



**KILAVUZLA VİDA AÇMADA KESME PARAMETRELERİNE BAĞLI
KESİCİ TAKIMLARDA OLUŞAN GERİLMELERİN İNCELENMESİ**

Tuncer DEMİREL

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

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ARALIK 2019

Tuncer DEMİREL tarafından hazırlanan, "KILAVUZLA VİDA AÇMADA KESME PARAMETRELERİNE BAĞLI KESİCİ TAKIMLARDA OLUŞAN GERİLMELERİN İNCELENMESİ" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi İmalat Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Abdullah KURT

İmalat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Başkan: Prof. Dr. Ulvi ŞEKER

İmalat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye: Doç. Dr. İhsan TOKTAŞ

Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yıldırım Beyazıt Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Tez Savunma Tarihi: 20/12/2019

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

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ

Fen Bilimleri Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

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

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

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

Tuncer DEMİREL

20/12/2019

KILAVUZLA VİDA AÇMADA KESME PARAMETRELERİNE BAĞLI KESİCİ TAKIMLARDA OLUŞAN GERİLMELERİN İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Tuncer DEMİREL

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Aralık 2019

ÖZET

Kılavuz kesici takımlarla vida açma, talaşlı imalatta iç deliklere vida açmada kullanılan yöntemlerden birisidir. Ancak diğer kesici takımlarla karşılaştırıldığında, kılavuz kesici takımlarla yapılan imalat daha karmaşıktır. Bu çalışmada, AISI 1050 iş parçası malzemesine farklı matkap çaplarında delinen deliklere M10 ölçüsündeki vida açma işleminin simülasyonu yapılmıştır. Simülasyonlar için sonlu elemanlar yöntemini esas alan Third Wave AdvantEdge programı kullanılmış; vida açma süresince oluşan esas kesme kuvveti, tork, gerilmeler ve talaş oluşumu incelenmiştir. Literatürdeki deney sonuçlarından yararlanılan çalışmada kılavuz kesici takımlar, tersine mühendislik yöntemiyle modellenmiş ve programa aktarılmıştır. Kaplamasız HSS ve TiN kaplamalı takımlar için elde edilen deneysel esas kesme kuvveti ve tork sonuçları ile talaş biçimleri simülasyon sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Simülasyon sonuçları ile deney sonuçlarının birbirleriyle son derece iyi bir uyum içerisinde olduğu görülmüştür. Dolayısıyla iş parçası malzemesi için tanımlanan malzeme modelinin başarılı olduğu ve gerçekçi sonuçlar verdiği sonucuna varılmıştır.

Bilim Kodu : 91438
Anahtar Kelimeler : AISI 1050, Vida Açma, Kesme Kuvvetleri, Takım Gerilmesi, Analiz, Simülasyon, Sonlu Elemanlar Metodu.
Sayfa Adedi : 81
Danışman : Doç. Dr. Abdullah KURT

INVESTIGATION OF CUTTING TOOL STRESSES BASED ON CUTTING PARAMETERS IN THREAD TAPPING

(M. Sc. Thesis)

Tuncer DEMİREL

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

December 2019

ABSTRACT

Threading with the tapping tools is one of the methods in machining used in threading into internal holes. However, the tapping tools are more complex compared to other cutting tools. In this study, M10 size threading simulations were performed for holes drilled in different drill diameters on AISI 1050 workpiece material. Third Wave AdvantEdge software, based on finite element method, was used for the simulations and the primary cutting force, torque, cutting tool stresses and chip formation during the threading process were investigated. In the study using experimental results in the literature, the tapping tools were modeled by reverse engineering method and then imported into the program. Experimental primary cutting force and torque results obtained for uncoated HSS and TiN coated cutting tools were compared with the simulation results. It has been seen that the simulation and the experiment results are in a good harmony with each other. Therefore, it can be concluded that the material model defined for the workpiece material is successful and gives realistic results.

Science Code : 91438

Key Words : AISI 1050, Thread cutting, Cutting force, Stress on Cutting Tools, Analysis, Simulation, Fenite Element Method.

Page Number : 81

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Abdullah KURT

TEŞEKKÜR

Öncelikle tez çalışmam boyunca yardımını esirgemeyen ve bilgi birikimini benimle paylaşan, tezime azami ölçüde değer katan kıymetli danışmanım Sayın Doç. Dr. Abdullah KURT'a, simülasyon sonuçlarımı karşılaştırmak için kullandığım deney sonuçlarını benimle paylaşan Sayın Doç. Dr. Yunus KAYIR'a, bu çalışmada kullandığım M10 kılavuzların tersine mühendislik yöntemi ile tasarlanmasındaki desteklerinden dolayı 3D4U Teknoloji Firmasına, bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım Sayın Prof. Dr. Ulvi ŞEKER'e, Ass. Prof. Dr.-Ing. Ekrem ÖZKAYA'ya, değerli arkadaşlarım; Öğr. Gör. Yafes ÇAVUŞ, Arş. Gör. Kutay AYDIN, Tugay ÜSTÜN, Recep HÜROL ve Serkan İLBAY'a teşekkür ederim. Ayrıca beni bugüne kadar maddi ve manevi olarak destekleyen benim için çok değerli olan annem Ayşenur DEMİREL ve babam Azem DEMİREL'e, yine bu süreçte desteklerini esirgemeyen kardeşlerim Esra DEMİREL ve Recep Oğuzhan DEMİREL'e teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER	5
2.1. Kesme.....	5
2.2. Makine Kılavuzları ile Vida Açma Teknolojisi	5
2.3. Gerilme.....	9
2.3.1. Üç boyutlu gerilme.....	9
2.4. Sonlu Elemanlar Yöntemi ve AdvantEdge Yazılımı	14
2.4.1. Sonlu elemanlar yöntemi	14
2.4.2. Sonlu elemanlar yönteminin talaşlı imalatta uygulanması.....	15
2.4.3. AdvantEdge yazılımı.....	18
3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	21
3.1. Sonlu Elemanlar Metodu İle Yapılan Nümerik Çalışmalar	21
3.2. Deneysel Çalışmalar.....	26
3.3. Literatür Araştırması Değerlendirmesi.....	30
4. MALZEME VE YÖNTEM	35
4.1. Deneysel Çalışmalar.....	35
4.1.1. Deneylerde kullanılan iş parçası malzemesi	35

Sayfa

4.1.2. Kesici takımlar	36
4.1.3. Takım tezgahı.....	36
4.1.4. Kesme kuvvetlerinin ölçülmesi.....	37
4.1.5. Kesme deneyi değişkenleri ve deneylerin yapılışı	38
4.2. Simülasyon İşlemleri.....	39
4.2.1. AdvantEdge yazılımında modelleme safhaları	39
5. SİMÜLASYON, ANALİZ SONUÇLARI VE TARTIŞMA	53
5.1. Deney ve Simülasyon Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	53
5.2. Kesici Takımlarda Oluşan Gerilmeler	58
5.3. Talaş Oluşumu	70
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	73
KAYNAKLAR	75
ÖZGEÇMİŞ	81

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Literatürde incelenen nümerik çalışmalar	31
Çizelge 3.2. Literatürde incelenen deneysel çalışmalar	33
Çizelge 4.1. AISI 1050 çeliği kimyasal bileşenleri.....	35
Çizelge 4.2. AISI 1050 çeliği fiziksel özellikleri.....	35
Çizelge 4.3. AISI 1050 çeliği mekanik özellikleri.....	35
Çizelge 4.4. Kılavuz tipleri ve formları	36
Çizelge 4.5. High Speed Steel (HSS) takım kimyasal bileşenleri	36
Çizelge 4.6. HSS kesici takım fiziksel özellikleri.....	36
Çizelge 4.7. CNC dik işleme merkezinin özellikleri	37
Çizelge 4.8. Kistler 9272A tipi dinamometrenin bazı teknik özellikleri	38
Çizelge 4.9. Deneylerde kullanılan kesme şartları.....	38
Çizelge 4.10. AISI 1050 için Johnson-Cook malzeme modeli değerleri.....	43
Çizelge 4.11. AISI 1050 için oluşturulan yeni malzeme modeli	44
Çizelge 5.1. Deney sonucu ve simülasyon sonucu verilerinin yakınsama oranları	44

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Talaş kaldırarak vida açma	6
Şekil 2.2. Diş profili gösterimi.....	6
Şekil 2.3. Vida helisinin oluşumu	7
Şekil 2.4. Kılavuz ağızlama formları ve ağızlama boyları.....	7
Şekil 2.5. Metrik vida dışında bölüm dairesi çapının tolerans alanı	8
Şekil 2.6. Vida açma işleminde burulma momenti şematik gösterimi	9
Şekil 2.7. a) Üç boyutlu gerilme hali, b) üç yüzeyli eleman üzerindeki gerilme bileşenleri	10
Şekil 2.8. Sonlu elemanlar yönteminde kullanılan eleman tipleri	15
Şekil 2.9. AdvantEdge programı kullanılarak yapılabilen talaşlı imalat analizleri	18
Şekil 4.1. Deneylerde kullanılan Kistler 9272A tipi dinamometre ve ekipmanları.....	37
Şekil 4.2. AdvantEdge yazılımında yeni proje başlatma	39
Şekil 4.3. İş parçası boyutları ve ağ oluşturma parametrelerinin girilmesi	40
Şekil 4.4. İş parçası ve kesici takımın malzemesini ve kesme parametrelerini belirleme	42
Şekil 4.5. AdvantEdge yazılımında Johnson-Cook malzeme modeli parametrelerini girme.....	45
Şekil 4.6. A303 kodlu kesici takımın 3B modeli	45
Şekil 4.7. A320 kodlu kesici takımın 3B modeli	46
Şekil 4.8. A330 kodlu kesici takımın 3B modeli	46
Şekil 4.9. AdvantEdge yazılımında kesici takıma kaplama atama	47
Şekil 4.10. AdvantEdge yazılımında sürtünme katsayısı ve soğutucu akışkan parametreleri belirleme	48
Şekil 4.11. AdvantEdge yazılımında simülasyon ayarları, projeyi kaydetme, simülasyonu başlatma ve ağ oluşturma ayarları	49
Şekil 4.12. Kılavuzun hareket şartları ve iş parçası için sınır şartları.....	49
Şekil 4.13. Simülasyon ve analiz sonuçları için açılan Tecplot arayüzü	50

Şekil	Sayfa
Şekil 4.14. Simülasyon sürecindeki elemanlarda bozulmanın (dejenerasyon) etkileri ..	51
Şekil 5.1. Kaplamasız HSS kılavuzlar için Fz değerleri a) A303 kodlu kılavuz, b) A320 kodlu kılavuz, c) A330 kodlu kılavuz	54
Şekil 5.2. TiN kaplamalı HSS kılavuzlar için Fz değerleri a) A303 kodlu kılavuz, b) A320 kodlu kılavuz, c) A330 kodlu kılavuz	55
Şekil 5.3. Kaplamasız HSS kılavuzlar için Mz değerleri a) A303 kodlu kılavuz, b) A320 kodlu kılavuz, c) A330 kodlu kılavuz	56
Şekil 5.4. TiN Kaplamalı HSS kılavuzlar için Mz değerleri a) A303 kodlu kılavuz, b) A320 kodlu kılavuz, c) A330 kodlu kılavuz	57
Şekil 5.5. A330 kodlu kılavuz üzerinde oluşan gerilmeler	59
Şekil 5.6. Kaplamasız HSS kılavuzlar için a) σ_1 , b) σ_3 ve c) σ_e değerleri	60
Şekil 5.7. TiN kaplamalı HSS kılavuzlar için a) σ_1 , b) σ_3 ve c) σ_e değerleri	61
Şekil 5.8. Kaplamasız HSS kılavuzlarda oluşan en büyük asal gerilmeler	63
Şekil 5.9. Kaplamasız HSS kılavuzlarda oluşan en küçük asal gerilmeleri	64
Şekil 5.10. Kaplamasız HSS kılavuzlarda oluşan eşdeğer gerilmeler	65
Şekil 5.11. TiN kaplamalı HSS kılavuzlarda oluşan en büyük asal gerilmeler	67
Şekil 5.12. TiN kaplamalı HSS kılavuzlarda oluşan en küçük asal gerilmeler	68
Şekil 5.13. TiN kaplamalı HSS kılavuzlarda oluşan eşdeğer gerilmeler	69
Şekil 5.14. A303, A320 ve A330 kodlu kılavuzlara ait 360°-720°-1080° dönme hareketleri ve oluşan talaş biçimi görüntüleri	71
Şekil 5.15. Deneyler sırasında a) A303 kodlu kılavuz ve b) A320 ve A330 kodlu kılavuzlarla elde edilen talaş biçimleri	72

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklamalar
ε	Şekil değiştirme hızı
$\dot{\varepsilon}_0$	Referans şekil değiştirme hızı (s^{-1})
$\dot{\varepsilon}$	Plastik şekil değiştirme
$\dot{w}$	Aşınma oranı
α	Malzeme sabiti
μ	Sürtünme katsayısı
σ	Normal gerilme (N/m^2)
$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$	Asal gerilmeler (MPa)
σ_{vM}	von Mises teorisine göre gerilme (MPa)
A	Akma gerilmesi (MPa)
B	Gerinim sertleşmesi modülü (MPa)
C	Şekil değiştirme hızı katsayısı
f	İlerleme hızı (mm/rpm)
F_z	Esas kesme kuvveti (N)
K	Malzeme sabiti
m	Malzeme termal yumuşama katsayısı
M_z	Tork (Ncm)
N	Kuvvet (N)
n	Pekleşme katsayısı
n	Tezgah iş mili devir sayısı (rpm/min)
T	Sıcaklık ($^{\circ}K$)
T_r	Referans sıcaklık ($^{\circ}K$)

Simgeler**T_m****Açıklamalar**

Ergime sıcaklığı (°K)

V

Kesme hızı (m/min)

Kısaltmalar**Açıklamalar****AE**

Advant Edge Yazılımı

AISI

American Iron and Steel Institute (Amerikan Demir-Çelik Enstitüsü)

A303

Düz uçlu düz kanallı kılavuz kodu (Uzun kod gösterimi : ART-303A-M10-ISO-2X-6HX-HSS)

A320

Düz uçlu 15° helis kanallı kılavuz kodu (Uzun kod gösterimi : ART-320A-M10-ISO-2-6H-HSS)

A330

Düz uçlu 30° helis kanallı kılavuz kodu (Uzun kod gösterimi : ART-330A-M10-ISO-2-6H-HSS)

BHN

Brinell Hardnes Number (Brinell Sertlik Değeri)

CNC

Computer Numeric Control (Bilgisayar Destekli Kontrol)

FEM

Fenite Element Method (Sonlu Elemanlar Metodu)

HSS

High Speed Steel (Yüksek Hız Çeliği)

ISO

International Organization for Standardization (Uluslararası Standartlar Organizasyonu)

JC

Johnson-Cook

TM

Tool Material (Takım Malzemesi)

WM

Workpiece Material (İş Parçası Malzemesi)

2B

İki boyutlu

3B

Üç boyutlu

1. GİRİŞ

Talaşlı imalatı iş parçası kalitesi ve üretim maliyetleri bakımından, iş parçası malzemesine uygun takım ve ideal kesme şartları belirlenmesi bir zorunluluktur. İdeal kesici takım seçimi, işleme operasyonu sırasında en iyi performansın elde edilmesi için önemlidir. Talaşlı imalat işlemleri gerçekleştirilirken kullanılan kesici takımlarda aşınma meydana gelmekte, bu aşınma olayı kesici takım ömrünü tamamlayıncaya kadar sürmektedir. Kesici takım ömrünün az olması daha sık kesici takım değiştirilmesine sebep olacağından operasyon süresini arttırmaktadır. Operasyon süresinin artmasıyla tezgâhta zaman açısından kayıplar meydana gelecek ve bu da maliyeti olumsuz yönde etkileyecektir. İşleme performansını ve parça başı maliyeti doğrudan etkileyen bir diğer parametrede talaşlı imalat işlemleri sırasında meydana gelen kesme kuvvetleridir. Kesme kuvvetlerinin artmasıyla birlikte kesici takımda meydana gelen gerilmelerde artacaktır. Bu da hem kesici takımın daha çabuk aşınmasına hem de işlenen yüzeyin kalitesinin düşmesine neden olacaktır. Günümüzde işlenmiş malzeme yüzey kalitesini arttırmaya, uygulanacak operasyona ve işlenecek malzemeye uygun kesici takım geometrisi geliştirilmesi üzerine yapılmış birçok çalışma bulunmaktadır (Çakır, 2018; Akkurt, 2012; Şeker, 2000).

Günümüzde, imalat sanayisinde önemli teknolojik gelişmeler göze çarpmakta olup güvenilirliği yüksek ve maliyeti düşük kaliteli ürünler üretmek amacıyla şirketler tarafından büyük bir çaba sarf edilmektedir. İmalat sanayisinde seri üretimde kullanılan en yaygın talaşlı imalat işlemlerinden biri, vida dişlerinin açılmasıdır. Vidalar, sadece teknik uygulamaların birçok bileşeninde değil aynı zamanda günlük yaşamda kullanılan bağlantı elemanlarının da çok önemli parçalarıdır (Monka ve diğerleri, 2019). Talaşlı imalat sektöründe, sökülebilir kombinasyonlarda vidalar çokça kullanılmaktadır. Vidalar; iç ve dış yüzeyler üzerine açılan helisel girinti ve çıkıntılar olup, farklı yöntemler ile üretilmektedir. Dairesel iş parçası yüzeyine açılan vidalara dış vida, deliklere açılan vidalara ise iç vida denir. Talaşlı imalat sektöründe, deliklere vidaların açılması işlemlerinde kılavuz kesici takımlar çok kullanılmaktadır. Basitçe el kılavuzları ve makine kılavuzları şeklinde sınıflandırılabilir. Seri imalatlar düşünüldüğünde makine kılavuzları tercih sebebi olmakta, değişik formlar ve tiplerde (kaplamalı/kaplamasız, helisel kanallı, düz kanallı, ağızlama mesafeleri v.b) bulunmaktadır (Avuncan, 2005).

Alışılmışın dışında yüksek uzunluk ve çap oranlarına sahip olan yüksek verimli vidalara hızla artan talep, vida açma teknolojisinde büyük ilgi yaratmıştır. Genellikle vida açma, imalat işleminin son aşamasıdır. Boşluk olmadan mükemmel bir montaj elde etmek için iyi tolerans (hem geometrik hem de boyutsal) ve yüzey kalitesi gerçekleştirilmelidir. Bu nedenle, vida açma işlemiyle ilgili durumları anlamak, sorunları tanımlamak ve sonuç olarak bunları çözmek önemlidir. Çünkü bir kılavuz kırılması neredeyse bitmiş iş parçasını bozabilmekte veya kırılmış bir kılavuzu iş parçasından çıkarmak makine de büyük bir duruş süresine neden olabilmektedir (Monka ve diğerleri, 2019).

Vida açma işlemlerinde işlemeye en uygun makine kılavuzunun belirlenmesi için birçok parametre dikkate alınmaktadır. Bunlardan bazıları; işlenecek iş parçası malzemesi, kullanılacak soğutma ve yağlama türü, delik türü, ağızlama türü ve vida açma işinin nerede yapılacağıdır. Makine kılavuzu üretici firmaları, ürettikleri ürünlerin özelliklerini tablolar oluşturarak müşterilerine sunmaktadırlar. Zira imal edilen makine kılavuzlarının teknik özellikleri büyük oranda benzerlik gösterse de az da olsa farklılıklar gösterebilmektedir. Sonuçta her üretici firma kendi alt yapısı ve deneyimleri doğrultusunda üretim gerçekleştirmektedir (Kayır, 2010).

Talaşlı imalat işlemlerinin maliyetinin büyük bir kısmını kesici takım oluşturmaktadır. Bu sebeple işlenecek malzemeye ve kullanılacak operasyona uygun kesici takım geometrisi ile malzemesi seçimi önemli bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır. Kesmenin sanal ortamlarda yapıldığı sonlu elemanlar analizleri (FEA) ve deneysel çalışmalardan elde edilen veriler kullanılarak kurulan matematiksel modeller, istenilen kalitede ürün üretilmesi, uygun kesici takım geometrisi seçilmesi ve kesici takım ile hammadde israfının ortadan kaldırılması için son yıllarda talaşlı imalat sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır (Korkmaz ve diğerleri, 2019; Arafat, 2009).

Bu çalışmada talaşlı imalat sektöründe yaygın olarak kullanılan AISI 1050 genel imalat çeliğine TiN kaplamalı ve kaplamasız 3 farklı HSS kılavuz geometrisi, sabit kesme hızı (10 m/min) ve ilerleme (1,5 mm/rev) değerlerinde deneysel olarak vida açılması sırasında elde edilen esas kesme kuvveti ve tork değerleri ile ticari bir sonlu elemanlar simülasyon ve analiz programı *Third Wave AdvantEdge*'dan elde edilen veriler mukayese edilmiştir. Ayrıca sonlu elemanlar analizi sonucunda kesici takımda meydana gelen gerilmeler

incelenmiş ve böylece kesici takım geometrisi ve delik çapı gibi kesme parametrelerine bağlı olarak kesici takımdaki zorlamaların yeri ve büyüklüğü analiz edilmiştir.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Kesme

Kesme, işlem yapılacak malzemeye uygun kesici takım ile malzemede istenilen geometride kalıcı şekil değiştirme işlemidir. Kesme teknolojisinde aşağıda belirtilen temel hususların göz önünde bulundurulması gerekir (Kurt, 2006):

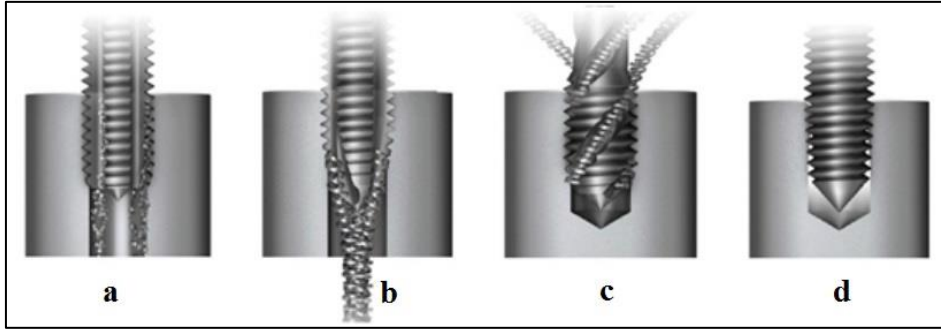
1) İş parçasından belirlenen talaş derinliğindeki talaşı kaldırmak için kesici takımın kesme kenarlarının malzemeye daldırılması gerekir. İşlem yapılan yüzeyin takım yan yüzeyine temas etmemesi için kesici takıma yeteri kadar bir boşluk açısı verilmelidir.

2) Kesici takım kenarındaki açı 55° ile 90° aralığında olmaktadır. Çoğunlukla iş parçasından kaldırılan talaş 60° 'lik açıyla işlem bölgesinden uzaklaştırılır. Bu şekilde gerçekleştirilen metal kesme işlemlerinde atılan talaşın tamamında plastik deformasyon meydana gelir. Talaşın oluşumu ve takım-talaş temas yüzeyi boyunca ilerlemesi için büyük bir enerji gerekir.

3) Talaşlı imalatın ana gayesi iş parçasından talaş kaldırarak istenilen geometriyi elde etmektir. İşleme de enerji sarfiyatının temelini de talaşın atılması ve hareketi oluşturur. Bu durumdan dolayı takım ömrü ve atılan talaş oranı ile ilgili oluşan problemler sadece takım-talaş temas yüzeyi boyunca ilerleyen talaşın ve iş parçasının davranışları incelenerek ortaya konur.

2.2. Makine Kılavuzları ile Vida Açma Teknolojisi

Dik işleme tezgâhlarında talaş kaldırarak iç vida açma işlemi Şekil 2.1'de gösterilmiştir . İlk olarak delikle merkezlenmiş kılavuzun ağızlama dişlerinin iş parçasını kesmesi ile başlar (Şekil 2.1a). Kesme işleminin ilerlemesi ile diş oluşmaya başlar (Şekil 2.1b, Şekil 2.1c). Belirlenen hatve (adım) kadar vida açılır (Şekil 2.1d). Toplam diş hatvesi tamamlanır. İşlem sonlanır ve takım iş parçasından çıkar.

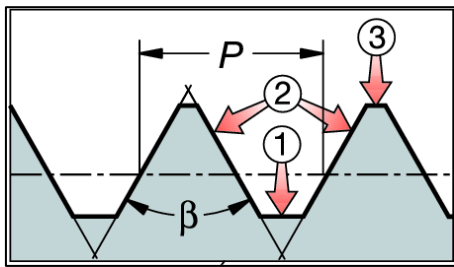


Şekil 2.1. Talaş kaldırarak vida açma (Sandvik Coromant, 2019)

Vida dişi, bir iş parçasının iç veya dış yüzeyine helisel dönüşlerle kesilerek açılır. Vida açmanın temel işlevleri aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

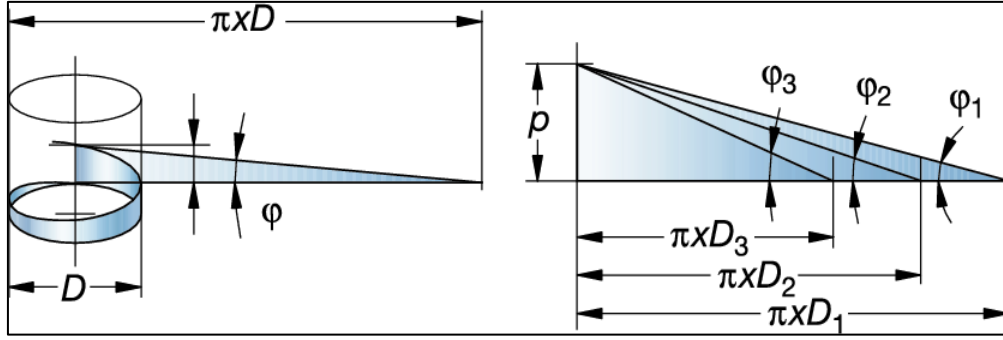
- İç yüzeyine diş açılan bir ürünü, dış yüzeye diş açılan bir ürün ile birleştirerek mekanik bir bağlantı oluşturulur.
- Bir dönme hareketini doğrusal bir harekete dönüştürerek hareketi iletmek.
- Mekanik bir avantaj elde etmek.

Diş profili, bir dişin geometrisini tanımlar ve bileşen çaplarını (ana, ara ve küçük), diş profili açısını, eğim ve helis açısını içerir (Şekil 2.2). P , diş adımı (mm) ve β , profil açısıdır. Şekil 2.2'deki ①, dişin iki bitişik kenarını birleştiren alt yüzeydir ve diş dibi olarak adlandırılır. ② ve ③ ise sırasıyla dişin yan yüzeylerini ve diş üstünü göstermektedir.



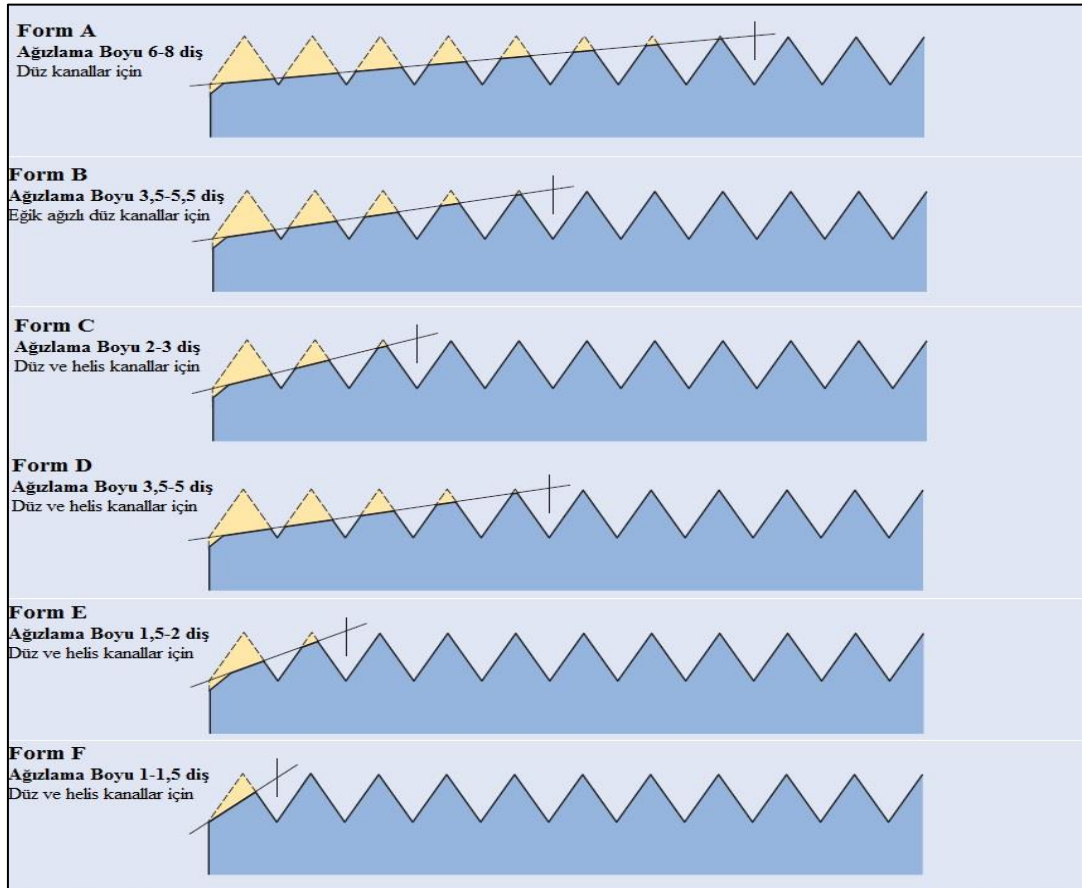
Şekil 2.2. Diş profili gösterimi (Sandvik Coromant, 2019)

Bir dik üçgene ait dik kenarın bir silindir çevresine sarılması halinde; üçgene ait hipotenüsün oluşturduğu eğriye helis denilmektedir (Şekil 2.3). Vida, bu helis çizgisi boyunca açılan değişik geometrideki kanallar ile oluşmaktadır.



Şekil 2.3. Vida helisinin oluşumu (Sandvik Coromant, 2019)

İç vida dişi açılırken tüm kesme ağızlamadaki dişler aracılığıyla oluşturulmaktadır. Bu nedenle doğru ağızlama tipini seçmek çok önemlidir. Doğru seçimle takım ömrü arttırılmış ve daha iyi diş kalitesi elde edilmiş olunur. Şekil 2.4'te DIN 2197 standardına uygun kılavuz için ağızlama formları ve ağızlama boyları kılavuz ön deliğine göre belirlenir.

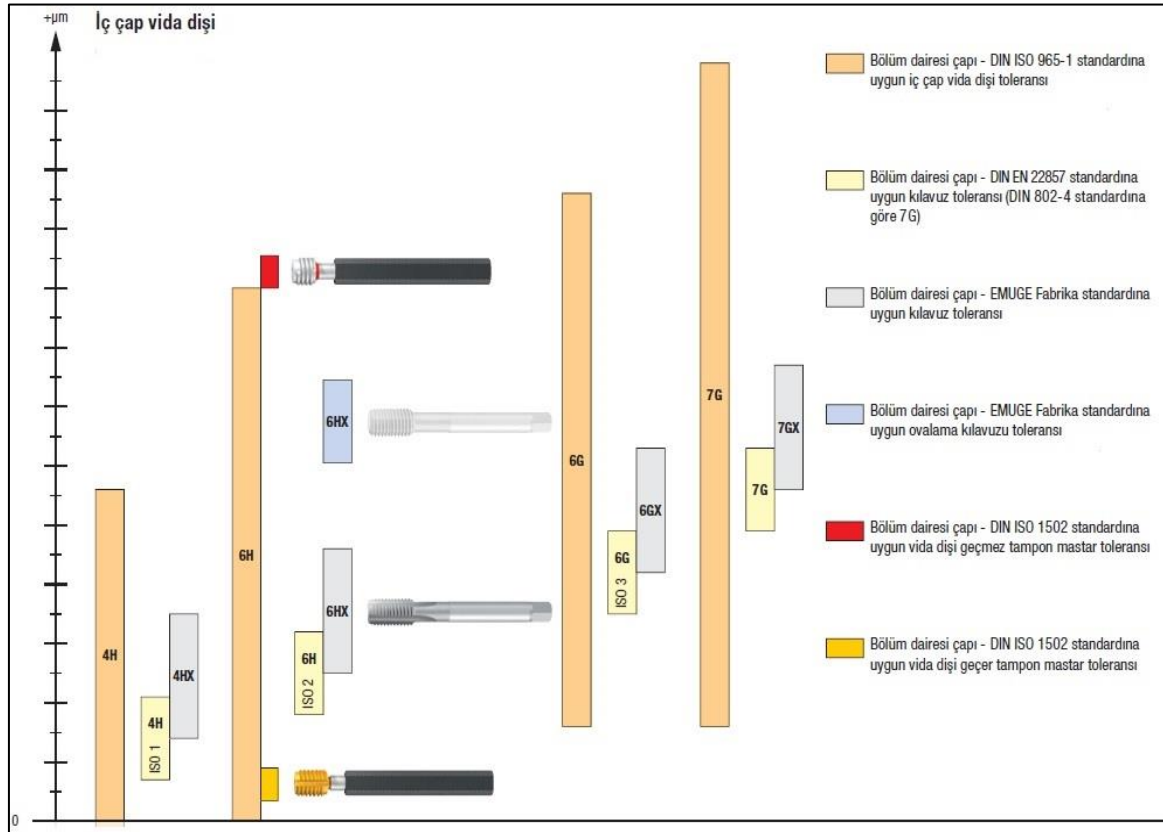


Şekil 2.4. Kılavuz ağızlama formları ve ağızlama boyları (Emuge, 2019)

Kesme ve soğutma sıvıları, takımdan rasyonel bir verim elde etmek için doğru seçilmiş soğutma maddesi kullanılması gerekmektedir. Kuru kesme genellikle dökme demirde

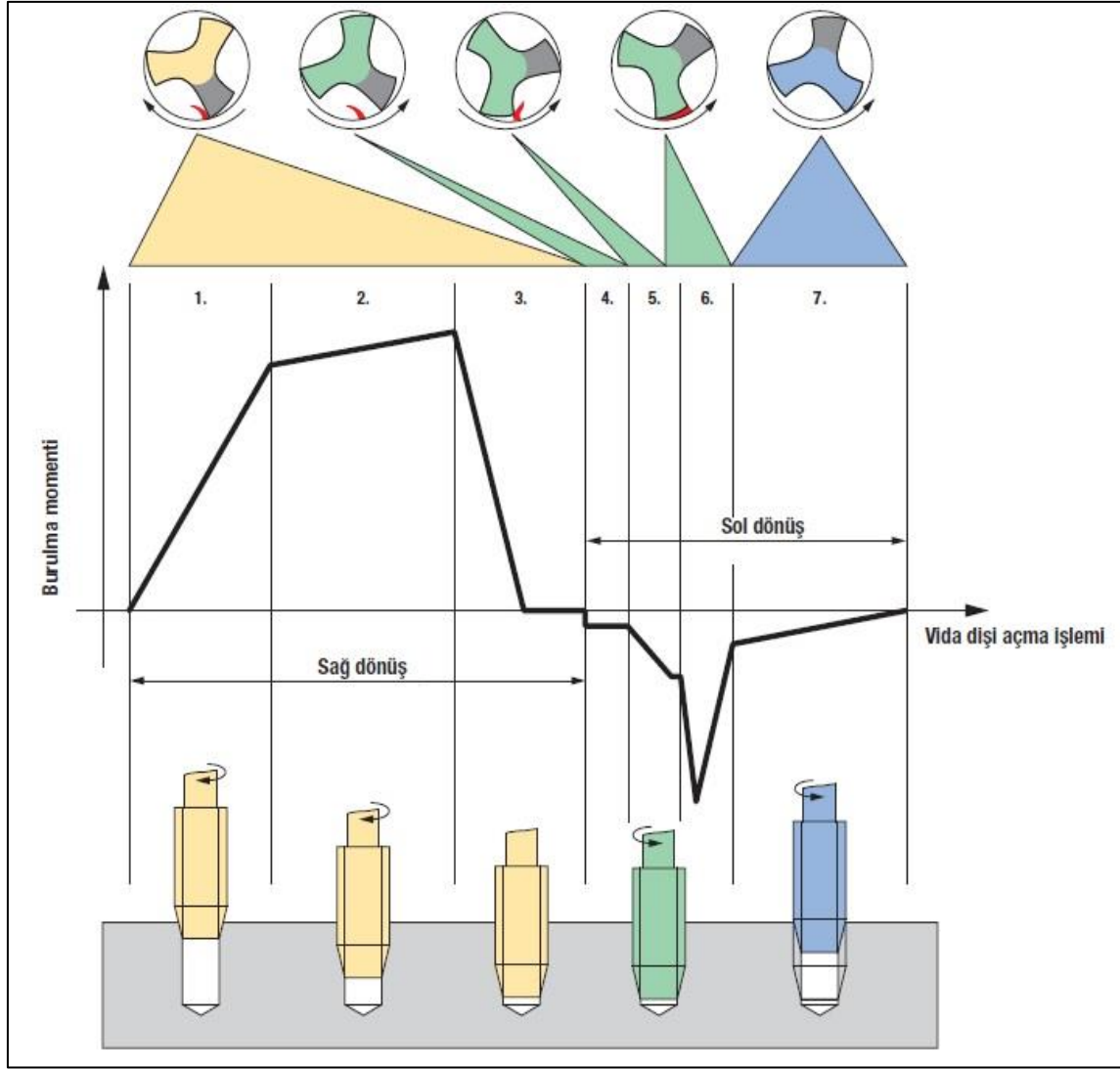
kullanılmakta olup talaşları uzaklaştırmak için basınçlı havadan yararlanılmaktadır. Kılavuz kesme yağı, işleme yapılacak malzemeye uygun seçildiğinde takım ömrünü ve dış kalitesini arttırmaktadır. Düşük miktarda yağlama, yeni nesil işleme merkezlerinin fener mili aracılığıyla hava ve yağ karışımı doğrudan kesme bölgesine püskürtülmektedir (Emuge, 2019).

Bölüm dairesi çapı, eksenli vida eksenli ile çakışan ve dış profilini adımın yarısına eşit olacak şekilde kesen teorik bir silindirin çapıdır. İç yüzeye açılan vida dişleri için bölüm dairesi çapı tolerans değerleri şematik olarak Şekil 2.5'te gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Metrik vida dişinde bölüm dairesi çapının tolerans alanı (Emuge, 2019)

Vida açma işlemlerinde burulma momentleri oluşumunun şematik gösterimi Şekil 2.6'da verilmiştir. Şekil 2.6, 1. kısımda tüm ağızlama dişlerinin iş parçasına tam temasıyla kesme işlemi başlar. 2. kısımda kılavuzun tüm ağızlama dişleriyle oluşan burulma momenti görülmekte olup 3. kısımda işleme merkezi fener mili durana kadar frenleme yapar. 4. kısım terse dönüşün başlaması, 5. kısımda dipte kalan talaşın koparılması, 6. kısımda dipteki talaşın koparılmasından sonra kalan talaş kökünün ezilerek sıkıştırılması, 7. kısımda iş parçası ile kılavuz temasındaki kayma sürtünmesi aşamalar halinde verilmiştir (Şekil 2.6).



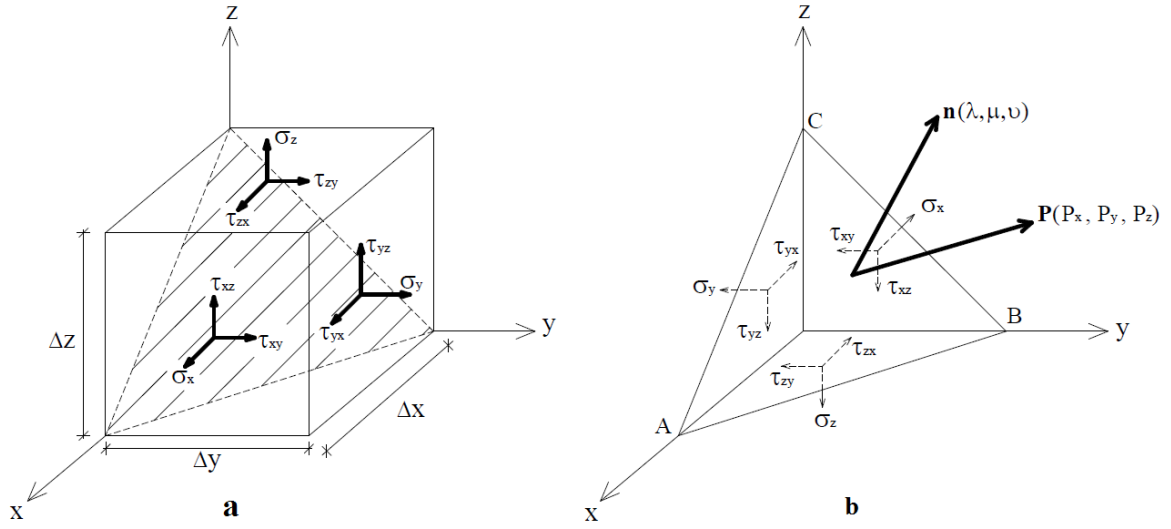
Şekil 2.6. Vida açma işleminde burulma momenti şematik gösterimi (Emuge, 2019)

2.3. Gerilme

Bir elemana dış kuvvetlerin ve/veya momentlerin etkisiyle, elemanın herhangi bir kesitinde etki-tepki prensibinden dolayı iç kuvvetler oluşmaktadır. Elemanın kesitinde birim alana etki eden ve hesaplanabilen iç kuvvetlere gerilme adı verilir.

2.3.1. Üç boyutlu gerilme

Üç boyutlu gerilme hali, bir noktadaki gerilme tensörünün seçilen koordinat eksenlerinin (x, y, z) her üç doğrultusunda da bileşeni bulunması durumudur (Şekil 2.7a). Şekil 2.7b’de üç yüzeyli eleman üzerindeki gerilme bileşenleri gösterilmiştir.



Şekil 2.7. a) Üç boyutlu gerilme hali, b) üç yüzeyli eleman üzerindeki gerilme bileşenleri

Gerilme durumu incelenecek noktadan çıkarılan dört yüzlünün dengesinden yararlanılarak, $\mathbf{n}$ normalinin verilen kesitteki $\mathbf{P}$ gerilme vektörü hesaplanabilir.

Şekil 2.7a'daki dört yüzlünün x , y , z doğrultularındaki üç yüzüne etkiyen gerilme tensörü bilinmektedir. x , y , z eksenleri ile $\mathbf{n}$ normal birim vektörü doğrultu kosinüsleri (λ, μ, ν) olacak şekilde açılar yapan dördüncü yüzdeki gerilme tensörü ise bilinmemektedir. Dört yüzlünün her bir yüzeyinin alanı A_x , A_y , A_z ve A_n ile tanımlanabilir. Alt indisler alanın ait olduğu düzlemin normalini belirtmektedir. Dört yüzlünün denge şartından,

$$\Sigma F_x = 0 \rightarrow \sigma_x A_x + \tau_{yx} A_y + \tau_{zx} A_z + P_x A_n = 0 \quad (2.1a)$$

$$\Sigma F_y = 0 \rightarrow \tau_{xy} A_x + \sigma_y A_y + \tau_{zy} A_z + P_y A_n = 0 \quad (2.1b)$$

$$\Sigma F_z = 0 \rightarrow \tau_{xz} A_x + \tau_{yz} A_y + \sigma_z A_z - P_z A_n = 0 \quad (2.1c)$$

denklemleri bulunur.

Doğrultu kosinüslerinin tanımından,

$$\lambda = \frac{A_x}{A_n}, \quad \mu = \frac{A_y}{A_n}, \quad \nu = \frac{A_z}{A_n} \quad (2.2)$$

yazılabileceğinden, yukarıdaki bağıntılar:

$$\begin{Bmatrix} P_x \\ P_y \\ P_z \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma_x & \tau_{yx} & \tau_{zx} \\ \tau_{xy} & \sigma_y & \tau_{zy} \\ \tau_{xz} & \tau_{yz} & \sigma_z \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \lambda \\ \mu \\ \nu \end{Bmatrix} \quad (2.3)$$

biçiminde ifade edilebilir. Burada

$$\begin{bmatrix} \sigma_x & \tau_{yx} & \tau_{zx} \\ \tau_{xy} & \sigma_y & \tau_{zy} \\ \tau_{xz} & \tau_{yz} & \sigma_z \end{bmatrix}, \quad \mathbf{P} = [P_x \quad P_y \quad P_z]^T, \quad \mathbf{n} = [\lambda \quad \mu \quad \nu]^T \quad (2.4)$$

şeklinde ifade edilebilir. Buradan P gerilme vektörünün şiddeti,

$$|P| = \sqrt{P_x^2 + P_y^2 + P_z^2} \quad (2.5)$$

biçiminde hesaplanabilir. Alan elemanına (yüzeye) etkiyen σ normal gerilmesini hesaplamak için $\mathbf{P}$ 'nin $\mathbf{n}$ normali üzerindeki izdüşümü yazılır. Bu izdüşüm,

$$\sigma = \vec{P} \cdot \vec{n} \quad (2.6)$$

skaler çarpımıyla hesaplanır.

Gerekli işlemler yapıldığında,

$$\sigma = \lambda P_x + \mu P_y + \nu P_z \quad (2.7)$$

bağıntısı elde edilir. Eş. 2.3, Eş. 2.7'de yazılarak

$$\sigma = \lambda^2 \sigma_x + \mu^2 \sigma_y + \nu^2 \sigma_z + 2 \lambda \mu \tau_{xy} + 2 \lambda \nu \tau_{xz} + 2 \mu \nu \tau_{yz} \quad (2.8)$$

elde edilir. Aynı kesitteki bileşke kayma gerilmesi,

$$\tau^2 = |P|^2 - \sigma^2 \quad (2.9)$$

biçiminde yazılabilir.

Asal düzlemler ve asal gerilmeler

Asal normal kesitin birim vektörü $\mathbf{n}_o$ (λ_o, μ_o, v_o) olsun. Asal kesitte $\tau = 0$ olacağından,

$$\mathbf{P} = \sigma \mathbf{n}_o \quad (2.10)$$

olması gerekir. Bu eşitliğin bileşenleri,

$$P_x = \lambda_o \sigma \quad (2.11a)$$

$$P_y = \mu_o \sigma \quad (2.11b)$$

$$P_z = v_o \sigma \quad (2.11c)$$

olur. Bu eşitliklerdeki P_x, P_y ve P_z büyüklükleri yerine; Eş. 2.3 denklemindeki formları birim normal vektör bileşenleri (λ_o, μ_o, v_o) olacak şekilde düzenlenirse,

$$\begin{aligned} \lambda_o \sigma_x + \mu_o \tau_{xy} + v_o \tau_{xz} &= \lambda_o \sigma \\ \lambda_o \tau_{xy} + \mu_o \sigma_y + v_o \tau_{yz} &= \mu_o \sigma \\ \lambda_o \tau_{xz} + \mu_o \tau_{yz} + v_o \sigma_z &= v_o \sigma \end{aligned} \quad (2.12)$$

elde edilir. Bu bağıntılar da,

$$\begin{bmatrix} (\sigma_x - \sigma) & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{xy} & (\sigma_y - \sigma) & \tau_{yz} \\ \tau_{xz} & \tau_{yz} & (\sigma_z - \sigma) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \lambda_o \\ \mu_o \\ v_o \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (2.13)$$

biçiminde yazılabilmektedir. λ_o, μ_o ve v_o değerlerine göre lineer ve homojen bu takımın tümü birden sıfır olmayan bir çözüme sahip olabilmesi için katsayılar matrisi determinantının sıfır olması gerekmektedir. Bu şarttan dolayı,

$$\begin{vmatrix} (\sigma_x - \sigma) & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{xy} & (\sigma_y - \sigma) & \tau_{yz} \\ \tau_{xz} & \tau_{yz} & (\sigma_z - \sigma) \end{vmatrix} = 0 \quad (2.14)$$

matrisi bulunur. Açık şekilde yazılışı ise,

$$\sigma^3 - (\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z)\sigma^2 + (\sigma_x\sigma_y + (\sigma_x\sigma_z + (\sigma_y\sigma_z - \tau_{xy}^2 - \tau_{xz}^2 - \tau_{yz}^2))\sigma - \begin{vmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{xy} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{xz} & \tau_{yz} & \sigma_z \end{vmatrix}) = 0 \quad (2.15)$$

biçimindedir.

Eş. 2.15'in kısa ifadesi ise,

$$\sigma^3 - I_1\sigma^2 + I_2 - I_1\sigma - I_3 = 0 \quad (2.16)$$

biçimindedir. Burada,

$$I_1 = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z \quad (2.17a)$$

$$I_2 = \sigma_y\sigma_z - \tau_{xy}^2 - \tau_{xz}^2 - \tau_{yz}^2 \quad (2.17b)$$

$$I_3 = \begin{vmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{xy} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{xz} & \tau_{yz} & \sigma_z \end{vmatrix} \quad (2.17c)$$

biçiminde tanımlanmaktadır. σ gerilmesine göre üçüncü dereceden denklemin üç kökünün gerçel ifade olduğu gösterilebilir. Bu üç kök aranan üç asal gerilmeyi ($\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$) vermektedir. Eş. 2.16'dan elde edilen asal gerilmeler Eş. 2.13 denkleminde yerine yazılırsa, aranan asal gerilmeye karşılık gelen birim normal vektörün bileşenleri ($\lambda_{oi}, \mu_{oi}, \nu_{oi}$) hesaplanabilir.

Ayrıca,

$$\lambda_{oi}^2 + \mu_{oi}^2 + \nu_{oi}^2 = 1 \quad (2.18)$$

olduğu unutulmamalıdır. Bu şekilde hesaplanacak üç birim vektörün bileşenleri $n_{o1}(\lambda_{o1}, \mu_{o1}, \nu_{o1})$, $n_{o2}(\lambda_{o2}, \mu_{o2}, \nu_{o2})$, $n_{o3}(\lambda_{o3}, \mu_{o3}, \nu_{o3})$ asal kesitleri tanımlar. Bu üç doğrultu birbirine diktir.

Yani,

$$n_{o1} \cdot n_{o1} = n_{o1} \cdot n_{o3} = n_{o2} \cdot n_{o3} = 0 \quad (2.19)$$

bağıntısı vardır (Kurt, 2006; Chandrupatla ve diğerleri, 2002).

2.4. Sonlu Elemanlar Yöntemi ve AdvantEdge Yazılımı

2.4.1. Sonlu elemanlar yöntemi

Çevremizdeki karmaşık mühendislik problemlerinin çözümü de oldukça karmaşıktır. Problemlerin karmaşık olması çözüm duyarlılığını azaltmaktadır. Fiziksel bir sistemin matematiksel olarak ifade edilmesi mantığına göre çalışan sonlu elemanlar metodu karmaşık problemlerin kolaylıkla çözüme ulaştırılması için kullanılmaktadır.

İlk kez 1956 yılında uçak gövdelerinin gerilme analizlerini yapabilmek için kullanılan sonlu elemanlar metodu (FEM), daha sonraki yıllarda mühendislik problemlerinin çözümünde de oldukça yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde de pek çok karmaşık problemi basit elemanlara indirgeyerek kullanılan en yaygın ve en iyi yöntemlerden birisi olmuştur.

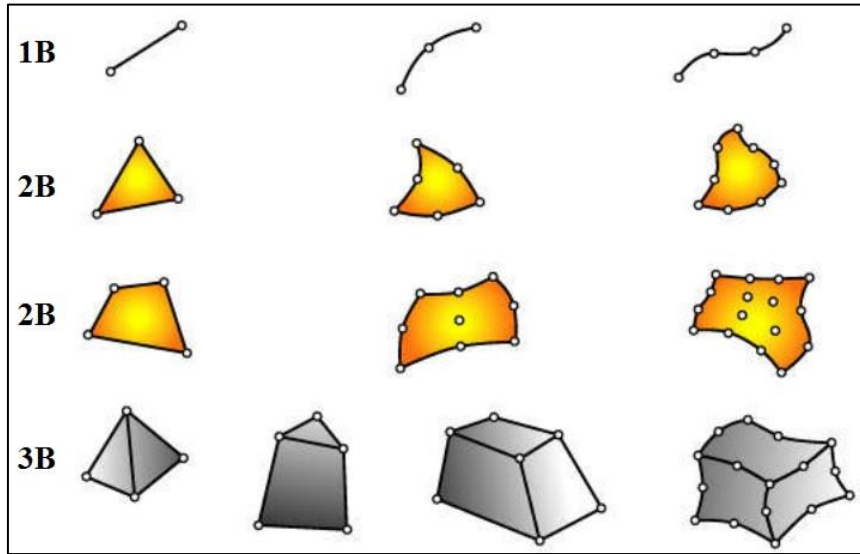
Çözüm bölgesi sonlu eleman adı verilen birbirine bağlı çok sayıda küçük alt birimlere (elemanlara) ayrılmaktadır. Bunun yapılmasındaki amaç oldukça büyük olan bir modelin çözümünü basitleştirmektir. Birbirine bağlı çok sayıdaki düğüm noktalarının oluşturduğu yapıya ağ (*meshing* veya ağ oluşturma) denilmektedir. Oluşan ağ, yapının belli yükleme koşulları altında nasıl davranacağını belirleyen malzeme bilgileri, başlangıç koşulları, sınır ve yükleme koşulları ile programlanmaktadır. Ağ yapısında çalışma koşulları altında ortaya çıkan gerilme seviyeleri bu düğüm noktalarından elde edilmektedir.

Genel olarak bir sonlu elemanlar analizinin uygulamasında temel olarak izlenen adımlar şu şekilde sıralanabilir:

- Karmaşık yapı, daha küçük elemanlara ayrılarak düğüm noktaları oluşturulur.
- Fiziksel büyüklüklerin davranışları bütün elemanlar için tanımlanır.
- Karmaşık yapıdan oluşturulan küçük elemanlar, düğüm noktalarından bağlanılarak yaklaşık bir denklem sistemi kurulur.
- Oluşturulan sistem denklemleri düğüm noktalarındaki bilinmeyen değerler için çözülür (örneğin; eleman yer değiştirmesi).
- Yapıdan seçilen elemanların istenilen değerleri hesaplanır (örneğin; sistemde oluşan gerilmeler).

Gerçek deney sonuçlarıyla kıyaslandığında sonlu elemanlar analizi sonuçları hiçbir zaman birebir örtüşmemektedir. Çünkü gerçek durumlardaki şartlar sonlu elemanlar yöntemiyle çözüm yapabilen programlardaki modele aynı şartlarda aktarılamamaktadır. Sonlu elemanlar yönteminin ana amacı, problemi karmaşıklığından kurtararak daha basite indirmektir. Maliyetli ve uzun zaman alan deneyler yapmadan süreci minimuma indirmek, ön tahminlerde bulunabilmek ve parametreleri optimize etmektir (www.serdarkorkut.com, 2017; Kurt, 2006).

Genel bir ifade ile sonlu elemanlar analizinde; problem çözümleri, düğüm noktalarında yapılmakta olup sonuçlar elemanlar üzerinde interpolate edilerek problem çözümü gerçekleştirilmektedir. Sonlu elemanlar analizlerinde kullanılan elemanlar, bir boyutlu çizgisel elemanlar, 2 boyutlu kabuk elemanlar ve 3 boyutlu katı elemanlar olarak tanımlanmaktadır. Sonlu elemanlar yönteminde kullanılan eleman tipleri Şekil 2.8’de verilmiştir.



Şekil 2.8. Sonlu elemanlar yönteminde kullanılan eleman tipleri (insaatmuh.mcbu.edu.tr, 2019)

2.4.2. Sonlu elemanlar yönteminin talaşlı imalatta uygulanması

Talaşlı imalat işlemlerinin simülasyonlarının yapılabilmesi için sonlu elemanlar yöntemi oldukça sık kullanılmaktadır. Simülasyonların koşturulması için kullanılan ticari paket programları içeriklerinde birtakım benzetimler kullanırlar. Bunlar, Lagrangian, Eulerian ve Arbitrary Lagrangian Eulerian yaklaşımlarıdır. Bu yaklaşımlar kapalı ve açık zaman

integrasyon yöntemleriyle çalışırlar. Kapalı zaman integrasyon yöntemi birinci dereceden iki veya daha çok değişkenli statik problemleri, açık zaman integrasyon yöntemi de doğrusal olmayan dinamik problemlerin çözümünde kullanılır (Aydın, 2016).

Lagrangian yaklaşımı, genellikle deformasyona sebep olan statik, yarı statik ve dinamik yükler altındaki malzemelerin davranışını gözlemlemek için kullanılır. Bu yaklaşımda, her bir tekil düğüm noktası, malzeme parçacıklarına tutturulur ve deforme olduklarında malzeme parçacıkları ile birlikte hareket ettikleri anlaşılır. Bu metod serbest yüzeylerin ve ara yüzeylerin korunmasını sağlar (Belytschko ve diğerleri, 2000). Literatürde büyük şekil değiştirmenin gerçekleştiği bazı problemlerde uygulanabildiği görülmüştür (Dijkstra ve diğerleri, 2011).

Eulerian yaklaşımda, sonlu eleman ağ oluşumu sabittir. Simülasyon koşturma sürecinde ağ yapısında herhangi bir bozulma olmadığından yeniden ağ oluşturma gerçekleşmemektedir. Bu yaklaşımda kararlı kesme işlemi geçerli olup talaş biçiminin önceden tanımlanması gerekmektedir. Bu durumda kopuk talaş oluşumunun modellenmesinde ve değişken kesme derinliklerinde bu yaklaşım kullanılamaz. Ağ oluşturma yenilenmesi olmadığından oldukça kısa sürede çözüm yapılabilir (Apaydın, 2009).

Arbitrary Lagrangian Eulerin yaklaşımı ise, yukarıda verilen her iki yaklaşımın birleşimidir. Bu yaklaşımda ağ oluşturma, iş parçası malzemesinden bağımsız hareket etmektedir. Bu durum, yüksek şekil değişiminin meydana geldiği problem çözümlerinde önem arz etmektedir. Abaqus, Marc, Deform 2D, Forge 2D, Algor, Fluent gibi birçok sonlu eleman programları bu yaklaşımı kullanmaktadır. Bu yaklaşım hem sürekli talaş oluşumu hem de kopuk talaş oluşumunun modellenmesini mümkün kılmaktadır (Apaydın, 2009).

Sonlu elemanlar yöntemi ile problemleri çözen yazılım programları çeşitli malzeme modelleri kullanırlar. Bunlardan bazıları; Power Law, Drucker Prager ve Johnson Cook gibi malzeme modelleridir. Power Law, güç yasasını kullanır, aynı zamanda kırılğan malzemeler için bir hasar seçeneği içerir. Ayrıca sıcaklık ve kalıntı gerilme simülasyonlarının doğruluğunu artırmak için kullanılabilir. Drucker Prager, kalıntı gerilme simülasyonları için termal genleşme katsayısını dikkate almaktadır. Aksi takdirde, bu modeli kullanmak

gereksizdir. Johnson Cook, yüksek hızlarda deformasyon, şok dalgaları yayılımı, erime gibi lineer olmayan malzeme davranışını içerir.

Talaşlı imalatla Abaqus, Ansys, Deform, AdvantEdge yazılımları en yaygın kullanılan simülasyon programlarıdır. Araştırmacılar, bu yazılımları kullanarak delme, tornalama, frezeleme, vida açma, kanal açma gibi operasyonların simülasyonunu koşturmaktadırlar. Bu operasyonlarda itme kuvveti, tork değerleri, ısı oluşumu, talaş oluşumu, eşdeğer ve kalıntı gerilmeler, kesme parametrelerinin optimize edilmesi gibi değişkenleri incelemektedirler. Korkmaz ve diğerleri (2019), AdvantEdge yazılımı ile delme simülasyonu koşturmuşlar ve oluşan itme kuvvetlerini incelemişlerdir. Biermann ve Oezkaya (2017), Ansys CFX yazılımında vida açma simülasyonu koşturmuşlar, içten soğutmalı takımlarda takım performansını incelemişlerdir. Akram ve diğerleri (2015), Abaqus Explicit yazılımı ile tornalama simülasyonu koşturmuşlar, eşdeğer ve kalıntı gerilmeleri incelemişlerdir. Abouridoune ve diğerleri (2013), Deform 3D yazılımı ile delme simülasyonu koşturmuşlar, oluşan tork değerlerini ve kesme kuvvetlerini incelemişlerdir.

Talaş kaldırma simülasyonlarında deney sonuçlarını en iyi şekilde yakınsayabilmek için malzeme özelliklerinin ve davranışının doğru tanımlanması önem arz etmektedir. Aksi halde simülasyon sonuçları ile deneysel sonuçlarının yakınsaması beklenmemelidir. Literatür incelendiğinde en yaygın kullanıma sahip modelin Johnson-Cook malzeme modeli olduğu görülmüştür.

İş parçasının yüksek hızlarda şekil değiştirme davranışlarının incelenmesinde Johnson-Cook malzeme modeli kullanılmaktadır. Malzemeler için model parametreleri, önceden çentik açılmış düz, pürüzsüz çubukların oda sıcaklığında çekme test cihazlarında çekilmesiyle belirlenebilir. Model için tanımlanan formülasyon Eş. 2.20’de verilmiştir (Johnson ve Cook, 1985).

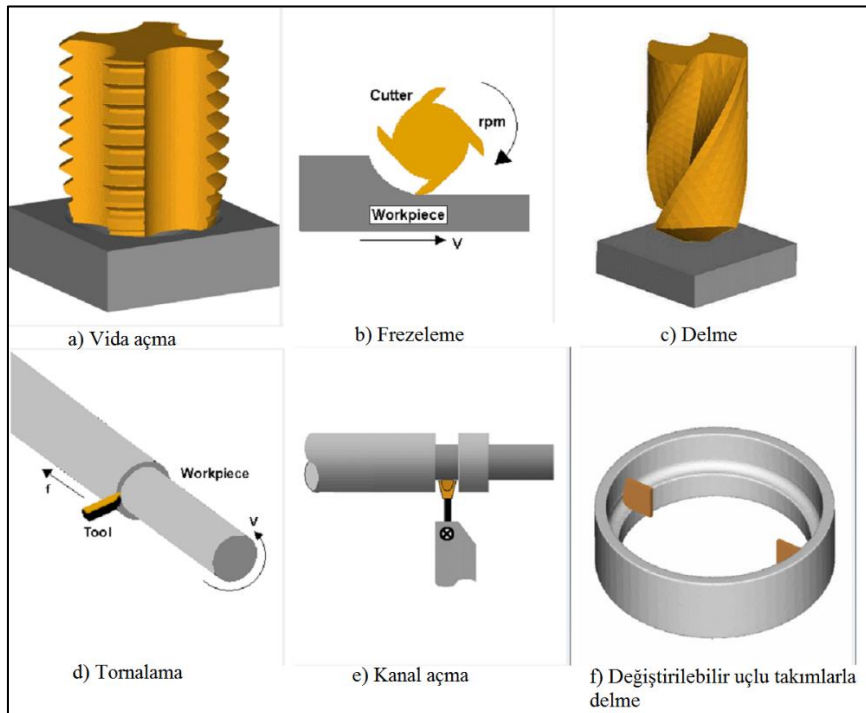
$$\sigma = [(A + B\varepsilon^n) \left[1 + C \ln\left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0}\right) \right] \left[1 - \left(\frac{T - T_r}{T_m - T_r}\right)^m \right]] \quad (2.20)$$

Bu eşitlikte; σ gerilmeyi, A akma gerilmesini, B şekil değiştirme sertleşme katsayısını, C şekil değiştirme hızı katsayısını, ε şekil değiştirme hızını, $\dot{\varepsilon}$ plastik şekil değiştirme hızı $\dot{\varepsilon}_0$ referans şekil değiştirme hızı, n sertleşme üstelini, m ısıl yumuşa değerini, T sıcaklığı, T_r referans sıcaklığı, T_m malzemenin ergime sıcaklığını ifade etmektedir.

2.4.3. AdvantEdge yazılımı

Geçmişte deneysel olarak araştırılan birçok mühendislik problemini günümüzde gelişen teknolojik imkânlar sayesinde ve çeşitli bilgisayar yazılımlarının varlığıyla birlikte bilgisayar ortamına taşınabilmektedir. AdvantEdge, talaş kaldırma işlemleri için önde gelen malzeme tabanlı modelleme yazılımı ve hizmetleri geliştirmektedir. Yenilikçi üretim şirketleri, parça başı maliyetlerini önemli ölçüde azaltmak, tasarım döngülerini hızlandırmak ve parça kalitesini artırmak için bu çözümleri uygulamaktadırlar. Bu da üreticilerin daha verimli ürünler üretmesini sağlamakta olup ulusal ve uluslararası rekabet gücünü arttırmaya yardımcı olmaktadır. AdvantEdge yazılım ürünleri, önde gelen havacılık, otomotiv, medikal ve kesici takım şirketleri tarafından işleme süreçlerini iyileştirmek için kullanılmaktadır. AdvantEdge yazılımı talaşlı imalatçıların işlemede kullandığı kesici takımların takım ömrünü arttırırken, işleme süresinde frezeleme operasyonlarında %35, diğer operasyonlarda %20 iyileşme sağlamıştır. Şu anda, F-35 ve F-135 projeleri için 50’den fazla havacılık sanayi tedarikçisi AdvantEdge yazılımını kullanmaktadır (www.sbir.gov, 2017).

AdvantEdge, talaşlı imalatta kullanılan birçok imalat yönteminin 2B ve 3B’lu simülasyonu ve analizlerinin yapılabildiği bir sonlu elemanlar yazılımıdır. Yazılımda simülasyonu yapılabilecek imalat yöntemleri Şekil 2.9’da verilmiştir.



Şekil 2.9. AdvantEdge programı kullanılarak yapılabilen talaşlı imalat simülasyonları

Literatür incelendiğinde sonlu elemanlar yöntemine dayalı AdvantEdge yazılımı kullanılarak birçok çalışmanın yapıldığı ve analiz sonuçlarının deney sonuçlarıyla karşılaştırıldığında büyük oranda uyumlu olduğu görülmektedir.

Muhamad ve diğerleri (2019), AdvantEdge yazılımında frezeleme simülasyonu koşturmuşlar, kuru kesme ve kriyojenik soğutma ile kesme koşullarındaki yüzey kalitelerini incelemişlerdir. Mitrovic ve diğerleri (2018), frezeleme simülasyonu koşturmuşlar, değişik kesme hızlarında kesme bölgesindeki sıcaklık değişimlerini incelemişlerdir. Pervaiz ve Kannan (2018), tornalama simülasyonu koşturmuşlar, talaş açısının kesme kuvvetleri üzerine etkisini incelemişlerdir. Watmon ve diğerleri (2016), AdvantEdge yazılımında tornalama simülasyonu koşturmuşlar, iş parçasında oluşan sıcaklık dağılımını incelemişlerdir. Han ve Wu (2010), AdvantEdge yazılımında delme simülasyonu koşturmuşlar, sıcaklık, itme kuvvetleri ve oluşan talaş biçimini deneysel ve nümerik olarak incelemişler ve karşılaştırmışlardır.

3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

3.1. Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Yapılan Nümerik Çalışmalar

Oezkaya ve Biermann, kesme işlemi esnasında oluşan tork değerlerini tahmin etmek için 3B sonlu elemanlar metodunu kullanarak vida açma simülasyonu için farklı derecelerde bölümlendirilmiş iş parçalarına deneyler yapmışlar ve matematiksel model oluşturmuşlardır. Belirli bir istatistiksel anlamlılık seviyesine ulaşmak için kılavuz başına beş deney yapmışlardır. Ölçümlerini Kistler 9255 platformunda gerçekleştirmişlerdir. İş parçası malzemesi olarak AISI 1045 alaşım çeliğini seçmişler ve dört farklı M8 kılavuz kullanmışlardır. Kesme hızını 12 m/min, ilerlemeyi 1,25 mm, kesme derinliği 15 mm olarak belirlemişlerdir. Tork eğrisini; LavView ve DIAdem ölçüm yazılımlarını kullanarak oluşturmuşlardır. Çalışmalarının simülasyon kısmını geliştirdikleri ToolSimulation yazılımı programında koşturmuşlardır (ToolSimulation Deform yazılımına entegre çalışmaktadır). Geometrinin karmaşıklığına bağlı olarak, üç boyutlu modellerin simülasyonunun uzun bir hesaplama süresi gerektirdiğini vurgulamışlardır. Çalışmalarında en iyi sonucu 15° dilimli iş parçasında ve model 4'te elde ettiklerini belirtmişlerdir (Oezkaya ve Biermann, 2017).

Oezkaya ve Brierman, farklı kılavuz takımlarda oluşan torku belirlemek için otomatik bir yazılım modülü geometrik tork tahmin yöntemi (GTPM) geliştirmişlerdir. İş parçası malzemesi AISI 1045 ve AISI 304, malzemeye göre kesme hızı sırasıyla 12 m/min ve 6 m/min'dir. M3, M6, M8 ve M10 kılavuzlarda ilerleme hızlarını sırasıyla 0,5 mm, 1 mm, 1,25 mm ve 1,5 mm olarak belirlemişlerdir. Bu parametreler ile 3B sonlu elemanlar yöntemi simülasyonları ve deneysel testler gerçekleştirmişlerdir. Deneysel testleri simülasyon sonuçlarını doğrulamak için yapmışlardır. Geliştirdikleri GPTM yönteminde bu dört kılavuzdan elde ettikleri sonuçlarla M12, M14, M16 ve M18 kılavuzlarda oluşacak tork değerlerini tahmin etmişlerdir. Elde ettikleri deneysel tork değerlerini tahmini değerler ile karşılaştırarak iyi bir uyum gözlemlemişlerdir (Oezkaya ve Brierman, 2018).

Biermann ve Oezkaya, S355J2 kodlu malzemeye düz kanallı M8 kılavuz ile 20 m/min kesme hızında, 1,25 mm ilerleme hızında, 15 mm derinliğinde vidalar açmışlardır. Takım aşınmalarını azaltmak için, kılavuz iç soğutma suyu kanalı tasarımı için Ansys yazılımında Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) simülasyonu koşturmuşlardır. CFD simülasyonunun sonucunda kesme kenarlarının soğutucu ile yeterli miktarda

soğutulamadığını gözlemlemişlerdir. Bu nedenle, iç soğutucu kanallarının tasarımını bu simülasyon sonuçlarına dayanarak değiştirmişlerdir. CFD simülasyonunu doğrulamak için, optimize edilmiş bir takım kullanarak deneyler yapmışlardır. Yapılan değişiklikler ile takım aşınmasının azaldığını ve takım performansını yaklaşık %36 oranında arttığını belirtmişlerdir (Biermann ve Oezkaya, 2017).

Muhamad ve diğerleri, AISI 4340 alaşım çeliğini 180 ve 200 m/min kesme hızlarında, 0,1;0,2;0,3 mm/diş ilerlemeyle, 0,3 ile 0,7 mm kesme derinliğinde frezeleme yöntemiyle işlemişlerdir. Çalışmalarının simülasyon kısmını AdvantEdge yazılımını kullanarak 2 boyutlu yapmışlardır. İşleme parametrelerinin kesme sıcaklığına etkisine ve AISI 4340 alaşımlı çeliğin frezelenmesi sırasında kuru ve kriyojenik soğutmayla kesme koşullarındaki yüzey pürüzlülük değerlerini karşılaştırmışlardır. İşleme esnasında oluşan sıcaklığı belirleyen en önemli parametrenin kesme hızı olduğunu, yüzey pürüzlülüğünün ilerlemenin artmasıyla birlikte arttığını, talaş derinliğinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde daha az etkiye sahip olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca kriyojenik işlemenin, kuru işlemeye göre %14-24 oranında daha az yüzey pürüzlülüğü oluştuğunu belirtmişlerdir (Muhamad ve diğerleri, 2019).

Mitrovic ve diğerleri, solidworks üç boyutlu katı modelleme programında vida açma frezesi ve 30CrNiMo8 ıslah çeliğini malzemesi modellemişlerdir. İşleme parametrelerini 0,25;0,29 ve 0,34 m/min olan üç farklı kesme hızı, sabit 0,045 mm/diş ilerleme ve 1 mm sabit kesme derinliği olarak belirlemişlerdir. AdvantEdge simülasyon ve analiz programını kullanarak işleme sırasında oluşan sıcaklık değişimlerini araştırmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre AdvantEdge programında, kesme alanındaki sıcaklıkların simülasyon çözümlerinin büyük güvenilirlikle yapılabileceğini belirtmişlerdir (Mitrović ve diğerleri, 2018).

Korkmaz ve diğerleri, Al2014 alüminyum alaşımını 14 mm çapında sementit karbür matkapla 170, 200 ve 230 m/min olan üç farklı kesme hızında ve 0,1;0,2 ve 0,3 mm/rpm olan üç farklı ilerleme hızında delmişlerdir. Deney sonuçları ile analiz sonuçlarını kıyaslamışlar. Elde ettikleri deneysel sonuçlara göre; sabit ilerleme hızlarında kesme hızının %35 artırılmasıyla itme kuvvetlerinin sırasıyla; %9,1, %12,8 ve %18,6 düştüğünü belirtmişler. Ayrıca sabit kesme hızlarında, ilerleme hızının 0,1 mm'den 0,3 mm'ye çıkarılmasıyla, itme kuvvetlerinin sırasıyla, %23,9, %16,1 ve %11 arttığını belirtmişler. AdvantEdge programını kullanarak gerçekleştirdikleri delme simülasyonlarının deney

sonuçlarındaki verilerle ortalama %7 sapma gösterdiğini belirtmişlerdir (Korkmaz ve diğerleri, 2019).

Abouridouane ve diğerleri, C05, C45 ve C75 ferritik ve perlitik karbon çelikleri üzerinde; 35 m/min kesme hızında, 0,12 mm/rpm ilerleme hızında, 0,1;0,2;0,3;0,4;0,5;0,6;0,8 ve 1 mm çaplarında karbür matkaplarla mikro delme işleminin modelini oluşturmuşlardır. Araştırdıkları karbon çelikleri için JC denklem parametrelerini Split – Hopkinson basınç bar testi ile belirlemişlerdir. Mikro yapının mikro delme işlemindeki etkisini araştırmak için, biri izotropik malzeme davranışına sahip, diğeri karışım malzeme modeline sahip iki tip simülasyon yapmışlardır. Simülasyonları Deform 3D sonlu elemanlar programını kullanarak koşturmuşlardır. Mikroyapı tabanlı 3B sonlu eleman modelini; talaş oluşumu, ilerleme kuvveti ve tork değerleri açısından doğrulamışlardır. Karışım malzemesinin, izotropik davranış gösteren malzeme modeline kıyasla ilerleme kuvveti ve tork değerlerinin %60 oranında artırıldığını belirtmişlerdir. Mikro delme simülasyonlarında talaş oluşumunu gerçekçi bir şekilde elde etmişlerdir (Abouridouane ve diğerleri, 2013).

Wu ve diğerleri, Ti6Al4V titanyum alaşımı malzemesini hem deneysel olarak incelemişler hem de Abaqus/Explicit sonlu elemanlar programında 3B delmenin simülasyonunu koşturmuşlardır. Deney ve simülasyonları 8,5 mm çapında 25° helis açılı derin kanallı matkap ile 555, 800 ve 1140 rpm/min olan 3 farklı kesme hızında, 28, 43, 65 ve 100 mm/min olan dört farklı ilerleme hızında ve kuru kesme şartlarında işlemişler, delik kalitesini incelemişlerdir. Deney sonuçları ve simülasyon sonuçlarını karşılaştırdıklarında sonuçların yakınsadığını, sonlu eleman modelinin doğru olduğunu belirtmişlerdir. Yüksek delme hızlarının Ti6Al4V delme işleminde açık bir şekilde delik kalitesini arttırdığını belirtmişlerdir (Wu ve diğerleri, 2012).

Han ve Wu, delme işleminde oluşan tork ve itme kuvvetlerini incelemişlerdir. Simülasyonları AdvantEdge yazılımında koşturmuşlardır. İş parçaları olarak; AISI 1045 çeliğini ve Ti6Al4V titanyum alaşımını, kesici takım olarak Çin Standardı f 6,8 çapında HSS matkap kullanmışlardır. 17 m/min kesme hızında, 0,224 mm/rpm ilerleme hızında matkap ucunun dış kenarındaki sıcaklığın, Ti6Al4V malzemesinin delinme sıcaklığı olan 400°C'den daha yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir. Ti6Al4V delinmesindeki delme sıcaklığının AISI 1045'in delinmesindeki sıcaklıktan daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Ti6Al4V malzemesinin işlenmesinde oluşan tork değerinin AISI 1045 malzemesinin işlenmesinde

oluşan tork değerinden daha küçük olduğunu belirtmişlerdir. Ti6Al4V malzemesinin işlenmesinde oluşan itme kuvvetinin ise, AISI 1045 malzemesinin işlenmesinde oluşan itme kuvvetinden daha büyük olduğunu vurgulamışlardır. Simülasyon sonuçları ile deney sonuçları arasındaki hataların %20'den az olduğunu ve sonlu elemanlar metodunun delme işlemlerini incelemek için yararlı bir araç olduğunu belirtmişlerdir (Han ve Wu, 2010).

Pervaiz ve Kannan, Inconel 718 malzemesini Sialon kesici takımla 300 m/min kesme hızı, 0,15 mm/rpm ilerleme hızında, 1 mm talaş derinliğinde, 0°, 5°, 10°, 15°, 20° ve 25° değişik talaş açılarıyla ve kuru kesme şartlarında AdvantEdge yazılımında tornalama simülasyonu yapmışlardır. Talaş açısının; kesme kuvveti bileşenleri üzerine çok az etkisinin olduğunu, güç tüketimine karşı ihmal edilebilir bir role sahip olduğunu ve itme kuvveti bileşenlerinin talaş açısına çok az duyarlı olduğunu tespit etmişlerdir. Sonuçlarının mevcut kaynakların sonuçlarıyla uyumlu olduğunu ve talaş açısının kesme sıcaklığını biraz azalttığını belirtmişlerdir (Pervaiz ve Kannan, 2018).

Watmon ve diğerleri, AISI 1045 alışım çeliğini TiN kaplamalı tungsten karbür kesici ile 325 m/min kesme hızında, 0,28 mm/rpm ilerlemede, 1 mm talaş derinliğinde torna tezgahında deneysel olarak incelemişlerdir. Simülasyonları AdvantEdge yazılımında koşturmuşlardır. Maksimum sıcaklık ve plastik gerilmenin takım-talaş temas arayüzü boyunca takım ucundan uzakta gerçekleştiğini ve simülasyonun plastik gerilme kriteri nedeniyle talaş ayrılmasını gerçekleştirdiğini gözlemlemişlerdir. Takım ömrü açısından deney sonuçları ve simülasyon sonuçları arasında %90 uyum sağlandığını ve deneylerden çıkan talaş şekli ile analizlerde oluşan talaş şekli arasında %95 uyum sağlandığını belirtmişlerdir (Watmon ve diğerleri, 2016).

Akram ve diğerleri, Al6061 alüminyum alaşımlı malzemeden bir numuneyi tornalama işlemiyle teste tabi tutmuşlar ve artık gerilmeleri incelemişlerdir. Artık gerilmelerin, kesme hızı ve ilerleme hızına nasıl etki ettiğini, Abaqus programı ile iki boyutlu olarak simüle etmişlerdir. Bu operasyonda 250, 500 ve 750 m/min kesme hızı ve 0,1;0,2 ve 0,3 mm/rpm ilerleme değerlerinde dik kesme yöntemini kullanmışlardır. Kesme hızındaki değişimin artık gerilmelere tesiri olmadığını, diğer yandan ilerleme hızındaki değişimlerin artık gerilmeler üzerinde etkili olduğunu gözlemlemişlerdir. İlerleme hızı ile artık gerilmeler arasındaki bağlantının çok fazla araştırmaya tabi tutulması gerekliliğini belirtmişlerdir (Akram ve diğerleri, 2015).

Dinç ve diğerleri, Al7075 alüminyum malzemesini 6° ve 8° talaş açılı takım ile 160 m/min ve 200 m/min kesme hızlarında, 0,05;0,1;0,15 ve 0,20 mm ilerleme hızlarında 16 adet deney yapmışlardır. AISI 1050 genel imalat çeliğinde ise, 6° ve 8° talaş açılı takım ile 40 m/min, 60 m/min ve 80 m/min kesme hızlarında, 0,025;0,05;0,075 ve 0,1 mm ilerleme hızlarında 24 adet deney yapmışlardır. Takım sıcaklık dağılımını göz önüne alarak, önceden geliştirilen bir sonlu fark zaman bölgesi sıcaklık tahmin modelini doğrulamak için bir kızıl ötesi kamera yardımıyla tornalama işlemini gerçekleştirmişler. Takımdaki sıcaklık dağılımı simülasyon çıktılarını MatLab'dan elde etmişlerdir. Maksimum takım-talaş ara yüzü sıcaklığının artan kesme hızıyla ve artan ilerleme hızı ile birlikte arttığını belirtmişlerdir. Farklı takım geometrileri, farklı kesme ve ilerleme hızları için yapılan deney sonuçlarının, ortalama ve maksimum takım-talaş ara yüzey sıcaklığı ve takım yüzündeki sıcaklık dağılımı dikkate alındığında, simülasyon sonuçları ile yakınsadığını belirtmişlerdir (Dinç ve diğerleri, 2008).

Şeker ve Kurt, uçak ve uzay aracı endüstrilerinde, nükleer güç sistemlerinde ve buhar jeneratörlerinde kullanılan nikel bazlı süper alaşımlı Inconel 718'in işlenmesinde kesici takım gerilmeleri için matematiksel bir model geliştirmişlerdir. Kesme kuvvetlerini bir dizi deneysel ölçümle ölçmüşler ve kesici takım üzerindeki gerilme dağılımlarını Ansys yazılımı kullanılarak sonlu elemanlar yöntemi ile analiz etmişlerdir. Kesme parametleri olarak 225, 300, 350, 400 ve 500 m/min kesme hızlarını ve 0,05;0,075;0,1;0,125 ve 0,15 mm/rpm ilerleme hızlarını seçmişler ve toplam 50 deney gerçekleştirmişlerdir. Birincil kesme kuvveti, ilerleme kuvveti, pasif kuvvet ve takım-talaş temas alanına dayalı olarak geliştirilen modelle ilgili gerilme değerlerinin tahmin edilebileceği göstermişlerdir. Model sonuçlarını Ansys sonuçları ile karşılaştırıldıklarında, model sonuçlarının ansys gerilme sonuçları ile yakınsadığını belirtmişlerdir (Şeker ve Kurt, 2006).

Patrascu ve Carutasu, AISI 1045 iş parçası malzemesinin tornalanmasında oluşan kesme kuvvetleri ve bileşke kuvvetleri incelemişlerdir. Deneyleri ve simülasyonları 0° ile 10° talaş açılı, 7° boşluk açılı takımlar ile 133 ve 209 m/min kesme hızlarında, 0,125 ve 0,25 mm/rpm ilerleme hızlarında, 1,5 mm kesme derinliğinde gerçekleştirmişlerdir. Takımları ve iş parçasını CATIA 3B tasarım programında modellemişlerdir. Simülasyonları Deform 3D programında koşturmuşlardır. Kesme kuvvetleri ve bileşke kuvvetler açısından simülasyon sonuçları ile deney sonuçlarıyla karşılaştırmışlar ve %10'luk bir fark olduğu belirtmişlerdir (Patrascu ve Carutasu, 2007).

3.2. Deneysel Çalışmalar

Kayır, AISI 1050 imalat çeliğine dört farklı çapta 8,3;8,4;8,5 ve 8,6 mm delik delmiştir. Bu deliklere M10×1,5 mm TiN kaplamalı ve kaplamasız HSS kılavuzlar ile 10 m/min kesme hızında, 318 rpm/min ve 1,5 mm ilerlemeyle vidalar açmıştır. Vidaların açılması sırasında kılavuzlarda oluşan kesme kuvvetlerini ve torku, Kistler 9272 dört bileşenli dinamometre ve ekipmanları ile ölçmüştür. Çalışmasında 32 adet deney ve 32 adet de doğrulama deneyi olmak üzere toplam 64 adet deney yapmıştır. Matkap delik çapının vida dış dibi çapından küçük delinmesi durumunda oluşan torkun arttığını bunun zıttı durumda ise torkun azaldığını gözlemlemiştir. Küçük delik çaplarında torkun artmasıyla kılavuzun kırılmaya karşı göstereceği direncin azalacağını belirtmiştir. Kaplamalı takımlarda oluşan esas kesme kuvveti ve tork değerlerinin kaplamasız takımlara göre daha düşük olduğunu açıklamıştır. Deneylerinde kullandığı kılavuzlardan en iyi sonuçları 15° uçlu düz kanallı kılavuzlardan elde ettiğini belirtmiştir (Kayır, 2010).

Monka ve diğerleri, iç vida açma işlemleri sırasında oluşan kılavuz hatalarını incelemiştir. Kesme hızı ve helis açısının seçilen kılavuzların dayanıklılığı üzerindeki etkilerini ve işleme sırasında oluşan takım aşınması tiplerini incelemiştir. Deney malzemesi olarak C45 imalat çeliğini seçmişlerdir. M12 vida açmak için üç farklı helis açılı kılavuz kullanmışlardır. Deney çalışmasını birkaç aşamada gerçekleştirmişlerdir. Başlangıçta hem işlenmiş malzeme hem de takım geometrisi ile ilgili girdi parametrelerinin doğrulanması için ön deneyler yapmışlardır. Deneylerin ana aşamasında, takım ömrünü takım tedarikçi firması tarafından önerilen kesme hızlarında ve daha sonra da daha yüksek kesme hızlarında test etmişlerdir. Takım dayanıklılığının ve dış uzunluğunun her iki parametreye olan bağımlılığını tanımlayan denklemleri deneysel olarak elde edilen verilere dayanarak geliştirmişlerdir. Kılavuzların titreşim, işlem stabilitesinin izlenmesi ve işleme sırasında takım davranışını erken tanımlama ile bir takım hatasını öngörme olasılığının tahminini oluşturmuşlardır. Takım aşınmasının yoğunluğunun sadece kesme hızından değil, aynı zamanda kılavuzun eğim açısından da etkilendiğini belirtmişlerdir. Kılavuz hatasının çeşitli şekillerde görülebileceğini ve kılavuz aşınmasının titreşim yoluyla tespit edilmesinin mümkün olduğunu doğruladığını belirtmişlerdir. 30 m/min kesme hızında en yüksek dayanıklılığın 15° helis açılı kesicide görüldüğünü, 40 m/min kesme hızında ise en yüksek dayanıklılığın 0° helis açısına sahip kılavuzdan elde etmişlerdir. Fakat genel olarak en yüksek

dayanıklılığı 35° helis açılı takımında elde ettiklerini belirtmişlerdir (Monka ve diğerleri, 2019).

Araujo ve Fromentin, iki biyo-materyali frezeleme yöntemiyle işleyerek mini deliklere M2 iç vida açmışlardır. Diş frezeleme işleminin geometrik analizi ve deneylerle ilgili kesme kuvvetinin mekanik modellemesini oluşturmuşlardır. Deneylerinde; Ti6Al4V titanyum alaşımlı iş parçası ve su bazlı emülsiyonlu Cr-Co alaşımı olan Ramor 400 kullanmışlardır. Delme işlemleri için MWS0160SB kodlu 1,6 çapında matkap, vida açma işlemi için H5087006-M2 kodlu TiCN kaplamalı helisel kılavuz kullanmışlardır. Kesme hızını 0,025 ve 0,035 mm/diş, diş adımını 0,4, 0,8 ve 1,2 mm olarak belirlemişlerdir. Takım çapı ile delik çapı arasındaki farkın çok küçük olduğunu ve bunun penetrasyondan etkilenen alanı arttırdığını, analiz edilen her iki malzemenin de farklı ilerleme hızlarında meydana gelen ortalama kuvvetlerin çok büyük farklılık göstermediğini belirtmişlerdir (Araujo ve Fromentin, 2017).

Uzun ve Korkut, CNC dik işleme tezgâhında AISI 304 paslanmaz çelik malzemesine, M5×0,8 mm ve M6×1 mm HSS-E makine kılavuzlarıyla dört farklı kesme hızında (4, 6, 8 ve 10 m/min) ve dört farklı kesme derinliğinde (3, 5, 8 ve 20 mm) vida açmışlardır. Vida açma sırasında oluşan torku ve kesici takım ömrünü incelemişlerdir. Her iki kesicide de en düşük ve en yüksek kesme derinliği sonuçlarında yüksek kesme torkları elde etmişlerdir. Vida açma işlemlerinde kesici ağızlara yapışan talaşın takım ömrünü önemli derecede etkilediğini ve kırılmalara sebep olduğunu, kesme derinliğinin artmasının kesme torkunu doğrudan etkilediğini ve takım ömrünü etkileyen kesme derinliği değerlerini tespit etmişlerdir (Uzun ve Korkut, 2016).

Zemann, doğrudan karbon fiber takviyeli polimer (CFRP) bir malzemeye vida açmış olup oluşan yük kapasitelerini incelemiştir. Önceden reçine edilmiş bir örnek hazırlamış ve sertleştirmeyi otoklav döngüsü ile yapmıştır. Malzemeye KD201042 ve KD201068 kodlu takımlar ile ön delikler delmiştir. Vida açma işlemini 252 m/min kesme hızında, 900 mm/min ilerleme hızında, 110GF-M5 ve 110GF-M8 kodlu diş frezeleriyle CNC dik işleme merkezinde açmıştır. Açılan vidaları çekme test cihazıyla test etmiştir. Testlerin sonucunda, M5 için ortalama 4,42 kN ve M8 için ortalama 6,56 kN yük kapasitesi oluştuğunu belirtmiştir. Bir karbon fiber takviyeli polimere (CFRP) doğrudan vida açmanın mümkün olduğunu vurgulamıştır (Zemann, 2016).

Khoshdarregi ve Altıntaş, kesme kuvvetlerini kalibre etmek için 5 mm adımlı bir V profilili dış ucuyla, 176 mm çapında 2 mm et kalınlığına sahip AISI 1045 çelik boruya 150 m/min kesme hızında, 0,075 ve 0,15 mm/pass ilerleme hızında ve 0,25 mm'den 0,25 mm artışlarla 2,25 mm'ye kadar (2,25 mm dahil) değişen talaş derinliklerinde vida açma deneyleri yapmışlardır. Kuvvetleri 3 eksenli Kistler 9121 torna dinamometresi kullanarak ölçmüşler ve verileri CUTPRO MALDAQ yazılımından almışlardır. En iyi kesme kuvvetlerinin 1,65 mm talaş derinliğinde, 0,075 ilerleme ile 928 N olarak gerçekleştiğini belirtmişlerdir. Ayrıca vida açma sırasında takıma talaş yapışması sonucunda yüklerin arttığını ve dolayısıyla takım ömrünün azaldığını vurgulamışlardır (Khoshdarregi ve Altıntaş, 2015).

Uzun, TiAlN kaplamalı ve kaplamasız beş farklı M8 kılavuz kesici ile Ti6Al4V titanyum alaşımlı malzemeye vida açmıştır. Deneyleri; dört farklı kesme hızında (2, 3, 4 ve 5 m/min), 1,25 mm ilerleme hızında soğutma sıvısıyla ve kuru kesme şartlarında gerçekleştirmiştir. Vida açma sırasında oluşan torku incelemiştir. Deneyler sonucunda oluşan tork değerleri bakımından en iyi sonucu eğik ağız bilemeli düz oluklu takımlarda elde etmiştir. Kaplamalı takımlardan aldığı tork verilerinin kaplamasız takımlara göre yüksek çıktığını tespit etmiştir. Soğutma sıvısı kullanılarak yapılan kesme işlemlerinde oluşan torkta artışlar gözlemlemiştir. Kesme performansı bakımından en iyi takımların eğik ağız bilemeli düz oluklu takımlar olduğunu vurgulamıştır. Eğik ağız bilemeli düz oluklu takımlarla bütün kesme parametrelerinde yaptığı deneylerde diğer takımlara göre tork bakımından %10 ile %74 arasında azalmaların olduğunu belirtmiştir (Uzun, 2013).

Kuo, TB340C (%99,8) titanyum iş parçasına M3×0,5 mm ve M3,5×0,6 mm kılavuzlar ile kılavuzlara 18,000 ile 20,000 Hz ultrasonik titreşim uygulayarak, 50 rpm devirde, 25 mm derinlikte kuru ve yağlı işleme koşullarında vidalar açmıştır. Derin ve küçük çaptaki deliklere vida açmada sıkça rastlanan kesici takım kırılmalarının nedenlerini incelemiş ve çözüm önerileri sunmuştur. Titanyum numunesine vida açarken oluşan yüksek torku kesici takım kırılmalarının sebebi olarak açıklamıştır. Büyük tork değerlerinin meydana gelmesini ise, titanyum numunesinin esneklik özelliğinin kesici takım ve iş parçasının etkileşim yüzeyinde daha çok sürtünme mukavemeti oluşmasıyla açıklamıştır. Kesici takım kırılmalarının önlenmesi için, vida açma esnasında oluşan torkun azaltılması gerekliliğini vurgulamıştır. Deneylerde oluşan titreşimin, sürtünme mukavemetinin azaltılmasındaki etkilerini belirlemiştir. Belirli frekans aralıklarında uyguladığı titreşimlerin, kılavuz kesicinin delik içerisinde ilerlerken ve delikten çıkması anında meydana gelen ani tork

dalgalanmalarını düşürdüğünü açıklamıştır. Ayrıca kullandığı belirli frekans değerlerinin, açılan vida şeklini bozmadığını belirtmiştir (Kuo, 2007).

Veldhuis ve diğerleri, çok ince flor katkılı kesme sıvısının 3Cr2Mo malzemesine vida açma işlemi esnasında kesici takım ve deney numunesi arasında oluşan aşınmaya etkilerini araştırmışlardır. Deneyleri 3/8" x 16 inç düz kanallı, eğik ağız bilemeli ve helis kanallı HSS kılavuzlar ile 8 m/min kesme hızında, 260 rpm devirde ve 1,587 mm/rpm ilerleme hızında gerçekleştirmişlerdir. Deney örneklerinin bir kısmını kuru kesmeye, bir kısmını da çok ince flor katkılı kesme sıvısına tabi tutmuşlardır. Uyguladıkları flor katkılı kesme sıvısının 400°C ile 455°C gibi sıcaklıklarda sürtünmeyi %18 oranında düşürdüğünü gözlemlemişlerdir. SEM mikroskobu yardımıyla inceledikleri kılavuzların yüzeylerinde mikro seviyede kırılmalar oluştuğunu gözlemlemişlerdir. Soğutucu olarak kullanılan çok ince flor katkılı kesme sıvısının kılavuz takımlar ile deney numunesi arasında oluşturduğu film tabakasının kesme kuvvetlerini %8 oranında azalttığını ve dolayısıyla takım ömrünü arttırdığını belirtmişlerdir (Veldhuis ve diğerleri, 2007).

Armarego ve Chen, düz kanallı kılavuzlarla vida açma işlemlerinde oluşan tork ve itme kuvvetleri tespiti için akıllı kesim modeli adını verdikleri bir model oluşturmuşlardır. Bu modelde kesme hızı, kaplama, kılavuz kanal tipi ve kesme geometrisi parametrelerini kullanmışlardır. AISI 12L14 karbon çeliği üzerinde 3 farklı çapta kılavuz, adım ve pah açısıyla 27 adet deney yapmışlardır. Deney sonuçlarını model sonuçları ile karşılaştırmışlardır. Kılavuz takımlarla vida açma operasyonlarında bu modelin kullanılabilir olduğunu belirtmişlerdir. (Armarego ve Chen, 2002).

Dogra ve diğerleri, Gri dökme demir, A1319 ve A1356 iş parçalarına dört farklı formdaki kılavuzlarla vida açma işlemi sırasında oluşan tork ve kesme kuvvetlerini tahmin etmek için bir model oluşturmuşlardır. Model için kılavuz tipi, adımı, konik açısı ve helis açısı gibi parametreleri belirlemişlerdir. Kesme işlemi sonrasında deliklerde oluşan eksenel kaçıklık ve kılavuzlarda oluşan aşınmaları da oluşturdukları modele dahil etmişlerdir. Düz kanallı, sağ helis ve sol helis kanallı kılavuzlar için vida açma sonucunda oluşan tork ve kesme kuvvetlerinin deneysel verilerle %90 uyumlu olduğunu belirtmişlerdir (Dogra ve diğerleri, 2002).

3.3. Literatür Araştırması Değerlendirmesi

Geometrinin karmaşıklığına bağlı olarak, üç boyutlu modellerin simülasyonu uzun bir hesaplama süresi gerektirir. Vida açma işlemleri gibi karmaşık geometriye sahip 3B FEM simülasyonu, genellikle endüstriyel uygulamaya kapalı kalmaktadır. Bu durumun sebebi literatür incelemelerinde bu çalışmaya benzer çalışma gerçekleştiren Dr. Oezkaya'ya da sorulmuştur. Oezkaya, Deform yazılımını kullanarak bir kılavuz ile tam boy vida açma üzerine bir çalışma yaptığını belirtmiş; Deform yazılımının kullanıldığı bir simülasyonun koşturma zamanının 181 gün sürdüğünü aktarmıştır. Çalışmada kullandığı parametreleri Deform yazılımı yetkililerine ileterek bu durumun nedenini araştırmıştır. Deform yetkilileri, çalışma parametrelerini aynı şekilde kullanarak yaptıkları simülasyonun da 181 gün süreceğini belirtmişlerdir. Bunun üzerine Oezkaya vida açma simülasyonunun çözüm süresini kısaltmak için yeni matematiksel modeller oluşturarak Deform yazılımına entegre çalışan ToolSimulation yazılımını geliştirmiştir (Oezkaya ve Biermann, 2017).

Literatür incelemesi, nümerik çalışmalar ve deneysel çalışmalar olmak üzere sırasıyla Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2'de tablo halinde verilmiştir. Literatür araştırması sonucunda vida açma teknolojisi üzerine farklı işleme yöntemleriyle birçok nümerik ve deneysel çalışmaların yapıldığı görülmüştür. Simülasyon ve analiz programları kullanılarak makine kılavuzu ile vida açma çalışmalarının ise çok az sayıda ve farklı programlarda (Ansys CFX, ToolSimulation) yapıldığı görülmüştür.

AdvantEdge yazılımı ile yapılan çalışmaların genellikle tornalama, frezeleme ve delik delme işlemlerinin simülasyonları üzerine olduğu görülmüştür. Araştırılan konuların ise, esas kesme kuvveti, tork değerleri ve kesme esnasında oluşan sıcaklık tahmini üzerine yoğunlaştığı saptanmıştır. Bu çalışmada ise vida açmanın simülasyonu ve analizi yapılmış olup simülasyonlar sonucunda kesme esnasında oluşan esas kesme kuvveti, tork, talaş oluşumu ve takım gerilmeleri incelenmiştir.

Çizelge 3.1. Literatürde incelenen nümerik çalışmalar

NÜMERİK ÇALIŞMALAR				
Referans	Kullanılan FEM yazılımı	Kullanılan Malzeme ve Kesici Takım	İşleme Parametreleri	Araştırılan Konu
Korkmaz ve diğerleri, 2019	Third Wave AdvantEdge	Al2014 Ø14 mm Karbür Matkap	0,1;0,2;0,3 mm/rpm ilerleme ve 170, 200, 230 m/min kesme hızı	Al2014 malzemesinin delinmesinde deney ve analiz sonuçlarında itme kuvvetini karşılaştırmışlardır.
Muhamad ve diğerleri, 2019	Third Wave AdvantEdge	AISI 4340 alaşımlı çelik, DNMA432 tip karbür uç	0,1;0,15;0,2 mm/diş ilerleme, 0,3;0,5;0,7 mm kesme derinliği ve 180, 200, 220 m/min kesme hızı	AISI 4340 alaşımlı çeliğinin frezelenmesi sırasında kuru ve kriyojenik soğutmayla, kesme koşullarındaki yüzey kalitesi karşılaştırması yapmışlardır.
Oezkaya, E. ve Biermann, D., 2018	GPTM (geometrical torque prediction method)	AISI 1045 ve AISI 304 M3; M6; M8; M10 karbür kılavuz	0,5;1,0;1,25 ve 1,5 mm AISI 304 için 6 m/min ve AISI 1045 için 12 m/min kesme hızı	Geliştirilen geometrik tork tahmin yöntemi ile örneğin M10 kılavuz üzerine elde ettikleri tork değerlerini kullanarak M8;M6;M4 veya M12;M14;M16 kılavuzlarının tork tahmininde kullanmışlardır.
Mitrovic ve diğerleri, 2018	Third Wave AdvantEdge	30CrNiMo8, 3D parmak freze	0,045 mm/diş ilerleme, 1 mm talaş derinliği, 0,25;0,29;0,34 m/min kesme hızı	Farklı kesme hızlarında kesme bölgesindeki sıcaklık değişimlerini incelemişlerdir.
Pervaiz, S. ve Kannan S., 2018	Third Wave AdvantEdge	Inconel 718, Sialon kesici takım	0,15 mm/rpm ilerleme, 1 mm kesme derinliği, 3 mm kesme uzunluğu, 0, 5, 10, 15, 20, 25 eğim açısı	Talaş açısının kesme kuvvetleri üzerine etkisini incelemişlerdir.
Oezkaya, E. ve Biermann, D., 2017	ToolSimulation (Deform'a Entegre çalışabilen FEM yazılımı)	AISI 1045, M8 kılavuz	1,25 mm adım, 12m/min kesme hızı, 15 mm diş derinliği, Kesme yağı ile soğutulmuştur	Kılavuz takımlar gibi 3B karmaşık geometriye sahip takımların analiz süresini azaltmak için bir model ve ToolSimulation adlı yazılım geliştirmişlerdir.
Biermann, D. ve Oezkaya, E., 2017	Ansys CFX	S355J2, M8 kılavuz	48,8 Bar su akışkanı, 1,25 ilerleme, 15 mm diş kesme derinliği, 20 m/min kesme hızı	Standart düz kanallı bir kılavuz kesici takıma iç soğutma kanalı tasarımı yaparak takım aşınmasını ve performansını arttırmışlardır.
Watmon ve diğerleri, 2016	Third Wave AdvantEdge	AISI 1045, TiN kaplamalı Tungsten karbür	f= 0,28 mm/rpm, V= 325 m/min , 1 mm kesme derinliği ve 10 mm kesme boyu,	İş parçasında oluşan plastik gerilimi ve sıcaklık dağılımını incelemişlerdir.

NÜMERİK ÇALIŞMALAR				
Referans	Kullanılan FEM yazılımı	Kullanılan Malzeme ve Kesici Takım	İşleme Parametreleri	Araştırılan Konu
Akram ve diğerleri, 2015	Abaqus/Explicit	Al-6061 CCMW 09 T3 04 ISO standardında kesici uç	250, 500, 750 m/min kesme hızı, 0,1;0,2;0,3 mm/rpm ilerleme	Al-6061 alüminyum alaşımında işleme esnasında oluşan eş değer ve artık gerilmeleri incelemişlerdir.
Abouridouanea ve diğerleri, 2013	Deform 3D	C05, C45 ve C75 alaşım çeliği 0,1-1mm Karbür Matkap	V =35 m/min, f=0,012xd, 2xd kesme derinliği	Karbür matkaplarla mikro delme işlemlerinde oluşan kesme kuvveti ve oluşan torku deneysel ve analiz olarak incelemişlerdir.
Wu ve diğerleri, 2012	Abaqus/Explicit	Ti6Al4V titanyum alaşımı, 8,5 mm bükümlü derin kanallı matkap	555, 800 ve 1140 rpm/min üç farklı kesme hızı, 28, 43, 65 ve 100 mm/min dört farklı ilerleme	Yüksek delme hızlarında, Ti6Al4V titanyum alaşımını delme işleminde delik kalitesini incelemişlerdir
Han ve Wu, 2010	Third Wave AdvantEdge	AISI 1045 ve Ti6Al4V Çin standardı f 6,8 HSS matkap	0,056;0,112 ve 0,224 mm/min ilerleme, 6,7;10,7 ve 17 m/min kesme hızı	Malzemelerde delme işleminde oluşan sıcaklık, itme kuvvetleri ve oluşan talaşı deneysel ve nümerik olarak incelemişler ve karşılaştırmışlardır.
Dinc ve diğerleri, 2008	MatLab	Al7075 ve AISI 1050, Tungsten karbür kesici	Al7075 için 6°-18° talaş açısı, 160 ve 200 m/min kesme hızı, 0,05;0,1;0,15;0,2 mm/rpm ilerleme, AISI 1050 için: 6° ve 18° talaş açısı, 40,60 ve 80 m/min kesme hızı, 0,025;0,05;0,075;0,1 mm/rpm ilerleme	Takım-talaş arayüzü sıcaklığını deneysel ve nümerik olarak incelemişler ve karşılaştırmışlardır.
Patrascu ve Carutasu, 2007	Deform	AISI 1045 T-MAX U insert	0° ve 10° talaş açısı, 7° boşluk açısı, 133 ve 209 m/min kesme hızı, 0,125 ve 0,25 mm/rpm ilerleme hızı, 1,5 mm kesme derinliği	Üç boyutlu ortamda tasarlanan iş parçası ve kesici takımların nümerik analiz sonuçları ile deneysel çalışma sonuçları karşılaştırılarak sıfır hipotezi gerçekleştirilmiştir.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR			
Referans	Kullanılan Malzeme ve Kesici Takım	İşleme Parametreleri	Araştırılan Konu
Monka ve diğerleri, 2019	C45 çeliği M12 helis açılı makine kılavuzu	V= 10, 20, 30, 40 m/min f= 1,75 mm w = 0°, 15°, 35° helis açısı	Kılavuzların vibro-tanısı, işlem stabilitesinin izlenmesi ve işleme sırasında takım davranışını erken tanımlama ile bir takım hatasını öngörme olasılığının tahminini oluşturmuşlardır. Buna bağlı olarak takım ömrünü incelemişlerdir.
Araujo, A. C. ve Fromentin, G., 2017	Titanium alaşımı ve Cr-Co alaşımı Ramor 400, MWS0160SB kodlu 1,6 mm çapında matkap, H5087006-M2 kodlu TiCN kaplamalı M2 helisel kılavuz	V=0,025 ve 0,035 mm/diş, Adım 0,4; 0,8; 1,2 mm olarak belirlemişlerdir.	Malzemelerin işlenebilirliğini karşılaştırmak için, kesme derinliğine bölünen ortalama kuvvetin hesaplanabilirliğini incelemişlerdir.
Uzun, G. ve Korkut, İ., 2016	AISI 304 paslanmaz çelik, M5 ve M6 HSS-E makine kılavuzu	V= 4, 6, 8, 10 m/min, M5 için 0,8 mm adım M6 için 1 mm adım ve 3, 5, 8 ve 20 mm derinliklerinde	M5 ve M6 HSS-E kılavuzları ile farklı derinliklerde makine kılavuzlarında oluşan torku ve takım ömrünü incelemişlerdir.
Richard Zemann, 2016	CFRP karbon fiber takviyeli polimer, M5 ve M8 diş frezesi, M5 için KD201042 kodlu matkap, M8 için KD201068 kodlu matkap	V= 252 m/min f= 900 mm/min	CFRP karbon fiber takviyeli polimere diş açılmasında oluşan yük kapasitelerini incelemişlerdir.
Khoshdarregi, M. R. ve Altintas, Y., 2015	AISI 1045 2 mm kalınlığında çelik boru,	V= 150 m/min, 10 µm-100 µm aralığında talaş derinliği, 0,15 mm/diş ilerileme	Titreşimli boru duvarları ve vida açma işlemlerinde, boruların hurdaya çıkmasına ve maliyetli geri dönüşlere neden olan sarsıntılara yol açacak dengesiz titreşimleri önlemek için, optimum kesme derinliği, ilerleme hızı ve iş mili hızlarını araştırmışlardır.
Uzun, G., 2013	Ti6Al4V titanyum alaşımı, Deliklerin açılmasında 6,8 ve 7,4 mm helisel matkap, M8 HSS-E makine kılavuzu	V= 2, 3, 4 ve 5 m/min f= 1,25 mm/rev Kaplamalı ve kaplamasız kılavuzlarla ıslak ve kuru şartlarda	Ti6Al4V titanyum alaşımına M8 iç vida dişi açmada oluşan tork ve takım ömrünü incelemiştir.
Lee, S. W., Kasten, A. ve Nestler, A., 2013	CuZn37 serisi pirinç malzeme, 18 mm çapında 2 ağızlı 3 mm hatveli 15° nominal açılı karbür diş frezesi	V= 165 m/min, f= 600 mm/min, 1,6 mm kesme derinliği	Diş frezeleme işlemlerinde önerilen kesme kuvveti modelinin, pratik uygulamada etkinliğini arttırmak için diş başına ilerleme ve kesme derinliği gibi kesme parametrelerinin optimizasyonunu incelemişlerdir.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR			
Referans	Kullanılan Malzeme ve Kesici Takım	İşleme Parametreleri	Araştırılan Konu
Kayır, Y., 2010	AISI 1050 çeliği, M10 TiN kaplamalı ve kaplamasız HSS makine kılavuzu Ön delikler için 2 mm çapında HSS matkap Kılavuz için dört farklı çapta HSS matkap	V= 10 m/min, f= 1,5 mm, Soğutucu: Kesme yağı	AISI 1050 çeliğine M10 TiN kaplamalı ve kaplamasız HSS makine kılavuzu ile vida açma esnasında oluşan torku ve esas kesme kuvvetlerini incelemiştir.
Kuo, K. L., 2007	TB340C (%99,8) titanyum, M3 ve M5	Titreşim frekansı= 18000-20000 Hz n = 50 rpm Kuru kesme ve kesme yağı kullanılmış	TB340C (%99,8) titanyum alaşımına derin ve küçük çapta vida açma işlemlerinde sık rastlanan kesici takım kırılmalarının nedenlerini araştırmıştır. Çalışmasını titreşimli ve titreşimsiz, kuru kesme ve kesme yağı kullanarak kesme durumlarında gerçekleştirmiştir.
Veldhuis ve diğerleri, 2007	HRC 30-35 sertliğinde P20 kalıp çeliği, HSS 3/8"x16 kılavuz	V= 8 m/min f= 1,587 mm/rpm 10 mm kesme derinliği	Çok ince flor katkılı kesme sıvısının, vida açma işlemi esnasında kesici takım ve numune arasında oluşan aşınmaya etkilerini araştırmışlardır.

4. MALZEME VE YÖNTEM

4.1. Deneysel Çalışmalar

Bu çalışmada, ayrıca bir deneysel çalışma yapılmamıştır. Kesme deneyleri için Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Doç. Dr. Yunus KAYIR tarafından gerçekleştirilen ve Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Proje Birimi'nce desteklenen 41/2007-04 numaralı araştırma projesi kapsamındaki kesme deneyi verileri referans alınmıştır. Bu proje kapsamında yapılan kesme deneyleri ve kullanılan malzeme ve yöntemler ile ilgili bilgiler aşağıda bölümler halinde verilmiştir (Kayır, 2010).

4.1.1. Deneylerde kullanılan iş parçası malzemesi

İş parçası malzemesi olarak, ekonomiklik, işlenebilirlik ve ısıtıl işlem yöntemlerinin uygulanabilirliği gibi özelliklerinden dolayı metal işleme sektöründe yaygın olarak kullanılan AISI 1050 genel imalat çeliği seçilmiştir. Çizelge 4.1, 4.2 ve 4.3'te sırasıyla AISI 1050 karbon çeliğinin kimyasal bileşimi, fiziksel ve mekanik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 4.1. AISI 1050 çeliği kimyasal bileşenleri

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
0,533	0,293	0,883	0,033	0,012	0,255	0,183	0,098

Çizelge 4.2. AISI 1050 çeliği fiziksel özellikleri

Termal iletkenliği	51,9 W/m°C
Öz ısısı	470 J/Kg °C
Ergime sıcaklığı	1440-1460 °C
Yoğunluk	7800 Kg/m ³
Termal genleşme katsayısı	1.2E-5 1/°C

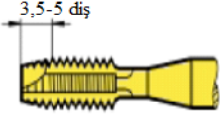
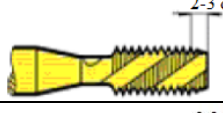
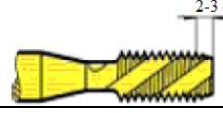
Çizelge 4.3. AISI 1050 çeliği mekanik özellikleri

Akma dayanımı	553 N/mm ²
Çekme dayanımı	600,8 N/mm ²
Poisson oranı	0,27-0,30
Elastik modülü	190000 N/mm ²
Sertlik	200 BHN

4.1.2. Kesici takımlar

Kesici takım olarak talaşlı imalatla yaygın kullanım alanına sahip TiN kaplamalı ve kaplamasız HSS kesiciler kullanılmıştır. Çizelge 4.4'te kesici takım formları ve özellikleri, Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.6'da ise kimyasal bileşimi ve fiziksel özellikleri verilmiştir.

Çizelge 4.4. Kılavuz tipleri ve formları (Kayır, 2010)

Vida Ölçüsü	Kılavuz Şekli (Formu DIN 371)	Ağız tipi	Kanal Tipi	Malzemesi
M10 x 1,5	Form B 	15°	Düz	HSS
	Form C 	Düz	15° Helisel	HSS
	Form C 	Düz	30° Helisel	HSS

Çizelge 4.5. High Speed Steel (HSS) takım kimyasal bileşenleri (Kayır, 2010)

C	Si	Mn	P	S	Cr	W	Mo
0,78	0,20	0,4	0,03	0,03	3,75	5,5	4,5

Çizelge 4.6. HSS kesici takım fiziksel özellikleri (Kayır, 2010)

Yoğunluk	8138 Kg/m ³
Elastik modülü	207000 N/mm ²
Isıl iletkenlik	41,5 W/m/°K
Sertlik	240 BHN

4.1.3. Takım tezgahı

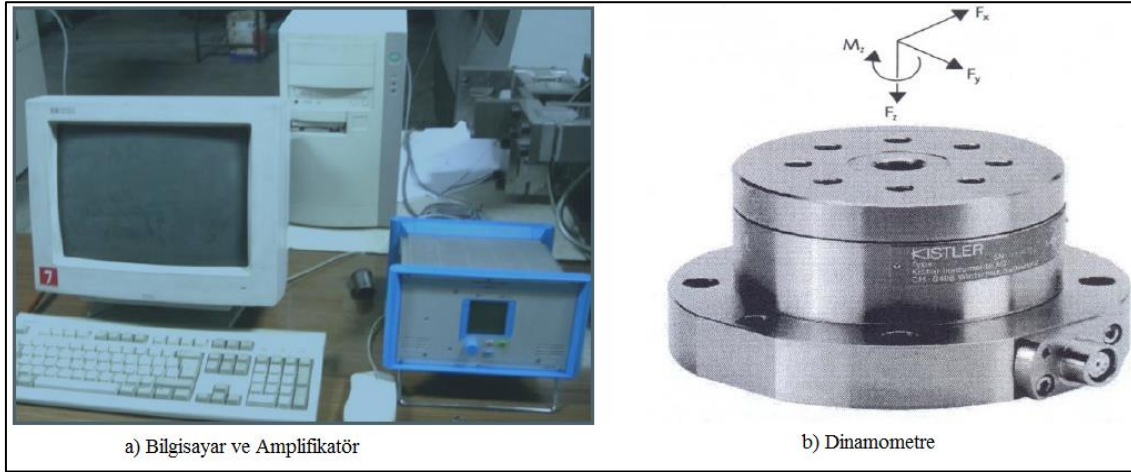
Kesme deneyleri Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Bölümü CNC laboratuvarında bulunan Johnford VCM-550 BSD dik işleme tezgahında yapılmıştır. Tezgâha ait bazı teknik özellikler Çizelge 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.7. CNC dik işleme merkezinin özellikleri (Uzun, 2013)

Model	Johnford VMC-550 dik işleme merkezi
Kontrol tipi	Fanuc OM serisi
X eksen hareketi	500 mm
Y eksen hareketi	500 mm
Z eksen hareketi	450 mm
Devir sayısı	60-6000 rpm/min
Motor gücü	10 HP (7,5 kW)
X-Y-Z İlerleme hızı	15, 10, 12 m/min

4.1.4. Kesme kuvvetlerinin ölçülmesi

Kesme kuvvetleri ve torkun ölçülmesi için Şekil 4.1’de gösterilen Kistler 9272A tipi dinamometre ve ekipmanları kullanılmıştır (Kayır, 2010). Çizelge 4.8’de bazı teknik özellikleri verilen dinamometre 4 bileşenli (F_x , F_y , F_z ve M_z) olup hassas ölçüm yapabilme kabiliyetine sahiptir.



Şekil 4.1. Deneylerde kullanılan Kistler 9272A tipi dinamometre ve ekipmanları

Çizelge 4.8. Kistler 9272A tipi dinamometrenin bazı teknik özellikleri (Uzun, 2013)

Ölçme aralığı	F_x, F_y	± 5 kN
	F_z	-5...+20 kN
	M_z	± 200 Nm
Duyarlılık	F_x, F_y	$\approx -7,8$ pC/N
	F_z	$\approx -3,5$ pC/N
	M_z	≈ -160 pC/N
Doğal Frekans	fn (x,y)	$\approx 3,1$ kHz
	fn (z)	$\approx 6,3$ kHz
	fn (M_z)	$\approx 4,2$ kHz
Çalışma sıcaklığı		0-70 °C
Çap		100 mm
Yükseklik		70 mm
Bağlantı		Fischerflange 9 pole neg.
Sızdırmazlık		IP67
Kütle		4,2 kg

4.1.5. Kesme deneyi değişkenleri ve deneylerin yapılışı

Kesme deneylerinde kullanılan numuneler tedarikçilerden kare çubuk olarak temin edilmiş olup numuneler belli boyutlarda kesilmiş ve daha sonra CNC dik işleme tezgahında 65×50×30 mm boyutlarında işlenmiştir. Deneylerde 8,3;8,4;8,5;8,6 mm çaplarında delinen numunelere M10×1,5 mm ölçüsündeki makine kılavuzları ile vida açılmıştır. Deneyler sırasında kesme kuvvetleri ve tork Kistler 9272A tipi dinamometre ve ekipmanları yardımıyla ölçülmüştür. Kesme deneylerinde kullanılan kesme parametreleri Çizelge 4.9’da verilmiştir.

Çizelge 4.9. Deneylerde kullanılan kesme şartları (Kayır, 2010)

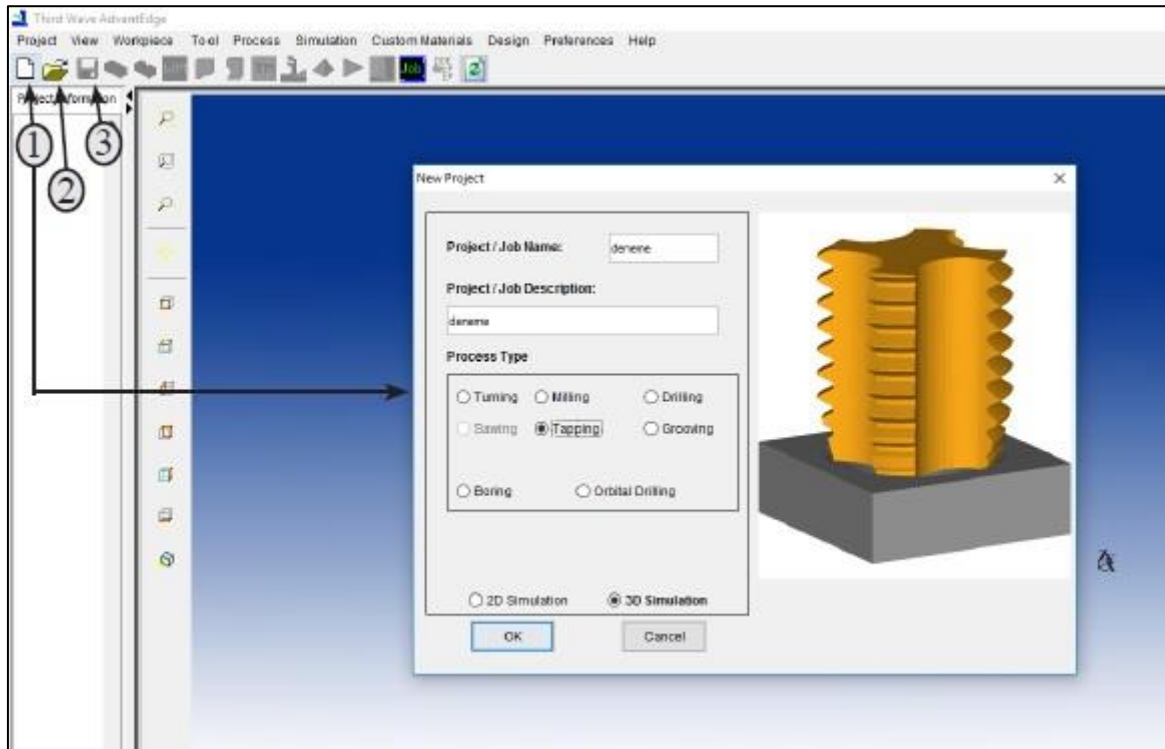
Kesici			Deney Malzemesi	Kesme Hızı (V= 10 m/dk)	İlerleme Hızı (f= mm/rpm)	Soğutma Sıvısı	Matkap Çapı (mm)
Malz.	Kanal Tipi	Ağız Tipi					
HSS ve HSS TIN	Düz	15°	AISI 1050	10	1,5	Bor Yağı Emülsiyon	8,3
	15°	Düz					8,4
	30°	Düz					8,5 8,6

4.2. Simülasyon İşlemleri

Bu bölümde simülasyon koşturmasının yapıldığı AdvantEdge yazılımında modelleme safhaları anlatılmıştır. Burada A303, A320, A330 gösterimleri kılavuzlar için oluşturulan kısaltmaları tanımlar. A303 kodlu kılavuz düz kanallıdır. A320 kodlu kılavuzun helis açısı 15° ve A330 kodlu kılavuzun helis açısı ise 30° dir.

4.2.1. AdvantEdge yazılımında simülasyon safhaları

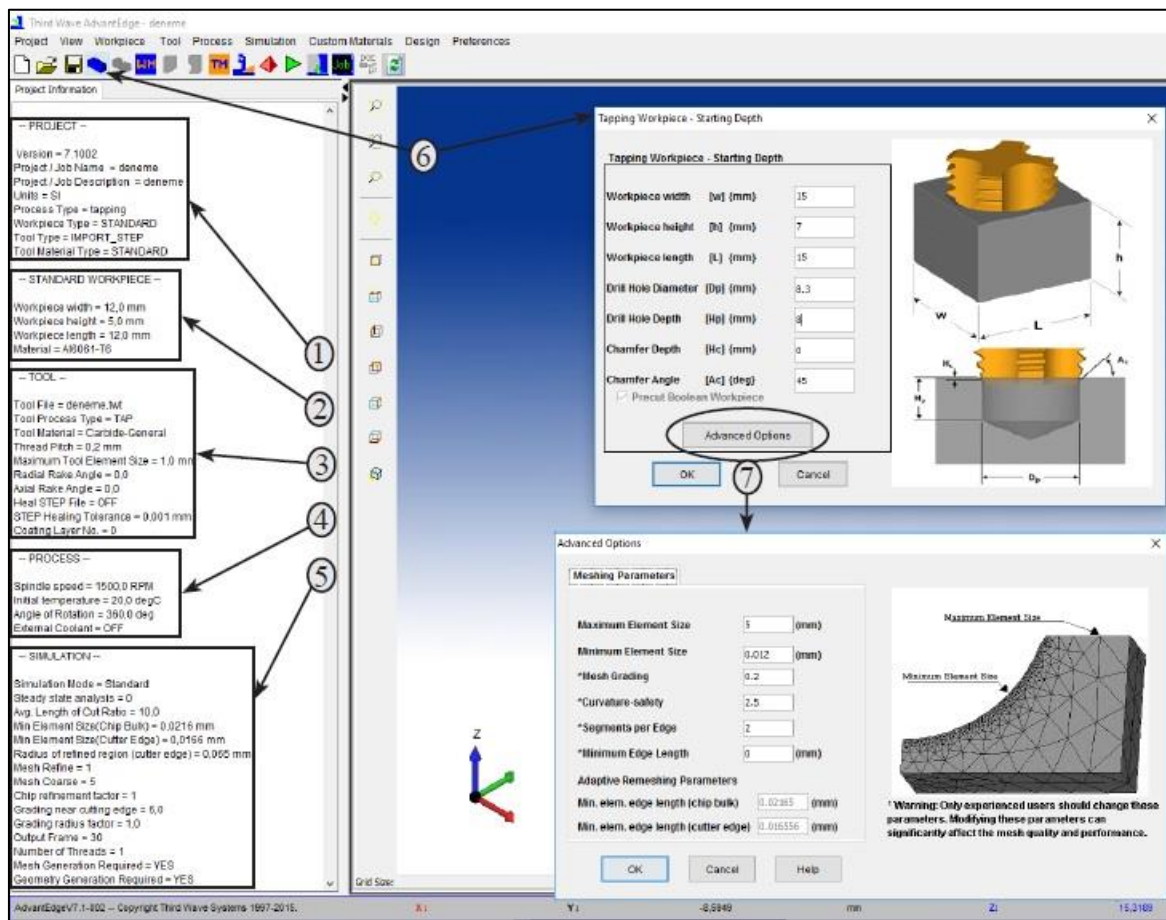
Program çalıştırıldığında açılan ara yüz Şekil 4.2’de gösterilmiştir. ① butonu ile yeni bir proje başlatılır. Burada; proje adı, proje tanımlaması ve 2B ya da 3B olarak operasyon yöntemi belirlenir. Kılavuz operasyonu seçilip tamam seçeneği tıklandıktan sonra kılavuzun saat ibresi yönünde veya saat ibresinin tersi yönde döneceği belirlenir. ② butonu ile önceden yapılan çalışmalara ulaşılabilir. ③ butonu ile proje kaydedilir.



Şekil 4.2. AdvantEdge yazılımında yeni proje başlatma

Şekil 4.3’teki ①, ②, ③, ④ ve ⑤ ile gösterilen kısımlarda proje ile ilgili bilgilendirmeler yer almaktadır. Proje safhaları tamamlandığında veriler buradan kontrol edilebilmektedir. ① ile proje adı, proje tanımlaması, ölçü sistemi, işleme tipi gibi bilgiler gösterilmektedir. ② ile iş

parçasının boyutları, malzemesi ve sertliği gibi bilgiler verilmektedir. ③ ile takım tipi, kılavuz adımı, takım malzemesi ve takım özellikleri verilmektedir. ④ ile devir sayısı, başlangıç sıcaklığı, takımın kaç tur döneceği, soğutucu parametreleri bilgileri gösterilmektedir. ⑤ ile simülasyon türü, animasyon için film karesi ölçüsü, yenilenebilir ağ oluşturma özellikleri, kaç çekirdek çalıştırılacağı gibi bilgiler gösterilmektedir. ⑥ butonu ile açılan pencerede; iş parçasının boyutları, iş parçasına açılacak deliğin çapı ve derinliği gibi veriler tanımlanmaktadır. Bu penceredeki ⑦ ile gösterilen gelişmiş seçenekler butonu yardımıyla iş parçası ağ oluşturma değerleri belirlenmektedir.



Şekil 4.3. İş parçası boyutları ve ağ oluşturma parametrelerinin girilmesi

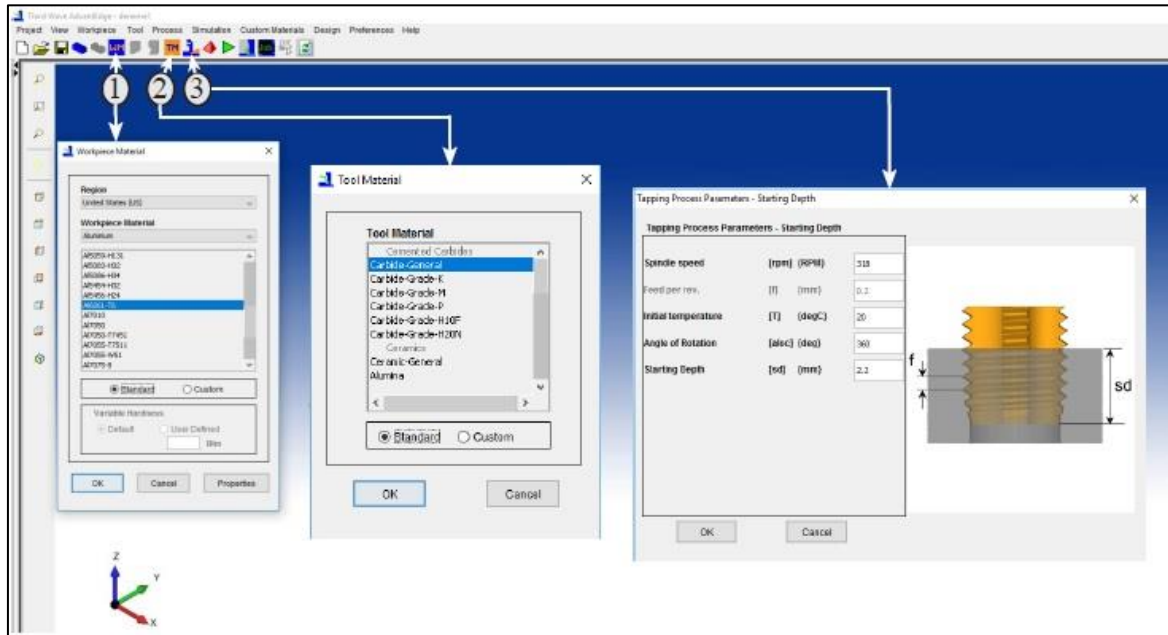
Sonlu elemanlar yönteminde ağ oluşturma ataması işlemini doğru belirlemek, çözüm süresinin gereğinden çok uzun sürmesini önlemek ve doğru sonuç elde edebilmek açılarından önemlidir. Ağ oluşturma ataması yapılmadan önce benzer literatür çalışmaları incelenmiştir. Korkmaz ve diğerleri (2019) AdvantEdge yazılımında gerçekleştirdikleri delme simülasyonu için ağ oluşturma değerlerini minimum eleman boyutu 0,02 mm ve maksimum eleman boyutu 0,1 mm olarak belirlemişlerdir. Haşcelik (2019) ise çalışmasında

mikro tornalama simülasyonu için minimum eleman boyutunu ilerleme değerinin dörtte birinden daha küçük bir değer olarak belirlemiştir.

Literatürdeki ağ oluşturma değerleri dikkate alınarak maksimum eleman boyutu 0,2 mm, minimum eleman boyutu 0,012 mm seçilmiştir. Simülasyonlarda kullanılacak uygun parametreleri belirlemek için deneme simülasyonları yapılmıştır. Ağ oluşturma değerlerinden sonra kılavuzun kaç tur döndürüleceğini belirlemek için önce 3 adım uzunluğunda vida açılacak şekilde kılavuza 1080° dönüş hareketi verilerek 3 adet simülasyon koşturulmuştur. Bu biçimde yapılan simülasyon işlemi her biri için yaklaşık 12 gün olmak üzere 36 gün sürmüştür. Literatüre bakıldığında, Korkmaz ve diğerleri (2019) delme simülasyonu içeren çalışmalarında, AdvantEdge programında bir delme simülasyonu için matkaba 60° dönüş vererek simülasyon koşturmuşlardır. Bu çalışmada da benzer şekilde kılavuza 60° derece dönüş vererek 3 adet simülasyon koşturulmuştur. Bu işlem toplam 6 gün sürmüştür. Kılavuzun 60° döndürülmesiyle yapılan simülasyon sonuçları ile 3 tam tura karşılık gelen 1080° döndürülmesiyle elde edilen simülasyon sonuçları için esas kesme kuvvetleri ve tork değerleri karşılaştırılmıştır. Kılavuzun 60° ve 1080° döndürülmesi sonucunda elde edilen verilerde, kabul edilebilir miktarda (%1,5 - % 3,5) farklılıklar gözlemlenmiştir. Bu sebeple çalışma kapsamındaki simülasyonlarda kılavuzun dönüş hareketi 60° olarak seçilmiştir (kılavuz 60° dönmemektedir).

Literatürdeki ağ oluşturma değerleri dikkate alınarak seçilen maksimum ve minimum eleman boyutunun güvenilirliğinin kontrolü için genel olarak deneylerde en büyük sonuçların elde edildiği 8,3 mm'lik delik çaplarında ve en düşük sonuçların elde edildiği 8,6 mm'lik delik çaplarında TiN kaplamalı ve kaplamasız HSS kılavuzlar ile 12 adet deneme simülasyonu koşturulmuştur. Simülasyonların koşturulduğu bilgisayar HP Z620 Workstation, işletim sistemi 64 bit, 4 çekirdekli, işlemcisi Intel Xeon CPU E5-1620 3,6 GHz ve 16 Gb ram özelliklerindedir. Her bir simülasyon ortalama 2 gün sürmüştür. Sonra maksimum ve minimum eleman boyutu değerleri küçültülerek; maksimum eleman boyutu 0,1 mm ve minimum eleman boyutu 0,005 mm alınarak 12 adet daha deneme simülasyonu yapılmıştır. Belirtilen parametreler ile yapılan simülasyon sonuçları kıyaslanmış olup sonuçların önemli ölçüde değişmediği, ancak çözüm süresinin her bir simülasyon için ortalama 18 saat daha uzadığı tespit edilmiştir. Bu durum neticesinde sürenin optimum kullanılması açısından ağ oluşturma değerleri maksimum eleman boyutu 0,2 mm ve minimum eleman boyutu 0,012 mm olarak belirlenmiştir.

Şekil 4.4'teki ① butonu ile iş parçası malzeme atama penceresi açılmaktadır. Açılan pencereden programın kütüphanesinden standart iş parçası malzemesi ataması yapabileceği gibi özel (custom) seçeneği ile literatürde belirtilen malzeme modelleri kullanılarak da atama yapılabilmektedir. ② butonu ile kesici takım için malzeme ataması yapılmaktadır. Bu çalışmada kesici takım malzemesi HSS olarak atanmıştır. ③ butonu işleme parametrelerinin girildiği pencereyi açmaktadır. AdvantEdge spindle dönüşünü rpm biriminde kullanmaktadır.



Şekil 4.4. İş parçası ve kesici takımın malzemesini ve kesme parametrelerini belirleme

Bu çalışmada, kılavuzun tüm dişlerinin iş parçasıyla tamamen temas etmesi için iş parçası boyutları 15×8×15 mm olarak belirlenmiştir. Devir sayısı 318 rpm ve başlangıç sıcaklığı 20°C olarak seçilmiş olup bu bilgiler ③ butonu ile açılan pencereye girilmiştir.

AdvantEdge programı kütüphanesinde birçok standart malzeme yer almaktadır. Program kütüphanesinden malzeme ataması yapılabileceği gibi özel malzeme ataması da yapılabilmektedir. Bu bağlamda ilk önce yazılımın standart malzeme kütüphanesinden AISI 1050 seçilmiştir (Şekil 4.4'teki ① numaralı pencere). Deneylerde genel olarak en yüksek sonuçların alındığı 8,3 mm'lik delik çapında ve en düşük sonuçların alındığı 8,6 mm'lik delik çapında A303, A320 ve A330 kodlu TiN kaplamalı ve kaplamasız HSS kılavuzlar ile 12 adet simülasyon koşturulmuş olup simülasyon sonuçları deney sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda deney ve simülasyon sonuçları arasında büyük

farklılıklar olduğu gözlemlenmiştir. Örneğin, deneysel esas kesme kuvveti sonuçları 154 N ve tork 658 Ncm iken simülasyon sonuçları sırasıyla 1890 N ve 1165 Ncm olarak elde edilmiştir. Sonra literatürdeki benzer çalışmalar incelenmiştir. Hasçelik (2019) çalışmasında, Ti6Al4V titanyum alaşımı için uygun Johnson-Cook malzeme modeli parametrelerini belirlemek için çeşitli iteratif denemeler yapmıştır. Deney sonuçlarıyla simülasyon sonuçlarını sürekli olarak karşılaştırarak uygun model parametrelerini araştırmıştır. Deney sonuçlarını yakınsayan bir model oluşturarak simülasyonlara bu modeldeki değerlerle devam ettiğini belirtmiştir. Bu bilgiler ışığında bu çalışmada AISI 1050 için literatürde en çok kullanılan Johnson-Cook malzeme modelleri taranmıştır. Bu modeller Çizelge 4.10'da verilmiştir.

Çizelge 4.10. AISI 1050 için Johnson-Cook malzeme modeli değerleri

A (MPa)	B (MPa)	n	C	m	Kaynak
880	500	0,234	0,0134	1	Budak, 2008
553,1	600,8	0,234	0,0134	1	Soldani, 2008

Çizelge 4.10'daki malzeme modelleri, programda özel malzeme olarak tanımlanmış olup (Şekil 4.5'teki ③ numaralı pencere) deneylerde genel olarak en yüksek kuvvetlerin olduğu 8,3 mm delik çapı ve en düşük kuvvetlerin olduğu 8,6 mm delik çapı referans alınarak 3 farklı formdaki TiN kaplamalı ve kaplamasız HSS kılavuzlar ile 12 adet simülasyon koşturulmuştur. Elde edilen simülasyon sonuçları deney sonuçları ile karşılaştırıldığında sonuçların yakınsamadığı tespit edilmiştir. Bunun üzerine Hasçelik'in (2019) çalışmasında kullandığı deneme yanılma yöntemi uygulanmıştır. Budak'ın (2008) çalışmasındaki model parametreleri kullanılarak önce sadece B parametresi değiştirilerek sırasıyla 250, 350, 650, 750 MPa ile 4 adet simülasyon koşturulmuştur. Sonuçlara bakıldığında deney sonuçları ile yakınsamadığı görülmüştür. Sonra sadece A parametresi değiştirilerek sırasıyla 440, 800, 1000, 1320 MPa ile 4 adet simülasyon koşturulmuştur. Sonuçlara bakıldığında yine deney sonuçları ile yakınsamadığı görülmüştür.

Soldani'nin (2008) çalışmasındaki model parametreleri kullanılarak benzer şekilde iteratif denemeler ile 8 adet daha simülasyon koşturulmuştur. Fakat bu parametre değişiklikleri ile elde edilen simülasyon sonuçlarının da deney sonuçlarına yakınsamadığı görülmüştür. Bu sebeple literatürde Budak'ın (2008) model parametreleri daha yaygın kullanıma sahip olduğu için bu model parametreleri kullanılarak A , B , C ve n parametreleri sabit tutulmuş olup m değerleri sırasıyla 0,5;0,2;0,1;0,08 alınarak 4 adet simülasyon koşturulmuştur. Elde

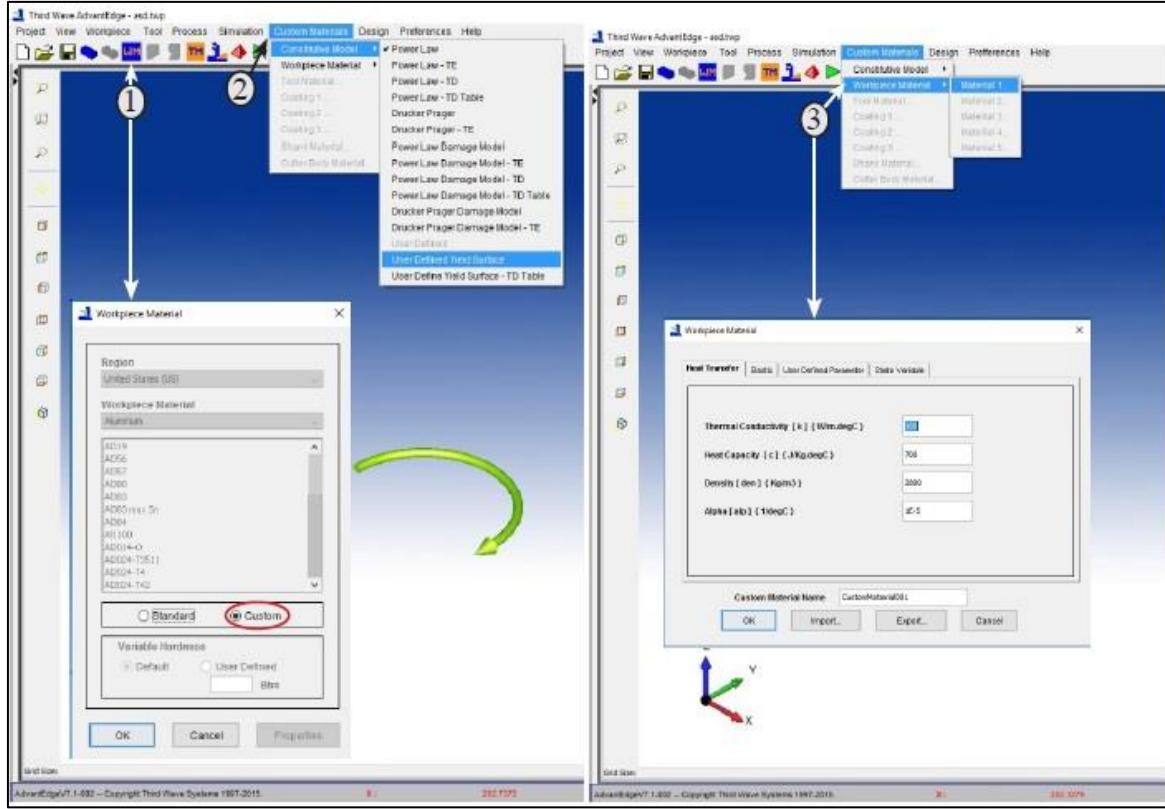
edilen sonuçlara bakıldığında esas kesme kuvvetinin önemli ölçüde düştüğü tespit edilmiştir. Sonra bu m değerleri daha da küçültülerek sırasıyla 0,01;0,007;0,005 ve 0,003 alınmış ve 4 adet daha simülasyon koşturulmuştur. Bu simülasyon sonuçlarından m değerinin 0,003 olması halinde en iyi yakınsama değerlerin elde edildiği görülmüştür. Daha sonra diğer parametreler sabit ve m değeri 0,003 alınarak C değeri için benzer iteratif denemeler yapılarak 10 adet simülasyon koşturulmuş ve en iyi yakınsama, C değerinin 0,2 olduğu durumda elde edilmiştir.

Deneme yanılma ile yapılan simülasyonlar sonucunda AdvantEdge yazılımında ısı yumuşama değeri m azaldıkça esas kesme kuvvetinin düştüğü, C değerinin ise tork değerlerini etkilediği tespit edilmiştir. Deneme yanılma simülasyonları sonucunda Çizelge 4.11'deki model parametreleri belirlenmiş ve çalışmada bu parametreler kullanılmıştır.

Çizelge 4.11. AISI 1050 için oluşturulan yeni malzeme modeli

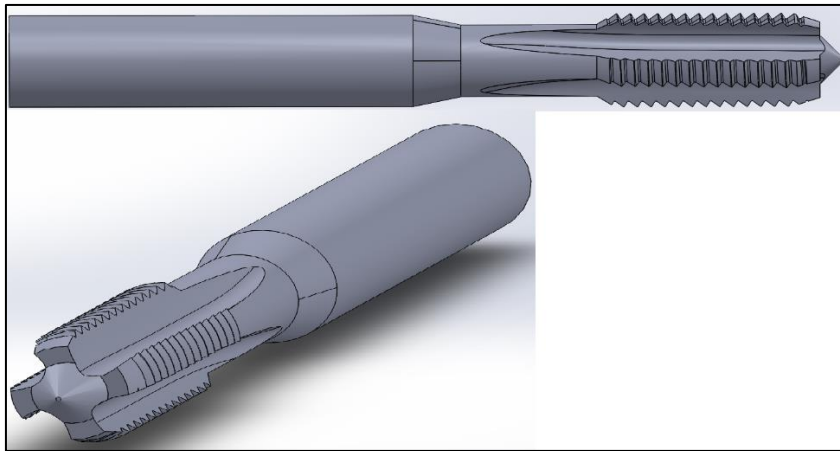
A (MPa)	B (MPa)	n	C	m
553,1	600,8	0,234	0,2	0,003

İş parçası malzemesi için özel malzeme modeli ataması yapılacağından Şekil 4.5'teki ① butonu ile açılan penceredeki özel (custom) seçeneği işaretlenmiştir. ② butonu ile açılan pencereden kullanıcı tanımlı malzeme modeli seçilmiş ve ③ buton ile açılan pencereden Çizelge 4.11'deki Johnson-Cook malzeme modeli parametreleri girilmiş ve malzeme atama işlemi sonlandırılmıştır.

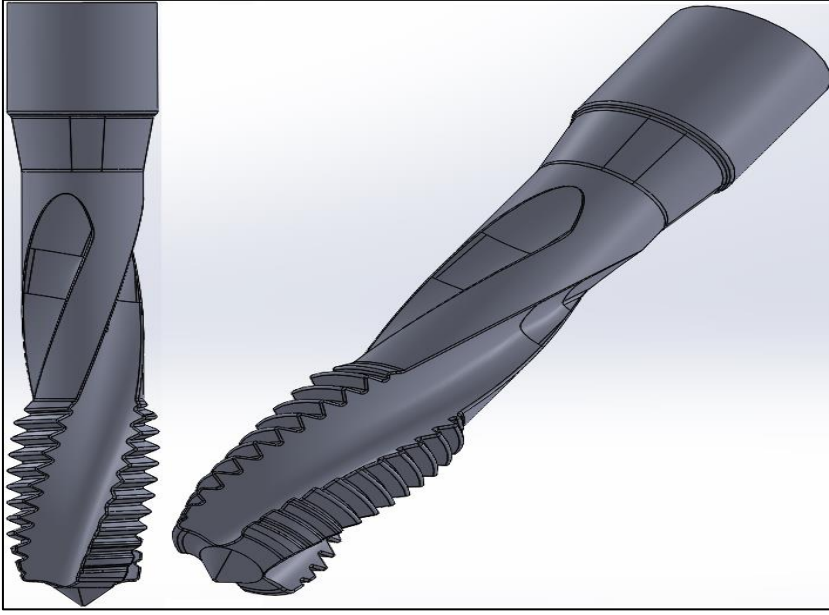


Şekil 4.5. AdvantEdge yazılımında Johnson-Cook malzeme modeli parametrelerini girme

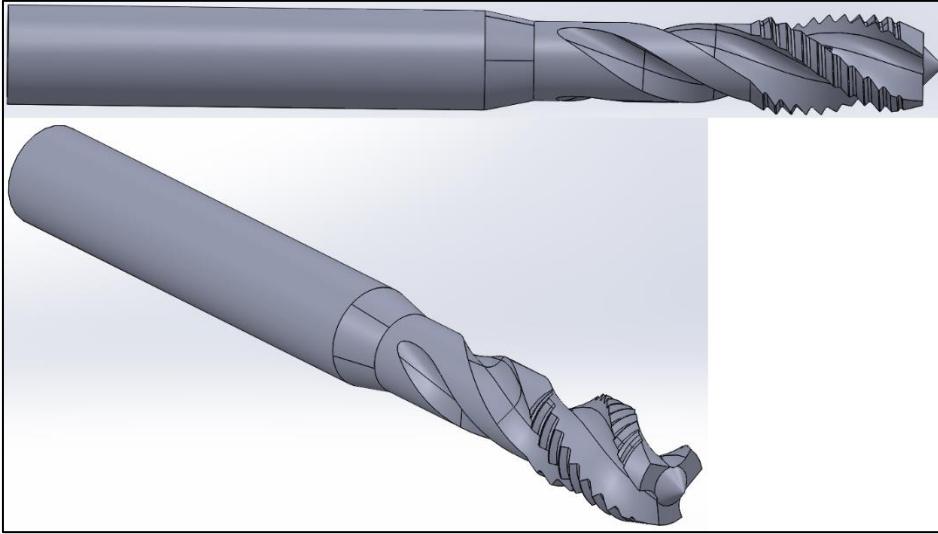
Kesici takımların modellenmesinde üç boyutlu lazer tarayıcı kullanılarak kılavuzların nokta bulutları oluşturulmuştur. Geomagic Design X yazılımına aktarılan nokta bulutu verisi STL formatına dönüştürülmüştür. Sonra STL formatı Catia programına alınmış olup nokta bulutları birleştirilerek kılavuzların 3B'lu modelleri elde edilmiştir. Şekil 4.6, Şekil 4.7 ve Şekil 4.8'de kesici takımların 3B'lu modelleri verilmiştir.



Şekil 4.6. A303 kodlu kesici takımın 3B modeli

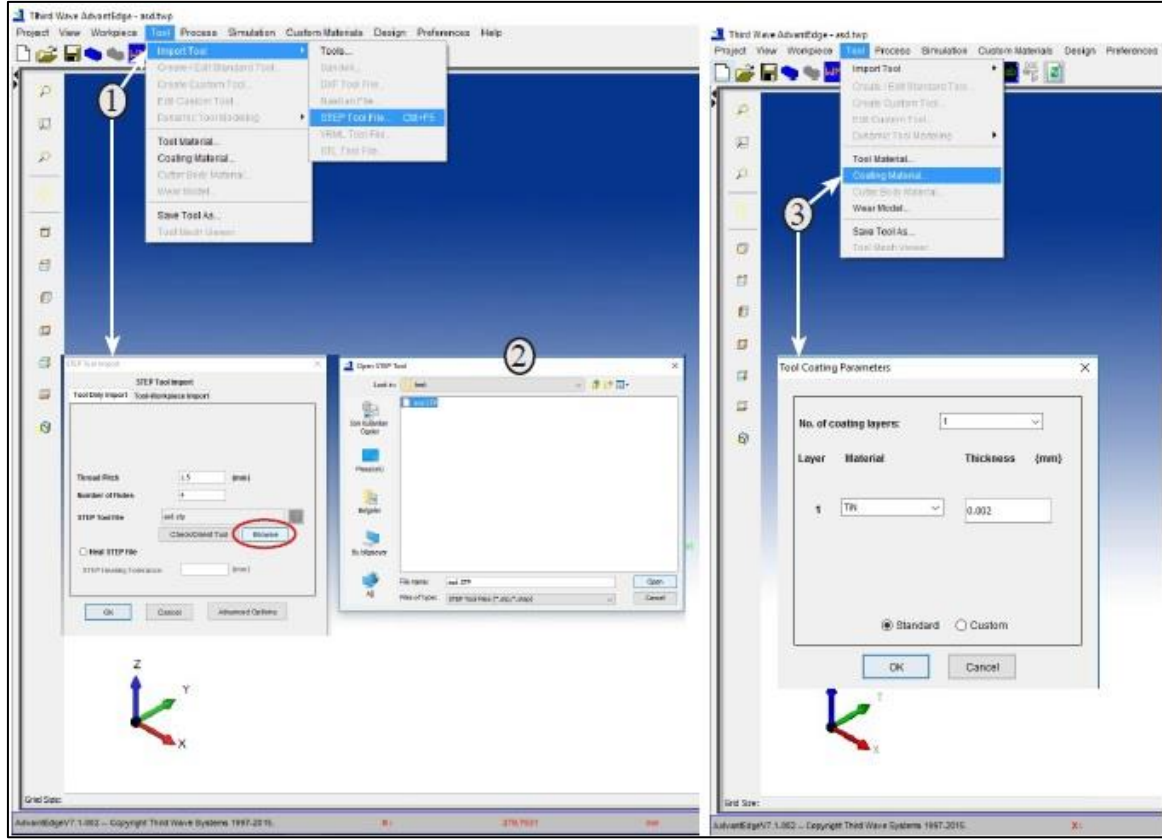


Şekil 4.7. A320 kodlu kesici takımın 3B modeli



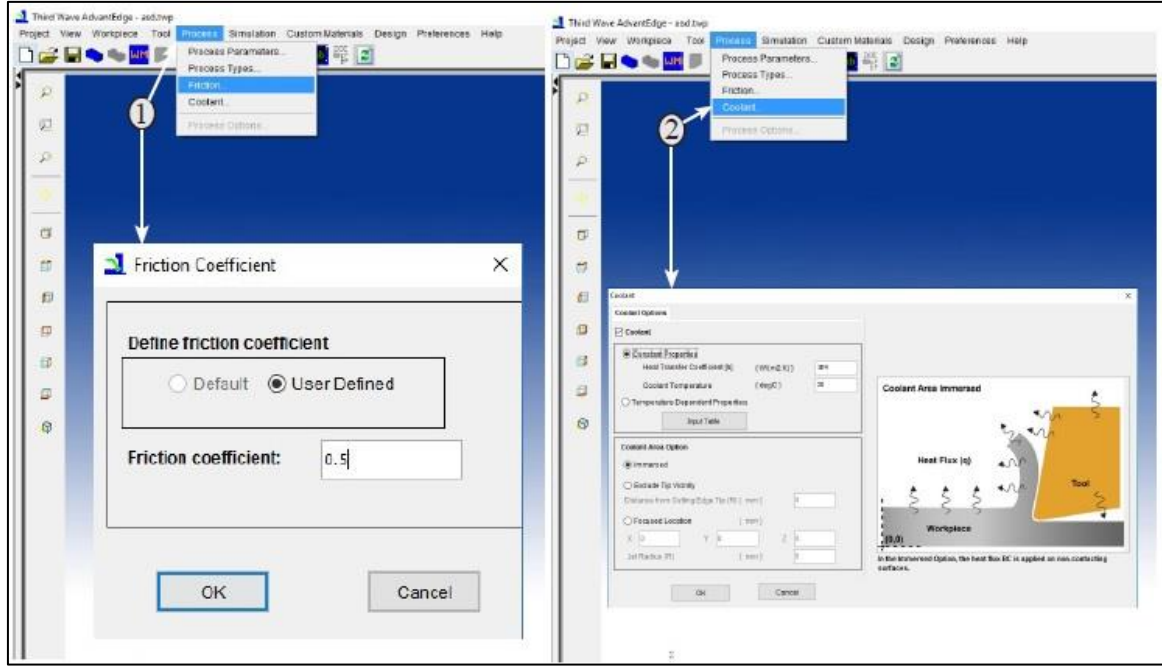
Şekil 4.8. A330 kodlu kesici takımın 3B modeli

3B modellenen kesici takımı programa dış kaynaktan aktarmak için Şekil 4.9'daki ① butonu ile *ImportTool / STEP ToolFile* özelliği kullanılmıştır. ② butonu ile açılan pencereden kesici takımın STP uzantılı dosyası seçilmiş olup kesici takımın 3B modeli programa aktarılmıştır. Kaplamalı kesici takımlar için kaplama ataması ise ③ butonu ile açılan pencereden kaplamanın kaç katmanlı olacağı, kaplama tipi ve kalınlığının ne olacağı gibi bilgileri girilerek yapılmıştır. Kaplamalı takımlar için 0,002 mm kalınlığında tek katmanlı TiN kaplaması tanımlanmıştır.



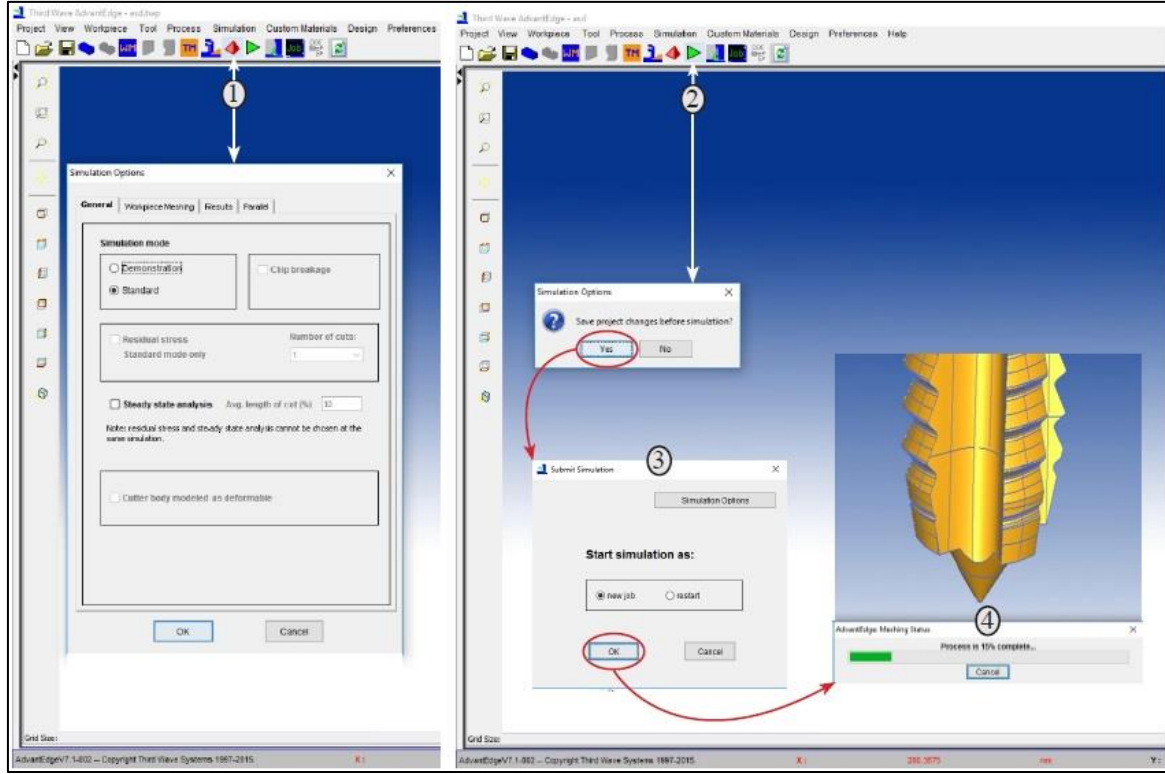
Şekil 4.9. AdvantEdge yazılımında kesici takıma kaplama atama

Şekil 4.10'daki ① butonu ile açılan pencereden sürtünme katsayısı değeri ve ② butonu ile açılan pencereden ise soğutucu akışkan parametreleri girilmiştir. Bu çalışmada sürtünme katsayısı 0,5 ve soğutma sıvısının etkisini simüle etmek amacıyla da soğutucu akışkanın ısı transfer katsayısı $10000 \text{ W/m}^2\text{K}$, soğutma sıcaklığı 20°C olarak kullanılmıştır. Bu parametreler AdvantEdge programının operasyon ortamı sıcaklığını oda sıcaklığında sabit tutmak için kullanıcıya sunduğu değerlerdir (AdvantEdge yazılımı, 2017).



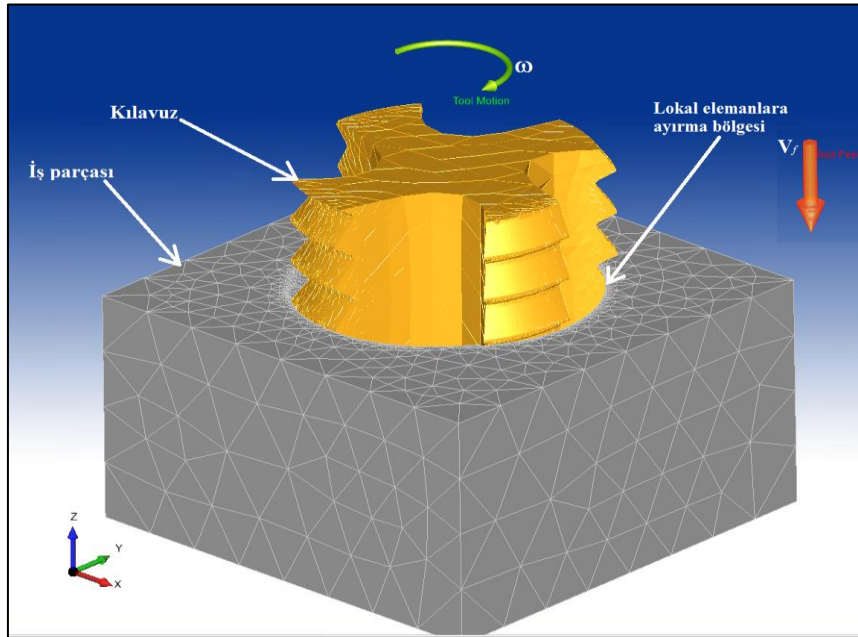
Şekil 4.10. AdvantEdge yazılımında sürtünme katsayısı ve soğutucu akışkan parametreleri belirleme

Şekil 4.11'deki ① butonu ile simülasyon ayarları penceresi açılmaktadır. Açılan pencereden iş parçası için ağ oluşturma prosedürü, yenileme ayarları, sonuçların gösterimi için film karesi ayarları ve bilgisayarın özelliklerine göre kaç çekirdek kullanılacağı gibi bilgiler tanımlanmıştır. Bu çalışma için yenilenebilir ağ oluşturma seçeneği aktive edilmiştir. Simülasyonlar için kullanılan bilgisayarın özelliğine göre çözüm için 4 çekirdek kullanılmıştır. ② butonu ile açılan pencereden simülasyona başlamadan önce proje kaydedilmiştir. ③ butonu ile açılan pencerede ise daha önce başlatılıp bir şekilde durdurulan simülasyonun kaldığı yerden tekrar simülasyona devam etmesi ya da yeni bir proje başlatma gibi seçenekler bulunmaktadır. Daha sonra ④ butonu ile ağ oluşturma penceresi açılmış ve ağ oluşturma ayarları program tarafından kontrol edilerek program simülasyonu koşturma işlemini başlatmaktadır.



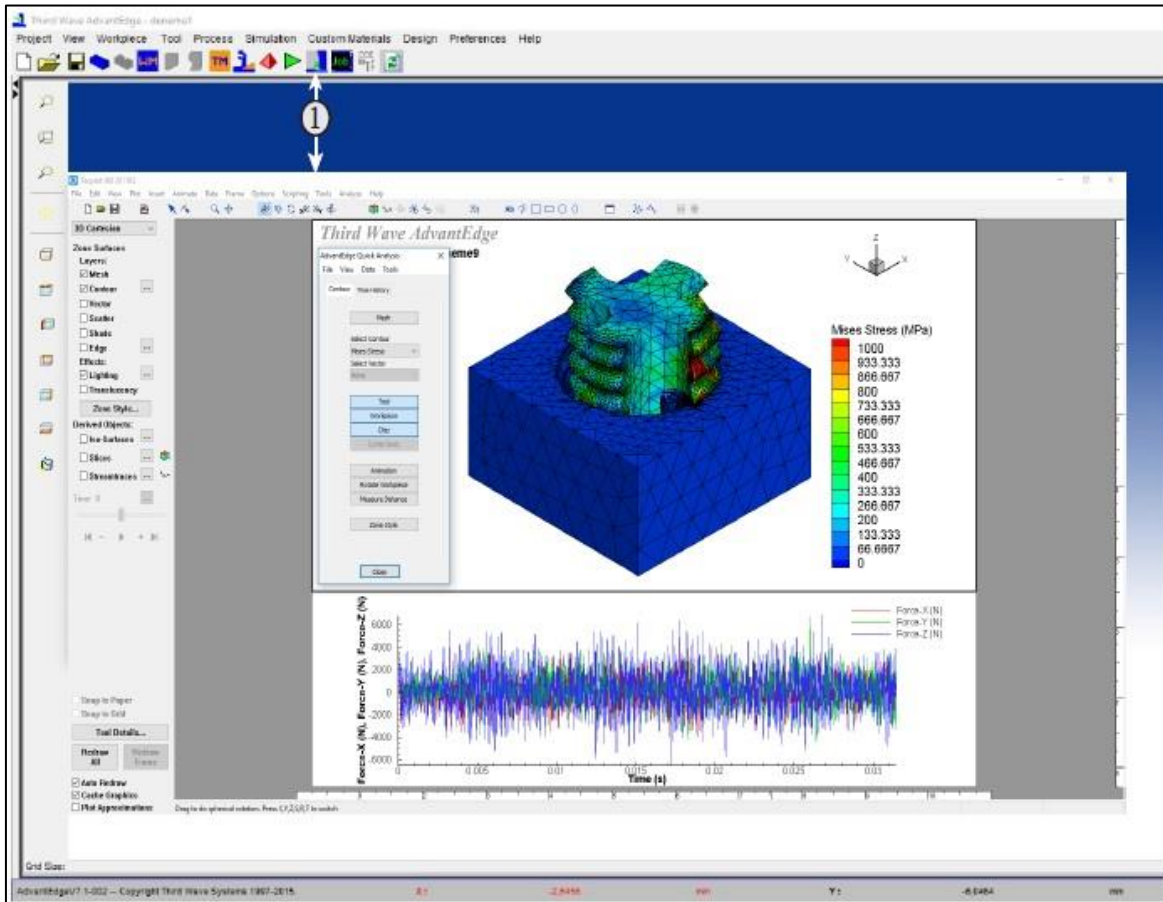
Şekil 4.11. AdvantEdge yazılımında simülasyon ayarları, projeyi kaydetme, simülasyonu başlatma ve ağ oluşturma ayarları

Şekil 4.12’de kılavuzun dönüş ve öteleme hareketlerini içeren hareket şartları ve iş parçası için sınır şartları verilmiştir.



Şekil 4.12. Kılavuzun hareket şartları ve iş parçası için sınır şartları

Simülasyon koşturma işlemi tamamlandıktan sonra, Şekil 4.13'te ① butonu ile AdvantEdge yazılımına entegre çalışan Tecplot arayüzü açılır. Simülasyonun oynatılması ve simülasyon sonuçlarının gösterimi Tecplot arayüzü aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada deney ve simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması amacıyla kılavuzla vida açma işlemindeki esas kesme kuvveti ve tork sonuçları ve talaş oluşumları incelenmiştir. Ayrıca kesme operasyonu esnasında kesici takımlarda oluşan en büyük ve en küçük asal gerilmelerin ve eşdeğer (von Misses) gerilmenin hangi bölgelerde olduğu araştırılmıştır.

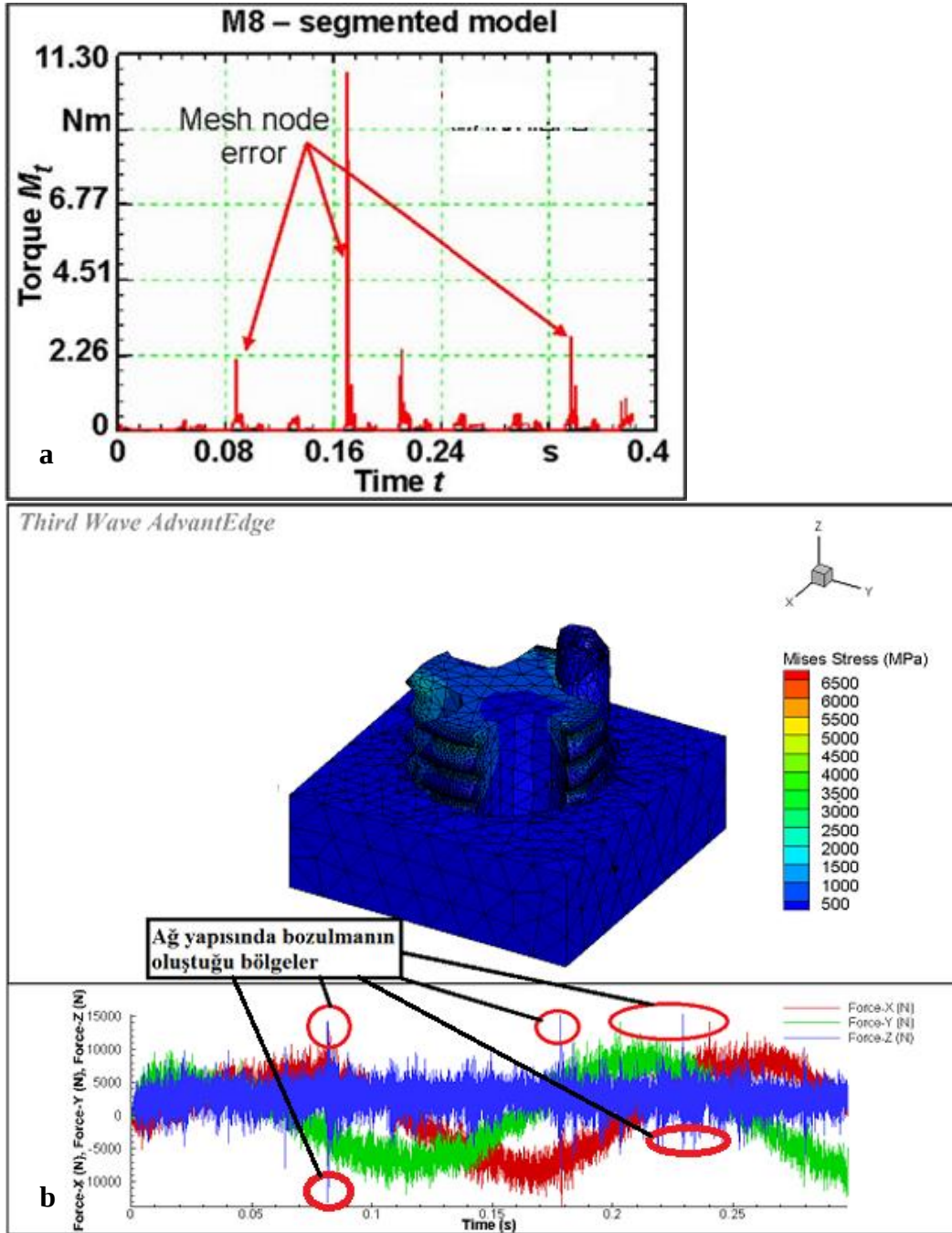


Şekil 4.13. Simülasyon ve analiz sonuçları için açılan Tecplot arayüzü

Bu çalışmada Çizelge 4.9'daki kesme parametreleri kullanılarak her bir kılavuz formu, kanal tipi ve matkap çapı için birer simülasyon koşturulmuştur. Her bir simülasyon ortalama 24 saat sürmüştür. Çalışmada kullanılmak üzere toplamda 24 adet simülasyon koşturulmuştur.

Sonlu elemanlar yöntemini kullanan simülasyon ve analiz yazılımları ile simülasyon koşturulurken Şekil 4.14a'da gösterildiği gibi ağ yapısında bozulmalar meydana gelebilmektedir. Elemanların talaş oluşum sürecinde sürekli olarak yeniden

boyutlandırılması sebebiyle elemanlarda bozulma (dejenerasyon) çok sık rastlanan bir durumdur (Oezkaya ve Biermann, 2018). Şekil 4.14b’de ise çalışma sırasında karşılaşılan birkaç ağ yapısındaki bozulma durumu belirtilmiştir. Şekil 4.14b’den de görüleceği üzere bu durum simülasyon sırasında oluşan kesme kuvveti ve tork değerlerinde ani yükselme veya düşmelere sebep olmaktadır.



Şekil 4.14. Simülasyon sürecindeki elemanlarda bozulmanın (dejenerasyon) etkileri

5. SİMÜLASYON, ANALİZ SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde esas kesme kuvveti ile tork değerleri için deney sonuçları ve simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması yapılmış, simülasyonlar sırasında kesici takımında oluşan gerilme analizi üzerinde durulmuş ve son olarak talaş oluşum süreci ve talaş biçimlenmesi incelenmiştir.

5.1. Deney ve Simülasyon Sonuçlarının Karşılaştırılması

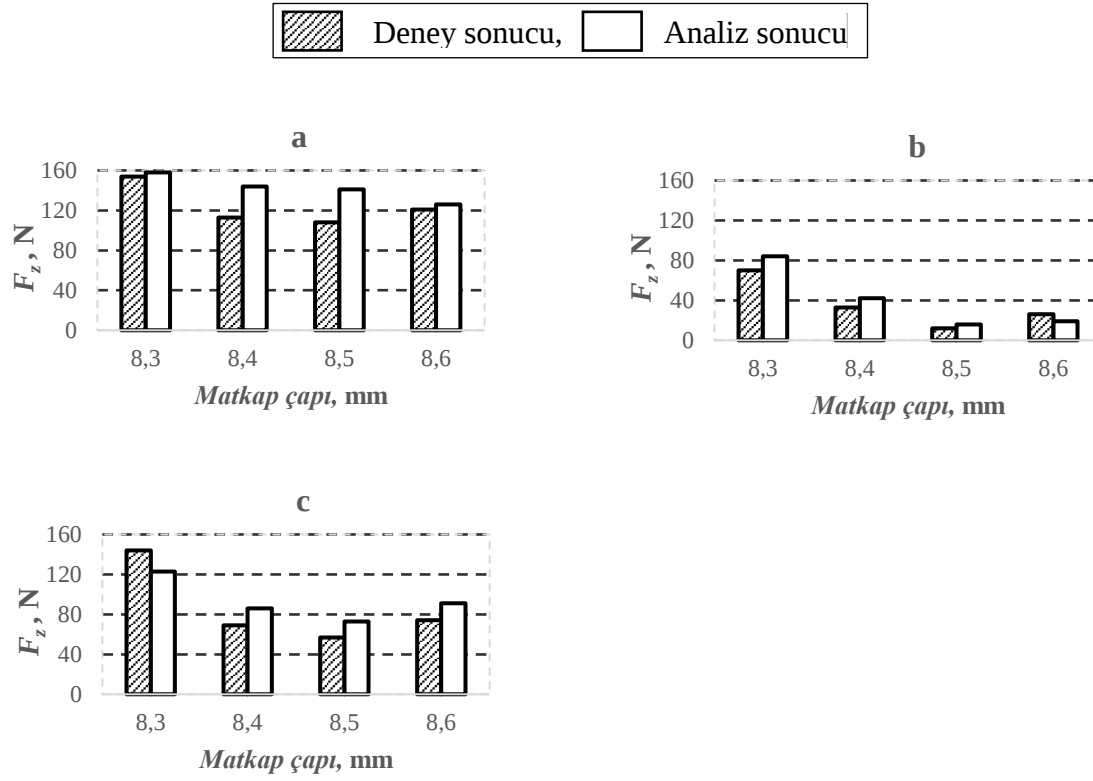
Bu bölümde deneyler ve simülasyonlar sonucunda elde edilen esas kesme kuvveti F_z ile tork M_z değerleri karşılaştırılmıştır. Simülasyonlar $V=10$ m/min kesme hızı ve vida adımı olan $f=1,5$ mm ilerleme şartlarında gerçekleştirilmiştir. Grafiklerdeki A303, A320, A330 gösterimleri kılavuz kodlarını ifade etmektedir.

Şekil 5.1'deki kaplamasız HSS kılavuzlara ait grafikler incelendiğinde, genel olarak delik çapı büyüdükçe F_z esas kesme kuvvetlerinin düştüğü görülmektedir. M10 kılavuz diş dibi çapı 8,376 mm'dir. 8,3 mm çaplı deliklerde diş dibi çapının delik çapından büyük olması, kılavuzun diş dibi delik duvarını da büyütmeye çalışmasından dolayı sürtünme artacaktır. Buna bağlı olarak da esas kesme kuvvetleri ve tork değerlerinin de artması beklenmektedir. Kayır'ın (2010) gerçekleştirdiği deney sonuçları ile simülasyon sonuçları kıyaslandığında benzer eğilimler olduğu görülmüştür.

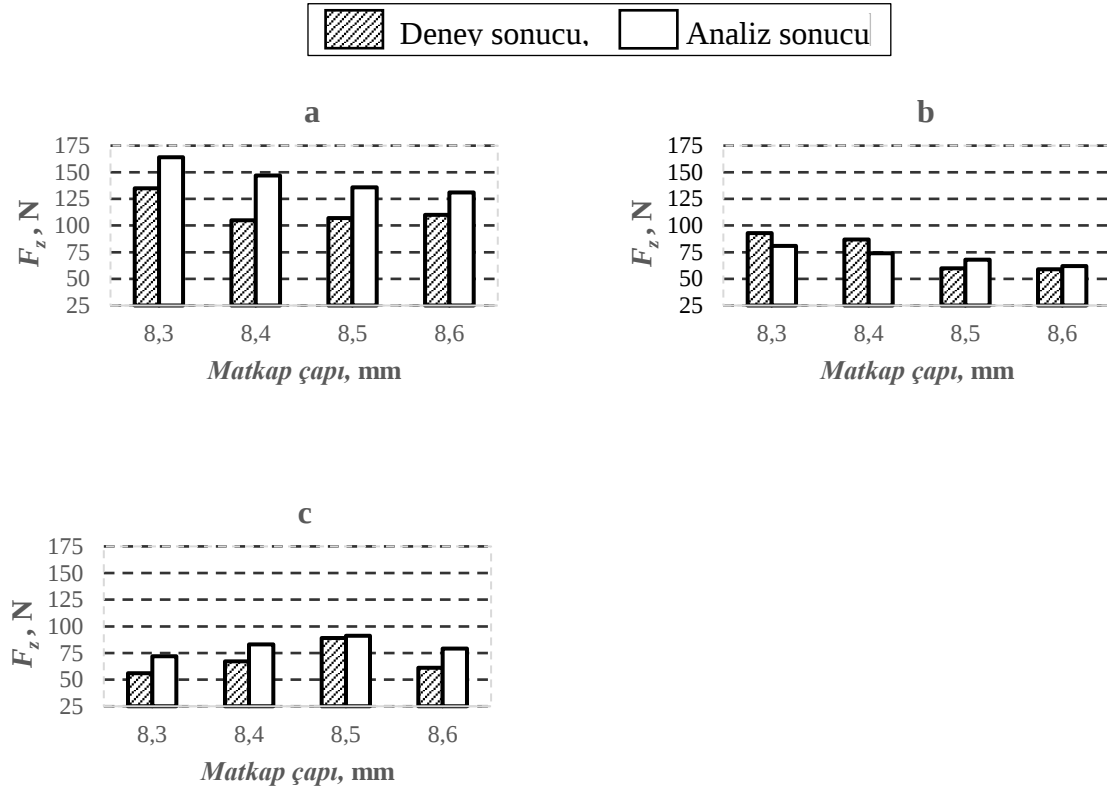
A303 kodlu kılavuzun 8,3 mm ve 8,6 mm çaplarda %95'in üzerinde yakınsama değerleri aldığı buna karşılık 8,4 mm ve 8,5 mm çaplarda ise yakınsama değerlerinin sırasıyla %78 ve %77 civarında olduğu tespit edilmiştir. A320 kodlu kılavuz için deney ve simülasyon sonuçları arasında 8,3;8,4;8,5;8,6 mm delik çaplarında sırasıyla %83, %79, %75, %73 yakınsama görülmüştür. A330 kodlu kılavuz için ise 8,3;8,4;8,5;8,6 mm delik çaplarında yakınsamalar sırasıyla %85, %80, %78, %81 elde edilmiştir.

Şekil 5.2'de TiN kaplamalı HSS kılavuzlara ait esas kesme kuvvet grafikleri incelendiğinde, kaplamasız HSS kılavuzlara benzer eğilimler görülmektedir. Delik çapı arttıkça kılavuzun kesme işlemi kolaylaşmaktadır. Dolayısıyla F_z kuvvetlerinde de azalmalar olmuştur. TiN kaplamalı HSS kılavuzlar için deney ve simülasyon sonuçları karşılaştırıldığında A303 kodlu kılavuzda, 8,3;8,4;8,5;8,6 mm delik çaplarında sırasıyla %82, %71, %78, %84

yakınsama değerleri gerçekleşirken A320 kodlu kılavuzda yakınsama değerleri sırasıyla %87, %85, %88, %95 olmuştur. A330 kodlu kılavuzda ise 8,3;8,4;8,5;8,6 mm delik çaplarında sırasıyla %78, %80, %97, %77 yakınsama değerleri elde edilmiştir.

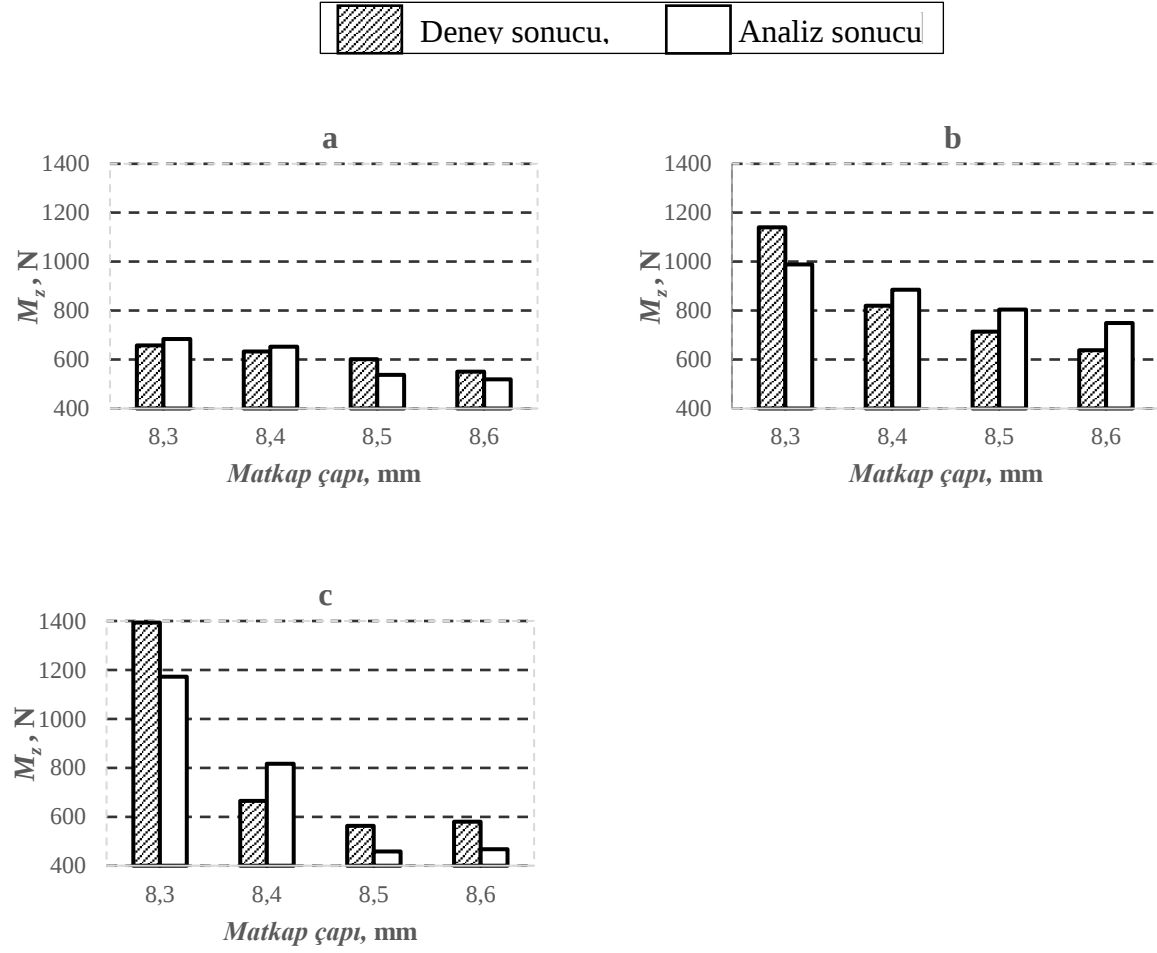


Şekil 5.1. Kaplamasız HSS kılavuzlar için F_z değerleri a) A303 kodlu kılavuz, b) A320 kodlu kılavuz, c) A330 kodlu kılavuz

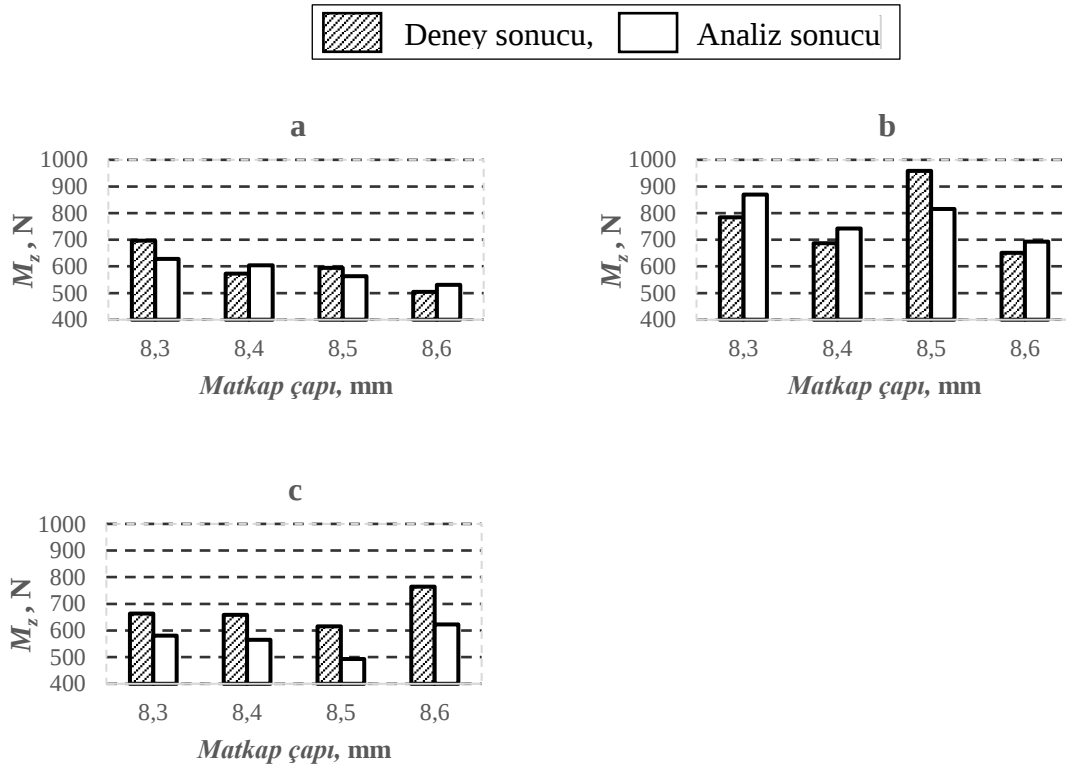


Şekil 5.2. TiN kaplamalı HSS kılavuzlar için F_z değerleri a) A303 kodlu kılavuz, b) A320 kodlu kılavuz, c) A330 kodlu kılavuz

Şekil 5.3'te kaplamasız HSS kılavuzların tork değerlerine bakıldığında 8,4 mm delik çapında A303 kodlu kılavuz için % 98 ve A320 kodlu kılavuz için % 93 ile en iyi yakınsamalar elde edilmiştir. A330 kodlu kılavuzda ise en iyi yakınsama 8,3 mm delik çapında % 84 olarak görülmüştür. Şekil 5.4'te TiN kaplamalı HSS kılavuzlar ile yapılan deney ve simülasyon sonuçlarının M_z yakınsama oranlarına bakıldığında; 8,6 mm delik çapında A303 kodlu kılavuz için % 95 ve A320 kodlu kılavuz için % 94 ile en iyi yakınsama değerleri elde edilmiş olup A330 kodlu kılavuz için ise 8,3 mm delik çapında % 88 ile en yakınsama gerçekleşmiştir.



Şekil 5.3. Kaplamasız HSS kılavuzlar için M_z değerleri a) A303 kodlu kılavuz, b) A320 kodlu kılavuz, c) A330 kodlu kılavuz



Şekil 5.4. TiN Kaplamalı HSS kılavuzlar için M_z değerleri a) A303 kodlu kılavuz, b) A320 kodlu kılavuz, c) A330 kodlu kılavuz

Genel bir değerlendirme yapıldığında; deney sonuçları ile simülasyon sonuçları arasında %5-25 civarında bir farklılık olduğu görülmektedir. Bu farklılık, takımın rijit modellenmesinden dolayı takım aşınması olmaması, iş parçası için oluşturulan Johnson-Cook malzeme modelindeki parametrelerden kaynaklandığına atfedilebilir. Bir diğer açıdan iş parçası ve takım arasında meydana gelen ısı iletim katsayısının, deney platformu koşullarına göre değişkenlik göstermesinin de bu farklılıklara sebep olduğu düşünülmektedir (Gökçe ve diğerleri, 2019; Aydın, 2016; Aslantaş, 2011). Kesin bir çözümden ziyade yaklaşık bir çözüm sunması ve böylece incelenen problemle ilgili çıkarımlar yapmayı kolaylaştırması bakımından; AdvantEdge gibi programlar yardımıyla simülasyonlar yaparken bunun gibi farklılıkların oluşması zaten beklenen bir durumdur.

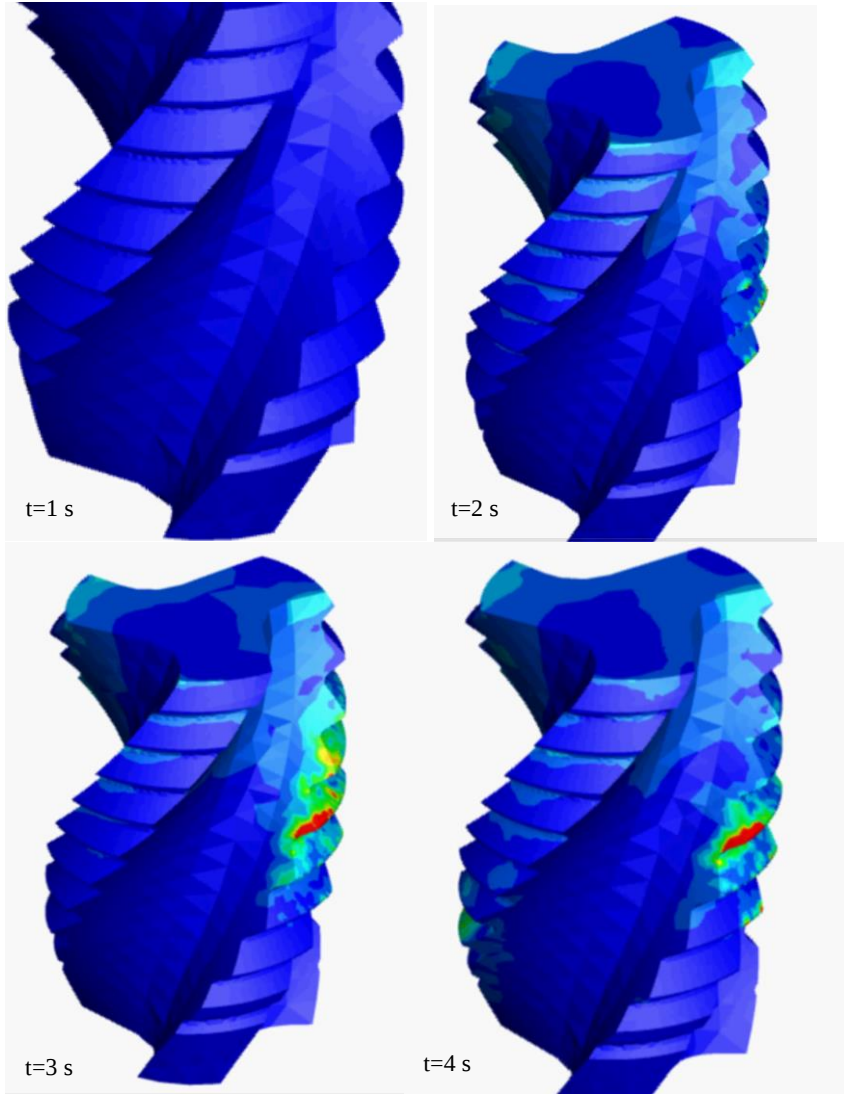
Deney sonucu ve simülasyon sonucu elde edilen verilerin yüzde olarak yakınsama oranları Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Deney sonucu ve simülasyon sonucu verilerinin yakınsama oranları

Kılavuz Kodu	Dney Sonucu Fz (N)	Analiz Sonucu Fz (N)	Yüzde Yakınsama	Deney Sonucu Mz (Ncm)	Analiz Sonucu Mz (Ncm)	Yüzde Yakınsama
A303	154	158	97%	658	684	96%
	113	144	78%	633	633	98%
	108	141	77%	601	537	89%
	121	126	96%	551	519	94%
A320	70	84	83%	1141	989	87%
	33	42	79%	820	886	93%
	12	16	75%	714	804	89%
	26	19	73%	638	749	85%
A303	144	123	85%	1394	1172	84%
	69	86	80%	665	817	81%
	57	73	78%	563	458	81%
	74	91	81%	580	467	80%
A303 (TiN kaplamalı)	135	164	82%	696	628	90%
	105	147	71%	573	604	94%
	107	136	78%	595	563	94%
	110	131	84%	504	531	95%
A320 (TiN kaplamalı)	93	81	87%	784	869	90%
	87	74	85%	687	742	93%
	60	68	88%	959	815	85%
	59	62	95%	651	693	94%
A330 (TiN kaplamalı)	56	72	78%	663	581	88%
	67	83	80%	659	565	86%
	89	91	97%	615	493	80%
	61	79	77%	764	608	79%

5.2. Kesici Takımlarda Oluşan Gerilmeler

Simülasyon koşullmaya başladığı ilk zamandan bitinceye kadarki tüm simülasyon süresince kesici takımında oluşan gerilmeler adım-adım izlenebilmektedir. Şekil 5.5'te 4 saniyelik bir simülasyon videosundan alınan 8,3 mm delik çaplı simülasyon için TiN kaplamalı A330 kodlu kılavuz üzerinde oluşan gerilmeler, örnek bir gösterim amacıyla birkaç film karesi gibi verilmiştir. Döngüsel olarak her bir kesici kenardaki gerilme dağılımları tekrarlanmaktadır.

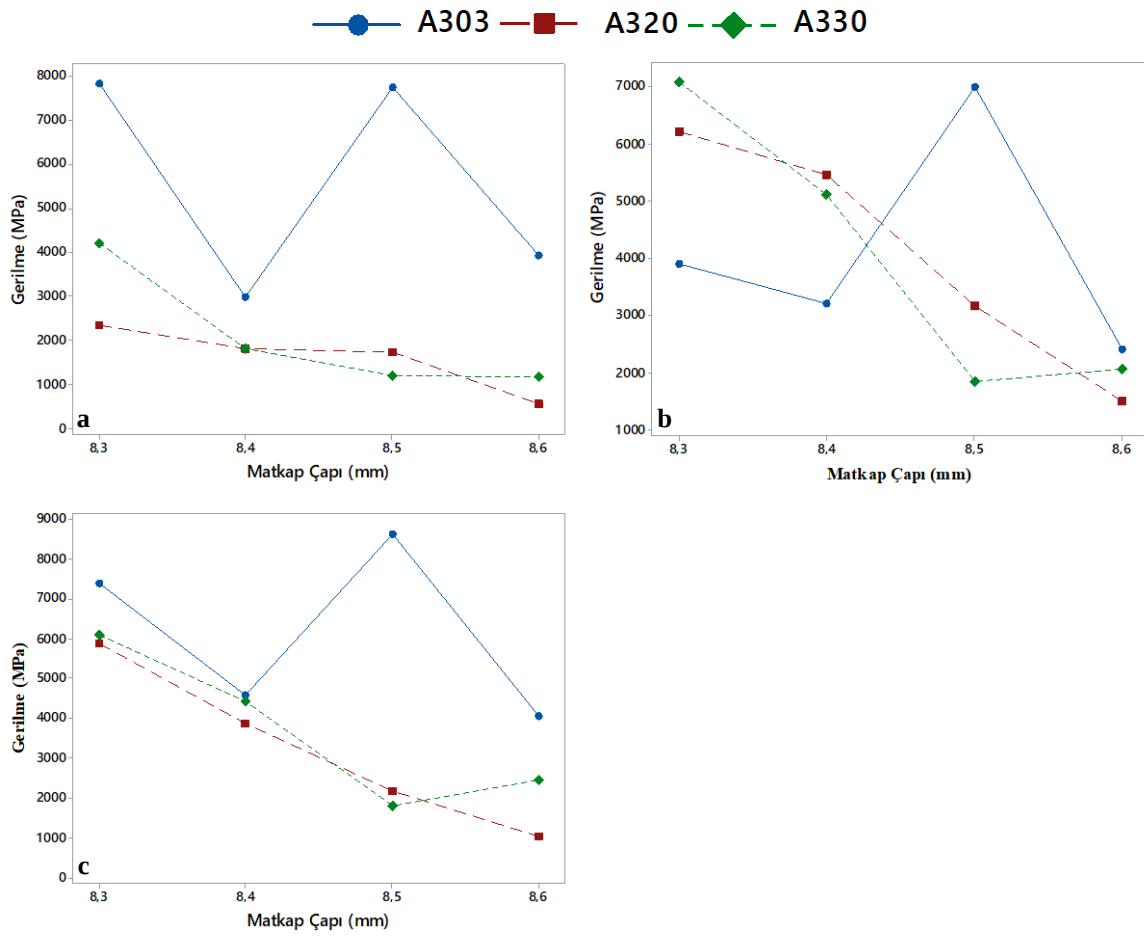


Şekil 5.5. A330 kodlu kılavuz üzerinde oluşan gerilmeler

Aşağıda kesici takım üzerinde oluşan en büyük asal gerilme (çekme gerilmesi, σ_1), en küçük asal gerilme (basma gerilmesi, σ_3) ve eşdeğer gerilme (veya von Mises gerilmesi, σ_e) analizleri üzerinde durulmuştur.

Şekil 5.6’da kaplamasız HSS kılavuzlar için σ_1 , σ_3 ve σ_e değerleri verilmiştir. Genel olarak en büyük σ_1 değerlerinin 8,3 mm delik çapında olduğu görülmektedir. 8,3 mm delik çapında A303 kodlu kılavuz için 7842 MPa, A320 kodlu kılavuz için 2344 MPa ve A330 kodlu kılavuz için 4193 MPa gerilme değerleri elde edilmiştir. Bu durum delik çapı küçüldükçe artan talaş yüküne atfedilebilir. Delik çapı büyüdükçe talaş yükünün azalmasına bağlı olarak gerilme değerlerinin de azaldığı görülmekte olup en küçük gerilme değerleri; A303 kodlu kılavuz için 8,4 mm delik çapında 2982 MPa, A320 ve A330 kodlu kılavuzlar

için de 8,6 mm delik çapında sırasıyla 554 MPa ve 1173 MPa olarak gerçekleşmiştir. σ_3 grafiğine bakıldığında en büyük gerilmeler; A303 kodlu kılavuz için 8,5 mm delik çapında 6989 MPa, A320 ve A330 kodlu kılavuzlarda 8,3 mm delik çapında sırasıyla, 6224 MPa ve 7094 MPa oluşmuştur. En büyük basma gerilmelerinin çekme gerilmelerine göre farklı delik çaplarında olduğu görülmektedir. σ_e grafiği incelendiğinde ise, 8,5 mm delik çapında A303 kodlu kılavuz için 8640 MPa, 8,3 mm delik çapında A320 ve A330 kodlu kılavuzlar için sırasıyla 5878 MPa ve 6098 MPa değerleri elde edilmiştir.

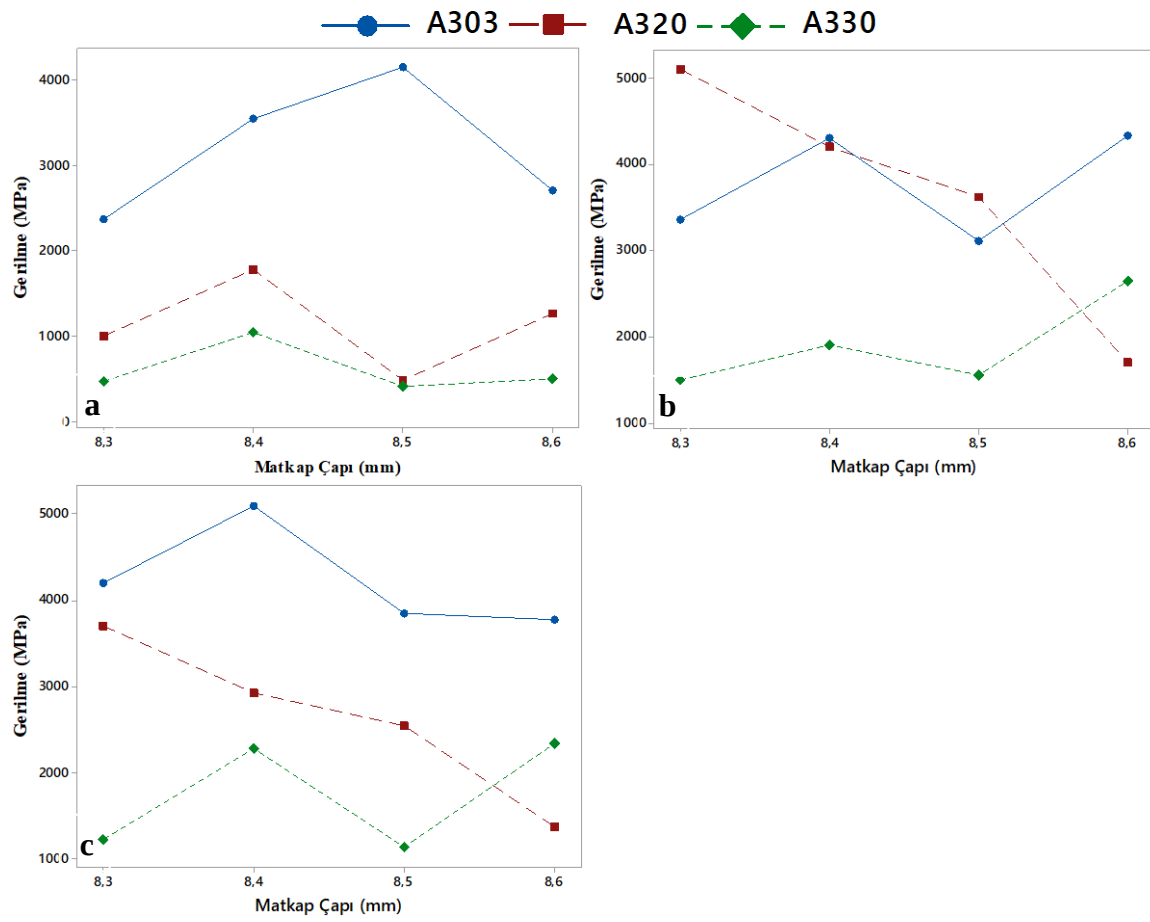


Şekil 5.6. Kaplamasız HSS kılavuzlar için a) σ_1 , b) σ_3 ve c) σ_e değerleri

Şekil 5.7’de σ_1 grafiği incelendiğinde en büyük gerilmeler; A303 kodlu kılavuz için 8,5 mm delik çapında 4151 MPa, A320 ve A330 kodlu kılavuzlar için 8,4 mm delik çapında sırasıyla 1779 MPa ve 1046 MPa oluşmuştur. σ_3 grafiği incelendiğinde en büyük değerler; A303 ve A330 kodlu kılavuzlar için 8,6 mm delik çapında sırasıyla 4333 MPa ve 2642 MPa, A320 kodlu kılavuz için 8,3 mm delik çapında 5104 MPa olarak elde edilmiştir. σ_e grafiği incelendiğinde ise en büyük değerler; A303 kodlu kılavuz için 8,4 mm delik çapında 5092

MPa, A320 kodlu kılavuz için 8,3 mm delik çapında 3706 MPa ve A330 kodlu kılavuz için 8,6 mm delik çapında 2342 MPa değerleri gerçekleşmiştir.

Şekil 5.6 ve Şekil 5.7’de görüldüğü üzere A303, A320 ve A330 kodlu kılavuzlar için oluşan gerilme değerleri farklı çaplarda meydana gelmiştir. Bu beklenen bir durum olmakla birlikte simülasyon koştururken ağ yapısında oluşabilen kısmi bozulmalara atfedilebilir (Şekil 4.14b). Ayrıca takımın rijit olarak belirlenmesi neticesinde hiç enerji absorbe etmemesi olarak da düşünülmektedir. (Oezkaya ve Biermann, 2018; Gökçe ve diğerleri, 2019; Gökçe ve diğerleri, 2017; Aydın, 2016).



Şekil 5.7. TiN kaplamalı HSS kılavuzlar için a) σ_1 , b) σ_3 ve c) σ_e değerleri

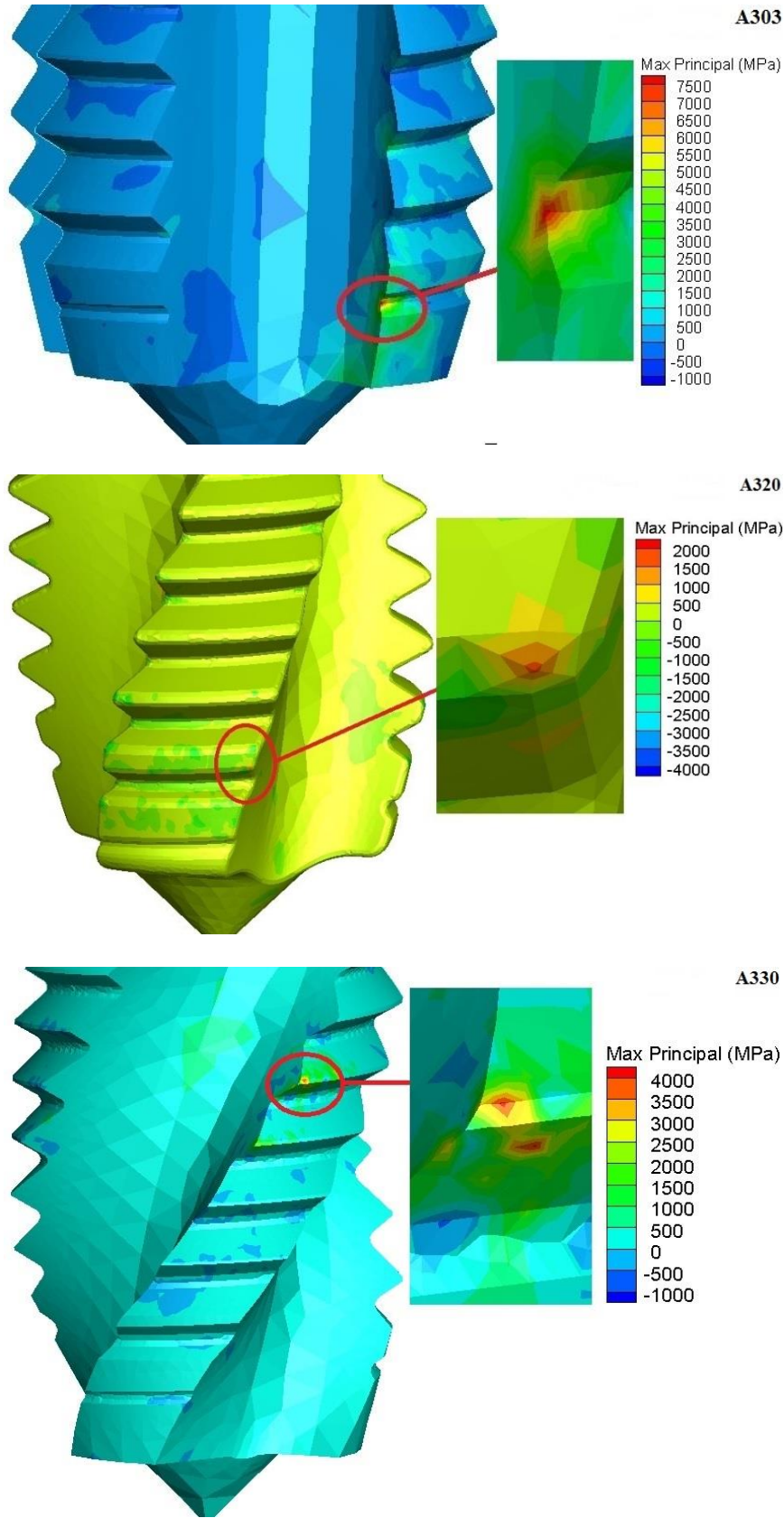
Kaplamasız HSS kılavuzlarda oluşan gerilme dağılımları incelendiğinde, Şekil 5.8’deki kılavuzlarda oluşan en büyük asal gerilmeler; A303, A320 ve A330 kodlu kılavuzlar için 8,3 mm delik çapında elde edilmiştir. A303 kodlu kılavuz için 1. ağızlama dişinin hemen üzerinde kesme kenarında 7842 MPa, A320 kodlu kılavuz için 2. ağızlama dişinin kesme

kenarında 2344 MPa, A330 kodlu kılavuz için ise 3. ve 4. tam dişlerde ve 4193 MPa oluşmuştur.

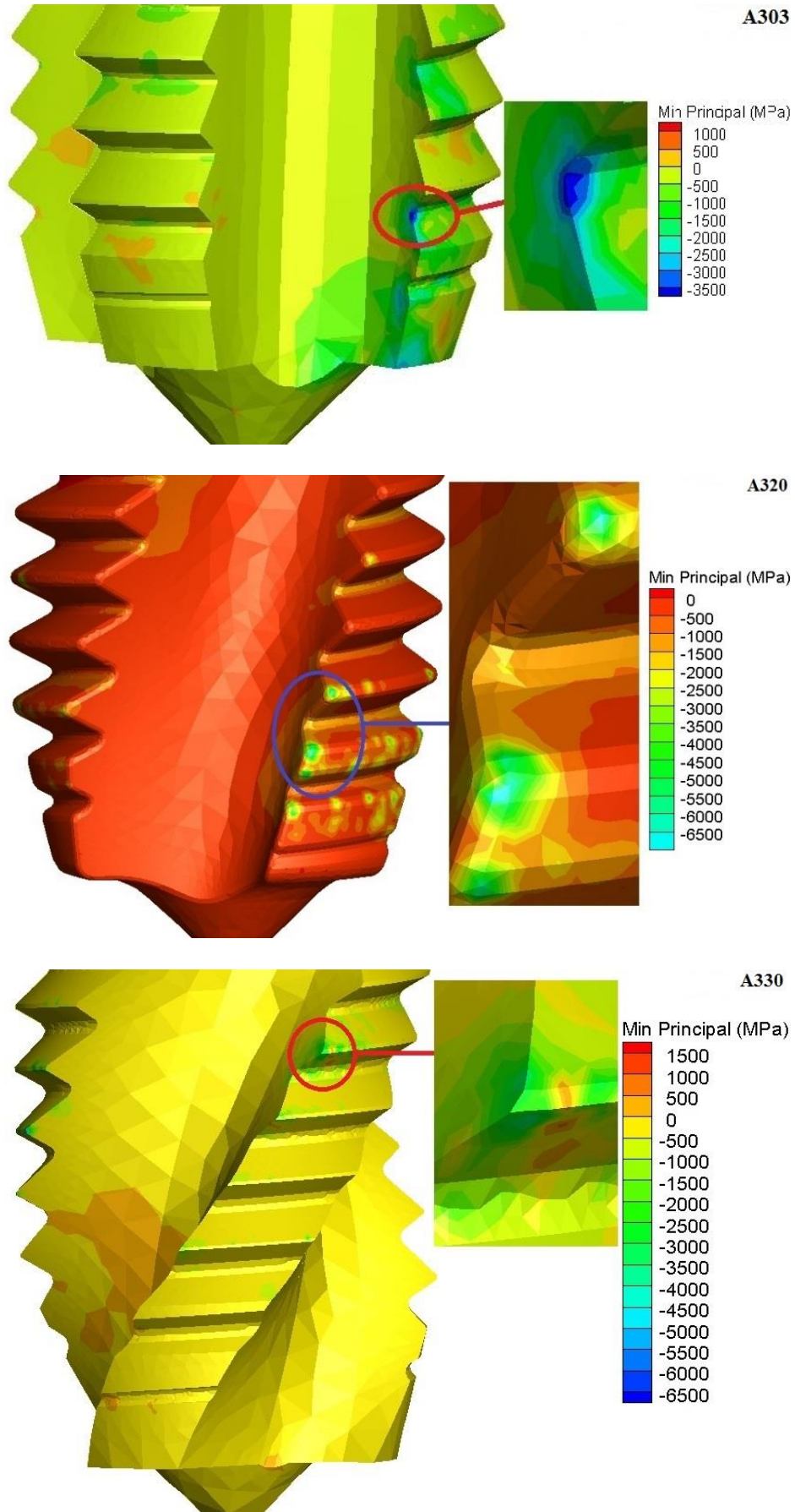
A303, A320, A330 kodlu kılavuz takımları için en küçük asal gerilmenin gerçekleştiği durumları gösteren Şekil 5.9'daki gerilme dağılımları incelendiğinde; A303 kodlu kılavuz için 8,5 mm delik çapında ikinci ağızlama dişi ile ilk tam dişin ortasında, diş dibine yakın bir bölgede gerilme değeri 6989 MPa olmuştur. A320 ve A330 kodlu kılavuzlar için 8,3 mm delik çapında gerçekleşmiştir. A320 kodlu kılavuz için 1. ve 2. ağızlama dişinin kesme kenarı ile 1. tam dişin kesme kenarında görülmekte olup 6224 MPa, A330 kodlu kılavuzda ise 3. ve 4. tam dişlerde 7094 MPa değerleri elde edilmiştir.

Şekil 5.10'daki eşdeğer (von Mises) gerilmelere bakıldığında; A303, A320 ve A330 kodlu kılavuzların hepsinde en büyük gerilme değerleri 8,3 mm delik çapında gerçekleşmiştir. A303 kodlu kılavuz için 1. ağızlama dişi ile 2. ağızlama dişi arasında diş dibine yakın bir bölgede görülmekte olup 7402 MPa değeri elde edilmiştir. A320 kodlu kılavuz için 2. ağızlama dişinin kesme kenarında 5878 MPa oluşmuştur. A330 kodlu kılavuz için ise 3. ve 4. tam dişlerde ve 6098 MPa değerindedir.

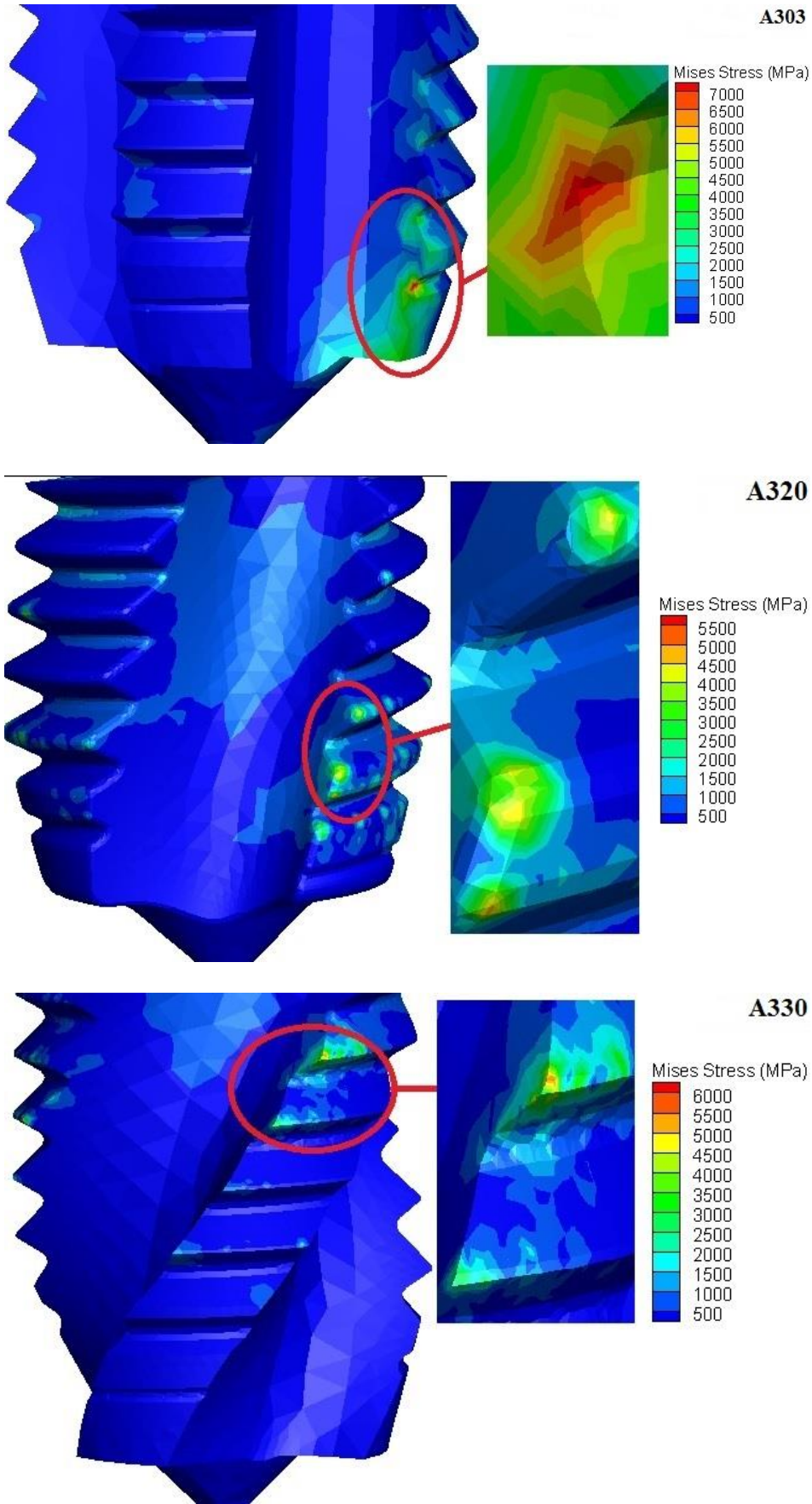
Gerilme dağılımlarındaki yukarıda açıklanan durumlar kılavuz kanal helis açısına bağlı gelişmiş olup düz kanallı A303 kodlu kılavuzun kesici kenarların tam diş derinliğinin oluşmadığı ilk diştten itibaren zorlandığı, helis açısının 15° olduğu helis kanallı A320 kodlu kılavuzda zorlanmanın ikinci dişe taşındığı, helis açısının 30°'ye (A330 kodlu kılavuz) çıkmasıyla ise zorlanmanın tam diş derinliğinin olduğu 3. ve 4. dişlere taşındığı görülmektedir. Bu durum helis kanallı kılavuzların düz kanallı kılavuza göre kesme işlemini kolaylaştırdığına işaret etmektedir. Helisel kanallı kılavuzlarda kesme işlemindeki bu kolaylaştırma ise helisel kanallarda talaşın daha kolay kırılmasına ve talaş tahliyesini kolaylaştırmasına atfedilmiştir (Uzun ve Korkut, 2012; Kayır,2010; Avuncan, 1998).



Şekil 5.8. Kaplamasız HSS kılavuzlarda oluşan en büyük asal gerilmeler



Şekil 5.9. Kaplamasız HSS kılavuzlarda oluşan en küçük asal gerilmeleri



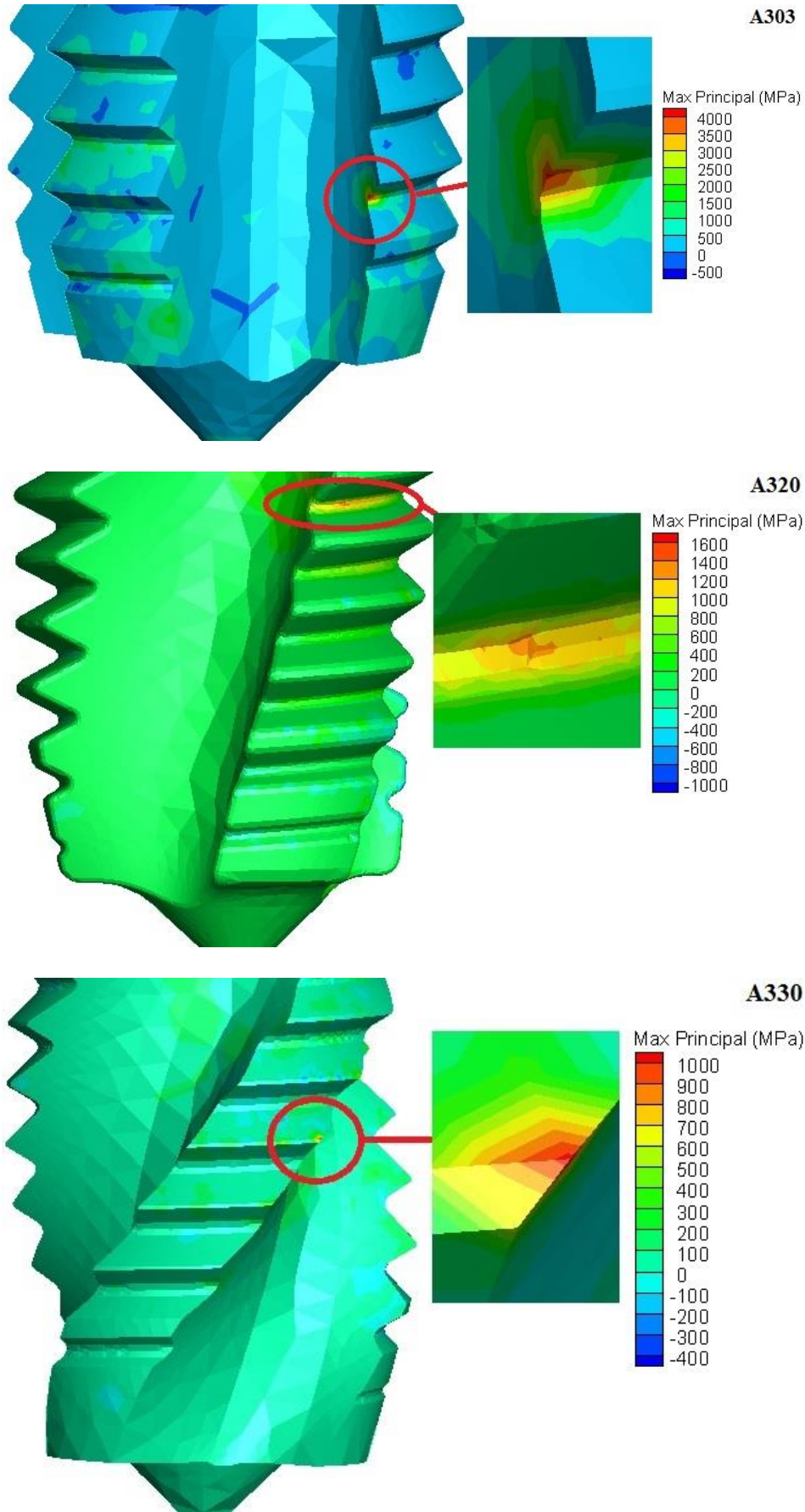
Şekil 5.10. Kaplamasız HSS kılavuzlarda oluşan eşdeğer gerilmeler

Şekil 5.11, Şekil 5.12 ve Şekil 5.13'te TiN kaplamalı HSS kılavuzlarda oluşan gerilme dağılımları verilmiştir. Şekil 5.11'deki en büyük asal gerilmeler (σ_1) incelendiğinde; A303 kodlu kılavuz için 8,5 mm delik çapında, 2. ağızlama dişi ve 1. tam dişin birleştiği diş dibinde görülmekte olup 4151 MPa değerindedir. A320 kodlu kılavuz için 8,4 mm delik çapında, 4. ve 5. tam dişin birleştiği diş dibinde 1779 MPa oluşmuştur. A330 kodlu kılavuz için 8,4 mm delik çapında, 3. tam dişin kesme kenarında görülmekte olup 1046 MPa oluşmuştur.

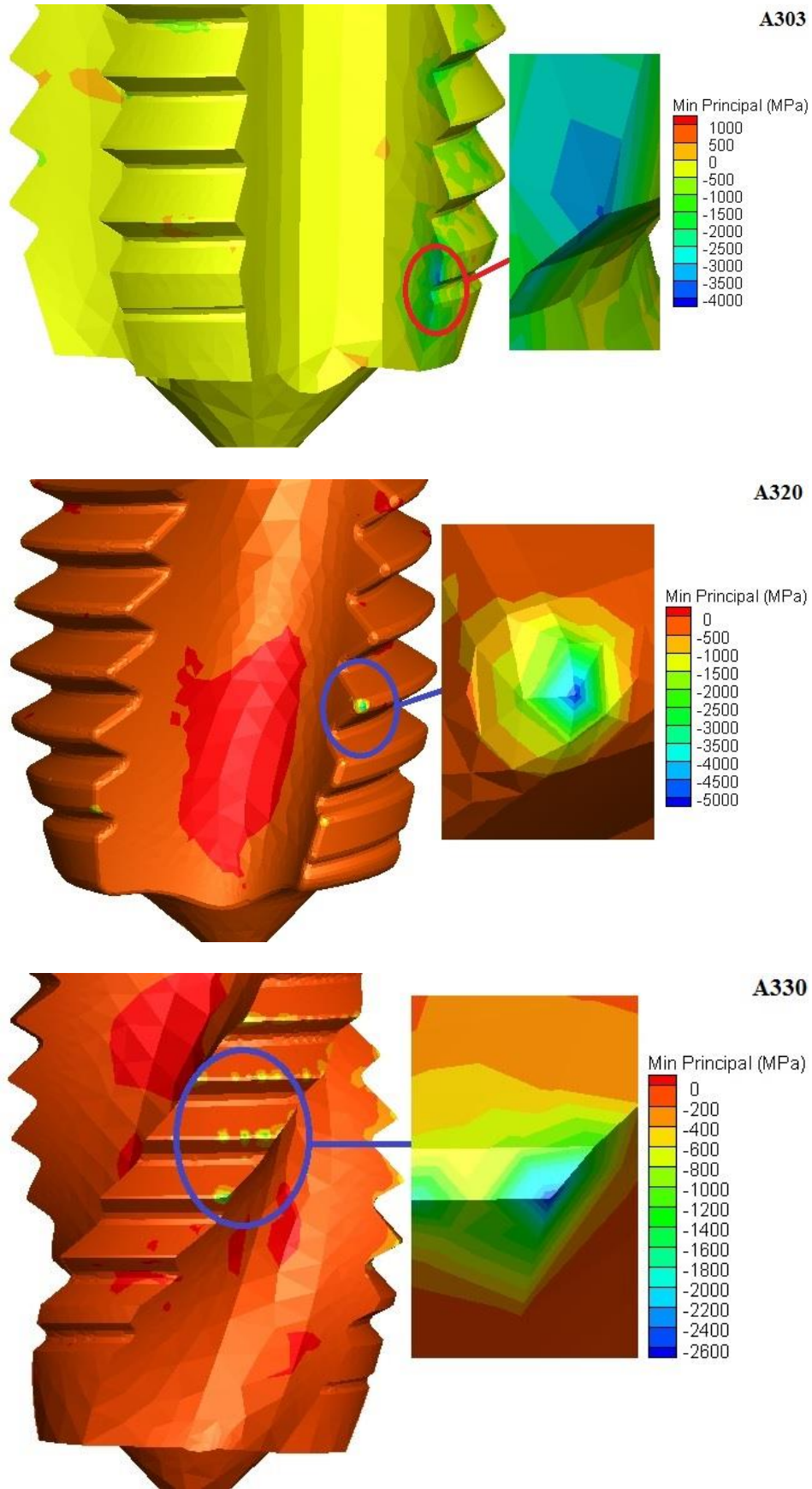
Şekil 5.12'deki en küçük asal gerilmelere (σ_3) bakıldığında; A303 kodlu kılavuz için 8,6 mm delik çapında, 2. ağızlama dişinin kesme kenarında görülmekte olup 4333 MPa değerindedir. A320 kodlu kılavuz için 8,3 mm delik çapında, 2. tam dişin kesme kenarında 5104 MPa oluşmuştur. A330 kodlu kılavuz için 8,6 mm delik çapında, 4. tam dişin kesme kenarının tamamında, 2., 3. ve 5. tam dişin kesme kenarında belirli bölgelerde görülmekte olup 2642 MPa değerindedir.

Şekil 5.13'teki eşdeğer gerilmelere (σ_e) bakıldığında; A303 kodlu kılavuz için 8,4 mm delik çapında, 1. ağızlama dişinin kesme kenarının üst kısmında görülmekte olup 5092 MPa oluşmuştur. A320 kodlu kılavuz için 8,3 mm delik çapında, 1. tam dişin kesme kenarında 3706 MPa değerindedir. A330 kodlu kılavuz için ise 8,6 mm delik çapında, 2. ve 3. tam dişlerin kesme kenarında 2342 MPa değeri elde edilmiştir.

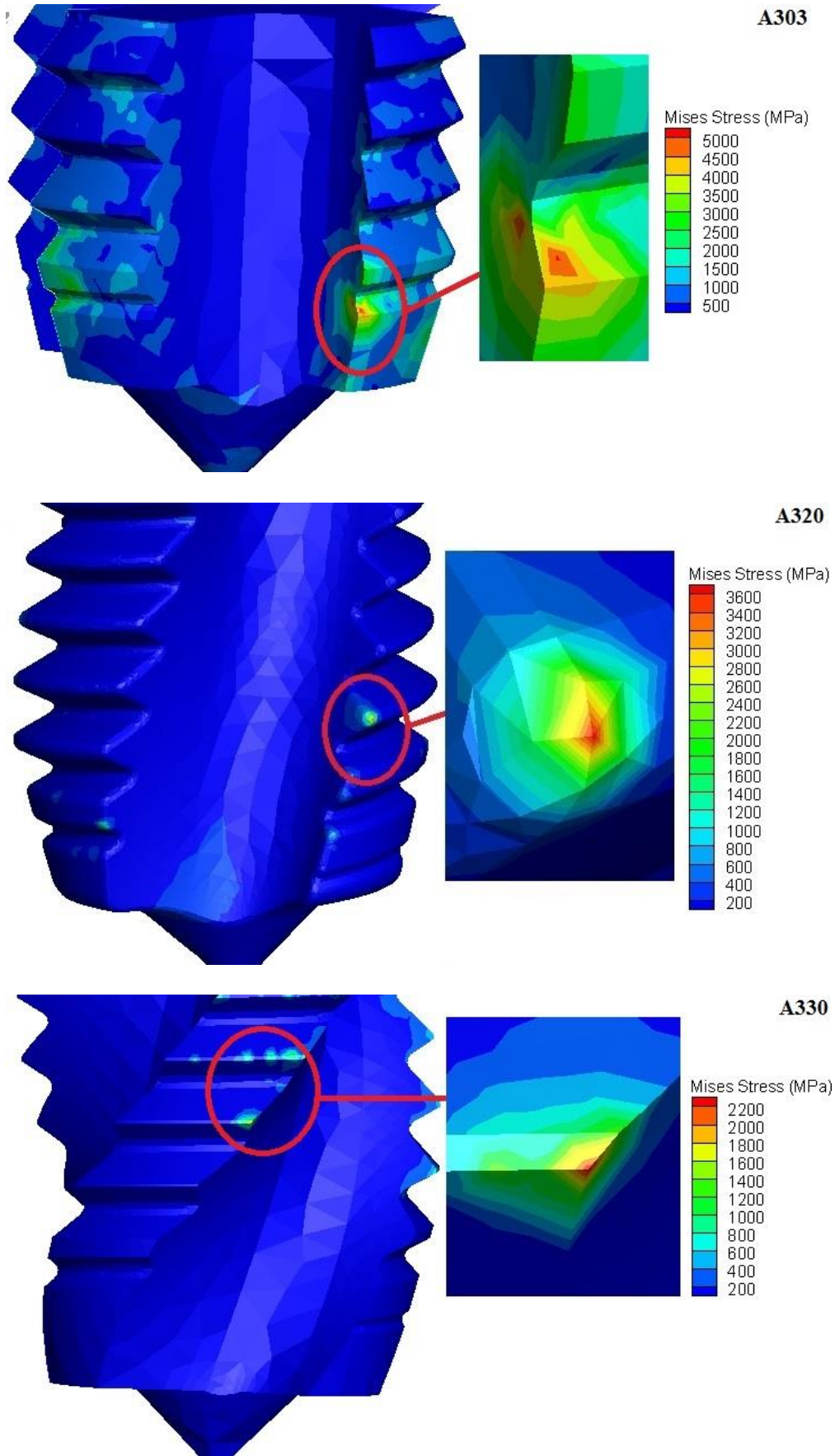
TiN kaplamalı HSS kılavuzlarda görüntülenen gerilme bölgelerinin, kaplamasız HSS kılavuzlardakine göre üst dişlere taşındığı tespit edilmiştir. Bu durum, kaplamanın kesme esnasında kesici takım talaş yüzeyindeki sürtünmeleri bir ölçüde düşürerek kesmeyi kolaylaştırdığına, dolayısıyla da gerilmeleri düşürdüğüne atfedilebilir (Çiftçi, 2005; Aslantaş, 2011).



Şekil 5.11. TiN kaplamalı HSS kılavuzlarda oluşan en büyük asal gerilmeler



Şekil 5.12. TiN kaplamalı HSS kılavuzlarda oluşan en küçük asal gerilmeler



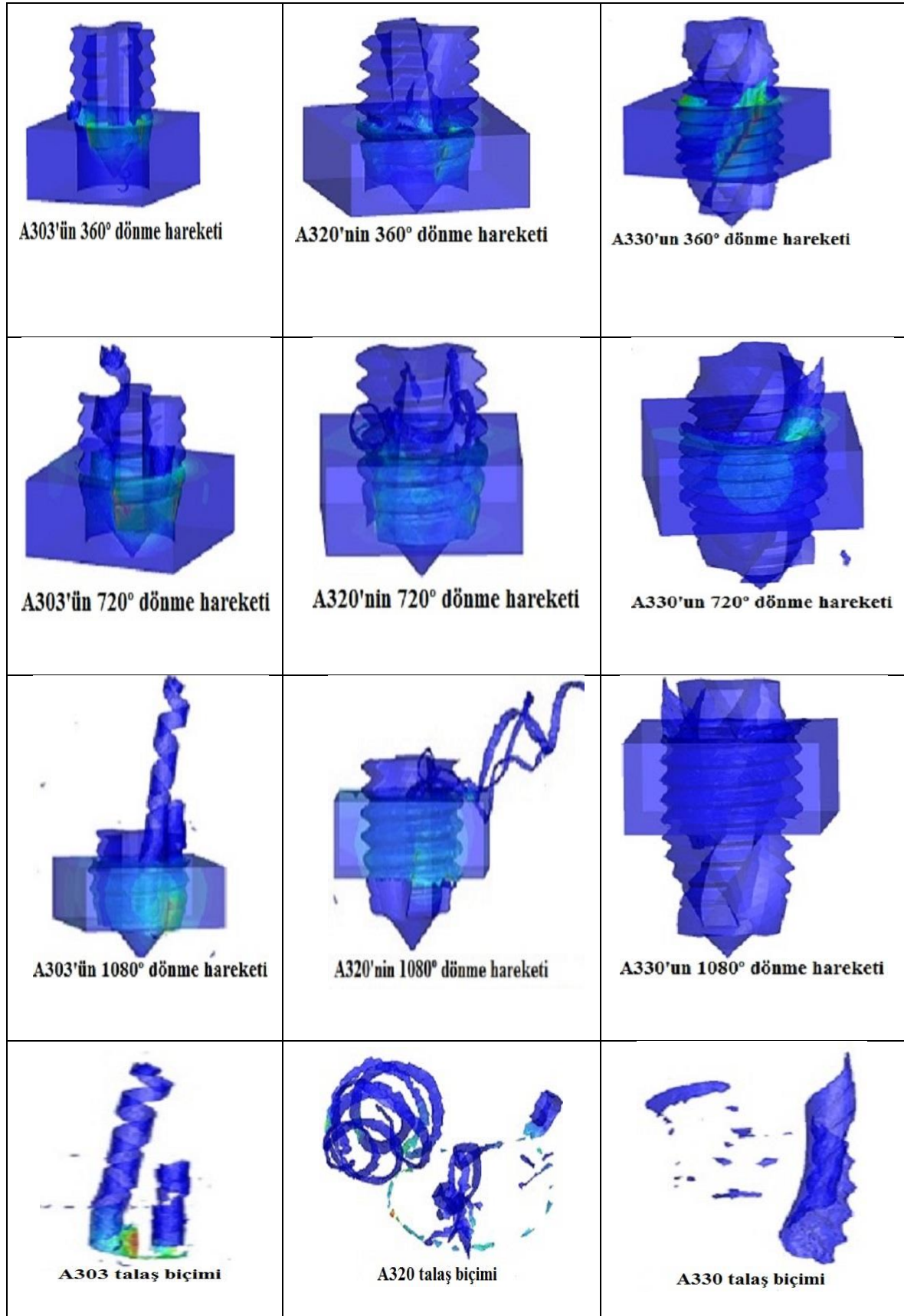
Şekil 5.13. TiN kaplamalı HSS kılavuzlarda oluşan eşdeğer gerilmeler

5.3. Talaş Oluşumu

Şekil 5.14'te düz kanallı (A303), 15° helis kanallı (A320) ve 30° helis kanallı (A330) kılavuzlarla vida açma işleminin simülasyonu sonucunda meydana gelen talaş tipleri verilmiştir.

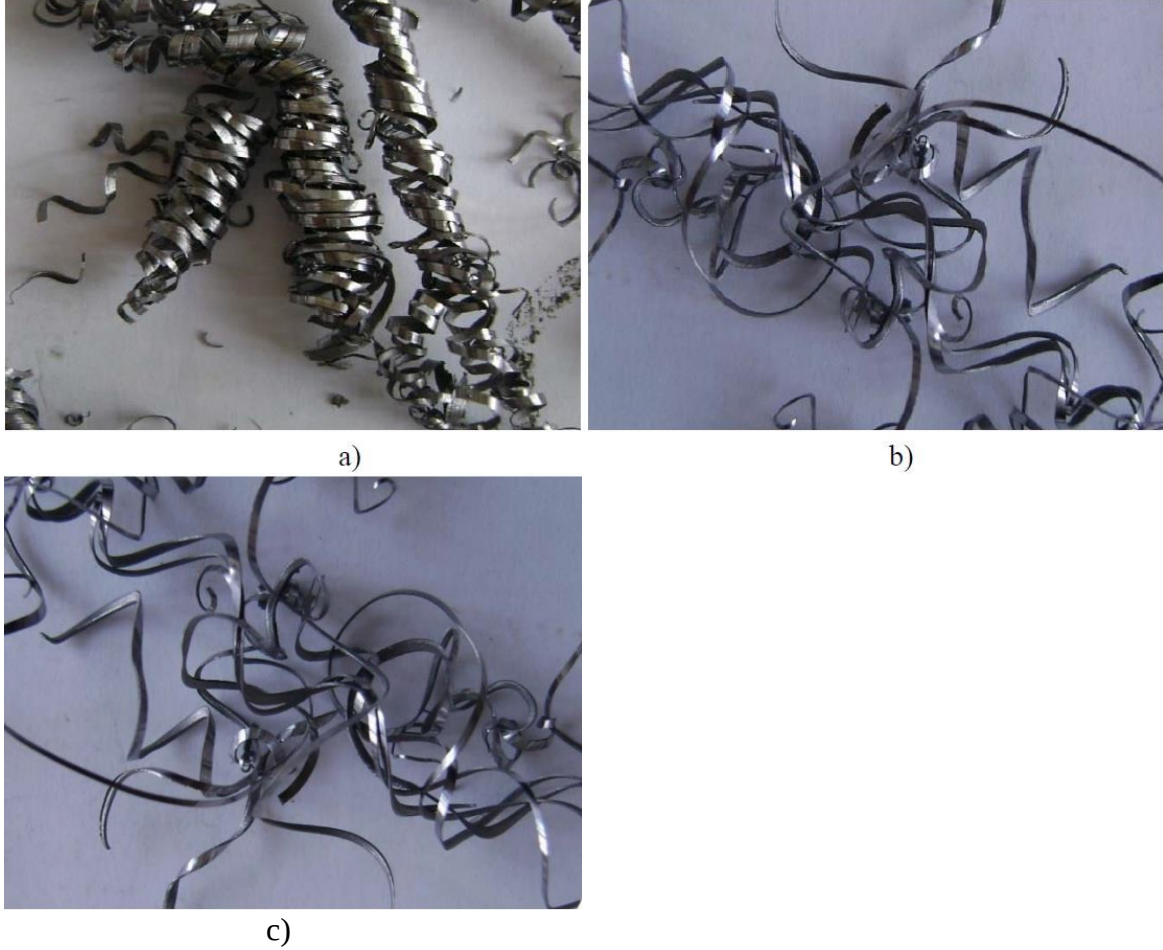
Düz kanallı kılavuzda (A303) talaş biçimi; sürekli talaş eğilimi sergilerken, talaşın kanallar içerisinde sıkışması, zorlanmalara sebep olmakta ve daha ilk dişten itibaren takımı zorlamaya başladığı düşünülmektedir. Talaş tahliye kanalı helisel kanal olduğundaki durum incelendiğinde 15°'li helis açısındaki talaş biçimi; sürekli talaş ve kopuk talaş eğilimi arasında bir talaş eğilimi sergilemekte olup nispeten kırılmalar başlamaktadır. Dolayısıyla gerilmeler biraz daha yukarı taşınmaktadır. Çünkü ilk ağızdan itibaren zorlanma meydana gelmemektedir. Helis açısı 30° olduğu durumda ise talaş, tamamen kopuk talaş eğilimi sergilediğinden, kolayca kopup kanallarda da sıkışmaya sebep olmadan tahliye edilebilir hale gelmektedir. Dolayısıyla talaşın kolay şekilde tahliye edilmesi gerilmelere olumlu etki etmekte olup gerilmelerde düşüşler gözlenmektedir.

Kesme kuvvetleri, tork ve gerilme değerlerini etkileyen önemli parametrelerden biri de talaş tipidir. Dolayısıyla işlenecek malzemeye ait oluşacak talaş tipinin tahmini işleme ekonomisi açısından önem arz etmektedir (Gökçe ve diğerleri, 2019).



Şekil 5.14. A303, A320 ve A330 kodlu kılavuzlara ait 360°-720°-1080° dönme hareketleri ve oluşan talaş biçimi görüntüleri

Şekil 5.15'te deneysel çalışma sonucunda elde edilen talaş biçimleri gösterilmiştir (Kayır, 2010). Bu talaş biçimlerinin simülasyonlar sonucu oluşan talaş biçimleri ile oldukça uyumlu olduğu görülmektedir. Bu durum, bu çalışma için oluşturulan malzeme modelinin deney malzeme modeline uyumlu olduğuna atfedilebilir.



Şekil 5.15. Deneyler sırasında a) A303 kodlu kılavuz ve b) A320 kodlu kılavuz c) A330 kodlu kılavuzlarla elde edilen talaş biçimleri

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında, AISI 1050 malzemesine dört farklı çapta açılan deliklere üç farklı formdaki (düz kanallı A303 kodlu kılavuz, 15° helis kanallı A320 kodlu kılavuz, 30° helis kanallı A330 kodlu kılavuz) TiN kaplamalı ve kaplamasız HSS makine kılavuzları ile vida açma işleminin simülasyonları ve analizleri yapılmıştır. Simülasyon sonuçları neticesinde elde edilen esas kesme kuvvetleri, tork değerleri, talaş biçimi ve kesici takım gerilmeleri incelenmiştir. Esas kesme kuvvetleri, tork değerleri ve talaş biçimleri deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca kesici takım ömrü açısından önem arz eden gerilme dağılımlarının hangi bölgelerde olduğu tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen bulgular aşağıda maddeler halinde sunulmuştur:

1. Literatürdeki malzeme modelleri referans alınarak geliştirilen yeni malzeme modeli kullanılarak koşturulan simülasyon sonuçları ile deney sonuçları arasında yaklaşık %75 - %97 arasında değişen benzerlikler görülmüştür. Bu durum simülasyonlar için oluşturulan Johnson-Cook malzeme modeli parametrelerinin deneylerde kullanılan malzeme modeli parametreleri ile yakınsadığını göstermektedir.
2. AdvantEdge programı kütüphanesindeki hazır malzeme modeli kullanılarak yapılan vida açma simülasyonlarından elde edilen sonuçların deney sonuçlarıyla yakınsamaması ise, deneylerde kullanılan malzeme modeli ile program kütüphanesindeki malzeme modelinin uyuşmadığına atfedilebilir.
3. Deney sonuçları ile simülasyon sonuçları karşılaştırıldığında genel olarak en iyi yakınsamalar TiN kaplamalı ve kaplamasız HSS kılavuzlarda sırasıyla A303 kodlu kılavuzda, sonra A320 kodlu kılavuzda, daha sonra A330 kodlu kılavuzda elde edilmiştir.
4. Kesme kuvvetleri ile tork değerleri açısından en iyi yakınsama sırasıyla, 8,3 mm ve 8,4 mm delik çapında A303 kodlu kaplamasız HSS takımda görülmüştür.
5. Genel olarak en büyük çekme ve basma gerilmeleri A303 ile A330 kodlu kaplamasız HSS kılavuzlarda oluşmuş olup sırasıyla, 7842 MPa ve 7094 MPa'dır. En büyük eşdeğer gerilme ise A303 kodlu kaplamasız HSS kılavuzda 7402 MPa oluşmuştur.

6. CNC dik işleme tezgahlarında kullanılan parametreler sonlu elemanlar yöntemi kullanan simülasyon programlarında kullanılarak kesme parametreleri için optimum değerlerin tahmini yapılabilir. Bununla birlikte maliyetli deneysel araştırmalardan kaçınılmış olunur.
7. Kesme kuvvetleri, tork değerleri, sıcaklık, gerilme değerleri gibi verilerin programdan elde edilebilmesi, tasarım parametreleri ile bağlantılı takım performansı için bir eğilim sağlayarak takım geliştirme sürecini destekleyebilir.
8. AdvantEdge'in talaşlı imalat işlemleri tabanlı bir program olmasından dolayı kesme sırasında oluşan gerilme, talaş biçimi, sıcaklık, kesme kuvvetleri, tork, ısı oranı gibi birçok veriyi çıktı olarak vermesi, işleme öncesi kullanıcıya ön fikirler verebilir.
9. Simülasyon platformundaki kesme işlemleri sonrasında oluşan talaş biçimleri ile deneysel çalışma sonucu oluşan talaş biçimlerinde yüksek benzerlik görülmüştür. Yapılan simülasyonlar sonucunda AdvantEdge programının simülasyon kabiliyetinin oldukça iyi olduğu söylenebilir.
10. Simülasyon koşturmak için üretici firmalar tarafından üretilen takımın modeline ulaşılabilmesi durumunda, tersine mühendislik yöntemi ile oluşturulacak geometik modelin doğruluğunun sonuçlara etkisi üzerine düşünülmesi de önem arz etmektedir.
11. Araştırmacılar AdvantEdge yazılımını kullanarak gelecekte farklı operasyonlarda, farklı takımlar için oluşan sıcaklık değişimi, tork değerleri, kesme kuvvetleri, takım gerilmeleri, talaş biçimleri gibi parametreleri inceleyebilirler.

KAYNAKLAR

- Abouridouane, M., Klocke, F. ve Lung, D. (2013). Microstructure-based 3D finite element model for micro drilling carbon steels. *Procedia CIRP*, 8, 94-99.
- Akram, S., Jaffery, S. H. I., Khan, M., Mubashar, A. ve Ali, L. (2015). A numerical investigation of effects of cutting velocity and feed rate on residual stresses in aluminum alloy Al-6061. *International Journal of Manufacturing, Materials, and Mechanical Engineering*, 3, 26-30.
- Akkurt, M. (2012). *Talaş Kaldırma Bilimi ve Teknolojisi CNC Takım Tezgahları ve Üretim Otomasyonu* (İkinci Baskı). İstanbul: Birsen Yayınevi, 25-45.
- Araujo, A. C. ve Fromentin, G. (2017). Modeling thread milling forces in mini-hole in dental metallic materials. *Procedia CIRP*, 58, 623-628.
- Araujo, A. C., Mello, G. M. ve Cardoso, F. G. (2015). Thread milling as a manufacturing process for API threaded connection: Geometrical and cutting force analysis. *Journal of Manufacturing Processes*, 18, 75-83.
- Armarego, E. J. A. ve Chen, M. N. (2002). Predictive cutting models for the forces and torque in machine tapping with straight flute taps. *CIRP Annals*, 51(1), 75-78.
- Aslantaş, K. (2011). TiN kaplanmış kesici takımlarda gerilme analizi ve takım-talaş ara yüzündeki sürtünme katsayısının etkisi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9(2), 185-190.
- Avuncan, G. (1998). *Talaş Kaldırma Ekonomisi ve Kesici Takımlar* (Birinci Baskı). Gebze: Mavi Tanıtım Yayınevi, 195-249.
- Apaydın, D. (2009). *AISI 4340 Malzemenin Tornalanmasında Oluşan Kesme Kuvvetlerinin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Modellenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon, 78-96.
- Aydın, M. (2016). Dik kesme işleminde kalıcı gerilmelerin sonlu elemanlar yöntemiyle modellenmesi. *Politeknik Dergisi*, 19(3), 297-304.
- Belytschko, T., Liu, W. K. and Moran, B. (2013). *Nonlinear Finite Elements For Continua and Structures* (İkinci Baskı). Chichester, İngiltere: John Wiley Yayınevi, 112-136.
- Biermann, D. ve Oezkaya, E. (2017). CFD simulation for internal coolant channel design of tapping tools to reduce tool wear. *CIRP Annals*, 66(1), 109-112.
- Budak, E. ve Ozlu, E. (2008). Development of a thermomechanical cutting process model for machining process simulations. *CIRP Annals*, 57(1), 97-100.
- Chandrupatla, T. R., Belegundu, A. D., Ramesh, T., ve Ray, C. (2002). *Introduction To Finite Elements In Engineering* (Second edition). New Jersey: Prentice Hall, 280-295.
- Çakır, M. C. (2018). *Modern Talaşlı İmalatın Esasları* (Üçüncü Baskı). Bursa: Dora Yayıncılık, 10-40.

- Çiftçi, İ. (2005). Östenitik paslanmaz çeliklerin işlenmesinde kesici takım kaplamasının ve kesme hızının kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 20(2), 16-22.
- Dijkstra, J., Broere, W., Heeres, O. M. (2011). Numerical simulation of pile installation. *Computers and Geotechnics*, 5(38), 612-622.
- Dinc, C., Lazoglu, I. ve Serpenguzel, A. (2008). Analysis of thermal fields in orthogonal machining with infrared imaging. *Journal of materials processing technology*, 198(1-3), 147-154.
- Dogra, A. P. S., Kapoor, S. G., ve DeVor, R. E. (2002). Mechanistic model for tapping process with emphasis on process faults and hole geometry. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 124(1), 18-25.
- Gaitonde, V. N., Karnik, S. R., Rubio, J. C., Correia, A. E., Abrao, A. M., & Davim, J. P. (2008). Analysis of parametric influence on delamination in high-speed drilling of carbon fiber reinforced plastic composites. *Journal of materials processing technology*, 203(1-3), 431-438.
- Gokce, H., Yavuz, M., Gökçe, H., ve Şeker, U. (2017). Orijinal matkap geometrisinde delme performansının sonlu elemanlar yöntemi ile doğrulanması. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi (GMBD)*, 3(1), 27-34
- Gökçe, H., Çiftçi, İ., ve Gökçe, H. (2019). Frezeleme operasyonlarında kesme kuvvetlerinin deneysel ve sonlu elemanlar analizi ile incelenmesi: Saf molibdenin işlenmesi üzerine bir çalışma. *Politeknik Dergisi*, 22(4), 947-954.
- Hascelik, A. (2019). *Mikro Tornalama İşleminde Takım Geometri Etkisinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon, 45-50.
- Han, R. D. ve Wu, J. (2010). Finite element simulation of drilling based on third wave systems AdvantEdge. *In Key Engineering Materials*, 43(1), 229-232.
- İnternet: Sandvik Coromant (2019). Vida Açma. URL: <https://www.sandvik.coromant.com/tr/knowledge/threading/tapping/pages/default.aspx>, Son Erişim Tarihi: 29.09.2019.
- İnternet: Emuge Franken (2019). Vida Açma Teknolojisi. URL: <https://docplayer.biz.tr/25485548-Dis-acma-teknolojisi-takim-ve-parca-baglama-teknolojisi.html>, Son Erişim Tarihi: 29.09.2019.
- İnternet: Korkut, S. (2017). Sonlu Elemanlar Metodu. URL: <https://www.serdarkorkut.com/2017/05/09/sonlu-elemanlar-metodu/>, Son Erişim Tarihi: 15.10.2019.
- İnternet: Altıntaş, G. (2019). Sonlu Elemanlar Yöntemi Ders Notu. URL: https://insaatmuh.mcbu.edu.tr/db_images/site_115/file/66-sonlu-elemanlar-yontemi.pdf, Son Erişim Tarihi: 15.10.2019.

- İnternet: Temiz, V. Makine Elemanlarının Mukavemeti. URL: <https://web.itu.edu.tr/temizv/Sunular/Mukavemet.pdf>, Son Erişim Tarihi: 03.10.2019.
- İnternet: Üç Boyutlu Gerilmeler Ders Notu. URL: <https://www.munzur.edu.tr/birimler/akademik/fakulteler/muhendislik/bolumler/insaat/Pages/file/3.2-Üç%20eksenli%20Gerilme%20Analizi.pdf>, Son Erişim Tarihi: 31.10.2019.
- İnternet: Small Business İnnovation Research, (2017). URL: https://www.sbir.gov/sites/default/files/2016SBA_Tibbetts_FINAL_Web.pdf, Son Erişim Tarihi: 01.11.2019.
- Johnson, G. R., ve Cook, W. H. (1985). Fracture characteristics of three metals subjected to various strains, strain rates, temperatures and pressures. *Engineering fracture mechanics*, 21(1), 31-48.
- Kayır, Y. (2010). Kılavuz kesici takımları ile AISI 1050 çeliğine vida açılmasında matkap delik çapının kesme kuvvetleri ve momente etkisi. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 15(1), 1-13.
- Kayır, Y. (2010). Kılavuz kesici takımları ile AA5083 malzemesine vida açılmasında matkap delik çapının kesme kuvvetlerine etkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 25(4), 5-8.
- Khoshdarregi, M. R. ve Altintas, Y. (2015). Generalized modeling of chip geometry and cutting forces in multi-point thread turning. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 98, 21-32.
- Korkmaz, M. E., Çakıroğlu, R., Yaşar, N., Özmen, R. ve Günay, M. (2019). Al2014 Alüminyum alaşımının delinmesinde itme kuvvetinin sonlu elemanlar yöntemi ile analizi. *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 6(1), 193-199.
- Kurt, A. (2006). *Talaş Kaldırma Sırasında Oluşan Kesme Kuvvetleri ve Mekanik Gerilmelerin Deneysel Olarak İncelenmesi ve Matematiksel Modellerinin Oluşturulması*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 39-40.
- Kuo, K. L. (2007). Experimental investigation of ultrasonic vibration-assisted tapping. *Journal of materials processing technology*, 192, 306-311.
- Lee, S. W., Kasten, A. ve Nestler, A. (2013). Analytic mechanistic cutting force model for thread milling operations. *Procedia Cirp*, 8, 546-551.
- Merchant, M. E. (1945). Mechanics of the metal cutting process. I. Orthogonal cutting and a type 2 chip. *Journal of applied physics*, 16, 267-275.
- Mitrović, A., Kovač, P., Kulundžić, N., Savković, B. ve Mankova, I. (2018). T3D end milling finite element thermal analysis. *Journal of Edp Sciences*, 7, 184-193.
- Monka, P., Monkova, K., Modrak, V., Hric, S. ve Pastucha, P. (2019). Study of a tap failure at the internal threads machining. *Engineering Failure Analysis*, 100, 25-36.

- Muhamad, S. S., Ghani, J. A., Juri, A. ve Haron, C. H. C. (2019). Dry and cryogenic milling of AISI 4340 alloy steel. *Jurnal Tribologi*, 21, 1-12.
- Oezkaya, E. ve Biermann, D. (2018). Development of a geometrical torque prediction method (GTPM) to automatically determine the relative torque for different tapping tools and diameters. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 97(1-4), 1465-1479.
- Oezkaya, E. ve Biermann, D. (2017). Segmented and mathematical model for 3D FEM tapping simulation to predict the relative torque before tool production. *International Journal of Mechanical Sciences*, 128, 695-708.
- Patrascu, G. ve Carutasu, G. (2007). Using virtual manufacturing simulation in 3D cutting forces prediction. *Fascicle of Management and Technological Engineering*, 6, 1423.
- Pervaiz, S. ve Kannan, S. (2018). *Fem Assisted Observations Of Cutting Forces, Temperature And Chip Curling In Oblique Machining*. CSME International Congress May 27-30, Toronto, Canada.
- Soldani, X., Moufki, A., Molinari, A., Budak, E. ve Özlü, E. (2008). High speed machining of AISI 1050 steel: modelling and experimental. *International Journal of Material Forming*, 1(1), 1439-1441.
- Şeker, U. (2000). *Talaşlı İmalatta Takım Tasarımı*. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Ders Notları, Ankara, 5-12.
- Şeker, U. ve Kurt, A. (2006). The mathematical modeling of the compressive stresses on the cutting tool in machining of inconel 718. *In Materials science forum* 526, 229-234.
- Uzun, G. (2013). *Ti6Al4V Titanyum Alaşımında Kılavuz İle Vida Açma Problemlerinin Araştırılması*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 5-8.
- Uzun, G. ve Korkut, İ. (2016). The effects of cutting conditions on the cutting torque and tool life in the tapping process for AISI 304 stainless steel. *Materials and technology*, 50(2), (275-280).
- Veldhuis, S. C., Dosbaeva, G. K. ve Benga, G. (2007). Application of ultra-thin fluorine-content lubricating films to reduce tool/workpiece adhesive interaction during thread-cutting operations. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 47(3-4), 521-528.
- Villumsen, M. F. ve Fauerholdt, T. G. (2008). Simulation of metal cutting using smooth particle hydrodynamics. *Fascicle of Management and Technological Engineering*, 17, 58-65.
- Watmon, T. B., Xiao, D. ve Peter, O. O. (2016). Finite Element Analysis of Orthogonal Metal Machining. *International Journal of Scientific Research and Innovative Technology*, 3(2), 46-55.
- Wu, H. B., Jia, Z. X., Zhang, X. C. ve Liu, G. (2012). Study on simulation and experiment of drilling for titanium alloys. *In Materials Science Forum*, 704, 657-663.

Zemann, R. (2016). Manufacturing of threads direct into a carbon fibre reinforced polymer. *Materials Today: Proceedings*, 3(4), 1226-1229.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : DEMİREL, Tuncer
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 14.08.1988, Ankara
 Medeni hali : Bekar
 Telefon : 05465525506
 e-mail : demirel.tuncer@gazi.edu.tr



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / İmalat Mühendisliği	Devam Ediyor
Lisans	Gazi Üniversitesi / Talaşlı Üretim Öğretmenliği	2011
Lise	Açıköğretim Meslek Lisesi	2006

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2016-2017	Trakya Kesici Takımlar Ltd. Şti.	Makine Mühendisi
2013-2014	Gazi Üniversitesi Atatürk MYO	Sözleşmeli Öğrt. Gör.
2011-2012	Asimetrik Metal San. Tic. Ltd. Şti.	Birim Şefi
2005-2007	Man Türkiye A.Ş	Montaj Operatörü

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

- Demirel, T., Kurt, A., Kayır, Y. (2019). *Kılavuz kesici takımlarda kesme parametrelerine bağlı kesici takım gerilmelerinin incelenmesi*, I. International Science and Innovation Congress, 26-29 August 2019, Pamukkale, Denizli/TURKEY.

Hobiler

Teknoloji, Bilim, Sanat, Seyahat etmek, Müzik dinlemek, Yürüyüş yapmak



GAZİ GELECEKTİR..