



**GRİ DÖKME DEMİR MALZEMELERİN İŞLENEBİLİRLİĞİNİN  
DENEYSEL VE SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ**

**Burak ÖZCAN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ENDÜSTRİYEL TASARIM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**NİSAN 2018**

Burak ÖZCAN tarafından hazırlanan “Gri Dökme Demir Malzemelerin İşlenebilirliğinin Deneysel ve Sayısal Olarak İncelenmesi” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

**Danışman:** Prof. Dr. Adnan AKKURT

Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

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

**Başkan:** Prof. Dr. Ulvi ŞEKER

İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

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

**Üye:** Doç. Dr. Fırat KAFKAS

İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

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

Tez Savunma Tarihi: 20/04/2018

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.

Burak ÖZCAN

20/04/2018

# GRİ DÖKME DEMİR MALZEMELERİN İŞLENEBİLİRLİĞİNİN DENEYSEL VE SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Burak ÖZCAN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Nisan 2018

## ÖZET

Yapılan çalışmada GG30 gri dökme demir ve GGG50 küresel grafiti dökme demir dört farklı kesme hızında (400, 448, 500, 560), üç farklı ilerleme hızında (0,4 0,5 0,63) ve kuru kesme şartlarında iki farklı uç radiusuna sahip silikon nitrür seramik kesici kullanılarak tornalama işlemleri gerçekleştirilmiştir. İşleme sırasında oluşan kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması ölçümleri gerçekleştirilmiştir. İki boyutlu (ortogonal) ve üç boyutlu kesme simülasyonları, belirlenmiş test parametrelerine göre ticari olarak temin edilebilen Advantedge sonlu elemanlar yazılımı kullanılarak Lagrangian sonlu eleman modelinden faydalanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneysel ölçümler ve sonlu eleman modeli sonuçları karşılaştırılmış ve doğrulanmıştır. İki boyutlu (ortogonal) talaş kaldırma simülasyonları, Jhonson-Cook (JC) malzeme modeli ve Advantedge malzeme modeli kütüphanesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Daha sonra, Advantedge malzeme modeli sonuçları ve literatürden alınan JC materyal modelleri karşılaştırıldı. Simülasyonlar sonucunda elde edilen; kesme sırasında oluşan kuvvetler ve takım ile iş parçası arasında oluşan sıcaklık dağılım değerleri incelenmiştir. Simülasyon sonuçları, dökme demir malzemelerin işlenmesi sırasında ortaya çıkan kesme kuvvetlerinin, sıcaklık dağılımlarının, birim şekil değiştirme ve gerilme sonuçlarının kabul edilebilir sınırlar içerisinde olduğunu göstermiştir. Advantedge malzeme modeli ile literatürden alınan JC materyal modeli sonuçları arasında aynı özellik trendi gözlenmiştir. Ancak Advantedge malzeme modeli ve JC malzeme modelinin çıktığı değerlerinin büyüklüğü açısından farklı davranışlar sergilediği görülmüştür. Kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvvetleri ve takım aşınması üzerindeki etkisini belirlemek için varyans analizi (ANOVA) kullanılmıştır.

Bilim Kodu : 91438

Anahtar Kelimeler : GGG50, GG30, Kesme kuvvetleri, Takım aşınması, Yüzey pürüzlülüğü, Tornalama, Sonlu elemanlar analizi.

Sayfa Adedi : 112

Danışman : Prof. Dr. Adnan AKKURT

EXPERIMENTAL AND NUMERICAL INVESTIGATION OF THE MACHINABILITY  
OF GRAY CAST IRON MATERIALS

(M. SC. Thesis)

Burak Özcan

GAZİ UNIVERSITY  
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

April 2018

ABSTRACT

In this study, GG30 gray cast iron and GGG50 spherical graphite cast iron were subjected to turning tests at four different cutting speeds (400, 450, 500, 560), at three different feed rates (0,40 0,50 0,63) under dry cutting environment using silicon nitride ceramic inserts having with two different tool geometry. Cutting forces, surface roughness and tool wear measurements were performed during machining experiments. Two dimensional (orthogonal) and three dimensional cutting simulations were carried out by utilizing the Lagrangian finite element model using the commercially available finite element software Advantedge according to the determined test parameters. The experimental measurements and finite element model results were compared and validated. Two-dimensional (orthogonal) chip removal simulations were conducted using Jhonson-Cook (JC) material model and the library of Advantedge material model. Then, the Advantedge material model results and JC material models taken from the literature were compared. The cutting forces and the temperature distribution values between the tool and the workpiece during turning process were investigated using the simulations results. The simulation results showed that the cutting forces, the temperature distributions, the stress and strain results during the machining of cast irons were within acceptable limits. The same characteristic trend was observed between the results of Advantedge material model and JC material model taken from the literature. However, it was seen that the Advantedge material model and JC material model exhibited the different behavior in terms of size of the output values. Analysis of variance (ANOVA) was also employed to determine the influence of the cutting parameters on the surface roughness, cutting forces and tool wear.

Science Code : 91438

Key Words : GGG50, GG30, Cutting Force, Tool Wear, Surface Roughness, Machining, Finite element analysis

Page Number : 112

Supervisor : Prof. Dr. Adnan AKKURT

## TEŐEKKÖR

Tanıőtıđımız günden bugüne her türlü maddi manevi desteğini esirgemeyen bilgi ve tecrübeleriyle çalışmalarına yön veren çok kıymetli danışmanım Prof.Dr. Adnan AKKURT'a, yüksek lisans sürecim boyunca bilgi ve tecrübelerini bizden esirgemeyerek sürekli bize yol gösteren değerli hocam Prof. Dr. Ulvi ŞEKER'e, çalışmalarım sırasında yardımlarını esirgemeyen Dr. Selçuk YAĞMUR'a, tezime sağladığı katkıların dolayı değerli arkadaşlarım Barıő Burak AYDOĞAN'a, Alkın YILMAZ'a, Mehmet KAYGISIZ'a ve isimlerini yazamadığım çalışmama yardımcı olan tüm arkadaşlarıma verdikleri destek, gösterdikleri anlayıő ve sevgi için sonsuz teőekkürlerimi sunuyorum. Bu günlere gelmemde maddi ve manevi desteğini esirgemeyen kıymetli aileme bana duydukları güven, verdikleri destek, gösterdikleri anlayıő ve sevgi için, teőekkürü bir borç bilirim.

Bu çalışmanın tamamlanmasında vermiő olduğu maddi destekten ötürü Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne (Proje Kodu: 07/2016-14) teşekkür ederim.

**İÇİNDEKİLER**

	<b>Sayfa</b>
ÖZET .....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER .....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR TARAMASI .....	7
2.1. Deneysel Çalışmalar.....	7
2.2. Nümerik Çalışmalar .....	10
2.3. Literatür Özeti .....	14
3. DÖKME DEMİRLER.....	17
3.1. Dökme Demir Üretimi .....	17
3.1.1. Kokil kalıp usulü .....	18
3.1.2. Savurma Döküm.....	19
3.2. Mikro Yapılar.....	19
3.2.1 Grafit .....	19
3.2.2. Sementit.....	20
3.2.3 Ferrit .....	20
3.2.4 Perlit .....	21
3.2.5 Steadit.....	21
3.2.6 Ostenit .....	22
3.3. Dökme Demirlerin Sınıflandırılması.....	24



	<b>Sayfa</b>
3.3.1. Gri dökme demir .....	25
3.3.2. Küresel grafitli dökme demir .....	26
3.3.3. Beyaz dökme demir .....	29
3.3.4. Temper dökme demir .....	30
3.4. Alaşım Elementlerinin Etkileri .....	30
<b>4. TALAŞLI İMALAT VE İŞLENEBİLİRLİK.....</b>	<b>33</b>
4.1. Talaş Mekaniği ve Talaş Oluşumu .....	33
4.2. Yüzey Pürüzlülüğü .....	35
4.3. Takım Aşınması .....	36
4.4. Kesme Kuvvetleri.....	39
4.5. İşlenebilirlik .....	41
<b>5. MALZEME VE YÖNTEM .....</b>	<b>43</b>
5.1. GG30 Malzeme Bilgileri.....	43
5.2. GGG50 Malzeme Bilgileri .....	44
5.3. Kullanılan Kesici Takımlar .....	45
5.4. Tornalama İşlemi İçin Kesme Parametrelerinin Tayin Edilmesi .....	45
5.5. Deneyler İçin Kullanılan CNC Torna Tezgâhı .....	46
5.6. Deney Düzenliğini ve Numunesi.....	46
5.7. Yüzey Pürüzlülüğünün Ölçülmesi .....	47
5.8. Kesme Kuvvetlerinin Ölçülmesi .....	47
5.9. Aşınma Miktarının Ölçülmesi.....	48
5.10. Advantedge ile Simülasyon Aşamaları .....	49
5.11. Sonlu Elemanlar Modelinin Oluşturulması ve Sınır Şartları .....	55
5.11.1. Johson-Cook malzeme modeli .....	57
5.11.2. Kesici takım modellenmesi .....	59
5.11.3. İş parçasının modellenmesi .....	61

	<b>Sayfa</b>
5.11.4. Simülasyon parametreleri.....	62
<b>6. DENEY, SİMÜLASYON SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....</b>	<b>65</b>
6.1. Deney Sonuçları ve Tartışma .....	65
6.1.1. Yüzey pürüzlülüğünün incelenmesi .....	65
6.1.2. Yüzey pürüzlülük değerinin regresyon analizi ile modellenmesi .....	69
6.1.3. Takım aşınmasının incelenmesi .....	71
6.1.4. Kesici takım aşınmasının regresyon analizi ile modellenmesi.....	75
6.1.5. Kesme kuvvetlerinin incelenmesi .....	76
6.1.6. Kesme kuvvetlerinin regresyon analizi ile modellenmesi.....	81
6.2. Simülasyon Sonuçları ve Tartışma.....	82
6.2.1. Kesme kuvvetlerinin incelenmesi .....	83
6.2.2. Kesme işlemi sırasında takımda oluşan sıcaklığının incelenmesi.....	89
6.3. Deney Sonuçları ve Simülasyon Sonuçlarının Karşılaştırılması .....	93
6.4. Advantedge Malzeme Modeli ile JC Malzeme Modelinin Karşılaştırılması.....	95
<b>7. SONUÇLAR.....</b>	<b>101</b>
7.1. Deney Verilerinin Değerlendirilmesi .....	101
7.4. Simülasyon Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	102
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>103</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>111</b>

## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

<b>Çizelge</b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 3.1. Muhtelif elementlerin grafit yapısına etkileri .....	27
Çizelge 3.2. TS 526 standartlarına göre KGDD'lerin sınıflandırılması.....	28
Çizelge 3.3. DIN 1693 standartlarına göre KGDD'lerin sınıflandırılması .....	28
Çizelge 4.1. DIN Ra pürüzlülük değerleri ile yüzey kalite sembolleri arasındaki bağıntı.....	36
Çizelge 5.1. GG30 dökme demirin % bileşenleri.....	43
Çizelge 5.2. GG30 dökme demirin fiziksel özellikleri.....	43
Çizelge 5.3. GG30 dökme demirin mekanik özellikleri.....	44
Çizelge 5.4. GGG50 dökme demirin % bileşenleri.....	44
Çizelge 5.5. GGG50 dökme demirin fiziksel özellikleri.....	44
Çizelge 5.6. GGG50 dökme demirin mekanik özellikleri.....	44
Çizelge 5.7. KISTLER Type 5019 cihazının özellikleri .....	48
Çizelge 5.8. İki boyutlu kesici takım geometrik parametreleri .....	59
Çizelge 5.9. Kesici takım malzeme özellikleri.....	60
Çizelge 5.10. GG30 ve GGG50 malzemeler için JC parametreleri .....	62
Çizelge 5.11. Simülasyon parametreleri.....	63
Çizelge 5.12. Oluşturulan modeller için yapılmış simülasyon sayısı.....	63
Çizelge 6.1. GGG50 dökme demir malzemenin iki farklı takım uç radyusu ile işlenmesi esnasında oluşan yüzey pürüzlülüğü.....	65
Çizelge 6.2. GG30 dökme demir malzemenin iki farklı takım uç radyusu ile işlenmesi esnasında oluşan yüzey pürüzlülüğü.....	67
Çizelge 6.3. Yüzey pürüzlülüğü için varyans analizi (ANOVA).....	69
Çizelge 6.4. GGG50 dökme demir malzemenin iki farklı takım uç radyusu ile işlenmesi esnasında oluşan takım aşınması.....	71
Çizelge 6.5. GG30 dökme demir malzemenin iki farklı takım uç radyusu ile işlenmesi esnasında oluşan takım aşınması.....	73
Çizelge 6.6. Aşınma için varyans analizi (ANOVA) .....	75

<b>Çizelge</b>		<b>Sayfa</b>
Çizelge 6.7.	GGG50 dökme demir malzemenin iki farklı takım uç radyusu ile işlenmesi esnasında oluşan kesme kuvvetleri .....	77
Çizelge 6.8.	GG300 dökme demir malzemenin iki farklı takım uç radyusu ile işlenmesi esnasında oluşan kesme kuvvetleri .....	79
Çizelge 6.9.	Kesme Kuvveti için varyans analizi (ANOVA).....	81
Çizelge 6.10.	Simülasyonlar sonucunda elde edilen kesme kuvvetleri.....	84
Çizelge 6.11.	JC malzeme sabitlerinin kullanıldığı simülasyon ile Advantedge yazılımının kütüphanesindeki malzemelerin kullanıldığı simülasyonun deneysel verilere göre yüzdeleri.....	96



## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 3.1. Temper dökme demir yapısı ve küresel grafitli dökme demir yapısı .....	19
Şekil 3.2. Sementit (Beyaz Bölgeler) .....	20
Şekil 3.3. Ferrit (Beyaz Bölgeler) .....	21
Şekil 3.4. Steadit.....	21
Şekil 3.5. Ostenit 2006 .....	22
Şekil 3.6. Dökme demirler ve temel mikro yapılarının gösterimi.....	23
Şekil 3.7. Grafit Şekilleri.....	23
Şekil 3.8. Dökme demirlerin sınıflandırılması .....	25
Şekil 3.9. Gri dökme demirlerin grafit türleri .....	26
Şekil 3.10. Tipik beyaz dökme demir yapısı .....	29
Şekil 3.11. Gri ve beyaz dökme demirde soğuma eğrileri .....	30
Şekil 4.1. Dik (ortogonal) kesme modeli .....	34
Şekil 4.2. Talaş Oluşumu .....	34
Şekil 4.3. Ra Rq değerlerinin hesaplanması.....	36
Şekil 4.4. Kesici takımındaki aşınmalar .....	37
Şekil 4.5. Kesici takım ucundaki aşınmalar .....	38
Şekil 4.6. Metallerin işlenmesi sırasında temel aşınma mekanizmaları.....	39
Şekil 4.7. Tornalama işleminde kesme kuvvetleri .....	40
Şekil 5.1. CNGX 120712 ve CNMX 120716 takım geometrisine sahip kesici takımlar .....	45
Şekil 5.2. Kesici takım ve iş parçası modeli .....	46
Şekil 5.3. Deney düzeneği.....	47
Şekil 5.4. Dino-Lite mikroskopunda kesici takımlarda oluşan aşınmasının ölçülmesi .....	49
Şekil 5.5. Advanedge ile modelleme: (a) 2B Tornalama, (b) 3B tornalama, (c) Delme, (d) dairesel frezeleme.....	50

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 5.6. Advanedge proje tipi belirleme ara yüzü .....	51
Şekil 5.7. İş parçasının modelleme ara yüzü .....	51
Şekil 5.8. İş parçası malzeme kütüphanesi.....	52
Şekil 5.9. Kesici takım modelleme arayüzü.....	53
Şekil 5.10. Kesici takım malzeme kütüphanesi.....	53
Şekil 5.11. Simülasyon parametre belirleme ara yüzü .....	54
Şekil 5.12. Simülasyon ayarları.....	55
Şekil 5.13. SE modeli ilk koşul (sol), Lagrangian yaklaşımı ile malzeme deformasyonu(orta) ve Arbitrary Lagrangian Eulerian (ALE) yaklaşımı(Sağ) .....	57
Şekil 5.14. İki boyutlu ortogonal kesme modelinin gösterimi .....	59
Şekil 5.15. Üç boyutlu kesme modelinin gösterimi .....	59
Şekil 5.16. İki boyutlu ve üç boyutlu kesici takım ve iş parçası modelleri.....	60
Şekil 5.17. Üç boyutlu kesici takım geometri parametreleri.....	60
Şekil 5.18. İki boyutlu ve üç boyutlu kesici takım sonlu elamanlar modeli .....	61
Şekil 5.19. 2 boyutlu modelin iş parçasının sonlu elamanlar modeli.....	61
Şekil 5.20. 3 boyutlu modelin iş parçasının sonlu elamanlar modeli.....	62
Şekil 5.21. İki boyutlu kesme sisteminin yer değiştirme sınır şartları .....	64
Şekil 5.22. Üç boyutlu kesme sisteminin yer değiştirme sınır şartları .....	64
Şekil 6.1. CNMX 120716 takımlarda kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak GGG50 malzeme için yüzey pürüzlülüğünün değişimi.....	66
Şekil 6.2. CNGX 120712 takımlarda kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak GG30 malzeme için yüzey pürüzlülüğünün değişimi.....	66
Şekil 6.3. CNMX 120716 takımlarda kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak GG30 malzeme için yüzey pürüzlülüğünün değişimi.....	68
Şekil 6.4. CNGX 120712 takımlarda kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak GG30 malzeme için yüzey pürüzlülüğünün değişimi.....	68
Şekil 6.5. Kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etki oranları.....	70

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 6.6. CNMX 120716 takımlarda kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak GGG50 malzeme için aşınma değişimi .....	72
Şekil 6.7. CNGX 120712 takımlarda kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak GGG50 malzeme için aşınma değişimi .....	72
Şekil 6.8. CNMX 120716 takımlarda kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak GG30 malzeme için aşınma değişimi .....	74
Şekil 6.9. CNGX 120712 takımlarda kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak GG30 malzeme için aşınma değişimi .....	74
Şekil 6.10. Kesme parametrelerinin aşınma miktarı üzerindeki etki oranları.....	76
Şekil 6.11. CNMX 120716 takımlarda kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak GGG50 malzeme için kesme kuvvetlerinin değişimi .....	78
Şekil 6.12. CNGX 120712 takımlarda kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak GGG50 malzeme için kesme kuvvetlerinin değişimi .....	78
Şekil 6.13. CNMX 120716 takımlarda kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak GG30 malzeme için kesme kuvvetlerinin değişimi .....	80
Şekil 6.14. CNGX 120712 takımlarda kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak GG30 malzeme için kesme kuvvetlerinin değişimi .....	80
Şekil 6.15. Kesme parametrelerinin aşınma miktarı üzerindeki etki oranları.....	82
Şekil 6.16. GGG50 malzeme için zamana bağlı kesme kuvveti ve sıcaklık grafiği .....	83
Şekil 6.17. GG30 malzeme için zamana bağlı kesme kuvveti ve sıcaklık grafiği .....	83
Şekil 6.18. Kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak kesme kuvvetlerinin GGG50 malzeme için 2B kaba mesh kullanılarak yapılmış simülasyon sonuçları	85
Şekil 6.19. Kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak kesme kuvvetlerinin GGG50 malzeme için 2B kaba mesh kullanılarak yapılmış simülasyon sonuçları...	85
Şekil 6.20. Kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak kesme kuvvetlerinin GGG50 malzeme için 3B kaba mesh kullanılarak yapılmış simülasyon sonuçları...	86
Şekil 6.21. Kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak kesme kuvvetlerinin GGG50 malzeme için 3B ince mesh kullanılarak yapılmış simülasyon sonuçları....	86
Şekil 6.22. Kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak kesme kuvvetlerinin GG30 malzeme için 2B kaba mesh kullanılarak yapılmış simülasyon sonuçları...	87
Şekil 6.23. Kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak kesme kuvvetlerinin GG30 malzeme için 2B kaba mesh kullanılarak yapılmış simülasyon sonuçları...	87

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 6.24. Kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak kesme kuvvetlerinin GG30 malzeme için 3B kaba mesh kullanılarak yapılmış simülasyon sonuçları...	88
Şekil 6.25. Kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak kesme kuvvetlerinin GG30 malzeme için 3B ince mesh kullanılarak yapılmış simülasyon sonuçları....	88
Şekil 6.26. Kesme işlemi sırasında takımda ve iş parçasında oluşan sıcaklık (GGG50) .....	89
Şekil 6.27. Kesme işlemi sırasında takımda ve iş parçasında oluşan sıcaklık (GG30 .)	89
Şekil 6.28. 0.4 ilerlemede takım talaş yüzeyi boyunca oluşan ısı dağılımı (GGG50) ...	90
Şekil 6.29. 0.5 ilerlemede takım talaş yüzeyi boyunca oluşan ısı dağılımı (GGG50) ...	90
Şekil 6.30. 0.63 ilerlemede takım talaş yüzeyi boyunca oluşan ısı dağılımı (GGG50) .	91
Şekil 6.31. 0.4 ilerlemede takım talaş yüzeyi boyunca oluşan ısı dağılımı (GG30) .....	91
Şekil 6.32. 0.5 ilerlemede takım talaş yüzeyi boyunca oluşan ısı dağılımı (GG30) .....	92
Şekil 6.33. 0.63 ilerlemede takım talaş yüzeyi boyunca oluşan ısı dağılımı (GG30) ....	92
Şekil 6.34. 0.4 İlerlemede deney sonuçları ile simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması .....	93
Şekil 6.35. 0.5 İlerlemede deney sonuçları ile simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması .....	93
Şekil 6.36. 0.63 İlerlemede deney sonuçları ile simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması .....	94
Şekil 6.37. 0.4 İlerlemede deney sonuçları ile simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması .....	94
Şekil 6.38. 0.5 İlerlemede deney sonuçları ile simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması .....	95
Şekil 6.39. 0.63 İlerlemede deney sonuçları ile simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması .....	95
Şekil 6.40. 0.4 İlerlemede JC parametrelili GGG50 malzeme ile AE kütüphanesinde tanımlı olan GGG50 malzemenin deneysel veriler referans alınarak karşılaştırılması .....	97
Şekil 6.41. 0.5 İlerlemede JC parametrelili GGG50 malzeme ile AE kütüphanesinde tanımlı olan GGG50 malzemenin deneysel veriler referans alınarak karşılaştırılması .....	97



<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 6.42. ..0.63 İlerlemede JC parametrelili GGG50 malzeme ile AE kütüphanesinde tanımlı olan GGG50 malzemenin deneysel veriler referans alınarak karşılaştırılması .....	98
Şekil 6.43. 0.4 İlerlemede JC parametrelili GG30 malzeme ile AE kütüphanesinde tanımlı olan GG30 malzemenin deneysel veriler referans alınarak karşılaştırılması .....	98
Şekil 6.44. 0.5 İlerlemede JC parametrelili GG30 malzeme ile AE kütüphanesinde tanımlı olan GG30 malzemenin deneysel veriler referans alınarak karşılaştırılması .....	99
Şekil 6.45. 0.63 İlerlemede JC parametrelili GG30 malzeme ile AE kütüphanesinde tanımlı olan GG30 malzemenin deneysel veriler referans alınarak karşılaştırılması .....	99

## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışma kapsamında kullanılan simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda belirtilmiştir.

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklamalar</b>
<b>A</b>	Talaş kesit alanı, mm <sup>2</sup>
<b>A</b>	Akma gerilmesi
<b>a</b>	Kesme derinliği, mm
<b>B</b>	Gerinim sertleştirme katsayısı
<b>b</b>	Kesme genişliği
<b>C</b>	Strain rate sensitivity
<b>c</b>	boşluk açısı
<b>DS</b>	Elemental length of slip line
<b>F</b>	Talaş yüzündeki sürtünme kuvveti
<b>f</b>	İlerleme miktarı, mm/rev
<b>F<sub>c</sub></b>	Esas kesme kuvveti, N
<b>F<sub>f</sub></b>	İlerleme kuvveti, N
<b>F<sub>r</sub></b>	Radyal kuvvet, N
<b>h</b>	Takım talaş temas uzunluğu
<b>hint</b>	Arayüz ısı transfer katsayısı
<b>k</b>	Malzeme kesme akış gerilimi
<b>L<sub>c</sub></b>	Talaş ile takım arasındaki temas uzunluğu
<b>l</b>	Kesme uzunluğu
<b>i</b>	Eğim açısı
<b>m</b>	Kütle
<b>P</b>	Basınç, kg/mm <sup>2</sup>
<b>R<sub>a</sub></b>	Yüzey pürüzlülüğü
<b>μ</b>	Sürtünme katsayısı
<b>V</b>	Kesme hızı, m/min

**Kısaltmalar****Açıklamalar**

<b>AE</b>	Advantedge
<b>AISI</b>	American Iron and Steel Institute (Amerikan Demir Çelik Enstitüsü)
<b>ALE</b>	Arbitrary Lagrangian Euler
<b>ANOVA</b>	Analysis Of Variances (Varyans Analizi)
<b>BUE</b>	Built-Up Edge (Kesici Takım Kenarına Talaş Sıvanması)
<b>BSE</b>	Back-scattered Elektron detektörü
<b>CAE</b>	Computer Aided Engineering (Bilgisayar Destekli Mühendislik)
<b>CNC</b>	Computer Numerical Control (Bilgisayarlı Sayısal Denetim)
<b>DD</b>	Dökme demir
<b>FEM</b>	Finite Element Method (Sonlu Elemanlar Metodu/Yöntemi)
<b>GDD</b>	Gri Dökme Demir
<b>GG30</b>	Gri Dökme Demir
<b>GGG50</b>	Küresel Grafitli Dökme Demir
<b>KGDD</b>	Küresel Grafitli Dökme Demir
<b>JC</b>	Johnson-Cook
<b>ISO</b>	International Organisation For Standardization (Uluslararası Standardizasyon Teşkilatı)
<b>SEM</b>	Taramalı Elektron Mikroskopu
<b>SPA</b>	Smooth Particle Hydrodynamics
<b>TDD</b>	Temper Dökme Demir
<b>TSE</b>	Türk Standartları enstitüsü
<b>2B</b>	İki Boyutlu
<b>3B</b>	Üç Boyutlu
<b>vd.</b>	Ve Diğerleri

## 1. GİRİŞ

Özellikle ikinci dünya savaşı sonrasında büyük bir hızla gelişen üretim teknolojisinin ihtiyaçlarını karşılayamaz hale gelen geleneksel malzemeler, malzeme biliminin gelişmesini zorunlu kılmıştır. Bu gelişmeler dökme demir üretim tekniklerinin de gelişerek ürün kalitesini de beraberinde getirmiştir. Çok çeşitli türleri olan dökme demirler geniş bir uygulama alanına sahiptir. Dökme demirin; dökülebilirlik, işlenebilirlik, yükleme kapasitesi ve üretim özelliklerinin yanı sıra küresel grafitli dökme demirlerin; geniş mukavemet aralıkları, aşınmaya ve yorulmaya karşı gösterdikleri dirençleri, tokluk ve süneklik özellikleri ile makine imalatın sektöründe yaygın kullanım alanları bulmuşlardır. Küresel grafitli dökme demirler; “nodular cast iron, ductile iron, fonte spheroidale graphit, kufelgrafit gusseisen, spherogus” isimleri ile birçok ülkede kullanılırlar. Türk standartlarında ki isimlendirmesi ise “Küresel Grafitli Dökme Demir” dir.

Küresel grafitli dökme demirin yapısında grafitler küresel biçimdedir. Gri dökme demirde ise grafitler lamel biçimindedir. Küresel grafitli dökme demirde grafitlerin küre biçiminde olması, gri dökme demire göre bu malzemeyi yüksek dayanım ve sünekliğe ayrıca şoka dirençli hale getirir. Döküm işlemi öncesinde ergimiş metale az miktarlarda magnezyum ve/veya seryum ilavesi grafit lamellerin küre şeklini almasına neden olurlar (Kalpakjian ve Schmid, 2009). Küresel grafitli dökme demirler, gri dökme demirlere göre daha yüksek dayanıma ve sünekliğe sahiptirler (Callister ve Rethwisch, 2014). Yüksek süneklik, yüksek dayanım ve tokluk nedeniyle günümüzde KGDD oldukça cazip bir mühendislik malzemesi haline gelmiştir (DeGarmo, Black ve Kohser, 1997). Döküm parçalarda oluşan artık gerilmeleri gidermek, mikro yapı farklarını kaldırmak ve daha mukavemetli bir yapı elde etmek için ısıtma işlemi uygulanır.

Makine imalat sanayinde birçok parça Küresel Grafitli Dökme Demir malzemedan üretilmektedir. Parçalar ilk olarak döküm işlemiyle son şekline yakın geometride üretilirler ve sonrasında istenilen boyutlarda ve yüzey kalitesinde olması için talaşlı üretim işlemlerine tabi tutulurlar. Tornalama, frezeleme ve delme KGDD malzemelerin yaygın olarak maruz kaldıkları talaşlı üretim işlemleridir. Talaşlı üretim tezgâhlarında boyut toleransları ve yüzey kalitesi işleme parametrelerinin doğru seçimi ile sağlanabilmektedir. İşleme parametreleri; kesme hızı, ilerleme, talaş derinliği gibi parametrelerdir. Bu parametrelerin belirlenmesi genellikle operatörün tecrübesine, tezgâh kullanım el kitabına ve/veya kesici takım

kataloglarına göre yapılmaktadır. Buna rağmen imalat çizimlerinde belirtilen yüzey pürüzlülüğü ve tolerans değerlerini elde edebilecek ilerleme ve kesme hızlarının belirlenmesi oldukça zordur. Çünkü döküm parçalar, kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri bakımından kullanım yerlerine göre farklılıklar göstermektedirler. Kalıplama, ergitme ve döküm şekli her zaman benzer şekilde oluşturulmaz. Bundan dolayı aynı metal veya alaşımlardan dökülen parçalar farklı özellikler gösterdikleri gibi, aynı parça üzerinde bile farklı yapı ve özellikler görülebilmektedir. Diğer taraftan bir döküm parçası çeşitli kesitlerden oluşmaktadır. Bu da dökümden sonra farklı soğuma ve katılaşma hızlarına neden olmaktadır. Farklı soğuma ve katılaşma hızları, değişik mikro yapı ve özellikler oluşturulmaktadır.

İmalat sanayinin sürekli olarak gelişmesi ve yepyeni imalat tekniklerinin geliştirilmesine rağmen, talaşlı imalat kendi alanındaki yerini korumaktadır. İleri teknolojik gelişmelerin bir sonucu olan yeni talaş kaldırma teknikleri klasik talaşlı üretim yöntemlerini hiçbir zaman ikinci plana atamamıştır. Yatırım maliyetlerinin düşüklüğü, kullanılan makina ve tezgâhların uzun ömürlü oluşu ve en önemlisi de elde edilen ürünlerin ölçü ve yüzey kalitesinin iyi olması, işleme parametrelerinin optimizasyona uygunluğu, talaşlı üretimin diğer üretim yöntemlerine göre tercih sebeplerinden bazılarıdır. Dövme, dökme, haddeleme vb. proseslerle üretilen metal parçaların %80'inden fazlası son geometrik şekillerini talaşlı imalat yöntemleri yardımıyla alırlar. Talaşlı üretim esnasında doğru seçilmeyen işlem parametreleri, kesici takımların kırılmasına, hızlı aşınmasına ve özelliklerini kaybetmesine neden olarak kısa sürede kullanılamaz hale gelmesine sebep olurlar. Bu durum; tezgâhın istenilen verimde çalışmamasına, iş parçası boyutlarının bozulmasına veya işlenen parçanın yüzey kalitesinin ikinci bir işlem gerektirecek derecede istenilen kalitede olmaması gibi bir dizi ekonomik kayıplara sebep olabilmektedir. Malzemenin işlenebilirlik özellikleri önceden doğru belirlenememişse yukarıdaki kayıplar oluşması muhtemeldir (Kılıçlı, 2004).

Üretimde öncelikli amaç; istenilen geometri, ölçü ve bitirme yüzeyine sahip parçaları teknik ve ekonomik yönden en az maliyet ile üretmektir. Günümüz imalat sistemlerinde, ekonomik ve kaliteli üretim için, kesme parametreleri ve işleme şartları doğru bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Talaş kaldırma süreci; elastik ve plastik şekil değişimine dayanan, iş parçası ve takım üzerindeki sürtünme, ısı oluşumu, talaşın kırılması ve büzülmesi, iş parçasının yüzeyinin sertleşmesi, takım ucunun aşınması gibi olayların meydana geldiği karmaşık bir fiziksel durumdur (Akkurt, 1992). Talaş kaldırma işlemleri, istenilen geometride parça

üretmek için, iş parçası malzemesinden fazla olan kısımları kesici takımlar aracılığı ile uzaklaştırma işlemleridir. Tornalama, frezeleme, delik delme gibi işlemler en önemli talaş kaldırma işlemleridir. Bu kesme işlemleri genel olarak metallere uygulanır. Bu işlemler, iş malzemesinden daha sert ve dayanımlı olan kesici takımlar kullanılarak gerçekleştirilir. Kesici takımlar talaş kaldırma işleminde diğer malzemelere şekil verme, şekil değiştirme, kesme, koparma ve istenilen toleransta ölçüye getirme işlemi esnasında değişik zorlamalara maruz kalırlar. Değişik makina ve makina parçalarının imalatını sağlamak için kullanılan kesici takımlar talaş kaldırma işleminde oluşan yüksek zorlamaları karşılamak zorundadır. Talaş kaldırma işlemlerinde, tornalama ve delik delmede olduğu gibi tek noktadan sürekli kesme işlemi yapan takımlar ya da frezeleme işleminde olduğu gibi çok uçlu takımlarla aralıklı kesme işlemi yapılır. Metal ve metal alaşımlarının işlenmesinde kullanılan takımların kesici kenarları yeterince keskin olmasına rağmen, talaş kaldırma esnasında oluşan gerilmeler karşısında oldukça zorlanırlar. Bu sebeple takımın dayanabileceği uygun değer kesit ve kesmeyi kolaylaştıracak ideal takım geometrisi için pek çok araştırmalar yapılmıştır. Talaş kaldırma operasyonları sırasında kesme parametrelerinin ve takım malzemesinin takım ömrüne etkisi incelenmiştir (Şeker, 1997).

Kesici takıma, kesme sırasında etki eden kuvvetler tezgâh parçalarını istenmeyen şekilde deforme edebilir. Tezgâhın uzun süre hassasiyetini koruması için özellikle hareketli parçaların çalışma yüzeylerinin aşınmaması sağlanmalıdır. Çünkü imal edilen iş parçalarının ölçü ve hassasiyetleri buna bağlıdır. Talaş kaldırmadan dolayı oluşan kesme kuvvetlerinin kolaylıkla karşılanabilmesi için takımın mukavemet özellikleri iyi değerlendirilmelidir. Torna tezgâhlarının hassasiyetlerini uzun süre koruyabilmek ve üretim kalitesini artırabilmek için kesici takıma gelen kuvvet ve gerilmelerin belirlenmesi gerekmektedir (Korkut, 1996). Tornalama en önemli talaş kaldırma proseslerinden birisidir. Talaş kaldırmadaki asıl amaç, en düşük maliyetle en yüksek üretim miktarını maksimum takım ömrü ile elde edebilmektir. Bunu yaparken yüzey kalitesini korumak için talaş kaldırmaya etki eden kesme şartlarının, takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini incelemek gerekmektedir. İdeal kesme şartlarının seçimi ekonomik fayda sağlamada önemli bir etkidir. Talaşlı üretim tezgâhlarında ölçü toleransları ve yüzey kalitesi işleme parametrelerinin doğru seçimi ile sağlanmaktadır. İşlem parametreleri; kesme hızı, ilerleme, talaş derinliği gibi parametrelerdir. Bu parametrelerin seçimi genellikle operatörün tecrübesine, tezgâhın el kitabına ve/veya takım kataloglarına göre yapılmaktadır. Buna rağmen imalat resimlerinde belirtilen yüzey pürüzlülüğü ve tolerans değerlerini elde

edilebilecek ilerleme ve kesme hızlarının tespiti oldukça zordur. İşlenmiş parça yüzeylerinin tribolojik özellikleri, yüzey dokusundan birinci derecede etkilenmektedir. Yüzey pürüzlülüğü sadece aşınma, sürtünme ve yağlama gibi tribolojinin geleneksel konularında değil aynı zamanda sızdırmazlık, hidrodinamik, elektrik, ısı iletimi vb. farklı alanlarda da dikkate alınması gereken önemli bir faktördür. Bu yüzden makina parçalarında yüzey pürüzlülük değerinin tespiti oldukça önemlidir. Talaşlı imal usulleri kullanılarak yapılan yüzey operasyonları birçok değişkenden etkilenmektedir. Yüzey pürüzlülük değerinin azaltılması; talaş derinliğinin azaltılması, düşük ilerleme miktarı ve yüksek kesme hızları kullanımı, soğutma suyu debisinin artırılması, kesici takımın uç yarıçapının ve talaş açısı değerlerinin büyük olması gibi faktörlere bağlıdır (Thomas, 1982). İşleme problemlerinde optimizasyon analizinin esas gayesi optimum kesme parametrelerini seçmektir. Sonuçta seçilen parametre kombinezonu, en düşük maliyet, en yüksek üretim miktarı veya kar oranı için optimum olacaktır. Talaş kaldırmada ortak problemler ince kesitli parçaların işlenmesi, kesici takımların rijit olmayışı ve bağlama olarak sıralanabilir. Bu problemlerin aşılması kabul edilebilir işleme şartları gerektirir. Ancak bu işleme şartları da aşırı kesme kuvvetlerine ve artan yüzey hatalarına yol açabilir (Saglam, 2001). Kesme kuvvetleri, işleme esnasında oluşan bazı değişkenler tarafından, doğrudan etkilenen en önemli çıkış değişkenlerinden biridir. Kesme kuvvetleri üzerinde etkili olan bu değişkenler; kesme hızı, ilerleme, talaş derinliği, takım ve talaş geometrisi, iş malzemesi, takım-tezgâh çiftinin dinamik karakteristikleri, bağlama sistemi, takım kesme yüzeylerindeki aşınmanın gelişimi, sıcaklık ve titreşim gibi faktörlerdir. Takıma etki eden kesme kuvvetleri takımın durumu hakkında önemli bilgi kaynağıdır. Bu bilgi; işlenebilirliği, takım kırılmasını, takım aşınmasını ve yüzey tamlığını anlamada kullanılabilir (Akkurt, 1992). İlke olarak en doğru kesme şartlarını uygulamaya olanak sağlayan deneysel formüller geliştirilmiştir. Talaş kaldırma esnasında oluşan kesme kuvvetleri, basınç, sürtünme, ısı oluşumu, aşınma vb. olaylar kesme performansına ve birim parça maliyetine doğrudan etki etmektedir. Özellikle işleme maliyetini azaltmak, takım ömrünü artırmak ve daha iyi yüzey kalitesi elde etme isteği talaş kaldırma alanında araştırmaların yapılmasını zorunlu kılmaktadır. Bundan dolayı kesici takımların performansı ve ömrü konusunda yapılan bilimsel çalışmalar önem kazanmıştır. Talaşlı imalatın önemi son 25-30 yılda hem iş parçası malzemelerinde hem de kesici takım malzemelerinde önemli gelişmelere yol açmıştır. Ayrıca değişik kesme işlemleri ve kesme parametreleri ile elde edilen sonuçların değerlendirildiği İşlenebilirlik veri bankaları kurulmuştur. Çoğu malzemeler için değişik kesme koşullarında optimum işlenebilirlik endeksleri belirlenip kullanıcılara sunulmuştur.

Bu çalışma ile makine imalat sanayinde yoğun kullanıma sahip GG30 ve GGG50 dökme demir malzemelerin silikon nitrür seramik kesici takımlarla işlenebilirlik davranışlarını incelemek hedeflenmiştir. Halen makine imalatı yapan birçok uygulamacı döküm malzemelerin işlenmesinde silikon nitrür seramik kesici takımların kullanılabileceğini kabul etmemektedir. Döküm hatalarından kaynaklı ham parça yapılarının homojen sertlik ve özelliklerde olmamasının yanı sıra yapıdaki boşlukların sebep olduğu vuruntular sonucu kesici takım kırılmaları bu malzeme-takım çiftinin talaşlı işlem için uygun olmadığı gibi bir algının oluşmasına sebep olmuştur. Ancak günümüz kesici takım teknolojisi ve malzeme üretim tekniklerindeki gelişmeler belirtilen bu olumsuzlukları büyük ölçüde ortadan kaldırmıştır. Yüksek aşınma dayanımları ve termal dirençleri dökme demir malzemenin işlenmesinde silikon nitrür seramik kesici takımları ön plana çıkarabilmektedir. Hedeflenen çalışma ile yapılan uygulamalardan elde edilen veriler kullanılarak gerçekleştirilen analiz çalışmaları ile her açıdan dökme demir malzemelerin silikon nitrür seramik kesici takımlarla işlenebilir oldukları ortaya konmuştur. Ayrıca analiz çalışmaları ile elde edilen matematiksel model kullanılarak seçilmiş olan parametreler dışında başka işleme parametreleri kullanılarak yapılacak çözümler ile ortaya çıkacak sonuçlar önceden bilinerek doğru kesme parametrelerin seçimi sağlanmış olacaktır. Bunun sonucu olarak ideal kesme yüzey ve geometrilerine ulaşabilme imkânı sağlanacaktır. Tüm bunların dışında mevcut olumsuz düşüncenin geçerli olmadığı saha uygulamacılarına aktarılacak şekilde bilimsel yayınlar yapılarak söz konusu malzemelerin işlenmelerinde en iyi tercihlerden birinin silikon nitrür seramik kesici takımlar olduğu ortaya konmuştur.





## 2. LİTERATÜR TARAMASI

Literatürde yapılan çalışmalar deneysel ve simülasyon olarak ayrı kategoride incelenmiştir.

### 2.1. Deneysel Çalışmalar

Souza ve diğerleri yaptıkları çalışmada silikon nitrür esaslı seramik kesici takımlarla gri dökme demir malzeme üzerinde beş farklı kesme hızında tornalama işlemleri yapmış ve kesici takım üzerine etki eden kuvvetleri araştırmışlardır. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde yüksek kesme hızlarda kesici takım performansın arttığı tespit etmişlerdir. (Souza, Nono, Ribeiro ve Silva, 2009)

Grzesik ve diğerleri perlitik ferritik nodüler dökme demirin kaplamalı silikon nitrit ve kaplanmamış karbür kesici takımlar ile işlenebilirliğini incelemiştir. Bu çalışmada kesme kuvvetleri takım talaş kesme yüzey sıcaklığı sürtünme katsayısı ve takım iş parçası temas alanını kesme parametrelerine bağlı olarak incelemiştir. Çok Katmanlı karbür ve silikon nitrür kesicilerinin kullanılmasında nodüller dökme demirlerin işleme performansını artırdığını gözlemlemişlerdir. (Grzesik, Rech, Zak ve Claudin, 2009)

Jie Qin ve diğerleri gri dökme demirin farklı kesme parametrelerinde CVD TiN/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplamalı ve kaplamasız silikon nitrür kesici takım kullanarak deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada takım aşınması, takım ömrü aşınmış yan yüzeylerin kimyasal yapısı ve kesici takımların kırılma mekanizması incelenmiştir. Kaplanmış kesici takımların gelişmiş kesme performansı: kaplanmış silikon nitrür kesicilerin artan aşınma direncine ve tokluğuna bağlanabileceğini göstermişlerdir. Adhesiv aşınmanın silikon nitrür kesici takımların tornalama işlemi sırasında kırılmasına neden olduğu gözlemlemişlerdir (Jie Qin, 2014).

Shreyes N. Melkote ve diğerleri çalışmalarında metal kesme simülasyonu için yapısal ve sürtünme verilerindeki son gelişmeleri incelemişlerdir. Simülasyon işlemlerinde yaygın olarak kullanılan fenomenolojik ve fizik temelli kuramsal modeller sunulmakta ve tartışılmaktadır. Diğer konular, yapısal model parametrelerini tanımlamak için gerekli verileri edinmek için deneysel teknikler ve takım-iş parçası sürtünmesinin modellenmesi ve işleme koşulları altında sürtünme verilerinin elde edilmesi için deneysel tekniklerdeki son

gelişmelerdir. Buna ek olarak, talaş kaldırma işleminin ısı modellemesi için termo-fiziksel özellikler ve talaş ve iş parçası için mikroyapı verileri ile birlikte deneysel yöntemleri tartışmışlardır. (Shreyes ve Melkote, 2017)

Grzesik çalışmasında nodüler dökme demirin kaplanmış ve kaplanmamış seramik kesiciler ile takım aşınması-kesici yüzey sonuçlarıyla ilişkilendirilmesini incelemiştir. Araştırma ayrıca takım aşınma eğrisini, takım-talaş ara yüzeyinin tribolojik davranışını ve temas yüzeylerindeki meydana gelen takım aşınma mekanizmalarını da incelemiştir. Aşınmış yüzeylerin görüntü temelli karakterizasyonu, SEM, BSE ve EDX analizi gibi teknikler kullanılarak yapılmıştır. Yazarlar çeşitli aşınma mekanizmalarının (abrasive, adhesive) oluşumunu ortaya çıkarmışlardır (Grzesik, 2011).

Camuşcu çalışmasında, alümina ( $Al_2O_3$ ) esaslı seramik kesici takımla nodüler dökme demirin tornalamasında kesme hızının etkisini deneysel olarak araştırmıştır. Çalışmasında; TiN kaplı  $Al_2O_3 + - TiCN$  karıştırılmış seramik, SiC takviyeli  $Al_2O_3$  ve kaplanmamış  $Al_2O_3 + TiCN$  karıştırılmış seramik takım olmak üzere üç farklı alümina esaslı seramik kesme takımı kullanmışlardır. Deneylerini 300, 450, 600 ve 750 m/min. olmak üzere dört farklı kesme hızında gerçekleştirmiştir. Kesme derinliği ve ilerleme oranı sırasıyla 1 mm ve 0.1 mm/dev sabit olacak şekilde belirlenmiştir. Takım performansını takım aşınması, son yüzey kalitesi ve tornalama esnasındaki ortaya çıkan kesme kuvvetleri ile değerlendirmiştir.  $Al_2O_3 + TiCN$  seramik takımı takım aşınmasına göre en kötü performansı göstermesine rağmen yüzey kalitesinde en iyi sonucu elde etmiştir. SiC takviyeli  $Al_2O_3$  ise kesme kuvvetleri bakımından en kötü performansı sergilediğini sonucuna varmıştır. Takım aşınması, yüzey kalitesi ve kesme kuvvetleri birlikte düşünülürse, nodüler dökme demir için TiN kaplı  $Al_2O_3 + - TiCN$  karıştırılmış seramik takım özellikle yüksek kesme hızlarında kesme işlemi için en uygun olanı olduğunu tespit etmiştir (Camuşcu, 2006).

Günay ve diğerleri AISI 1040 çeliğinin ortogonal kesme işleminde takım talaş açısının kesme kuvvetleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Oluşan kesme kuvvetlerini ölçmek için özel bir dinamometre geliştirmişlerdir. Esas kesme kuvvetini ( $FC$ ); kesme derinliği ( $a$ ) ve kesici takım ilerlemesini ( $f$ ) sabit tutarak 5 farklı kesme hızı ( $V$ ) ve negatiften pozitif doğru sıralanan 8 farklı talaş açısını ( $\gamma$ ) kullanarak ölçmüşlerdir. Talaş açısının pozitif artışına bağlı olarak kesme kuvvetlerinin azalma eğiliminde olduğunu tespit etmişlerdir (Günay, 2005).

Lalwani ve diğeri kesme parametrelerinin ( $V$ ,  $f$  ve  $a$ ) kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğüne olan etkilerini, MDN250 çeliğinin kaplamalı seramik kesici takımlar kullanarak tornalanmasını araştırmışlardır. Kesme parametrelerinin ( $f$  ve  $a$ ), kesme kuvvetlerinin değişiminde lineer bir model oluşturduğunu ve kesme derinliğinin ilerleme kuvveti üzerinde baskın olduğunu göstermişlerdir. Çalışmada kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü ile ilgili önerilen modelleri dikkate alarak uygun kesme parametrelerini ortaya koymuşlardır (Lalwani, 2008).

Ueda ve diğeri, karbür (P20) ve elmas takımlar kullanarak ortogonal kesmede aralıklı talaş kaldırma deneyleri yapmışlardır. Elmas takımla talaş kaldırma sırasında elde edilen deneysel sonuçlarla, kesme açısı ile  $V$ ,  $f$ ,  $a$  arasındaki bağlantıyı içeren eşitliğin en uygun işlenebilirlik denklemi olduğunu göstermişlerdir. Kesme açısının  $V$  ve  $a$ 'ya bağlı olduğunu ve kesme sıcaklığının takım yüzeyindeki talaş oluşumunu ve ayrıca ikincil deformasyon bölgesinin kalınlığını etkilediğini gözlemlemişlerdir. Talaş malzemesi yakalanmasının ve ikincil deformasyon bölge kalınlığının kesme açısındaki değişimin temel sebepleri olduğunu ortaya koymuşlardır. Sıcaklığın  $V$  ile yaklaşık orantılı olmasından dolayı kesme açısının  $V$  ve  $a$ 'ya bağlı olduğunu göstermişlerdir (Ueda, 1986).

Fang yaptığı çalışmada takım ile talaş arasındaki sürtünme analizinin büyük negatif talaş açılı takımlarla işlenebilirlikte, talaş oluşum mekanizmasının ve diğer karmaşık olayların daha iyi anlaşılacağı düşüncesiyle, Lee ve Shaffer modeli üzerine bir model inşa etmiştir. İnşa ettiği modelinde; negatif talaş açısı ve kesme hızının takım ile talaş arasındaki sürtünmeyi nasıl etkilediğini, itme kuvvetinin kesme kuvvetine oranını, talaş kalınlık oranını, kesme bölgesinin geometrisini ve  $BUE$  malzeme akışının durgunlaşma bölge geometrisi gibi işlenebilirlik performanslarının takım ile talaş arasındaki sürtünmenin nasıl daha fazla etkilediğini araştırmıştır. Negatif talaş açılarını ve kesme hızlarını geniş bir şekilde kapsayan yayınlanmış deneysel verileri oluşturduğu analitik modeli doğrulamak için kullanmışlardır. Takım ile talaş arasındaki sürtünmeye etki eden pozitif ve negatif talaş açılarından kaynaklanan farklı etkileri karşılaştırmış ve analiz etmişlerdir (Fang, 2005).

Sağlam ve diğeri tornalama işlemi sırasında kesme hızının ve kayma gerilmesinin takım ucunda oluşan sıcaklık ve kesme kuvvetleri üzerine etkisini araştırmışlardır. Araştırmada her bir parametrenin etkisini incelemek için CNC torna tezgâhında deneyler yapmışlardır. Deneyleri kaplamasız takımlarla,  $a$  ve  $f$ 'yi sabit tutularak yapılmıştır. Kienzle yaklaşımıyla

farklı kesme parametreleri kullanarak ikincil kesme bölgelerinde esas kesme kuvvetini ve sıcaklığını hesaplamışlardır. Hesaplanan ve ölçülen kuvvetler sonuçları arasında ortalama %26 lık bir sapma olduğunu belirlemişlerdir. Kayma gerilmesi tüm kesme kuvvet bileşenleri üzerine etkili olmasına rağmen kesme hızı takım uç sıcaklığı üzerine daha etkili olduğunu göstermişlerdir (Saglam, 2007).

Fang ve Jawahir, ilerlemiş takım aşınması ve kısıtlı takım oluşumunun tornalama operasyonunda talaş kırılma hızına etkilerini araştıran deneysel bir çalışma yapmışlardır. Aşınma parametrelerinin; büyük yan aşınma, krater aşınma derinliği, krater aşınma uzunluğu, kesme kenar aşınması ve burun aşınmasının takım aşınma ilerlemesinin talaş kırılma hızı değişkenlerine katkı sağladığını saptamışlardır. Takım yüzeyinde efektif talaş kırıcı yivlerinin ve kısıtlı temas büyüklüğünün talaşın kırılması ve kırılması üzerinde oldukça etkili olduğunu ve takım yüzeyi tasarımlarında kullanılabilirliğini göstermiştir (Fang ve Jawahir, 1993).

Wang çalışmasında farklı geometrilere sahip çok katmanlı sementit karbür kesici takımların çelik tornalama işleminde kesme kuvvetlerine olan etkisini araştırmıştır. Kaplamalı ve kaplamasız karbür takım uçlarını kesme işlemi sırasında oluşan kesme kuvvetlerini nicel ve nitel olarak araştırmıştır. Kaplanmış ve kaplanmamış takım yüzeylerinin kesme kuvveti karakteristiği bakımından benzer özelliklere sahip olduğunu gösterirken sert yüzey kaplamasının kesme kuvvetini azalttığını görmüşlerdir (Wang, 2000).

## 2.2. Nümerik Çalışmalar

Özel ve diğerleri, metal kesme işleminde iş parçası üzerinde oluşan gerilmeleri ve sürtünme özelliklerini belirlemek için sonlu elemanlar simülasyon metodunu kullanmışlardır. Bu amaçla, iş parçasındaki ve takımda ki gerilmeleri belirleyebilmek için Johnson ve Cook (JC) tarafından geliştirilen malzeme modeli kullanılmıştır. Oluşturduğu sürtünme modeli üç parametreden oluşmuştur. Bunlar; (a) normal ve sürtünme gerilmesi dağılımları (b) ikincil bölgedeki plastik bölgenin uzunluğu (c) kayma bölgesindeki sürtünme katsayısıdır. JC yapısal modeli ve sürtünme parametreleri çeşitli kesme şartları için ortogonal kesme testlerinde ölçülen kuvvetler ve Oxley'nin işleme teorisinin ters çözümünden yararlanarak iterasyon şemasından hesaplanabilir olduğunu söylemişlerdir. Bu yöntem AISI P20 çeliği ve AISI H13 takım çeliği için gerilme dağılımını karakterize edilmesi ve ortogonal kesme

testleri uygulanarak takım-talaş ara yüzünde oluşan sürtünme parametrelerinin hesaplanması için uygulanmıştır (Özel ve Zeren, 2004).

Halil ve diğerleri çalışmalarında farklı algoritmalara sahip sonlu elemanlar metodu kullanan ticari programların malzemelerin işlenmesindeki farklı model yaklaşımlarını incelemiştir. Araştırmalarında MSC. Marc, Deform2D ve AdvantEdge yazılımları kullanmışlardır. Simülasyon sonuçlarının doğruluğunu kontrol etmek bir numune torna tezgâhında işlenmiştir. Bu çalışmada ortogonal kesme simülasyonunda sürtünmenin etkisini, talaş kopmasını ve malzemeyi incelemiştir. Sürtünme parametrelerinin simülasyon sonuçlarını büyük ölçüde etkilediğini görmüşlerdir. Düşük sürtünme parametreleri kesme kuvveti için iyi sonuç vermesine karşı diğer değişkenler yüksek sürtünme parametrelerinde daha doğru sonuçlar verdiğini görmüşlerdir (Bil, Tekkaya ve Kılıç, 2005).

Patrascu ve Carutasu, 2007 yılında metal kesim analizlerinin bilgisayarda yapılması ile deneysel olarak yapılması arasında kayda değer bir fark olmadığını belirten sıfır hipotezini (null hypothesis) teyit etmek amacıyla CATIA yazılımında modelledikleri takım ve işleme malzemelerini DEFORM 3D yazılımında tornalama işlemi için sonlu elemanlar analizine tabi tutmuşlardır. Talaş açısı ( $0^{\circ}$ - $10^{\circ}$ ), kesme hızı (133-209 m/ min) ve ilerleme hızını (0.125-0.25 mm/devir) değişken parametreler alınarak gerçekleştirilen analizde, kesme kuvveti ve bileşke kuvvet bakımından 2001 yılında Croitoru'nun doktora çalışmasında yaptığı deneysel sonuçlar ile %10'luk bir hata payı ile benzer sonuçlar elde edilmiştir (Patrascu ve Carutasu, 2007).

Villumsen ve Fauerholdt çalışmalarında LS-DYNA yazılımı kullanarak A Smooth Particle Hydrodynamics (SPH) modelini kullanmışlardır. SPH metal kesme gibi büyük yer değiştirmeler içeren problemleri modellemek için kullanılan sayısal bir yöntemdir. Tahmin ettikleri kesme kuvvetleri deneylerden elde edilen sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Deney sonuçları ile yazılım yardımıyla tahmin ettikleri kesme kuvvetlerinin birbirine yakın olduğunu gözlemlemişlerdir. Ayrıca talaş oluşumunu da iyi bir şekilde modellemişlerdir. Deneylerden ölçülen kuvvetlerle analiz sonuçları kıyaslandığında kesme kuvvetinde %8,4 lük bir sapma, itme kuvvetinde ise %12'lik bir sapma olduğunu gözlemlemişlerdir (Morten ve Torben, 2008).

Maňkováe diğerleri yaptıkları çalışmada, kuru işleme sırasında kesme parametrelerinin farklı katmanlardan oluşturulmuş seramik kesici takımın etkisini incelemişlerdir. HRC 55 sertliğine sahip sertleştirilmiş çelik üzerinde iki boyutlu sonlu elemanlar analizi ve deneysel çalışmaları gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmaları birbirleriyle kıyaslamış ve sonuçlarını tartışmışlardır. Sonuçların gerçek değerle yakın olduğu ve üretilebilir ürünlerde kullanılabilir olduğunu belirtmişlerdir.

Patrascu ve diğerleri analitik ve deneysel metotlar kullanılarak farklı kesici takım aşınmalarını tiplerini incelemişlerdir. Çalışmalarının temel amacı kesme işlemi sırasındaki takımdaki aşınmaları tahmin için yeni bir yaklaşım sunmak olmuştur. Bu yaklaşımla kesme sırasındaki sürtünme dolayısıyla ortaya çıkan enerji ile takımda oluşan aşınma hacmi arasındaki ilişki incelenmiştir. Ayrıca aşınma mekanizmasından dolayı kesici geometrisinde oluşan değişim ile kesme işleminin parçada oluşturduğu artık gerilmeler arasındaki bağlantı incelenmiştir. Çalışmada takımda oluşan aşınma hacminin elde edildiği deney sonuçları sunulmuştur. Ortogonal kesme işlemine ait nümerik simülasyon ABAQUS/Explicit kullanılarak gerçekleştirilmiştir. (Patrascu ve Carutasu, 2007).

Goran Ljustina ve diğerleri çalışmasında dökme demirin mikro yapısındaki nodüler grafitlerin işlenebilirliğin üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Perlitik ve grafit fazlarının deformasyon davranışı Jhonson-Cook viskoplastik malzeme modeli kullanılarak sıcaklığa bağlı olarak modellenmiştir. Talaş kaldırma işleminin modellenmesi oldukça zor olup modelleme için Johnson-Cook failure modelini kullanmışlardır. Jhonson-Cook malzeme modeli kullanılarak yapılmış olan simülasyon sonuçları deneysel veriler ile karşılaştırılarak doğrulanmışlardır. Yapılan çalışma sonucunda deneysel ve simülasyon verilerinden alınmış kesme kuvvetlerinin oldukça iyi bir şekilde birbiriyle örtüştüğünü gözlemlemişlerdir (Ljustina, Larsson ve Fagerström, 2014).

Akram ve diğerleri, 2015 yılında AI-6061 alüminyum alaşımından üretilmiş bir parça üzerinde işleme sonrası oluşan artık gerilmeler üzerine bir çalışma gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada, artık gerilmenin kesme hızı ve besleme hızından ne şekilde etkilendiğini sonlu elemanlar metodunu kullanarak incelemişlerdir. ABAQUS yazılımında iki boyutlu olarak oluşturdukları model üzerinde farklı kesme hızı (250-500-750 m/min) ve ilerleme hızı (0.1-0.2-0.3 mm/devir) değerleriyle ortogonal kesme gerçekleştiren araştırmacılar, kesme hızının artık gerilmeye bir etkisinin olmadığını gözlemlemişlerdir. Diğer bir yandan, besleme

hızındaki değişikliklerin artık gerilmeler üzerinde bir etkisi olduğunu açıkça görebilseler bile aralarındaki ilişkiyi belirlemek için daha fazla araştırma yapılması gerektiğini belirtmişlerdir (Akram, Jaffery, Khan, Mubashar ve Ali, 2015).

Chen ve diğerleri, 2015 yılında TC4 titanyum malzemesinin tornalama sırasında farklı kesme derinliklerinde (0.3-0.4-0.5-0.6-0.7 mm) verdiği tepki kuvvetlerini araştırmışlardır. Kesme hızı (40 m/min) ve besleme hızını (0.3 mm/devir) sabit tutmuşlardır. Bu araştırmayı DEFORM-3D sonlu elemanlar metodu yazılımı kullanarak dijital ortamda yaptıkları gibi sonuçları teyit etmek için analizi gerçek bir deney düzeneği kurarak da gerçekleştirmişlerdir. Araştırma sonucunda kesme derinliğinin malzemenin tepki kuvvetiyle doğru orantılı olarak ilişkili olduğunu dijital analiz ve deney sonuçlarının birbiri ile uyuşması ile kanıtlamışlardır (Chen, Qin ve Yang, 2015).

Watmon ve diğerleri AdvantEdgeTM yazılımı kullanılarak ortogonal metal işleme için sonlu elemanlar yöntemi ile ilgili bir çalışmanın simülasyon sonucu sunmuşlardır. Yazılım, kullanıcıların 2D ve 3D ortamlarda işleme proseslerini analiz etmesini sağlayan, metal kesme optimizasyonu için onaylanmış bir CAE yazılımı çözüdür. Kesme işlemi ve başta kesme kuvveti, başlangıç durumundan kararlı duruma kadar kademeli olarak ilerletilerek simüle edilmiştir. Takım ucu kriterindeki kritik bir mesafeye dayanan bir geometrik talaş ayırma kriteri, AdvantEdgeTM çözücüsünde simüle edilerek uygulanmıştır. Sürtünme modellenmiş ve takım talaş ara yüzü boyunca yürütülen bir dizi sonlu elemanlar simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Sonlu elemanlar düğüm prosedürü, iş parçasından talaş ayrılmasının benzetiminde benimsenmiştir. Bu simülasyonların sonuçlarının deneysel çalışmalarla örtüşüğünü belirtmişlerdir. Özellikle, takım ucunun en büyük plastik şekil değiştirme oranına maruz kaldığını tespit etmişlerdir. Ayrıca iş parçasındaki sıcaklık ve plastik şekil değiştirme dağılımının birincil ve ikincil kesme bölgelerinde yoğunlaştığını söylemişlerdir (Watmon, Xiao ve Peter, 2016).

Watmon ve diğerleri, 2016 yılında Advantedge yazılımını kullanarak takım (titanyum nitrid kaplı tungsten karbür) ile işlenen malzemedan (düşük karbonlu çelik/AISI-1045) talaş kaldırma işleminin sonlu elemanlar analizini gerçekleştirmişlerdir. Aynı zamanda analizi deneysel olarak da gerçekleştirip sonuçların doğruluğunu teyit etmişlerdir. Analiz sonucunda, en yüksek plastik şekil değiştirme hızının takımın uç kısmında olduğunu gözlemlemişlerdir. Bununla birlikte en yüksek ısı yayılımının plastiklik ve sürtünmeden



dolayı takım ile işlenen malzeme arasında olduğunu gözlemlemişlerdir (Watmon, Xiao ve Peter, 2016).

Dinesha ve Ramesh çalışmalarında GG25 dökme demirin kaplamasız sinterlenmiş karbür takım ile ortogonal işleme simülasyonunu AdvantEdge FEM kullanarak yapmışlardır ve deneysel veriler ile karşılaştırmışlardır. Kesme kuvvetleri, gerilme ve kenar sıcaklık dağılımları, kesme takımında farklı kenar yuvarlama yarıçapı ( $r = 10\mu\text{m}$ ,  $30\mu\text{m}$ ,  $50\mu\text{m}$  ve  $70\mu\text{m}$ ) için 2D dik açılı tornada ve gerçek test parametrelerini kullanarak karşılaştırılmıştır. Çalışmalarında takım kenar yuvarlatma yarıçapının artışıyla kesme kuvvetinin arttığını görürken sıcaklık, basınç ve gerilme dağılımının kenar yuvarlatma yarıçapıyla değiştiğini gözlemlemişlerdir (Dinesha Kumar ve Ramesh, 2017).

### 2.3. Literatür Özeti

Deneysel çalışmalar için yapılan literatür araştırması dökme demirlerin tornalanması işleminde optimum kesme şartlarına ulaşmak ve kesme parametrelerinin birbirleri ile olan ilişkisini ortaya koymak için pek çok çalışmanın yapıldığı ve yapılmakta olduğu yapılan literatür araştırması sonucunda görülmüştür. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde: araştırmaların büyük bir kısmının tornalama işleminin performansına etki eden faktörlerin: kesici takım ve kaplaması, iş parçası malzemesi, kesme hızı, ilerleme hızı, kesme derinliği ve talaş açısı olduğu ayrıca performans değerlendirmesi için kullanılan kıstasların ise; takım aşınması ve takım ömrü, yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvvetleri, takım ve iş parçasında oluşan sıcaklık, geometrik toleranstan sapmalar ve titreşimler olduğu görülmüştür.

Nümerik çalışmalar için yapılan literatür taraması incelendiğinde tornalama işlemini bilgisayar ortamında simüle edip, optimum kesme şartlarına ve parametrelerine ulaşabilmek için pek çok çalışmanın yapıldığı ve yapılmakta olduğu görülmüştür. Yapılan çalışmalar ağırlıklı olarak iki boyut olmak üzere üç boyutlu olarak da yapılmıştır. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde performans değerlendirmesi için kullanılan kıstasların: kesme kuvvetleri, takım talaş arasındaki sıcaklık, takımında oluşan gerilme, İş parçasında oluşan artık gerilmeler, yüzde şekil değiştirme, şekil değiştirme hızı ve talaş şekli olduğu görülmüştür.

Yapılan literatür çalışması yukarıda atıf yapılan çalışmalarla sınırlı olmamakla beraber bu çalışmalara paralel birçok çalışma literatürde bulunmaktadır. Bu çalışmanın diğer

Çalışmalardan farklı yapılan deneysel çalışmaların sonlu elemanlar metodunu kullanarak Lagrange varsayımını kullanan bir yazılım vasıtasıyla yazılımın kendi malzeme modelini ve kütüphanesini kullanarak hem iki boyutlu hem de üç boyutlu olmak üzere farklı mesh yoğunluklarında simülasyonlar yapılmış olup deneysel veriler ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca literatürde yaygın olarak kullanılan Johson-Cook malzeme modeli kullanılarak iki boyutlu analizler yapılmış ve yazılımın kendi kütüphanesi ile karşılaştırılmıştır.





### 3. DÖKME DEMİRLER

Endüstriyel olarak çok çeşitli ürünlerin yapımında kullanılan dökme demirler döküm endüstrisinin en yüksek üretim kapasitesine sahip ürün grubudur. Dökme demirlerde alaşım elementlerinin kullanılması; üretilecek ürünlerin yüksek sertliğe sahip olması, yüksek aşınma ve korozyon direnci kazanmaları, geniş bir yelpazede çok çeşitli ve farklı özelliklerde üretilebilmeleri gibi önemli avantajlar sağlamaktadır. Tipik olarak %2-4 C ve %0,5-3 oranlarında Si içerirler. %4'ün üzerinde karbon oranı malzemeyi aşırı derecede gevrek hale getirdiği için genellikle bu oranda ticari olarak kullanılmamaktadır. Bünyelerinde genellikle, %2-4 C, %0,4-3,5 Si, %0,4-0,8 Mg, %0,1-0,8 P ve %0,05-0,10 oranlarında S bulunur. Ayrıca eser miktarda Ti, Sb, Sn. gibi elementlerden de çeşitli oranlarda içerebilirler (Askeland, Fulay ve Wright, 2010; Karadeniz, Çolak ve Barutçu, 2017; Fidaner, Çelik, Süzen ve Duran, 1979).

Dökme demirlerin mekanik özellikleri sahip oldukları mikroyapının tipine ve içerdiği alaşım elementlerinin oranına bağlı olduğu kadar bu mikroyapıları oluşturan fazların şekline ve dağılımına da bağlıdır. Mikroyapı üzerinde önemli bir etkisi olan fazlardan biri serbest halde bulunan grafitler yapılarıdır. Grafitlerin şekli ve miktarı dökme demirlerin mukavemeti ile sünekliğini etkilemektedir. Dökme demirlerin mukavemet, sertlik, işlenebilirlik, aşınma ve korozyon direnci gibi özelliklerini geliştirmek amacıyla tavlama, temperleme, östenitleme ve menevişleme gibi ısı işlemleri uygulanabilir. (Welding Handbook, 1984)

Dökme demirler düşük ergime noktası, iyi akışkanlık, dökülebilirlik, kolay işlenebilirlik, deformasyona karşı yüksek dayanım ve yüksek aşınma dayanımı dökme demirleri yangın kullanılan bir mühendislik malzemesi haline getirmiş ve geniş ölçüde uygulama alanına kavuşturmuştur. Borular, makineler, silindir kafalar, silindir bloklar ve vites kutuları, motor blokları gibi parçalar endüstride pek çok kullanım alanı bulan dökme demirlerden üretilmektedir (Campbell, 2008)

#### 3.1. Dökme Demir Üretimi

Metallerin veya metal alaşımlarının şekillendirilmesinde; döküm, plastik şekil verme, talaşlı imalat, kaynak, elektro-şekil verme ve toz metalürjisi ve/veya bunların çeşitli kombinasyonları yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunlar arasında döküm teknolojisi, yüksek

adetlerde üretilecek karmaşık parçaların diğer yöntemlere göre oldukça ucuza imal edilmesine olanak sağlamasından dolayı ayrı bir öneme sahiptir.

Döküm metal, ergitmiş sıvı metalin bir kalıba veya boşluğa dökülerek kalıbın veya boşluğun şeklini alarak katılaşmış yapıdır. Döküm işleminde genellikle model yapma, maça yapma, kalıp yapma ve ergiyik boşaltma işlem adımları takip edilir.

Demir dökümü başlıca: Kum kalıp, kokil kalıp kabuk kalıp ve savurma yöntemleri ile gerçekleştirilmektedir. Bu döküm yöntemlerinden kum kalıba metodu bu gün sanayide en fazla uygulama alanına sahip yöntemdir.

Bu nedenle kum kalıba döküm prosesinin çok farklı ağırlıktaki iş parçalarına uygulanabilmesinin yanında kalıplama maliyetinin de çok düşük olmasıdır. Bununla beraber diğer döküm yöntemleride kendilerine göre bir takım avantajlara sahiptir. Ancak, avantajlarının belirli sahalarda olmaması, bu usullerin sadece belirli parça şekillerini, metalurjik amaçları veya ekonomik amaçları elde edebilmek için uygulanmaktadır.

### **3.1.1. Kokil kalıp usulü**

Kum kalıplar bir döküm yapıldıktan sonra bozulmaktadır. Yani bir parçanın döküm için bir kum kalıba ihtiyaç vardır. Kokil kalıplar (Metalik kalıp) ise kalıp malzemesinin kütlesine göre yüzlerce veya binlerce döküme dayanabilmektedir. Bu durumda bir keresinde bir kokil kalp yapılırsa seri imalat uygulanabilmektedir. Diğer taraftan kokil kalıbın üretkenliği, kum kalıba göre yüksek olduğu için sıvı metal çok hızlı soğumakta, dökme demirin mikro yapısı kum kalıp metoduna göre elde edilenden değişik olmaktadır. Yapıda yine grafitler görülmekle beraber bunlar ince ve yıldız şeklinde toplanmıştır. İşte bu sebepten kokil döküm usulü ile elde edilen dökme demirlerin mukavemetleri ve sertlikleri yüksek olmaktadır. Ayrıca, kokil kalıpta, yüzey pürüzsüz çıkmakta ve talaş kaldırmak icap etmemektedir. Bu avantajlarına rağmen, şurasını unutmamak gerekir ki, kokil kalıbın hazırlanması çok pahalıdır. Birincisi, malzeme olarak özel alaşımlı çeliklerin kullanılmasını icap ettirmekte, ikincisi de kendisi kum kalıp metodu ile imal edildiğinden yüzeyler pürüzlü çıkmakta ve işlemleri gerekmektedir. İşte bu sebepten kokil kalıp metodu ancak Seri imalat için ekonomik açıdan uygun olmaktadır.

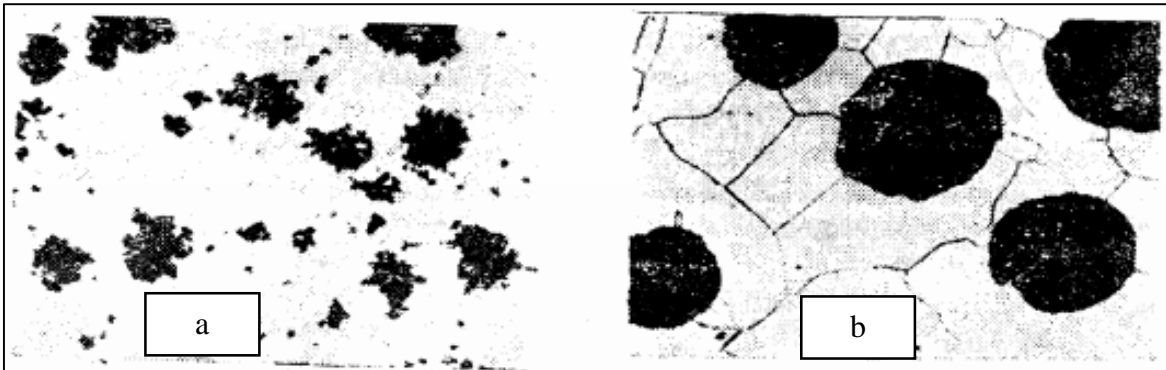
### 3.1.2. Savurma Döküm

Bu usül sadece silindirik parçaların dökümü için uygulanmaktadır. Demir bir fırında ergitilip, içerisi kalıp kumu ile astarlanmış, yüksek devirle dönen yatay eksenli bir silindire boşaltılır. Sıvı demir merkezde kuvvetin etkisi altında cidarlara yapışır ve orada katılaşır. İşlem bittikten sonra iş parçası dışarı alınır. Bu şekilde dökülen parçaların iç kısımları daima boş ve silindiriktir. Sıvı metal cidarlara yüksek bir hızla fırlatıldığı için taneler ince yapılı olup, gaz boşluğu yoktur. Soğuma, kalıp yüzeyinden savurma makinasının eksenine doğrudur. Bu sebepten, farklı soğuma ortamlarındaki farktan dolayı, malzemenin cidarının dış çevresi ile iç çevresi arasında yapı farkı mevcuttur. Savurma döküm usulü ancak silindir gömleği, boru gibi silindirik iş parçalarına tatbik edilebilmektedir. Is paçalarının da dış yüzeylerinin tam silindirik olması icap etmez. Bunlar şekilli olabilir, fakat her ayrı yüzey şekli bir ayrı kalıbı gerektirir

## 3.2. Mikro Yapılar

### 3.2.1. Grafit

Dökme demirlerin yapısında bulunan karbon, bileşik veya serbest halde bulunabilir. Gri dökme demirde katılaşmayla beraber grafit lamelleri oluşur ve düşük yoğunlukları nedeniyle toplam döküm hacminin %6-17'sine erişebilirler. Şekil 3.1'de görüldüğü gibi, dökme demir yapılarında lamel grafitlerden farklı biçimlerde grafit yapıları oluşabilir. Örneğin; beyaz dökme demirin ısı işleme ile temper karbonu veya rozet şekilli grafit agregatları, dökme demire az magnezyum seryum ilavesiyle küre şekilli grafitler elde edilebilir.

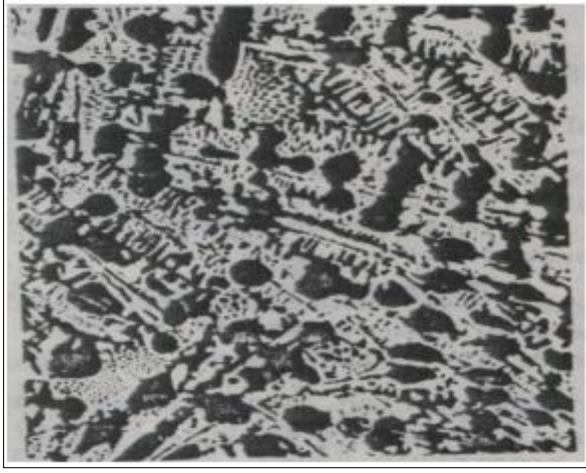


Şekil 3.1. Temper dökme demir yapısı ve küresel grafitli dökme demir yapısı

GDD'nin gevrek özelliğe sahip olması, yapısındaki lamel grafitlerden kaynaklanmaktadır. TDD yapısındaki rozet şekilli grafitler veya KGDD'de ki küre şekilli grafitler süneklığe lamel grafitler kadar kötü yönde etkilemez.

### 3.2.2. Sementit

Dökme demirlerde karbon atomunun tamamen veya belirli oranda sementit halinde kimyasal olarak birleşmiş durumda bulunabilir, serbest veya kitle şeklindeki sementit, beyaz ve çil uygulanmış dökme demirlerin katılaşması sürecinde meydana gelir (Şekil 3.2).

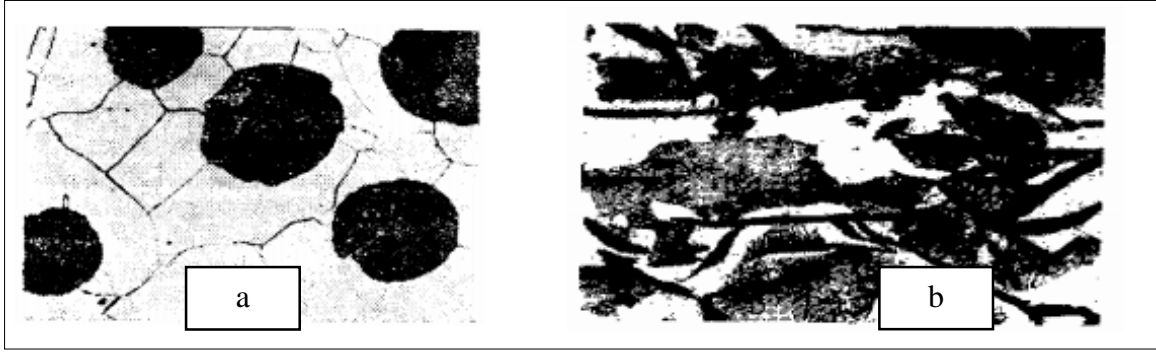


Şekil 3.2. Sementit (Beyaz Bölgeler)

Sementit çok sert ve kırılgan bir yapı olup, ana bileşenini oluşturduğu dökme demir tiplerinde de bu özelliğini gösterir. Karbon; dökme demir bileşimindeki yüzdesinin 15 katı mertebesinde sementit meydana getirebilir. Buna göre % 2,5 karbon içeren bir BDD yaklaşık % 37,5 demir karbür bulunacağından çok sert ve kırılgan olacaktır.

### 3.2.3. Ferrit

Oda sıcaklığında, kübik hacim merkezli yapıda, demir ile az miktarda karbonun oluşturduğu, nispeten yumuşak, sünek ve orta derece mukavemete sahip bir katı eriyik olarak tanımlanabilir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Ferrit (Beyaz Bölgeler)

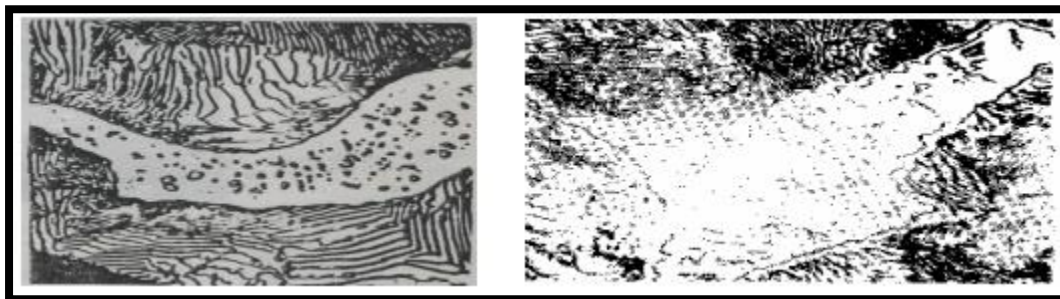
Dökme demirlerde ferrit, silisyumu içeren fazdır. Silisyum, ferriti sertleştirir ve dayanımını yükseltir. Yapısal açıdan, DD'de ferrit ya serbest halde veya perlit içinde oluşur. Dökme demirin karbonu serbest olarak oluşabiliyorsa, bileşimde grafitleştiriciler varsa ve soğuma yavaş ise serbest ferritin oluşma ihtimali fazladır.

### 3.2.4. Perlit

Yan yana sıralanmış ferrit ve sementit tabakalarından oluşmuş iki faz karışımıdır (Şekil 3.3). Dökme demirlerde perlit mukavemetli, orta sertlikte ve bir dereceye kadar sünektir. Oluşan perlit miktarı, grafitleşme mertebesine bağlıdır.

### 3.2.5. Steadit

Dökme demirlerde, özellikle gri dökme demirde fosfor, düşük ergime dereceli bir demir-demir fosfür ötektiği olan steadit şeklinde bulunur (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Steadit

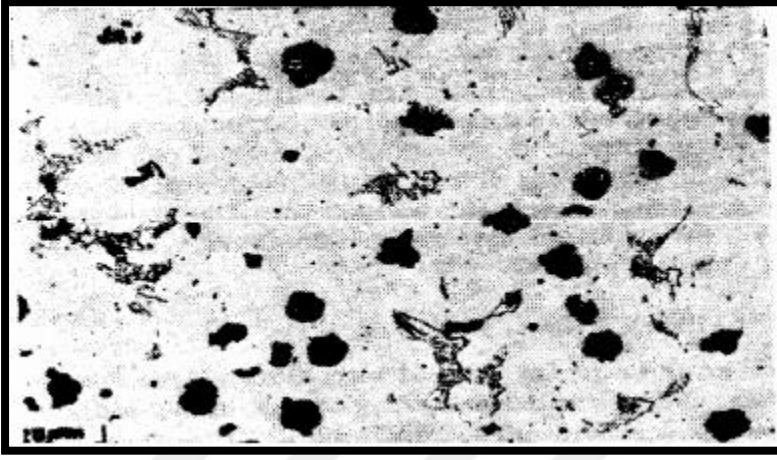
Steadit, % 10,2 fosfor içerir. Fosfor, katılaşmada en son katılan bölgelere toplandığından mikro yapıda steadit bölgeleri hücrenel bir görünüme sahiptir. Demir fosfür, demir karbür



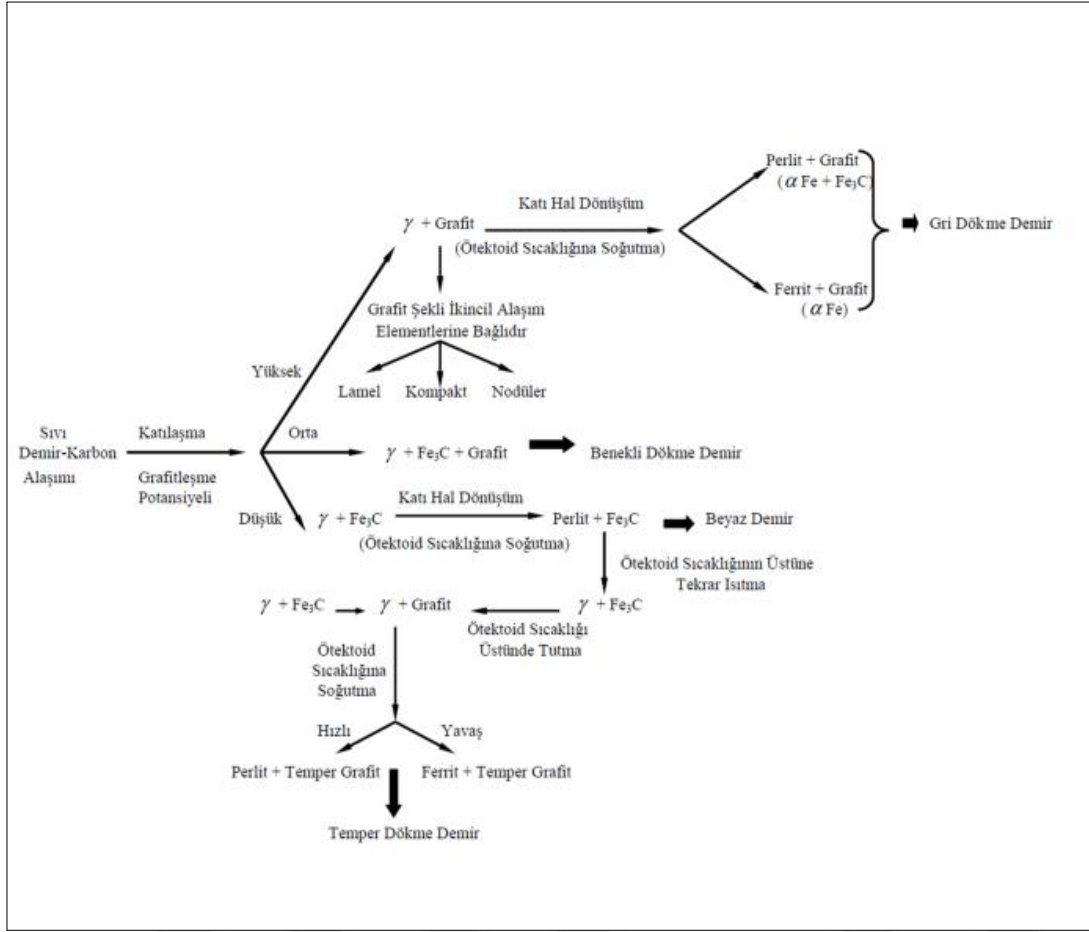
gibi çok sert ve kırılgandır. Dar kafes ağı nedeniyle, aşınma direnci yüksektir (Çavuşoğlu, 1992; Anayurt, Ferizoğlu, Öztürk, Sadioğlu ve Erkeksoy, 1994).

### 3.2.6. Ostenit

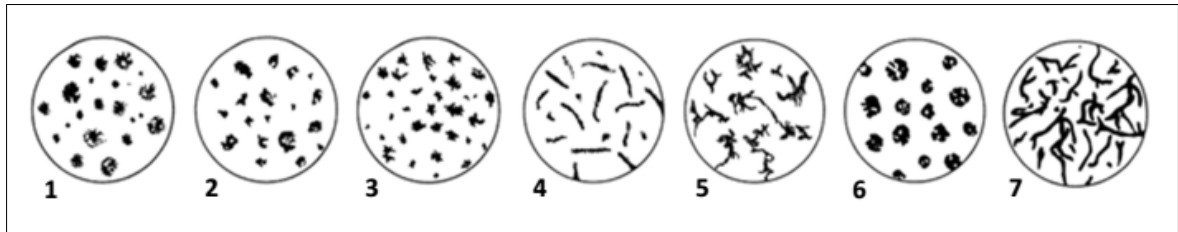
Demirin yüksek sıcaklıklardaki allotropik şekli olan kübik yüzey merkezli demir ile karbonun meydana getirdiği, katılaşma esnasında oluşan ve yavaş soğuma ile perlit, ferrit veya ikisinin karışımına dönüşen bir katı eriyik olarak tanımlanabilir.



Şekil 3.5. Ostenit 2006 (Çavuşoğlu, 1992)



Şekil 3.6. Dökme demirler ve temel mikro yapılarının gösterimi (Stefanescu, 1990)



Şekil 3.7. Grafit Şekilleri (A247-16a, 2016)

Şekil 3.7’de görülen 1 numara, küresel grafiti; 2 numara, hatalı biçimlenmiş küresel grafiti; 3 numara, temper grafiti; 4 numara, kompakt grafiti; 5 numara, yengeç şekilli grafiti; 6 numara, patlamış küresel grafiti ve 7 numara ise lamel grafiti sergilemektedir (A247-16a, 2016).

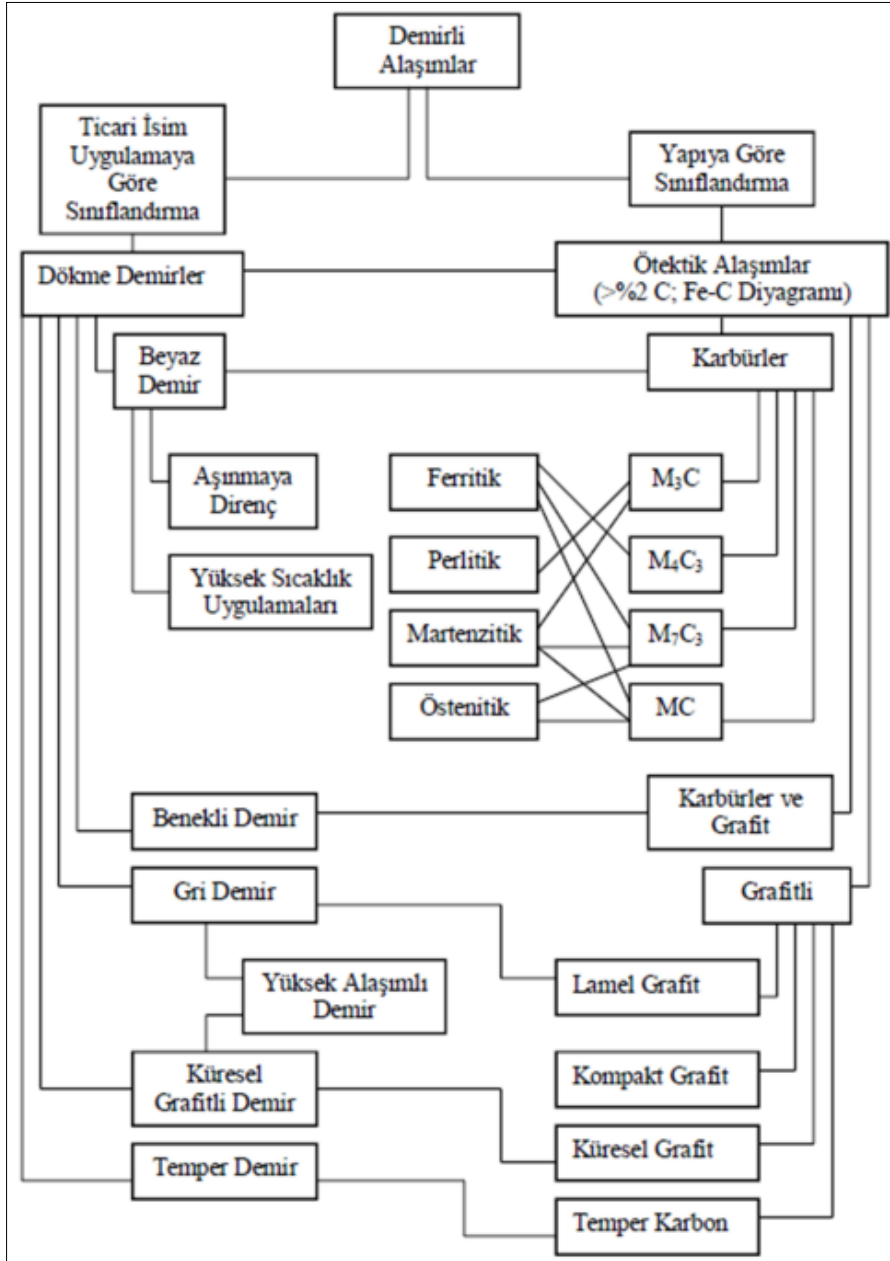
### 3.3. Dökme Demirlerin Sınıflandırılması

Dökme demirlerin günümüzde yaygın olarak kullanılan beş türü vardır. Bunlar gri dökme demir, küresel grafitli (sfero) dökme demir, temper dökme demir, beyaz dökme demir ve kompakt grafitli dökme demirlerdir. Dökme demirlerin sınıflandırılması esas olarak mikro yapılarındaki grafitin şekline göre yapılır. Mikro yapıdaki karbonun şekli ise dökme demirlerin içerisindeki alaşım elementlerine ve döküm işlemi esnasındaki ve/veya sonrasındaki ısı şartlarına bağlıdır (Askeland, Fulay ve Wright, 2010; Karadeniz, Çolak ve Barutçu, 2017).

Dökme demirler çeşitli sınıflandırmalara göre ayrılabilirler. Bunlardan bir tanesi matris yapısına göre sınıflandırmadır. Matris yapısına göre sınıflandırılmış dökme demirler, ferritik, perlitik, östenitik, martenzitik ve beyaz demir şeklindedir (Odabaşı, 2004).

Bir başka sınıflandırma ise beyaz demir, küresel grafitli dökme demir, lamel grafitli dökme demir ve temper dökme demir olarak yapılabilir (Odabaşı, 2004).

Bunların yanında dökme demirlerin diğer formları da çil uygulanmış dökme demir, temper dökme demir, benekli dökme demir, kompakt grafit dökme demir ve yüksek alaşımlı grafitik dökme demir şeklinde adlandırılırlar (Odabaşı, 2004).



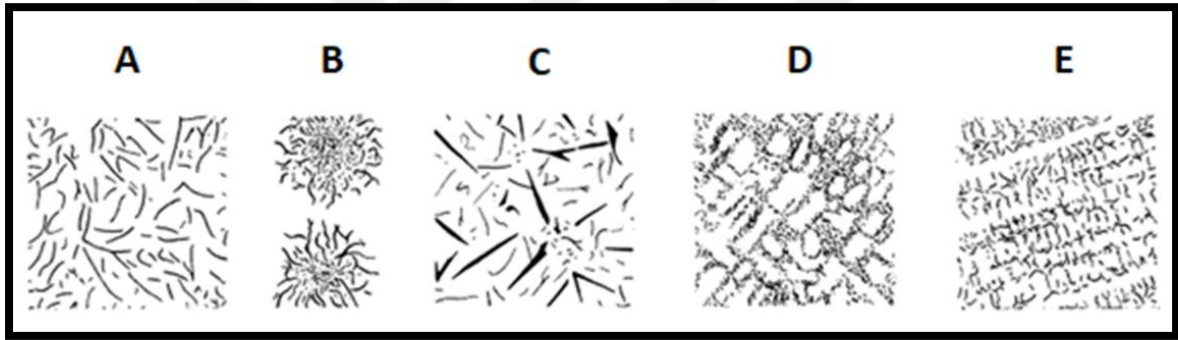
Şekil 3.8. Dökme demirlerin sınıflandırılması (Reardon, 2010)

### 3.3.1. Gri dökme demir

Serbest karbonların grafit yaprakları şeklinde oluşturduğu demir-karbon-silisyum alaşımlarına Gri dökme demir denir (Welding Handbook, 1984). Gri dökme demir terimi belli bir dökme demir tipini belirtiyorsa da gri dökme demirin kimyasal bileşimi yapı ve özellikleri geniş sınırlar içinde değişebilmektedir. Gri dökme demirler esas olarak demir-karbon- silisyum alaşımı olup ötektik sıcaklığında ostenitin katı eriyik olarak içerebileceğinden fazla karbonu olan alaşımlardır. Bileşimdeki bu fazla karbon grafit

lamelleri halinde çökelir. Gri dökme demirler genellikle %1,7 ile 4.5 karbon ve %1 ile 3 silisyum içerirler (Çavuşoğlu, 1981).

Gri dökme demirlerde katılaşma evresi sonrası, kompozisyonundaki karbon elementinin büyük bir bölümü grafit lamelleri şeklinde bulunmaktadır. Gri dökme demirlerin kırık yüzeyleri incelendiğinde isli gri rengi gözlemlenecektir (Welding Handbook, 1984). Yapraksı grafit gri dökme demire (işlenebilirlik gibi) benzersiz özellikler katar ve üstün aşınma direnci, kırılma direnci ve iyi derecede titreşim sönümlemesine de sahiptir (Santner, Goodrich, 2006). Gri dökme demirin otomotiv endüstrisinde tercih edildiği yerler; motor bloğu, fren diski, kampana, yağ pompalama çubuğu, su pompası pervanesi, denge parçası, krank kepi, manifold, vantilatör kasnağı, fren diski, su pompası gövdesi ve volan (Ataçelik, 2015).



Şekil 3.9. Gri dökme demirlerin grafit türleri (Gray Iron, 1998)

Şekil 3.9'da görülen A tipi grafit, homojen dağılımı, rastgele yönelimi. B tipi grafit türü, rozet şeklinde dağılımı, rastgele yönelimi. C tipi grafit türü, kiş grafiti, rastgele dağılımı. D ve E tipi grafit türleri, dentritik bölgeler arası birikimi, D'de rastgele yönelimi, E'de ise belirli bir doğrultuda yönelimi sergilemektedir (Gray Iron, 1998).

### 3.3.2. Küresel grafitli dökme demir

KGDD'nin serbest karbonu, lamel yerine küre şeklindedir. Bu nedenle ABD'de nodüler dökme demir, İngiltere'de ise KGDD olarak adlandırılır. Karbonun lamel yerine küre şeklinde olması için aşılama işlemi yapılır. Küresel yapının oluşması için dökümden önce ergiyik demire çok küçük miktarda magnezyum ilave edilmektedir. Ayrıca bileşime bazı

elementler ilave edilerek değişik yapılar elde edilmektedir. Çizelge 3.1’de muhtelif elementlerin grafit yapısına etkileri görölmektedir (Bilici, 2004).

Çizelge 3.1. Muhtelif elementlerin grafit yapısına etkileri

Küreleştirciler	Çekirdekleyici	Fleyk Yapanlar	Küreseli Bozanlar
Mg	Si	As (0,02)	Cd (0,01)
Ca	Al (0,5-1)	Bi (0,002)	Se (0,03)
Li	Ca (0,5-1)	Cu (2,7-3,5)	Te (0,02)
Na	Ba (0,007)	Pb (0,02)	Ti (0,1)
K	Sr (0,007)	Sb (0,02)	Zn (0,1)
Be	B (0,02)	Sn (0,15)	Zr (0,1)

Küresel grafitli dökme demir her ne kadar kimyasal kompozisyonu kır dökme demirin aynısı olsa da mukavemet ve süneklik özellikleri çelikle benzerdir fakat üretim şekli farklıdır. Kır dökme demirler yapraksı grafit yapısı ile çatlak oluşturma özelliğine sahiptir, bu da kır dökme demirin mukavemetini, tokluğunu ve sünekliğini düşüren ana etkidir. Yapraksı değil de küresel yapıda olduğu zaman ise yüksek mukavemet ve süneklik sağlar. Böylece dökme çeliklerin mukavemet ve süneklik özellikleri, dökme demirlerin düşük maliyet, aşınma direnci ve uygulanan kuvveti emme özellikleri birleşmiş olur (Welding Handbook, 1984).

Kırıcı gövdeleri, konveyör dirsekleri, pompa gövdeleri, alüminyum ve kurşun ergitme potaları, cüruf potaları, pres makineleri, kalıplama dereceleri, sıcak hadde merdaneleri, hidrolik presler, silindirler, akslar, dişliler, diferansiyel dişli kutuları, traktör parçaları, transmisyon kutuları, pedallar, ön tekerlek çatalları, kren parçaları, beton karıştırıcı parçaları, yol inşaatı makineleri, kurutma silindirler, uçak konstrüksiyonlarında, volanlar, tekerlek kalıpları, kompresör gövde ve kafaları, gaz türbini kompresör kutuları, brülör gövdeleri ve fırın parçaları çok gibi çok sayıda ürün KGDD’lerin uygulama alanları arasındadır.

KGDD’leri Türk Standartları Enstitüsü (TSE) Çizelge 3.2’de görüldüğü gibi sınıflandırmıştır. DDK işareti “Dökme Demir Küresel Grafitli” anlamına gelmektedir ve DDK işaretini izleyen sayılar en düşük çekme dayanımını MPa cinsinden göstermektedir.

Çizelge 3.2. TS 526 standartlarına göre KGDD'lerin sınıflandırılması (TS 526: Türk Standartları Enstitüsü, 1997)

Küresel grafitli dökme demirlerin gösterilişi	İçyapısı	Çekme Dayanımı (MPa) En az	0.2 Akma dayanımı (MPa) En az	Kopma uzaması (%) En az	Brinell sertlik değeri (BSD)
DDK-40	Daha çok Ferritik	400	280	12	140-201
DDK-50	Ferritik-Perlitik	500	360	7	170-241
DDK-60	Perlitik-Ferritik	600	400	3	192-269
DDK-70	Daha çok perlitik	700	450	2	229-302
DDK-80	Perlitik	800	500	2	248-352
DDK-35.3	Ferritik	350	220	22	-
DDK-40.3	Ferritik	400	250	18	-

Çizelge 3.3. DIN 1693 standartlarına göre KGDD'lerin sınıflandırılması (İzgiz, 1988)

Kısa Gosterilişi	Cekme Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	0.2 Akma Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	Uzama %	Doku
GGG-40	400	250	15	Genellikle Ferritik
GGG-50	500	320	7	Ferritik-Perlitik
GGG-60	600	380	3	Perlitik* Ferritik
GGG-70	700	440	4	Genellikle Perlitik
GGG-80	800	500	2	Perlitik

### 3.3.3. Beyaz dökme demir

Dünya tarihinde, insanoğlu ihtiyaçlarını karşılamak için doğada bulunan kaynakları kullanmıştır.

Yüksek soğuma hızlarında gerçekleşen katılaşma ve dönüşümlerle karbonun sementit ( $Fe_3C$ ) halinde olduğu kırılma yüzeyi beyaz görünen dökme demir çeşididir. Kırılma yüzeyine göre beyaz dökme demir denirken, kararsız katılaşma ve dönüşümlerin verdiği baskın özelliklerden dolayı da sert döküm denir (Demirci, 2004).

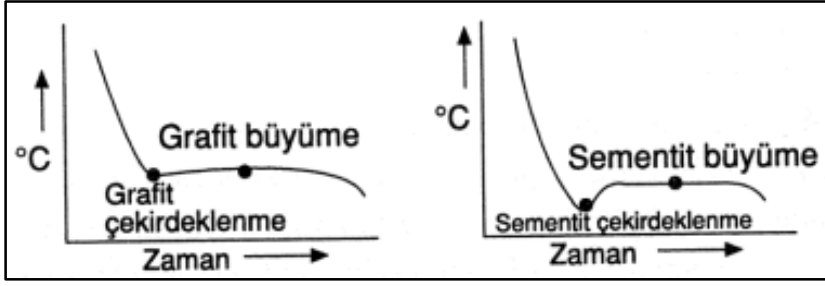
Dökme demirler iki farklı mekanizmayla katılırlar. Gri ve beyaz dökme demir diye anılan bu iki farklı katılaşma yapıları bazı ortak özellikler de gösterirler. Genel olarak; Si ve Ni' in gri dökme demir yapısını oluşturma özelliği, Mn ve Cr'da beyaz dökme demir özelliği vardır. Yüksek oranda S içeren dökme demirlerde ( $S > \%0,15$ ) gri yapı oluşurken düşük S yüzdelerinde ise beyaz yapı oluşur (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. Tipik beyaz dökme demir yapısı

Beyaz dökme demirlerde ana yapıyı oluşturan  $Fe_3C$ 'nin çekirdeklenmesi genellikle yavaştır. Ayrıca çekirdeklenmenin olduğu sıcaklık da oldukça düşüktür. Çekirdeklenmeden sonra hızlı bir  $Fe_3C$  büyümesi meydana gelir. Grafit ise  $Fe_3C$ 'den daha yüksek sıcaklıkta çekirdeklenip büyür ve gri dökme demir yapısını oluşturur. Ani bir aşırı soğumada  $Fe_3C$ 'nin grafitten daha hızlı büyüyeceği genel bir kabuldür (Yılmaz, 2003).





Şekil 3.11. Gri ve beyaz dökme demirde soğuma eğrileri

### 3.3.4. Temper dökme demir

Temper dökme demir; grafitsiz, sert ve kırılğan olan beyaz dökme demirin ısı işlem yolu ile içindeki karbon, rozet grupları haline getirilmektedir. Uygulanan bu ısı işlem ile karbürlerin parçalanması sonucu oluşan, yüksek mukavemetli, sünek ve iyi işlenebilme özelliğine sahiptir (Erdoğan, 2000).

Temper dökme demirler kimyasal bileşiminin aynı olmasına rağmen üretim metodunun farklılığından dolayı beyaz temper dökme demir ve Siyah temper dökme demir olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır.

### 3.4. Alaşım Elementlerinin Etkileri

Alaşım elementlerinden; silisyum ve nikel, grafit oluşturucu, krom, karbür oluşturucu ve korozyon direncini arttırıcıdır.

Karbonun artışının DD üzerindeki etkisine bakıldığında; Demirlerde sertliği, sertleşme derinliğini ve gevrekliği arttırdığı aynı zamanda katılaşma esnasında grafit oluşumunu tetiklediği bilinmektedir.

DD'de silisyum artışı; ötektik karbon miktarının düşmesine, katılaşma anında grafit oluşumunun tetiklenmesine, sertleşme derinliğinin azalmasına, martenzit üzerinde perlit oluşmasına ve yüksek sıcaklıklarda soyulma direncinin iyileşmesine sebep olurken sertliği olumsuz yönde etkilediği bilinmektedir.

Mangenez ve süfürün etkisi; birbirlerinden bağımsız kullanıldığında sertleşme derinliğini azaltırken birlikte kullanılması durumunda birbirlerinin etkilerini azalttığı, aşırı mangan,

sülfürü bağlarken osteniti karalı hale getirdiği ve ferrit ve perlit için katı çözelti sertleştiricisi olduğu bilinmektedir.

Fosfor artışı DD'lerde; yumuşak grafit oluşmasına ve sertleşme derinliğinin azalmasına sebep olurken alaşımlı dökme demirlerde zararlı olduğu düşünülmektedir.

Krom'un etkisi; korozyon direncin artmasına, karbür oluşmasına, yüksek sıcaklıklarda kararlılık artışına ve % 10'dan fazla olduğunda mukavemet ve sertlik artışına sebep olduğu bilinirken %3'ün altında kullanıldığında sertlik üzerinde herhangi bir etki oluşturmadığı bilinmektedir. Nikel elementide benzer özellikleri gösterse de buna ek olarak %6.5'in üzerinde osteniti kararlaştırır.

DD'de kullanılan molibden sertleşme derinliğini artırırken perlitik yapıyı sertleştirip ve gevrekleştirir. Aynı zamanda perlitik yapı oluşumunu engeller sertleşme kabiliyetini artırmaktadır.



## 4. TALAŞLI İMALAT VE İŞLENEBİLİRLİK

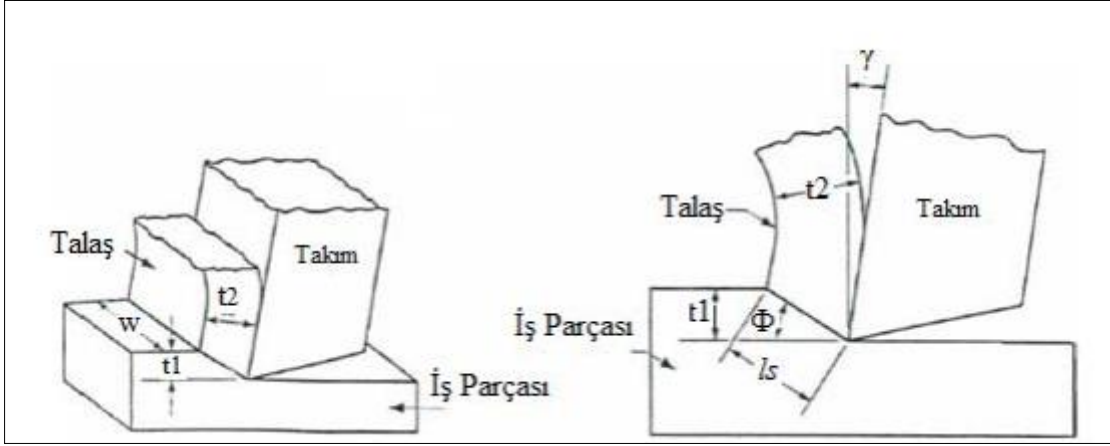
Talaşlı imalat yöntemi en önemli metal şekillendirme metotlarından birisidir. Talaşlı imalat yönteminde; iş parçasını arzu edilen boyutlarına getirmek için üzerindeki fazlalıklar uygun takım tezgâhı (torna, freze, matkap) ve uygun kesici takım kullanılarak parça gövdesinden uzaklaştırılıp, istenilen ölçüler ve yüzey kalitesi elde edilir. Talaşlı imalat işleminde etkin olan kesme hareketi iş parçasının kesici takım ile arasında kalan bölgenin plastik deformasyonunu ve deforme olan bu bölgenin talaşa dönüşmesini gerektirir (Şeker, 1997).

Talaşlı üretim yöntemi ile şekillendirilecek parçalar genel olarak dönel ve prizmatik şeklinde sınıflandırılabilir. Dönel bir parça silindirik bir disk şeklindedir. Bu geometriyi elde etmek için kullanılan yöntem tornalamadır. Bu yöntemde kesici takım dönen iş parçasından fazlalık malzemeyi kaldırır. Delme işlemleri, elde edilen geometri bakımından tornalama işlemine benzer ancak delme işleminde silindirik şekilli delikler elde edilir ve iş parçası yerine takım (matkap) döner. Prizmatik (dönel olmayan) parçalar blok ve plaka şeklindedir. Bu geometriler iş parçasının doğrusal hareketi ile dönen veya doğrusal olarak hareket eden kesici takımlarla elde edilir. Bu kategorideki işlemler frezeleme, vargelleme, planyalama ve testere ile kesmedir (Çiftçi, 2016).

### 4.1. Talaş Mekanîği ve Talaş Oluşumu

Talaş kaldırma mekanîği ve talaş oluşumu üzerine yapılan çalışmalarda genellikle iş parçası olarak metal malzemeler dikkate alınmıştır. Ayrıca metal dışı malzemelerin işlenmesinde de benzer yöntemler genellikle uygulanmaktadır (Shaw, 1984).

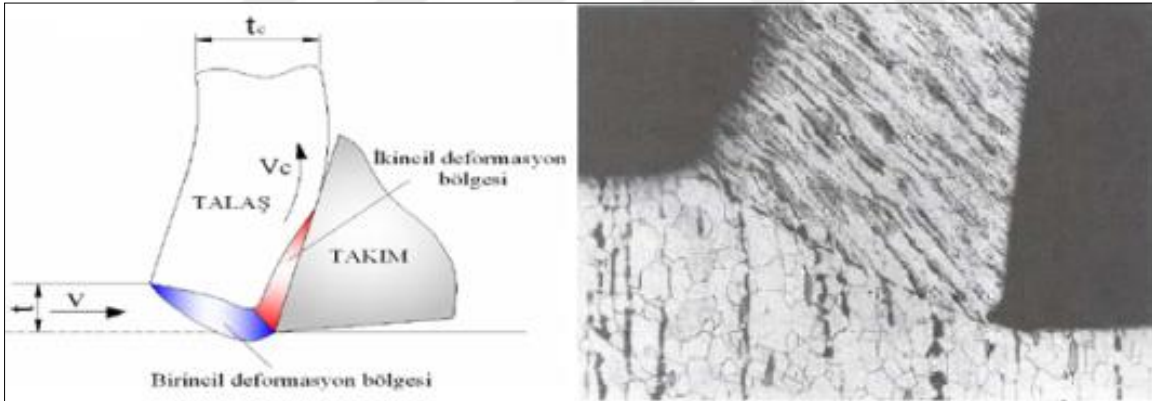
Talaş kaldırma işlemi gerçekte üç boyutlu ve oldukça karmaşık olduğu bilinmektedir. Bu sebepten dolayı talaş kaldırma işleminin modellenmesinde iki boyutlu dik kesme modeli (Şekil 4.1) kullanılır (Şahin, 2003). Kullanılan bu model basit olmakla birlikte talaş oluşumunu istenilen hassasiyetle tanımlar (Groover, 1996).



Şekil 4.1. Dik (ortogonal) kesme modeli

$t_1$ : Deforme olmamış talaş kalınlığı  $l_s$ : kayma düzlemi uzunluğu

$t_2$ : Deforme olmuş talaş kalınlığı  $\Phi$ : kayma düzlemi açısı  $w$ : iş parçası genişliği  $\gamma$ : kesici takım talaş açısı.



Şekil 4.2. Talaş Oluşumu

Talaş oluşumunda, kesici takım iş parçası üzerine belirli kuvvetle bastırıldığında ve kuvvet yönüne doğru hareket ettirildiğinde takım ucunun temas ettiği malzeme katmanında önce elastik daha sonra da plastik şekil değişiklikleri oluşur. Birim şekil değiştirme miktarı malzemenin yüzde kopma sınırını geçtiği anda "talaş" olarak adlandırılan belirli bir malzeme katmanı, iş parçasından ayrılır (Şahin, 2003).

Talaş oluşumu, (Şekil 4.2) belirli bir kayma düzlemi boyunca birincil deformasyon bölgesi içinde meydana gelir (Shaw, 1984). Kayma düzlemine kadar malzeme elastik bölge sınırlarındadır. İlk deformasyon, oluşan bu düzlem üzerinde başlar ve kesme yönüne

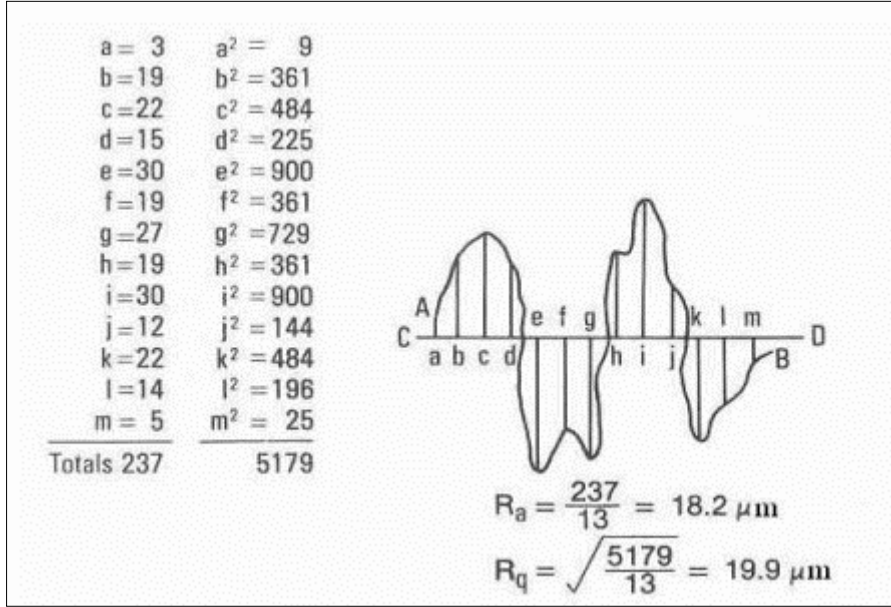
yönlenmiş ardışık kesme düzlemleri boyunca devam eder. Talaşın parça üzerinde koştugu düzleme kayma düzlemi (Şekil 3.1), bu düzlemin kesme yönü ile yaptığı açığa kayma düzlemi açısı ( $\Phi$ ) denir. Kayma düzlemi boyunca parçadan ayrılarak deforme edilmemiş talaşın genişliği ( $w$ ), kalınlığı ( $t_1$ ) ile ifade edilirken, deforme edilmiş talaş kalınlığı ( $t_2$ )  $t_1$ 'den daha büyüktür. Talaş oluşumu sırasında takım veya iş parçası, kesme yönünde “V” kesme hızı ile hareket eder ve talaş parçadan “Vc” hızı ile uzaklaşır. Takım yüzeyinde yapışma ve sürtünme etkisiyle oluşan bölge ikincil deformasyon bölgesidir (Mills ve Redford, 1983).

#### 4.2. Yüzey Pürüzlülüğü

Kesici bir takımın, iş parçası yüzeyinin bir ucundan diğer ucuna gitmesiyle oluşan pek çok çizikli, düzensiz kısa dalga boyu uzunluklarına pürüzlülük adı verilmektedir. İşlenmiş parçaların yüzey kalitesinin asıl göstergesi yüzey pürüzlülüğüdür ve işlenebilirlik değerlendirmelerindeki en önemli kriterlerden birisidir. Yüzey pürüzlülüğü temelde takım geometrisi (uç radyusu, kesme kenar geometrisi, boşluk açısı vs.) ve kesme şartları (ilerleme hızı, kesme hızı, kesme derinliği vs.) gibi işleme parametrelerinin yanında malzemenin özelliklerine de bağlıdır. Parçanın kullanım amacı, malzemesi, önceki imalat işlemleri (ısıl işlem vb.) son yüzey kalitesine etki eder. Farklı talaş kaldırma yöntemlerinde elde edilecek yüzey kalitesi ve yüzey pürüzlülüğü farklılık göstermektedir. Yüzey pürüzlülük değerinin doğru seçimi, malzeme, enerji ve işçilik maliyetlerine doğrudan etki eder. Hatalı seçilen bir yüzey pürüzlülük değeri, çoğu kez parçanın reddedilme gerekçesi olabilir (Özkan, Sarıtaş ve Yıldız, 2009).

Talaşlı imalatta üretilen parçalar gözle incelendiği zaman yüzey her ne kadar düz gibi görünse de gerçekte parça yüzeyindeki gerçek sürtünme alanı parça alanından daha az olmaktadır. Ortalama yüzey pürüzlülüğü ( $R_a$ ), yaklaşık olarak  $1.6 \mu\text{m}$ 'yi geçtiği durumlarda çoğu zaman imalatçılar yüzey pürüzlülüğü ölçmekten ziyade görsel kontrolü seçerler. Yüzey pürüzlülüğünün çok önemli olduğu durumlarda yüzey pürüzlülüğü ölçümü kalite kontrolü sürecine dâhil olur. Bunun için uluslararası yüzey pürüzlülük standartları belirlenmiştir. Ülkemizde TS 2040 nolu yayımla yüzey kaliteleri bir standarda bağlanmıştır. Daha sonra bunu TS 2495, TS 971, TS 2578, TS 6956 ve TS 930 standartları izlemiştir (Özsés, 2002; Bayrak, 2002).

Yüzey pürüzlülüğü; aritmetik ortalama değer (Ra) ve kareköklerin ortalaması (Rq) olmak üzere iki metotla belirlenir. Rq pürüzlülük ölçmede büyük sapmaları hesaba kattığı için gerçeğe daha yakın olmakla beraber, Ra daha pratiktir. Ra ve Rq değerlerinin hesaplanması Şekil 4.3'te gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Ra Rq değerlerinin hesaplanması

Taşlı imalatta yüzey pürüzlülüğü ile yüzey kalitesini gösteren semboller arasında bir bağıntı bulunmaktadır. Çizelge 4.1'de ISO sistemine göre bu bağıntı gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. DIN Ra pürüzlülük değerleri ile yüzey kalite sembolleri arasındaki bağıntı (TS 2040: Türk Standartları Enstitüsü, 2005)

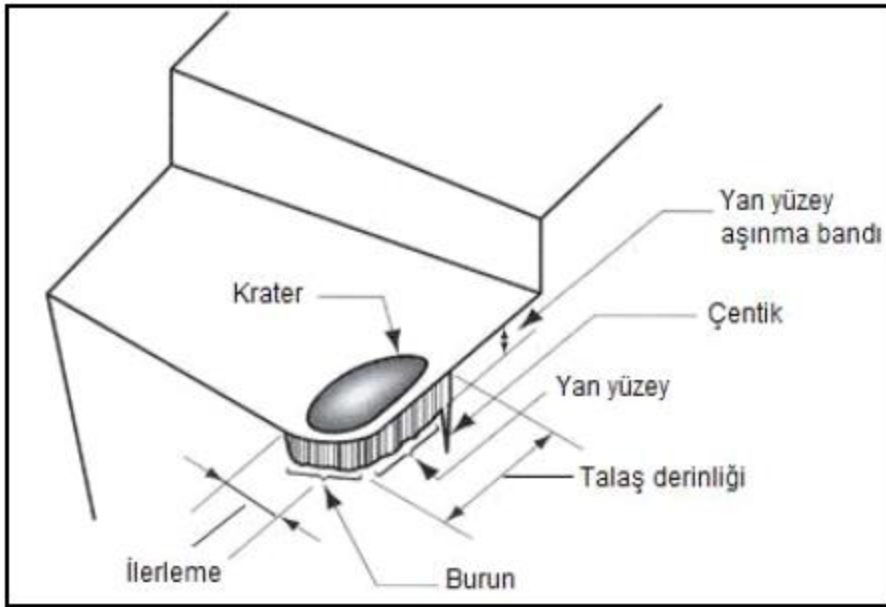
Pürüzlülük derecesi	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11	N12
Ra(µm)	0,025	0,05	0,1	0,2	0,4	0,8	1,6	3,2	6,3	12,5	25	50
Sembol	▽▽▽▽			▽▽▽			▽▽		▽			

### 4.3. Takım Aşınması

Aşınma, kesici takımın malzeme kaybindan ileri gelen ve ilk şekline göre oluşan farklılıktır. Bütün kesici takımlar, talaş kaldırma sırasında ömürlerinin sonuna kadar aşınırlar (Özçatalbaş, 1996).

Talaş kaldırma işlemleri sırasında, kesici takımların, belli bir süre çalıştıktan sonra, kesme işlemini gerçekleştiren yüzey veya kenarlarında meydana gelen malzeme kaybından dolayı kesme yetenekleri azalır veya ortadan kalkar. Kesme sırasında etkili olan büyük kuvvetler, titreşim ve vuruntular, yüksek ısı, sürtünme ve gerilmeler sonucunda takım ucunda aşınma veya kırılma gibi geometrik değişiklikler meydana gelir ve kesici takım plastik deformasyona uğramış olur. Talaş kaldırma işlemi esnasında kesici takımın aşınması anlayabilmek için aşağıdaki etkilerden biri veya birkaçının aynı anda gözlenmesi gerekir (Motorcu, 2006).

- a) Kesme kuvvetlerindeki aşırı yükselme
- b) Sıcaklık artışı
- c) Aşırı titreşim
- d) Yüksek gürültü
- e) İşlenen malzeme boyutlarındaki değişim
- f) İşlenen yüzeyin bozulması (Motorcu, 2006).

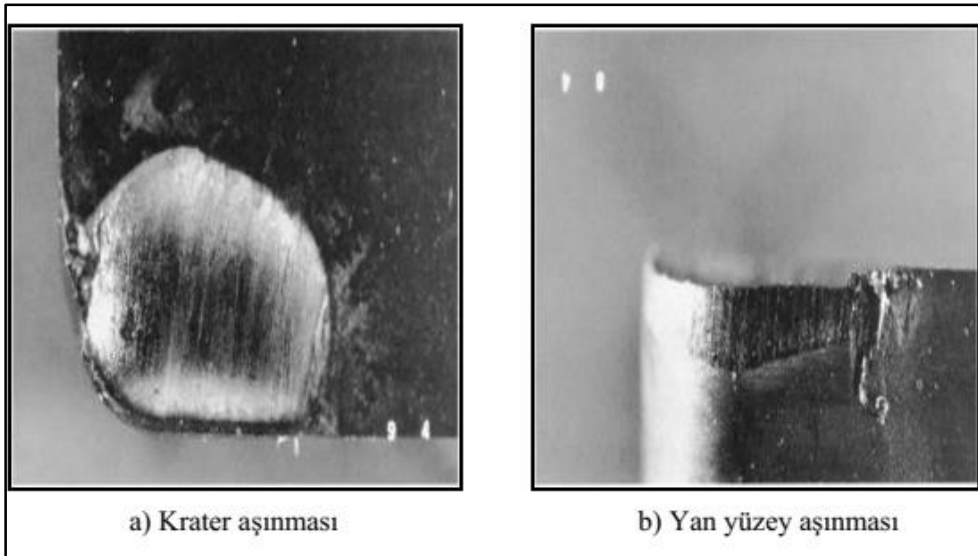


Şekil 4.4. Kesici takımdaki aşınmalar (Neşeli, 2006; Şahin, 2013)

Kesici takım; kırılma, kalıcı deformasyon ve tedrici takım aşınması sonucunda kesme yeteneğini kaybeder.



- a) Kırılma: Kesici takıma etki eden ani kuvvetler etkisiyle meydana gelen kırılmalar veya süreksiz kesme işlemi (frezeleme işlemi gibi) anında mekanik ve ısıl yorulmalar sonucunda kırılma, pullanma ve soyulma şeklinde meydana gelen aşınmalardır.
- b) Kalıcı deformasyon: Kesici takımında kalıcı deformasyon, yüksek basınç ve sıcaklık sonucu meydana gelir. Kalıcı deformasyona uğramış kesici takım, geometrik boyutları değiştiği için kesme işlemini istenilen şartlarda yapamaz, sıcaklıkta yükselme ve talaş açısında değişme meydana gelir. Kalıcı deformasyona miktarını azalmak için kesici takımın sıcak sertlik özelliğinin iyi olması gerekmektedir. Ayrıca, uç yuvarlatma ve kesme geometrisi iyileştirilerek kalıcı deformasyona karşı direnci artırılabilir.
- c) Tedrici takım aşınması: Kesici takım üzerinde tedrici aşınma talaş yüzeyi ve yan yüzey olmak üzere iki bölgede meydana gelir. Talaş yüzeyindeki aşınma “krater aşınması” ve yan yüzeydeki aşınma da “yan yüzey aşınması” olarak isimlendirilmektedir. Krater aşınması, kesici takım talaş yüzeyinde talaşın hareketiyle oluşan içbükey bölgedir. Krater aşınmasının büyüklüğü, bu bölgenin derinliği ve alanı ölçülerek hesaplanır. Yan yüzey aşınması ise yeni oluşan iş parçası yüzeyi ile kesici takım yan yüzeyinin sürtünmesiyle oluşur. Yan yüzey aşınması bu aşınma aralığının genişliği ile hesaplanır. Şekil 4.5'te bu kesici takım aşınmaları gösterilmiştir. Kesici takımın iş parçası orijinal yüzeyi ile temasta olan yan yüzeyinde çoğunlukla daha fazla bir aşınma görülür. Çentik aşınması olarak adlandırılan bu aşınmanın sebebi iş parçası yüzeyinin soğuk haddeleme veya önceki işlemlerden dolayı sertleşmiş olması, dökümden kalan sert malzemeler ve diğer nedenlerdir (Pul, 2010).

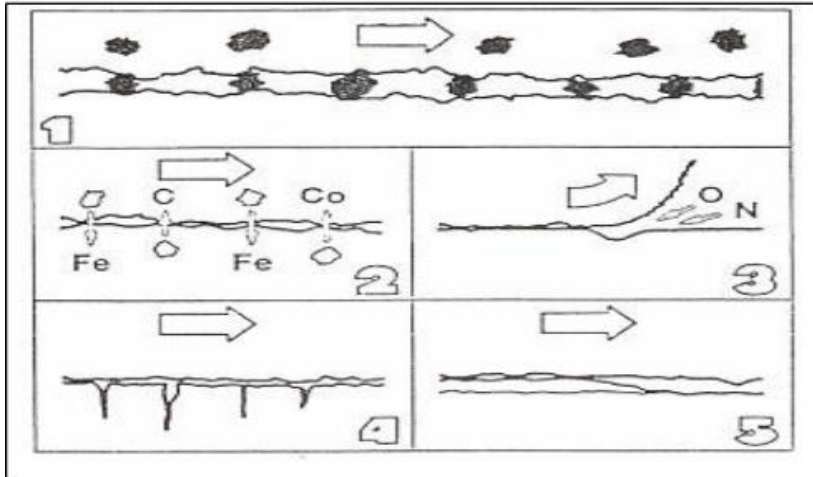


Şekil 4.5. Kesici takım ucundaki aşınmalar (Motorcu, 2006)

Talaş kaldırma sırasında kesici kenar üzerindeki etkili olan yük faktörlerinin bir sonucu olarak, bazı temel aşınma mekanizmaları metalden talaş kaldırma işlemine etki eder.

Bunlar:

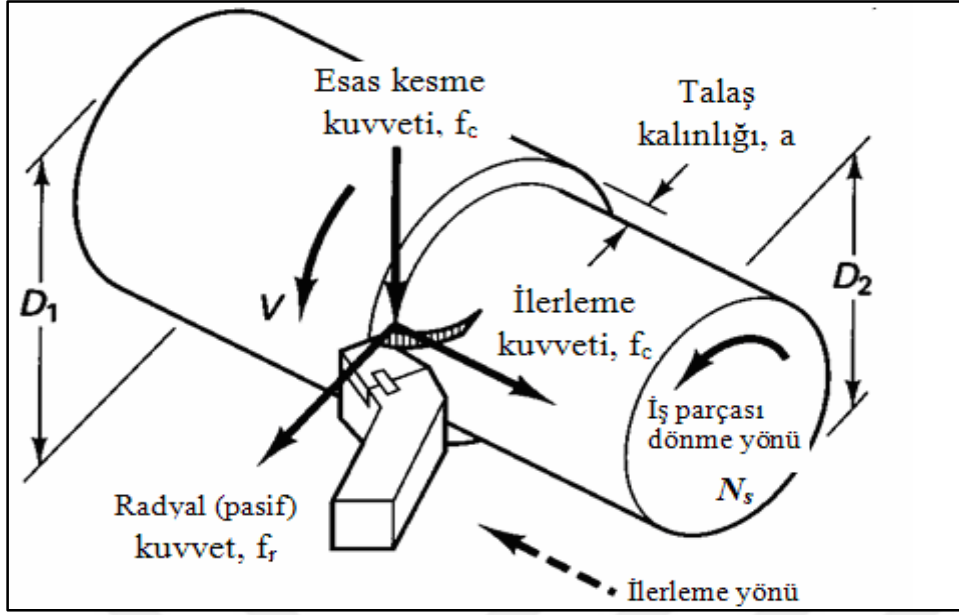
- a) Abrasyon (aşındırıcılarla) aşınma (abrasif aşınma)
- b) Difüzyon aşınma
- c) Oksidasyon aşınma
- d) Yorulma ile aşınma (statik veya dinamik)
- e) Yapışma (adhesyon) ile aşınma (adhesif aşınma) şeklinde özetlenebilir. Takım malzemesinin yüklere karşı direnç kabiliyeti, metal işlemedeki aşınma mekanizmaları tarafından nasıl etkileneceğini tayin eder (Motorcu, 2006).



Şekil 4.6. Metallerin işlenmesi sırasında temel aşınma mekanizmaları (Motorcu, 2006)

#### 4.4. Kesme Kuvvetleri

Talaş kaldırma işlemi sırasında meydana gelen kesme kuvvetleri, ısı oluşumu, takım ömrü, işlenen yüzeyin kalitesi ve iş parçasının boyutları için önemli bir gösterge olarak kabul edilmektedir. Kesme kuvvetleri aynı zamanda takım tezgâhlarının, kesici takımların ve gerekli bağlama kalıplarının mukavemet hesaplarında da kullanılmaktadır (Şeker, Kurt ve Çiftçi, 2002). Tornalama işlemi sırasında meydana gelen kuvvetler Şekil 4.7’de şematik olarak gösterilmiştir (DeGarmo, Black ve Kohser, 1997).



Şekil 4.7. Tornalama işleminde kesme kuvvetleri (DeGarmo, Black ve Kohser, 1997).

Şekil 4.7'e göre kesme kuvvetinin üç bileşeni mevcuttur.

- Esas kesme kuvveti ( $F_c$ ): Kesme hızı doğrultusunda etki eder. En büyük kuvvet olmakla birlikte metal kesme işleminde harcanan enerjinin genelde % 99'luk kısmı bu kuvvete harcanmaktadır.
- İlerleme kuvveti ( $F_f$ ): Kesici takımın ilerleme doğrultusunda etki eden kuvvettir. Kesme kuvvetinin genellikle yaklaşık % 50'si kadardır fakat ilerleme hızı kesme hızı ile karşılaştırıldığında çok küçük olduğu için metal kesme işleminde gerekli olan gücün çok az bir kısmını oluşturmaktadır.
- Radyal kuvvet ( $F_r$ ): İşlenen yüzeye dik yönde meydana gelen kuvvettir. Bu kuvvet de ilerleme kuvvetinin yaklaşık % 50'si kadardır (DeGarmo, Black ve Kohser, 1997).

Bileşke kuvvet  $F_c$ ,  $F_f$  ve  $F_r$  kuvvetlerinin vektörel olarak toplanması ile elde edilir ve aşağıdaki belirtilen şekilde hesaplanır:

$$F = \sqrt{F_c^2 + F_f^2 + F_r^2} \quad (4.1)$$

#### 4.5. İşlenebilirlik

Malzemenin işlemeye karşı gösterdiği dirence işlenebilirlik denir. Diğer bir deyişle “talaş kaldırarak iş parçası malzemesini şekillendirmenin görece kolaylığı veya zorluğu” olarak tanımlanabilir (Sandvik, 1994). İşlenen malzemelerin mekanik, kimyasal özellikleri ve kesici takım geometrisine bağlı olarak işlenebilirlik değişmektedir.

Malzemenin düşük sertliği ve dayanımı genelde iyi işlenebilirlik anlamına gelmekle birlikte, sertliği az olan çok sünek malzemelerde yığıntı talaş (built-up-edge - BUE) oluşumu gerçekleştiği için yüzey kalitesi kötüleşir ve takım ömrü kısalmır. Düşük orandaki malzeme sertliği talaşlı imalat işleminin performansını negatif olarak etkileyebilmektedir. Örnek olarak, görece düşük sertliğe sahip düşük karbon çeliğinin işlenmesinde kötü yüzey pürüzlülüğü meydana gelir ve talaşın uzaklaştırılmasında birtakım sorunlarla karşılaşılabilir. Bu sebeple, düşük karbon çeliklerinde yüzey sertliğini artırmak ve talaş kırılmasını sağlamak için genellikle soğuk çekme işlemi uygulanır. Düşük süneklik, metal kesme işleminde genellikle pozitif bir etkiye sahip olup iyi talaş oluşumuna katkı sağlar ve metal kesme işlemi için daha az miktarda güce ihtiyaç duyulmaktadır. Artan iş parçası mukavemetinden dolayı kesme kuvvetleri, özgül enerji ve kesme sıcaklığını artıracak için, artan mukavemet ile metal kesme işlemi de zorlaşmaktadır. Bununla birlikte, yüksek ısı iletkenlikten dolayı kesme bölgesinden oluşan ısı kısa bir zamanda uzaklaştırılmaktadır. Bu sebeple, yüksek ısı iletkenlik işlenebilirlik için genellikle faydalıdır (Kopaci ve Bahor, 1999).

İşlenebilirliği aynı zamanda talaş kaldırmayı etkileyen faktörler,

- Kesici takımda meydana gelen yüksek sıcaklık, aşınma, titreşim ve kesme kuvvetlerinden,
- Kesme değişkenleri olan kesme hızı, ilerleme, talaş derinliği ve soğutma sıvısından,
- Malzemenin kimyasal içeriğinden, mikro yapısından ve ısı iletkenliğinden,
- İşlenmiş yüzey ile ilgili olan kalıntı gerilmelerden, yüzey-yüzey altı sertliğinden, mikro yapıdaki değişimlerden ve yüzey deseninden, etkilenmektedir (Çiftçi, 2007).



## 5. MALZEME VE YÖNTEM

Bu çalışmada, GGG50 ve GG30 Dökme demir malzemedan üretilmiş silindirik numunelerin tornalanması işleminde, belirlenen kesme parametrelerinin (kesme hızı, ilerleme) ve takım uç radiusunun etkileri ortaya konulmuş olup bu çalışmaların gerçekleştirilmesi için kullanılan malzeme ve yöntemler aşağıdaki başlıklar altında sıralanmıştır;

1. GG30 Malzeme Bilgileri
2. GGG50 Malzeme Bilgileri
3. Kullanılan Kesici Takımlar
4. Tornalama İşlemi İçin Kesme Parametrelerinin Tayin Edilmesi
5. Deneyler İçin Kullanılan CNC Torna Tezgâhı
6. Deney Düzenliğini ve Numunesi
7. Yüzey Pürüzlülüğünün Ölçülmesi
8. Kesme Kuvvetlerinin Ölçülmesi
9. Aşınma miktarının Ölçülmesi
10. Advantedge ile Simülasyon Aşamaları
11. Sonlu Elemanlar Modelinin Oluşturulması ve Sınır Şartları

### 5.1. GG30 Malzeme Bilgileri

Çizelge 5.1. GG30 dökme demirin % bileşenleri

C	Si	Mn	P	S	Mg
3,20	2,38	0,50	0,065	0,003	0,002

Çizelge 5.2. GG30 dökme demirin fiziksel özellikleri

Fiziksel Özellikleri	
Özgül Ağırlık	7200 kg / m <sup>3</sup>
Tipik Mikro Yapı	Ferrit %5, Perlit % 95
Elektrik İletkenliği	20-100 C 48 W/ m.C
Döküm sıcaklığı	1150-1250 °C
Öz Isısı	540 J/kg.K
Isıl iletkenlik	50 W / m.K
Termal Genleşme Katsayısı	11 e-6/K

Çizelge 5.3. GG30 dökme demirin mekanik özellikleri

Mekanik Özellikleri	
Çekme Mukavemeti	255 N / mm <sup>2</sup>
Akma Mukavemeti	163 N / mm <sup>2</sup>
Sertlik	205-213HB
Elastik Modülü	125000 N / mm <sup>2</sup>
Poisson Oranı	0,26

## 5.2. GGG50 Malzeme Bilgileri

Çizelge 5.4. GGG50 dökme demirin % bileşenleri

C	Si		Mn	P	S	Mg
3,25	2,69		0,17	0,020	0,005	0,064

Çizelge 5.5. GGG50 dökme demirin fiziksel özellikleri

Fiziksel Özellikleri	
Özgül Ağırlık	7300 Kg / m <sup>3</sup>
Tipik Mikro Yapı	Ferrit - Perlit
Elektrik İletkenliği	20-100 C 48 W / m C
Döküm sıcaklığı	1150-1250 °C
Öz Isısı	540 J/kg.K
Isıl iletkenlik	25 - 42 W/m.K
Termal Genleşme Katsayısı	10 e-6/K

Çizelge 5.6. GGG50 dökme demirin mekanik özellikleri

Mekanik Özellikleri	
Çekme Mukavemeti	485 N / mm <sup>2</sup>
Akma Mukavemeti	287 N / mm <sup>2</sup>
Sertlik	187-191HB
Elastik Modülü	160000 N / mm <sup>2</sup>
Poisson Oranı	0,275

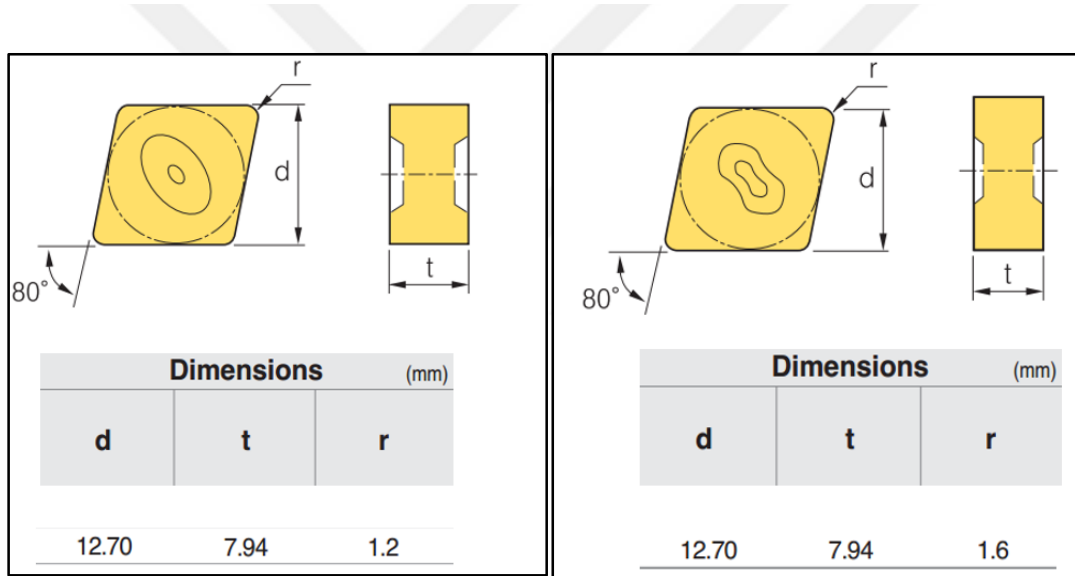
### 5.3. Kullanılan Kesici Takımlar

İşlenebilirlik deneylerinde GG30 için tavsiye edilen silisyum nitrür kesici takım kullanılmıştır.

NTK firmasının SX6 serisi olarak üretilen takımlar;

CNGX 120712 T02020

CNMX 120716 T02020 takım geometrisi ile tanımlanmaktadır. Bu uygulamada C formu uçların kullanılmasının sebebi piyasada dökme demir malzemelerin işlenmesinde yaygın olarak kullanılmasıdır.



Şekil 5.1. CNGX 120712 ve CNMX 120716 takım geometrisine sahip kesici takımlar

### 5.4. Tornalama İşlemi İçin Kesme Parametrelerinin Tayin Edilmesi

ISO 3685’de belirtildiği gibi kesme hızı değerleri imalatçı firma kataloglarından yola çıkarak dört farklı değerde (400, 448, 500 ve 560 m/min) seçilmiştir.

İlerleme miktarı her seferinde yaklaşık %25 arttırılmış ve 3 farklı ilerleme miktarı (0.40, 0.50 ve 0.63 mm/dev) şeklinde belirlenmiştir.

Her bir deneyde yeni kesici uç kullanılmış olup iki farklı kesici uç radyusu için toplam 24 deney yapılmıştır.

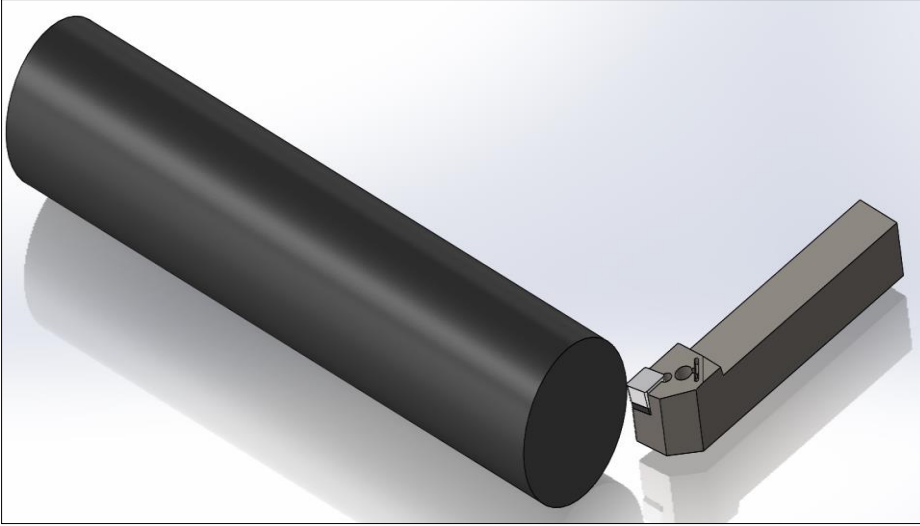


### 5.5. Deneyler İçin Kullanılan CNC Torna Tezgâhı

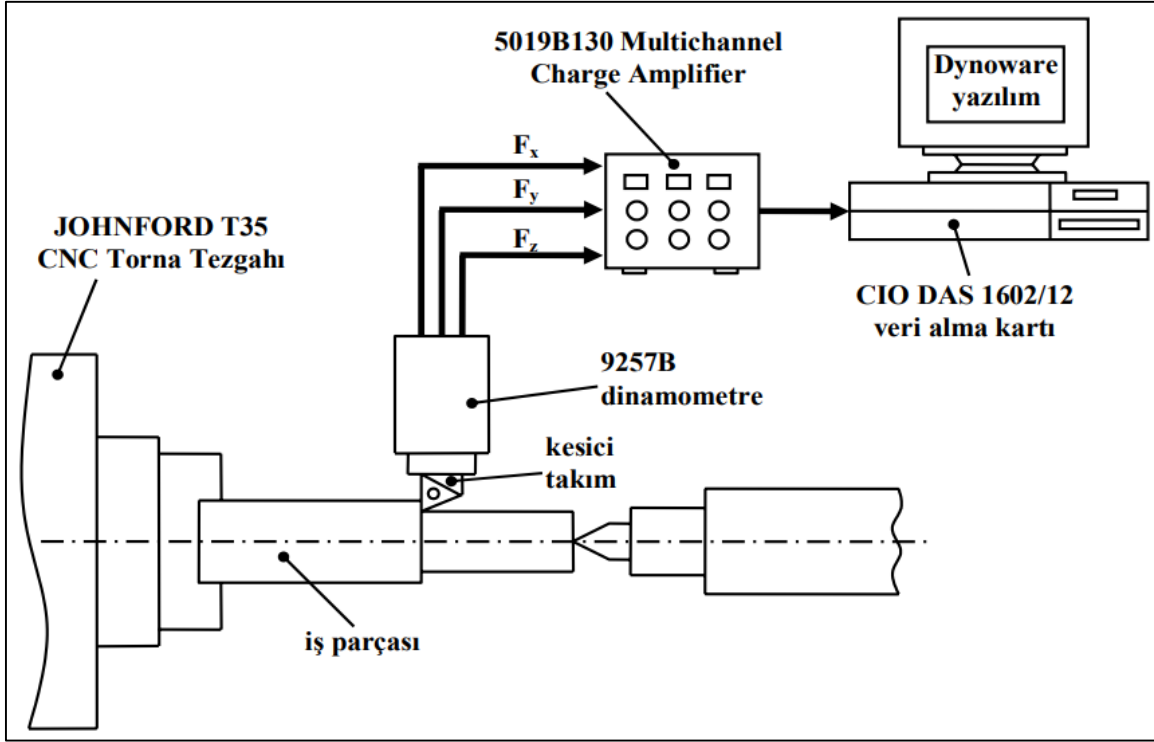
Deneylerde kullanılan iş parçaları, Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Sanayi Tipi CNC Uygulama Laboratuvarında bulunan FANUC kontrol ünitesine sahip “Johnford TC-35” sanayi tipi CNC torna tezgâhında işlenmiştir. CNC torna tezgâhının gücü 10 KW olup, tezgâh iş mili değişken kademesiz hıza sahip ve 35450 dev/min’e kadar çıkabilmektedir.

### 5.6. Deney Düzenegini ve Numunesi

İş parçasının, takımın ve takım tutucunun üç boyutlu olarak modellenmiş hali Şekil 5.2’de verilmiştir. Deney düzeneginin sistematik görünümü Şekil 5.3’te gösterildiği gibidir.



Şekil 5.2. Kesici takım ve iş parçası modeli



Şekil 5.3. Deney düzeneği

### 5.7. Yüzey Pürüzlülüğünün Ölçülmesi

Numunelerin işlenmiş yüzeyleri üzerinde yüzey pürüzlülüğü ölçümleri için Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Talaşlı İmalat atölyesinde bulunan “Mahr” marka Perthometer M1 tipi, masa üstü ve yazılı çıktı alınabilen yüzey pürüzlülük ölçme cihazı kullanılmıştır.

Yapılan ölçümler iş parçası eksenine paralel olacak şekilde ve iş parçasını kendi ekseninde 120° döndürülerek her yüzeyde 3 ölçüm değeri alınarak yapılmış olup iş parçasının tornalanmış yüzeylerin pürüzlülük değerleri, oda sıcaklığında kesme uzunluğu 0.8 mm ve örnekleme uzunluğu 5,6 olacak şekilde ölçülmüştür.

### 5.8. Kesme Kuvvetlerinin Ölçülmesi

Talaş kaldırma esnasında kuvvet ölçümleri, numunelerin 70 mm’lik çap ve 50mm’lik uzunluğun işlenmesi esnasında gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak bir numune üzerinde beş farklı deney yapılmıştır. Talaş kaldırma esnasında oluşan üç kuvvet bileşeni olan; esas kesme kuvveti  $F_z(F_c)$ , ilerleme kuvveti  $F_x(F_f)$  ve radyal kuvveti  $F_y(F_r)$  ölçebilen

“KISTLER 9257B” tipi piezoelektrik dinamometre kullanılmıştır. Bu dinamometrenin teknik özellikleri Çizelge 5.7’de verilmiştir. Bu dinamometre “KISTLER Type 5019” bir sinyal yükselticiye (Multichannel ChargeAmplifier) bağlanmış ve kesme kuvvetleri RS-232C ara kablo ile bilgisayara gönderilmiş, “DynoWare Type 2825A1-2” programı ile grafikler elde edilmiştir.

Çizelge 5.7. KISTLER Type 5019 cihazının özellikleri

Model	KISTLER Type 5019
Kuvvet Aralığı (kN) (Fx, Fy, Fz)	-5...10
Tepki verme (N)	<0,01
Hassasiyet (pC/N0) Fx, Fy, Fz	-7,5 -7,5 -3,5
Doğrusallık	%1FSO
Histerezis	%0,5FSO
Doğal Frekans Fo(x, y, z) (kHz)	3,5
Çalışma Sıcaklığı (°C)	0...70
Kapasitans (pF)	220
20°C’ deki Yalıtım Direnci ( $\Omega$ )	>1013
Topraklama Yalıtımı ( $\Omega$ )	>108
Koruma Sınıfı	IP 67
Ağırlık (kg)	7,3

### 5.9. Aşınma Miktarının Ölçülmesi

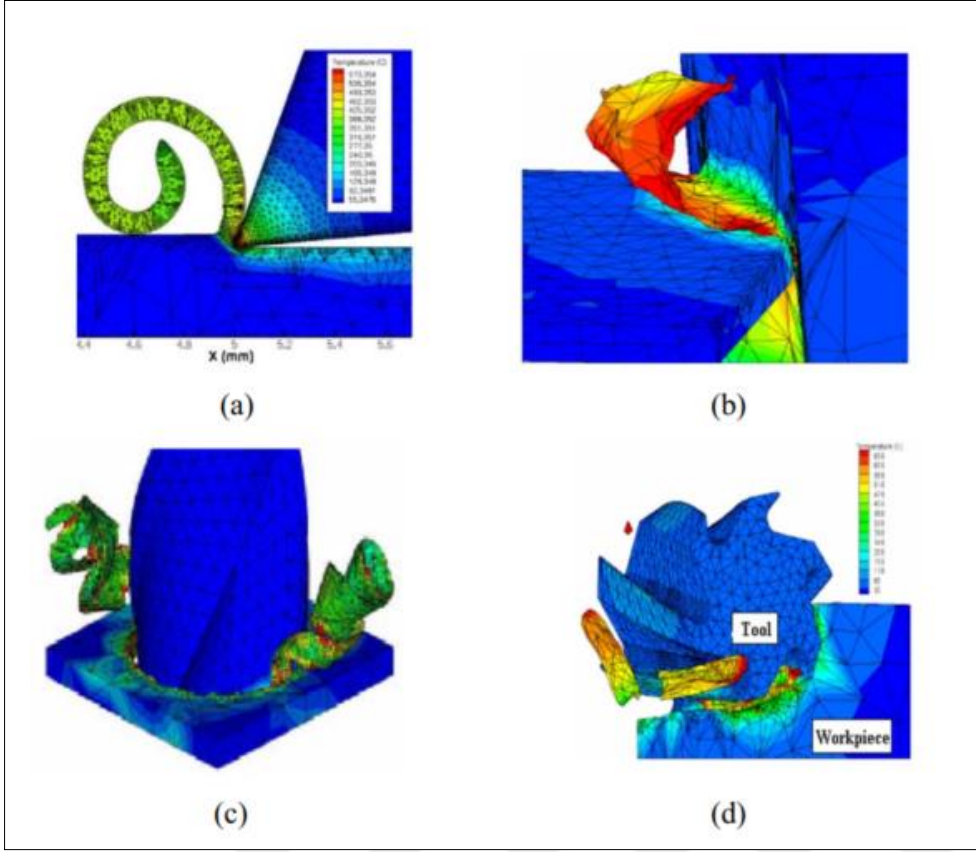
Dino-Lite dijital kamera kullanılarak aşınan yüzeylerin fotoğrafları çekilmiştir. Bu kamera ile 60X büyütme yapılarak fotoğraflar alınmış olup DinoCapture 2.0 programında kesici takımın genişliği (7,94 mm) tanıtıldıktan sonra takımlarda oluşan aşınma miktarları ölçülmüştür (Şekil 5.4). Kesici takımlarda oluşan aşınma miktarları zamana, kesme hızına ve ilerleme hızına bağlı olarak değerlendirilmiştir



Şekil 5.4. Dino-Lite mikroskobunda kesici takımlarda oluşan aşınmasının ölçülmesi

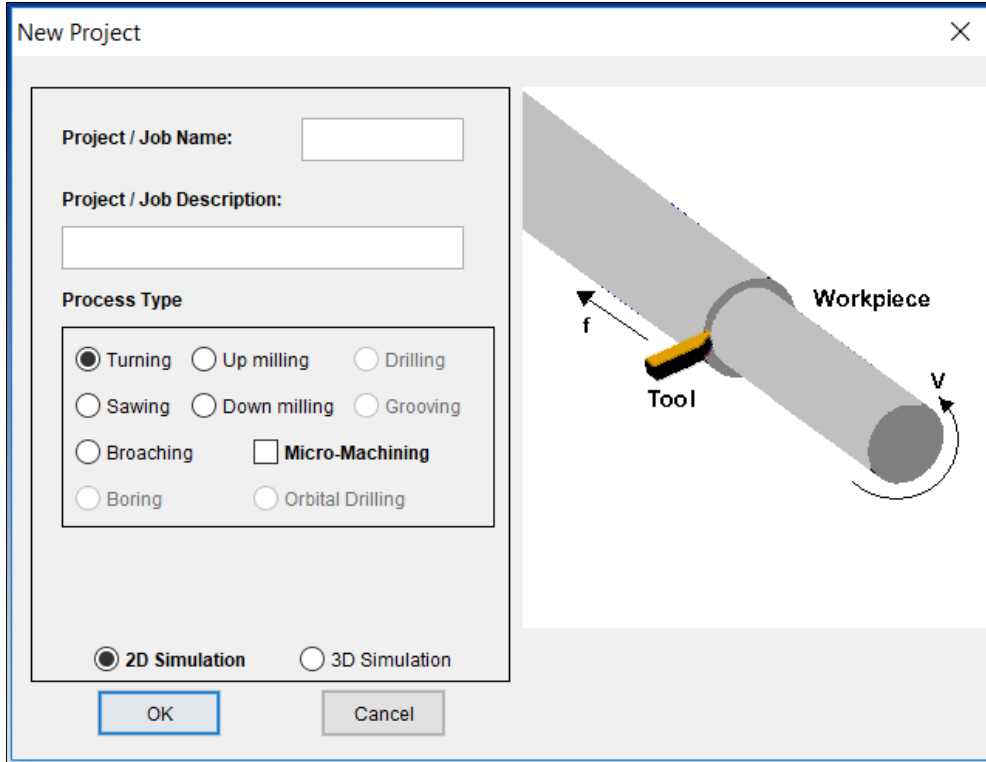
### 5.10. Advantedge ile Simülasyon Aşamaları

Advantedge Talaş kaldırma yazılımı Third Wave System tarafından tornalama, frezeleme ve delme işlemlerinin simülasyonunu gerçekleştirmek için geliştirilen kapalı kaynaklı bir paket programdır.



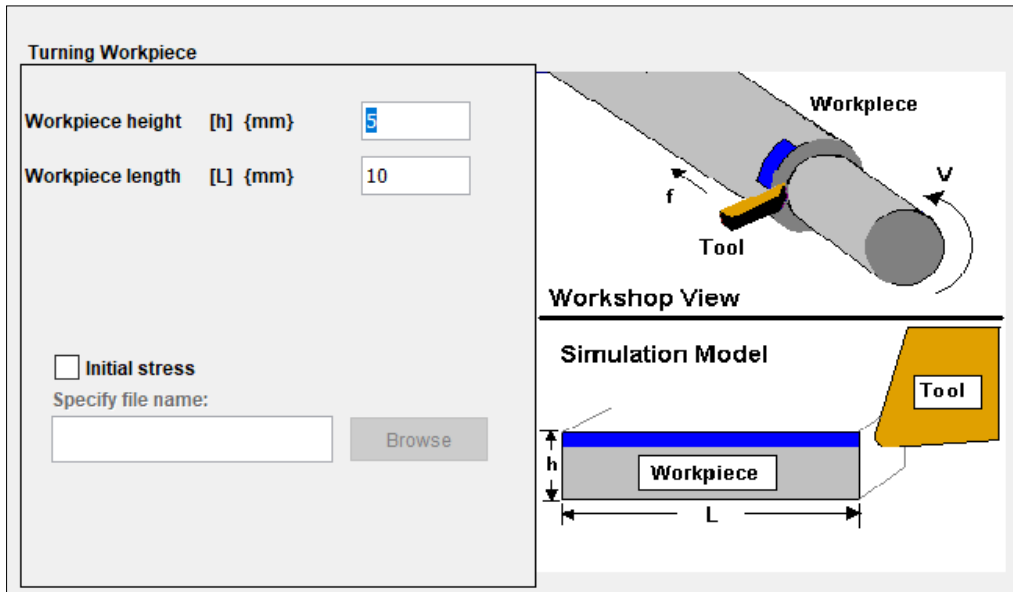
Şekil 5.5. Advantedge ile modelleme: (a) 2B Tornalama, (b) 3B tornalama, (c) Delme, (d) dairesel frezeleme

Advantedge ara yüzünde ilk önce proje tipi belirlenir. Ne tür bir talaş kaldırma simülasyonu yapılacaksa Şekil 5.6'da gösterildiği gibi ilgili seçenek seçilir.



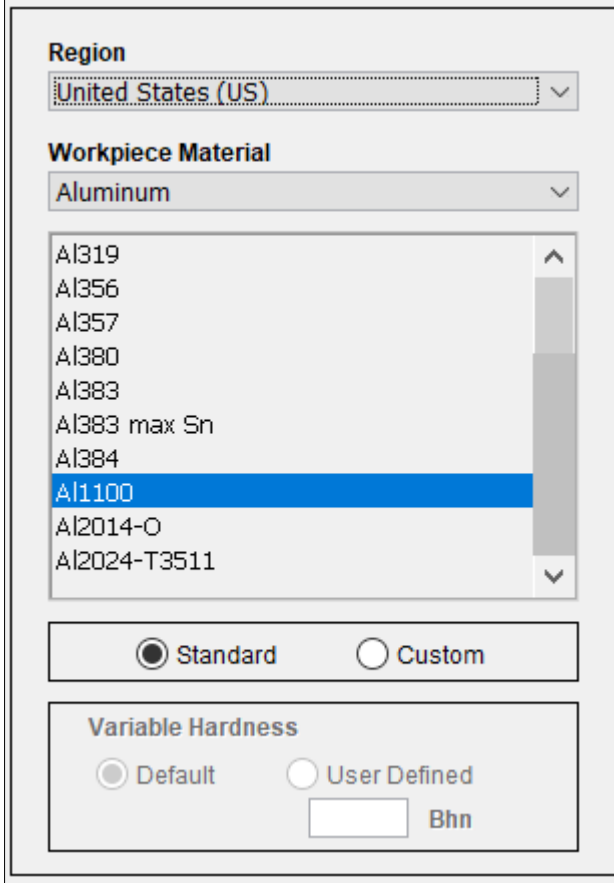
Şekil 5.6. Advanedge proje tipi belirleme ara yüzü

İş Parçası dışardan programa Step yada dxf(2B) formatında eklenerek yada program içerisinde gerekli geometri parametreleri girilerek oluşturulur (Şekil 5.7).



Şekil 5.7. İş parçasının modelleme ara yüzü

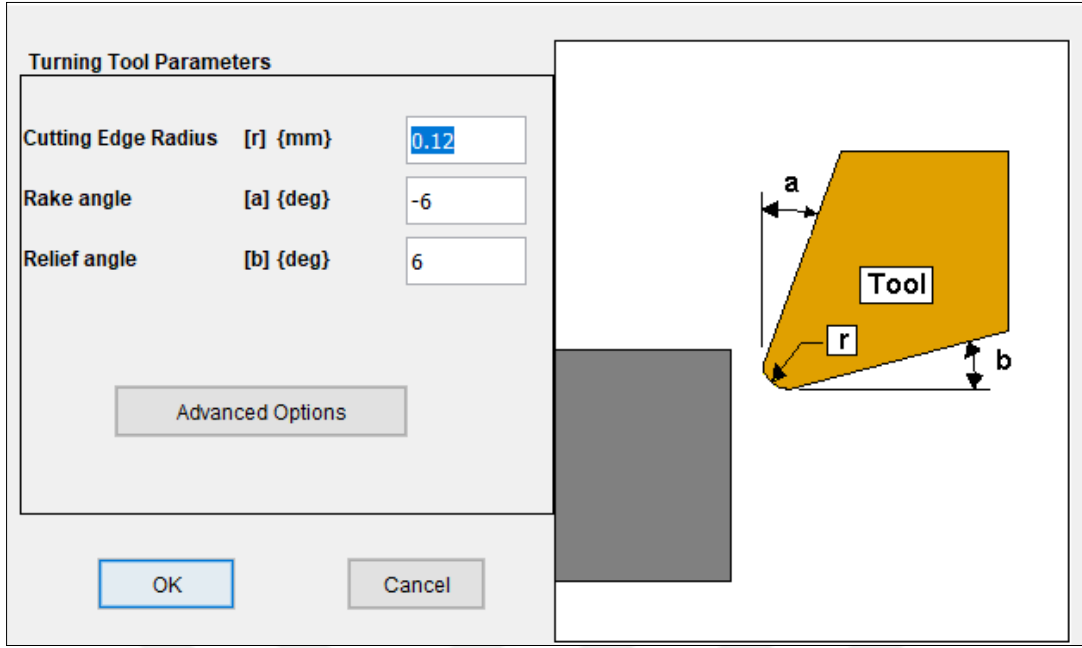
İş parçası oluşturulduktan veyahut dışardan eklendikten sonra iş parçasına malzeme tanımlanması yapılır (Şekil 5.8). Advantedge birçok malzemeyi kendi kütüphanesinde bulundurmaktadır. Kendi kütüphanesinden malzeme ekleyerek ya da kendi tanımlamamızla iş parçası için malzeme ataması yapılır.



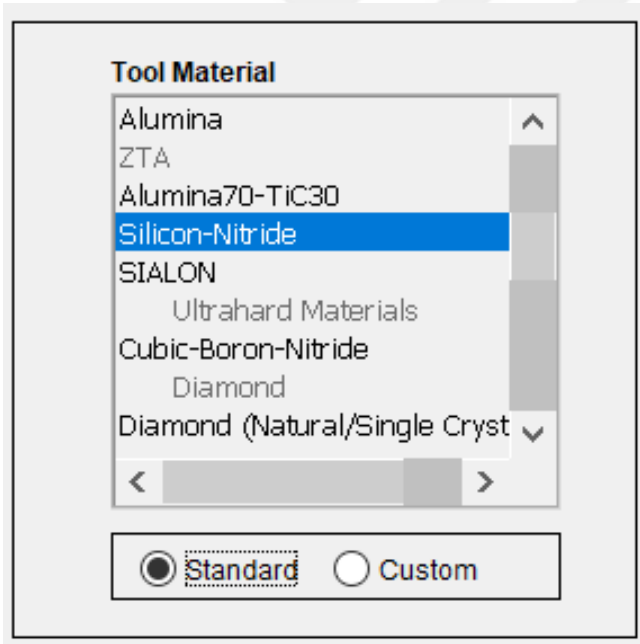
The image shows a software interface for selecting workpiece material. It features a 'Region' dropdown menu set to 'United States (US)'. Below it is a 'Workpiece Material' dropdown menu set to 'Aluminum'. A list of aluminum materials is displayed, including Al319, Al356, Al357, Al380, Al383, Al383 max Sn, Al384, Al1100 (highlighted), Al2014-O, and Al2024-T3511. Below the list are two radio buttons: 'Standard' (selected) and 'Custom'. At the bottom, there is a 'Variable Hardness' section with two radio buttons: 'Default' (selected) and 'User Defined'. A text input field is present next to the 'User Defined' option, with the unit 'Bhn' indicated.

Şekil 5.8. İş parçası malzeme kütüphanesi

İş parçasına benzer şekilde kesici takım da dışardan ya da program içerisinde gerekli geometrik parametreler girilerek oluşturulur (Şekil 5.9). Daha sonra kesici takım için programın kendi kütüphanesinde malzeme ataması yapılabileceği gibi kendi kesici takım malzeme özelliklerimizi girerek de malzeme ataması yapılabilmektedir (Şekil 5.10).



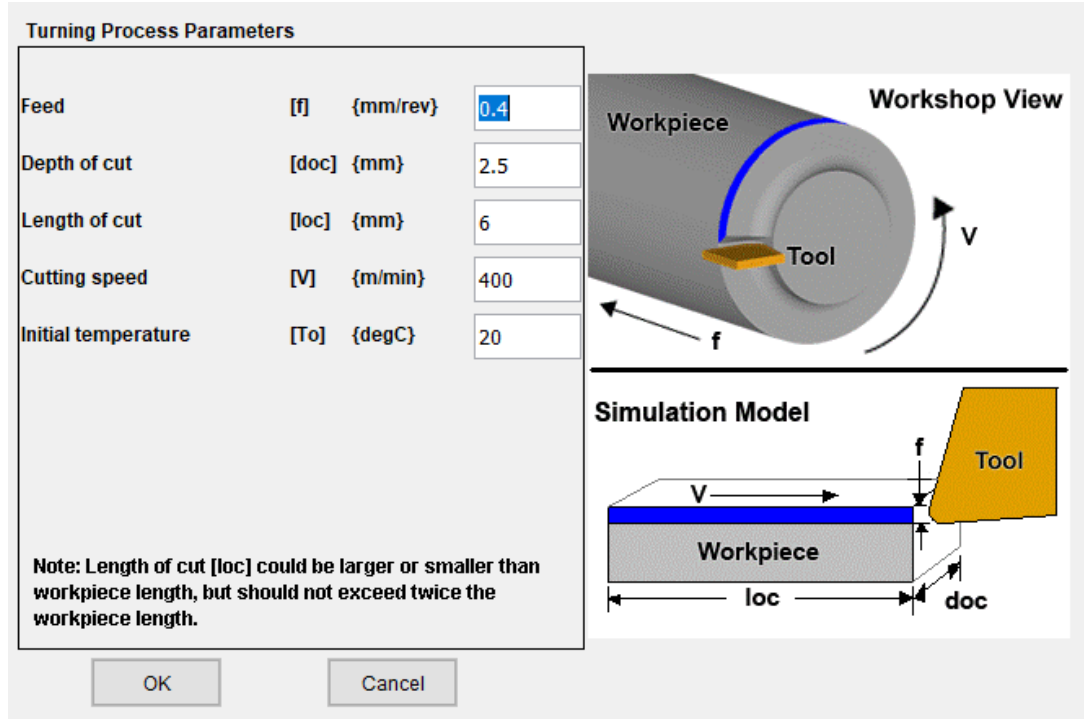
Şekil 5.9. Kesici takım modelleme arayüzü



Şekil 5.10. Kesici takım malzeme kütüphanesi

Daha sonra ilgili talaş kaldırma işlemi için Şekil 5.11'de görüldüğü üzere gerekli parametreler girilir.





Şekil 5.11. Simülasyon parametre belirleme ara yüzü

İşlem parametreleri girildikten sonra son olarak simülasyon parametreleri ayarlanır (Şekil 5.12). Programda iki tip simülasyon modu bulunmaktadır. “Demonstration” seçeneği kısa sürede çözüm elde etmek için kullanılmaktadır fakat sonuçların deneysel sonuçlarla farklı çıkma olasılığı daha yüksektir. Ön bilgi elde etmek istenildiğinde kısa sürede çözüm elde etmek için kullanılır. Eğer istenirse program talaş kopmasını modelleyebilir ve artık gerilmeleri hesaplayabilir fakat bu seçenekler çözüm sürecini uzatmakta olup ihtiyaç olması durumunda aktifleştirilebilmektedir.

**General** | Workpiece Meshing | Results | Parallel

**Simulation mode**

Demonstration

Standard

Chip breakage

Residual stress  
Standard mode only

Number of cuts: 1

Steady state analysis Avg. length of cut (%) 10

Note: residual stress and steady state analysis cannot be chosen at the same simulation.

**Simulation Constraint**

	Value	Number of Steps
<input type="checkbox"/> Normal Stress {M...	2E3	10000
<input type="checkbox"/> Temperature {deg...	700	10000

Note: the simulation will stop if the analysis values exceed the constraint value

Max. number of nodes 24000

Şekil 5.12. Simülasyon ayarları

Tüm bu adımlardan sonra simülasyon çözdürülebilir duruma gelmektedir.

### 5.11. Sonlu Elemanlar Modelinin Oluşturulması ve Sınır Şartları

Talaş kaldırma simülasyonlarında programların kullandığı yaklaşımlar oldukça önemlidir bu yaklaşımların birbirlerine göre avantajları ve dezavantajları vardır. Bu yaklaşımlar; Lagrange, Eulerian ve Arbitrary Lagrangian Eulerian yaklaşımdır.

Lagrange Yaklaşımı: Geleneksel olarak Lagrangian algoritması, genellikle deformasyon oluşturan statik, yarı statik ve dinamik yükler altındaki malzemelerin davranışını değerlendirmek için kullanılır. Bu formülasyonda, her bir tekil düğüm noktası, malzeme parçacıklarına tutturulur, deforme olduklarında, malzeme parçacıkları ile hareket ettikleri anlamına gelir. Bu yöntem doğal olarak serbest yüzeyleri ve ara yüzeylerin korunmasını sağlar (Belytschko, Liu ve Moran, 2000). Büyük şekil değiştirmenin meydana geldiği problemlerde uygulanabildiği literatürde görülmüştür (Dijkstra, Broere ve Heeres, 2011). Bununla birlikte, bu problemler için genellikle çok uygun değildirler, çünkü bunlar genelde aşırı mesh şekil değişimi nedeniyle erken aşamalarda sonlanmaktadır. Yakınsama meydana gelse bile, büyük yer değiştirmeden sonra mesh şeklinde bozulma ortaya çıkar ve sonuçları güvenilir hale gelebilir (Aubram, Rackwitz, Wriggers ve Savidis, 2015). Metal talaş kaldırma simülasyonları sırasında metal büyük kalıcı deformasyonlara maruz kalır ve mesh şekilleri büyük oranlarda şekil değiştirir. Geometriyi değiştirmeden mesh kalitesini tekrar artırmak metal talaş kaldırma işlemlerinde oldukça önemlidir. Bu işlem otomatik bir şekilde yeniden mesh oluşturarak pek çok programda (Abaqus, Deform, QForm, AdvantEdge. v.b) gerçekleştirilebilmektedir. Böylece Aubram ve diğerlerinin belirttiği mesh şeklindeki bozulmadan dolayı sonuçlarda oluşan hatanın önüne geçilmiş olunur.

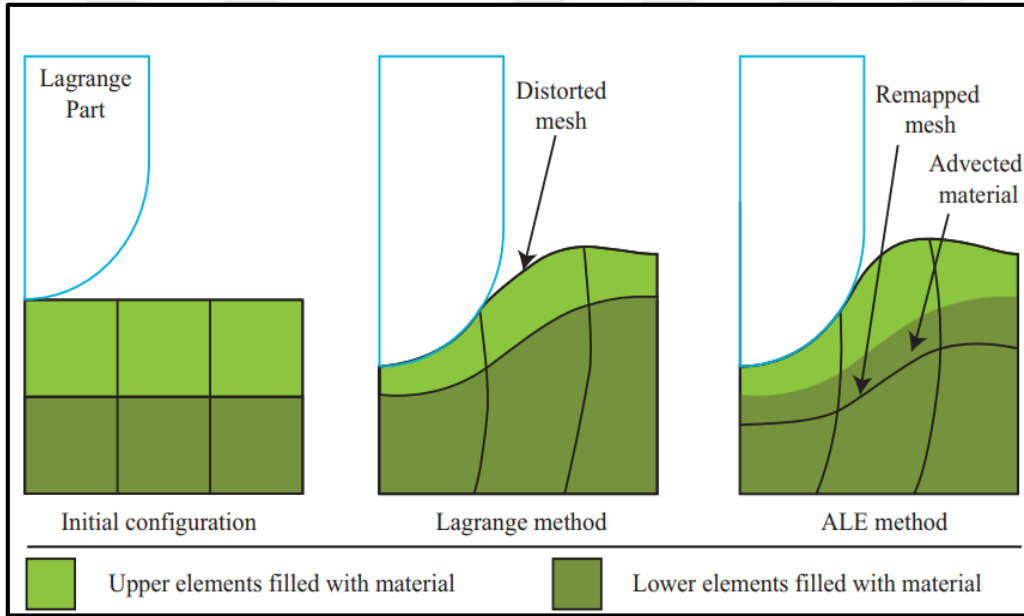
Eulerian Yaklaşımı: Euler algoritması, akışkanlar dinamiği gibi büyük deformasyon problemleri için yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Mesh konumuna sabitlenir ve parçacıklar meshin içinde serbestçe hareket eder. Her bir çözüm adımından sonra, malzemenin kafes elemanlar arasında transfer edildiği, akış gerçekleştirilir. Euler mesh yöntemi, büyük ve türbülanslı deformasyonlar içeren gaz ve sıvı akış problemleri için daha uygundur. Bununla birlikte, Eulerian kodları, çokça çözüm adımı oluşturması nedeniyle hesaplama zamanı açısından oldukça uzundur (Benson, 1992).

Talaş kaldırma simülasyonlarında Euler algoritmasının bir takım dezavantajları vardır. Bunlar, simülasyondan önce talaş sınırlarını ve şeklini belirlemeye ihtiyaç duymasıdır. Ayrıca talaş kalınlığı, takım talaş temas uzunluğu ve takım talaş arasındaki temas koşulları, Eulerian algoritmasının metal kesme sırasında gerçek deformasyon sürecine karşılık gelmesi için analiz sırasında sabit tutulmalıdır. (Kılıçaslan, 2009)

Arbitrary Lagrangian Eulerian Yaklaşımı: Bu yaklaşım Lagrange ve Eulerian yaklaşımlarındaki eksiklikleri gidermek için geliştirilmiştir (Aubram, 2014). Şekil 5.13

Lagrangian ve ALE yaklaşımı arasındaki farkı göstermektedir. Her bir ALE çözüm adımında ki genel strateji, Lagrangian adımı, “rezone” veya “remap” adımı ve itiraz adımı olarak sırayla düzenlenmiş üç alt adımı gerçekleştirmektedir.

Lagrangian aşamasında, malzeme deforme olarak meshi deforme eder. “Rezone” adımı, şekli bozulmuş mesh için yeni ve daha iyi bir yerleşim elde etmek için mesh yeni bir meshe dönüştürülür. Yayılım adımı, malzemenin yeniden düzenlenmiş meshe akmasını sağlar. Bu, son adımı oluşturan malzeme durumu değişkenlerinin yeni meshe taşınmasıyla yapılır. Yeni meshin uygun ve yeniden dağılımını belirlemek için çok sayıda mesh güncelleme algoritması vardır (Aubram, 2014).



Şekil 5.13. SE modeli ilk koşul (sol), Lagrangian yaklaşımı ile malzeme deformasyonu(orta) ve Arbitrary Lagrangian Eulerian (ALE) yaklaşımı(Sağ)

### 5.11.1. Johnson-Cook malzeme modeli

Talaş kaldırma simülasyonlarında gerçek verileri elde edebilmek için malzeme özelliklerinin ve davranışının çok iyi bir şekilde tanımlanması gerekmektedir. Aksi takdirde simülasyon verileri ile deneysel verilerin benzerlik göstermesi zordur. Talaş kaldırma simülasyonları için malzemenin hem mekanik hem de termal özelliklerinin çok iyi bir şekilde tanımlanması gerekmektedir. Aynı zamanda talaş kaldırma işlemi sırasında malzemenin farklı bölgelerinde farklı şekil değiştirme hızları ile şekil değiştirmektedir. Bundan dolayı

malzemenin farklı şekil değiştirme hızlarındaki davranışları (gerilme-şekil değiştirme eğrileri) da bilinmesi gerekmektedir.

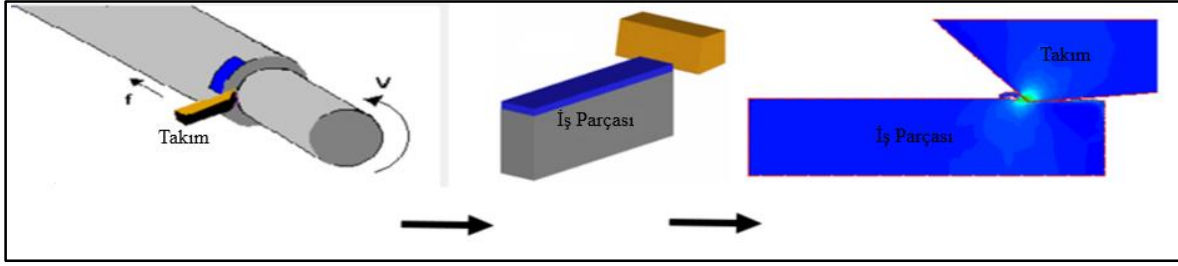
Johson-Cook malzeme modeli pek çok malzemenin yüksek hızlardaki deformasyonunu modellemek için kullanılabilir. Bu model farklı sıcaklıklarda farklı şekil değiştirme hızlarını içermektedir. JC malzeme modeline göre akma gerilmesi aşağıdaki eşitlikte tanımlanmıştır.

$$\bar{\sigma} = \left[ A + B(\bar{\epsilon})^n \right] \left[ 1 + C \ln \left( \frac{\dot{\bar{\epsilon}}}{\dot{\bar{\epsilon}}_0} \right) \right] \left[ 1 - \left( \frac{T - T_r}{T_m - T_r} \right)^m \right] \quad (5.1)$$

Burada  $\bar{\sigma}$  malzemenin akma gerilmesi,  $\dot{\bar{\epsilon}}$  şekil değiştirme hızı,  $\dot{\bar{\epsilon}}_0$  referans şekil değiştirme hızı,  $\epsilon$  eşdeğer plastik şekil değiştirme, A akma gerilmesi sabiti, B şekil değiştirme sertleşmesi katsayısı, n şekil değiştirme üsteli, C şekil değiştirme hızına bağlı katsayı, m termal yumuşama katsayısı, T sıcaklık,  $T_r$  oda sıcaklığı ve  $T_m$  ise malzemeye ait ergime sıcaklığıdır. Bu denklemden sabitleri elde edebilmek için farklı sıcaklıklarda ve farklı şekil değiştirme hızlarındaki gerilme-şekil değiştirme eğrilerine ihtiyaç vardır.

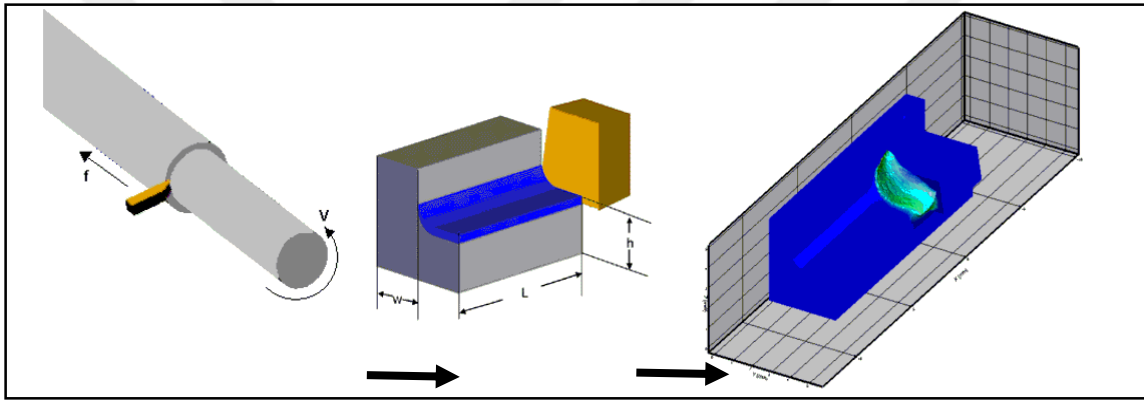
Talaş kaldırma simülasyonlarında modelleme kısmı, doğru sonuçlara ulaşmak için çok önemli bir adımdır. Çalışmamız kapsamında Advantedge programı kullanılmıştır. Bu bölümde kesici takım modellemesi, iş parçası ve kesme sisteminin detayları gösterilmektedir. Talaş kaldırma simülasyonları iki boyutlu ve üç boyutlu olmak üzere iki ana gruba ayrılmıştır. İki boyutta gerçekleştirilen talaş kaldırma simülasyonları düzlem gerilme kabulü ile ortogonal kesme modeli kullanılarak gerçekleştirilmiş olup Şekil 5.13'te kesme modeli gösterilmiştir. Simülasyonlar Advantedge sonlu elemanlar paket programında gerçekleştirilmiş olup program Lagrange yaklaşım metodunu kullanarak çözüm yapmaktadır. Kullanılan eleman topolojisi, dört yüzlü üçgen elemanlar olup bir yüz toplamda üçü köşe üçü orta noktada olmak üzere 6 düğüme sahiptir. Program yüksek deformasyonlardan dolayı eleman bozulmasını düzeltmek için sürekli adaptif mesh yenilemesi kullanılır. Bu işlem gerekli yerlerde büyük elemanlarının küçük elemanlara bölünmesini ve küçük elemanların büyütülmesini sağlar.

Şekil 5.14'te tormalama işleminin iki boyutlu ortogonal kesme modeli kullanılarak analiz modelinin oluşturulmasının sistematik şekli gösterilmektedir.



Şekil 5.14. İki boyutlu ortogonal kesme modelinin gösterimi (ADVANTEDGE Software, 2017)

Şekil 5.15’te tornalama işleminin üç boyutlu olarak talaş kaldırma modelinin sistematik şekli gösterilmektedir.



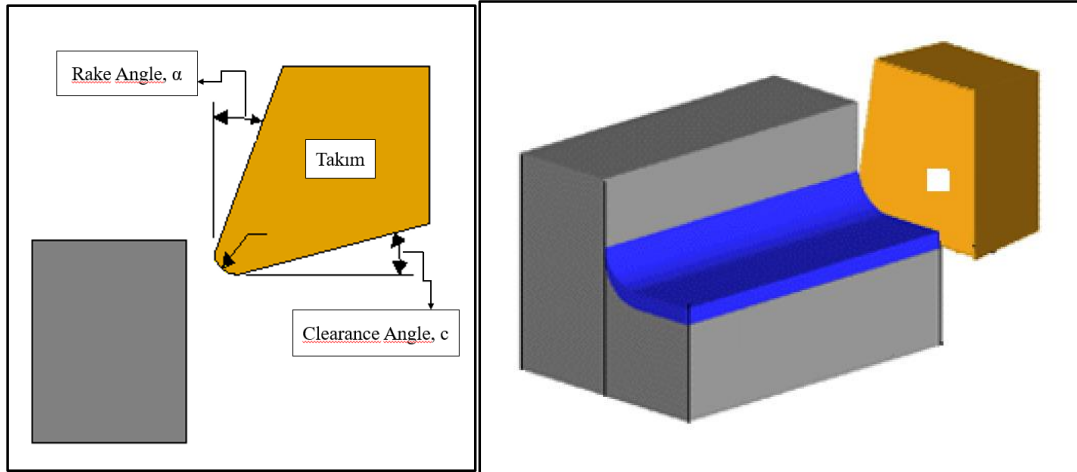
Şekil 5.15. Üç boyutlu kesme modelinin gösterimi (ADVANTEDGE Software, 2017).

### 5.11.2. Kesici takım modellenmesi

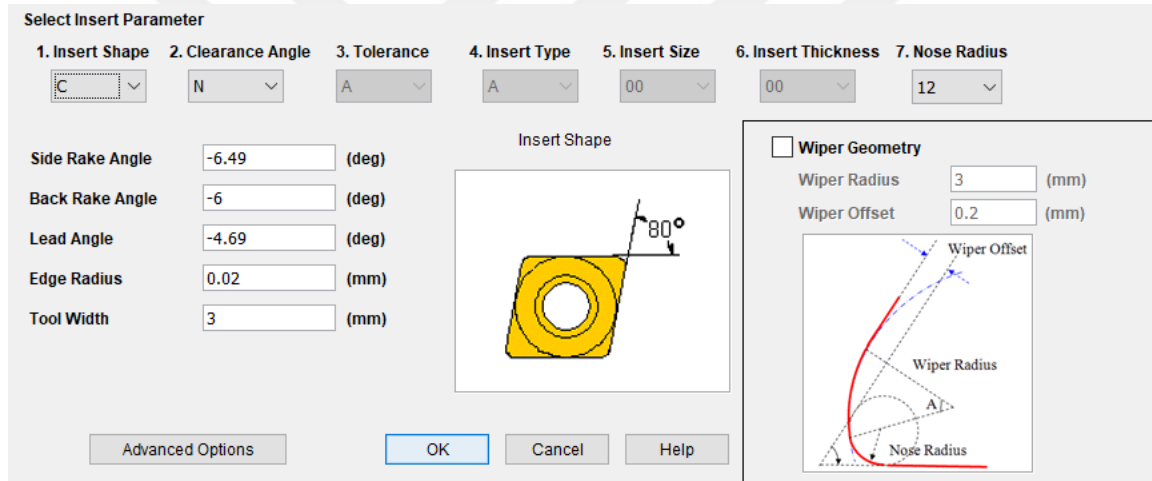
İki boyutta ve üç boyutta yapılan simülasyon çalışmalarında kullanılan kesici takım rijit olarak modellenmiş ve geometrik parametreleri Çizelge 5.9 ve Şekil 5.17 ‘da verilmiştir.

Çizelge 5.8. İki boyutlu kesici takım geometrik parametreleri

Talaş açısı	Boşluk açısı	Kesici kenar yarıçapı
-6.49	6	0.02



Şekil 5.16. İki boyutlu ve üç boyutlu kesici takım ve iş parçası modelleri (Advantedge Software, 2017)

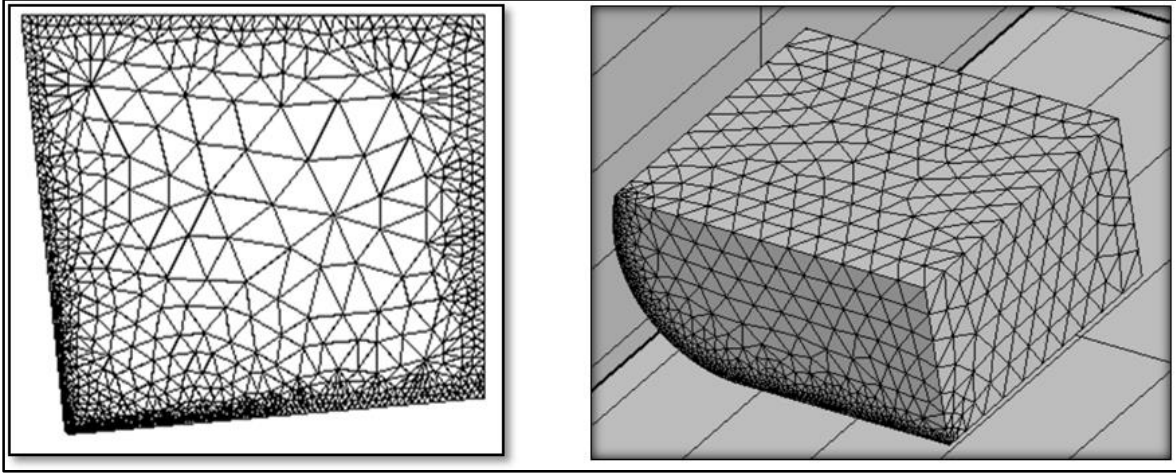


Şekil 5.17. Üç boyutlu boyutlu kesici takım geometri parametreleri

Kesici takım malzemesi program kütüphanesinde bulunan silicon-nitrit malzeme seçilmiştir. Termal ve mekanik özellikleri Çizelge 5.10'da verilmiştir.

Çizelge 5.9. Kesici takım malzeme özellikleri

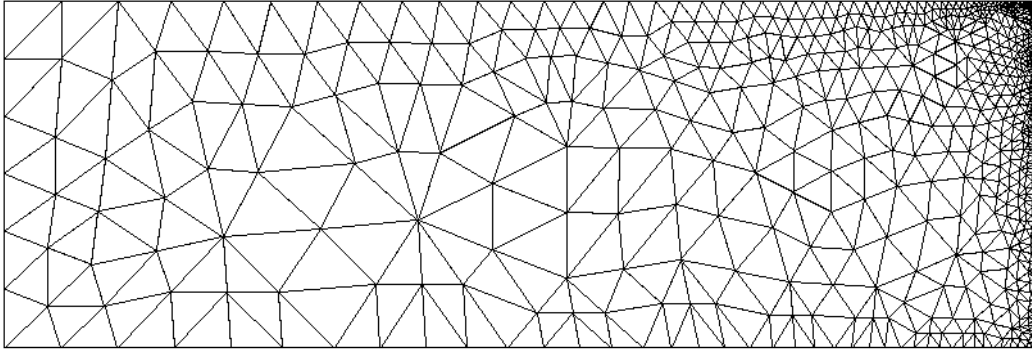
Elastik modülü, E (MPa)	650000
Poisson oranı	0.25
Genleşme katsayısı (1/°C)	5.10-6
Isıl iletim katsayısı (N/sec/°C)	50
Isı kapasitesi (N/mm <sup>2</sup> °C)	4



Şekil 5.18. İki boyutlu ve üç boyutlu kesici takım sonlu elamanlar modeli

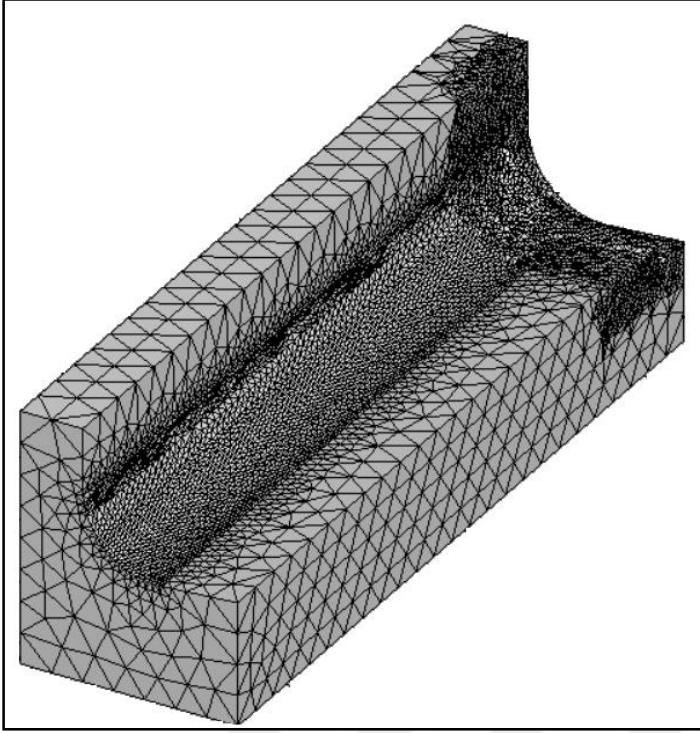
### 5.11.3. İş parçasının modellenmesi

İş parçası malzemesi olarak programın kendi kütüphanesinde yer GG30 için J431 G3500 ve GGG50 için D5506 kodlu malzemeler kullanılmıştır. İki boyutlu iş parçasının SE modeli Şekil 5.19’da üç boyutlu iş parçasının SE modeli Şekil 5.20’de gösterilmiştir.



Şekil 5.19. 2 boyutlu modelin iş parçasının sonlu elamanlar modeli





Şekil 5.20. 3 boyutlu modelin iş parçasının sonlu elamanlar modeli

Advantedge'nin kendi malzeme modeli ve kütüphanesindeki malzeme verilerini karşılaştırmak için literatürde yaygın olarak kullanılan JC malzeme modeli kullanılarak ek analizler yapılmıştır. Bu analizler iki boyutlu ve kaba mesh şartlarında gerçekleştirilmiştir. GGG50 malzeme ve GG30 malzeme için literatürden bulunan JC malzeme model sabiti Çizelge 5.10'da verilmiştir. (Springer, 2012; Malakizadia, Sadikb, Nyborga, 2013).

Çizelge 5.10. GG30 ve GGG50 malzemeler için JC parametreleri

	A(MPa)	B(MPa)	n	c	$T_r$	$T_m$	$\dot{\epsilon}_o$
GG30	470	250	0.1	0.004	20	1200	1
GGG50	525	650	0.6	0.0205	20	1200	1

#### 5.11.4. Simülasyon parametreleri

Gerçekleştirilen deneysel çalışmalardaki parametreler aynı şekilde simülasyon çalışmalarında kullanılmıştır. Fakat takım uç radyusunun değiştirilmesiyle deney sonuçlarının çok fazla değiştirmedeği gözlemlenmişti bundan dolayı ve yapılan analiz çalışmalarının çok uzun zaman almasından kaynaklı sadece bir kesici takım uç radyusu için simülasyonlar yapılmıştır. Her iki malzeme ve takım uç radyusu için ayrı ayrı 24 simülasyon

yapılması kararlaştırılmış olup parametreler Çizelge 5.11’de belirtilmiştir. Simülasyon modeli iki boyutlu ve üç boyutlu olarak aynı zamanda kaba ve ince mesh olmak üzere dört durum için gerçekleştirilmiştir. Toplamda 96 simülasyon çalışması yapılmıştır. Yapılan çalışmaların tablosu ve kullanılan parametreler sırasıyla Çizelge 5.12’de gösterilmiştir.

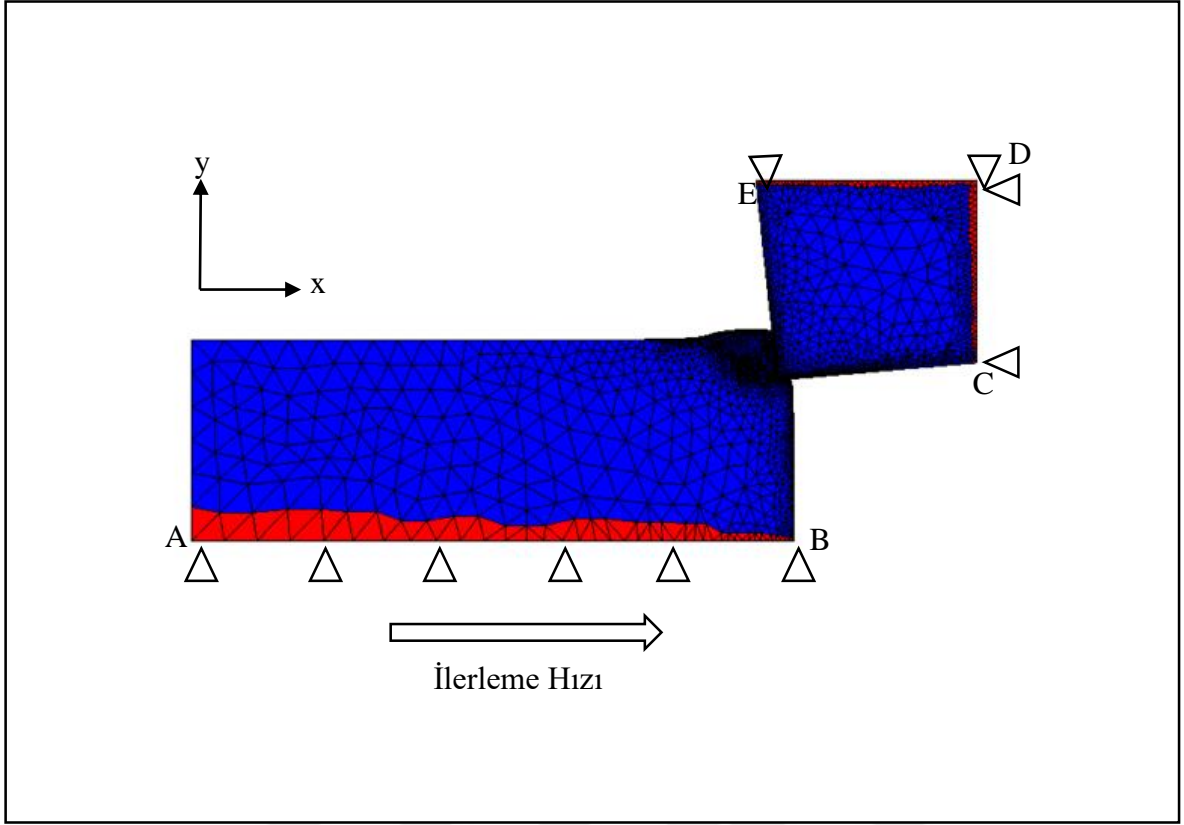
Çizelge 5.11. Simülasyon parametreleri

Kesme hızı, V(m/min)	İlerleme Hızı, f (mm/dev)	Kesme derinliği, b(mm)	Malzeme
400	0.4	2.5	GGG50
448	0.5		GG30
500	0.63		
560			

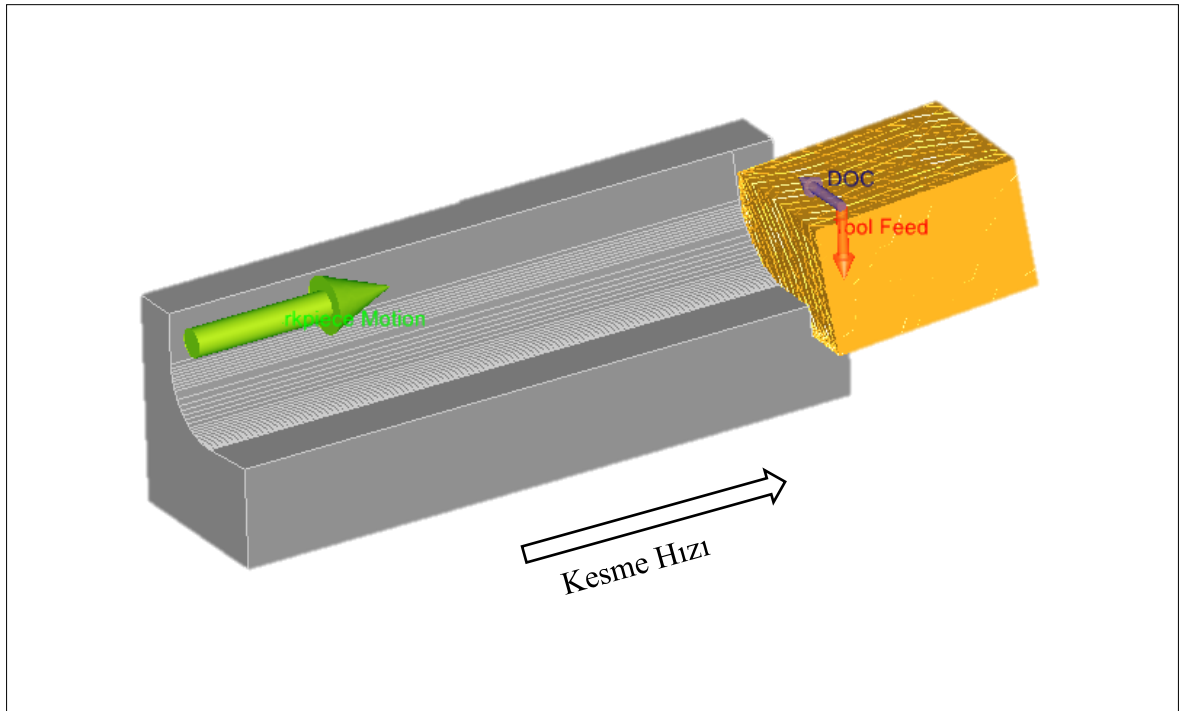
Çizelge 5.12. Oluşturulan modeller için yapılmış simülasyon sayısı

Malzeme	3B Model		3B Model	
	Kaba Mesh	İnce Mesh	Kaba Mesh	İnce Mesh
GGG50	12	12	12	12
GG30	12	12	12	12

Modelin yer değiştirme sınır şartları Şekil 5.7’de gösterilmiştir. Takım, sınırdaki bulunan C-D-E üzerindeki tüm düğümlerin x ve y yönündeki hareketleri sıfırlanmıştır. İş Parçası sınırlarında bulunan A-B üzerindeki tüm düğümler y yönündeki hareketi sıfırlanırken x yönünde ise kesme hızı uygulanmıştır.



Şekil 5.21. İki boyutlu kesme sisteminin yer değiştirme sınır şartları



Şekil 5.22. Üç boyutlu kesme sisteminin yer değiştirme sınır şartları

## 6. DENEY, SİMÜLASYON SONUÇLARI VE TARTIŞMA

### 6.1. Deney Sonuçları ve Tartışma

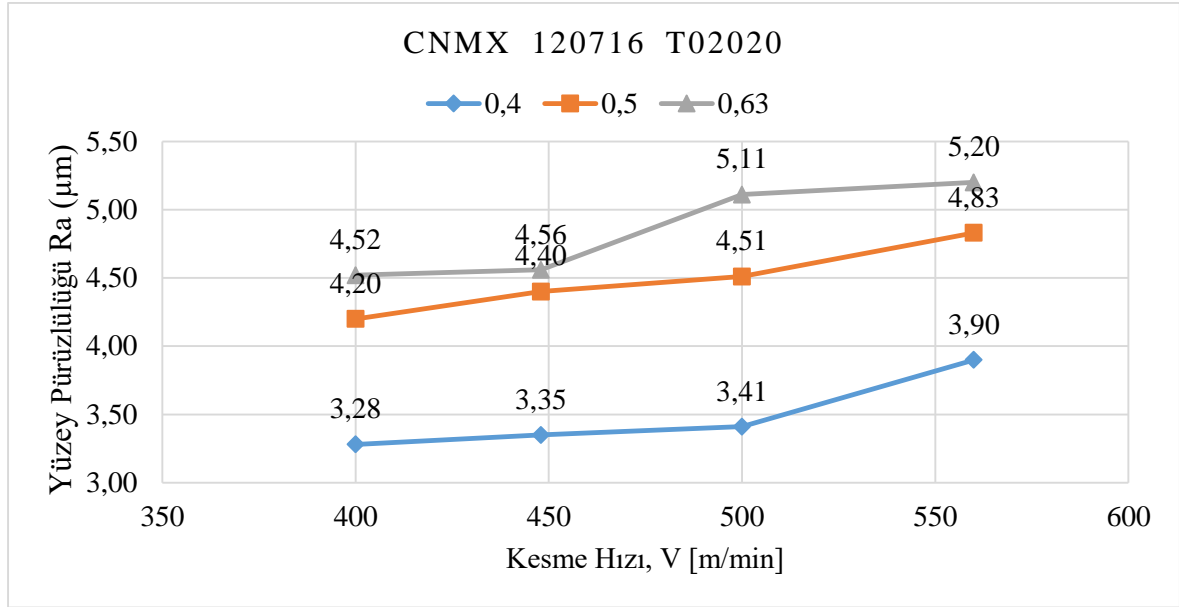
Bu kısımda deneyler sonucunda elde edilen veriler ve bu verilere bağlı olarak yapılan regresyon analizi ve varyans analiz sonuçları verilmektedir.

#### 6.1.1. Yüzey pürüzlülüğünün incelenmesi

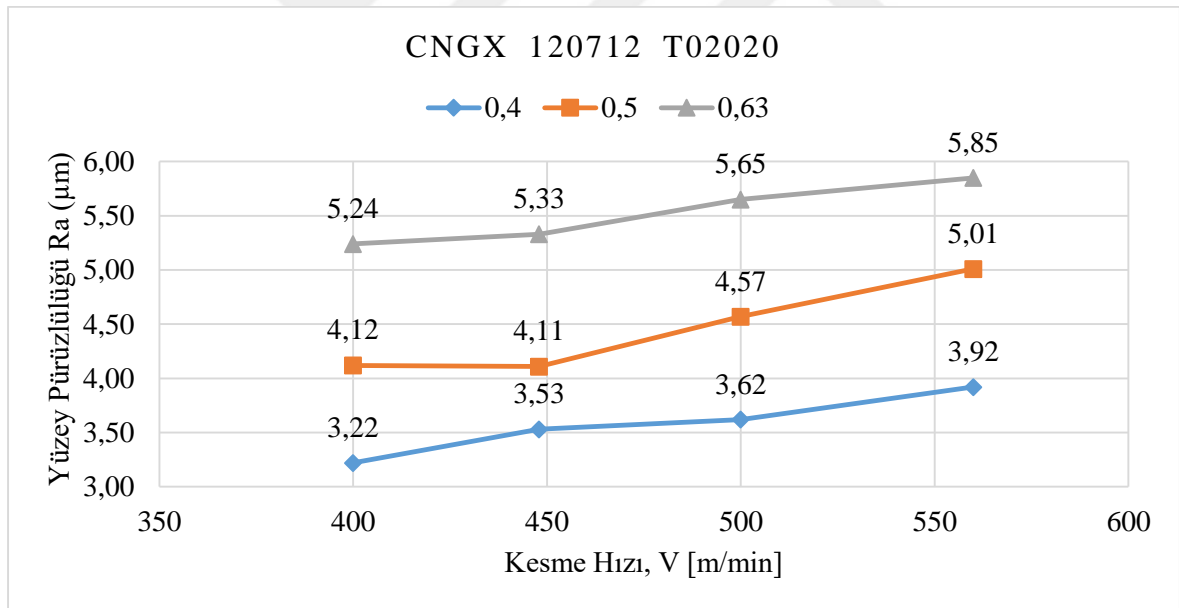
GGG50 dökme demir malzemelerden üretilen numuneler üzerinde iki farklı takım uç radyusu ile kuru şartlarda yapılan talaş kaldırma deneyleri sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülük sonuçları Çizelge 6.1’de verilmiştir. Bu çizelge yardımıyla elde edile her iki farklı kesici için yüzey pürüzlülüğünün, kesme hızına ve ilerleme hızına bağlı değişimi Şekil 6.1 ve Şekil 6.2’de verilmiştir.

Çizelge 6.1. GGG50 dökme demir malzemenin iki farklı takım uç radyusu ile işlenmesi esnasında oluşan yüzey pürüzlülüğü

Deney No - Takım	Kesme Hızı V (m/min)	İlerleme Miktarı f (mm/rev)	Yüzey Pürüzlülüğü ( $\mu\text{m}$ )
1 CNMX 120716	400	0,4	3,28
2 CNMX 120716	448		3,35
3 CNMX 120716	500		3,41
4 CNMX 120716	560		3,90
5 CNMX 120716	400	0,5	4,20
6 CNMX 120716	448		4,40
7 CNMX 120716	500		4,51
8 CNMX 120716	560		4,83
9 CNMX 120716	400	0,63	4,52
10 CNMX 120716	448		4,56
11 CNMX 120716	500		5,11
12 CNMX 120716	560		5,20
13 CNGX 120712	400	0,4	3,22
14 CNGX 120712	448		3,53
15 CNGX 120712	500		3,62
16 CNGX 120712	560		3,92
17 CNGX 120712	400	0,5	4,12
18 CNGX 120712	448		4,11
19 CNGX 120712	500		4,57
20 CNGX 120712	560		5,01
21 CNGX 120712	400	0,63	5,24
22 CNGX 120712	448		5,33
23 CNGX 120712	500		5,65
24 CNGX 120712	560		5,85



Şekil 6.1. CNMX 120716 takımlarda kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak GGG50 malzeme için yüzey pürüzlülüğünün değişimi

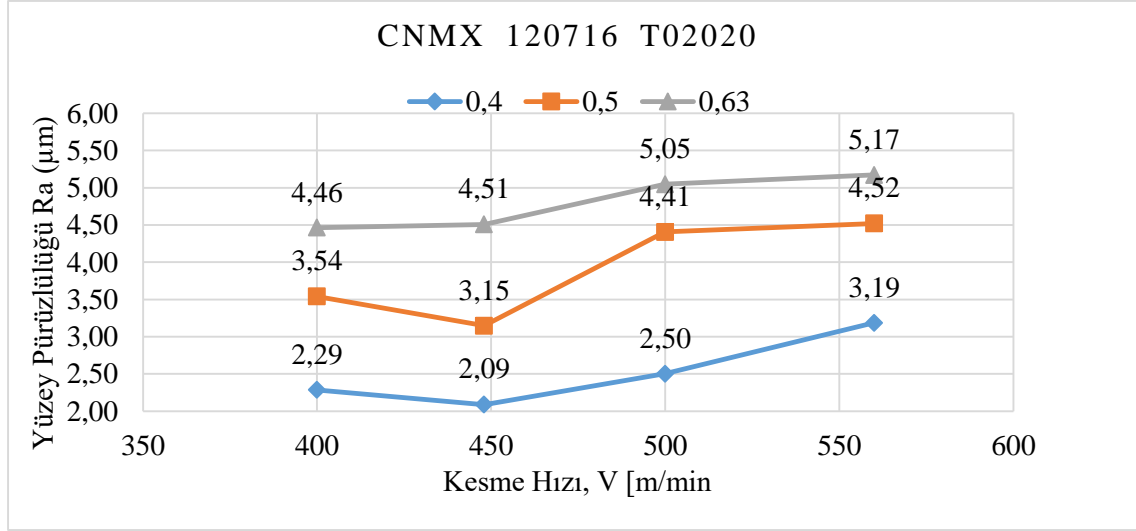


Şekil 6.2. CNGX 120712 takımlarda kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak GG30 malzeme için yüzey pürüzlülüğünün değişimi

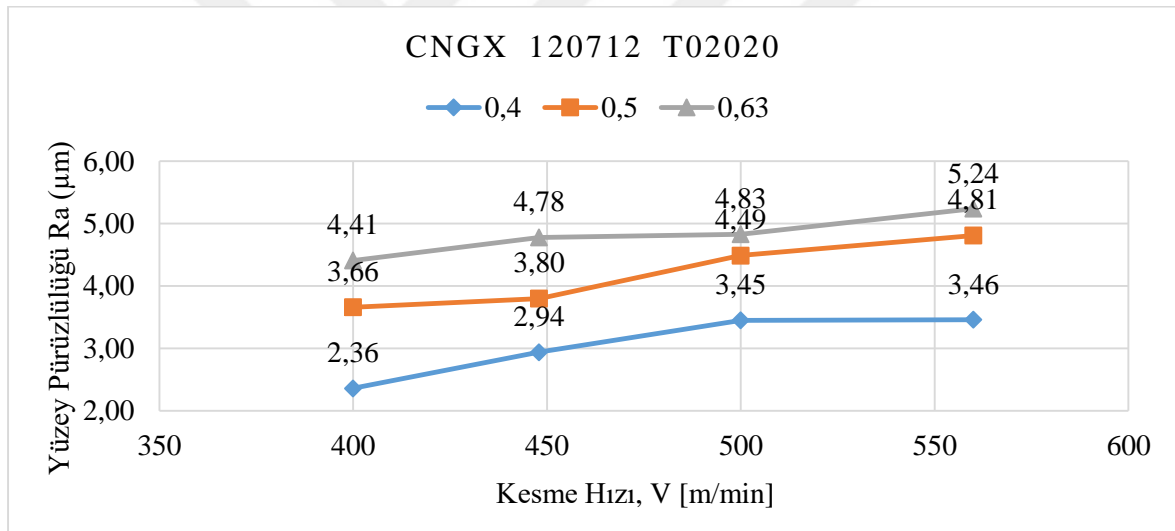
GG30 dökme demir malzemelerden üretilen numuneler üzerinde iki farklı takım uç radyusu ile kuru şartlarda yapılan talaş kaldırma deneyleri sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülük sonuçları Çizelge 6.2’de verilmiştir. Bu çizelge yardımıyla elde edile her iki farklı kesici için yüzey pürüzlülüğünün, kesme hızına ve ilerleme hızına bağlı değişimi Şekil 6.2 ve Şekil 6.3’te verilmiştir.

Çizelge 6.2. GG30 dökme demir malzemenin iki farklı takım uç radyusu ile işlenmesi esnasında oluşan yüzey pürüzlülüğü

Deney No - Takım	Kesm Hızı V (m/min)	İlerleme Miktarı f (mm/rev)	Yüzey Pürüzlülüğü ( $\mu\text{m}$ )
1 CNMX 120716	400	0,4	2,29
2 CNMX 120716	448		2,09
3 CNMX 120716	500		2,50
4 CNMX 120716	560		3,19
5 CNMX 120716	400	0,5	3,54
6 CNMX 120716	448		3,15
7 CNMX 120716	500		4,41
8 CNMX 120716	560		4,52
9 CNMX 120716	400	0,63	4,46
10 CNMX 120716	448		4,51
11 CNMX 120716	500		5,05
12 CNMX 120716	560		5,17
13 CNGX 120712	400	0,4	2,36
14 CNGX 120712	448		2,94
15 CNGX 120712	500		3,45
16 CNGX 120712	560		3,46
17 CNGX 120712	400	0,5	3,66
18 CNGX 120712	448		3,80
19 CNGX 120712	500		4,49
20 CNGX 120712	560		4,81
21 CNGX 120712	400	0,63	4,41
22 CNGX 120712	448		4,78
23 CNGX 120712	500		4,83
24 CNGX 120712	560		5,24



Şekil 6.3. CNMX 120716 takımlarda kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak GG30 malzeme için yüzey pürüzlülüğünün değişimi



Şekil 6.4. CNGX 120712 takımlarda kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak GG30 malzeme için yüzey pürüzlülüğünün değişimi

Her iki malzeme için elde edilen grafikler incelendiğinde her iki uç radiusu içinde ilerleme hızı artıkça yüzey pürüzlülüğü literatüre benzer şekilde artmıştır. Artan kesme hızlarına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünün arttığı gözlemlenmiştir. Fnides ve diğerleri yaptığı çalışmada kesme hızının 60 ile 125 m/min aralığında artmasına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünün azaldığını kesme hızının 125 ile 500 m/min aralığında artmasına bağlı olarak ise yüzey pürüzlülüğünün arttığını gözlemlemiştir (Fnides, Aouici ve Yallese, 2008). Bu durum artan kesme hızına bağlı olarak titreşim miktarının artmasına bağlanmıştır. Takım uç radiusundan kaynaklanan çok fazla bir değişim olmadığı fakat GGG50 malzemenin yüzey pürüzlülük değerinin GG30

malzemeden fazla olduğu görülmüştür. Kesici takım aşınma grafikleri incelendiğinde artan kesme hızlarına bağlı olarak kesici takım aşınmasının arttığı görülmüştür. Bu nedenle artan kesme hızlarında iş parçası yüzey pürüzlülük değerlerinde bir artış meydana gelmiştir.

### 6.1.2. Yüzey pürüzlülük değerinin regresyon analizi ile modellenmesi

Seramik kesici uçlar kullanılarak toplam 48 adet talaş kaldırma deneyi yapılmış olup deneyler sonucunda elde edilen veriler Minitab yazılımında regresyon analizinde kullanılmıştır. Yüzey pürüzlülüğü eşitlikleri, sabit talaş hacminde 2,5 mm talaş kaldırarak kontrol faktörlerinin seviyelerine bağlı olarak kesme hızı(V), ilerleme hızı(f), takım uç yarıçapı ve malzeme tipi esas alınarak oluşturulmuştur. Regresyon analizi sonucu elde edilen birinci dereceden denklem;

$$Ra = -1.999 + 0.005336 * V + 7.783 * f + 0.2625 * (\text{Takım uç yarıçapı}) - 0.5158 * \text{Malzeme} \quad (6.2)$$

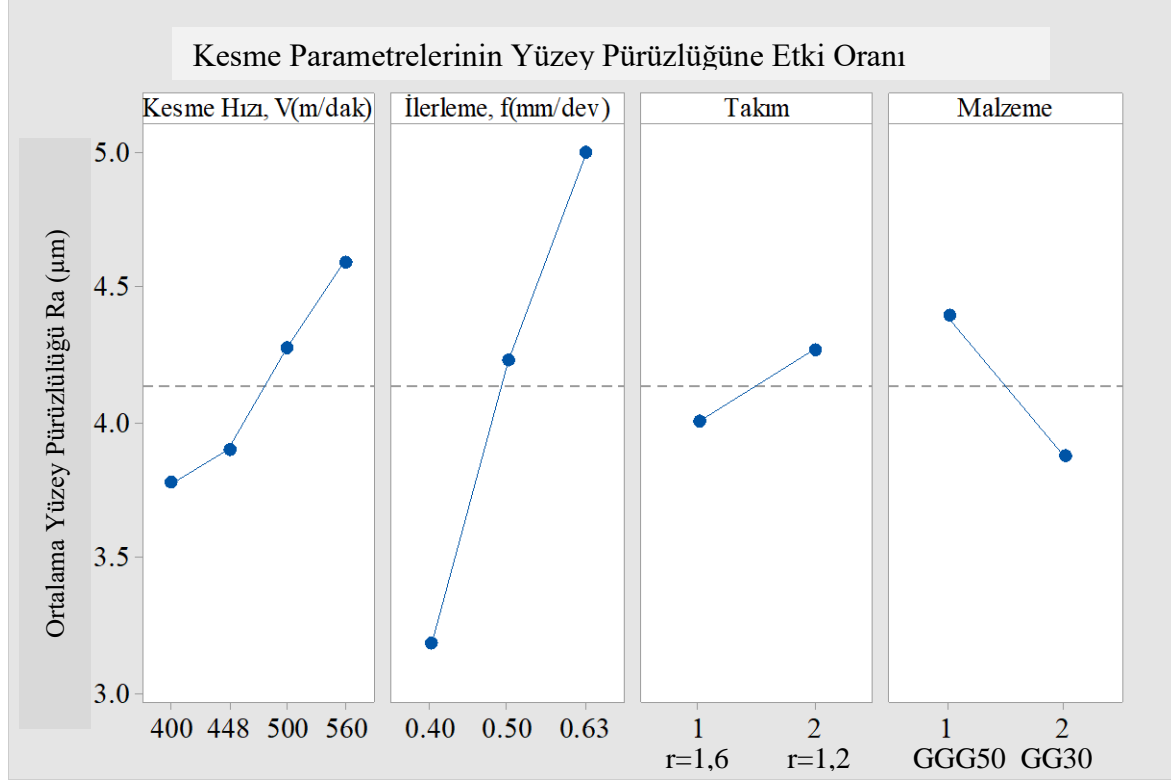
Olarak elde edilmiştir. Elde edilen regresyon denkleminin belirleme katsayısı R<sup>2</sup>, 0.9263 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen birinci dereceden regresyon denklemi %90 üzerinde güvenilirlik sağladığı için yüzey pürüzlülük modeli tahmininde kullanılabilir. Yapılan regresyon analizi ile elde edilen matematiksel model incelendiğinde yüzey pürüzlülüğü kesme hızı ve ilerleme hızına bağlı olarak arttığı, numuneler 1 nolu takım uç yarıçapı ile işlendiğinde iki nolu takım uç yarıçapına göre daha iyi bir yüzey pürüzlülüğünün elde edildiği ve iki nolu malzemede benzer şekilde daha iyi bir yüzey pürüzlülüğü elde edildiği görülmüştür. Çizelge 6.3’de takım ömrü için varyans analizi sonuçları verilmiştir. Çizelgede serbestlik derecesi, kareler toplamı, kareler toplamı ortalaması, F etki katsayıları, P anlamlılık sütunları ve yüzde etki oranları görülmektedir.

Çizelge 6.3. Yüzey pürüzlülüğü için varyans analizi (ANOVA)

Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Karelerin Ortalaması	F	P	Yüzde Katkı Oranları
Regresyon	4	34.6454	8.6613	135.06	0.000	
Kesme Hızı, V(m/min)	1	4.8470	4.8470	75.58	0.000	12.9588
İlerleme, f(mm/dev)	1	25.7785	25.7785	401.97	0.000	68.9209
Takım uç yarıçapı	1	0.8269	0.8269	12.89	0.001	2.2107
Malzeme	1	3.1930	3.1930	49.79	0.000	8.5367
Hata	43	2.7576	0.0641			
Toplam	47	37.4030				



Çizelge 6.3 incelendiğinde; sırasıyla ilerleme hızı %69, kesme hızı %13, malzeme %8,5 ve kesici takım uç radyusu %2 yüzey pürüzlülüğü üzerinde etki oranına sahip olduğu görülmüştür. Yüzey pürüzlülüğünü sırasıyla en çok ilerleme hızı, kesme hızı, malzeme ve takım uç radyusu etkilemiştir.



Şekil 6.5. Kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etki oranları

Varyans analizi sonuçları incelendiğinde; ilerleme miktarı yüzey pürüzlülüğü üzerinde maksimum etkiye sahip iken, kullanılan takım uç radyusu minimum etkiye sahip olduğu Şekil 6.5 görülmüştür. Sabit talaş derinliğinde artan ilerleme hızına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünün literatüre benzer şekilde arttığı görülmüştür. 1 nolu malzemenin (GGG50) ortalama yüzey pürüzlülük değeri 2 nolu malzemeye (GG30) göre oldukça fazladır. Bu iki dökme demir arasındaki farkın 2 nolu malzemenin yapısındaki lamel şeklindeki karbonların yağlayıcı özelliğinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Artan uç radyusuna bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünün azaldığı görülmüş olup yüzey pürüzlülüğünün tahmininde kullanılan aşağıdaki genel ifadeyle uyduğu gözlemlenmiştir.

$$R_i = f^2 / (32 * r) \quad (6.3)$$

$R_i$  :İdeal ortalama yüzey pürüzlülüğü, mm

f:İlerleme, mm/dev

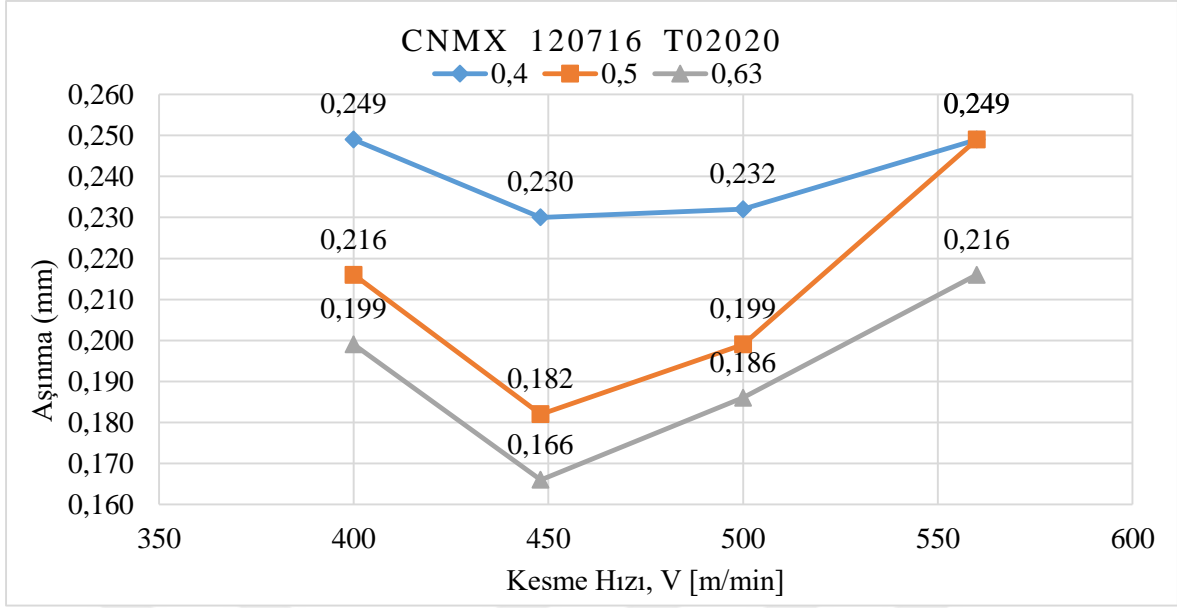
r:Uç yarıçapı, mm

### 6.1.3. Takım aşınmasının incelenmesi

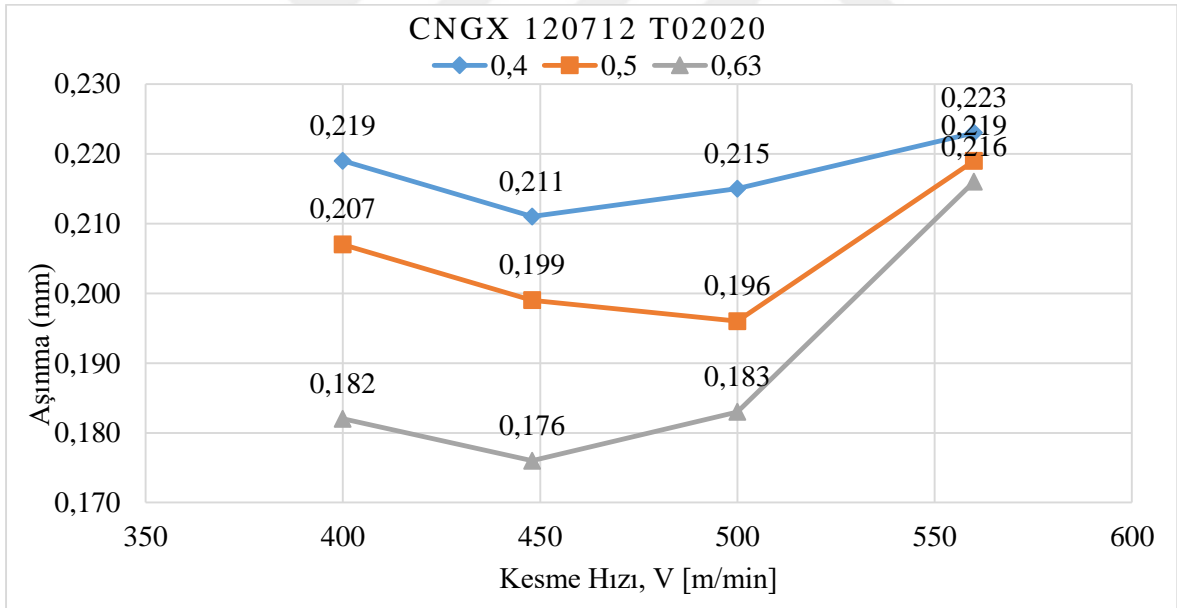
GGG50 dökme demir malzemelerden üretilen numuneler üzerinde kuru şartlarda iki farklı takım uç radyusu ile yapılan talaş kaldırma deneyleri sonucunda ölçülen kesme kuvvetleri Çizelge 6.3’de verilmiştir. Bu çizelge yardımıyla elde edilen her iki farklı kesici için aşınma miktarının, kesme hızına ve ilerleme hızına bağlı değişimi Şekil 6.6 ve Şekil 6.7’de verilmiştir.

Çizelge 6.4. GGG50 dökme demir malzemenin iki farklı takım uç radyusu ile işlenmesi esnasında oluşan takım aşınması

Deney No	Kesme Hızı V (m/min)	İlerleme Miktarı f (mm/rev)	Takım Aşınması (mm)
1 CNMX 120716	400	0,4	0,249
2 CNMX 120716	448		0,230
3 CNMX 120716	500		0,232
4 CNMX 120716	560		0,249
5 CNMX 120716	400	0,5	0,216
6 CNMX 120716	448		0,182
7 CNMX 120716	500		0,199
8 CNMX 120716	560		0,249
9 CNMX 120716	400	0,63	0,199
10 CNMX 120716	448		0,166
11 CNMX 120716	500		0,186
12 CNMX 120716	560		0,216
13 CNGX 120712	400	0,4	0,219
14 CNGX 120712	448		0,211
15 CNGX 120712	500		0,125
16 CNGX 120712	560		0,223
17 CNGX 120712	400	0,5	0,207
18 CNGX 120712	448		0,199
19 CNGX 120712	500		0,196
20 CNGX 120712	560		0,219
21 CNGX 120712	400	0,63	0,182
22 CNGX 120712	448		0,176
23 CNGX 120712	500		0,183
24 CNGX 120712	560		0,216



Şekil 6.6. CNMX 120716 takımlarda kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak GGG50 malzeme için aşınma değişimi

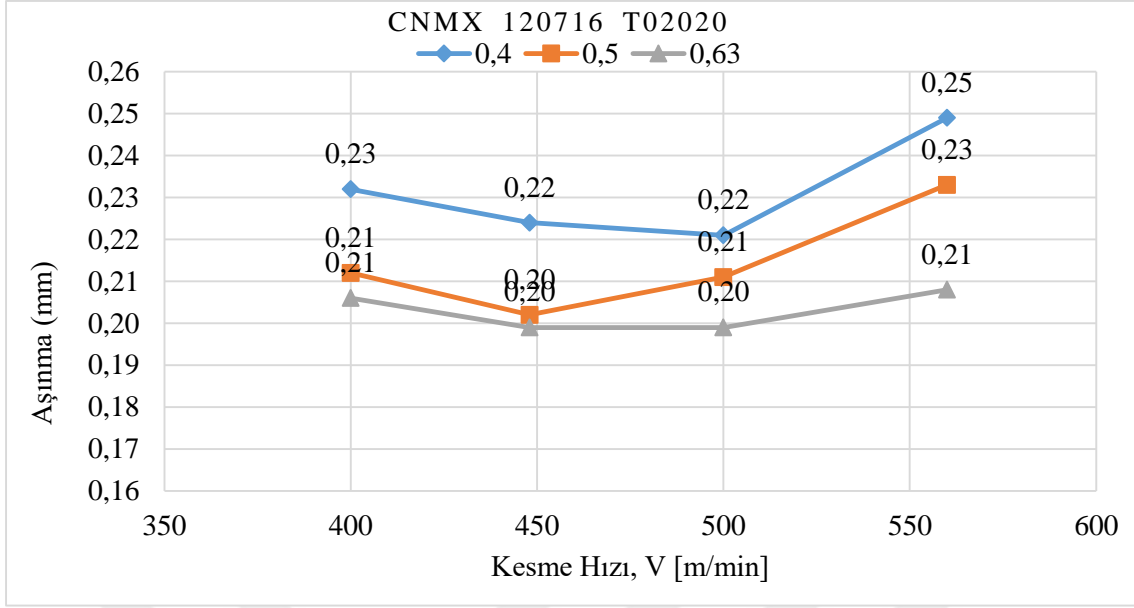


Şekil 6.7. CNGX 120712 takımlarda kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak GGG50 malzeme için aşınma değişimi

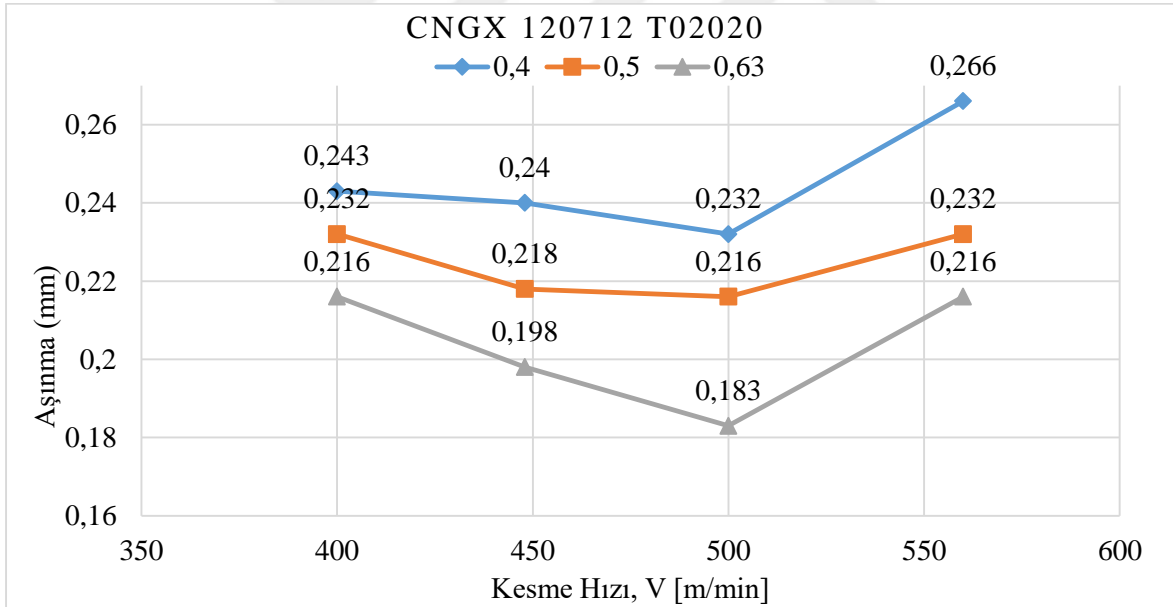
GG30 dökme demir malzemelerden üretilen numuneler kuru şartlarda iki farklı takım uç radyusu ile talaş kaldırma deneyleri yapılmış olup, bu deneyler sonucu elde edilen kesme kuvvetleri Çizelge 6.5’de verilmiştir. Bu çizelge yardımıyla her iki farklı kesici için bulunan aşınma miktarının, kesme hızına ve ilerleme hızına bağlı değişimi Şekil 6.8 ve Şekil 6.9’da verilmiştir.

Çizelge 6.5. GG30 dökme demir malzemenin iki farklı takım uç radyusu ile işlenmesi esnasında oluşan takım aşınması

Deney No - Takım	Kesme Hızı V (m/min)	İlerleme Miktarı f (mm/rev)	Takım Aşınması (mm)
1 CNMX 120716	400	0,4	0.232
2 CNMX 120716	448		0.224
3 CNMX 120716	500		0.221
4 CNMX 120716	560		0.249
5 CNMX 120716	400	0,5	0,212
6 CNMX 120716	448		0.202
7 CNMX 120716	500		0.211
8 CNMX 120716	560		0.233
9 CNMX 120716	400	0,63	0.206
10 CNMX 120716	448		0.199
11 CNMX 120716	500		0.199
12 CNMX 120716	560		0.208
13 CNGX 120712	400	0,4	0.213
14 CNGX 120712	448		0.201
15 CNGX 120712	500		0.226
16 CNGX 120712	560		0.22
17 CNGX 120712	400	0,5	0.197
18 CNGX 120712	448		0.217
19 CNGX 120712	500		0.169
20 CNGX 120712	560		0.201
21 CNGX 120712	400	0,63	0.176
22 CNGX 120712	448		0.176
23 CNGX 120712	500		0.194
24 CNGX 120712	560		0.1945



Şekil 6.8. CNMX 120716 takımlarda kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak GG30 malzeme için aşınma değişimi



Şekil 6.9. CNGX 120712 takımlarda kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak GG30 malzeme için aşınma değişimi

Her iki malzeme için elde edilen aşınma grafikleri incelendiğinde her iki takım uç radyusu içinde kesme hızı artıkça aşınma miktarının bir değere kadar azalıp daha sonra artığı gözlemlenmiş olup artan ilerleme hızlarında aşınma miktarının artığı gözlemlenmiştir. Takım uç radyusundan kaynaklanan çok fazla bir değişim olmadığı fakat GGG50 malzemenin aşınma değerleri GG30 malzemedan daha az olduğu görülmüştür.

#### 6.1.4. Kesici takım aşınmasının regresyon analizi ile modellenmesi

Deneylemler sonucunda elde edilen veriler aşınma regresyon analizinde kullanılmış olup regresyon analizi sonucunda eşitlik 6.2 elde edilmiştir. Kesici takım aşınma eşitliği, sabit talaş hacminde 2,5 mm talaş kaldırarak kontrol faktörlerinin seviyelerine bağlı olarak kesme hızı(V), ilerleme hızı(f), takım uç radyusu ve malzeme tipi esas alınarak oluşturulmuştur.

$$\text{Aşınma} = 0.22992 + 0.000095 * V - 0.15816 * f - 0.00032 * (\text{takım uç radyusu}) + 0.01273 * \text{Malzeme} \quad (6.4)$$

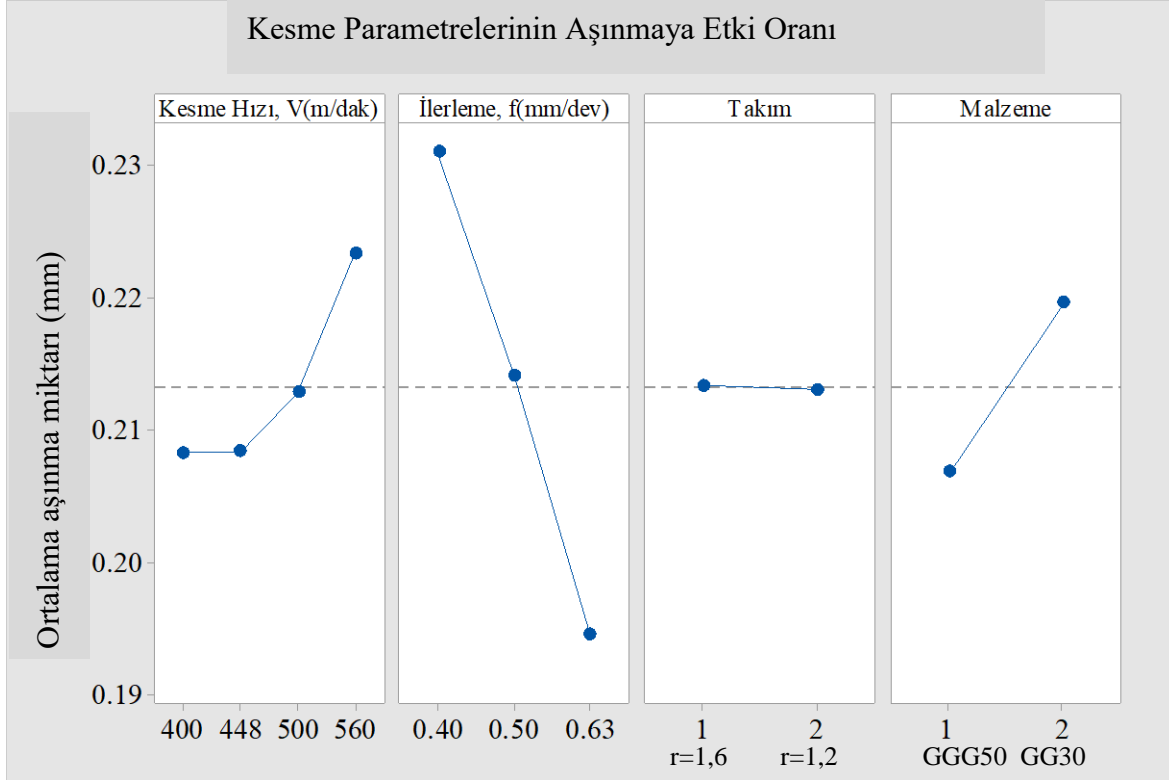
Elde edilen regresyon denkleminin belirleme katsayısı  $R^2$ , 0.9252 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen birinci dereceden regresyon denklemi %90 üzerinde güvenilirlik sağladığı için aşınma modeli tahmininde kullanılabilir.

Yapılan regresyon analizi ile elde edilen matematiksel model incelendiğinde aşınmanın, kesme hızının belli bir değer aralığında daha iyi sonuçlar verdiği, ilerleme hızına bağlı olarak azaldığı ve 2 nolu malzemenin kullanıldığı durumda arttığı görülmüştür. Kesici takım uç radyusu için  $p < 0.005$  değerini sağlamadığı için anlamsız olduğu görülmüştür. Kullanılan malzemenin aşınma üzerinde ilerleme hızından sonra en etkili parametre olduğu görülmüştür.

Çizelge 6.6. Aşınma için varyans analizi (ANOVA)

Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Karelerin Ortalaması	F	P	Yüzde Katkı Oranları
Regresyon	4	0.014127	0.003532	132.89	0.000	
Kesme Hızı, V(m/min)	1	0.001535	0.001535	57.74	0.000	10.0523
İlerleme, f(mm/rev)	1	0.010646	0.010646	400.56	0.000	69.7184
Takım uç radyusu	1	0.000001	0.000001	0.05	0.833	0
Malzeme	1	0.001946	0.001946	73.21	0.000	12.7439
Hata	43	0.001143	0.000027			
Toplam	47	0.015270				

Çizelge 6.6 incelendiğinde; sırasıyla ilerleme hızı %70, malzeme %13, kesme hızı %10 ve kesici takım uç radyusu %0 yüzey pürüzlüğü üzerinde etki oranına sahip olduğu görülmüştür. Takım aşınmasına en çok ilerleme hızının etki ettiği görülmüştür.



Şekil 6.10. Kesme parametrelerinin aşınma miktarı üzerindeki etki oranları

Varyans analizi sonuçları incelendiğinde; ilerleme miktarı aşınma üzerinde maksimum etkiye sahip iken, kullanılan takım uç radyusu minimum etkiye sahip olduğu Şekil 6.10 görülmüştür. Sabit talaş derinliğinde artan ilerleme hızına bağlı olarak aşınma miktarının azaldığı görülmüştür. 1 nolu malzemenin (GGG50) ortalama aşınma miktarı 2 nolu malzemeye (GG30) göre oldukça azdır. Bu iki dökme demir arasındaki farkın 2 nolu malzemenin 1 nolu malzemeye göre oldukça sert ve gevrek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

### 6.1.5. Kesme kuvvetlerinin incelenmesi

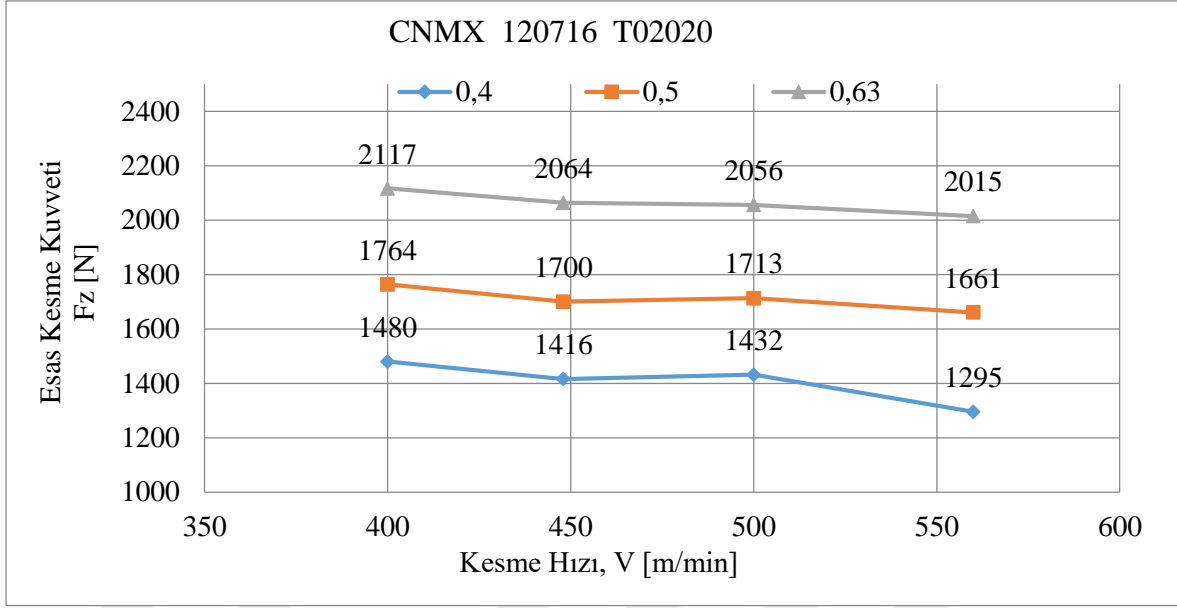
GGG50 dökme demirlerden üretilen numuneler üzerinde iki farklı takım uç radyusu ile yapılan talaş kaldırma deneyleri sonucunda elde edilen kesme kuvvetleri Çizelge 6.7’de verilmiştir. Bu çizelge yardımıyla elde edilen her iki farklı kesici için kesme kuvvetlerinin, kesme hızına ve ilerleme hızına bağlı değişimi Şekil 6.11 ve Şekil 6.12’de verilmiştir.

Çizelge 6.7. GGG50 dökme demir malzemenin iki farklı takım uç radyusu ile işlenmesi esnasında oluşan kesme kuvvetleri

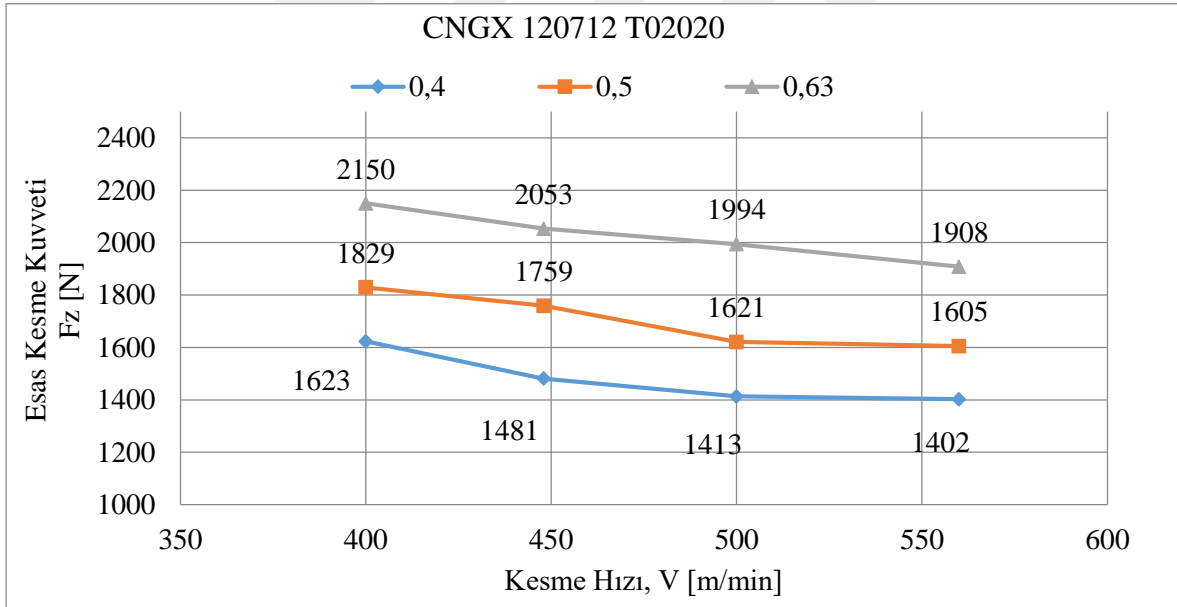
Deney No - Takım	Kesme Hızı V (m/min)	İlerleme Miktarı f (mm/rev)	Esas Kesme Kuvveti (F <sub>z</sub> , N)
1 CNMX 120716	400	0,4	1480
2 CNMX 120716	448		1416
3 CNMX 120716	500		1432
4 CNMX 120716	560		1295
5 CNMX 120716	400	0,5	1764
6 CNMX 120716	448		1700
7 CNMX 120716	500		1713
8 CNMX 120716	560		1661
9 CNMX 120716	400	0,63	2117
10 CNMX 120716	448		2064
11 CNMX 120716	500		2056
12 CNMX 120716	560		2015
13 CNGX 120712	400	0,4	1623
14 CNGX 120712	448		1481
15 CNGX 120712	500		1413
16 CNGX 120712	560		1402
17 CNGX 120712	400	0,5	1829
18 CNGX 120712	448		1759
19 CNGX 120712	500		1621
20 CNGX 120712	560		1605
21 CNGX 120712	400	0,63	2150
22 CNGX 120712	448		2053
23 CNGX 120712	500		1994
24 CNGX 120712	560		1908

Çizelge 6.7’de verilen çıktılar doğrultusunda kesme hızı ve ilerleme miktarına göre GGG50 malzeme için kesme kuvvetlerinin değişimi Şekil 6.11. ve Şekil 6.12’de verilmiştir.





Şekil 6.11. CNMX 120716 takımlarda kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak GGG50 malzeme için kesme kuvvetlerinin değişimi

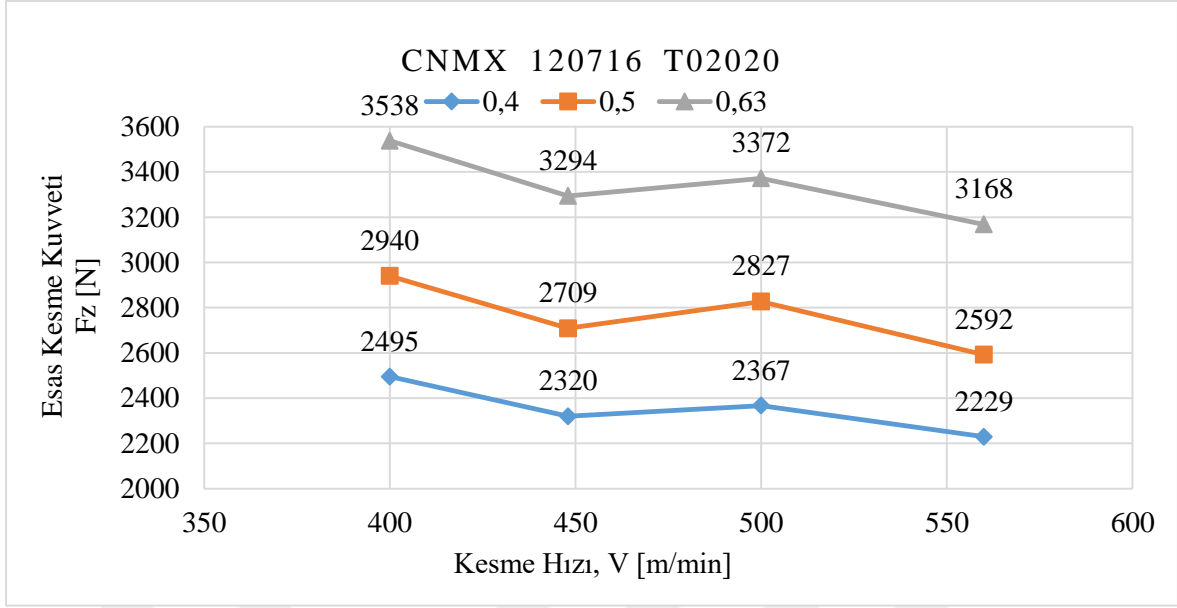


Şekil 6.12. CNGX 120712 takımlarda kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak GGG50 malzeme için kesme kuvvetlerinin değişimi

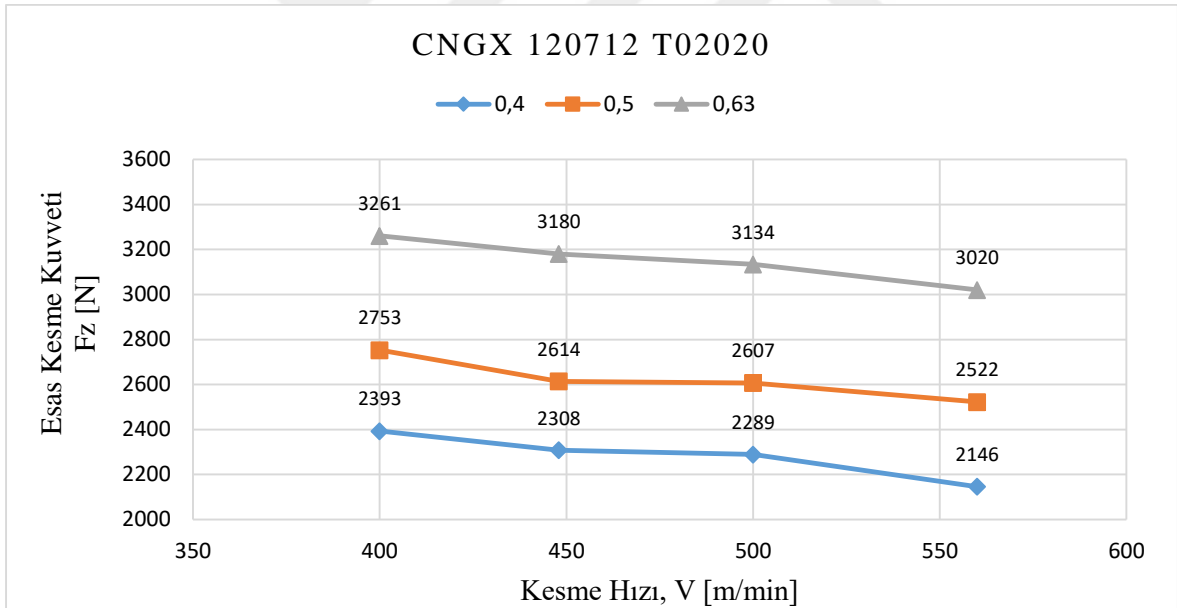
GG30 dökme demirlerden üretilen numuneler üzerinde iki farklı takım uç radiusu ile yapılan talaş kaldırma deneyleri sonucunda elde edilen kesme kuvvetleri Çizelge 6.8’de verilmiştir. Bu çizelge yardımıyla elde edile her iki farklı kesici için kesme kuvvetlerinin, kesme hızına ve ilerleme hızına bağlı değişimi Şekil 6.13 ve Şekil 6.14’te verilmiştir.

Çizelge 6.8. GG300 dökme demir malzemenin iki farklı takım uç radyusu ile işlenmesi esnasında oluşan kesme kuvvetleri

Deney No - Takım	Kesme Hızı V (m/min)	Deney No f (mm/rev)	Kesme Hızı (F <sub>z</sub> , N)
1 CNMX 120716	560	0.4	2229
2 CNMX 120716	448	0.4	2320
3 CNMX 120716	560	0.5	2592
4 CNMX 120716	448	0.5	2709
5 CNMX 120716	560	0.63	3168
6 CNMX 120716	448	0.63	3294
7 CNMX 120716	500	0.4	2367
8 CNMX 120716	400	0.4	2495
9 CNMX 120716	500	0.5	2827
10CNMX 120716	400	0.5	2940
11CNMX 120716	500	0.63	3372
12CNMX 120716	400	0.63	3538
13 CNGX 120712	560	0.4	2146
14 CNGX 120712	448	0.4	2257
15 CNGX 120712	560	0.5	2522
16 CNGX 120712	448	0.5	2522
17 CNGX 120712	560	0.63	3020
18 CNGX 120712	448	0.63	3100
19 CNGX 120712	500	0.4	2289
20 CNGX 120712	400	0.4	2393
21 CNGX 120712	500	0.5	2653
22 CNGX 120712	400	0.5	2753
23 CNGX 120712	500	0.63	3134
24 CNGX 120712	400	0.63	3261



Şekil 6.13. CNMX 120716 takımlarda kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak GG30 malzeme için kesme kuvvetlerinin değişimi



Şekil 6.14. CNGX 120712 takımlarda kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak GG30 malzeme için kesme kuvvetlerinin değişimi

Her iki malzeme için elde edilen Esas kesme kuvvetleri grafikleri incelendiğinde her iki takım uç radyusu içinde literatüre benzer şekilde kesme hızı artıkça esas kesme kuvvetlerinin azaldığı, artan ilerleme hızlarında ise esas kesme kuvvetlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Takım uç radiusundan kaynaklanan çok fazla bir değişim olmadığı fakat GGG50 malzemenin esas kesme kuvvetlerinin GG30 malzemenin daha az olduğu görülmüştür.

### 6.1.6. Kesme kuvvetlerinin regresyon analizi ile modellenmesi

Deneylemler sonucunda elde edilen veriler kesme kuvveti regresyon analizinde kullanılmış olup regresyon analizi sonucunda eşitlik 6.3 elde edilmiştir. Kesme kuvvetleri eşitliği, sabit talaş hacminde 2,5 mm talaş kaldırılarak kontrol faktörlerinin seviyelerine bağlı olarak kesme hızı(V), ilerleme hızı(f), takım uç radyusu ve malzeme tipi esas alınarak oluşturulmuştur.

$$F_c = -275 - 1.308*V + 3328*f - 60.5*(\text{takım uç radyusu}) + 1023.9*\text{Malzeme} \quad (6.5)$$

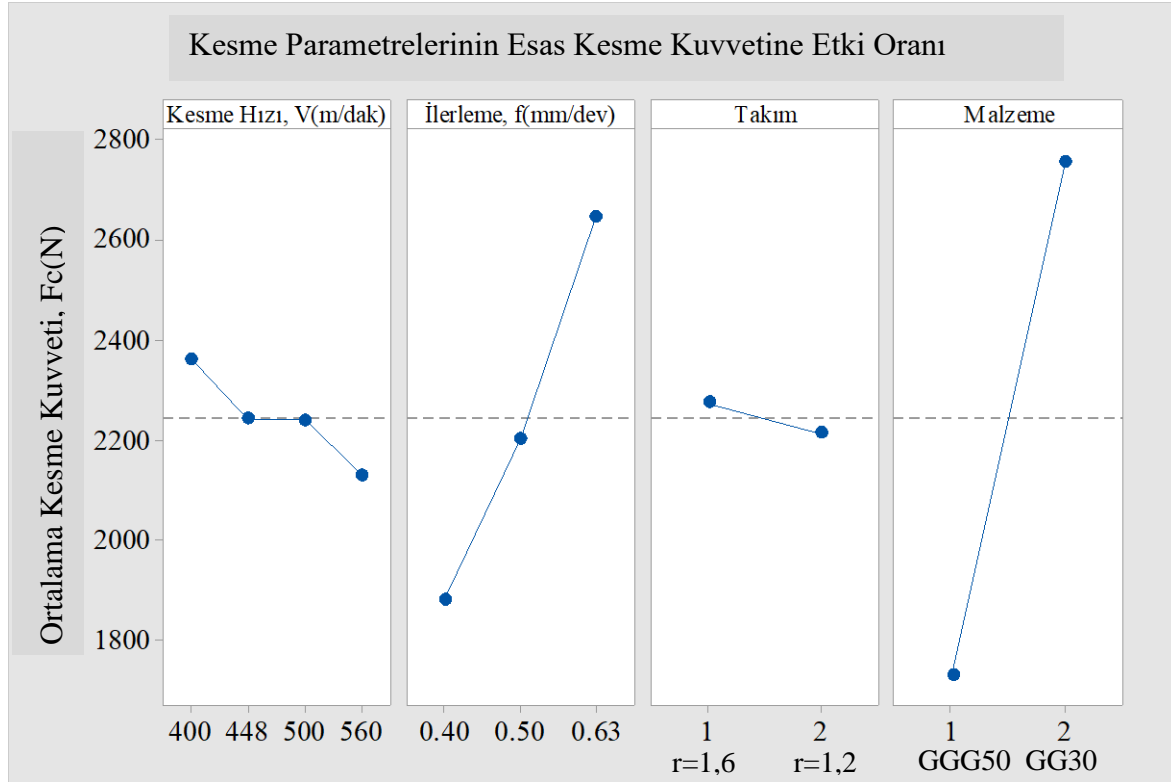
Elde edilen regresyon denkleminin belirleme katsayısı  $R^2$ , 0.9774 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen birinci dereceden regresyon denklemi %90 üzerinde güvenilirlik sağladığı için kesme kuvvetlerinin modeli tahmininde kullanılabilir.

Yapılan regresyon analizi ile elde edilen matematiksel model incelendiğinde kesme kuvvetlerinin, kesme hızının artmasıyla azaldığı, artan ilerleme hızına bağlı olarak ve 2 nolu malzemenin kullanıldığı durumda arttığı görülmüştür. Kesici takım uç radyusu için  $p < 0.005$  değerini sağlamadığı için anlamsız olduğu belirlenmiştir. Kullanılan malzemenin kesme kuvveti üzerinde en büyük etkiye sahip olduğu görülmüştür.

Çizelge 6.9. Kesme Kuvveti için varyans analizi (ANOVA)

Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Karelerin Ortalaması	F	P	Yüzde Katkı Oranları
Regresyon	4	17629354	4407339	464.18	0.000	
Kesme Hızı, V(m/min)	1	291275	291275	30.68	0.000	1.614
İlerleme, f(mm/rev)	1	4714256	4714256	496.50	0.000	26.135
Takım uç radyusu	1	43984	43984	4.63	0.037	0
Malzeme	1	12579840	12579840	1324.89	0.000	69.742
Hata	43	408284	9495			
Toplam	47	18037638				

Çizelge 6.8 incelendiğinde; sırasıyla malzeme %69, ilerleme hızı %26, kesme hızı %2 ve kesici takım uç radyusu %0 kesme kuvvetleri üzerinde etki oranına sahip olduğu görülmüştür. Kesme kuvvetlerine en çok ilerleme hızının etki ettiği görülmüştür.



Şekil 6.15. Kesme parametrelerinin aşınma miktarı üzerindeki etki oranları

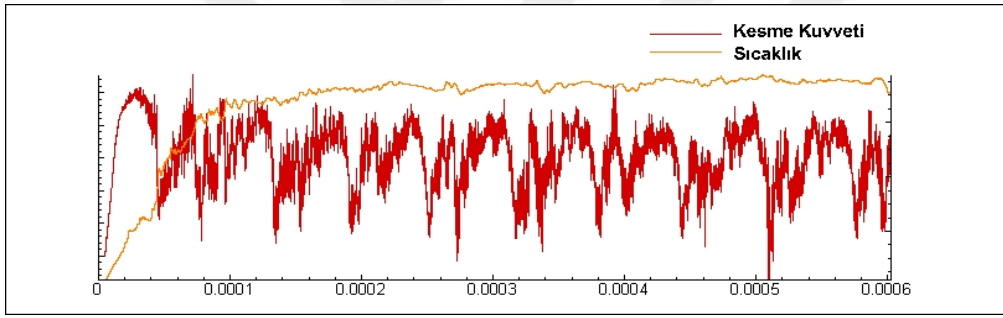
Kesme kuvvetleri için Anova yapılan analizi sonuçları incelendiğinde; ilerleme miktarı aşınma üzerinde maksimum etkiye sahip iken, kullanılan takım uç radyusuları minimum etkiye sahip olduğu Şekil 6.15 görülmüştür. Sabit talaş derinliğinde artan ilerleme hızına bağlı olarak esas kesme kuvveti miktarının arttığı görülmüştür. Bunun sebebi artan talaş hacminden dolayı yapılması gereken iş miktarının artmasından kaynaklanmaktadır. 1 nolu malzemenin (GGG50) ortalama kesme kuvvetleri miktarı 2 nolu malzemeye (GG30) göre oldukça fazladır. Bu iki dökme demir arasındaki farkın 2 nolu malzemenin 1 nolu malzemeye göre oldukça sert ve gevrek olmasından ve GGG50 malzemenin küresel yapısından kaynaklandığı düşünülmektedir.

## 6.2. Simülasyon Sonuçları ve Tartışma

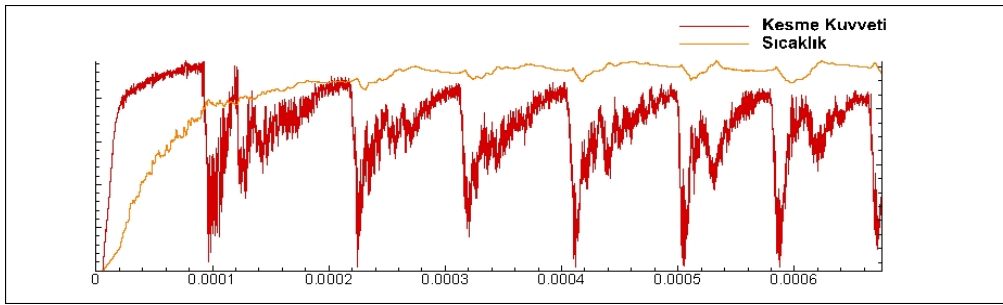
Advantedge programında yapılan farklı sınır şartlarındaki analizlerde; kesme kuvvetleri, kesme işleminde oluşan sıcaklıklar, takımında oluşan gerilmeler ve iş parçasında oluşan artık gerilmeler elde edilmiştir.

### 6.2.1. Kesme kuvvetlerinin incelenmesi

Simülasyonlarda tek bir takım uç radiusu için (CNMX 120716) iki farklı malzeme kullanarak, iki boyutlu ve üç boyutlu simülasyonlar için kaba ve ince mesh olmak üzere iki farklı mesh modeli oluşturup çözdürülmüştür. Simülasyonlar sonucunda kesme kuvvetleri elde edilmiştir. Tek takım uç radiusunun kullanılmasının sebebi yapılan deneysel çalışmalar sonucunda kesici takım uç radiusunun kesme kuvvetleri üzerinde çok az bir etkisinin olduğu görülmüştür. Simülasyon modellerinde kesme boyu olarak 9 mm belirlenmiştir. Bu değer belirlenmesi kesme kuvvetlerinin ve oluşan sıcaklığın dengeye ulaşması için gereken minimum kesme boyu olmasıdır. Simülasyonlar sonucu elde edilen kesme kuvvetleri kararlı hale geldiği kısımdan ortalama değer olarak ölçülmüştür. Şekil 6.16 ve Şekil 6.17 ‘de GGG50 ve GG30 malzeme için zamana bağlı kesme kuvveti ve sıcaklık grafiği verilmiştir.



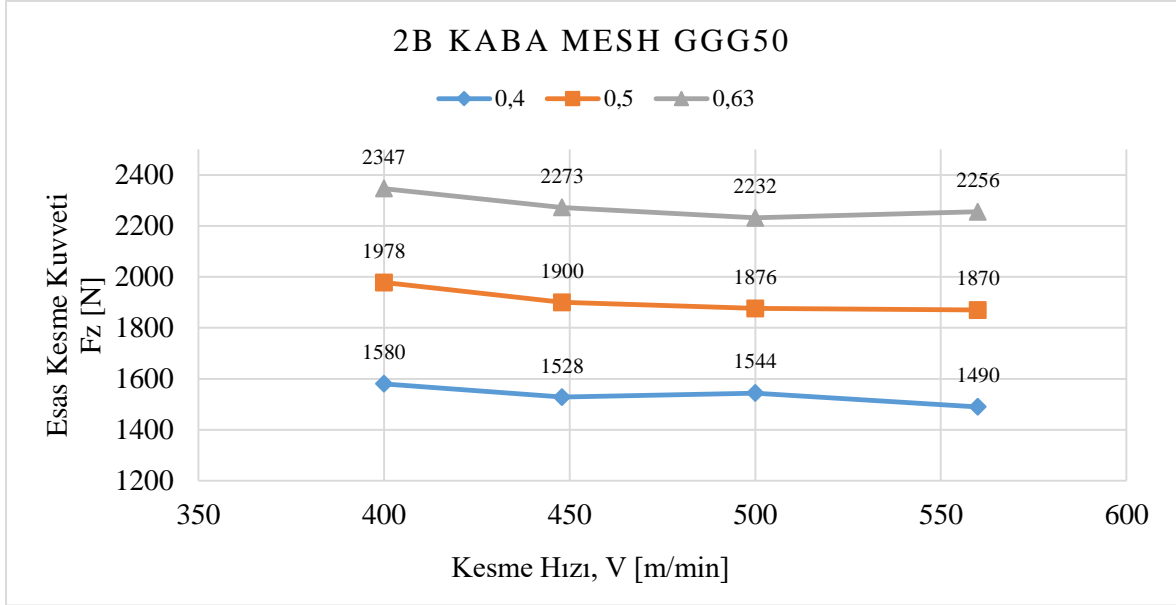
Şekil 6.16. GGG50 malzeme için zamana bağlı kesme kuvveti ve sıcaklık grafiği



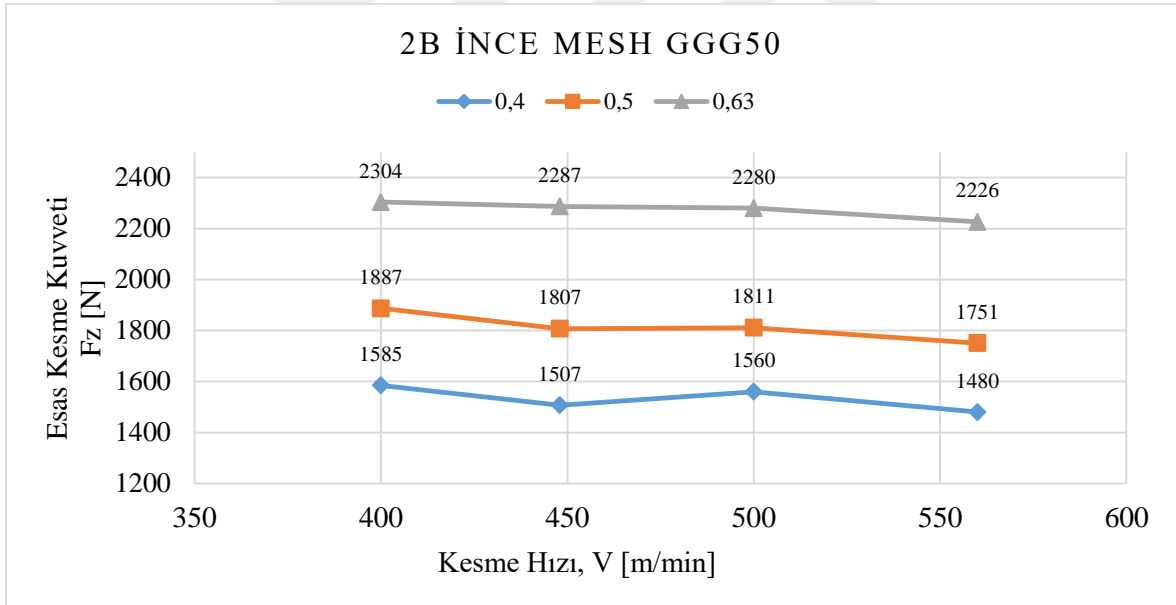
Şekil 6.17. GG30 malzeme için zamana bağlı kesme kuvveti ve sıcaklık grafiği

Çizelge 6.10. Simülasyonlar sonucunda elde edilen kesme kuvvetleri

Deney No	Kesm Hızı V (m/dak)	İlerleme Miktarı f (mm/dev)	Malzeme	Takım	Esas Kesme Kuvveti (Fz, N)	Esas Kesme Kuvveti (Fz, N) (2B Kaba Mesh)	Esas Kesme Kuvveti (Fz, N) (2B İnce Mesh)	Esas Kesme Kuvveti (Fz, N) (3B Kaba Mesh)	Esas Kesme Kuvveti (Fz, N) (3B İnce Mesh)
1	560	0.4	GGG50	CNGX 120712	1295	1490	1480	1140.5	1417.5
2	448	0.4	GGG50	CNGX 120713	1416	1528	1507	1483	1469.5
3	560	0.5	GGG50	CNGX 120714	1661	1870	1751	1874	1709
4	448	0.5	GGG50	CNGX 120715	1700	1900	1807	1919	1793
5	560	0.63	GGG50	CNGX 120716	2015	2256	2226	2471	2174.5
6	448	0.63	GGG50	CNGX 120717	2064	2273	2287	2430	2208
7	500	0.4	GGG50	CNGX 120718	1432	1544	1560	1476.5	1463
8	400	0.4	GGG50	CNGX 120719	1480	1580	1585	1428	1472.5
9	500	0.5	GGG50	CNGX 120720	1713	1876	1811	1863.5	1797.5
10	400	0.5	GGG50	CNGX 120721	1764	1978	1887	1833.5	1776.5
11	500	0.63	GGG50	CNGX 120722	2056	2232	2280	2476	2270.5
12	400	0.63	GGG50	CNGX 120723	2117	2347	2304	2240	2280.5
13	560	0.4	GG30	CNGX 120724	2229	1625	1951	2518	2395
14	448	0.4	GG30	CNGX 120725	2320	1689	2039	2553	2445
15	560	0.5	GG30	CNGX 120726	2592	2030	0	2910	3001
16	448	0.5	GG30	CNGX 120727	2709	2132	2331	3151	3073
17	560	0.63	GG30	CNGX 120728	3168	2509	0	3610	3645
18	448	0.63	GG30	CNGX 120729	3294	2712	2818	3689	3712
19	500	0.4	GG30	CNGX 120730	2367	1634	2076	2583	2480
20	400	0.4	GG30	CNGX 120731	2495	1758	2126	2658	2501
21	500	0.5	GG30	CNGX 120732	2827	1955	2415	3158	3186
22	400	0.5	GG30	CNGX 120733	2940	2513	2449	3258	3213
23	500	0.63	GG30	CNGX 120734	3372	2700	2876	3857	3801
24	400	0.63	GG30	CNGX 120735	3538	3194	2908	3932	3842

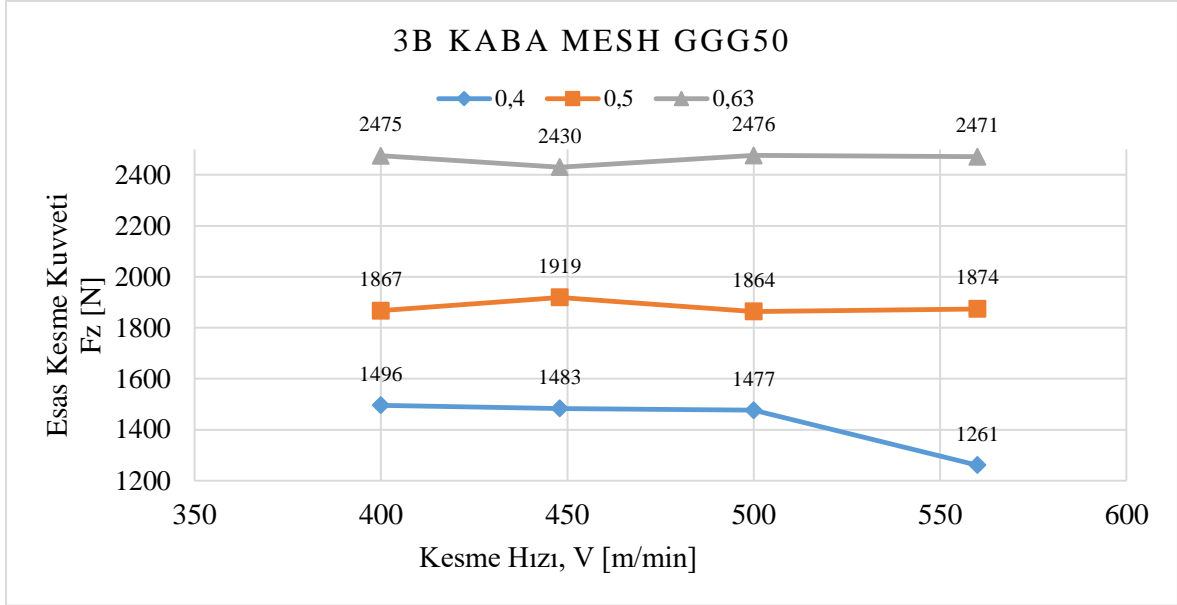


Şekil 6.18. Kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak kesme kuvvetlerinin GGG50 malzeme için 2B kaba mesh kullanılarak yapılmış simülasyon sonuçları

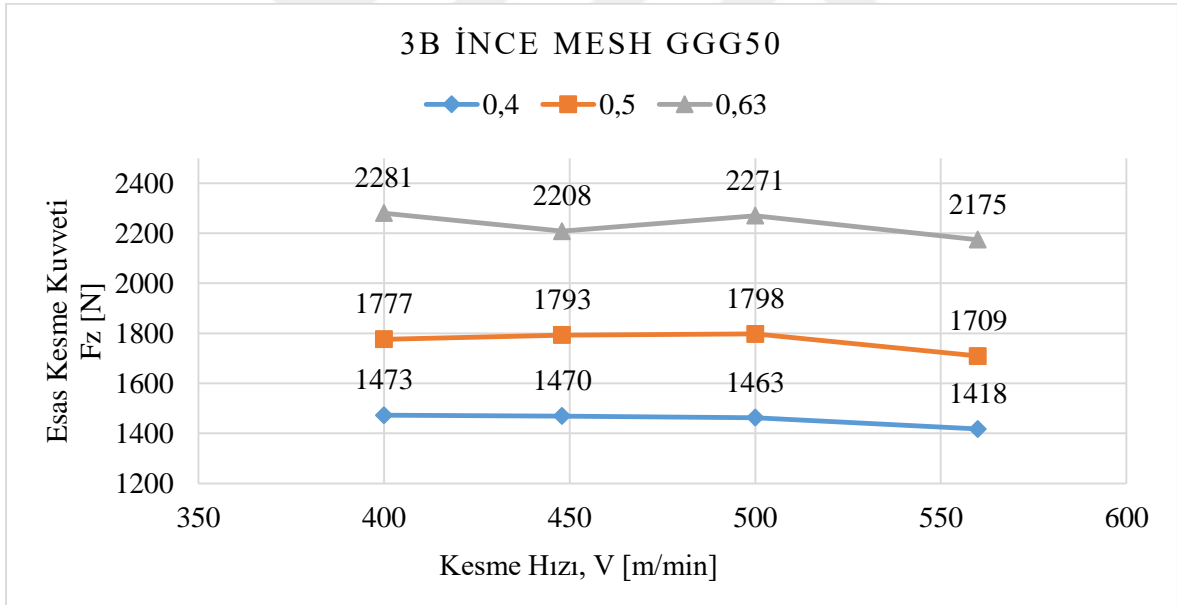


Şekil 6.19. Kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak kesme kuvvetlerinin GGG50 malzeme için 2B ince mesh kullanılarak yapılmış simülasyon sonuçları

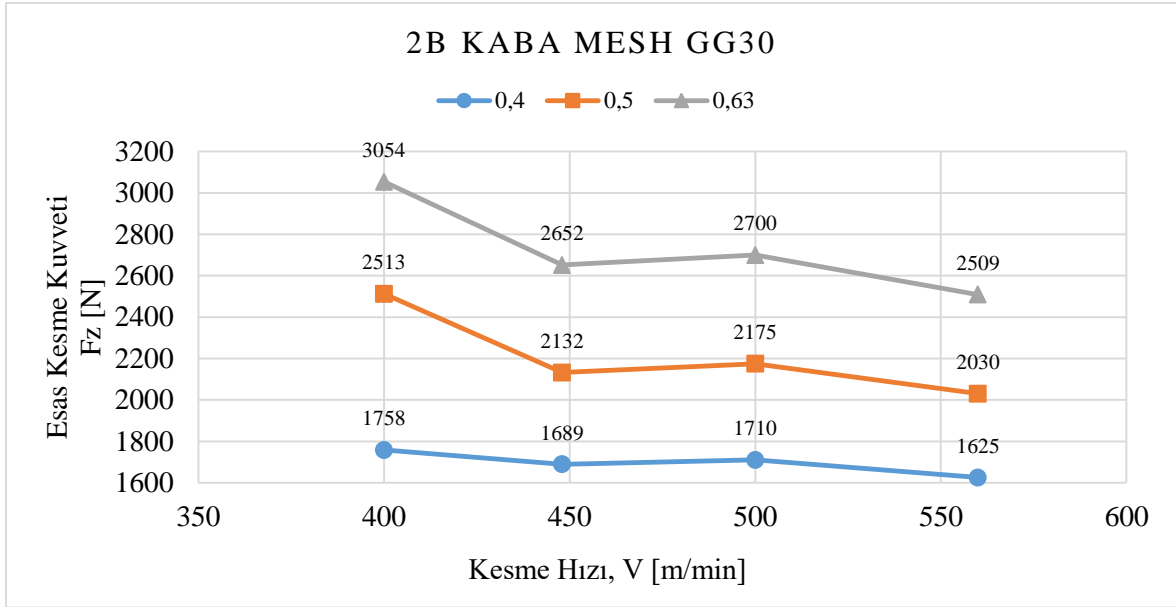




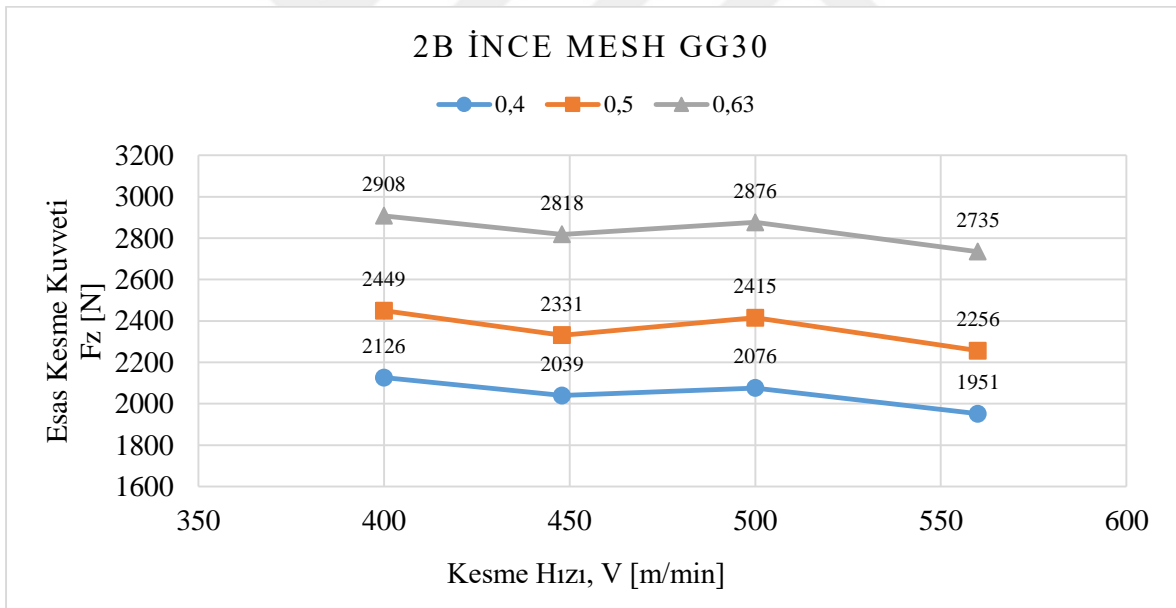
Şekil 6.20. Kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak kesme kuvvetlerinin GGG50 malzeme için 3B kaba mesh kullanılarak yapılmış simülasyon sonuçları



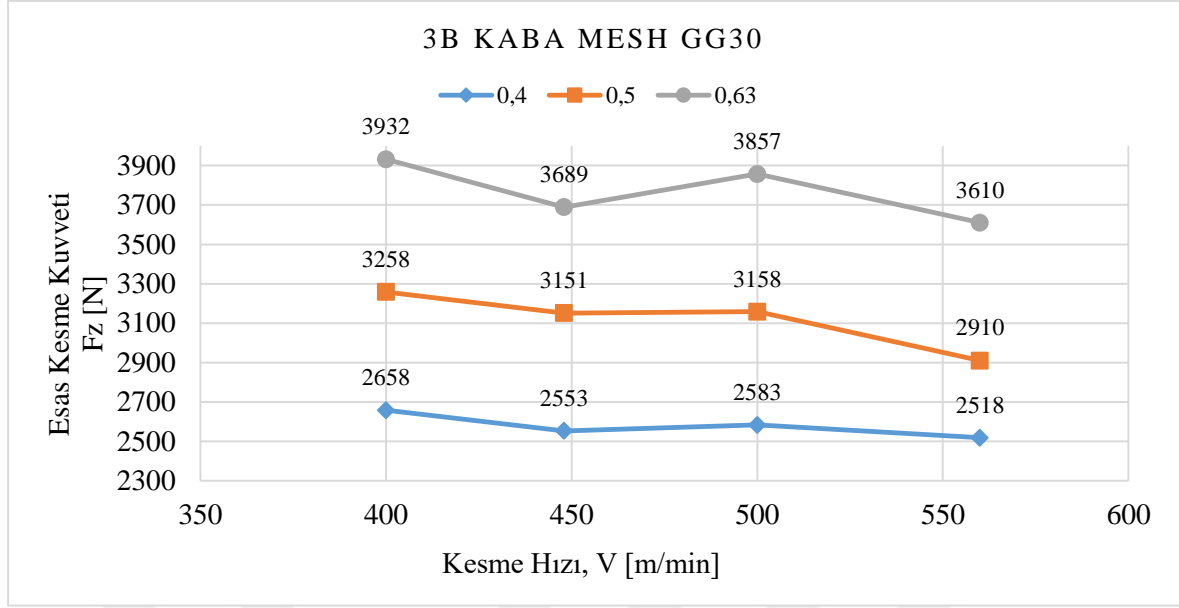
Şekil 6.21. Kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak kesme kuvvetlerinin GGG50 malzeme için 3B ince mesh kullanılarak yapılmış simülasyon sonuçları



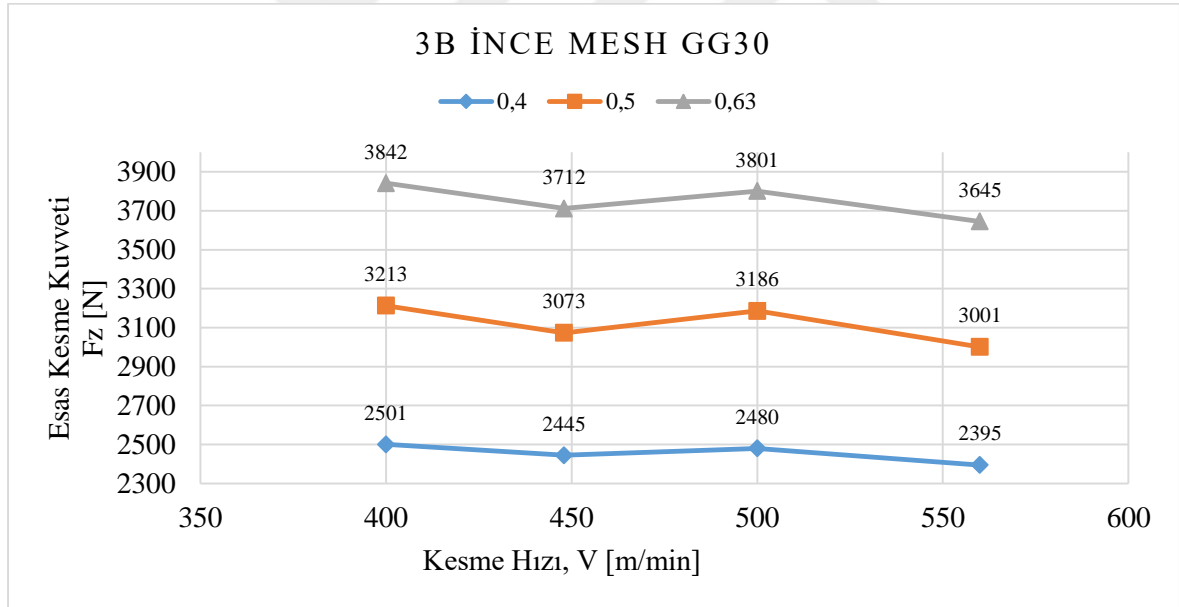
Şekil 6.22. Kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak kesme kuvvetlerinin GG30 malzeme için 2B kaba mesh kullanılarak yapılmış simülasyon sonuçları



Şekil 6.23. Kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak kesme kuvvetlerinin GG30 malzeme için 2B ince mesh kullanılarak yapılmış simülasyon sonuçları



Şekil 6.24. Kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak kesme kuvvetlerinin GG30 malzeme için 3B kaba mesh kullanılarak yapılmış simülasyon sonuçları



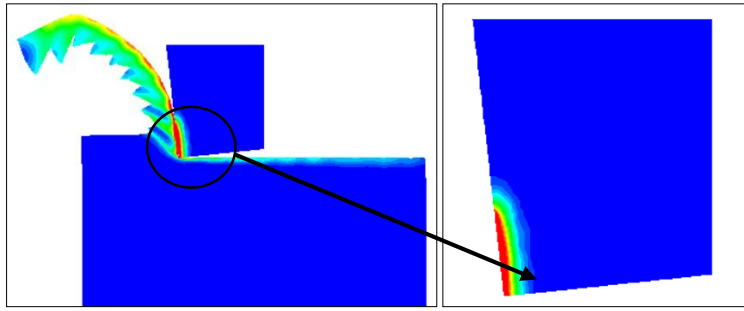
Şekil 6.25. Kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak kesme kuvvetlerinin GG30 malzeme için 3B ince mesh kullanılarak yapılmış simülasyon sonuçları

Yapılan simülasyon çalışmaları ile deneysel çalışmalar eğilim olarak oldukça yakın sonuçlar vermektedir. Artan ilerleme miktarına bağlı olarak her iki malzeme içinde kesme kuvvetlerinin arttığı kesme hızına bağlı olarak azaldığı gözlemlenmiştir. GG30 malzemede oluşan kesme kuvvetleri GGG50 malzemeye göre oldukça yüksek çıkarak deneysel verilerle paralellik göstermiştir. İki boyut ile üç boyutta yapılan analizler arasında ki temel fark burun

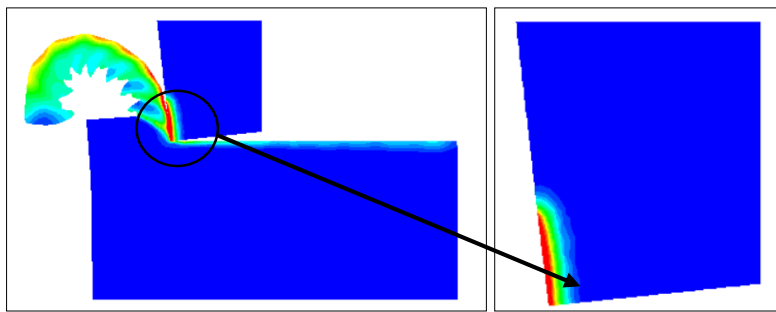
radiusunun iki boyuttaki çözümde göz ardı edilmesi ve iki boyuttaki çözümde iki eksendeki kesme kuvvetleri alınabiliyorken üç boyutta üç eksendeki kesme kuvvetleri alınabilmektedir. Mesh kalitesi arttıkça çözümlerin gerçeğe daha da yakınsadığı fakat buna paralel olarak çözüm sürecinin arttığı gözlemlenmiştir. Mesh boyutundaki artışın bir yerden sonra sonuçları değiştirmedığı gözlemlenmiştir. İki boyut ve üç boyut ince mesh arasında ki sonuç farkı %10 geçmemektedir. Kısa sürede sonuçlar elde edilmek istendiğinde iki boyutlu kaba meshin %15 fark ile çözüme ulaştığı görülmüştür.

### 6.2.2. Kesme işlemi sırasında takımda oluşan sıcaklığın incelenmesi

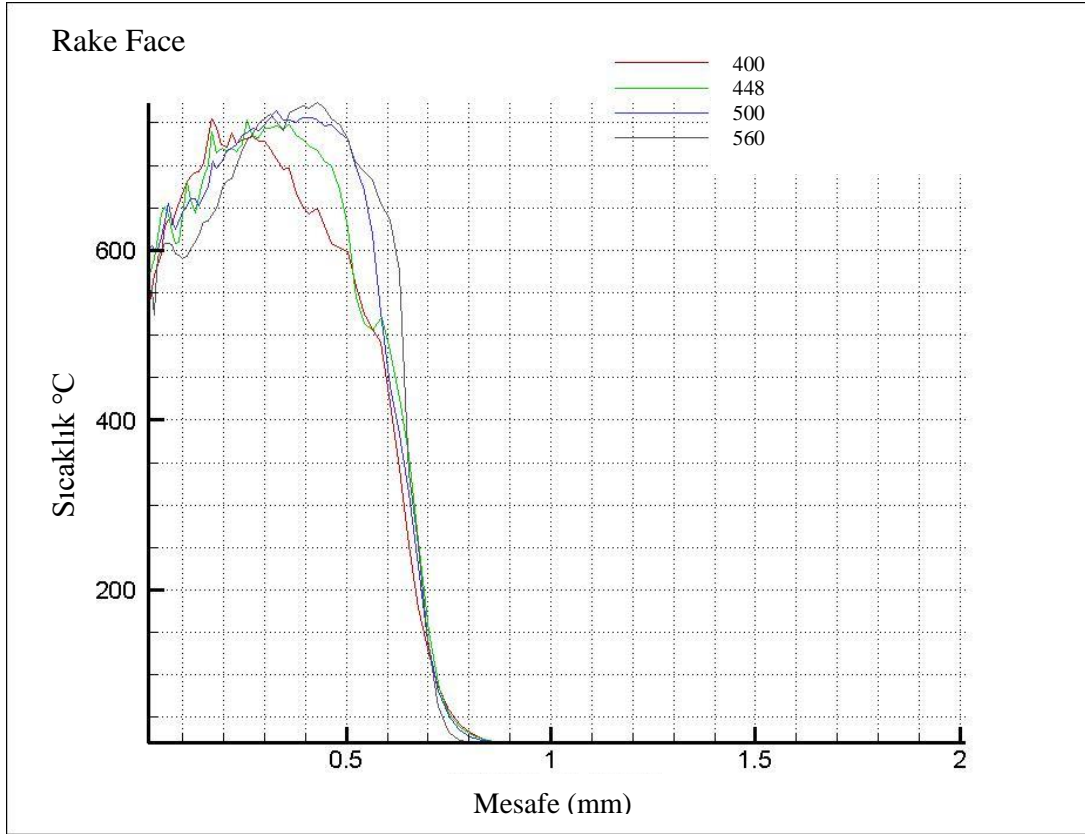
Yapılan simülasyonlar sonucunda takım ve iş parçasında oluşan sıcaklıklar elde edilmiştir. GGG50 malzeme için Şekil 6.28, Şekil 6.29 ve Şekil 6.30'da rake yüzeyindeki ısı oluşumu mesafeye bağlı olarak verilmiştir. GG30 malzeme için Şekil 6.31, Şekil 6.32 ve Şekil 6.33'te talaş yüzeyindeki ısı oluşumu mesafeye bağlı olarak verilmiştir. Elde edilen veriler incelendiğinde kesme hızına bağlı olarak sıcaklığın arttığı ve artan ilerleme hızına bağlı olarak takım yüzeyinde yüksek sıcaklığın etki ettiği bölge genişlemiştir dolayısıyla sıcaklığın daha geniş bir alana yayıldığı görülmüştür.



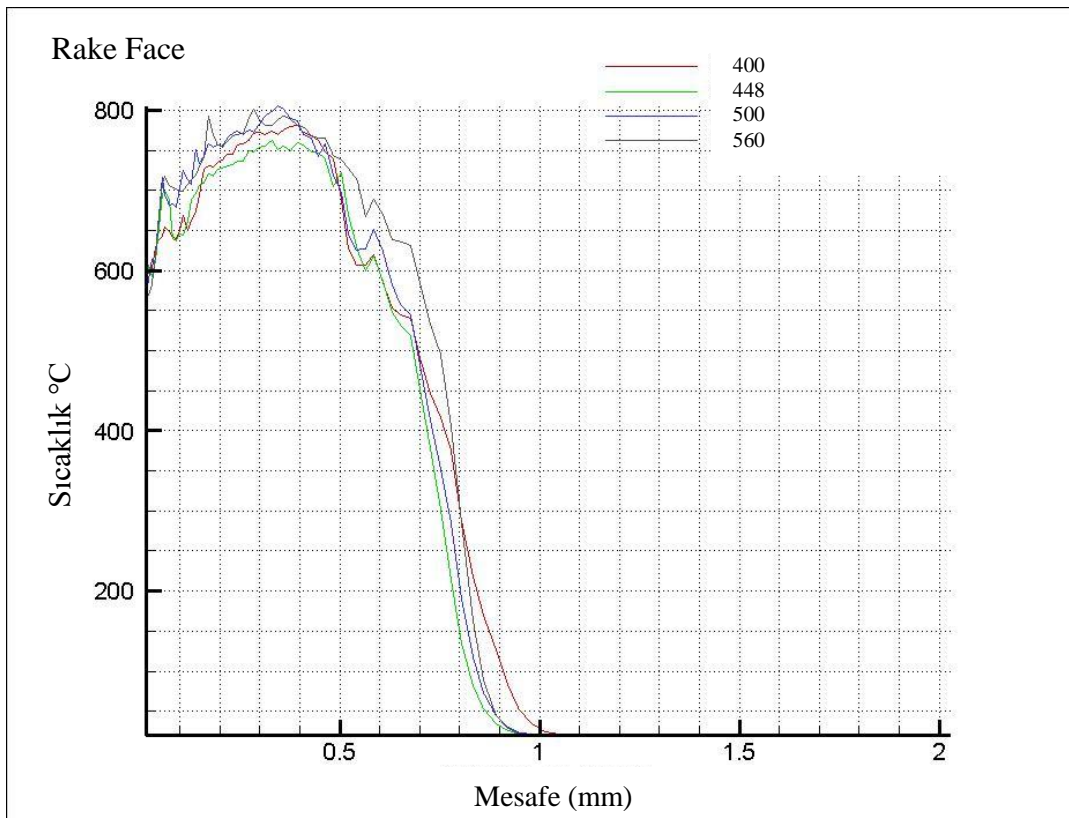
Şekil 6.26. Kesme işlemi sırasında takım ve iş parçasında oluşan sıcaklık (GGG50)



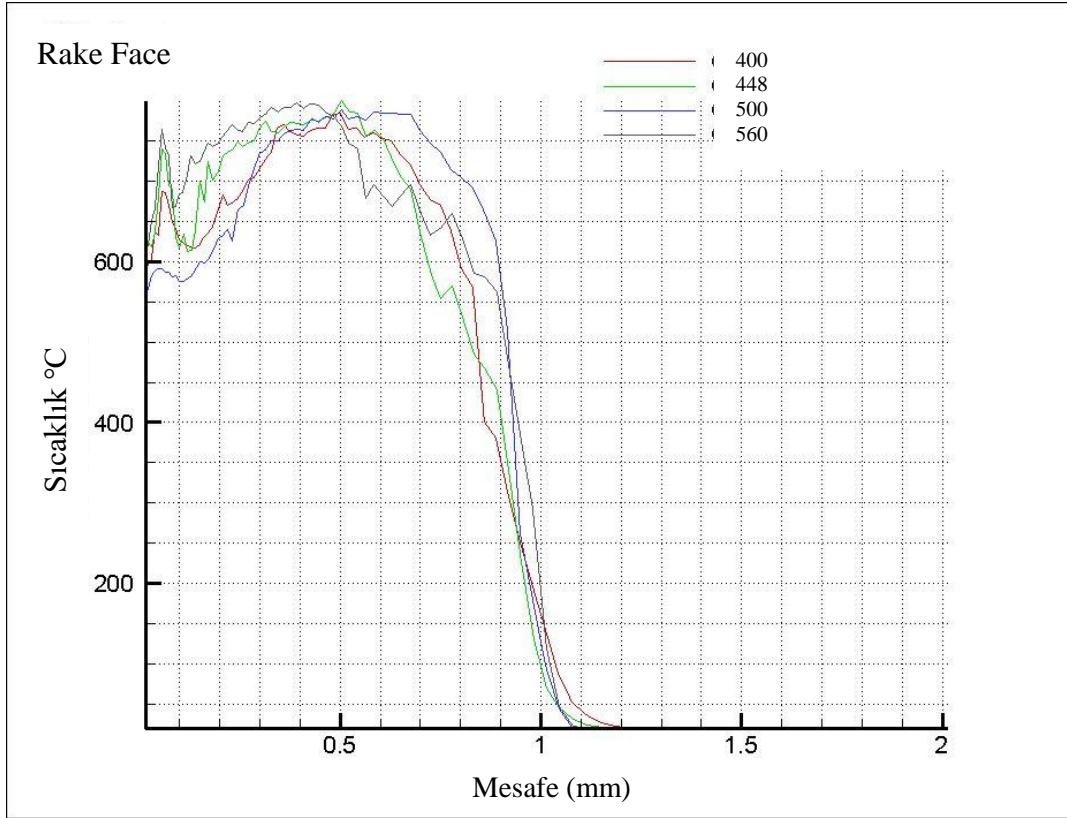
Şekil 6.27. Kesme işlemi sırasında takım ve iş parçasında oluşan sıcaklık (GG30)



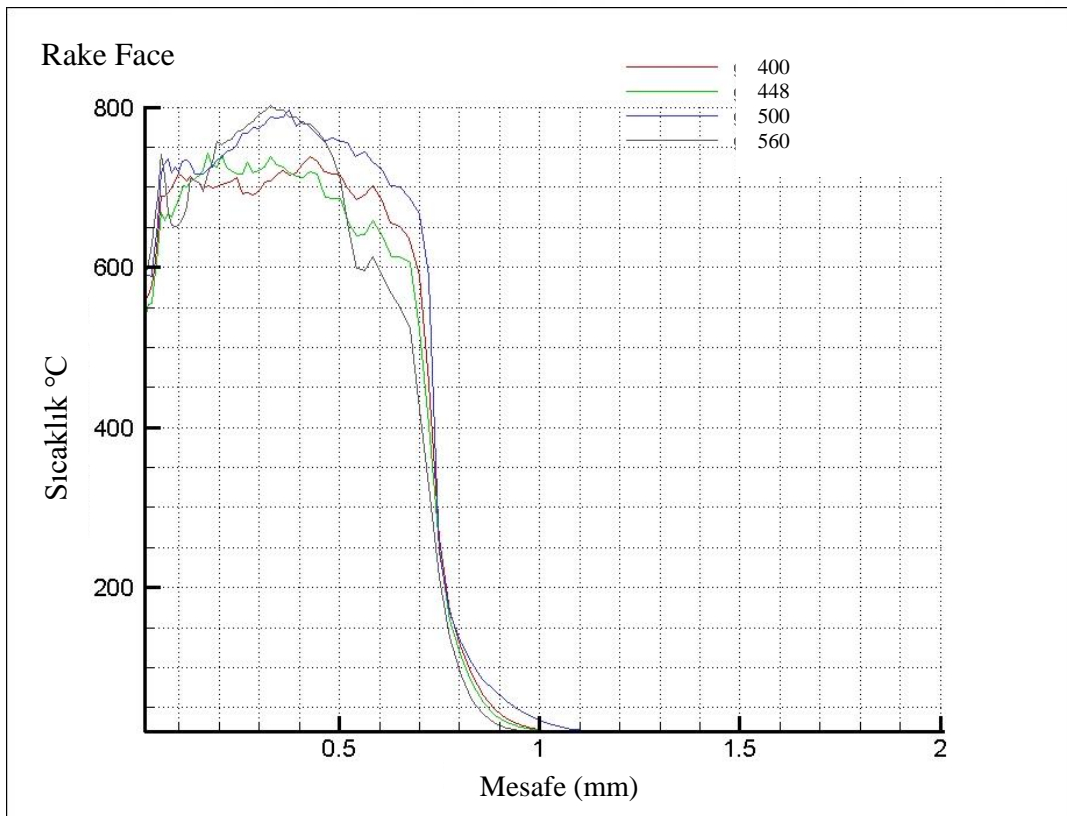
Şekil 6.28. 0.4 ilerlemede takım talaş yüzeyi boyunca oluşan ısı dağılımı (GGG50)



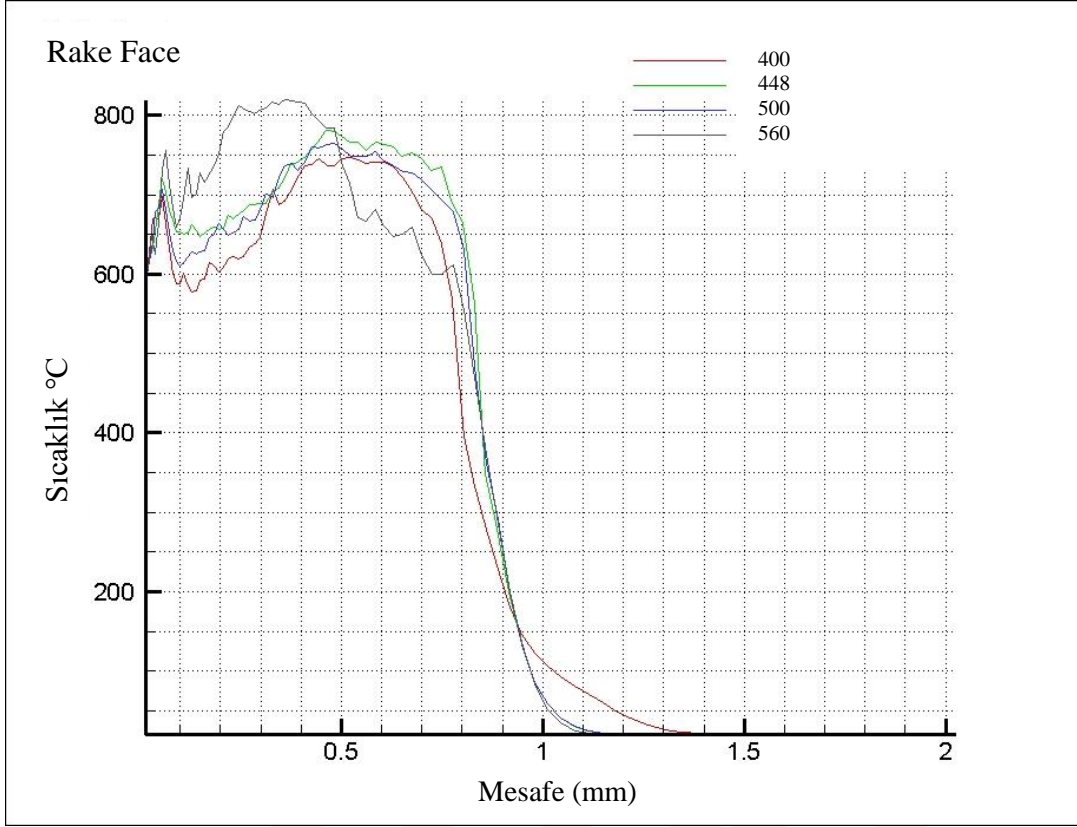
Şekil 6.29. 0.5 ilerlemede takım talaş yüzeyi boyunca oluşan ısı dağılımı (GGG50)



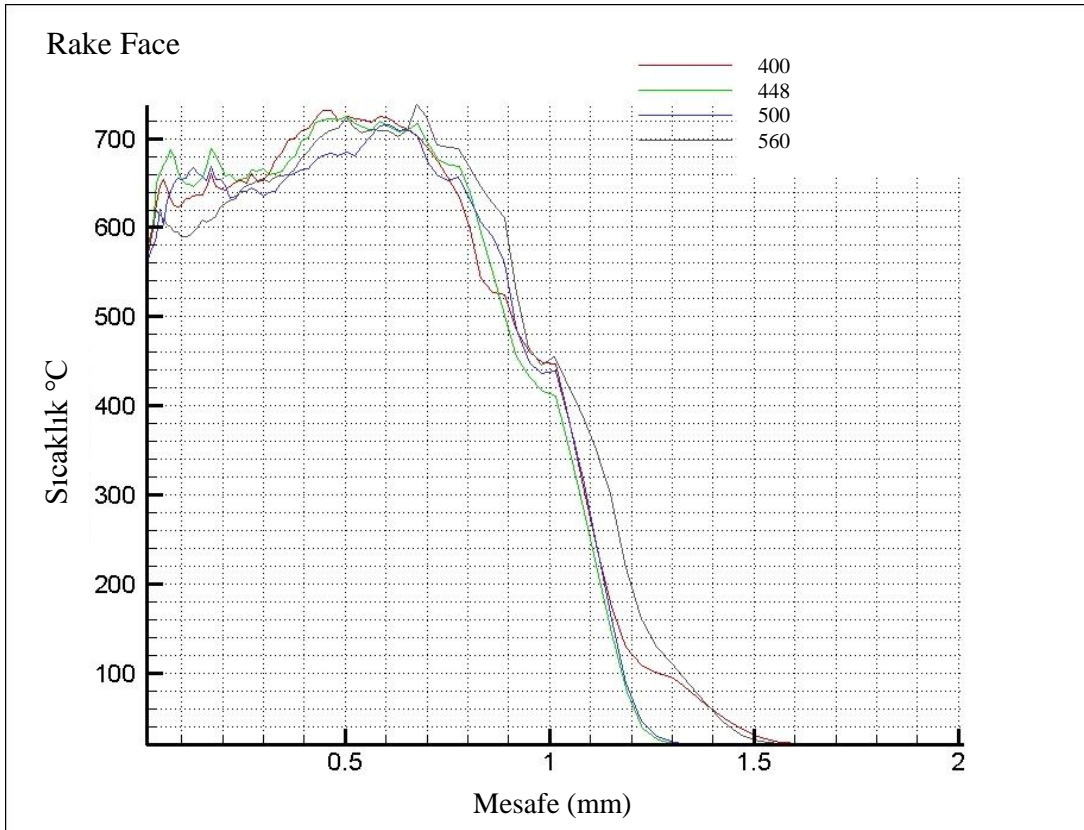
Şekil 6.30. 0.63 ilerlemede takım talaş yüzeyi boyunca oluşan ısı dağılımı (GGG50)



Şekil 6.31. 0.4 ilerlemede takım talaş yüzeyi boyunca oluşan ısı dağılımı (GGG30)



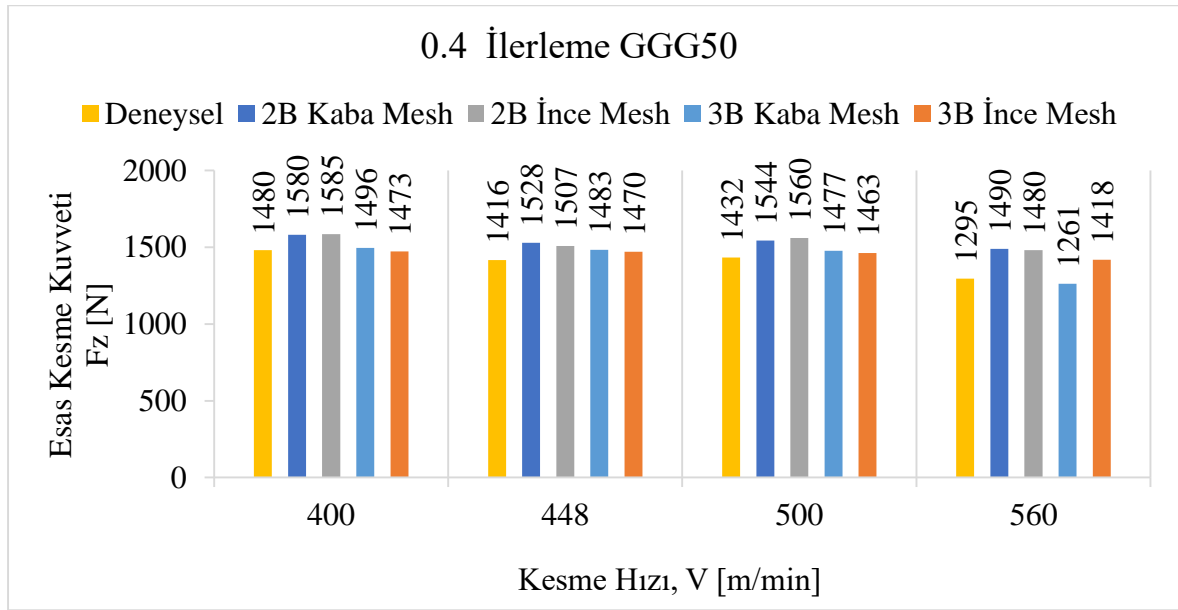
Şekil 6.32. 0.5 ilerlemede takım talaş yüzeyi boyunca oluşan ısı dağılımı (GG30)



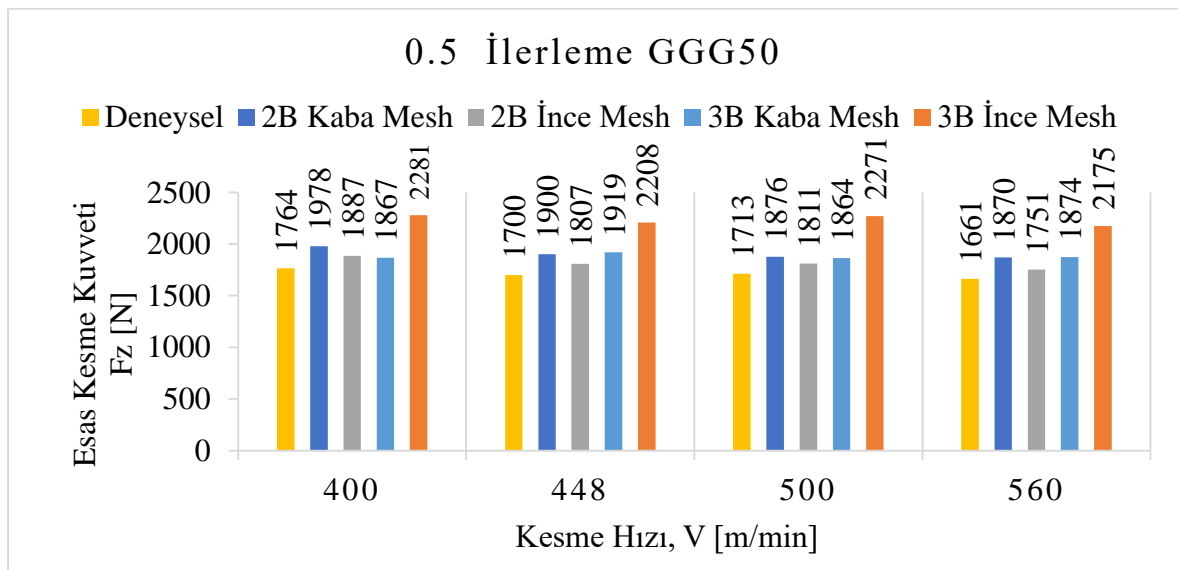
Şekil 6.33. 0.63 ilerlemede takım talaş yüzeyi boyunca oluşan ısı dağılımı (GG30)

### 6.3. Deneysel Sonuçları ve Simülasyon Sonuçlarının Karşılaştırılması

Elde edilen simülasyon verileri ile deneysel veriler karşılaştırılmış olup GGG50 malzeme için farklı ilerleme hızlarındaki sonuçlar Şekil 6.34, Şekil 6.35 ve Şekil 6.36'de, GG30 malzeme için Şekil 6.37, Şekil 6.38 ve Şekil 6.39'da verilmiştir. Veriler incelendiğinde en doğru sonucun 3B ince mesh'in verdiği ve oluşan hatanın yaklaşık %15'in üzerine çıkmadığı görülmüştür. Aynı zamanda iki boyutlu ince mesh'in sonuçları çözüm süresi bakımından çok daha kısa sürdüğünden ön tahminler için kullanılabileceği görülmüştür.

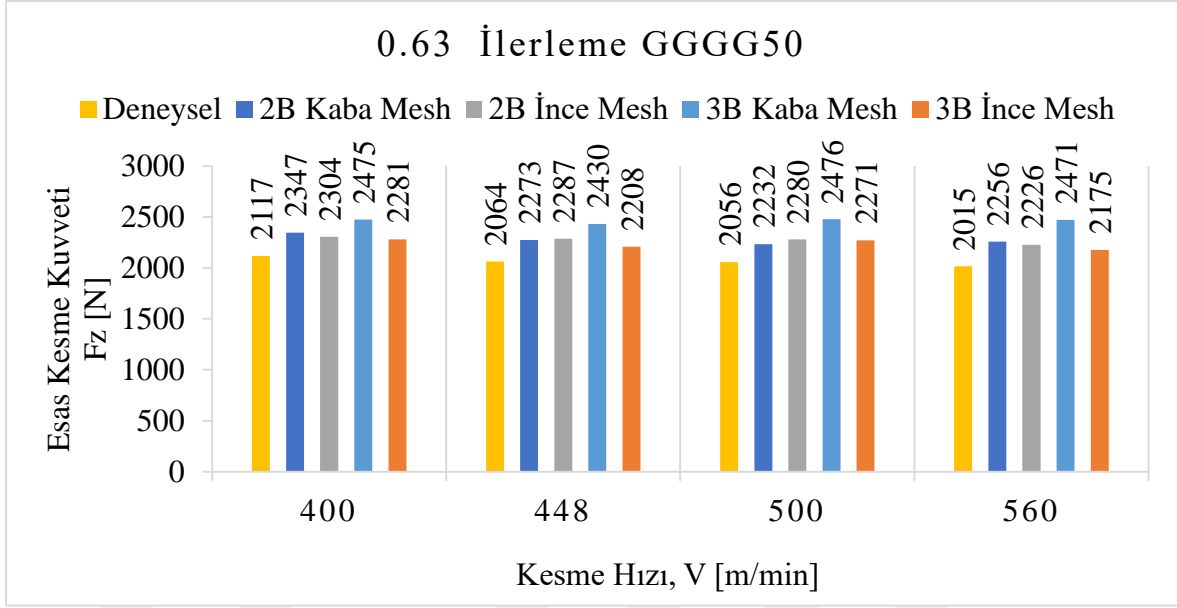


Şekil 6.34. 0.4 İlerlemede deney sonuçları ile simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması

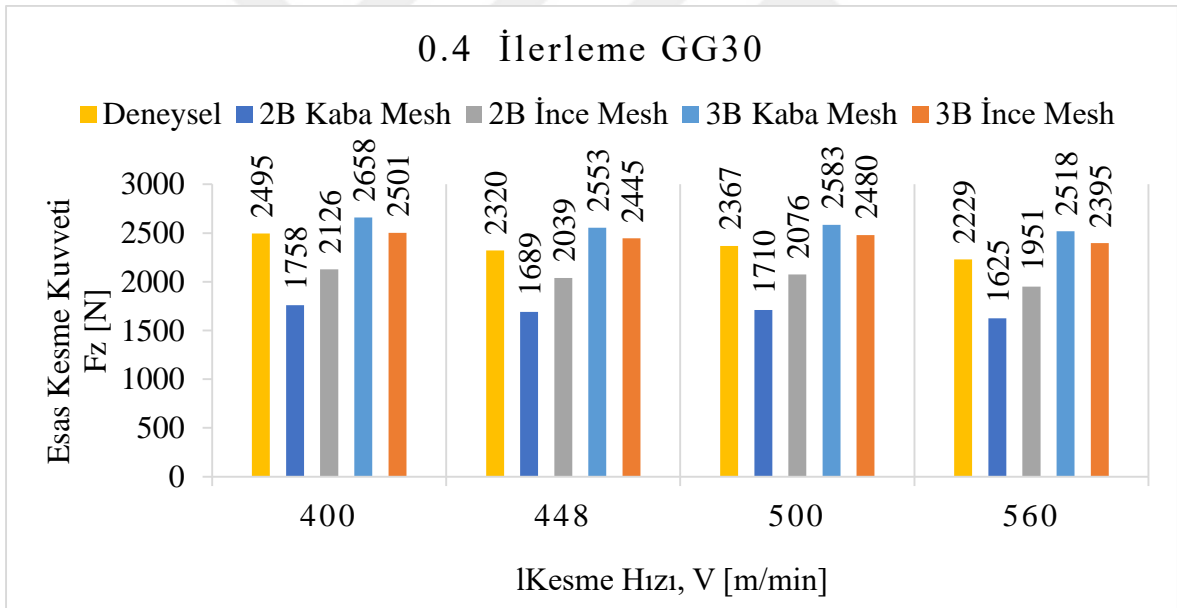


Şekil 6.35. 0.5 İlerlemede deney sonuçları ile simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması

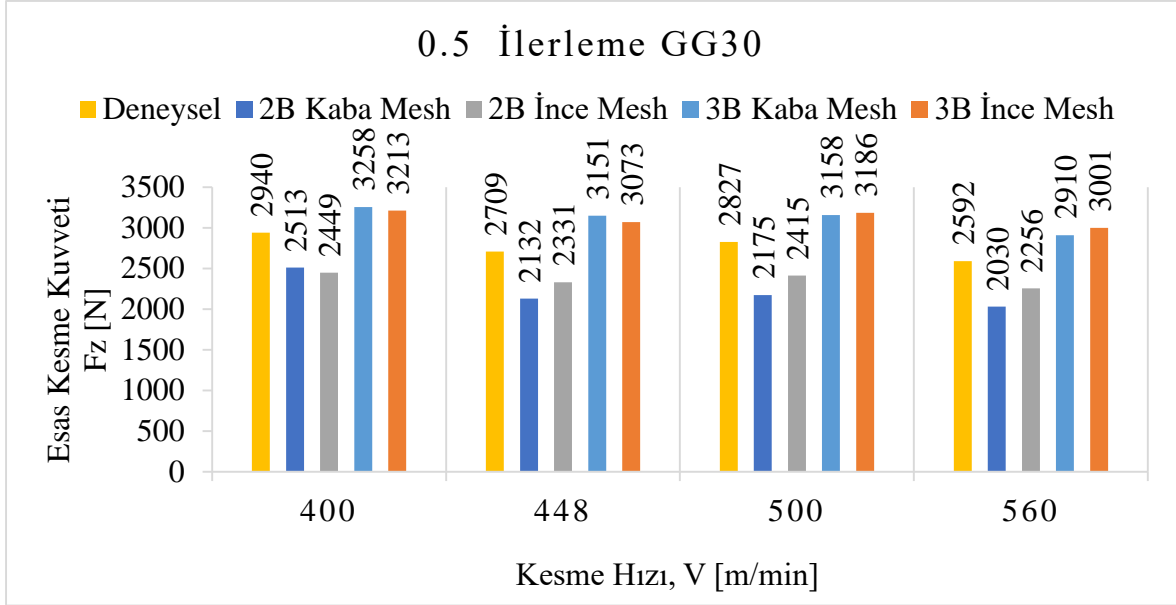




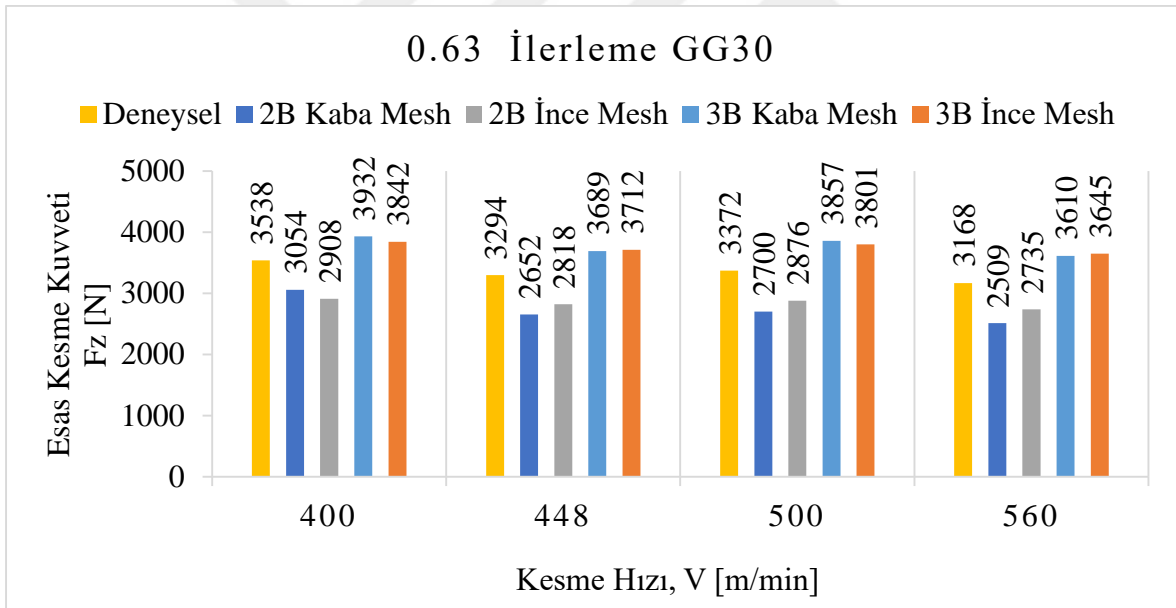
Şekil 6.36. 0.63 İlerlemede deney sonuçları ile simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 6.37. 0.4 İlerlemede deney sonuçları ile simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 6.38. 0.5 İlerlemede deney sonuçları ile simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 6.39. 0.63 İlerlemede deney sonuçları ile simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması

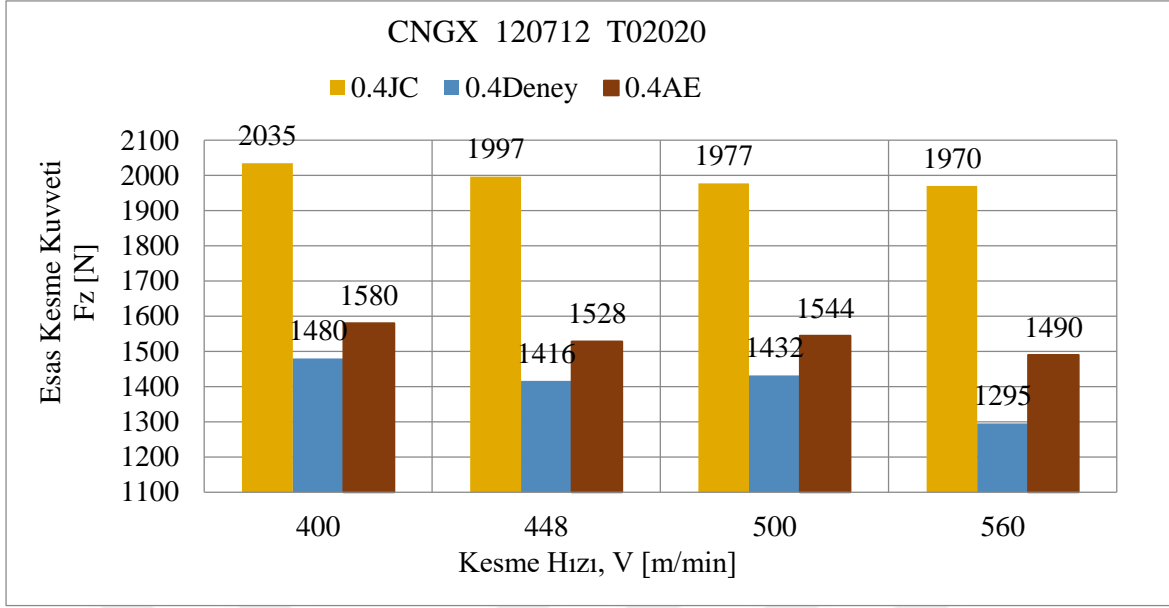
#### 6.4. Advantedge Malzeme Modeli ile JC Malzeme Modelinin Karşılaştırılması

Literatürde talaş kaldırma simülasyonlarının modellenmesinde yaygın olarak kullanılan Johson-Cook malzeme sabitleriyle Çizelge 5.10'da tanımlanmış malzemeler ile iki boyutlu kaba mesh şartlarında analizler yapılmış olup, bu analizler deneysel çalışmalar referans alınarak Advantedge yazılımının kendi kütüphanesi kullanılarak yapılan analizlerle karşılaştırılmak istenmiştir. Bu amaçla aşağıdaki çizelgeler hazırlanmıştır. Her bir çizelge

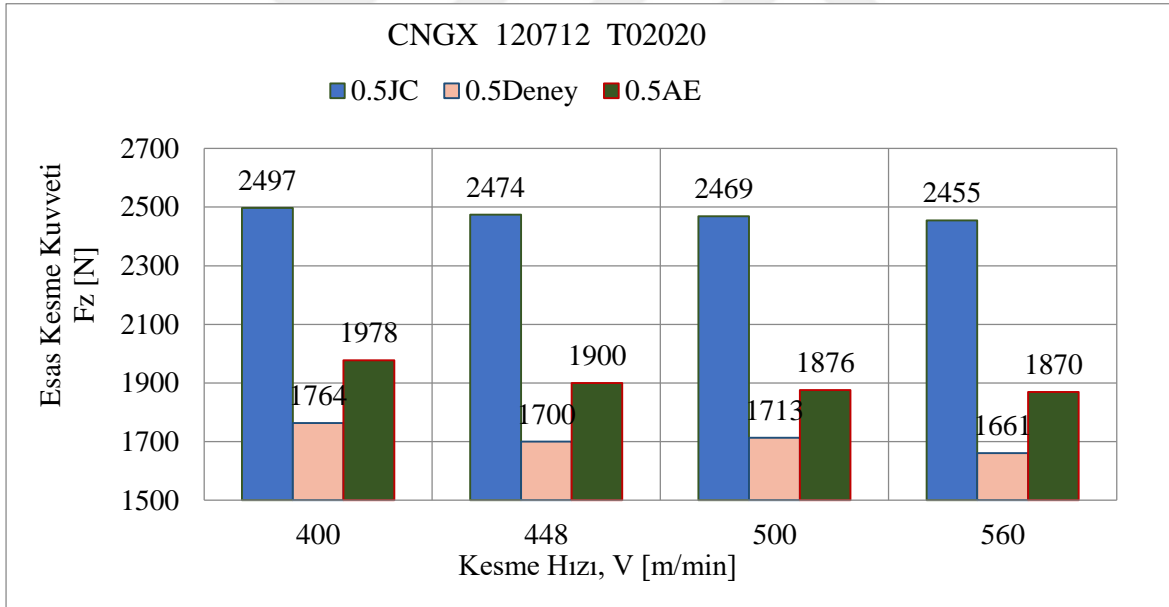
bir ilerleme hızını referans olarak kesme hızına bağlı olarak esas kesme kuvvetlerinin değişimini üç durum için vermektedir. Çizelgeler incelendiğinde üç durumunda benzer eğilim gösterdiğini (Artan ilerleme hızıyla kesme kuvvetinin artması, Artan kesme hızı ile kesme kuvvetinin azalması) fakat JC malzeme sabitleriyle tanımlanmış simülasyon sonuçlarının deneysel verilerden oldukça farklı olduğu görülmüştür. Çizelge 6.10'da Her iki simülasyon sonucunun deneysel verilere göre ortalama yüzde değerleri verilmiştir. JC parametrelerinin kullanıldığı simülasyonun deneysel verilerden %45'lere varan farkın oluşmasının sebebi; ilgili malzemeler için kullanılan sabitlerin küresel grafitli dökme demir ve gri dökme demir şeklinde geniş bir ürün gurubunu tanımlayacak şekilde belirtilmiş olması. Dolayısıyla ilgili sabitler deneylerde kullanılan GGG50 ve GG30 malzemenin davranışını doğru bir şekilde tanımlayamıyor. Oysaki Advantedge yazılımının kütüphanesinde doğrudan GGG50 ve GG30 malzemelerin özelliklerinin tanımlı olması nedeniyle malzemelerin davranışları gerçeğe yakın olarak modellenilebiliyor. Böylelikle deneysel verilere daha yakın sonuçlar elde etmemize olanak sağlıyor.

Çizelge 6.11. JC malzeme sabitlerinin kullanıldığı simülasyon ile Advantedge yazılımının kütüphanesindeki malzemelerin kullanıldığı simülasyonun deneysel verilere göre yüzdeleri

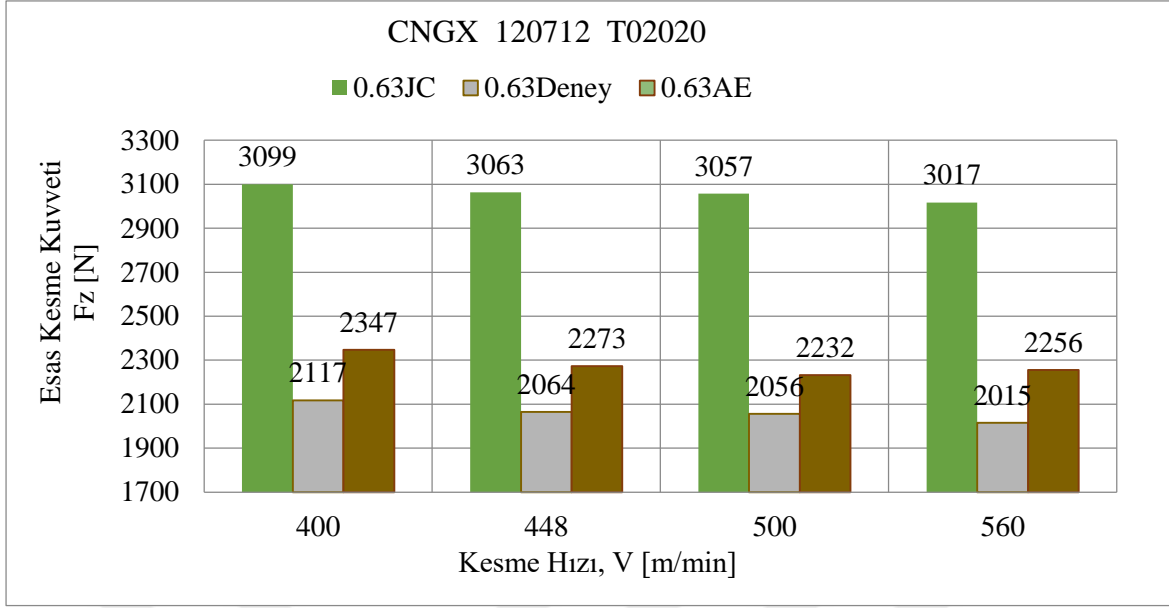
		0.4	0.5	0.63
JC	GGG50	%30	%29	%34
	GG30	%-45	%-45	%-42
AE	GGG50	%-8	%-10	%-9
	GG30	%-30	%-20	%-18



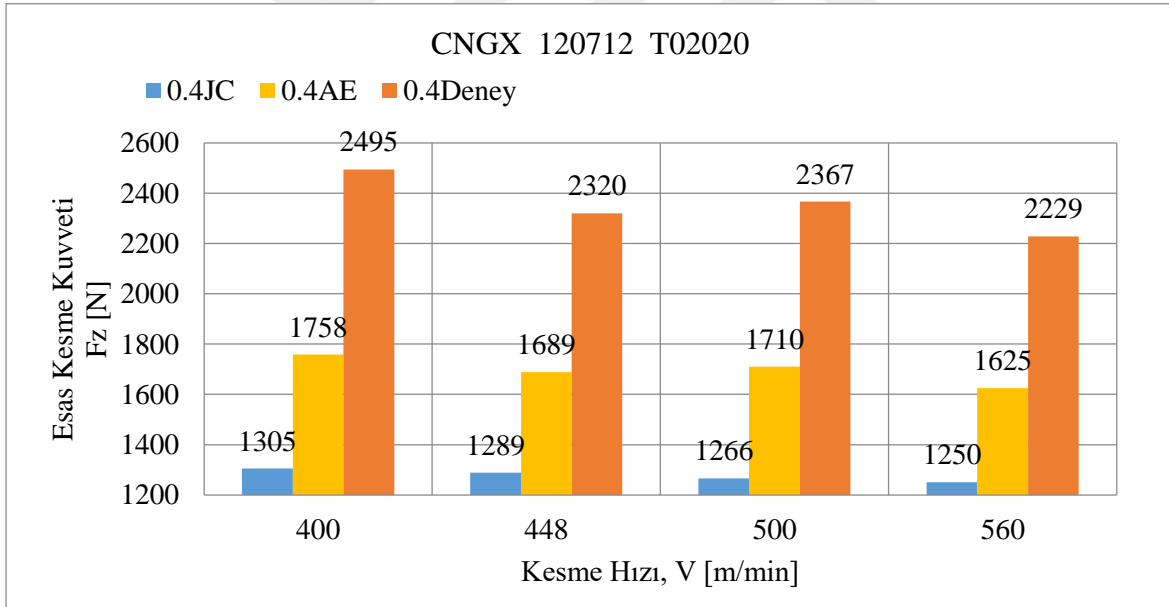
Şekil 6.40. 0.4 İlerlemede JC parametrelili GGG50 malzeme ile AE kütüphanesinde tanımlı olan GGG50 malzemenin deneysel veriler referans alınarak karşılaştırılması



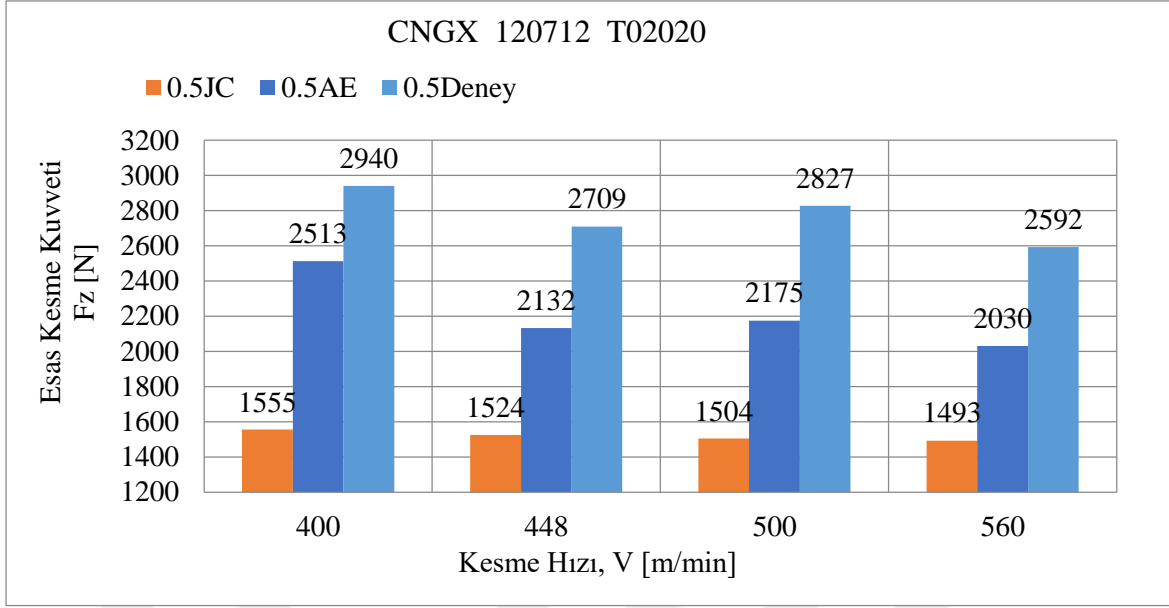
Şekil 6.41. 0.5 İlerlemede JC parametrelili GGG50 malzeme ile AE kütüphanesinde tanımlı olan GGG50 malzemenin deneysel veriler referans alınarak karşılaştırılması



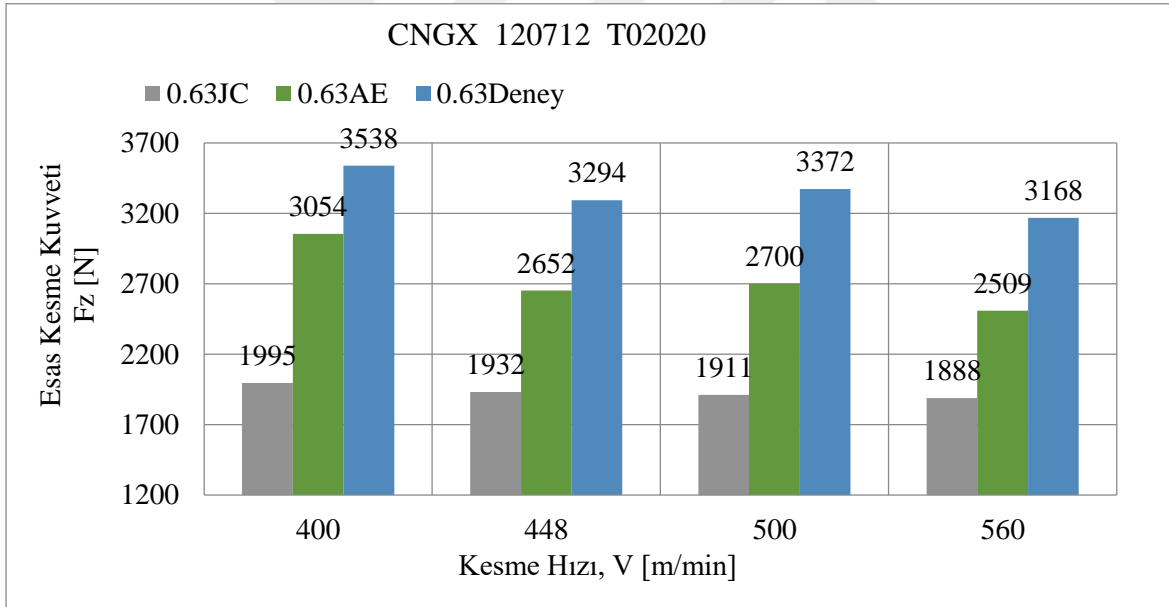
Şekil 6.42. 0.63 İlerlemede JC parametrelili GGG50 malzeme ile AE kütüphanesinde tanımlı olan GGG50 malzemenin deneysel veriler referans alınarak karşılaştırılması



Şekil 6.43. 0.4 İlerlemede JC parametrelili GG30 malzeme ile AE kütüphanesinde tanımlı olan GG30 malzemenin deneysel veriler referans alınarak karşılaştırılması



Şekil 6.44. 0.5 İlerlemede JC parametrelili GG30 malzeme ile AE kütüphanesinde tanımlı olan GG30 malzemenin deneysel veriler referans alınarak karşılaştırılması



Şekil 6.45. 0.63 İlerlemede JC parametrelili GG30 malzeme ile AE kütüphanesinde tanımlı olan GG30 malzemenin deneysel veriler referans alınarak karşılaştırılması



## 7. SONUÇLAR

Bu çalışmada GG30 ve GGG50 dökme demir malzemeler, Dört farklı kesme, üç farklı ilerleme hızında ve iki farklı takım uç radyusu kullanılarak kuru işleme şartlarında işlenebilirlik deneyleri yapılmıştır. Aynı zamanda sonlu elemanlar yazılımı kullanılarak torna tezgâhında işlenmesi sırasında oluşan kesme kuvvetleri ve takım iş parçası arasındaki kesme sıcaklıkları elde edilmiştir. Elde edilen deney verileri ve simülasyon çıktıları detaylı olarak incelenmiş ve kıyaslaması yapılmıştır.

### 7.1. Deney Verilerinin Değerlendirilmesi

Dökme demir malzemelerin farklı kesme parametreleriyle tornalanmasından sonra, deney numunelerinde yapılan ölçümlerin sonucunda kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülükleri ve takım aşınması ile ilgili elde edilen bilgiler değerlendirildiğinde aşağıda belirtilen sonuçlara varılmıştır.

- Artan ilerleme ve kesme hızı ile yüzey pürüzlülük değerinin arttığı gözlenmiştir. Tüm deneylerde pürüzlülük değeri, 0,63 mm/rev ilerleme değerinde en yüksek olduğu görülmüştür.
- İlerlemenin yüzey pürüzlülüğüne etkisinin kesme hızından daha etkili olduğu tespit edilmiştir.
- İlerleme hızı ile yüzey pürüzlülüğü arasında doğru orantılı bir ilişki gözlemlenmiştir. İlerlemenin artmasıyla yüzey pürüzlülüğü de artış gösterdiği eşitlik 6.3'e paralel bir şekilde görülmüştür.
- Uç radyusu ile yüzey pürüzlülüğünü arasında, eşitlik 6.3'e benzer olarak ters orantı gözlemlenmemiştir.
- İlerleme hızı ile takım aşınması arasında ters orantılı bir ilişki gözlemlenmiş olup ilerlemenin artmasıyla takım aşınmasında azalma görülmüştür.
- Artan kesme hızına bağlı olarak başlangıçta aşınma miktarı azalmış bir değerden sonra tekrar artmıştır. En ideal kesme hızı 448 ile 500 m/min arasında olduğu görülmüştür.
- GG30 malzemenin işlenmesinde GGG50 malzemeye göre çok daha fazla takım aşınması meydana gelmiştir.
- Kullanılan kesici takım uç radyusunun aşınmayı neredeyse hiç etkilemediği görülmüştür.



- İlerleme miktarı ve talaş derinliği tarafından oluşturulan talaş kesit alanı, kesme kuvvetlerini belirleyen en önemli faktördür. Literatüre uygun olarak, ilerleme miktarı arttıkça her iki takım uç radyusu içinde esas kesme kuvveti artmıştır.
- Kesme hızındaki artış her iki takım uç radyusu için de literatüre uygun olarak çoğunlukla esas kesme kuvvetinde azalmaya sebep olmuştur.
- İki farklı takım uç radyusu için esas kesme kuvvetinde belirgin bir farklılık gözlemlenmemiştir.
- GG30 malzemede oluşan kesme kuvvetleri GGG50 malzemeye göre çok daha fazla çıkmıştır.

#### **7.4. Simülasyon Sonuçlarının Değerlendirilmesi**

GG30 ve GGG50 dökme demirin farklı kesme parametreleriyle tornalanması bilgisayar ortamında iki boyutlu, üç boyutlu ve farklı mesh yoğunluklarında çözülmüş olup, elde edilen veriler detaylı olarak incelendiğinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- Advantedge kütüphanesi kullanılarak elde edilen kesme kuvvetleri değerleri deney sonuçları ile karşılaştırılınca birbirlerine oldukça yakın olduğu görülmüştür.
- Talaş kaldırma simülasyon yazılımlarının kütüphanesinin bir çok malzemeyi barındırması yapılan simülasyonlarında malzeme davranışının modellenmesindeki hatayı azalttığı görülmüştür.
- Bilgisayar ortamında tezgâhtaki işleme parametrelerini kullanarak talaş kaldırma işlemi için optimum değerlere ulaşılabileceği sonucuna varılmıştır. Böylelikle maliyetli ve uzun süren deneylere bağlılık azalabilmektedir.
- Talaş kaldırma işleme sırasında oluşan sıcaklık, kuvvetler, takım ve iş parçasında oluşan gerilmeler gibi pek çok sonucun yol gösterici bir şekilde elde edilebileceği görülmüştür.

## KAYNAKLAR

- A247-16a, A. (2016). *Standart Test Method for Evaluating the Microstructure of Graphite in Iron Castings*. West Conshohocken: ASTM International.
- Advantedge Software. (2017). *Theoretical Manual, Version 7.1*. Third-wave Systems.
- Akkurt, M. (1992). *Talas Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları*. İstanbul: Birsen.
- Akman, C. (2006). *GG 22 Lamel Grafitli Dökme Demirden Üretilen Motor Silindir Gömleklerinin CNC Torna Tezgahında İşlenebilirliğinin İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.
- Akram, S., Jaffery, S. H., Khan, M., Mubashar, A. and 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 Materials, Mechanics and Manufacturing*, 3(1), 26-30.
- American Welding Society. (1984). *Welding Handbook* (Cilt 4). United States: American Welding Society
- Anayurt, M., Ferizoğlu, T., Öztürk, Ş., Sadioğlu, S. ve Erkeksoy. (1994). *Demir Döküm Teknolojisi*. Ankara: KOSGEB Dökümhane Geliştirme İhtisas Merkezi.
- Askeland, D. R., Fulay, P. P. and Wright, W. J. (2010). *The Science and Engineering of Materials* (6. b.). Stamford: CL Engineering.
- Aubram, D. (2014). Über die Berücksichtigung großer Bodendeformationen innumerischen Modellen. Dresden: *Vorträge zum Ohde-Kolloquium*, 109-122.
- Aubram, D., Rackwitz, F., Wriggers, P. and Savidis, S. A. (2015). An ALE method for penetration into sand utilizing optimization-based mesh motion. *Computers and Geotechnics*, 65, 241-249.
- Bayrak, M. (2002). *Kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi ve uzman sistemle karşılaştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Belytschko, T., Liu, W. K. and Moran, B. (2000). *Nonlinear finite elements for continua and structures*. Chichester: John Wiley.
- Benson, D. (1992). Computational methods in Lagrangian and Eulerian hydrocodes. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 99, 235-394.
- Bil, H., Tekkaya, A. E., Kılıç, S. E. (2005). *2d fe modelling of machining: a comparison of different approaches with experiments*. 8. International Conference on Computational Plasticity. Barcelona, Cimne.
- Bilici, M. K. (2004). *Alaşımız dökme demirlerin aşınma özelliği*. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Callister, W., Rethwisch, D. (2014). *Malzeme Bilimi ve Mühendisliği*. İstanbul: Nobel.
- Campbell, F. (2008). *Elements of Metallurgy and Engineering Alloys*. Ohio: ASM International.
- Camuşcu, N. (2006). Effect of cutting speed on the performance of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> based ceramic tools in turning nodular cast iron. *Materials and Design* 27, 997–1006.
- Chen, Z., Qin, L.f., Yang, L.j. (2015). *Cutting Force Simulation of Titanium based on DEFORM-3D*. 3rd International Conference on Material, Mechanical and Manufacturing Engineering (IC3ME) (s. 1846-1849). Guangzhou, China: Atlantis.
- Chen, Z., Qin, L.f., Yang, L.j. (2015). *Cutting Force Simulation of Titanium Based on DEFORM-3D*. 3rd International Conference on Material, Mechanical and Manufacturing Engineering (IC3ME) (s. 1846-1849). Guangzhou, China: Atlantis.
- Çavuşoğlu, E. N. (1981). *Döküm Teknolojisi I*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Çavuşoğlu, E. N. (1992). *Döküm Teknolojisi I*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Kimya - Metalurji Fakültesi Ofset Atölyesi.
- Çiftçi, İ. (2007). *Kesici takımlar ve kesme teorisi*. Lisans Ders Notları, Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Karabük, 22-34.
- Çiftçi, İ. (2016). *Talaşlı İmalat Teknolojileri*. Ders Notu. Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, Karabük.
- David Xiao, O.O. P. (20016). Finite Element Analysis of Orthogonal Metal Machining. *International Journal of Scientific Research and Innovative Technology*, 3(ISSN): 3(2), 2313-3759.
- DeGarmo, E. P., Black, J. T., Kohser, R. A. (1997). *Materials and processes in manufacturing*. Hoboken: Prentice Hall.
- Demirci, A. H. (2004). *Mühendislik Malzemeleri: Önemli Endüstriyel Malzemeler ve Isıl İşlemler*. İstanbul: Alfa Aktüel.
- Dijkstra, J., Broere, W., Heeres, O. M. (2011). Numerical simulation of pile installation. *Computers and Geotechnics*, 5(38), 612-622.
- Dinesha, K. U., Ramesh, S. R. (2017). Simulation using AdvantEdge 2D Edge rounding comparison for uncoated carbide inserts. *International Journal of Engineering Research in Mechanical and Civil Engineering*, 2(5).
- Erdoğan, M. (2000). *Mühendislik Alaşımlarının Yapı ve Özelliği* (Cilt 1). Ankara: Nobel.
- Fang X.D., Jawahir J. I. (1993). The effects of progressive tool wear and tool restricted contact on chip breakability in machining. *Wear*, 160(2), 243-252.
- Fang, N. (2005). Tool-chip friction in machining with a large negative rake angle tool. *Wear*, 258(5-6), 890-897.

- Fang, X., Jawahir, I. (1993). The Effects of Progressive Tool Wear and Tool Restricted Contact on Chip Breakability in Machining. *Wear*, 160(2), 243-252.
- Fidaner, S., Çelik, S., H., D., Süzen, C., Duran, A. D. (1979). *Genel Dökümcülük Bilgisi*. İstanbul: Milli Eğitim.
- Fnides, B., Aouici, H., Yallese, M. (2008). Cutting forces and surface roughness in hard turning of hot work steel X38CrMoV5-1 using mixed ceramic. *Mechanika*, 70(2), 73-78.
- Goran Ljustina, R. L. (2014). A FE based machining simulation methodology accounting for cast iron microstructure. *Finite Elements in Analysis and Design*, 80, 1-10.
- Gray, I. (1998). *Metals Handbook Desk Edition*. Göteborg: ASM International.
- Groover, M. P. (1996). *Fundamentals of Modern Manufacturing - Materials, Processes and System*. New Jersey: Prentice-Hall.
- Grzesik, W., Malecka, J. (2011). Documentation of tool wear progress in the machining of nodular ductile iron with silicon nitride-based ceramic tools. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 60, 121-124.
- Grzesik, W., Rech, J., Zak, K., Claudin, C. (2009). Machining performance of pearlitic-ferritic nodular cast iron with coated carbide and silicon nitride ceramic tools. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 49, 125-133.
- Günay M., K. İ. (2005). Experimental investigation of the effect of cutting tool rake angle on main cutting force. *Journal of Materials Processing Technology*, 166, 44-49.
- İnternet: Ataçelik. (2000). *Sfero Döküm Nedir?* URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.atacelik.com%2Fsf erodokumnedir.html&date=2018-05-21>, Son Erişim Tarihi: 03.12.2003.
- İnternet: *School of Mechanical and Chemical Engineering*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.mech.uwa.edu.au%2F%7Eliu%2FLectures%2FEF420&date=2018-05-21>, Son Erişim Tarihi: 06.02.2006.
- İnternet: TS 2040: Türk Standartları Enstitüsü. (2005). *Türk Standartları Enstitüsü*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fintweb.tse.org.tr%2FStandard%2FStandard%2FStandard.aspx%3F053107106111065067115113049116090107100056052055108081090071086075069085047110067109075073081116103090081086073108065117084119102052117108078081086054103120082055112076115089099083053067078068&date=2018-05-21>, Son Erişim Tarihi: 10.04.2018.
- İnternet: TS 526: Türk Standartları Enstitüsü. (1997). *Türk Standartları Enstitüsü*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fintweb.tse.org.tr%2FStandard%2FStandard%2FStandard.aspx%3F053107106111065067115113049116090107100056052055108081090071086075069085047110067109075073081116103090081086073108065117084119099076077055114087076121106107100084089056108043118067103097116101+&date=2018-05-21>, Son Erişim Tarihi: 10.04.2018.

- İzgiz, S. (1988). *Küresel Grafitli Dökme Demir Üretimi, Yolluk Besleyici Tasarımı Isıl İşlemi ve Özellikleri*. Ankara: Segem.
- Jeelani, S. M. M. (1984). Effect of cutting speed and tool rake angle on the fatigue life of 2024 -T351 aluminium alloy. *International Journal of Fatigue*, 6(3), 169-172.
- Jeelani, S., Musial, M. (1984). Effect of Cutting Speed and Tool Rake Angle on the Fatigue Life of 2024 -T351 Aluminium Alloy. *International Journal of Fatigue*, 6(3), 169-172.
- Jie Qin, Y. L. (2014). Continuous and varied depth-of-cut turning of gray cast iron by using. *Ceramics International*, 12245–12251.
- Joshi, S., Ramakrishnan, N. and Ramakrishnan, P. (1999). Analysis of Chip Breaking During Orthogonal Machining of Al/SiCp Composites. *Journal of Material Processing Technology*, 88(1-3), 90-96.
- Joshi, S.S., Ramakrishnan, R. (1999). Analysis of chip breaking during orthogonal machining of Al/SiCp composites. *Journal of Materials Processing Technology*, 88(1-3), 90-96.
- Kalpakistan, S., Schmid, S. (2009). *Manufacturing Engineering and Technology* (8th Edition). New York: Prentice Hall.
- Karadeniz, E., Çolak, M., Barutçu, F. (2017). GGG-60 küresel grafitli dökme demir üretiminde aşılmalı türü ve miktarının içyapı ve mekanik özelliklere etkisinin incelenmesi. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6, 275-282.
- Keong, C. N., Melkote, S. N., Rahman, M., Kumar, A. S. (2007). Experimental study of micro- and nano-scale cutting of aluminum 7075-T6. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 46(9), 929-936.
- Kılıçaslan, C. (2009). *Modelling And Simulation Of Metalcutting By Finite Element Method*. İzmir: The Graduate School of Engineering and Sciences of İzmir Institute of Technology.
- Kılıçlı, V. M. (2004). *Farklı Mikroyapılara Sahip AISI 4140 Çeliginin işlenmesinde Yüzey Pürüzlülüğü ve Talas Atılabilirliğinin Deneysel Olarak incelenmesi*. 11. Uluslararası Makina Tasarım ve İmalat Kongresi, Antalya.
- Kopaci, J., Bahor, M. (1999). Interaction of the technological history of a workpiece material and the machining parameters on the desired quality of the surface roughness of a product. *Journal of Materials Processing Technology*, 92, 381-387.
- Korkut, İ. (1996). *Torna tezgahında strain gage ile ölçüm yapan bilgisayar bağlantılı dinamometre tasarımı ve imalatı*. Ankara: Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Lalwani, D. M. (2008). Experimental investigations of cutting parameters influence on cutting forces and surface roughness in finish hard turning of MDN250 steel. *Journal of Materials Processing Technology*, 206(1-3), 1667-179.

- Ljustina, G., Larsson, R., Fagerström, M. (2014). A FE Based Machining Simulation Methodology Accounting for Cast Iron Microstructure. *Finite Elements in Analysis and Design*, 80, 1-10.
- Malakizadia, A., Sadikb, I., Nyborga, L. (2013). Wear Mechanism of CBN Inserts during Machining of Bimetal Aluminum-Grey Cast Iron Engine Block. *Procedia CIRP*(8), 188-193.
- Melkote, N. S., Grzesik. W., Outeiro, J. (2017). Advances in material and friction data for modelling of metal machining. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 66, 731–754.
- Mills, B., Redford, A. H. (1983). *Mechinability of Orthogonal Cutting*. United Kingdom: Applied Science Publishers Ltd.
- Morten, F. V., Torben, G. F. (2008). Simulation of Metal Cutting using Smooth Particle Hydrodynamics. *LS-DYNA Anwenderforum*, 3, 17-36.
- Morten, F., Torben, G. (2008). Simulation of Metal Cutting using Smooth Particle Hydrodynamics. *LS-DYNA Anwenderforum*, 3, 17-36.
- Motorcu, A. R. (2006). *Ç1050, Ç4140 ve Ç52100 Çeliklerinin İşlenebilirliği ve Modeller Geliştirilmesi*. Doktora Tezi. Ankara, Türkiye: Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Neşeli, S. (2006). *Tornalama Takım Geometrisi ve Tırlama Titreşimlerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkileri*. Yüksek Lisans Tezi. Konya, Türkiye: Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Odabaşı, A. (2004). *Kokil ve Kum Kalıba Döküm Yöntemleriyle Üretilen Yüksek Kromlu Beyaz Dökme Demirlerin X-ışınları ve Taramalı Elektron Mikroskobu Çalışmalarıyla Karakterize Edilmesi*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Özçatalbaş, Y. (1996). *1050, 4140, 8620 Çeliklerinin Isıl İşleme Değişen Mikro Yapı ve Mekanik Özelliklerine Bağlı İşlenebilirlikleri*. Doktora Tezi, Ankara, Türkiye: Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Özel, T., Zeren, E. (2004). Determination of work material flow stress and friction for FEA of machining using orthogonal cutting tests. *Journal of Materials Processing Technology*, 153-154, 1019–1025.
- Özel, T., Zeren, E. (2004). Determination of Work Material Flow Stress and Friction for FEA of Machining Using Orthogonal Cutting Tests. *Journal of Materials Processing Technology*, 153-154, 1019–1025.
- Özsés, B. (2002). *Bilgisayar sayısal denetimli takım tezgahlarında değişik işleme koşullarının yüzey pürüzlülüğüne etkisi*. Yüksek Lisans Tezi, Ankara, Türkiye: Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

- Patrascu, G., Carutasu, G. (2007). Using Virtual Manufacturing Simulation in 3d Cutting Forces Prediction. *Annals of the Oradea University: Fascicle Management and Technological Engineering*, 4(16), 1423-1426.
- Patrascu, G., Carutasu, G. (2007). Using Virtual Manufacturing Simulation in 3d Cutting Forces Prediction. *Annals of the Oradea University: Fascicle Management and Technological Engineering*, 4(16), 1423-1426.
- Pul, M. (2010). *Al Matrisli MgO Takviyeli Kompozitlerin İnfiltrasyon Yöntemi ile Üretilmesi ve İşlenilebilirliğinin Değerlendirilmesi*. Doktora Tezi, Ankara, Türkiye: Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Reardon, A. C. (2010). *Metallurgy for the Non-Metallurgist*. Ohio: ASM International.
- Saglam H., Yaldiz, S. (2007). The effect of tool geometry and cutting speed on main cutting force and tool tip temperature. *Materials & Design*, 28(1), 101-111.
- Saglam, H. (2001). Frezelemede kesme parametreleri ile kesme kuvvetlerinin değişimi ve bunların takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerinin deneysel incelenmesi. *Selçuk-Teknik Online Dergisi*, 1(3), 1-7.
- Sandvik, C. (1994). *Modern Metal Cutting - A Practical Handbook* (English Edition b.). Sweden: Sandvik Coromant.
- Santner, J. S., Goodrich, G. M. (2006). Iron Alloys. *Casting Source Directory*, 17-22.
- Shaw, M. (1984). Mechanics of Orthogonal Cutting. M. C. Shaw içinde, *Metal Cutting Principles* (s. 1-12). London: Ocford University Press.
- Souza, J. V., Nono, M. C., Ribeiro, M. V., Silva, O. M. (2009). Cutting forces in turning of gray cast iron using silicon nitride based cutting tool. *Materials and Design*, 30, 2715–2720.
- Springer, H. K. (2012). *Mechanical Characterization of Nodular Ductile Iron*. United States: Lavrence Livermore National Laboratory.
- Stefanescu, D. M. (1990). Classification and Basic Metallurgy of Cast Iron, Properties and Selection: Irons, Steels and HighPerformance Alloys. *ASM International*, 1.
- Sutter, G., Ranc, N. (207). Temperature fields in a chip during high-speed orthogonal cutting - An experimental investigation. *Int. J. Machine Tools and Manuf*, 47(10), 1507-1517.
- Şahin, A. (2013). *Sertleştirilmiş Mikro Alaşımli Çeliğin (30MnVS6) Farklı Kesicilerle İşlenmesinin İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Şahin, Y. (2003). *Talaş Kaldırma Prensipleri*. Ankara: Nobel.
- Şeker, U. (1997). *Takım Tasarımı*. Ders Notları, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Ankara.

- Şeker, U. (1997). *Takım Tasarımı*. Ders Notları, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Ankara.
- Şeker, U., Kurt, A., Çiftçi, İ. (2002). Design and Construction of a Dynamometer for Measurement of Cutting Forces During Machining With Linear Motion. *Materials and Design*, 23, 355-360.
- Thomas, T. (1982). *Rough Surface*. London: Longman.
- Ueda N., Matsuo, T., Hoshi, T. (1986). An investigation of some shear angle theories. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 35(1), 27-30.
- Wang, J. (2000). The effect of the multi-layer surface coating of carbide inserts on the cutting forces in turning operations. *Journal of Materials Processing Technology*, 97(1-3), 114-119.
- Wang, J. (2000). The Effect of the Multi-Layer Surface Coating of Carbide Inserts on the Cutting Forces in Turning Operations. *Journal of Material Processing Technology*, 97(1-3), 114-119.
- Watmon, T. B., Xiao, D., Peter, O.-O. (2016). Finite Element Analysis of Orthogonal Metal Machining. *International Journal of Scientific Research and Innovative Technology*, 3(2), 46-55.
- Watmon, T. B., Xiao, D., Peter, O.-O. (2016). Finite Element Analysis of Orthogonal Metal Machining. *International Journal of Scientific Research and Innovative Technology*, 3(2), 46-55.
- Yaldız, S. Ü. (2006). Design, development and testing of a turning dynamometer for cutting force measurement. *Materials & Design*, 27(10), 839-846.
- Yılmaz, F. (2003). *İçme-Atık Su ve Gaz Dağıtım Şebekelerinde Dökme Demirler ve Düktil Demir Uygulamaları*. İstanbul: Iski.





## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ÖZCAN, Burak  
 Uyruğu : T.C.  
 Doğum tarihi ve yeri : 19.10.1989 Ankara  
 Medeni hali : Bekar  
 Telefon : 0538 358 5895  
 e-mail : ozcan.burak@outlook.com



### Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi/Teknoloji Fakültesi/ Endüstriyel Tasarım Mühendisliği	Devam Ediyor
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi/Teknoloji Fakültesi/ İmalat Mühendisliği	Devam Ediyor
Lisans	Erciyes Üniversitesi/ Makine Mühendisliği	2013
Lise	Çubuk Anadolu Lisesi	2008

### İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2014-2016	Albert Genau	Arge Sorumlusu
2016-2018	Armada Yazılım (Dassault Systemes)	Simülasyon Uzmanı
2018-Halen	EnginSoft - Aselsan	Analiz Mühendisi

### Yabancı Dil

İngilizce

## Yayınlar

1. Akkurt, A., Özcan, B. Yağmur, S., Şeker, U., Korkut, İ. (2017). *GGG50 Dökme Demirin İşlenebilirliğinin Deneysel Olarak Araştırılması*, 1st International Turkish World Engineering and Science Congress in Antalya, Antalya.
2. Özcan, B., Akkurt, A., Yağmur, S., Şeker, U., Korkut, İ. (2017). *GG30 Dökme Demirin İşlenebilirliğinin Deneysel Olarak Araştırılması*, 1st International Turkish World Engineering and Science Congress in Antalya Antalya.

## Hobiler

Gömülü sistemler, Yüzme.





*GAZİ GELECEKTİR..*