



**ALÜMİNYUM 7050 ALAŞIMININ DELİNMESİNDE UÇ AÇISININ
ETKİLERİNİN DENEYSEL VE SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİYLE
ARAŞTIRILMASI**

Ebru ASLAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İMALAT MÜHENDSİLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HAZİRAN 2022

ETİK BEYAN

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

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Ebru ASLAN

07/07/2022

ALÜMİNYUM 7050 ALAŞIMININ DELİNMESİNDE UÇ AÇISININ ETKİLERİNİN
DENEYSEL VE SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİYLE ARAŞTIRILMASI

(Yüksek Lisans Tezi)

Ebru ASLAN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Temmuz 2022

ÖZET

Alüminyum Al 7050 alaşımı, korozyon direnci çok yüksek olan ve Havacılık-Uzay Sanayinde yoğun kullanılan bir malzemedir. Delme prosesi havacılık, uzay ve otomotiv endüstrilerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Delik delme prosesinde matkap geometrisi ve kesme parametreleri işlenebilirliği etkilemektedir. Bu çalışmada, üç farklı matkap uç açısının (118° - 124° - 130°) ve farklı kesme parametrelerinin, Al 7050 alaşımının delinmesine etkisi araştırılmıştır. Seçilen kesme parametreleri sırasıyla; 80-100-120 m/dak kesme hızı ve 0,1-0,15-0,2 mm/dev ilerleme miktarıdır. Uç açılarının ve kesme parametrelerinin, itme kuvvetleri ve kesme momentleri üzerine etkisi hem deneysel hem de sonlu elemanlar yöntemiyle analiz edilmiş ve kıyaslanmıştır. Bütün kesme parametrelerinde 118° uç açısına sahip matkabın diğer açıdaki matkaplardan daha yüksek kesme kuvvetlerine sahip olduğu, ilerlemeye bağlı olarak bütün kesme hızlarında kesme kuvvetlerinin arttığı görülmüştür. Deneysel sonuçlara paralel olarak analiz verilerinde de aynı durum görülmüştür. Uç açısı yine hem deney hem de analiz verileriyle aynı doğrultuda olduğu görülmüştür. Deneysel veriler ile analiz sonuçları arasında %0,04 ile %12,75 arasında bir fark olduğu tespit edilmiştir.

Bilim Kodu : 91438
Anahtar Kelimeler : Al 7050, delik delme, sonlu elemanlar analizi, matkap uç açısı
Sayfa Adedi : 64
Danışman : Doç. Dr. Gültekin UZUN

EXPERIMENTAL AND FINITE ELEMENTS METHOD RESEARCH ON THE
EFFECTS OF DRILL POINT ON THE DRILLING OF ALUMINUM 7050 ALLOY

(M. Sc. Thesis)

Ebru ASLAN

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

JULY 2022

ABSTRACT

Aluminum alloy Al 7050 is a material of very high corrosion resistance and is widely used in the aerospace industry. The drilling method is widely used in the aerospace, aviation, and automotive industries. The geometry and cutting parameters of the drill, impact the drilling process. In this study, the effects of three different drill point (118° - 124° - 130°) and different cutting parameters on the Al 7050 alloy drill have been studied. The selected cutting parameters are respectively: cutting speed of 80-100-120 m/min and feed rate of 0.1- 0.15-0.2 mm/rev. The effects of drill point and cutting parameters on thrust forces and moment value have been analyzed and compared both experimentally and by the finite element method. In all cutting parameters, it has been observed that the drill with a 118° drill point has had higher cutting force than the drills with other angles and the shear forces increased at all cutting speeds depending on the feed. In parallel with the experimental results, the same situation has been observed in the analysis data. It has been seen that the shear moment of the tools with a drill point of 124° and 130° are higher than the tool with a 118° drill point, again in the same direction with both the test and analysis data. It has been found that there is a difference between 0.04% and 12.75% between the experimental data and the test results.

Science Code : 91438

Key Words : Al 7050, drilling, finite element method, drill point

Page Number : 64

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Gültekin UZUN

TEŞEKKÜR

Öncelikle tez dönemim boyunca katkılarını esirgemeyen ve tüm bilgi birikimlerini benimle paylaşan, kıymetli danışmanım Sayın Doç. Dr. Gültekin UZUN' a, yüksek lisans eğitimim süresince tüm desteğini üzerimden eksik etmeyen saygıdeğer bölüm başkanımız Prof. Dr. İhsan KORKUT' a, deneylerimde ve ölçümlerinde her daim destek olan Sayın Arş. Gör. Duygu GÜRKAN, Arş. Gör. Bahattin YILMAZ ve Arş. Gör. Saltuk Alper YAŞAR' a deneylerimi analizlerimle karşılaştırmak için; analizlerini benimle paylaşan Sayın Dr. Öğr. Üyesi Nafiz YAŞAR' a, deneylerimde kullandığım matkapların tedariki konusunda MTE ve TRS MAKİNA 'ya yüksek lisans eğitimim boyunca beni teşvik eden çalışmakta olduğum kurumum Mitaş Endüstri A.Ş. firmasına teşekkür ederim. Ayrıca beni bugüne kadar maddi ve manevi destekleyen çok değerli annem Durkadın ÇAKIROĞLU' na teşekkürlerimi borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
RESİMLERİN LİSTESİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. TALAŞLI İMALAT VE DELİK DELME	3
2.1. Talaşlı İmalat.....	3
2.1.1. Talaş oluşumu	3
2.1.2. Talaşlı imalat yöntemleri.....	4
2.2. Delik Delme	5
2.2.1. Delik delme işlemlerinin talaşlı imalattaki yeri	5
2.2.2. Temel tanımlar ve matkap geometrisi	6
2.2.3. Delik delme işlemlerinde kesme kuvvetleri ve moment	9
3. ALÜMİNYUM ALAŞIMLAR	11
3.1. Alüminyum Alaşımlarının Genel Özellikleri	11
3.2. Alüminyum Alaşımlarının Özelliklerine Göre Kullanım Alanları.....	11
3.3. AL 7050 Alüminyum Alaşımları	12
4. SONLU ELEMANLAR METODU	15
4.1. Sonlu Elemanlar Metodu ve Kullanım Alanları.....	16
4.2. Sonlu Elemanlar Metodunun Önemi	16

	Sayfa
5. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	17
5.1. Farklı Matkap Uç Açıları Kullanılarak Delik Delme Prosesiyle Yapılan Çalışmalar	17
5.2. Al 7050 Alaşımının İşlenebilirliği ile İlgili Çalışmalar	19
5.3. Sonlu Elemanlar Metoduyla Yapılan İşlenebilirlik Çalışmaları	21
5.4. Literatürün Değerlendirmesi	23
6. MALZEME VE METOD	25
6.1. Deney Malzemesi.....	25
6.2. Deneylerde Kullanılan Tezgâh	26
6.3. Analizlerde Kullanılan Sonlu Elemanlar FEM Modeli.....	26
6.4. Deney Numuneleri	35
6.5. Deneylerde ve Analizlerde Kullanılan Kesici Takımlar ve Kesme Parametreleri	35
6.6. İtme Kuvvetlerinin ve Kesme Momentlerinin Ölçülmesi	36
7. DENEY VE ANALİZ SONUÇLARI	39
7.1. İtme (Fz) Kuvvetlerinin Uç Açılarına Göre Değerlendirilmesi	39
7.2. Kesme Momentlerinin (Mz) Uç Açılarına Göre Değerlendirilmesi	40
7.3. İtme (Fz) Kuvvetlerinin Deneysel ve Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi ..	41
7.4. Kesme Momentlerinin (Mz) Deneysel ve Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi	48
8. SONUÇLAR	55
KAYNAKLAR	57
EKLER.....	61
EK-1. Al 7050- T7451 Alaşımı Sertifikası	62
EK-2. Matkap Uç Geometrisi Değerleri	63
ÖZGEÇMİŞ.....	64

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 6.1. Al 7050-T7451 kimyasal kompozisyon	25
Çizelge 6.2. Al 7050-T7451 mekanik özellikler.....	25
Çizelge 6.3. Deneylerde kullanılan tezgâhın özellikleri	26
Çizelge 6.4. Dinamometreye ait teknik özellikler.....	37
Çizelge 7.1. 80 m/dak kesme hızına göre deney ve analiz sonuçlarından elde edilen itme (Fz) kuvvetleri.....	42
Çizelge 7.2. 100 m/dak kesme hızına göre deney ve analiz sonuçlarından elde edilen itme (Fz) kuvvetleri.....	44
Çizelge 7.3. 120 m/dak kesme hızına göre deney ve analiz sonuçlarından elde edilen itme (Fz) kuvvetleri.....	46
Çizelge 7.4. 80 m/dak kesme hızına göre deney ve analiz sonuçlarından elde edilen kesme (Mz)momentleri.....	48
Çizelge 7.5. 100 m/dak kesme hızına göre deney ve analiz sonuçlarından elde edilen kesme (Mz) momentleri.....	50
Çizelge 7.6. 120 m/dak kesme hızına göre deney ve analiz sonuçlarından elde edilen kesme (Mz) momentleri.....	51

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Dik kesme modeli	3
Şekil 2.2. Gerçek talaş oluşumu.....	4
Şekil 2.3. Delme işleminin işlem sayısına diğer talaşlı imalat sayılarına göre mukayese yüzdesi.....	5
Şekil 2.4. Delme işleminin talaş kaldırma süresine diğer talaşlı imalat sayılarına göre mukayese yüzdesi.....	6
Şekil 2.5. Bir matkabın kısımları	7
Şekil 2.6. Kesme hızı ve ilerleme hızının gösterimi	8
Şekil 2.7. Kesici ucu etkileyen kuvvetler.....	9
Şekil 6.1. Third Wave AdvantEdge programında yeni analiz başlatılması	27
Şekil 6.2. Delme seçeneğinin belirlenmesi	28
Şekil 6.3. İş parçanın boyutları ve mesh detaylarının girilmesi.....	29
Şekil 6.4. Malzeme kalitesinin seçilmesi	30
Şekil 6.5. İş parçanın boyutları ve mesh detaylarının girilmesi.....	31
Şekil 6.6. Takım kalitesinin seçilmesi	32
Şekil 6.7. Kesme parametrelerinin girilmesi.....	33
Şekil 6.8. Simülasyonun başlatılması ve sürdürülmesi.....	34
Şekil 6.9. Tecplot arayüzü	34
Şekil 6.10. Kesici takım özellikleri ve boyutları.....	35
Şekil 6.11. Deneylerde kullanılan deney düzeneği	36
Şekil 6.12. DynoWare programındaki grafik görüntüsü.....	38
Şekil 6.13. AdvantEdge programındaki grafik görüntüsü	38
Şekil 7.1.Uç açısına bağlı itme kuvvetlerinin (Fz) değişimleri	39

Şekil	Sayfa
Şekil 7.2. Uç açısına bağlı kesme momentlerinin (M_z) değişimleri.....	41
Şekil 7.3. 100 m/dak Kesme hızına göre itme kuvvetlerinin değişimleri.....	43
Şekil 7.4. 100 m/dak Kesme hızına göre itme kuvvetlerinin değişimleri.....	44
Şekil 7.5. 120 m/dak Kesme hızına göre itme kuvvetlerinin değişimleri.....	46
Şekil 7.6.80 m/dak Kesme hızına göre kesme momentlerinin değişimleri.....	48
Şekil 7.7. 100 m/dak Kesme hızına göre kesme momentlerinin değişimleri.....	50
Şekil 7.8. 120 m/dak Kesme hızına göre kesme momentlerinin değişimleri.....	52

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 6.1. Deneylerde kullanılan numune	35
Resim 6.2. KISTLER 9272 tipi dinamometre	37
Resim 7.1. Matkap uçlarına göre kuvvet dağılımları	40
Resim 7.2. Talaş görseli (130°- 0,1 mm/dev- 80 m/dak)	43
Resim 7.3. Talaş görseli (118°- 0,1 mm/dev- 100 m/dak)	45
Resim 7.4. Talaş görseli (130°- 0,1 mm/dev- 100 m/dak)	45
Resim 7.5. Talaş görseli (124°- 0,1 mm/dev- 120 m/dak)	47
Resim 7.6. Talaş görseli (118°- 0,15 mm/dev- 80 m/dak)	49
Resim 7.7. Talaş görseli (130°-0,15 mm/dev- 80m/dak)	49
Resim 7.8. Talaş görseli (118°- 0,1 mm/dev- 100 m/dak)	51
Resim 7.9. Talaş görseli (118°- 0,1 mm/dev- 120 m/dak)	52

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamalarıyla birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
Al	Alüminyum
t	Talaş kalınlığı
Fz	İtme kuvveti
Frz	Radyal kuvvet
Fvz	İlerleme kuvveti
Fnz	Bileşke kuvvet
Mz	Moment
P	Matkap uç açısı
V	Kesme hızı
V_f	Tabla ilerlemesi
V_c	Kesme hızı
N	Devir sayısı
D	Malzeme çapı
D	Yarıçap
Ap	Radyal kesme derinliği
f	İlerleme miktarı
mm	Milimetre
m	Metre
N	Newton
m	Metre
t_o	Talaş oluşmadan önceki kesme derinliği
t_c	Talaş kalınlığı
r	Kesme derinliğinin talaş kalınlığına oranı

Kısaltmalar**Açıklamalar****CNC**

Bilgisayar Sayısal Kontrol

FEM

Sonlu Elemanlar Analizi (Finite Element Method)

HSS

Yüksek Hız Çeliği (High Speed Steel)

1. GİRİŞ

Alüminyum ve alaşımları, kendine özgü birçok özelliği bir arada barındırmasından dolayı demir dışı malzemeler arasında en çok tercih edilen malzemelerden biridir. Alüminyum esaslı alaşımların hafif olması, alaşımlama ile mukavemetlerinin artırılması, yüksek korozyon direncine sahip olması, geri dönüşüm özelliği göstermesi, işlenebilir olması, şekillendirilme kolaylığına sahip olması, yüksek ısı ve elektriksel iletkenlik göstermesi, bu alaşımların özellikle savunma, uçak, otomotiv endüstrilerinde kullanılmasına katkı sağlamaktadır. Savunma, otomotiv ve havacılık endüstrilerinde önemli bir kullanım alanı bulan Al 7050 alüminyum alaşımları, yüksek mekanik, fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip olup bu alaşımların delinmesi en önemli işleme süreçlerinden biridir [1].

Delik delme prosesi, endüstride ve sanayide sıkça kullanılan önemli talaşlı imalat metodlarından biridir. Bu nedenle araştırma çalışmalarında yeri oldukça önemlidir. Araştırmacılar talaşlı imalat süreçlerinden maksimum verimi almak için takım ve kaplama malzemeleri, kesme parametreleri ve kesici uç geometrileri üzerinde çalışmalarını sürdürmektedir. Fakat bu çalışmaları deneysel verilerle sürdürmek oldukça yüksek maliyetler doğurmaktadır [2]. Bu nedenle deneysel verilerin kontrolü ve daha öncesinden tahmini için analiz yöntemleri yaygın bir şekilde araştırma konusu olarak karşımıza çıkmaktadır. Sonlu elemanlar yöntemi bu alanda en yaygın kullanılan analiz yöntemlerinden biridir.

Sonlu elemanlar yöntemi, "parçadan bütüne gitme" ilkesine dayanmaktadır. Sonlu elemanlar; iki veya üç boyutlu bir yapının bir parçası veya bölgesidir. Bu yöntemle ilk kez kullanılmış ve en yaygın olarak uygulanan alan stres analizidir [3]. Sonlu elemanlar yöntemi ilk olarak uzay mühendisliğinde 1950 yılında kullanılmıştır. Bu yöntemin ilk kullanıcı firmaları Rolls Royce, Bell Aerospace ve Boeing olmuştur. Turner ve arkadaşları tarafından yayınlanan "Sonlu Elemanlar Yöntemi Hakkında Genel Bilgiler" makalesi sonlu elemanlar yönteminin ana fikirlerini oluşturan ilk makaledir [4]. Teknolojinin ilerlemesiyle birlikte daha da olgun hale gelen yöntem günümüzde delik delme proseslerinde de deneylere gerek kalmadan kullanılabilir. Bu analizler ise imalat süreçlerinde sundukları öngörülerıyla maliyetleri optimum seviyede tutmak için önemli bir yöntemdir.

Bu çalışmada, üç farklı uç açısı (118° - 124° - 130°) ve farklı kesme parametrelerinin, Al 7050 alaşımın delinmesine etkisi araştırılmıştır. Kesme parametreleri, dana önce yapılan çalışmalar referans alınarak ve Makine Takım firmasından tedarik edilen kesici takım katalogları dikkate alınarak belirlenmiştir. Seçilen kesme parametreleri sırasıyla; 80-100-120 m/dak kesme hızı ve 0,1- 0,15- 0,2 mm/dev ilerleme miktarıdır. Uç açılarının ve kesme parametrelerinin, itme kuvvetleri ve moment değerleri üzerine etkisi deneysel verilerle ve sonlu elemanlar analizi ile elde edilen verilerle mukayese edilmiştir.

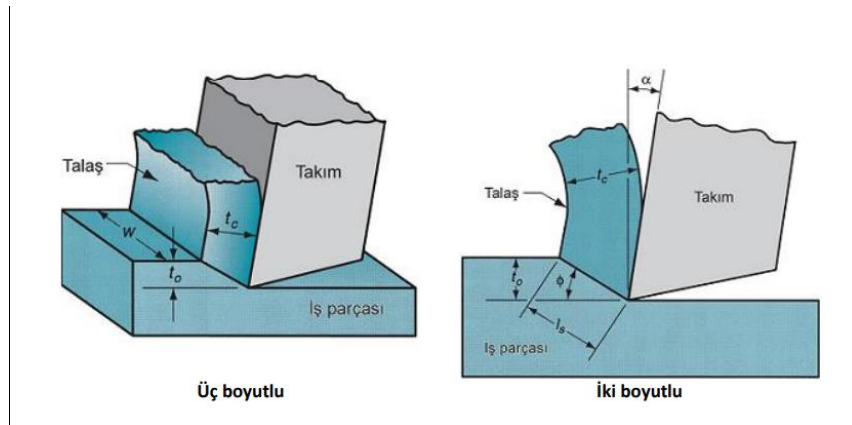
2. TALAŞLI İMALAT VE DELİK DELME

2.1. Talaşlı İmalat

Talaşlı imalat, en genel tanımlamasıyla herhangi bir malzemeye istenilen formun (yüzey, şekil, boyut) kazandırılması için kesme operasyonuna tabi tutarak şekil verme işlemidir. Bu kesme operasyonu, belirli aletler kullanılarak malzemeye katmanlar halinde uygulanır. Bu malzemeler metal, plastik veya ahşap olabilir. Eldeki malzemeler kesici aletlerle yeni şekil veya forma getirilmektedir [5].

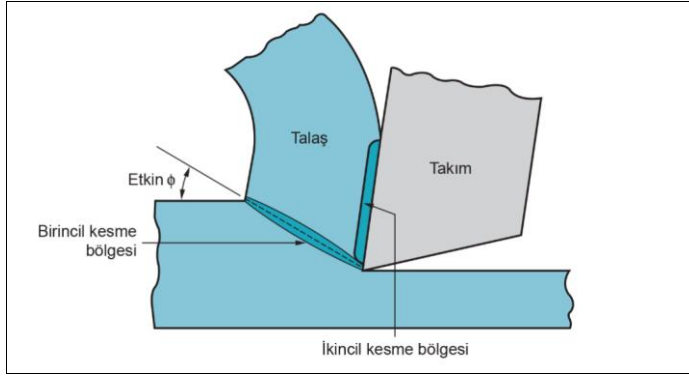
2.1.1. Talaş oluşumu

Talaşlı imalatın mekaniği ve talaş oluşumu kapsamında yapılan çalışmalarda genellikle iş malzemesi olarak metal malzemelere odaklanılmıştır [6]. Buna ek, diğer malzemelerin (metal olmayan) işlenmesinde de benzer uygulamalar yapılabilir. İşleme tekniği üç boyutlu ve pratikte oldukça karmaşık olduğundan, işleme sürecinin mekaniği iki boyutlu kesit modeli kullanılarak açıklanmıştır (Şekil 2.1). Bu tanım, basit olmasının yanı sıra işleme sürecinin mekaniğini de uygun bir şekilde açıklar. Ek olarak, iki boyutlu kesit modelleri, talaşlı imalat çalışmalarında önemli bir rol oynamaktadır. Bu modele göre talaşlanma, kesici takım iş parçasından dışarı çıkmaya zorlanarak kesme düzleminde iş parçasının kesme gerilmesi aşıldığında meydana gelir [7].



Şekil 2.1. Dik kesme modeli (t_o): talaş oluşmadan önceki kesme derinliği (t_c): talaş kalınlığı (r): kesme derinliğinin talaş kalınlığına oranı [7]

Gerçek talaş oluşumu ince bir bölgede gerçekleşir (Şekil 2.2). Talaş oluşumu, plastik deformasyonun öncelikli olduğu bir süreçtir. İşleme sırasında talaş oluşumu, iş parçasının takım malzemesinin önünde lokal deformasyonu ile oluşur. İş malzemesi ile takım malzemesi arasındaki orantısız hareket nedeniyle iş parçasındaki gerilim, iş parçasının birinci gerilim bölgesinde plastik deformasyonu ile talaş oluşumuna neden olur. Ortaya çıkan talaş, takım malzemesinin enine kesitine atılır [7].



Şekil 2.2. Gerçek talaş oluşumu [7]

Delme proseslerinde kullanılan çoğu matkaplarda talaşın geçmesi için kanal ve iki kesici kenar bulunur. Talaşın boşaltılması matkapta üzerine yer alan helis kanalı ile gerçekleşmektedir. Modern tezgâhların geliştirilmesi yeni yöntemlerin de gelişimini sağlamıştır. Kesici takım içerisinde yer alan kanallardan kesme sıvısı ilave edilerek talaş tahliyesi sağlanmaktadır. Talaş oluşumunu etkileyen unsurlar, işlenen malzeme kalitesi, takım geometrisi, kesme hızı, kesme sıvısı olarak sıralanabilir. Oluşan talaşın kesiciden sorunsuz bir şekilde uzaklaştırılması, talaşın makul uzunlukta olduğunu işaret etmektedir. Talaşın işleme sırasında kesici takım malzemesi ile iş parçası malzemesi arasında sıkışması, delik kalitesinin ve takım ömrünün azalmasına ve kesici takımın kolay kırılmasına neden olur [8].

2.1.2. Talaşlı imalat yöntemleri

Talaşlı imalat tekniği, genellikle karmaşık geometriye sahip yapıların üretilmesinde ve yüksek yüzey kalitesine ulaşmak için kullanılan bir tekniktir.

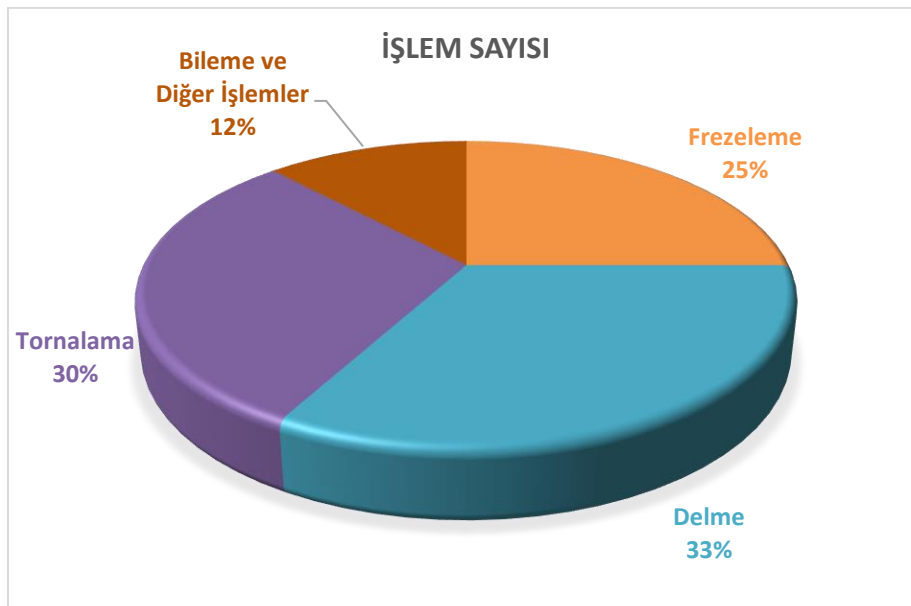
Talaşlı imalat teknikleri dokuz ana başlıkta toplanabilir [9]:

- Delme
- Tornalama
- Raybalama
- Frezeleme
- Borlama
- Vargel ve planyalama
- Broşlama
- Testere ile kesme ve tesviye işlemleri
- Taşlama

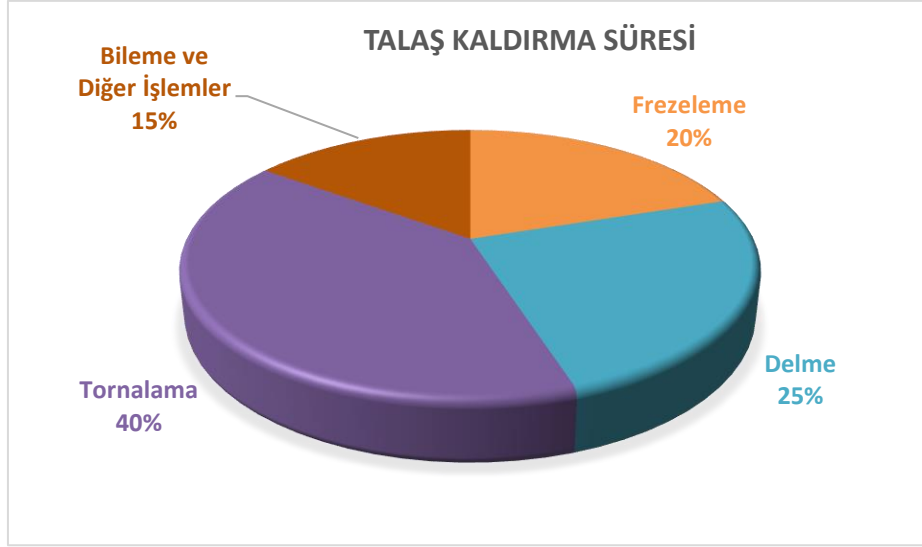
2.2. Delik Delme

2.2.1. Delik delme işleminin talaşlı imalattaki yeri

Delik delme prosesi en önemli talaş kaldırma proseslerinden biridir ve talaş kaldırma proseslerinden yaklaşık %33 ü delik delme işlemidir. Aynı zamanda en çok kullanılmakta olan kesici takımlarla yapılan talaş kaldırma proseslerinden yaklaşık %25'i yine delik delme işlemidir. Delik delme işlemleri genellikle talaş kaldırma işlemlerinin sonuncusudur [10].



Şekil 2.3. Delme işleminin işlem sayısına diğer talaşlı imalat sayılarına göre mukayese yüzdesi [10]



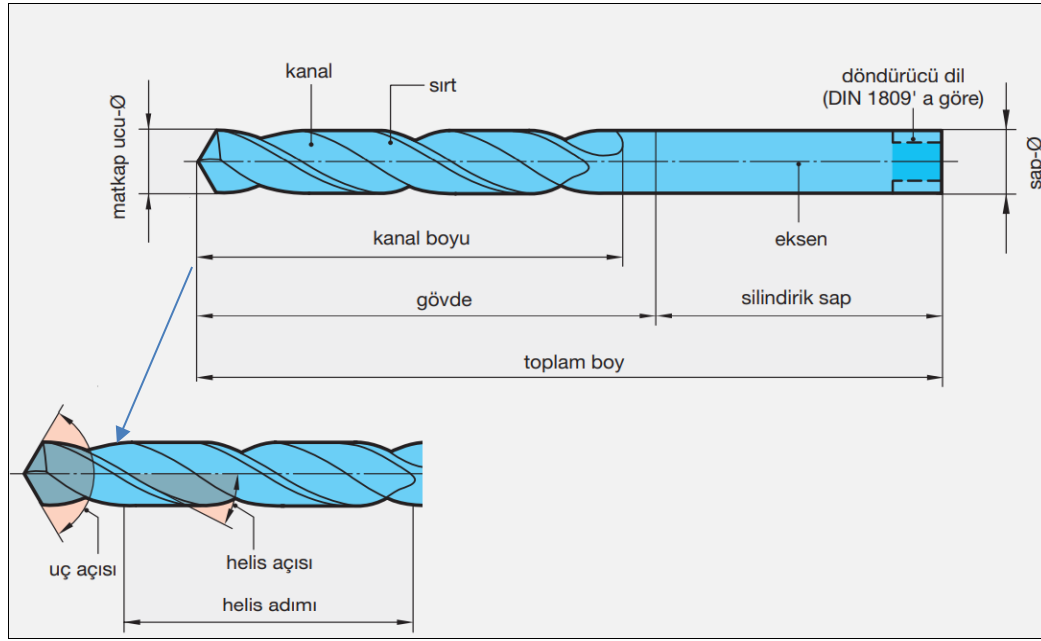
Şekil 2.4. Delme işleminin talaş kaldırma süresine diğer talaşlı imalat sayılarına göre mukayese yüzdesi [10]

Temel mantıkla matkapla talaş kaldırmakla ile tek ağza sahip takımla talaş kaldırma prosesi arasında bir ayrım yoktur. Fakat delik delme prosesinde, talaşın tahliye edilmesi ve farklı kesme koşullarının olduğu göz önüne alınırsa; matkapla talaş kaldırma, tek ağza sahip takıma nazaran daha fazla karışık ve ağır şartlarda meydana geldiği neticesine varılır [10].

2.2.2. Temel tanımlar ve matkap geometrisi

Matkap ucu matkabın kesici kenarlarını içeren, malzemeyi kesen ve talaş kaldırmayı ve deliklerin açılmasını sağlayan kısımdır. Matkap genellikle 2 kesici kenar ile imal edilir. Ancak 3 kesici kenarlı matkaplar da mevcuttur. Matkap ucunun matkap ucu şekli, taşlama ile elde edilir. Ek şekillendirme, bıçağın yerleştirme açısı ve arka kesme açısı verilerek yapılır. Normal işleme koşulları için matkap 118°'lik bir açıyla taşlanır ve kesme kenarı açısı 8°- 12°'dir. Gövde, matkap uçlarının büküm yivlerinin olduğu, matkabın ucundan birleşen ve kesicinin sapına kadar devam eden kısımdır. Helis oluğu, delik açarken matkap ucunun ucundaki kesici kenarların kestiği talaşları çıkarma işini gerçekleştirir. Helis oluklarının sayısı, kesme kenarlarının sayısına eşittir. Kanalların burulma açısı farklı derecelerde üretilmektedir. Spiraller, kesici kenarların eğim açılarını oluşturur. Gövdede spiral olukların arka kısımları belli bir bütün oluşturacak şekilde taşlanır. Bu bütünlükler, kesicinin zırh parçalarını oluşturur. Uçlar, talaşları çıkarırken tüm matkabın delik yüzeyine sürtünmesini önlemek için döner. Matkap gövdesi belirli bir açıyla inceltilecek şekilde yapılmıştır. Bu oran çok düşüktür. Amaç, kesicinin iş parçasına daldığında sıkışmamasını sağlamaktır.

Helisel oluklar, kesici kafadan kesici şafta mekanik olarak açılır. İnce dönen talaşın matkaptan kırılmadan çıkarılması sırasında kesme kuvvetinin oluşturduğu torka (M_z) matkabın dayanabilmesini sağlar. Sap, matkap presini çalışma masasına bağlayan kısımdır. İşleme parçaları genellikle belirli bir iç çapa sahip silindirlere yapılır. Ancak özellikle büyük çaplı matkap ucu; montaj kolaylığı nedeniyle makinenin ana miline doğrudan bağlanabilmesi için konikleştirilmiştir [11].



Şekil 2.5. Bir matkabın kısımları [12]

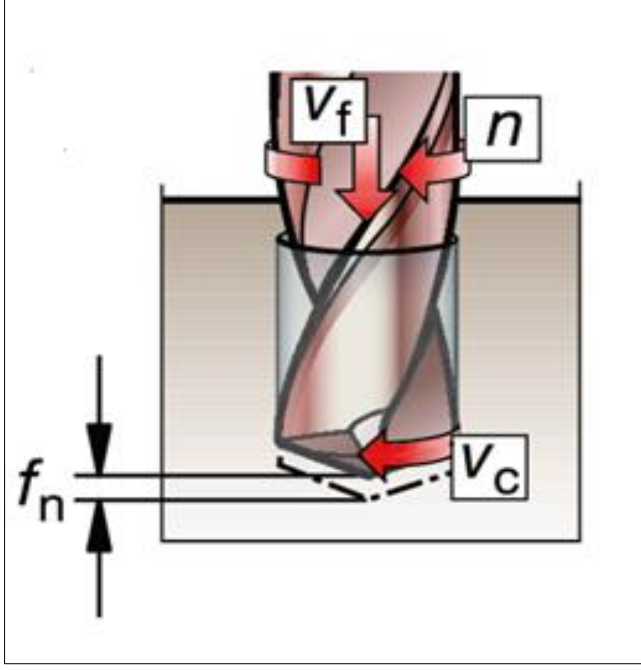
Delme hareketi, alet veya iş parçası tarafından gerçekleştirilen döndürmedir. Ana hareketi üreten iş mili hızı (n), dakikadaki devir olarak tanımlanır. Delme için kesme hızı (V), dakikadaki devir sayısı biliniyorsa kolayca hesaplanabilen çevresel hız kullanılarak belirlenir. D çapı ile matkap, bir halkada $\pi \times D$ çevresi olan bir daire çizer (Şekil 2.6). Çap mm olarak verilmişse, kesme hızını m/dak olarak ifade etmek için sonuç 1000'e bölerek hesaplanır (Eş. 2.1) [12].

$$V = \pi \times D \times n / 1000 \text{ (m/dak)} \quad (2.1)$$

$$V_f = f \times n \text{ (mm/dak)} \quad (2.2)$$

Besleme hızı veya nüfuziyet hızı (V_f mm/dak), birim zamanda kat edilen mesafe olarak tanımlanır ve takımın parçaya veya takıma göre parçaya göre ilerlemesidir (Eş. 2.2). Bu aynı

zamanda makine veya tabla besleme hızı olarak da bilinir. Devir başına ilerleme (f mm/devir), ilerleme hızını hesaplamak için kullanılan bir miktardır ve takımın veya parçanın bir devirde ne kadar ilerlediğini gösterir.



Şekil 2.6. Kesme hızı ve ilerleme hızının gösterimi [12]

Talaş genişliği veya radyal kesme derinliği (a_p mm), iş parçasının takımla temas eden yüzeyidir ve dönüş yarıçapı olarak ifade edilir (Eş. 2.3).

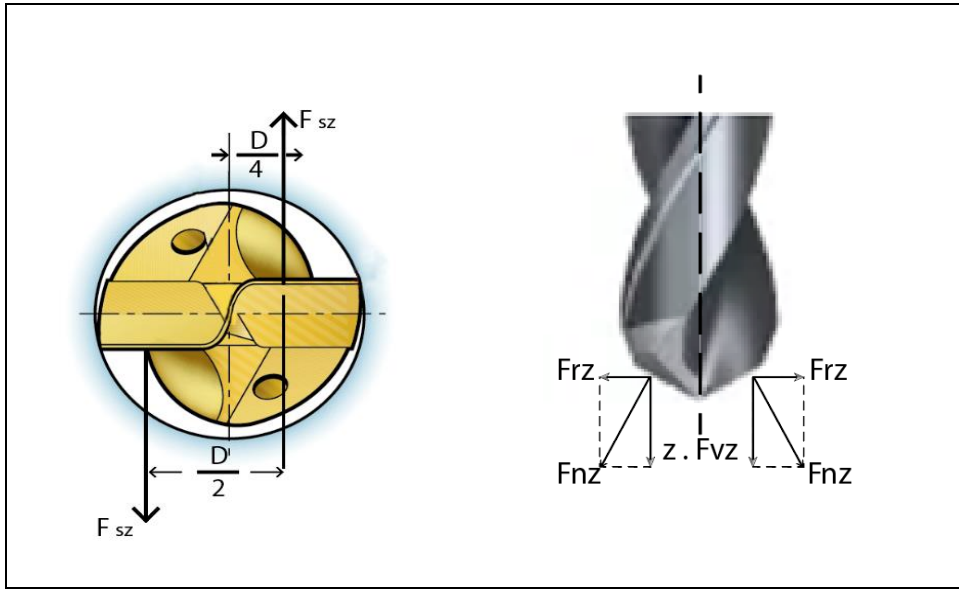
$$a_p = (D-d) / 2 \text{ (mm)} \quad (2.3)$$

Takımda birden fazla kesici kenar olduğu için (z kesici kenar sayısıdır), talaş bölümünün tanımında (A mm²) kenar başına ilerleme değeri (f_z mm/z) kullanılır. Bu alan, malzemenin bir kenar tarafından kaldırılan alanıdır ve kesme kenarı başına ilerlemelerin radyal kesme derinliğinin çarpımına eşittir. Bu tanımlardan bazılarını kullanarak, talaş oranını (V mm³/dak) veya birim zamanda çıkarılan talaş kütlesini hesaplamak mümkündür. Burada talaş kütlesi, kesme hızının ve talaş kesit alanının çarpımıdır (Eş. 2.4). Kesme hızı (m/dak) olarak ifade edilirse, talaş oranını (mm³/dak) elde etmek için sonuç 1000 ile çarpılarak hesaplanır.

$$V = A * V_c * 1000 \text{ (mm}^3 \text{ /dak)} \quad (2.4)$$

2.2.3. Delik delme işlemlerinde kesme kuvvetleri ve moment

Kesme kuvveti, bir malzemenin işlenebilirliğini gösteren parametrelerden biridir. Kural olarak, işleme sırasında düşük kesme kuvvetleri gerekir. Kesme kuvveti, işlenen yüzeyin kalitesini etkilemekle birlikte, matkap ucunun ömrünü de etkiler [8]. Artan kesme kuvveti, kesici takım ile malzeme arasındaki ara yüzde üretilen ısıyı artırır. Bir kesici matkabin kesme kenarı göz önüne alındığında, ilerleme (F_{vz}), radyal kuvvet (F_{rz}) ve ilerleme hızı (F_{sz}) bu bölgede oluşur (Şekil 2.7).



Şekil 2.7. Kesici ucu etkileyen kuvvetler [12]

Her bir kesici kenarda oluşan radyal kuvvetler, bu konumundan dolayı birbirini dengeler. Bu nedenle, delme sırasında hem F_{sz} hem de F_{vz} kuvvetleri aktiftir (Şekil 2.7) [13].

Alaşımlı çelikler, alüminyum, metaller veya polimer matris karışımları gibi farklı malzemeleri işlerken oluşan kesme kuvvetleri, kesme parametrelerinin yanı sıra bu malzemelerin farklı yapısal özelliklerine bağlı olarak değişir. Kesme kuvveti, titreşim, yüzey kusurları ve takım aşınması gibi faktörleri etkiler. Birçok araştırmacı, delme sırasındaki kuvvetler ve momentler için matematiksel modeller geliştirmiştir [14].

3. ALÜMİNYUM ALAŞIMLAR

3.1. Alüminyum Alaşımlarının Genel Özellikleri

Yeryüzü kabuğunun %8'ini oluşturan alüminyum elementi 13 atom numarasına sahiptir. Bulunabilirlik olarak Oksijen (O) ve Silisyum (Si)'dan elementinden sonra en çok bulunan 3. elementtir. Alüminyum yumuşak bir metal olmasından dolayı, profil, levha ve çubuk ürünlerinin yapımında tercih edilir. Alüminyumun farklı alaşımları istenilen işlenebilirlik, mukavemet ve ısıt işlem gibi nitelikleri değiştirilerek uygun malzemeler elde edilir [15].

3.2. Alüminyum Alaşımlarının Özelliklerine Göre Kullanım Alanları

Alüminyum alaşımlarının mekanik, fiziksel ve kimyasal özellikleri, alaşım elementlerine ve mikro yapıya bağlı olarak değişmektedir. Alüminyuma eklenen en önemli alaşım elementleri bakır, manganez, silisyum, magnezyum ve çinkodur. Alüminyum alaşımları dövme alaşımları ve döküm alaşımları olarak iki gruba ayrılır. Dövme alaşımlar iyi bir plastik deformasyona sahiptir ve kolayca şekillendirilebilir. Çoğu dökme ve dövme alüminyum alaşımları ısıt işlem görebilir. Amerikan Alüminyum Derneği'ne göre dövme alüminyum alaşımları dört harfe göre sınıflandırılır. Bu sıralama aşağıdaki gibidir [16].

1XXX: Saf alüminyum: Elektrik ve kimya endüstrilerinde yaygın olarak kullanılır.

2XXX: Al-Cu Alaşımı: Ana alaşım elementi bakırdır. Magnezyum başta olmak üzere diğer alaşım elementleri de bulunabilmekte ve yüksek mukavemetin gerekli olduğu uçak endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

3XXX: Al-Mn alaşımı: Ana alaşım elementi mangandır. Boru hatlarında, sıvı depolama tanklarında ve mimari uygulamalarda kullanılır.

4XXX: Al-Si: Ana alaşım elementi silisyumdur. Düşük termal genleşme katsayısına, aşınmaya ve korozyona karşı yüksek dirençli alaşımlardır. Kaynaklı yapılarda, levha imalatında, otomobil parçaları imalatında kullanılır.

5XXX: Al-Mg: Ana alaşım elementi magnezyumdur. Magnezyum yüzdesi arttıkça sertlik ve mukavemet artar, ancak süneklik azalır. Deniz korozyonuna karşı yüksek direnci nedeniyle bu ortamda çalışan yapıların imalatında kullanılır.

6XXX: Al-Mg-Si: Ana alaşım elementleri magnezyum ve silisyumdur. Sünekliğı yüksek olan bu alaşımlar, ekstrüzyonla yapılan parçaların imalatında yaygın olarak kullanılmaktadır.

7XXX: Al-Zn: Bakır ana alaşım elementidir ve magnezyum, krom ve zirkonyum ek alaşım elementleridir. 7XXX serisi, alüminyum alaşımlarının en dayanıklısıdır. Uçak parçalarının yapımında ve yüksek mukavemetin gerekli olduğı diğer yerlerde kullanılır.

8XXX: Ana alaşım elementi lityumdur ve kalay da eklenebilir. Özellikle havacılık ve uzay yapılarında kullanılan bu malzeme iyi yorulma direncine ve iyi tokluk özelliklerine sahiptir. Ancak üretim maliyeti diğer alüminyum alaşımlarına göre yüksektir.

3.3. Al 7050 Alüminyum Alaşımları

7XXX serisi alaşımlar ısıtıl işlem görebilir ve özellikle Al-Zn-Mg-Cu versiyonları arasında tüm alüminyum alaşımlarının en yüksek mukavemetlerini sağlar. Uçak endüstrisi kırılma açısından kritik tasarımlar gerektirdiğinden, bu gereklilik yüksek tokluk alaşımı geliştirmek için itici gücü sağlamıştır ve bu nedenle 7XXX serisi alaşımlarının en geniş uygulaması uçak endüstrisi olmuştur. Seride özellikle yüksek toklukları için üretilen, özellikle 7050, 7150, 7175 ve 7475 gibi birçok alaşım vardır; bu alaşımlar için kontrollü safsızlık seviyeleri, özellikle Fe ve Si, mukavemet ve kırılma tokluğu kombinasyonunu en üst düzeye çıkarır. Bu alaşımlar genellikle uçaklardaki büyük yapısal elemanlar için kullanılır [17]. 7XXX alaşımları yaygın olarak uçakların kanat yapıları, longonlar, bölme duvarları, çerçeveler, kirişler ve kaplamalar gibi birincil ve ikincil yapılarında kullanılır [18]. 7XXX alaşımları, 7050-T7451 alüminyum alaşımı, geliştirilmiş stres korozyonu çatlama direnci ve mukavemet özellikleri nedeniyle hem askeri hem de ticari uygulamalarda uçak sistemlerinde büyük ölçüde kullanılmaktadır. Haddelme ve ısıtıl işlem, bu malzemeyi oldukça anizotropik yapar [19].

Zn miktarı genellikle Mg' den yüksektir. Isıl işleme en iyi mukavemet ve tepki, yüksek Zn/Mg oranları ile elde edilir. 2'nin üzerindeki oranlar $MgZn_2$ oluşumuna neden olurken, daha düşük oranlarda $Mg_3Zn_3Al_2$ oluşur. En iyi yorulma direnci, daha düşük Zn/Mg oranlarında da elde edilir [20]. Al-Zn-Mg-Cu alaşımları su verme ve yaşlandırma gibi ısı işlem koşullarına bağlı olarak birçok şekil alabilir. Oluşan fazlar, alaşımın faz diyagramındaki konumundan daha yüksek yaşlanma sıcaklığına bağlıdır [21].

4. SONLU ELEMANLAR METODU

4.1. Sonlu Elemanlar Metodu ve Kullanım Alanları

Karmaşık mühendislik problemlerine, karmaşıklığı ortadan kaldırarak yönetilebilir parçalarla çözümler sunan sonlu elemanlar yöntemi, teknik uygulamada birçok alanda sıklıkla kullanılan pratik bir çözüm yöntemidir. Sonlu elemanlar yöntemi ilk olarak 1956 yılında stres analizinde geliştirilmiş ve daha sonraki yıllarda uygulamalı bilimsel ve mühendislik problemlerinin analizinde uygulanmaya başlamıştır. İlerleyen yıllarda bu uygulama yöntemleri ve çözümleri hızla geliştirilmiş ve günümüzde birçok mühendislik probleminin çözümünde kullanılan en iyi yöntemlerden biri haline gelmiştir. Sonlu elemanlar yönteminin temel mantığı, karmaşık bir problemi basitleştirerek çözmektir. Bu yöntemde çözüm bölgesi, sonlu elemanlar adı verilen basit, küçük ve birbirine bağlı birçok alt bölgeye bölünür. Kısacası, birçok düğümle birbirine bağlanan parçalara ayrılan problemin çözümüne kolaylıkla ulaşılabilir [22].

Sonlu elemanlar yöntemi günümüzde birçok alanda yerini almıştır. Bu yöntem, akışkanlar mekaniği, elektrik ve manyetik alanlar, ısı iletimi ve yapısal mekanik problemleriyle ilgili mühendislik problemlerini çözmek için kullanılır. Yöntemin bu kadar çok uygulama bulmasının nedenlerinden biri, farklı teknik problemler arasındaki benzerliktir. Sonlu elemanlar yöntemlerinin geniş spektrumunda yer alan bu alanlardan bazıları şu şekilde sıralanabilir:

- Yapısal Analizler,
- Medikal Uygulamalar vb.
- Elektromanyetik Hesaplamalar,
- Makine/Uçak/İnşaat/Otomotiv Mühendislikleri Uygulamaları
- Termal, Akış Hesapları,
- Biyomekanik Hesaplamalar,

Teknolojinin gelişmesiyle karmaşık buluşların artması, çözüm yönteminde sonlu elemanlar kullanımını artırmıştır. Oldukça faydalı bu yöntem, pek çok analiz programıyla da bütünleştirilerek farklı uygulama alanlarında da kendine yer edinmiştir [23].

4.2. Sonlu Elemanlar Metodunun Önemi

Karmaşık mühendislik problemleri eşit derecede karmaşık çözümler içerir. Bu karmaşıklık aynı zamanda çözüm aşamasını hassasiyetten uzaklaştırır. Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak karmaşık problemlere en kısa yoldan ve en doğru sonuçlarla yaklaşılabılır. Yöntemin anahtar kelimesinin analiz aşaması olduğunu söyleyebiliriz. Özellikle mühendisler ve araştırmacılar, tasarladıkları ürünler ve sundukları yeniliklerde insanların hayatlarını nasıl kolaylaştırabileceklerine odaklanırlar. Mühendislik ürünlerinin seri üretiminden önce, dayanıklılık ve süreklilik gibi kriterler net olarak tanımlanmalıdır. Uçak, otomobil ve iş makinelerinin kullanıldığı sektörlerde üretim öncesi test süreci ve beraberinde getirdiği maliyetler imalat sektöründe büyük önem taşımaktadır. Bu problemlere cevap arayan ve çözüm yolları geliştiren analiz sürecinde sonlu elemanlar yönteminin büyük katkısı vardır [24].

Sonlu Elemanlar Metodu (FEM) kullanımının avantajları;

- Karmaşık sorunları çözüyorsanız, bu, bilgiye geleneksel yöntemlere göre daha hızlı ve daha güvenilir erişim sağlar.
- Erken prototiplere ve zor fonksiyonel testlere duyulan ihtiyacı azaltır.
- Sınır koşullarını kolayca sağlama avantajı ile tasarımda en ideal sonuçlara ulaşmak için en uygun malzemelerin kullanımını kolaylaştırır.
- Tasarım süresini azaltarak zamandan tasarruf ettirir [25].

5. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

5.1. Farklı Matkap Uç Açıları Kullanılarak Delik Delme İşlemi ile İlgili Çalışmalar

Kaynak, Al 2024-T4 malzemesi üzerindeki deneysel çalışmalarında 118° ve 130° olmak üzere iki uç açısı, üç farklı ilerleme değeri (0,15 -0,20-0,25 mm/dev), üç farklı kesme hızı (30-45-60 m/dak), kaplamalı (TiAlN -TiN) ve kaplamasız takımlar kullanmıştır. Sabit kesme hızıyla ve artan ilerlemeyle yapılan deneylerde 118° uç açısına sahip kaplamasız takımda kesme kuvvetinde artış gözlemlenmiştir. 118° uç açısına sahip TiN kaplı takımda ise kuvvetlerde %20 ile %27 arasında azalma görmüştür. Aynı koşullarda 130° uç açısına sahip kaplamasız takımda, 118° uç açısına sahip kaplamasız takıma göre %36'lara varan oranlarda azalan kuvvetler görmüştür. TiN kaplamalı 130° uç açılı matkap da ise 118° uç açısına sahip kaplamalı takıma göre %17 oranında ilerleme kuvvetinde azalmalar tespit edilmiştir. Uç açısının derecesinin artması ve takıma yapılan kaplama ile birlikte oluşan kuvvetlerde azalma tespit ederlerken, artan ilerleme değeri ile tüm deneylerde kuvvetlerin arttığını tespit etmiştir [26].

Nalbant ve Aydın CFRP/Al-7075 istifli yapının, 120° , 130° ve 140° uç açılarına sahip karbür matkaplar ile delinebilirliğini araştırmışlardır. Delme proseslerinde itme kuvvetini ve momenti incelemişlerdir. Deneylerini 50 m/dak kesme hızı ve 0,05 mm/dev ilerleme ve kuru kesme şartlarında, doğrudan delme yöntemiyle gerçekleştirmişlerdir. Deneylerin nihayetinde ise; 120° ve 130° uç açısına sahip matkapların CFRP malzemede yakın Fz değeri sergilendiğini, uç açılarına göre en düşük itme kuvveti ve moment değerlerinin sırasıyla 130° - 120° - 140° uç açılı matkaplarda elde etmişlerdir. Sonuç olarak, 130° uç açısına sahip kaplamasız karbür matkabın moment, itme kuvveti açısından referans alınan kesme parametreleri doğrultusunda CFRP/Al-7075 istifli malzemesinin delme prosesinde daha ideal sonuçlar verdiğini görmüşlerdir [14].

Soylu, tam faktöriyel tasarım kullanarak 1040 malzemesi üzerinde deneyler gerçekleştirmiştir. Deneylerinde ise farklı matkap geometrisi olarak, uç açısını 100° , 118° , 130° , helis açısı 20° , 25° , 30° ve kesme parametreleri 18-22-28 m/dak kesme hızı ve 0,1-0,2-0,3 mm/dev ilerleme miktarı kullanmıştır. Yaptığı deneyler sonucunda matkap ucu geometrisindeki ve kesme koşullarındaki değişiklikleri kuvvet ve tork değerleri üzerinde

analiz etmiştir. Bu analizler sonucunda 1040 çeliğinin delmede sırasıyla ideal takım geometrisini 30° burulma açısı, 118° uç açısı ve 28 m/dak kesme hızı, 0.2 mm/dev ilerleme miktarı olarak belirlemiştir [27].

Çakır, Kavak ve Duran, dört seviyeden ve üç farklı kontrol faktöründen oluşan Taguchi Deney Tasarımı oluşturmuştur. Deney parametresi olarak dört farklı geometride matkap (TG-1, TG-2, TG-3, TG-4), dört farklı kesme hızı (90-100-110-120 m/dak) ve dört farklı ilerleme değeri (0,15-0,20-0,25-0,30 mm/dev) seçmişlerdir, talaşlı üretimin büyük bir parçası olan delik delme işleminin performansının matkap geometrisine bağlı olmasından dolayı önceki çalışmaları incelemişlerdir. İnceleme ve çalışmalarının sonucu neticesinde 4 numaralı geometriye sahip takımın, diğer takım geometrisine sahip takımlara oranla daha çok sıvanma gözlemlenmişlerdir (BUE). Sıvanmanın ilerlemenin artışına bağlı olarak arttığı tespit etmişlerdir. Bu Buna bağlı olarak mevcut takım geometrilerinin matematiksel modellerinin yanı sıra modernize edilen geometrilerin de matematiksel modellerini oluşturmuşlardır [28].

Demir, Baday ve Sönmez çalışmalarında; AISI 1050 çelik malzemesinin delinmesini etkileyen tepki kuvveti üzerinde hız ($V=50,27$ m/dak), matkap uç açısı (100° - 118° - 136°) ve ilerleme miktarı (0,025-0,050-0,075 mm/dev) parametrelerinin değişimini incelemişlerdir. Oluşturdukları modellerden ister lineer modelde isterse ikinci derece modelde en etkin parametrenin ilerleme miktarı olduğunu görmüşlerdir. Parametrelerin etkinliği değerlendirdiklerinde; en etkin parametre olan ilerleme miktarının artmasıyla tepki kuvvetinin ortalama %225 arttırdığını, devrin ve uç açısındaki artışların ise tepki kuvvetini düşürdüğünü, yine de bu etkinin ilerleme miktarı parametresinin etkisi kadar bariz olmadığını gözlemlemişlerdir [29].

Gökçe, bakır malzemenin delinebilirliği üzerinde kesme hızı (10-20-30-40 m/dak), ilerleme miktarı (0,025-0,050-0,075-0,100 mm/dev) ve uç açısına (90° - 105° - 118° - 140°) bağlı olarak kesme kuvvetlerinin etkisini incelemiştir. Analizlerden elde ettiği grafiklerden değerlerin dalgalı olduğunu, bu dalgalanma nedenlerinin grafiklerde göz ardı edilen diğer faktörlerinin de sonuçlar üzerinde etkili olduğunu tespit etmiştir. İlave ten ilerleme miktarının artan her değerinde kesme kuvvetlerinin artış gösterdiği, en küçük kesme kuvvetinin 0,025 mm/dev ilerlemede ve 90° uç açısına sahip matkapla delik delme işleminde olduğunu gözlemlemiştir [30].

5.2. Al 7050 Alaşımının İşlenebilirliği ile İlgili Çalışmalar

Dağlı, çalışmasında Al7050 T7451 alüminyum alaşımlı malzeme üzerinde önceden delinmiş deliklerin 12 mm çap ölçüsüne işlenmesiyle oluşan, deliklerin yüzey kalitesi, daireselliği, tamlığı, silindirikliği üzerine delik işleme parametrelerinin etkilerini araştırmıştır. Deneylerini, kuru ve ıslak işleme koşulları altında gerçekleştirmiştir. Deliklerin işlenmesinde iki ayrı özellikte kesici uçlar kullanmıştır. Bu çalışmada parametre olarak, soğutma sıvısı kullanıp kullanmama durumunu, kesici uç tipini, iş mili hızını ve ilerleme miktarını değişken parametreler olarak seçmiştir. İş mili hızı ve ilerleme miktarını üçer seviye, kesici uç ve kesme şartları iki seviyeye sahip olup, deney planı Taguchi L9 (32) orthogonal düzene göre oluşturmuştur. Baz aldığı delik yüzey kalitesi, tamlığı, silindirikliği ve daireselliği gibi kalite parametreleri için ayrı ayrı analiz yapmıştır. Ek olarak, işleme parametrelerinin her bir kalite parametrelerine olan etki paylarını belirlemek için de Pareto ANOVA yöntemi uygulamıştır. Tüm kalite parametreleri için en uygun değerleri bu sonuçları dikkate alarak elde etmiştir [31].

Keşir, çalışmasında Al 7050-T7451 malzemesinden üretilen, 457,2 x 101,6 x 19,05 mm boyutlarında iş parçasını kullanarak “Konsol Destek Parçası”nın çarpılma problemini incelemiştir. Talaşlı imalat sürecinde meydana gelen çarpılmaları, ilerleme hızını (8000-6000 mm/dak) ve kesme derinliğini (0,5-1-1,5 mm) değişken olarak belirleyerek 6 farklı tekrarlı test yaparak incelemiştir. Testler sonrasında yapılan distorsiyon ölçümleri neticesinde 6000 mm/dak ilerleme hızı ve 0,5 mm kesme derinliği optimum kesme koşulları olarak belirlenmiştir ve süreç iyileştirmesi yapmıştır [32].

Meng ve arkadaşları, 7050-T7451 alüminyum alaşımının modifiye edilmiş yapısal modeline dayalı olarak, DEFORM sonlu eleman kesme modelini kurmuş ve simüle etmiştir. Daha sonra temas sürtünme katsayısı, ısı transfer katsayısı ve ısı iletkenlik katsayısının kesme parametreleri belirlemişlerdir. Tek faktörlü kesme simülasyon testine göre, tane incelmenin plastik deformasyon hızı ile kesme sıcaklığı arasındaki kapsamlı etkinin sonucu olduğu analiz etmişler ve takım uç açısının azaltılmasının, talaşın plastik deformasyonunu ve kesme yüzeyindeki ezilme etkisini arttırabildiğini, matkabın kesici kenar yarıçapının azaltılmasının, kesme yüzeyinin ekstrüzyonunun ve sürülmesinin etkisini arttırabileceğini, ardından kesme yüzeyinin plastik deformasyonunu arttırabileceğini, öngörmüşlerdir [33].

Buğdaycı, çalışmasında alüminyum 7050 alaşımının frezelenmesinde kullanılan parmak frezelerin ömürlerini deneysel olarak incelemiştir. Öncelikle frezeleme sırasında takımların maruz kaldıkları kuvvetlerin freze alt yüzeyinin de etkisi göz önüne alarak mekanik ölçümleme yöntemi ile modellemiş ve bu modeli yaptığı deneylerle doğrulamıştır. Elde ettiği değerleri kullanarak işlem sırasında açığa çıkan ısı ve takımın oluştuğu sıcaklığı hesaplamıştır. Son olarak elde ettiği yüzey kalitesi ve yüzey pürüzlülüklere bakarak; optimum kesme şartları ve kesici takımlarını belirlemiş, takım maliyetlerinde %85'e varan iyileştirmeler yapılabileceğini göstermiştir [34].

Huang, Xu, Chen ve Ren çalışmalarında, yüksek hızlı frezeleme alüminyum alaşımı 7050-T7451'i sonlu elemanlar simülasyonu kullanarak incelemiştir. İlk olarak, iki boyutlu dik kesme modeline dayalı olarak, işleme sürecinde kesme hızının kesme kuvveti üzerindeki etkisi azaldığını görmüştür. Ayrıca kesme hızı 4000m/dak' dan büyük olduğunda kesme sıcaklığının düştüğünü görmüştür [35].

Perez ve arkadaşları çalışmasında, yüzeyi frezelenmiş 7050-T7451 alüminyum iş parçasının üzerindeki kesme hızının etkisini incelemiştir. Sabit ilerlemede (0,2 mm/dev) ve 1 mm derinliğinde üç farklı kesme hızı (200, 800, 1400 m/dak) kullanarak kuru koşullar altında yüzeyi frezelemiştir. Dynoware kullanarak kesme kuvvetlerini elde etmişlerdir. Sonuç olarak, kalıntı gerilmelerinin büyüklüğünün ve etkilenen plakanın kalınlığının kesme hızına duyarlı olduğunu görmüşlerdir. Nihai sonuç olaraksa kesme hızının artmasıyla kesme kuvvetlerinin azaldığını görmüşlerdir. 800 m/dak kesme hızının optimum parametre olduğuna karar vermişlerdir [36].

Mamedov ve arkadaşları çalışmasında, Al 7050 frezelenmesinde kuvvet ve sapma modelleri sunmuştur. Ana odak noktaları, mikro parmak frezeleme sırasında kesme kuvvetlerinin tahmin edilmesi ve takıma etkiyen kesme kuvvetleri nedeniyle mikro parmak frezede meydana gelen sapma miktarının tahmin edilmesidir. Hem kuvvet hem de sapma modellerini deneylerle doğrulamışlar ve mukayese etmişlerdir. Yaptıkları bu çalışmada deney ve model sonuçları yakın sonuçlar vermiştir [37].

Du An ve arkadaşları çalışmalarında iş parçası olarak 7050 alüminyum alaşımı kullanarak frezeleme yapmıştır. Frezeleme kuvveti ve pürüzlülüğün sinyal-gürültü oranının aralık ve varyans analizleri yapmışlardır. Sonuçlarında, nozul konumu parametrelerinin en uygun

kombinasyonunun, 30 mm' lik hedef mesafe, 35°'lik geliş açısı ve 60°'lik yükselme açısı olduğunu görmüşlerdir. Bu parametreler arasında hedef mesafe, %55'in üzerindeki katkı oranıyla kesme performansı üzerinde en büyük etkiye sahip olduğunu, bunu geliş açısı ve yükselme katkı oranında izlediğini tespit etmişlerdir [38].

5.3. Sonlu Elemanlar Metoduyla Yapılan İşlenebilirlik Çalışmaları

Huang, Xu, Chen ve Ren çalışmalarında, yüksek hızlı frezeleme alüminyum alaşımı 7050-T7451'i sonlu elemanlar simülasyonu kullanarak incelemiştir. Üç faktörlü ve üç seviyeli simülasyon şemaları ile takım eğim açısı, boşluk açısı ve diş başına ilerlemenin kesme kuvveti üzerindeki etkisini analiz etmişlerdir. Üç boyutlu kesme modeline göre kesme kenarı eğim açısının kesme kuvvetine etkisini araştırmışlardır. Son olarak, simülasyonun kesme kuvvetlerini deneysel sonuçlarla mukayese etmişlerdir. Maksimum kesme kuvveti hatasını %10,4 olduğunu görmüşlerdir. Simülasyona avantajlarına göre kesme parametrelerinin optimize edilmesi sürecinde, yapılan deney sayısını azaltabilmişlerdir. Huang ve arkadaşları Al 7050-T7451 alaşımı üzerinde, kuru ve kriyojenik koşullar altında, soğutucu olarak sıvı nitrojen kullanılarak frezeleme işlemi gerçekleştirmişlerdir. Kuru ve kriyojenik frezeleme arasındaki farkları karşılaştırmak için kesme kuvvetleri ve sıcaklıkları ölçmüşlerdir. Deneysel sonuçların doğrulanması için kesme kuvvetlerini ve sıcaklıklarını simüle etmek için denklemlerle birleştirmişler ve değiştirmişlerdir. Johnson-Cook akış stres modeline dayalı bir sonlu eleman modeli (FEM) geliştirilmişlerdir. Öngörülen ve deneysel sonuçlar arasında ise iyi bir uyum elde etmişlerdir [35-39].

Yaşar çalışmasında, AA 7075 alaşımının üç farklı ilerleme miktarı (0,05-0,1-0,5 mm/dev) ve üç farklı kesme hızının (40-80-120 m/dak) yüzey pürüzlülüğü ve itme kuvveti üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Üç farklı kalitede (kaplamasız, TIAN kaplı, elmas kaplı) ve uç açısındaki (120°-130°-140°) matkaplarla delme deneyleri yapmıştır. Gri ilişki analizine (GRA) göre delik delme değişkenlerinin yüzey pürüzlülüğü ve itme kuvvetleri üzerindeki etkisini araştırmıştır. GRA analizi sonuçlarına göre ise en yüksek ve en düşük gri ilişki derecelerini 0.828 ve 0.338 olarak bulmuştur. İtme kuvvetleri için sayısal analizleri ise ThirdWave AdvantEdge simülasyon yazılımı ile gerçekleştirmiştir. Deneysel ve sonlu elemanlar analizi itme kuvvetleri arasındaki farkın %4,9 olduğu ortaya koymuştur. Bu sayede sonlu elemanlar modelinin uygulanabilirliğini ispatlamıştır [40].

Yıldız çalışmasında, delme sırasında meydana gelen itme kuvveti ve torku deneysel olarak ölçmüş ve bu kesme yüklerinin kesici takım üzerindeki etkilerinin sonlu elemanlar yöntemi ile analizini yapmıştır. Deney ve analizlerinde üç farklı kesme hızı (60- 75-90- 108 m/dak) ve üç farklı ilerleme değeri (0,15-0,20- 0,25 mm/dev) kullanılarak dolu ve ön delikli AISI 1050 numuneleri üzerinde kaplanmamış ve TiAlN/TiN kaplı karbür matkaplarla farklı kesme parametreleri ile deneysel delme işlemleri gerçekleştirmiştir. Deneysel olarak ölçülen itme kuvveti ve torkun matkap üzerindeki gerilme etkileri analiz etmiştir. Simülasyonlarla elde edilen sonuçların, deneylerle ölçülen sonuçlarla paralellik gösterdiğini tespit etmiştir [41].

Demirel çalışmasında, AISI 1050 iş malzemesi üzerinde farklı çaplarda delinen deliklere M10 ölçüsündeki vida açma işleminin simülasyonunu yapmıştır. Simülasyonunda ThirdWave AdvantEdge programını kullanmıştır. Bu program sonlu elemanlar yöntemini esas almaktadır. Vida açma süresi boyunca elde ettiği gerilmeleri, kesme kuvveti ve tork değerlerini ve talaş oluşumu incelemiştir. Kaplamasız ve kaplamalı (TiN) takımlardan elde edilen deneysel kesme kuvvetlerini, tork değerlerini ve talaş biçimlerini simülasyon ve deney sonuçları ile karşılaştırmıştır. Simülasyon ve deney sonuçlarının birbiriyle uyumlu olduğunu görmüştür. Buna bağlı olarak simülasyon modelinin başarılı olduğunu ve reel sonuçlar verdiği kanısına varmıştır [42].

Gökçe ve arkadaşları çalışmasında, sementit karbür matkap ile 8.8mm çaplı, iki ağızlı özelliklerinin kesme performansını, sonlu elemanlar analiz yöntemi ile araştırmışlardır. Bu sebeple, AISI 1045 iş parçası üzerinde farklı kesme parametrelerinde delik delme işlemleri deneysel olarak gerçekleştirmişlerdir. Farklı kesme parametreleriyle elde edilen deneysel verilerin ve sonlu elemanlar simülasyonundan elde edilen verilerle karşılaştırmışlardır. Kesme mekanizmasını oluşturmak için Deform-3D yazılımı kullanmışlardır. Deney sonuçları ve sonlu elemanlar simülasyonundan elde ettiklerinin verilerin paralel olduklarını görmüşlerdir [43].

Korkmaz ve arkadaşları çalışmasında Al2014 alüminyum alaşımının kaplamasız sementit karbür takım ile delinmesi sonucunda elde edilen itme kuvvetini hem deneysel ve hem simülasyon sonuçları üzerinde kıyaslamışlardır. Deneysel çalışmada, üç farklı kesme hızı (170-200-230 m/dak) ve üç farklı ilerleme miktarı (0,10-2-0,3 mm/dev) kullanarak delme işlemi yapmışlardır. İtme kuvveti için analizleri ThirdWave Advantedge simülasyon

programıyla gerçekleştirmişlerdir. Artan ilerleme miktarlarında kesme hızının %35 artmasıyla itme kuvvetinin sırasıyla %9,1, %12,8 ve %18,6 düştüğünü tespit etmişlerdir. 170, 200 ve 230 m/dak sabit kesme hızlarında, ilerleme miktarının 0,1'den 0,3 mm/dev' e çıkarılmasıyla itme kuvveti sırasıyla %23,9, %16,1 ve %11 arttığını görmüşlerdir. İtme kuvvetinin kesme hızının artmasıyla azaldığını, ilerleme miktarının artmasıyla arttığını belirlemişlerdir. Sonlu elemanlar yöntemiyle elde edilen sonuçların deneylerden elde edilen sonuçlarla paralellik gösterdiğini ve ölçülen değerler arasında yaklaşık %7'lik bir fark olduğunu tespit etmişlerdir [44].

5.4. Literatürün Değerlendirilmesi

Alüminyum malzemeleri hafiflik/mukavemet ilişkisi nedeni ile endüstride yaygın kullanılmakta ve akademik çalışmalarda işlenebilirliği araştırılmakta olan malzemelerdir. Alüminyum malzemelerinin işlenmesi sırasında takıma yapışması nedeni ile işlenebilirliği zor malzeme olarak ifade edilmektedir [1,40]. İncelenen çalışmalarda farklı uç açlarına sahip matkaplarla işlenebilirlik çalışmalarının yapıldığı fakat Al 7050 malzemesi üzerine detaylı bir çalışmanın olmadığı görülmektedir. Literatürde bilhassa matkap geometrisini değişken kabul edilerek itme kuvveti ve kesme momentiyile ilgili farklı modeller ve deneysel çalışmalar sunulmuştur [14-26,30-39,44]. Literatür çalışmaları incelendiğinde Al 7050'nin delinebilirliği ile ilgili yapılan çalışmaların diğer talaşlı imalat operasyonlarına göre daha az olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada, endüstride oldukça mühim bir yere sahip olan Al 7050 malzemesinin farklı uç açlarına sahip matkaplar ile delinebilirliği araştırılmıştır. Farklı uç açlarına sahip matkaplar yardımıyla yapılan deney ve analizlerde değişen itme kuvvetleri ve kesme momenti değerleri ölçülerek deney ve analiz verileri mukayese edilmiş, optimum kesme şartları ortaya konulmaya çalışılmıştır.

6. MALZEME VE METOD

6.1. Deney Malzemesi

Bu çalışmada, savunma ve uzay endüstrisi başta olmak üzere dayanım, mukavemet ve hafiflik istenilen alanlarda önem arz eden Al 7050- T7451 alaşımı kullanılmıştır. Al 7050-T7451 alaşımının kimyasal kompozisyonu ve mekanik özellikleri sırasıyla Çizelge 6.1 ve Çizelge 6.2’ de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Al 7050-T7451 kimyasal kompozisyon

Element	Al	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Si	Ti	Zn	Zr
Değer %	87,3-90,3	Mak. 0,04	2,00-2,60	Mak. 0,15	1,90-2,60	Mak. 0,10	Mak. 0,12	Mak. 0,06	5,70-6,70	0,08-0,15

Çizelge 6.2. Al 7050-T7451 mekanik özellikler

Mekanik Özellikler	Değer
Sertlik, Brinell	140
Sertlik, Rockwell A	51,6
Sertlik, Rockwell B	84
Sertlik, Vickers	162
Çekme Dayanımı	524
Akma Dayanımı	469
Poisson Oranı	0,33

Deneylerde kullanılan Al 7050- T7451 alaşımına ait malzeme sertifikası EK 1’de verilmiştir.

6.2. Deneylerde Kullanılan Takım Tezgâhı

Delme deneyleri, Gazi Üniversitesi, İmalat Mühendisliği Bölümü laboratuvarında bulunan CNC dik işleme tezgâhında yapılmış olup, tezgâha ait özellikler Çizelge 6.3’ de verilmiştir.

Çizelge 6.3. Deneylerde Kullanılan tezgâhın özellikleri

Tezgâhın Gücü	10 HP (7.5 KW)
En Yüksek Devir Sayısı	6000 dev/dak
Kurs Boyu (x, y, z eksen)	550, 500, 450 mm
Hassasiyeti	0,001 mm
İşletim Sistemi	Fanuc

6.3. Analizlerde Kullanılan Sonlu Elemanlar (FEM) Modeli

Analizlerde ThirdWave AdvantEdge programı kullanılmıştır. ThirdWave AdvantEdge programı, işleme süreçlerini tasarlamak, ayarlamak, iyileştirmek ve optimize etmek için güçlü bir araçtır. Kullanıcıların, kesme kuvvetlerini, sıcaklıkları ve parça bozulmasını tamamen çevrimdışı olarak azaltabilecek işleme parametrelerini ve konfigürasyonlarının belirlemelerini sağlar. Bu, maliyet ve değerli üretim süresine mal olan çevrimiçi test ihtiyacını azaltır. ThirdWave AdvantEdge programının sağlamış olduğu başlıca faydalar aşağıda sıralanmıştır [49]:

- Daha düşük maliyetli kesme testleri
- Takım ömrünü uzatarak, takım kırılmasını azaltır
- Geliştirilmiş takım kontrolü ve talaş kontrolü
- Daha hızlı işleme süreleri
- Isı oluşumu, kesme kuvvetleri, gerilim vb. nedeniyle daha az parça bozulması
- Artan malzeme oranları
- Artan makine kullanımı

Bu bölümde simülasyon çalışmasının yapıldığı ThirdWave AdvantEdge yazılımında modelleme safhaları anlatılmıştır.

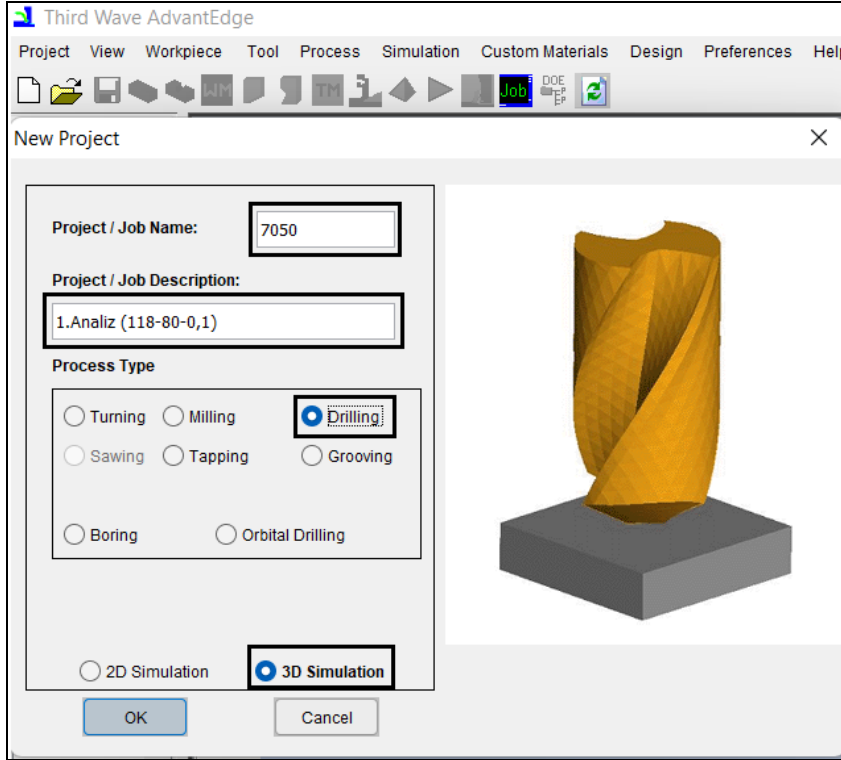
1. Adım: Yeni analiz başlatılması;

Program çalıştırıldığında açılan ara yüz Şekil 6.1’de gösterilmiştir. Bu ara yüzde yeni proje başlatılır ve proje adı, proje tanımlaması ve operasyon tipi ve 2B/3B operasyon yöntemi belirlenir. Delik delme operasyonu (Drilling) ve 3B(3B simulation) operasyonu seçilir. (OK) seçeneği tıklandıktan sonra proje kayıt edilir. Kayıt edilirken belirleyici olmak için proje/iş

ismi (project/job name) kısmına çalışacağımız malzeme adının, proje/iş tanımı (project/job description) kısmına kaçınıcı analiz ve analiz parametrelerinin kısaca yazılması tavsiye edilir.

Yapacağımız analiz delik delme analizi olduğu için Şekil 6.1 de verilen işaretli kutucuk

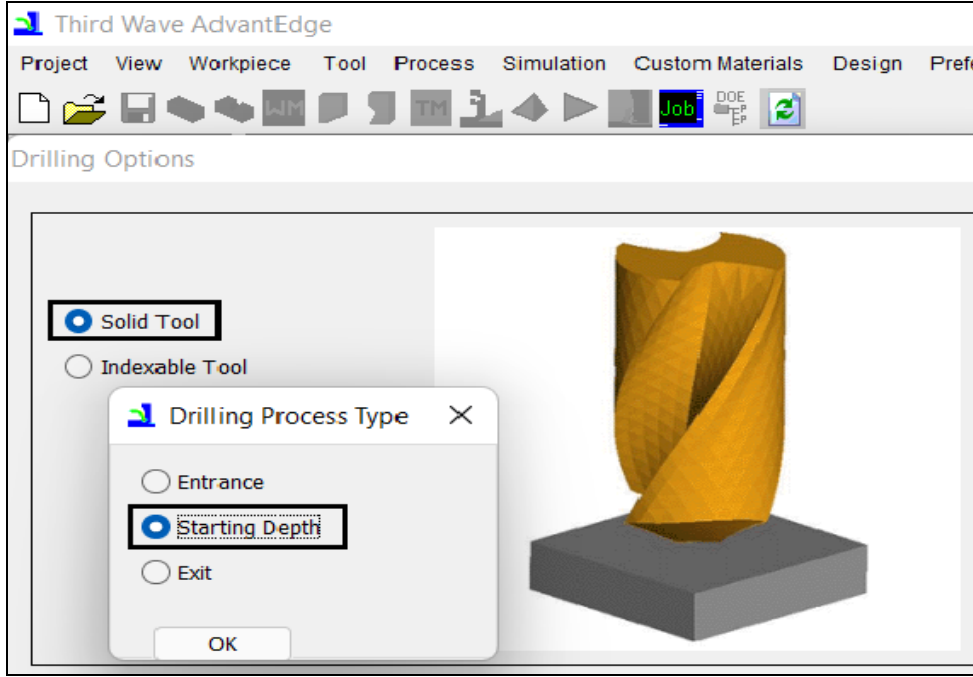
(☒) içindeki değerler seçilmiştir ve proje ismi ve proje tanımlaması yapılmıştır.



Şekil 6.1. Third Wave AdvantEdge programında yeni analiz başlatılması

2. Adım: Delme seçeneklerinin belirlenmesi;

Yapacağımız delik delme analizinde iş parçasının sonuna kadar delik delme işlemi devam edeceği için Şekil 6.2 de verilen delik delme tipi seçeneklerinden yekpare takım (solid tool) ve başlangıç değerleri (starting depth) opsiyonları seçilmiştir.

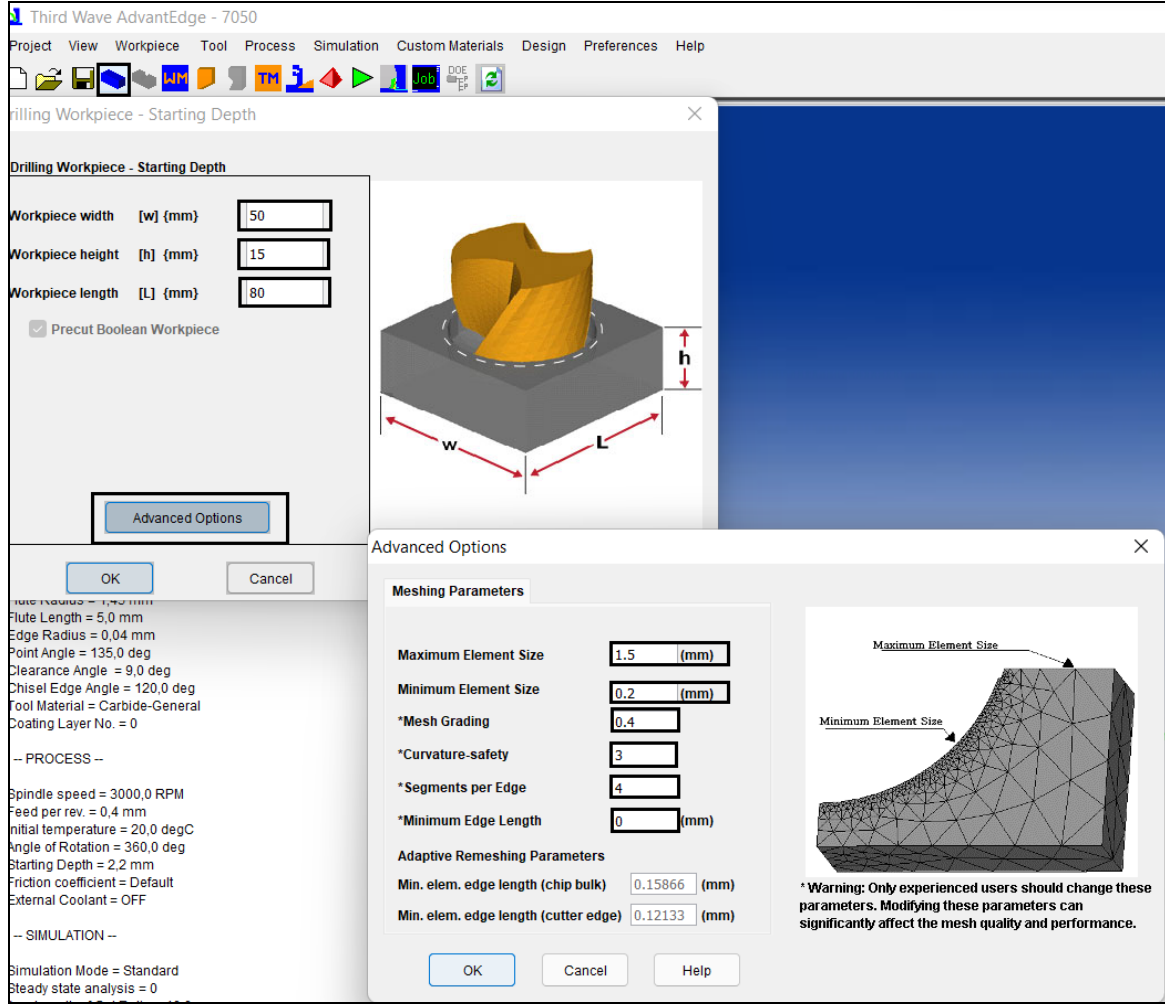


Şekil 6.2. Delme seçeneğinin belirlenmesi

3. Adım: İş parçası boyutları ve mesh değerlerinin girilmesi:

Deneylerde de kullanmış olduğumuz malzeme ebatları (en (W) = 50 mm, boy (L) = 80 mm, kalınlık (h) = 15 mm) Şekil 6.3 de verilen işaretleri kutucuklara girilmiştir ve yine aynı pencereden mesh detaylarını girmek için gelişmiş seçeneklere (Advanced Options) tıklanarak, açılan pencerede işaretlenmiş kutuculara malzeme ebatlarına uygun mesh parametreleri girilmiştir. Uygun mesh parametrelerinin girilmesi sonlu elemanlar yönteminde ağ oluşturma ataması işlemini doğru belirlemek, çözüm süresinin gereğinden uzun sürmesini engellemek ve doğru sonuçlar elde etmek için önem arz eder.

Simülasyonda kullanılacak uygun parametreleri belirlemek için daha küçük eleman boyutlarıyla da deneme yapıp (maksimum eleman boyutu 0,05 mm minimum eleman boyutu 0,02 mm) analizlerin bir tanesinin en az 15 gün sürdüğü görülmüştür. Daha büyük eleman boyutlarıyla yapılan analizlerden kabul edilebilir miktarda (%2 - %3,2) farklılıklar gözlemlenmiştir. Bu sebeple literatürdeki ağ oluşturma değerleri incelenmiş, kullanmış olduğumuz programın (ThirdWave AdvantEdge) kullanıcı kitabında belirtilen referanslar baz alınarak mesh parametrelerine karar verilmiştir. Kullanılan maksimum eleman boyutu 1,5 mm minimum eleman boyutu 0,2 mm olarak seçilmiştir.

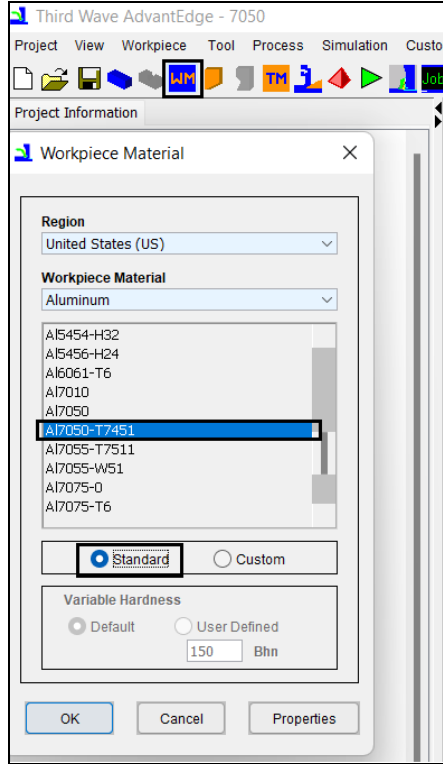


Şekil 6.3. İş parçanın boyutları ve mesh değerlerinin girilmesi

4. Adım: Malzeme kalitesinin seçilmesi;

Ağ oluşturma değerlerinden sonra, deneylerde de kullanmış olduğumuz malzeme kalitesi (Al 7050- T7451) Şekil 6.4 de kutucuktan açılan pencereden standart olarak seçilmiştir.

Al 7050 -T7451 malzemesinin mekanik ve kimyasal özellikleri Third Wave AdvantEdge programının kendi kütüphanesinde kayıtlı olduğu için ilave olarak malzeme tanımlanmasına ihtiyaç duyulmamıştır.

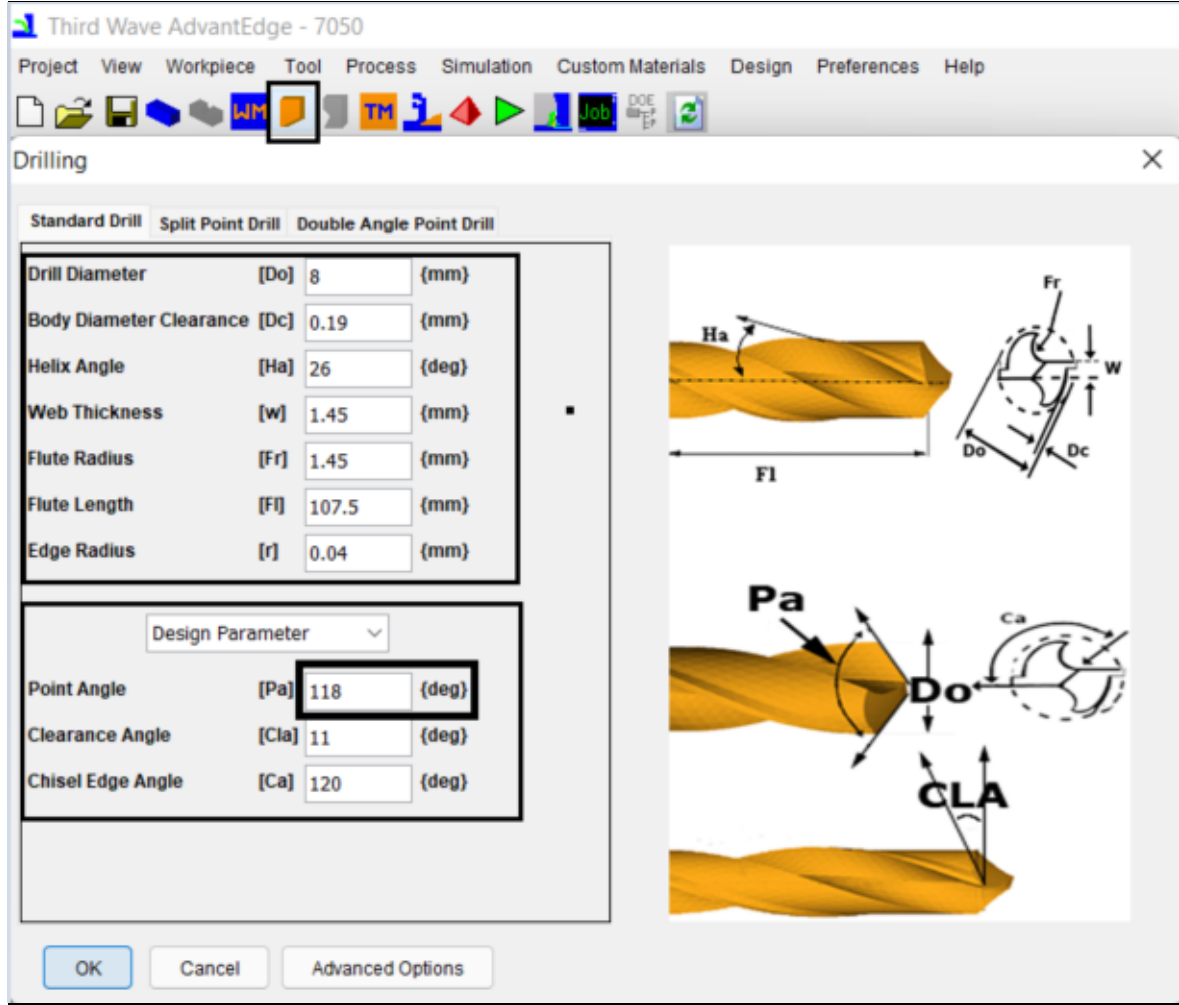


Şekil 6.4.Malzeme kalitesinin seçilmesi

5. Adım: Detaylı matkap ölçülerinin girilmesi;

Kullanılan malzeme kalitesi girildikten sonra Makine Takım Endüstri A.Ş.' den temin edilen matkap ölçülerinin detayları Şekil 6.5 de işaretleri kutucuklara girilmiştir. Değerler EK-2 ' de yer almaktadır.

Bu ara yüzde girilen değerler matkap çapı (Do: drill diameter):8 mm, gövde çapı açıklığı (Dc: body diameter clearance):0,19 mm, helizon açısı (Ha: helix angle): 26°, ağ kalınlığı (w: web thickness):1,45 mm, flüt çapı (Fr: flute radius) :1,45 mm, flüt boyu (Fl: flute length) :107.5 mm, kenar yarıçapı (r: edge radius):0,04 mm olarak sabit delik çapı (Pa:clearance angle) :11 °, keski köşe açısı (Cla: chisel edge angle) :120° olarak sabit alınmıştır. Uç açısı değeri (Pa: point angle):118°-124°-130° olarak seçilecek matkap uç açısına göre değiştirilmiştir.

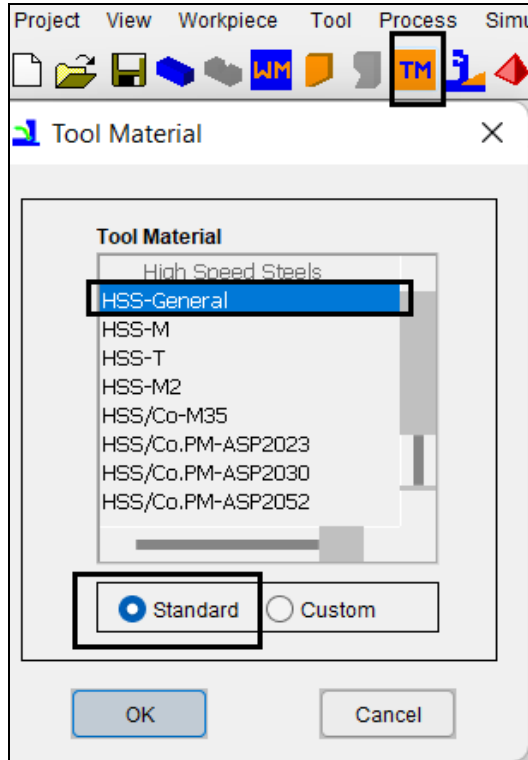


Şekil 6.5. Matkap ölçülerinin girilmesi

6. Adım: Takım malzeme kalitesinin seçilmesi;

Deneylerle de kullanmış olduğumuz genel HSS matkap Şekil 6.6 da açılan pencereden standart olarak seçilir.

HSS matkabın özellikleri Third Wave AdvantEdge programının kendi kütüphanesinde kayıtlı olduğu için ilave olarak matkap tanımlanmasına ihtiyaç duyulmamıştır.



Şekil 6.6. Takım malzeme kalitesinin seçilmesi

7. Adım: Kesme parametrelerinin girilmesi;

Takım tezgahının seçilmesinin ardından deneylerde de referans alınan kesme parametreleri Şekil 6.7 de açılan pencerede işaretleri kutucuklara girilmiştir.

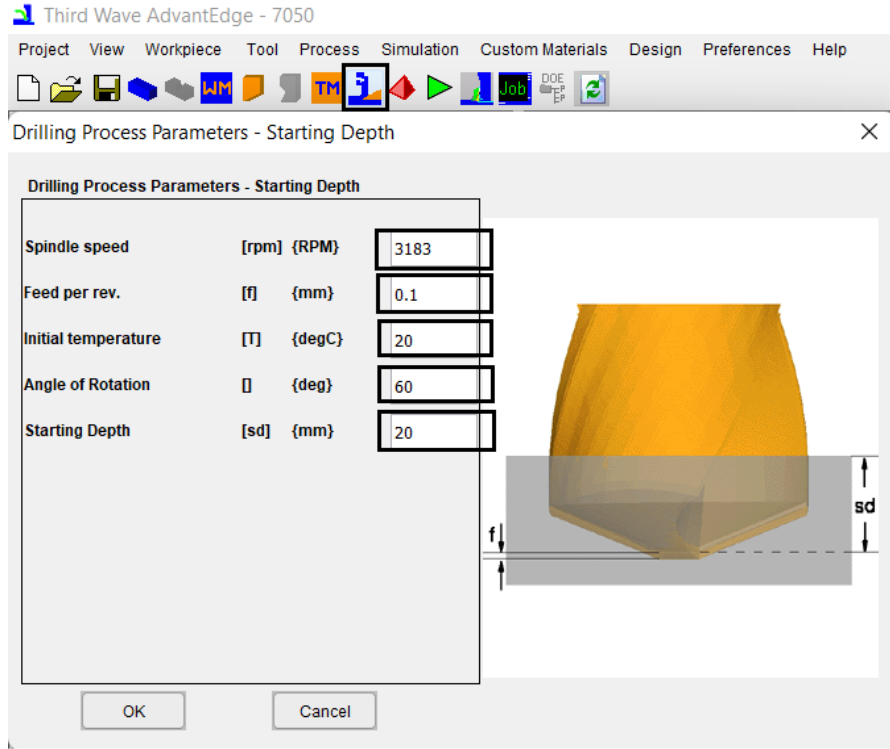
Bu ara yüzde girilen değerler devir (spindle speed): 3183 dev/dak, 3979 dev/dak, 4775 dev/dak olarak 80 m/dak 100 m/dak ve 120 m/dak hız göre değişkenlik göstermiştir. Hızdan elde edilen devir hesabı aşağıda tanımlanmıştır. (Eş. 6.1)

$$V = \frac{\pi \times d \times n}{1000} \quad (6.1)$$

V=kesme hızı (m/dk), d=matkap çapı (mm), n=devir sayısı (dev/dak)

Girilen ilerleme değerleri; 0,1 mm/dev, 0,15 mm/dev ve 0,2 mm/dev olarak analiz parametrelerine göre değişkenlik göstermiştir. Girilen başlangıç sıcaklığı (initial temperature): 20° ve başlangıç derinliği (starting depth) :20 mm olarak sabit alınmıştır. Matkabın 60° döndürülmesi ile yapılan analiz sonuçları ile 1200° döndürülmesi ile yapılan analiz sonuçlarından elde edilen itme kuvvetleri ve kesme momenti değerleri mukayese

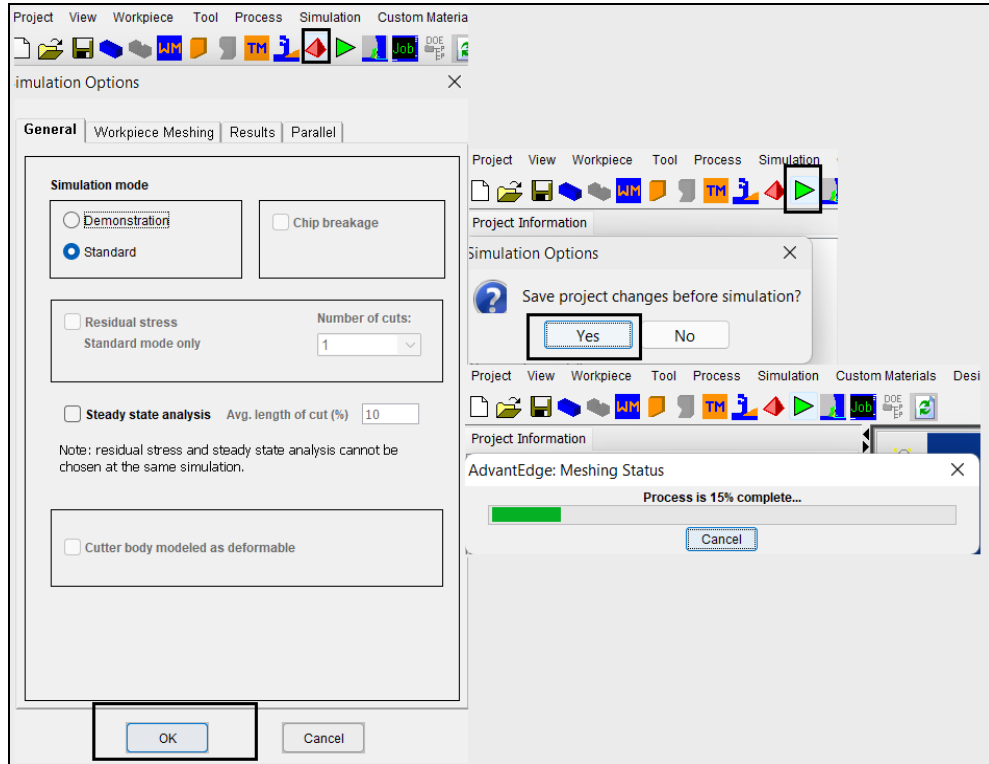
edilmiştir. Matkabin 60° ve 1200° döndürülmesi sonucunda elde edilen verilerde kabul edilebilir oranda (%2-%3,2) farklar meydana gelmiştir. Bu nedenle dönme açısı (angle of rotation) ise 60° olarak seçilmiştir (matkap 60° dönmektedir).



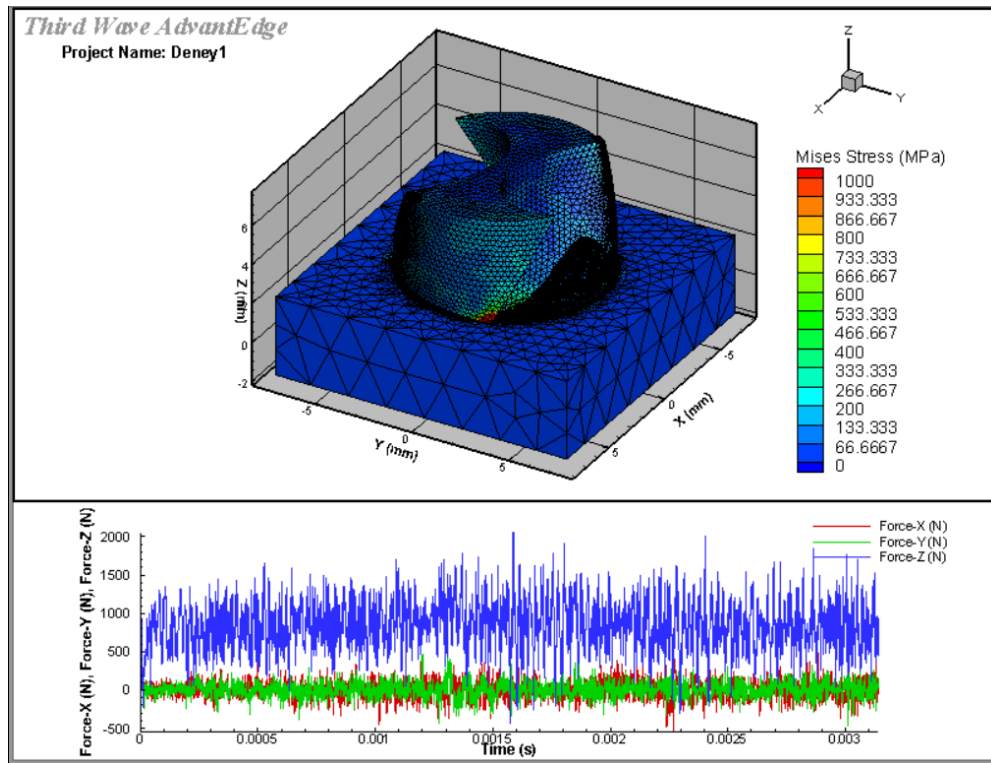
Şekil 6.7. Kesme parametrelerinin girilmesi

8. Adım: Simülasyonun başlatılması;

Simülasyonun başlatılması ve sürdürülmesi Şekil 6.8. deki ekran alıntılarında verilmiştir. Simülasyon işlemi tamamlandıktan sonra Şekil 6.9. daki Tecplot ara yüzü açılır. Simülasyonun çalıştırılması ve sonuçların gösterimi bu ara yüz aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada deney ve analiz sonuçlarının mukayese edilmesi amacıyla delik delme işlemindeki itme kuvvetleri ve kesme momentleri incelenmiştir.



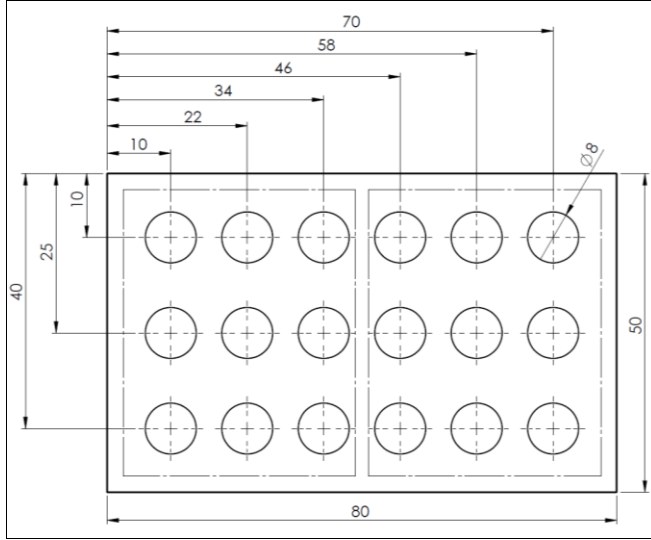
Şekil 6.8. Simülasyonun başlatılması ve sürdürülmesi



Şekil 6.9. Tecplot arayüzü

6.4. Deney Numuneleri

Deneylerde 7050 T7 451 Al alaşım numuneleri kullanılmıştır. Numunenin boyutu (50x80x15 mm) dinamometreye sabitlenen kenetleme kalıbının boyutları dikkate alınarak belirlenmiştir.



Resim 6.1. Deneylerde kullanılan numune

6.5. Deneylerde ve Analizlerde Kullanılan Kesici Takımlar ve Kesme Parametreleri

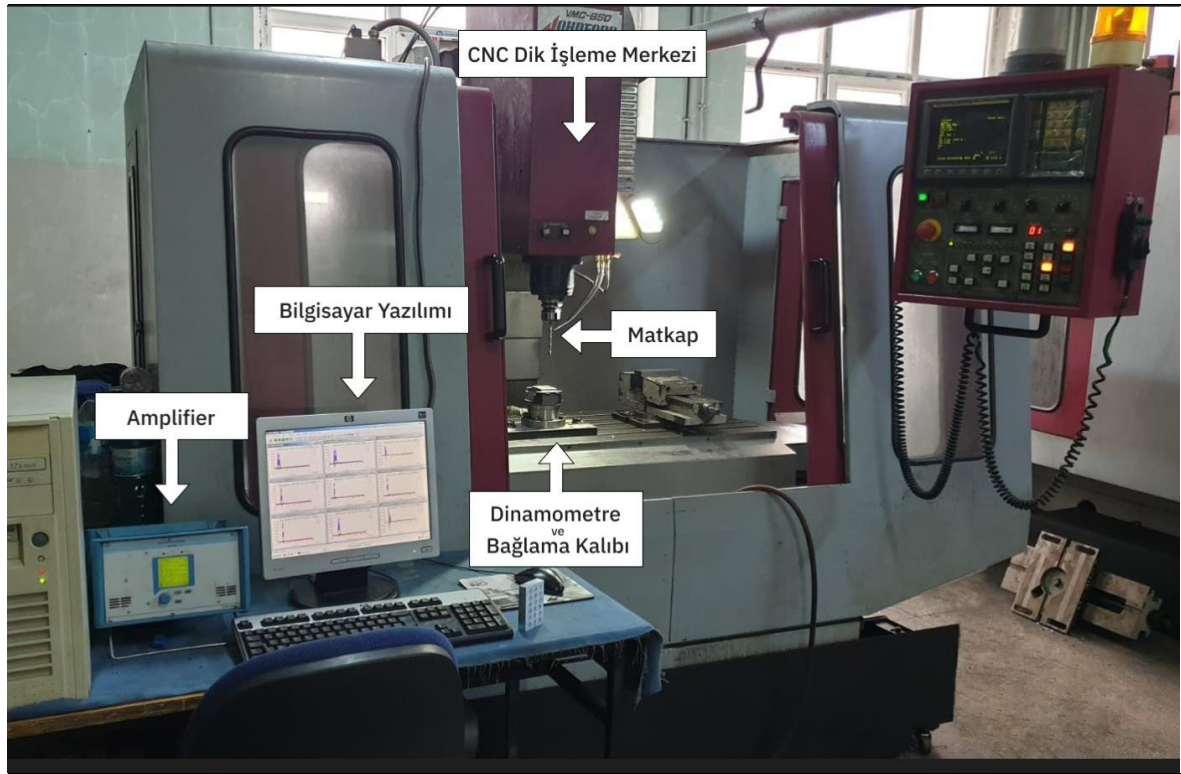
Deneylerde kullanmış olduğumuz 8 mm çapındaki HSS matkap uçları Makine Takım Endüstri A.Ş firmasından temin edilmiş olup, kesici takımlara ait özellikler ve boyutlar Şekil 6.2’ de verilmiştir. Farklı uç açlarına sahip takımlarla mukayese yapabilmek amacıyla 118°, 124°, 130° uç açlarına sahip takımlar kullanılmıştır.

Standart	Matkap Çapı	Matkap Malzeme Cinsi	Uç Açısı	
DIN 338-TS ISO 235	8 mm	HSS	118°	
		HSS	124°	
		HSS	130°	

Şekil 6.10. Kesici takım özellikleri ve boyutları

Deneylerde kesme parametreleri olarak üç farklı kesme hızı (80-100-120 m/dak) ve üç farklı ilerleme miktarı (0,1-0,15-0,2 mm/dev) miktarı seçilmiştir. Parametre seçimleri kesici takım kataloğu ve literatüre göre belirlenmiştir.

Delinebilirlik testlerinde delme işlemi için kuvvet bileşenleri olan itme kuvveti ve kesme torku değerleri dikkate alınmıştır. Gazi Üniversitesi İmalat Mühendisliği Bölümündeki laboratuvarında dikey işleme merkezine bağlı KISTLER 9272A dinamometre ile itme kuvveti ve kesme torku değerleri ölçülmüştür. Bu dinamometreden gelen sinyali veri okuma kartına ve son olarak veri işleme ve gösterim için Windows uyumlu KISTLER Dynoware 2825A0201 yazılımına iletmek için çok kanallı bir amplifikatör sağlanmıştır. Kullanılan deney ekipmanı Şekil 6.10'da gösterilmiştir.



Şekil 6.11. Deneylerde kullanılan deney düzeneği

6.6. İtme Kuvvetlerinin ve Kesme Momentlerinin Ölçülmesi

Kesme kuvvetlerinin ve momentlerinin deneysel olarak belirlenmesi için, KISTLER 9272 tipi dinamometre kullanılmıştır (Şekil 6.11). Bu dinamometre aynı anda üç kesme kuvveti bileşenini (F_x , F_y , F_z) ve momenti (M_z) ölçebilir. Dinamometre tezgâh tablasına bağlanmış ve bağlama aparatı da dinamometreye bağlanmıştır. Kullanılan dinamometre ve teknik

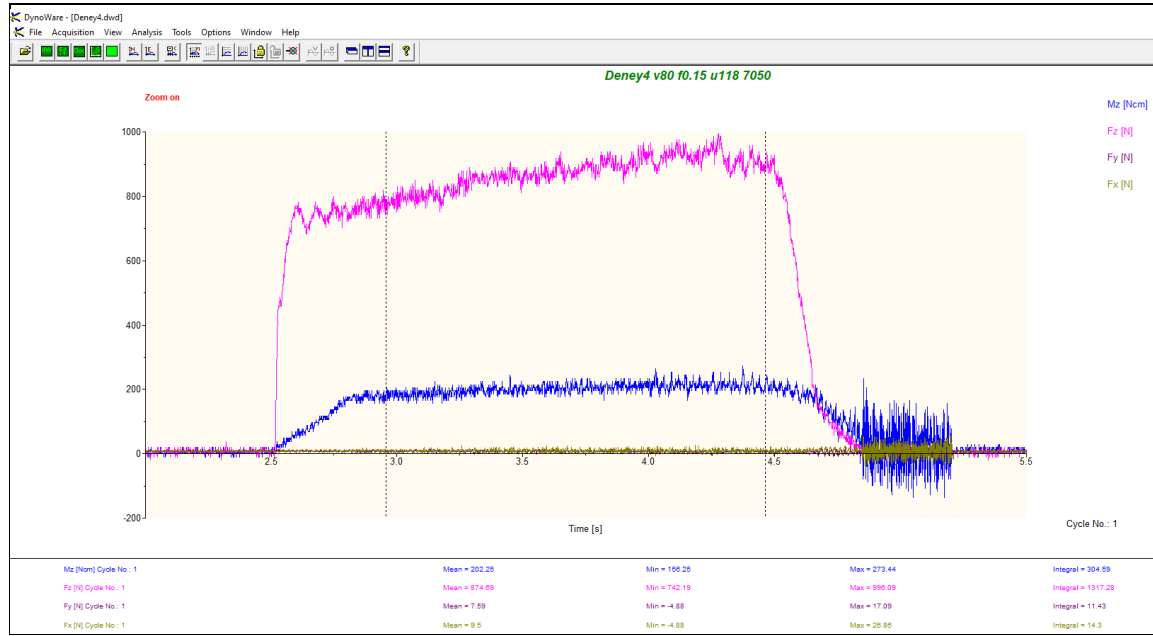
özellikleri Çizelge 6.4 de verilmiştir. Ölçülen değerler DynoWare programı kullanılarak sayısal değerlere dönüştürülmüştür. DynoWare programında elde edilen itme kuvveti ve moment ölçümlerini gösteren bir diyagram Şekil 6.11'de verilmiştir. Bu grafiklerin sabit bir eğilim gösterdiği bölgelerden alınan ortalamalar, kuvvet ve momentleri değerlendirmek için oluşturulan tablo ve şekillerde bölüm 7.1 ve bölüm 7.2'de verilmiştir.



Resim 6.2. KISTLER 9272 tipi dinamometre

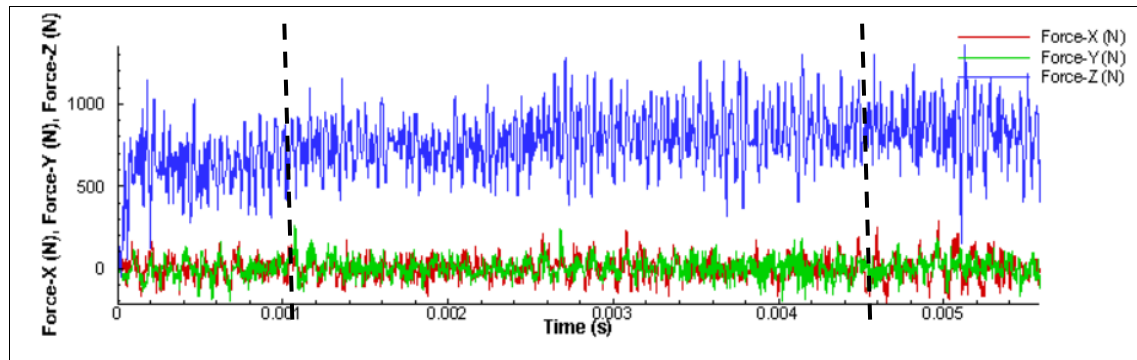
Çizelge 6.4. Dinamometreye ait teknik özellikler

Ölçme Aralığı	F_x, F_y	-5....5 kN
	F_z	-5....5 kN
	M_z	-5....5 kN
Hassasiyet	F_x, F_y	-7.8 pC/N
Hassasiyet	F_z	-3.5 pC/N
Hassasiyet	M_z	-160 pC/Nm
Doğrusallık		$\% \leq \pm 1$ FSO
Histezisx		$\% \leq 1$ FSO
Kapasitans	F, F_y, F_z	185 pF
Kapasitans	M_z	420 pF



Şekil 6.12. DynoWare programındaki grafik görüntüsü

Kesme kuvvetlerinin ve kesme momentinin analiz sonuçları AdvantEdge programından da çekilmiştir.



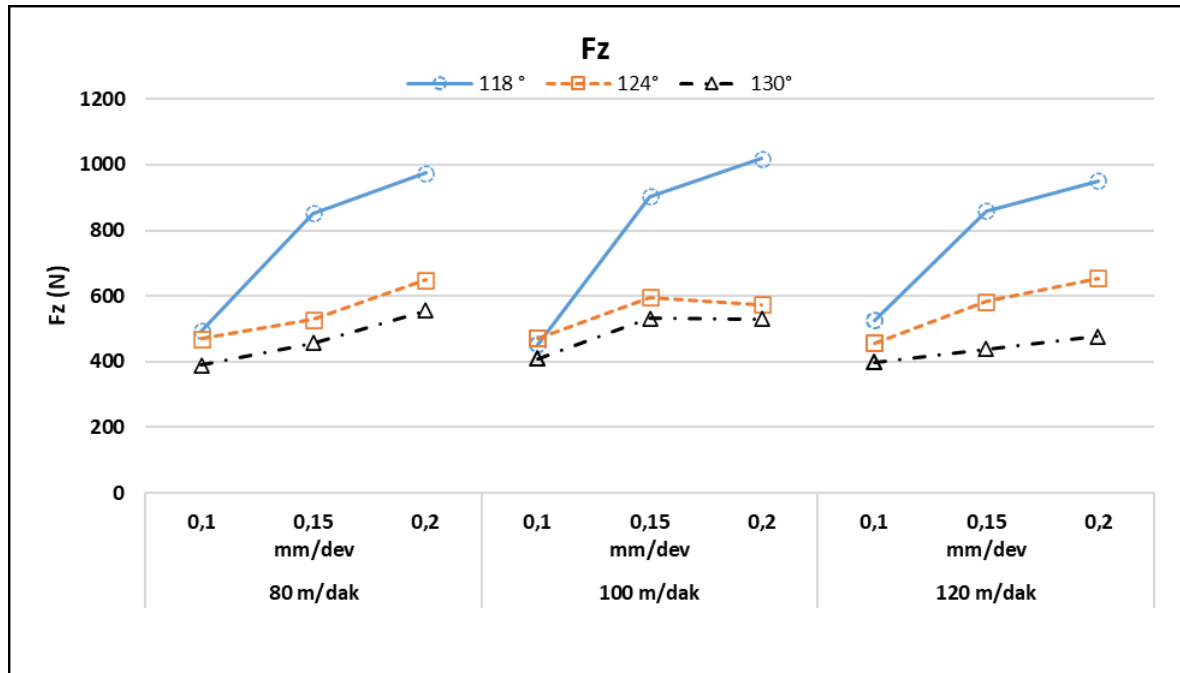
Şekil 6.13. AdvantEdge programındaki grafik görüntüsü

DynoWare programından alınan sonuçlar FEM sonuçları ile kıyaslanabilmesi için AdvantEdge programından elde edilmiştir. AdvantEdge programından da kesme kuvvetleri ve kesme momenti sonuçları da ortalama değer kıstasına göre belirlenmiştir.

7. DENEY VE ANALİZ SONUÇLARI

7.1. İtme (Fz) Kuvvetlerinin Uç Açısına Göre Değerlendirilmesi

Her bir deneyde delinen her delik için kesme kuvveti ve moment değerleri ayrı ayrı ölçülmüştür. Ancak dinamometre ile ölçümden elde edilen verilerden, sadece kesme kuvveti ve moment değerleri dikkate alınarak değerlendirme yapılmıştır. Kaplamasız HSS matkaplarla yapılan delme işlemlerinde elde edilen itme kuvveti (Fz) ve kesme momenti (Mz) sonuçları değerlendirilmiştir. Delme işlemlerinde kesme kuvvetleri özellikle Fz itme kuvveti delme sürecinin gerçekleşmesinde oluşan temel kuvvet durumundadır. Fz kuvvetinin değişimleri, oluşan delik kalitesi, matkap aşınmaları ve malzemede meydana gelen delaminasyon gibi birçok hasarın değerlendirilmesi için temel bileşendir [30]. Deney sonuçlarından elde edilen verilerin uç açısına göre bağlı itme kuvvetlerinin (Fz) dağılımları Şekil 7.1’ de verilmiştir.

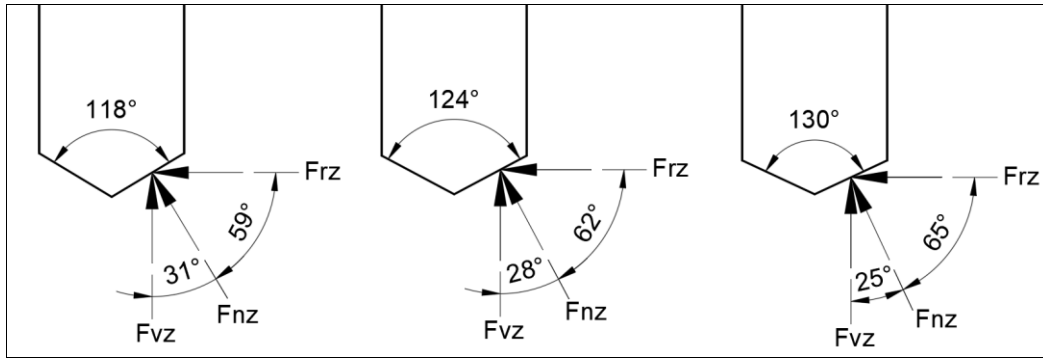


Şekil 7.1. Uç açısına bağlı itme kuvvetinin (Fz) değişimleri

Kesme hızının 80 m/dak olarak alındığı deneyler incelendiğinde en düşük itme kuvveti 130° lik matkap da gerçekleşmiştir. En yüksek itme kuvveti ise 0,15 ve 0,2 ilerleme miktarında 118° lik uç açısına sahip matkapta olduğu görülmüştür. Kesme hızının 100 m/dak olarak alındığı deneyler incelendiğinde en düşük itme kuvveti 130° lik uç açısına sahip matkapta

gerçekleşmiştir. En yüksek itme kuvveti ise 0,15 ve 0,2 ilerleme miktarında 118° lik matkapta görülmüştür. Fakat 0,1 ilerleme miktarında 124° lik matkabin 118° lik matkaba göre daha yüksek kesme kuvvetine sahip olduğu belirlenmiştir. Kesme hızının 120 m/dak olarak alındığı deneyler incelendiğinde ise en düşük itme kuvveti 130° lik uç açısına sahip matkapta gerçekleşmiştir. En yüksek kesme kuvveti ise 0,15 ve 0,2 ilerleme miktarında 118° lik uç açısına sahip matkapta olduğu görülmüştür.

Matkap üzerine gelen kuvvetlerin uç açısına bağlı olarak dağılımları değişiklik göstermektedir. Resim 7.1' den de görüldüğü üzere uç açısı küçüldükçe Fvz üzerine gelen kuvvetlerin artış gösterdiği anlaşılmaktadır. 118° lik matkapta talaş temas yüzeyinin fazla oluşu kuvvetin daha fazla yüzeye dağılımını sağlarken, düşük açılarda batma eğilimin fazla olmasıyla 118° lik matkapta Fz kuvveti daha fazla oluşmaktadır. Bu nedenle 118° lik matkaplarda itme kuvveti diğer uç açısına sahip matkaplara göre daha yüksek çıkmaktadır.

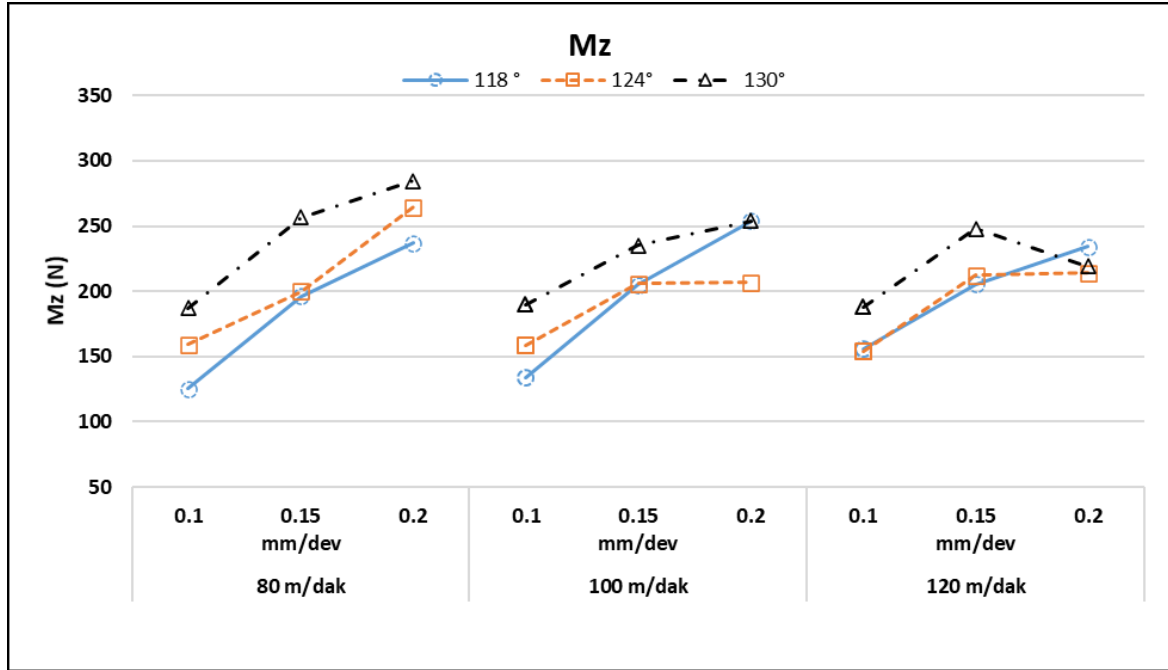


Resim 7.1. Matkap uçlarına göre kuvvet dağılımları

Şekil 7.1. genel olarak incelendiğinde bütün kesme parametrelerinde 118° lik matkabin diğer uç açısına sahip matkaplardan daha yüksek kesme kuvvetlerine sahip olduğu, ilerlemeye bağlı olarak bütün kesme hızlarında kesme kuvvetlerinin arttığı görülmektedir. Bu duruma artan ilerleme ile artan talaş miktarının sebep olduğu düşünülmektedir [45,47]. Ancak diğer talaşlı imalat işlemleri ile delme işlemi kıyaslandığında talaş tahliyesine bağlı olarak kuvvet eğilimi farklılık gösterebilir [48].

7.2. Kesme Momentlerinin (M_z) Uç Açısına Göre Değerlendirilmesi

Deney sonuçlarından elde edilen verilerin uç açısına göre bağlı kesme momentlerinin (M_z) dağılımları Şekil 7.2' de verilmiştir.



Şekil 7.2. Uç açısına bağlı kesme momentlerinin (M_z) değişimleri

Kesme hızının 80 m/dak olarak alındığı deneyler incelendiğinde en düşük kesme momenti değeri 0,1 ilerleme ile 118° lik uç açısına sahip matkap da gerçekleşmiştir. En yüksek kesme momenti ise 0,15 ve 0,2 ilerleme miktarında 124° lik ve 130° lik matkaplarda çıkmıştır. Kesme hızının 100 m/dak olarak alındığı deneyler incelendiğinde en düşük kesme momenti değeri 0,1 ilerleme ile 118° lik uç açısına sahip matkap da gerçekleşmiştir. En yüksek kesme momenti ise 0,15 ve 0,2 ilerleme miktarında 124° lik ve 130° lik matkaplarda çıkmıştır. Ancak 0,2 ilerleme miktarında 124° lik matkabın 118° lik ve 130° luk matkaba göre daha yüksek kesme momenti değerine sahip olduğu görülmüştür. Kesme hızının 120 m/dak olarak alındığı deneyler incelendiğinde en düşük kesme momenti değeri 0,1 ilerleme ile 118° lik uç açısına sahip matkap da gerçekleşmiştir. En yüksek kesme momenti ise 0,15 ve 0,2 ilerleme miktarında 124° lik ve 130° lik matkaplarda çıkmıştır. Ancak 0,2 ilerleme miktarında 118° lik matkabın 124° lik ve 130° luk matkaba göre daha yüksek kesme momenti değerine sahip olduğu görülmüştür. Bu durumun sebebi 130° ve 124° lik matkabın 118° lik matkaba göre kesme eğilimin fazla olması ile açıklanabilir. Resim 7.1’ de görüldüğü üzere Frz kuvvetinin uç açısına bağlı olarak kuvvetlerin azaldığı anlaşılmaktadır. Bu nedenle 118° lik matkaplarda kesme momentinin daha düşük olduğu görülmektedir.

Genel olarak kesme momenti değerlendirildiğinde uç açısının ve ilerleme değerinin artışı ile kesme momenti değerlerinin artışı tespit edilmiştir. Kesme hızı değişiminin 124° lik ve 130° lik uç açısına sahip matkaplar da kesme momenti değerlerini düşürdüğü, 118° lik uç açısına sahip matkap da ise arttırdığı görülmüştür [44-49,52].

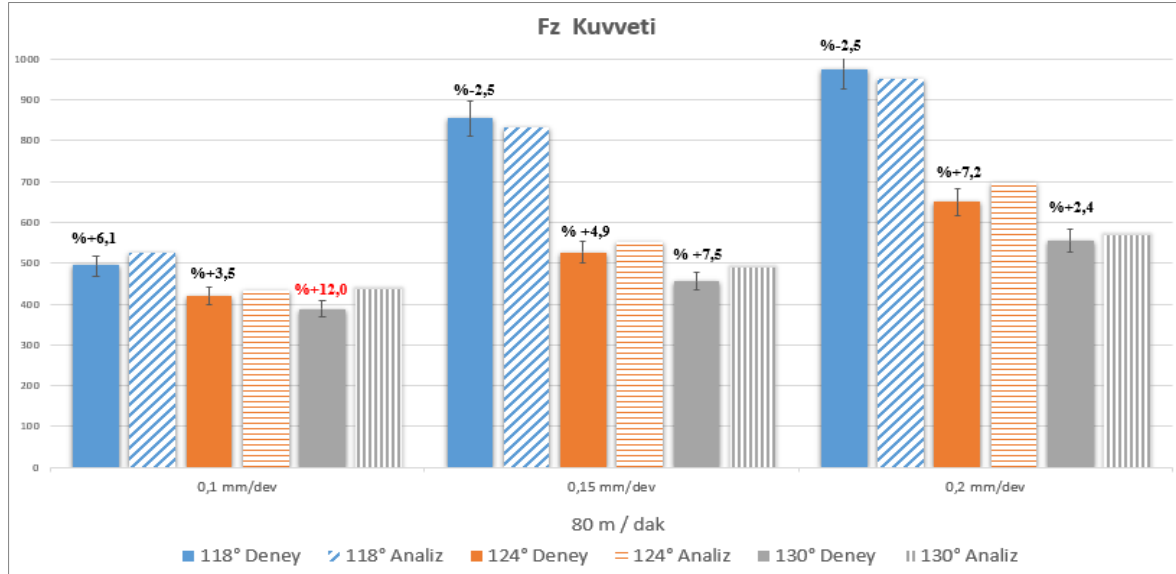
7.3. İtme (Fz) Kuvvetlerinin Deney ve Analiz Sonuçlarına Göre Değerlendirilmesi

Numuneler üzerinde yapılan delme deneyleri sırasında dinamometre yardımıyla ölçülen ve Bölüm 6.6.'da detayları verilen delme analizlerinden elde edilen itme kuvveti Fz sonuçlarının kesme hızı ile değişimi Çizelge 7.1, Çizelge 7.2, Çizelge 7.3' de ve Şekil 7.3, Şekil 7.4 ve Şekil 7.5' de gösterilmiştir.

80 m/dak kesme hızına göre deney ve analiz sonuçlarından elde edilen itme (Fz) kuvvetleri Çizelge 7.1 ve Şekil 7.3 'de verilmiştir.

Çizelge 7.1. 80 m/dak kesme hızına göre deney ve analiz sonuçlarından elde edilen itme (Fz) kuvvetleri

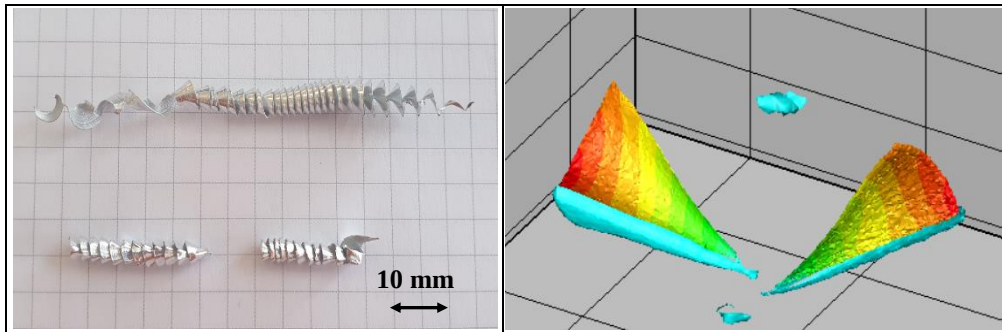
Uç Açısı ve İlerleme Değerleri	118° Deney	118° Analiz	Sapma	124° Deney	124° Analiz	Sapma	130° Deney	130° Analiz	Sapma
0,1 mm/dev	494,33	524,47	%+6,1	419,51	434,08	%+3,5	388,55	435,04	%+12
0,15 mm/dev	854,66	833,36	%-2,5	527,19	552,89	%+4,9	456,17	490,24	%+7,5
0,2 mm/dev	975,95	951,39	%-2,5	649,97	696,83	%+7,2	555,4	568,69	%+2,4



Şekil 7.3.80 m/dak Kesme hızına göre itme kuvvetlerinin değişimleri

Kesme hızının 80 m/dak olarak alındığı veriler incelendiğinde en düşük itme kuvveti (388,55 N) 0,1 mm/dev ilerleme ile 130° uç açısına sahip matkapta gerçekleşmiştir. En yüksek itme kuvvetinin (975,95 N) ise 0,15 mm/dev ve 0,2 mm/dev ilerleme miktarında 118° uç açısına sahip matkapta olduğu görülmüştür.

Şekil 7.3’de görüldüğü gibi, analizden edilen sapmayı belirtmek için deneysel sonuçlar referans alınarak ortalama $\pm\%10$ ’luk sapma sınırları içinde gösterilmiştir. 130° uçlu matkapta 80 m/dak hızla 0,1 mm/dev ilerleme ile + %12 sapma meydana gelmiş olup referans alınan $\pm\%10$ ’luk sapma sınırları dışında kalmıştır.



Resim 7.2. Talaş görselleri (130°- 0,1 mm/dev-80 m/dak)

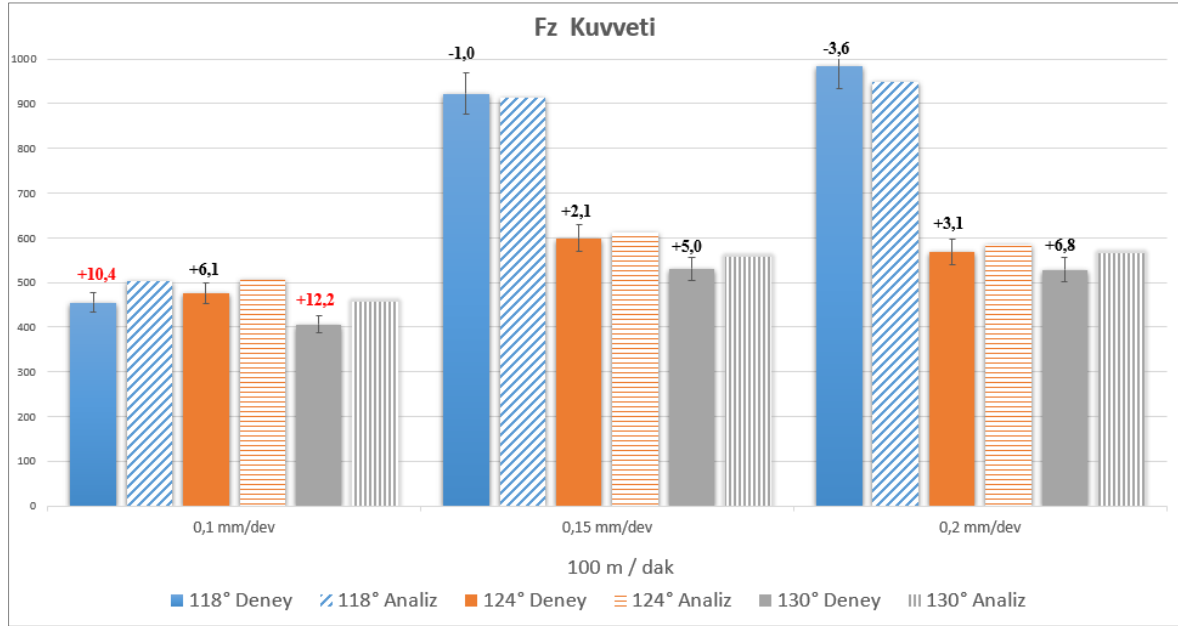
Resim 7.2’ de verilen resimden de yorumlanacağı gibi analizlerden elde edilen kuvvetin deneysel çalışma ile karşılaştırıldığında oluşan farkın sebebi kesme işleminde talaş

tahliyesinin ideal şekilde oluşması ve kuvvetlerin buna bağlı olarak analizde daha düşük oluşması olarak yorumlanabilir [45,50-52].

100 m/dak kesme hızına göre deney ve analiz sonuçlarından elde edilen itme (F_z) kuvvetleri Çizelge 7.2’de verilmiştir.

Çizelge 7.2. 100 m/dak kesme hızına göre deney ve analiz sonuçlarından elde edilen itme (F_z) kuvvetleri

Uç Açısı ve İlerleme Değerleri	118° Deney	118° Analiz	Sapma	124° Deney	124° Analiz	Sapma	130° Deney	130° Analiz	Sapma
0,1 mm/dev	455,26	502,61	+10,4	475,59	504,69	+6,1	406,39	456,08	+12,2
0,15 mm/dev	922,09	912,49	-1,0	598,49	611,39	+2,1	530,67	557,38	+5,0
0,2 mm/dev	984,03	948,11	-3,6	567,71	585,35	+3,1	528,52	564,52	+6,8

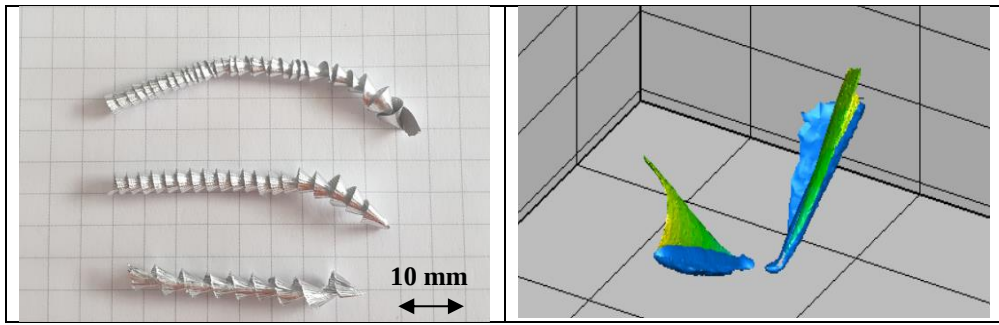


Şekil 7.4. 100 m/dak Kesme hızına göre itme kuvvetlerinin değişimleri

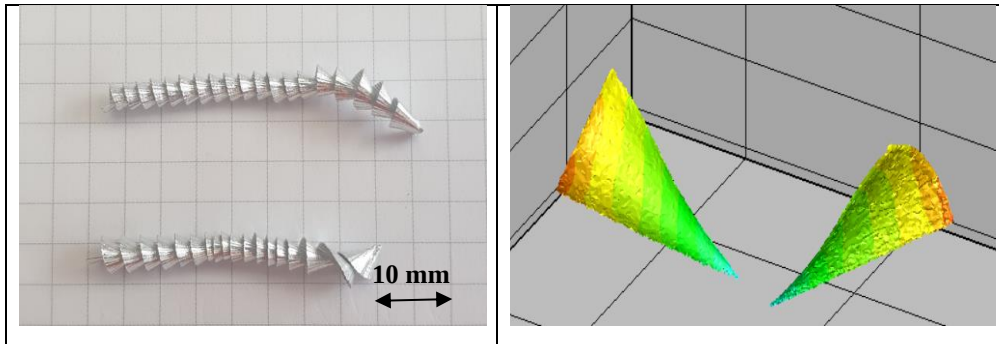
Kesme hızının 100 m/dak olarak alındığı veriler incelendiğinde en düşük itme kuvveti (406,39 N) 0,1 mm/dev ilerleme ile 130° uç açısına sahip matkapta gerçekleşmiştir. En yüksek itme kuvveti ise (984,03 N) 0,2 mm/dev ilerleme miktarında 118° uç açısına sahip matkapta görülmüştür. Genel olarak yapılan deney sonuçlarında 118° sahip matkaplarda daha yüksek itme kuvveti ölçülmüştür. Fakat 0,1 mm/dev ilerleme miktarında 124° uç

açısına sahip matkabın 118° uç açısına sahip matkaba göre daha yüksek itme kuvvetine (475,59 N) sahip olduğu belirlenmiştir.

Şekil 7.4’de görüldüğü gibi, analizden edilen sapmayı belirtmek için deneysel sonuçlar referans alınarak ortalama $\pm\%10$ ’luk sapma sınırları içinde gösterilmiştir. 118° uçlu matkapta 100 m/dak hızla 0,1 mm/dev ilerleme ile + %10,4 sapma ve 130° uçlu matkapta 100 m/dak hızla 0,1 mm/dev ilerleme ile + %12,22 sapma meydana gelmiş olup referans alınan $\pm\%10$ ’luk sapma sınırları dışında kalmıştır.



Resim 7.3. Talaş görseli (118°-0,1 mm/dev-100 m/dak)



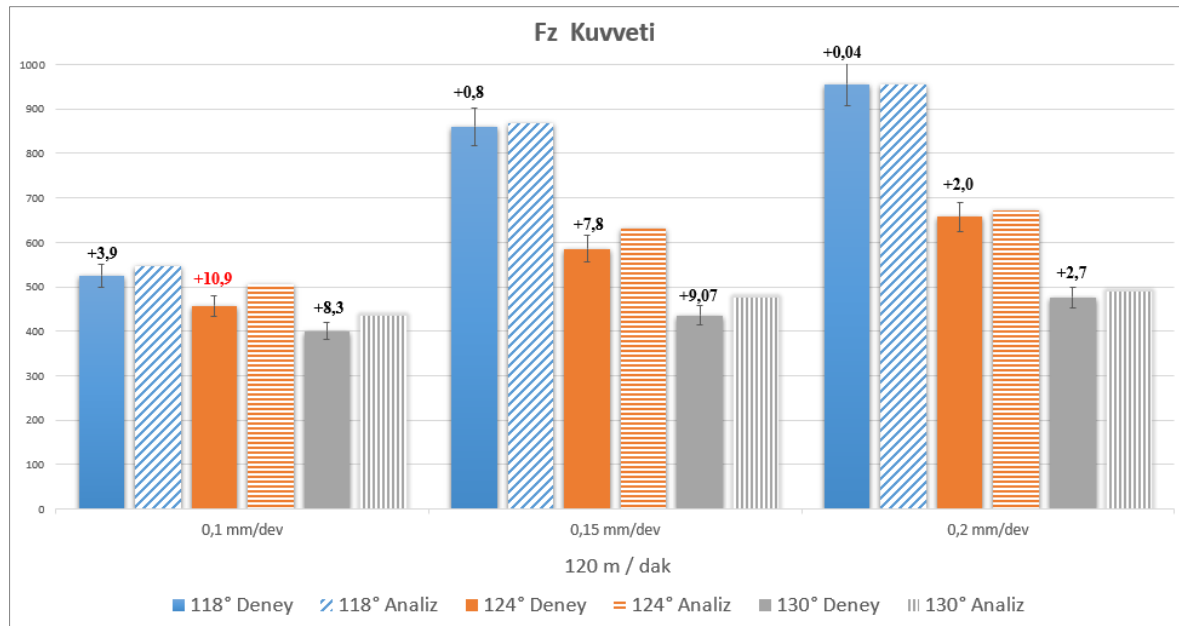
Resim 7.4. Talaş görseli (130°-0,1 mm/dev-100 m/dak)

Resim 7.3 ve Resim 7.4’ de verilen resimlerden de yorumlanacağı gibi analizlerden elde edilen kuvvetin deneysel çalışma ile karşılaştırıldığında oluşan farkın sebebi kesme işleminde talaş tahliyesinin ideal şekilde oluşması ve kuvvetlerin buna bağlı olarak analizde daha düşük oluşması olarak yorumlanabilir [45,50-52].

120 m/dak kesme hızına göre deney ve analiz sonuçlarından elde edilen itme (Fz) kuvvetleri Çizelge 7.3’ de verilmiştir.

Çizelge 7.3. 120 m/dak kesme hızına göre deney ve analiz sonuçlarından elde edilen itme (Fz) kuvvetleri

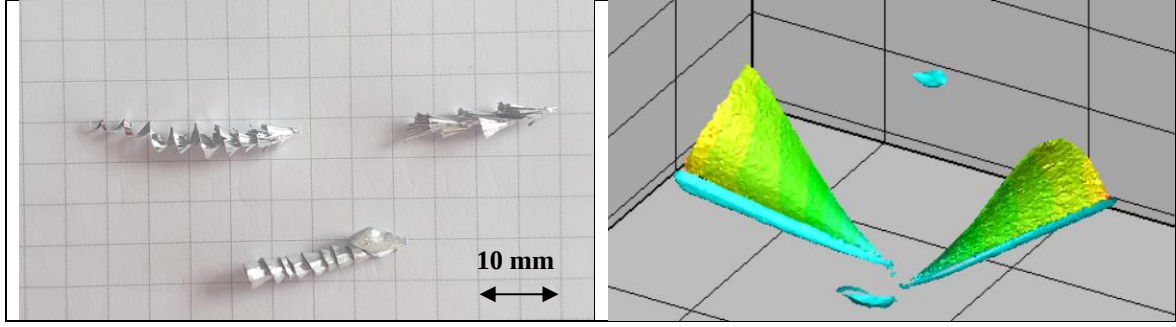
Uç Açısı ve İlerleme Değerleri	118° Deney	118° Analiz	Sapma	124° Deney	124° Analiz	Sapma	130° Deney	130° Analiz	Sapma
0,1 mm/dev	525,36	545,89	+3,9	456,50	506,29	+10,9	400,29	433,60	+8,3
0,15 mm/dev	860,09	867,01	+0,8	585,61	631,61	+7,8	435,35	474,86	+9,7
0,2 mm/dev	955,13	955,52	+0,04	657,54	671,23	+2,0	475,91	488,80	+2,7



Şekil 7.5. 120 m/dak Kesme hızına göre itme kuvvetlerinin değişimleri

Kesme hızının 120 m/dak olarak alındığı veriler incelendiğinde ise en düşük itme kuvveti (400,29 N) 130° uç açısına sahip matkapta gerçekleşmiştir. En yüksek itme kuvveti (955,13 N) ise 0,2 mm/dev ilerleme miktarında 118° uç açısına sahip matkapta olduğu görülmüştür.

Şekil 7.5' de görüldüğü gibi, analizden edilen sapmayı belirtmek için deneysel sonuçlar referans alınarak ortalama $\pm\%10$ 'luk sapma sınırları içinde gösterilmiştir. 118° uçlu matkapta 120 m/dak hızla 0,1 mm/dev ilerleme ile + %10,9 sapma meydana gelmiş olup referans alınan $\pm\%10$ 'luk sapma sınırları dışında kalmıştır.



Resim 7.5. Talaş görseli (124° - 120 m/dak – 0,1 mm/dev)

Resim 7.5 'de verilen resimden de yorumlanacağı gibi analizlerden elde edilen kuvvetin deneysel çalışma ile karşılaştırıldığında oluşan farkın sebebi kesme işleminde kesme hızının artışı olarak yorumlanabilir. 120 m/dak kesme hızında kesme bölgesindeki sıcaklık artışı ile malzeme deformasyonun kolaylaşması ile daha rahat bir kesme işlemi gerçekleştirmektedir. Bu nedenle gerçek deneylerde kesme kuvvetinin analiz sonuçlarına göre daha düşük sonuçlar elde edilmesi görülebilir [52].

Şekil 7.3 Şekil 7.4 ve Şekil 7.5 genel olarak incelenecek olursa bütün kesme hızlarında ilerleme oranının artışı ile itme kuvvetlerinde artış olduğu görülmüştür. Bu durum ilerleme miktarı ile talaş hacminin artması ve kesme kuvvetinin de buna bağlı olarak artışıyla açıklanabilir [13, 29].

Şekiller genel olarak incelendiğinde bütün kesme parametrelerinde 118° uç açısına sahip matkabın diğer uç açısına sahip matkaplardan daha yüksek itme kuvvetlerine sahip olduğu, ilerlemeye bağlı olarak bütün kesme hızlarında itme kuvvetlerinin arttığı görülmektedir. Bunun sebebi ise 118° matkapta batma eğiliminin 124° ve 130° uç açısında bağlı matkaplara göre daha fazla olması olarak açıklanabilir. Analiz sonuçları ile deney sonuçlarının karşılaştırılmasında referans alınan $\pm\%10$ 'luk sapma sınırları dışına genel olarak çıkmadığı ve uç açısı ve kesme parametrelerine bağlı olarak FEM sonuçlarının kullanılabileceği görülmüştür.

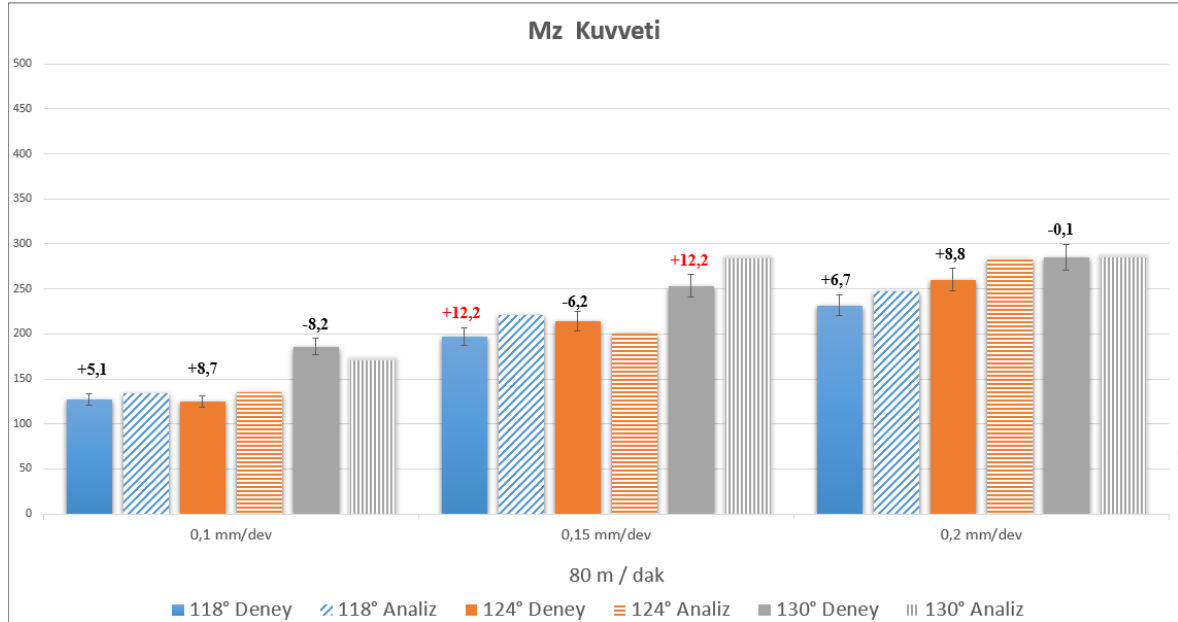
7.4. Kesme Momentlerinin (M_z) Deney ve Analiz Sonuçlarına Göre Değerlendirilmesi

Numuneler üzerinde yapılan delme deneyleri sırasında dinamometre yardımıyla ölçülen ve Bölüm 6.6. da detayları verilen delme analizlerinden elde edilen moment kuvvetleri (M_z) sonuçlarının kesme hızı ile değişimi Çizelge 7.4, Çizelge 7.5 ve Çizelge 7.6’de ve Şekil 7.6, Şekil 7.7 ve Şekil 7.8’ de gösterilmiştir.

80 m/dak kesme hızına göre deney ve analiz sonuçlarından elde edilen moment (M_z) kuvvetleri Çizelge 7.4’ de verilmiştir.

Çizelge 7.4. 80 m/dak kesme hızına göre deney ve analiz sonuçlarından elde edilen moment (M_z) kuvvetleri

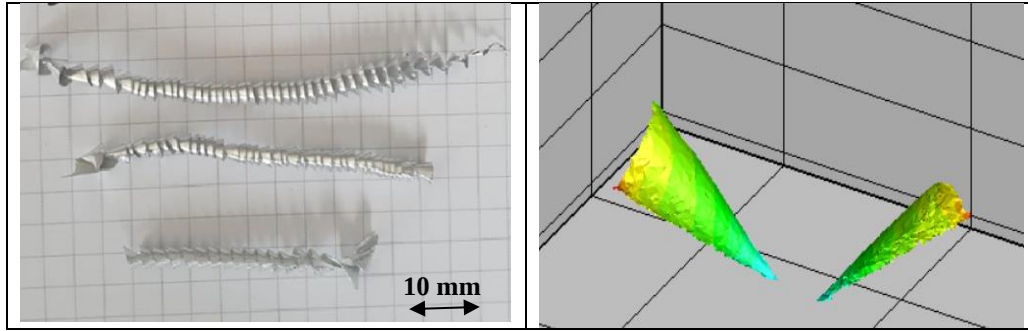
Uç Açısı ve İlerleme Değerleri	118° Deney	118° Analiz	Sapma	124° Deney	124° Analiz	Sapma	130° Deney	130° Analiz	Sapma
0,1 mm/dev	127,09	133,59	+5,1	124,66	135,62	+8,7	185,84	170,45	-8,2
0,15 mm/dev	197,40	221,53	+12,2	213,91	200,54	-6,2	253,35	284,35	+12,2
0,2 mm/dev	231,89	247,59	+6,7	260,47	283,48	+8,8	285,51	285,09	-0,1



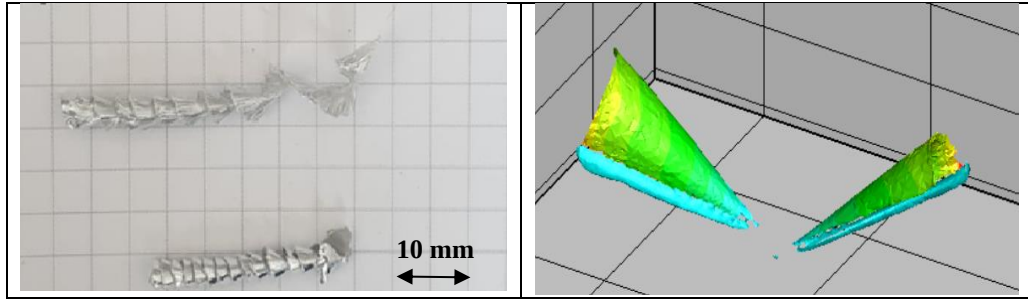
Şekil 7.6. 80 m/dak Kesme hızına göre kesme momentlerinin değişimleri

Kesme hızının 80 m/dak olarak alındığı deneyler incelendiğinde en düşük moment değeri (127,09 Ncm) 0,1 mm/dev ilerleme ile 118° uç açısına sahip matkap da gerçekleşmiştir. En yüksek moment ise (285,51 Ncm) 0,2 mm/dev ilerleme miktarında 130° uç açısına sahip matkapta çıkmıştır.

Şekil 7.6' de görüldüğü gibi, analizden edilen sapmayı belirtmek için deneysel sonuçlar referans alınarak ortalama $\pm\%10$ 'luk sapma sınırları içinde gösterilmiştir. 118° uçlu matkapta 80 m/dak hızla 0,1 mm/dev ilerleme ile + %12,2 sapma ve 130° uçlu matkapta 80 m/dak hızla 0,1 mm/dev ilerleme ile + %12,3 sapma meydana gelmiş olup referans alınan $\pm\%10$ 'luk sapma sınırları dışında kalmıştır.



Resim 7.6. Talaş görseli (118°-0,15 mm/dev-80 m/dak)



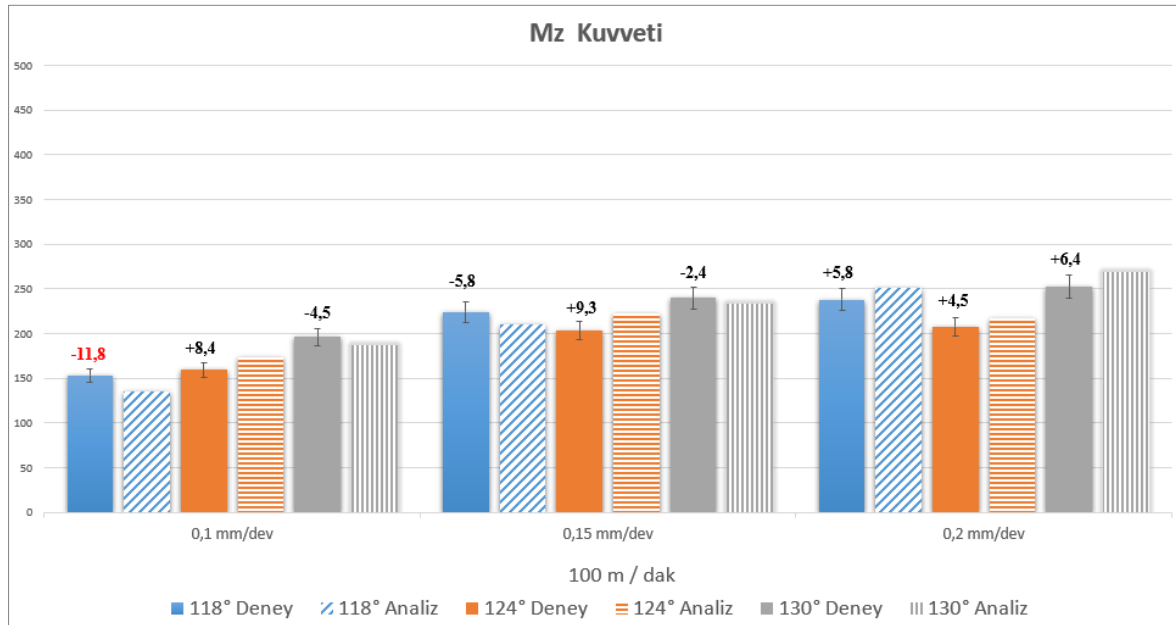
Resim 7.7. Talaş görseli (130°- 0,15 mm/dev-80 m/dak)

Resim 7.6 ve Resim 7.7'de verilen resimlerden de yorumlanacağı gibi analizlerden elde edilen kuvvetin deneysel çalışma ile karşılaştırıldığında oluşan farkın sebebi kesme işleminde talaş tahliyesinin ideal şekilde oluşması ve kuvvetlerin buna bağlı olarak analizde daha düşük oluşması olarak yorumlanabilir [45,50-52].

100 m/dak kesme hızına göre deney ve analiz sonuçlarından elde edilen moment (Mz) kuvvetleri Çizelge 7.'de verilmiştir.

Çizelge 7.5. 100 m/dak kesme hızına göre deney ve analiz sonuçlarından elde edilen moment (Mz) kuvvetleri

Uç Açısı ve İlerleme Değerleri	118° Deney	118° Analiz	Sapma	124° Deney	124° Analiz	Sapma	130° Deney	130° Analiz	Sapma
0,1 mm/dev	153,39	135,25	-11,8	159,28	172,76	+8,4	196,29	187,33	-4,5
0,15 mm/dev	224,05	210,89	-5,8	203,41	222,33	+9,3	239,64	233,88	-2,4
0,2 mm/dev	237,94	251,79	+5,8	207,93	217,47	+4,5	252,27	268,60	+6,4

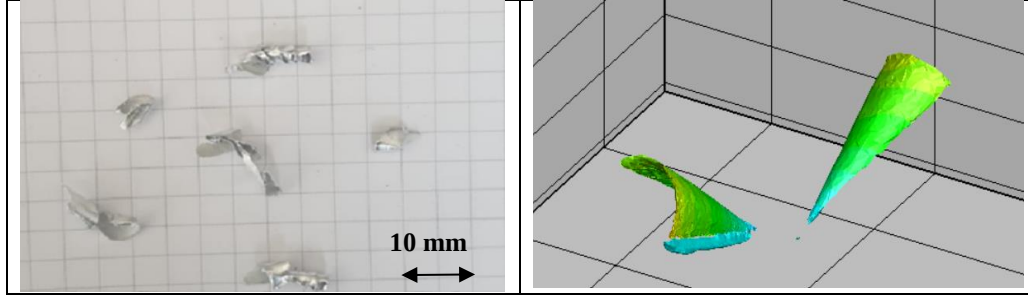


Şekil 7.7. 100 m/dak Kesme hızına göre kesme momentlerinin değişimleri

Kesme hızının 100 m/dak olarak alındığı deneyler incelendiğinde en düşük moment değeri (153,39 Ncm) 0,1 mm/dev ilerleme ile 118° uç açısına sahip matkap da gerçekleşmiştir. En yüksek moment ise (252,27 Ncm) 0,2 mm/dev ilerleme miktarlarında 130° uç açısına sahip matkapta çıkmıştır.

Şekil 7.7'de görüldüğü gibi, analizden edilen sapmayı belirtmek için deneysel sonuçlar referans alınarak ortalama $\pm 10\%$ 'luk sapma sınırları içinde gösterilmiştir. 118° uclu

matkapta 100 m/dak hızla 0,1 mm/dev ilerleme ile -%11,8 sapma meydana gelmiş olup referans alınan $\pm\%10$ 'luk sapma sınırları dışında kalmıştır.



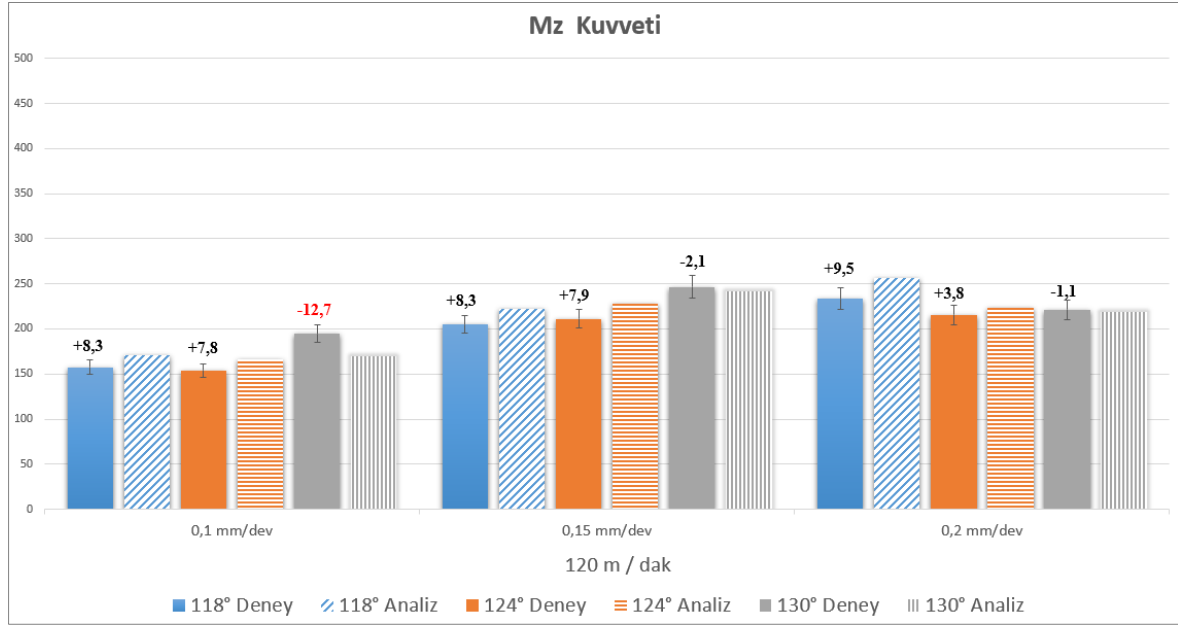
Resim 7.8. Talaş görseli (118° -0,1 mm/dev-100 m/dak)

Resim 7.8'da verilen görüntüden de açıklanabileceği gibi, test çalışmasına göre talaş tahliyesinin zorlanması ile kuvvetlerin arttığı literatürde belirtilmektedir. Deney sonuçlarının analiz sonuçlarına göre yüksek oluşu da bu durum ile açıklanabilir. Talaş tahliyesinin istenilen şekilde olmaması deney sonuçlarının yüksek çıkmasına neden olduğu kanısına varılmıştır [45-46,50-52].

120 m/dak kesme hızına göre deney ve analiz sonuçlarından elde edilen moment (Mz) kuvvetleri Çizelge 7.2.3' de verilmiştir.

Çizelge 7.6. 120 m/dak kesme hızına göre deney ve analiz sonuçlarından elde edilen moment (Mz) kuvvetleri

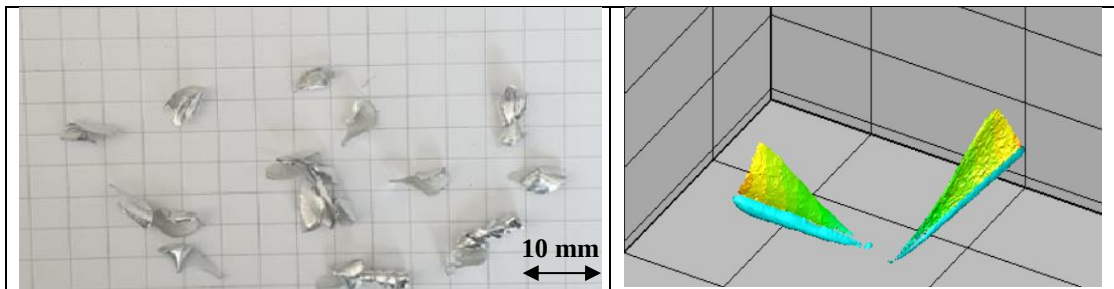
Uç Açısı ve İlerleme Değerleri	118° Deney	118° Analiz	Sapma	124° Deney	124° Analiz	Sapma	130° Deney	130° Analiz	Sapma
0,1 mm/dev	157,50	170,66	+8,3	153,9	166,05	+7,8	194,42	169,62	-12,7
0,15 mm/dev	205,08	222,26	+8,3	211,1	227,88	+7,9	246,69	241,32	-2,1
0,2 mm/dev	233,59	255,99	+9,5	215,52	223,86	+3,8	221,27	218,71	-1,1



Şekil 7.8. 120 m/dak Kesme hızına göre kesme momentlerinin değişimleri

Kesme hızının 120 m/dak olarak alındığı deneyler incelendiğinde en düşük moment değeri (157,50 Ncm) 0,1 mm/dev ilerleme ile 118° uç açısına sahip matkap da gerçekleşmiştir. En yüksek moment değerleri ise (246,69 Ncm) 0,2 mm/dev ilerleme miktarında 130° matkapda çıkmıştır. Ancak 0,2 mm/dev ilerleme miktarında 118° matkabın 124° ve 130° matkaba göre daha yüksek moment değerine (233,59 Ncm) sahip olduğu görülmüştür.

Şekil 7.8’de görüldüğü gibi, analizden edilen sapmayı belirtmek için deneysel sonuçlar referans alınarak ortalama $\pm\%10$ ’luk sapma sınırları içinde gösterilmiştir. 130° uçlu matkapta 120 m/dak hızla 0,1 mm/dev ilerleme ile $-\%12,7$ sapma meydana gelmiş olup referans alınan $\pm\%10$ ’luk sapma sınırları dışında kalmıştır.



Resim 7.9. Talaş görseli (120 m/dak -118° -0,1 mm/dev)

Resim 7.9’da verilen görüntüden de açıklanabileceği gibi, test çalışmasına göre talaş tahliyesinin zorlanması ile kuvvetlerin arttığı literatürde belirtilmektedir. Deney sonuçlarının analiz sonuçlarına göre yüksek oluşu da bu durum ile açıklanabilir [52].

Al 7050 T7 451 alaşım malzemesinin delme işleminde itme kuvvetleri (F_z) ve moment değerlerinin (M_z) araştırıldığı bu çalışmanın ana sonuçları aşağıdaki gibi özetlenebilir.

Şekil 7.6 Şekil 7.7 ve Şekil 7.8 genel olarak incelendiğinde aradaki farkın $\pm\%12$ olduğu ve uç açısı 124° ve 130° dereceye sahip takımların moment değerlerinin 118° lik uç açısına sahip takıma göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir [45,46].

Genel olarak kuvvet dağılımları kıyaslandığında uç açısının ve ilerleme değerinin artışı ile moment değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. Analiz sonuçlarının gerçek deneylere yakın çıkması ile FEM sonuçlarının kullanılabileceği kanaatine varılmıştır.

8. SONUÇLAR

Bilindiği üzere sonlu elemanlar metodunu esas alan analiz çalışmaları, ölçülen sonuçlar açısından yaklaşık bir sonucu ortaya çıkaran ve böylece gerçek sonucu öngörebilmeyi mümkün kılan bir yaklaşımdır. Analiz çalışmalarının temel amacı makul bir biçimde gerçek çözüme olabildiğince yaklaşmaktır. Başka bir deyişle; gerçek sonuçlar açısından analiz çalışmalarında bir hata/farklılık olması genelde beklenen bir durumdur. Gerçek sonuca yaklaşmak ise analiz başarısını ortaya çıkarır. Analiz adımlarına karşılık gelen itme kuvveti (F_z) ve kesme momenti (M_z) değişimleri Şekil 7.3, Şekil 7.4, Şekil 7.5, Şekil 7.6, Şekil 7.7, Şekil 7.8’de verilmiştir. Şekillerden de görüleceği üzere bazı adım değerleri için kesme kuvveti ve moment değerlerinde ani bir yükselme veya düşmeler görülmektedir. Bu durumun sebebi, simülasyonlar sırasında sürekli olarak ağ yapısında görülen bozulmalar olarak yorumlanabilmektedir [44]. Elemanların yeniden biçimlenme (remeshing) suretiyle talaş oluşumunu gerçekleştirmesi sırasında, programın elemanları yeniden boyutlandırması sebebiyle, elemanlarda sürekli bir biçimde bozulma oluşur. Bu sebeple analiz sırasında oluşan kesme kuvveti ve moment değerlerinde ani yükselme veya düşmeler görülebilir [41]. Bu yükselme ve düşmelerin diğer bir sebebi ise gerçek şartlarda kontrol edilemeyen faktörler olabilmektedir.

Al 7050 alaşımı üzerinde yapılan delme deneyleri ile kesici takım geometrisinin (118° - 124° - 130° uç açıları) kesme hızının (80-100-120 m/dak) ve ilerlemenin (0,1-0,15-0,2 mm/dev) kesme bölgesinde oluşturduğu itme kuvveti ve kesme momentine etkisinin incelendiği ve analiz sonuçlarıyla mukayese edildiği bu çalışmanın sonuçları aşağıda özetlenmiştir.

- Deney sonuçlarına göre uç açısının artması ile itme kuvvetlerinde azalma, kesme momentlerinde ise artma tespit edilmiştir.
- Bütün kesme parametrelerinde 118° uç açısına sahip matkabın genel olarak diğer uç açısındaki matkaplardan ortalama %26 oranında daha yüksek itme kuvvetlerine sahip olduğu saptanmıştır.
- Uç açısı 130° ve 12° dereceye sahip takımların moment değerlerinin 118° lik uç açısına sahip takıma göre ortalama %13 oranında daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

- İlerleme miktarının artmasıyla itme kuvvetlerinde genel bir artış tespit edilmiştir.
- Kesme hızı ve ilerlemenin kesme momentini de etkilediği görülmüştür. İlerleme hızı arttıkça moment değerlerinin arttığı, kesme hızının artışıyla kesme momentinin düştüğü gözlemlenmiştir.
- Analizlerden elde edilen itme kuvveti ve kesme momenti değerleri ile dinamometre yardımıyla ölçülen sonuçlar paralellik göstermektedir.
- Deney ve analiz sonuçlarına göre itme kuvveti açısından analiz sonuçları ve gerçek deney sonuçları arasında %0,04 ve %12,27 farklılıklar meydana gelmiştir.
- Kesme momentleri açısından analiz sonuçları ve gerçek deney sonuçları arasında %0,14 ve %12,75 farklılıklar meydana gelmiştir.
- ThirdWave AdvantEdge kullanımı oldukça basit bir program olmasına rağmen, simülasyon süresi oldukça uzun zaman almaktadır. Fakat simülasyon sonuçları gerçek değerlere yakın sonuçlar sunmaktadır.

KAYNAKLAR

1. Eker, İ. (2019). *Alüminyum 7050 Alaşımında Homojenleştirmenin Mikroyapı, Mekanik Ve Fiziksel Özellikler Üzerine Etkisi*. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli. 50-70.
2. Grzesik, W. (2008). (First Edition). *Advanced Machining Processes of Metallic Materials: Theory, Modelling and Applications*. Amsterdam: Elsevier, 5-15.
3. Liu, G. (2016). An overview on meshfree methods: for computational solid mechanics. *International Journal of Computational Methods*,13(05). 4-12.
4. Jacob, F., Ted, B. (2007). *A first course in finite elements*. Chichester: Wiley, 7-93.
5. İnternet: Talaşlı İmalat Nedir? Web: <https://emagneticchuck.com/talasli-imalat-nedir/>, Son Erişim Tarihi: 25.07.2022.
6. Shaw M. C. (2005). *Metal Cutting Principles*, (Third edition). Oxford: Oxford University Press, 1-9.
7. Groover, M. P. (1996). *Fundamentals of Modern Manufacturing- Materials, Processes and Systems*. (First Edition). New Jersey: Prentice, 220-639.
8. Kıvak, T. (2007). *Inconel Delinebilirliğinin Araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara.55-87.
9. İnternet: Senel, M. Talaşlı İmalat Tornalama Web: [https://avys.omu.edu.tr/storage/app/public/mahmutcan.senel/71544/7\)%20Tala%C5%9Fl%C4%B1%20%C4%B0malat-tornalama.pdf](https://avys.omu.edu.tr/storage/app/public/mahmutcan.senel/71544/7)%20Tala%C5%9Fl%C4%B1%20%C4%B0malat-tornalama.pdf), Son Erişim Tarihi: 25.07.2022
10. 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.
11. Şeker, U. (1997). *Takım tasarımı ders notları*, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Ankara, 5-11.
12. İnternet: Guhring, Takım Kataloğu. Web: <https://guehring.com/tr/products/drilling-tools/>, Son Erişim Tarihi:1.08.2022.
13. Çakır, M, C. (2000). *Modern Talaşlı imalat Yöntemleri*, Vipaş A.Ş, Bursa, 350-390
14. Aydın, E., Nalbant, M. (2020). The effect of drill point angles on drillability in CFRP/Al-7075 stacking drilling. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 35(2), 917-931.
15. İnternet: Alüminyum Alaşımların Genel Özellikleri. Web: <https://www.sezercoban.com/aluminyum-alasimlarin-genel-ozellikleri>, Son Erişim Tarihi: 25.07.2022

16. Mills, B., Redford, A.H. (1983). *Mechanability of Engineering Materials*. New York: Springer, 45-55.
17. Forman, R. G., Kearney, V. E., Engle, R. M. (1967). *Numerical Analysis of Crack Propagation in Cyclic Load Structure*. Melbourne: J. Basic Eng, 89-459.
18. Merati, A.A. (2011). On the Mixed Mode II/III Fatigue Threshold Behaviour For Aluminium Alloys 2014-T6 and 7075-T6. *Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures*, 34(11), 1460-2695.
19. Schubbe, J. J. (2011). Plate Thickness Variation Effects on Crack Growth Rates in 7050-T7451 Alloy Thick Plate. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 20(1), 4-12.
20. Mondolfo, L. F. (1976). *Structure and Properties*. Lf Mondolfo: Butterworths, 45-102.
21. MacKenzie, D. S., & Totten, G. E. (Eds.). (2003). *Handbook of aluminum*. New York: Dekker, 2-13.
22. İnternet: Sonlu Elemanlar Metodu Nedir, Nerelerde Kullanılır? Web: <https://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/sonlu-elemanlar-metodu-nedir-nerelerde-kullanilir/11661#ad-image-0>, Son Erişim Tarihi: 25.07.2022
23. Liu, G.R., Quek, S. S. (2003). *The Finite Element Method: A Practical Course*. Oxford: Butterworth Heinemann, 1-11.
24. Güler, M., & Sadri, Ş. E. N. (2015). Sonlu Elemanlar Yöntemi Hakkında Genel Bilgiler. *Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5(1), 56-66.
25. İnternet: Third Advantage Handbook. Web: https://www.academia.edu/38330984/ADVANTEDGE_7_1, Son Erişim Tarihi: 01.08.2022
26. Kaynak, Y. (2006). *Matkap İle Delik Delme Esnasında Kesme Parametrelerinin Kesme Kuvveti ve Sıcaklığın Değişimine Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul. 20-50
27. Soylu, A. (2007). *Bir Delme Dinamometresi Tasarım Ve İmalatı İle HSS-1040 Malzeme Çiftinde İlerleme Kuvveti Ve Döndürme Momentinden Analiz*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 46-54.
28. Çakır, A., Kavak, N., Duran, A. (2014). *Kesici Takım Geometrisinin Delik Delme Performansı Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi*, 5. Uluslararası Talaşlı İmalat Sempozyumu, Bursa.
29. Demir, Z., Baday, Ş., Sönmez, F. (2020). AISI 1050 Çelik Malzemenin Delinmesinde Tepki Kuvvetini Etkileyen Parametrelerin Yüzey Yanıt Yöntemi ile Analizi. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 32(1), 75-85.

30. Gökçe, H. (2020). Bakır Malzemenin Delinme Performansının Kesme Kuvveti ve Takım Sıcaklığı Açısından İncelenmesi. *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, 7(3), 1039-1053.
31. Dağlı, H. (2020). *Baralama Operasyonunda Kesme Şartlarının ve Kesici Takım Kaplama Tipinin Etkisinin Araştırılması ve Şartların Optimizasyonu*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 10-60
32. Keşir, N. (2019). *Al 7050-T7451 Malzemesinin Frezeleme Sonrası Parça Distorsiyonuna İlerleme Hızı ve Kesme Derinliğinin Etkilerinin İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 40-45
33. Meng, Y., Men, X., Pan, Y., Fu, X. (2018). Influence factors analysis of grain refinement in aluminum alloy 7050-T7451 cutting surface metamorphic layer. *Procedia CIRP*, 71, 203-208.
34. Buğdaycı, B, N. (2013). *Analysis of Tool Life for Tungsten Carbide Helical End Mills in Milling Aerospace Aluminum* Koc University, Graduate School of Sciences and Engineering.
35. Huang, X., Xu, J., Chen, M., Ren, F. (2020). Finite element modeling of high-speed milling 7050-T7451 alloy. *Procedia Manufacturing*, 43, 471-478.
36. Perez, I., Madariaga, A., Cuesta, M., Garay, A., Arrazola, P. J., Ruiz, J. J., Sanchez, R. (2018). Effect of cutting speed on the surface integrity of face milled 7050-T7451 aluminium workpieces. *Procedia Cirp*, (71), 460-465.
37. Mamedov, A., Lazoglu, I. (2013). Machining forces and tool deflections in micro milling. *Procedia Cirp*, (8), 147-151.
38. Zhenjing, D. U. A. N., Changhe, L. I., Zhang, Y., Lan, D. O. N. G., Xiufang, B. A. I., Min, Y. A. N. G. & Xuefeng, X. U. (2021). Milling surface roughness for 7050 aluminum alloy cavity influenced by nozzle position of nanofluid minimum quantity lubrication. *Chinese Journal of Aeronautics*, 34(6), 33-53.
39. Huang, B. Kaynak, Y., Sun, Y. Jawahir, I. S. (2015) Surface layer modification by cryogenic burnishing of Al 7050-T7451 alloy and validation with FEM-based burnishing model. *Procedia CIRP*, (31), 1-6.
40. Yaşar, N. (2019). Thrust force modelling and surface roughness optimization in drilling of AA-7075: FEM and GRA. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 33(10), 4771-4781.
41. YILDIZ, H. (2015). *Ti-6AL-4V Alaşımının Delinmesinde Kesme Parametrelerinin Delik Üzerine ve Kesici Takıma Etkisinin Araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Batman. 13-45.

42. Demirel, T. (2019). *Kılavuzla Vida Açmada Kesme Parametrelerine Bağlı Kesici Takımlarda Oluşan Gerilmelerin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.12-62.
43. Gökçe, H., Yavuz, M., Gökçe, H., Şeker, U. (2017). Orijinal Matkap Geometrisinde Delme Performansının Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Doğrulanması. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi (GMBD)*,3(1), 27-34.
44. Korkmaz, M., Çakıroğlu, E., Yaşar, R., Yaşar, N., Özmen, R., Günay, M. (2019). Al2014 Alüminyum Alaşımının Delinmesinde İtme Kuvvetinin Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Analizi. *El-Cezerî Journal of Science and Engineering*, 6(1), 193-199.
45. Aydın E. (2019). CFRP/Al İstifli Delmede Matkap Uç Açısının İtme Kuvveti (Fz) ve Takım Aşınması Üzerine Etkilerinin Araştırılması. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9(3), 1574-1583.
46. Advantedge 7.1, User Manuel, Web: https://www.academia.edu/38330984/ADVANTEDGE_7_1, Son Erişim Tarihi: 25.07.2022.
47. Paul A., Kapoor S. G., Devor R. E. (2015). Chisel Edge And Cutting Lip Shape Optimization For Improved Twist Drill Point Design. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 4(45), 421-431.
48. Rubenstein C. (1991). The Torque and thrust Force in twist drilling I. theory. *Int. J. Mach. Tool Des. Manufact.* 31(4), 481-489.
49. Çakır, A., Bahtiyar, O., Şeker, U. (2014). *Farklı Soğutma Şartları İle Farklı Kesme Parametrelerinin AA7075 Ve AA2024 Alüminyum Alaşımlarında Delik Delme İşlemlerine Etkisinin Deneyisel Olarak İncelenmesi*. 16. Uluslararası Makina Tasarım ve İmalat Kongresi, İzmir, Türkiye.
50. Çaydaş, U., Çelik, M. (2017). AA 7075-T6 alaşımının delinmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü, takım sıcaklığı ve ilerleme kuvvetine etkilerinin araştırılması. *Journal of Polytechnic*, 20(2), 419-425.
51. Kaplan, Y. (2010). *Delik Delmede Farklı Parametrelerin Kesme Kuvveti, Moment, Titreşim, Yüzey Pürüzlülüğü, Aşınma Ve Çapak Oluşumuna Etkisi*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara,13-58.
52. Bayraktar, Ş., Siyambaş, Y., Turgut, Y. (2017). Delik Delme Prosesi: Bir Araştırma, Sakarya Üniversitesi. *Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21(2), 120-130.

EKLER

EK-1. Al 7050- T7451 Alaşımı Sertifikası

Inspection certificate - mill certificate

Rev.: 0

Seite / page:

1 von / of 3

Zertifiziert nach / certified to: ISO 9001, ISO/TS 16949, ENIAS 9100, ISO 14001, NADCAP

Datum / date:

Auftraggeber / customer:	Bestell-Nr. / order no.:	
	Datum / date:	
	Auftragsbest. Nr. / order confirm no.:	665462
	Datum / date:	
	Lieferschein Nr. / delivery note:	65226043
	Datum / date:	

Produkt / product:	Bedingungen / terms
Form / form: Plate, stretched	Technische Lieferbedingungen / techn. spec.
Werkstoff / material: 7050	AMS 4050H, 12.2003
Zustand / temper: T7451	US-Inspection class A:
Dim. / dim.: [mm]: 100 x 1195,0 x 2380,0	AMS-STD-2154 REV. A (2012-10)
	ASTM B-584 - 13
	Sendervorschrift / special terms:

AB-Pos. ord.-item	BNr/Los/Teillos Lot/No./Part	Guss-Nr. cast no.	Werkstoff material	Kello packno.	Gewicht netto weight net	Stk. pcs.
02	70055/01/00	01/0058601/3	7050	6654620002		

Chemische Zusammensetzung (t%) / Gewichtsanteile / Chemical composition (t%) weight proportion (OES)

Guss-Nr. / cast no.	material										
01/0058601/3	7050	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Zr	Others Each
	spec. min.	-	-	2.0	-	1.9	-	5.7	-	0.06	-
	spec. max.	0.12	0.15	2.5	0.10	2.6	0.04	6.7	0.06	0.15	0.05
	actual	0.05	0.07	2.1	0.01	2.1	0.01	6.3	0.03	0.09	0.01
		Others Total									
	spec. min.	-									
	spec. max.	0.15									
	actual	0.01									

Zugprüfung L / tensile test L							
BNr/Los	Zustand	Richtung	Tests		Rm	Rp0.2	A5
Lot/No.	temper	direction			[MPa]	[MPa]	[%]
				spec.min	503	434	9
				spec.max	-	-	-
70055/01	T7451	L	14	from	516	456	12
70055/01	T7451	L		to	518	458	13

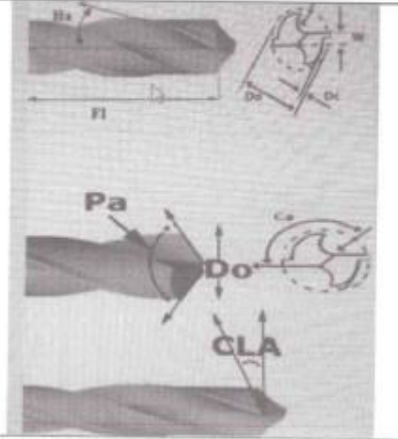
EK-2. Matkap Uç Geometrisi Değerleri

A.Ş

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri İmalat Mühendisliği Anabilimdalı bünyesinde çalıştırmakta olduğum "ALÜMİNYUM 7050 ALAŞIMININ DELİNMESİNDE UÇ AÇISININ ETKİLERİNİN DENEYSEL VE SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİYLE ARAŞTIRILMASI" adlı yüksek lisans çalışması için aşağıdaki tabloda talep edilen değerlerin tezinin analizlerinde kullanılması için bilinmesi gerekmektedir. Aşağıda özellikleri belirtilen HSS DIN 340/RN Ø8 mm çapındaki matkapın Toblo üzerinde belirtilen değerlerin tarafımıza bildirilmesi konusunda gereğini saygılarımla arz ederim.

15/04/2022

Matkap Çapı	Do (mm)	8 mm
Gövde Çapı Açıklığı	De(mm)	0,19 – 0,24 mm
Helezon Açısı	Ha (deg)	26° 20' - 32° 20'
Ağ Kalınlığı	W(mm)	1,45-1,55 mm
Flüt Çapı	Fr (mm)	-
Flüt Boyu	Fl(mm)	107,5-110,5 mm
Kenar Yarıçapı	r(mm)	-
Uç Açısı	Pa(deg)	115°-121°
Boşluk Açısı	Clα(deg)	11°-15°
Keski Köşe Açısı	Ca(deg)	49°-57°






GAZİ GELECEKTİR...