

**AISI 4140 ÇELİĞİN TORNALAMASINDA KESME
PARAMETRELERİNİN YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ
ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

ZÜLKÜF YOLDAŞ

TEMMUZ 2024

DİYARBAKIR

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AISI 4140 ÇELİĞİN TORNALANMASINDA KESME
PARAMETRELERİNİN YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ
ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

ZÜLKÜF YOLDAŞ

DİCLE ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM-ÖĞRETİM VE SINAV
YÖNETMELİĞİNİN BİR PARÇASI OLARAK
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALINDA
YÜKSEK LİSANS TEZİ OLARAK HAZIRLANMIŞTIR

TEMMUZ 2024

DİYARBAKIR

**AISI 4140 ÇELİĞİN TORNALANMASINDA KESME
PARAMETRELERİNİN YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ
ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Zülküf YOLDAŞ tarafından Dicle Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin bir parçası olarak hazırlanan bu çalışma, aşağıda bilgileri yazılı jüri üyeleri tarafından değerlendirilerek **Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Neslihan DALKILIÇ
Müdür, **Fen Bilimleri Enstitüsü**

Dr. Öğr. Üyesi Haluk KEJANLI
Danışman, **Makine Mühendisliği Bölümü,**
Dicle Üniversitesi

Sınav Jürisi:

Prof. Dr. Erol KILIÇKAP (*)
Makine Mühendisliği Bölümü,
Dicle Üniversitesi

Prof. Dr. Uğur ÇALIGÜLÜ
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü,
Fırat Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Haluk KEJANLI (**)
Makine Mühendisliği Bölümü,
Dicle Üniversitesi



Savunma Tarihi: 25/ 07 / 2024

(*) Jüri Başkanı.
(**) Tez danışmanı



Aileme...

Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırlanan bu tez çalışmasında yer alan tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu beyan ederim. Ayrıca, bahse konu bu kural ve ilkelerin gerektirdiği üzere, bu çalışmada özgün olmayan tüm bilimsel içerikleri kurallara uygun biçimde alıntılıyıp kaynak gösterdiğimi beyan ederim. Beyanımınla çelişen herhangi bir delil bulunduğu takdirde tüm sorumluluğu üstleneceğimi kabul ederim.

Ad, Soyad: Zülküf YOLDAŞ

İmza:

TEŞEKKÜR

Öncelikle danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Haluk KEJANLI 'ya ve Manisa Celâl BAYAR Üniversitesi Doç. Dr. Öğr. Üyesi Sayın Abidin ŞAHİNOĞLU 'na çalışmanın daha fikir aşamasından, örnekleme, deney setlerini oluşturma, analizlerin yorumlanması ve tez taslağındaki düzeltmeler konularına kadar gösterdikleri destek ve sabırdan dolayı teşekkür ederim. Jüri üyelerime de bu tezin daha nitelikli bir hale gelmesi için yaptıkları eleştiri ve önerileri için teşekkür ederim.

Tezin her aşamasındaki yardımları ve yol göstericiliğı için Makine Mühendisi İbrahim TÜRLE 'ye çok teşekkür ederim.

En önemlisi, beni araştırma hevesiyle coşturdukları ve kendime bazı zamanlar inanmasam da bana inandıkları için anneme, babama, eşim ve çocuklarıma çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLolar LİSTESİ.....	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	ix
ÖZET.....	x
ABSTRACT.....	xi
1. GİRİŞ	1
1.1 Çeliklerin Sınıflandırılması	2
1.1.1 Düşük alaşımlı çelikler	5
1.2 Çeliklere Uygulanan ısı İşlemler.....	9
1.2.1 Demir-karbon denge diyagramı.....	9
1.2.2 Zaman-sıcaklık-dönüşüm diyagramları.....	13
1.2.3 Çeliklere sertleştirme amacıyla uygulanan ısı İşlemler	20
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	27
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	37
3.1 Yüzey Pürüzlülük Değerinin Ölçülmesi.....	38
3.2 Deney Sonuçları	41
4. SONUÇLAR	62
KAYNAKLAR	63
ÖZGEÇMİŞ	66

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1 Çeliklerin sınıflandırılması	5
Şekil 1.2 Demir-karbon denge diyagramı	10
Şekil 1.3 Demir-karbon denge diyagramı ve mikroyapılar.....	12
Şekil 1.4 İçerdiği karbon oranlarına göre soğuma eğrileri.....	14
Şekil 1.5 Alt beynit ve üst beynit	15
Şekil 1.6 25CrMo4 çeliği a) üst beynit b) alt beynit	15
Şekil 1.7 Su verilmiş düşük alaşımlı çeliğin kafes yapısı	16
Şekil 3.1 Proses parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etki grafiği.....	44
Şekil 3.2 Yüzey pürüzlülüğünün kesme derinliği ve kesme hızına etkisi.....	48
Şekil 3.3 Yüzey pürüzlülüğünün ilerleme hızı ve kesme hızına etkisi	48
Şekil 3.4 Yüzey pürüzlülüğünün ilerleme hızı ve kesme derinliğine etkisi	49
Şekil 3.5 Standartlaştırılmış yüzey pürüzlülüğünün etkilerinin pareto grafiği	50
Şekil 3.6 Yüzey pürüzlülüğünün standartlaştırılmış etkilerinin normal grafiği.....	50
Şekil 3.7 Yüzey pürüzlülüğünün standartlaştırılmış etkilerinin yarı normal grafiği .	51
Şekil 3.8 Yüzey pürüzlülüğünün normal olasılık grafiği	51
Şekil 3.9 Yüzey pürüzlülüğü karşılıklı uyum grafiği.....	52
Şekil 3.10 Yüzey pürüzlülüğü artık frekans grafiği	52
Şekil 3.11 Yüzey pürüzlülüğü tepki grafiği	53
Şekil 3.12 Proses parametrelerinin titreşim üzerindeki etki grafiği	55
Şekil 3.13 Titreşimin kesme derinliği ve kesme hızına etkisi.....	56
Şekil 3.14 Titreşimin ilerleme hızı ve kesme hızına etkisi	57
Şekil 3.15 Titreşimin ilerleme hızı ve kesme derinliğine etkisi.....	57
Şekil 3.16 Titreşimin standartlaştırılmış etkilerin yarı normal grafiği.....	58
Şekil 3.17 Standartlaştırılmış titreşim etkilerinin pareto grafiği	58
Şekil 3.18 Titreşim tepki grafiği	59
Şekil 3.19 Optimizasyon	60

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1.1 AISI 4140 Çeliği elementel analizi.....	7
Tablo 1.2 AISI 4140 Çeliği mekaniksel özellikleri	8
Tablo 1.3 AISI 4140 Çeliğe ait zaman-sıcaklık-dönüşüm diyagramı.....	8
Tablo 1.4 Fazlar, kristal yapıları ve özellikleri	17
Tablo 3.1 Mitutoyo surtest 201 ve pro vibro pvm 303 model cihazların teknik özellikleri	39
Tablo 3.2 Pro vibro pvm 303 titreşim ölçme cihazı özellikleri.....	40
Tablo 3.3 Talaş derinliği, kesme hızı, ilerleme hızı, yüzey pürüzlülüğü ve titreşim için deneysel sonuçlar	41
Tablo 3.4 Yüzey pürüzlülüğü için varyans analizi (anova) sonuçları.....	46
Tablo 3.5 Olağandışı gözlemler için uyum ve teşhis	49
Tablo 3.6 Titreşim için varyans analizi (anova) sonuçları	54

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

Simge	Açıklama
V	Kesme hızı
f	İlerleme hızı
a	Talaş derinliği
FC	Esas kesme kuvveti
FF	İlerleme kuvveti
FR	Radyal kuvvet
Ft	Kesme kuvveti
KT	Krater derinliği
KB	Krater genişliği
KM	Krater orta eksen mesafesi
Ra	Ortalama yüzey pürüzlülük değeri
Rt	Maksimum yüzey pürüzlülüğü
DF	Degree of Freedom
Seq SS	Sum of Squares
Adj SS	Adjusted Sum of Squares

ÖZET

AISI 4140 ÇELİĞİN TORNALANMASINDA KESME PARAMETRELERİNİN YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN İNCELENMESİ

YOLDAŞ, Zülküf

Yüksek Lisans, Makine Mühendisliği Bölümü

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Haluk KEJANLI

Temmuz 2024, 78 sayfa

Bu çalışmada, 50 mm çapında 250 mm boyunda AISI 4140 Çelik malzeme CNC Torna tezgahında işlenmiştir. Malzemeye farklı parametrelerle; 3 farklı kesme hızı, 3 farklı ilerleme miktarı ve 3 farklı talaş derinliğinde işleme deneyleri yapılmış ve yüzey pürüzlülük değerleri ölçülmüştür. Yüzey pürüzlülük değeri meydana gelecek oksit tabakasının ölçüm sonuçlarını etkilememesi için ölçümler deneylerden hemen sonra yapılmıştır. Yüzey pürüzlülük değeri 3 ayrı noktadan ölçülmüş ve değerlerin ortalaması alınmıştır. CNC makinesinde kesme işlemi kuru kesme şartları altında yapılmıştır. Tezgâh aynasında meydana gelen titreşim değerlerini ölçmek için aynaya yerleştirilmiş titreşim ölçme cihazı kullanılmıştır. Çalışmada işleme parametrelerinin matematiksel modelleri oluşturulmuş ve tornalama işleminde, yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili parametrenin ilerleme hızı, talaş derinliği ve ilerleme miktarının etki oranı belirlenmeye çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: AISI 4140, CNC, Yüzey Pürüzlülük, Titreşim, ANOVA

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF CUTTING PARAMETERS ON SURFACE ROUGHNESS IN TURNING AISI 4140 STEEL

YOLDAŞ, Zülküf

Master of Science in Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Dr. Haluk KEJANLI

July 2024, 78 pages

In this study, AISI 4140 steel material with a diameter of 50 mm and a length of 250 mm was processed on a CNC lathe. Depending on the material with different parameters; Machining experiments were carried out at 3 different cutting speeds, 3 different feed rates and 3 different depths of cut, and surface roughness values were measured. Measurements were made immediately after the experiments to ensure that the oxide layer that would form on the surface roughness value would not affect the measurement results. The surface roughness value was measured from 3 different points and the values were averaged. The cutting process in the CNC machine was done under dry cutting conditions. A vibration measuring device placed on the mirror was used to measure the vibration values occurring on the bench mirror. In the study, mathematical models of the machining parameters were created and the most effective parameters on the surface roughness in the turning process were the feed rate, depth of cut and the effect ratio of the feed amount.

Keywords: AISI 4140, CNC, Surface Roughness, Vibration, ANOVA

1. GİRİŞ

Endüstriyel üretim süreçleri, özellikle yüksek mukavemetli çeliklerin işlenmesi açısından kritik bir öneme sahiptir. Bu süreçlerde malzeme işleme kalitesi, nihai ürünün performansını ve güvenilirliğini doğrudan etkiler. AISI 4140 çeliği, yüksek mukavemeti, mükemmel tokluğu ve aşınma direnci ile dikkat çeker. Otomotiv, havacılık ve savunma sanayi gibi alanlarda tercih edilen bu çelik, zorlu mühendislik uygulamaları için ideal bir seçenektir. Üretim süreçlerinde yüzey pürüzlülüğü ve işleme sırasında oluşan titreşimler, işleme kalitesini ve tezgahın performansını doğrudan etkileyen faktörler arasında yer alır (Totten, 2006).

Yüzey pürüzlülüğü, işlenmiş bir parçanın fonksiyonelliği üzerinde kritik bir rol oynar. Özellikle, parçaların yorulma ömrünü uzatmak, korozyon direncini artırmak ve daha iyi mühürleme özellikleri sağlamak gibi fonksiyonel avantajlar sağlar. Düşük yüzey pürüzlülüğü değerleri, bu avantajları maksimize ederek ürünlerin daha uzun ömürlü ve güvenilir olmasını sağlar. Bu nedenle, üretim süreçlerinde yüzey kalitesini optimize etmek, maliyetleri düşürürken ürün kalitesini artırmak için büyük önem taşır (Gandy, 2007).

İşleme sırasında ortaya çıkan titreşimler, kesme kuvvetlerinin ve tezgâhın kararlılığının önemli bir göstergesidir. Yüksek titreşim seviyeleri, tezgâhın aşınmasını hızlandırabilir ve işleme kalitesini düşürebilir. Bu nedenle, titreşim ölçümleri, işleme parametrelerinin doğru ayarlandığının ve tezgâhın uygun koşullar altında çalıştırıldığının bir kanıtı olarak görülür. İşleme parametrelerinin doğru optimizasyonu, titreşimleri minimize ederek hem işleme kalitesini artırır hem de tezgahın ömrünü uzatır (Keskin Gencer, 2020).

Bu çalışma, CNC torna tezgahında AISI 4140 çelik malzemenin işlenmesi üzerine yoğunlaşmaktadır. 50 mm çapında ve 250 mm uzunluğunda bir AISI 4140 çubuk kullanılarak, üç farklı kesme hızı, ilerleme miktarı ve talaş derinliği parametreleri altında işleme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Her bir işleme parametresinin yüzey pürüzlülüğü ve titreşim değerleri üzerindeki etkisi detaylı bir şekilde incelenmiştir. Kesme işlemi kuru koşullar altında gerçekleştirilmiş olup, bu, endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak tercih edilen bir yöntemdir (Committee, 1990).

Yüzey pürüzlülüğü değerleri, işleme sonrası hızla ölçülmüş ve oksitlenme etkilerinin ölçümlere etkisini önlemek için özel tedbirler alınmıştır. Ölçümler, işlenmiş yüzeyin üç farklı noktasından yapılarak ortalama değerler hesaplanmıştır. Bu ölçümler, yüzey kalitesinin ve işleme parametrelerinin etkinliğinin değerlendirilmesinde temel bir rol oynar. Tezgâhın titreşim değerleri, monte edilen özel bir titreşim ölçme cihazı aracılığıyla kaydedilmiştir. Bu ölçümler, kesme koşullarının tezgah üzerindeki etkilerini anlamak için kritik bilgiler sunar ve işleme tekniklerinin daha da iyileştirilmesi için önemli bir temel sağlar (Totten, 2006).

CNC tornalamada işleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve titreşim değerleri üzerindeki etkilerini detaylı bir şekilde inceleyerek, en etkili parametreleri belirlemeyi hedeflemektedir. Çalışma sonuçları, AISI 4140 çeliğin işlenmesi sırasında kullanılacak kesme parametrelerinin optimize edilmesine büyük katkı sağlayabilir. Matematiksel modeller ve deneysel veriler, işleme parametrelerinin etkilerini quantified ederek, endüstriyel uygulamalar için değerli bilgiler sunar. Bu bilgiler, maliyetleri azaltırken üretim verimliliğini artırmak ve ürün kalitesini yükseltmek için kullanılabilir (Gandy, 2007).

1.1 Çeliklerin Sınıflandırılması

Çelik, demir ve karbonun alaşımı sonucu oluşan bir mühendislik malzemesidir. Bu materyal, nikel, krom, manganez gibi diğer elementlerin eklenmesiyle de zenginleştirilebilir. Buna rağmen, demir ve karbon elementlerinin bileşimi en temel özelliğidir. Karbon içeriği genellikle %2 civarındadır, ancak bu oran üretim ve işleme yöntemlerine göre değişebilir. Çelik, yüksek erime sıcaklığıyla (1534°C) dünya genelinde bol miktarda bulunan demir cevherinden üretilir ve bu sayede üstün özellikler kazanır. Ayrıca, üretim ve işleme yöntemlerine, ısıl işlemlere ve şekillendirme işlemlerine bağlı olarak çeliklerin mikroyapıları, sertlik, tokluk,

gerilme ve süneklik gibi özellikleri de belirlenebilir. Dolayısıyla, elikler en kompleks ve çok yönlü mühendislik malzemeleri olarak bilinir (Totten, 2006).

Karbon: Çeliklerin temel bileşenlerinden olan karbon, sertlik, katı çözelti sertleşmesi ve sertleşme kapasitesini artırma gibi önemli özellikler sağlar. Demir içinde çözülerek Ferrit ve östenit fazlarını oluştururken, demir ile reaksiyona girerek sementit (Fe_3C) adı verilen karbür bileşiğini meydana getirir. Bu bileşik, perlitin temel yapı talarından biridir (Bramfitt ve Benschoter, 2001).

Mangan: eliklerde sıkça bulunan başka bir alaşım elementi olan mangan, karbon gibi sertlemeyi ve katı çözelti sertlemesini teşvik eder. Sementit içinde çözünürken zayıf bir karbür oluşturucu olarak işlev görür. Ayrıca, oksijen ve kükürt giderici olarak önemli rol oynar; manganez sülfit (MnS) formunda sülfürün çelikteki kırılğan etkisini engeller.

Silisyum: elik retiminde oksijen giderici olarak kullanılan silisyum, çeliklerde karbür oluşumuna katılmaz ve dekarbrizasyona yatkınlığı artırır. Bazı zel elik türlerine eklenerek elektriksel ve manyetik özelliklerin iyileştirilmesine yardımcı olur. Dökme demirlerde ise grafitlemeyi kolaylaştıran bir faktördür.

Fosfor: Çoğu zaman çelikte istenmeyen bir element olan fosfor, düşük karbonlu çeliklerde sertlik ve dayanıklılığı artırıcı olarak kullanılır. Dökme demirlerde fosfor yüksek oranlarda bulunduğunda, istenmeyen demir fosfiti (Fe_3P) oluşumuna sebep olur.

Sülfür: Genellikle eliklerde istenmeyen bir element olan sülfür, demir sülfit bileşiği formunda çelikte tane sınırlarında dağılım gösterir ve malzemenin kırılğanlığını artırır. Bazı zel çeliklerde işlenebilirliği artırmak amacıyla eklenir.

Alüminyum: Nitrürleme eliklerinde kullanılan alüminyum, çelikte tane boyutunu küçültmek suretiyle sertliği ve mukavemeti artırır. Ayrıca oksijen giderici özellikleriyle bilinir.

Krom: Paslanmaz ve düşük alaşımlı çeliklerin vazgeçilmez alaşım elementlerinden olan krom, katı çözelti sertleşmesini, sertleşebilirliği ve sertliği artırır. Ayrıca, krom karbür oluşumu sayesinde aşınma direncini ve yüksek sıcaklıklarda oksidasyona karşı direnci büyük ölçüde iyileştirir.

Nikel: Karbür oluşturmeyen alaşım elementleri arasında yer alan nikel, krom (Cr) ve molibden (Mo) ile çeliklerin sertliğini, darbe dayanımını ve yorulma direncini artırır.

Titanyum: Titanyum, güçlü bir karbür yapıcı ve nitrit oluşturunca olarak bilinir. Çelikte tane boyutunu küçültürerek sertliği ve mukavemeti artırır.

Kobalt: Bazı özel çeliklerde kullanılan kobalt, sertliği ve mukavemeti artırırken, zayıf bir karbür yapıcıdır. Yüksek sıcaklıklarda tane büyümesini engelleyerek çeliklerin yüksek sıcaklık performansını iyileştirir.

Bakır: Bazı çeliklerde korozyon direncini artırmak amacıyla eklenen bakır, genellikle sıcak kırılabilirliği artırdığı için istenmeyen bir element olarak kabul edilir.

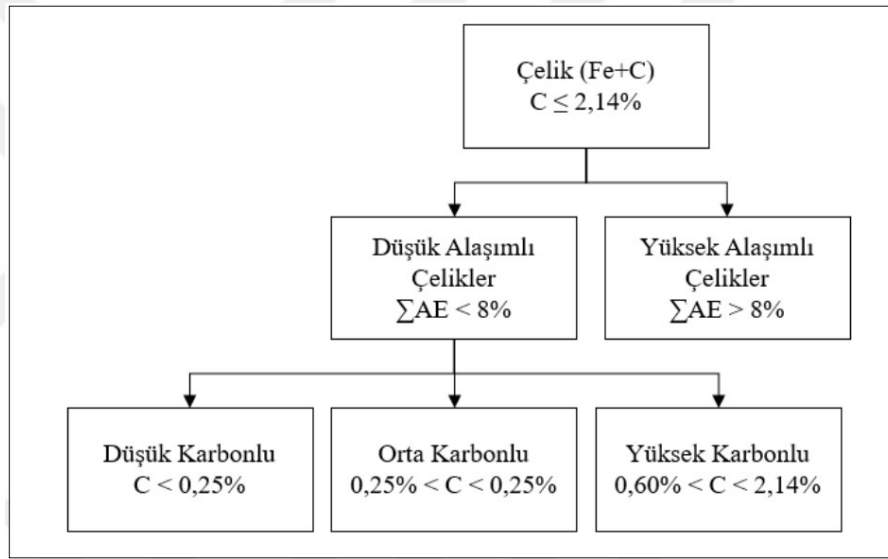
Bor ve Kurşun: Bor, çeliğin ve diğer alaşım elementlerinin sertleşebilirliğini artırırken, kurşun özellikle özel kurşunlu çeliklerde işlenebilirliği artırıcı olarak kullanılır.

Kalay: Çelikte sıcak kırılabilirliği artırdığı için genellikle istenmeyen bir element olan kalay, dikkatle kullanılması gereken bir alaşım elementidir.

Bu çeşitlilik, çeliklerin binlerce farklı mikro yapı ve özelliklere sahip demir-karbon alaşımları oluşturmalarını sağlar. Bu özellikler, alaşım elementleri ve ısıtma işlem uygulamalarının doğru birleşimiyle elde edilir (Bramfitt ve Benschoter, 2001).

Çelik, düşük karbon konsantrasyonu ve uygun alaşım elementlerinin eklenmesiyle dayanıklılığı artan çok yönlü bir yapı malzemesidir. Alaşım elementlerine göre ve etkilerine göre sınıflandırıldığında yaygın olarak düşük ve

yüksek alaşımlı olmak üzere ikiye ayrılır. Karbon konsantrasyonuna göre ise düşük, orta ve yüksek karbonlu çelikler olarak sınıflandırılır. Her sınıfa, alaşım elementlerinin konsantrasyonuna ve etkilerine göre alt sınıflar dahil edilebilir. Bu sebeple, çeliklerin sınıflandırılması Şekil 1.1'de verilen karbon konsantrasyonuna ve alaşım elementlerine göre yapılır. Bu çalışmada, orta karbonlu düşük alaşımlı çeliklerden biri olan AISI 4140 çeliği seçilmiştir. Bu çelik, düşük alaşımlı çeliklerin genel özelliklerini taşır ve kullanım amacına göre farklı alaşım elementleri eklenerek özellikleri değiştirilmiştir. Bu çalışmada düşük alaşımlı çeliklerin özellikleri detaylı olarak incelenecektir (Totten, 2006).



Şekil 1.1 Çeliklerin sınıflandırılması (Keskin Gencer, 2020)

1.1.1 Düşük alaşımlı çelikler

Demir karbon alaşımları, büyük miktarlarda demir ve küçük miktarlarda karbon içeren demir bazlı metal malzemelerdir. Ek olarak, üretim yöntemlerinden kaynaklanan diğer az miktardaki elementler, düşük alaşımlı çeliklerin bileşiminde bulunabilir. Bu elementler mangan, silisyum, azot ve kükürt içerebilir. Bu malzemeler, düşük fiyat ve kolay şekillendirme özellikleri nedeniyle popülerdir. Karbon konsantrasyonuna bağlı olarak, mekanik özellikleri değişebilir ve üç bölüme ayrılabilir. Düşük karbonlu çelikler, özellikle yüzde 0-0.25 karbon içerikleri nedeniyle en düşük karbon konsantrasyonuna sahiptir. Bu nedenle, bu çeliklerin mukavemeti ve sertliği düşüktür. Orta karbonlu çelikler, yüzde 0.25-0.6 karbon içeriğine sahipken yüksek karbonlu çelikler en yüksek karbon konsantrasyonuna

sahiptir ve bu nedenle daha yüksek mukavemete sahiptirler (Callister ve Rethwisch, 2013).

1.1.1.1 Düşük karbonlu çelikler

Perlit, ferrit ve karbonun uygun oranlarını içeren, yapısal bileşenlerin tamamının performansı ve dayanıklılığı sağlayan bir çelik türüdür. %0,25'ten düşük karbon konsantrasyonuna sahip olan bu çelik, sadece soğuk işlem ile sertleştirilebilir. Yapısındaki ferrit ve perlit birleşimi sayesinde yumuşak ve zayıf olmasına rağmen yüksek tokluk ve sünekliğe sahiptir. Bu özelliği sayesinde kolaylıkla işlenebilir ve kaynaklanabilir. Araba gövde parçaları, yapısal bileşenler ve benzeri alanlarda sıklıkla kullanılmaktadır (Callister ve Rethwisch, 2013).

Ferrit, perlit ve karbonun uygun oranlarının dengesi bu çeliğin özelliklerini belirler. Karbon konsantrasyonunun %0,25'ten az olması sayesinde çelik, sadece soğuk işlem ile sertleştirilebilir ve yapısal bileşenler için ideal bir malzemedir. Ferrit ve perlit birleşiminin yanı sıra yüksek tokluk ve süneklik özellikleri de onu tercih edilir kılmaktadır. Kolay işlenebilir ve kaynaklanabilir olması, otomobillerin gövde parçaları gibi karmaşık bileşenler için uygun bir seçenektir. Bu nedenle, çelik endüstrisinde önemli bir yere sahiptir (Callister ve Rethwisch, 2013).

1.1.1.2 Orta karbonlu çelikler

Orta karbonlu çelikler, %0,25-0,60 arasında karbon konsantrasyonuna sahip olan alaşımlı çeliklerdir. Bu tip çelikler, sertleştirme, su verme ve temperleme gibi ısıtım işlem yöntemleri kullanılarak sertleştirilebilirler. Isıtım işlem sonucunda elde edilen orta karbonlu çelikler, düşük karbonlu çeliklere göre daha yüksek mukavemet değerlerine sahiptir ancak tokluk ve süneklikleri daha düşüktür. Bu nedenle, demiryolu tekerlekleri, raylar, dişliler ve makine parçaları gibi yüksek mukavemet, aşınma direnci ve tokluk kombinasyonu gerektiren alanlarda sıklıkla kullanılırlar (Callister ve Rethwisch, 2013).

Bu gruptaki orta karbonlu çeliklerin arasında, 4130, 4140, 4330 Mod, 4340, 6150, 8640 ve 4340'ın iki modifikasyonu olan 300M ve D-6A yer almaktadır. Bu çelikler genellikle haddelenerek veya sıcak dövülme yöntemiyle üretilir ve kullanılırlar. Isıtım işlemleri ile sertleştirilen bu çeliklerin kesit büyüklüklerinde önemli farklılıklar görülebilmektedir. Bu nedenle, parçaların gerilim çatlamasını önlemek için sıcak

dövme yöntemiyle üretilen parçalar, yavaşça soğutulması için bir fırına veya yalıtkan bir ortama yerleştirilmelidir (Totten, 2006). Bu sayede, hava sertleşmesinden kaynaklanan sorunlar engellenebilmektedir.

Genel olarak orta karbonlu çelikler, sertleştirilebilir özellikleri nedeniyle tercih edilmektedir. Ancak, kullanım alanlarında dikkatli bir şekilde seçilmeli ve uygun ısıt işlemler uygulanmalıdır. Aksi takdirde, parçaların mukavemet değerlerinde ve performansında olumsuz etkiler görülebilir. Bu nedenle, orta karbonlu çeliklerin kullanımı özel dikkat gerektiren bir alandır ve uzmanlık gerektirmektedir (Callister ve Rethwisch, 2013; Totten, 2006).

1.1.1.3 AISI 4140 Çeliği

4140 (42CrMo4) çeliği, orta sertleşebilirlik özelliği ve iyi mukavemet ve tokluk kombinasyonu gerektiren uygulamalarda kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Bu sertleştirme çeliği, krom ve molibden gibi alaşım elementlerini içermektedir ve Tablo 1.1 ve 1.2’ de verilen mekanik özelliklere sahiptir (ASTM, 2001; Bramfitt ve Bescoter, 2001). Diğer martensitik ve ferritik çeliklerde olduğu gibi, 4140’ın da düşük sıcaklıklarda sünekle kırılğan bir davranış sergilediği bilinmektedir. Ancak, bu geçiş sıcaklığı, ısıt işlem ve gerilim konsantrasyonuna bağlı olarak değişebilmektedir. Otomotiv ve havacılık gibi sektörlerde yaygın olarak kullanılan aks mili, krank mili, dişli çark ve bandaj gibi parçaların üretiminde sıklıkla tercih edilmektedir (Rudnev, Loveless ve Cook, 2017).

Tablo 1.1 AISI 4140 çeliği elementel analizi(Keskin Gencer, 2020)

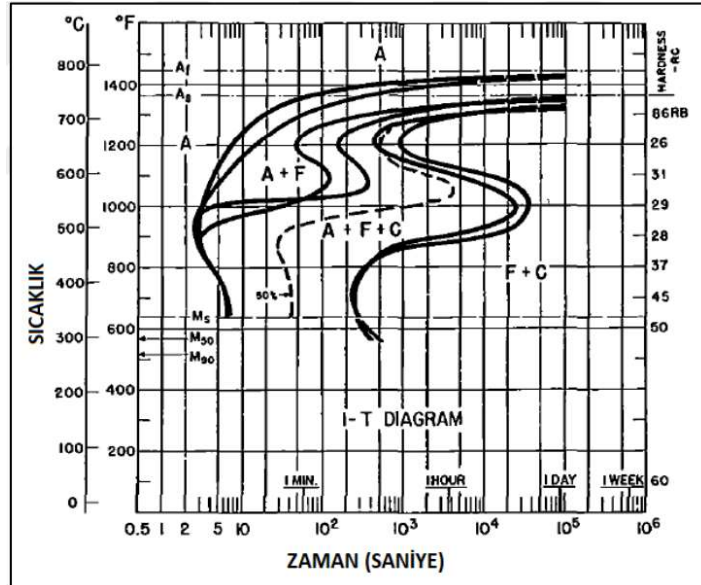
AISI 4140 Standart Limitleri	C	Mn	P	S	Si	Cr	Mo
Değer	0.38- 0.43	0.75- 1.00	0.035	0.04	0.15- 0.35	0.80- 1.10	0.15- 0.25

Tablo 1.2 AISI 4140 çeliği mekaniksel özellikleri.(Keskin Gencer, 2020)

Özellikler	Değer
Yoğunluk	7,85 g/cm ³
Erime Noktası	1416 °C
Çekme Dayanımı	655 Mpa
Akma Dayanımı	415 Mpa
Elastik Modülü	190-210 Gpa
Poisson Oranı	0,27-0,30
Sertlik, Vickers	207HV

Zaman-Sıcaklık-Dönüşüm diyagramlarının literatürde yer aldığı göz önünde bulundurulduğunda, AISI 4140 çeliğinin ısıtma işlem uygulamaları için uygun sıcaklık ve süre parametreleri seçilmektedir (ASTM, 2001). Bununla birlikte, ticari uygulamalarda, malzeme üretim yöntemi, alaşım elementleri oranı, malzeme boyutları, ısıtma işlem yöntemi ve kullanılan fırın gibi etkenler, bu değerlerin değişkenlik göstermesine neden olabilmektedir. Bu nedenle, uygun sıcaklık ve süre parametrelerinin belirlenmesinde çeşitli faktörler dikkate alınmalıdır. Bunlar arasında Zaman-Sıcaklık-Dönüşüm diyagramlarının önemi büyüktür (Dong vd., 2018).

Tablo 1.3 AISI 4140 Çeliğine ait zaman-sıcaklık-dönüşüm diyagramı(Keskin Gencer, 2020)



1.1.1.4 Düşük alaşımlı çeliklerin özellikleri

Düşük alaşımlı çelikler, içerdikleri alaşım elementlerine ve kullanım yerlerine göre sınıflandırılabilen yapı malzemeleridir. Genel olarak düşük, orta ve yüksek karbonlu olmalarına rağmen Cr, Mn, Ni, Mo, V gibi alaşım elementlerine bağlı olarak yüksek tokluk, sertlik, aşınma dayanımı ve korozyon mukavemeti gibi üstün mekaniksel özellikler sergilerler. Bu nedenle otomotiv, savunma ve havacılık sektöründe, raylı sistemlerde ve açık denizlerde kullanım için sıkça üretilirler. %8'den az alaşım elementi içeren çelik türlerine ise nikel çelikleri, krom-molibden çelikleri gibi isimler verilebilmektedir (Dong vd., 2018).

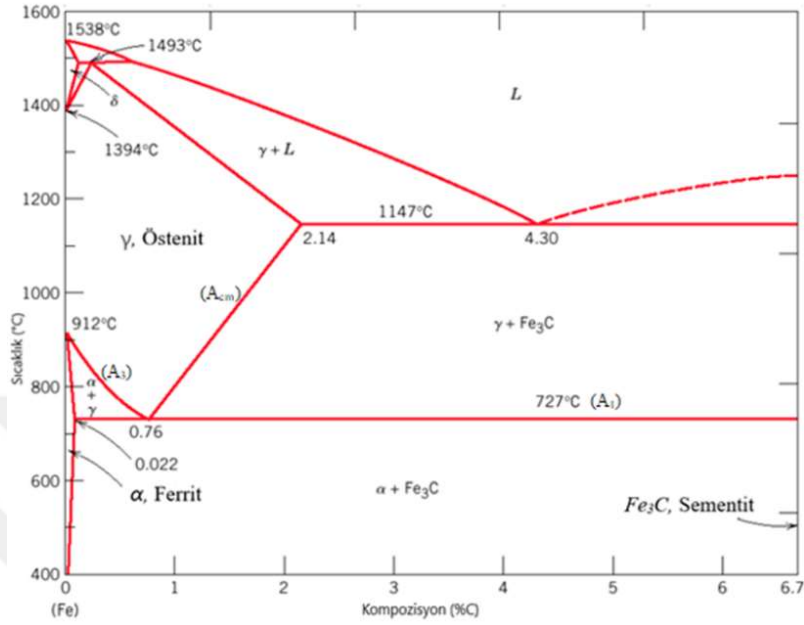
1.2 Çeliklere Uygulanan Isıl İşlemler

Isıl işlem, demir esaslı katı metaller ve alaşımların özelliklerini geliştirmek için kullanılan bir yöntemdir. Bu süreç, malzemenin belirli bir sıcaklıkta ısıtılması, bu sıcaklıkta belirli bir süre tutulması ve sonrasında kontrollü bir şekilde soğutulması adımlarını içerir. Isıl işlemin temel amacı, metalin mikroyapısını değiştirerek istenen mekanik ve fiziksel özellikleri elde etmektir. Bu işlem en azından üç aşamadan oluşur: malzemenin ısıtılması, belirlenen sıcaklıkta bekletilmesi ve ardından soğutulması (Bal, 2018).

Isıl işlem sırasında belirlenen sıcaklık ve süre, metalin mikroyapısındaki dönüşümleri etkiler ve bu dönüşümlerin doğru değerlendirilebilmesi için demir-karbon denge diyagramının iyi anlaşılması gerekir. Bu diyagram, çelik ve demir alaşımlarının ısıtılma işlem sırasında nasıl davranacağını gösteren kritik bir referanstır. Her bir ısıtılma işlem aşaması, bu diyagrama göre özenle planlanmalı ve uygulanmalıdır, böylece malzeme istenen özelliklere kavuşabilir (Lucon ve Santoyo, 2022).

1.2.1 Demir-karbon denge diyagramı

Şekil 1.2'de Demir-karbon denge diyagramında görüldüğü gibi, demir alaşımlarının yaklaşık %2' den az karbon içermesi durumunda çelik olarak adlandırılır. Çelikler, demir karbon denge diyagramında bulunan sekiz farklı fazdan oluşmaktadır (Xia vd., 2008).



Şekil 1.2 Demir-karbon denge diyagramı (Keskin Gencer, 2020)

Demir-karbon denge diyagramı, demir ve karbon elementlerinin karşılıklı etkileşiminin bulunduğu diyagram şeklinde bir gösterimdir. Bu diyagramda, üstte sıcaklık, solda karbon oranı olmak üzere düzenlenmiştir. Demir-karbon sistemi içerisinde farklı faz dönüşümleri ve mikroyapılar bulunmaktadır. Bu dönüşümler belirli kritik sıcaklıklarda gerçekleşir ve bu kritik noktalar aşağıdaki gibidir (Xia vd., 2008).

- Acm: Ötektoid üstü çeliklerde tam östenit alanına geçiş sıcaklığı (C oranına bağlı olarak değişir)
- A1: Isıtma sırasında, östenitin oluşmaya başladığı sıcaklık olan 723°C.
- A2 sıcaklığı: Küri sıcaklığı (769°C). Bu sıcaklıkta manyetizlik kaybolur.
- A3: Ötektoid altı çeliklerde tam östenit alanına geçiş sıcaklığı (C oranına bağlı olarak değişir.)

Demir-karbon sistemi içerisindeki farklı fazlar ve bu fazların özellikleri, yapılan ısı işlemleri için önemlidir. Demir-karbon sistemindeki yapılardan bazıları ve özelliklerinin karşılaştırılması aşağıdaki gibidir (Keskin Gencer, 2020).

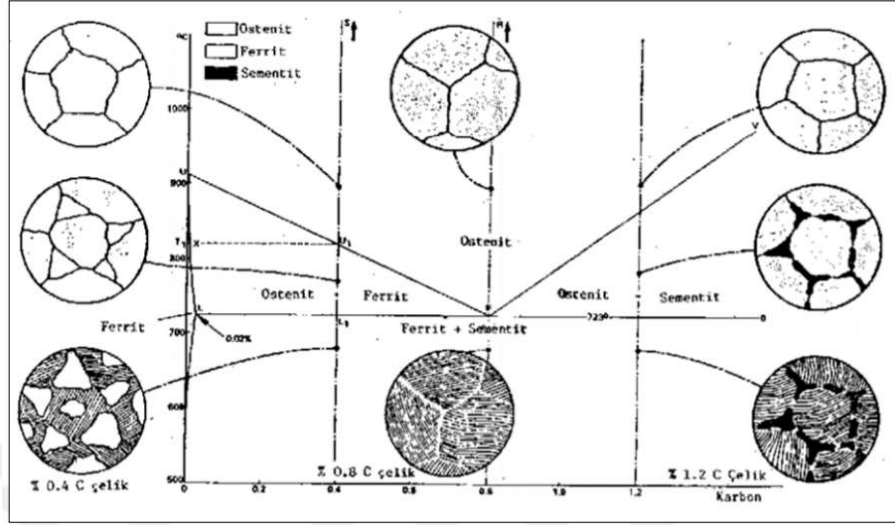
Ferrit (α): Oda sıcaklığında demir elementinin kararlı yapısıdır ve hacim merkezli kübik yapısı olan (BCC) bir yapıya sahiptir. Karbon oranı %0,022' ye kadar çözünebilir. Magnetik özellik gösteren ferrit, 768°C'nin altında sıcaklıklarda bulunabilir.

Östenit (γ): Karbon oranına bağlı olarak 723°C-1500°C aralığında bulunabilen östenit, yüzey merkezli kübik yapısı olan (FCC) bir yapıya sahiptir. Maksimum karbon çözünürlüğü %2,14'tür. Östenit, ötektik sıcaklığın altında hızlıca soğutulmadığı sürece kararlı bir yapıda kalmaz.

Hacim merkezli kübik demir (δ): Ferrit ile aynı yapıya sahip olan δ -ferrit, 1394°C'nin üzerinde stable halde bulunur ve 1538°C'de erir.

Sementit (Fe_3C): Demir ve karbon elementlerinin oluşturduğu birleşik yapıdır ve yarı kararlı bir yapıya sahiptir. Oda sıcaklığında birleşik olarak kalır, dönüşür. Sementit, sert ve kırılgan bir yapıya sahiptir ve çelikleri güçlendirmek için kullanılabilir. Mekanik özellikleri, yapıdaki ferrit ve sementitin nasıl birbirine karıştığına bağlı olarak değişir.

Tüm bu faz dönüşümleri ve mikroyapılar, çeliklerin karbon oranlarına bağlıdır. Demir-karbon denge diyagramı sayesinde, çeliklerin yapısı ve özellikleri daha iyi anlaşılabilir ve istenilen özelliklere göre yapılar elde etmek mümkün olabilir. Şekil 1.3'de de görüldüğü gibi, karbon oranına göre çeliklerin oluşabilecek farklı yapıları ve bu yapıların özellikleri gösterilmiştir (McGuire ve Jenkins, 2002).



Şekil 1.3. Demir-Karbon denge diyagramı ve mikroyapılar (Keskin Gencer, 2020)

Çelikler, çoğunlukla orta düzey mukavemete sahip düşük alaşımlı ferrous malzemeler olarak bilinse de bunlar nispeten ucuz, düşük karbonlu bir yapı malzemesi olarak tamamlanamayacak fantastik özelliklere sahiptir. Çelikler, yapısal bir unsur olarak kullanılabilen sert, esnek, form alabilen ve derecesi arttıkça sertliği artan malzemelerdir. Bu malzemeler östenit fazından itibaren soğumaya başladıklarında çok farklı özellikler kazanmaktadırlar. Çeliklerin yapısal ve mekanik özellikleri, soğutma sıcaklığına ve zamanına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Ötektoid altı çelikler, östenit fazından itibaren soğutulduğunda, 723°C'de ötektoid reaksiyon sonucu ferrit ve sementitten oluşan bir lamelli yapı olan perlit oluşturur. Bu çeliklerin östenit fazı içerisinde çözünen karbon miktarı sıcaklıkla birlikte artmaktadır ve 723°C'ye kadar östenit içerisinde sementit çökmesi gözlemlenmektedir. 723°C'ye ulaşıldığında ise yapıdaki östenit phase perlit fazına dönüşerek perlit ve sementit bileşenlerini oluşturur. Ötektoid üstü çelikler ise, faz ve mikroyapı dönüşümlerinin zaman ve sıcaklıkla değiştiği aşikâr olduğu için, bu çelikler ötektoid altı çeliklere kıyasla daha sert ve kırılğan bir yapıya sahip olmaktadır. Son yıllarda yapılan kapsamlı araştırmalar sonucu, çeliklerin TTT diyagramları ile yapısal ve mekanik özellikleri incelenerek önemli bir rol oynadığı görülmüştür. Faz diyagramları çok yavaş soğutma koşullarında çizilirken, TTT diyagramları ile daha hızlı soğuma koşullarında ortaya çıkan kararsız fazlar, Martensit ve Beynit gibi, tanımlanabilmektedir (McGuire ve Jenkins, 2002).

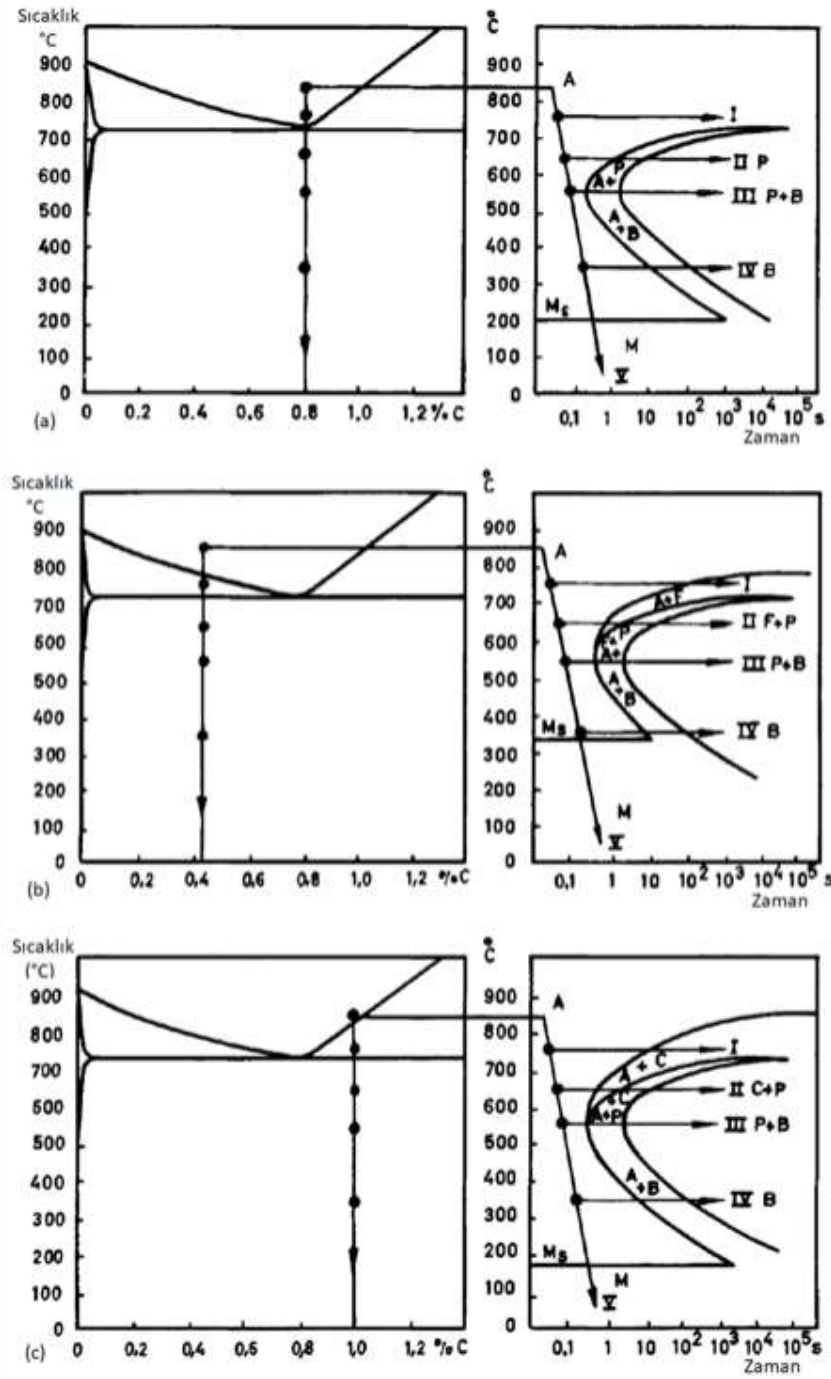
1.2.2 Zaman-sıcaklık-dönüşüm diyagramları

Çeliklerin östenitleme işlemi, tüm üretim sürecinde büyük bir önem taşımaktadır. Östenitleme sıcaklığı ve soğutma hızı, çeliğin sertliğini, mukavemetini, tokluğunu ve diğer mekanik özelliklerini belirleyen faktörlerdir. Bu nedenle, çelik üreticileri östenitleme işleminde optimum sıcaklık ve soğutma hızını belirlemek için çeliklerin zaman-sıcaklık-dönüşüm (TTT) diyagramlarını kullanmaktadırlar (Rodríguez-González, 2009).

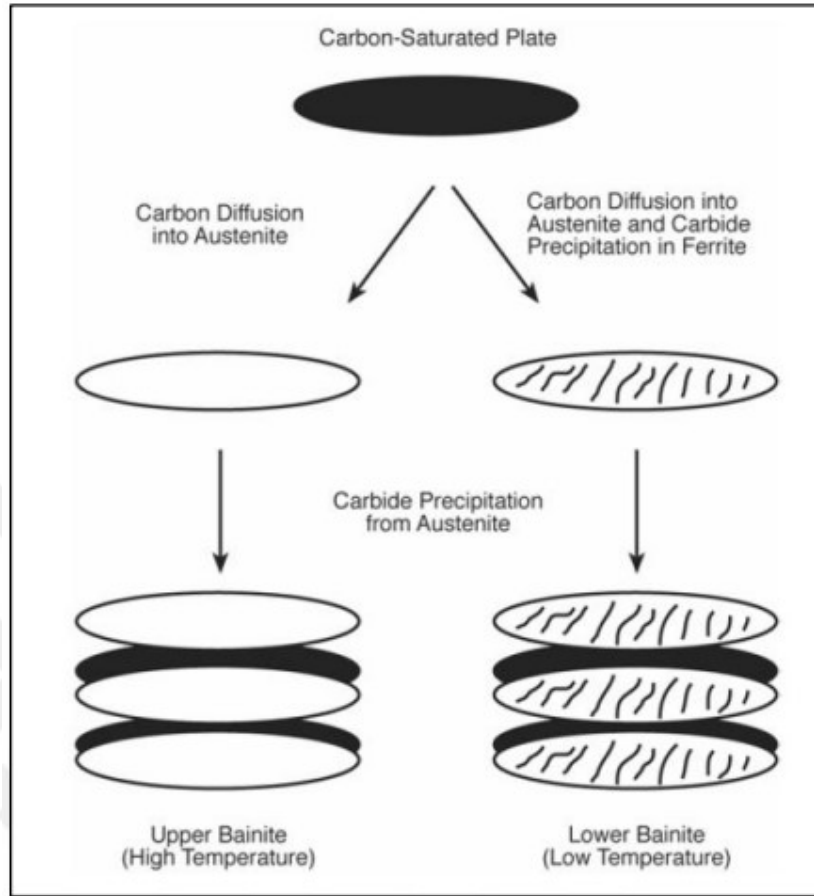
TTT eğrileri, çeliklerin uygun östenitleme sıcaklığında hızlıca kurşun veya tuz banyosuna transfer edilip, belirli bir süre bu ortamda bekletilmesiyle elde edilir. Bu süreçte, çeliklerin yapılarının incelenmesi amacıyla farklı soğutma ve bekletme süreleri kullanılır. Bu şekilde ferrit, perlit, martenzit ve beynit yapılarının başladığı ve bittiği noktalar tespit edilir. Karbon oranına göre oluşan çeliklerin TTT diyagramları göz önünde bulundurulur. Böylece, çeliklerin hangi sıcaklık ve soğutma hızında hangi yapıların oluşacağı önceden belirlenebilir (Lucon ve Santoyo, 2022).

Perlit oluşumu, %0,8 karbon içeren çelikler için östenitleme sıcaklığından (850°C) yaklaşık 750°C'nin altına inildiğinde gerçekleşir. 650°C'nin altına inildiğinde ise 10 saniye içerisinde tamamlanan bir dönüşüm görülür. Bu dönüşüm sürecinde, perlit lamelleri gittikçe incelerek yapıda sertleşmeye sebep olur. %0,4 karbon içeren çeliklerde de aynı şekilde 750°C'de sadece ferrit ayrılır ve ferrit ile östenit arasında bir denge durumu oluşur. Ancak 650°C'de tamamlanan dönüşüm sonucu, mikroyapıda ferrit ve perlit oluşumu görülür. Aynı durum, %1 karbon içeren çeliklerde de ferrit ve sementit oluşumu ile gerçekleşir (Lucon ve Santoyo, 2022).

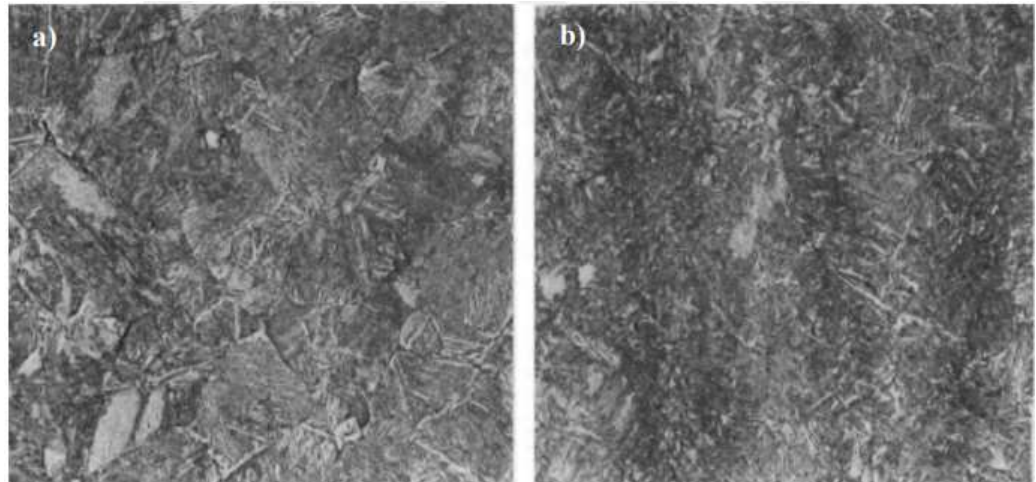
Beynit oluşumu ise perlite dönüşmeyecek kadar hızlı, ancak martenzite dönüşmeyecek kadar yavaş olan soğutma hızlarında meydana gelir. Bu nedenle, östenitleme işleminden sonra gerçekleşen atermal işlemler sonucunda beynit yapısının oluşumu incelenir. Dönüşüm sıcaklığı düştükçe beynitin yapısı da değişir. 550-400°C sıcaklık aralığında gerçekleşen dönüşüm sonucu üst beynit, plaka şeklinde kılıflardan oluşur ve içerisinde küçük ferrit taneleri taşır. Alt beynit ise 550-250°C sıcaklık aralığında gerçekleşir ve küçük karbür partiküllerin dağılmış iğneli ferrit plakalardan oluşur (Rodríguez-González, 2009).



Şekil 1.4 İçerdiği karbon oranlarına göre soğuma eğrileri a) %0,8 b) %0,4 c) %1 (Keskin Gencer, 2020)

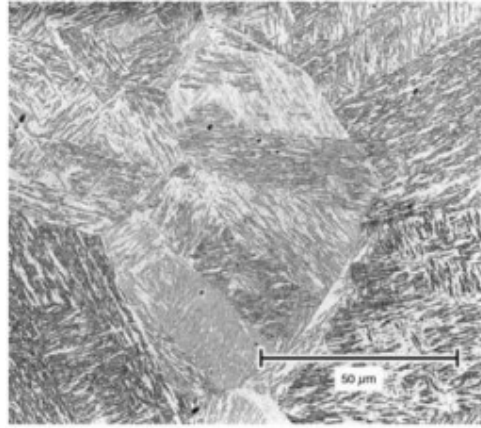


Şekil 1.5 Alt beynit ve üst beynit. (Keskin Gencer, 2020)



Şekil 1.6 25CrMo4 çeliği a) Üst beynit b) Alt beynit (Keskin Gencer, 2020)

Çelik, östenit fazından oda sıcaklığına kadar hızla soğutulduğunda, çok sert bir faz olan martenzit oluşur. Martenzit, ferrit veya perlitin aksine, östenit kafesinde herhangi bir atom dağılımı olmadan deforme olur. Bu deformasyon, büyük bir kayma ve hacim genişlemesinden kaynaklanır ve çeliğin yapısında şekil değişikliğine neden olur. Martenzit oluşumu çevresi tarafından sınırlandırıldığında, Şekil 1.7'den de görüleceği üzere gerilme enerjisini en aza indirmek için ince plakalar veya kafesler oluşturur (Rodríguez-González, 2009). Martenzit oluşumu, çelik üzerinde önemli etkilere sahiptir ve çelik için önemli bir mikroyapısal özellik olarak kabul edilir. Martenzit oluşumu, östenitin aşırı soğutulması sonucu elde edilir ve çok yüksek bir sertliğe sahiptir. Bu nedenle, çeliğin östenit fazından martenzite dönüşümü, çeliklerin sertleştirilmesinde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Martenzit oluşumunun çelik üzerindeki etkisi, çeliğin mukavemet ve sertliğinin yanı sıra aşınma direnci, tokluk ve diğer mekanik özellikler üzerinde de belirleyici bir rol oynar. Martenzit, çeliğin yapısal amorf bir fazıdır ve belirli sıcaklık ve bileşim aralıklarında tercih edilen bir yapısal morfolojiden ziyade oluşur. Martenzit oluşumu, çelik için kritik bir süreçtir ve üretilen martenzit miktarı, soğutma hızı, başlangıç sıcaklığı ve bileşime bağlıdır (Bryson, 2005).



Şekil 1.7 Su verilmiş düşük alaşımlı çeliğin kafes yapısı (%2 Nital ile dağlama ve 500x büyütme) (Keskin Gencer, 2020)

Çelikler, yüksek sıcaklıklarda oldukça yumuşak ve kolay şekillendirilebilir yapıya sahiptirler. Ancak soğutma işlemi sonrası yapı ve özelliklerinde büyük değişimler meydana gelir. Demir-karbon faz diyagramı, demir ve karbon arasındaki ilişkiyi gösteren ve çelik üretiminde büyük önem taşıyan bir diyagramdır. Östeoid çeliklerde, soğutma işlemi sonrası, çelikteki östenit fazı hızla martenzit fazına dönüşür. Ancak bu dönüşüm sırasında bazı bölgelerde östenit fazı tamamen dönüştürülemez ve

kalıntı östenitler oluşur. Bu kalıntı östenitlerin çeliğin özelliklerini ve dayanıklılığını etkilemesi nedeniyle, bu fazın giderilmesi önemlidir. Bunun için sıcaklık oda sıcaklığının altına düşürülerek martenzit dönüşümü devam ettirilir. Bu sürece "sıfır altı" veya "kriyojenik" işlem adı verilir. Ayrıca kalıntı östenitlerin martenzite dönüştürülmesi için temperleme işlemleri de kullanılabilir. Demir-karbon faz diyagramı ve TTT diyagramı incelendiğinde, çelikte oluşabilecek tüm yapıların ve bu yapıların dönüşüm sıcaklıklarının ortaya çıktığı görülür. Bu nedenle, yapıların dönüşümü ve özellikleri üzerinde etkili olan kalıntı östenitlerin önlenmesi ve giderilmesi büyük önem taşır (Gandy, 2007).

Tablo 1.4 Fazlar, kristal yapıları ve özellikleri (Keskin Gencer, 2020)

Faz	Kristal Yapı	Özellikler
Ferrit, α	BCC	Yumuşak, tok, manyetik
Östenit	FCC	Orta mukavemet, antimanyetik
Sementit	Rombik	Sert, gevrek kimyasal bileşim
İri Taneli Perlit	$\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$, lamelli	Tok ferrit ve sert sementitin kombinasyonu
İnce Taneli Perlit	$\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$, lamelli	İri taneli perlitten daha sert
Küresel	$\alpha +$ küresel Fe_3C	Yumuşak
Üst Beynit	α yüzeyinde Fe_3C çökmesi	İnce lamelli perlit gibi özellikler
Alt Beynit	α yüzeyinde Fe_3C çökmesi	Martenzite yakın mukavemet ancak temperlenmiş martenzitten daha tok
Martenzit (Temperlenmemiş)	BCT	Sert ve gevrek
Martenzit (Temperlenmiş)	BCT	Temperlenmemiş martenzitten daha yumuşak ve tok

Ferrit, demir ve çeliklerde yaygın olarak bulunan bir fazdır ve BCC (Body-Centered Cubic) kristal yapısına sahiptir. Bu kristal yapı, her birim hücrede bir merkez atomu ve köşelerde sekiz atom içerir. Ferrit, düşük karbon içeriği nedeniyle yumuşak ve tok bir yapıya sahiptir. Bu özellikleri, malzemenin şekillendirilmesi ve işlenmesi sırasında kolaylık sağlar. Ayrıca, Ferrit manyetik özelliklere sahiptir, bu da onu elektromıknatıs ve manyetik çekirdek uygulamaları için uygun kılar. Ferrit, genellikle düşük sıcaklıklarda bulunur ve oda sıcaklığında demirin ana fazı olarak kabul edilir (Gandy, 2007).

Östenit, yüksek sıcaklıklarda mevcut olan ve FCC (Face-Centered Cubic) kristal yapısına sahip bir fazdır. FCC yapısı, her birim hücrede bir merkez atomu ve yüzeylerin merkezinde bulunan altı atom içerir. Östenit, demir-karbon alaşımlarında, özellikle paslanmaz çeliklerde yaygındır. Orta mukavemet ve antimanyetik özelliklere sahip olan östenit, manyetik alanlardan etkilenmeyen uygulamalarda tercih edilir. Ayrıca, östenitin yüksek sıcaklıklarda stabil olması, kaynak ve ısıtılma işlem süreçlerinde önemlidir. Paslanmaz çeliklerin östenitik yapısı, korozyon direncini artırır ve yüksek sıcaklıklarda mukavemet sağlar (Gandy, 2007).

Sementit veya demir karbür (Fe_3C), rombik kristal yapıya sahip sert ve gevrek bir fazdır. Kimyasal bileşimi nedeniyle çeliklerin sertliğini ve mukavemetini önemli ölçüde artırır. Ancak, sementitin gevrek yapısı, malzemenin kırılgan olmasına neden olabilir. Bu yüzden, sementit fazının miktarı ve dağılımı, çeliğin mekanik özelliklerini optimize etmek için dikkatlice kontrol edilmelidir. Sertliğin artırılması gereken uygulamalarda, sementit fazı istenilen özellikleri sağlar. Ancak, bu fazın yüksek miktarlarda bulunması, çeliğin işlenebilirliğini olumsuz etkileyebilir (Dossett ve Boyer, 2006).

İri taneli perlit, α -ferrit ve Fe_3C (sementit) fazlarının lamelli yapıda bir kombinasyonudur. Bu faz, çeliklerin dengeli mekanik özelliklere sahip olmasını sağlar. Ferritin yumuşak ve tok yapısı ile sementitin sert yapısının bir araya gelmesi, malzemenin hem dayanıklı hem de sert olmasını sağlar. İri taneli perlit, genellikle oda sıcaklığında bulunur ve çeliklerin temel mikroyapılarından biridir. Bu faz, düşük ve orta karbonlu çeliklerde yaygın olarak görülür ve mekanik özelliklerin optimizasyonunda önemli bir rol oynar (ASTM, 2001).

İnce taneli perlit, iri taneli perlitten aynı fazları içerir ancak daha ince lamellere sahiptir. Bu yapı, iri taneli perlitten daha serttir. İnce taneli perlit, çeliğin mukavemet ve sertlik özelliklerini artırır. İnce taneli yapının sağladığı yüksek sertlik, aşınma direncini artırır ve çeliğin yüksek gerilim altında deformasyona karşı dayanıklılığını iyileştirir. Bu özellikler, ince taneli perlitin, yüksek mukavemet ve aşınma direncinin kritik olduğu mühendislik uygulamalarında kullanılmasını sağlar (Dossett ve Boyer, 2006).

Küresel faz, α -ferrit ve küresel şekilli Fe₃C partiküllerinin bir kombinasyonudur. Bu yapı, çeliğin yumuşak ve tok olmasını sağlar. Küresel sementit partikülleri, lamelli yapıdan farklı olarak, malzemenin işlenebilirliğini artırır ve darbe direncini iyileştirir. Küresel faz, özellikle dövme ve çekme işlemlerinde kullanılır ve bu işlemlerde malzemenin deformasyon direncini artırır. Yumuşak yapısı, malzemenin kolayca şekillendirilebilmesini sağlar ve işlem maliyetlerini düşürür (Rudnev vd., 2017).

Üst beynit, α -ferrit fazının yüzeyinde Fe₃C çökelmelerinin olduğu bir yapıya sahiptir. İnce lamelli perlit gibi özellikler gösterir, yani yüksek mukavemet ve tok bir yapı sunar. Üst beynit, çeliklerin sertleştirilmesi ve mukavemetlerinin artırılması için kullanılan bir fazdır. Bu faz, sertleştirme işlemlerinde ortaya çıkar ve çeliğin kırılganlığını azaltırken mukavemetini artırır. İnce lamelli yapısı, malzemenin çekme dayanımını ve sertliğini artırır, bu da onu yüksek performans gerektiren uygulamalarda ideal kılar (Dong vd., 2018).

Alt beynit, üst beynite benzer şekilde α -ferrit yüzeyinde Fe₃C çökelmeleri içerir. Ancak, martenzite yakın mukavemet sunar ve temperlenmiş martenzitten daha tok bir yapıya sahiptir. Alt beynit, yüksek mukavemet ve tok bir yapı sağlayarak, çeliklerin darbe direncini artırır. Bu faz, özellikle yüksek mukavemet gerektiren ancak kırılganlık riski olan uygulamalarda tercih edilir. Alt beynitin temperlenmiş martenzitten daha tok olması, çeliklerin kullanım ömrünü uzatır ve güvenilirliğini artırır (Dong vd., 2018).

Temperlenmemiş martenzit, BCT (Body-Centered Tetragonal) kristal yapısına sahiptir ve çok sert ve gevrek. Bu faz, hızlı soğutma (quenching) işlemi sonucunda oluşur ve yüksek mukavemet sağlar. Ancak, gevrek yapısı nedeniyle kırılganlık riski taşır. Temperlenmemiş martenzit, yüksek sertlik ve aşınma direncinin önemli olduğu uygulamalarda kullanılır. Ancak, kırılma riski nedeniyle dikkatli bir şekilde kullanılması gerekir. Çeliğin temperlenmesi, martenzitin toklaştırılmasını ve kırılganlığının azaltılmasını sağlar (Bryson, 2005).

Temperlenmiş martenzit, temperlenmemiş martenzitten daha yumuşak ve tok bir yapıya sahiptir. Temperleme işlemi, martenzitin içindeki gerilmelerin azaltılması ve

kristal yapının stabil hale getirilmesi için uygulanır. Bu işlem, çeliğin sertliğini bir miktar azaltırken, tok bir yapı sağlar. Temperlenmiş martenzit, yüksek mukavemet ve tok yapısının kritik olduğu uygulamalarda kullanılır. Bu faz, özellikle yüksek performans gerektiren mühendislik uygulamalarında tercih edilir ve çeliğin dayanıklılığını ve güvenilirliğini artırır (Totten, 2006).

Bu fazların her biri, demir ve çeliklerin farklı uygulamalarda kullanılabilmesi için kritik öneme sahiptir. Her bir fazın kendine özgü özellikleri ve kristal yapıları, malzemenin mekanik performansını belirler ve kullanım alanlarını genişletir (Totten, 2006).

1.2.3 Çeliklere sertleştirme amaçlı uygulanan ısıt işlemler

1.2.3.1 Östenitleme

Çelik ürünlerde istenen mekanik ve fiziksel özellikleri elde etmek ve bu ürünlerin kullanılacağı yerlere uygun hale getirmek için yapılan ilk işlem östenitlemedir. Bu önemli ısıt işlem, çeliğin oda sıcaklığından östenit yapısına kadar homojen bir şekilde ısıtılmasını amaçlar. Östenitleme işlemi, çeliğin yapısını düzenleyerek istenen özelliklere kavuşmasını sağlar ve böylece çelik ürünlerin kalitesini ve mukavemetini belirler (Dong vd., 2018).

Östenitleme sıcaklığı, çeliğin içerisindeki karbon konsantrasyonuna ve alaşım elementlerine bağlı olarak değişir. İşlemin süresi ise parçanın boyutlarına ve yapısına göre belirlenir. Bu nedenle, çeliğin homojen bir şekilde ısınmasını ve östenit yapısına dönüşmesini sağlamak için süreç dikkatli bir şekilde yönetilir (Dong vd., 2018). Östenitleme işlemi, çeliğin istenen özelliklere ulaşması için hayati bir adımdır. Bu sürecin başarılı olması, sıcaklık ve süre parametrelerinin kullanılan malzemenin özelliklerine göre dikkatle belirlenmesine bağlıdır (Keskin Gencer, 2020).

1.2.3.2 Sertleştirme (Su verme)

Çelikler, çeşitli uygulamalarda kullanılmak üzere farklı miktarlarda karbon ve diğer elementlerle alaşımlanmıştır. Karbon, çeliğin sertlik, mukavemet ve tokluğunu belirleyen en önemli elementtir. Karbon oranı arttıkça, çeliğin sertlik ve mukavemeti

artarken, kırılabilirliği de artar. Çelikler karbon miktarına göre dört ana gruba ayrılır: düşük karbonlu çelikler (maksimum %0.3 C), orta karbonlu çelikler (%0.3-0.6 C), yüksek karbonlu çelikler (%0.6-1.4 C) ve östenitik paslanmaz çelikler (yaklaşık %0.15 C). Ayrıca, hidrojen atomlarının varlığı çeliğin sertliğini artırırken, mukavemetini ve yenilme payını düşürür (Committee, 1990).

Çelikler, işleme süreçleri sırasında çeşitli ısıtma ve soğutma işlemlerine tabi tutulur. Bu işlemler, çeliklerin mikro yapılarını ve nihai özelliklerini belirleyerek istenilen performansı sağlar. En kritik ısıtma işlemlerinden bazıları normalleştirme, östenitleme ve sertleştirmedir. Normalleştirme, çeliği belirli bir sıcaklığa kadar ısıtmayı ve ardından kontrollü bir şekilde soğutmayı içeren bir işlemdir. Bu süreç, çeliğin homojen bir mikro yapıya sahip olmasını ve iç gerilmelerin azaltılmasını sağlar (Committee, 1990).

Östenitleme ise çeliğin oda sıcaklığından daha yüksek sıcaklıklara kadar homojen bir şekilde ısıtılmasını ve ardından belirli bir hızda soğutulmasını içeren bir işlemdir. Bu işlem, çeliğin yapısal özelliklerini iyileştirir. Sertleştirme, östenitleme sıcaklığından hızlı soğutma işlemidir ve genellikle su verme olarak adlandırılır. Su verme işlemi, çeliğin tane sınırlarında biriken karbürlerin minimize edilmesini, ferrit dağılımının iyileştirilmesini ve mikroyapı içerisindeki martenzitin kontrollü olarak oluşturulmasını sağlar (Bramfitt ve Benschoter, 2001).

Sertleştirme işlemi, çeliklerin istenen mekanik özelliklere ulaşmasını sağlayan hayati bir adımdır. Bu işlem, çeliklerin mikroyapısını düzenleyerek istenen sertlik, mukavemet ve tokluğu elde etmeyi sağlar. Ayrıca, gerilim birikimini, yapısal bozunumları ve çatlak olasılıklarını minimize eder (Bramfitt ve Benschoter, 2001). Sertleştirme işlemi sırasında kullanılan ortamlar, soğutma hızına bağlı olarak seçilir ve çeliğin alaşımı, kesit kalınlığı ve şekline göre belirlenir. Bu ortamlar su, tuzlu su, yağ, hava ve gaz gibi çeşitli seçenekler içerir (Gao vd., 2016).

Su: En yaygın ve ekonomik sertleştirme ortamıdır. Su, demir dışı metaller ve östenitik paslanmaz çelikler için maksimum hızda soğutma sağlar. Ancak, karmaşık tasarımlı parçalarda iç gerilmelere ve çatlaklara neden olabilir.

Tuzlu Su: Sodyum veya kalsiyum klorür içeren çözelti, yağ ve su ortamlarının yeterli sertleştirmeyi sağlayamadığı durumlarda kullanılır. Tuz banyosu ile yapılan işlemler çeliğin sertliğini ve sertleşme derinliğini artırır, ancak korozyona neden olabilir. Bu yüzden, su verme tankı ve diğer ekipmanların korozyona dayanıklı olması gerekir.

Yağ: En sık kullanılan soğutma ortamlarından biridir ve su verme işlemi sonunda çarpılma ve şekil bozuklukları düşüktür. Yağ ortamı, yavaş, konveksiyonel, hızlı, martemperleme veya sıcak su verme yağları olarak sınıflandırılır ve işleme göre özel olarak seçilir.

Hava: Havada yapılan sertleştirme, oldukça yavaş bir soğutma hızı sağlar ve perlitik yapı elde edilmesi için kullanılır. Bu yöntem, yüksek soğutma hızına ihtiyaç duymayan çelikler için uygundur.

Gaz: Gaz ortamında yapılan sertleştirme, havada yapılan soğutmadan daha hızlı, ancak yağda yapılan soğutmadan daha yavaş bir hız sağlar. Soğutma hızı parçanın boyutlarına bağlıdır ve genellikle küçük parçalar için tercih edilir. Vakum altında gaz ile yapılan işlemlerde parça yüzeyi temiz kalır ve ek bir temizleme işlemine gerek kalmaz.

Sertleştirme (su verme) işlemi çeliklerin mekanik özelliklerini önemli ölçüde iyileştirir ve geniş bir uygulama yelpazesinde kullanılmasını sağlar. Kullanılan ortamların doğru seçimi ve işlemin dikkatli yönetimi, çeliklerin performansını belirlemede kritik öneme sahiptir. Bu nedenle, her aşamanın titizlikle kontrol edilmesi ve uygun ortamların seçilmesi, çeliklerin istenen özelliklere ulaşması için hayati öneme sahiptir. Bu işlemin, çeliklerin mekanik özelliklerini iyileştirmesi ve farklı uygulamalara uygun hale getirmesi açısından birçok avantajı vardır. Ancak, sertleştirme işlemi bazı dezavantajlar ve potansiyel riskler de barındırmaktadır (Rodríguez-González, 2009).

Avantajlar

Sertleştirme işlemi, çeliklerin sertlik ve mukavemet değerlerini önemli ölçüde artırır. Bu sayede, çelikler daha yüksek yükler altında çalışabilir ve daha uzun ömürlü olur. Bu özellik, özellikle kesici takımlar, yaylar ve yüksek mukavemet gerektiren parçalar için kritik öneme sahiptir (Rodríguez-González, 2009).

Mikroyapının İyileştirilmesi: Sertleştirme işlemi, çeliklerin mikroyapısını iyileştirir. Tane sınırlarında biriken karbürlerin minimize edilmesi ve ferrit dağılımının iyileştirilmesi, çeliklerin daha homojen ve dayanıklı bir yapıya kavuşmasını sağlar. Mikroyapının iyileştirilmesi, çeliklerin performansını ve dayanıklılığını artırır (Xia vd., 2008).

Esneklik ve Uygulama Çeşitliliği: Sertleştirme işlemi, farklı uygulamalar ve işleme gereksinimlerine göre esneklik sağlar. Farklı sertleştirme ortamları (su, yağ, gaz, vb.) kullanılarak, çeliklerin istenen özelliklere göre optimize edilmesi mümkündür. Bu esneklik, sertleştirme işleminin çeşitli endüstriyel uygulamalarda kullanılmasına olanak tanır (Xia vd., 2008).

Dezavantajlar

İç Gerilmeler ve Çatlaklar: Sertleştirme işlemi sırasında, çeliklerin hızlı soğutulması iç gerilmelere ve çatlaklara neden olabilir. Bu durum, özellikle karmaşık geometrilere sahip parçalar için risklidir. İç gerilmeler ve çatlaklar, çeliklerin mukavemetini azaltabilir ve kullanım ömrünü kısaltabilir (Keskin Gencer, 2020).

Yanlış Ortam Seçimi: Sertleştirme ortamının yanlış seçilmesi, istenmeyen mikroyapılara yol açabilir. Çok hızlı soğutma, çeliklerde gevrek yapıların oluşmasına neden olabilirken, çok yavaş soğutma yeterli sertleşmeyi sağlamayabilir. Bu nedenle, sertleştirme işlemi sırasında uygun ortamın dikkatlice seçilmesi önemlidir (Bryson, 2005).

Korozyon Riski ve Ek Maliyetler: Tuzlu su gibi korozyon riski taşıyan sertleştirme ortamları, ek maliyetler ortaya çıkarabilir. Korozyon, çeliklerin yüzeyinde hasar

oluşturarak mukavemetini ve dayanıklılığını azaltır. Ayrıca, korozyona dayanıklı ekipman kullanımı, işletme maliyetlerini artırabilir (Lucon ve Santoyo, 2022).

Sertleştirme (su verme) işlemi, çeliklerin mekanik özelliklerini önemli ölçüde iyileştirir ve geniş bir uygulama yelpazesinde kullanılmasını sağlar. Bu işlem, çeliklerin sertlik, mukavemet ve dayanıklılık gibi kritik özelliklerini artırarak, daha yüksek performans göstermelerini sağlar. Ancak, sertleştirme işlemi sırasında ortaya çıkabilecek iç gerilmeler, çatlaklar ve korozyon riskleri göz önünde bulundurulmalıdır. İşlemin başarılı olabilmesi için, kullanılan ortamların doğru seçimi ve işlemin dikkatli yönetimi büyük önem taşır. Sertleştirme ortamının seçimi, çeliğin alaşımı, kesit kalınlığı ve şekli dikkate alınarak yapılmalıdır. Ayrıca, sertleştirme işlemi sırasında her aşamanın titizlikle kontrol edilmesi, çeliklerin istenen özelliklere ulaşması için hayati öneme sahiptir. Doğru ortam seçimi ve dikkatli süreç yönetimi, çeliklerin performansını optimize eder ve istenmeyen yan etkileri minimize eder. Bu nedenle, sertleştirme işlemi, çeliklerin kalitesini ve güvenilirliğini artırmak için kritik bir adımdır (ASTM, 2001).

1.2.3.3 Temperleme (Menevişleme)

Menevişleme, genellikle çeliklerin sertliğini azaltmak için yapılan ısıl işlem yöntemidir. Bu yöntemde, çelikler belirli bir sıcaklığa ısıtılır, bu sıcaklıkta belli bir süre tutulur ve ardından soğutulur. Bu sayede, çeliklerin yapısal özellikleri değiştirilerek sertlikleri azaltılır. Menevişlemenin temel amacı, çeliklerin dayanıklılığını artırmak ve işlenebilirliklerini arttırmaktır. Bu işlem sayesinde, çelikler menevişleme sırasında belirlenen sertlik değerine uygun olarak kullanılabilir hale gelirler. Sonuç olarak, menevişleme ısıl işlem yöntemi çeliklerin daha verimli bir şekilde kullanılmasını sağlamaktadır (ASTM, 2001).

Martensitik yapının temperlenmesi

Su verme sonucunda oluşan martenzit yapısı genellikle laboratuvar koşullarında yapılan deneylerde incelenir. Ancak, gerçek çalışma koşullarında bu yapı çok darbeli yükler ve tahribata sebep olabilir. Bu nedenle, bu yapıyı daha dayanıklı hale getirmek için mekanik özellikleri, karbon ve alaşımlı elementlerin oranlarının dikkatli bir şekilde seçildiği, 150-700°C aralığında temperleme işlemine tabi tutulur.

Temperleme işlemi, çeliğin tokluğunu artırır ve bir miktar sertliği azaltır. Ayrıca, su vermenin neden olduğu hacimsel değişimden dolayı dönüşemeyen östenitler de temperleme ile martenzite dönüşür. Ancak, bu dönüşüm sırasında oluşan gerilmeler nedeniyle, çeliğin ikinci bir kez temperleme işlemine tabi tutulması gerekir. Östenit sıcaklığındaki çeliğin su verme sonucunda hızlı bir şekilde soğutulması ile oluşan martenzit yapısının hacimsel değişimi aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanabilir (Keskin Gencer, 2020):

$$VAM = 4,64 - 0,53(\%C).$$

Bu formül, östenitten martenzite dönüşen yapının hacim değişim yüzdesini göstermektedir. %0,38 oranında karbona sahip bir AISI 4140 çeliğindeki yapıdaki hacim artışı yaklaşık %4,44' tür.

Beynitik Yapının Temperlenmesi

Beynitik yapının temperlenmesi, martenzitik yapıların aksine, katı çözelti içerisinde sadece küçük miktarlarda karbon bulunduğu için, temperleme işlemiyle çeliğin mukavemetinde büyük bir değişiklik meydana gelmez. Faz değişimi sırasında hacimsel genişleme oluşur ve bu dönüşemeyen kalıntı östenitler, martenzitik yapıda olduğu gibi, temperleme işlemiyle giderilir. İlk temperleme işlemiyle dönüşen yapılardan kaynaklanabilecek olası iç gerilmeleri gidermek için ise ikinci bir temperleme işlemi gerçekleştirilir. Östenit sıcaklığındaki çeliğin perlit oluşturmayacak kadar hızlı ve martenzitten daha yavaş soğutulması sonucu oluşan beynitik yapı için östenitten dönüşme sırasındaki hacimsel değişim aşağıdaki formülle hesaplanabilir (Rudnev vd., 2017):

$$VALB = 4,64 - 1,43(\%C)$$

$$VAUB = 4,64 - 2,21(\%C)$$

Bu formüllerde, VALB östenitten alt beynite, VAUB ise östenitten üst beynite dönüşen yapıda gerçekleşen hacim değişim yüzdesini ifade etmektedir. Bu dönüşümler için verilen eşitlikler kullanılarak bir örnek hesaplama yapıldığında,

düşük alaşımlı AISI 4140 çeliğinde, %0,38 karbona sahip olan bir çeliğin beynitik yapıda yaklaşık olarak %4,1 ve %3,8 oranında hacim artışı yaşayacağı tahmin edilebilir (Rudnev vd., 2017).

Temperleme işleminin gerçekleşmesi için önce östenit sıcaklığına kadar ısıtılma işleminden geçirilen malzeme, oda sıcaklığına kadar yavaşça soğutulur. Daha sonra, soğutma hızı kontrol edilerek östem çözünümünden sonra dönüşme miktarını belirler. Martenzitik yapıda olduğu gibi, beynitik yapıda da temperleme işlemine tabi tutulması sonucu malzemenin sertliği ve mukavemeti artar. Ancak, beynitik yapıda karbonun çözünmüş olması sebebiyle, mukavemet artışı martenzitik yapıdakine göre daha az bir orandadır (Gandy, 2007).

Östem çözünümünden sonra yapılacak ikinci bir temperleme işlemi ile, ilk temperleme işleminden kaynaklanan olası iç gerilmeler giderilir. Bu sayede, malzemenin daha homojen bir yapıya sahip olması sağlanır. İkinci temperleme işlemi ayrıca, malzemenin sertliğini ve mukavemetini de arttırabilir (Xia vd., 2008).

Martenzitik yapıdaki gibi, beynitik yapıda da dönüşme sırasında meydana gelen hacimsel değişim, malzemenin şeklini ve boyutlarını etkileyebilir. Bu durum, temperleme işleminin yapılacağı malzemenin tasarımı ve kullanım amacı göz önünde bulundurularak dikkatlice ele alınmalıdır (Xia vd., 2008).

Beynitik yapının temperlenmesi, malzeme özelliklerinin iyileştirilmesi ve iç gerilmelerin giderilmesi açısından önemli bir işlem olarak karşımıza çıkmaktadır. Yapılan hesaplamalar ve doğru temperleme işlemleriyle, malzemenin istenen özelliklere sahip bir yapıya kavuşturulması mümkündür. Ancak, her malzemenin özelliklerine ve kullanılacağı amaçlara göre, uygun temperleme işlemleri belirlenmelidir (Rudnev vd., 2017).

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte kesici takım malzemeleri de iyileştirildi. Bunlardan en eski olanı karbonlu çeliklerdir. Yaklaşık olarak %0.6-1.4 oranında karbon içerirler. Kesme hızlarını artırmak amacıyla, krom (Cr), vanadyum (V), tungsten (W), molibden (Mo), mangan (Mn) gibi düşük alaşımlı elementler eklenir. Şekillendirme işlemleri için kolaylık sağlamak için tavlama işlemi uygulanabilir. Bu işlem sonrasında su verme ve temperleme işlemi ile yüzey sertliği kazandırılabilir. Bu süreçte, takımın tamamı martenzite dönüştürülmez ve yüksek şok direncinin yanı sıra iç kısımları da yüksek tokluk özelliğine sahiptir (Trent ve Wright, 2000).

Mühendislikteki son gelişmeler, üstün özelliklerinden dolayı çeşitli uygulamalarda giderek daha fazla kullanılan yeni sertleştirilmiş çelik malzemelerin geliştirilmesine yol açmıştır. Bu malzemelerin işlenebilirliğinin, özellikle yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması ve talaş morfolojisi açısından anlaşılması, işleme süreçlerinin optimize edilmesi için esastır. Yüzey pürüzlülüğü, işlenen bileşenin fonksiyonel performansını etkileyen kritik bir parametredir. Çalışma, ilerleme oranı ve kesme hızının yüzey pürüzlülüğünü önemli ölçüde etkilediğini ve ilerleme oranının en baskın faktör olduğunu bulmuştur. Yüzey pürüzlülüğü, kesme hızının artmasıyla azalırken, ilerleme oranının 0.09 mm/dev'e kadar artmasıyla başlangıçta iyileşir ve bu değer in ötesinde kötüleşir. ANOVA analizi, yüzey pürüzlülüğünü etkileyen birincil faktörlerin ilerleme oranı (%70.22) ve kesme hızı (%21.93) olduğunu doğrulamaktadır. Sertleştirilmiş çeliklerin işlenmesinde ana endişe olan yan yüzey aşınması hem takım ömrünü hem de yüzey kalitesini etkiler. Çalışma, kesme hızının yan yüzey aşınması üzerinde en yüksek etkiye sahip olduğunu (%81.93), bunu ilerleme oranının (%15.23) izlediğini göstermektedir. Yan yüzey aşınmasını en aza indirmek için tüm üç parametrenin (kesme hızı, ilerleme oranı ve kesme derinliği) düşük seviyelerde tutulması önerilmektedir. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) gözlemleri, aşınmanın ana mekanizmasının aşındırma olduğunu ve kaplamalı karbür takımda meydana gelen aşınmanın bu mekanizma nedeniyle oluştuğunu ortaya koymuştur. Talaş morfolojisi, plastik deformasyon sonucu meydana gelen döngüsel çatlaklar nedeniyle testere dişi şeklinde talaş oluşumunu doğrulamaktadır. Çalışmada kullanılan kesme parametreleri ile kesme hızının artırılması ve ilerleme oranının

azaltılması, daha ince talaşlar üretmiştir. Sertleştirilmiş AISI 4340 çeliğinin işlenmesi sırasında aşınma, işlenen parçanın yüzey kalitesi üzerinde zararlı bir etkiye sahip olduğu için dikkate alınması gereken ana faktörlerden biridir. Yan yüzey aşınması (VB) 0.3 mm'nin altında gözlemlenmesine rağmen, yüzey pürüzlülüğü (Ra) 1.6 μm 'yi aşmamaktadır ve bu, işlemi taşlama operasyonu ile karşılaştırılabilir kılmaktadır. Yüzey pürüzlülüğü ve yan yüzey aşınması için çoklu doğrusal regresyon modelleri geliştirilmiştir. Önerilen modeller, yüksek R² değeri (Ra için 0.87 ve VB için 0.96) ve sıfır hipotezinin (Anderson-Darling testi; P-değeri 0.05'ten büyük) doğrulanması nedeniyle yeterli ve istatistiksel olarak geçerlidir. Optimum kesme koşulları ($v = 220$ m/dak, $f = 0.087$ mm/dev ve $d = 0.52$ mm) altında kaplamalı karbür uçlar kullanılarak yapılan işleme maliyeti, parça başına yaklaşık \$0.13 (Hindistan rupisi olarak Rs. 8.21) olarak bulunmuştur ve bu, sert torna uygulamaları için mükemmeldir. Çalışmadan, kuru kesme koşullarında sert torna işlemi için çok katmanlı TiN/TiCN/Al₂O₃/TiN kaplamalı karbür takımın etkinliği ve potansiyeli, geleneksel silindirik taşlama operasyonunun yerini almak için yüksek verim ve maliyet etkin fayda sağladığı sonucuna varılmıştır (Das, Panda, ve Dhupal, 2017).

Otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılan ve şafta, dişli ve rulman parçaları için önemli bir temel malzeme olan sertleştirilmiş AISI 4140 çeliğinin işlenebilirliğini incelemektedir. Sertlik ve tokluk gibi özellikleri nedeniyle işleme performansı olumsuz etkilenen bu malzemenin, yüzey pürüzlülüğü, titreşim ve akustik emisyonlar üzerindeki parametre seviyelerinin (üç farklı kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği) etkileri araştırılmıştır. Kuru tornalama işlemi sırasında gerçekleştirilen bu araştırmada, yanıtları tahmin etmek için bulanık çıkarım sistemine dayalı bir makine öğrenme yaklaşımı kullanılmıştır. Matlab programı ile oluşturulan kural tabanlı bulanık mantık modeli, yüzey pürüzlülüğünü (%88), titreşimi (%86) ve akustik emisyonu (%87) yüksek doğrulukla tahmin etmiştir. Deneysel sonuçlar ile bulanık model sonuçlarının karşılaştırılması sonucunda, kural tabanlı bulanık mantık modellemesinin yüzey pürüzlülüğü, titreşim ve akustik emisyon tahmininde başarılı olduğu görülmüştür. Gelecek çalışmalarda hata oranlarının daha fazla dilsel ifadeler ile azaltılabileceği ve farklı üyelik fonksiyonlarının hata üzerindeki etkilerinin araştırılabileceği belirtilmiştir. Çalışma, sertleştirilmiş AISI 4140 çeliğinin işlenmesi sırasında titreşimlerin hızlı takım aşınmasına ve düşük yüzey kalitesine neden

olduğunu ortaya koymuş ve bu bulgular, endüstriyel açıdan önemli malzemelerin işleme özellikleri üzerindeki tornalama koşullarının etkisini gösteren literatüre katkı sağlamıştır. Yüzey pürüzlülüğü, titreşim ve akustik emisyon tahminlerinde bulanık mantık modellemesinin karar verme sürecinde bir alternatif olabileceği sonucuna varılmıştır. Bu çalışmanın sonuçları, tahmin modellerinde hata paylarının her zaman dikkate alınması ve minimum seviyelerde tutulması gerektiğini vurgulamaktadır (Asiltürk vd., 2023).

SAE 4140 çeliğin tornalanması sırasında ses seviyesi ve yüzey pürüzlülüğünü etkileyen kesme parametrelerinin optimizasyonunu hedeflemiştir. Sirer Albayrak, Faruk Yeşildal ve Cemalettin Yıldırım tarafından gerçekleştirilen bu araştırmada, ilerleme miktarı, devir sayısı ve talaş derinliği olmak üzere üç farklı seviyede incelenen kesme parametreleri, Yanıt Yüzey Yöntemine göre deney planına uygun olarak değerlendirilmiştir. Minitab 18 programı ile yapılan analizler sonucunda, ses seviyesi üzerinde en etkili parametrelerin sırasıyla devir sayısı, ilerleme miktarı ve talaş derinliği olduğu belirlenmiştir. Yüzey pürüzlülüğü açısından ise en etkili parametrelerin ilerleme miktarı ve devir sayısı olduğu görülmüştür. Hem ses seviyesi hem de yüzey pürüzlülüğü için optimum çalışma seviyeleri belirlenmiş ve bu değerler, ilerleme miktarı için 0.1 m/s, devir sayısı için 750 dev/dak ve talaş derinliği için 0.5 mm olarak önerilmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre, devir sayısının önemli bir parametre olarak ortaya çıkmasının, tezgâhın kendi sesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Yüzey pürüzlülüğü açısından talaş derinliğinin anlamlı bir etkisi olmadığı gözlemlenmiştir. Artan devir sayısının, iş parçasının birim zamanda daha fazla işlenmesine neden olarak ses şiddetini artırdığı, ilerleme hızının ise yüzey pürüzlülüğü üzerinde büyük bir etkiye sahip olduğu ve bu etkinin gürültü maruziyeti ile değerlendirilmesi gerektiği vurgulanmıştır. İlerleme miktarının artması, yüzey pürüzlülüğünü ve ses seviyesini olumsuz etkilerken, talaş derinliğinin artması yüzey pürüzlülüğünü bir miktar artırmakta ancak ses seviyesinde ciddi bir artışa neden olmaktadır. Devir sayısı ve kesme hızının artması yüzey pürüzlülüğünü azaltırken ses seviyesinin artmasına yol açmaktadır. Sonuç olarak, optimum kesme şartlarının belirlenmesi ile malzeme israfının önüne geçmek, yüzey pürüzlülüğünü iyileştirmek ve işçilerin gürültü maruziyetlerini azaltmak hedeflenmiştir (Albayrak, Yeşildal ve Yıldırım, 2020).

AISI 4140 çeliğinin delme işlemi sırasında kullanılan Ø8 mm helisel matkap için uygun kesme kenarı radyüsü ve kesme parametrelerinin optimizasyonunu amaçlamaktadır. Deney tasarımı, deney sayısını azaltmak amacıyla Taguchi L/9 yarım dizayn yöntemi kullanılarak oluşturulmuş ve sonuçlar MiniTab 17 yazılımı ile analiz edilmiştir. Kesme kuvvetinin azaltılması sonucunda takım aşınması %30 oranında azaltılmış ve takım ömrü güvenli bölgede kalınarak %20 oranında artırılmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre, ilerleme değeri tork ve itme kuvveti üzerinde en etkili parametre olarak belirlenmiştir. Kesme hızının artışı torku azaltmış ancak itme kuvvetlerini baskın olmayan bir şekilde artırmıştır. Kesme kenarı radyüsü, literatürdeki çalışmaların aksine bu çalışma için arttıkça tork ve itme kuvveti değerlerini azaltıcı etki göstermiştir; bu durum, kesme kenarı radyüsünün her işlem ve malzeme kombinasyonu için belirlenmesinin ve mikro geometrinin önemini vurgulamaktadır. Aşınmalar maks. 0,296 mm seviyesinde kaldığından çalışmayı yalınlaştırmak adına görseller eklenmemiştir. Bu değer kombinasyonu, ilerleme hızı $F_n=0,1$ mm/dev, kesme hızı $V_c=70$ m/dk ve kesme kenarı radyüsü $R=5$ µm olarak belirlenmiştir. En düşük aşınma değeri ise 0,166 mm olarak $F_n=0,1$ mm/dev, $V_c=110$ m/dk ve $R=15$ µm ile elde edilmiştir. Aşınmalar üzerinde en büyük etken ilerleme değeri olup, kesme kenarı radyüsü ise ikincil etken olmuştur. Deneyler sonucunda tork değerleri “en düşük en iyidir” yaklaşımıyla değerlendirildiğinde en uygun parametreler $F_n=0,05$ mm/dev, $V_c=110$ m/dk ve $R=15$ µm olarak belirlenmiştir. Bu bulgular, delme işlemlerinde hem kesme kuvvetlerini azaltma hem de takım ömrünü uzatma açısından önemli bir rehber sunmaktadır. Çalışma 2020 yılında K. Açay, S. Kolaç ve M. Atak tarafından gerçekleştirilmiş ve literatüre önemli katkılar sağlamıştır (Açay, Kolaç ve Atak, 2020).

2020 yılında Sirer Albayrak, Faruk Yeşildal ve Cemalettin Yıldırım tarafından gerçekleştirilen bu çalışma, AISI 4140 çeliğinin kaba işleme şartlarında (yüksek ilerleme ve talaş derinliği) çok yönlü takımla tornalanması sırasında yüzey pürüzlülük performansının optimizasyonunu istatistiksel olarak incelemektedir. Çalışma, kesme hızı, talaş kırıcı tipi ve uç yarıçapı faktörlerinin farklı seviyelerinde Taguchi’nin L8 ortogonal dizisi esas alınarak yapılan deneyleri kapsamaktadır. %95 güven seviyesinde yapılan analizler sonucunda, uç yarıçapının pürüzlülük üzerinde

en anlamlı etkiye sahip olduğu, bunu talaş kırıcı tipi ve uç yarıçapı etkileşiminin izlediği ve optimum pürüzlülüğün $0,572 \mu\text{m}$ olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, her bir deney şartı için takım aşınma performansları araştırılmıştır. Deney planına göre en düşük pürüzlülük ve pürüzlülük artışları 2, 6 ve 8 no'lu deneylerde elde edilmiştir. Buna göre, 2 no'lu deneyde kesme hızının birinci ($A=205 \text{ m/dak}$), talaş kırıcı tipinin birinci ($B=FT$) ve uç yarıçapının ikinci ($C=0,8 \text{ mm}$) seviyesinde yapılan deneyde $0,572 \mu\text{m}$ 'luk pürüzlülük ve %56,11'lik pürüzlülük artışı; 6 no'lu deneyde kesme hızının ikinci ($A=280 \text{ m/dak}$), talaş kırıcı tipinin birinci ($B=FT$) ve uç yarıçapının ikinci ($C=0,8 \text{ mm}$) seviyesinde yapılan deneyde $0,576 \mu\text{m}$ 'luk pürüzlülük ve %43,92'lik pürüzlülük artışı; 8 no'lu deneyde kesme hızının ikinci ($A=280 \text{ m/dak}$), talaş kırıcı tipinin ikinci ($B=MT$) ve uç yarıçapının ikinci ($C=0,8 \text{ mm}$) seviyesinde yapılan deneyde $0,938 \mu\text{m}$ 'luk pürüzlülük ve %38,48'lik pürüzlülük artışı elde edilmiştir. Bu değerler oldukça yakındır. Varyans analizine göre sadece uç yarıçapı ve talaş kırıcı tipi-uç yarıçapı etkileşimlerinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde anlamlı olduğu; uç yarıçapının %60,38' lik anlamlılık oranıyla en dominant etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Kesme hızının yüzey pürüzlülüğü ile doğru orantılı olarak değiştiği ve uç yarıçapının artışı ile yüzey pürüzlülüğünde keskin bir düşüş olduğu gözlemlenmiştir. Optimum pürüzlülük, kesme hızının ve talaş kırıcı tipinin birinci ($A=205 \text{ m/dak}$ ve $B=FT$), ve uç yarıçapının ikinci seviyesinde ($C=0,8 \text{ mm}$) $0,572 \mu\text{m}$ olarak elde edilmiştir. Minimum takım aşınması, takım aşınma görüntüleri ve pürüzlülükteki % artış miktarlarına göre, kesme hızının, talaş kırıcı tipinin ve uç yarıçapının ikinci seviyelerinde ($A=280 \text{ m/dak}$, $B=MT$ ve $C=0,8 \text{ mm}$) gözlemlenmiştir. Bu bulgular, AISI 4140 çeliğinin tornalanmasında yüzey kalitesini iyileştirme ve takım ömrünü uzatma açısından önemli bir rehber sunmaktadır (Pınar ve Fırat, 2016).

AISI 4140 çeliği, iyi şekillendirilebilirlik, yüksek mukavemet, kaynaklanabilirlik ve mükemmel korozyon direnci özellikleri nedeniyle çeşitli uygulamalarda en yaygın kullanılan alaşımlardan biridir. (Şahinoğlu ve Rafighi, 2020)

AISI 1040 çeliğinin tornalanmasında MQL uygulamasının kesme sıcaklığı, talaş ve boyutsal kesinlik üzerindeki etkilerini araştırmışlar ve elde ettikleri sonuçları kuru işleme ve ıslak işleme ile karşılaştırmışlardır. Tornalama deneylerinde kesme

derinliğini, debiyi ve basıncı sabit tutarlarken kesme hızını ve ilerlemeyi değiştirmişlerdir. Sonuç olarak MQL'nin kesme sıcaklığı ve boyutsal hataları önemli ölçüde azalttığı ve MQL koşullarında talaş oluşumunun ve kesici takım-talaş etkileşiminin daha iyi olduğu sonucuna varmışlardır. (Dhar, Islam, vd., 2006)

Metallerin şekillendirilmesinde iş parçasının nihai boyut ve geometride üretilmesi, kesici takımın aşınmasından önemli ölçüde etkilenmektedir. Kesici takımın hızlı aşınması, iş parçalarının arzu edilen toleranslarda üretilmemesine neden olmaktadır. Bu durum malzeme kaybı, işçilik ve enerji tüketim maliyetinin artması gibi problemlere neden olmaktadır. Endüstride yaygın olarak kullanılan titanyum ve alaşımlarının üstün mekanik özelliklerinden dolayı talaşlı imalatında, hızlı kesici takım aşınmasıyla karşılaşmaktadır. (Çelik, Kılıçkap ve Yenigün, 2017)

Bir malzemenin işlenebilirliği kesme kuvveti ve gücü, yüzey kalitesi, kesici takım ömrü, kesme hızı, talaş kaldırma miktarı ve talaş şekli gibi kriterlerden birine veya birden fazlasına göre değerlendirilir. Bu kriterlerden, kesme hızının veya kesici takım ömrünün büyük olması, kesme kuvvetinin veya gücün düşük olması iyi işlenebilirliğin mevcut olduğunu gösterir (Bingöl, 2014).

Tornalama işlemi, talaş kaldırma ile ilgili gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda en yaygın kullanılan talaşlı imalat metodudur. Tornalama işleminde işlenecek olan dairesel iş parçası genellikle bir aynaya bağlanır ve döndürülür. Bir kater üzerine rijit şekilde bağlanmış ve dönen iş parçası ekseninde ilerletilen kesici takım vasıtasıyla iş parçasından bir tabaka kaldırılır ve böylece dairesel veya daha karmaşık profilli yüzeyler elde edilir (Mavi, 2013).

Tornalama çoğu endüstriyel üretim işlemlerinde birincil işleme operasyonu olarak düşünülmektedir. Tornalama işleminde, kesici takım ve iş parçası arasındaki etkileşimden dolayı takım aşınması ve yüzey pürüzlüğü gibi bazı problemlerle karşılaşmaktadır. Takım aşınması doğrudan takım ömrünü ve işlenen parçanın yüzey kalitesini, yüzey pürüzlüğü ise makine parçalarının aşınma direnci, yorulma davranışı, yağlama özelliği, aşınma oranı ve korozyona karşı direnci etkilemektedir. İş parçasının istenen tolerans ve yüzey kalitesinin sınırları içerisinde tutulabilmesi

için işleme parametrelerinin uygun bir şekilde tespit edilmesi önem arz etmektedir. (Kılıçkap, Çelik ve Yardımeden, 2016)

Talaş kaldırma işlemi sırasında oluşan kesme kuvvetleri; yüzey kalitesi, iş parçasının boyutları, kesici takım ömrü ve ısı oluşumunu önemli ölçüde etkilemektedir (Gürbüz, 2012). Kesici takım-talaş yüzeyi üzerine tesir eden kesme ucuna dik yöndeki kuvvet bileşeni esas kesme kuvveti (F_c) olarak isimlendirilir. F_c , genel olarak oluşan kuvvetlerin en büyüğü olup kesme işlemi için gerekli gücün % 99'unu içerir. İlerleme kuvveti (F_f), ilerleme yönüne paralel doğrultuda kesici takım üzerine etki eden kuvvet bileşenidir ve bu kuvvet genellikle F_c kuvvetinin yaklaşık olarak % 55'ine kadar ulaşabilmektedir. Ancak kesme hızları ile kıyaslandığında ilerleme miktarları çok küçük olduğu için gereken gücün az bir kısmını harcar. Üçüncü kuvvet bileşeni olan pasif kuvvet (F_r), kesici takımı iş parçasından radyal yönde uzaklaştırmaya çalışan ve işlenmiş yüzeye dik olarak tesir eden kuvvettir. Pasif kuvvet, ilerleme kuvvetinin yaklaşık olarak yarısı kadardır ve güç gereksinimine katkısı radyal yöndeki hız ihmal edilebilir olduğundan dolayı çok azdır (Mavi, 2013).

Yüzey pürüzlülüğü, yüzey dokusunun ölçüsüdür. İdeal yüzey ile gerçek yüzey arasındaki dikey sapmaların sayısallaştırılmasıdır. Eğer bu sapma büyük ise yüzey pürüzlüğü kaba, sapma küçük ise yüzey daha düzdür. Varsayılan yüzey çizgisinin üstünde ve altında düzensiz sapmalar oluşturan bu duruma yüzey pürüzlülüğü denir (İlhan, 2014).

Kesici takım aşınması, kesici takımın ilk şekline göre malzeme kaybından dolayı oluşan farklılıktır. Bütün kesici takımlar, talaş kaldırma esnasında ömürlerinin sonuna kadar aşınırlar. Kesici kenar üzerinde etkili olan ve kesici kenarın geometrisini değiştirmeye çalışan yük faktörleri ile kesici kenarın ömrü belirlenir (Bingül, 2014).

Ray çeliği olarak bilinen östenitik mangan çeliği (Hadfield çeliği), yüksek akma ve çekme dayanımı ile mükemmel aşınma direncine sahip tok ve manyetik olmayan bir alaşımdır. Uygulanan ısıl işlemlere bağlı olarak mekanik özelliklerinde iyileşmeler meydana gelmektedir. Yüksek aşınma dirençleri ve tok yapılarından dolayı

demiryollarında, madencilik sektöründe, tank paletlerinde, pompa ekipmanlarında ve aşınma direnci gerektiren çeşitli mühendislik uygulamalarında tercih edilmektedir. Bununla birlikte, aşırı sertlik, düşük termal iletkenlik ve deformasyon sertleşmesi davranışından ötürü bu çeliğin işlenmesi oldukça zordur. Kesme sırasında oluşan yüksek kesme kuvvetleri, yüksek kesme sıcaklıkları ve kesici takım aşınması, hedeflenen iş parçası yüzey kalitesi ve boyut hassasiyetinin elde edilmesini zorlaştıran unsurlardır. İmalat süreçlerinde, iş parçasının yüzey kalitesi ve boyutsal tamlığı, kesme parametrelerinden, kesici takım malzemesinden, takım geometrisinden, talaş oluşumundan ve kesme sırasında ortaya çıkan titreşimden büyük ölçüde etkilenir. Daha uzun takım ömrüne sahip yüksek kaliteli bir iş parçası ve daha sağlıklı ve güvenli bir çalışma ortamı işleme parametrelerinin doğru bir şekilde seçilmesi ve kesme işleminin doğrudan izlenmesiyle sağlanabilir. Talaş kaldırma deneyleri; gerçek üretim ortamında Hadfield çeliği üzerinden yatay işleme merkezinde, kuru işleme şartlarında, 2400 mm uzunluğunda ray çeliği üzerinden yukarı yönlü (konvansiyonel) frezeleme yapılarak gerçekleştirilmiştir. Deneylerde, ısıl direnci yüksek, tok ve sert malzemelerin işlenmesinde kullanılan LNE424-117T03 J IN2045 karbür kesici uçlar kullanılmıştır. Talaş kaldırma işlemlerinde, 250 mm çapında tarayıcı başlık üzerine 42 adet kesici uç yerleştirilmiştir. Her talaş kaldırma deneyinde takım tutucu üzerinde bulunan kesici uçların yeni kenarları kullanılmıştır. Mitutoyo Surftest SJ210 yüzey pürüzlülük cihazı (Cut off length 2.5 mm) kullanılarak, işlenmiş yüzey boyunca beş farklı bölgeden yüzey pürüzlülük ölçümü yapılmış, istatistiksel olarak anlamlı sonuç elde etmek için maksimum ve minimum değerler atılarak geri kalan ölçümlerin ortalaması alınmıştır. Bu çalışmada, R260 ray çeliğinin yatay freze tezgâhında kuru işleme şartları altında işlenmesinde ilerleme hızının ve talaş derinliğinin yüzey pürüzlülüğü, tezgâh güç tüketimi ve tezgâh gürültüsü üzerindeki etkileri incelenmiştir. Deney sonuçları ortalama etki grafiği ve ANOVA kullanılarak yorumlanmıştır. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıdaki şekilde özetlenebilir: R260 ray çeliğinin işlenmesi sırasında radyal talaş derinliği artarken malzemede meydana gelen deformasyon sertleşmesine bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünde dikkate değer bir iyileşme meydana gelmiştir. İlerleme hızının artmasıyla birlikte yüzey pürüzlülüğünün arttığı görülmüştür. Yüzey pürüzlülüğün oldukça önemli olduğu ray çeliklerinde hassas bir yüzey kalitesi elde edebilmek için yüksek talaş derinliklerinde ve düşük ilerleme hızlarında frezeleme yapılması

önerilmektedir. İlerleme hızında ve talaş derinliğinde meydana gelen artışla birlikte tezgâh gürültüsünde artış meydana gelmiştir. Ray çeliğinin talaşlı imalatı sırasında tezgâh gürültü seviyesini azaltmak için ilerleme hızının azaltılması önerilmektedir. Önceki çalışma sonuçlarına göre, ilerleme hızının azaltılması tezgâh titreşimlerinin ve kesici takım aşınmalarının da azalmasına katkı sağlayacağı düşünülmektedir. İlerleme hızının ve talaş derinliğinin artışına bağlı olarak tezgâhın enerji tüketimi de artmıştır. Yüksek talaş derinliklerinde çalışılması durumunda ilerleme hızının düşürülmesi, yüksek ilerleme hızlarında çalışılması durumunda ise talaş derinliğinin azaltılması tezgâhın enerji tüketimini azaltacaktır. ANOVA sonuçları; yüzey pürüzlülüğü üzerinde ilerleme hızının etki oranının %72, talaş derinliğinin %20, tezgâh gürültüsü üzerinde ilerleme hızının %68, talaş derinliğinin %25, enerji tüketimi üzerinde talaş derinliğinin %78, ilerleme hızının ise %18 olduğunu göstermiştir. (Karabulut ve Şahinoğlu, 2018)

Genel olarak demir dışı alaşımlar ile demir esaslı malzemelerin talaş kaldırarak işleme tekniği; geometrik boyutları ve yüzey kalitesi belirli olan parçaların, kendilerinden daha sert bir malzeme (kesici takım) kullanılarak metal kesme makinelerinde şekillendirilmelerini kapsar. Talaşlı imalat, kesici takım ve iş parçasının nispi hareketleri ile iş parçasının belirli bir kısmında, gerilim oluşturarak gerçekleştirilir. Diğer bir ifadeyle talaşlı imalat kesici takım tarafından uygulanan kesme kuvvetleri ile iş parçası arasındaki ara etkileşime bağlıdır. Talaş kaldırma işlemi esnasında kesici takım ile iş parçası arasındaki temas yüzeyinde meydana gelen sürtünme ve malzeme deformasyonu sonucu oldukça yüksek bir ısı ortaya çıkar. Talaş kırma ve kaldırma için kullanılan mekanik enerji bu sırada hemen hemen tümüyle ısı enerjisine dönüşür. İş parçası fazla ısı alırsa, genişmeden dolayı parçanın ölçü tamlığı sağlanamaz. Bu fazla ısı iş parçası yüzeyine ısı olarak zarar da verebilir. Kesici takım fazla ısı alırsa kesici uç aniden bozulabilir ve takım ömrünü azaltabilir. İdeal olan çoğu ısının talaş tarafından taşınmasıdır. Bu transfer edilen ısı, talaşın oksitlenmesine sebep olduğundan talaş renginin değişmesinin de göstergesidir. Talaşlı imalat işleminde açığa çıkan bu ısının tahliyesi için soğutma sıvıları geliştirilmiştir. Soğutma sıvılarının hatasız ve etkin üretim açısından büyük önemi vardır. Bu maddelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri, imalat işlemi sırasında ortaya çıkan ısı veya mekanik nedenli hasarların azalması veya önlenmesini sağlar.

Soğutma yağlama maddeleri, doğru kullanıldıkları takdirde, bir yandan iş parçasının boyutları ve biçiminde yüksek hassasiyet ve daha iyi yüzey kalitesi sağlarken, öte yandan takımlar için daha uzun kullanım ömrünü güvenceye alırlar. Kesme sıvısı soğutma, yağlama ve temizleme gibi olumlu etkileri nedeniyle hala çok önemli bir yer tutmaktadır. Ancak diğer yönden bunlar çevre ve insanlar için bir tehlike potansiyeli doğurmakta ve imha edilmeleri, devamlı artan masraflara neden olmaktadır. Önemli fonksiyonlarına rağmen talaşlı imalat çalışmalarında kesme sıvısı kullanımını azaltmak için yoğun uğraşlar verilmektedir. Minimum miktarda soğutma sıvısı, kesme sıvısını azaltmanın bir çözümü olarak göz önüne alınmaktadır. Özellikle Alüminyum alaşımlarının işlenmesindeki gibi pratik uygulamalar için kullanılmaktadır. Geleneksel soğutma teknikleri kullanılarak Alüminyumun işlenmesinde kullanılan soğutma sıvıları, diğer malzemelerinkine göre daha pahalıdır. Çünkü karışımdaki yağın daha yüksek konsantrasyona sahip olması gerekmektedir. (Kılıçkap, Hüseyinoğlu ve Özel, 2009)

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu deneysel çalışmada, AISI 4140 çelik malzeme kullanılarak işleme deneyleri gerçekleştirilmiştir. İş parçası, 50 mm çapında ve 250 mm boyunda silindirik çubuklar halinde hazırlanmış olup, ham olarak işlenmiştir ve herhangi bir ısıtma işlemine tabi tutulmamıştır. Bu malzeme, yüksek mukavemet ve dayanıklılık özellikleri ile bilinir ve bu nedenle endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılır. İşleme deneyleri sırasında, Sumitomo WNMG 08 kesici takım tercih edilmiştir. Bu takım, sert malzemelerin işlenmesinde etkili olup, yüksek performanslı kesme işlemleri için uygundur. Deneyler, üç farklı kesme hızı, üç farklı ilerleme miktarı ve üç farklı talaş derinliğinde gerçekleştirilmiştir. Bu parametrelerin kombinasyonu ile toplamda 27 farklı işleme koşulu elde edilmiştir.

Deneyler süresince, işlenen yüzeylerin pürüzlülük değeri ölçülmüştür. Ölçümler, oksit tabakasının sonuçları etkilememesi amacıyla işleme işleminin hemen ardından yapılmıştır. Yüzey pürüzlülük değeri, Mitutoyo SurfTest 201 yüzey pürüzlülük cihazı kullanılarak üç ayrı noktadan alınmış ve ortalama değer hesaplanmıştır. Bu yöntem, ölçüm sonuçlarının doğruluğunu artırmak için uygulanmıştır. Tezgâhın maksimum devir sayısı 5000 rpm olup, maksimum güç tüketimi 15 kw olarak belirlenmiştir. Kesme işlemleri kuru kesme şartları altında gerçekleştirilmiştir. İş parçasının boyunun/çapına oranı 3'ten büyük olduğu için iş parçası, ayna ve punta arasında sabitlenerek işlenmiştir. Bu, iş parçasının stabilitesini sağlamak ve yüksek hassasiyetli işleme elde etmek için önemlidir.

Takım Tezgâhı

Talaş kaldırma deneyleri, Çankırı Karatekin Üniversitesi Meslek Yüksekokulu Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü'nde bulunan Taksan TTC 630 marka CNC torna tezgâhında gerçekleştirilmiştir. Bu tezgâh, yüksek hassasiyet ve dayanıklılık özellikleri ile öne çıkmaktadır ve deneylerin güvenilir sonuçlar vermesi için uygun bir çalışma ortamı sağlamaktadır.

Tezgâhın teknik özellikleri aşağıdaki gibidir:

- Maksimum Devir Sayısı: 5000 rpm
- Maksimum Güç Tüketimi: 15 kW
- Titreşim Değeri (Yüksüz 1000 dev/dak): 0,1 mm/s

Tezgâhın titreşim performansı, yüzey kalitesini doğrudan etkileyen önemli bir faktördür. Düşük titreşim değerleri, işleme sırasında yüksek yüzey kalitesi elde etmeye yardımcı olur. Bu nedenle, tezgâhın titreşim değeri deneyler boyunca dikkatlice izlenmiş ve kayıt altına alınmıştır. Bu bilgiler, tezgâhın performansını ve deney sonuçlarının güvenilirliğini desteklemektedir.

3.1 Yüzey Pürüzlülük Değerinin Ölçülmesi

Yüzey pürüzlülük değerinin ölçümünde, yüzeydeki girinti ve çıkıntıların toplam alanlarının eşit olduğu düzlemi referans kabul ederek, bu düzleme göre üstte ve altta kalan alanların eşit olduğu yeni iki düzlemi bulan ve bunların arasındaki uzaklığı esas alan aritmetik ortalama (R_a) değeri yüzey pürüzlülük kriteri olarak dikkate alınmıştır. Bu kriter, işlenmiş yüzeylerin kalitesini değerlendirmek için yaygın olarak kullanılan bir parametredir.

İşleme deneylerinden elde edilen iş parçalarındaki pürüzlülük değerleri, Mitutoyo Surftest 201 model yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı ile ölçülmüştür. Bu cihaz kullanılarak her bir iş parçasının yüzey pürüzlülük değerleri ölçülmüştür. Ölçümler, silindirik parçalar üzerinde, aralarında yaklaşık 120° açı olacak şekilde üç farklı bölgede üçer kez gerçekleştirilmiş ve bu değerlerin aritmetik ortalaması alınmıştır. Ölçüm işlemlerinde kullanılan cihazın cut-off uzunluğu (l_c) 0,8 mm olarak belirlenmiştir.

Ölçme işlemine başlamadan önce, yüzey pürüzlülük cihazı, yüzey pürüzlülük değerleri önceden belirlenen kalibrasyon bloğu aracılığı ile kalibre edilmiştir. Kalibrasyon işlemi, cihazın doğruluğunu sağlamak ve güvenilir ölçüm sonuçları elde etmek için düzenli aralıklarla kontrol edilmiştir. Ölçme işlemi sırasında, izleyici ucun

kesme izlerine dik ve iş parçasının dönme eksenine paralel olmasına özen gösterilmiştir. Ayrıca, yüzey pürüzlülük değerlerinin sıcaklıktan etkilenmemesi için ölçme işlemi, malzemenin ortam sıcaklığına gelmesinin ardından ve ölçülecek numune hava ile iyice temizlendikten sonra yapılmıştır. Mitutoyo Surftest 201 model cihazın teknik özelliklerinde gösterilmiştir.

Titreşim Ölçümleri

Deneyisel çalışmada, işleme sırasında aynada meydana gelen titreşim değerlerini ölçmek için Pro Vibro PVM 303 model titreşim ölçme cihazı kullanılmıştır. Titreşim ölçümleri, işleme sürecindeki dinamikleri anlamak ve yüzey kalitesine etkisini değerlendirmek için önemlidir.

Titreşim ölçme işlemi sırasında, cihaz üzerindeki mıknatıs aracılığı ile yeterince güçlü bir çekme kuvvetine sahip olan titreşim ölçme propu tezgâh aynasına tutturulmuştur. Ön çalışmalar neticesinde, talaşların çarpması sonucu oluşan titreşimlerin ve ölçme probunun yerleşiminin ölçülen değerleri etkilememesi açısından, en iyi ölçüm alınan yerin tezgâh aynası olduğu belirlenmiştir. Bu yöntem, ölçüm sonuçlarının doğruluğunu artırmak için kritik öneme sahiptir. Pro Vibro PVM 303 titreşim ölçme cihazının yıllık kalibrasyonu yapılmış olup, cihazın teknik özellikleri Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.1 Mitutoyo Surftest 201 ve Pro Vibro PVM 303 Model Cihazların Teknik Özellikleri

Özellik	Mitutoyo Surftest 201	Pro Vibro PVM 303
Cut-off Uzunluğu (lc)	0,8 mm	-
Kalibrasyon	Kalibrasyon Bloğu ile	Yıllık Kalibrasyon
Ölçüm Hassasiyeti	$\pm 0.01 \mu\text{m}$	$\pm 0.1 \text{ mm/s}$
Diğer Özellikler	-	Mıknatıs ile güçlü tutunma

Tablo 3.2 Pro Vibro PVM 303 titreşim ölçme cihazı özellikleri

Marka ve Model	Pro Vibro PVM 303
Hassasiyet (mVg)	100
Frekans aralığı ($\pm 3\text{dB}$, kHz)	0,5-12
Çalışma sıcaklığı (°C)	-54 ile 121
Tip	ICP
Çözünürlük (g)	0,002
En büyük çarpma seviyesi (g)	5000
Sürekli akım miktarı (mA)	2-20
Rezonans frekansı (kHz)	26
Prop malzemesi	316 Paslanmaz çelik

3.2 Deney Sonuçları

Tablo 3.3 Talaş Derinliği, Kesme Hızı, İlerleme Hızı, Yüzey Pürüzlülüğü ve Titreşim için deneysel sonuçlar

Deney No	a (mm)	v (m/min)	f (mm/rev)	Ra (μm)	Titreşim
1	0,5	140	0,1	1,37	1,3
2	0,5	140	0,15	2,68	1,6
3	0,5	140	0,2	3,60	1,8
4	0,5	160	0,1	1,39	1,4
5	0,5	160	0,15	2,55	1,5
6	0,5	160	0,2	3,84	1,7
7	0,5	180	0,1	1,33	1,5
8	0,5	180	0,15	2,50	1,7
9	0,5	180	0,2	3,77	1,9
10	1	140	0,1	1,55	1,6
11	1	140	0,15	2,64	1,8
12	1	140	0,2	3,64	1,9
13	1	160	0,1	1,42	1,7
14	1	160	0,15	2,59	1,9
15	1	160	0,2	3,88	2,1
16	1	180	0,1	1,36	1,8
17	1	180	0,15	2,55	2,1
18	1	180	0,2	3,92	2,3
19	1,5	140	0,1	1,25	1,8
20	1,5	140	0,15	2,33	2,1
21	1,5	140	0,2	3,69	2,3
22	1,5	160	0,1	1,05	2,2
23	1,5	160	0,15	2,77	2,4
24	1,5	160	0,2	3,78	2,6
25	1,5	180	0,1	0,90	2,4
26	1,5	180	0,15	2,43	2,6
27	1,5	180	0,2	3,40	2,8

Tablo 3.3’ de verilen deneysel sonuçlar, farklı kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü (Ra) ve titreşim üzerindeki etkilerini göstermektedir. Bu parametreler arasında kesme hızı (v), ilerleme hızı (f) ve talaş derinliği (a) bulunmaktadır. Aşağıda, her bir parametrenin yüzey pürüzlülüğü ve titreşim üzerindeki etkileri detaylı bir şekilde incelenmiştir.

İlerleme Hızı (f) ve Yüzey Pürüzlülüğü (Ra)

Deney sonuçları, ilerleme hızının (f) yüzey pürüzlülüğü üzerindeki belirgin etkisini göstermektedir. İlerleme hızı arttıkça, yüzey pürüzlülük değerinin (Ra) arttığı gözlemlenmiştir. Bu durum, artan ilerleme hızıyla birlikte kesici takımın iş parçası üzerinde daha büyük talaşlar oluşturmaya ve dolayısıyla yüzey üzerinde daha belirgin girinti ve çıkıntılar oluşmasına bağlanabilir.

- Deney No 1 ve 3 karşılaştırıldığında ($a = 0.5 \text{ mm}$, $v = 140 \text{ m/min}$), ilerleme hızının 0.1 mm/rev ’den 0.2 mm/rev ’e çıkarılması Ra değerinin $1.37 \text{ }\mu\text{m}$ ’den $3.60 \text{ }\mu\text{m}$ ’ye yükselmesine neden olmuştur.
- Benzer şekilde, Deney No 19 ve 21 karşılaştırıldığında ($a = 1.5 \text{ mm}$, $v = 140 \text{ m/min}$), ilerleme hızının 0.1 mm/rev ’den 0.2 mm/rev ’e çıkarılması Ra değerinin $1.25 \text{ }\mu\text{m}$ ’den $3.69 \text{ }\mu\text{m}$ ’ye yükselmesine neden olmuştur.

Talaş Derinliği (a) ve Yüzey Pürüzlülüğü (Ra)

Deney sonuçları, talaş derinliğinin (a) yüzey pürüzlülüğü üzerinde ters orantılı bir etkisi olduğunu göstermektedir. Talaş derinliği arttıkça, yüzey pürüzlülük değerinin (Ra) azaldığı gözlemlenmiştir. Bu durum, daha büyük talaş derinliklerinde kesme işleminin daha stabil hale gelmesi ve kesici takımın yüzeyi daha düzgün bir şekilde işlemesi ile açıklanabilir.

- Deney No 1 ve 19 karşılaştırıldığında ($v = 140 \text{ m/min}$, $f = 0.1 \text{ mm/rev}$), talaş derinliğinin 0.5 mm ’den 1.5 mm ’ye çıkarılması Ra değerinin $1.37 \text{ }\mu\text{m}$ ’den $1.25 \text{ }\mu\text{m}$ ’ye düşmesine neden olmuştur.
- Deney No 7 ve 25 karşılaştırıldığında ($v = 180 \text{ m/min}$, $f = 0.1 \text{ mm/rev}$), talaş derinliğinin 0.5 mm ’den 1.5 mm ’ye çıkarılması Ra değerinin $1.33 \text{ }\mu\text{m}$ ’den $0.90 \text{ }\mu\text{m}$ ’ye düşmesine neden olmuştur.

Kesme Hızı (v) ve Yüzey Pürüzlülüğü (Ra)

Kesme hızının (v) yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi nispeten daha küçük ve belirsizdir. Genel olarak, kesme hızındaki değişikliklerin yüzey pürüzlülüğü üzerinde çok belirgin bir etkisi olmadığı gözlemlenmiştir. Ancak, kesme hızının belirli bir aralıkta kalması durumunda yüzey kalitesinin optimize edilebileceği düşünülmektedir.

- Deney No 1 ve 7 karşılaştırıldığında ($a = 0.5$ mm, $f = 0.1$ mm/rev), kesme hızının 140 m/min'den 180 m/min'e çıkarılması Ra değerinin 1.37 μ m'den 1.33 μ m'ye düşmesine neden olmuştur.
- Deney No 10 ve 16 karşılaştırıldığında ($a = 1$ mm, $f = 0.1$ mm/rev), kesme hızının 140 m/min'den 180 m/min'e çıkarılması Ra değerinin 1.55 μ m'den 1.36 μ m'ye düşmesine neden olmuştur.

Titreşim Değerleri

Deney sonuçlarında ayrıca, farklı kesme parametrelerinin titreşim üzerindeki etkileri de gözlemlenmiştir. Titreşim değerleri, ilerleme hızı ve talaş derinliği arttıkça genel olarak artma eğilimi göstermektedir. Bu durum, artan talaş derinliği ve ilerleme hızının, kesme kuvvetlerini artırarak tezgâh ve iş parçası üzerinde daha fazla titreşime neden olması ile açıklanabilir.

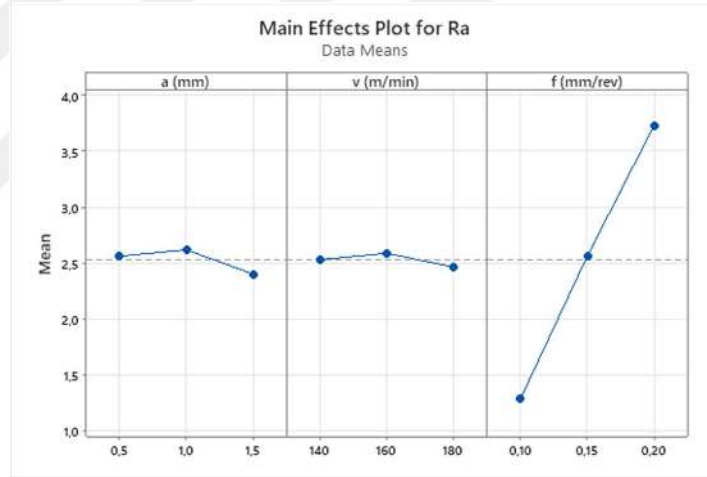
- Deney No 1 ve 21 karşılaştırıldığında ($v = 140$ m/min, $f = 0.1$ mm/rev), talaş derinliğinin 0.5 mm'den 1.5 mm'ye çıkarılması titreşim değerinin 1.3 mm/s'den 2.3 mm/s'ye çıkmasına neden olmuştur.
- Deney No 10 ve 12 karşılaştırıldığında ($a = 1$ mm, $v = 140$ m/min), ilerleme hızının 0.1 mm/rev'den 0.2 mm/rev'e çıkarılması titreşim değerinin 1.6 mm/s'den 1.9 mm/s'ye çıkmasına neden olmuştur.

Ana Etki Grafiği

Şekil 3.1’de gösterilen ana etki grafiği, bu gözlemleri görsel olarak desteklemektedir:

- İlerleme hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğü artmaktadır.
- Talaş derinliği arttıkça yüzey pürüzlülük değeri azalmaktadır.
- Kesme hızının yüzey pürüzlülük değeri üzerinde çok küçük bir etkisi vardır.

Bu bulgular, işleme parametrelerinin optimize edilmesi gerektiğini ve belirli parametre kombinasyonlarının iş parçası yüzey kalitesi ve tezgâh titreşim performansı üzerinde önemli etkileri olduğunu göstermektedir. Ana etki grafiğinde görüldüğü üzere artan ilerleme hızı ile yüzey pürüzlülüğü artar. Artan talaş derinliği ile yüzey pürüzlülük değeri düşer. Kesme hızının yüzey pürüzlülük değeri üzerinde çok küçük bir etkisi vardır.



Şekil 3.1 Proses parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etki grafiği

Şekil 3.1 Proses parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etki grafiği, "Ra" yüzey pürüzlülüğüne etki eden ana etkiler plotudur. Grafikte üç farklı işlem parametresinin (a: talaş derinliği, v: kesme hızı, f: ilerleme miktarı) yüzey pürüzlülüğüne olan etkileri gösterilmiştir.

a (mm) – talaş derinliği:

- Talaş derinliği (a) 0.5 mm'den 1.0 mm'ye kadar olan aralığında yüzey pürüzlülüğünde (Ra) çok fazla değişiklik olmamakta, sabit kalmaktadır. Ancak 1.5 mm seviyesinde yüzey pürüzlülüğünde bir düşüş gözlemlenmektedir.

v (m/min) - kesme hızı:

- Kesme hızının (v) yüzey pürüzlülüğü üzerinde anlamlı bir etkisi gözlemlenmemektedir. 140 m/min, 160 m/min ve 180 m/min arasında yüzey pürüzlülüğü değerleri oldukça stabil ve çok az değişim göstermektedir.

f (mm/rev) - ilerleme miktarı:

- İlerleme miktarının (f) yüzey pürüzlülüğü üzerinde belirgin bir etkisi vardır. 0.10 mm/rev'den 0.20 mm/rev'e doğru artış gösterdiğinde yüzey pürüzlülüğü de önemli derecede artmaktadır. Bu, ilerleme miktarının artmasının yüzey pürüzlülüğünü olumsuz etkilediğini göstermektedir.

Yüzey pürüzlülüğü üzerinde en belirgin etkiye sahip parametre ilerleme miktarı (f) gibi görünmektedir. İlerleme miktarının artışı, yüzey pürüzlülüğünü artırırken, kesme hızının (v) etkisi minimaldir. Talaş derinliğinin (a) ise orta seviyede bir etkisi bulunmaktadır.

Varyans Analizi (ANOVA)

Talaşlı işlemede yüzey pürüzlülüğünü en çok etkileyen parametreleri ve bunların katkı oranlarını belirlemek amacıyla varyans analizi (ANOVA) uygulanmıştır. ANOVA, deneysel çalışmalarda kullanılan matematiksel bir yöntem olup, deneysel verileri doğru bir şekilde yorumlamak ve hangi parametrelerin daha fazla etkiye sahip olduğunu belirlemek için kullanılır. Bu çalışmada, yüzey pürüzlülüğü için gerçekleştirilen ANOVA sonuçları Tablo 3.4' de verilmiştir.

ANOVA sonuçlarına göre, yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili parametre ilerleme hızıdır (f). İlerleme hızının yüzey pürüzlülüğüne etkisi %97.50 olarak belirlenmiştir. Bu, ilerleme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerinde çok güçlü bir etkisi olduğunu gösterir. İlerleme hızını, %0.42'lik etki oranı ile talaş derinliği (a) takip etmektedir. Kesme hızının (v) etkisi ise çok küçüktür ve göz ardı edilebilir seviyededir.

ANOVA sonuçlarına göre parametrelerin etkili olup olmadığını anlamak için p değerlerinin 0,05'ten küçük olması gerekmektedir. İlerleme hızının p değerinin 0,000

olması, bu parametrenin yüzey pürüzlülüğü üzerinde en önemli etkiye sahip olduğunu açıkça göstermektedir.

Tablo 3.4 Yüzey Pürüzlülüğü için Varyans Analizi (ANOVA) Sonuçları

Kaynak	DF	Adj SS	Adj MS	F-Değeri	P-Değeri	% Etki
Model	9	27,0473	3,0053	181,08	0,000	98,97
Lineer	3	26,7779	8,9260	537,83	0,000	97,98
a (mm)	1	0,1136	0,1136	6,85	0,018	0,42
v (m/min)	1	0,0193	0,0193	1,17	0,295	0,07
f (mm/rev)	1	26,6450	26,6450	1605,49	0,000	97,50
Kare	3	0,1785	0,0595	3,59	0,036	0,65
a (mm)*a (mm)	1	0,1130	0,1130	6,81	0,018	0,41
v (m/min)*v (m/min)	1	0,0492	0,0492	2,96	0,103	0,18
f (mm/rev)*f (mm/rev)	1	0,0164	0,0164	0,99	0,335	0,06
2-Yönlü Etkileşim	3	0,0909	0,0303	1,82	0,181	0,33
a (mm)*v (m/min)	1	0,0200	0,0200	1,21	0,288	0,07
a (mm)*f (mm/rev)	1	0,0252	0,0252	1,52	0,235	0,09
v (m/min)*f (mm/rev)	1	0,0456	0,0456	2,75	0,116	0,17
Hata	17	0,2821	0,0166			1,03
Toplam	26	27,3295				100,00

Tablo 3.4 Yüzey Pürüzlülüğü için Varyans Analizi (ANOVA) Sonuçlarında, yüzey pürüzlülüğü üzerindeki kesme parametrelerinin etkisini ve bu parametrelerin varyans analizi sonuçlarını göstermektedir. Modelin genel etki oranı %98,97 olup, bu model yüzey pürüzlülüğü değerini yüksek bir doğrulukla tahmin edebilmektedir.

İlerleme Hızı (f): İlerleme hızı, yüzey pürüzlülüğü üzerinde en büyük etkiye sahip parametre olarak belirlenmiştir. %97,50 etki oranı ve 0,000 p değeri ile bu parametrenin yüzey pürüzlülüğü üzerinde çok güçlü bir etkisi olduğu anlaşılmaktadır. Yüksek ilerleme hızları, yüzey pürüzlülüğünün artmasına neden olmaktadır, çünkü daha yüksek hızlarda kesici takımın yüzey üzerindeki etkisi daha belirgin hale gelmektedir.

Talaş Derinliği (a): Talaş derinliği, %0,42 etki oranı ile yüzey pürüzlülüğü üzerinde daha az ama yine de önemli bir etkiye sahiptir. 0,018 p değeri ile bu parametrenin etkili olduğu görülmektedir. Talaş derinliğinin artması, yüzey pürüzlülüğünün azalmasına yol açabilir, çünkü daha büyük talaş derinliklerinde kesme işlemi daha stabil hale gelmektedir.

Kesme Hızı (v): Kesme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi oldukça küçüktür ve %0,07 etki oranı ile neredeyse ihmal edilebilir. 0,295 p değeri, bu parametrenin yüzey pürüzlülüğü üzerinde anlamlı bir etkisi olmadığını göstermektedir. Bu durum, kesme hızındaki değişimlerin yüzey kalitesi üzerinde belirgin bir etki yaratmadığını ortaya koymaktadır.

Etkileşim Terimleri: Parametreler arasındaki etkileşim terimleri de analiz edilmiştir, ancak bu etkileşimlerin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri nispeten düşüktür. $a \text{ (mm)} * v \text{ (m/min)}$ etkileşimi %0,07 etki oranına sahip olup, bu etkileşimlerin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi sınırlıdır.

Hata: Hata terimi, toplam varyansın %1,03' ünü oluşturmaktadır. Bu, deneysel hataların ve diğer kontrol edilemeyen değişkenlerin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini temsil etmektedir.

Bu sonuçlar, talaşlı işlemede yüzey pürüzlülüğünü optimize etmek için ilerleme hızının dikkatlice kontrol edilmesi gerektiğini göstermektedir. Talaş derinliği de dikkate alınması gereken bir parametre olmasına rağmen, kesme hızının etkisi oldukça küçüktür. Bu nedenle, yüzey pürüzlülüğünü iyileştirmek için ilerleme hızının doğru bir şekilde ayarlanması kritik öneme sahiptir.

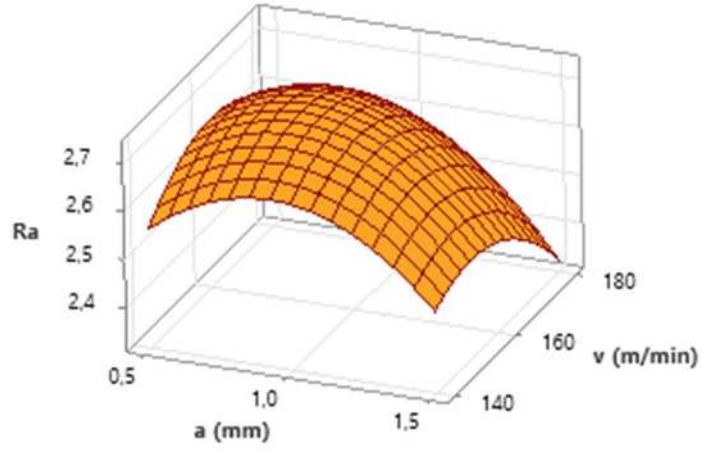
Sonuç olarak, varyans analizi (ANOVA) sonuçları, talaşlı işlemede yüzey pürüzlülüğünü en çok etkileyen parametrenin ilerleme hızı olduğunu ve bu parametrenin kontrol edilmesinin yüzey kalitesini önemli ölçüde iyileştirebileceğini göstermektedir. Bu bulgular, talaşlı işleme süreçlerinin optimize edilmesinde önemli bir rehber olarak kullanılabilir.

Kodlanmamış Birimlerde Regresyon Denklemi:

$$\begin{aligned} Ra = & -6,23 + 1,317 a \text{ (mm)} + 0,0656 v \text{ (m/min)} + 18,90 f \text{ (mm/rev)} - \\ & 0,549 a \text{ (mm)} * a \text{ (mm)} \\ & - 0,000226 v \text{ (m/min)} * v \text{ (m/min)} - 20,9 f \text{ (mm/rev)} * f \text{ (mm/rev)} - \\ & 0,00408 a \text{ (mm)} * v \text{ (m/min)} \\ & + 1,83 a \text{ (mm)} * f \text{ (mm/rev)} + 0,0617 v \text{ (m/min)} * f \text{ (mm/rev)} \end{aligned}$$

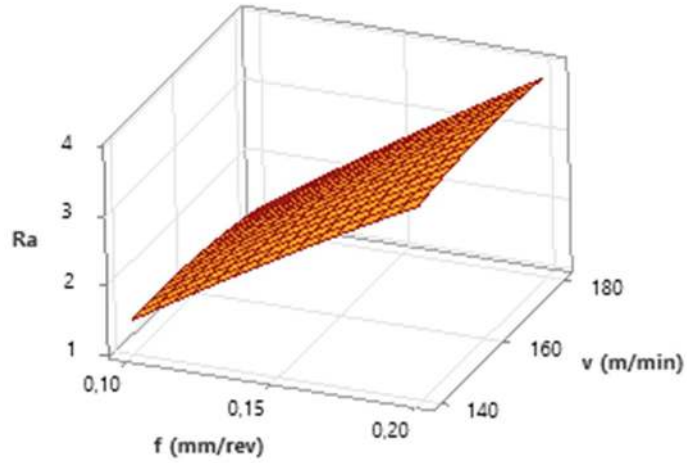
Model Özeti:

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0,128826	98,97%	98,42%	97,45%



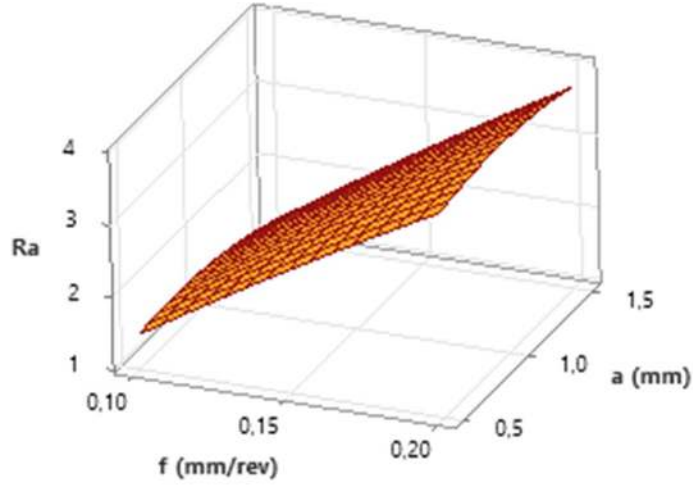
Şekil 3.2 Yüzey pürüzlülüğünün kesme derinliği ve kesme hızına etkisi

Artan kesme hızı ile öncelikle yüzey pürüzlülük değeri bir miktar artmaktadır. Ardında geri düşmektedir. Kesme hızının yüzey pürüzlülük değeri üzerinde etkisi çok küçüktür. Artan talaş derinliği ile titreşim azalmaktadır. Daha iyi bir kesme gerçekleşmektedir. Dolayısıyla yüzey pürüzlülük değeri azalmaktadır.



Şekil 3.3 Yüzey pürüzlülüğünün ilerleme hızı ve kesme hızına etkisi

Artan ilerleme miktarı ile yüzey pürüzlülük değeri artmaktadır. İlerleme miktarının yüzey pürüzlülük değeri üzerinde önemli bir etkisi vardır. Kesme hızının ise yüzey pürüzlülük değeri üzerinde küçük bir etkisi vardır.



Şekil 3.4 Yüzey pürüzlülüğünün ilerleme hızı ve kesme derinliğine etkisi

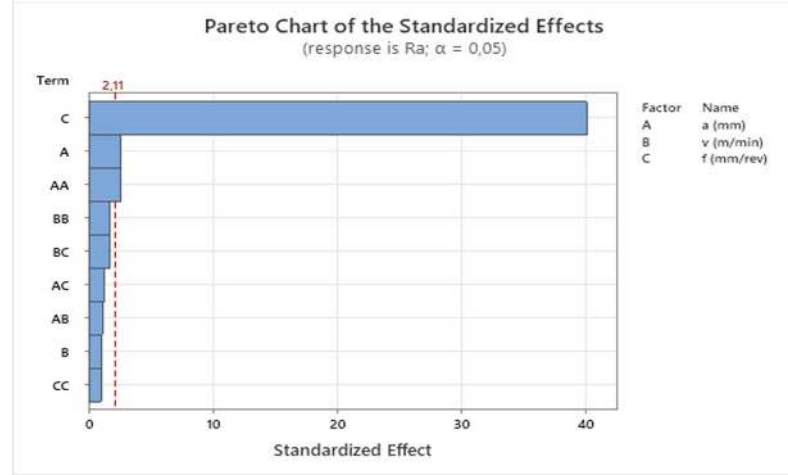
Daha yüksek doğrulukta yüzey pürüzlülük değerinin modellenmesi için 23 ve 27 nolu deneylerdeki yüzey pürüzlülük değerleri sırası ile 2,49 ve 3,60 olması gerekir. Bu değerler ile gerçek deney sonuçları birbirine çok yakın oluğu için ve elde edilen matematiksel modelde R^2 değeri %95 üzerindedir. Bundan dolayı deneylerin tekrarlanmasına ihtiyaç duyulmamaktadır.

Tablo 3.5 Olağandışı Gözlemler için Uyum ve Teşhis

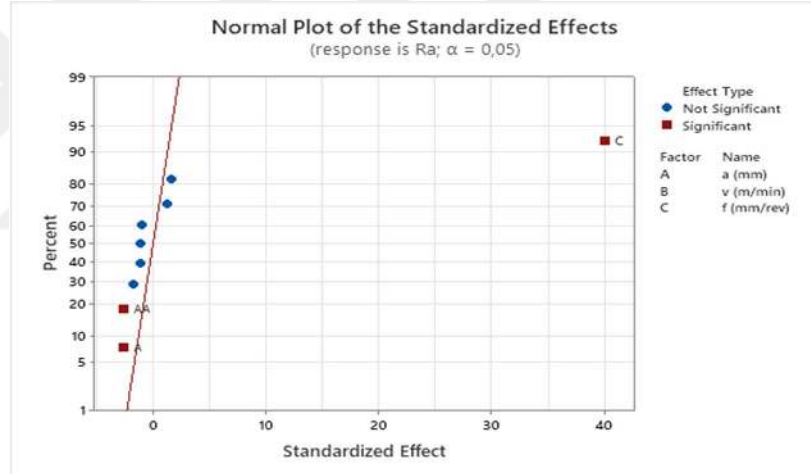
Obs	Ra	Fit	Resid	StdResid	
23	2,7700	2,4952	0,2748	2,48	R
27	3,4000	3,6030	-0,2030	-2,25	R

Yüzey pürüzlülüğünün Pareto analizi:

Pareto analizi, veriye dayalı bir yaklaşım sunarak kaynakların en etkili şekilde kullanılmasını sağlar ve önceliklendirme yapmayı kolaylaştırır. Diğer analiz yöntemlerinden farklı olarak, büyük bir veri kümesini sınıflandırarak en önemli faktörleri belirlemeye odaklanır ve bir problemi oluşturan sebeplerin ne olduklarını ve önem derecelerini belirlemek için kullanılır. Pareto grafiğine göre (Şekil 3.5 Standartlaştırılmış yüzey pürüzlülüğünün etkilerinin Pareto grafiği) yüzey pürüzlülük değeri üzerinde en önemli etkiye ilerleme hızı sahiptir. İlerleme hızını talaş derinliği izlemektedir.

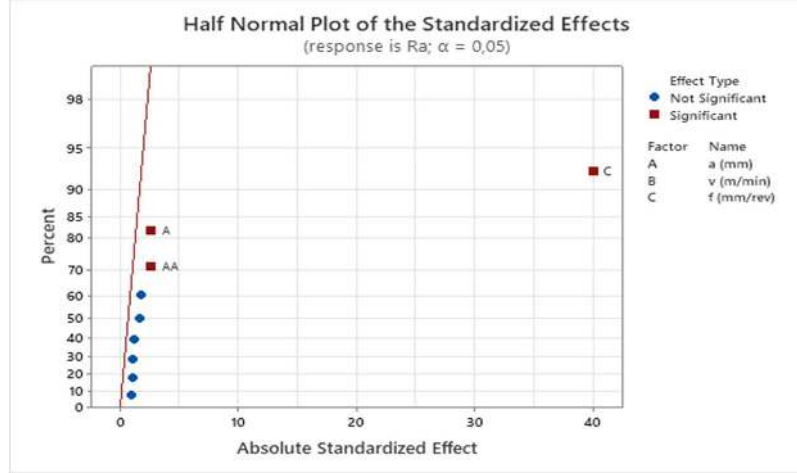


Şekil 3.5 Standartlaştırılmış yüzey pürüzlülüğünün etkilerinin Pareto grafiği



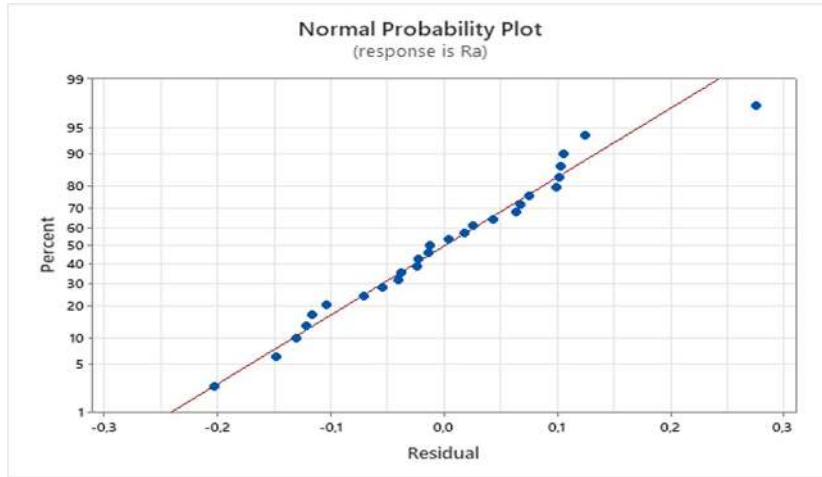
Şekil 3.6 Yüzey pürüzlülüğünün standartlaştırılmış etkilerinin normal grafiği

Şekil 3.6 Yüzey pürüzlülüğünün standartlaştırılmış etkilerinin normal grafiğinde kırmızı ve kare şeklinde gösterilen ilerleme miktarı eksen çizgisine olan uzaklığı en fazla olan parametredir. Bundan dolayı regresyon formülünde önemli bir yere sahiptir. Mavi ve yuvarlak şekilde gösterilen regresyon çarpanlarının ise önemli bir etkisi yoktur. Daha sade bir denklem elde etmek istenirse bu değerleri eşitlikten çıkartılabilir.



Şekil 3.7 Yüzey pürüzlülüğünün standartlaştırılmış etkilerin yarı normal grafiği

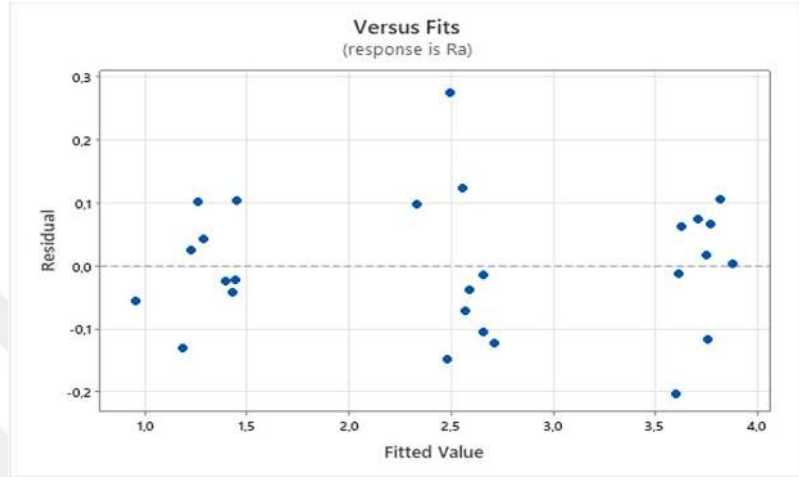
CNC işleme prosesi parametrelerinin optimum seviyesini kullanarak tepkinin gelişimini tahmin etmek ve doğrulamak amacıyla yüzey pürüzlülüğünün olasılık grafiği çıkarılmıştır. Şekil 3.8 Yüzey pürüzlülüğünün normal olasılık grafiği, işleme parametrelerinin gerçek ve tahmin edilen değerleri arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Bu rakamlar, değerler regresyon çizgisine yakın olma eğiliminde olduğundan, her bir yanıtın tahminindeki hataların ihmal edilebilir olması nedeniyle geliştirilen modellerin yeterli olduğunu göstermiştir. Bu çalışmada geliştirilen modellerin tepkileri çok küçük bir hatayla tahmin edebildiği söylenebilir.



Şekil 3.8 Yüzey pürüzlülüğünün normal olasılık grafiği.

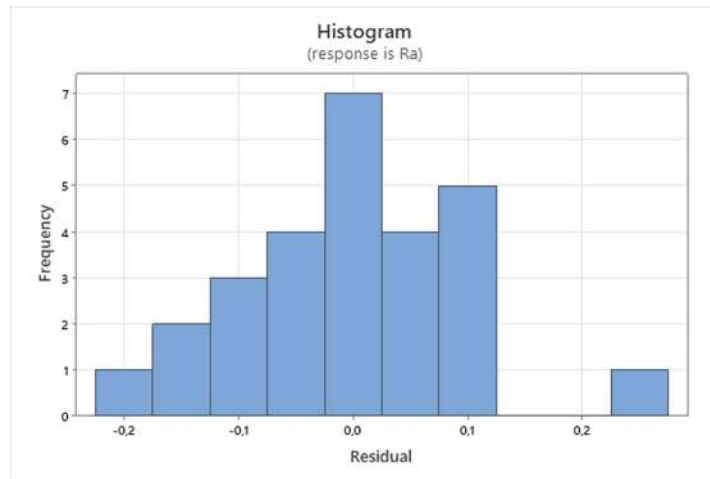
Şekil 3.8 verilerin normal dağılıma uyup uymadığını kontrol etmek için kullanılan bir normal olasılık grafiğidir. Noktaların büyük çoğunluğu kırmızı çizgi üzerinde

veya yakınında yer alıyor. Bu durum, verilerin genel olarak normal dağılıma uygun olduğunu gösterir. Ancak sağ üst köşedeki birkaç nokta bu çizgiden sapma göstermektedir, bu da bazı anormalliklerin olabileceğini düşündürmektedir.



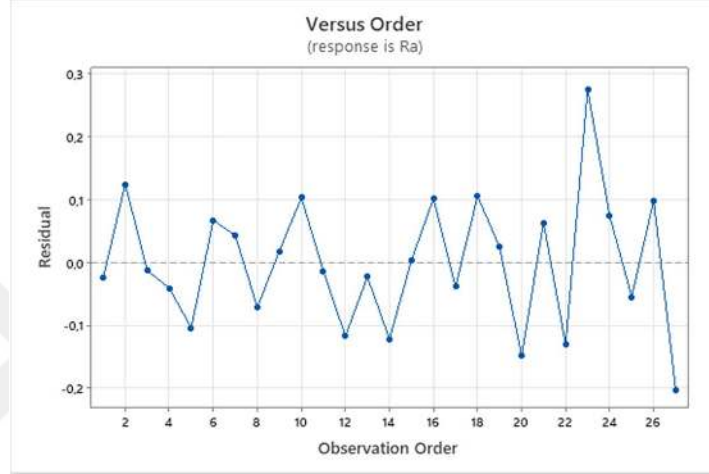
Şekil 3.9 Yüzey pürüzlülüğü karşılıklı uyum grafiği

Şekil 3.9, artıkların (residuals) uyum değerlerine karşı dağılımını göstermektedir. Artıkların rastgele dağılım göstermesi, modelin doğru olduğunu ve verilerin hatalı olmadığını gösterir. Grafikte belirgin bir desen görülmemektedir, bu da modelin genellikle uygun olduğunu, ancak birkaç noktada aşırı sapmaların bulunduğunu işaret eder.



Şekil 3.10 Yüzey pürüzlülüğü artık frekans grafiği

Şekil 3.10, artıkların dağılımını gösteren bir histogramdır. Artıkların çoğu 0 etrafında toplanmış ve dağılım yaklaşık olarak simetrik görünmektedir. Bu durum, verilerin normal dağılıma uygun olduğunu ve modelin uygun bir şekilde veriyi temsil ettiğini gösterir. Ancak -0.2 ve 0.2 civarında birkaç uç değer gözlenmektedir.



Şekil 3.11 Yüzey pürüzlülüğü tepki grafiği

Şekil 3.11, artıkların zaman içindeki değişimini gösteren bir grafikdir. Bu grafik, artıklar arasında zamanla belirli bir desen veya trend olup olmadığını kontrol eder. Grafikte belirli bir sistematik desen görülmektedir, bu da artıkların rastgele dağıldığını ve modelde zamanla ilgili bir yanlılığın bulunmadığını gösterir.

Bu grafikler modelin genellikle uygun olduğunu ve verilerin normal dağılıma uyduğunu göstermektedir.

Titreşim:

Varyans Analizi (ANOVA)

Titreşim için Tablo 3.6 Titreşim için varyans analiz (ANOVA) sonuçları, Taguchi yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen ANOVA'nın sonuçlarını göstermektedir.

Anova sonuçlarına göre titreşim değeri üzerinde en etkili parametre kesme (talaş) derinliğidir. Kesme derinliğinin etki oranı %64.12'dir. Kesme derinliğini %18.98 ile ilerleme hızı izlemektedir. Kesme hızının etki oranı ise %11.66 olarak bulunmuştur.

Tablo 3.6 Titreşim için varyans analiz (ANOVA) sonuçları

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	% etki
Model	9	3,94750	0,43861	126,02	0,000	98,52
Linear	3	3,79667	1,26556	363,62	0,000	94,76
a (mm)	1	2,56889	2,56889	738,10	0,000	64,12
v (m/min)	1	0,46722	0,46722	134,24	0,000	11,66
f (mm/rev)	1	0,76056	0,76056	218,53	0,000	18,98
Square	3	0,03000	0,01000	2,87	0,067	0,75
a (mm)*a (mm)	1	0,02667	0,02667	7,66	0,013	0,67
v (m/min)*v (m/min)	1	0,00167	0,00167	0,48	0,498	0,04
f (mm/rev)*f (mm/rev)	1	0,00167	0,00167	0,48	0,498	0,04
2-Way Interaction	3	0,12083	0,04028	11,57	0,000	3,02
a (mm)*v (m/min)	1	0,12000	0,12000	34,48	0,000	3,00
a (mm)*f (mm/rev)	1	0,00083	0,00083	0,24	0,631	0,02
v (m/min)*f (mm/rev)	1	0,00000	0,00000	0,00	1,000	0,00
Error	17	0,05917	0,00348			1,48
Total	26	4,00667				100,00

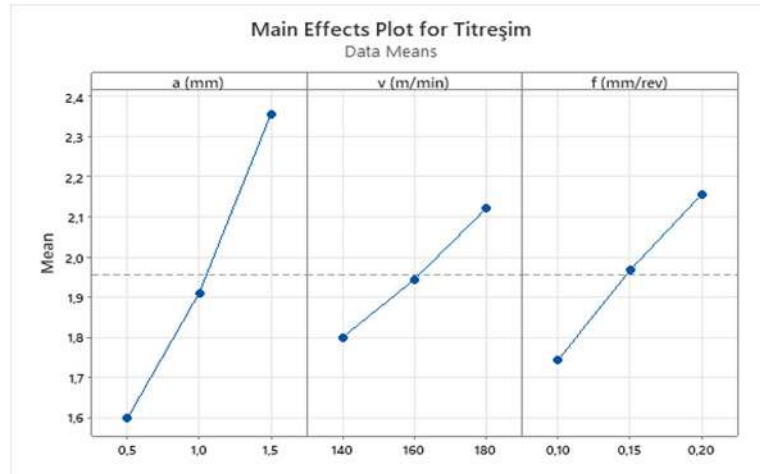
Tablo 3.6, titreşim için varyans analizi (ANOVA) sonuçlarını göstermektedir. Bu tabloda modelin, lineer terimlerin, kare terimlerin ve iki yönlü etkileşimlerin titreşim üzerindeki etkilerini değerlendirebilmekteyiz. Modelin tamamı için F-değeri 126,02 ve P-değeri 0,000'dır. Bu, modelin genel olarak anlamlı olduğunu ve bağımsız değişkenlerin birlikte titreşim üzerinde önemli bir etkisi olduğunu gösterir. Modelin açıklayıcılık yüzdesi %98,52'dir, yani model toplam varyansın %98,52'sini açıklamaktadır.

Lineer terimler için F-değeri 363,62 ve P-değeri 0,000'dır, bu da lineer terimlerin modelde çok anlamlı olduğunu gösterir. Lineer terimler toplam varyansın %94,76'sını açıklamaktadır. Kesme derinliği (a) için F-değeri 738,10 ve P-değeri 0,000'dır. Bu, kesme derinliğinin titreşim üzerinde en büyük etkiye sahip olduğunu ve toplam varyansın %64,12'sini açıkladığını gösterir. Kesme hızı (v) için F-değeri 134,24 ve P-değeri 0,000'dır. Kesme hızının titreşim üzerindeki etkisi anlamlıdır ve toplam varyansın %11,66'sını açıklamaktadır. İlerleme hızı (f) için F-değeri 218,53 ve P-değeri 0,000'dır. İlerleme hızının titreşim üzerindeki etkisi anlamlıdır ve toplam varyansın %18,98'ini açıklamaktadır.

Kare terimler için F-değeri 2,87 ve P-değeri 0,067'dir. Bu, kare terimlerin modelde anlamlı olmadığını gösterir (P-değeri 0,05'in üzerinde). Kare terimler toplam varyansın sadece %0,75'ini açıklamaktadır. Kesme derinliğinin karesi için F-değeri 7,66 ve P-değeri 0,013'tür. Bu, anlamlı bir etkiye sahip olduğunu gösterir ve toplam varyansın %0,67'sini açıklar. Kesme hızı ve ilerleme hızının kare terimleri için F-değeri 0,48 ve P-değeri 0,498'dir, bu da anlamlı bir etki olmadığını gösterir (toplam varyansın %0,04'ünü açıklarlar).

İki yönlü etkileşimler için F-değeri 11,57 ve P-değeri 0,000'dır. Bu, iki yönlü etkileşimlerin modelde anlamlı olduğunu ve toplam varyansın %3,02'sini açıkladığını gösterir. Kesme derinliği ve kesme hızı etkileşimi için F-değeri 34,48 ve P-değeri 0,000'dır, bu da anlamlı bir etkiye sahip olduğunu ve toplam varyansın %3,00'ünü açıkladığını gösterir. Kesme derinliği ve ilerleme hızı ile kesme hızı ve ilerleme hızı etkileşimleri için P-değerleri sırasıyla 0,631 ve 1,000'dir, bu da anlamlı bir etkiye sahip olmadıklarını gösterir.

Hata terimi için toplam varyansın %1,48'ini açıklamaktadır. Bu, modelin hatasının düşük olduğunu ve modelin genel olarak iyi uyum sağladığını gösterir. Model genel olarak oldukça güçlüdür ve verilerin büyük bir kısmını açıklamaktadır. Kesme derinliği (a), kesme hızı (v) ve ilerleme hızı (f) titreşim üzerinde anlamlı etkilere sahiptir. Kare terimlerin ve bazı iki yönlü etkileşimlerin etkisi daha azdır. Hata teriminin düşük olması modelin güvenilir olduğunu gösterir.



Şekil 3.12 Proses parametrelerinin titreşim üzerindeki etki grafiği

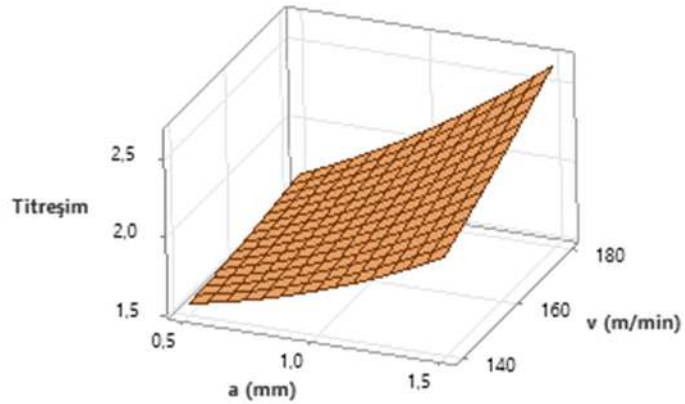
Kodlanmamış Birimlerde Regresyon Denklemi

$$\begin{aligned}\text{Titreşim} = & 2,08 - 1,428 a \text{ (mm)} - 0,0153 v \text{ (m/min)} + 5,78 f \text{ (mm/rev)} \\ & + 0,2667 a \text{ (mm)}*a \text{ (mm)} \\ & + 0,000042 v \text{ (m/min)}*v \text{ (m/min)} - 6,67 f \text{ (mm/rev)}*f \text{ (mm/rev)} \\ & + 0,01000 a \text{ (mm)}*v \text{ (m/min)} + 0,333 a \text{ (mm)}*f \text{ (mm/rev)} \\ & + 0,0000 v \text{ (m/min)}*f \text{ (mm/rev)}\end{aligned}$$

Model Özeti

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0,0589948	98,52%	97,74%	96,00%

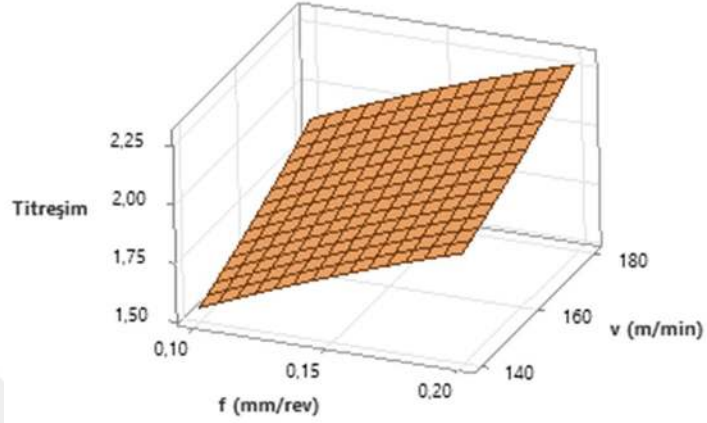
Verilen model özetine göre, modelin standart sapması (S) 0.0589948 olarak hesaplanmıştır. R-kare (R-sq) değeri %98.52, düzeltilmiş R-kare (R-sq(adj)) değeri %97.74 ve tahmin edilen R-kare (R-sq(pred)) değeri %96.00'dır. Bu yüksek R-kare değerleri, modelin veriyi çok iyi açıkladığını ve yüksek bir doğruluğa sahip olduğunu göstermektedir. Düzeltilmiş ve tahmin edilen R-kare değerlerinin de yüksek olması, modelin genelleştirilebilirliğini ve farklı veri setlerine uygulandığında da benzer sonuçlar vereceğini doğrular niteliktedir.



Şekil 3.13 Titreşimin kesme derinliği ve kesme hızına etkisi

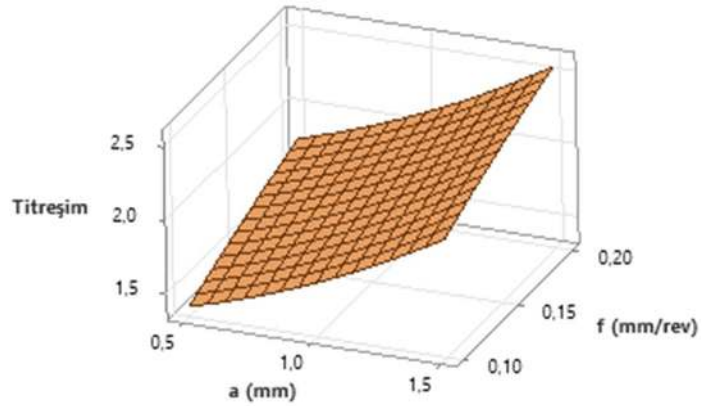
Şekil 3.13, titreşimin kesme derinliği (a) ve kesme hızı (v) ile nasıl değiştiğini göstermektedir. Grafikte görüldüğü gibi hem kesme derinliği hem de kesme hızı arttıkça titreşim de artmaktadır. Bu, her iki parametrenin de titreşim üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğunu ve titreşim seviyesini artırdığını göstermektedir. Kesme

derinliğinin titreşim üzerindeki etkisi daha belirgin görünmektedir, bu da ANOVA sonuçlarında da görülen yüksek F-değerini doğrulamaktadır.



Şekil 3.14 Titreşimin ilerleme hızı ve kesme hızına etkisi

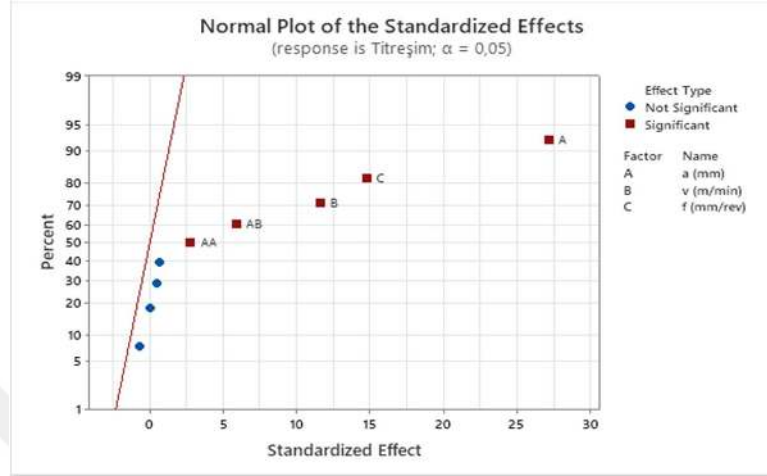
Şekil 3.14, titreşimin ilerleme hızı (f) ve kesme hızı (v) ile nasıl değiştiğini göstermektedir. Bu grafikte de benzer şekilde hem ilerleme hızı hem de kesme hızı arttıkça titreşim seviyesinin arttığı görülmektedir. Kesme hızının etkisi burada da belirgindir, ancak ilerleme hızının titreşim üzerindeki etkisi daha düşük bir artışa neden olmaktadır. Bu durum, ilerleme hızının titreşim üzerindeki etkisinin, kesme derinliği ve kesme hızına göre daha düşük olduğunu gösterir.



Şekil 3.15 Titreşimin ilerleme hızı ve kesme derinliğine etkisi

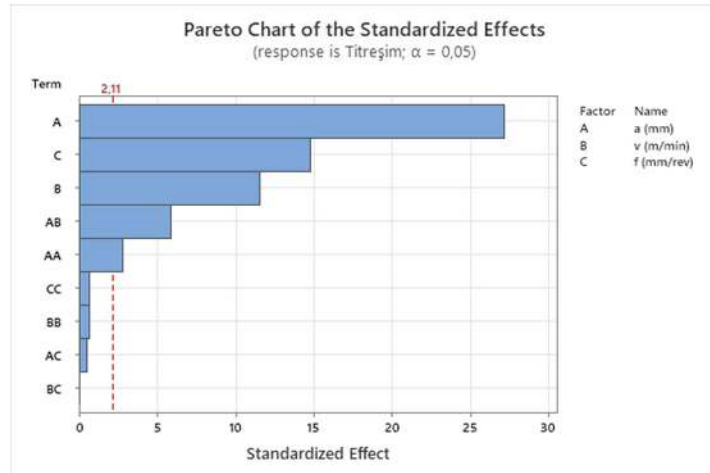
Şekil 3.15, titreşimin ilerleme hızı (f) ve kesme derinliği (a) ile nasıl değiştiğini göstermektedir. Grafikte görüldüğü gibi hem ilerleme hızı hem de kesme derinliği arttıkça titreşim de artmaktadır. Bu, her iki parametrenin de titreşim üzerinde pozitif

bir etkiye sahip olduğunu ve titreşim seviyesini artırdığını göstermektedir. İlerleme hızının titreşim üzerindeki etkisi daha belirgin görünmektedir.



Şekil 3.16 Titreşimin standartlaştırılmış etkilerin yarı normal grafiği

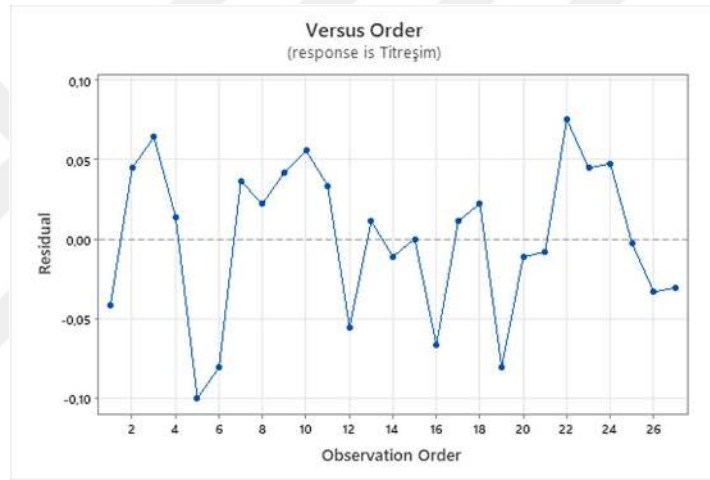
Şekil 3.16, titreşimin standartlaştırılmış etkilerin yarı normal grafiğini göstermektedir. Bu grafikte, kesme derinliği (a), ilerleme hızı (f) ve kesme hızının (v) titreşim üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Kesme derinliği en yüksek standartlaştırılmış etkiye sahip faktör olarak öne çıkmaktadır. İlerleme hızı ve kesme hızı da anlamlı etkiler göstermektedir. Bu grafikteki kareler, faktörlerin anlamlı olduğunu gösterirken, mavi daireler anlamlı olmayan faktörleri temsil etmektedir.



Şekil 3.17 Standartlaştırılmış titreşim etkilerinin Pareto grafiği

Pareto grafiğine göre titreşim değeri üzerinde en önemli etkiye kesme (talaş) derinliği sahiptir. Daha sonra ilerleme hızı ve kesme hızı gelmektedir.

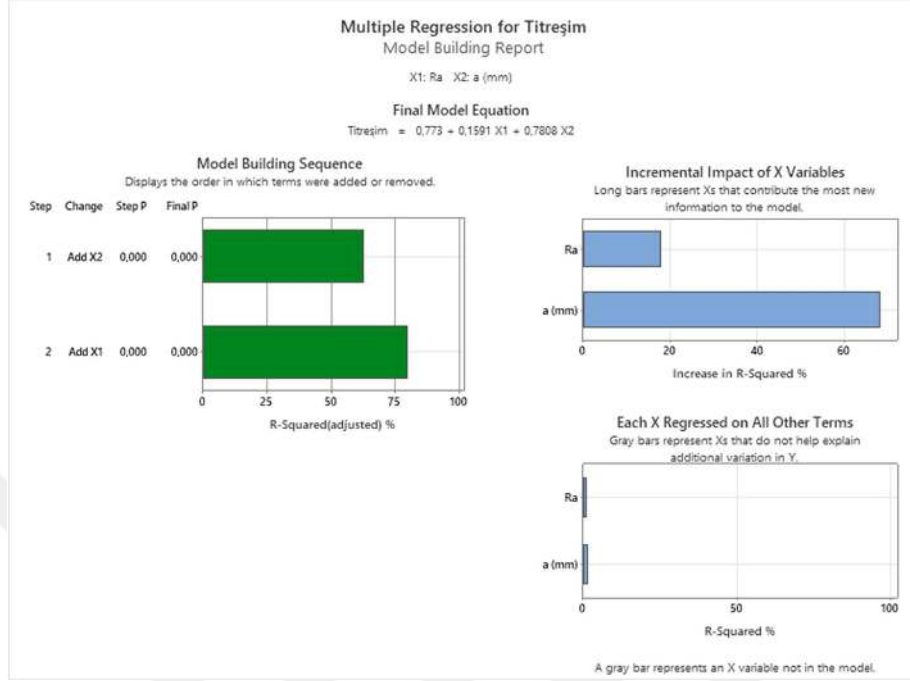
Şekil 3.17, standartlaştırılmış titreşim etkilerinin Pareto grafiğini sunmaktadır. Pareto grafiğine göre, titreşim değeri üzerinde en önemli etkiye kesme derinliği (A) sahiptir. Bu faktör, diğer faktörlere göre çok daha yüksek bir standartlaştırılmış etki göstermektedir. İlerleme hızı (C) ve kesme hızı (B) ise sırasıyla ikinci ve üçüncü en önemli faktörlerdir. Bu grafik, modelde hangi faktörlerin en büyük etkiye sahip olduğunu görsel olarak belirlemek için kullanılır ve sonuçlar, ANOVA sonuçları ile tutarlıdır.



Şekil 3.18 Titreşim tepki grafiği

$$\text{Titreşim} = 0,773 + 0,1591 \text{ Ra} + 0,7808 \text{ a} \text{ (%81.31)}$$

Şekil 3.18, titreşim tepki grafiğini göstermektedir. Grafikte artıkların gözlem sırasına göre dağılımı yer almaktadır. Artıkların rastgele dağıldığı ve belirli bir desen göstermediği gözlemlenmektedir. Bu, modelin artıklarının bağımsız olduğunu ve modelde zamanla ilgili bir yanlılığın bulunmadığını göstermektedir. Artıkların belirli bir trend veya desen izlememesi, modelin uygunluğunu destekler.



Şekil 3.19 Optimizasyon

Şekil 3.19, titreşim için çoklu regresyon modelini ve model yapılandırma raporunu sunmaktadır. Nihai model denklemi şu şekildedir:

$$\text{Titreşim} = 0,773 + 0,1591 Ra + 0,7808 a$$

Bu denklem, titreşim üzerindeki Ra ve a faktörlerinin etkilerini göstermektedir. Model, %81.31 oranında R-kare değerine sahiptir, bu da modelin veri setindeki varyansın %81.31'ini açıkladığını göstermektedir.

Grafiklerdeki detaylar aşağıdaki gibidir:

- Model Building Sequence:** Bu grafik, hangi terimlerin eklendiğini veya çıkarıldığını ve modelin R-kare değerinin nasıl değiştiğini göstermektedir. İlk adımda X2 (a) eklenmiş ve modelin R-kare değeri önemli ölçüde artmıştır. İkinci adımda X1 (Ra) eklenmiş ve modelin R-kare değeri daha da artmıştır.
- Incremental Impact of X Variables:** Bu grafik, X değişkenlerinin modele eklenmesiyle R-kare değerinde meydana gelen artışları göstermektedir. Kesme derinliği (a) en büyük artışı sağlarken, yüzey pürüzlülüğü (Ra) daha küçük bir artış sağlamıştır.

- **Each X Regressed on All Other Terms:** Bu grafik, her bir X değişkeninin diğer tüm terimlerle regresyon analizini göstermektedir. Bu grafik, modeldeki her bir değişkenin diğer değişkenlerle olan ilişkisini değerlendirmektedir. Kesme derinliği (a) ve yüzey pürüzlülüğü (R_a) modelin açıklayıcılık gücüne önemli katkılarda bulunmaktadır.



4. SONUÇLAR

AISI 4140 Çeliğın tornalandığı deney sonuçları kısaca şu şekilde özetlenebilir.

1. Yüzey Pürüzlülüğü:

- Yüzey pürüzlülük değeri üzerinde en etkili parametre ilerleme miktarıdır. İlerleme miktarının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etki oranı %97.50 olarak belirlenmiştir.
- Talaş derinliğinin artmasıyla birlikte yüzey pürüzlülük değeri bir miktar azalma göstermiştir.

2. Titreşim Değeri:

- İlerleme miktarı, kesme hızı ve talaş derinliği arttıkça titreşim değeri de artmıştır.
- Titreşim değeri üzerinde en etkili parametre talaş derinliği olup, etki oranı %64.12 olarak tespit edilmiştir. Talaş derinliğini %18.98 etki oranı ile ilerleme miktarı izlemektedir.

Bu sonuçlar, AISI 4140 çeliğinin tornalanması sırasında yüzey kalitesi ve titreşim kontrolü açısından önemli parametreleri ortaya koymaktadır. İlerleme miktarı yüzey pürüzlülüğü üzerinde en büyük etkiye sahipken, talaş derinliği titreşim değeri üzerinde en belirleyici faktör olmuştur. Bu bulgular, tornalama işlemlerinde optimal parametrelerin belirlenmesine yardımcı olabilir.

KAYNAKLAR

- Açay, S., Kolaç, M., ve Atak, O. 2020. "AISI 4140 Çeliğinin Delinmesinde Kesme Kenar Radyüsü ve Kesme Parametrelerinin Optimizasyonu". *İmalat Teknolojileri ve Uygulamaları* 1(3):33-40.
- Albayrak, S., Yeşildal, F. ve Yildirim, C. 2020. "SAE 4140 Çeliğin Tornalanmasında Kesme Parametrelerinin Ses Seviyesi ve Yüzey Pürüzlülüğüne Etkileri: Parametrelerin Optimizasyonu". *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 10(4):2759-69. doi: 10.21597/jist.722408.
- Asiltürk, İ., Kuntoğlu, Binali, R., Akkuş, H. ve Salur E. 2023. "A Comprehensive Analysis of Surface Roughness, Vibration, and Acoustic Emissions Based on Machine Learning during Hard Turning of AISI 4140 Steel". *Metals* 13(2):437. doi: 10.3390/met13020437.
- ASTM, E8-99. 2001. "Standard test methods for tension testing of metallic materials". *Annual book of ASTM standards*. ASTM.
- Bal, B. C. 2018. "CNC makinelerinin bazı ayarlarının parça işleme süresi ve lif levhanın yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri". *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi* 1(1):21-30.
- Bramfitt, B. L. ve Arlan, O. B. 2001. *Metallographer's guide: practice and procedures for irons and steels*. Asm International.
- Bryson, William E. 2005. "Heat treatment, selection, and application of tool steels". *Heat Treatment, Selection, and Application of Tool Steels* I-XV.
- Callister, W. D. ve Rethwisch, D. D. 2013. *Malzeme bilimi ve Mühendisliği*. Nobel.
- Committee, ASM International Handbook. 1990. *Properties and Selection—Irons, Steels, and High-performance Alloys*. C. 1. ASM International.
- Çelik, Y.H., Kılıçkap, E. ve Yenigün, B. 2017. "ASTM B348 titanyum alaşımının farklı takımlarla tornalanmasında takım aşınmasının incelenmesi". *International Conference on Multidisciplinary, Engineering, Science, Education and Technology (IMESET'17 Bitlis)*, 27-29 October 2017, Bitlis. Turkey
- Das, S. R., Panda, A. ve Dhupal, D. 2017. "Experimental investigation of surface roughness, flank wear, chip morphology and cost estimation during machining of hardened AISI 4340 steel with coated carbide insert". *Mechanics of Advanced Materials and Modern Processes* 3(1):9. doi: 10.1186/s40759-017-0025-1.
- Dhar, N.R., Islam, M.W., Islam, S., Mithu, M.A.H. 2006, "The influence of minimum quantity of lubrication (MQL) on cutting temperature, chip and dimensional accuracy in turning AISI-1040 steel", *Journal of Materials Processing Technology*, 171, 93-99

- Dong, B., Hou, T., Zhou, W., Zhang, G. ve Wu, K. 2018. "The role of retained austenite and its carbon concentration on elongation of low temperature bainitic steels at different austenitising temperature". *Metals* 8(11):931.
- Dossett, J. L., ve Boyer, H. E. 2006. *Practical heat treating*. Asm International.
- Gandy, D. 2007. "Carbon steel handbook". *Electric Power Research Institute (EPRI)* 1-172.
- Gao, J., Wang, H., Wu Cai, Wu, J. ve He, Y. 2016. "Pollution characteristics of atmospheric particulate mercury near a coal-fired power plant on the southeast coast of China". *Atmospheric Pollution Research* 7(6):1119-27.
- Gürbüz, H., 2012, "AISI 316L çeliğin işlenmesinde kesici takım geometrisi ve kaplama tiplerinin yüzey bütünlüğü üzerindeki etkilerinin araştırılması", Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- İlhan, M., 2014, "Talaş kaldırma işlemlerinde minimum miktarda yağlama (mql) uygulamasının kesme hızı ve yağlama debisinin yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri üzerindeki etkilerinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Karabulut, Ş., Şahinoğlu, A. 2018 "R260 Çeliklerinin İşlenmesinde Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğü, Güç Tüketimi ve Makine Gürültüsü Üzerine Etkileri" *Politeknik Dergisi*; 21 (1) : 237-244
- Karayel, B., 2015, "Ç 4140 malzemesinin tornalanmasında ilerleme, kesme hızı ve kesici takımın yüzey pürüzlülüğü, takım ömrü ve aşınmaya etkileri", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Keskin Gencer, S., 2020 "Sertleştirme ısı işlemlerinin AISI 4140 kalite çeliğin mekanik ve aşınma özelliklerine etkisinin incelenmesi". Master's Thesis, *Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Kılıçkap, E., Çelik, Y.H., Yardımeden, A. 2016. "Karbon elyaf takviyeli plastik kompozitlerin tornalanmasında yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınmasına etki eden parametrelerin araştırılması", *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi* 8 (1), 175-180
- Kılıçkap, E., Hüseyinoğlu, M., Özel, C. 2009. "Aa 7075 Delinmesinde Kullanılan Soğutma Tekniğinin Performans Karakteristiklerine Etkisi", *e-Journal of New World Sciences Academy*, Volume: 4, Number: 4, Article Number: 1A0052
- Lucon, E., ve Santoyo, R. L. 2022. "Analyzing the NIST Charpy Program Database: Influence of Impact Hammer Type (C versus U) on Test Results". *Journal of Testing and Evaluation* 50(5):2465-81.

- Mavi, A., 2013, "Kesici takımlara uygulanan kriyojenik işlemin Ti6AL4V titanyum alaşımlarının işlenmesinde kesici takım performansının etkisi", Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- McGuire, S. K. ve Jenkins, M. G. 2002. "Ceramics testing". *Handbook of materials selection* 623-48.
- Pınar, M. A., ve Fırat, K. 2016. "AISI 4140 çeliğin çok yönlü takımla tornalanmasında yüzey pürüzlülük performansının optimizasyonu". *Politeknik Dergisi* 19(4):491-98.
- Rodríguez-González, F. A. 2009. *Biomaterials in orthopaedic surgery*. ASM International.
- Rudnev, Valery, Loveless, D. ve Cook, R. L. 2017. "Handbook of induction heating". *CRC press*.
- Şahinoğlu, A. ve Rafighi, M. 2020 "Sertleştirilmiş AISI 1040 çeliğinin işlenmesi için pürüzlülük açısından kesme parametrelerinin optimizasyonu, Malzeme Testi" 62 (1), 85-95, Yayınlanan:24 Eylül 2019, Cilt 45, sayfalar 765–778, *Arap Bilim ve Mühendislik Dergisi*
- Totten, G. E. 2006. "Steel heat treatment handbook-2 volume set". *CRC press*.
- Trent, E. M., ve Wright, P. K. 2000. "Metal cutting". *Butterworth-Heinemann*.
- Xia, M., Tian, Z., Zhao, L. ve Zhou, Y. N. 2008. "Fusion zone microstructure evolution of Al-alloyed TRIP steel in diode laser welding". *Materials transactions* 49(4):746-53.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyad, Ad

YOLDAŞ, Zülküf

Web sayfası

(ResearchGate, Academia, vs.)

Eğitim Bilgileri

Derece	Kurum	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Dicle Üniversitesi Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı	...
Lisans	Fırat Üniversitesi Talaşlı Üretim Öğretmenliği	2004
	Dicle Üniversitesi Makine Mühendisliği	2019
Lise	Diyarbakır Endüstri Meslek Lisesi Makine Bölümü	1997

İş Deneyimi

Dönem (Yıl)	Şirket, Kurum	Görev
2008-2024	Emniyet G.M.	Polis Memuru

Yabancı Dil

Yayınlar

1.2. BİLSEL INTERNATIONAL SUR SCIENTIFIC RESEARCHES
CONGRESS, 15-16 JUNE, 2024, DİYARBAKIR/TÜRKİYE)

Özel İlgiler

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEZ BENZERLİK BİLDİRİMİ FORMU

Öğrencinin Adı, Soyadı	Zülküf YOLDAŞ		
Öğrenci No	21818013		
Ana Bilim Dalı	Makine Mühendisliği		
Program Türü	Proje ☐	Yüksek Lisans ☒	Doktora ☐
Tez Danışmanı (Unvanı, Adı, Soyadı)	Dr. Öğr. Üyesi Haluk KEJANLI		
(Varsa) II. Tez Danışmanı (Unvanı, Adı, Soyadı)			
Tez Başlığı	AISI 4140 Çeliğin Tornalanmasında Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğü Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi		
RAPOR BİLGİLERİ			
Raporlama Aşaması	Tez Savunma Sınavı Sonrası		
Sayfa Sayısı	78		
Raporlama Tarihi	29/07/2024		
Benzerlik Oranı (%)	%23		

Yukarıda bilgileri verilen tez çalışmamın toplam 78 sayfalık kısmına ilişkin, 29/07/2024 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından *Turnitin* isimli intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan intihal raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 23 olarak tespit edilmiştir.

Uygulanan filtrelemeler:

Başlangıç Bölümleri (Kabul ve Onay sayfası, Teşekkür sayfası, Özet/Abstract) hariç

☐ Kaynaklar hariç

☐ Alıntılar hariç/dâhil

☒ Diğer (Her şey dahil)

Tezimin benzerlik oranı, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İntihal Raporu Uygulama Esaslarında belirtilen üst sınır benzerlik oranını aşmamaktadır. Tez benzerlik oranı üst sınır benzerlik oranının altında olsa dahi aksinin tespit edilmesi durumunda her türlü yasal sorumluluğu kabul ettiğimi ve hukuki sonuçlarına razı olduğumu bildirir, gereğini arz ederim.

Öğrencinin Adı, Soyadı: Zülküf YOLDAŞ

Tarih: 29/07/2024

İmza:

Danışman Adı, Soyadı:

Dr. Öğr. Üyesi Haluk KEJANLI

Tarih: 29/07/2024

İmza:

Ana Bilim Dalı Başkanı Adı, Soyadı:

Prof. Dr. Sedat BİNGÖL

Tarih:

İmza: