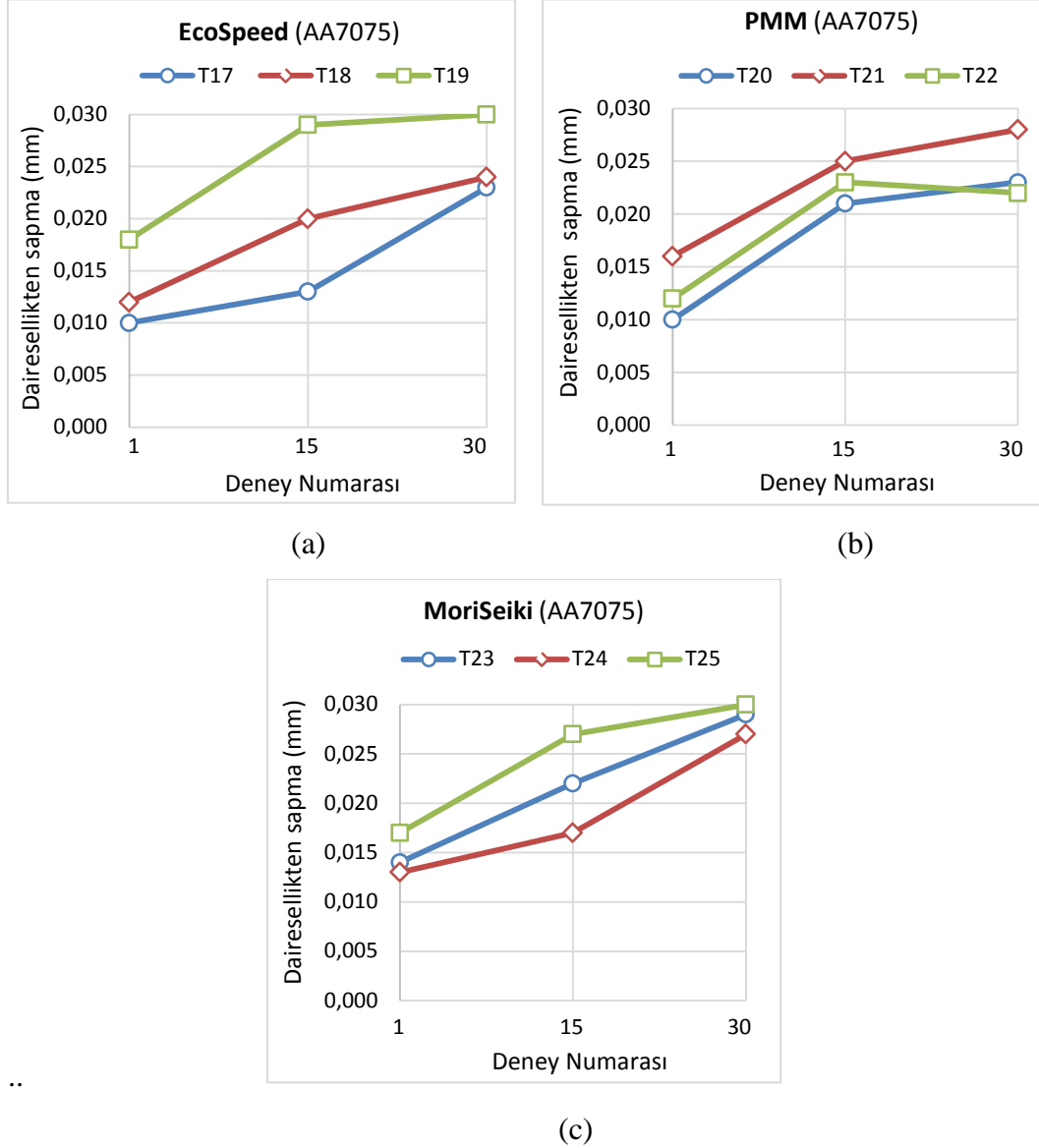
Çizelge 7.18. AA7075 ve AA2024 alaşımlarının delinmesinde elde edilen dairesellikten sapma değerleri ve S/N oranları

AA7075 Deney No	Değişkenler	Dairesellikten sapma (mm)	S/N Oranı (dB)	AA2024 Deney No	Değişkenler	Dairesellikten sapma (mm)	S/N Oranı (dB)
T17	A1B1C1	0,015	36,287	T42	A1B1C1	0,016	35,918
T18	A1B2C2	0,019	34,425	T43	A1B2C2	0,019	34,579
T19	A1B3C3	0,026	31,813	T44	A1B3C3	0,020	33,836
T20	A2B1C2	0,018	34,895	T45	A2B1C2	0,018	34,735
T21	A2B2C3	0,023	32,765	T46	A2B2C3	0,021	33,695
T22	A2B3C1	0,019	34,425	T47	A2B3C1	0,022	33,152
T23	A3B1C3	0,021	33,556	T48	A3B1C3	0,022	33,284
T24	A3B2C1	0,019	34,425	T49	A3B2C1	0,020	33,979
T25	A3B3C2	0,025	32,158	T50	A3B3C2	0,025	31,926

Aynı şartlarda delme tekrarına göre dairesellikten sapma değerlerindeki değişim

Ana deneylerde olduğu gibi ek deneylerde de her kesme şartında 30 delme tekrarı yapılmıştır. Her şart için 1., 15. ve 30. olmak üzere ilk orta ve son seviyedeki deliklerden ölçümler alınmıştır. Ölçülen üç deliğe ait dairesellikten sapma verilerinin aritmetik ortalaması alınarak hesaplanan ortalama dairesellikten sapma değerleri Çizelge 7.18’de verilmiştir. Şekil 7.26’deki grafikte AA7075 alaşımı için üç ayrı takım tezgahında kuru

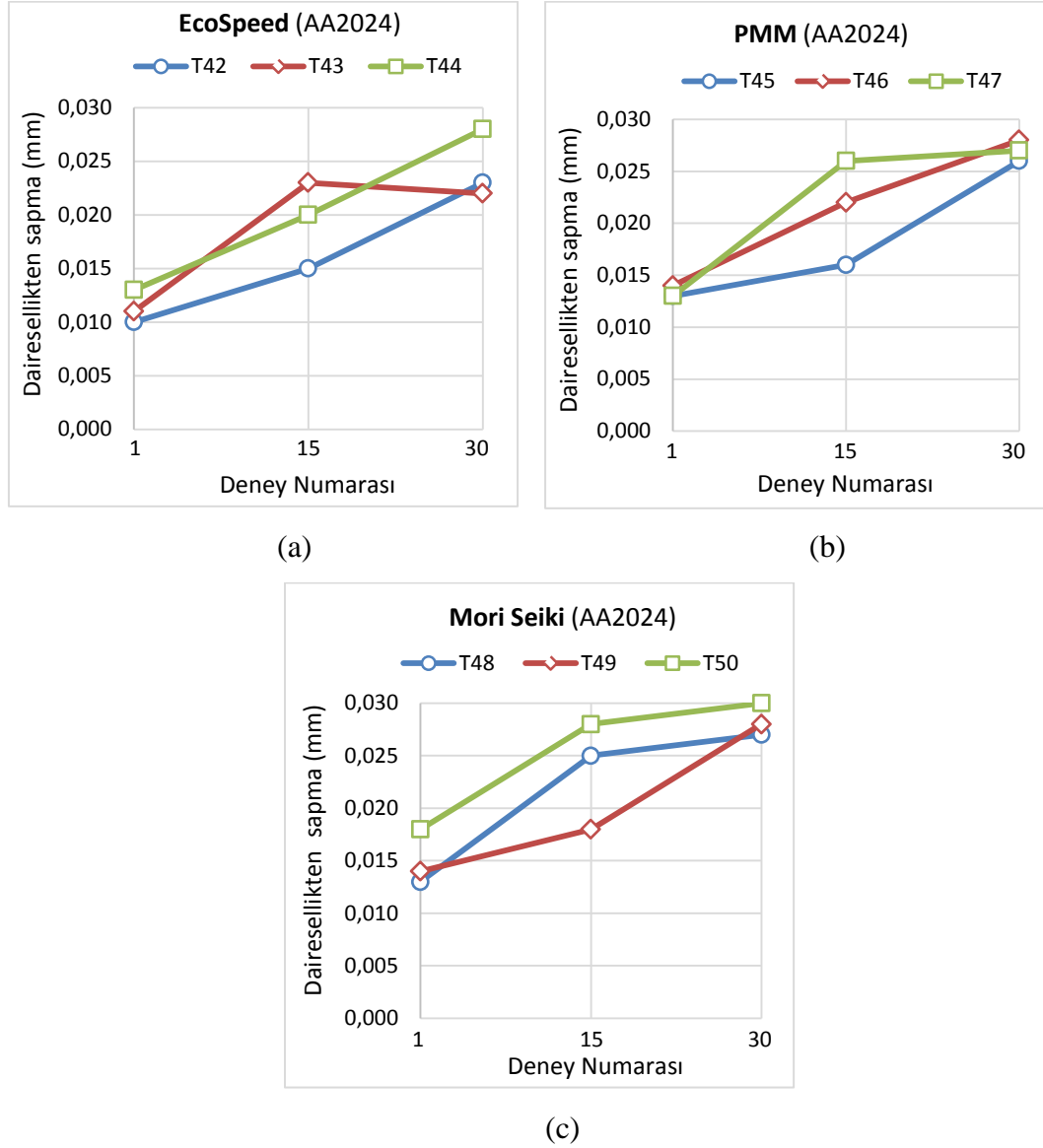
kesme şartlarında yapılan tekrar deneyleri sonunda ölçülen dairesellikten sapma miktarlarının ilk delikten son deliğe doğru değişimleri görülmektedir.



Şekil 7.26. AA7075 alaşımına farklı tezgahlarda yapılan delik delme tekrarına göre dairesellikten sapma değerlerinin ilk delikten son deliğe değişimi

Grafiklere bakıldığında her üç tezgahda da kuru kesme şartlarında 1. delikten 30. deliğe dairesellikten sapma değerlerinde % 95-100 civarında belirgin bir artış olduğu görülmektedir. İlk deliklerde 0,010-0,015 mm olan dairesellikten sapma değerlerinin son deliklerde 0,020-0,030 mm seviyelerine çıktığı görülmektedir. EcoSpeed (ES) ve Mori Seiki (MS) tezgahlarına kıyasla PMM tezgahındaki artış miktarının az oluşu, özellikle 15. delikten 30. deliğe geçişte (2. seviyeden 3. seviyeye) dairesellikten sapma değerlerindeki artış miktarının % 10 civarına gerilemesine bağlı olduğu söylenebilir. Şekil 7.27'de

AA2024 alüminyum alaşımı için bu üç tezgahta kuru kesme şartlarında yapılan delik delme testlerinde aynı kesme şartlarında delme tekrarına göre ilk delikten son deliğe deliklerdeki dairesellikten sapma değerleri verilmiştir.



Şekil 7.27. AA2024 alaşımına farklı tezgahlarda yapılan delik delme tekrarına göre dairesellikten sapma değerlerinin ilk delikten son deliğe değişimi

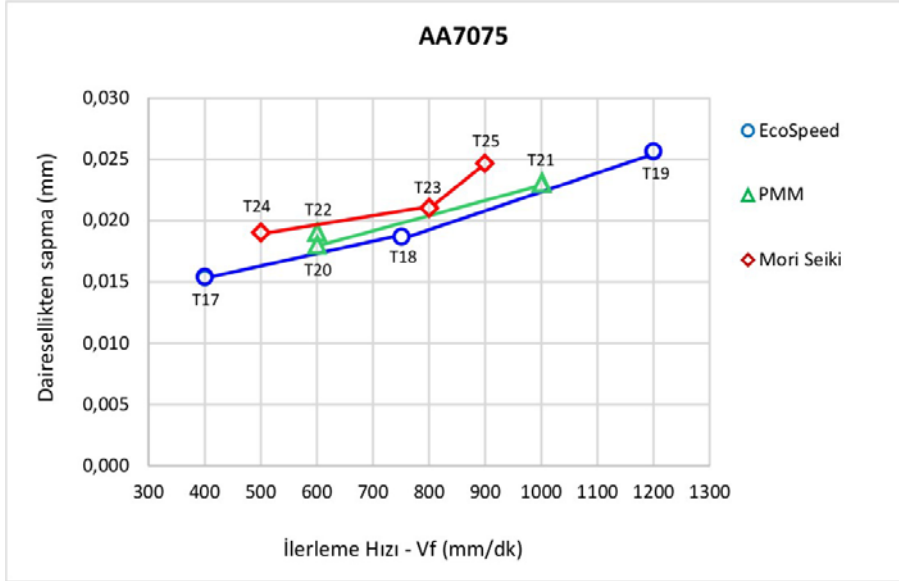
Şekil 7.27’de ES (a), PMM (b) ve MS (c) tezgahlarında yapılan deneylerden elde edilen dairesellikten sapma verilerine bakıldığında her üç tezgahta da 1. delikten 30 deliğe verilerde belirgin bir artış olduğu görölmektedir. Bu artış MS tezgahında % 90, PMM tezgahında % 100 ve ES tezgahında % 115 civarında olduğu gözlenmiştir. AA2024 alaşımındaki artış miktarı AA7075 alaşımına kıyasla daha yüksek çıkmıştır. Ayrıca AA7075 alaşımında en düşük dairesellikten sapma değerleri PMM tezgahında

ölçülmüşken, AA2024 aşımında PMM tezgahına yakın olmakla birlikte en düşük değerler MS tezgahında gözlenmektedir. Yapılan tekrar deneylerinde ilk delikten son deliğe dairesellikten sapmalardaki artışa etkileri açısından soğutma yöntemi ile tezgah faktörü mukayese edildiğinde, tezgah faktörünün çok daha düşük seviyelerde kaldığı görülmektedir. Tezgah faktöründe % 5-10 arasında kalan sapmalardaki artış farkları, soğutma yönteminde % 60'ın üzerine çıktığı gözlenmektedir. İlk delikten son deliğe dairesellikten sapmalardaki artışlar bazında, her iki aşımdan elde edilen sapmalardaki artışların mukayesesi sonunda malzeme faktörünün belirleyici rol oynamadığı görülmüştür.

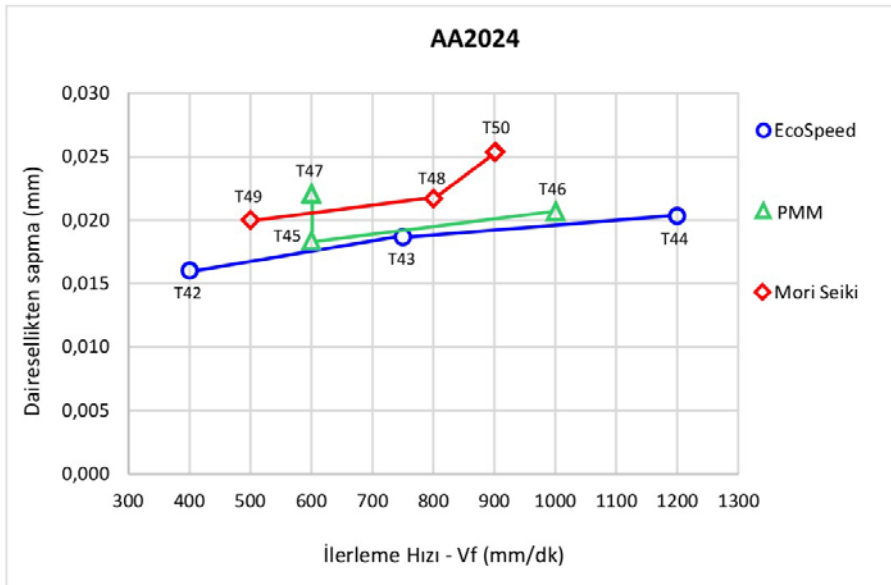
İlerleme hızı (V_f) ve tezgah türüne göre dairesellikten sapma değerlerinin değişimi

Ek deneyler için yapılan L9 deney tasarımına göre hesaplanan ve daha önce Çizelge 7.6'da verilmiş olan ilerleme hızı (V_f) değerlerine göre de dairesellikten sapma sonuçları değerlendirilmiştir. Kullanılan dairesellikten sapma verileri her şart için 30 delik tekrarı sonucunda ölçülen sapma verilerinin aritmetik ortalamasıdır. Şekil 7.28'deki grafiklerde AA7075 (a) ve AA2024 (b) için kuru kesme şartlarında üç takım tezgahında yapılan deneyler sonunda ölçülen dairesellikten sapma değerleri verilmiştir.

Grafiklerde ilerleme hızındaki artışın dairesellikten sapma sonuçlarında artışa neden olduğu görülmektedir. PMM tezgahında ilerleme hızının aynı olduğu (T20 ve T22; T45 ve T47) şartlarında dairesellikten sapma verilerinin yakın değerlerde olduğu gözlenmektedir. Az da olsa gözlenen fark ise o şartlardaki ilerleme hızını oluşturan kesme hızı ve ilerleme kombinasyonu ile ilgilidir. Aynı ilerleme hızında dairesellikten sapma verilerin daha düşük olduğu şartlar, ilerlemenin düşük ve kesme hızının yüksek olduğu şartlar olduğu görülmektedir (Çizelge 7.6). Yüzey pürüzlüğü ve çaptan sapma sonuçlarında en düşük sonuçlar PMM tezgahında gözlenirken, dairesellikten sapma sonuçlarında her iki grafikte de en düşük değerlerin (PMM tezgahına yakın olmakla birlikte) ES tezgahında, en yüksek değerlerin ise MS tezgahında ölçüldüğü görülmektedir.



(a)

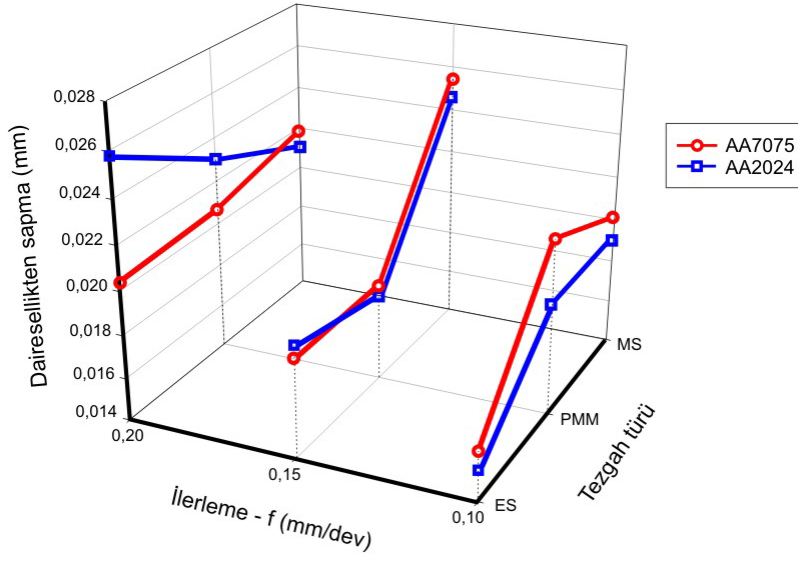


(b)

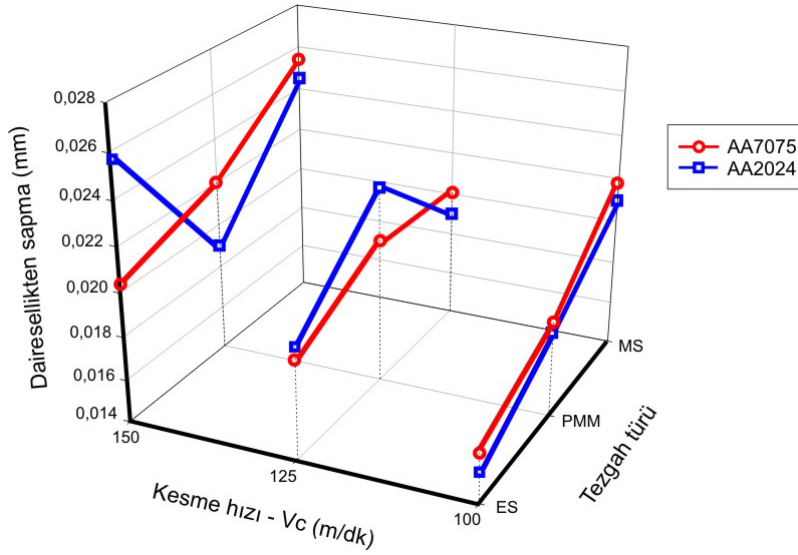
Şekil 7.28. AA7075 (a) ve AA2024 (b) alaşımlarının delinmesinde ilerleme hızına bağlı olarak dairesel sapma değerlerindeki değişim

Kesme hızı (V_c), ilerleme (f) ve tezgah türüne göre dairesellikten sapmalardaki değişim

Yapılan ek deneylerde ölçülen dairesellikten sapma değerleri Şekil 7.29'daki ilerleme (a) ve kesme hızına (b) göre, takım türü etkisinin de gösterildiği üç boyutlu grafiklerde değerlendirilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 7.29. Dairesellikten sapmanın ilerleme (a) ve kesme hızı (b) olmak üzere kesme parametreleri ile takım tezgahlarına göre değişimi

Şekil 7.29 (a) grafiğinde ilerlemenin dairesellikten sapma değerlerine etkisi incelendiğinde, ilerlemedeki % 100 artışın dairesellikten sapmalarda % 30-35 civarında artışa sebep olduğu söylenebilir. Şekil 7.29 (b) grafiği incelendiğinde kesme hızlarındaki % 50 artışın dairesellikten sapma değerlerinde ortalama % 10-20 civarında artışa neden olduğu söylenebilir.

Grafiklere bakıldığında en yüksek dairesellikten sapma değerlerinin Mori Seiki (MS) tezgahında ölçüldüğü görülmektedir. MS tezgahına kıyasla PMM tezgahındaki

dairesellikten sapma değerlerinin % 8-9; ES tezgahındaki dairesellikten sapma değerlerinin ise % 10-18 düşük olduğu görülmektedir. Malzeme türünün dairesellikten sapmalar üzerindeki etkisinin ise kesme parametreleri ve takım tezgahlarının etkisi kadar belirgin olmadığı görülmektedir.

Dairesellikten sapmalar için varyans analizi

Çizelge 7.19'da, ek deneylerde ölçülen dairesellikten sapma değerleri için yapılan varyans analizinde kullanılan takım tezgahları, iş parçası malzemesi, kesme hızı ve ilerleme olmak üzere işlem parametrelerinin kalite karakteristiği olan dairesellikten sapma sonuçlarına etki dereceleri irdelenmiştir.

Çizelge 7.19. AA7075 ve AA2024 için dairesellikten sapmalar ile ilgili ANOVA sonuçları

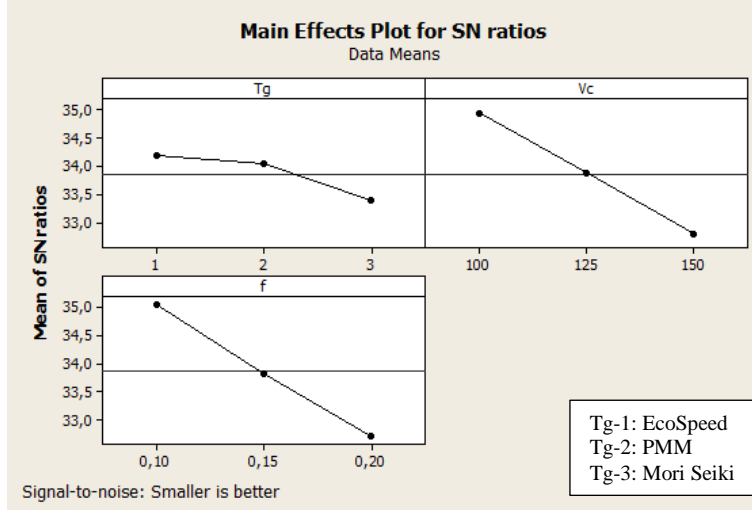
Kaynak	SD	KT'	KT	KO	F	P	YD(%)
Malzeme türü (m)	1	0,0000002	0,0000002	0,0000002	0,06	0,805	0,32
Tezgah türü (T _g)	2	0,0000238	0,0000238	0,0000119	4,94	0,032	18,80
Kesme hızı (V _c)	2	0,0000605	0,0000605	0,0000302	12,57	0,002	47,71
İlerleme (f)	2	0,0000373	0,0000373	0,0000186	7,74	0,009	29,38
Hata	10	0,0000241	0,0000241	0,0000024	-	-	3,79
Toplam	17	0,0001457	-	-	-	-	100,00
SD : Serbeslik derecesi, KT' : Saf kareler toplamı, KT : Kareler toplamı, KO : Kareler ortalaması, YD : Yüzde dağılım F: Test istatistiği, P : Anlamlılık değeri							

ANOVA sonuçlarına bakıldığında tezgah türü (T_g), kesme hızı (V_c) ve ilerleme (f) parametrelerinin dairesellikten sapmalar üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olduğu söylenebilir. Dairesellikten sapma sonuçlarını % 47,71 ile en çok kesme hızının etkilediği YD sütununda görülmektedir. Kesme hızını sırasıyla % 29,38 ile ilerlemenin ve % 18,80 ile tezgah türünün takip ettiği gözlenmektedir. Malzeme türüne ait P değerinin, 0,805 ile hata oranı olan 0,05'den büyük çıkmasına bağlı olarak malzeme türünün (m) diğer işlem parametrelerine göre daha kararsız etkiye sahip olduğu söylenebilir.

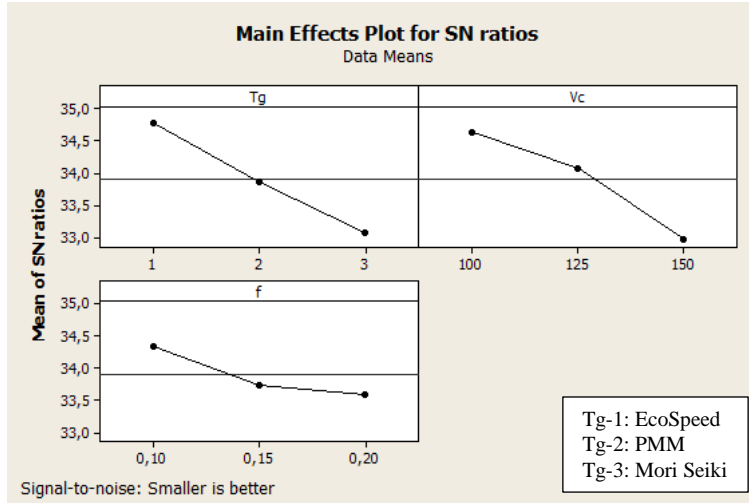
Dairesellikten sapmalar için sinyal/gürültü (S/N) analizi

Optimum işlem parametrelerinin belirlenebilmesi amacıyla dairesellikten sapma sonuçları Taguchi Sinyal/Gürültü (S/N) testine tabi tutulmuştur. En küçük en iyidir yaklaşımına göre

yapılan S/N testlerinde, en küçük dairesellikten sapma değerlerinin elde edildiği en yüksek sinyal gürültü oranları Şekil 7.30 (a) ve (b)'deki grafiklerde görülmektedir.



(a)



(b)

Şekil 7.30. AA7075 (a) ve AA2024 (b) alüminyum alaşımları için dairesellikten sapma sonuçlarına göre kontrol faktörlerinin S/N oranları

Grafiklere bakıldığında EcoSpeed (1: ES) tezgahında, kesme hızı ve ilerlemelerin minimum değerleri (100m/dk ve 0,10mm/dev) optimum şartlar olarak görülmektedir. AA7075 ve AA2024 alüminyum alaşımları için elde edilen bu optimum seviyeler Çizelge 7.20'de verilmiştir. Çizelgeye bakıldığında optimum seviyeler tezgah türünün birinci seviyesi (A1), kesme hızının birinci seviyesi (B1) ve ilerlemenin birinci seviyesi (C1) olduğu görülmektedir.

Çizelge 7.20. Dairesellikten sapmalar için kontrol faktörlerinin optimum seviyeleri

Kontrol faktörleri	Simge	Birim	Optimum seviye	Optimum değer
Tezgah türü (A)	T_g		1	ES
Kesme hızı (B)	V_c	m/dk	1	100
İlerleme (C)	f	mm/dev	1	0,10

7.4. Silindiriklikten Sapmanın (Eksenel Kaçıklık) Değerlendirilmesi

7.4.1. Uygulanan soğutma yöntemine göre silindiriklikten sapmanın değerlendirilmesi

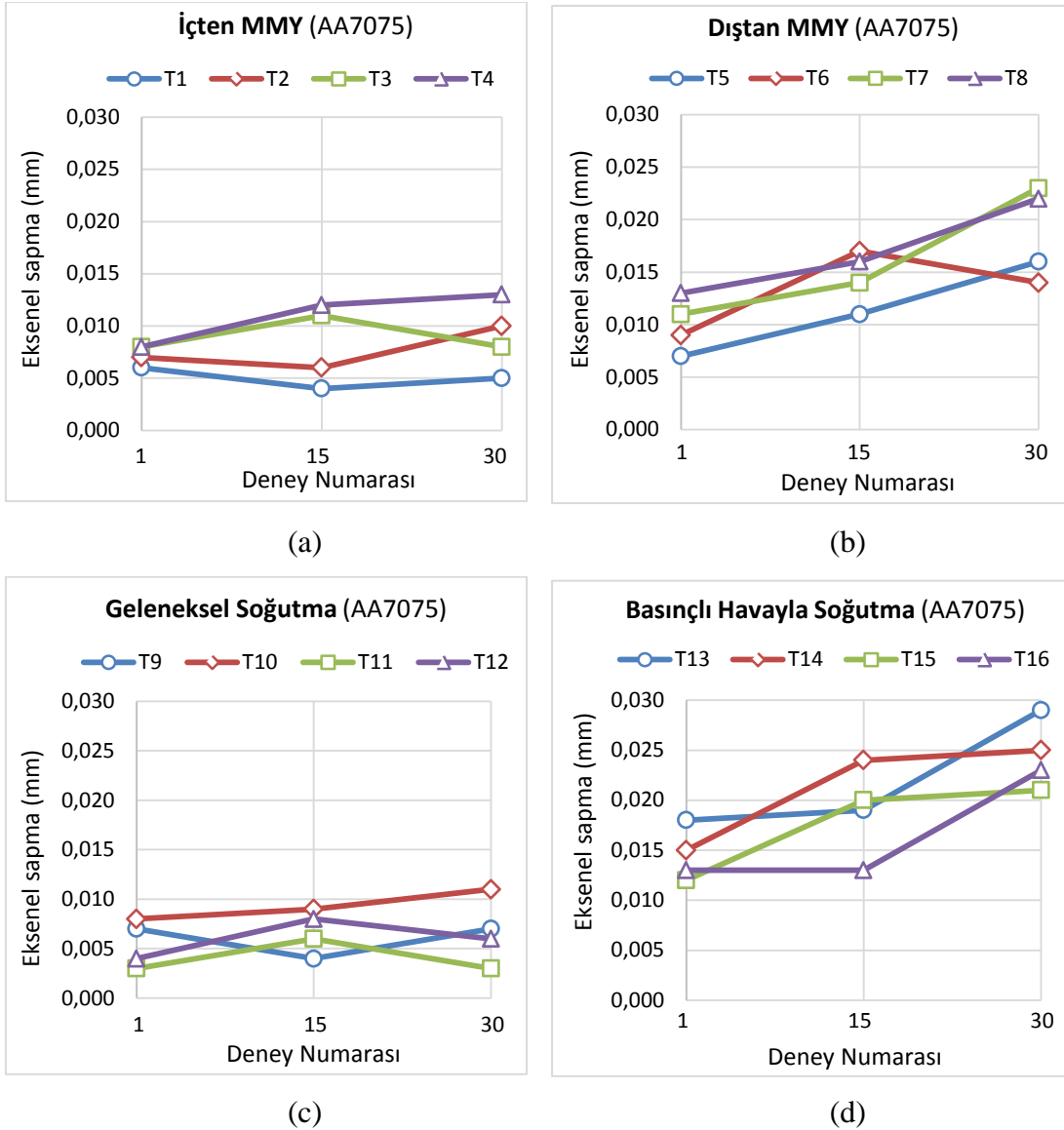
Yapılan deneysel çalışmada çaptan sapma ve dairesellikten sapma gibi geometrik toleransların yanında ilerleme doğrultusundaki eksenden kaçıklığı görebilmek için silindiriklikten sapmalar da incelenmiştir. Deneyler sonunda malzeme türünün, soğutma yönteminin ve kesme parametrelerinin eksenel kaçıklığa olan etkilerini gösteren silindiriklikten sapma değerleri ve en “küçük en iyidir” yaklaşımına göre hesaplanan Taguchi Sinyal Gürültü (S/N) oranları Çizelge 7.21’de toplu olarak verilmiştir. Silindiriklikten sapma sonuçlarına bakıldığında sapmaların mikron seviyesinde olduğu ve kesme şartlarına bağlı olarak 4-24 μm (0,004-0,024 mm) arasında değiştiği görülmektedir.

Çizelge 7.21. AA7075 ve AA2024 için silindiriklikten sapmalar ve S/N oranları

AA7075 Deney No	Değişkenler	Eksenel sapma (mm)	S/N Oranı (dB)	AA2024 Deney No	Değişkenler	Eksenel sapma (mm)	S/N Oranı (dB)
T1	A1B1C1	0,005	46,021	T26	A1B1C1	0,005	45,460
T2	A1B2C2	0,008	42,308	T27	A1B2C2	0,008	41,584
T3	A1B3C3	0,009	40,915	T28	A1B3C3	0,010	40,295
T4	A1B4C4	0,011	39,172	T29	A1B4C4	0,014	37,287
T5	A2B1C2	0,011	38,913	T30	A2B1C2	0,012	38,661
T6	A2B2C1	0,013	37,501	T31	A2B2C1	0,013	37,947
T7	A2B3C4	0,016	35,918	T32	A2B3C4	0,020	33,836
T8	A2B4C3	0,017	35,391	T33	A2B4C3	0,020	34,125
T9	A3B1C3	0,006	44,437	T34	A3B1C3	0,005	46,620
T10	A3B2C4	0,009	40,599	T35	A3B2C4	0,009	41,243
T11	A3B3C1	0,004	47,959	T36	A3B3C1	0,004	48,715
T12	A3B4C2	0,006	44,437	T37	A3B4C2	0,006	43,967
T13	A4B1C4	0,022	33,152	T38	A4B1C4	0,023	32,641
T14	A4B2C3	0,021	33,419	T39	A4B2C3	0,024	32,517
T15	A4B3C2	0,018	34,895	T40	A4B3C2	0,018	34,735
T16	A4B4C1	0,016	35,739	T41	A4B4C1	0,017	35,391

Aynı şartlarda delme tekrarına göre silindiriklikten sapma değerlerindeki değişim

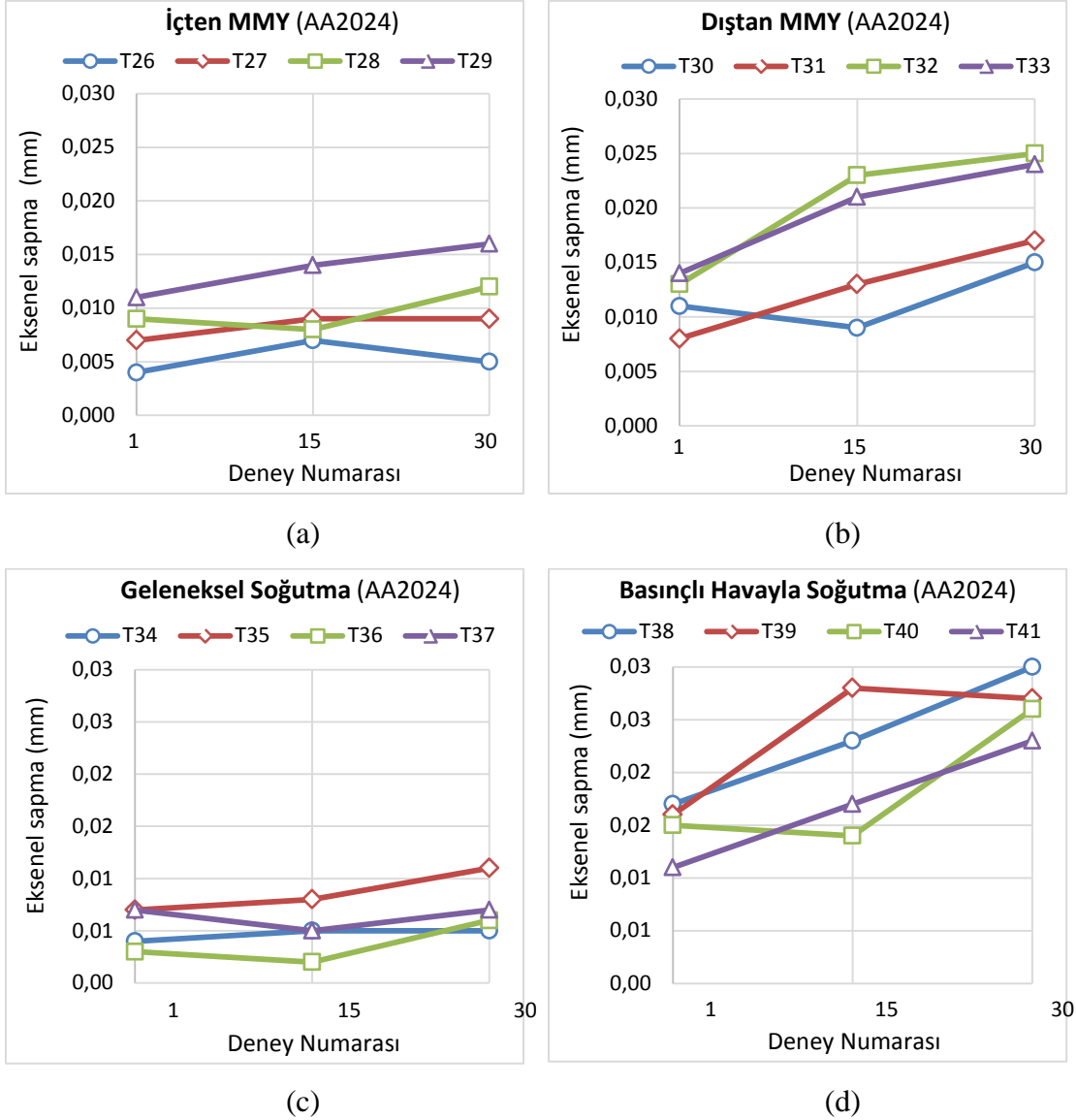
AA7075 ve AA2024 olmak üzere her iki malzeme 16 farklı kesme şartında delik delme işlemine tabi tutulmuş ve her şart 30 defa tekrarlanmıştır. Yapılan 30 delme tekrarına göre ilk delikle son delik arasındaki silindiriklikten sapma (eksenel sapma) farklarının incelenmesi amacıyla AA7075 için Şekil 7.31 ve AA2024 için Şekil 7.32'deki grafikler oluşturulmuştur. Şekil 7.31 ve Şekil 7.32'de içten MMY (a), dıştan MMY (b), geleneksel soğutma (c) ve basınçlı havayla soğutma (d) şartlarında elde edilen silindiriklikten sapma sonuçları ayrı grafiklerde verilmiştir.



Şekil 7.31. AA7075 alaşımında her şart için 30 delme tekrarında elde edilen silindiriklikten sapmaların ilk delikten son deliğe değişimi

Şekil 7.31 (a) grafiğinde içten MMY şartlarında dört farklı kesme için yapılan 30 delik tekrarında 1., 15. ve 30. deliklere ait silindiriklikten sapma değerleri görülmektedir. Silindiriklikten sapma değerleri ilk deliklerde 0,005-0,008 mm, son deliklerde 0,005-0,013 mm arasında değişen bu soğutma şartında ilk delikten son deliğe yaklaşık % 20 artış gözlenmektedir. Dıştan MMY yönteminde elde edilen sapmaların verildiği Şekil 7.31 (b) grafiğinde ise bu artış % 90'lara varmaktadır. İlk deliklerde 0,012-0,018 mm arasında olan aksel sapma değerleri son deliklerde 0,021-0,029 mm değerlerine ulaştığı gözlenmektedir. Geleneksel soğutma yönteminin verildiği Şekil 7.31 (c) grafiğinde ise 0,03-0,011 mm arasında değişen aksel sapma değerlerinin ilk delikten son deliğe artış miktarı, içten MMY yöntemindeki gibi % 20'lerde olduğu görülmektedir. Şekil 7.31 (d) grafiğindeki basınçlı havayla soğutma yönteminde ilk delikte 0,011-0,017 mm arasında olan silindiriklikten sapma değerleri, son delikte 0,023-0,030 mm seviyelerine çıkarak % 70 civarında artış göstermiştir.

AA2024 alaşımında yapılan delik delme işlemlerinde Şekil 7.32 (a) ve (c) grafiklerinde sırasıyla içten MMY ve geleneksel soğutma şartlarında elde edilen aksel sapma sonuçlarının ilk delikten son deliğe artışı her iki yöntemde de % 30 civarında olduğu söylenebilir. Aksel sapmalar içten MMY yönteminde 0,004-0,015 mm, geleneksel soğutma yönteminde 0,003-0,011 mm arasında değiştiği görülmektedir. Şekil 3.32 (b) grafiğinde verilen dıştan MMY uygulamasında elde edilen aksel sapmalar ise ilk deliklerde 0,008-0,014 mm'den son deliklerde 0,015-0,024 mm seviyelerine çıkarak % 85 civarında arttığı görülmektedir. Şekil 7.32 (d) grafiğinde basınçlı havayla soğutma yönteminde ilk deliklerde 0,011-0,016 mm'den, son deliklerde 0,023-0,030 mm seviyelerine yükselen aksel sapma değerleri, dıştan MMY yöntemindeki gibi belirgin bir artış göstererek % 80'in üzerine çıktığı gözlenmektedir.



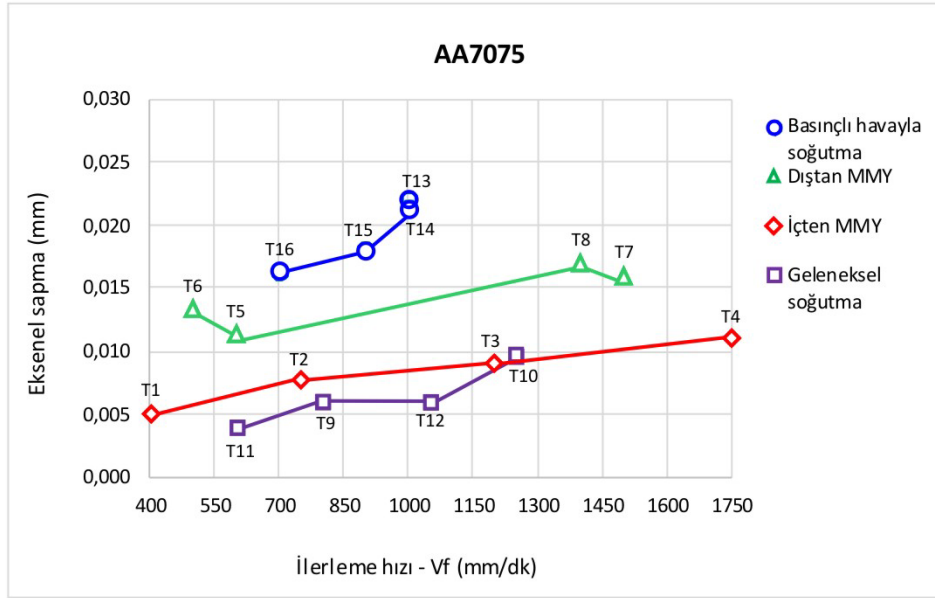
Şekil 7.32. AA2024 alaşımında her şart için 30 delme tekrarında elde edilen silindiriklikten sapmaların ilk delikten son deliğe değişimi

Yapılan tekrar deneyleri sonunda ilk delikten son deliğe silindiriklikten sapmalar (eksenel sapma) konusunda her iki alüminyum alaşımı mukayese edildiğinde, dairesellikten sapma ile çaptan sapma olmak üzere diğer geometrik toleranslarda ve yüzey pürüzlüğünde elde edilen sonuçlara benzer şekilde eksenel sapma sonuçlarında da AA2024 alaşımının delinmesinde elde edilen artış miktarları AA7075 alaşımından daha yüksek çıkmıştır.

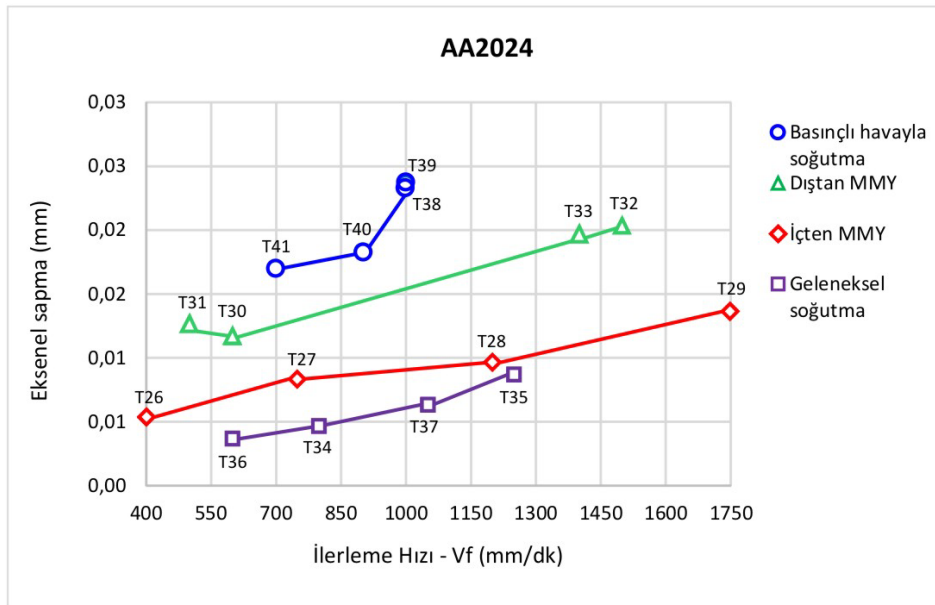
İlerleme hızı (V_f) ve soğutma şartlarına göre silindiriklikten sapmalardaki değişim

Deneyler sonunda elde edilen silindiriklikten (eksenel) sapma verileri kesme hızı (V_c) ve ilerlemeye (f) bağlı bir parametre olan ilerleme hızına (V_f) göre de değerlendirilmiştir.

Şekil 7.33'deki garfiklerde Taguchi L16 deney tasarımına göre hesaplanan ve daha önce Çizelge 7.2'de verilmiş olan bu ilerleme hızlarının silindiriklikten sapmaya olan etkisi görülmektedir.



(a)



(b)

Şekil 7.33. AA7075 (a) ve AA2024 (b) alaşımlarının delinmesinde ilerleme hızına bağlı olarak silindiriklikten sapma değerlerindeki değişim

Şekil 7.33'de AA7075 (a) ve AA2024 (b) alüminyum alaşımlarında gözlenen silindiriklikten sapma verilerinin ilerleme hızına göre değişimi incelendiğinde, her iki alüminyum alaşımı için de ilerleme hızındaki artışın silindiriklikten sapmaları artırdığı

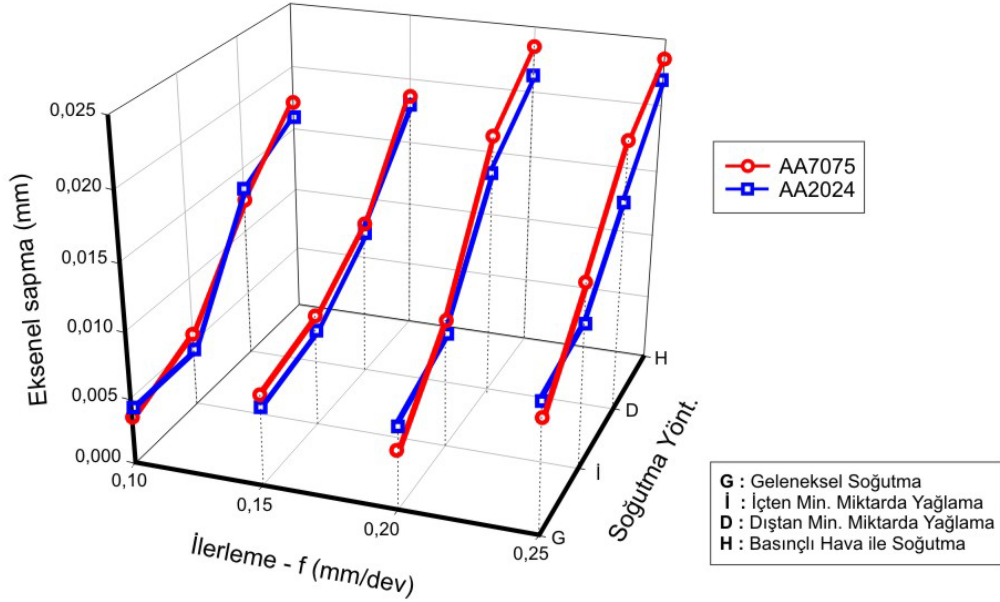
söylenbilir. Bu artış basınçlı havayla soğutma ve dıştan MMY uygulamasında diğer soğutma şartlarına (geleneksel soğutma ve içten MMY) göre daha fazla olduğu görülmektedir. Aynı soğutma şartı uygulanan aynı yada yakın ilerleme hızlarında aksel sapma değerlerinin de oldukça yakın değerlerde olduğu, basınçlı havayla soğutma yönteminin uygulandığı T13-T14 ve T38-T39 kesme şartlarında gözlenmektedir. Deliklerin çaptan sapma, dairesellikten sapma ve yüzey pürüzlüğü sonuçlarında gözlendiği gibi silindiriklikten sapma sonuçlarında da geleneksel soğutma yönteminde en düşük sapma değerleri elde edilmiştir. İçten MMY uygulamasında elde edilen aksel sapma verileri geleneksel soğutma yönteminden biraz daha yüksek olmakla birlikte çok yakın değerlerdedir. İçten MMY yöntemini sırasıyla dıştan MMY ve basınçlı havayla soğutma yöntemlerinin izlediği görülmektedir.

Kesme hızı (V_c), ilerleme (f) ve soğutma şartlarına göre silindiriklikten sapma değerlerindeki değişim

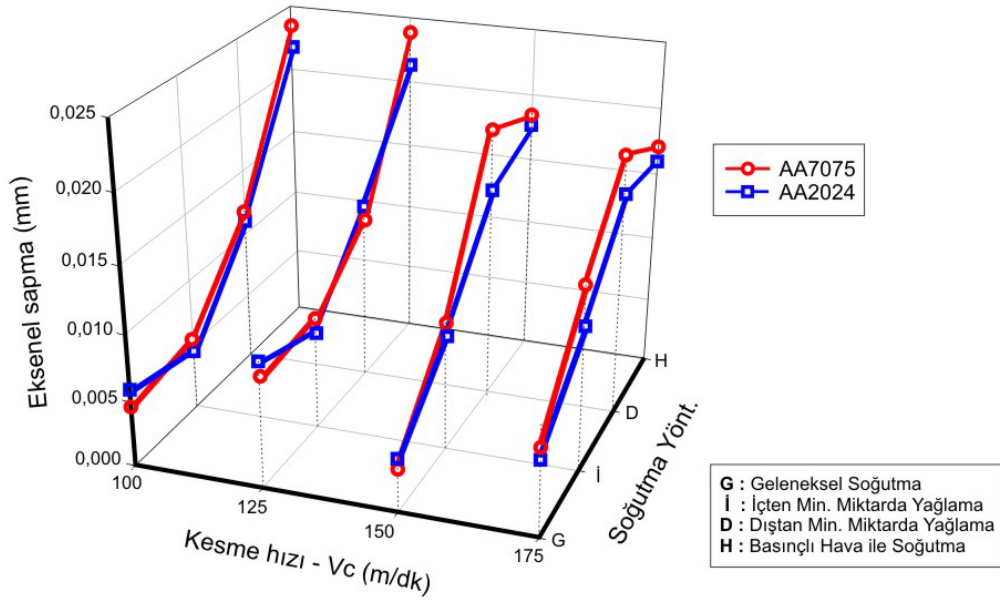
AA7075 ve AA2024 alaşımlarına yapılan delik delme testlerinde kesme hızı ve ilerleme olmak üzere kesme parametrelerinin ve soğutma yöntemlerinin silindiriklikten (aksel) sapma değerlerine etkileri Şekil 7.34'deki üç boyutlu grafiklerde verilmiştir. Grafiklere bakıldığında soğutma yönteminin diğer geometrik toleranslarda ve yüzey kalitesinde olduğu gibi silindiriklikten (aksel) sapma değerlerinde de ciddi etkisinin olduğu açık bir şekilde görülmektedir. En yüksek aksel sapma verileri basınçlı havayla soğutma şartlarında ölçülmüştür.

Basınçlı havayla soğutma yöntemiyle mukayese edildiğinde ölçülen aksel sapma değerlerinde dıştan MMY uygulamasında % 25, içten MMY uygulamasında % 60 ve geleneksel soğutma uygulamasında % 70 civarında düşüşler görülmektedir. Şekil 7.34 (a) grafiğinde ilerlemenin silindiriklikten sapmaya etkisi verilmiştir. İlerlemelerdeki %150 artışın aksel sapmalarda % 75-85 artışa neden olduğu grafikte görülmektedir. Şekil 7.34 (b) grafiğinde ise kesme hızının aksel sapmalar üzerindeki etkisi verilmiştir. Grafikte kesme hızındaki % 75 artışa karşılık aksel sapmalarda % 40-50 artışın olduğu görülmektedir. Artan kesme hızı ile birlikte oluşan yüksek sıcaklıkların kesici takım ve iş parçası boyutsal kararlılığını olumsuz yönde etkilediği bilinmektedir [48]. Buna bağlı olarak silindiriklikten sapma değerlerinin de arttığı düşünülmektedir. Kesme bölgesinde oluşan sıcaklığı ve sürtünmeyi asgariye indiren kesme sıvısı kullanımı silindiriklikten

sapma değerlerinin düşmesi yönünde önemli bir etken olduğu, deneyler sonunda soğutma yöntemlerinin sonuçlar üzerinde gözlenen belirgin etkisiyle bir kez daha ortaya konmuştur. İlerlemelerdeki artışın silindiriklikten sapmalar üzerindeki etkisi ise; artan ilerleme ile aksel kuvvetteki artışın aksel kaçıklığın büyümesine neden olmasına atfedilebilir.



(a)



(b)

Şekil 7.34. Silindiriklikten sapmanın ilerleme (a) ve kesme hızı (b) olmak üzere kesme parametreleri ve soğutma şartlarına göre değişimi

Silindiriklikten sapmalar için varyans analizi

Malzeme türü, soğutma yöntemi, kesme hızı ve ilerleme olmak üzere işlem parametrelerinin silindiriklikten sapma değerlerine etki derecelerini belirleyebilmek amacıyla veriler ANOVA testine tabi tutulmuştur. Yapılan varyans analizi sonunda kalite karakteristiği olarak belirlenen silindiriklikten saptmaya işlem parametrelerinin etkileri Çizelge 7.22’de toplu olarak verilmiştir.

Çizelge 7.22. AA7075 ve AA2024 için silindiriklikten sapmalarla ilgili ANOVA sonuçları

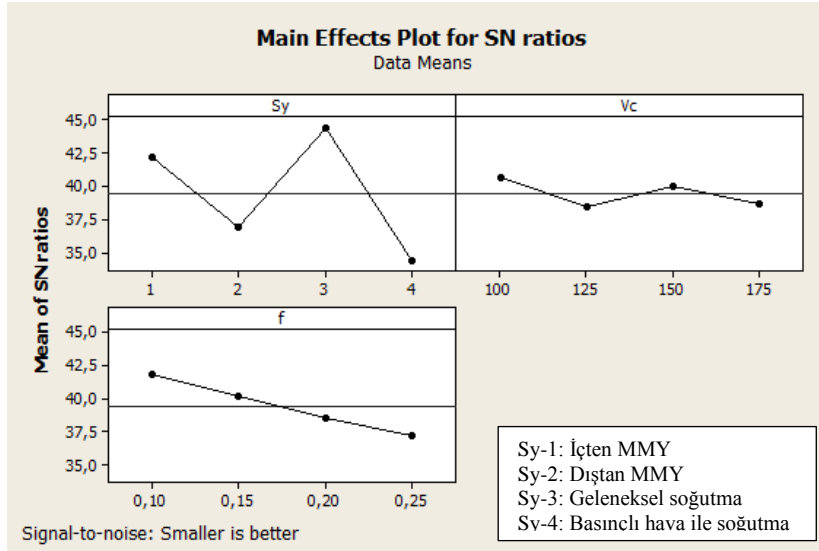
Kaynak	SD	KT'	KT	KO	F	P	YD(%)
Malzeme türü (m)	1	0,0000058	0,0000058	0,0000058	3,83	0,064	0,5
Soğutma Y. (S_v)	3	0,0009549	0,0009549	0,0003183	209,13	0,000	80,3
Kesme hızı (V_c)	3	0,0000236	0,0000236	0,0000079	5,17	0,008	2,0
İlerleme (f)	3	0,0001724	0,0001724	0,0000575	37,75	0,000	14,5
Hata	21	0,0000320	0,0000320	0,0000015	-	-	2,7
Toplam	31	0,0011887	-	-	-	-	100,0
SD : Serbeslik derecesi,		KT' : Saf kareler toplamı,		KT : Kareler toplamı,			
KO : Kareler ortalaması,		YD : Yüzde dağılım		F: Test istatistiği,			
P : Anlamlılık değeri							

Çizelgede P sütunundaki soğutma yöntemi, kesme hızı ve ilerleme parametrelerine ait değerlerin hata oranı olan 0,05’den küçük olması; bu işlem parametrelerinin aksel sapmalar üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olduğunu ifade etmektedir. Bu işlem parametrelerinin aksel sapmalar üzerindeki etki dereceleri ise YD sütununda verilmiştir. Buna göre silindiriklikten sapma sonuçlarını % 80,3 ile soğutma yöntemi, % 14,5 ile ilerleme ve % 2 ile kesme hızının etkilediği görülmektedir. Malzeme faktörünün ise aksel sapmalar üzerinde diğer işlem parametreleri kadar karalı bir etkiye sahip olmadığı söylenebilir.

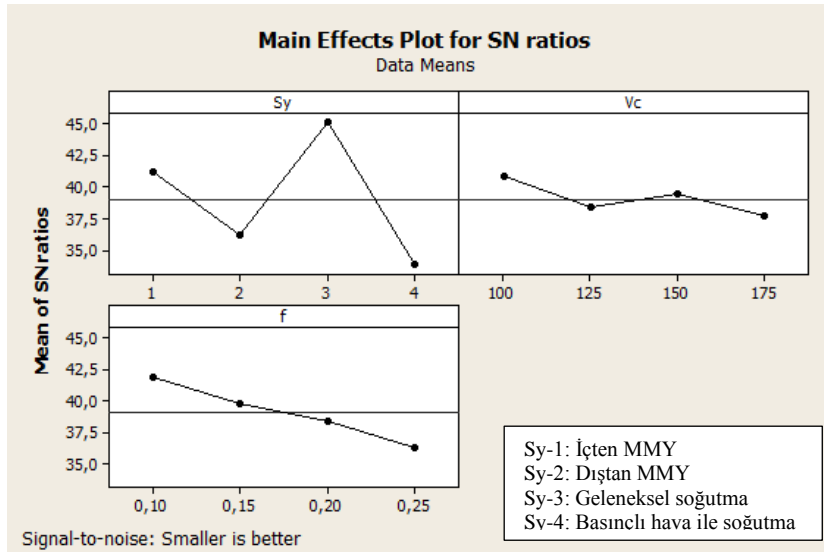
Silindiriklikten sapmalar için sinyal/gürültü (S/N) analizi

En düşük silindiriklikten (eksel) sapma değerlerinin elde edildiği şartların belirlenebilmesi için verilere “en küçük en iyidir” yaklaşımına göre Taguchi Sinyal/Gürültü (S/N) testi uygulanmıştır. Şekil 7.35’deki grafiklerde AA7075 (a) ve AA2024 (b) alüminyum alaşımları için görülen en yüksek S/N oranları, optimum aksel sapma değerlerinin ölçüldüğü kesme şartlarını ifade etmektedir. Grafiklere bakıldığında kesme hızının ve ilerlemenin birinci seviyeleri olan 100 m/dk ve 0,10 mm/dev ile soğutma

yönteminin üçüncü seviyesi olan geleneksel soğutma en düşük silindiriklikten sapma değerlerinin elde edildiği optimum şartlar olarak belirlenmiştir.



(a)



(b)

Şekil 7.35. AA7075 (a) ve AA2024 (b) alüminyum alaşımları için silindiriklikten sapma sonuçlarına göre kontrol faktörlerinin S/N oranları

Çizelge 7.23’de verilen bu sonuçlar dairesellikten sapma ve çaptan sapma olmak üzere diğer geometrik toleranslarla ilgili elde edilen sonuçlarla da örtüşmektedir.

Çizelge 7.23. Silindiriklikten sapmalar için kontrol faktörlerinin optimum seviyeleri

Kontrol faktörleri	Simge	Birim	Optimum seviye	Optimum değer
Soğutma Yönt. (A)	S_y		3	G
Kesme hızı (B)	V_c	m/dk	1	100
İlerleme (C)	f	mm/dev	1	0,10

7.4.2. Kullanılan takım tezgahına göre silindiriklikten sapmanın değerlendirilmesi

Yapılan ek deneylerde kullanılan farklı takım tezgahlarının silindiriklikten (eksenel) sapmaya etkileri de incelenmiştir. Kuru kesme şartında EcoSpeed (ES), PMM ve Mori Seiki (MS) olmak üzere üç takım tezgahının, farklı kesme parametrelerinin ve farklı alüminyum alaşımlarının (AA7075 ve AA2024) kullanıldığı delik delme işlemlerinde elde edilen ekstenel sapma sonuçları ve “en küçük en iyidir” yaklaşımına göre hesaplanan Taguchi Sinyal/Gürültü oranları Çizelge 7.24’de toplu olarak verilmiştir.

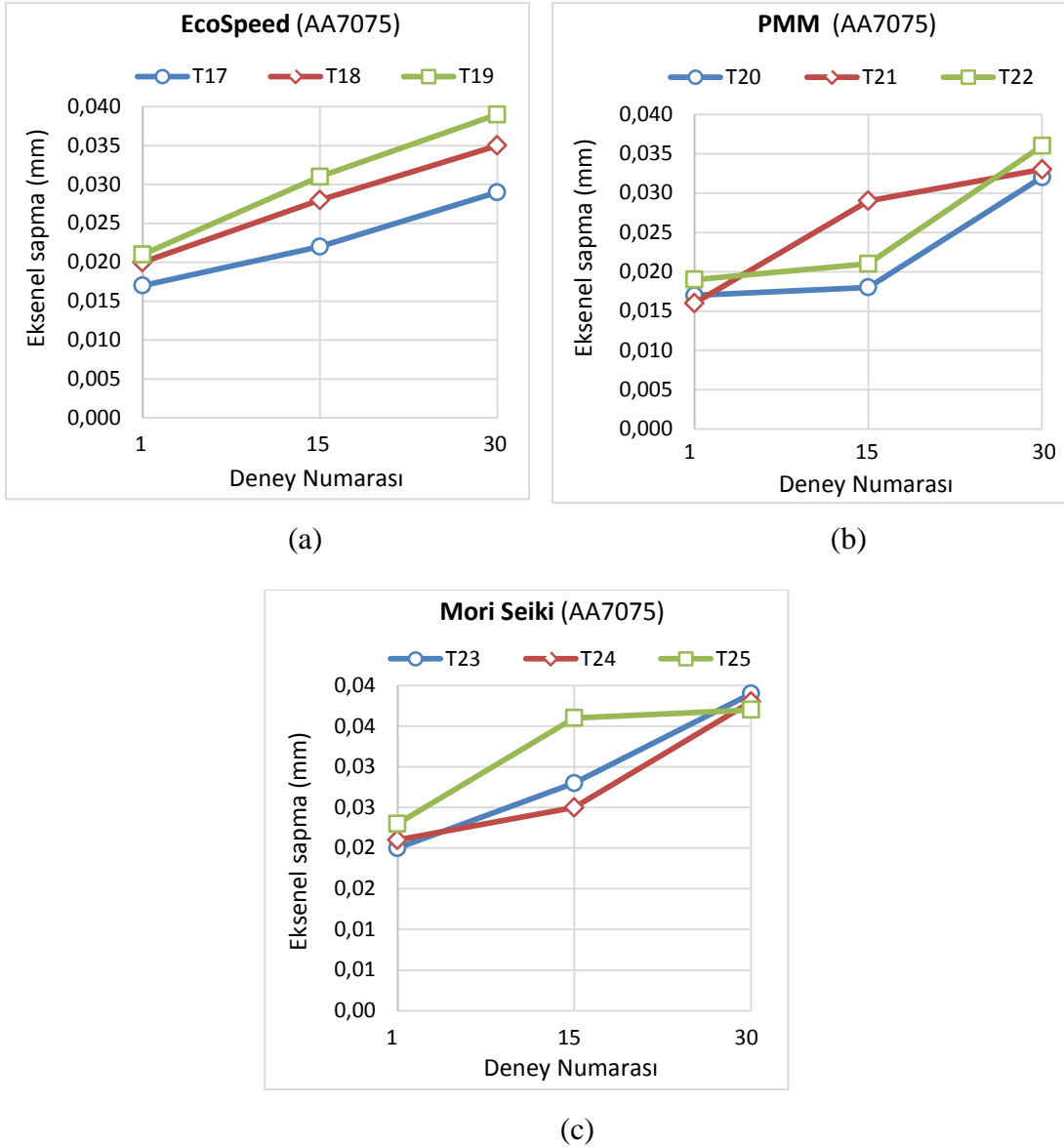
Çizelge 7.24. AA7075 ve AA2024 için silindiriklikten sapmalarla ilgili ANOVA sonuçları

AA7075 Deney No	Değişkenle r	Eksenel sapma (mm)	S/N Oranı (dB)	AA2024 Deney No	Değişkenler	Eksenel sapma (mm)	S/N Oranı (dB)
T17	A1B1C1	0,023	32,8922	T42	A1B1C1	0,024	32,3958
T18	A1B2C2	0,028	31,1609	T43	A1B2C2	0,026	31,5899
T19	A1B3C3	0,030	30,3616	T44	A1B3C3	0,031	30,1728
T20	A2B1C2	0,022	33,0209	T45	A2B1C2	0,029	30,8525
T21	A2B2C3	0,026	31,7005	T46	A2B2C3	0,031	30,2667
T22	A2B3C1	0,025	31,9262	T47	A2B3C1	0,028	30,9540
T23	A3B1C3	0,029	30,7520	T48	A3B1C3	0,032	29,8970
T24	A3B2C1	0,028	31,0568	T49	A3B2C1	0,029	30,8525
T25	A3B3C2	0,032	29,8970	T50	A3B3C2	0,034	29,3704

Aynı şartlarda delme tekrarına göre silindiriklikten sapma değerlerindeki değişim

Ek deneylerde Taguchi L9 deney tasarımına göre elde edilen farklı 9 kesme şartı her iki alüminyum alaşımına da tatbik edilerek toplamda 18 farklı kesme edildiğine ve bu 18 farklı

kesme şartının da kendi içinde 30 defa tekrarlandığına daha önce değinilmişti. Her kesme için yapılan 30 tekrarda 1., 15. ve 30. deliklerin silindiriklikten (eksenel) sapma değerleri ölçülmüştür. Ölçülen bu sonuçlar AA7075 için Şekil 7.36’da, AA2024 için Şekil 7.37’de EcoSpeed (a), PMM (b) ve Mori Seiki (c) tezgahları için üç ayrı grafikte gösterilmiştir.

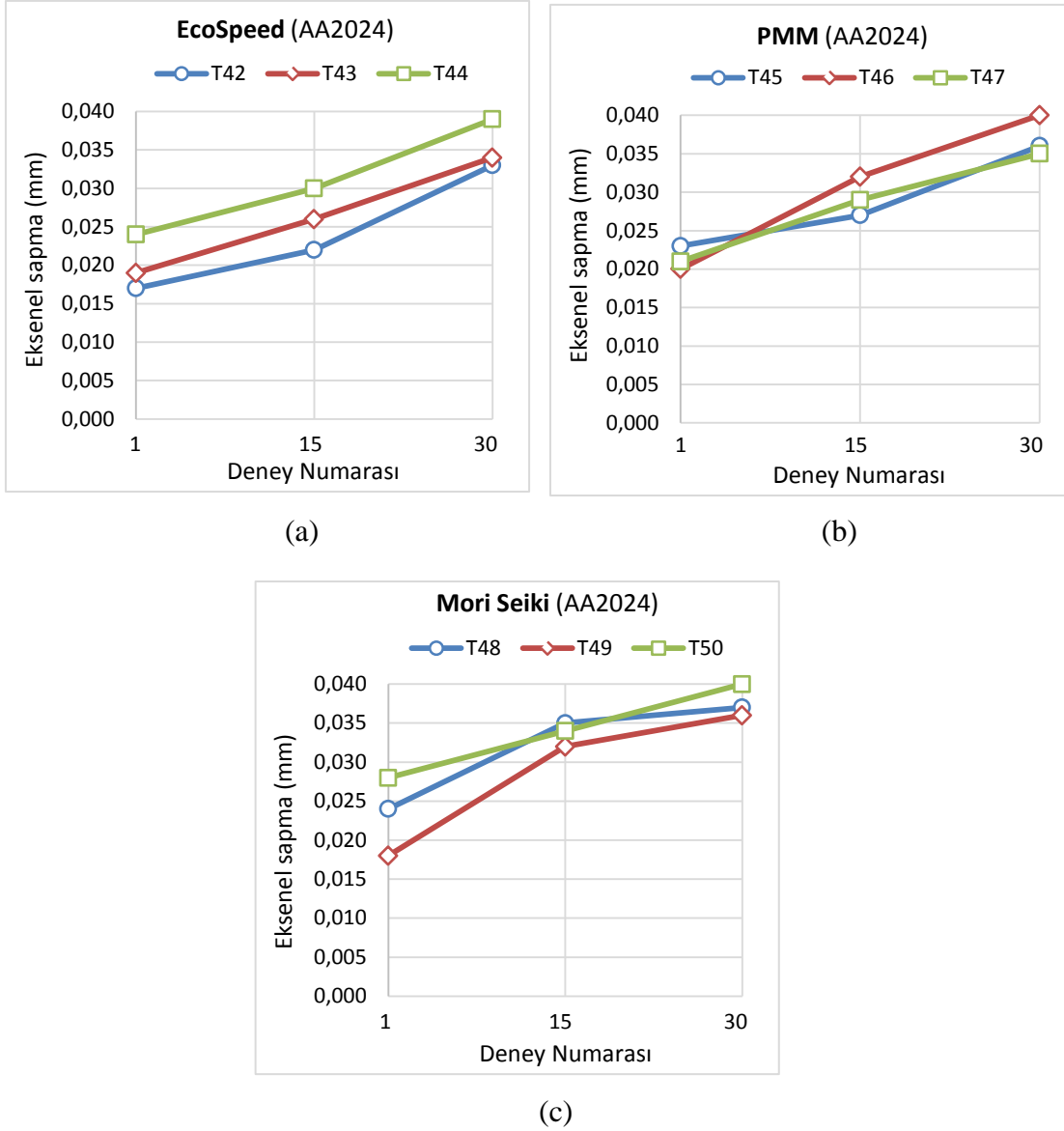


Şekil 7.36. AA7075 alaşımına farklı tezgahlarda yapılan delik delme tekrarına göre silindiriklikten sapma değerlerinin ilk delikten son deliğe değişimi

Şekil 7.36'daki grafiklere bakıldığında yapılan tekrar deneylerinde her üç tezgah için de ilk delikten son deliğe silindiriklikten saptalarda belirgin bir artış gözlenmektedir. EcoSpeed'de (b) ilk deliklerde 0,017-0,021 mm arasında ölçülen eksenel saptalar, son deliklerde 0,029-0,039 mm seviyelerine yükselerek % 75 civarında artış göstermiştir. PMM tezgahında ise bu artış ortalama % 95 değerine ulaşmıştır. Mori Seiki tezgahında ise ilk deliklerde 0,021-0,023 mm arasında ölçülen eksenel saptalar, son deliklerde 0,037-0,039 mm seviyesine çıkarak % 80 artış göstermiştir.

AA2024 alaşımında elde edilen sonuçların verildiği Şekil 7.37'deki grafiklerde yapılan tekrar deneylerinde de ilk delikten son deliğe silindiriklikten sapma değerleri tüm

tezgahlarda artış göstermiştir. ES tezgahında ilk deliklerde 0,017-0,024 mm arasında ölçülen aksel sapma değerleri yaklaşık % 80 artış göstererek 0,034-0,039 seviyelerine yükselmiştir. PMM tezgahında ilk deliklerde 0,020-0,023 mm aralığında ölçülen sapmalar, son deliklerde 0,035-0,040 mm seviyelerine yükselerek % 75 artış göstermiştir.

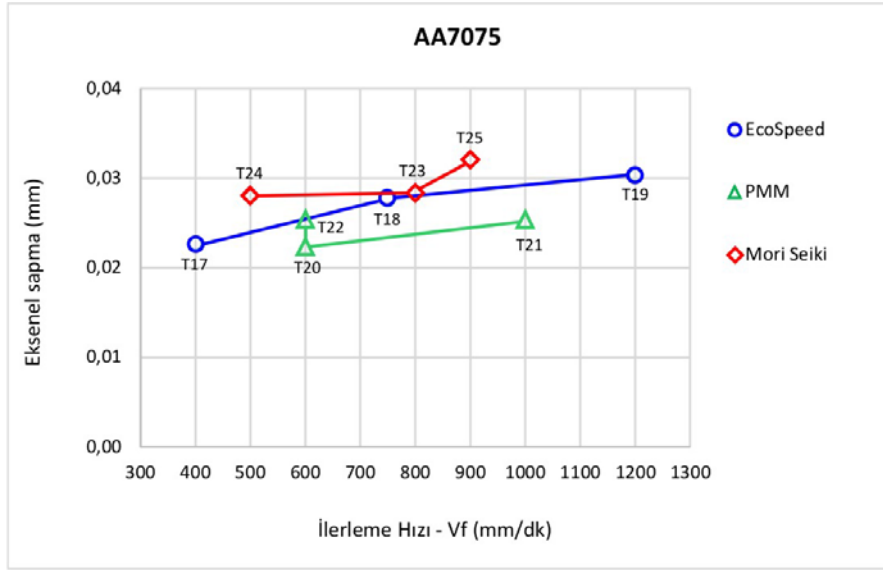


Şekil 7.37. AA2024 alaşımına farklı tezgahlarda yapılan delik delme tekrarına göre silindiriklikten sapma değerlerinin ilk delikten son deliğe değişimi

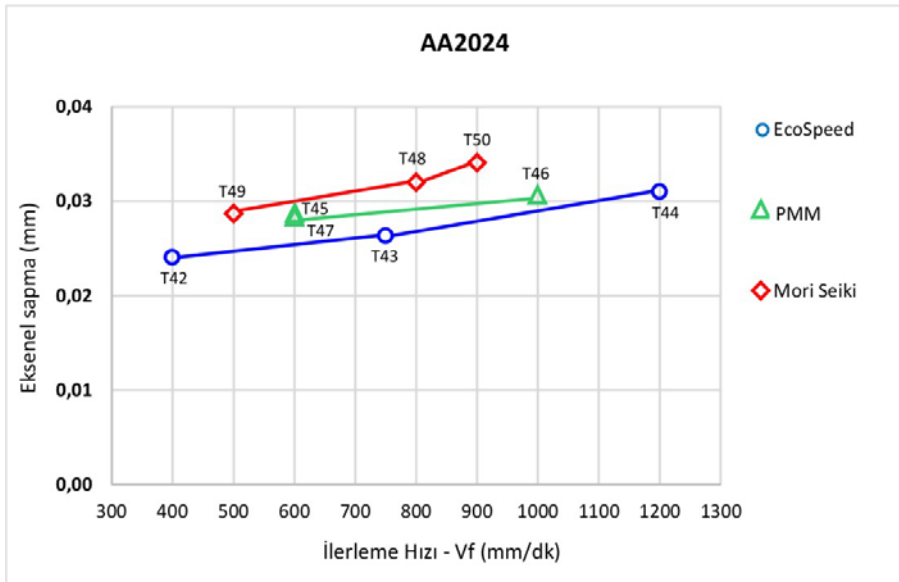
MS tezgahında ise bu artışın % 65 civarında olduğu gözlenmiştir. Bu tezgahta ilk deliklerde ölçülen sapma değerleri 0,018-0,028 mm aralığında iken, son deliklerde değerler 0,036-0,040 mm aralığına yükselmiştir. İki alüminyum alaşımı için elde edilen tüm aksel sapma sonuçları değerlendirildiğinde AA7075 alaşımında en yüksek artış miktarları PMM tezgahında gözlenirken AA2024 alaşımında ES tezgahında gözlenmiştir.

İlerleme hızı (V_f) ve tezgah türüne göre silindiriklikten sapmalardaki değişim

Kuru şartlarda üç tezgahın mukayesesinin yapıldığı ek deneylerden elde edilen silindiriklikten (eksenel) sapma sonuçları, daha önce Çizelge 7.6'da verilen ilerleme hızlarına (V_f) göre de değerlendirilmiştir.



(a)



(b)

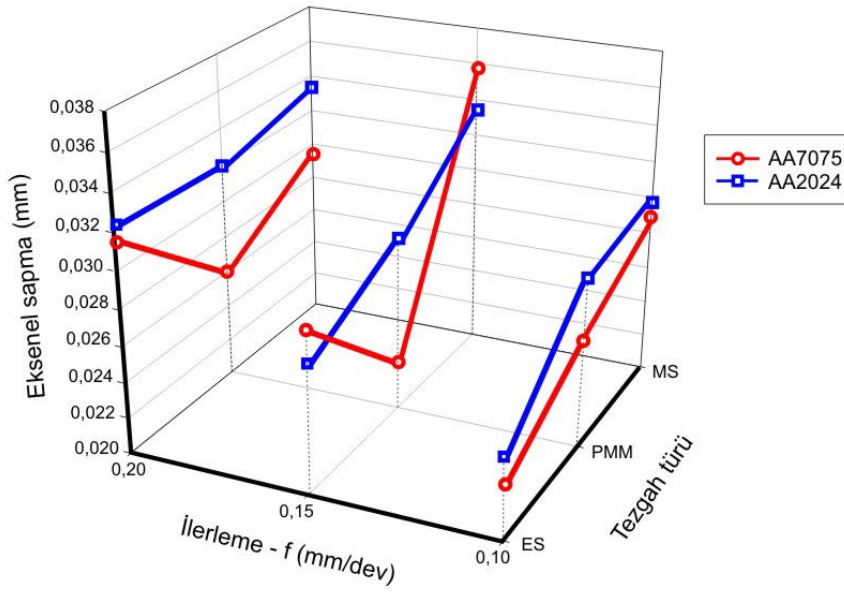
Şekil 7.38. AA7075 (a) ve AA2024 (b) alaşımlarının delinmesinde ilerleme hızına bağlı olarak silindiriklikten sapma değerlerindeki değişim

Şekil 7.38’de AA7075 (a) ve AA2024 (b) alüminyum alaşımlarında elde edilen sonuçların verildiği grafiklerde görülen 18 farklı kesme şartı, her kesme için yapılan 30 delme tekrarının aritmetik ortalamaları alınarak elde edilen eksenel sapma değerleridir. Şekil 7.38’deki grafiklere bakıldığında ilerleme hızlarındaki artışın silindiriklikten sapmaları genelde artırdığı görülmektedir. Kesme hızı-ilerleme kombinasyonları farklı olsa da, aynı yada yakın ilerleme hızlarında ise eksenel sapmalar yakın değerdedir. Her iki alüminyum alaşımında en yüksek eksenel sapma değerleri Mori Seiki tezgahında ölçülmüştür. En düşük eksenel sapma değerleri ise iki alüminyum alaşımında farklı tezgahlarda gözlenmiştir.

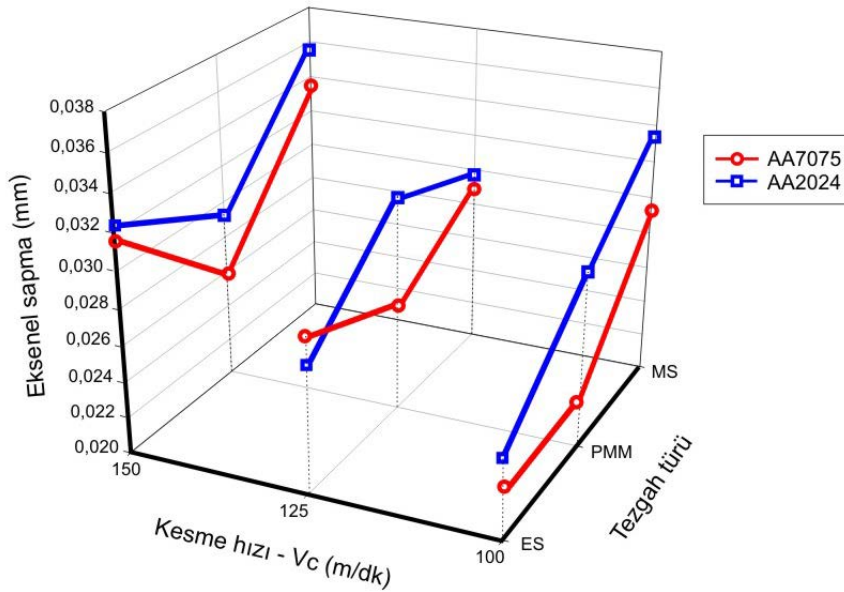
AA7075 alüminyum alaşımının delinmesinde en düşük eksenel sapmalar PMM tezgahında ölçülürken, AA2024 alüminyum alaşımının delinmesinde en düşük eksenel sapmalar EcoSpeed (ES) tezgahında ölçülmüştür. Tezgah faktörünün incelendiği ek deneylerde dairesellikten sapma ve çaptan sapma olmak üzere diğer iki geometrik tolerans sonuçları için en düşük değerler her iki alüminyum alaşımında da aynı takım tezgahında (PMM) ölçülmüştü. Ayrıca söz konusu deneylerde PMM ve ES tezgahlarında elde edilen bu iki geometrik tolerans verilerinin Mori Seiki (MS) tezgahına göre birbirine daha yakın çıktığı gözlenmişti. Buna göre malzeme faktörünün diğer geometrik toleranslara etkisine kıyasla, eksenel sapmalar üzerinde daha belirgin bir etkisinin olduğu söylenebilir.

Kesme hızı (V_c), ilerleme (f) ve tezgah türüne göre silindiriklikten sapmalardaki değişim

Yapılan ek deneylerde kesme hızı (b) ve ilerleme (a) ile birlikte tezgah türünün silindiriklikten sapma verilerine etkilerini gösteren üç boyutlu grafikler Şekil 7.39’da verilmiştir. Şekil 7.39 (a) grafiğine bakıldığında yapılan deneylerde ilerlemelerdeki artışın silindiriklikten sapma değerlerini genelde artırdığı görülmektedir. Yapılan tüm deneyler sonunda elde edilen geometrik tolerans sonuçlarından farklı olarak, tezgah kıyasının yapıldığı deneylerde elde edilen silindiriklikten sapma sonuçlarına ilerlemenin etkisinin daha düşüktür. İlerlemelerdeki % 100 artış eksenel sapmalarda % 12-16 artışa neden olmuştur. Şekil 7.39 (b) grafiğine bakıldığında ise kesme hızlarındaki artışın eksenel sapmalara etkisinin, ilerlemenin etkisine yakın olduğu görülmektedir. Kesme hızındaki % 75 artışın eksenel sapmalarda % 10-18 civarında artışa sebep olduğu gözlenmiştir. Her iki grafikte de AA7075 alaşımında ölçülen eksenel sapmaların AA2024 alaşımına göre daha düşüktür.



(a)



(b)

Şekil 7.39. Silindiriklikten sapmanın ilerleme (a) ve kesme hızı (b) olmak üzere kesme parametreleri ve tezgah türüne göre değişimi

Diğer geometrik tolerans sonuçlarından farklı olarak silindiriklikten sapma sonuçlarında malzeme faktörünün sonuçlara etkisinin daha belirgin olduğu söylenebilir. Her iki alüminyum alaşımının delinmesinde de en yüksek eksenel sapma değerleri MS tezgahının kullanıldığı şartlarda ölçülmüştür. AA7075 alaşımında yapılan deneylerde MS tezgahına göre eksenel sapma değerlerinde ES tezgahında % 9, PMM tezgahında % 18 düşüş gözlenmiştir. AA2024 alaşımında ise MS tezgahına göre eksenel sapma değerlerinde PMM tezgahında % 6, ES tezgahında % 15 düşüş gözlenmiştir. Dolayısıyla en düşük değerler bir

önceki “İlerleme hızı (V_f) ve tezgah türüne göre silindiriklikten sapmalardaki değişim” başlığında da belirtildiği gibi AA7075 alaşımında PMM tezgahında, AA2024 alaşımında ES tezgahında gözlenmiştir.

Silindiriklikten sapmalar için varyans analizi

Ek deneylerden elde edilen ve kalite karakteristiği olarak belirlenen silindiriklikten sapma değerlerine işlem parametrelerinin etkisini görebilmek için veriler ANOVA testine tabi tutulmuştur. Hata oranı 0,05 olarak kabul edilen testte malzeme türü, tezgah türü, kesme hızı ve ilerleme olmak üzere işlem parametrelerinin kalite karakteristiğine etkileri Çizelge 7.25’de toplu olarak verilmiştir.

Çizelge 7.25. AA7075 ve AA2024 için silindiriklikten sapmalarla ilgili ANOVA sonuçları

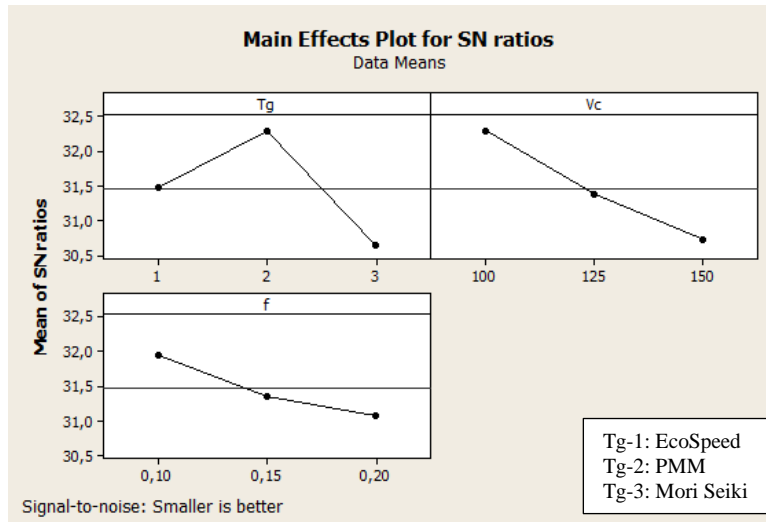
Kaynak	SD	KT'	KT	KO	F	P	YD(%)
Malzeme türü (m)	1	0,0000230	0,0000230	0,0000230	10,82	0,008	24,5
Tezgah Türü (T_g)	2	0,0000538	0,0000538	0,0000269	12,67	0,002	28,7
Kesme hızı (V_c)	2	0,0000423	0,0000423	0,0000211	9,95	0,004	22,5
İlerleme (f)	2	0,0000413	0,0000413	0,0000207	9,73	0,005	22,1
Hata	10	0,0000212	0,0000212	0,0000021	-	-	2,2
Toplam	17	0,0001816	-	-	-	-	100,0
SD : Serbeslik derecesi, KT' : Saf kareler toplamı, KT : Kareler toplamı, KO : Kareler ortalaması, YD : Yüzde dağılım F: Test istatistiği, P : Anlamlılık değeri							

Çizelgedeki P sütunundan da görüldüğü gibi malzeme türü, tezgah türü, kesme hızı ve ilerleme parametrelerine ait değerlerin hata oranından (0,05) düşük olması; bu işlem parametrelerinin kalite karakteristiği olan silindiriklikten sapmalar üzerinde anlamlı bir etkisinin olduğunu ifade etmektedir. İşlem parametrelerinin etki dereceleri YD sütunündeki gibi yüzdelik dilimlerle ifade edilirse, silindiriklikten sapmayı % 28,7 ile en çok tezgah türünün etkilediği görülmektedir. Tezgah türünü sırasıyla % 24,5 ile malzeme türü, % 22,5 ile kesme hızı ve % 22,1 ile ilerleme izlemektedir. Soğutma yöntemlerinin karşılaştırıldığı ana deneylerde kesme hızının aksel sapmalar üzerindeki etkisi % 2’lerde kalırken, kuru kesme şartlarında takım tezgahlarının kıyaslandığı ek deneylerde kesme hızının aksel sapmalar üzerindeki etkisinin % 20’lerin üstüne çıktığı gözlenmektedir. Bu durum yüzey pürüzlüğü ve diğer geometrik tolerans sonuçlarında da gözlenmiştir. Kesme hızı kesme bölgesinde oluşan ısıyı artıran en önemli faktörlerden biri olduğu ve artan ısının da kesici takım ile iş parçasının boyutsal toleranslarını olumsuz etkilediği bilinmektedir

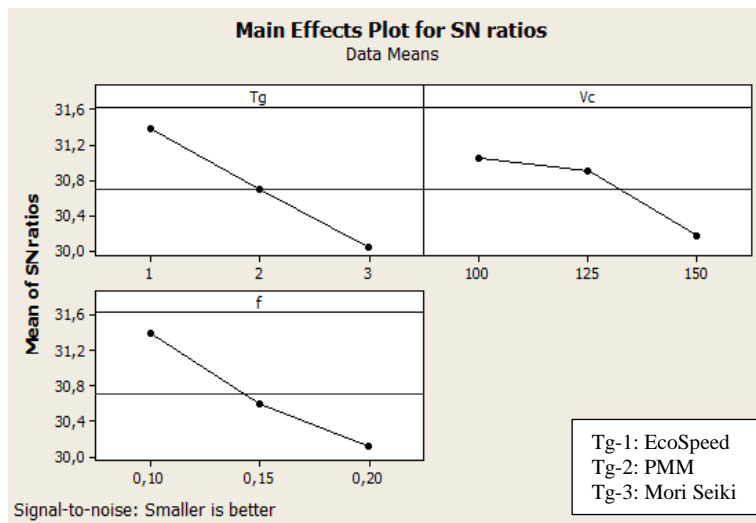
[48]. Dolayısıyla kesme sıvısının uygulanmadığı şartlarda kesme hızının sonuçlara etkisinin daha fazla olacağı beklenen bir durumdur.

Silindiriklikten sapmalar için sinyal/gürültü (S/N) analizi

Tezgahların kuru kesme şartlarında mukayesesi için yapılan ek deneylerde ölçülen silindiriklikten (eksenel) sapma değerleri ile ilgili optimum kesme şartlarını belirleyebilmek adına veriler “*en küçük en iyidir*” yaklaşımına göre Taguchi Sinyal/Gürültü (S/N) testine tabi tutulmuştur.



(a)



(b)

Şekil 7.40. AA7075 (a) ve AA2024 (b) alüminyum alaşımları için silindiriklikten sapma sonuçlarına göre kontrol faktörlerinin S/N oranları

AA7075 ve AA2024 olmak üzere her iki alüminyum alaşımı için tekrarlanan testlerde en yüksek S/N oranlarının optimum değerleri ifade ettiği grafikler Şekil 7.40'da verilmiştir. Şekil 7.40 (a) grafiğinde AA7075 alaşımının delinmesinde en düşük eksenel sapmalar PMM tezgahında, en düşük kesme hızı olan 100 m/dk ve en düşük ilerleme olan 0,1 mm/dev'de elde edilmiştir. Şekil 7.40 (b) grafiğinde AA2024 alaşımının delinmesinde elde edilen sonuçlarda ise bundan önce yüzey pürüzlüğü ve geometrik toleranslarda gözlenen sonuçlardan farklı olarak optimum şartlar AA7075 alaşımıyla aynı çıkmamıştır. AA2024 alaşımının delinmesinde elde edilen eksenel sapma sonuçlarında optimum kesme şartları ES tezgahında, en düşük kesme hızı ve en düşük ilerlemede gözlenmiştir.

Çizelge 7.26. Silindiriklikten sapmalar için kontrol faktörlerinin optimum seviyeleri

Kontrol faktörleri	Simge	Birim	AA7075		AA2024	
			Opt. seviye	Opt. değer	Opt. seviye	Opt. değer
Tezgah türü (A)	T_g		2	PMM	1	ES
Kesme hızı (B)	V_c	m/dk	1	100	1	100
İlerleme (C)	f	mm/dev	1	0,10	1	0,10

Çizelge 7.26'da eksenel sapmaların kesme şartlarıyla ilgili optimum seviyeleri AA7075 ve AA2024 alüminyum alaşımları için ayrı ayrı verilmiştir. Çizelgeye bakıldığında AA7075 için optimum şartlar tezgah türünün 2. seviyesi, kesme hızının 1. seviyesi ve ilerlemenin 1. seviyesi olduğu görülmektedir. AA2024 alaşımında ise tezgah türünün 1. seviyesi, kesme hızının 1.seviyesi ve ilerlemenin 1. seviyesi en düşük eksenel sapmaların ölçüldüğü şartlar olduğu görülmektedir.

7.5. İlerleme Kuvvetlerinin (F_t) Değerlendirilmesi

7.5.1. Uygulanan soğutma yöntemine göre F_t 'nin değerlendirilmesi

Taguchi L16 metodu kullanılarak dörder seviyeli üç farklı kontrol faktörü ile deney tasarımı oluşturulmuştur. Kullanılan kontrol faktörleri sırasıyla soğutma yöntemi (A: S_y), kesme hızı (B: V_c) ve ilerleme (C:f) olarak belirlenmiştir. Teknik kısıtlardan dolayı sadece geleneksel soğutma ve basınçlı havayla soğutma uygulamasının yapıldığı PMM tezgahında kuvvet ölçülebilmştir. Çizelge 7.27'de, yapılan deneyler sonunda elde edilen ortalama ilerleme

kuvveti değerleri (F_t) ve “en küçük en iyidir” yaklaşımına göre hesaplanan Sinyal/Gürültü (S/N) oranları verilmiştir.

Çizelge 7.27. AA7075 ve AA2024 alaşımlarının delinmesinde elde edilen F_t ve S/N oranları

AA7075 Deney No	Değişkenler	F_t İlerleme Kuvveti (N)	S/N Oranı (dB)	AA2024 Deney No	Değişkenler	F_t İlerleme Kuvveti (N)	S/N Oranı (dB)
T9	A3B1C3	669,98	-56,52	T34	A3B1C3	666,82	-56,48
T10	A3B2C4	618,27	-55,82	T35	A3B2C4	745,02	-57,44
T11	A3B3C1	415,06	-52,36	T36	A3B3C1	437,34	-52,82
T12	A3B4C2	447,80	-53,02	T37	A3B4C2	478,74	-53,60
T13	A4B1C4	794,60	-58,00	T38	A4B1C4	943,52	-59,50
T14	A4B2C3	793,29	-57,99	T39	A4B2C3	912,68	-59,21
T15	A4B3C2	687,98	-56,75	T40	A4B3C2	767,91	-57,71
T16	A4B4C1	583,15	-55,32	T41	A4B4C1	569,15	-55,10

Aynı şartlarda delme tekrarına göre F_t değerlerinin değişimi

Şekil 7.41’de geleneksel soğutma ve basınçlı havayla soğutma şartlarında, her takım için 30 deney tekrarı yapılarak elde edilen kuvvet verilerinin, ilk delikten son deliğe doğru değişim grafikleri gösterilmiştir. Her kesme şartı için tekrarlanan 30 verinin aritmetik ortalaması alınarak hesaplanan F_t kuvvetleri Çizelge 7.27’de verilmiştir. Şekil 7.41 (a)’daki grafikte geleneksel soğutma yöntemi kullanılarak AA7075 alüminyum alaşımının delinmesinde, kesme parametreleri farklı olan dört farklı kesme için elde edilen veriler gösterilmiştir. Şekil 7.41 (b)’de yine geleneksel soğutma yöntemi kullanılarak bu kez AA2024 alüminyum alaşımının delinmesinde, aynı işlemler tekrarlanmıştır.

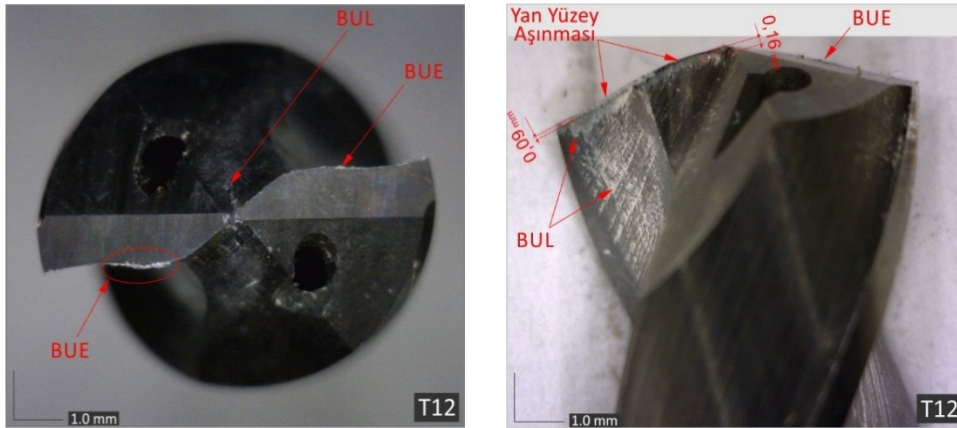
Şekil 7.41 (a) ve (b) grafiklerine bakılarak her sekiz takım için de açıkça denilebilir ki; ilk delikten son deliğe kesme kuvvetlerinde hemen hemen değişim olmamıştır. Örneğin T35 kesme şartında ilk delikte takıma etkiyen kuvvet 745,74 N, son delikte takıma etkiyen kuvvet ise 741,67 N olduğu görülmektedir. Bu durumdan yola çıkarak literatürde de belirtildiği gibi kesme sıvısı uygulaması, talaşı kırıp uzaklaştırarak talaş sıkışmasını önlemesi, kesme bölgesinde film tabakası oluşturarak sürtünmeden kaynaklanan aşınmanın/sıvanmasının önüne geçmesi ve kesme bölgesindeki ısının yükselmesini önlemesi gibi olumlu etkileri sayesinde takım aşınmasını/sıvanmasını azalttığı söylenebilir [7, 17].



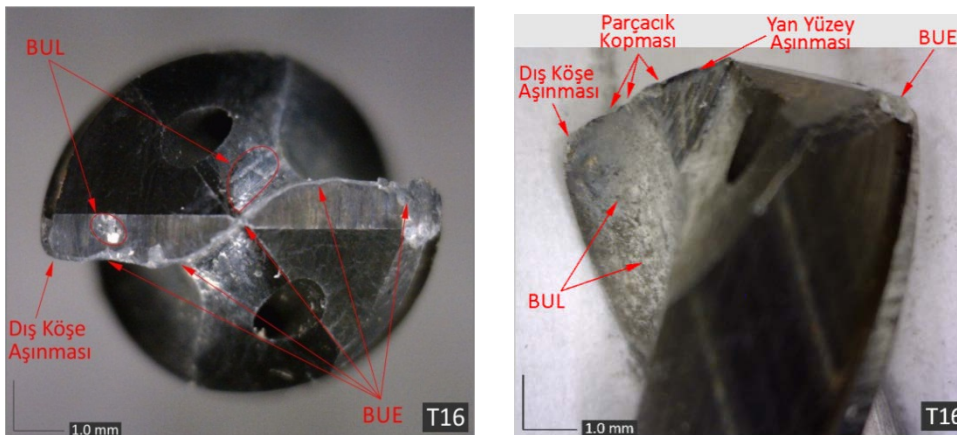
Şekil 7.41. AA7075 ve AA2024 alaşımlarının farklı soğutma şartlarında delinmesinde 1. delikten 30. deliğe doğru takımlara etkiyen ilerleme kuvvetlerindeki değişimler.

Basınçlı hava ile soğutma yöntemi kullanılarak AA7075 alüminyum alaşımının delinmesinde, kesme parametreleri farklı olan dört farklı kesme için elde edilen veriler ise Şekil 7.41 (c)'de gösterilmiştir. Şekil 7.41 (d)'de yine basınçlı hava ile soğutma yöntemi kullanılarak bu kez AA2024 alüminyum alaşımının delinmesinde, aynı işlemler tekrarlanmıştır. Şekil 7.41 (c) ve (d) grafiklerine bakılarak her sekiz takım için de, geleneksel soğutma yönteminden farklı olarak basınçlı havayla soğutma yönteminde, ilk delikten son deliğe kesme kuvvetlerinde yaklaşık % 40-50 artış olduğu söylenebilir. Basınçlı hava ile soğutmadan beklenen; talaşın kesme bölgesinden uzaklaşmasını hızlandırarak talaş sıkışmasını önlemesi ve bununla birlikte uzaklaştırılan talaşla ısının bir

bölümünü uzaklaştırarak kesme bölgesindeki ısının aşırı artmasını engellemesidir. Fakat basınçlı hava ile soğutmada sürtünmeyi ve talaşın takım yüzeyine yapışmasını engelleyecek kesme sıvısı kullanılmadığı için geleneksel soğutmada kesme bölgesinde oluşan film tabakası bu şartlarda söz konusu olmaz. Şekil 7.41' (c) ve (d)'de incelenen tüm şartlarda ilk delik ile son delik arasındaki kuvvet artışının sebebi sürtünme ve yapışmadan kaynaklanan takımın kesme bölgesindeki aşınma/sıvanma eğilimine atfedilmiştir. Resim 7.2'de geleneksel soğutma (a) ve basınçlı havayla soğutma (b) şartlarında kullanılan kesici takımlarda 30 delik delme tekrarı sonundaki aşınma/sıvanma eğilimleri görülmektedir. Basınçlı havayla soğutma şartında kullanılan T16 numaralı takımın (b), geleneksel soğutma şartında kullanılan T12 numaralı takıma (a) göre çok daha fazla deformasyona uğradığı açık bir Resim 7.2'de görülmektedir. T16 numaralı takımında enine kesici kenar ile 1. ve 2. ana kesici kenarlar boyunca yığıntı talaş (Built Up Edge-BUE) oluşumu ciddi boyutlara ulaşmıştır.



(a)



(b)

Resim 7.2. Geleneksel soğutma (a) ve basınçlı havayla soğutma (b) şartlarında 30 delik delme sonunda matkapların aşınma/sıvanma eğilimleri

Ayrıca ana kesici kenarlarda çentik aşınması ve dış köşe aşınması da gözlenmektedir. Talaş akışının gerçekleştiği matkabın kanal (oluk) yüzeylerinde oluşan sıvanmalar da (Built Up Layer-BUL) dikkat çekmektedir. Geleneksel soğutma şartlarında kullanılan T12 numaralı takımda ise ana kesici kenarlarda yan yüzeylerde 0,015 mm'den daha az aşınma eğilimi görülmektedir. Ana kesici kenarlarda ve matkabın kanal yüzeyinde sırasıyla BUE ve BUL oluşumlarının henüz başlangıç aşamasında kaldığı görülmektedir.

İlerleme hızı (V_f) ve soğutma şartlarına göre ortalama F_t değerinin değişimi

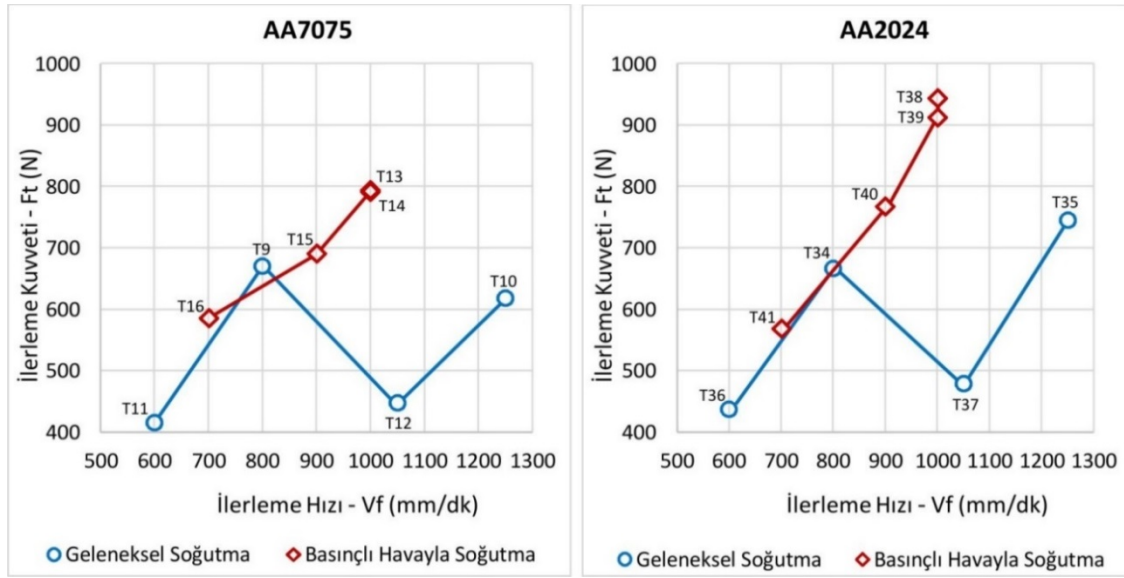
Yapılan çalışmada öncelikle, devir sayısı (n) ve ilerlemenin (f) bir fonksiyonu olan 'ilerleme hızı (V_f)' parametresinin kuvvetler üzerindeki etkisi incelenmiştir. L16 deney tasarımına göre hesaplanan ilerleme hızı değerleri Çizelge 7.28'de verilmiştir.

Çizelge 7.28. Deney tasarımına göre hesaplanan ilerleme hızı (V_f) değerleri

AA7075 Deney No	AA2024 Deney No	İlerleme f (mm/dev)	Devir sayısı n (dev/dk)	İlerleme Hızı V_f (mm/dk) { $V_f = f \times n$ }
T9	T34	f3	n1	800
T10	T35	f4	n2	1250
T11	T36	f1	n3	600
T12	T37	f2	n4	1050
T13	T38	f4	n1	1000
T14	T39	f3	n2	1000
T15	T40	f2	n3	900
T16	T41	f1	n4	700

Çizelgeye bakıldığında ilerlemeler ve devir sayıları farklıyken, ilerleme hızları aynı olan şartlar (T13-T14 ve T38-T39) görülmektedir. Deney tasarımına bağlı olarak her soğutma şartında farklı kesme hızı-ilerleme kombinasyonları mevcuttur (Çizelge 7.28). Elde edilen 16 farklı kesme 16 farklı takım numarasıyla ifade edilmiştir. Şekil 7.42'de AA7075 (a) ve AA2024 (b) alüminyum alaşımlarının delinmesinde, 30 delme tekrarında ölçülen F_t kuvvetlerinin aritmetik ortalaması alınarak hesaplanan ortalama F_t verilerinin ilerleme hızına göre değişimi gösterilmiştir. Şekil 7.42'deki grafiklerde basınçlı havayla soğutma yönteminde (a)'da T13 ve T14'deki, (b)'de ise T38 ve T39'daki ilerleme hızlarının aynı olduğu görülür. Bu durum ilgili kesme şartlarında, kesme hızları ve ilerlemeler farklı olsa da, ilerleme hızlarının aynı çıkmasıyla ilgilidir (Çizelge 7.27 ve Çizelge 7.28). Beklendiği gibi aynı kesme hızında takımların hemen hemen aynı ilerleme kuvvetlerine maruz kaldığı gözlenmiştir. Örneğin ilerleme kuvvetleri, ilerleme hızları aynı olan T13 için 795 N ve T14

için 793 N olarak ölçülmüştür. Diğer kesme şartları incelendiğinde, artan ilerleme hızlarının ilerleme kuvvetlerini genelde artırdığı görülmektedir. İstisnai olarak AA7075 için T12 ve AA2024 için T37 şartında uygulanan 1050 mm/dk ilerleme hızında ilerleme hızındaki artış ilerleme kuvvetlerini düşürmüştür. Bu durum deney tasarımı ile ilgili olarak AA7075 için T9'dan T12 şartına geçişte (AA2024 için T34'den T37 şartına geçişte); kesme hızı 100 m/dk'dan 175 m/dk'ya çıkarken, ilerlemenin 0,20 mm/dev'den 0,15 mm/dev'e düşmesine atfedilmiştir.



(a)

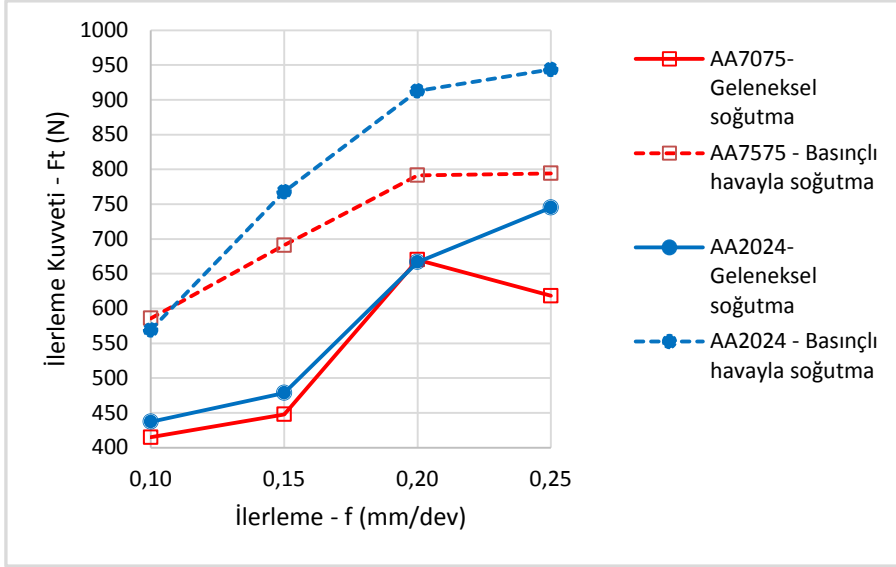
(b)

Şekil 7.42. AA7075 ve AA2024 malzemelerinin farklı soğutma şartlarında delinmesinde, takımlara etkileyen kuvvetlerin ilerleme hızına göre değişimi

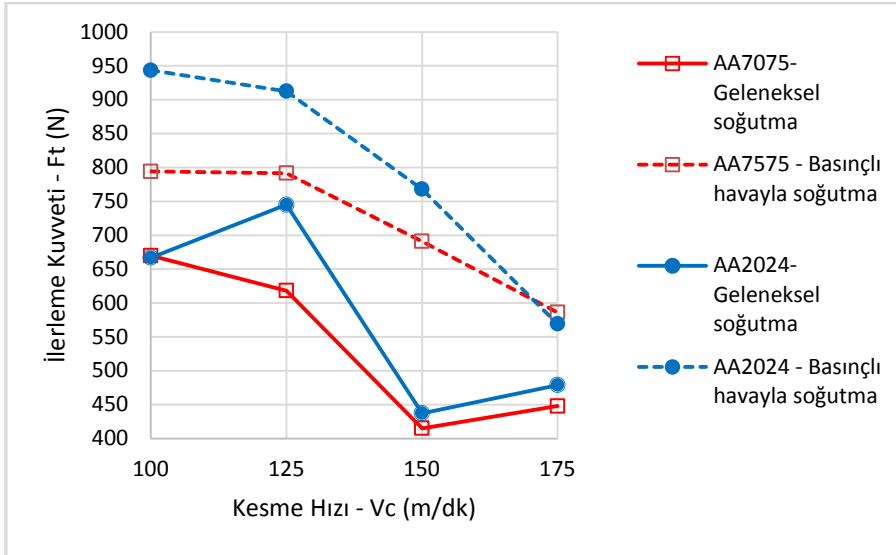
Grafiklerde AA2024 alaşımının delinmesinde takıma etkileyen kuvvetlerin AA7075 alaşımına kıyasla (özellikle basınçlı havayla soğutma şartlarında) daha yüksek olduğu görülmektedir. Düşük ilerleme hızlarında iki soğutma yönteminde elde edilen kuvvetler nispeten birbirine yakın iken, yüksek ilerleme hızlarında geleneksel soğutma yöntemiyle delik delmede ölçülen kuvvetler, basınçlı hava ile soğutmaya göre çok daha düşük olduğu görülmektedir.

Kesme hızı (V_c), ilerleme (f) ve soğutma şartlarına göre ortalama F_t değerinin değişimi

Şekil 7.43'deki grafiklerde AA7075 ve AA2024 alüminyum alaşımlarının delinmesinde, ortalama ilerleme kuvveti (F_t) verilerinin, ilerleme (a) ve kesme hızına (b) göre değişimi verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 7.43. İlerleme (a) ve kesme hızına (b) göre ilerleme kuvvetlerindeki değişimler

Grafiklere bakıldığında geleneksel soğutma uygulamasında ölçülen Ft değerlerinin basınçlı hava ile soğutma uygulamasında ölçülen değerlerden yaklaşık % 40 oranında daha düşük olduğu görülmektedir. Bu fark, geleneksel soğutma uygulamasında kesme bölgesinde oluşan film tabakasının bu bölgede oluşan sürtünmeyi ve buna bağlı olarak takımın oluşmasını azaltmasına atfedilmiştir. Sıvanmış takımın kesici kenarının geometrisi değiştiği için takıma etkiyen yüklerin de değiştiği bilinmektedir [85-86].

Malzeme faktörünün etkisi incelendiğinde ise AA2024 alaşımının delinmesinde ölçülen Ft verilerinin AA7075 alaşımının delinmesinde ölçülen verilerden daha yüksek olduğu

görülmektedir. Bunun sebebi, alüminyum alaşımının delinmesinde takımın aşınmadan çok sıvanmaya maruz kalacağı beklenmesi ve AA2024 alaşımının AA7075 alaşımına oranla daha sünek olmasından dolayı, takıma daha çok sıvanmasından kaynaklandığı düşünülmüştür [2-3]. Şekil 7.43 (a) grafiğinde ilerlemenin F_t üzerindeki etkisine bakıldığında, artan ilerlemenin ilerleme kuvvetlerinde genelde % 30-60 civarı artışa sebep olduğu görülmektedir. Grafik (b)'de ise kesme hızının artması F_t değerini % 20-40 arasında azalttığı görülmektedir. Kesme hızının artması kesici takım talaş yüzeyinde takım-talaş temas uzunluğunu azalatarak kesme kuvvetlerini düşürür. Ayrıca artan kesme hızı sonucu sıcaklığın artmasıyla birlikte, takım-talaş yüzeyindeki akma bölgesinde yapışan malzemenin kayma dayanımının azalması da kesme kuvvetlerini düşürdüğü bilinmektedir [106, 107]. İstisnai olarak her iki malzemedeki maksimum kesme hızında (175 m/dk) kuvvetlerde artış görülmüştür. Bunun sebebi, Taguchi deney tasarımına bağlı olarak 150 m/dk kesme hızında 0,10 mm/dev ilerlemenin kullanılmasına karşın, 175 m/dk kesme hızında 0,15 mm/dev ilerleme hızının kullanılmasına atfedilmiştir (Çizelge 7.28).

Tüm şartlara bakıldığında elde edilen en düşük F_t değeri; geleneksel soğutma şartlarında, en düşük ilerleme olan 0,10 mm/dev ve ikinci büyük kesme hızı olan 150 m/dk'da, AA7075 alaşımında elde edilmiştir. Ölçülen en yüksek F_t değeri ise; basınçlı havayla soğutma şartlarında, en yüksek ilerleme olan 0,25 mm/dev ve en düşük kesme hızı olan 100 m/dk'da, AA2024 alaşımında elde edilmiştir. Sonuçlar soğutma yönteminin, ilerlemenin, kesme hızının ve işlenen malzeme türünün ilerleme kuvvetlerini etkileyen unsurlar olduğunu göstermektedir.

İlerleme kuvveti (F_t) için varyans analizi

Kalite karakteristiği olarak belirlenen ilerleme kuvvetine (F_t) işlem parametrelerinin (ilerleme, kesme hızı, soğutma yöntemi ve malzeme türü) etki derecelerini açıklayan ANOVA sonuçları Çizelge 7.29'da toplu olarak verilmiştir. Çizelge 7.29 incelendiğinde yapılan varyans analizi sonunda elde edilen malzeme türü (m), soğutma yöntemi (S), ve ilerleme (f) olmak üzere işlem parametrelerine ait P değerleri α değerinden küçük çıktığı görülmektedir. $P < \alpha$ olduğu için bu işlem parametrelerinin kalite karakteristiği olan ilerleme kuvveti üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olduğu yorumu yapılır.

Çizelge 7.29. AA7075 ve AA2024 için ilerleme kuvveti ile ilgili ANOVA sonuçları

Kaynak	SD	KT'	KT	KO	F	P	YD
Malzeme (m)	1	22388	22388	22388	3,76	0,047	11,8
Soğ. Yönt. (S)	1	286947	270010	135005	22,65	0,000	71,3
Kesme hızı (V_c)	3	306653	8460	2820	0,47	0,707	1,5
İlerleme (f)	3	69383	69383	23128	3,88	0,038	12,2
Hata	12	71529	71529	5961	-	-	3,2
Toplam	20	756901	-	-	-	-	100,0
SD : Serbeslik derecesi, KT' : Saf kareler toplamı, KT : Kareler toplamı, KO : Kareler ortalaması, YD : Yüzde dağılım, F : Test istatistiği, P : Anlamlılık değeri							

YD sütunundan işlem parametrelerinin etki derecelerine bakılacak olursa; ilerleme kuvvetini % 71,3 oranla en çok soğutma yönteminin etkilediği görülmektedir. Soğutma yöntemi faktörünü, % 12,2 ile ilerleme ve % 11,8 ile malzeme türü faktörü takip etmektedir. İşlem parametreleri arasından kesme hızı faktörüne (V_c) ait P değerinin ise 0,707 ile kabul edilebilir hata oranı olan 0,05'den büyük olduğu görülmektedir. Bu durumda kesme hızı faktörünün ilerleme kuvvetleri üzerinde daha kararsız bir etkiye sahip olduğu sonucu çıkartılabilir. Kesme hızındaki artışın yüzey kalitesine etkisinde vurgulanan durum, ilerleme kuvvetleri için de geçerlidir. Yani kesme hızının artması kesmeyi kolaylaştırarak takıma etkiyen yükleri azaltmakta ve yüzey kalitesini artırmaktadır. Fakat kesme hızının artmasıyla birim zamanda oluşan talaş ve birim alanda sıkışan talaş da artmaktadır. ANOVA sonuçlarında da gözlenen kararsız etkiye, bu ikili etkinin sebep olduğu söylenebilir.

Aynı analiz ilerleme ve kesme hızı yerine bu iki parametrenin bir fonksiyonu olan 'ilerleme hızı' parametresi kullanılarak kuvvetler üzerindeki etkisinin incelenmiştir. Çizelge 7.30'da sonuçları verilen ANOVA testinde hata oranı (α) yine 0,05 olarak alınmıştır.

Çizelge 7.30. AA7075 ve AA2024 için ilerleme kuvveti ile ilgili ANOVA sonuçları

Kaynak	SD	KT'	KT	KO	F	P	YD
Malzeme (m)	1	22388	22388	22388	4,27	0,041	12,7
Soğ. Yönt. (S)	1	286947	167899	83949	16,00	0,000	47,8
İlerleme hızı (V_f)	6	384594	384594	64099	12,21	0,000	36,5
Hata	12	62972	62972	5248	-	-	3,0
Toplam	20	756901	-	-	-	-	100,00
SD : Serbeslik derecesi, KT' : Saf kareler toplamı, KT : Kareler toplamı, KO : Kareler ortalaması, YD : Yüzde dağılım, F : Test istatistiği, P : Anlamlılık değeri							

Testler sonunda elde edilen malzeme türü (m), soğutma yöntemi (S) ve ilerleme hızı (V_f) olmak üzere işlem parametrelerine ait tüm P değerleri α değerinden küçük çıkmıştır. $P < \alpha$ olduğu için, işlem parametrelerinin kalite karakteristiği olan ilerleme kuvveti üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olduğu yorumu yapılır. YD sütunundan işlem parametrelerinin etki derecelerine bakılacak olursa; ilerleme kuvvetini % 47,8 oranla en çok soğutma yönteminin etkilediği görülmektedir. Soğutma yöntemi faktörünü, % 36,5 ile ilerleme hızı izlemektedir. İşlem parametreleri arasında ilerleme kuvvetlerini en az etkileyen faktörün, % 12,7 ile malzeme türü olduğu görülmektedir.

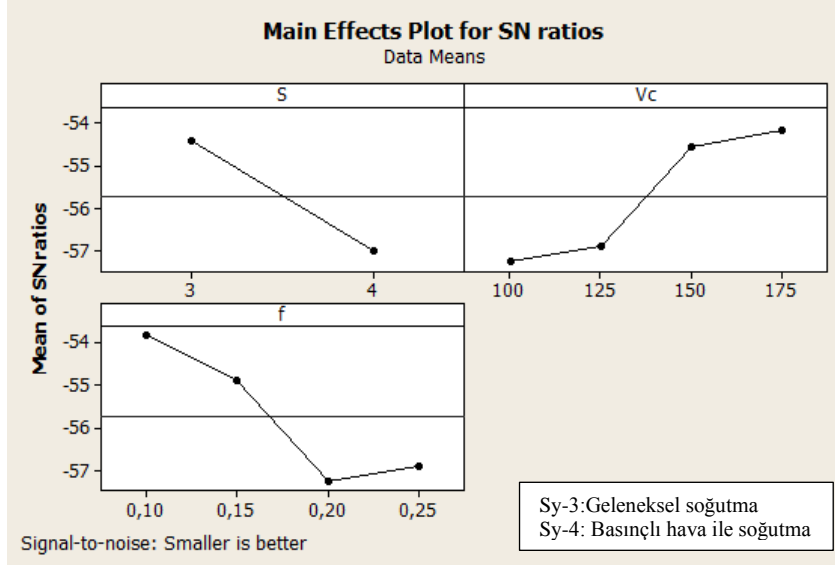
F_t verilerinin Sinyal/Gürültü (S/N) analizi

Yapılan analizde hem AA7075 için, hem de AA2024 için optimum ilerleme kuvveti değerleri; soğutma yönteminin üçüncü seviyesinde (A3), kesme hızının dördüncü seviyesinde (B4) ve ilerlemenin birinci seviyesinde (C1) elde edilmiştir. Her iki malzeme için Sinyal/Gürültü (S/N) analizinden elde edilen optimum parametreler Çizelge 7.31’de verilmiştir.

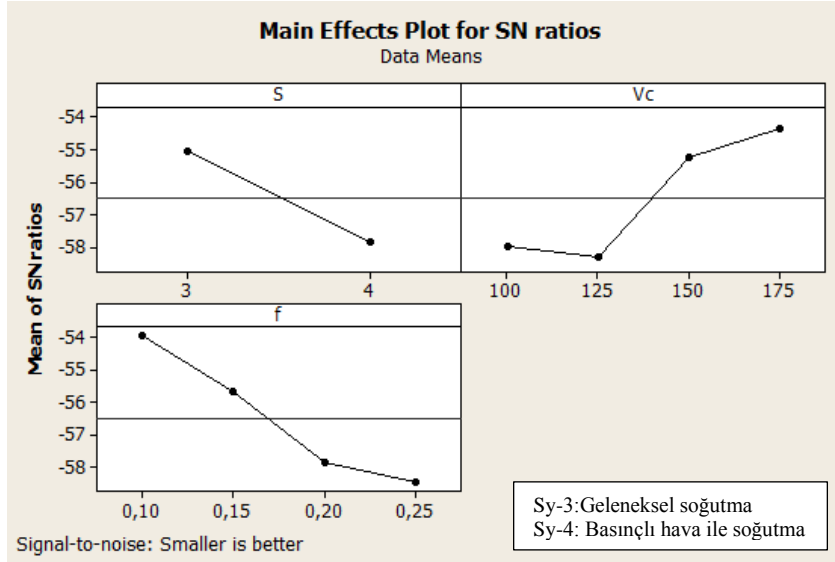
Çizelge 7.31. İlerleme kuvveti (F_t) için kontrol faktörlerinin optimum seviyeleri

Kontrol faktörleri	Simge	Birim	Optimum seviye	Optimum değer
Soğutma yönt. (A)	S_y		3	G
Kesme hızı (B)	V_c	m/dk	4	175
İlerleme (C)	f	mm/dev	1	0,1

Her iki malzeme için de ilerleme kuvvetleri, ilerlemenin artışıyla belirgin bir şekilde artarken, kesme hızı artışıyla azalmış ve geleneksel soğutma şartlarında belirgin olarak azalmıştır. Bu durum S/N değerlerinin verildiği Şekil 7.44’deki grafiklerde açık bir şekilde görülmektedir.



(a)



(b)

Şekil 7.44. AA7075 (a) ve AA2024 (b) alüminyum alaşımları için F_t sonuçlarına göre kontrol faktörlerinin S/N oranları

7.6. Momentlerin (M) Değerlendirilmesi

7.6.1. Uygulanan soğutma yöntemine göre momentlerin değerlendirilmesi

Farklı soğutma şartları, farklı alüminyum alaşımları ve farklı kesme parametreleri kullanılarak yapılan deneylerde, teknik kısıtlardan dolayı kuvvet ölçümü sadece geleneksel soğutma ve basınçlı havayla soğutma uygulamasında yapılırken takıma etkiyen momentler de ölçülmüştür. Çizelge 7.32’de deneyler sonunda elde edilen moment değerleri (M) ve

“en küçük en iyidir” yaklaşımına göre hesaplanan Sinyal/Gürültü (S/N) oranları verilmiştir.

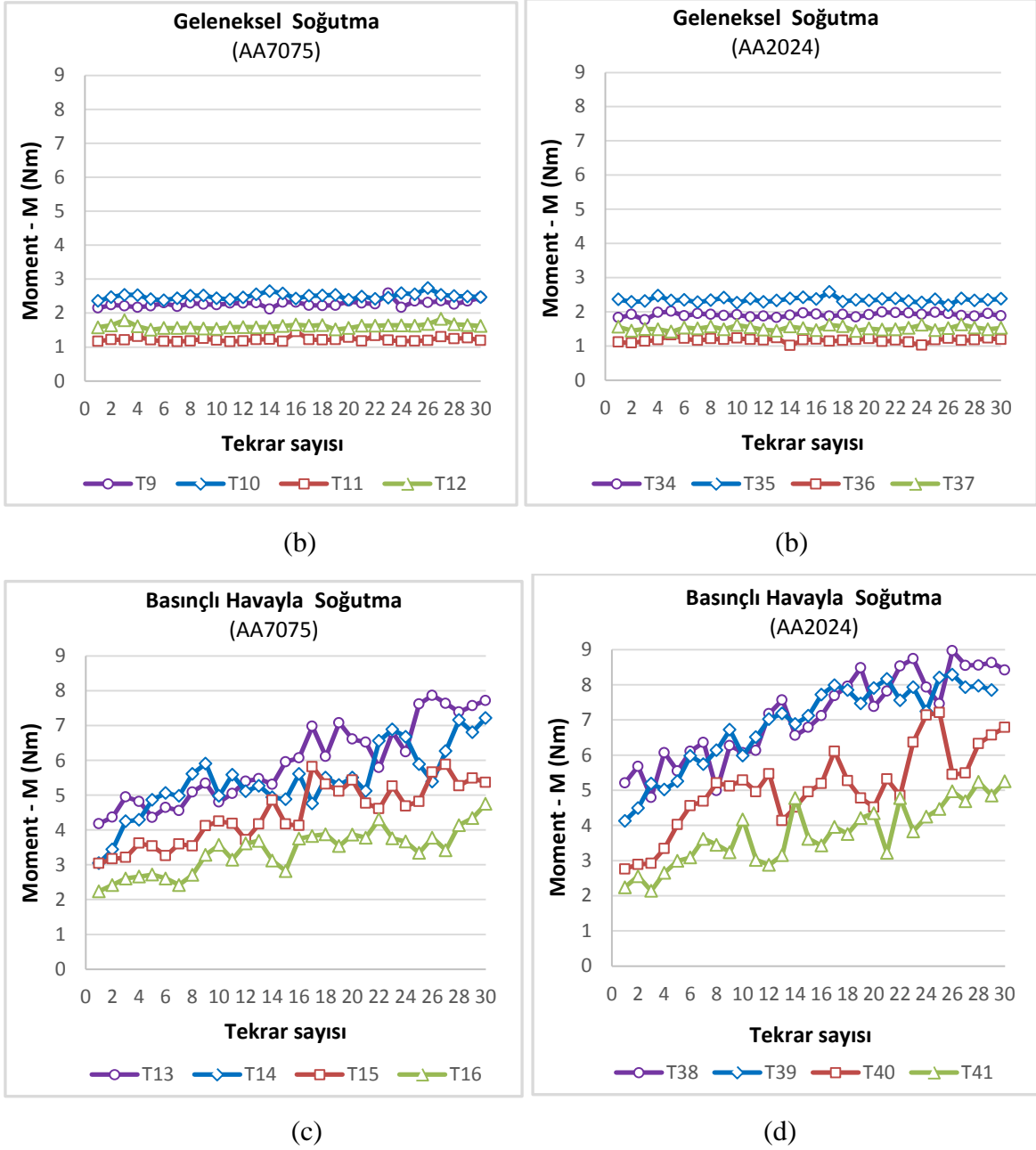
Çizelge 7.32. AA7075 ve AA2024 alaşımlarının delinmesinde elde edilen M ve S/N oranları

AA7075 Deney No	Değişkenler	M .Moment (Nm)	S/N Oranı (dB)	AA2024 Deney No	Değişkenler	M .Moment (Nm)	S/N Oranı (dB)
T9	A3B1C3	2,28	-7,15	T34	A3B1C3	1,91	-5,62
T10	A3B2C4	2,50	-7,94	T35	A3B2C4	2,35	-7,42
T11	A3B3C1	1,22	-1,75	T36	A3B3C1	1,17	-1,37
T12	A3B4C2	1,62	-4,17	T37	A3B4C2	1,52	-3,64
T13	A4B1C4	5,94	-15,48	T38	A4B1C4	7,12	-17,05
T14	A4B2C3	5,43	-14,70	T39	A4B2C3	6,92	-16,80
T15	A4B3C2	4,47	-13,01	T40	A4B3C2	5,07	-14,11
T16	A4B4C1	3,39	-10,61	T41	A4B4C1	3,76	-11,51

Aynı şartlarda delme tekrarına göre M değerlerindeki değişim

Şekil 7.45’de geleneksel soğutma ve basınçlı havayla soğutma şartlarında, her kesme şartı için 30 deney tekrarı yapılarak elde edilen moment verilerinin, ilk delikten son deliğe doğru değişim grafikleri verilmiştir. Şekil 7.45 (a)’da verilen grafikte geleneksel soğutma yöntemi kullanılarak AA7075 alüminyum alaşımının delinmesinde, Şekil 7.45 (b)’de yine geleneksel soğutma yöntemi kullanılarak bu kez AA2024 alüminyum alaşımının delinmesinde, Şekil 7.45 (c)’de basınçlı havayla soğutma yöntemi kullanılarak AA7075 alüminyum alaşımının delinmesinde ve Şekil 7.45 (d)’de yine basınçlı havayla soğutma yöntemi kullanılarak bu kez AA2024 alüminyum alaşımının delinmesinde kesme parametreleri farklı olan 16 farklı kesme için elde edilen veriler gösterilmiştir.

Şekil 7.45’de verilen (a) ve (b) grafiklerinde her sekiz takım için ilk delikten son deliğe takıma etkiyen kesme kuvvetlerinde hemen hemen değişim olmadığı açıkça görülmektedir. Örneğin T11 kesme şartında ilk delikte takıma etkiyen moment 1,17 Nm, son delikte ise 1,19 Nm olarak ölçülmüştür. İlerleme kuvveti sonuçlarında da karşılaşılan bu durum yine, geleneksel soğutma yönteminde kullanılan kesme sıvısının kesme bölgesinde film tabakası oluşturarak sürtünmeden kaynaklanan aşınmanın/sıvanmasının önüne geçmesini sağladığına atfedilebilir [7, 17].



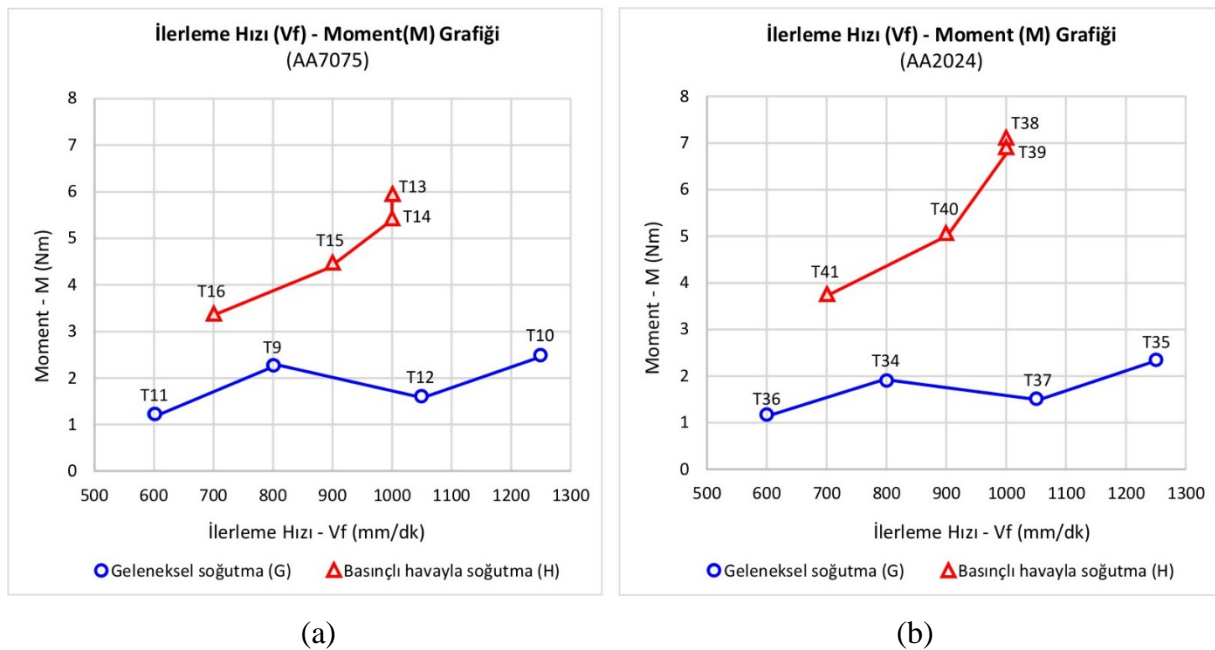
Şekil 7.45. AA7075 ve AA2024 alaşımlarının farklı soğutma şartlarında delinmesinde 1. delikten 30. deliğe doğru takımlara etkiyen momentlerdeki değişimler.

Şekil 7.45 (c) ve (d)'de basınçlı havayla soğutma uygulamasıyla ilgili grafiklerde ise her sekiz takım için de, ilk delikten son deliğe momentlerde yaklaşık % 45-55 artış olduğu görülmektedir. Basınçlı havayla soğutmada sürtünmeyi ve talaşın takım yüzeyine yapışmasını engelleyecek kesme sıvısı kullanılmadığı için, ilk delikten son deliğe moment artışının sebebi (ilerleme kuvveti sonuçlarında olduğu gibi) sürtünme ve yapışmadan kaynaklanan takımın kesme bölgesindeki aşınma/sıvanma eğilimi olduğu söylenebilir.

İlerleme hızı (V_f) ve soğutma şartlarına göre momentlerdeki (M) değişim

Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar değerlendirilirken devir sayısı (n) ve ilerlemeye (f) bağlı bir parametre olan ilerleme hızının (V_f) momentler üzerindeki etkisi de incelenmiştir. Deney tasarımına göre hesaplanan ilerleme hızı (V_f) değerleri daha önce Çizelge 7.28’de verilmişti. 16 farklı kesme şartı için tekrarlanan 30 delme deneyinde ölçülen moment (M) değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak, ortalama moment verileri hesaplanmıştır (Çizelge 7.32). AA7075 ve AA2024 alüminyum alaşımlarının delinmesinde hesaplanan moment verilerinin ilerleme hızına göre değişimi Şekil 7.46’da sırasıyla (a) ve (b) grafiklerinde verilmiştir.

Grafiklere bakıldığında artan ilerleme hızlarında takıma etkiyen momentlerde genelde artış olduğu görülmektedir. Fakat AA7075 için T12 ve AA2024 için T37 şartında uygulanan 1050 mm/dk ilerleme hızında ilerleme hızındaki artış momentleri düşürdüğü görülmektedir. Bu durum deney tasarımı ile ilgili olarak söz konusu kesme şartlarına geçerken; kesme hızının % 75 artmasının yanında, ilerlemenin de % 25 düşmesine atfedilmiştir. Basınçlı havayla soğutma yönteminde (a)’da T13 ve T14’de, (b)’de ise T38 ve T39’da deney tasarımıyla ilgili tesadüfi olarak aynı çıkan ilerleme hızlarında, takımlara etkiyen momentlerin de hemen hemen aynı olduğu gözlenmiştir.



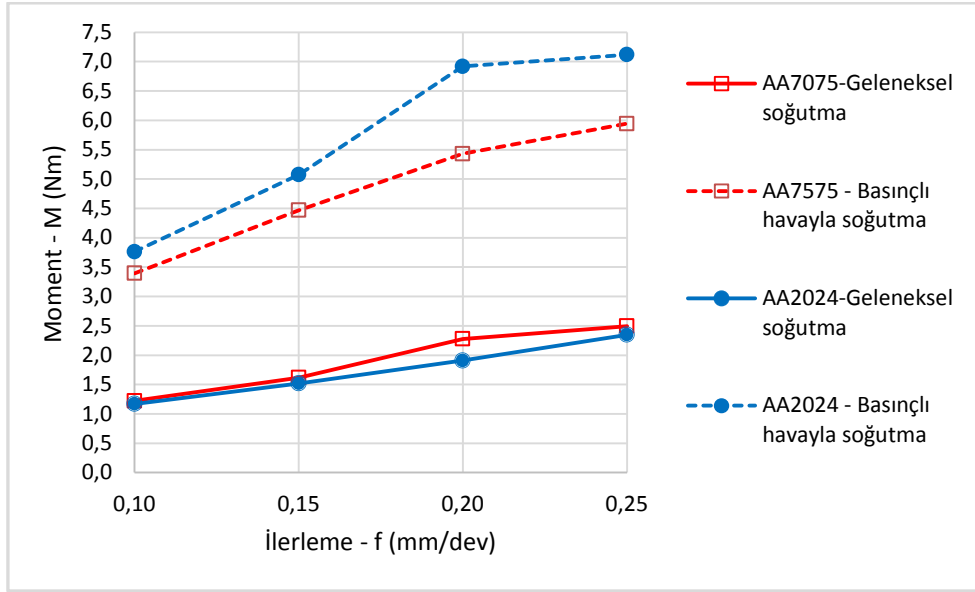
Şekil 7.46. AA7075 ve AA2024 malzemelerinin farklı soğutma şartlarında delinmesinde takımlara etkiyen momentlerin ilerleme hızına göre değişimi

Grafiklere bakıldığında basınçlı havayla soğutma yönteminde artan ilerleme hızının geleneksel soğutma yöntemine göre momentlerde daha çok artışa sebep olduğu görülmektedir. Ayrıca özellikle basınçlı havayla soğutma yönteminde AA2024 alaşımının delinmesinde takıma etkiyen momentlerin AA7075 alaşımına kıyasla daha yüksek olduğu görülmektedir. Sonuçlar incelendiğinde, basınçlı havayla soğutma uygulamasında kesme sıvısı kullanılmadığı için yağlamanın söz konusu olmadığı, buna bağlı olarak takıma yapışarak sıvıyanan alüminyum alaşımının takım uç geometrisini değiştirerek momentlerde artışa sebep olduğu söylenebilir [2,4].

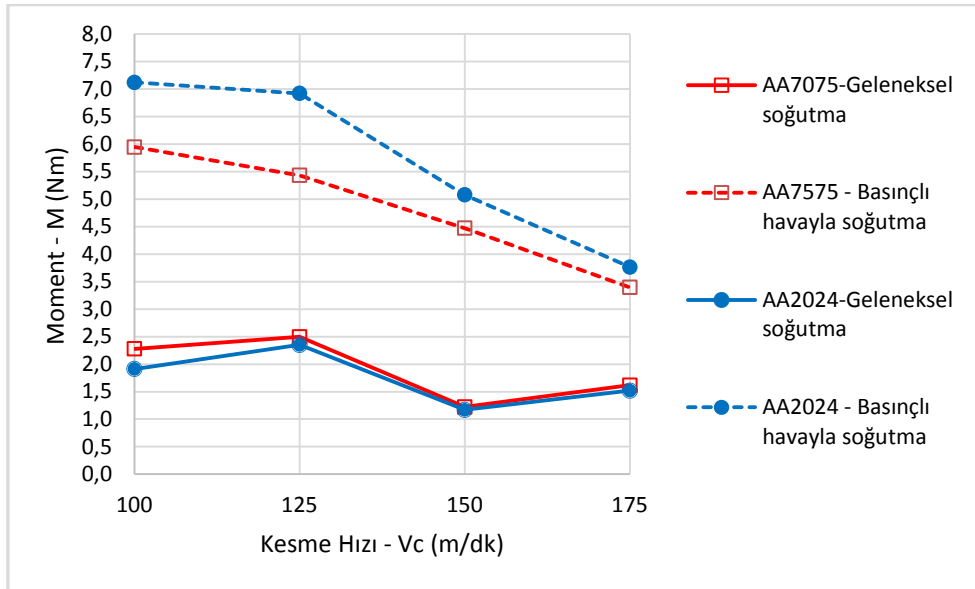
Kesme hızı (V_c), ilerleme (f) ve soğutma şartlarına göre moment (M) değerinin değişimi

AA7075 ve AA2024 alüminyum alaşımlarının delinmesinde ilerleme ve kesme hızının takıma etkiyen momentlere etkisi Şekil 7.47 (a) ve (b) grafiklerinde verilmiştir. Grafiklerde verilen moment değerleri her kesme şartı için tekrarlanan 30 delme deneyinde ölçülen momentlerin aritmetik ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Şekil 7.47 (a) grafiğinde momentlerin ilerlemeye göre değişimine bakıldığında, artan ilerlemenin ilerleme kuvvetlerinde genelde artırdığı gözlenmektedir. İlerleme oranındaki % 150 artışın momentlerde yaklaşık olarak % 45-50 artışa sebep olduğu görülmektedir. (b) grafiğinde ise kesme hızının artması momentleri genelde azalttığı görülmektedir. Kesme hızındaki % 75 artışın momentlerde yaklaşık % 25-45 düşüş sağladığı görülmektedir.

Soğutma yönteminin momentler üzerindeki etkisi için her iki grafiğe (a ve b) bakıldığında basınçlı hava ile soğutma uygulamasında ölçülen momentlerin geleneksel soğutma uygulamasında ölçülen değerlerden çok daha yüksek olduğu açıkça görülmektedir. Burada malzeme faktörünün de önem arzettiği söylenebilir. Grafiklere bakıldığında geleneksel soğutma yönteminde tüm şartlarda AA7075 alaşımında ölçülen veriler AA2024 alaşımına kıyasla daha fazla iken; basınçlı havayla soğutma yönteminde tüm şartlarda bu durumun aksine AA2024 alaşımında ölçülen momentlerin daha fazla olduğu gözlenmektedir. Buna bağlı olarak geleneksel soğutma şartlarına göre basınçlı hava ile soğutma şartlarında AA7075 alaşımında momentlerde yaklaşık % 55-60 artış gözlenirken, AA2024 alaşımında momentlerde yaklaşık % 65-70 artış gözlenmiştir.



(a)



(b)

Şekil 7.47. İlerleme oranı (a) ve kesme hızına (b) göre momentlerdeki değişimler

Bu sonuçlar değerlendirildiğinde, daha sünek olan, dolayısıyla takıma sıvanma eğilimi daha fazla olan AA2024 alaşımı, AA7075 alaşımına göre soğutma yöntemlerinden daha fazla etkilendiği söylenebilir.

Moment (M) verilerinin varyans analizi (ANOVA)

Malzeme türü, soğutma yöntemi, kesme hızı ve ilerleme olmak üzere işlem parametrelerinin kalite karakteristiği olarak seçilen momentler üzerindeki etkisinin

incelenmesi amacıyla elde edilen verilere ANOVA testi uygulanmıştır. Elde edilen ANOVA sonuçları Çizelge 7.33’de verilmiştir.

Çizelge 7.33. AA7075 ve AA2024 için momentlerle ilgili ANOVA sonuçları

Kaynak	SD	KT'	KT	KO	F	P	YD
Malzeme (m)	1	2,175	2,175	1,408	2,68	0,044	2,8
Soğ. Yönt. (S)	1	116,876	92,459	46,230	87,94	0,000	91,5
Kesme hızı (V_c)	3	16,772	0,612	0,204	0,39	0,764	0,4
İlerleme (f)	3	4,223	4,223	2,175	4,14	0,035	4,3
Hata	12	6,308	6,308	0,526	-	-	1,0
Toplam	20	146,354	-	-	-	-	100,0
SD : Serbeslik derecesi, KT' : Saf kareler toplamı, KT : Kareler toplamı, KO : Kareler ortalaması, YD : Yüzde dağılım, F : Test istatistiği, P : Anlamlılık değeri							

Çizelge 7.33’de YD sütunundan işlem parametrelerinin etki derecelerine bakıldığında; momentleri % 91,5 oranla en çok soğutma yönteminin etkilediği görülmektedir. Soğutma yöntemi faktörünü, % 4,3 ile ilerleme ve % 2,8 ile malzeme türü faktörü takip etmektedir. İşlem parametreleri arasından kesme hızı faktörüne (V_c) ait P değerinin ise 0,764 ile kabul edilebilir hata oranı olan 0,05’den büyük olduğu görülmektedir. Bu durumda kesme hızı faktörünün ilerleme kuvvetleri üzerinde kararsız bir etkiye sahip olduğu sonucu çıkarılabilir. Bilindiği üzere kesme hızının artması kesmeyi kolaylaştırmakta buna bağlı olarak takıma etkiyen yükleri düşürmektedir [14]. Fakat delme işleminde talaş tahliyesi; kesme hızının takıma etkiyen momentler üzerindeki etkisini olumsuz yönde değiştirmektedir. Kesme hızının artması bir yandan kesmeyi kolaylaştırarak takıma etkiyen momentleri azaltırken, diğer yandan daha fazla talaş sıkışmasıyla takımı zorlamaktadır. Bu ikili etki, deney sonuçlarında da gözlenen kararsız etkiye sebep olduğu değerlendirilmektedir.

Kesme hızı ve ilerlemenin bir fonksiyonu olan ‘ilerleme hızı’ parametresi kullanılarak sonuçlar bir kez daha varyans analizine tabi tutulmuştur. Çizelge 7.34’de yapılan analiz sonunda elde edilen malzeme türü (m), soğutma yöntemi (S) ve ilerleme hızı (V_f) olmak üzere işlem parametrelerine ait tüm P değerleri α (0,05) değerinden küçük çıktığı görülmektedir. $P < \alpha$ olduğu için, işlem parametrelerinin kalite karakteristiği olan momentler üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olduğu yorumu yapılır.

Çizelge 7.34. AA7075 ve AA2024 için momentlerle ilgili ANOVA sonuçları

Kaynak	SD	KT'	KT	KO	F	P	YD
Malzeme (m)	1	2,175	2,175	2,175	7,05	0,021	6,8
Soğ. Yönt. (S)	1	116,876	51,305	25,652	83,17	0,000	80,0
İlerleme hızı (V_f)	6	23,603	23,603	3,934	12,75	0,000	12,2
Hata	12	3,701	3,701	0,308	-	-	1,0
Toplam	20	146,354	-	-	-	-	100,0
SD : Serbeslik derecesi, KT' : Saf kareler toplamı, KT : Kareler toplamı, KO : Kareler ortalaması, YD : Yüzde dağılım, F : Test istatistiği, P : Anlamlılık değeri							

YD sütunundan işlem parametrelerinin etki derecelerine bakıldığında; momentleri % 80 ile en çok soğutma yönteminin etkilediği görülmektedir. Soğutma yöntemi faktörünü, % 12,3 ile ilerleme hızı, % 6,8 ile malzeme türü izlemektedir.

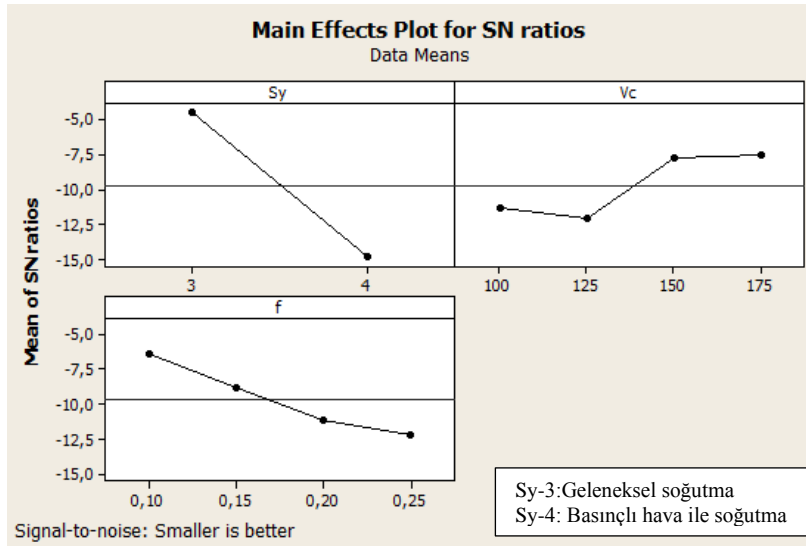
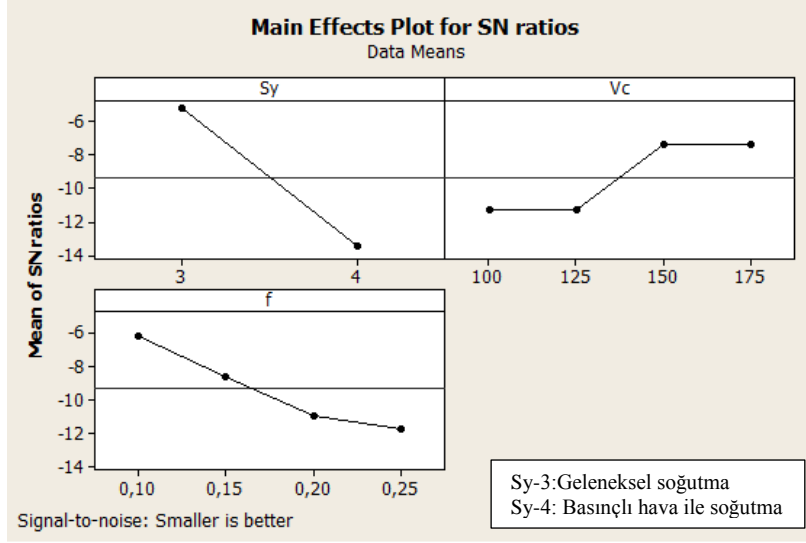
Moment (M) verilerinin Sinyal/Gürültü (S/N) analizi

Momentlerin en düşük olduğu seviyeler en iyi seviyeler olarak belirlenmesi amacıyla “en küçük en iyidir” yaklaşımıyla sonuçlar Taguchi Sinyal-Gürültü (S/N) analizine tabi tutulmuştur. Yapılan testlerde her iki alüminyum alaşımı için (AA7075 ve AA2024) optimum moment değerleri; soğutma yönteminin üçüncü seviyesinde (A3), kesme hızının dördüncü seviyesinde (B4) ve ilerlemenin birinci seviyesinde (C1) elde edilmiştir. Çizelge 7.35’de her iki malzeme için elde edilen optimum parametreler verilmiştir.

Çizelge 7.35. Momentler (M) için kontrol faktörlerinin optimum seviyeleri

Kontrol faktörleri	Simge	Birim	Optimum seviye	Optimum değer
Soğutma yönt. (A)	S_y		3	G
Kesme hızı (B)	V_c	m/dk	4	175
İlerleme (C)	F	mm/dev	1	0,1

İşlem parametrelerine ait S/N değerleri Şekil 7.48’deki grafiklerde verilmiştir. Grafiklerde de her iki malzeme için en düşük moment değerleri, ilerlemenin minimum, kesme hızının maksimum olduğu durumda geleneksel soğutma şartlarında olduğu açık bir şekilde görülmektedir



Şekil 7.48. AA7075 (a) ve AA2024 (b) alüminyum alaşımları için M sonuçlarına göre kontrol faktörlerinin S/N oranları

7.7. Tüm Çıktı Parametreleri için İşlem Parametrelerinin Değerlendirilmesi

7.7.1. Yapılan ana deneylerden elde edilen çıktı parametrelerinin değerlendirilmesi

Deneysel sonuçlarda çıktı parametrelerini en çok soğutma yöntemlerinin etkilediği görülmüştür. En düşük değerler geleneksel soğutma uygulamasında gözlenirken, içten MMY uygulamasında elde edilen sonuçların geleneksel soğutma yöntemine çok yakın olduğu görülmüştür. İlerlemelerdeki artış tüm çıktı parametrelerinde genelde artışa neden olurken, kesme hızının çıktı parametreleri üzerindeki etkisi daha belirsiz olmuştur. Kesme

hızındaki artış yüzey pürüzlüğü ile ilerleme kuvveti ve momentleri azaltmış fakat çaptan sapma, dairesellikten sapma ve silindiriklikten sapma olmak üzere geometrik toleranslarda artışa neden olmuştur. Kuvvet, moment ve yüzey pürüzlüğünde daha belirgin olmakla birlikte genel olarak çıktı parametrelerinde AA7075 alaşımından elde edilen sonuçların AA2024 alaşımından daha düşük olduğu görülmüştür.

Malzeme türü, soğutma yöntemi ve kesme parametreleri olmak üzere işlem parametrelerinin kalite karakteristiklerine (yüzey pürüzlüğü, çaptan sapma, dairesellikten sapma, silindiriklikten sapma, ilerleme kuvveti ve moment) etki derecelerini belirleyebilmek için veriler ANOVA testine tabi tutulmuştur. İşlem parametreleri üzerindeki en etkili faktörün soğutma yöntemi olduğu yapılan ANOVA testlerinde de görülmüştür. Soğutma yönteminden sonra en etkili parametre ise ilerleme olmuştur. Malzeme faktörünün özellikle geometrik tolerans sonuçları için etkili bir parametre olmadığı gözlenmiştir. Uygulanan soğutma yöntemlerinin malzeme faktörünün sonuçlar üzerindeki etkisini azalttığı görülmüştür. Yapılan ANOVA testlerine ait tüm sonuçlar Çizelge 7.36'da toplu olarak verilmiştir.

Çizelge 7.36. Tüm kalite karakteristikleri için işlem parametrelerine ait ANOVA sonuçları

	Yüzey Pürüzlüğü %	Çaptan Sapma %	Dairesel. Sapma %	Silindirik. Sapma %	İlerleme Kuvveti %	Moment %
Malzeme (m)	0,4	1,0	0,1	0,5	11,8	2,8
Soğ. Yönt. (S)	88,0	86,2	81,3	80,3	71,3	91,5
Kesme hızı (V_c)	0,9	0,9	7,6	2,0	1,5	0,4
İlerleme (f)	9,6	10,5	8,3	14,5	12,2	4,3
Hata	1,1	1,4	2,7	2,7	3,2	1,0
Toplam	100,0	100,0	100,00	100,0	100,0	100,0

Optimum işleme şartlarının belirlenmesi için yapılan Sinyal/Gürültü (S/N) testlerinde soğutma yönteminin 3. seviyesi olan geleneksel soğutma yönteminde ve ilerlemenin 1. seviyesi olan 0,10 mm/dev ilerlemede tüm çıktı parametrelerinde optimum şartlar olduğu görülmüştür. Çaptan sapma, dairesellikten sapma ve silindiriklikten sapma olmak üzere geometrik tolerans sonuçlarında kesme hızının 1. seviyesi olan 100 m/dk kesme hızında optimum değerler elde edilirken, yüzey pürüzlüğü sonuçlarında kesme hızının 3. seviyesi olan 150 m/dk kesme hızında, ilerleme kuvveti ve moment sonuçlarında ise kesme hızının 4. seviyesi olan 175 m/dk kesme hızında optimum değerler elde edilmiştir. Çizelge 7.37'de yapılan S/N testlerine ait tüm sonuçlar toplu olarak verilmiştir.

Çizelge 7.37. Optimum şartlar için işlem parametrelerine ait S/N sonuçları

Kontrol faktörleri	YüzeY Pürüzlüğü	Çaptan Sapma	Dairesel. Sapma	Silindirik. Sapma	İlerleme Kuvveti	Moment
Soğutma yönt. (A: S _y)	G (3. Seviye)	G (3. Seviye)	G (3. Seviye)	G (3. Seviye)	G (3. Seviye)	G (3. Seviye)
Kesme hızı (B: V _c) {m/dk}	150 (3. Seviye)	100 (1. Seviye)	100 (1. Seviye)	100 (1. Seviye)	175 (4. Seviye)	175 (4. Seviye)
İlerleme (C:f) {mm/dev}	0,10 (1. Seviye)	0,10 (1. Seviye)	0,10 (1. Seviye)	0,10 (1. Seviye)	0,10 (1. Seviye)	0,10 (1. Seviye)

Yapılan tekrar deneylerinde tüm çıktı parametreleri için 1. delikten 30. deliğe artış miktarı geleneksel soğutma ve içten MMY uygulamalarında düşük olurken, dıştan MMY ve basınçlı havayla soğutmada daha yüksek olmuştur. Bu durum takımların makro fotoğraflarında da gözlenmiştir. Geleneksel soğutma ve içten MMY uygulamalarında kullanılan takımların aşınma/sıvanma eğilimlerinin çok düşük olurken, dıştan MMY ve basınçlı havayla soğutmada çok daha yüksek olduğu gözlenmiştir.

7.7.2. Yapılan ek deneylerden elde edilen çıktı parametrelerinin değerlendirilmesi

Tezgaah kıyasının yapıldığı ek deneylerde kuru kesme şartlarında elde edilen tüm çıktı parametreleri soğutma yönteminin kullanıldığı uygulamaların hepsinden daha yüksek çıkmıştır. Yine ek deneylerde ES tezgahında yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar PMM tezgahına yakın olmakla birlikte PMM tezgahında elde edilen sonuçların % 1-6 daha düşük olduğu görülmüştür. Bu sonuç tezgaah faktörü dikkate alındığında ES tezgahında uygulanan içten MMY yönteminde elde edilen sonuçların PMM tezgahında uygulanan geleneksel soğutma yönteminde elde edilen sonuçlara daha yakın olabileceğini açıklamaktadır.

Tüm çıktı parametreleri için en yüksek değerler Mori Seiki (MS) tezgahında yapılan deneylerde gözlenmiştir. EcoSpeed (ES) ve PMM tezgahlarında yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar ise MS tezgahına göre daha yakın değerlerde çıkmıştır. Soğutma yöntemlerinin karşılaştırıldığı ana deneylerde kullanılan ES ve PMM tezgahlarında elde edilen sonuçların yakın değerlerde çıkması, tezgaah faktörünün ana deneylerdeki sonuçlara etkisinin az olduğunu göstermektedir. Çizelge 7.38'de PMM tezgahında yapılan deneylerden elde edilen tüm çıktı parametrelerine ait sonuçların ES tezgahına göre yüzde (%) olarak ne kadar değiştiği verilmiştir. Çizelgede iki tezgaah (PMM ve ES) arasındaki en büyük farkın % 13'den bile daha az olduğu görülmektedir.

Çizelge 7.38. Kuru kesme şartlarında yapılan ek deneylerde PMM tezgahındaki sonuçların ES tezgahına göre değerlendirilmesi

ES – PMM	Yüzey pürüzlüğü	Çaptan sapma	Dairesellikten sapma	Silindiriklikten sapma
AA7075	% -2,2	% -12,1	% 1,2	% -9,5
AA2024	% -6,5	% -12,6	% 11,1	% 10,8
Genel ort.	% -4,3	% -12,3	% 6,1	% 0,6

Ana deneylerde olduğu gibi ek deneylerde de ilerlemelerdeki artışın tüm çıktı parametrelerinde artışa neden olduğu görülmüştür. Kesme hızındaki artış ise soğutma yöntemlerinin kullanıldığı ana deneylerden farklı olarak, yüzey pürüzlüğü kuvvet ve momentler de dahil olmak üzere, tüm çıktı parametrelerinde artışa sebep olmuştur.

Ek deneyler için yapılan ANOVA testlerinde çıktı parametreleri (kalite karakteristikleri) için en etkili olan işlem parametreleri farklı çıkmıştır. Yüzey pürüzlüğü ve çaptan sapma sonuçları için en etkili faktörün ilerleme, dairesellikten sapma sonuçları için kesme hızı ve silindiriklikten sapma sonuçları için tezgah türü olduğu görülmüştür. Soğutma yöntemlerinin karşılaştırıldığı ana deneylere ait ANOVA testlerinde kesme hızının tüm sonuçlar üzerindeki etkisi % 1-7'lerde kalırken, kuru kesme şartlarında takım tezgahlarının kıyaslandığı ek deneylerde kesme hızının sonuçlar üzerindeki etkisinin % 10-48'lere çıktığı gözlenmiştir. Dolayısıyla kesme hızının sonuçlar üzerindeki olumsuz etkisini uygulanan soğutma yönteminin azalttığı görülmektedir. Ana deneylerdeki sonuçlarından farklı olarak kuru kesme şartlarında yapılan ek deneylerde malzeme faktörünün (dairesellikten sapma değerleri hariç) tüm sonuçlara etkisi daha belirgindir. Soğutma yöntemlerinin kullanıldığı ana deneylerde malzemenin özellikle delik kalitesine etkisi en fazla % 1 iken, kuru kesme şartlarında malzeme faktörünün etkisinin % 25'lere çıktığı görülmektedir. Çizelge 7.39'da tezgah kıyasının yapıldığı ek deneylerde tüm kalite karakteristikleri için işlem parametrelerine ait ANOVA sonuçları toplu olarak verilmiştir.

Ek deneylerdeki optimum işleme şartlarının belirlenmesi amacıyla yapılan Sinyal/Gürültü (S/N) testlerinde tüm çıktı parametreleri için kesme hızının 1. seviyesinde (100 m/dk) ve ilerlemenin 1. seviyesinde (0,10 mm/dev) optimum değerler elde edilmiştir. Yüzey pürüzlüğü ve çaptan sapma sonuçları için en optimum değerler PMM (2. seviye) tezgahında, dairesellikten sapma sonuçları için ise optimum değerler ES (1. seviye) tezgahında gözlenmiştir.

Çizelge 7.39. Kuru kesme şartlarında yapılan ek deneylerdeki tüm kalite karakteristikleri için işlem parametrelerine ait ANOVA sonuçları

	Yüzey Pürüzlüğü %	Çaptan Sapma %	Dairesel. Sapma %	Silindirik. Sapma %
Malzeme (m)	25,2	4,9	0,32	24,5
Tezgah türü (T_g)	12,1	25,3	18,80	28,7
Kesme hızı (V_c)	9,6	10,6	47,71	22,5
İlerleme (f)	52,6	53,4	29,38	22,1
Hata	0,5	5,8	3,79	2,2
Toplam	100,0	100,0	100,00	100,0

Silindiriklikten sapma sonuçlarında ise en düşük değerler AA7075 alaşımı için PMM tezgahında, AA2024 alaşımı için ES tezgahında gözlenmiştir. Çizelge 7.40'da yapılan S/N testlerine ait tüm sonuçlar toplu olarak verilmiştir.

Çizelge 7.40. Ek deneylerdeki optimum şartlar için işlem parametrelerine ait S/N sonuçları

Kontrol faktörleri	Yüzey Pürüzlüğü	Çaptan Sapma	Dairesel. Sapma	Silindirik. Sapma
Takım tezgahı (A: T_g)	PMM (2. Seviye)	PMM (2. Seviye)	ES (1. Seviye)	PMM ₍₇₀₇₅₎ /ES ₍₂₀₂₄₎ (2. / 1. Seviye)
Kesme hızı (B: V_c) {m/dk}	100 (1. Seviye)	100 (1. Seviye)	100 (1. Seviye)	100 (1. Seviye)
İlerleme (C:f) {mm/dev}	0,10 (1. Seviye)	0,10 (1. Seviye)	0,10 (1. Seviye)	0,10 (1. Seviye)

Taguchi Yöntemi'ne göre, optimal sonuçları verecek parametrelerin tahmininden sonra, optimizasyonda son aşama olarak doğrulama deneyleri yapılarak optimizasyonun doğruluğu test edilmektedir. Ancak, tahmin edilen seviyeler; optimizasyon öncesi yapılan deneysel çalışmaların arasından biri olduğu takdirde doğrulama deneylerine gereksinim olmaksızın, optimizasyonun performansı test edilebilmektedir [108]. Bu çalışmada, delik kalitesi, ilerleme kuvveti ve moment için tahmin edilen optimal seviyeler yapılan deneyler içerisinde mevcuttur. Tahmini değerler deney tasarımında yapıldığından ve tahmin edilen değere yakın değerler çıktığından dolayı doğrulama deneylerine gerek duyulmamıştır.

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

8.1. Sonuçlar

Bu çalışmada, Taguchi deney tasarımına göre AA7075 ve AA2024 alüminyum alaşımlarının kaplamasız karbür takımlarla farklı kesme parametreleri ve soğutma şartları uygulanarak delinmesi suretiyle yapılan deneyler sonunda, deliklerde ölçülen ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a), çaptan sapmalar, dairesellikten sapmalar (ovalite) ve silindiriklikten sapmalar (eksenel kaçıklık) ile takıma etki eden ilerleme kuvveti (F_t) ve moment verileri değerlendirilerek elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

(Tüm maddelerde % olarak verilen her sayı çiftinin ilki AA7075, ikincisi AA2024 alaşımından elde edilen sonuçları ifade etmektedir.)

- i. Soğutma şartlarının karşılaştırıldığı ana deneylerde aynı şartlarda gerçekleştirilen 30 delik tekrarı sonunda;
 - Geleneksel soğutma yönteminde ilk delikten son deliğe takıma etkiyen ilerleme kuvvetlerinde (F_t) ve momentlerde kayda değer bir değişiklik olmazken, basınçlı havayla soğutma yönteminde ilk delikten son deliğe takıma etkiyen kuvvetlerde % 40-50, momentlerde % 45-55 artış gözlenmiştir.
 - İlk delikten son deliğe ortalama yüzey pürüzlüğünde (R_a); içten MMY uygulamada % 15-20, dıştan MMY uygulamada % 65-70, geleneksel soğutmada % 10-15, ve basınçlı havayla soğutmada % 40-45 civarında artış olduğu görülmüştür.
 - Çaptan sapmalarda ilk delikten son deliğe içten MMY uygulamada % 30-50, dıştan MMY uygulamada % 80'den fazla, geleneksel soğutmada % 10-30 ve basınçlı havayla soğutmada % 70'e yakın artış olmuştur.
 - İçten MMY, dıştan MMY, geleneksel soğutma ve basınçlı havayla soğutma yönteminde ilk delikten son deliğe dairesellikten sapma değerlerinde sırasıyla % 20-30, % 60-80, % 20-30 ve % 75-85 artışlar görülmüştür.

- İlk delikten son deliğe silindiriklikten sapma değerlerinde ise; içten MMY uygulamada % 20-30, dıştan MMY uygulamada % 90-85, geleneksel soğutmada % 20-30 ve basınçlı havayla soğutmada % 70-80 artış olduğu görülmüştür.

Yapılan tekrar deneylerinde 1. delikten 30. deliğe tüm sonuçlardaki artış miktarları içten MMY ve geleneksel soğutma yöntemlerinde düşük olurken, dıştan MMY ve basınçlı havayla soğutma yöntemlerinde çok daha yüksek olduğu görülmüştür.

Ayrıca, tüm sonuçlarda AA2024 alaşımında ilk delikten son deliğe gözlenen artışların AA7075 alaşımından genelde daha yüksek olduğu görülmüştür.

- ii. Farklı soğutma şartları, kesme parametreleri ve iş parçası malzemelerinin (aynı şartlarda 30 delik tekrarından elde edilen verilerin aritmetik ortalaması alınarak) hesaplanan ortalama sonuçlara etkisine bakıldığında;

- Tüm çıktı parametreleri için en düşük değerler geleneksel soğutma yönteminde, en yüksek değerler ise basınçlı havayla soğutma yönteminde gözlenmiştir. Kuvvet sonuçları için basınçlı havayla soğutma yöntemine göre geleneksel soğutma yöntemindeki değerlerde % 40 düşüş olmuştur. Moment sonuçları için ise bu düşüşün % 60-70 civarında olduğu görülmüştür. Yüzey pürüzlüğü (R_a) sonuçları için basınçlı havayla soğutmada elde edilen değerlere göre dıştan MMY yönteminde % 5-15, içten MMY yönteminde % 40-60 ve geleneksel soğutma yönteminde % 55-60 düşüş görülmüştür. Deliklerin geometrik toleranslarıyla ilgili ölçülen sonuçlarda basınçlı havayla soğutma yöntemine göre dıştan MMY, içten MMY ve geleneksel soğutma yöntemlerinde çaptan sapma değerleri için sırasıyla % 30, % 70 ve % 80; dairesellikten sapma değerleri için % 20-25, % 55 ve % 60-70; silindiriklikten sapma değerleri için ise; sırasıyla % 25-20, % 55 ve % 80 düşüşler gözlenmiştir.
- İlerlemelerdeki artış tüm çıktı parametrelerinde genelde artışa neden olmuştur. İlerlemelerdeki % 150 artışın ilerleme kuvvetlerinde % 30-60, momentlerde % 45-50, yüzey pürüzlüklerinde % 40-60, çaptan sapmalarda % 200, dairesellikten sapmalarda % 110-75 ve silindiriklikten sapmalarda % 75-85 artışlara neden olduğu görülmüştür.
- Kesme hızının çıktı parametreleri üzerindeki etkisi ise ilerlemeye göre daha belirsiz olduğu gözlenmiştir. Çaptan sapma, dairesellikten sapma ve silindiriklikten sapma olmak üzere tüm geometrik tolerans sonuçları kesme hızının artışı ile artma eğilimi

göstermiştir. Deliklerin yüzey pürüzlüğü ile takıma etkiyen kuvvet ve momentlerde ise bu durumun aksine, kesme hızının artışı ile değerlerin azaldığı görülmüştür. Kesme hızının % 75 artması kuvvet ve momentlerde sırasıyla % 20-40 ve % 25-45, yüzey pürüzlüğünde % 10-25 düşümlere; çaptan sapmalarda % 90-50, dairesellikten sapmalarda % 90-100 ve silindiriklikten sapmalarda % 40-50 artışlara neden olduğu görülmüştür.

- İlerleme oranı ve kesme hızına bağlı bir parametre olan ilerleme hızına göre çıktı parametreleri irdelendiğinde, ilerleme hızındaki artışın tüm sonuçları genelde artırdığı görülmüştür. Kullanılan dört farklı kesme hızı ve ilerleme bazı şartlarda tesadüfi olarak aynı ilerleme hızlarını vermiştir. Yapılan deneylerde ilerleme ve kesme hızları farkı olsa da, ilerleme hızları aynı olan bu şartlarda sonuçların birbirine çok yakın olduğu görülmüştür.
- Malzeme faktörünün sonuçlar üzerindeki etkisi soğutma yöntemlerine göre değişmiştir. Özellikle yüzey pürüzlüğü sonuçlarında soğutma/yağlama şartlarının daha iyi olduğu içten MMY ve geleneksel soğutma uygulamalarında AA2024 alaşımında daha düşük değerler ölçülürken, soğutma/yağlama şartlarının eksik/yetersiz olduğu dıştan MMY ve basınçlı havayla soğutma uygulamalarında AA7075 alaşımında daha düşük değerler ölçülmüştür. Kuvvet ve moment sonuçlarında ise tüm şartlarda AA7075 alaşımında AA2024 alaşımına göre daha düşük değerler gözlenirken, basınçlı havayla soğutma şartlarında bu farkın arttığı gözlenmiştir.
- Malzeme türü, soğutma yöntemi ve kesme parametreleri olmak üzere işlem parametrelerinin kalite karakteristiklerine (yüzey pürüzlüğü, çaptan sapma, dairesellikten sapma, silindiriklikten sapma, ilerleme kuvveti ve moment) etki derecelerini belirleyebilmek için veriler ANOVA testine tabi tutulmuştur. Yapılan ANOVA testlerinde işlem parametreleri üzerindeki en etkili faktörün soğutma yöntemi olduğu görülmüştür. Soğutma yönteminden sonra en etkili parametre ise ilerleme olmuştur. Malzeme faktörünün özellikle geometrik tolerans sonuçları için etkili bir parametre olmadığı gözlenmiştir.
- Optimum işleme şartlarının belirlenmesi için yapılan Sinyal/Gürültü (S/N) testlerinde soğutma yönteminin 3. seviyesi (geleneksel soğutma) ve ilerlemenin 1. seviyesi (0,10 mm/dev) tüm çıktı parametrelerinde optimum şartlar olduğu görülmüştür. Çaptan

sapma, dairesellikten sapma ve silindiriklikten sapma olmak üzere geometrik tolerans sonuçlarında kesme hızının 1. seviyesinde (100 m/dk) optimum değerler elde edilirken, yüzey pürüzlüğü sonuçlarında kesme hızının 3. seviyesinde (150 m/dk), ilerleme kuvveti ve moment sonuçlarında kesme hızının 4. seviyesinde (175 m/dk) optimum değerler elde edilmiştir.

iii. Kuru kesme şartında takım tezgahlarının karşılaştırıldığı ek deneylerde aynı şartlarda gerçekleştirilen 30 delik tekrarı sonunda;

- Kuru kesme şartında yapılan deneylerde tüm tezgahlarda ilk delikten son deliğe yüzey pürüzlüğü ve geometrik tolerans değerlerinde belli bir artış olmuştur. Bu artışlar EcoSpeed (ES), PMM ve Mori Seiki (MS) tezgahlarında yüzey pürüzlüğü için sırasıyla % 60-65, % 35-50 ve % 65-70; çaptan sapma değerleri için % 60, % 70-50 ve % 80; dairesellikten sapma değerleri için % 100-115, % 90 ve % 100; silindiriklikten sapma değerleri için ise % 80, % 95-75 ve % 80-65 olduğu gözlenmiştir.
- Kuru kesme şartlarında yapılan tekrar deneylerinde 1. delikten 30. deliğe tüm sonuçlardaki artış miktarları soğutma yöntemlerinin kullanıldığı şartlara göre çok daha fazla olduğu görülmüştür.
- Yüzey pürüzlüğü, ve geometrik tolerans sonuçları için tekrar deneyleri ile ilgili ilk delikten son deliğe en düşük artış miktarları genellikle PMM tezgahında gözlenmiştir.

iv. Kuru kesme şartında farklı takım tezgahları, kesme parametreleri ve iş parçası malzemelerinin (aynı şartlarda 30 delik tekrarıyla elde edilen verilerin aritmetik ortalaması alınarak) hesaplanan ortalama sonuçlara etkisi incelendiğinde;

- Tüm çıktı parametreleri için en yüksek değerler Mori Seiki (MS) tezgahında yapılan deneylerde gözlenmiştir. EcoSpeed (ES) ve PMM tezgahlarında yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar ise MS tezgahına göre daha yakın değerlerde çıkmıştır. İki tezgahtan (PMM ve ES) elde edilen sonuçlar arasındaki fark % 1-12 arasında olduğu görülmüştür. Soğutma yöntemlerinin karşılaştırıldığı ana deneylerde kullanılan ES ve PMM tezgahlarında elde edilen sonuçların yakın değerlerde çıkması, tezgah faktörünün ana deneylerdeki sonuçlara etkisinin az olduğunu göstermektedir.

- Ana deneylerde olduğu gibi ek deneylerde de ilerlemelerdeki artışın tüm çıktı parametrelerinde artışa neden olduğu görülmüştür. Kesme hızındaki artış ise soğutma yöntemlerinin kullanıldığı ana deneylerden farklı olarak, yüzey pürüzlüğü kuvvet ve momentler de dahil olmak üzere, tüm çıktı parametrelerinde artışa sebep olmuştur.
- Ek deneyler için yapılan ANOVA testlerinde çıktı parametreleri (kalite karakteristikleri) için en etkili olan işlem parametreleri farklı çıkmıştır. Yüzey pürüzlüğü ve çaptan sapma sonuçları için en etkili faktörün ilerleme, dairesellikten sapma sonuçları için kesme hızı ve silindiriklikten sapma sonuçları için tezgah türü olduğu görülmüştür. Soğutma yöntemlerinin karşılaştırıldığı ana deneylere ait ANOVA testlerinde kesme hızının tüm sonuçlar üzerindeki etkisi % 1-7'lerde kalırken, kuru kesme şartlarında takım tezgahlarının kıyaslandığı ek deneylerde kesme hızının sonuçlar üzerindeki etkisinin % 10-48'lere çıktığı gözlenmiştir. Dolayısıyla kesme hızının sonuçlar üzerindeki olumsuz etkisini uygulanan soğutma yönteminin azalttığı görülmektedir. Ana deneylerdeki sonuçlarından farklı olarak kuru kesme şartlarında yapılan ek deneylerde malzeme faktörünün (daireellikten sapma değerleri hariç) tüm sonuçlara etkisi daha belirgindir. Soğutma yöntemlerinin kullanıldığı ana deneylerde malzemenin özellikle delik kalitesine etkisi en fazla % 1 iken, kuru kesme şartlarında malzeme faktörünün delik kalitesine etkisinin % 25'lere çıktığı görülmüştür.
- Ek deneylerdeki optimum işleme şartlarının belirlenmesi amacıyla yapılan Sinyal/Gürültü (S/N) testlerinde tüm çıktı parametreleri için kesme hızının 1. seviyesinde (100 m/dk) ve ilerlemenin 1. seviyesinde (0,10 mm/dev) optimum değerler elde edilmiştir. Yüzey pürüzlüğü ve çaptan sapma sonuçları için en optimum değerler PMM (2.seviye) tezgahında, dairesellikten sapma sonuçları için ise optimum değerler ES (1. seviye) tezgahında gözlenmiştir. Silindiriklikten sapma sonuçları ise en düşük değerler AA7075 alaşımı için PMM tezgahında, AA2024 alaşımı için ES tesgahında gözlenmiştir.

8.2. Öneriler

Yapılan deneysel çalışmaların sonuçları dikkate alınarak alüminyum alaşımlarına delik delme işleminde kesme sıvısı uygulamasının işleme performansını önemli ölçüde arttırdığı

göz önünde bulundurulursa, özellikle AA2024 gibi daha sünek alüminyum alaşımlarının takıma sıvanması, doğru kesme sıvısını doğru yöntemle uygulanmasıyla önlenabilir.

Minimum Miktarda Yağlama (MMY) yönteminin toplam üretim maliyetine, çevreye ve insan sağlığına olumlu etkileri bu yöntemi cazip kılmaktadır. Ayrıca bu çalışmada tüm deney çıktıları için sonuçların içten MMY ve geleneksel soğutma uygulamalarında elde edilen sonuçlara çok yakın olması dikkate alındığında, işleme performansı açısından da içten MMY uygulaması geleneksel soğutma uygulamasına alternatif bir yöntem olarak delik delme işleminde kullanılması önerilebilir.

Yapılan delik delme testlerinde içten MMY uygulamasında geleneksel soğutma uygulamasına yakın sonuçlar elde edilirken, dıştan MMY uygulamasında kuru kesmeye daha yakın sonuçlar elde edilmiştir. Bu durum delik delme işleminde kesme sıvısının kapalı alanda kesme yapan takım kesici kenarlarına ulaşamadığını gösterdiği için, dıştan MMY uygulamasının özellikle delik delme işleminde uygun bir soğutma yöntemi olmadığı söylenebilecekken tornalama ve frezeleme gibi kesme işleminin açık ortamda gerçekleştiği işleme yöntemlerinde ise sonuç farklı olabilir.

Bu çalışmada ele alınamayan ancak üzerinde çalışılabilecek konular aşağıda önerilmiştir:

- Bu çalışma kapsamında takımın ve kesme bölgesinde oluşan sıcaklıklar ölçülmemiştir. Soğutma yönteminin incelendiği çalışmalarda sıcaklık da diğer önemli bir parametre olduğu için uygun deney ortamının sağlandığı bir çalışmada sıcaklık parametresi baz alınarak soğutma yöntemlerinin kesme bölgesinde oluşan sıcaklık üzerindeki etkileri araştırılabilir.
- Uygulanan soğutma yönteminde kullanılan kesme sıvısının özellikleri de sonuçlar üzerinde önem arz ettiğinden farklı özelliğe sahip kesme sıvılarının işleme performansına etkileri incelenebilir.
- Literatürde yaygın olarak araştırıldığı gibi, kullanılan aynı kesme sıvısı için farklı debi ve basınçlar kullanılarak farklı özellikteki malzemeler için debi ve basınç parametrelerinin işleme performansına etkileri incelenebilir.
- Delik delme işleminde dıştan MMY uygulaması etkili olmamıştır. Fakat tornalama ve frezeleme gibi işlemlerde etkili olabileceği değerlendirilmektedir. Torna veya frezeleme işlemlerinde dıştan MMY uygulaması için soğutma/kesme sıvısı nozulların

konumlandırılmasının (nozul-kesici takım mesafesinin) işleme performansına etkileri araştırılabilir.

- Kesme bölgesinde ve takımda oluşan istenmeyen yüksek sıcaklıkların önlenmesi adına sıfırın altında sıcaklıklara sahip akışkanların belli bir basınçla kesme bölgesine uygulanmasının (kriyojenik soğutma) problemlerin çözümüne yönelik etkinliği ile ilgili araştırmalar yapılabilir.
- İş parçası malzemesi olarak ısı iletim katsayısı ve yüzde uzama değerleri gibi özellikleri alüminyum alaşımlarından çok daha farklı olan malzemelerin işlenmesinde soğutma yöntemlerinin etkisi incelenebilir.

KAYNAKLAR

1. Çakır, A., (2009). *AA7075 ve AA6013 Alüminyum Alaşımlarının Delme Operasyonları Esnasındaki Kesme Parametrelerinin İncelenmesi*, Yüksek lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
2. Erdoğan, M., (2000). *Demir Dışı Alaşımlar, Mühendislik Alaşımlarının Yapı ve Özellikleri*, Nobel yayınevi, Cilt1
3. Mills, B., Redford., A.H., (1983). *Mechanibility of Engineering Metarials*, NewYork, USA.
4. Şeker, U., (2000). *Talaşlı İmalatta Takım Tasarımı*, G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Ders Notları, 39-45, Ankara.
5. Akkurt, M., (1998). *Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları*, Birsen Yayınevi, Ankara, Türkiye, 23-90, 117-181.
6. 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.
7. Dhar, N.R., Ahmed, N.T., Islam, S., (2007). An experimental investigation on effect of minimum quantity lubrication in machining AISI 1040 steel, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 47, 748-753.
8. Dhar, N.R., Kamruzzaman, M., Ahmed, M., (2006). Effect of minimum quantity lubrication (MQL) on tool wear and surface roughness in turning AISI-4340 steel, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol.172, No.299–304.
9. İnternet: Autret R., Liang S. Y., 2003, Minimum quantity lubrication in finish hardturning, <http://hardingeus.com/usr/pdf/hardtturn/LIANG3.PDF>, Son Erişim Tarihi: 17.12.2008.
10. Holmes, K., (2008). Minimum Quantity Lubrication (MQL) is a Key Technology to Lower Manufacturing Costs for Automotive, Aerospace, Defense and Other Industries, *Manufacturing Business and Technology Forum*, Dearborn, MI.
11. İnternet: <http://www.skf.com>, Son Erişim Tarihi: 02.01.2012.
12. Kasaplar, G., (2007). *Alüminyum Yüzeyindeki Oksit Tabakasının Okzalit Asit Anodizing Yöntemiyle Geliştirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, Türkiye.
13. Eruslu, N., Altmısoglu, Y., Taptı, A., (2000). *Alaşımlar*, Ders Notu.
14. Salman, S., (1997). *Alaşımlar*, Marmara Üniversitesi, Ders Notu, 52-57.
15. Horn, V., Kent, R., (1967). Aluminyum, Fabrication and Finishing, *American Society for Metals*, Park, Ohio.

16. Sahin, Y., (2000). *Talas Kaldırma Prensipleri II*, Nobel Yayın Dağıtım Ltd. Sti., Ankara, Türkiye
17. Groover, M.P., (2002). *Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials Processing and Systems*, Wiley, New York, (2nd ed.), pp. 558-560.
18. Iowa Waste Reduction Center, (2003). *Cutting Fluid Management in Small Machine Shop Operations*, University of Northern Iowa, p.43.
19. Rahman M., Kumar A. Senthil, Manzoor-Ul-Salam and Ling M. S. (2003). Effect of Chilled Air on Machining Performance in End Milling, *Int J Adv Manuf Technol*, 21:787–795.
20. Byers, J.P., (2006)., *Metalworking Fluids*, Taylor & Francis, New York, (2nd ed.), pp. 104-105.
21. Stephenson, D.A., Agapiou, J.S., (2006). *Metal Cutting Theory and Practice*, CRC Taylor and Francis., USA.
22. Akben, U., (2009). *Minimum Miktarda Yağlama (MMY) ile Kesmenin Takım Aşınması ve Yüzey Pürüzlüğüne Etkilerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enst., İstanbul.
23. ASTM, ASTM Standart E1687-95: Determining Carcinogenic Potential of Virgin Base Oils in Metalworking Fluids, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA, (1997).
24. Bienkowski, K., (1993). Cutting fluids & Lubricants - The Truth, *Manufacturing Engineering*, 90-96.
25. Silliman, J.D. and Perich, R., (1992). *Cutting and Grinding Fluids: Selection and Application - Second Edition*, p.216, Dearborn, Michigan.
26. Weinert, K., Inasaki, I., Sutherlands J.W., Wakabayashi, T., (2004) *Dry Machining and Minimum Quantity Lubrication*, Annals of CIRP, 53, 511–537.
27. Klocke, F., Gerschwiler, K., (2003). Minimalmengenschmierung – Systeme, Medien, Einsatzbeispiele und ökonomische Aspekte der Trockenbearbeitung, Trockenbearbeitung von Metallen, *Proc. of the VDI-Seminar*, Stuttgart, Mar. 18: 2.1-2.20.
28. Suzuki, S., (2002). Developments in Oil Supplying Systems for MQL Cutting, *Journal of Japanese Society of Tribologists*, 47, 538-543.
29. Aksoy, Z., (2001). Kuru veya Minimal Miktar Sogutma Sıvısı ile Talaş Kaldırma, Ders Notu, Balıkesir Üniversitesi.
30. Sluhan, C.A., (1994). Selecting the Right Cutting and Grinding Fluids, *Tooling & Production*, 40-50.
31. Taşgetiren, S., Aslantaş, K., (2000). Tornada kesme için yeni bir sert metal uç tutucusu tasarımı, 3. *GAP Mühendislik Kongresi*, Şanlıurfa, 150-157.

32. Mendi, F., (1996). *Takım tezgahları teori ve hesapları*, ISBN 975-96008, Ankara, 5-40.
33. 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.
34. Schneider, G., (2002). *Cutting Tool Applications*, ASM international, 8-2, U.S.A.
35. Çakır, M. C., (2000). *Modern Talaşlı İmalat Yöntemleri*, Vipaş A.Ş, Bursa, 390s.
36. Sandvik Coromant (2008). *Kesici Takım El Klavuzu*, İsveç,
37. Kutlu, L., (2008). *Al 2024-T4 Alüminyumun Elmas Benzeri Karbon (DLC) Kaplanmış Matkaplarla Delinmesinde Kesme Parametrelerinin Deneysel İncelenmesi ve Taguchi Yöntemiyle Optimizasyonu*, Y.Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enst., İstanbul 63-65.
38. Özdemir, Ö., İpek, M., Zeytin, S., (200). Kesici Takım Malzemeleri, *Mühendis ve Makine*, 487, (40-46).
39. Avuncan, G. (1998). *Talaş Kaldırma Ekonomisi ve Kesici Takımlar*, Makine Takım Endüstrisi A.Ş., İstanbul.
40. Krar, F.S; Rapisarda, M; Check, F.A. (1998). *Machine Tool and Manufacturing Technology*, Delmar Publishers , U.S.A.
41. Böhler Sert Maden ve Takım Sanayi ve Ticaret A.Ş., (1990). *Talaş kaldırma bilgileri*, Yeni Karar Yayıncılık, İstanbul, 31-42.
42. Kayacan, M.C., Çelik, S.A., Salman, Ö., (2004) Tornalama işlemlerinde Kesici Takım Aşınmasının Bulanık Mantık ile Modellenmesi, *Mühendis ve Makine Dergisi*, Sayı 526.
43. Öktem H., (2004). *CNC tezgâhlarda 3 ve 5 ekseninde işlenen yüzeylerin pürüzlülüğünün yapay sinir ağlarıyla tahmin edilmesi*, G. Y. T. E., Yüksek Lisans Tezi.
44. Akkurt, A., (2009). Delik yüzeylerine uygulanan yüzey iyileştirme işlemlerinin alüminyum alaşımı malzemeler üzerinde araştırılması, *Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu*, 1-3.
45. İnternet: <http://www.mahr.com/index.php?NodeID=13616>, Son Erişim Tarihi: 12 Ekim 2012.
46. Mohammed, T.H., (2001). Hole quality in deep hole drilling, *Materials and Manufacturing Processes*, 16 (2): 147-164.
47. Mohan, S., Shan, H.S., (2006). Analysis of Roundness Error and Surface Roughness in the Electro Jet Drilling Process, *Materials and Manufacturing Processes*, 21: 1-9.
48. Bono, M., Ni, J., (2001). The effects of thermal distortions on the diameter and cylindricity of dry drilled holes, *Int J Mach Tools Manuf*, 41: 2261-2270.

49. Palmer, W. B., and Oxley, P. L. B., (1959). Mechanics of orthogonal machining, *Proc. Inst. Mech. Engrs.*, 173: 623.
50. Tekait, U., (2015). *Sıcak Ve Soğuk İş Takım Çeliklerinin Farklı Delik Delme Uygulamaları ile Delinebilirliğinin Araştırılması ve Modellenmesi*, Doktora Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enst., Karabük.
51. Oxford, JR., Shaw, M.C., (1955). On The Drilling Of Metals II- The Torque and Thrust in Drilling, *The American Society of Mechanical Engineers*, 3:68-127.
52. Eggeleston, D.M., Herzog, R., Thomson, E.G., “Observation on the Angle Relationship in Metal Cutting”, *The American Society of Mechanical Engineers*, 58-A-138 (1959).
53. Thangaraj, A., Wright, P.K., Nissle, M., (1984) New Experiments on the Temperature Distribution in Drilling, *Journal of Engineering Materials and Technology*, 106:242-247.
54. Obikawa, T., Kamata, Y., Shinozuka, J., (2006). High-speed grooving with applying MQL, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol.46, No.1854–1861.
55. Liao, Y.S., Lin, H.M., Chen, Y.C., (2007). Feasibility study of the minimum quantity lubrication in high-speed end milling of NAK80 hardened steel by coated carbide tool, *International Journal of Machine tools & Manufacture*, Vol.47, No.1667–1676.
56. Kamata, Y., Obikawa, T., (2007). High speed MQL finish-turning of Inconel 718 with different coated tools, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol.192–193, No.281–286.
57. Sharma, V.S., Dogra, M., Suri, N.M., (2009). Cooling techniques for improved productivity in turning, *International Journal of Machine Tools & Manufacture* Vol.49, No.435–453.
58. Rahman, M., Kumar, A.S., Salam, M. U., (2002). Experimental evaluation on the effect of minimal quantities of lubricant in milling, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol.42, No.539–547.
59. Kishawy, H.A., Dumitrescu, M., Ng, E.-G., Elbestawi, M.A., (2005). Effect of cutting fluid strategy on tool performance, chip morphology and surface quality during high-speed machining of A356 aluminum alloy, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol.45 No.219–227.
60. Dhar, N.R., Ahmed, M.T., Islam, S., (2007). An experimental investigation on effect of minimum quantity lubrication in machining AISI 1040 steel, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol.47, No.748–753.
61. Sreejith, P.S., (2008). Machining of 6061 aluminium alloy with MMY, dry and flooded lubricant conditions, *Materials Letters*, Vol.62, No.276–278.
62. López de Lacalle, L.N., Angulo, C., Lamikiz, A., Sánchez, J.A., (2006). Experimental and numerical investigation of the effect of spray cutting fluids in high speed milling, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol.172, No.11–15.

63. Zhong, W., Zhao, D., Wang, X., (2010). A comparative study on dry milling and little quantity lubricant milling based on vibration signals, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol.50, No.1057–1064.
64. Hüseyinoğlu, M., Tosun, N., (2009). 7075 Alüminyum alaşımlarının frezelenmesinde minimum soğutma sıvısının yüzey pürüzlülüğüne etkisi, *5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)*
65. Attanasio, A., Gelfi, M., Giardin, C., Remino, C., (2006). Minimal quantity lubrication in turning: effect on tool wear, *Wear*, Vol.260 (3), No.333–338.
66. Khan, M.M.A., Mithu, M.A.H., Dhar, N.R., (2009). Effects of minimum quantity lubrication on turning AISI 9310 alloy steel using vegetable oil-based cutting fluid, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol.209, No.5573–5583
67. Gaitonde, V.N., Karni, S.R., Davim, J. P. (2008). Selection of optimal MQL and cutting conditions for enhancing machinability in turning of brass, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 204, No. 459–464.
68. Iqbal, A., Ning, H., Khan, I., Liang, L., Dar, N.U., (2008). Modeling the effects of cutting parameters in MQL-employed finish hard-milling process using D-optimal method, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol.199, No. 379–390.
69. Kang, M.C., Kim, K.H., Shin, S.H., Jang, S.H., Par, J.H., Kim, C., (2008). Effect of the minimum quantity lubrication in high-speed end-milling of AISI D2 cold-worked die steel (62 HRC) by coated carbide tools, *Surface & Coatings Technology*, Vol.202, No.5621–5624.
70. Kuan-Ming Li, Shih-Yen Chou, (2010). Experimental evaluation of minimum quantity lubrication in near micro-milling, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol.210, No.2163–2170.
71. Thepsonthi, T., Hamdi, M., Mitsui, K., (2009). Investigation into minimal-cutting-fluid application in high-speed milling of hardened steel using carbide mills, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol.49, No.156–162.
72. Liao, Y.S., Lin, H.M., (2007). Mechanism of minimum quantity lubrication in high-speed milling of hardened steel, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol.47, No.1660–1666.
73. Akben, U., Erten, M., (2009). Minimum miktarda yağlama yöntemi ile sulu kesme yönteminin takıma ve yüzey pürüzlülüğüne etkilerinin incelenmesi, *1. Uluslararası İmalat Sempozyumu*, Yıldız Teknik Üniversitesi.
74. De Chiffre, L., Zeng, Z., Belluco, W., (1999). *Parameter investigation in a reaming test for cutting fluid evaluation*, Publication nr. MM99.71, PT, Technical University of Denmark.
75. Xavier, M. A., Adithan, M., (2009). Determining the influence of cutting fluids on tool wear and surface roughness during turning of AISI 304 austenitic stainless steel, *Journal of Materials Processing Technology*, Volume 209, Issue 2, Pages 900-909.

76. Vikram CH., Kumar, R., Ramamoorthy, B., (2006). Performance of coated tools during hard turning under minimum fluid application, *J. Material Processing Technology*.
77. Diniz, A.E., Ferreira J.R., Filho, F.T., (2003). Influence of refrigeration/lubrication condition on SAE 52100 hardened steel turning at several cutting speeds, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Volume 43, Issue 3, Pages 317-326.
78. Braga, D.U., Diniz, A.E., Miranda, G.W.A., (2002). Coppini, N.L., Using a minimum quantity of lubricant (MQL) and a diamond coated tool in the drilling of aluminum–silicon alloys, *Journal of Materials Processing Technology*, Volume 122, Issue 1, Pages 127-138.
79. Lugscheider, E., Knotek, O., Barimani, C., Leyendecker, T., Lemmer, O., Wenke, R., (1997). Investigations on hard coated reamers in different lubricant free cutting operations, *Surface and Coatings Technology*, Volume 90, Issues 1–2, Pages 172-177.
80. Rahim, E.A., Sasahara, H., (2011). A study of the effect of palm oil as MQL lubricant on high speed drilling of titanium alloys, *Tribology International*, Vol 44, 309–317.
81. Bhowmick, S., Alpas A.T., (2008). Minimum quantity lubrication drilling of aluminium– silicon alloys in water using diamond-like carbon coated drills, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol 48, 1429– 1443.
82. Le Coz, G., Marinescu, M., Davillez, A., Dudzinski, D., Velnom, L., (2012). Measuring temperature of rotating cutting tools: Application to MQL drilling and dry milling of aerospace alloys, *Applied Thermal Engineering*, Vol 36, 434-441.
83. Fox-Rabinovich, G., Dasch, J.M., Wagg, T., Yamamoto, K., Veldhuis, S., Dospaeva, G.K., (2011). Cutting performance of different coatings during minimum quantity lubrication drilling of aluminum silicon B319 cast alloy, *Surface & Coatings Technology*, Vol 205, 4107–4116.
84. Meena, A., El Mansori, M., (2011). Study of dry and minimum quantity lubrication drilling of novel austempered ductile iron (ADI) for automotive applications, *Wear*, Vol 271, 2412– 2416.
85. Galloway, D.F., Leicestershire, X., (1956). Some Experiments on the influence of Various Factor on Drilling Performance, *The American Society of Mechanical Engineers*, 56-SA-18.
86. Shin, Y.C., Waters, A.J., (1997). A New Procedure to Determine Instantaneous Cutting Force Coefficients for Machining Force Prediction, *Int. J. Tools Manufact.*, (37):1337-1351
87. Pal, A.K., Bhattacharvya, A., Sen, C.C., (1965). Investigation of the Torgue in Drilling Ductile Materials”, *Int. J. Mach. Tool Des. Res.*, 4:205-221.
88. Yuzo, S., Kinji, S., Makota, O., (1973). Tsuneo, S., “Drilling machinibity of wrought pure aluminium for industrial use, *J. Jap. Inst. Light Met.*, 23(2):72-77.

89. Radhakrishnan, T., (1981). Wu, S.M., On-Line Hole Quality Evaluation for Drilling Composite Material Using Dynamic Data , *Journal of Engineering For Industry*, 80-WA(16).
90. Stephenson, D.A., Wu, S.M., (1988). Computer models for the mechanics of three-dimensional cutting-part II: Results for oblique end turning and drilling, *Journal of Engineering for Industry*, 110(2): 38-43.
91. Thangaraj, A., Wright P.K., (1988). Computer-assisted predicted of drill-failure using in-process measurements of thrust force, *Journal of Engineering for Industry*, 110(4).
92. Rubenstein, C., (1991). The Torque and Thrust Force in Twist Drilling – I.Theory, *Int. J. Mach. Tool Des. Manufact.*, 31(4):481-489.
93. Ogawa, M, Inose, M., Arai, M., Saga T., (1994). Micro drilling of 5056 wrought aluminum alloy, *Journal of Japan Institute of Light Metals (Japan)*, 44(9):486-491.
94. Mellinger J.C., Ozdoganlar O.B., Devor R.E., Kapoor S.G., (2002). Modelling chip-evacuation forces and prediction of chip-clogging in drilling, *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 124,
95. Pirtini M., Lazoglu I., (2005). Forces and hole quality in drilling, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 45: 1271-1281.
96. Sanjay, C., Jyothi, C., (2006). A study of surface roughness in drilling using mathematical analysis and neural networks, *Int. J. Adv. Manufacturing Technology*, 29:846-852.
97. Taylan, D., (2009). *Taguchi deney tasarımı uygulaması*, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 15-42
98. Şirvancı, M., (1997). *Kalite İçin Deney Tasarımı Taguchi Yaklaşımı*, Literatür Yayıncılık, İstanbul, 1-20.
99. İnternet: <http://www.aryametal.com/aluminyum-alasimlarin-mekanik-ozellikleri.html>, Son Erişim Tarihi: 10 Ocak 2015.
- 100.İnternet: <http://www.referansmetal.com/mak-oz.htm>, Son Erişim Tarihi: 10 Ocak 2015.
101. Rogov, V.A., Siamak, G., (2013). Optimization of Surface Roughness and Vibration inTurning of Aluminum Alloy AA2024 Using TaguchiTechnique, *International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial and Mechatronics Engineering*, Vol:7 No:11.
- 102.Cobden, R., (1994). *Aluminium: Physical Properties, Characteristics and Alloys*, European Aluminium Association, TALAT-1501.
- 103.Trent, E.M., (1989). *Metal cutting*, Butterworths Press, London, 1-171.
- 104.Kıvık,T., (2012). *Kesici Takımlara Uygulanan Kriyojenik İşlemin Ti-6Al-4V Alaşımının Delinebilirliği Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enst., Ankara.

- 105.Kurt, M., Kaynak, Y., Bagci, E., (2008). Evaluation of drilled hole quality in AA 2024 alloy, *Int J Adv Manuf Technol*, 37: 1051-1060.
- 106.Kalpajian, S., (1991). *Manufacturing Process for Engineering Materials*, Addison-Wesley, New York, A.B.D.
- 107.Korkut, I., Kasap, M., Ciftci, I. ve Seker, U., (2004). Determination of Optimum Cutting Parameters during Machining of AISI 304 Austenitic Stainless Steel, *Materials & Design*, Cilt 25, No 4, 303-305.
- 108.Kurt, M., Kaynak, Y., Bakır, B., Köklü, U., Atakök, G. ve Kutlu L., (2009). AA 2024-T4 alüminyumun elmas benzeri karbon (DLC) kaplanmış matkaplarla delinmesinde kesme parametrelerinin deneysel incelenmesi ve Taguchi optimizasyonu, 5. *Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu*, Karabük, 2285-2290.

EKLER

EK-1 Deneyleerde kullanılan AA2024 ve AA7075 alaşımlarına ait malzeme sertifikaları

Customer		SOUTHERN CALIFORNIA METALS	Item Name		3/8" x2 FL	Application Specification		
Cust. PO No.		47340-1B	Item No.		N/A	Spec	Rev	Add
Cust. Part Name		N/A	Alloy & Temper		2024-T4 ✓	QQA-225/6 ✓	E	
Cust. Item No.		86580	Material No.		N/A	AMS-QQA-225/6	A ✓	
Material Type		Cold Finished	Lot No.		130205-3-0057 ✓	ASTMB 211	2012	
L/C No.			Lot Traveler No.		N/A	AMS 4120	R	
B/D No.	3	Length	145 inch	Part Q'ty	110 pcs	Net Weight	1,202 lbs	

Bowon Light Metal
-Since 1978-

524, Jiseok-ri, Eungbong-myeon,
Yesan-gun, Chungcheongnam-do,
Republic of Korea (Zip: 340-831)
Tel : 82 41 331 6390
Fax : 82 41 331 1144

Certificate of Conformance & Inspection

I. Chemical Composition

Elements	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Zr	Others	
										Each	Total
2024	Min.		3.80	0.30	1.20				-		
	Max.	0.50	0.50	4.90	0.90	1.80	0.10	0.25	0.15	0.05	0.15
Actual	0.050	0.105	4.570	0.541	1.536	0.003	0.017	0.023	-	OK	OK

Additional: Remainder Aluminum

II. Mechanical Properties

Requirement	UTS(Ksi)	TYS(Ksi)	EL(%)	Hardness	EC(%IACS)	Remark
	62 Min.	45 Min.	10 Min.	N/A	N/A	
Actual	1	72.6	57.9	19.8	-	-
	2	70.8	55.1	19.2	-	-

0.2% offset method

III. Dimension

Check Point	Requirement	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	Remark
W	3/8"x2	OK	OK	OK	OK	OK	-	-	-	-

Unit: inch

1. Neither mercury nor any of its compounds are used in the manufacturing of our extrusions
2. Applicable Specification: N/A

V. Customer Requirement if necessary

Dimension	Macro	Micro Structure	Ultrasonic Test	Surface Roughness	Remark
Passed		N/A	N/A	N/A	-

We hereby certify that the material covered by this report has been inspected in accordance with, and has been found to meet, the applicable requirements described herein, including any specifications forming a part of the and that the samples representative of the material met the composition limitsdescription and had the mechanical properties shown on the face of this sheet.

Quality Assurance Manager Park, Jin-won Signed [Signature] 10-Apr-13

Şekil 1.1. AA2024 alaşımlarına ait malzeme muhteviyat sertifikası

EK-1 (Devam) Kullanılan AA2024 ve AA7075 alaşımlarına ait malzeme sertifikaları

CERTIFIED INSPECTION REPORT

Alcoa Inc. DAVENPORT WORKS 4879 State Street Bettendorf, IA 52722 Ship From: RIVERDALE, IA.

135939 Invoice No. Alcoa No. Item
 Ship Date B.L. No. 1000341499-1 DP-41499-1
 2012-04-20 6554644 Customer Alcoa Item
 P.O. No./Govt Contract No. BOEING-TMX G041120657R01
 TV4244 Ln#: 01

We hereby certify that the material covered by this certificate has been inspected with, and has been found to meet the applicable requirements described therein, including any specifications forming a part of the description and that samples representative of the material met the composition limits and had the mechanical properties shown on the face of this sheet. This test report shall not be reproduced except in full, without the written approval of the Quality Department. No alteration, addition or other change is authorized to be made to this certificate. The recording of false, fictitious, or otherwise fraudulent statements or entries on this certificate by any recipient may be punished as a felony under applicable law.

Paul Woodard
 Paul Woodard
 Director of Manufacturing Davenport Works Terrence Thom
 Quality Assurance Manager

Page 2 of 3

COR: 0231524.1 - Specification Limits (cont.)

Chemical Composition	Specification Limits											Other		Total Aluminum	
	SI	FE	CU	MN	MG	CR	ZN	TI	Each	Other	Each	Total	Aluminum	Aluminum	
Alloy 7075	Max	0.40	0.50	2.0	0.30	2.9	0.28	6.1	0.20	0.05	0.15	REMAIN	REMAIN		
	Min	1.2	2.1	0.18	5.1										
Chemical Composition	Max	0.10	0.10	0.10	1.1	0.7	0.05	0.15	REMAIN	REMAIN	REMAIN	REMAIN			
Alloy 7072	Min	0.8													
Lot: 210694	- Mechanical, Physical, Metallography, Quantometer Results														
Temp Dir	Test	UTS	KSI	UTS	KSI	YS	YS	ELAD	PCT	ELAD	PCT	CR	ZN	TI	
T6	Long Transv.	5	76.2	66.1	11.9	66.1	66.1	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9	
			76.6	66.5	12.6	66.5	66.5	12.6	12.6	12.6	12.6	12.6	12.6	12.6	
			76.6	66.7	11.8	66.7	66.7	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	
			76.3	66.3	11.8	66.3	66.3	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	
			76.3	66.3	12.8	66.3	66.3	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	

Cast Number	Actuals	Specification Limits											Other		Total Aluminum	
		SI	FE	CU	MN	MG	CR	ZN	TI	Each	Other	Each	Total	Aluminum	Aluminum	
H9451074		0.07	0.29	1.6	0.03	2.5	0.19	5.6	0.02	REMAIN	REMAIN	REMAIN	REMAIN			
Lot: 210919	- Mechanical, Physical, Metallography, Quantometer Results															
Temp Dir	Test	UTS	KSI	UTS	KSI	YS	YS	ELAD	PCT	ELAD	PCT	CR	ZN	TI		
T6	Long Transv.	5	75.3	65.5	12.4	65.5	65.5	12.4	12.4	12.4	12.4	12.4	12.4			
			75.4	65.6	12	65.6	65.6	12	12	12	12	12	12			
			75.7	66.2	12.3	66.2	66.2	12.3	12.3	12.3	12.3	12.3	12.3			
			75.1	65.4	11.8	65.4	65.4	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8			
			75.5	65.6	12.8	65.6	65.6	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8			

Şekil 1.2. AA7075 alaşımına ait malzeme muhteviyat sertifikası

EK-2 Ana (L16) ve ek (L9) deney tasarımına göre hazırlanan rehber çizelgeler

Çizelge 2.1. Ana deneylerde ve ek deneylerde kullanılan takım numaralarına göre kesme şartları, tezgahlar ve iş parçası malzemeleri

Tk. No	Sy	Vc	f	Tg	m	Tk. No	Sy	Vc	f	Tg	m
T1	İ	Vc1	f1	ES	AA7075	T26	İ	Vc1	f1	ES	AA2024
T2	İ	Vc2	f2			T27	İ	Vc2	f2		
T3	İ	Vc3	f3			T28	İ	Vc3	f3		
T4	İ	Vc4	f4			T29	İ	Vc4	f4		
T5	D	Vc1	f2			T30	D	Vc1	f2		
T6	D	Vc2	f1			T31	D	Vc2	f1		
T7	D	Vc3	f4			T32	D	Vc3	f4		
T8	D	Vc4	f3			T33	D	Vc4	f3		
T9	G	Vc1	f3			T34	G	Vc1	f3		
T10	G	Vc2	f4	T35		G	Vc2	f4			
T11	G	Vc3	f1	T36		G	Vc3	f1			
T12	G	Vc4	f2	T37		G	Vc4	f2			
T13	H	Vc1	f4	T38		H	Vc1	f4			
T14	H	Vc2	f3	T39		H	Vc2	f3			
T15	H	Vc3	f2	T40		H	Vc3	f2			
T16	H	Vc4	f1	T41		H	Vc4	f1			
(Ek Deneyler)						(Ek Deneyler)					
T17	K	Vc1	f1	ES	AA7075	T42	K	Vc1	f1	ES	AA2024
T18	K	Vc2	f2			T43	K	Vc2	f2		
T19	K	Vc3	f3			T44	K	Vc3	f3		
T20	K	Vc1	f2	T45		K	Vc1	f2			
T21	K	Vc2	f3	T46		K	Vc2	f3			
T22	K	Vc3	f1	T47		K	Vc3	f1			
T23	K	Vc1	f3	T48		K	Vc1	f3			
T24	K	Vc2	f1	T49		K	Vc2	f1			
T25	K	Vc3	f2	T50		K	Vc3	f2			

Tk. No : Takım No	Sy :Soğutma Yöntemi	Vc:Kesme Hızı (m/dk)	f : İlerleme (mm/dev)	Tg: Tezgah Türü	m: İş Parçası Malzemesi
T1 - T50 Kaplamasız Karbür Takımlar	İ : İçten Min. Mikt. Yağlama	Vc1 : 100	f1 : 0,10	ES : EcoSpeed	AA7075
	D : Dıştan Min. Mikt. Yağlama	Vc2 : 125	f2 : 0,15	PMM : Portal Milling Machine	AA2024
	G : Geleneksel Soğutma	Vc3 : 150	f3 : 0,20	MS : Mori Seiki	-
	H : Basınçlı Havayla Soğutma	Vc4 : 175	f4 : 0,25	-	-
	K : Kuru Kesme	-	-	-	-

EK-3 Yapılan deneylerde kullanılan girdi faktörleri ve elde edilen çıktı parametreleri

Çizelge 3.1. AA7575 alaşımının delinmesinde delik kalitesi ve takıma etkiyen yüklerle ilgili elde edilen ortalama değerler

Deney No	Sy	Vc	Ft	Vf	Ft	M	Ra	Çü	Ça	Dü	Da	Es
D1	İ	100	0,10	400	x	x	0,841	8,005	8,003	0,002	0,002	0,005
D2	İ	125	0,15	750	x	x	0,989	8,007	8,008	0,004	0,006	0,008
D3	İ	150	0,20	1200	x	x	0,903	8,013	8,015	0,005	0,006	0,009
D4	İ	175	0,25	1750	x	x	1,113	8,016	8,017	0,008	0,009	0,011
D5	D	100	0,15	600	x	x	1,200	8,021	8,021	0,010	0,010	0,011
D6	D	125	0,10	500	x	x	1,106	8,018	8,018	0,007	0,008	0,013
D7	D	150	0,25	1500	x	x	1,756	8,032	8,031	0,011	0,012	0,016
D8	D	175	0,20	1400	x	x	1,625	8,029	8,030	0,012	0,012	0,017
D9	G	100	0,20	800	669,98	2,28	0,861	8,004	8,004	0,002	0,006	0,006
D10	G	125	0,25	1250	618,27	2,50	0,924	8,010	8,010	0,005	0,006	0,009
D11	G	150	0,10	600	415,06	1,22	0,602	8,002	8,003	0,003	0,003	0,004
D12	G	175	0,15	1050	447,80	1,62	0,741	8,008	8,009	0,005	0,005	0,006
D13	H	100	0,25	1000	794,26	5,94	1,805	8,041	8,042	0,013	0,013	0,022
D14	H	125	0,20	1000	791,62	5,43	1,779	8,038	8,039	0,012	0,012	0,021
D15	H	150	0,15	900	690,98	4,47	1,639	8,032	8,033	0,015	0,015	0,018
D16	H	175	0,10	700	585,98	3,39	1,536	8,029	8,029	0,011	0,013	0,016
D17	K	100	0,10	400	x	x	1,759	8,046	8,048	0,012	0,015	0,023
D18	K	125	0,15	750	x	x	2,572	8,048	8,047	0,019	0,016	0,028
D19	K	150	0,20	1200	x	x	3,034	8,065	8,065	0,023	0,026	0,030
D20	K	100	0,15	600	643,29	6,40	2,161	8,042	8,043	0,018	0,016	0,022
D21	K	125	0,20	1000	1000,24	8,47	2,711	8,054	8,055	0,023	0,023	0,026
D22	K	150	0,10	600	622,58	5,75	2,113	8,042	8,042	0,018	0,019	0,025
D23	K	100	0,20	800	x	x	2,932	8,059	8,059	0,021	0,022	0,029
D24	K	125	0,10	500	x	x	2,342	8,048	8,047	0,019	0,019	0,028
D25	K	150	0,15	900	x	x	2,856	8,060	8,059	0,019	0,025	0,032
Sy : Soğutma yöntemi					Ft : İlerleme kuvveti (N)				Ça : Alt çaptan sapma (mm)			
Vc : Kesme hızı (m/dk)					M : Moment (Nm)				Dü : Üst dairesellikten sapma (mm)			
f : İlerleme (mm/dev)					Ra : Yüzey pürüzlüğü (µm)				Da : Alt dairesellikten sapma (mm)			
Vf : İlerleme hızı (mm/dk)					Çü : Üst çaptan sapma (mm)				Es : Eksenel sapma (mm)			

EK-3 (Devam) Yapılan deneylerde kullanılan girdi faktörleri ve elde edilen çıktı parametreleri

Çizelge 3.2. AA2024 alaşımının delinmesinde delik kalitesi ve takıma etkiyen yüklerle ilgili elde edilen ortalama değerler

Deney No	Sy	Vc	Ft	Vf	Ft	M	Ra	Çü	Ça	Dü	Da	Es
D26	İ	100	0,10	400	x	x	0,500	8,007	8,005	0,002	0,003	0,005
D27	İ	125	0,15	750	x	x	0,834	8,009	8,009	0,005	0,004	0,008
D28	İ	150	0,20	1200	x	x	0,660	8,014	8,012	0,006	0,007	0,010
D29	İ	175	0,25	1750	x	x	0,942	8,017	8,018	0,009	0,009	0,014
D30	D	100	0,15	600	x	x	1,473	8,024	8,024	0,008	0,007	0,012
D31	D	125	0,10	500	x	x	1,387	8,023	8,023	0,008	0,008	0,013
D32	D	150	0,25	1500	x	x	2,053	8,035	8,034	0,011	0,011	0,020
D33	D	175	0,20	1400	x	x	1,955	8,033	8,033	0,012	0,012	0,020
34	G	100	0,20	800	666,82	1,91	0,724	8,007	8,007	0,002	0,002	0,005
D35	G	125	0,25	1250	745,02	2,35	0,870	8,012	8,013	0,005	0,004	0,009
D36	G	150	0,10	600	437,34	1,17	0,494	8,002	8,002	0,003	0,002	0,004
D37	G	175	0,15	1050	478,74	1,52	0,664	8,010	8,009	0,004	0,005	0,006
D38	H	100	0,25	1000	943,52	7,12	2,032	8,045	8,045	0,013	0,012	0,023
D39	H	125	0,20	1000	912,68	6,92	1,918	8,044	8,043	0,013	0,012	0,024
D40	H	150	0,15	900	767,91	5,07	1,817	8,036	8,038	0,013	0,014	0,018
D41	H	175	0,10	700	569,15	3,76	1,710	8,034	8,033	0,010	0,013	0,017
D42	K	100	0,10	400	x	x	2,394	8,050	8,053	0,016	0,016	0,024
D43	K	125	0,15	750	x	x	2,743	8,051	8,053	0,018	0,019	0,026
D44	K	150	0,20	1200	x	x	3,305	8,066	8,065	0,019	0,020	0,031
D45	K	100	0,15	600	887,42	7,60	2,419	8,047	8,046	0,017	0,018	0,029
D46	K	125	0,20	1000	1173,34	10,40	3,059	8,056	8,056	0,021	0,021	0,031
D47	K	150	0,10	600	722,27	6,57	2,389	8,044	8,046	0,022	0,021	0,028
D48	K	100	0,20	800	x	x	3,194	8,066	8,064	0,021	0,022	0,032
D49	K	125	0,10	500	x	x	2,628	8,048	8,047	0,019	0,020	0,029
D50	K	150	0,15	900	x	x	3,104	8,062	8,063	0,023	0,025	0,034
Sy : Soğutma yöntemi					Ft : İlerleme kuvveti (N)				Ça : Alt çaptan sapma (mm)			
Vc : Kesme hızı (m/dk)					M : Moment (Nm)				Dü : Üst dairesellikten sapma (mm)			
f : İlerleme (mm/dev)					Ra : Yüzey pürüzlüğü (µm)				Da : Alt dairesellikten sapma (mm)			
Vf : İlerleme hızı (mm/dk)					Çü : Üst çaptan sapma (mm)				Es : Eksenel sapma (mm)			

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ÇAKIR, Ayşegül
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 01.02.1983, Trabzon
 Medeni hali : Bekâr
 Telefon : 0 (312) 811 18 00
 e-mail : aysegulcakir@gazi.edu.tr



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Doktora	Gazi Üniversitesi /F.B.E.	Devam ediyor
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi /F.B.E.	2009
Lisans	Gazi Üniversitesi/ T.E.F.	2006
Lise	H.M.B. Ulusoy Anadolu Meslek Lisesi	2001

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2009-Halen	TUSAŞ	Teknik Ressam
2008-2009	Gazi Üniversitesi Atatürk M.Y.O.	Öğretim Görevlisi (Dışardan Görevlendirme)
2007-2008	Mimtek (AutoCAD Kursu)	Eğitmen
2006-2007	Emkar Müh.Dan.Ltd.Şti.	Üretim Sorumlusu

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

A. Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitabında (Proceedings) basılan bildiriler :

A1. Çakır, A., Bahtiyar, O., Şeker, U., “Farklı Soğutma Şartları ile Farklı Kesme Parametrelerinin AA7075 ve AA2024 Alüminyum Alaşımlarında Delik Delme İşlemlerine Etkisinin Deneysel

Olarak İncelenmesi” 16. Uluslararası Makina Tasarım ve İmalat Kongresi (UMTİK’2014), 30 Haziran – 03 Temmuz 2014, İzmir, Türkiye.

A2. Çakır, A., Yağmur, S., Şeker, U., “Farklı Şartlarda Uygulanan Minimum Miktarda Soğutma Yönteminin AA2024 Alüminyum Alaşımının Tornalanması Sürecine Olan Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi” 7. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS’13), 30 Ekim-1 Kasım 2013, İstanbul, Türkiye.

B. Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitabında (Proceedings) basılan bildiriler:

B1. Çakır, A., Yıldırım, F., Şeker, U., “AA7075 Alüminyum Alaşımının Delinmesinde Farklı Soğutma Şartları ve Kesme Parametrelerinin Yüzey Kalitesine Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi”, 5. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu (UTIS’2014), 23 – 25 Ekim 2014, Bursa, Türkiye.

B2. Çakır, A., Kavak, N., Duran, A., “Kesici Takım Geometrisinin Delik Delme Performansı Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi”, 5. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu (UTIS’2014), 23 – 25 Ekim 2014, Bursa, Türkiye.

B3. Kavak, N., Çakır, A., “Talaşlı İmalatta Oluşan Metal Talaşların Atık Yönetimi”, 5. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu (UTIS’2014), 23 – 25 Ekim 2014, Bursa, Türkiye.

B4. Çakır, A., Yağmur, S., Şeker, U., “Farklı Şartlarda Uygulanan Minimum Miktarda Soğutma Yönteminin AA7075 Alüminyum Alaşımının Tornalanması Sürecine Olan Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi”, 4. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu (UTIS’2013), 07 – 09 Kasım 2013, İzmir, Türkiye.

B5. Çakır, A., Nalbant, M., Duran, A., Ulaş, B., “AA7075 ve AA6013 Alüminyum Malzemelere Delik Delme Operasyonu Sürecinde Kesme Parametrelerinin İncelenmesi”, 3. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu (UTIS’2014), 04 – 05 Ekim 2012, Ankara, Türkiye.

Projeler:

1. Farklı Şartlarda Uygulanan Minimum Miktarda Soğutma (MMY) Yönteminin AA7075 ve AA2024 Alüminyum Malzemelerin Tornalanması Sürecine Olan Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi, Gazi Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projesi (BAP), 07/2012-33, **Araştırmacı**, 2012- 2013.

2. Mikroişlemci Kontrollü Protez Bacak Tasarımı, İmalatı ve Hareketli Parçaların Sonlu Elemanlarla Analizi, Gazi Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projesi (BAP), 07/2007-34, **Araştırmacı**, 2007- 2008.

Hobiler

Edebiyat&Şiir, Resim, Doğa yürüyüşü, Astronomi, Satranç, Voleybol

A

Abstract · viii
 Adhesiv · 31, 201
 aerosol · 26, 28
 alaşım · 6, 7, 8, 9, 30
 alkol · 66
 alüminyum · iv, xix, 1, 18, 31,
 64, 85, 104, 123, 141, 158,
 167,
 analiz · 32, 34, 45, 53, 161, 169
 ANOVA · iv, v, 34, 45, 53, 81,
 111, 149, 160 169
 aparat · 67
 araştırma · 29, 34, 41, 46, 79
 aritmetik ortalama · 67
 aşınma · xx, 7, 31, , 40, 50, 55,
 66, 72, 73, 154, 155, 165, 173

B

balans · xx, 63
 basınç · 15, 22, 23, 25, 26, 30, 37,
 64, 183
 basınçlı havayla soğutma · iv, xx,
 71, 103, , 135, 154, 166, 168,
 bitkisel · 21, 26, 29, 34, 37, 46
 Boydan boya · 51,
 BUE · xxii, 10, 32, 39, 46, 73, 82,
 154, 155,
 BUL · 65, 73, 139

C

CAM · 52
 CBN · xxii, 37, 50, 201
 CFD · xxii, 32, 45, 201
 cihaz · 60, 63, 66, 67
 CMM · vi, xx, xxii, 65, 66,
 CNC · xi, xxii, 17, 60, 61, 62,
 CVD · xxii, 30,

Ç

çap · 13, 27, 28, 41, 43, 96, 97,
 98, 102, 109
 Çaptan sapma · 51, 95, 173, 179,
 Çelik · xxi, 23, 48, 49, 50
 çentik · 38, 155
 çevre · 3, 32, 34, 45
 çinko · 5, 6
 Çizelge · xi, xii, xiii, xiv, 5, 43,
 57, 67, 99, 108, 123, 159, 165
 çözülebilir yağ · 21, 22

D

Dairesellikten sapma · 51, 113,
 115, 117, 130, 174, 201
 debi · 29, 36, 38, 44, 62, 183

delik · iv, v, xvii, 3, 17, 18, 23,
 29, 43, 70, 86, 101, 125, 138,
 154, 176,
 deney tasarımı · xi, 53, 54, 55,
 56, 57, 69, 74, 84, 87, 99, 113,
 152, 157, 166,
 devir sayısı · 15, 33, 52, 74, 87,
 156, 165
 dıştan MMY · iv, xx, 3, 55, 62,
 73, 95, 115, 133, 173, 177
 dikey · 35, 67
 dinamometre · xx, 64

E

EcoSpeed · iv, v, 55, 85, , 105,
 107, 108, 125, 131, 142, 174
 EDX · xxii, 31, 201
 EKLER · ix, 191, 201
 ekonomik · 7, 31, 40, 45
 Eksenel Kaçıklık · ix, 132
 emülsiyon · 21, 22, 23, 32, 37
 enjeksiyon · 32, 44
 Ergime · 5, 201

F

Faktör · vi, xi, 7, 10, 38, 54, 94,
 127, 136, 145
 formül · 58
 frezeleme · 23, 25, 29, 31, 33, 34,

G

geleneksel Soğutma · iv, xvi, 2,
 21, 27, 40, 46, 53, 57, 62, 84,
 102, 118, 135, 146, 153, 173
 geometri · xv, 8, 12, 13, 14, 39,
 42, 79, 92, 101, 120, 132, 136,
 giriş · 1, 30, 66
 görüntü · 63, 64, 72
 grafik · 76, 77, 82, 83, 85, 88,
 119, 153

H

hasar · 21
 hassas · 39, 65, 66
 hata · 40, 53, 81, 121, 130, 140,
 149, 160, 161, 169
 hedef · 53
 HSS · xxii, 33, 37, 38, 41, 42, 48,
 49, 50

I

ısı iletkenlik · 1, 5

İ

içten MMY · iv, 3, 62, 77, 96,
 115, 137, 139, 172, 173, 174
 ilerleme · iv, v, xvi, , 9, 17, 31,
 39, 46, 69, 77, 92, 105, 121,
 138, 149, 160, 168, 175,
 ilerleme hızı · xii, xiii, xv, 14, 16,
 17, 33, 52, 74, 87, 88, 89, 99,
 108, 127, 156, 165, 170
 ilk delik · xv, 71, 85, 98, 106,
 115, 126, 143, 164, 165, 177,
 İş parçası · 17, 44, 49, 184, 201
 işlenebilirlik · 1, 9

K

Karbür · 41, 48, 49, 50, 195, 201
 Kaynak · 19, 48, 49, 81, 93, 103,
 111, 121, 130, 140, 149, 160,
 kesici takım · vi, 2, 3, 8, 12, 19,
 29, 39, 46, 55, 57, 60, 120,
 139, 150, 184
 kesme hızı · iv, xvii, 9, 1 37, 53,
 78, 89, 111, 127, 138, 151,
 161, 162, 168, 169,
 kesme sıvısı · 2, 3, 19, 20, 22, 23,
 26, 29, 45, 46, 74, 82, 92, 166,
 kimyasal · xi, 2, 21, 22, 23, 30,
 35, 44, 46, 57
 korozyon · 5, 6, 20, 23
 kriterleri · 4, 12, 29, 40
 kriyojenik · 23, 184
 kuru kesme · iv, 3, 4, 30, 31, 32,
 39, 40, 44, 46, 47, 56, 60, , 84,
 87, 92, 105, 124, 150, 174

L

L16 · ix, xi, 54, 55, 57, 69, 74,
 87, 99, 117, 136, 152, 156,
 194, 201
 L9 · ix, xi, 56, 57, 84, 87, 108,
 127, 142, 194, 201
 lazer · 60, 63
 literatür · 3, 43, 46, 154
 Lubrication · xxii, 3

M

magnezyum · 5
 malzeme · ix, 6, 29, 40, 55, 76,
 79, 92, 105, 123, 127, 130,
 148, 162, 168, 169, 170, 171,
 materyal · ix, 51
 matkap · xv, 1, 11, 13, 15, 16, 17,
 39, 41, 42, 51, 60
 mekanizma · 30, 31
 metot · ix, 51
 mikron · 113, 117, 132
 mineral · 21, 22

moment · iv, v, 39, 42, 53, 64,
165, 167, 170, 173, 176,
Mori Seiki · iv, v, xi, 61, 84, 85,
86, 90, 110, 129, 147, 174

N

negatif · 15, 30
nozul · 74, 99, 184
Nozul · 25, 44, 62, 202
numune · 18, 41, 58, 59, 66
Numune · 66

O

optik mikroskop · 72
oran · 79, 81, 83, 95, 132, 163,
179
ortalama · xv, 67, 75, 89, 99, 108,
123, 144, 158
otomotiv · 31, 40, 61
Ovalite · ix, 53, 113, 202

Ö

Öneriler · ix, 172
Özet · iv, vii
Özgeçmiş · vii, 176

P

parametre · iv, x, xiv, 14, 35, 53,
54, 136, 165, 172, 179, 180,
183
performans · 4, 12, 29, 30, 34, 38,
40, 44, 46, 53
Perthometer · 66, 67, 202
plastik deformasyon · 9, 15
PMM · iv, v, xi, xiv, xxii, 51, 55,
56, 60, 84, 88, , 107, 108, 109,

110, 113, 125, 142, 145, 146,
148, 151, 152, 174, 176
pozitif · 9
program · 52, 54, 66
proses · 39
Proses · vi
pürüzlülük · iv, v, xii, xv, xvi,
xxi, 51, 69, 74, 80, 91, 128,
137, 150, 176

R

referans · 35, 37, 41
resim · 58
rezervuar · 27, 202

S

SEM · xxii, 30, 33, 45, 202
sentetik · 21, 22, 38, 202
sıcaklık · xx, 23, 30, 36, 38, 39,
43, 45, 50, 65, 80, 183
sıvanma · xx, 46, 72, 73, 79, 82,
154, 155, 165, 168, 173
Silindiriklikten sapma · 51, 132,
134, 174, 176, 182, 202
sinyal/gürültü · 53, 122, 130, 140,
150
soğutma · iv, xv, xvi, xvii, xviii,
xix, xx, 2, 21, 31, 37, 38, 53,
54, 69, 80, 81, 95, 103, 104,
105, 113, 114, 115, 123, 126,
135, 152, 165, 74, 175, 177,
sonuç · 14, 17, 33, 36, 37, 46,
117, 174
süneklik · 1, 7, 17

T

Taguchi · iv, v, xi, 55, 69, 74, 82,
99, 113, 142, 152, 159, 170,

talaş · xv, xxi, 1, 10, 19, 33, 42,
58, 66, 82, 91, 92, 154, 169
tekrar · iv, xv, xvii, 63, 64, 67,
71, 96, 97, 98, 99, 117, 124,
termal çatlak · 30, 35, 36, 45
teşekkür · vi
Tezgah · iv, 17, 51, 56, 57, 61,
62, 84, 91, 93, 94, 105, 111,
113, 127, 130, 132, 146, 149,
151, 174, 175
titanyum · 6
Titanyum · 38, 39, 50, 202
titreşim · 33, 40
tornalama · 30, 31, 33, 34, 37, 42,
183

U

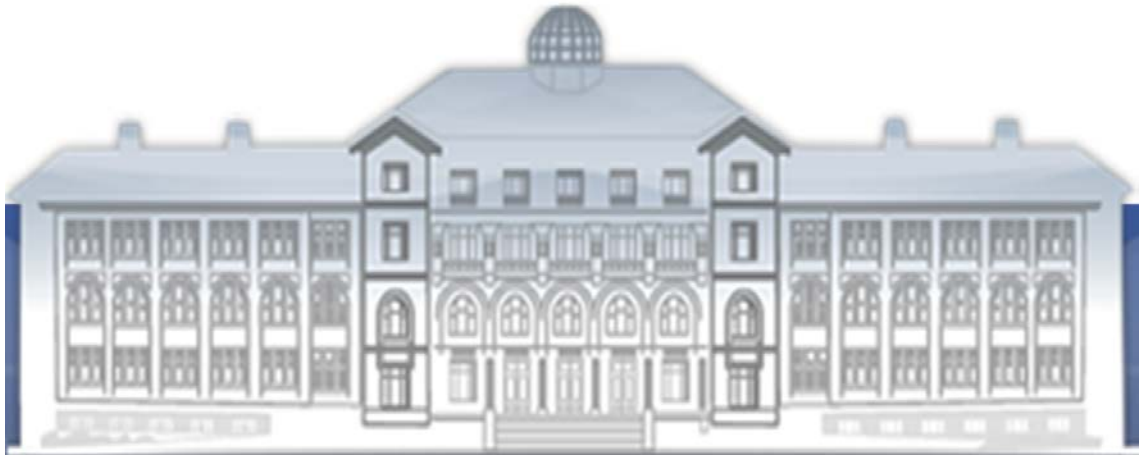
uçak · 1, 5, 61
uzak · 1, 20, 27, 90
Uzay · vi, 60, 64, 65, 202

V

verimli · 20, 31, 32
verimlili · 2, 15
viskozite · 30

Y

yağ · 3, 21, 22, 23, 26, 28, 29, 31,
32, 34, 35, 44, 48, 99
yarı sentetik · 21, 22
Yazar · 41, 42, 202
Yüzey · ix, xi, xii, xx, 44, 48, 49,
50, 51, 67, 68, 69, 72, 77, 83,
84, 94, 99, 108, 128, 172, 173,
174, 175, 176, 178



GAZİ GELECEKTİR..