



T.C.  
OSMANİYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Özbek YELİN

Çelik Şekillendirme Yöntemlerinden Soğuk  
Haddeme İşleminin Sonlu Elemanlar  
Analizlerinin Değişik Parametrelere Göre  
Araştırılması

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

OSMANİYE – 2018

**T.C.  
OSMANİYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ÇELİK ŞEKİLLENDİRME YÖNTEMLERİNDEN  
SOĞUK HADDELEME İŞLEMİ SONLU ELEMANLAR  
ANALİZLERİNİN DEĞİŞİK PARAMETRELERE GÖRE  
ARAŞTIRILMASI**

**Özbek YELİN**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI**

**OSMANİYE  
OCAK-2019**

## TEZ ONAYI

ÇELİK ŞEKİLLENDİRME YÖNTEMLERİNDEN SOĞUK HADDELEME İŞLEMİ SONLU ELEMANLAR ANALİZLERİNİN DEĞİŞİK PARAMETRELERE GÖRE ARAŞTIRILMASI

Özbek YELİN tarafından Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Seha TATLIER danışmanlığında Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Makine Mühendisliği** Anabilim Dalı'nda hazırlanan bu çalışma aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından oy birliği/çokluğu ile **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman:** Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Seha TATLIER .....  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, OKÜ

**Üye:** Prof. Dr. Mustafa ÜBEYLİ Birinci ÜYE .....  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, OKÜ

**Üye:** Dr. Öğr. Üyesi Kerimcan ÇELEBİ İkinci ÜYE .....  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, ÇÜ

Yukarıdaki jüri kararı Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ...../...../..... tarih ve ..... /..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Doç. Dr. Coşkun ÖZALP .....  
Enstitü Müdürü, **Fen Bilimleri Enstitüsü**

Bu Çalışma OKÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi Tarafından Desteklenmiştir.

Proje No: OKÜBAP-2017-PT3-034

*Bu tezde kullanılan özgün bilgiler, şekil, çizelge ve fotoğraflardan kaynak göstermeden alıntı yapmak 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu hükümlerine tabidir.*

## TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, bu çalışma sonucunda elde edilmeyen her türlü bilgi ve ifade için ilgili kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını ve bu tezin Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlandığını bildiririm.

Özbek YELİN



## ÖZET

### ÇELİK ŞEKİLLENDİRME YÖNTEMLERİNDEN SOĞUK HADDELEME İŞLEMİNİN SONLU ELEMANLAR ANALİZLERİNİN DEĞİŞİK PARAMETRELERE GÖRE ARAŞTIRILMASI

Özbek YELİN

Yüksek Lisans, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı  
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Seha TATLIER

Ocak 2019, 68 sayfa

Entegre demir çelik tesisleri demir cevherinden başlayarak, yassı çeliğe kadar devam eden tüm üretim süreçlerini bünyesinde barındırırlar. Bu tip tesisler çok büyük ve özel yerleşim alanlarına ihtiyaç duymalarının yanında, uzun yapım süresi ve büyük sermaye yatırımı gerektirirler. Bu dezavantaj duruma karşı çelik üreticileri ya da yarı mamul kullanıcıları daha küçük alanlara kısa sürede ve küçük sermayeler ile küçük çaplı meneviş haddeleme(skin pass)işlemi gibi soğuk hadde uygulamalarını devreye almışlardır. Bu çalışmada, sayısal benzetimler ve veri analizleri yolu ile meneviş haddesi işleminde değişken olan hat hızı parametresinin etkisinin araştırılması amaçlanmıştır. Meneviş hadde işlemi süreci boyunca meydana gelen kuvvetler, oluşan gerinme ve gerilmeler farklı hat hızlarında incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Soğuk Haddeleme, Yassı Çelik, Meneviş Hadde, Metal Şekillendirme

## ABSTRACT

### INVESTIGATION OF THE FINITE ELEMENT ANALYSIS OF COLD ROLLING PROCESS FROM METAL FORMING METHODS ACCORDING TO DIFFERENT PARAMETERS

Özbek YELİN

M.Sc, Department of Mechanical Engineering  
Supervisor: Assist. Prof. Dr. Mehmet Seha TATLIER

January 2019, 68 sayfa

The integrated iron and steel mills are equipped with all production processes starting from iron ore to flat steel. In addition to the need for large and private settlements, such facilities require long construction time and large capital investment. In response to this disadvantage, steel mills or semi-finished steel users have adopted cold rolling applications and small diameters skin pass processes in smaller areas in the short term. In this study, it is aimed to investigate the parameters which are effective in skin pass process through numerical simulations and data analysis. The forces acting on the material during the skin pass process, stresses and strains are investigated by changing various parameters.

**Key Words:** Cold Rolling, Flat Steel, Skin Pass, Metal Forming

## TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans tez konumun belirlenerek tez çalışmamın yürütölmesini üstlenen, çalışmalarım süresince değerli bilgi ve tecrübeleriyle katkılarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Seha TATLIER'e teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bölümdeki çalışmalarım süresince beni destekleyen diğer bölüm hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

TEZ ONAYI	
TEZ BİLDİRİMİ	
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	v
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
1.GİRİŞ .....	1
2. METAL ŞEKİLLENDİRME YÖNTEMLERİ .....	4
2.1. Sac Metal Şekillendirme .....	10
2.2. Kütleli Şekillendirme .....	12
3. HADDELEME SİRASINDAKİ YÜKLERİN ANALİZİ VE MERDANENİN KONUMLANDIRILMASI.....	31
3.1 Sonlu Elemanlar Analizi İle Uygulama .....	33
3.1.1. Merdane Sisteminin Ağ Yapısının Oluşturulması .....	34
3.1.2.Merdane Sistemindeki Bağlantıların ve Uygulanacak İşlemlerin Tanımlanması.....	35
4.BULGULAR VE TARTIŞMA .....	38
4.1. Deformasyon İncelemeleri.....	43
4.2. Gerilmelerin İncelenmesi .....	54
<b>5. SONUÇ</b> .....	63
ÖZGEÇMİŞ .....	67
EKLER.....	68
EK-1 .....	68



## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Çekme testi yapılan malzemenin özellikleri.....	34
Çizelge 4.1. Çekme testi yapılan malzemenin sonuçları.....	42
Çizelge 4.2. Deformasyon verileri .....	43
Çizelge 4.3. Gerilme verileri.....	53



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. a) Basma, b) Çekme, c) Kayma .....	4
Şekil 2.2. Bir noktadaki üç eksenli gerilmeler .....	5
Şekil 2.3. Mühendislik gerilme- birim şekil değiştirme eğrisi.....	6
Şekil 2.4. Gerçek gerilme- birim şekil değiştirme eğrisi .....	6
Şekil 2.5. Tresca ve Von Mises akma kriterlerinin grafiksel karşılaştırmaları .....	7
Şekil 2.6. Akma eğrisinin entegre edilerek ortalama değerinin bulunduğu bölge ....	7
Şekil 2.7. Örnek model farklı sıcaklıklarda metal (Alüminyum 7017) malzemeye ait Gerilme-Gerinim grafiğindeki değişimler .....	9
Şekil 2.8. Metal Şekillendirme Yöntemleri .....	9
Şekil 2.9. Sac Metal Şekillendirme Kesme İşlemi .....	10
Şekil 2.10. Bükme Elemanları .....	11
Şekil 2.11. Çeşitli Bükme Şekilleri.....	11
Şekil 2.12. Derin çekme işlemi sonuçları süreçleri.....	12
Şekil 2.13. Açık Kalıpta Dövme .....	13
Şekil 2.14. Kapalı Kalıpta Dövme .....	14
Şekil 2.15. Çapaksız Dövme .....	14
Şekil 2.16. Doğrudan Ekstrüzyon .....	15
Şekil 2.17. Dolaylı Ekstrüzyon .....	15
Şekil 2.18. Hidrostatik Ekstrüzyon .....	15
Şekil 2.19. Darbeli Ekstrüzyon .....	16
Şekil 2.20. Tel/ Çubuk Çekme Modeli.....	16
Şekil 2.21. Çeşitli ürün gruplarına göre haddeleme akış diyagramı .....	17
Şekil 2.22. Sıcak Haddeleme .....	18
Şekil 2.23. Soğuk Haddeleme .....	18
Şekil 2.24. Hadde Sistemi Şeması .....	19

Şekil 2.25. Karbon Çelikleri İşlemede Kullanılan Hadde Merdane Düzenleri.....	19
Şekil 2.26. Yüksek mukavemetli çelikleri işlemede kullanılan hadde merdane düzenleri .....	20
Şekil 2.27. Haddeleme Geometrisi.....	21
Şekil 2.28. 4'lü Meneviş Haddeleme Hattı .....	24
Şekil 2.29. Lüder Bantlarının .....	25
Şekil 2.30. Gerilme-gerinim grafiği .....	26
Şekil 2.31. Dörtlü hadde merdanesi .....	27
Şekil 2.32. Merdaneler burulmasından dolayı oluşan kuvvetler .....	27
Şekil 2.33. İkili hadde merdane eğilme sistemi .....	28
Şekil 2.34. Dörtlü hadde merdane eğilme sistemi.....	29
Şekil 2.35. Dörtlü hadde dilimli kiriş modeli.....	30
Şekil 3.1. İş merdanesi, destek merdanesi ve iş parçası üzerindeki geometrik tanımlamalar .....	31
Şekil 3.2. Yassı metal ürünü ve merdanelerin konumlandırılması .....	34
Şekil 3.3. Merdane sisteminin ağ yapısı .....	35
Şekil 3.4. Merdane ile plaka arasındaki bağlantı .....	35
Şekil 3.5. Üst kısımdaki merdaneye verilen açısız hızın görünümü .....	36
Şekil 3.6. Alt kısımdaki merdaneye verilen açısız hızın görünümü .....	36
Şekil 3.7. Merdane rulmanlarının mesnetlenmesi.....	37
Şekil 3.8. Plakanın tanımlanması .....	37
Şekil 4.1. X eksenini doğrultusunda hızın zamana bağlı değişimi .....	39
Şekil 4.2. Plakanın arka kısmının X eksenini boyunca hızının zamana bağlı değişimi .....	40
Şekil 4.3. Y eksenini boyunca meydana gelen temas kuvvetlerinin değişimi .....	40
Şekil 4.4. Temas kuvvetlerinin X eksenini boyunca değişimi .....	41
Şekil 4.5. İş parçasındaki temastan dolayı oluşan kuvvetlerinin Y eksenini boyunca değişim grafiği .....	41

Şekil 4.6. İş parçasındaki temastan dolayı oluşan kuvvetlerin X eksenini boyunca değişim grafiği .....	42
Şekil 4.7. Deformasyon verileri.....	43
Şekil 4.8. İş parçasında meydana gelen toplam deformasyon (30m/dak).....	44
Şekil 4.9. İş merdanesinde meydana gelen toplam deformasyon (30m/dak).....	44
Şekil 4.10. İş merdanesine bombe verilerek iş parçasında meydana gelen toplam deformasyon (30m/dak) .....	45
Şekil 4.11. Bombe verilen iş merdanesinde meydana gelen toplam deformasyon (30 m/dak). .....	45
Şekil 4.12. İş parçasında meydana gelen toplam deformasyon (35 m/dak).....	46
Şekil 4.13. İş merdanesinde meydana gelen toplam deformasyon (35 m/dak).....	46
Şekil 4.14. İş parçasında meydana gelen toplam deformasyon (40 m/dak).....	47
Şekil 4.15. İş merdanesinde meydana gelen toplam deformasyon (40 m/dak).....	47
Şekil 4.16. X yönünde meydana gelen toplam deformasyon (30 m/dak). .....	48
Şekil 4.17. Y yönünde meydana gelen toplam deformasyon (30 m/dak). .....	48
Şekil 4.18. Bombe verilmiş iş merdanesinin X ekseninde meydana gelen deformasyon (30 m/dak) .....	49
Şekil 4.19. Bombe verilen iş merdanesinin Y ekseninde meydana gelen deformasyon (30 m/dak) .....	49
Şekil 4.20. X yönünde meydana gelen toplam deformasyon (35 m/dak). .....	50
Şekil 4.21. Y yönünde meydana gelen toplam deformasyon (35 m/dak). .....	50
Şekil 4.22. X yönünde meydana gelen toplam deformasyon (40 m/dak). .....	51
Şekil 4.23. Y yönünde meydana gelen toplam deformasyon (40 m/dak). .....	51
Şekil 4.24. Z yönünde meydana gelen toplam deformasyon (30 m/dak).....	52
Şekil 4.25. Bombe verilen iş merdanesinin Z ekseninde meydana gelen toplam deformasyon (30 m/dak) .....	52
Şekil 4.26. Z yönünde meydana gelen toplam deformasyon (35 m/dak).....	53
Şekil 4.27. Z yönünde meydana gelen toplam deformasyon (40 m/dak).....	53
Şekil 4.28. Gerilme verilerinin grafiksel gösterimi.....	54

Şekil 4.29. Analiz esnasında merdane sistemindeki eş değer gerilme (30 m/dak) ....	55
Şekil 4.30. Bombe verilen iş merdanesine sahip sistemin eş değer gerilmesi (30 m/dak) .....	55
Şekil 4.31. İş merdanesinde meydana gelen eş değer gerilme (30 m/dak) .....	56
Şekil 4.32. Bombe verilen iş merdanesinde meydana gelen eş değer gerilme (30 m/dak).....	56
Şekil 4.33. Merdane sisteminde gerilme emniyeti faktörü (30 m/dak).....	57
Şekil 4.34. Bombe verilen iş merdanesi sistemindeki gerilme emniyeti faktörü (30 m/dak).....	57
Şekil 4.35. İş merdanesinin gerilme emniyet faktörü (30 m/dak).....	58
Şekil 4.36. Bombe verilen iş merdanesinin gerilme emniyet faktörü (30 m/dak).....	58
Şekil 4.37. Analiz esnasında merdane sistemindeki eş değer gerilme (35 m/dak) ....	59
Şekil 4.38. İş merdanesinde meydana gelen eş değer gerilme (35 m/dak) .....	59
Şekil 4.39. Merdane sisteminde gerilme emniyeti faktörü (35 m/dak).....	60
Şekil 4.40. İş merdanesinin gerilme emniyet faktörü (35 m/dak).....	60
Şekil 4.41. Analiz esnasında merdane sistemindeki eş değer gerilme (40 m/dak) ....	61
Şekil 4.42. İş merdanesinde meydana gelen eş değer gerilme (40 m/dak). .....	61
Şekil 4.43. Merdane sisteminde gerilme emniyeti faktörü (40 m/dak).....	62
Şekil 4.44. İş merdanesinin gerilme emniyet faktörü (40 m/dak).....	62

## SİMGELER VE KISALTMALAR

E	Elastisite modülü	(-)
F	Kuvvet	(N)
h	Kalınlık	(mm)
K	Dayanım katsayısı	(-)
k	Elastik dayanım sabiti	(-)
L	Merdane aralığı	(m)
MQL	Minimum miktarda yağlama	(-)
n	Şekil değiştirmede pekleşme üsteli	(-)
P	Güç	(w)
T	Sıcaklık	(K)
V	Hız	(m/s)
y	X mesafesindeki çalışma merdanesi sehim	(-)
w	Genişlik	(m)
$\varepsilon$	Birim şekil değiştirme	(m)
$\sigma$	Normal gerilme	(MPa)
$\tau$	Kayma gerilmesi	(MPa)
$\mu$	Sürtünme katsayısı	(-)
$\beta$	Sürtünme açısı	(-)

### Alt İndisler

b	Benzeş sıcaklık
f	Merdane çıkış hızı
f	Son genişlik
f	Son kalınlık
r	Merdane yüzey hızı
s	Sürtünme kuvveti
0	İlk kalınlık
0	Merdane giriş hızı
0	İlk genişlik
w	Çalışma merdanesinin elastisite modülü

## 1.GİRİŞ

Metal işlenmesi alanlarında haddeleme işlemi, metallerin kalınlığının azaltılması ve düzgün haline getirilmesi için bir ya da daha fazla hadde çiftlerinden geçirilmek suretiyle gerçekleştirilen şekillendirme işlemidir. Haddeleme işlemi, haddelenmiş metallerin sıcaklandırılmalarına göre sınıflandırılmaktadır. Metallerin sıcaklandırılması yeniden kristalleşme sıcaklığının üstündeyse, işlem sıcak haddeleme olarak bilinmektedir. Metal sıcaklığı yeniden kristalleşme sıcaklığının altındaysa, yapılan işlem soğuk haddeleme olarak bilinmektedir. İki ya da daha fazla silindir arasındaki sıcak veya soğuk metal işleme, sanayi devriminden önce var olmuştur. Avrupa'daki haddehanenin çizimleri Leonardo da Vinci'ye atfedilirken, ham biçimdeki ilk haddehaneler aynı temel ilkeler ile Orta Doğu ve Güney Asya'da M.Ö. 600 yıllarında bulunmuştur [1,2].

Haddehanelerde kullanılan haddeleme tezgâhları standart değildir. Bu tezgahlar, son ürünün ya da işlemin başarılması için tasarlanmış olup siparişe göre inşa edilmektedir. Haddeleme tezgâhları birçok işlevi gerçekleştirme özelliğine sahiptir. Bu nedenle malzemelerin kalınlıklarını oldukça azaltmak ya da malzemeleri bir şablona göre eşit yoğunluğa getirmek için sıkıştırmak, bir veya iki tarafına yüzey kazandırma işlemi için kullanılabilir. Kısacası, haddeleme tezgahları malzemelerin genişliklerini azaltmak ve metal sertliklerini arttırmak için kullanılırlar [3].

Haddeleme işlemi, gelişen teknolojiyle beraber, kalitenin arttırılması yöntemlerinin kullanılmasıyla kaliteli malzeme elde edilmesi için çelik endüstrisinde bir süreç olarak yerini almaktadır. Haddelenmiş çeliklerin daha küçük kalınlıkta, pürüzsüz yüzeyde ve yüksek dayanıklılıkta olması için aşınmaya karşı direnç, yüksek mukavemet, tokluk gibi mekanik özelliklerinin geliştirilmesi gereklidir. Bu şartlar göz önüne alındığında malzeme ve istenilen son ürüne göre sıcak haddeleme ve soğuk haddeleme olarak farklı haddeleme yöntemleri uygulanır. Sıcak haddeleme ile daha esnek bir yapı ve parlamayan bir yüzey oluşturulur. Soğuk haddeleme ise yüksek yoğunlukta yürütülmekte olup, daha parlak bir yüzeye ve daha sert özelliğe sahip bitmiş ürün sunar [4,5].

Çelik endüstrisindeki üretim ve kapasitesi 2000’li yılların başından itibaren hızlı bir şekilde büyüme eğilimi göstermiştir. Dünya genelindeki ekonomik kriz etkilerinin büyük oranda hissedildiği 2008 ve 2009 yıllarında çelik endüstrisinde gerileme söz konusu olsa da 2010 yılı sonrasında üretim ve kapasite büyümesi yeniden ivmelenmiştir. Çelik endüstrisinin üretim artışıysa kriz dönemleri de dahil olmak üzere artarak devam etmiştir. Küresel çelik kullanımının yarısından fazlası inşaat endüstrisinde kullanılmaktadır. Bu endüstriyi otomotiv, makine ve teçhizatları ve petrol-doğalgaz teçhizatları takip etmektedir. İnşaat endüstrisinde genellikle uzun ürünler ile inşaat demiri kullanılırken, otomotiv endüstrisinde soğuk ya da sıcak haddelenmiş yassı ürünler ve galvaniz ürünleri kullanılmaktadır [6].

Endüstrilerde kullanılan çelik ürünlerinin en düşük maliyetler ile elde edilmesi için yatırımcılar büyük tümeşik tesisleri yerine işlevsel ve basit yatırımlara yönelmişlerdir. Yassı çelik mamulü üreticilerinin müşterisi olan orta ölçekli çelik servis merkezleri soğuk hadde yönteminden olan “Meneviş Hadde (Skin Pass)” hattını kurmaktadır. Bunun nedeni ise nihai ürünü kullanan müşterilerin özel ürün isteklerine karşılık verebilmektir.

Meneviş hadde işlemi genellikle son işlem olarak geçmektedir. Sıcak haddeleme ile haddelenmiş çeliklerin kalınlıkları %3’ten %1’e kadar düşürülebilmektedir. Bu işlemdeki amaç yüzey sertleşmesinin uygun düzeyde arttırılması ve istenilmeyen iç gerilmelerin yok edilmesi, pürüzsüz ve düzgün bir yüzey eldesinin sağlanmasıdır. Beyaz eşya ve otomotiv endüstrisi gibi özellikle lazer kesim işleminin gerçekleştirildiği imalat hatlarında plazma veya lazer ile yüksek hızda kesim esnasında kesme kafasına zarar vermemek ve herhangi bir biçimde çarpılma veya şablonun haricine çıkılması durumu istenilmemektedir. Bu özellikleri içeren bir sıcak haddelenmiş çelik yalnızca meneviş hadde işlemi sonrasında sağlanabilir [7].

Her teknolojik araç bir gereksinimin karşılığı olarak ortaya çıkar. Gereksinimin kendisi araç biçimlenmesini yönlendiren tek unsurdur. Bu unsurun temelinde ise insan yatar. Bu çalışmada çok büyük maliyetler gerektiren yatırımlara alternatif olarak kurulan Türkiye’de ilk defa bir boy kesme makinesi üzerine yerleştirilen



meneviş hadde hattının incelemesini yapıp, kurulan bu sistem üzerindeki insan faktörünün etkisini görmek amaçlanmıştır.

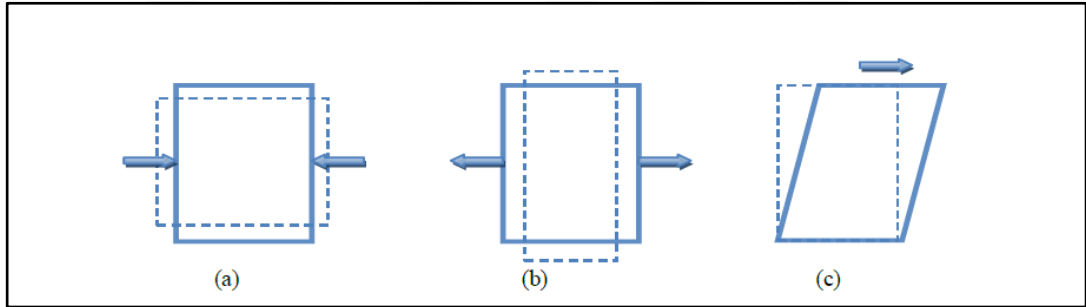
Bu çalışma iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamasında haddeleme yöntemi ve soğuk haddenin aşamalarıyla meneviş hadde işleminin sanayideki yeri ele alınmıştır. İkinci aşamasında ise meneviş hadde işleminin sonrasında sıcak haddelenmiş çeliklerin mekanik özelliklerindeki değişimler ve bu değişimleri etkileyen parametreleri sonlu elemanlar yöntemi yardımıyla incelenmiştir. Bilgisayar kontrollü üretim tezgâhlarında herhangi bir yassı çelik ürününe düzgün bir yüzey ve istenilen uzama miktarının verilmesi için yapılan uygulamaların doğruluğu kuramsal benzetimler ile gösterilmiştir.



## 2. METAL ŞEKİLLENDİRME YÖNTEMLERİ

Metallerin şekillendirebilme özelliği, metallerin sanayide sahip oldukları kullanım alanlarının sebebidir. Demir, bakır, çinko, alüminyum, nikel ve titanyum gibi alaşımları içeren metalik malzemeler genelde iyi ısı iletkenliğe ve iyi elektrik iletkenliğine sahiptir. Kolay şekillendirilebilme özelliğine ve darbe dayanımına sahip olan bu malzemeler, saf metallerin kullanılmasının yanı sıra belirli bir özellikte gelişme sağlamak ve daha iyi özellikler elde edebilmek için metal karışımlarından meydana gelen alaşımlar biçiminde sektörde yerini almaktadır [8,9].

Biçimsel değişim, herhangi bir malzemenin kuvvetler etkisiyle başlangıçta sahip olduğu şeklini değiştirmesidir. Bu işlem elastik ya da plastik şekilde değişim olabilir. Elastik olarak şekil değişimi, kalıcı olmayan değişiklik; plastik şekil değişimi ise, kalıcı olarak değişim anlamına gelmektedir. Malzemeyi etkileyen kuvvetler, Şekil 2.1'deki gibi malzeme üzerinde basma, çekme ve kayma şeklinde şeklin değişimine neden olmaktadır.



Şekil 2.1. a) Basma, b) Çekme, c) Kayma [10].

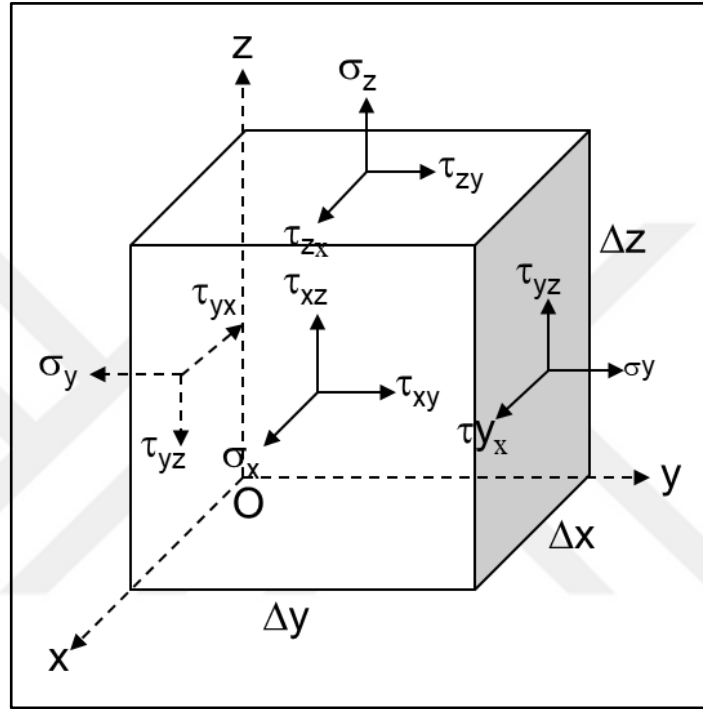
Şekil 2.1'deki durumlarda malzemeyi etkileyen kuvvetlerin neticesinde meydana gelen gerilmeler malzeme şeklinin değişimine sebebiyet verir. Dış bir kuvvetin etkisine uğrayan malzemenin herhangi bir kesitine etkileyen kuvvete karşılık olarak iç tepki kuvveti meydana gelir. Birim alanda meydana gelen iç kuvvetler gerilme olarak adlandırılmaktadır. Gerilme malzemenin içinde zorlanmayı ifade eden bir büyüklüktür. Gerilme şeklinde uygulanan kuvvet etkilediği alanına bölünmesiyle bulunur ve birimi ise  $N/m^2 = \text{Paskal}$ 'dır. Birimi basınç birimiyle aynıdır, lakin aralarında bulunan basınç farkı katı malzemenin dışında meydana gelirken gerilme malzeme içerisinde oluşmaktadır. Gerilmeler, basma ve çekme durumlarında eksene

dik konumda meydana gelirken aksel kayma durumunda ise eksene dik konumda meydana gelmektedir [11].

$$\sigma = F/A \text{ normal gerilme} \quad (2.1)$$

$$\tau = V/A \text{ kayma gerilmesi} \quad (2.2)$$

$$\varepsilon = \Delta l / l_0 \text{ birim şekil değiştirme} \quad (2.3)$$



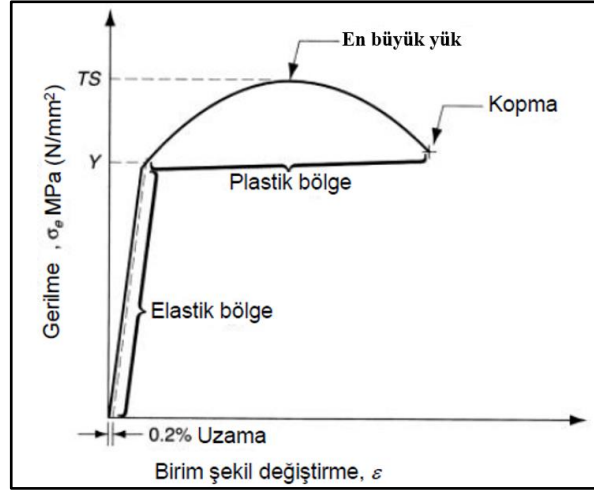
Şekil 2.2. Bir noktadaki üç eksenli gerilmeler [11].

Plastik bölgedeki malzeme davranışının incelenmesinde iki farklı gerilme dikkate alınmaktadır. Birincisi mühendislik gerilmesi, ikincisi ise gerçek gerilmedir. Mühendislik gerilmesi malzemenin başlangıç kesit alanı ve ölçü uzunluğuna göre hesaplanmaktadır. Gerçek gerilme ise uygulanan yükler ve yük uygulanma sırasında gerçek kesitlerin dikkate alınmasıyla hesaplanmaktadır. Plastik bölgedeki malzeme davranışı ise aşağıdaki akış eğrisiyle açıklanabilir (Şekil 2.3 ve Şekil 2.4) [12].

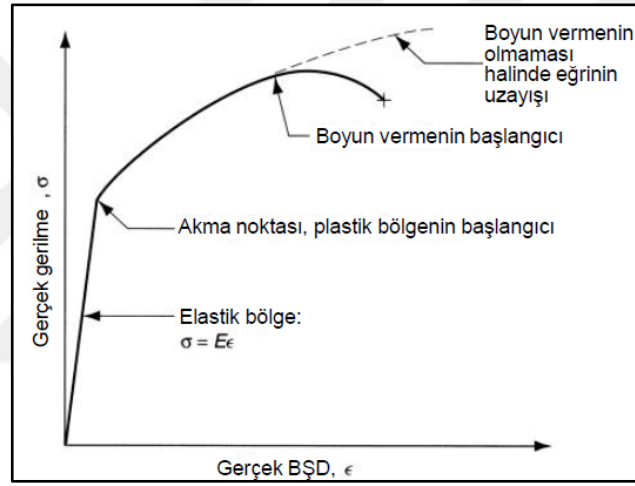
$$\sigma = K\varepsilon^n \quad (2.4)$$

K: dayanım katsayısı,

n: şekil değiştirmede pekleşme üsteli



Şekil 2.3. Mühendislik gerilme- birim şekil değiştirme eğrisi [13].



Şekil 2.4. Gerçek gerilme- birim şekil değiştirme eğrisi [13].

Şekil 2.3 ve Şekil 2.4'te görüldüğü üzere akma noktasına kadar gerilme ve gerinim arasında doğrusal bir ilişki bulunmaktadır. Gerilme akma noktasının üzerine çıktığı durumda doğrusallık ortadan kalkmaktadır. Kalıcı şekil değişiminin meydana gelebilmesi için akma noktasının üzerinde bir gerilme uygulanması gereklidir [12]. Malzemelerin sünek ya da gevrek olmasına göre akma ve kırılma ölçütleri vardır. Bu ölçütler Tresca, Von Mises, Mohr, Coulomb, Toplam Şekil Değiştirme Enerjisi Savı ve En Büyük Uzama Savıdır. En çok kullanılan iki ölçütü inceleyelim:

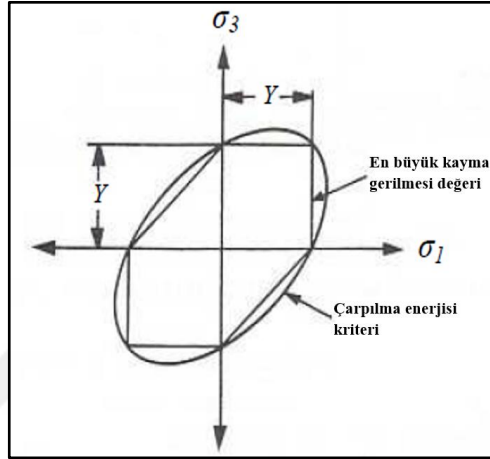
En büyük kayma gerilmesi ölçütleri, (Tresca ölçütü);

$$\sigma_{\max} - \sigma_{\min} = \sigma_1 - \sigma_3 = 2k (\sigma_1 < \sigma_2 < \sigma_3) \quad (2.5)$$

Çarpılma enerjisi kriteri, (Von Mises ölçütü);

$$(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 = 2Y^2 = 6k^2 \quad (2.6)$$

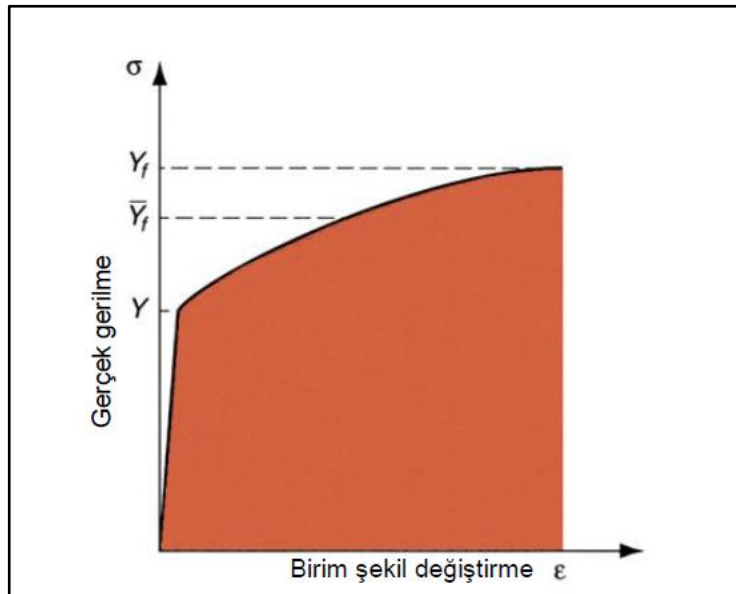
Gerilmeye maruz kalan metalde akma oluşabilmesi için gerilme değerinin Şekil 2.5'teki gibi yer alan kapalı bölgelerin haricindeki bir değerde olmalıdır [12].



Şekil 2.5. Tresca ve Von Mises akma kriterlerinin grafiksel karşılaştırmaları [14].

$$Yf = K\varepsilon^n \quad \text{Akma Gerilmesi} \quad (2.7)$$

$$\bar{Y}f = \frac{K\varepsilon^n}{1+n} \quad \text{Ortalama Akma Gerilmesi} \quad (2.8)$$



Şekil 2.6. Akma eğrisinin entegre edilerek ortalama değerinin bulunduğu bölge [12].

Herhangi bir metalin akma eğrisi K ve n sıcaklığına bağlıdır. Malzemelerin mekanik davranışları da buna göre değişim gösterir. Sıcaklığın etkisiyle malzemenin sıcaklığı ergime noktasına yaklaştıkça artmaktadır. Ergime sıcaklığı metalik malzemelerde farklılık gösterdiğinden dolayı Benzeş Sıcaklık için  $T_b$  olarak isimlendirilen bir parametre kullanılmaktadır.

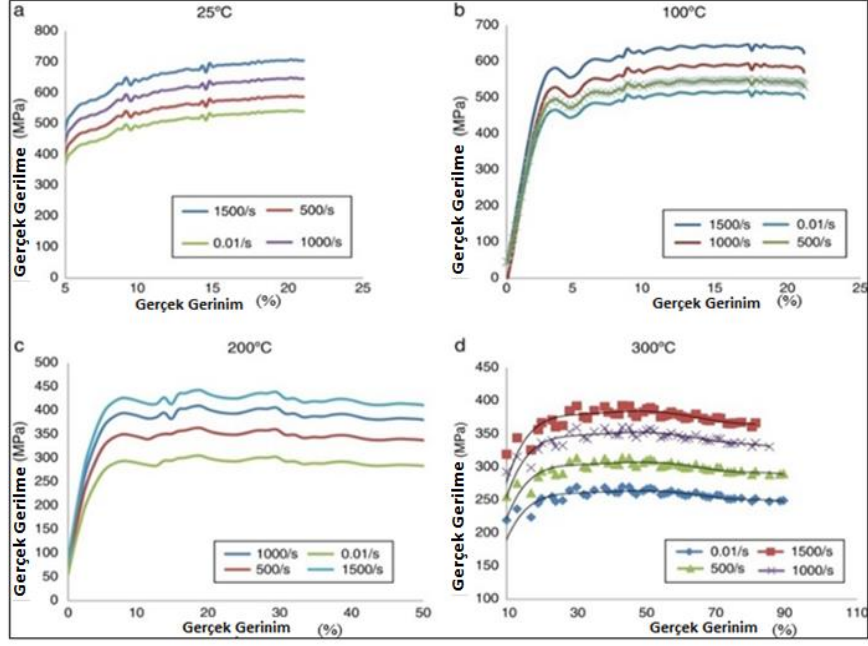
$$T_b = \frac{T_{\zeta}[K]}{T_e[K]} \quad \text{Benzeş sıcaklık} \quad (2.9)$$

- Soğuk ( $0 < T_b < 0,3$ )
- Ilık ( $0,3 < T_b < 0,5$ )
- Sıcak ( $0,5 < T_b < 0,8$ )

Sıcaklığın artması, şekillendirmeyi zorlaştıran dayanımda düşüşe, süneklik artışına, pekleşme hızının düşmesini oluşturur. Metallerde yeniden kristalleşme sıcaklığı, malzemeye göre değişmektedir. Yüksek sıcaklıklarda atom yayılımı hızlanarak kimyasal homojensizlik giderilir, malzemelerdeki iç boşluklar ise deformasyon sırasında kapanır. Bunun yanı sıra malzemelerde istenilmeyen tepkimelerin meydana gelmesi, ısıl büzülme ve soğuma hızlarının farklılığı sebebiyle toleransların daha zayıf olmasına sebebiyet verir. Ayrıca soğumanın sağlıklı bir şekilde gerçekleşmemesi, sıcak şekil verilmiş üründe artık gerilmelerin meydana gelmesine neden olur.

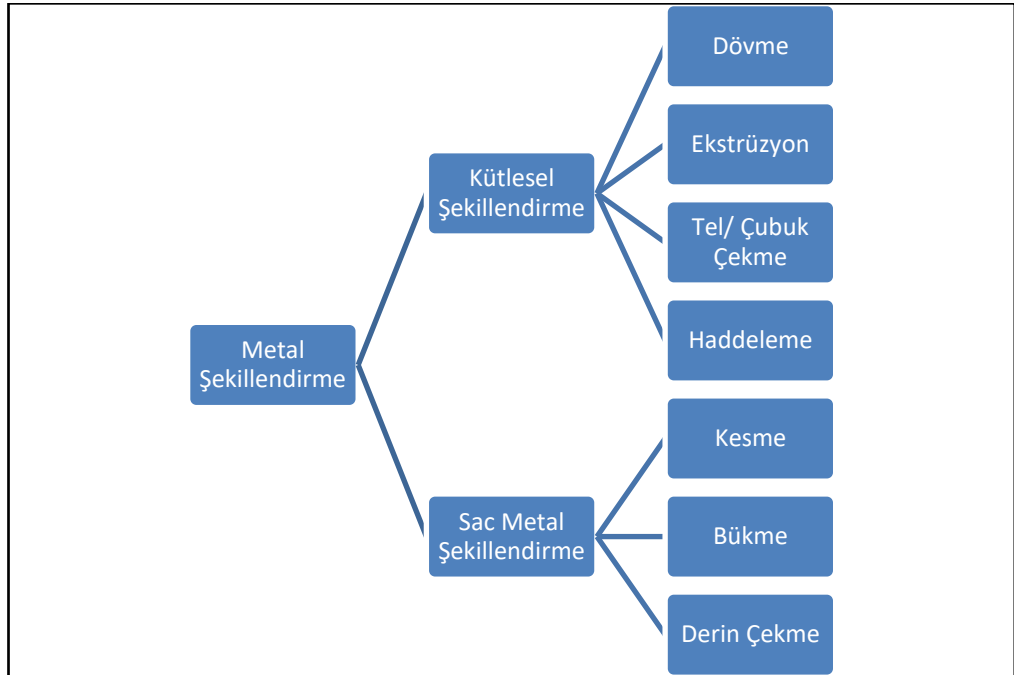
Metallerin yeniden kristalleştirilme sıcaklıklarının altındaki plastik deformasyona soğuk şekillendirme denir. Isıtmaya gerek kalmadan daha iyi yüzey kalitesinin elde edilmesi sağlanır. Malzemenin mukavemeti, çekme gerilmesi ve akma gerilmesi de artar. Yabancı alaşım elementlerinin malzemeyle tepkimeye girme olasılığı en aza indirgenmiş olur.

Soğuk ve sıcak şekillendirmelerin arasındaki sıcaklıklar ile gerçekleştirilen deformasyon işlemine ılık şekillendirme denilmektedir.



Şekil 2.7. Örnek model farklı sıcaklıklarda metal (Alüminyum 7017) malzemeye ait Gerilme-Gerinim grafiğindeki değişimler [15].

Şekillendirme yöntemi seçiminde malzemenin son hali, boyutları ve toleransları, yapılması istenilen parçanın sayısı ve özellikleri gibi faktörler etkilidir. Şekillendirme yöntemleri Şekil 2.8’deki gibi değerlendirilebilir.

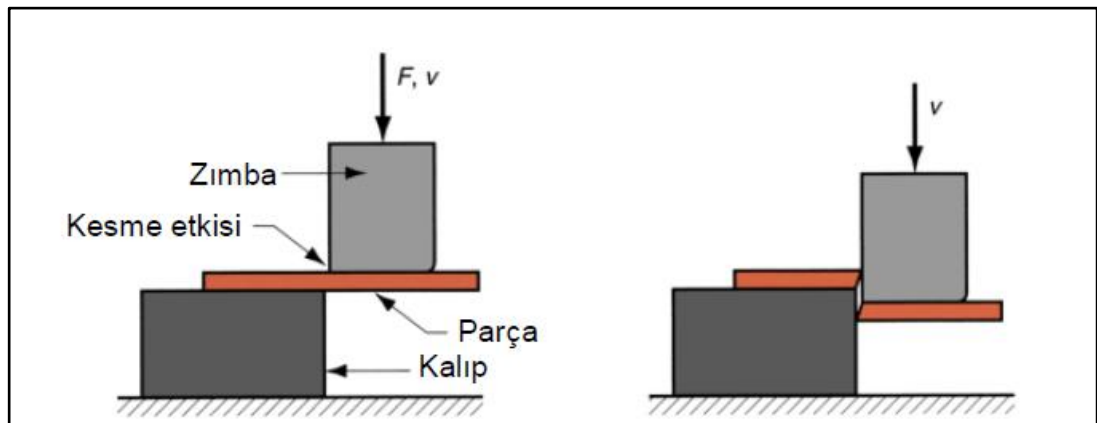


Şekil 2.8. Metal Şekillendirme Yöntemleri

## 2.1. Sac Metal Şekillendirme

Sac metal şekillendirme sanayide haddeleme işlemi sonrasında elde edilen ince levhaların işlenmesinin işlemidir. Günlük hayatta kullandığımız pek çok ürün bu yöntemle üretilmektedir. Kalınlığı 0,4 ile 6 mm arasında olan plakalar sac işleme, 6 mm'den daha kalın plakalar ise levha işleme olarak kabul edilmektedir. Sac metal şekillendirme işlemi daima soğuk işleme olarak gerçekleştirilen işlemlerdir. Bu işlemde kalıp ve zımba takım setleri kullanılarak, kullanılan tezgâhlara da sac metal presleri denilir. Farklı şekil ve boyutlara sahip preslere bağlanarak, sac ve metaller üzerindeki kesme, bükme ve çekme işlemlerinin seri olarak yapılabilmesine olanak veren aparatlara Sac-Metal Kalıpları denilmektedir [16].

**Kesme:** İş parçası malzemesinin bir şerit boyunca talaş kaldırmaksızın bir makas ya da kesici takım kullanılarak ayrılmasıdır. “Kesme ve delme kalıbı” olarak adlandırılan ve genelde erkek kalıp ve dişi kalıptan meydana gelen düzenekler ile yapılan kesme olayı, makaslar ile gerçekleştirilen alışılmış kesme olayına çok benzemektedir. Erkek ve dişi kalıp, makas gibi çalışmaktadır. Erkek kalıp ile yapılan kesme sonucunda, kesilen parça doğrudan iş parçasıysa “kesme kalıbı”, kesilen parça atık ise kalıp “delme kalıbı” olarak isimlendirilir [17,18,19].



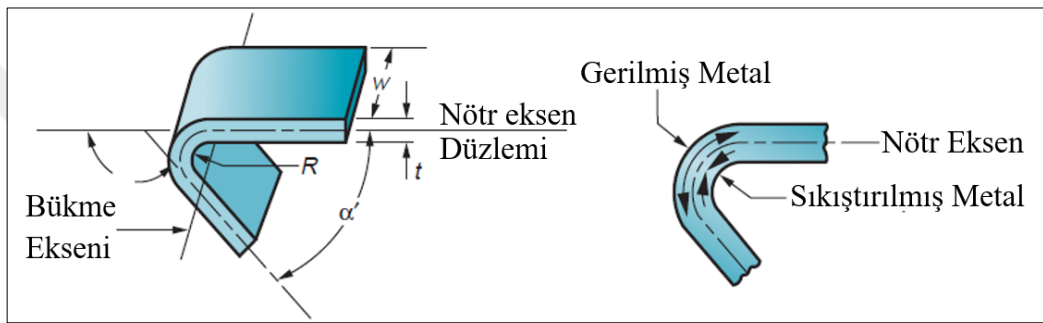
Şekil 2.9. Sac Metal Şekillendirme Kesme İşlemi[10].

Kesme işlemi etkileyen en önemli unsur kesme boşluğudur. Kesilecek yüzeyin temizliği, kesiminin kolaylığı ve kalıp ömrünün uzaması kesme boşluğu parametresine bağlıdır. Kesme boşluğu kesilen sac kalınlığının 1/10'u ile 1/20'si



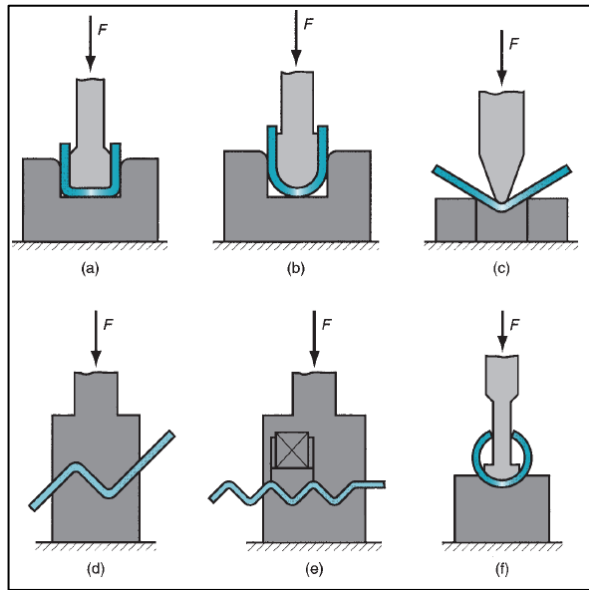
arasında değişmektedir. Kesme işlemi, plastik deformasyon, kesme ve kopma biçiminde üç evreden oluşmaktadır.

**Bükme:** Bükme doğrusal bir eksende yapılan ve sac malzemeye kalıcı eğriliğin oluşmasını sağlayan şekillendirme metodudur. Bu işlemde genellikle çelik, pirinç, bakır gibi malzemeler hammadde olarak kullanılmaktadır. Bükme işleminde istenilen biçim uygun bir erkek kalıp yardımı ve yeterli kuvvetlerle malzemeye uygulanır. Meydana gelen malzeme elastik ve plastik deformasyonun karışımıyla meydana gelir. Şekil 2.10'da sac metal bükme ile ilgili ana elemanlar verilmiştir.



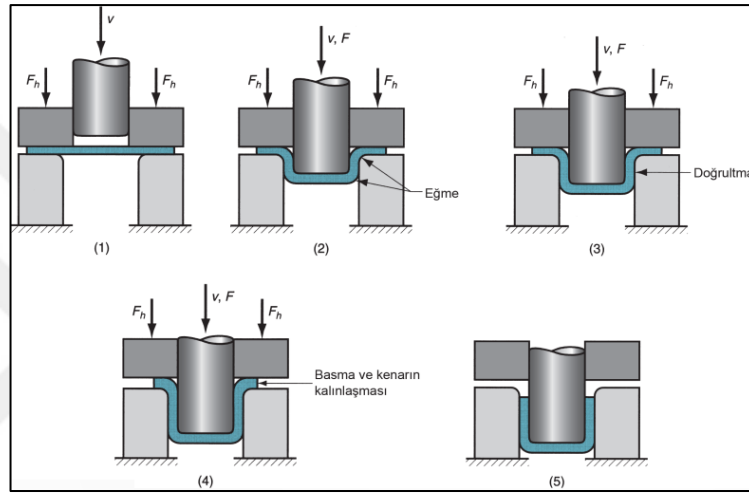
Şekil 2.10. Bükme Elemanları [10].

Bükme işlemi, kullanılan kalıpların şekillendirme işlemlerinin özelliklerine göre şekillendirilmesi ile birbirinden farklı alt sınıflara ayrılmaktadır [20].



Şekil 2.11. Çeşitli Bükme Şekilleri: (a) Kanal Bükme, (b) U Bükme, (c) Havada Bükme, (d) Dirsek Bükme, (e) Kırıştırma (f) Tüp Şekillendirme [12].

**Derin Çekme:** Sac metallere silindirik biçimde kaplar oluşturmak için kullanılan yöntemlerin en önemlisi derin çekme işlemidir. Germe ve sıkıştırma işlemleri erkek kalıbın mekanik hareketiyle sac metaline biçim verme suretiyle gerçekleşmektedir. Çekme kalıbı olarak adlandırılan elemanların yardımıyla iki boyutlu, düzlemsel şekle sahip malzemenin pres içinde çökertilmesi neticesinde belirli derinlik ve profillere sahip üç boyutlu parçalar üretilmektedir. İstenilen biçimler birden fazla işlemin gerçekleştirilmesiyle de oluşturulabilirler. Birbirini takip eden çekme işleminden meydana gelen plastik metal şekillendirme yöntemi, derin çekme işlemidir [21].



Şekil 2.12. Derin çekme işlemi süreçleri [12].

1. Erkek kalıp iş parçası malzemesine temas eder
2. Eğme
3. Doğrultma
4. Basma ve kenarın kalınlaştırılması
5. Derin çekme işlemi gerçekleştirilerek ve kabın duvarları incelmıştır.

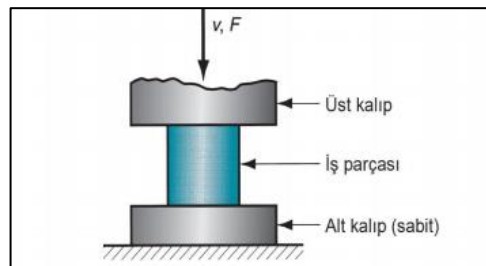
## 2.2. Kütleli Şekillendirme

Kütleli şekillendirme işlemi metalin üç boyutlu olarak bir kuvvet altında şekil değiştirmesi işlemidir. Sac metal şekillendirme işleminde deformasyon sac yüzeyindeyken kütleli şekillendirme işleminde her üç koordinat ekseninde de oluşmaktadır. Kütleli şekillendirme işlemi sıcak, soğuk ve ılık işlemler olarak gerçekleştirilir. Genellikle büyük kütleli malzemelerde dayanımı düşürmek

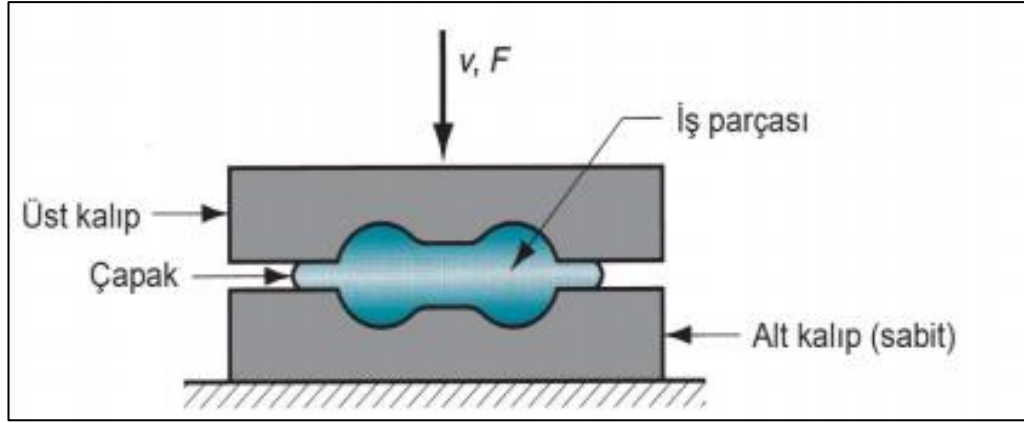
amacıyla sıcak işlem yapılmaktadır. Soğuk işlemlerle malzemelerde sertleşme ve mukavemet artışı oluşur. Kütesel şekillendirme, dörde ayrılmaktadır ayrılır [22]. Bunlar;

- Dövme
- Ekstrüzyon
- Tel/Çubuk Çekme
- Haddeleme işlemidir.

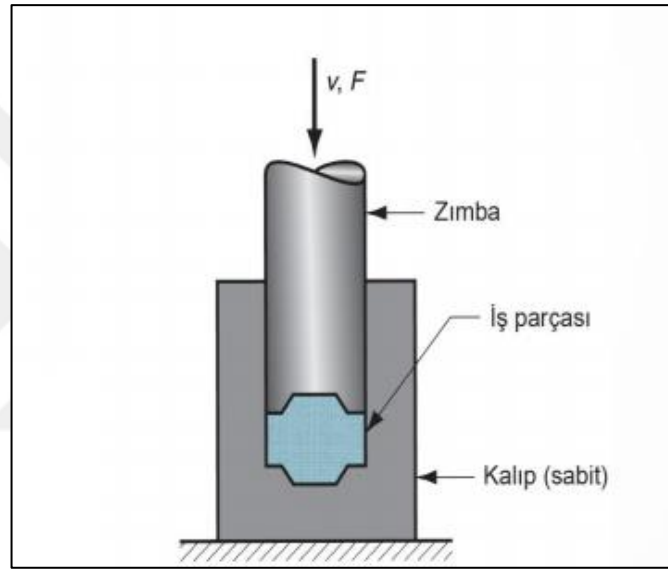
Dövme: Dövme işlemi iş parçası malzemesine basma kuvvetinin uygulanmasıyla metal kütleye istenilen şeklin verildiği plastik şekillendirmedir. Dövme işlemi sanayide karmaşık parçaların üretilmesinde kolaylık sağlayarak malzeme işleme ihtiyaçlarını azaltmaktadır. Perçinler, cıvatalar, türbin milleri, çubuklar, paralar, dişliler, madalyalar, el aletleri ve hava araçlarının parçaları dövme yoluyla üretilmektedir. Dövme işlemlerinin pek çoğu sıcak olarak yapılmaktadır. Fakat bazı metaller soğuk dövme işlemine tabi tutulmaktadır. Sıcak dövme işlemiyle malzemenin dayanımı düşürülerek süneklik özelliği artırılır. İki tür dövme şekli bulunmaktadır. Dövme işlemi darbe ve pres yöntemleriyle yapılmaktadır. Darbe, dövme şahmerdanlarıyla anlık darbe yükünü çekişmeyle gerçekleştirilir. Pres ise özel olarak tasarlanan kalıp tezgâhlarında yavaş basınç ile işlemi yapmadır. Dövme işlemleri kullanılan kalıp türlerine göre açık kalıpta dövme ve kapalı kalıpta dövme olmak üzere ikiye ayrılır. Açık kalıpta dövme işleminde malzeme iki düz kalıp arasında sıkıştırılır. Kapalı kalıp dövme işleminde, kalıp malzeme içerisine alacak boşlukları ihtiva eder. İş parçası malzemesi tamamen kapalı kalıp içerisinde şekil alır ve fazladan çapak oluşumu meydana gelmez ise bu tür kapalı kalıp içinde dövme işlemine çapaksız dövme denir [23,24,25].



Şekil 2.13. Açık Kalıpta Dövme [12].



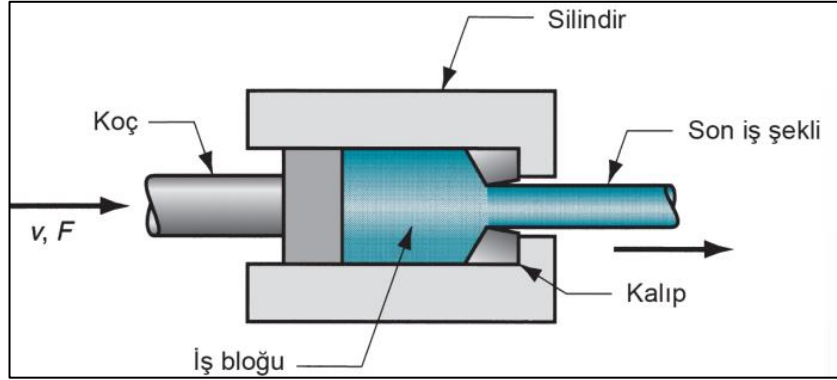
Şekil 2.14. Kapalı Kalıpta Dövme [12].



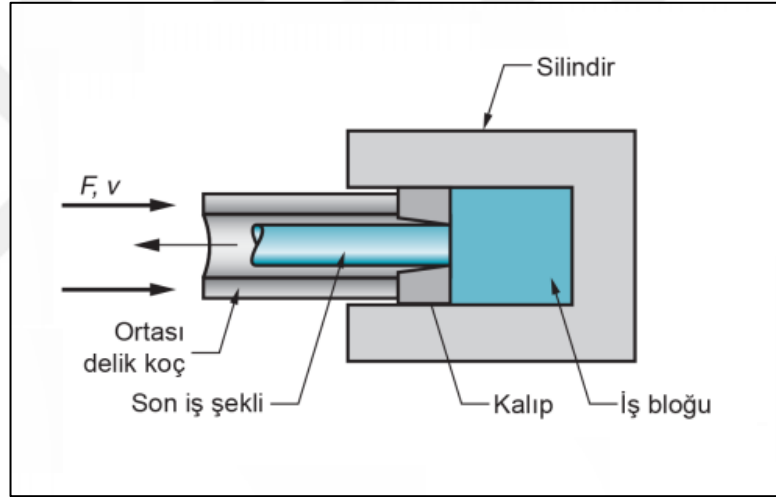
Şekil 2.15. Çapaksız Dövme [12].

Ekstrüzyon: Ekstrüzyon metal bir kütlenin kalıp açıklığından basma kuvvetiyle zorlanılarak geçirilmesi suretiyle istenilen kesit biçimini elde ederek yapılan plastik şekillendirme metodudur. Bu yöntem uzun ve düz metal malzemelerin üretilmesinde kullanılmaktadır. Ekstrüzyon işlemi oda sıcaklığında veya yüksek sıcaklıklarda iş parçası malzemesinin sünekliğine göre yapılmaktadır. Oda sıcaklığında yapılan işlemler genellikle dövme işlemi ile beraber yapılır. Ekstrüzyon üç farklı alt kümede sınıflandırılmaktadır. Bunların birincisi en yaygın olarak kullanılanı doğrudan ekstrüzyon, kalıbın sabit metalin hareketli olduğudur, ikincisi ise dolaylı ekstrüzyon kalıbın hareketli malzemenin ise sabit olduğu ve sonuncusu doğrudan ekstrüzyona benzeyen lakin sürtünmenin bir akışkanla yok edildiği hidrostatik ekstrüzyondur. Bu

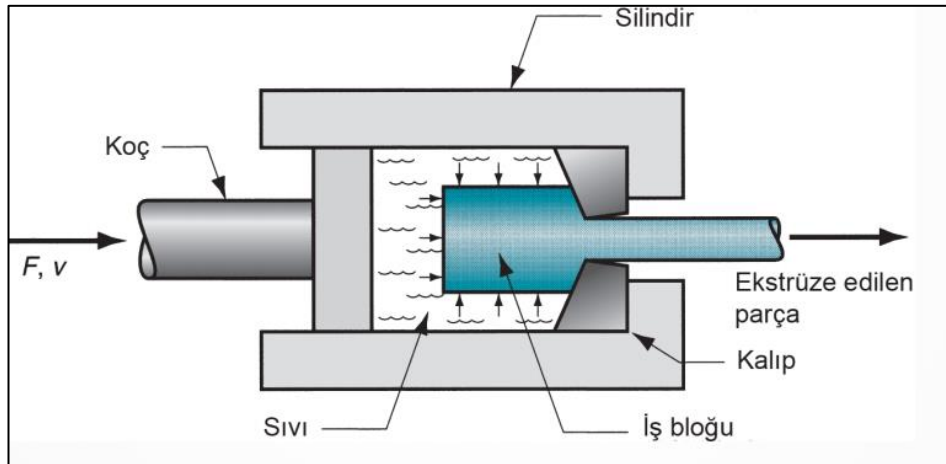
ekstrüzyon gruplarının dışında dövme işlemiyle birlikte oda sıcaklığında gerçekleştirilen özel bir işlem olan darbeli ekstrüzyon işlemi de bulunmaktadır [26].



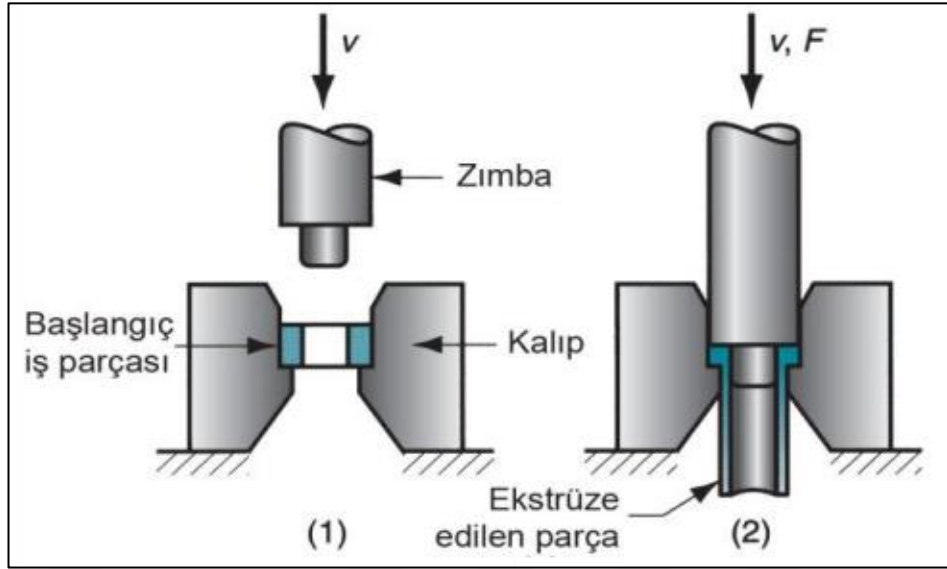
Şekil 2.16. Doğrudan Ekstrüzyon [12].



Şekil 2.17. Dolaylı Ekstrüzyon [12].

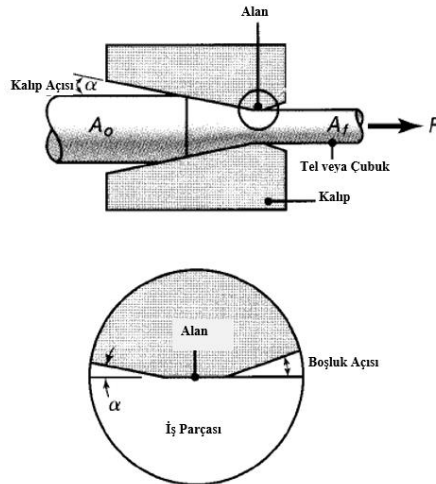


Şekil 2.18. Hidrostatik Ekstrüzyon [12].



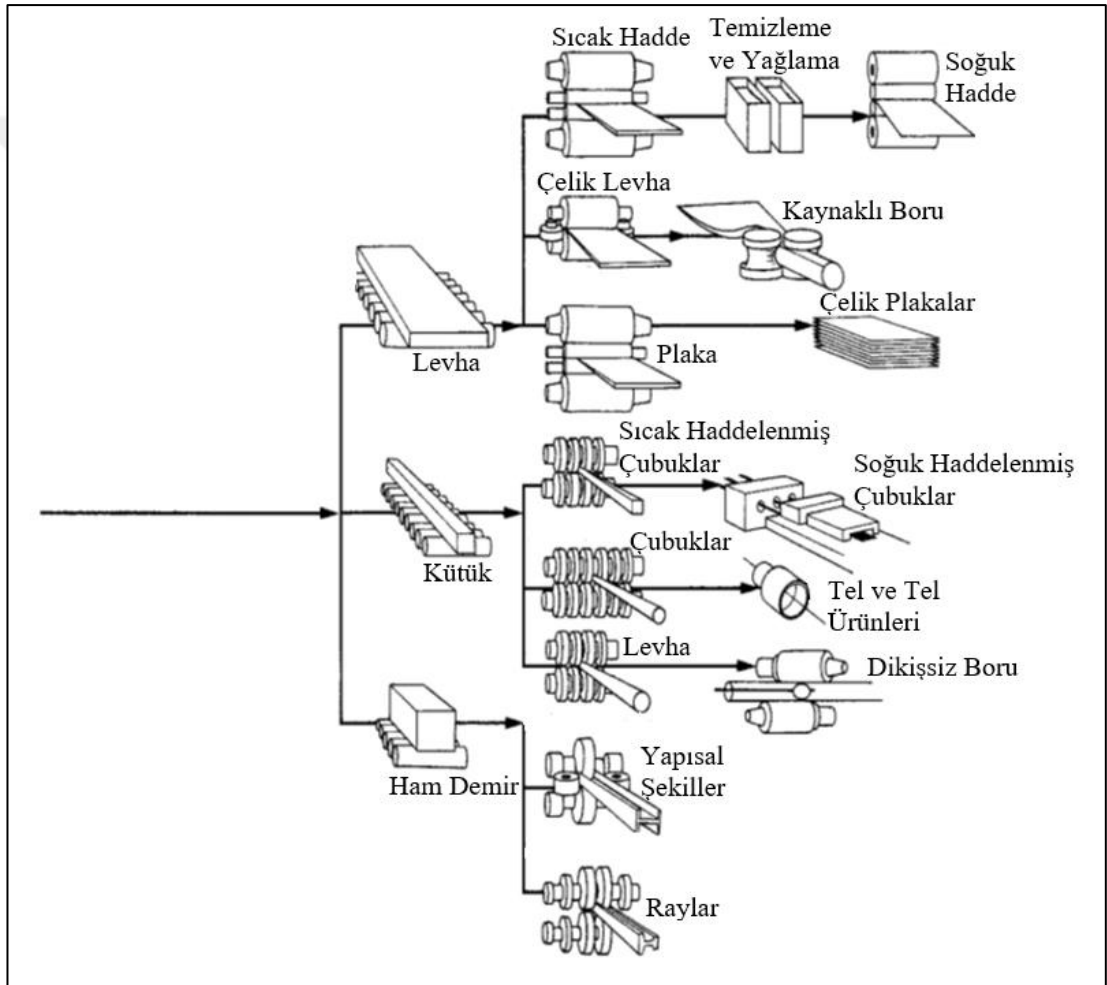
Şekil 2.19. Darbeli Ekstrüzyon [12].

Tel/Çubuk Çekme: Bir çekme kuvvetinin yardımıyla tel veya çubuk biçimindeki metal malzemeyi bir kalıptan geçirerek malzeme kesitinin azaltılması veya değiştirilmesi biçiminde gerçekleştirilen metal şekillendirme yöntemine tel/çubuk çekme denilir. Ekstrüzyon işlemiyle zıt mantık ile gerçekleştirilir ve ekstrüzyonda malzeme kalıba doğru itilirken burada malzeme kalıptan çekilmektedir. Güç aktarım şaftları, elektrik kabloları, yaylar, kaynak elektrotları gibi pek çok ürün bu yöntemle üretilmektedir. Malzemenin kesitinde %45'e kadar azalma gerçekleştirilebilir. Çoğu çekme işlemi oda sıcaklığında yapılırsa da çekme kuvvetini azaltmak için sıcaklık arttırılabilir [27].



Şekil 2.20. Tel/ Çubuk Çekme Modeli [10].

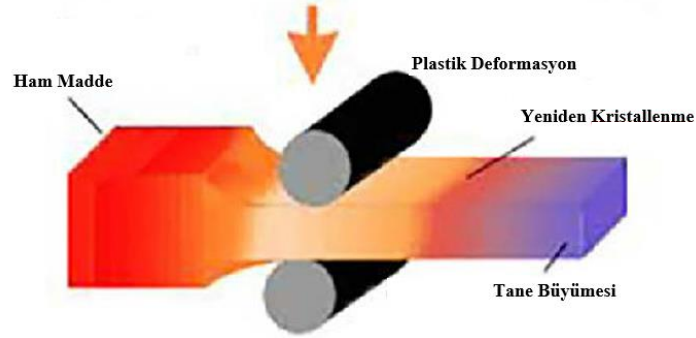
**Haddeleme:** Basma kuvvetinin etkisiyle aynı hızda ama zıt yönde dönme hareketi yapan iki merdane arasından geçirilerek yapılan plastik şekil verme yöntemine haddeleme denilir. Haddeleme işleminin ana girdisi kütüklerdir. Kütüklerin haddelenmesi sonucunda slab (yassı kütük), ince kütük ve bloom (kaba kütük) elde edilir. Karmaşık yapıllı farklı malzeme şekilleri sebebiyle pek çok farklı haddeleme süreci bulunmaktadır. Şekilsel olarak haddeleme yassı ve profil haddeleme olarak ikiye ayrılırken sıcaklık olarak da soğuk ve sıcak haddeleme şeklinde iki ana kolda incelenmektedir [10].



Şekil 2.21. Çeşitli ürün gruplarına göre haddeleme akış diyagramı [10].

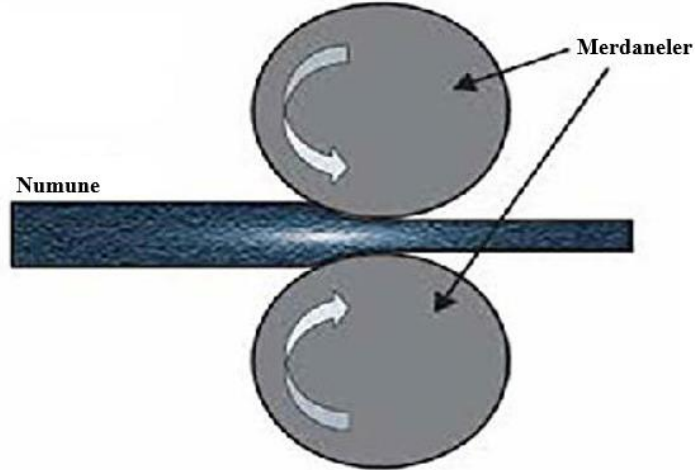
**Sıcak Haddeleme:** Haddeleme işlemine maruz kalan malzemenin yeniden kristalleşme sıcaklığının üzerinde bir sıcaklıkta şekillendirilmesi işlemine denir. Şekillendirme esnasında sıcaklığa bağlı olarak kristaller sürekli yenilenerek şeklin

değişmesine karşı bir direnç söz konusu olmaması sayesinde daha büyük boyutlarda şekillendirme gerçekleştirilebilir [28].



Şekil 2.22. Sıcak Haddeme [29].

Soğuk Haddeme: Yeniden kristalleşme sıcaklığının altında bir sıcaklıkta haddeme işlemine maruz kalan malzemenin şekillendirilmesi işlemine denir. Soğuk haddeme işleminde ana girdi sıcak haddeme işlemiyle şekillendirilen sac ve levha malzemeleridir. Soğuk haddeme işlemiyle malzemenin mukavemetinde artış ve yüzey kalitesinde iyileşme sağlanır. Soğuk haddeme yassı haddeme biçimidir. Meneviş hadde işlemi soğuk haddeme işleminin bir evresidir [30].

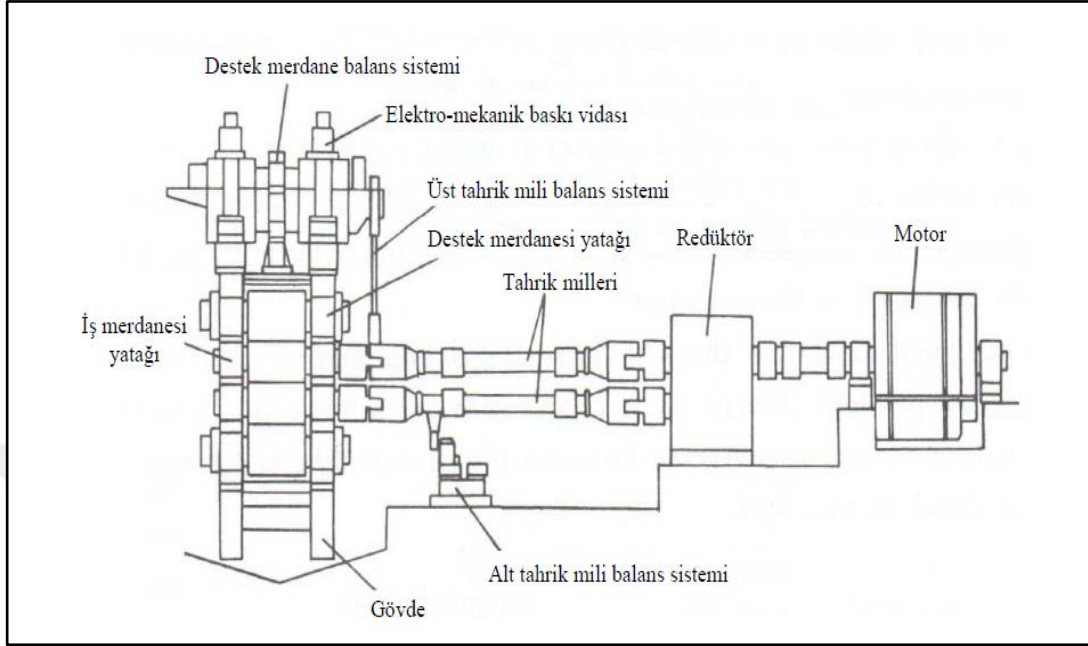


Şekil 2.23. Soğuk Haddeme [29].

Yassı Haddeme İşleminin İncelenmesi: Yassı haddeme ünitesinde işlenen malzemenin plastik deformasyona uğratılması veya kütleli değişimini en büyük düzeylerde yapabilmek için çok yüksek kuvvetlere gereksinim vardır. Bu kuvvetlerin

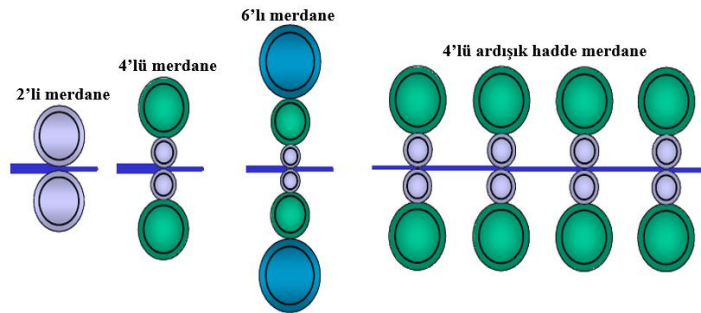


elde edilebilmesi için ise çok güçlü motorlara ve sağlam konstrüksiyonlara ihtiyaç vardır. Şekil 2.24'te yatay haddeye ilişkin parçaların gösterimi bulunmaktadır.

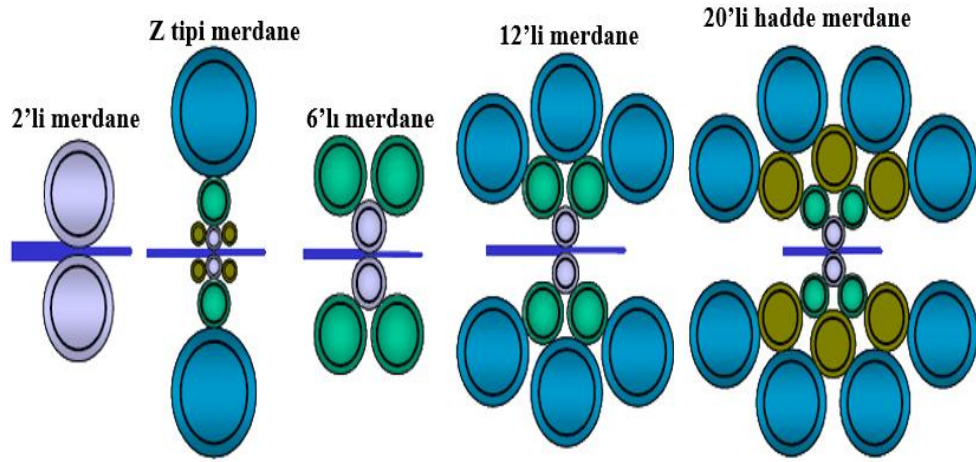


Şekil 2.24. Hadde Sistemi Şeması [14].

Hadde sisteminin üzerinde bulunan motor güçleri merdanenin üzerinde oluşturulması istenilen kuvvetlere göre değişim göstermektedir. Merdane çaplarının küçülmesiyle haddeleme için gereken kuvvet azalmaktadır. Küçük merdanelerin dayanımları az olduğundan bu merdanelere aktarılan güç sonrasında merdanelerde oluşacak deformasyonun engellenmesi için destek merdaneleri kullanılmaktadır. İşlenecek malzemelerin dayanımlarına göre kullanılacak destek merdane sayısı artırılır. Bu kapsamda meydana getirilen hadde sistemlerinde birbirinden farklı şekilde merdane düzenleri ortaya çıkar.



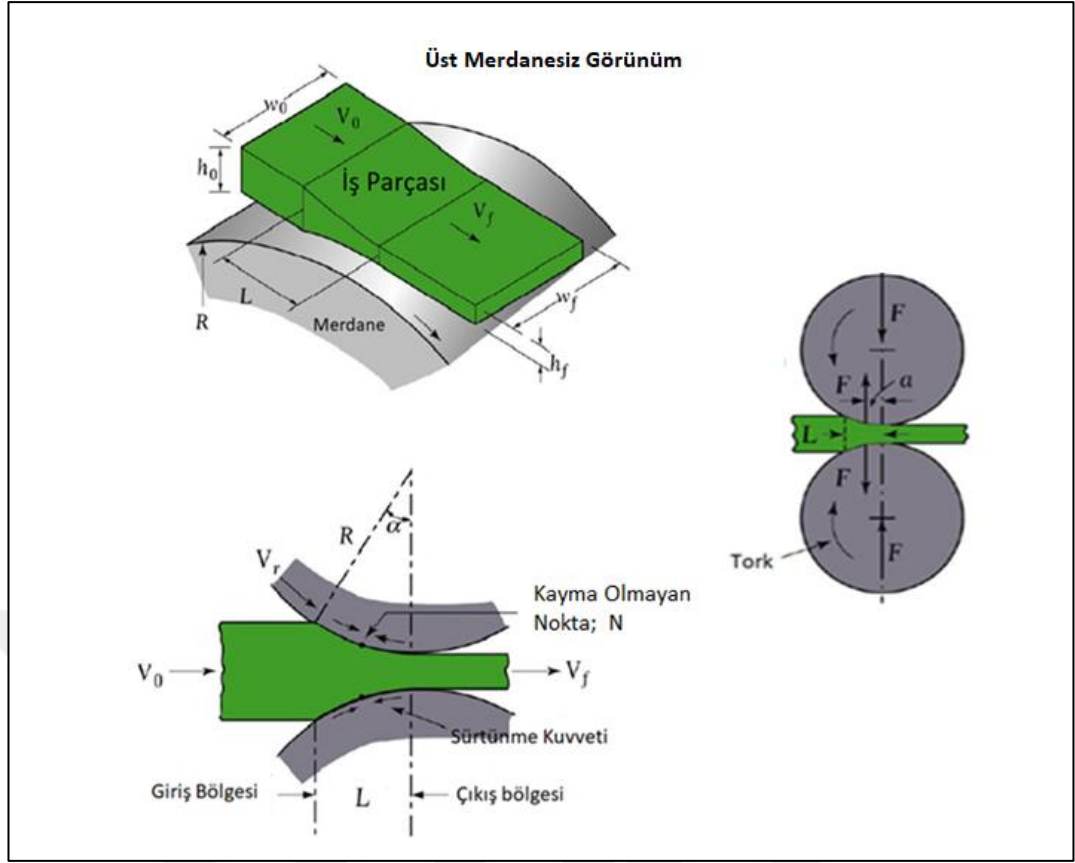
Şekil 2.25. Karbon Çelikleri İşlemede Kullanılan Hadde Merdane Düzenleri [31].



Şekil 2.26. Yüksek mukavemetli çelikleri işlemede kullanılan hadde merdane düzenleri [31].

Merdane yerleşimlerinin, gereksiniminin hesabı ve uygulaması hadde mekaniğinin incelenmesini gerektirmektedir. Hadde mekaniğini etkileyen unsurlar ise aşağıda verilmiştir:

- Merdanenin çapı
- Bir pasoda azaltılan kalınlığın miktarı
- Malzemenin ilk kalınlığı
- Haddelenmenin hızı
- Önde ve arkada bulunan gerginlikler
- Merdanenin ve malzemenin arasındaki doğal sürtünme
- Merdanenin ve malzemenin sıcaklığı
- Haddelenmiş malzemenin fiziksel özellikleri
- Yük altında bulunan haddenin davranışı
- Malzemenin üzerine uygulanmış olan daha önceki bir işlemin etkisi
- Yük altındaki merdanelerin elastik deformasyonu
- Metal malzemenin sıcaklık ve gerinme hızından etkilediği deformasyon direnci.
- Malzemenin anizotropik yapısı
- En/boy oranı



Şekil 2.27. Haddelenme Geometrisi [10].

İlk Kalınlık; $h_0$	Merdane Yüzey Hızı; $V_r$
Son Kalınlık; $h_f$	Malzeme Giriş Hızı; $V_0$
Merdane Aralığı; $L$	Malzeme Çıkış Hızı; $V_f$
İlk Genişlik; $w_0$	Son Genişlik; $w_f$
Sürtünme Kuvveti; $F_s$	Hadde Kuvveti ( roll force); $F$

Şekil 2.27’de haddenin geometrisiyle bu geometrinin üzerine etkileyen kuvvetlerin arasındaki ilişkiler gösterilmektedir. Birim zamanda merdane arasından geçen malzeme miktarı sabittir. Bu durumda aşağıdaki eşitlik yazılabilir:

$$V_0 \cdot h_0 w_0 = V_f \cdot h_f w_f \quad (2.10)$$

Bu durumda malzemenin çıkış hızı giriş hızına göre daha büyük değerlerdedir. Fakat merdanelerin temas yüzeyindeki hız tüm temas yüzeyi boyunca sabittir. Malzemenin merdaneyle ilk temas noktası “N” kaymanın olmadığı noktadır. Merdane hızının iş

parçası malzemesinin hızından daha yüksek olması nedeniyle sürtünme kuvveti iş parçası malzemesini merdanelerin arasına çeker.

Sürtünme kuvveti;

$$F_s = F\mu \quad (2.11)$$

$\mu$  sürtünme katsayısı;

Sürtünme açısı  $\beta$ ;

$$\tan \beta = \mu \quad (2.12)$$

Merdanelerin iş parçası malzemesini kapma koşulu;

$$F_s \cdot \cos \alpha > F \cdot \sin \alpha \quad (2.13)$$

Mümkün olan paso miktarı;

$$h_0 - h_f = \mu^2 R \quad (2.14)$$

Haddeleme işleminin gerçekleştirilebilmesi için (2.8) numaralı denklem şartının sağlanması gereklidir. Bu şart mümkün olan en büyük pasonun miktarına bağlıdır. Malzemeyi kapma koşulu sağlanamıyor ise paso miktarı veya merdanelerin çapında değişim yapılarak bu sağlanabilir.

İş parçası malzemesiyle merdanelerin arasındaki temas eden herhangi bir noktada malzemeye uygulanan hadde kuvveti, iş parçası malzemesi üzerinde oluşan sıkıştırma kuvvetlerinin dikey bileşenidir. İş parçası malzemesine uygulanan radyal ve teğet kuvvetlerin dikey bileşenlerinin toplamı hadde kuvvetini vermektedir.

Merdane ve metal arasındaki temas yüzeyinin uzunluğu;

$$L = \sqrt{R^2 - \left(R - \frac{\Delta h}{2}\right)^2} = \sqrt{R(h_0 - h_f)} \quad (2.15)$$

Hadde kuvveti;

$$F = \int_0^L p dL \approx Lw\bar{Y}f \quad (2.16)$$

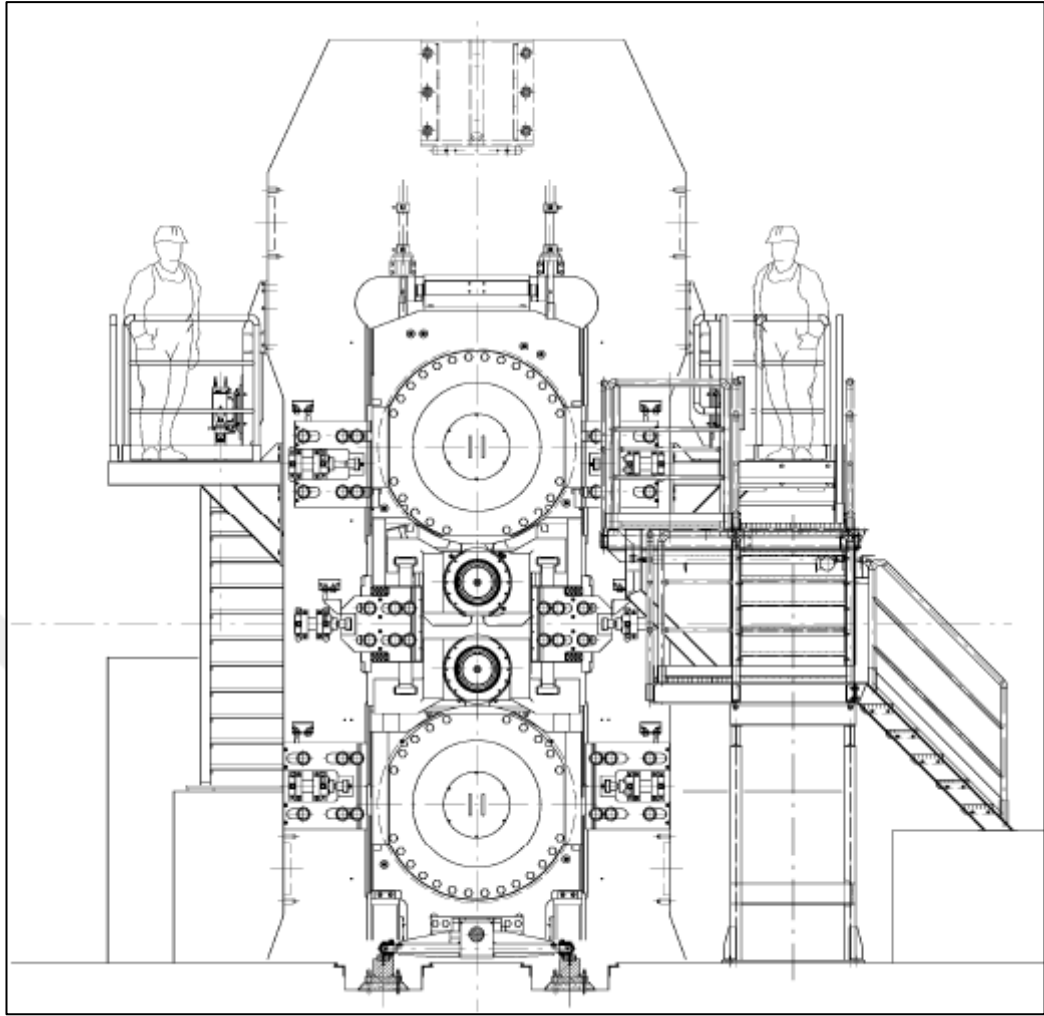
Ortalama Akma Gerilmesi;

$$\bar{Y}f = \frac{K\varepsilon^n}{1+n} \quad (2.17)$$

Merdanelerin hareket ettirilebilmesi için gerekli olan güç, her bir merdane için aşağıdaki gibi ifade edilebilir;

$$P = \frac{\pi FLN}{60000} \quad (2.18)$$

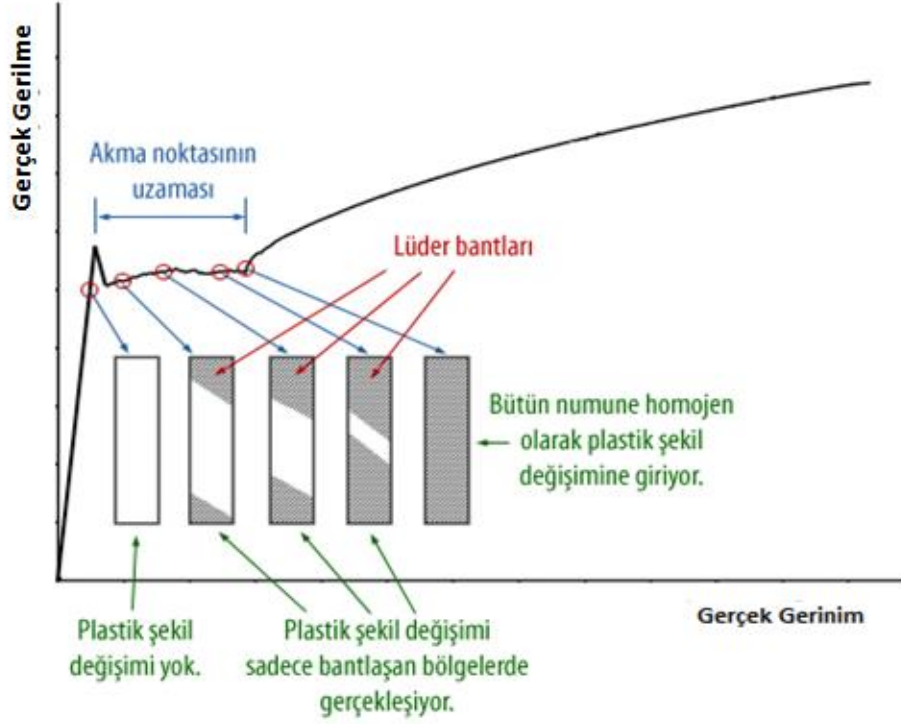
Meneviş Hadde (Skin Pass):Düşük karbonlu çeliklerin sac şekillendirilmesi sırasında, malzeme içyapıları karmaşık zorlanma yollarından geçer. Malzeme içerisinde plastik deformasyon artıkları kalır. Darbe direnci düşük içyapısı düzensiz ve yüksek gerilmelere sahip olan bu malzemenin tokluğunu arttırmak, iç gerilmelerini azaltmak için gerginlik giderme işlemi yapılır bu işleme menevişleme denir. Meneviş hadde işlemi, soğuk haddeleme sürecinin içinde bulunan hattın üzerinde veya hattın dışında kurulabilen son işlem ünitesidir. Doğrudan tavlama veya galvanizleme hattının sonuna yerleştirilebileceği gibi bir boy kesme hattında da sistemin en başına yerleştirilebilir. Şekil 2.28’de bir meneviş hadde ünitesinin genel görünümü verilmektedir.



Şekil 2.28. 4'lü Meneviş Hadde( Skin Pass )Hattı

Günümüzde gelişen teknolojiyle metal işleme tezgâhlarının hızı ve hassasiyetlerindeki artışa paralel olarak kullanılan ham maddelerinde bu işlemlere imkân sağlayacak özelliklere sahip olması istenir. Yüzey kalitesi, malzeme düzgünlüğü ve haddeleme sonrasında metal malzemedeki akma noktasının kararsızlığı çeşitli üretim yöntemlerinde kesinlikle istenilmemektedir. Malzeme işleminin tamamlanarak yüzeye yapılacak boya işleminde oluşan yüzey pürüzlülüğü, lazer kesim sırasında makinenin kesme toleransı haricinde olan bir kenar dalgası ve alevli kesim işlemi sonrasında kesilen malzemedeki meydana gelen çarpılma üretim evrelerinde istenilmeyen durumlardır. Meneviş hadde işleminde esas gaye bu durumların düzeltilmesidir. Kalınlıkta bir düşüş amaçlanmaz, bunun nedeni malzemedeki en büyük uzama oranının %3 civarında olmasıdır.

Elastik şekil değişiminin son bulması ve plastik şekil değişimine başlanılan nokta sonrasında gerilme-gerinim eğrisindeki ufak dalgalanmaların (Lüder bantlarının) ortadan kaldırılmasıyla malzeme istenilen mekanik özelliklere sahip duruma getirilir [32].

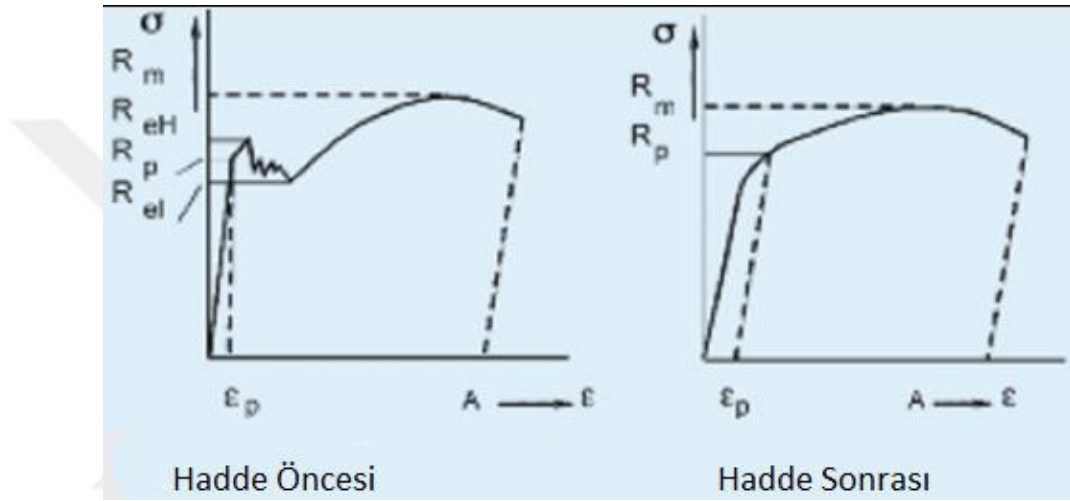


Şekil 2.29. Lüder Bantları [33].

Şekil 2.29’da Lüder bantlarının oluşumu görünmektedir. Kısaca bu şekil üzerinde şu bilgileri verebiliriz. Akma noktası, elastik şekil değişiminin sona erdiği ve plastik, kalıcı şekil değişiminin başladığı, gerilme-gerinim eğrisi üzerindeki noktadır. Bazı malzemelerde, bu geçişin malzeme boyunca homojen bir şekilde değil, bölgesel olarak, heterojen bir şekilde olduğu görünür. Bu tür malzemelerdeki plastik şekil değişimi, malzemenin bazı kısımlarında, yük eksenine 45 derecelik açıda konumlanan bantların oluşmasıyla başlar. Malzemenin bir kısmı plastik şekil değişimine girdiğinde, yani ilk bant oluştuğunda, gerilme-gerinim eğrisi üzerindeki gerilme değerinde bir düşüş gözlemlenir. Plastik şekil değişiminin gerçekleştiği bantlar malzemeye yayılırken, gerilme-gerinim eğrisi üzerindeki akma noktası da az çok sabit bir gerilme değeri etrafında minik dalgalanmalar yaparak uzamaya devam eder. Bantlar bütün numuneye yayıldıktan sonra, malzeme tümünden plastik şekil

değişimine girdiği için, gerilme-gerinim eğrisi üzerinde de gerilmenin tekrar artmaya başladığını görüyoruz. Plastik şekil değişiminin bölgesel gerçekleştiği bu bantlara Lüder bantları adını veriyoruz. Meneviş hadde işlemi ile plastik şekil değişimi esnasında malzeme içerisinde Lüder bantlarının oluşmasından dolayı tam plastik şekil değişimine uğramayan malzemelerin tam geçişini sağlamaktadır.

Şekil 2.30'da Meneviş hadde işlemi öncesinde ve sonrasında gerilme-gerinim grafiğindeki fark görülmektedir.

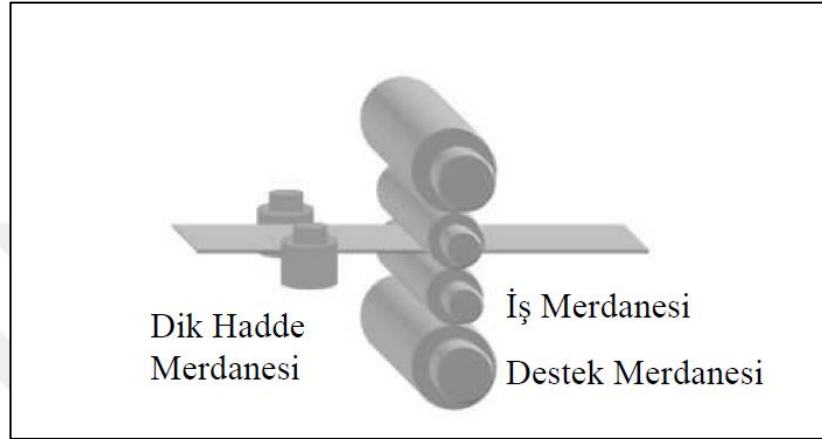


Şekil 2.30. Gerilme-gerinim grafiği.

Meneviş hadde, hat üzerinde kullanılan yağlama veya soğutma durumlarına göre kuru, ıslak, en küçük miktarda yağlama (MMY) olarak üçe ayrılmaktadır. Kuru tip işlemden herhangi bir su bazlı kimyasal veya yağ kullanılmamaktadır. Kuru tip ile parlak bir malzeme yüzeyi elde edilmesine karşın sıcaklık artışı merdanelerin ve malzemenin üzerinde yüksek oranlardadır. Sıcaklık kontrol altında tutulmaz ise malzeme veya merdane üzerinde oksitleme başlayabilir. Islak tip meneviş hadde işleminde malzeme üzerine su bazlı emülsiyonlar veya yağ uygulanır. Bu uygulamayla işlem sırasında soğutma ve temas yüzeyinde yağlama neticesinde sürtünme azalır. Kuru tip kadar parlak bir yüzey elde edilmez ve hat hızı malzeme üzerine uygulanan emülsiyonun hattan uzaklaştırılmasına paralel olarak artabilir. Yağlama sisteminin kurulum ve bakım maliyeti çok yüksektir. MMY tipte ise yüksek oranlarda sürtünmede düşüş olsa dahi bu tip yağlama soğutma sağlamaz ve kuru tip gibi yavaş hat hızına sahiptir [7].

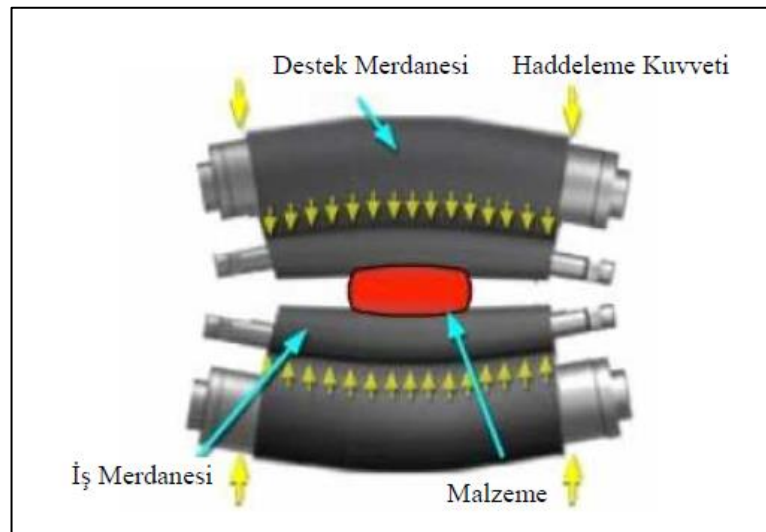


Bir meneviş hadde mekanizması incelenirse iki ana öge öne çıkar. Bunlar, destek ve çalışma merdanesidir. Tüm ünite üzerinde bulunan donanımlar bu merdanelere güç aktarmak veya bu merdanelerin hareketi için yardımcı görev üstlenirler. Tüm hadde sistemlerinde iş, destek ve ara merdaneler olmak üzere üç farklı merdane tipi kullanılmaktadır. Günümüzde iki çalışma ve iki destek merdanesinden meydana gelen 4'lü hadde tipi meneviş hadde hatları sanayide yaygın haldedir.



Şekil 2.31. Dörtlü hadde merdanesi [14].

İş parçası üzerinde istenilen kalitenin yakalanabilmesi için çalışma merdanelerinde burulma hareketinin oluşturulması gereklidir. Bu hareketlerle merdanelerde elastik sınırlar içinde deformasyonlar oluşur. Bu deformasyonlar, basit kiriş modeli, dilimli kiriş modeli ve sonlu elemanlar analizi modeli olarak üç farklı şekilde incelenmiştir.



Şekil 2.32 Merdaneler burulmasından dolayı oluşan kuvvetler [14].

Basit Kiriş Modeli: Sabit bir kesite sahip, homojen yapıda ve boy ve derinlik oranı en az 8 olan kiriş üzerindeki tüm yükler kiriş eksenine dik kabul edilir. Haddeleme kuvveti sonucu merdane üzerinde meydana gelen eğilme denklemi;

$$E_B I_B = \frac{d^2 y_{B1}}{dx^2} = -\frac{P}{2} \left[ x - \frac{(x-e)^2}{w} \right] \quad (2.19)$$

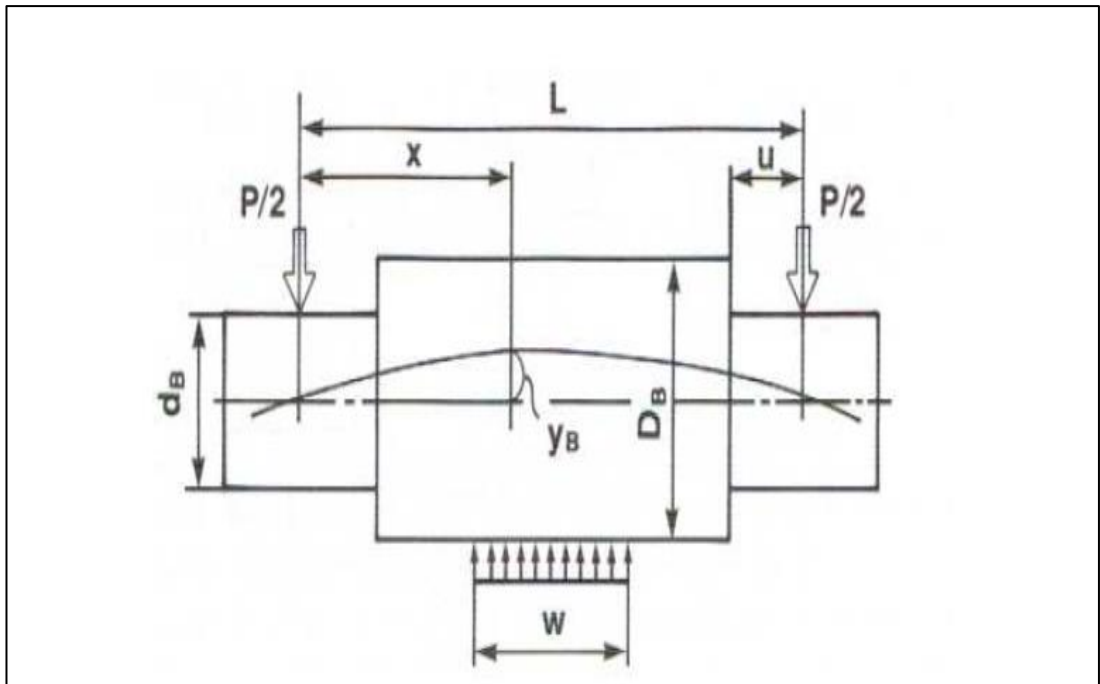
İkili hadde için bu eşitliğin çözümü Larke (1967) tarafından yapılmıştır.

$$y_{B1} = cP \left[ x(\beta - 4x^2) + \frac{2(x-e)^4}{w} + 2u^3(\alpha - 4) \right] \quad (2.20)$$

$$y_{B2} = \frac{2P}{\pi w G_B D_B^2} \left[ x(L-x) + \left( \frac{D_B^2}{d_B^2} - 1 \right) wu - e^2 \right] \quad (2.21)$$

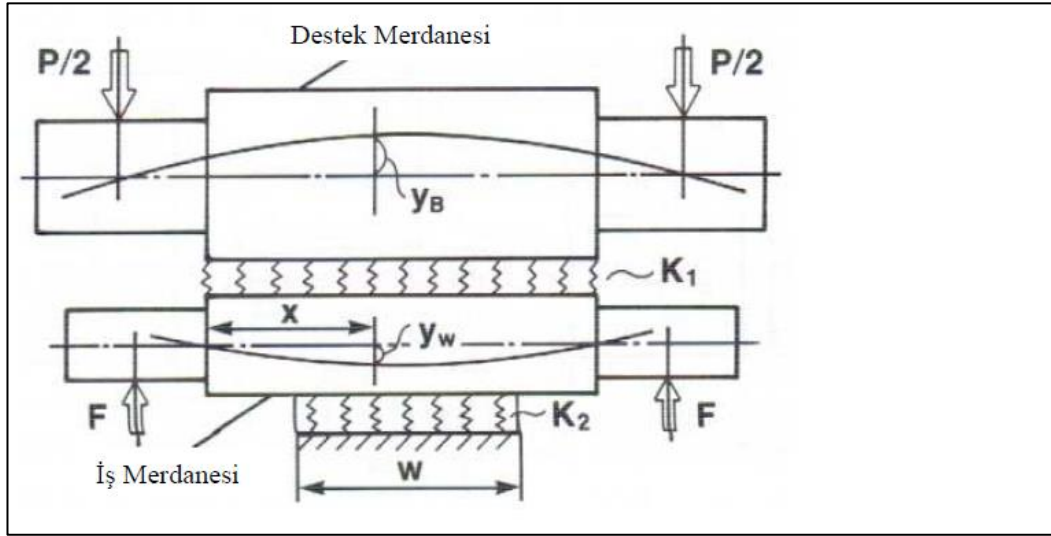
$$y_B = y_{B1} + y_{B2} \quad (2.22)$$

Bu eşitliklerde  $y_B$  merdane üzerindeki  $x$  mesafesindeki sehim,  $G_B$  ise merdanenin üretildiği malzemeye ait rijitlik matrisidir.



Şekil 2.33. İkili hadde merdane eğilme sistemi [14].

Dörtlü hadde sistemi üzerine basit kiriş modelini Stone (1965) uygulamıştır.



Şekil 2.34. Dörtlü hadde merdane eğilme sistemi [14].

$$E_w I_w \frac{d^4 y_w}{dx^4} = -k y_w \quad (2.23)$$

Bu eşitlikte  $E_w$ ; çalışma merdanesinin elastisite modülü,  $I_w$ ; çalışma merdanesi atalet momenti,  $k$ ; elastik dayanım sabiti,  $y_w$ ;  $x$  mesafesindeki çalışma merdanesi sehimini ifade etmektedir.

$$y_w = e^{\beta x} [A \cos \beta x + \sin \beta x] + E^{-\beta x} [c \cos \beta x + d \sin \beta x] \quad (2.24)$$

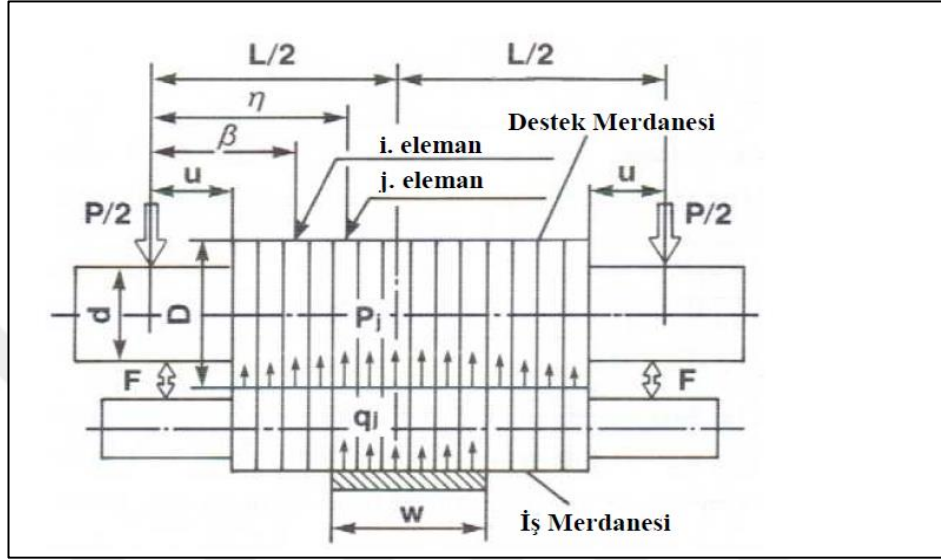
$$\beta = \sqrt[4]{\frac{k}{4EI_w}} \quad (2.25)$$

$$k_i = \frac{P}{l_i \delta_i} \quad (2.26)$$

A, B, C, D yükleme biçimine ve sınır şartlarına bağlı integrasyon sabitleridir.  $i=1,2$

Basit kiriş modeline ait eşitlikler ikili hadde sisteminden türetilmiştir. Haddeleme kuvvetinin iş parçası malzemesinin genişliği kadar merdane temas yüzeyinde etkidiği kabul edilmiştir. Haddehane uygulamalarında bu kuramsal hesaplamalar gerçek şartlar ile birebir uyuşmamaktadır.

**Dilimli Kiriş Modeli:** Dilimli kiriş modeli çalışma merdanesi ve iş parçası malzemesi arasındaki yük dağılımı, iki merdane arasındaki yük dağılımı ve çalışma merdanesi sabit cisim hareketinin tespitiyle merdanede oluşan eğimi bulmaktadır. Merdane m sayıda elemana dilimlenir. Malzemeye temas etmekte olan dilim sayısı n, merdane genişliğinden daima küçüktür.



Şekil 2.35. Dörtlü hadde dilimli kiriş modeli [14].

Destek merdanesinin üzerinde yer alan herhangi bir  $i$  dilimindeki yer değişiminin hesaplanması ise aşağıdaki gibi yapılmaktadır.

$$y_b(i) = \sum_{j=1}^m p_j \alpha_{ijb} \Delta x - Z_b(i) - k_b \quad (2.27)$$

Çalışma merdanesinin üzerindeki yer değişimi şu şekilde ifade edilir.

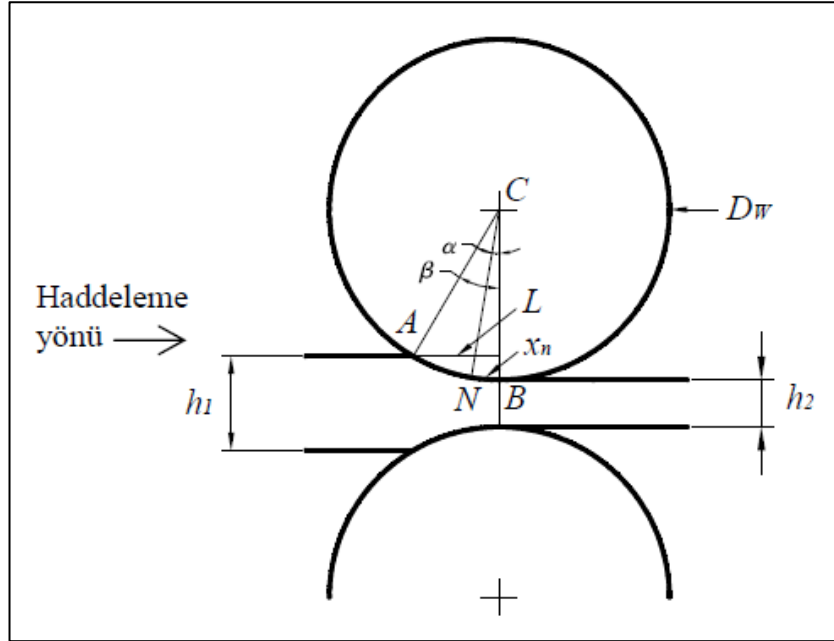
$$y_w(i) = \sum_{j=1}^m p_j \alpha_{ijw} \Delta x - \theta_i \sum_{j=i}^m q_j \alpha_{ijw} \Delta x + Z_w(i) - k_w \quad (2.28)$$

**Sonlu Elemanlar Analizi Modeli:** Bir cismin sonlu sayıda elemana bölünerek ifade edilmesi temeline dayanmaktadır. Bu elemanlar birbirleri arasında düğüm olarak adlandırılan noktalarla bağlandığı kabul edilir. Bu yöntemle merdanenin üzerinde inceleme yapılabilmesi için tüm sistemin bir ağ yapısının meydana getirilmesi gerekir.

### 3. HADDELEME SIRASINDAKİ YÜKLERİN ANALİZİ VE MERDANENİN KONUMLANDIRILMASI

Haddeleme işleminin mekaniği için temel konuların ele alınmasıyla haddeleme işlemi sırasında merdanelere etki eden yükler incelenmiştir. Etki eden bu yüklerin incelenmesindeki neden ise, yükleme esnası altındaki merdanelerde şekil değişiklikleri oluşmakta olup bu şekil değiştirmeler sonucu haddelenmesi yapılan yassı ürün kesit profili doğrudan etkilenecek ürünün kalitesinde bozulmalara neden olmaktadır. Dolayısıyla bu çalışma ANSYS 17.2 paket programı ile gerçekleştirilmiştir.

Haddeleme işlemi sırasında hadde işlemi uygulanan metalle doğrudan temas halinde olan ve uygulanan yükü haddenin sistemine kendi üzerinden aktarımı gerçekleştiren araca iş merdanesi denilmektedir. İş merdaneleri haddeleme esnasında oluşan yüklerin etkisi ile şekil değiştirmesinin kontrol edilebilmesi üretilecek ürünün kalitesi açısından kaçınılmazdır. Dolayısıyla şekil değiştirmesini engellemek için destek merdanesi ile desteklenmelidir. Şekil 3.1’de iş merdanesi ve destek merdanesi ile bu merdaneler arasında geometrik tanımlamalar verilmiştir.



Şekil 3.1. İş merdanesi, destek merdanesi ve iş parçası üzerindeki geometrik tanımlamalar.

$h_1$ : İş parçası malzemesinin giriş kalınlığı

$h_2$ : İş parçası malzemesinin çıkış kalınlığı

B: İş parçası malzemesinin merdanelerden çıktığı nokta

N: A ve B noktaları arasında merdaneler ve iş parçası malzeme arasındaki hızın 0 olduğu nokta.

L: Temas eğrisinin izdüşümünün uzunluğu

$x_n$ : N'nin çıkışa olan uzaklığı.

Explicit (Açık) Dinamik Analiz Yöntemi: Dünyadaki herhangi bir nesnede sonsuz nokta bulunur. Sonlu elemanlar yöntemi ile bu noktalar sonlu sayıya indirgenir yani ızgaralama denilen işlem gerçekleştirilir. Bu indirgenen noktalara da düğüm noktası (node) denir. Bu düğüm noktaları birleştirilerek üç ya da iki boyutlu şekiller oluşturulur ve bu şekillere de eleman denilir. Explicit (Açık) Dinamik Analizi de sonlu elemanlar yöntemi ile sanal ortamda doğrusal olmayan yapısal mekaniğe istediğimiz senaryoyu uygulayıp test etmemizi sağlayan bir analiz şeklidir.

Bu analizi matematiksel olarak görmek için bir zaman adımı belirleyelim  $t_n$  bu zaman adımında yer değişimi, hız ve ivme tanımlayalım.  $D_n$  yerdeğişimi,  $\dot{D}_n$  hız,  $\ddot{D}_n$  ivme. Yaptığımız işlemde ivmeyi doğrusal ve  $\Delta t = t_{n+1} - t_n$  olarak kabul edelim. Burada Taylor serileri açılımını  $t_n$  de yaparsak;

$$\dot{D}_{n+1} = \dot{D}_n + \Delta t \ddot{D}_n + \frac{\Delta t^2}{2} \ddot{\ddot{D}}_n \quad (3.1)$$

$$D_{n+1} = D_n + \Delta t \dot{D}_n + \frac{\Delta t^2}{2} \ddot{D}_n + \frac{\Delta t^3}{6} \ddot{\ddot{D}}_n \quad (3.2)$$

$$\ddot{\ddot{D}}_n = \frac{\ddot{\ddot{D}}_{n+1} - \ddot{\ddot{D}}_n}{\Delta t} \quad (3.3)$$

$\ddot{\ddot{D}}_n$  ,eşitliğini ilk iki denklemde yerine yazdığımızda Newmark metoduna ait denklemleri türetmiş oluruz. Denklem içerisinde sabit parametreler algoritmanın kontrol karakteristikleri olarak seçilirse bu analiz implicit metot olarak adlandırılır ve o anlık tepkilere göre yapılan hesaplamaları esas alır. Ancak yüksek oranda

doğrusal olmayan problemlerde o anın geçmiş tepkileri de hesaplama için gerekmektedir. Bu noktada explicit metot devreye girer ve bu hesaplamada  $\dot{D}_{n+\frac{1}{2}}$ ,  $D_{n+1}$  değerlerinin geçmiş bilgileri gerekmektedir. Bu veriler ise şu şekilde formüle edilir:

$$\ddot{D}_n = \frac{\dot{D}_{n+\frac{1}{2}} - \dot{D}_{n-\frac{1}{2}}}{\Delta t} \quad (3.4)$$

$$\dot{D}_{n+\frac{1}{2}} = \frac{D_{n+1} - D_n}{\Delta t} \quad (3.5)$$

Bu hesaplama ile anlık tepkiler ölçülebilir. Bir zaman adımıyla iterasyon yapmaya gerek kalmadan bir döngü oluşturulmuş olur ve küçük zaman aralıklarında hesaplamalar yapılabilir.

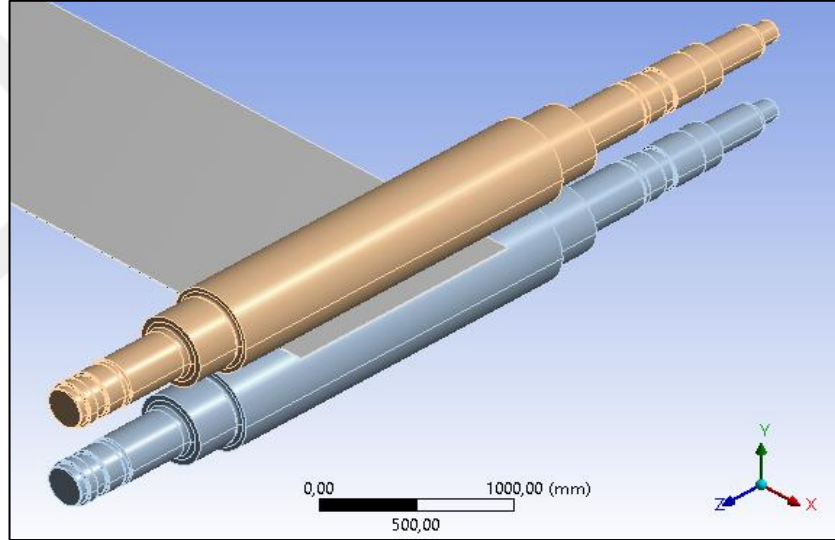
### 3.1 Sonlu Elemanlar Analizi İle Uygulama

Yapılan deneysel çalışmada merdane eksenleri çakışık ve klasikleşmiş hadde düzeniyle ve merdane eksenlerinin arası mesafeli olacak şekilde konumlandırılmıştır. Ayrıca çalışmada sayısal benzetimler ve veri analizleri yoluyla meneviş hadde işleminde değişken olan hat hızı parametresinin etkisinin araştırılması gerçekleştirilmiştir. Meneviş hadde işleminin süreci esnasında oluşan kuvvetler, meydana gelen gerinme ve gerilmeler incelenmiştir. İncelenen gerilmeler S235JR kalitede karbon çeliği plakasının 10 mm kalınlıktan 9,8 mm kalınlığa getirilmesi üzerine ve üç farklı hat hızında (30-35 ve 40 m/dak) olmuştur. Analiz belirlenen hızlarda iki merdane arasından bir metrelik bir iş parçasının geçişi öngörülerek gerçekleştirilmiştir. Ayrıca 30 m/dak kesme hızında çalışacak olan merdaneye bombe verilerek (350 mm) karşılaştırma yapılmıştır. Analiz işlemleri gerçekleştirilmeden önce malzemeden alınan numuneye endüstriyel denetim firması bünyesinde bulunan laboratuvarında çekme testleri uygulanmıştır. Çizelge 3.1 de düşük alaşımlı karbon çeliğine ait malzeme bilgileri verilmiştir. Çekme testinin sonuçları EK-1'de verilmiştir. Deneysel analiz çalışması ANSYS

WORKBENCH 17.2 paket programı kullanılarak sonlu elemanlar analiziyle yapılmıştır. Analizde kullanılan geometri endüstride aktif çalışmakta olan bir meneviş hadde hattının birebir Solid Works programında çizilerek Ansys programına aktarılacak sureti ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.2’de yassı ürünün ve merdanelerinin analiz programında konumlandırılması verilmiştir.

Çizelge 3.1. Çalışmada kullanılan malzemenin özellikleri.

Çalışmada Kullanılan S235 Kalite Çeliğin Kimyasal Verileri (%)					
C	Mn	P	S	Cu	N
0.17	1,4	0.035	0.035	0.55	0.0120
Çalışmada Kullanılan S235 Kalite Çeliğin Mekanik Verileri					
Kalınlık (mm)	Min. Akma Gerilmesi MPa	Çekme Gerilmesi MPa	% Uzama		
< 16	235	360-510	26		



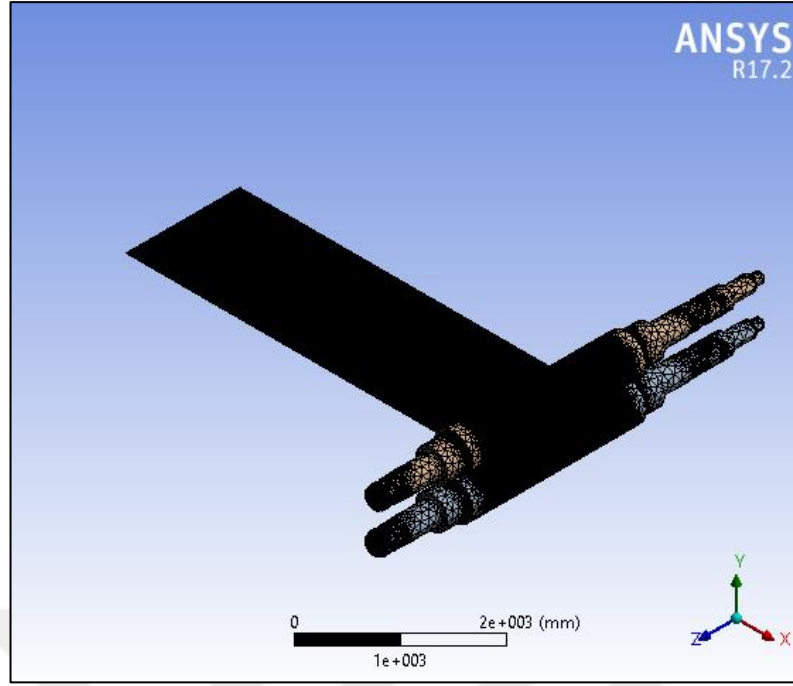
Şekil 3.2. Yassı metal ürünü ve merdanelerin konumlandırılması

### 3.1.1. Merdane Sisteminin Ağ Yapısının Oluşturulması

Sonlu elemanlar yöntemi ile yapılacak olan analiz işlemlerinin gerçekleştirilmesinden önce analiz yapılması istenilen merdane sisteminin ağ yapısının meydana getirilmesi gerekmektedir. Şekil 3.3’te verilen merdane sistemin ağ yapısındaki toplam düğüm ve eleman sayısı da aşağıda verilmiştir.

- Düğüm sayısı: 1922657
- Eleman sayısı: 6602122

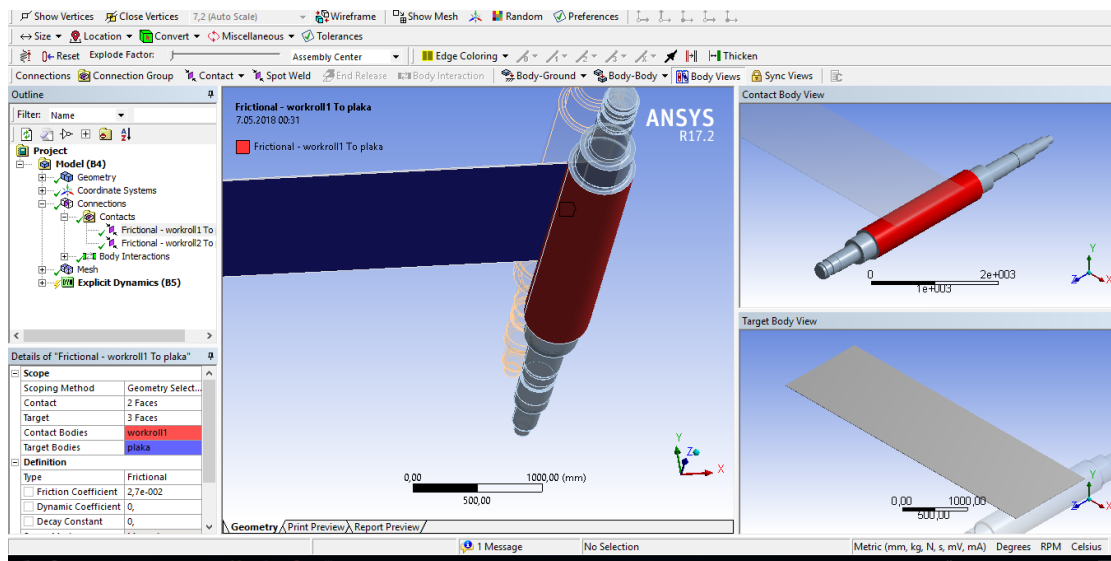




Şekil 3.3. Merdane sisteminin ağ yapısı.

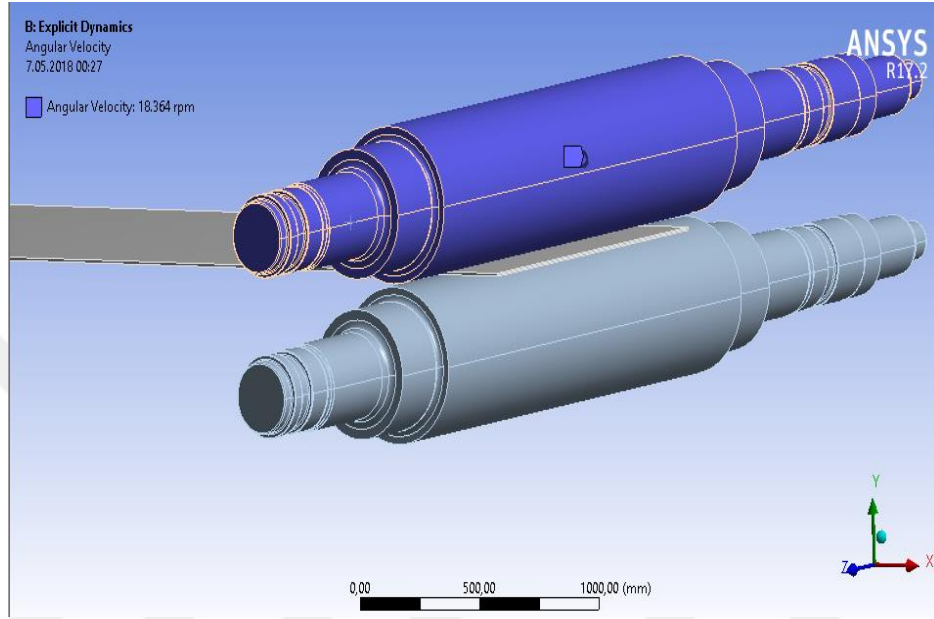
### 3.1.2. Merdane Sistemindeki Bağlantıların ve Uygulanacak İşlemlerin Tanımlanması

Merdane sisteminde kullanılan bağlantı elemanlarının ve hareket mekanizması arasında yapılan bağlantıların doğru bir şekilde tanımlanması analizin sorunsuz olarak gerçekleştirilebilmesi için önemlidir. Merdane ile plakanın temas ettiği bağlantı yüzeylerinde 0,027 katsayı ile sürtümlü bağlantı verilmiştir (Şekil 3.4).

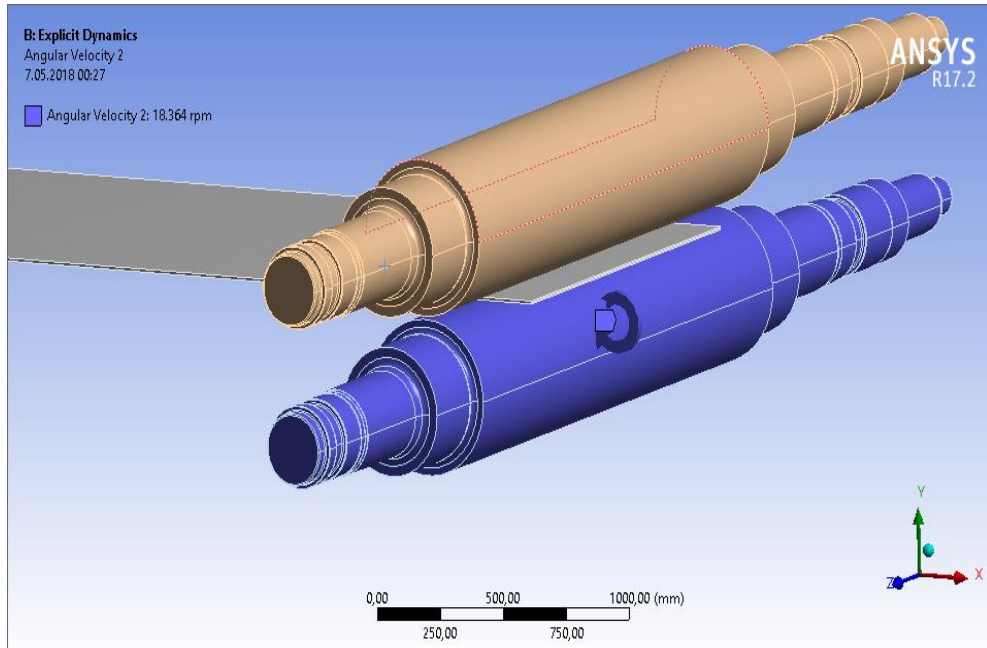


Şekil 3.4. Merdane ile plaka arasındaki bağlantı.

Merdanelerin dönme hareketi açısal hız olarak RPM cinsinden 18,364, 21,424 ve 24,485 olarak verilmiştir. Bunun nedeni hat hızlarının 30-35 ve 40 m/dak olarak kabul edilerek merdane yarı çapının 260 mm olmasından dolayı sayısal hesaplama göre merdanelerin 18,364, 21,424 ve 24,485 rpm ile dönmesi gerekliliğindedir (Şekil 3.5 ve Şekil 3.6). Verilen şekiller devrin sisteme uygulanışını göstermektedir.

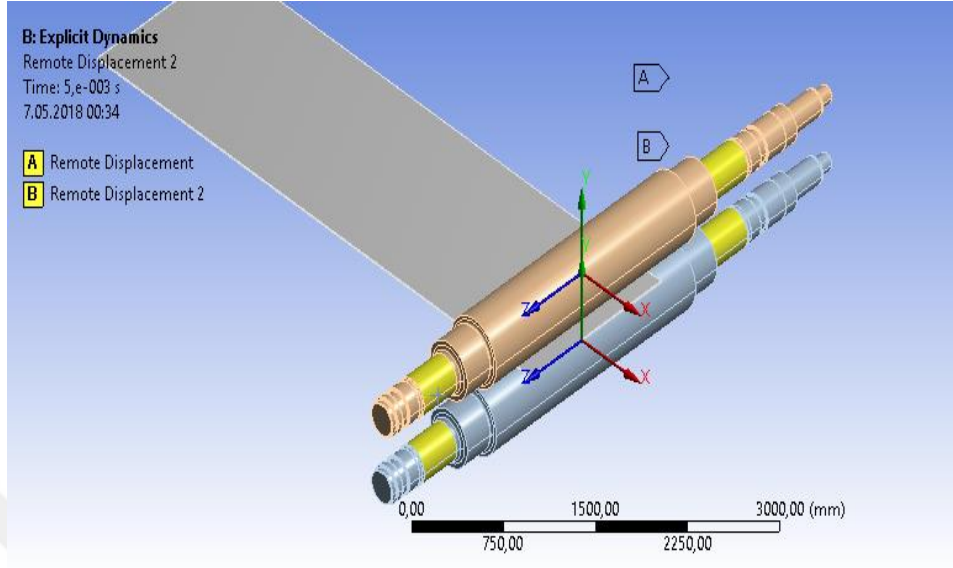


Şekil 3.5. Üst kısımdaki merdaneye verilen açısal hızın görünümü.



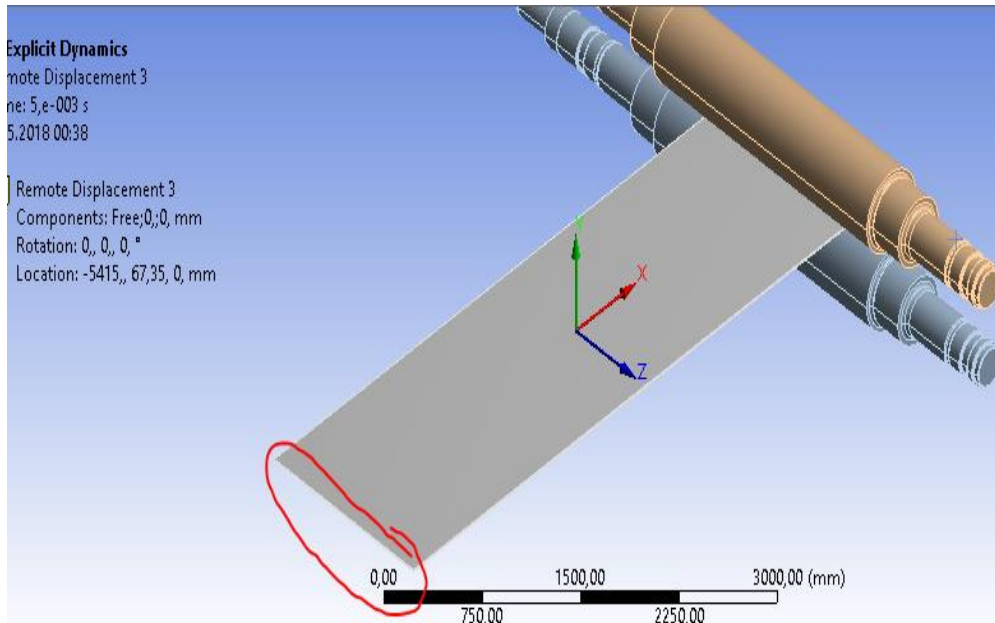
Şekil 3.6. Alt kısımdaki merdaneye verilen açısal hızın görünümü.

Merdanelerin rulmanlar ile yatakladığı yüzeylere X, Y ve Z eksenlerinde doğrusal hareket, X ve Y eksenlerinde ise dönme hareketi sıfır olarak tanımlanıp sadece Z ekseninde dönebilme kabiliyeti verilerek mesnetlenmesi sağlanmıştır (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Merdane rulmanlarının mesnetlenmesi.

Plaka ise kırmızı ile işaretlenen yüzeyden Y ve Z eksenleri doğrultusunda doğrusal hareketleri ve X, Y ve Z eksenlerinin etrafında dönme hareketleri 0 olacak şekilde tanımlanarak hareketinin kısıtlanmasına karşın X eksen doğrultusunda doğrusal hareketi serbest olarak kısıtlama olarak tanımlanmıştır (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Plakanın tanımlanması

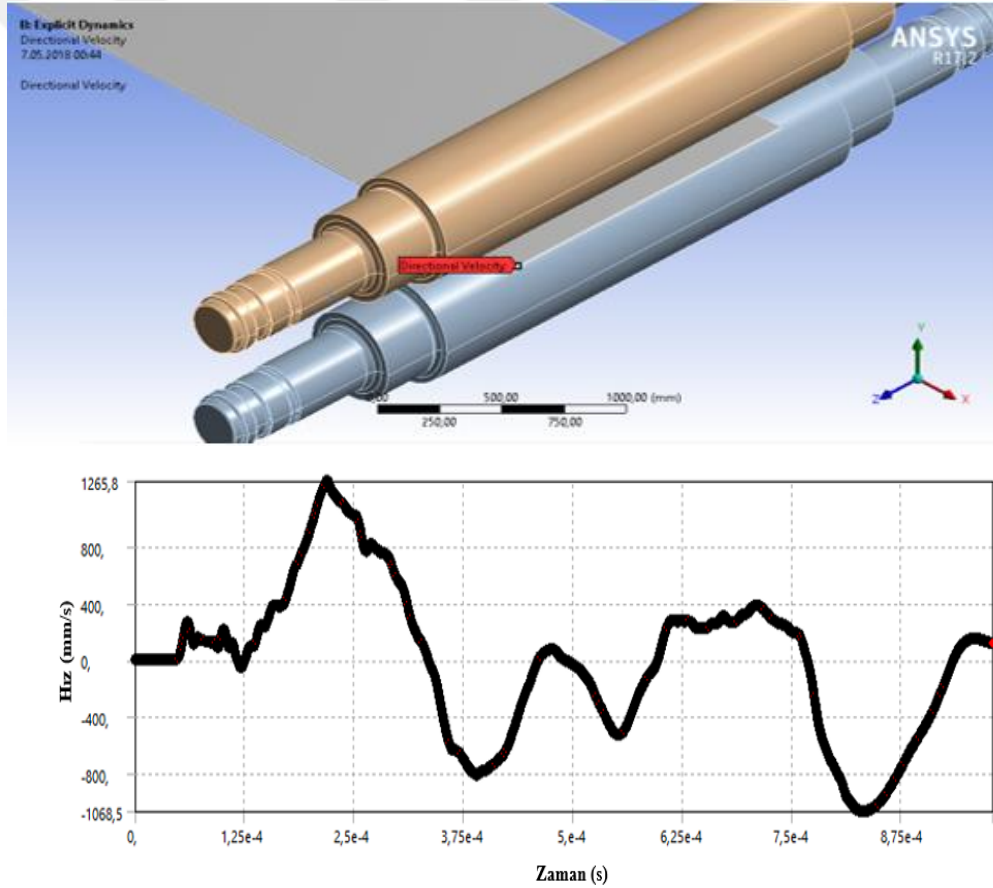
#### 4.BULGULAR VE TARTIŞMA

Soğuk haddeleme işleminde plastik akma mekanizmasının geniş çaplı ilk incelenme işlemi Johnson ve Bentall (1969) tarafından gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu çalışmada merdane bükülmeleri ve iş parçası dışında kalan bölgelerde meydana gelen temas düşünülmemiştir. Bu çalışmanın ardından meneviş hadde işlemi üzerinde farklı modelleme çalışmaları yapılarak işlem üzerinde çeşitli çalışmalar yapılmıştır. [37]

Roberts (1978) tarafından basit kiriş modeli ile yapılan çalışmada merdane kuvveti iş parçasını deforme etmek için gerekli en küçük kuvvet olarak hesaba katılmıştır. Bu çalışmanın matematiksel modelinde düzleştirme işlemi başarısız olmuştur. Ancak bu çalışma sonucunda meneviş haddelemede sıcaklığın plastik deformasyon üzerindeki etkisi net olarak görülmüştür. Fleck ve Johnson (1987) tarafından yapılan çalışmada iş merdanesinin deformasyonu ve sürtünme sadece iş parçası ile temas edilen yüzeylerde dikkate alınmıştır. Ayrıca merdane merkezine paralel yönde olan deformasyonlarda göz ardı edilmiştir. Gratacos ve Onno (1994) ile sonlu elemanlar yönteminin ilk defa meneviş hadde işleminde kullanıldığı görülüyor. Bu çalışmada iki farklı kalınlıktaki iş parçasına uygulanan kuvvetlerin etkisi ile sadece çalışma merdanesindeki elastik deformasyonlar inceleniyor. Doksanlı yıllarda Wiklund (1996a,b,1999) , Domonti (1994), Sutcliffe ve Rayner ( 1998) farklı modelleme çalışmaları üzerinde işlemler yapar bu çalışmalarda geçmiş çalışmalara benzer parametre değişiklikleri ile yapılan uygulamadır. Ancak Domonti (1994) yapmış olduğu modellemede bu çalışmada olduğu gibi tam yarıçap olmayan bir merdane kullanarak işlem yapmıştır. Fuchhumer ve Schlacher (2000) geçmiş çalışmaların dışında bu çalışmada olduğu gibi endüstride işletme yapan bir meneviş hadde hattı üzerinde örnekleme yapar. Çalışmasında haddeleme öncesi ve sonrasındaki çekme kuvvetlerini de dikkate alır. Liu ve Lee (2001) tarafından yapılan çalışma da Domonti (1994) gibi iş merdanesinin şekline odaklanmıştır. Merdanedeki yapı değişikliği ile hadde kuvvetlerindeki değişim ve iş parçasındaki deformasyonlar incelenmiştir. Alınan sonuçlar geçmiş çalışmalar ile örtüşürken merdane düzlüğünün hadde kuvvetini arttırdığı tespit edilmiştir. Chandra ve Dixit (2004) yapmış olduğu çalışmayı merdanesinin yarı elastik bölgesi olduğunu öngörerek örnekler ancak aldığı referanslar soğuk hadde işlemi parametrelerini verir meneviş haddelemeye girmez.

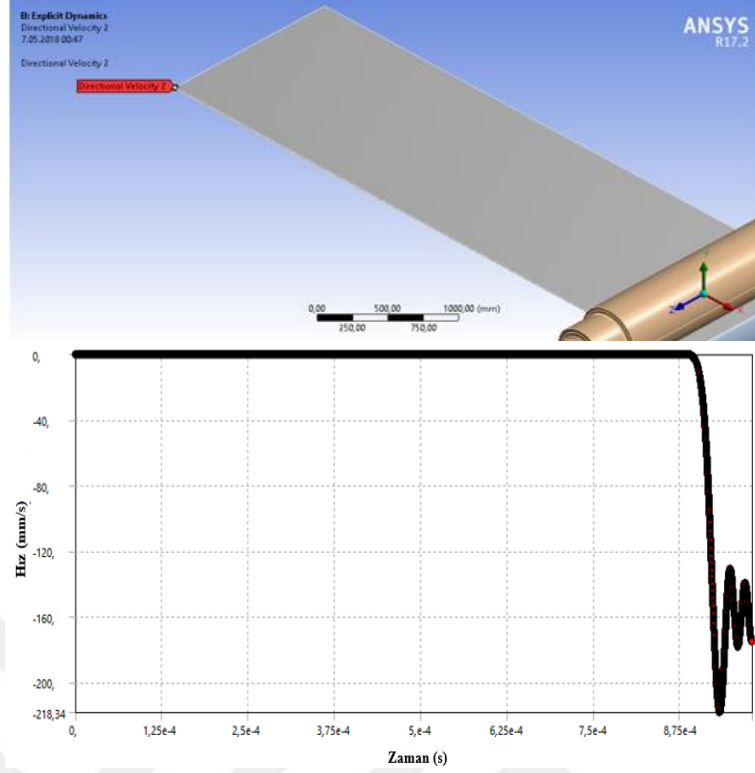
Bu çalışmada sonlu elemanlar modeli kullanılarak benzer çalışmalardan farklı olarak aynı tip çalışma merdanesinin bombe şekli ile karşılaştırması farklı hız değerlerinde ki yapılan çalışmaya eklenmiştir. Bu işlem sonucunda elde edilen verilerin sadece malzeme üzerindeki etkisi değil merdanelerde meydana gelen parametre değişimleri de incelenmiştir. Çalışma kapsamında merdane sistemine ANSYS 17.2 WORKBENCH paket programında explicit (açık) dinamik sekmesinin seçilmesiyle uygulanan analizlerin merdane sisteminin ve plaka üzerinde oluşturduğu gerilmeler ve deformasyonlar incelenmiştir. [34-40]

Plakanın merdanelerden çıkışı sonrasında Şekil 4.1’de belirtilen noktada ve X eksenine doğrultusunda meydana gelen hızın zamana bağlı değişiminin grafiği verilmiştir.

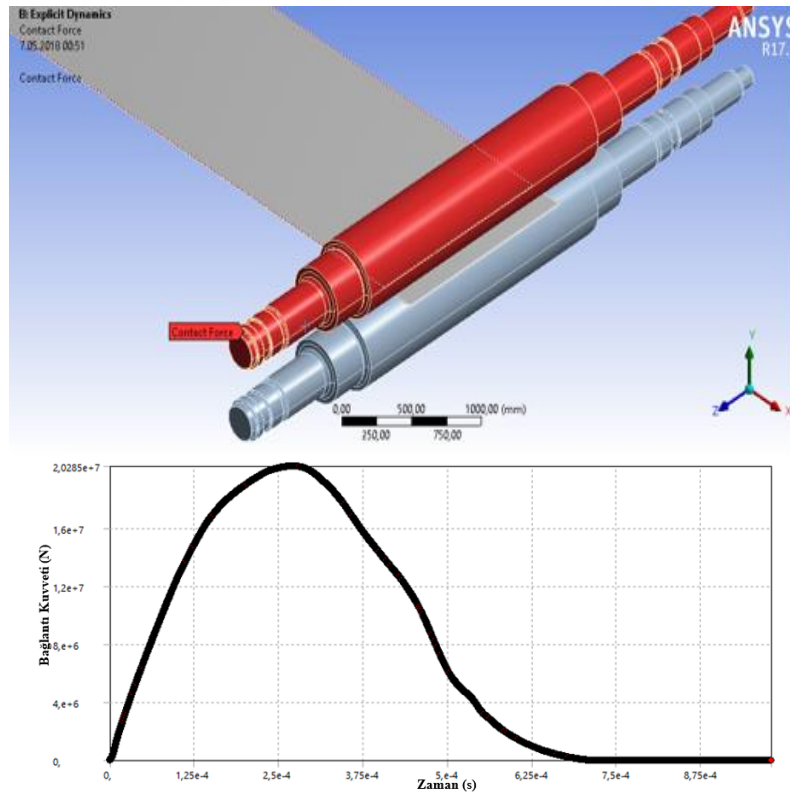


Şekil 4.1. X eksenine doğrultusunda hızın zamana bağlı değişimi.

Plakanın merdanelere girişi esnasında Şekil 4.2’deki gibi plakanın arka kısmında belirtilen noktanın X eksenine doğrultusu boyunca hızının zamana bağlı değişim grafiği verilmiştir.



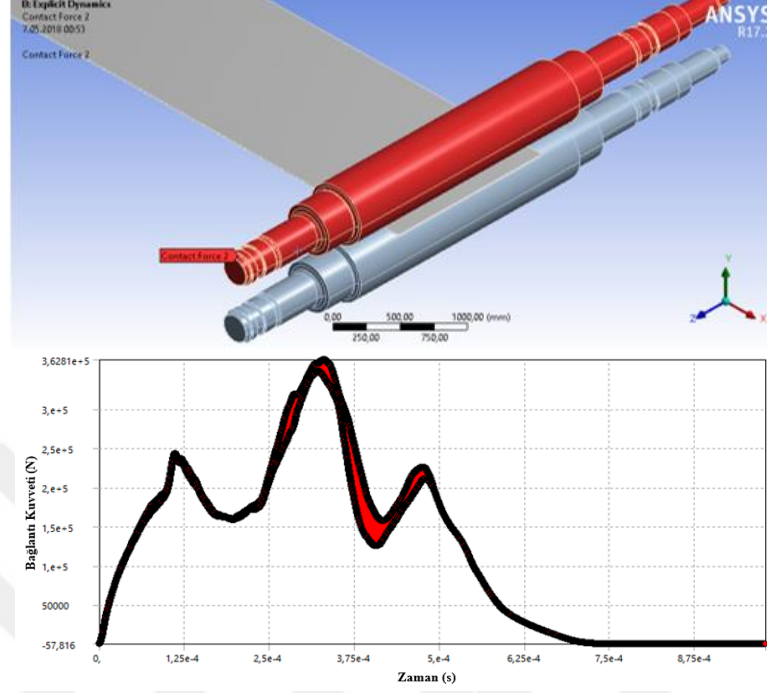
Şekil 4.2. Plakanın arka kısmının X eksenini boyunca hızının zamana bağlı değişimi. Üst merdanede meydana gelen temas kuvvetlerinin Y eksenini doğrultusunda meydana gelen temas kuvvetlerinin dağılımının zamana bağlı değişim grafiği Şekil 4.3'te verilmiştir.



Şekil 4.3. Y eksenini boyunca meydana gelen temas kuvvetlerinin değişimi.

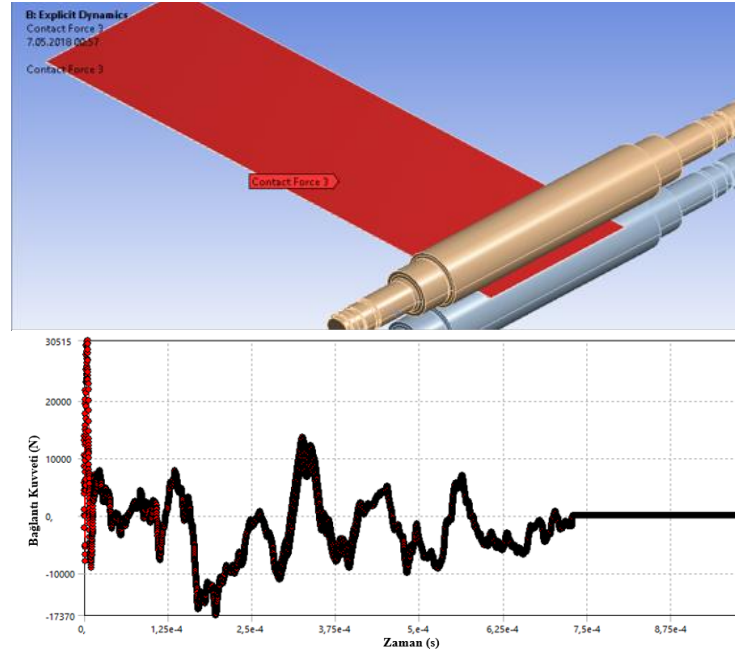


Üst merdanede meydana gelen temas kuvvetlerinin X eksenı boyunca dağılımının zamana bağlı olan değişiminin grafiği Şekil 4.4'te verilmiştir.



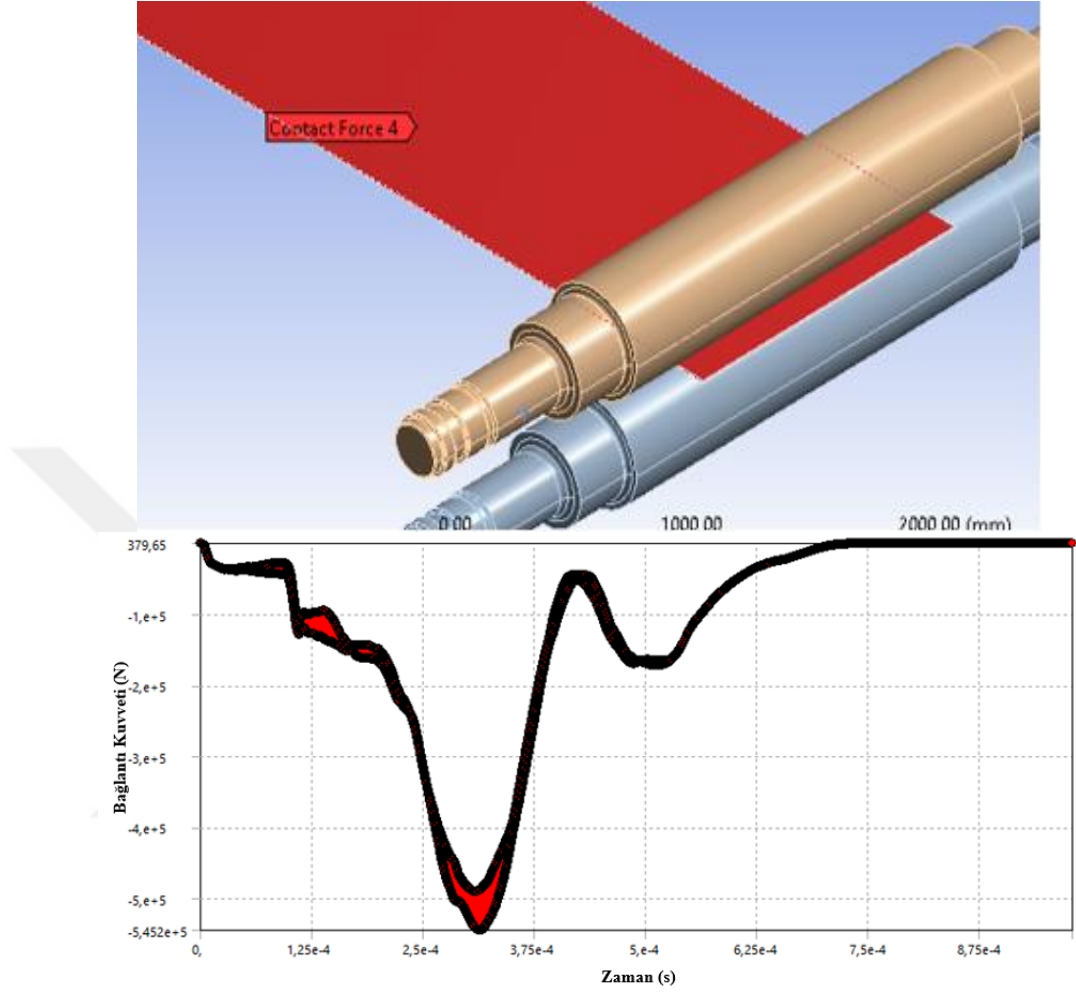
Şekil 4.4. Temas kuvvetlerin X eksenı boyunca değişimi.

İş parçası plakasında meydana gelen temastan dolayı oluşan kuvvetlerin Y eksenı boyunca dağılımının zamana bağlı değişim grafiği Şekil 4.5'te verilmiştir.



Şekil 4.5. İş parçasındaki temastan dolayı oluşan kuvvetlerin Y eksenı boyunca değişim grafiği.

İş parçası plakasında meydana gelen temastan dolayı oluşan kuvvetlerin X eksenini boyunca dağılımının zamana bağlı değişim grafiği Şekil 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.6. İş parçasındaki temastan dolayı oluşan kuvvetlerin X eksenini boyunca değişim grafiği.

Yapılan çalışmada kullanılan iş parçasına ait hadde öncesi ve sonrası çekme testi verileri çizelge 4.1 de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Çekme testi yapılan malzemenin sonuçları.

Hadde Öncesi Akma Dayanımı (MPa)	Hadde Sonrası Akma Dayanımı (MPa)	Hadde Öncesi Çekme Dayanımı (MPa)	Hadde Sonrası Çekme Dayanımı (MPa)	Hadde Öncesi (%)Uzama	Hadde Sonrası (%)Uzama
328,03	297,91	414,9	395,6	26,7	26,7

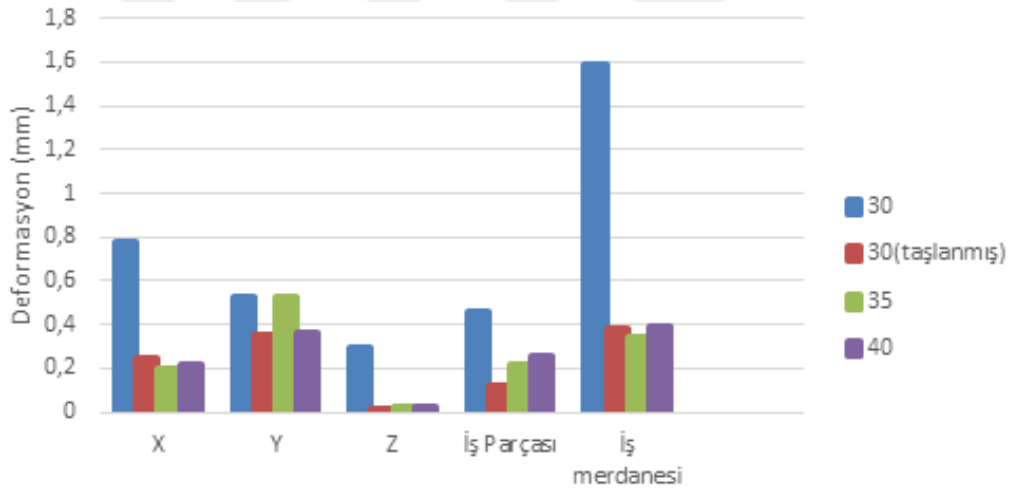


#### 4.1. Deformasyon İncelemeleri

Yapılan analiz sonucunda iş parçası ve iş merdanesinde meydana gelen deformasyon verileri çizelge 4.2 de ve bu parametrelere ait grafik Şekil 4.7 de verilmiştir.

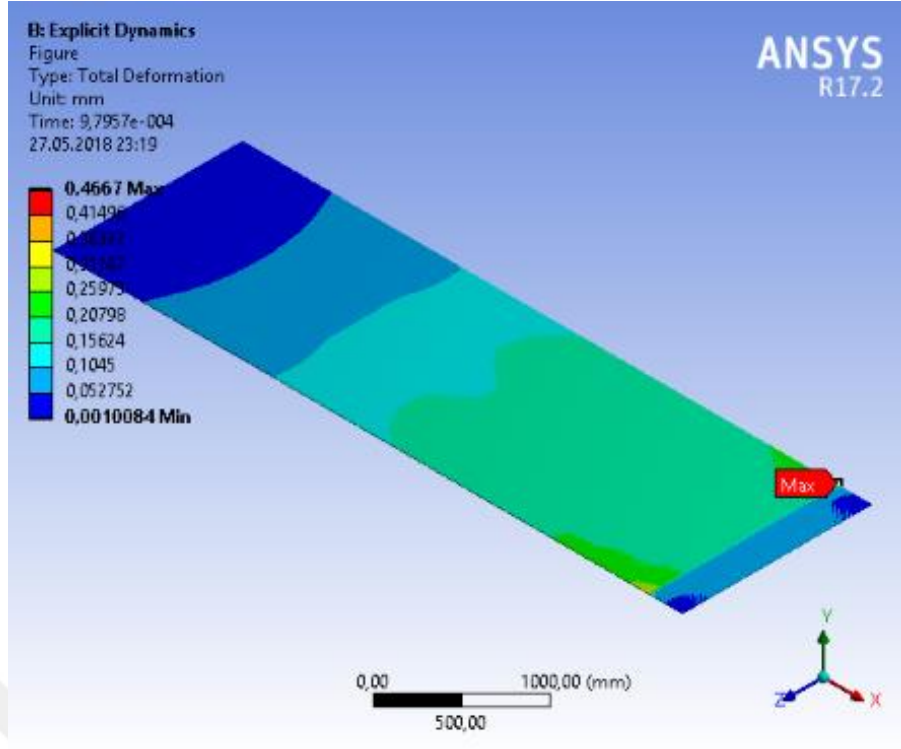
Çizelge 4.2. Deformasyon verileri.

Deformasyon (mm)					
Dönme Hızı (m/dak)	X	Y	Z	İş Parçası	İş Merdanesi
30	0,78	0,53	0,30	0,46	1,59
30 (Bombeli Merdane)	0,25	0,35	0,014	0,12	0,38
35	0,20	0,53	0,025	0,22	0,34
40	0,22	0,36	0,027	0,26	0,39

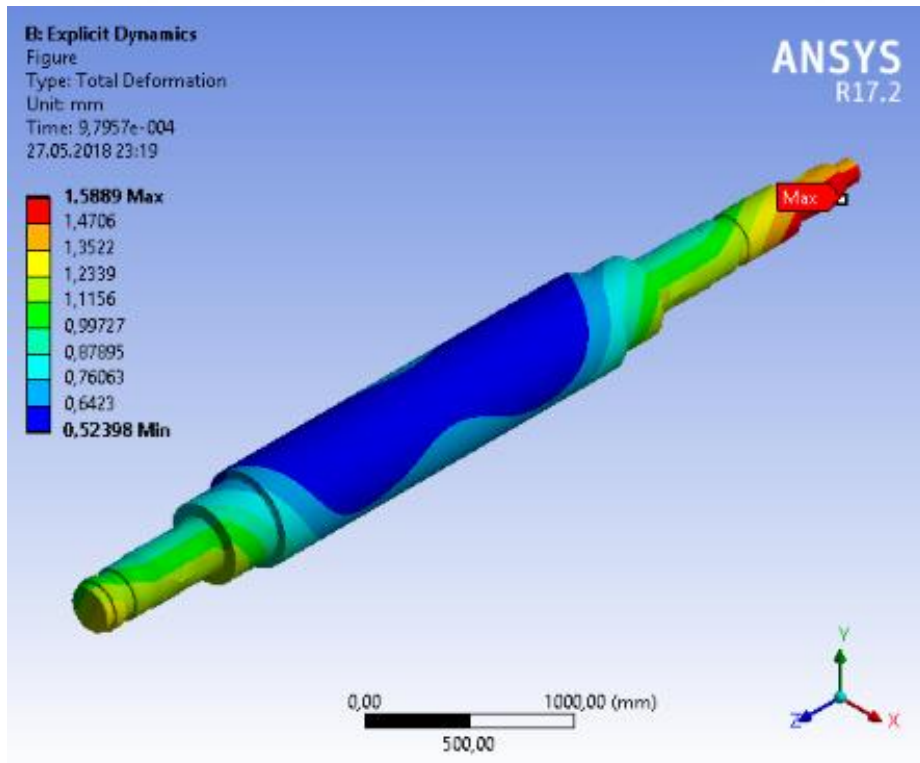


Şekil 4.7. Deformasyon verileri

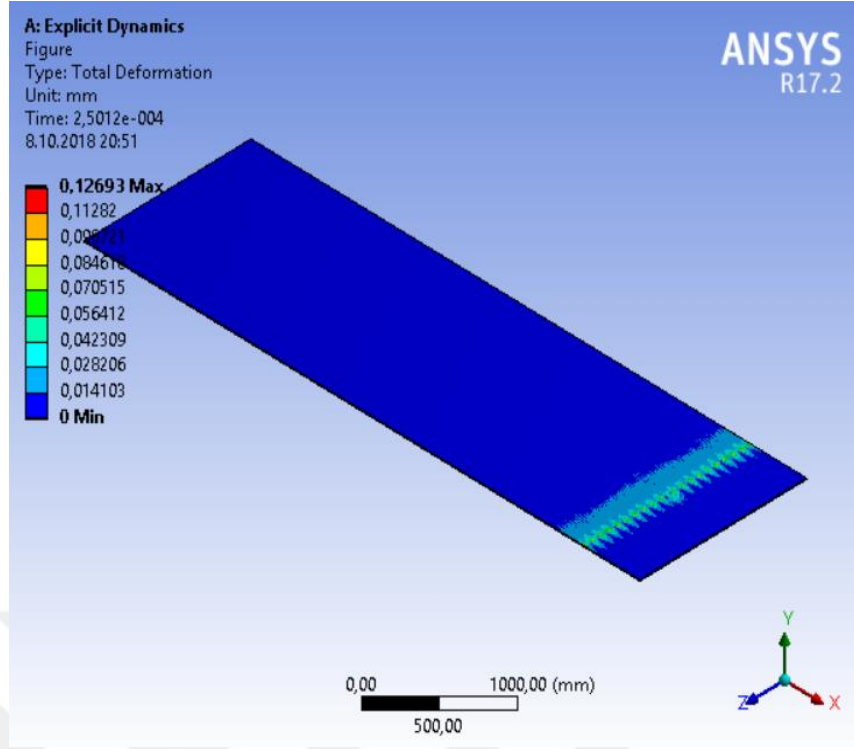
Şekil 4.8’de iş plakasının Şekil 4.9’de iş merdanesinin 30 m/dak hızla dönmesi ile meydana gelen toplam deformasyon sonuçları verilmiştir. İş parçasında meydana gelen toplam deformasyon 0,46 mm olurken, iş merdanesinde meydana gelen toplam deformasyon 1,59 mm olmuştur. Şekil 4.10 ve Şekil 4.11’da ise iş merdanesine bombe verilerek yapılan analiz sonucunda meydana gelen deformasyon verilmiştir. İş parçasında oluşan deformasyon 0,12 mm olurken, iş merdanesinde oluşan toplam deformasyon ise 0,38 mm olmuştur.



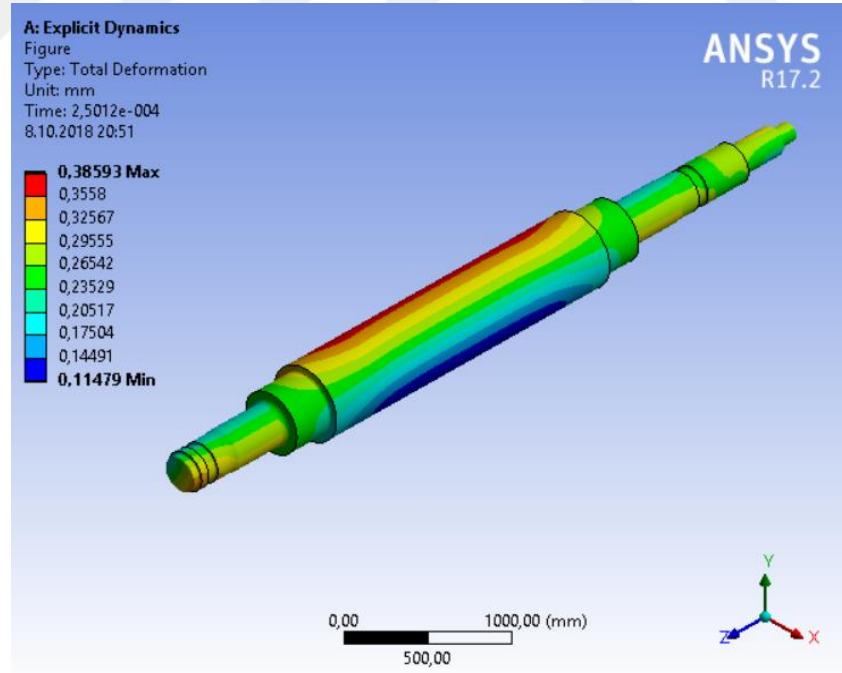
Şekil 4.8. İş parçasında meydana gelen toplam deformasyon (30m/dak).



Şekil 4.9. İş merdanesinde meydana gelen toplam deformasyon (30 m/dak).



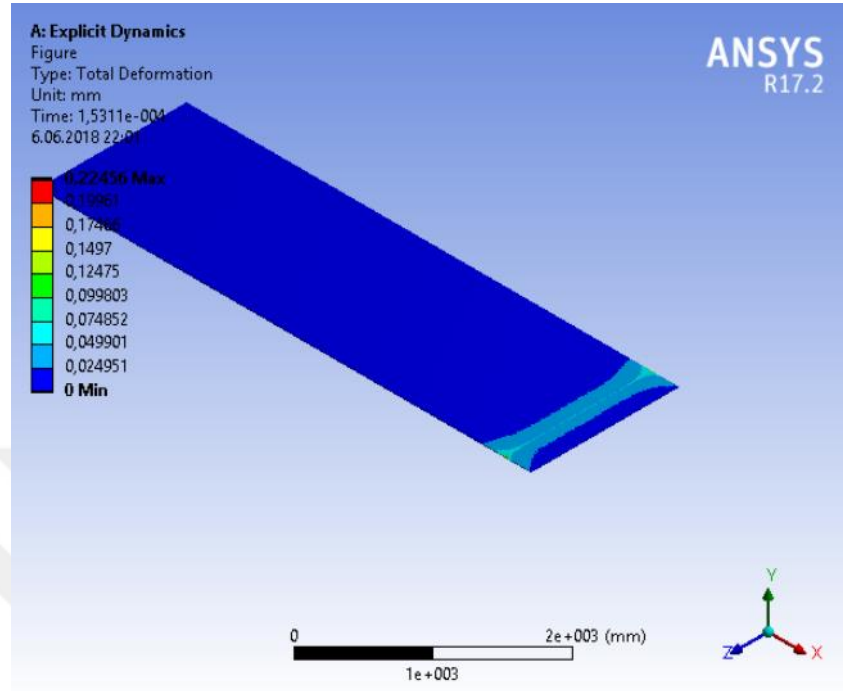
Şekil 4.10. İş merdanesine bombe verilen iş parçasında meydana gelen toplam deformasyon (30m/dak).



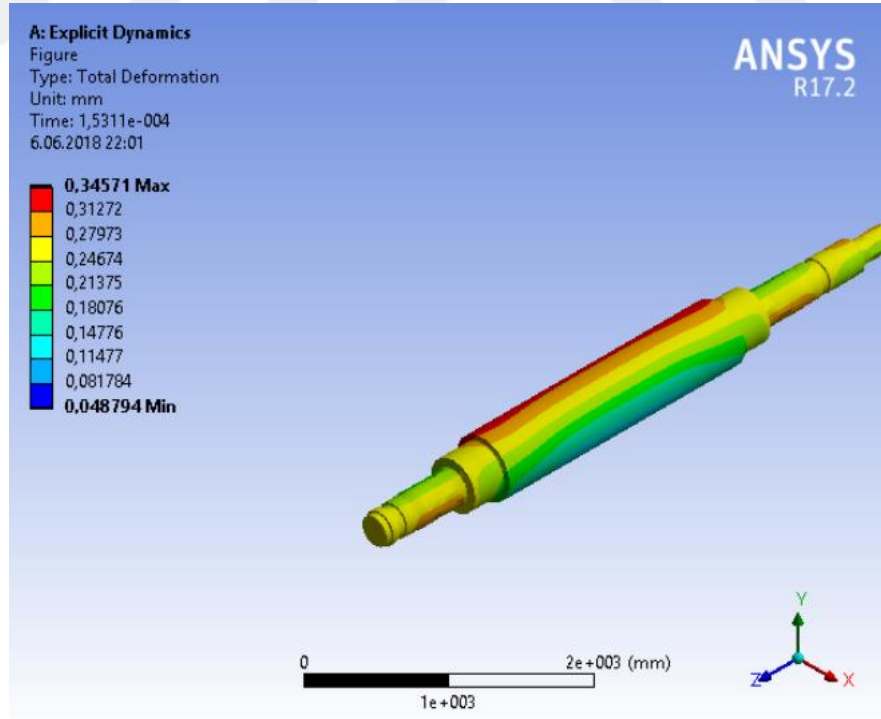
Şekil 4.11. Bombe verilen iş merdanesinde meydana gelen toplam deformasyon (30 m/dak).

Şekil 4.12’de iş plakasının Şekil 4.13’de iş merdanesinin 35 m/dak hızla dönmesi ile meydana gelen toplam deformasyon sonuçları verilmiştir. İş parçasında meydana

gelen toplam deformasyon 0,22 mm olurken, iş merdanesinde meydana gelen toplam deformasyon 0,34 mm olmuştur.



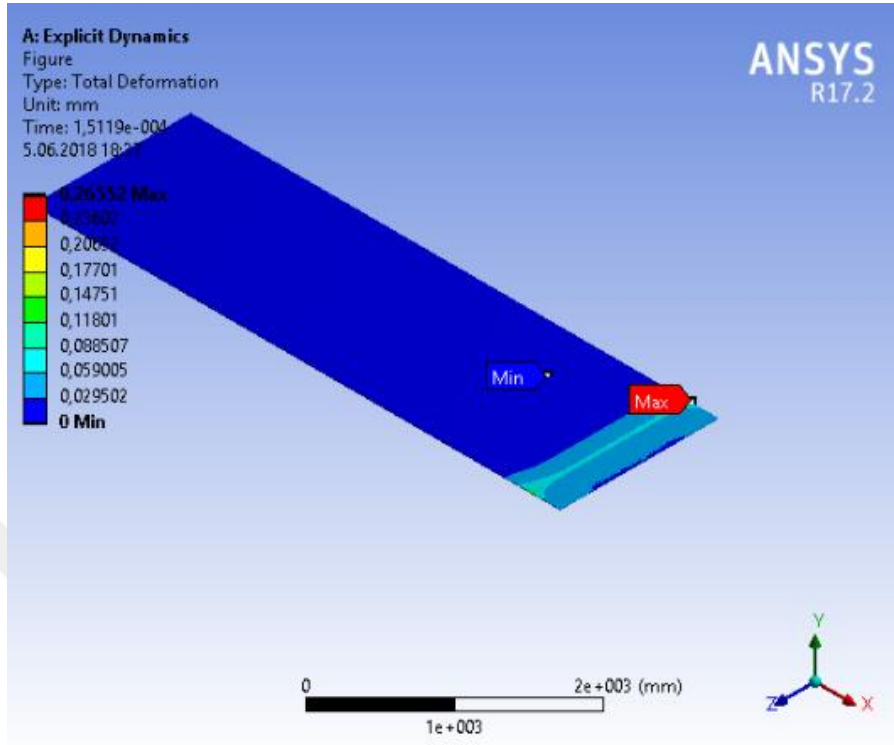
Şekil 4.12. İş parçasında meydana gelen toplam deformasyon (35 m/dak).



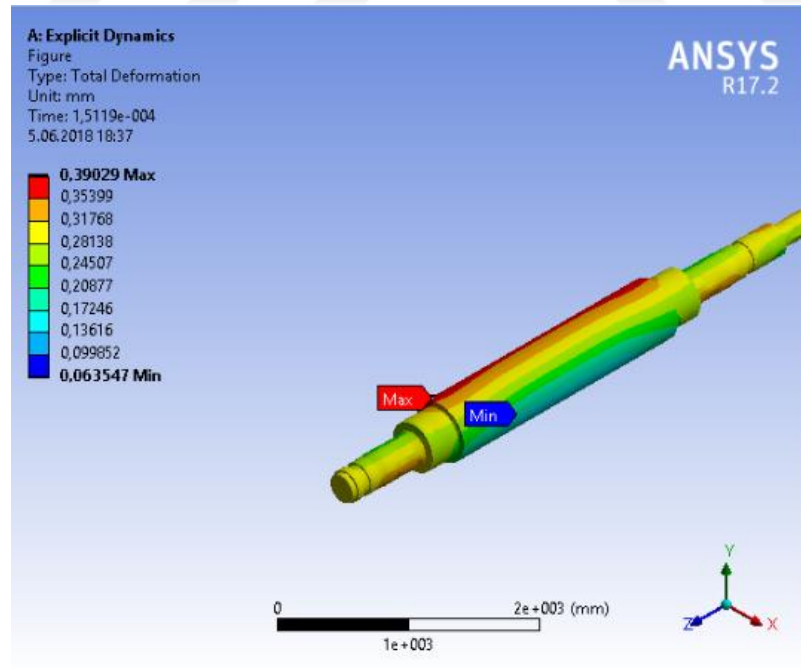
Şekil 4.13. İş merdanesinde meydana gelen toplam deformasyon (35 m/dak).

Şekil 4.14'te iş plakasının Şekil 4.15'te iş merdanesinin 40 m/dak hızla dönmesi ile meydana gelen toplam deformasyon sonuçları verilmiştir. İş parçasında meydana

gelen toplam deformasyon 0,26 mm olurken, iş merdanesinde meydana gelen toplam deformasyon 0,39 mm olmuştur.



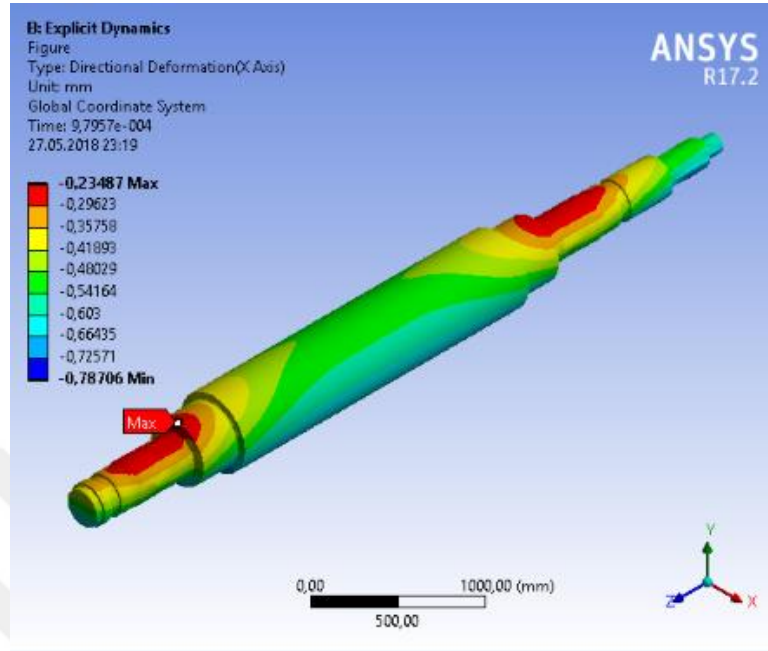
Şekil 4.14. İş parçasında meydana gelen toplam deformasyon (40 m/dak).



Şekil 4.15. İş merdanesinde meydana gelen toplam deformasyon (40 m/dak).

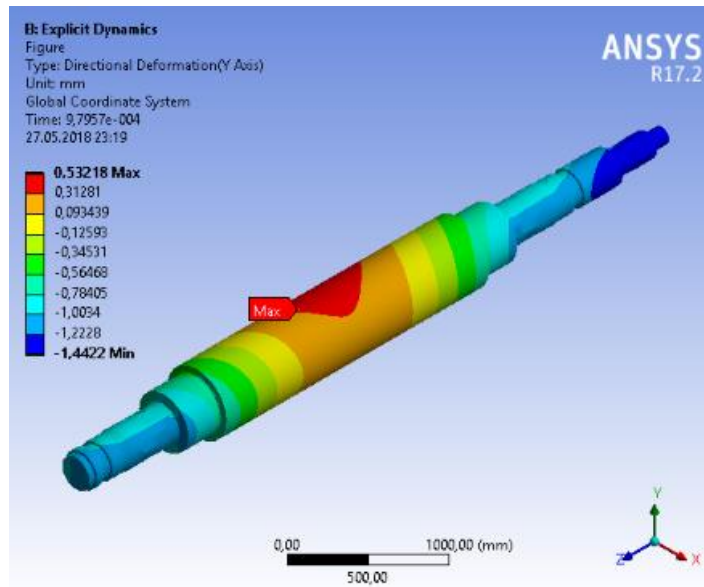
İş merdanelerinin analizleri sırasında 30 m/dak dönme hızında X ve Y eksenlerinde meydana gelen deformasyon görüntüleri Şekil 4.16 ve Şekil 4.17'da verilmiştir.

Bombe verilerek yapılan analiz sonucunda meydana gelen deformasyon sonuçları ise Şekil 4.18 ve Şekil 4.19’de verilmiştir.



Şekil 4.16. X yönünde meydana gelen toplam deformasyon (30 m/dak).

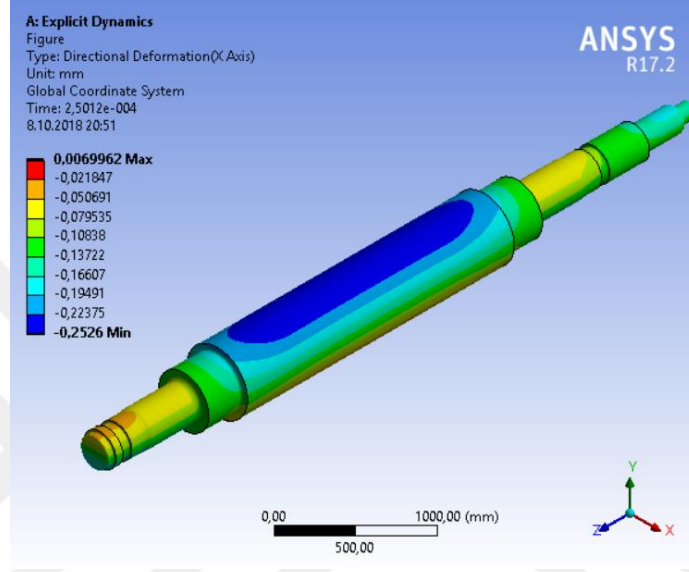
Şekil 4.16’te verilen X eksenine göre deformasyonların incelenmesinde değerlerin eksi (-) yönde olmasının nedeni seçilen koordinat düzlemine göre ters yönde meydana gelmesinden dolayıdır. Meydana gelen en büyük deformasyon değeri 0,78 mm iken minimum deformasyon değeri ise 0,23 mm olarak oluşmuştur.



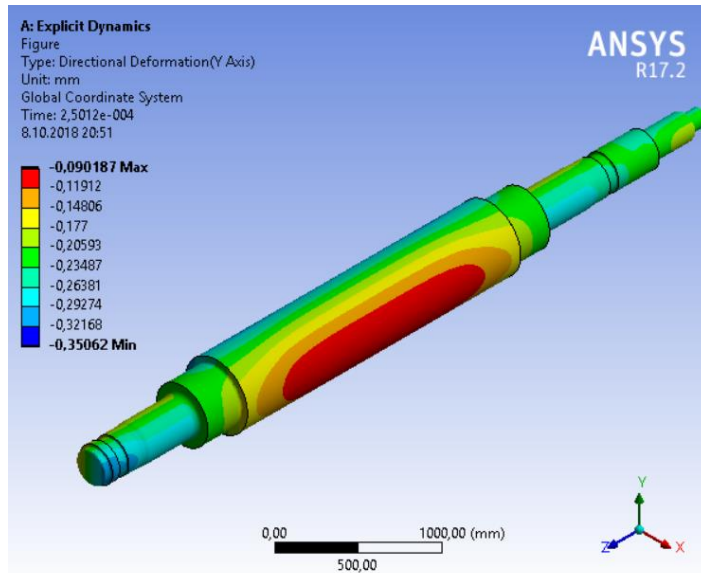
Şekil 4.17. Y yönünde meydana gelen toplam deformasyon (30 m/dak).

Y ekseninde meydana gelen deformasyon değerinin incelenmesinde meydana gelen en yüksek deformasyon değeri 0,53 mm olmuştur.

şekil 4.18 ve şekil 4.19’de verilmiş olan analiz sonularınnn incelenmesiyle X eksenini yönünde meydana gelen toplam deformasyon 0,25 mm iken Y ekseninin meydana gelen toplam deformasyon 0,35 mm olmuştur. Y ekseninde eksi (-) olarak oluşmasının nedeni bombe verilen iş merdanesindeki gibi seçilen koordinat düzlemine göre ters yönde meydana gelmesinden dolaydır.



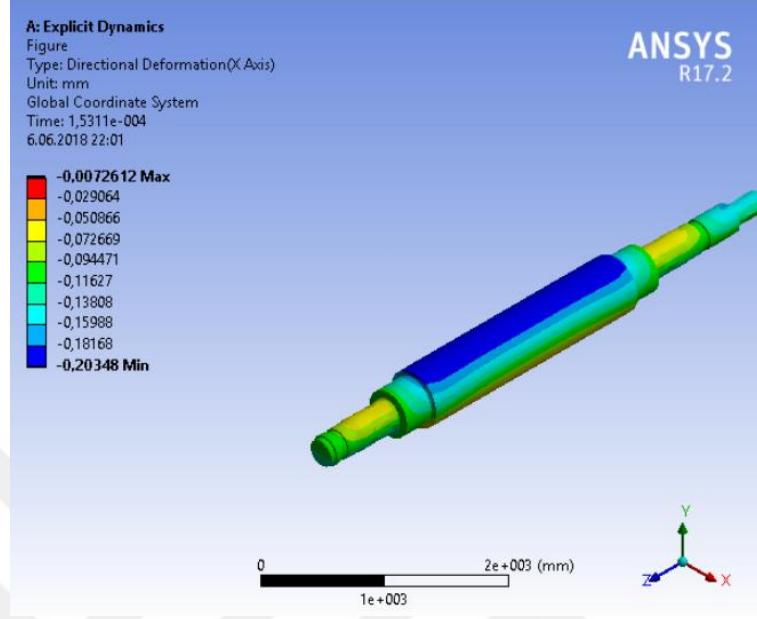
şekil 4.18. Bombe verilen iş merdanesinin X ekseninde meydana gelen deformasyon (30 m/dak).



şekil 4.19. Bombe verilen iş merdanesinin Y ekseninde meydana gelen deformasyon (30 m/dak).

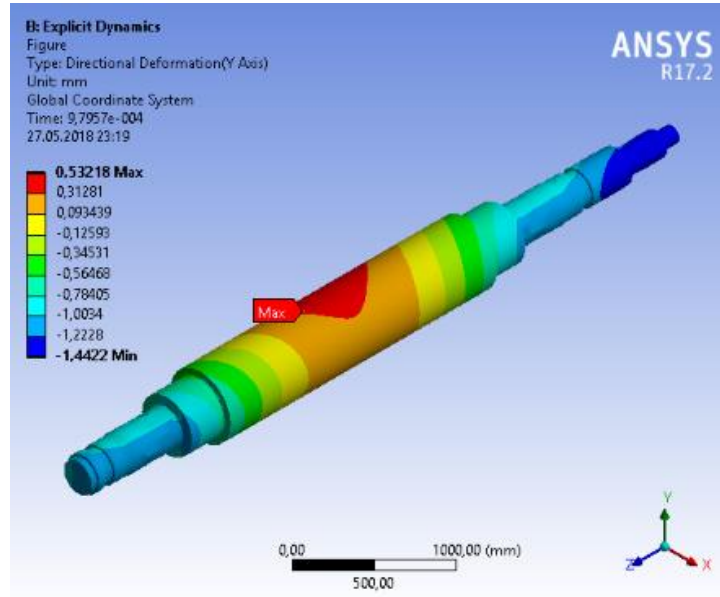


İş merdanelerinin analizleri sırasında 35 m/dak dönme hızında X ve Y eksenlerinde meydana gelen deformasyon görünüşleri Şekil 4.20 ve Şekil 4.21’de verilmiştir.



Şekil 4.20. X yönünde meydana gelen toplam deformasyon (35 m/dak).

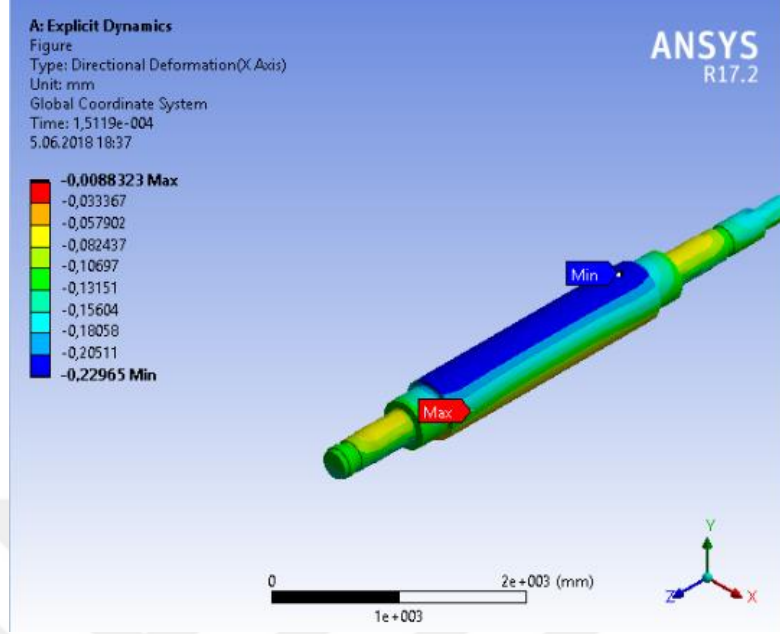
Şekil 4.20’da verilen X eksenine göre deformasyonların incelenmesinde değerlerin eksi (-) yönde olmasının nedeni seçilen koordinat düzlemine göre ters yönde meydana gelmesinden dolayıdır. Meydana gelen en büyük deformasyon değeri 0,20 mm iken en küçük deformasyon değeri ise 0,007 mm olarak oluşmuştur.



Şekil 4.21. Y yönünde meydana gelen toplam deformasyon (35 m/dak).

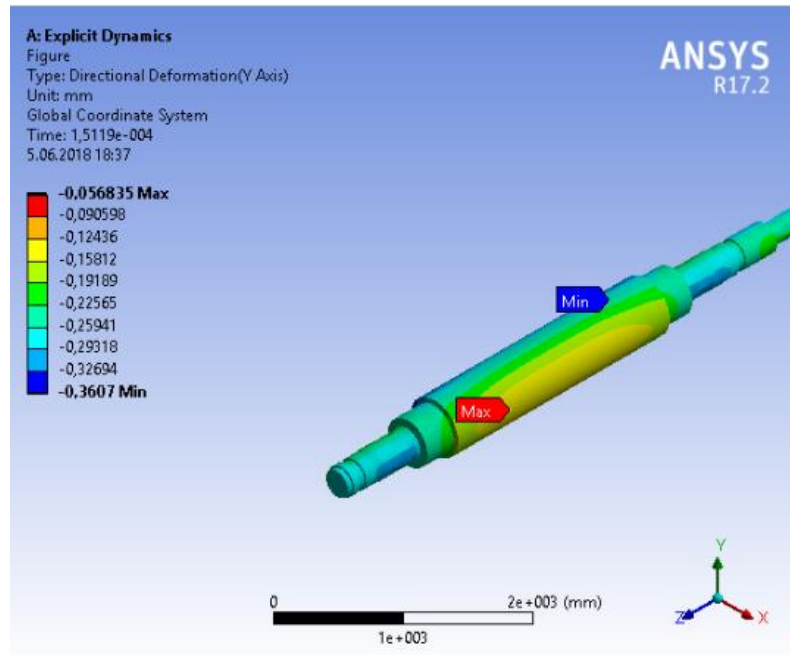


İş merdanelerinin analizleri sırasında 40 m/dak dönme hızında X ve Y eksenlerinde meydana gelen deformasyon görünüşleri Şekil 4.22 ve Şekil 4.23’de verilmiştir.



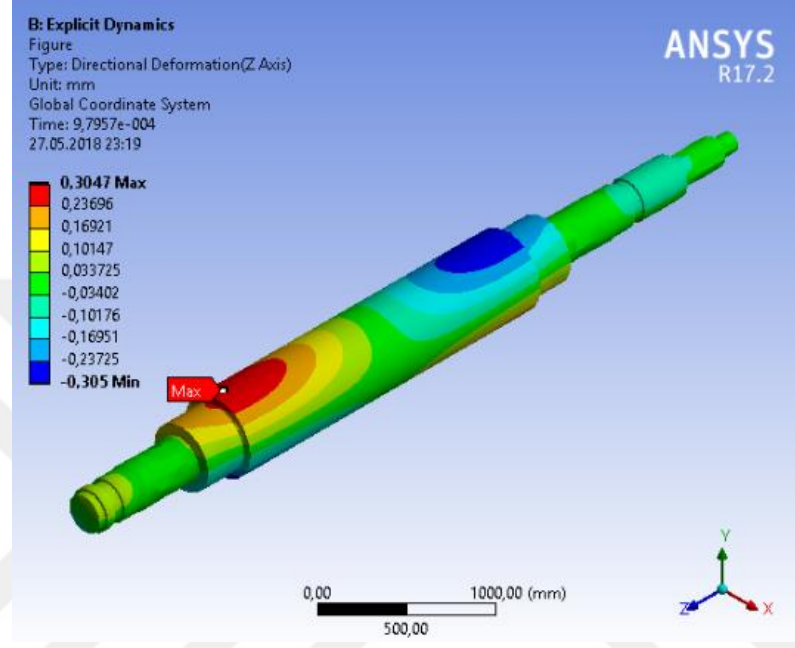
Şekil 4.22. X yönünde meydana gelen toplam deformasyon (40 m/dak).

Şekil 4.20’da verilen X eksenine göre deformasyonların incelenmesinde değerlerin eksi (-) yönde olmasının nedeni seçilen koordinat düzlemine göre ters yönde meydana gelmesinden dolayıdır. Meydana gelen en büyük deformasyon değeri 0,22 mm iken minimum deformasyon değeri ise 0,008 mm olarak oluşmuştur.

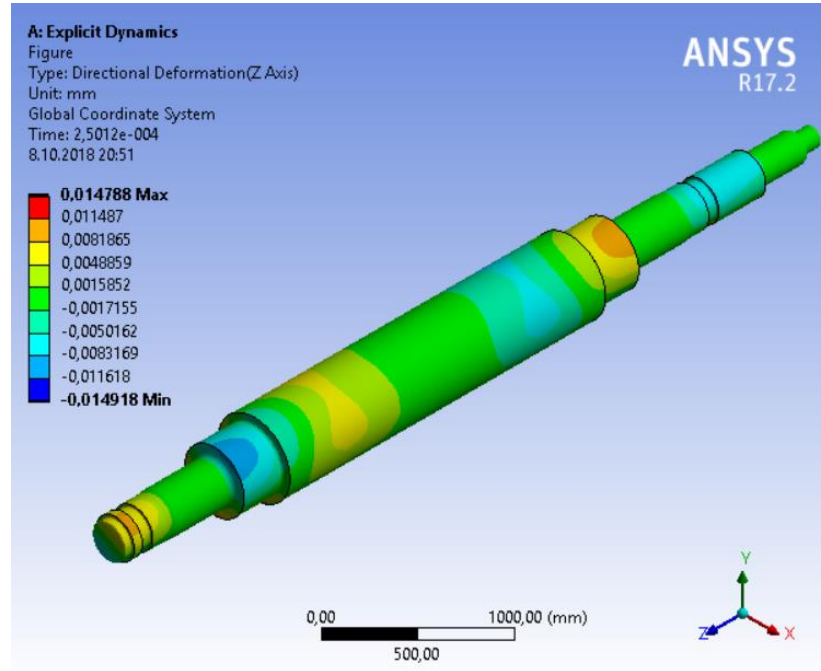


Şekil 4.23. Y yönünde meydana gelen toplam deformasyon (40 m/dak).

Malzemenin giriş ve çıkış yönü olan Z eksenindeki deformasyonu 30 m/dak dönme hızına göre Şekil 4.24'te verilmiştir. Z ekseninde meydana gelen en yüksek deformasyon değeri 0,30 mm olarak görülmektedir. İş merdanesine bombe verilerek yapılan analizin Z eksenin meydana gelen deformasyon ise Şekil 4.25'te verilmiştir. Şekil 4.25'te meydana gelen deformasyon 0,014 mm olarak görülmektedir.

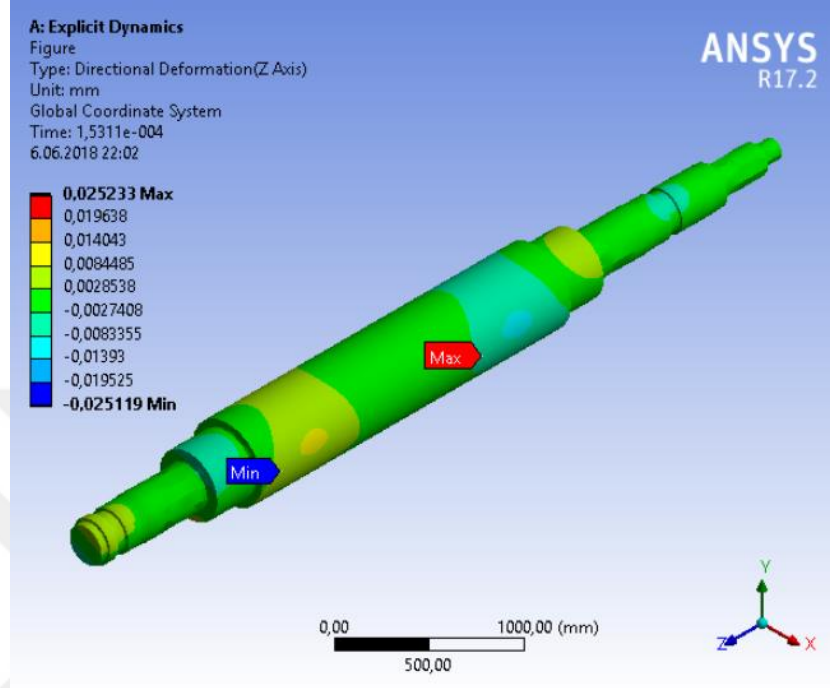


Şekil 4.24. Z yönünde meydana gelen toplam deformasyon (30 m/dak).



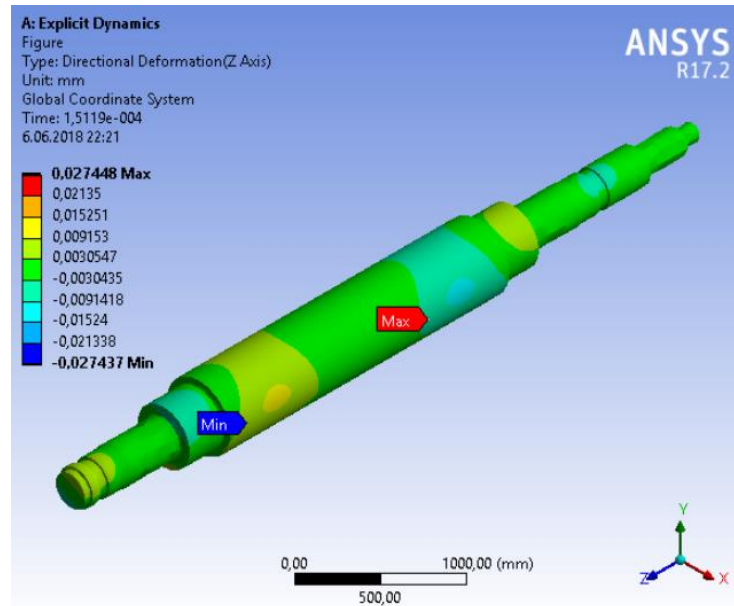
Şekil 4.25. Bombe verilen iş merdanesin Z ekseninde meydana gelen toplam deformasyon (30 m/dak).

Malzemenin giriş ve çıkış yönü olan Z eksenindeki deformasyonu 35 m/dak dönme hızına göre Şekil 4.26’te verilmiştir. Z ekseninde meydana gelen en yüksek deformasyon değeri 0,25 mm olarak görülmektedir.



Şekil 4.26. Z yönünde meydana gelen toplam deformasyon (35 m/dak).

Malzemenin giriş ve çıkış yönü olan Z eksenindeki deformasyonu 40 m/dak dönme hızına göre Şekil 4.27’da verilmiştir. Z ekseninde meydana gelen en yüksek deformasyon değeri 0,02 mm olarak görülmektedir.



Şekil 4.27. Z yönünde meydana gelen toplam deformasyon (40 m/dak).

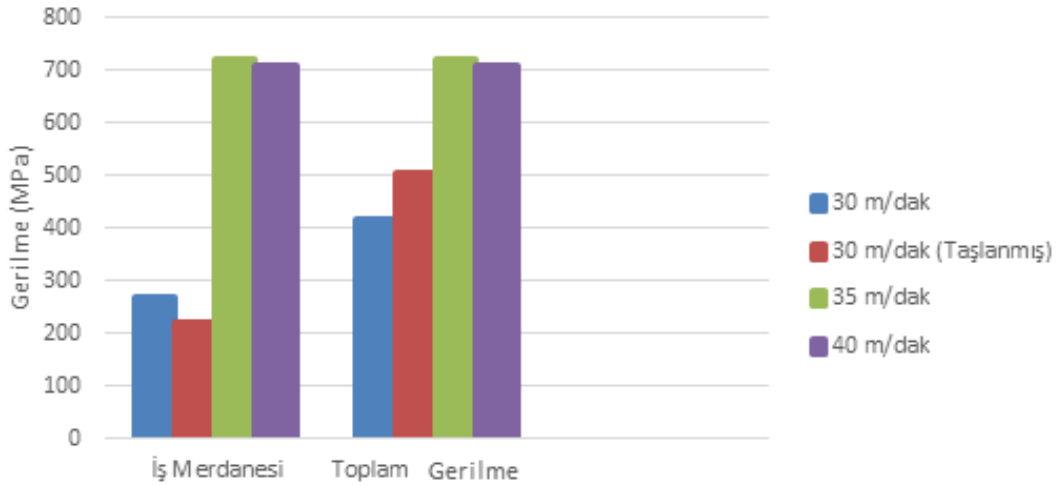
## 4.2. Gerilmelerin İncelenmesi

Çizelge 4.3 de iş merdanesi üzerinde meydana gelen gerilmeler verilmiştir.

Çizelge 4.3. Gerilme verileri.

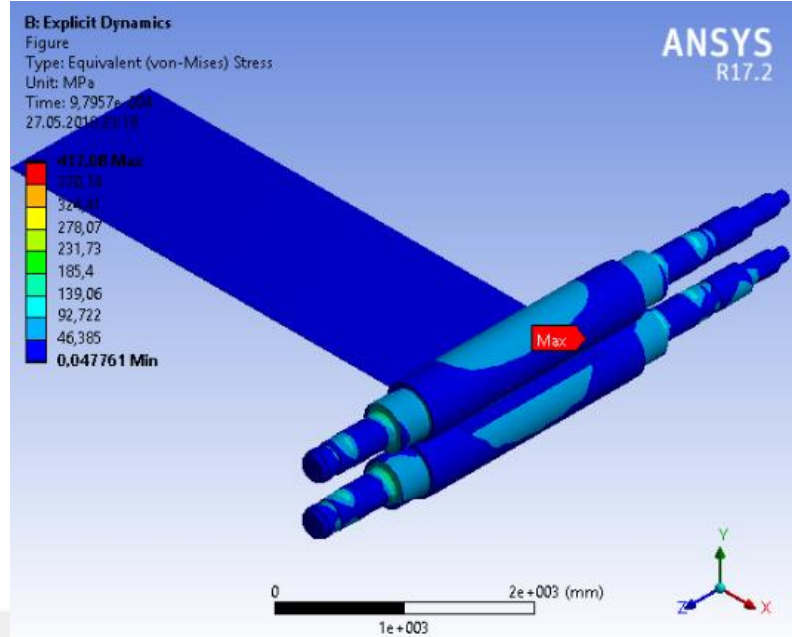
Gerilmeler (MPa)		
Dönme Hızı (m/dak)	İş Merdanesi	Toplam
30	268,77	417,08
30 (Bombeli Merdane)	221,71	503,79
35	722,37	722,37
40	709,01	709,01

Şekil4.28 de gerilmeler grafiksel olarak gösterilmiştir.

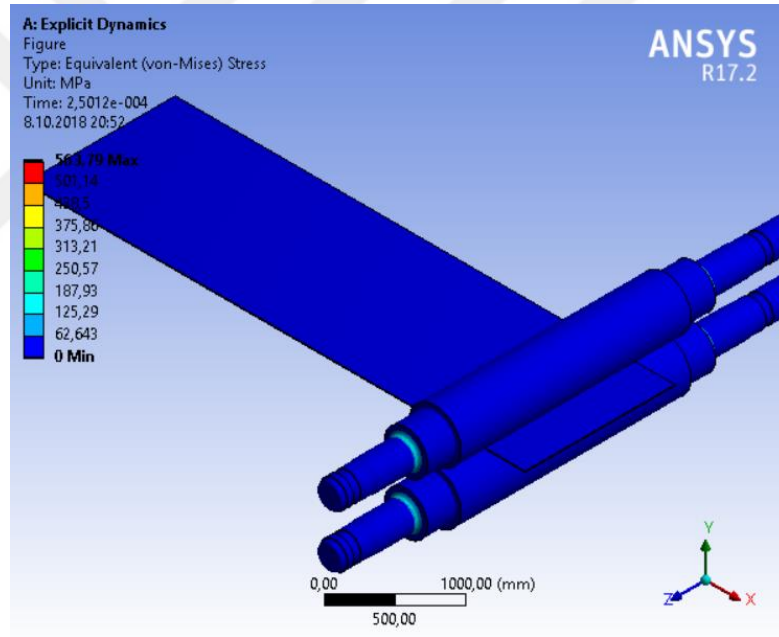


Şekil 4.28. Gerilme verilerinin grafiksel gösterimi

Gerilmelerin analizinde eşdeğer gerilmeler (Equivalent (Von Mises) Stress) ve emniyet faktörlerinin değerleri de incelenmiştir. Sistemde ve iş merdanesinde meydana gelen eş değer gerilmeler 30 m/dak dönme hızında Şekil 4.29 ve Şekil 4.31’de verilmiştir. Emniyet faktörü değerlerinin görünümü ise Şekil 4.33 ve Şekil 4.35’te verilmiştir. Bombe verilen iş merdanesinin bulunduğu sistemin ve iş merdanesinin eş değer gerilmeleri Şekil 4.30 ve Şekil 4.32’de verilmiştir. Emniyet faktörü değerleri ise Şekil 4.34 ve Şekil 4.36’te verilmiştir.

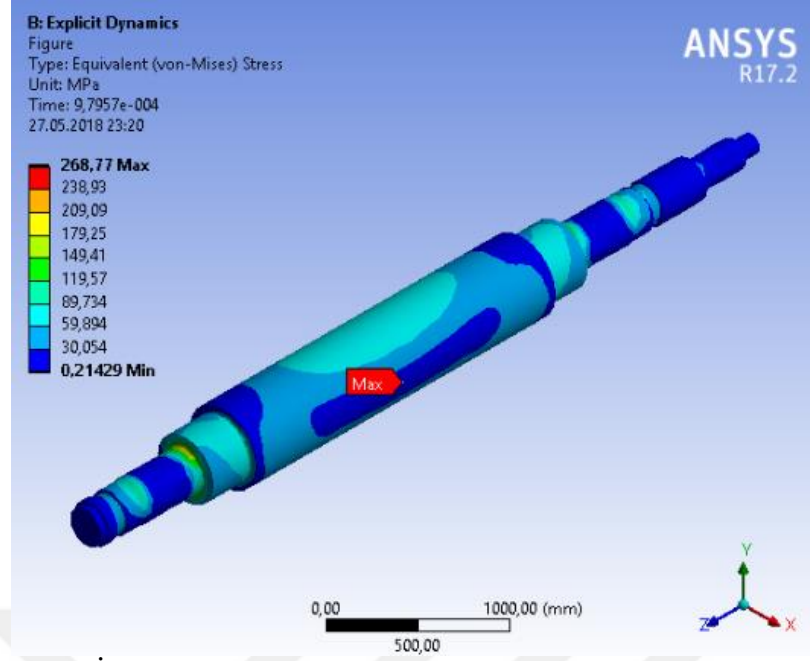


Şekil 4.29. Analiz esnasında merdane sistemindeki eş değer gerilme (30 m/dak).

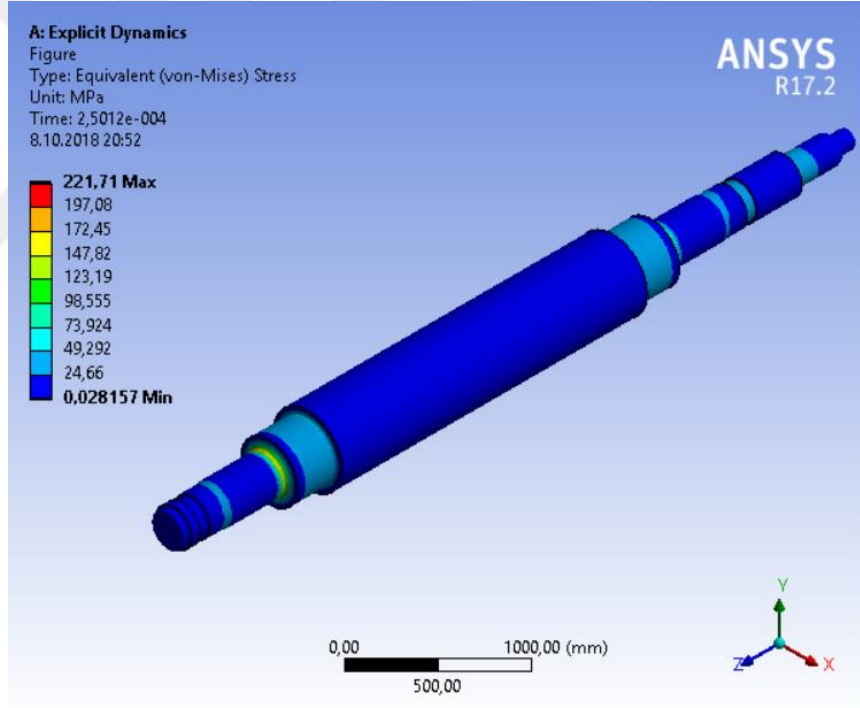


Şekil 4.30. Bombe verilen iş merdanesine sahip sistemin eş değer gerilmesi (30 m/dak).

Şekil 4.29'deki merdane sisteminin analizi incelendiğinde meydana gelen yüksek gerilmenin 417,08 MPa en düşük eş değer gerilmenin ise 0,047 MPa olarak gerçekleştiği görülmektedir. Şekil 4.28'de ise en yüksek gerilmenin 503,79 MPa en düşük gerilmenin ise 62,64 MPa olarak gerçekleştiği görülmektedir. Ayrıca analizin incelenmesi ile yatak içerisinde bulunan merdane muylularının da kesilmeye çalışıldığı görülmektedir.



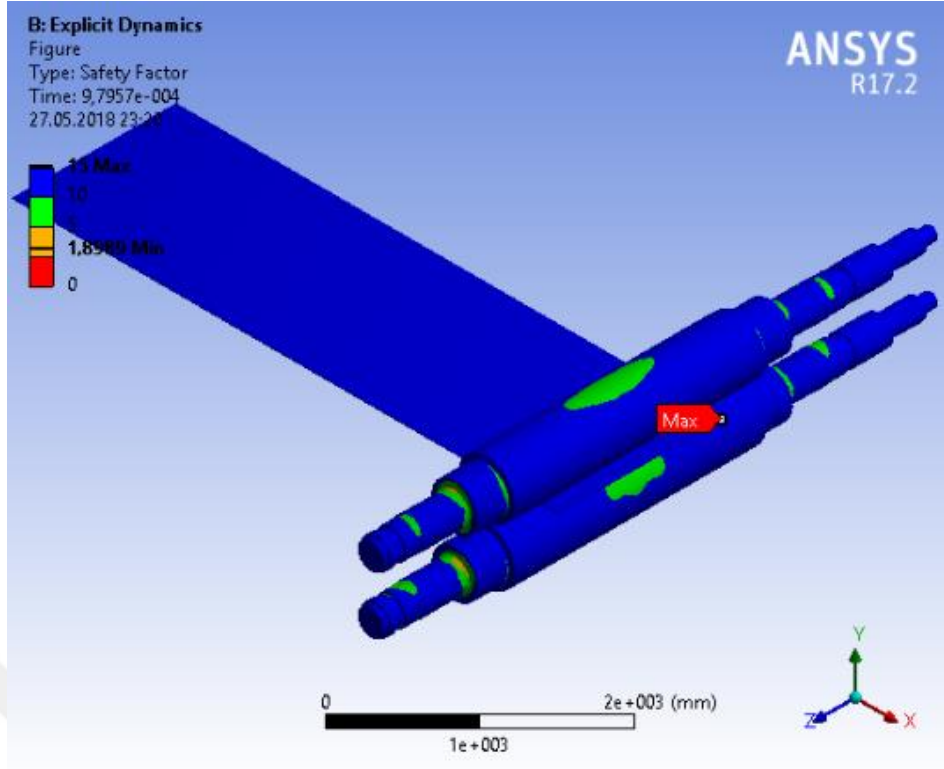
Şekil 4.31. İş merdanesinde meydana gelen eş değer gerilme (30 m/dak).



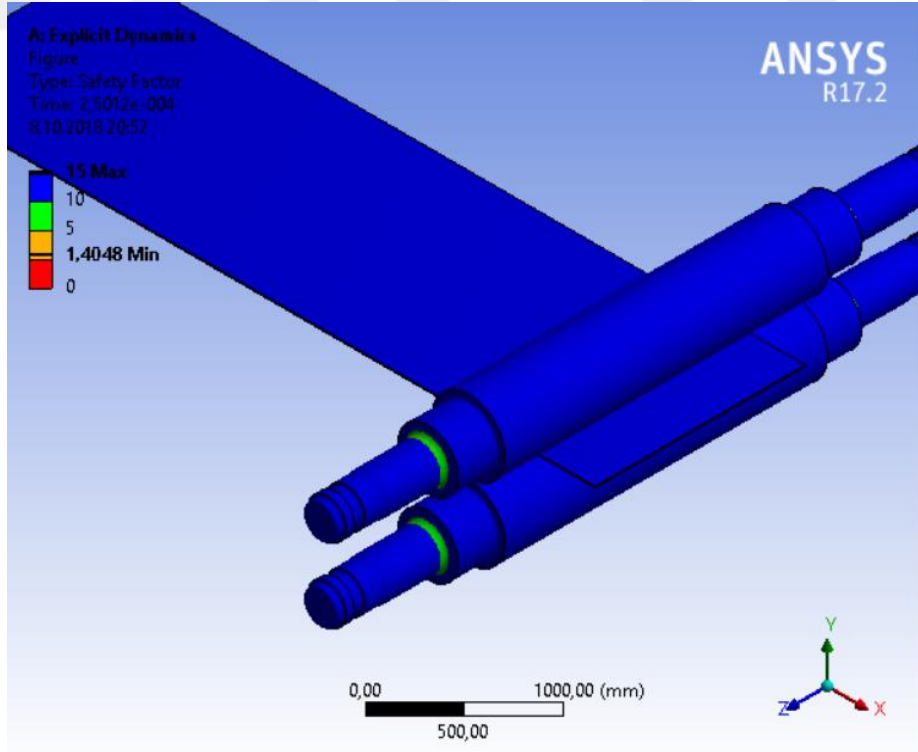
Şekil 4.32. Bombe verilen iş merdanesinde meydana gelen eş değer gerilme (30 m/dak).

İş merdanesinin yataklarında meydana gelen yükler özellikle inceleme konusudur. Şekil 4.31'deki analiz sonucunun incelenmesi ile meydana gelen en yüksek eş değer gerilmenin 268,77 MPa olduğu en düşük eş değer gerilmenin ise 0,21 MPa olduğu görülmektedir. Şekil 30'da yapılan incelemeyle en yüksek eş değer gerilmenin 221,71 MPa en düşük eş değer gerilmenin ise 0,028 MPa olarak görülmüştür.

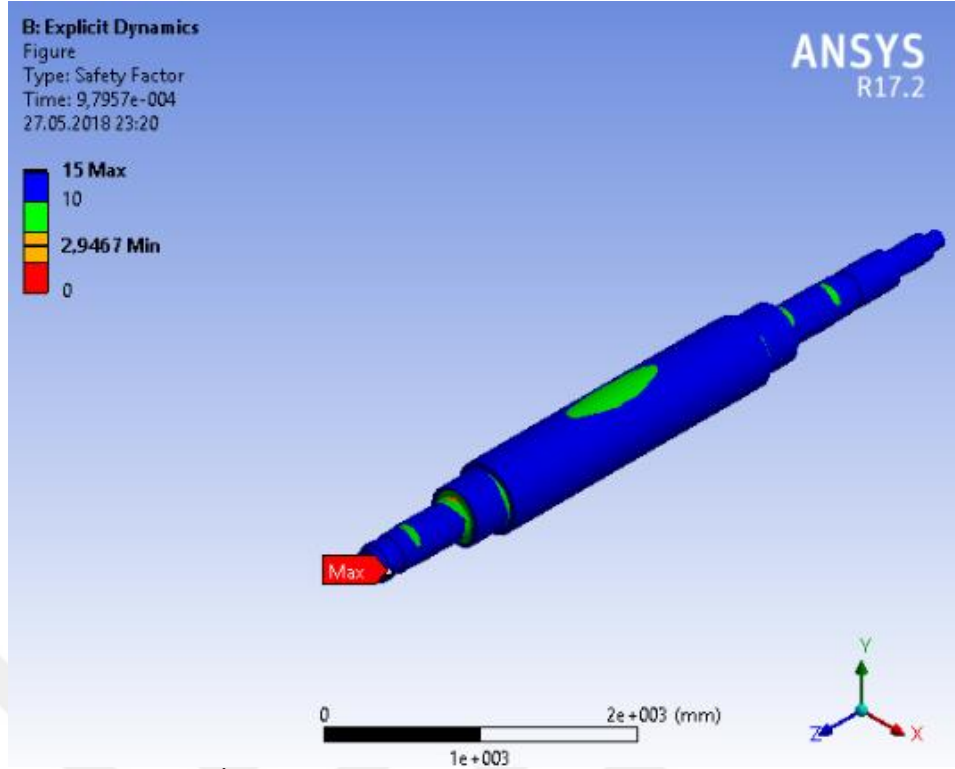




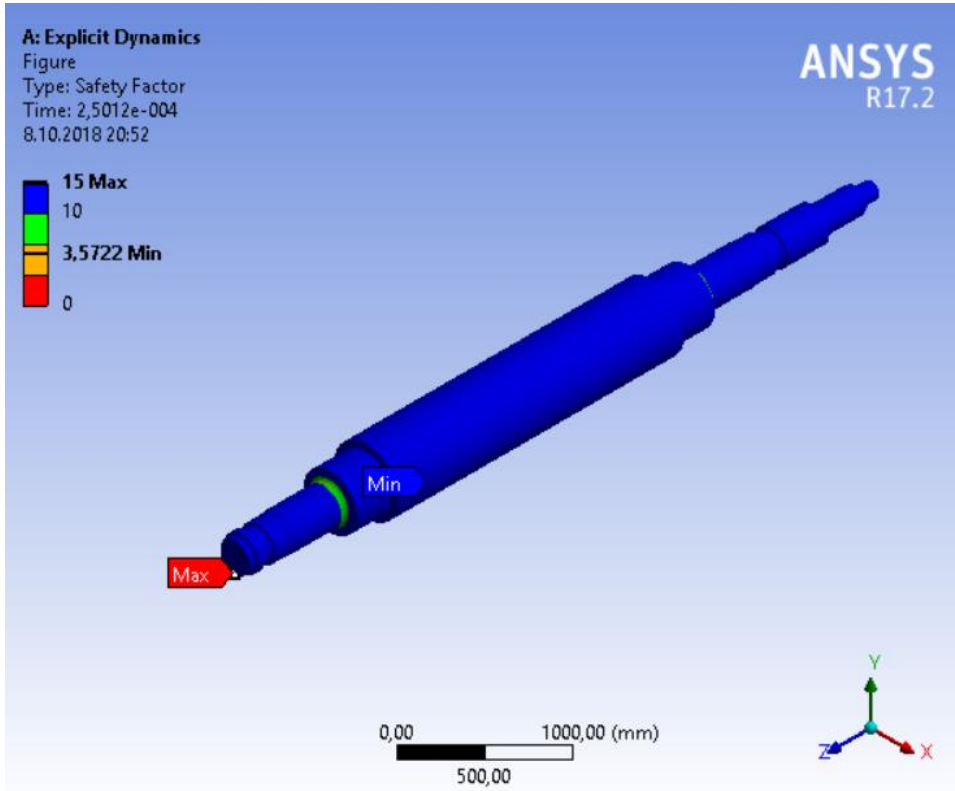
Şekil 4.33. Merdane sisteminde gerilme emniyeti faktörü (30 m/dak).



Şekil 4.34. Bombe verilen iş merdanesi sistemindeki gerilme emniyeti faktörü (30 m/dak).



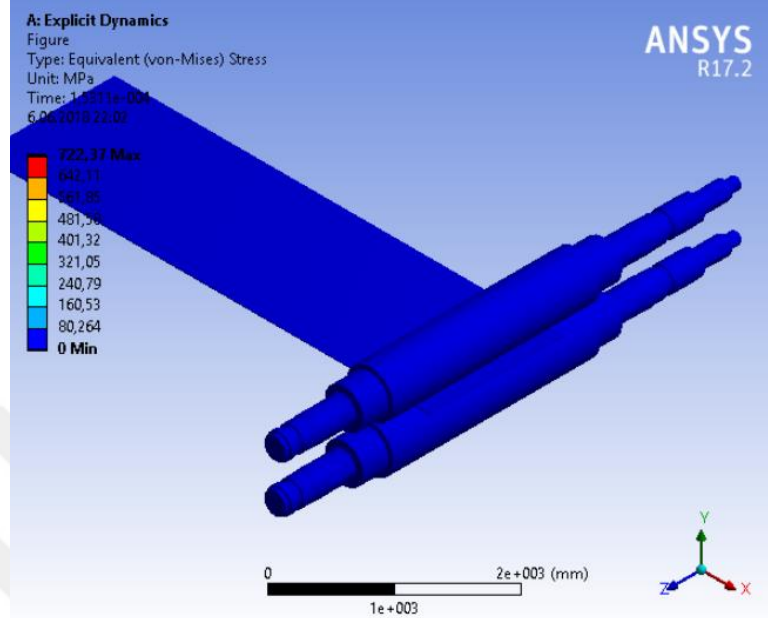
Şekil 4.35. İş merdanesinin gerilme emniyet faktörü (30 m/dak).



Şekil 4.36. Bombe verilen iş merdanesinin gerilme emniyet faktörü (30 m/dak).

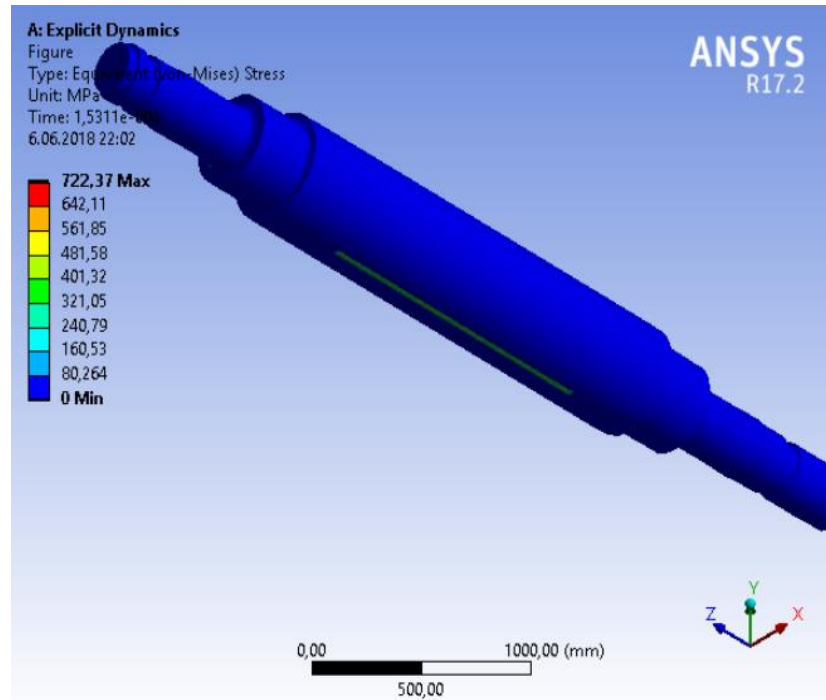


İş merdanesinde ve plakada meydana gelen eş değer gerilmeler 35 m/dak dönme hızında Şekil 4.37 ve Şekil 4.38’de verilmiştir. Emniyet faktörü değerlerinin görünümü ise Şekil 4.39 ve Şekil 4.40’de verilmiştir.



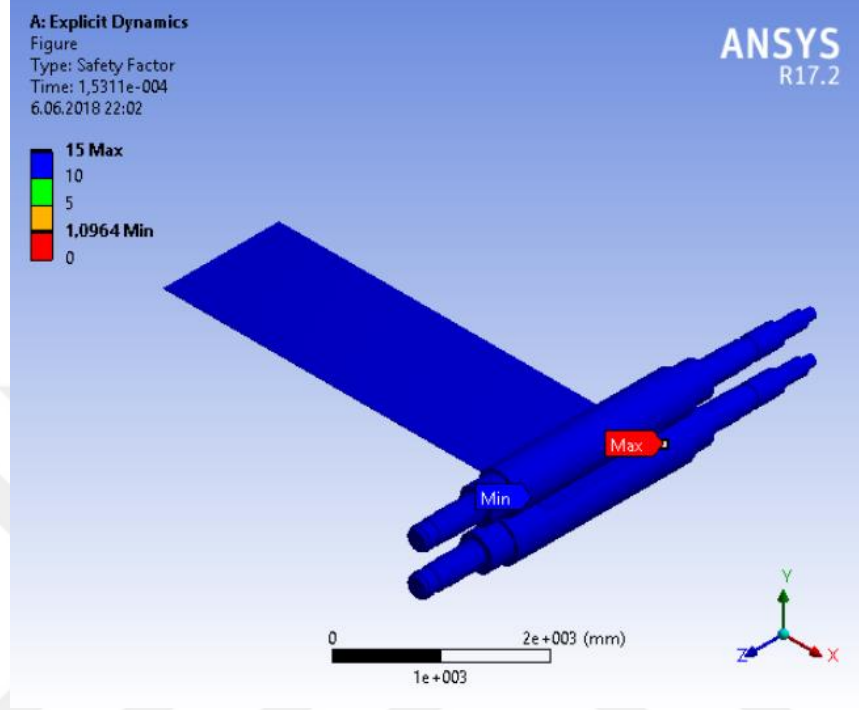
Şekil 4.37. Analiz esnasında merdane sistemindeki eş değer gerilmeler (35 m/dak).

Şekil 4.37’teki merdane sisteminin analizi incelendiğinde meydana gelen yüksek gerilmenin 722,37 MPa olarak gerçekleştiği görülmektedir.

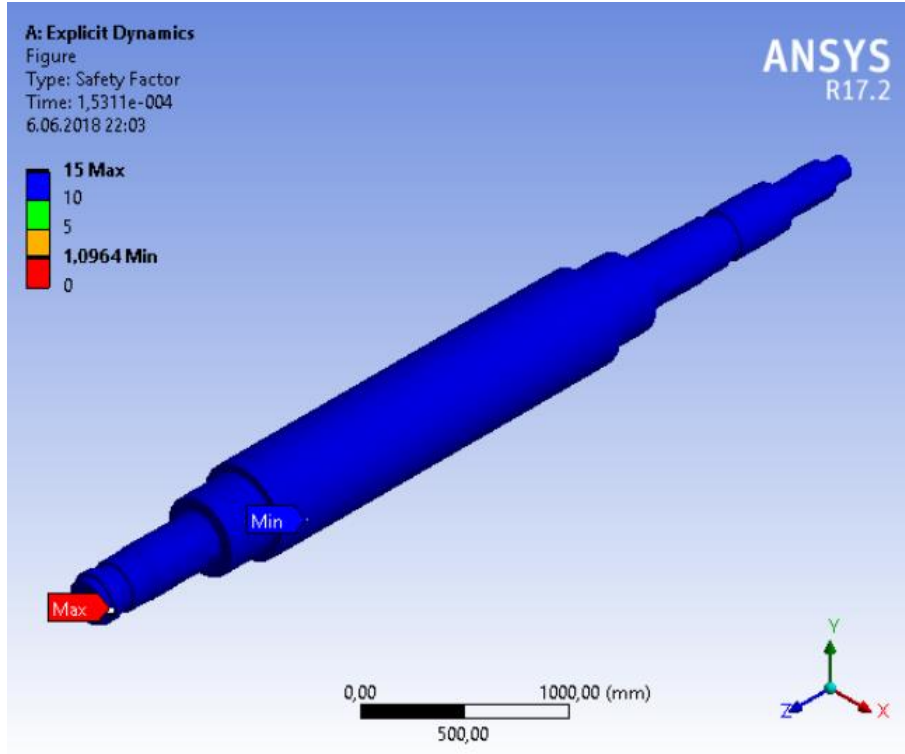


Şekil 4.38. İş merdanesinde meydana gelen eş değer gerilme (35 m/dak).

İş merdanesinin yataklarında meydana gelen yükler özellikle inceleme konusudur. Şekil 4.38'deki analiz sonucunun incelenmesi ile meydana gelen en yüksek eş değer gerilmenin 722,37 MPa olduğu görülmektedir.

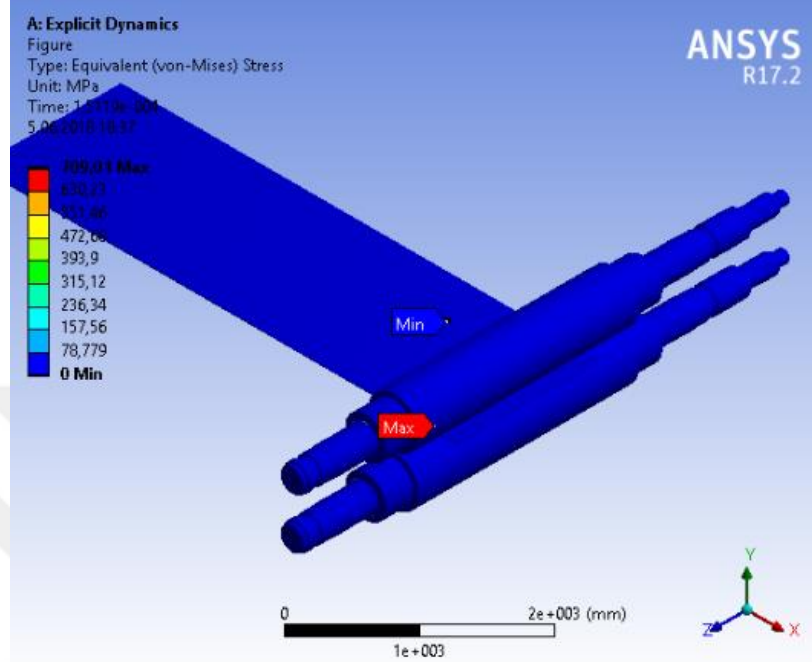


Şekil 4.39. Merdane sisteminde gerilme emniyeti faktörü (35 m/dak).



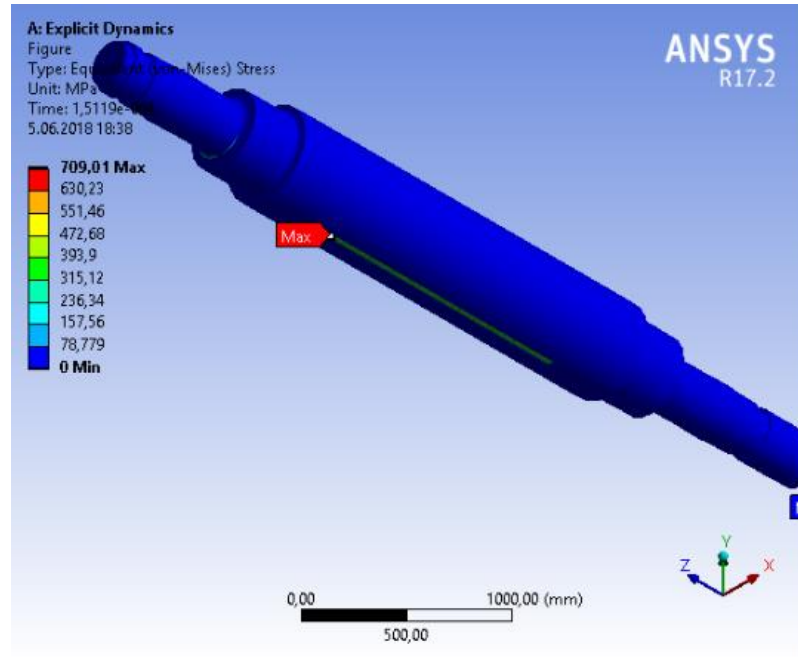
Şekil 4.40. İş merdanesinin gerilme emniyet faktörü (35 m/dak).

İş merdanesinde ve plakada meydana gelen eş değer gerilmeler 40 m/dak dönme hızında Şekil 4.41 ve Şekil 4.42’te verilmiştir. Emniyet faktörü değerlerinin görünümü ise Şekil 4.43 ve Şekil 4.44’de verilmiştir.



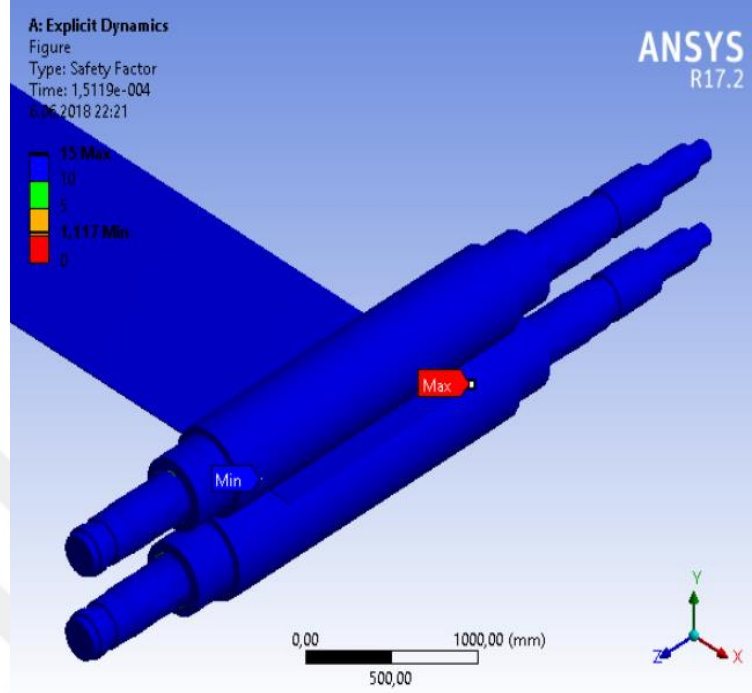
Şekil 4.41. Analiz esnasında merdane sistemindeki eş değer gerilmeler (40 m/dak).

Şekil 4.41’deki merdane sisteminin analizi incelendiğinde meydana gelen yüksek gerilmenin 709,01 MPa olarak gerçekleştiği görülmektedir.

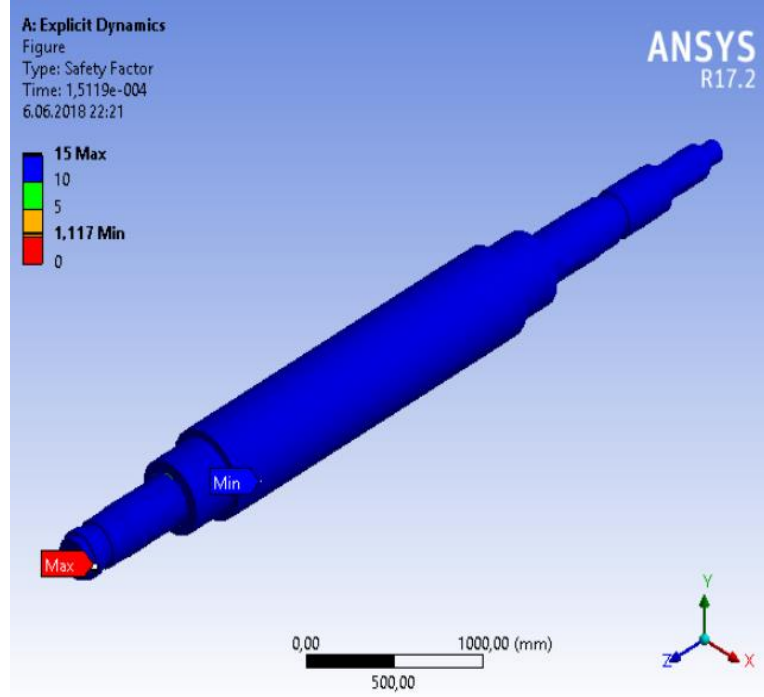


Şekil 4.42. İş merdanesinde meydana gelen eş değer gerilme (40 m/dak).

İş merdanesinin yataklarında meydana gelen yükler özellikle inceleme konusudur. Şekil 4.42’teki analiz sonucunun incelenmesi ile meydana gelen en yüksek eş değer gerilmenin 709,01 MPa olduğu görülmektedir.



Şekil 4.43. Merdane sisteminde gerilme emniyeti faktörü (40 m/dak).



Şekil 4.44. İş merdanesinin gerilme emniyet faktörü (40 m/dak).

## 5. SONUÇ

Yassı metal ürününün üretilmesi ve istenilen kalınlığa getirilmesi için gerçek koşullarda sıralı haddeme sistemleri kullanılarak metal blokları düzenli bir şekilde bir hadde üzerinden diğer bir hadde üzerine çekilmektedir. Yani hadde merdaneleri tarafından gerilmelere maruz bırakılarak yapılmaktadır. Ayrıca metal bloğun merdanelere sevk edilmesi döner miller ile yapılmaktadır. Yapılan analiz değerlendirmelerinde hammaddeyi ileten döner milli masaların gerilmesi ve sevk etmesi analizlere etki etmeyeceğinden dolayı dikkate alınmamıştır. Analizler hadde merdanelerinin yatay konumlandırması yapılarak, yatay ve düşey yükler etkisi altında farklı hat hızlarında yapılmıştır. Deformasyon ve gerilme değerleri incelendiğinde hat hızının 30 m/dak olduğu analizde iş parçasındaki en yüksek deformasyonun gerçekleştiği görülmektedir. Bu veriler ile tam ters orantılı olarak hat hızı 35m/dak ve 40 m/dak olacak şekilde arttırıldığında deformasyonda bir düşüş görülürken, iş merdanesinde meydana gelen gerilmelerde artış buna paralel olarak da emniyet faktöründe düşüş görülmektedir. Veriler bombeli merdane ile yapılan çalışmada incelendiğinde hat hızının düşük olması merdanede meydana gelen deformasyonlarda ters orantılı olarak bir düşüş eğilimindedir. Aynı zamanda iş merdanesinde meydana gelen gerilmenin merdaneye bombe verildiğinde en düşük değerde olduğu görülmektedir.

Sonuç olarak hat hızında meydana gelen anlık değişimler iş parçasındaki deformasyon değerlerini ve merdaneler üzerindeki gerilmeleri direk etkilemektedir. Merdanelerde meydana gelen anlık gerilim farklarının sürekliliği merdane yüzeylerinde atmalar, yüzeysel çatlaklar gibi merdane kusurlarına neden olabilmektedir. Bu tip durumlar merdanenin yüzey taşlanması ya da değişimine kadar giden maliyetleri doğurmaktadır. Günümüzde kullanılan son teknoloji sistemlerde bile hat üzerindeki malzeme işleme hızı ve buna benzer değişken parametrelerin kontrolleri operatörler tarafından ayarlanmaktadır. Bu çalışmada görüldüğü gibi parametre değişiklikleri tüm sistemdeki düzeni etkilemektedir. Bu durum ile ortaya çıkan muhtemel sistem kusurları insan faktörünün göz ardı edilmemesi gerektiğini göstermektedir.

## KAYNAKLAR

1. "American Steel" Erişim adresi: <https://americansteel.com/what-is-a-rolling-mill/>, Erişim Tarihi: 10.02.2018.
2. "American Steel" Erişim adresi: <https://americansteel.com/rolling-mill-history/>, Erişim Tarihi: 10.02.2018.
3. Çelik, B., Yassı mamul üreten entegre demir çelik tesislerinde minimill uygulamaları, Demir-Çelik sektöründe üretim teknolojileri ve uygulamaları, Zonguldak, 2001.
4. Topbaş, C., Yassı çelik haddelemede kullanılan sıcak şerit haddehane hadde merdanelerinin aşınma parametrelerinin optimizasyonu ile servis ömürlerinin uzatılması, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2015.
5. Schindler, I., Ruzs, S., Kubina, T., Rolling, Academic materials for the metallurgical engineering study programme at the faculty of metallurgy and materials engineering, Technical University of Ostrava, Ostrava, 2015.
6. Çevik, B., Demir çelik sektörü, Türkiye İş Bankası, 2017.
7. Weyand, G., Habitzki, K., Heisterkamp, P., New backup roll grade for skinn pass mills, 53 rd Rolling, Rio de Janeiro, 2016.
8. Timings, R., Fabrication and welding engineering, Elsevier, 2008.
9. Bach, F., W., Roßberg, A., Scha"perko"tter, M., Schaper, M., Walden, L., Weber, J., Today's sheet metal materials and their forming properties, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co, 2004.
10. Kalpakjian, S., Schmid, S., R., Hamidon, M., Manufacturing engineering and technology Six Edition, Pearson, 2013.
11. Kayalı, E., Plastik şekil verme ilke ve uygulamaları, Bilim Teknik Yayınevi, İstanbul, 2000.
12. Groover, M.P., Fundamentals of modern manufacturing, John Wiley & Sons, INC., New Jersey, 2010.
13. Beer, F., P., Russell, J., John, J., R., Dewolf, T., Mechanics of materials, The McGraw-Hill Companies, 2002.
14. Köseoğlu, M.S., Yassı çelik haddeleme işleminde merdane yük

- parametrelerinin incelenmesi ve merdane konumlandırma, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak, 2008.
15. Bobbili, R., Madhu, V., Gogia, A., Tensile behaviour of aluminium 7017 alloy at various temperatures and strain rates, *J. Mater Res. Technol.*, 190(5), 2016.
  16. Çavuşoğlu, O., Sac metal şekillendirmede işlemlerinde pres hızı ve malzemenin şekillendirmeye etkilerinin deneysel ve teorik olarak incelenmesi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 2013
  17. Taylor, G., Francis, G., *Metal cutting theory and practice*, LLC, 2016.
  18. Shouckry, A.S., *Metal cutting and plasticity theory*, Elsevier Sequoia S.A., Lausanne.
  19. Oxley, P. L. B., *Mechanics of metal cutting*, *Int. J. Mach. Tool Des. Res.*, 1, 8947, 1961.
  20. Altan, T., Tekkaya, E., *Sheet metal forming fundamentals*, ASM International, 2012.
  21. Taşdemir, V., Derin çekme işlemi üzerine kalıp geometrisinin etkisinin sonlu elemanlar analizi, *KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16(1), 2013.
  22. Tyne, C.J.V., *Design of forming processes: bulk forming*, Colorado School of Mines.
  23. Repalle, J., Grandhi, R.V., Reliability-based preform shape design in forging, *Meth. Engng.*, (21), 607-617, 2005.
  24. Saniee, F. F., The effects of flash allowance and bar size on forming load and metal flow in closed die forging, Elsevier, 2006.
  25. Hocksell, O., New low-carbon steel for hot, warm, or cold forging, *Advanced Engineering Materials*, 2(5), 2000.
  26. Yelkenci, O., Ekstrüzyonda matris dizaynına ilişkin karakteristiklerin işlem üzerindeki etkileri, Yıldız Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul 1995.
  27. Hassan, A.K.F., Hashim, A.S., Three dimensional finite element analysis of wire drawing process, *Universal Journal of Mechanical Engineering*, 2015

28. Jupp, S.P., Fundamental modelling of friction during the hot rolling of steel, Thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy, 2005.
29. Han rolling mills, <http://www.han-rollingmills.com/info/whats-the-difference-between-h-925631.html>.
30. Roberts, W.L., Hot rolling of steel, Marcel Deccer Inc., 1983.
31. Malik, A.S., Rolling mill optimization using an accurate and rapid new model for mill deflection and strip thickness profile, Wright State University, Ohio 2007.
32. Plicht, G., Lin, M., Schillak, H., Demski, T., Skin-pass rolling of steel strip using liquid nitrogen, Conference: Materials Science & Technology Conference, Detroit, 2007.
33. Hren, G., Elements of physical metallurgy, Addison Wesley, 1974.
34. Grassino, J., Vedani, M., Vicermati, G., Zanella, G., Effects of skin pass rolling parameters on mechanical properties of steel, International Journal Of Precision Engineering and Manufacturing, 13(11).
35. Chandra, S., Dixit, U.S., A rigid-plastic finite element analysis of temper rolling process, Journal of Materials Processing Technology, 152, 9-16, 2004.
36. Escribano, R., Lostada, R., Modelling a skin-pass rolling process by means of data mining techniques and finite element method, Journal Of Iron And Steel Research, 2012.
37. Lenard, J., Primer on flat rolling ,Elsevier,Second Edition,2014.
38. Yoshida, F., Kaneda, Y., Yamamoto, S., A Plasticity model describing yield-point phenomena of steels and its application to FE simulation of temper rolling, Elsevier Ltd. , 2008.
39. Larkiola, J., Nylander, J., Kahkönen, V., Judin, M., Prediction of rolling force during temper rolling, Materials Science Forum Vols. 575-578 (2008).
40. Liu, Y., Lee, W., Mathematical model for the thin strip cold rolling and temper rolling process with the influence function method, ISIJ International, Vol . 45 2005.



## ÖZGEÇMİŞ

**1. Adı Soyadı:** Özbek YELİN

**2. Doğum Tarihi:** 01.04.1982

**3. Unvanı:** Makine Mühendisi

**4. Öğrenim Durumu:** Yüksek Lisans

Derece	Bölüm/Program	Üniversite	Bitirme Yılı
Lisans	Makine Mühendisliği	Gazi Antep Üniversitesi	2005
Yüksek Lisans	İşletme	Çukurova Üniversitesi	2013

### 5. İş Tecrübesi:

Görev Unvanı	Görev Yeri	Yıl
Üretim Mühendisi	Güven-Al Tarım	2005-2006
Üretim Mühendisi	Tosçelik Profil ve Sac Endüstri A.Ş.	2007-2010
Rozak ArcelorMittal	Üretim ve Bakım Şefi	2010-2013
RZK Çelik	Gebze Üretim Hatları Yatırım Proje Şefi	2013-2015
RZK ArcelorMittal	Osmaniye Çelik Servis Merkezi Üretim ve Genel Bakım Müdürü	2015 -

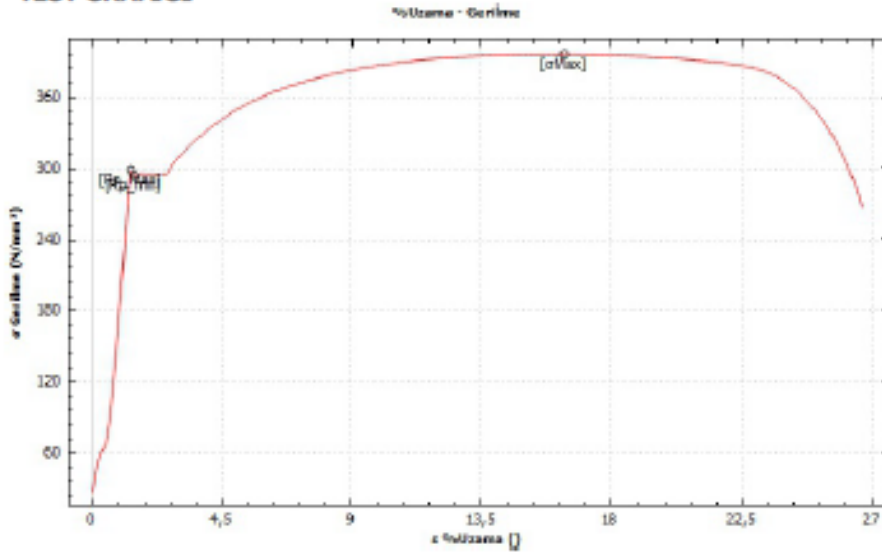
## EKLER

### EK-1

#### NUMUNE BİLGİLERİ

Müşteri	RZK ÇELİK SERVİS A.Ş.	Tarih	
Standart	Extansometresiz çekme	Malzeme	St 37 RZK NO:8024
Dosya no	D_3103_154956	Numune cinsi	
Seri No	TEMPERLİ	Kesit alanı	
İş emri	RZK ÇELİK AS-4-1	Çap	
Döküm No	BN:B-1155156200000	A Kesiti	
Kaynak mukavemeti	BOBİN ORTA	B Kesiti	

#### TEST GRAFİĞİ



#### SONUÇLAR

Rm	63.296kN	Rmin	293.250000
Rm	395.6N/mm <sup>2</sup>	RMax	297.919000
L0 Boyu	120.000mm	RAvg	295.584000
L1 Boyu	152.000mm	E modul	1392.920000
Uzama%	%26.7	Deney hızı	20mm/dk
Rp02	293.2N/mm <sup>2</sup>		

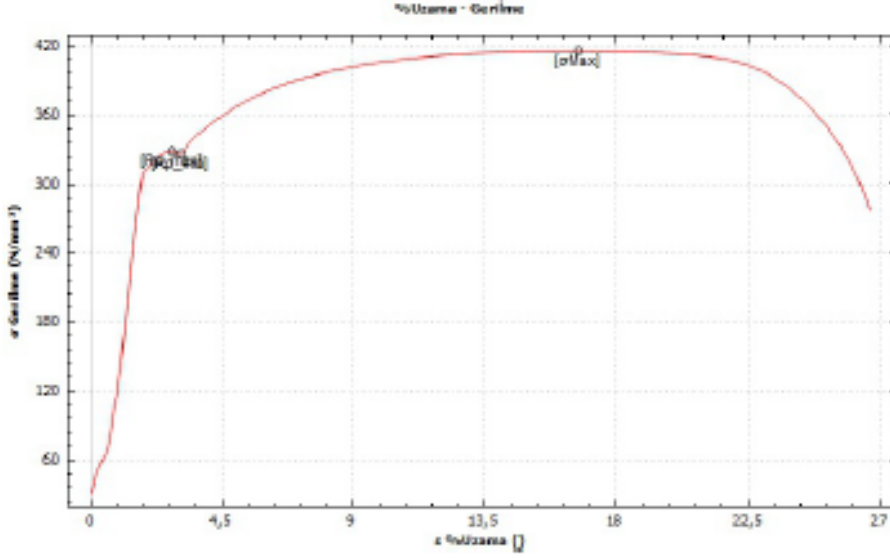
Test sorumlusu xxxxxx

Test onaylayan Volkan KESKİN

## NUMUNE BİLGİLERİ

Müşteri	RZK ÇELİK SERVİS A.Ş.	Tarih	
Standart	Extansometresiz çekme	Malzeme	St 37 RZK NO:8024
Dosya no	D_3103_153605	Numune cinsi	
Seri No	TEMPERSİZ	Kesit alanı	
İş emri	RZK ÇELİK AS-4-1	Çap	
Döküm No	BN B-1155156200000	A Kesiti	
Kaynak mukavemeti	RULO BAŞI	B Kesiti	

## TEST GRAFİĞİ



## SONUÇLAR

Rm	66.389kN	Rmin	325.706000
Rm	414.9N/mm <sup>2</sup>	RMax	328.031000
L0 Boyu	120.000mm	RAvg	326.869000
L1 Boyu	152.000mm	E modul	1320.860000
Uzama%	%26.7	Deneş hızı	20mm/dk
Rp02	325.7N/mm <sup>2</sup>		

Test sorumlusu xxxxxx

Test onaylayan Volkan KESKİN