

T.C.
DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**EKSTRÜZYON İŞLEMİNDE STROK BOYUNCA OLUŞAN
SICAKLIĞIN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ VE YAPAY SİNİR
AĞLARI İLE MODELLENMESİ**

Gülistan BALABAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DİYARBAKIR

Haziran 2018

T.C
DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ
DIYARBAKIR

Gülistan BALABAN tarafından yapılan “Ekstrüzyon İşleminde Strok Boyunca Oluşan Sıcaklığın Sonlu Elemanlar Yöntemi ve Yapay Sinir Ağları İle Modellenmesi” konulu bu çalışma , jürimiz tarafından Makine Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir

Jüri Üyesinin

<u>Ünvanı</u>	<u>Adı Soyadı</u>
Başkan: Prof. Dr.	Muhammet Murat Tahir ALTINBALIK
Üye : Doç. Dr.	Sedat BİNGÖL (Danışman)
Üye : Dr.Öğr.Üye.	Gurbet ÖRÇEN



Tez Savunma Sınavı Tarihi: 19/06/2018

Yukarıdaki bilgilerin doğruluğunu onaylarım.

.../...../20

Doç.Dr.Sevtap SÜMER EKER

ENSTİTÜ MÜDÜR V.

(MÜHÜR)

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca ve hazırlamış olduğum bu tezin çalışmalarında özveriyle bana destek olan, tecrübelerini paylaşarak başarıya ulaşmam için yol gösteren değerli danışman hocam Sayın Doç. Dr. Sedat BİNGÖL'e çok teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Gerek maddi gerekse manevi destekleriyle her zaman yanımda olan, eğitim hayatım boyunca sabırla her zaman teşvik ederek, sonsuz sevgilerini hissettiren sevgili aileme ve eşime teşekkür ederim.

Ayrıca bu tez çalışmasının düzenlenmesi sürecinde zaman ayırarak bana yardımcı olan değerli Dicle Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Lisans öğrencileri Halil KAYRA ve Seyid Ali AKOĞLAN'a teşekkür eder, başarılarının devamını dilerim.

Bu tez, DÜBAP Mühendislik 18.005 proje numarası ile desteklenmiştir.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
TEŞEKKÜR.....	I
İÇİNDEKİLER.....	II
ÖZET.....	IV
ABSTRACT.....	V
ÇİZELGE LİSTESİ.....	VI
ŞEKİL LİSTESİ.....	VII
KISALTMA VE SİMGELER	VIII
1. GİRİŞ.....	1
2 KAYNAK ÖZETLERİ	3
3. MATERYAL VE METOT.....	7
3.1. Ekstrüzyon İşlemi	7
3.1.1. Ekstrüzyon Temel Değişkenleri	8
3.1.1.1. Ekstrüzyon Hızı	8
3.1.1.2. Ekstrüzyon Sıcaklığı	8
3.1.1.3. Plastik Deformasyon ve Metal Akışı	10
3.1.2. Metal ve Alaşımların Ekstrüzyonu	11
3.1.3. Metalin Akış Yönüne Göre Ekstrüzyon Yöntemleri	14
3.1.3.1 Direkt Ekstrüzyon Yöntemi	14
3.1.3.2. İndirekt Ekstrüzyon Yöntemi.....	14
3.2. Sonlu Elemanlar Yöntemi.....	15
3.2.1. Sonlu Elemanlar Yöntemi Süreçleri	16
3.2.1.1. Ön Hazırlık Süreci	16
3.2.1.2. Analiz Süreci	16
3.2.1.3. Analiz Sonrası Süreç	16
3.2.2. Sonlu Elemanlar Analizinin Teknik Terminolojisi	17
3.2.3. Sonlu Elemanlar Yönteminin Ekstrüzyonda Uygulamaları.....	19

3.2.4.	Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Modelleme Çalışması.....	19
3.2.5.	Sonlu Elemanlar Programının Uygunluğu.....	21
3.3.	Yapay Sinir Ağları.....	21
3.3.1.	Yapay Sinir Ağları Gelişimi.....	23
3.3.2.	Yapay Sinir Ağ Modeli.....	24
3.3.3.	Yapay Sinir Ağlarının Bileşenleri.....	25
	- Giriş Bileşeni.....	25
	- Ağırlık Bileşeni.....	25
	- Toplama Fonksiyonu.....	26
	- Aktivasyon Fonksiyonu.....	26
	- Çıkış Fonksiyonu	27
3.3.4.	Yapay Sinir Ağlarının Sınıflandırılması.....	27
3.3.4.1.	İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağları.....	27
3.3.4.2.	Geri Beslemeli Yapay Sinir Ağları.....	28
3.3.5.	Strok Boyunca Sıcaklığın Yapay Sinir Ağları ile Tahmini.....	29
3.3.6.	Tahmin İçin Kullanılacak Veriler.....	31
4.	BULGULAR VE TARTIŞMA.....	37
4.1.	Sonlu Elemanlar Simulasyon Sonuçları.....	37
4.2.	Simulasyon Sonuçlarının Literatürle Karşılaştırılması.....	49
4.3.	Yapay Sinir Ağı Tahmin Sonuçları.....	50
5.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	53
6.	KAYNAKLAR.....	57
	ÖZGEÇMİŞ.....	59

ÖZET

EKSTRÜZYON İŞLEMİNDE STROK BOYUNCA OLUŞAN SICAKLIĞIN SONLU ELEMENLAR YÖNTEMİ VE YAPAY SINIR AĞLARI İLE MODELLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GÜLISTAN BALABAN

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

2018

Ekstrüzyon işlemi iş parçasının kalıptan geçirilerek istenen geometride profil elde edilmesidir. Kovan içine yerleştirilen iş parçası ıstampa tarafından uygulanan kuvvetle profil formunu veren kalıp açıklığından çıkmaya zorlanır. Ekstrüzyon hızı, sıcaklığı, ekstrüzyon oranı, sürtünme koşulları ve kalıp tasarımı gibi faktörler ekstrüzyon işlemine etki etmektedir. Bu faktörler arasından sıcaklık, ekstrüzyon işleminde en önemli değişkenlerden biridir. Pratikte, ekstrüzyon işlemi boyunca çok karmaşık bir termal değişim söz konusudur. Sıcak biyet kovana girmeden önce sıcaklığın dengelenebilmesi amacıyla kovanın ısıtılması sağlanır. Kalıp kanalında iş parçasında meydana gelen deformasyon ve sürtünmeden dolayı işlem süresince genellikle artan bir sıcaklık değişimi söz konusudur. Bu sırada meydana gelen sıcaklık değişimleri özellikle biyetten kovana doğru gerçekleşen ısı transferine, deformasyon koşullarına ve sürtünmeyle ortaya çıkan ısıya bağlıdır. Maksimum sıcaklık genellikle iş parçasının yoğun deformasyona maruz kaldığı kalıp köşe kısımlarında ve kalıp kanalındaki iş parçasında görülür. Artan sıcaklık risk meydana getirdiğinden sıcaklığın üst sınırının belirlenmesi önemlidir. Deneme yanılma ve tecrübe ile uygulanan deneysel çalışmalarda sıcaklık sadece bir noktada ölçülebilmekle beraber oldukça pahalı ve zahmetlidir. Ancak bilgisayar destekli analiz programları ile ekstrüzyon sıcaklığı tahmin edilebilir ve sonuçların tutarlılığı mukayese edilebilir. Bu çalışmanın amacı çeşitli noktalarda sıcaklık tahmininin etkin bir şekilde yapılabilmesi için Sonlu Elemanlar Yöntemi ve Yapay Sinir Ağları'nın uygulanabilirliğini göstererek strok boyunca sıcaklık artışının kritik seviyeye ulaştığı sınırları belirlemektir.

Anahtar Kelimeler : Ekstrüzyon, sonlu elemanlar yöntemi, yapay sinir ağları, modelleme

ABSTRACT

FINITE ELEMENT METHOD AND ARTIFICIAL NEURAL NETWORK MODELING AT ESTIMATION OF EXTRUSION TEMPERATURE DURING THE STROKE

MSc. THESIS

GÜLISTAN BALABAN

**DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
UNIVERSITY OF DICLE**

2018

The extrusion process is to produce the desired geometry profile by passing the work piece through the die. The work piece placed into the container is forced out of the die opening which gives the profile form with the force exerted by the stamp. Factors; such as extrusion speed, temperature, extrusion rate, friction conditions and design of die which are influence the extrusion process. From these factors, temperature is one of the most important variant in extrusion process. In practice, there is a very complicated thermal change during the extrusion process. The heating of the container is provided before the hot billet entering to container, thus the temperature can be stabilized. Due to the deformation and friction of the work piece in the die channel, there is usually an increasing temperature change during the process. The temperature changes during this time are particularly dependent on the heat transfer to the container from the billet, the deformation conditions and the heat occurring with the friction. The maximum temperature is usually seen in the die corners where the work piece is exposed to intense deformation and where the work piece in the die channel. As the increased temperature generate the risk, it is important to determine the upper limit of the temperature. The experimental studies, which is applied with experimentation and experience, can be measured the temperature only at one point, and at the same time it is quite expensive and laborious. However, with computer-assisted analysis programs, the extrusion temperature can be estimated and the consistency of the results can be compared. The aim of this study is by showing the applicability of the Finite Element Method and Artificial Neural Network, to make an efficient prediction of the temperature at various points, determine limit of increased temperature which is the critical level during the stroke.

Key Words : Extrusion, FEM, artificial neural network, modeling

ÇİZELGE LİSTESİ

<u>Çizelge No</u>		<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1.	Ekstrüzyonda ısı dengesi	9
Çizelge 3.2.	Ekstrüzyon malzemeleri	12
Çizelge 3.3.	Simülasyonlarda kullanılan sıcaklık ve hız değerleri	20
Çizelge 3.4.	YSA modeli çalışma akış şeması	31
Çizelge 3.5.	Sonlu elemanlar programından alınan veriler	32
Çizelge 4.1.	Simülasyon ve literatür sonuçları	49

ŞEKİL LİSTESİ

<u>Şekil No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1. Ekstrüzyon işlemi	7
Şekil 3.2. Ekstrüzyonda akışın 4 farklı şematik gösterimi	11
Şekil 3.3. Direkt ekstrüzyon	14
Şekil 3.4. İndirekt ekstrüzyon yöntemi	15
Şekil 3.5. Sınır değer alan değişkenleri	17
Şekil 3.6. Modelin bölümleri	20
Şekil 3.7. Biyolojik sinir hücre yapısı	22
Şekil 3.8. Yapar sinir ağ modeli	25
Şekil 3.9. Aktivasyon fonksiyonu örnekleri	27
Şekil 3.10. İleri beslemeli ağ	28
Şekil 3.11. Geri beslemeli ağ yapısı	29
Şekil 4.1. 1 nolu simülasyon sonuçları	38
Şekil 4.2. 2 nolu simülasyon sonuçları	39
Şekil 4.3. 3 nolu simülasyon sonuçları	40
Şekil 4.4. 4 nolu simülasyon sonuçları	41
Şekil 4.5. 5 nolu simülasyon sonuçları	42
Şekil 4.6. 6 nolu simülasyon sonuçları	43
Şekil 4.7. 7 nolu simülasyon sonuçları	44
Şekil 4.8. 8 nolu simülasyon sonuçları	45
Şekil 4.9. 9 nolu Simülasyon sonuçları	46
Şekil 4.10. YSA çıktıları ile FEM sonuçlarının karşılaştırılması	50
Şekil 4.11. YSA sonuçlarını doğrulama grafiği	51

KISALTMA VE SİMGELER

FEM : Finite Element Method

MLP : Multi Layer Perception

YSA : Yapay Sinir Ağları



1. GİRİŞ

Ekstrüzyon işlemi, çeşitli geometrilere sahip profillerin üretilmesinde kullanılan önemli bir plastik şekil verme yöntemidir. Günümüz imalat sektöründe birçok malzeme, elde edilmesi istenen ürüne göre birçok farklı yöntem ile şekillendirilmektedir. Ekstrüzyon yöntemi ise gerek farklı malzemeleri işleyebilmesi gerekse çok çeşitli ürün elde edilebilirliği nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntem ile elde edilen profiller için başlıca inşaat, mimari, otomotiv, havacılık, olmak üzere birçok uygulama alanı bulunmaktadır.

Ekstrüzyonun kullanımı, rekabetin yoğun olduğu teknoloji ve sanayi alanında yıllardır yaygınlaşmış olup, bundan dolayı da hem akademik hem de endüstriyel alanlarda devam eden çalışmalarla bu teknoloji geliştirilmeye çalışılmaktadır. Son yıllardaki teknolojik gelişmelerin, bilgisayar teknolojisini arttırmasıyla beraber araştırma-geliştirme ve üretim analiz işlemlerinde bilgisayar kullanımı artmıştır. Bilgisayar teknolojisiyle geliştirilmiş analiz programları kullanılarak, endüstriyel ortamda hesaplanması çok karmaşık ve maliyeti yüksek olan analizler yapılabilmekte ve üretim aşamasında ortaya çıkabilecek hatalar tespit edilebilmektedir. Sonlu elemanlar yöntemi; kabul edilebilir sonlu elemanlar simülasyonu gerçekleştirilerek, analizler sonucu imalat sürecinde incelemeler yapılmasına imkan sağlamaktadır.

Bu çalışmanın amacı, ekstrüzyon işlemindeki üretim parametrelerinin; strok boyunca oluşan sıcaklık üzerindeki etkisinin incelenmesidir. Bu kapsamda farklı biyet, kalıp ve kovan sıcaklıkları ve zımba hızlarında sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak simülasyonlar yapılmıştır. Simülasyonlarda kullanılan biyet malzemesi AA6061 alaşımı olup 9 adet simülasyon yapılmıştır. İlk aşamasında belirlenen parametrelerde gerçekleştirilen simülasyon sonuçları incelenerek kabul edilebilir bir sonlu eleman modeli oluşturulmuştur. Daha sonra, yapay sinir ağları kullanılarak yapılan tahminlerle; farklı biyet ve kovan sıcaklık değerleri ile çeşitli ıstampa hızlarında her bir parametrenin maksimum profil sıcaklığı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Elde edilen verilerin işlenmesiyle ortaya çıkan tahminler, imalat sonucu elde edilen ürüne etki eden önemli değişkenlerden strok boyunca sıcaklık değişiminin belirlenmesinde kullanılmıştır. Çeşitli noktalarda sıcaklık tahminini etkili bir şekilde yapabilmek için Sonlu Elemanlar

Yönteminin uygulanabilirliği gösterilerek Yapay Sinir Ağının yaptığı tahminler de istatiksel olarak değerlendirilmiştir.



2. KAYNAK ÖZETLERİ

Endüstride metal şekillendirme uygulamalarında yaygın olarak kullanılan ekstrüzyon parametreleri hakkında, gerek imalat sürecinde yapılan araştırma-geliştirme çalışmalarında gerekse araştırmacılar tarafından yapılan araştırmalarda yeni bilgisayar teknolojileri, simülasyonlar ve yapay zeka kullanılmıştır.

Chanda ve ark. (2001), yaptıkları çalışmada proses parametresinden ıstampa hızının sabit ve kademeli olarak değiştiği durumlarda profil sıcaklığına etkisinin araştırılması için alternatif bir araç olarak bilgisayar simülasyonu kullanmışlardır. Simülasyon sonuçları, kademeli ıstampa hızının düşmesinin, ekstrüzyon sıcaklığının sabit bir değere ulaşmasını sağladığını göstermiştir; sabit bir ıstampa hızı uygulandığında ise sıcaklığın monoton olarak arttığı sonucuna ulaşmışlardır. Ayrıca kademeli olarak hız değişimi, ortalama ekstrüzyon hızını da artırarak üretkenliği artırabileceği ifade edilmiştir. ıstampa hızı kademeli olarak indirildiğinde ise ekstrüzyon basıncının azaldığı; bu sayede profil üzerinde etkili olan çekme gerilmelerinin azaldığı ve böylece yırtılmaya karşı daha az hassas hale geldiği sonucuna da varmışlardır.

Li ve ark. (2004), çalışmada 3D FEM bilgisayar simülasyonu ile 7075 alüminyum alaşımının ekstrüzyonu sırasında sıcaklık değişimini tahmin etmek için bir girişimde bulunmuştur. Sonuçlar, ıstampa hızının kütük içindeki sıcaklık dağılımı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Termal etki, ekstrüzyon basıncının karakteristik varyasyonun sonucu olarak ifade edilmiştir. Daha yüksek bir ıstampa hızında, daha fazla ısı oluşumu, daha az ısı kaybı ve dolayısıyla daha da azalmış akış stresi nedeniyle proses ilerledikçe, ekstrüzyon basıncının düşmesi daha hızlı gerçekleşmiştir. İş parçasının kalıp yatağına giren enine kesitindeki sıcaklık düzensizliğinin, ıstampa hızının daha yüksek olduğunda belirginleştiği belirtilmiştir. Sonuçlar, kararlı durum ekstrüzyonu sırasında maksimum sıcaklık ve logaritmik ıstampa hızının artışı arasındaki doğrusal ilişkiyi de doğrulamaktadır

Yang ve ark. (2005), araştırmalarında ekstrüzyon sırasında ısı enerjisindeki değişim analiz edilmiştir. Ekstrüzyon yükü, çıkış sıcaklığı ile çeşitli ıstampa hızlarında 3D FEM simülasyonları elde edilmiştir. Sonuçlar, çıkış sıcaklığının ıstampa hızı ve ıstampa yer değişimi arttıkça yükseldiğini göstermiştir. Çalışmada, beş farklı hız için 3D FEM simülasyonu ile yeni çıkış sıcaklığı ve ıstampa yer değiştirme diyagramı elde

edilmiştir. Simülasyon sonuçlarında elde edilen çıkış sıcaklığının gerçek deney sonuçları ile uyumlu olduğu ifade edilmiştir. Bu çalışmanın başarıları, özellikle izotermal ekstrüzyon için ilgili işlemlerin uygulanmasında önemli bir kılavuz görevi görebilir.

Bingöl ve Keskin (2007), yaptıkları çalışmada ekstrüzyon profillerinde ekstrüzyon sıcaklığı ve ıstampa hızının kaynak bölgelerine etkisini araştırmışlardır. Gerçek üretim şartlarından seçilen çıkış sıcaklığı ve ıstampa hızı değerleri değiştirilerek ürün üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Malzemenin yapısının, artan sıcaklıklar ile yeniden kristalleştirme yoluyla değişime uğradığı gözlemlenmiştir. Bu çalışma, sıcaklık ve hız parametrelerin ekstrüzyon kaynaklarının makro yapısına etki ettiğini göstermiştir.

Jawwad ve Barghash (2013), çalışmalarında endüstriyel ekstrüzyon prosesi parametrelerinin etkileri ve bunların endüstriyel olarak haddelenmiş bir alüminyum alaşımının ekstrüzyonunda ortaya çıkan maksimum ekstrüzyon basıncı üzerindeki etkileşimlerini, yeni geliştirilen bir YSA bazlı modelleme tekniği kullanarak incelemiştir. İki çalışma parametresi (başlangıç biyet sıcaklığı ve ıstampa hızı) ve üç geometrik parametre (ekstrüzyon oranı, profil ortalama kalınlığı ve kalıp boşluklarının sayısı) incelenmiştir. Bu modelleme tekniğinin geliştirilmesinde ana amaç, ekstrüzyon gibi karmaşık bir termo-mekanik işlem için öngörülen gereksinimlerin sınırlamalarının hali hazırda mevcut olan istatistiksel modelleme araçlarıyla üstesinden gelmektir. Ana mevcut sınırlamalar, etkileşim davranışını ve son derece önemli süreç parametrelerinin etkileşimlerinin anlamlı bir şekilde belirlenmesini içeren süreç davranışında sonuçları incelemişlerdir. Mevcut modele göre, maksimum ekstrüzyon basıncı, farklı işlem parametrelerine ve bunların önemli etkileşimlerine göre davranışta çeşitli doğrusallık dereceleri gösterdiği belirtilmiştir. Maksimum ekstrüzyon basıncındaki değişikliklerin, esas olarak başlangıç biyet sıcaklığının bir fonksiyonu olduğu ve diğer işlem parametreleriyle, özellikle ıstampa hızıyla etkileşimleri olduğu bulunmuştur. Mevcut YSA bazlı modelin en yüksek genel tahmini hata değeri $\pm\% 2,5$ olan doğrusal modele göre üstün tahmin yetenekleri göstermiştir.

Bingöl ve ark. (2014), yaptıkları çalışmada dişli benzeri bileşende ekstrüzyon yükünü tahmin etmek için sonlu elemanlar yöntemi ve yapay sinir ağlarını kullanmışlardır. AA1070 alüminyum alaşımı için ekstrüzyon süreci DEFORM-3D

yazılımı kullanılarak simüle edilmiş ve bu programdan sağlanan veriler YSA ile tahmin aşamasında değerlendirilmiştir. Diş sayısı, ekstrüzyon oranı, kalıp genişliği ve ıstampanın yer değiştirdiği mesafe YSA giriş verileri olarak seçilmiş ve ekstrüzyon yükü de çıkış verisi olarak belirlenmiştir. Sonuçlar karşılaştırıldığında Sonlu elemanlar programı ile YSA değerleri arasındaki $R^2 = 0,9981$ olduğu görülmüş olup, bu durumun mükemmel tahmin yeteneğini işaret ettiğini belirtmişlerdir.

Bingöl (2016), çalışmada biyet sıcaklığı ve kalıp sıcaklığının maksimum ekstrüzyon sıcaklığına etkisini sonlu eleman yöntemi ve yapay sinir ağları (YSA) ile değerlendirmiştir. Bu amaçla, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak farklı başlangıç biyet sıcaklığı ve kalıp sıcaklıkları ile simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Ek olarak, sonlu eleman simülasyonlarının sonuçlarından elde edilen maksimum ekstrüzyon sıcaklığını tahmin etmek için yapay sinir ağları modellemesi kullanılmıştır. Sonuçlar, geliştirilen ANN modelinin çeşitli maksimum ekstrüzyon sıcaklığını başarılı bir şekilde tahmin edebildiğini göstermiştir.

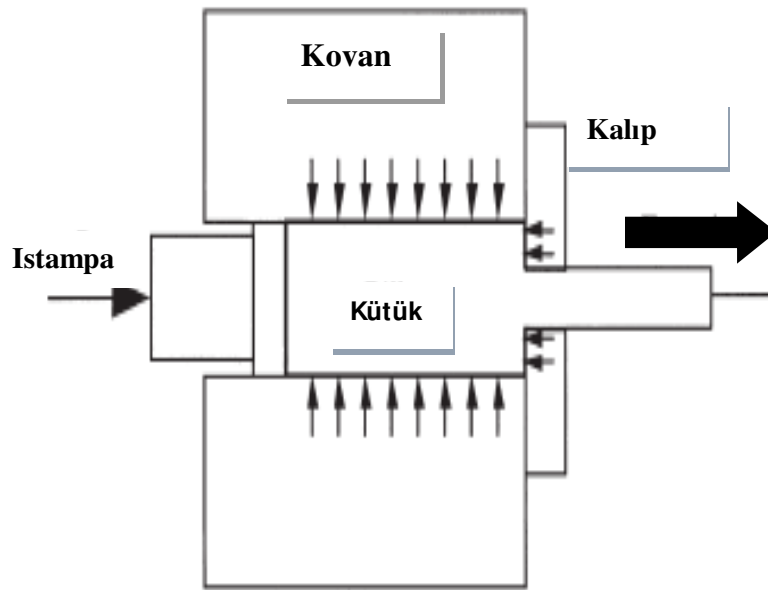


3. MATERYAL VE METOT

3.1. Ekstrüzyon İşlemi

Ekstrüzyon teknolojisi; inşaat, mimari, otomobil üretimi, küçük makine parçaları, yapısal bileşenlerin üretimi ile uçak endüstrisinde yoğun talep görmekte ve uygulanmaktadır. Ekstrüzyon proseslerinde metal dökme bir biyet formu halinde uygun şekilde kalıp açıklığı vasıtasıyla preslenerek şekillenmektedir. Bu işlem sırasında metal akışı açıklıktan sürekli olacak şekilde dışarıya doğru uzanır ve enine kesit şekli yaklaşık olarak kalıp açıklığı ile aynı olan uzun bir profil gibi görünmektedir.

Ekstrüzyon işleminde, metal ilk olarak basınç altındaki kovanın içine yerleştirilmelidir. Şekil 3.1.'de gösterildiği gibi, kovanın bir ucuna bir kalıp yerleştirilir ve diğer ucuna da bir ıstampa yerleştirilir. Dökme ekstrüzyon metali kutuya bir biyet olarak eklenir. İstampa ilerledikçe, biyetin metali kovanı doldurur ve kalıba karşı preslenir. Biyet ilerledikçe, metal kalıp ile aynı enine kesiti olan bir profil halinde kalıbın içinden geçer ve kalıptan dışarı akmaya başlar. Ekstrüzyon bu şekilde yapıldığında işlem genellikle ileri çağrılır, ekstrüzyon metal akışı ıstampa hareketi ile aynı yöndedir. Kütükler genelde sürekli döküm proseslerinde büyük boy olarak üretilir, daha sonra kütükler uygun parçalara kesilir (Valberg, 2010).



Şekil 3.1. Ekstrüzyon işlemi (Valberg, 2010)

3.1.1. Ekstrüzyon Temel Değişkenleri

3.1.1.1. Ekstrüzyon Hızı

Bir metalin ekstrüzyonu işleminde ana parametrelerden biri deformasyon hızıdır. Ekstrüzyon hızında meydana gelen yükseliş basınçta da artışa sebep olur. Yükselen hızla birlikte ısı da artmış olur ve işlem süresi içinde artmaya başlar. Bu artış aslında ekstrüzyon hızı ile doğru orantılı olan gerilmeye bağlıdır (Sünkür, 2016).

Ekstrüzyon hızının ıstampa hızı ile ilişkilendirilerek kurulacak bir formülle hesaplanabilmesi mümkündür. Herhangi bir ekstrüzyon kalıbı için ekstrüzyon hızı sabit hacim bağlantısı kullanılarak hesaplanabilir, Yani kovandaki metal hacmi kalıptan çıkan ekstrüzyon hacmi ile eşittir; çünkü ekstrüzyon boyunca metal hacminde kayıp olmaz (Saha, 2000).

$$V_R A_K = V_E A_E$$

V_R : Ram hızı

A_K : Kalıp açıklığının alanı

V_E : Ekstrüzyon hızı

A_E : Ekstrüzyon sonucu ortaya çıkan şeklin alanı

Eğer kullanılan kalıpta birden fazla açıklık (delik) bulunursa ilişki aşağıda ki gibi kurulur:

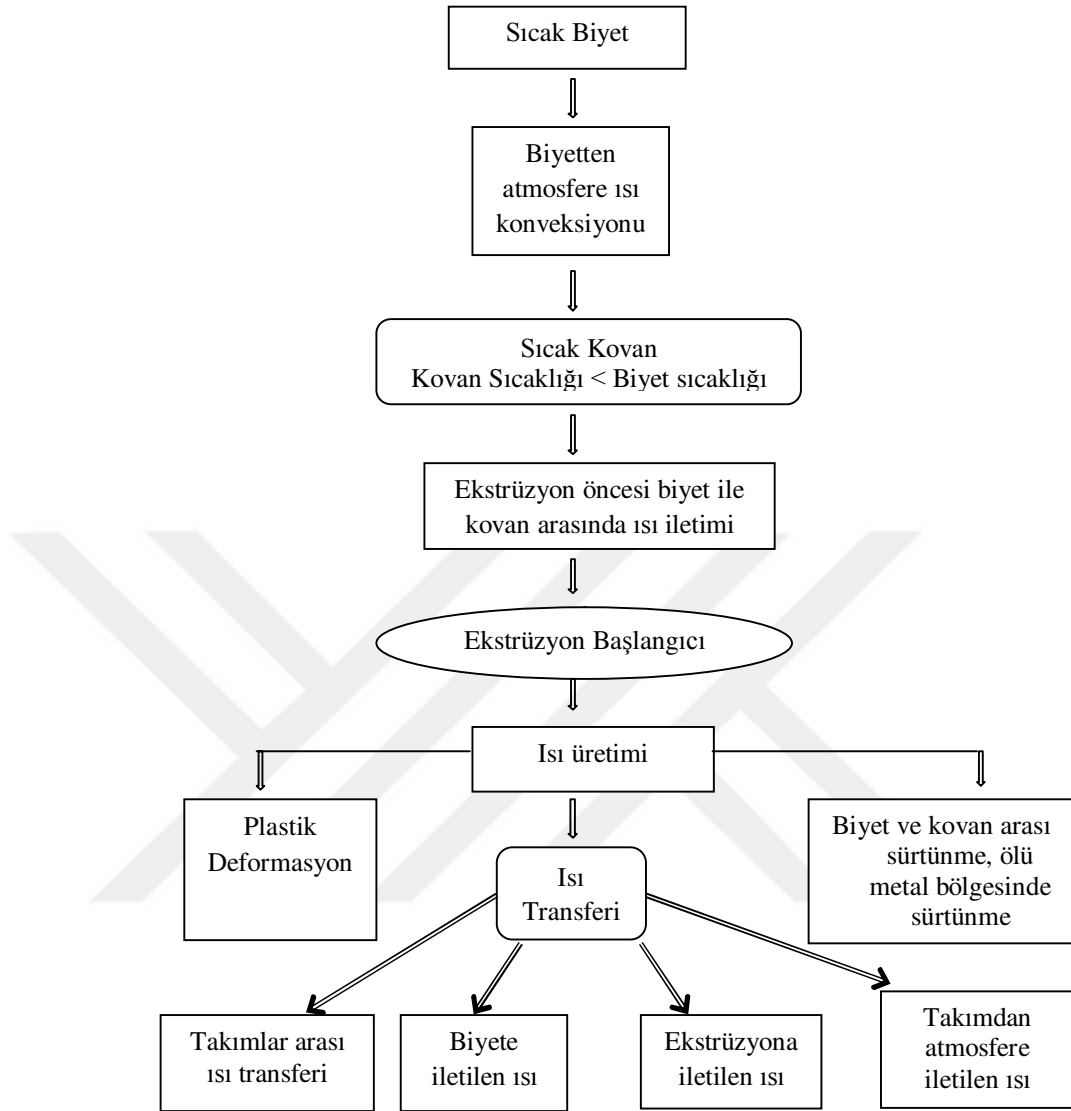
$$V_R A_K = V_E (n A_E)$$

Burada simetrik deliklerin sayısı n şeklinde ifade edilmiştir. Bu durumda ekstrüzyon hızı için verilen net bağlantı aşağıya çıkarılmıştır (Valberg, 2010).

$$V_E = V_R \frac{A_K}{n(A_E)}$$

3.1.1.2. Ekstrüzyon Sıcaklığı

Ekstrüzyon genellikle sıcak çalışma prosesi olarak sınıflandırılmıştır. Sıcak çalışma sıcak şartlar altında gerçekleşen deformasyon olarak tanımlanır. İşlem süresince ısı dengesi Çizelge 3.1.'de şematik olarak gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Ekstrüzyonda ısı dengesi (Saha, 2000)

Ekstrüzyon işlemi metaller ve alaşımlar için yüksek sıcaklıklarda gerçekleşir ki, şekillendirme ve gerekli kuvvetleri azaltmak için oda sıcaklığı yeterli değildir.

Sıcaklık, ekstrüzyon işlemi süresince en önemli değişkenlerden biridir. Pratikte ekstrüzyon boyunca çok karmaşık bir termal değişim söz konusudur. Sıcak biyet kovana girmeden önce sıcaklığın dengelenebilmesi amacıyla kovanın ısıtılması sağlanır. Ekstrüzyon süresince biyette meydana gelen sıcaklık değişimleri biyetten kovana doğru gerçekleşen ısı transferi ile deformasyon ve sürtünmeyle ortaya çıkan ısıya bağlıdır. Sıcaklık artıkcı ekstrüzyonda biyet metalinin akma gerilmesi azalır ve böylece metalin ekstrüzyonu kolaylaşır (Bauser, 2006).

Ekstrüzyon süresince sıcaklık değişimini etkileyen faktörleri aşağıdaki gibi sıralayabiliriz :

- İlk biyet sıcaklığı
- Verilen sıcaklıkta alaşımın akma gerilmesi
- Gerilme
- Plastik deformasyon
- Biyet- kovan arası sürtünme, ölü metal akan malzeme
- Isı transferi (hem iletim hem de konveksiyon)

3.1.1.3. Plastik Deformasyon ve Metal Akışı

Metal şekillendirmede, plastik deformasyon mekaniği incelemek için plastisite teorisi uygulanır. İnceleme analize ve aşağıdakilerin tahminine imkan verir.

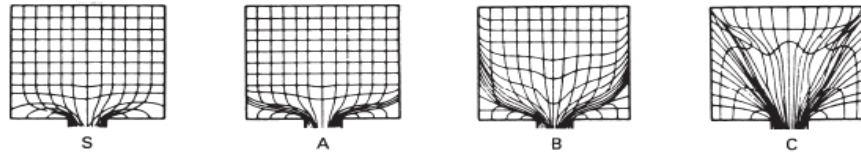
- Hız, gerinim ve metal akışı
- Sıcaklık ve ısı transferi
- Malzeme mukavemetinin yerel değişimi
- Yük, basınç ve enerji oluşturma

Plastik deformasyon mekaniği farklı şekillendirme işlemlerinde metalin nasıl aktığını belirleme araçları sağlar, bu da metalin üretiminde istenilen mekanik ve fiziksel özelliklerin belirlenmesi ile plastik deformasyon yoluyla nasıl bir geometri elde edileceğinin belirlenmesi anlamına gelir. Ekstrüzyon dahil farklı şekillendirme yöntemleri için farklı yaklaşımla matematiksel denklemler elde edilmiştir.

Temelde homojen (tek eksenli) sıkıştırma veya gerilimde, gerinme akış değerine ulaştığında plastik akma gerçekleşir. Ekstrüzyon işleminde; biyeti kovan yüzeyine itmek için gerekli kuvvet, biyet malzemesinin kesme mukavemetini aştığı sırada biyet kütlesinde kesme ile deformasyon gerçekleşir (Saha, 2000).

Ekstrüzyon sırasında metal akışı, birçok faktöre bağlıdır ki bu faktörlerden bazıları aşağıda sıralanmıştır :

- Biyet malzemesinin ısı özellikleri.
- Biyet-Kovan arası ve Metal-Kalıp arası sürtünme
- Ekstrüzyon oranı
- Ekstrüzyonda gözlenen tipik akış modelleri şekilde gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Ekstrüzyonda akışın 4 farklı şematik gösterimi (Saha, 2000).

Homojen malzemelerin ekstrüzyonunda, kovan ve kalıp yüzeyi arasında sürtünme yokluğunda akış deseni S şeklindedir. Bu desen genellikle, hem kalıbın hem de kovanın tamamının yağlandığı durumlarda gözlenir (Saha, 2000).

Kalıpta sürtünmenin olduğu homojen malzeme ekstrüzyonunda akış deseni A şeklinde gözlenir. Kovanın merkezinde bulunan metaller çevresindekilerden daha hızlı hareket eder. Bıyığın ucunda kalan köşesinden kalıp yüzeyi ile kovan duvarı arasında kalan bölgede metaller ayrılır ki buraya ölü-metal bölgesi adı verilir (Bauser, 2006).

Homojen malzemelerin ekstrüzyonunda B şeklinde akış deseni hem kovan hem de kalıp yüzeylerinde sürtünme olduğunda elde edilir. Geniş bir ölü-metal bölgesi oluşur. Bu durumda, A akış desenine kıyasla daha fazla kayma deformasyonu gerçekleşir. Homojen olmayan malzeme içeren ya da sıcaklık dağılımı tüm bölgelerinde eşit olmayan kütüklerin ekstrüzyon işlemi sırasında ise C şeklinde akış modeli gerçekleşir. Malzeme daha şiddetli bir deformasyona maruz kalır ve ayrıca, daha geniş bir ölü metal bölgesi ortaya çıkar (Saha, 2000).

3.1.2. Metal ve Alasımlarının Ekstrüzyonu

Metal ve Alasımların ekstrüzyonu aşağıda belirtilen birçok parametreye bağlı olarak değişkenlik gösterir (Sönmez, 1989).

- Şekil değiştirebilirlik
- Sabit ekstrüzyon kuvvetinde çıkış sıcaklığı
- Ekstrüzyon oranı
- Maksimum ekstrüzyon hızı
- Ekstrüzyon sıcaklığı
- Çalışma sıcaklığı aralığı
- Kuvvet ihtiyacı ve özgül basınç

Çizelge 3.2. Ekstrüzyon malzemeleri (Sönmez, 1989)

Metal Grubu	Malzeme İşareti	Malzeme Bileşimleri %						Ekstrüzyon Sıcaklığı °C	Spesifik Ekst. Basıncı kp/mm	Malz.Ekst. oranı A_0/A_1
		Cu	Zn	n	Al	Pb	Ni			
Cu ve Cu-Zn Alaşımları	b-Cu	99,99						900	60-90	280
	Ms58	58	42					700	50-70	700
	SoMs				1-2	1,3-2		700	50-70	700
	58PbAl	58	40					700	50-70	700
	Ms63	63	37					750	50-70	600
	Ms68	68	32					800	55-80	450
	SoMs71	70	29	1				900	70-100	80
	SoMs78	76	22	1-2				900	70-100	80
Bronzlar	AlBz4	96			4			920	70-100	100
	Albz9	91			9			850	70-100	100
	SnBz4	96		4				750	70-100	30
	SiBz8	92						700	70-100	30
	PbBz2	96					Si2	700	70-100	30
	PbBz4	96				4		650	70-100	30
	SoBz	90					Ml4	800	70-100	30
	AgBz	98					Ag2	900	60-80	50
Cu-Ni Alaşımları	CuNi30	70					30	900	70-100	30
	CuNiZn	72	10				18	850	40-80	80
	Ni98					Mn1.5	98	1100	70-100	200

Çizelge 3.2.'nin (devamı) Ekstrüzyon malzemeleri (Sönmez, 1989)

Zn ve Zn Alaşımları	Saf çinko		99.5					200	70-100	60
	ZnAl4		96		4			300	70-100	90
	ZnCu4	4	96					350	70-100	50
	ZnAlCu	1	96		4			350	70-100	50
Al ve Alaşımları		Al	Mg	Mn	Cu	Si	Zn			
	AlMn	98		1.2				500	40-80	500
	AlMgSi	96	1.2	0.8				480	40-80	250
	AlMgMn	97	2.5	1				450	40-80	100
	AlMg3	96	3	0.2				450	60-100	80
	AlMg5	94	5	0.5				420	60-100	70
	AlMg7	92	7	0.5				420	60-100	60
	AlMg9	90	9	0.5				400	60-100	60
	AlZnMc	90	2.7	0.5	1		6	400	60-100	80
Mg ve Mg Alaşımları	Saf mg		99.8	1.2				300	40-80	200
	MgMn		98	2				420	40-80	100
	MgAl3	3	97					400	40-80	80
	MgAl6	6	94					380	60-100	60
Çelik		C	Mn	Si	Cr	Ni	Mg			
	C çeliği	0.1	0.3	0.1				1300	40-60	120
		1.0	1.5							
	K alaşımı	0.4	0.6		0.8	2	0.2	1270	40-60	120
	Paslanmaz	0.15	1.0	0.5	12			1200	40-60	90
		0.5	2.0		19	11.50		1210	60-100	90
	Hız çeliği	2.0	0.3		12			1160	100-120	70
Sferodöküm		3.5	0.4	2.7				1075		

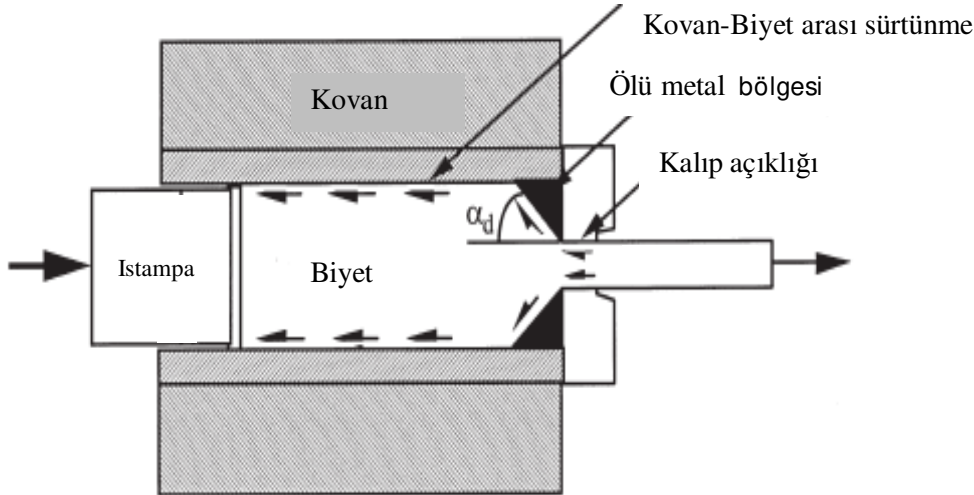
Alüminyum ve alaşımları ekstrüzyon sıcaklığı 300°C ve 600°C aralığında değişmekte olup geneli ekstrüzyona uygundur. Bakır ve alaşımları, ekstrüzyon sıcaklığı 600-1000 °C arasındadır. Magnezyum alaşımlarının ekstrüzyon özellikleri, alüminyum alaşımlarının özelliklerine benzemektedir. Çelikler ve nikel alaşımları zor ekstrüzyon edilen malzeme gurubunda olup, şekil değiştirme dirençleri yüksek olduğundan ekstrüzyon kuvvetini belli değerlerde tutabilmek için 1000-1300 °C arasında uygulanır.

3.1.3. Metalin Akış Yönüne Göre Ekstrüzyon Yöntemleri

3.1.3.1. Direkt Ekstrüzyon

Direkt ekstrüzyon en çok sıklıkta kullanılan bir ekstrüzyon yöntemidir. Alüminyum yarı mamülün ekstrüzyonla üretiminde ana uygulamalardandır. Bununla birlikte; çelik, bakır, kurşun, çinko ve pirinci de içeren diğer birçok metalik malzeme için de direkt ekstrüzyon ile şekil değiştirme işlemi uygulanabilmektedir (Saha, 2000).

Uygulama sırasında kovan içine yerleştirilen biyete ıstampa tarafından kuvvet uygulanır ve bu sayede biyetin kalıp deliğinden kalıp şekline göre şekillenerek çıkması sağlanır. Biyetin akış yönü ile uygulanan kuvvetin akış yönü aynı olması münasebetiyle direkt ekstrüzyon olarak adlandırılmıştır. Şekil 3.3.'de bu yöntem uygulaması şematik olarak gösterilmiştir.

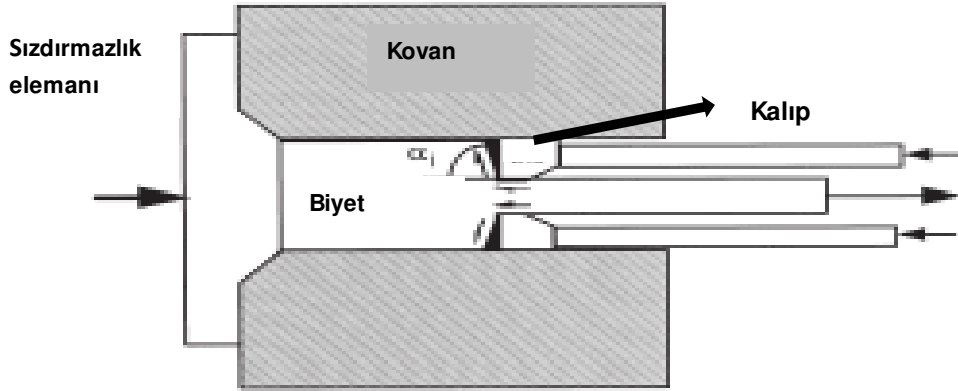


Şekil 3.3. Direkt ekstrüzyon yöntemi (Saha, 2000)

3.1.3.2. İndirekt Ekstrüzyon

İndirekt (Dolaylı) ekstrüzyon işlemi 1870'li yıllarda tanınmaya başlanmış olup; ekstrüzyonda yarı mamül üretimi için ticari olarak kullanımı 1930'lu yılları bulmuştur.

İndirekt ekstrüzyon işleminde; içi boş gövdenin ucunda bulunan kalıp hareket etmektedir. Ancak kalıp ile biyet arasında relatif olarak bir yer değiştirme yoktur. Bu yüzden kalıp ile biyet arasında sürtünme olmamasıyla karakterize edilir. Ölü metal bölgesi kalıbın köşelerine doğru oluşur ve biyet bu yüzey boyunca şekillenir. Şekil 3.4.'te indirekt ekstrüzyon uygulaması şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.4. İndirekt ekstrüzyon yöntemi (Saha, 2000)

3.2. Sonlu Elemanlar Yöntemi

Sonlu elemanlar yöntemi genellikle bilim ve mühendislik uygulamaları için belirli problemlerin yaklaşık olarak çözüm yöntemidir. Bu yöntemlerle esas olarak kesin bir çözüm bulunamayan problemler matematiksel formlarla ifade edilebilir. Matematiksel formlarda ifade edilmelerinden dolayı analitik yöntemden ziyade sayısal yöntemlerdir. Mühendislikte karşılaşılan karmaşık problemlerle analitik yöntemlerin başa çıkamadığı durumlarda bu tür yöntemlere ihtiyaç vardır. Örneğin malzemelerin mühendislik mukavemeti ve elastiklik teorisi, eğik bir kirişte gerilmelerin hesaplanmasında kullanılabilir ancak, bir otomobilin süspansiyon sistemi bölümünde viraj süresince neler olduğunu öğrenmede çok başarılı olmayabilir. Sonlu elemanların ilk uygulamalarından biri, gerilmeleri ve gerinimleri bulmak üzerine geliştirilen çalışmalardan oluşmaktadır. Yük altındaki mühendislik bileşenlerinde sonlu elemanlar herhangi bir gerçekçi modele uygulandığında etkin bir şekilde hesaplama ve geliştirme yeteneğine sahiptir (Valberg, 2010).

Sonlu elemanların, herhangi bir sistemi üç boyutlu olarak modelleme yeteneği, doğru bir analiz yapılmasını sağlayabilir. Genel olarak bilgisayar destekli tasarım paket programlar kullanılarak üç boyutlu modeller üretilebilir. Sonlu elemanlar, parçaların

üretilmesinden önce tüm tasarımların elde edilmesine ve geliştirilmesine olanak sağlar. Bu analizler sayesinde mühendislik tasarımının standartları ve birçok endüstriyel uygulamada tasarım sürecinin yönetimi önemli ölçüde geliştirilmiş olur. Tasarım sürecinden üretim hattına kadar olan işlem basamaklarında geçen süre sonlu elemanlar sayesinde önemli ölçüde azaltılmıştır.

3.2.1. Sonlu Elemanlar Yöntemi Süreçleri

3.2.1.1.Ön Hazırlık Süreci

Ön hazırlık sürecinde sonlu elemanlar modeli oluşturulur ve nasıl bir yol izleneceği yüklenerek tanımlanması sağlanır. Yükleme ile ön-işlemci analiz edilecek bileşenin modelinin bilgisayar ekranında gösterir. İşlemci tarafından üretilen geometrik veriler ve diğer veriler bir girdi dosyasına aktarılır. Veri giriş dosyası analiz gerçekleştirildikten sonra da gerekmesi durumunda bilgi girişi yapılabilecek özellikte olmalıdır. Ancak; eğer model için ön işlemci kullanılmadan girdi dosyası üretilebiliyorsa kullanılan paket program yazılımından da modele ait geometrik bilgiler alınabilir. Giriş dosyası tamamlanmasını takiben model analiz için gönderilebilir.

3.2.1.2. Analiz Süreci

Sonlu elemanlar analiz süreci verilerin giriş dosyasına girmesiyle başlar, program burada yer alan bilgiler üzerinde belirli kontroller yapar ve kontrollerin ardından da giriş dosyasında verilerde herhangi bir hata bulunmaz ise analiz gerçekleştirilmiş olur; analizin tamamlanması sonucunda sistem tarafından çıktı dosyaları üretilir. Analizin çok karmaşık olması durumunda çıktı dosyasında muazzam miktarda bilgi yer alır. Bu dosyalar incelenebilir ve ilgili bilgiler çıkarılabilir nitelikte olup; kullanıcıya daha anlaşılabilir bir şekilde sunulması gereken çok fazla bilgi vardır. Bu bilgilerin anlaşılabilir şekilde sunulması işlemcinin işidir. Analiz öncesi ve analiz sonrası işlemci aslında aynı yazılım paketidir.

3.2.1.3. Analiz Sonrası Süreç

Analiz işlemi sonrası sistem işlemcisi bilgiyi çıktı dosyalarından alarak program kullanıcısına sonuçları farklı grafik türlerinde ve tablo formlarında sunabilir. Örneğin, mevcut modele bağlı olarak, bileşenin yüzeyi üzerindeki bazı gerilme bileşenlerinin değerini göstermek için farklı renkler kullanılabilir veya eşit gerilimli kontur çizgileri

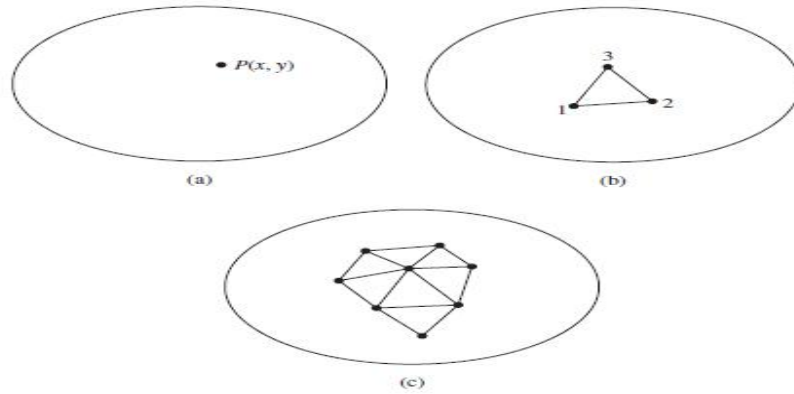
çizilebilir. Ayrıca model üzerinde bölümler biçimde üretilebilir. Sistem tarafından üretilen model farklı bakış açılarından döndürülebilir ve incelenebilir.

3.2.2. Sonlu Elemanlar Analizinin Teknik Terminolojisi

Sonlu elemanlar analizi tekniği sınır değer problemlerinde yaklaşık çözümlerinin elde edilebilmesi için kullanılan hesaplama yöntemlerine dayanmaktadır. Sınır değer problemini basitçe tanımlayacak olursak bir veya birden fazla bağımlı değişkenin bulunduğu matematiksel problemlerdir. Bilinen bir alandaki her yerde bir diferansiyel denklemi bağımsız değişken ve sınırların belirli koşullarını karşılar.

Sınır değer problemleri bazen alan problemleri olarak da isimlendirilebilir. Burada alan çoğu zaman fiziksel bir yapıyı temsil eder. Alan değişkenleri, diferansiyel denklem tarafından yönetilen bağımlı değişkenlerdir. Sınır koşulları, alanın belirtilen sınırları üzerindeki değerler ya da ilgili değerlerin türevleridir. Analizi yapılan fiziksel problemin türüne bağlı olarak alan değişkenleri fiziksel yer değiştirme, sıcaklık, ısı ve hızı içerebilir ki bu değişkenler gibi daha birçok örnek verilebilir (Valberg, 2010).

Sonlu eleman analizinin genel teknikleri ve terminolojisi Şekil 3.5.'te referans alınarak tanıtılacaktır.



Şekil 3.5. Sınır değer alan değişkenleri **a)** İki boyutlu değişken alanı $Q(x, y)$
b) Etki alanında tanımlı üç düğümlü sonlu eleman **c)** Sonlu eleman ağını gösteren ek elemanlar (Valberg, 2010)

Şekil 3.5. bilinen fiziksel özelliklere sahip materyallerin hacmini göstermektedir. Hacim, çözülecek bir sınır değer probleminin alanını temsil eder. Temel olarak bu noktada, iki boyutlu durum tek bir alan değişkeni $Q(x, y)$ ile $P(x, y)$ 'nin her noktasında

belirlenebilir olduğu varsayılır. Burada tam bir matematiksel çözüm elde edildiği varsayılır, yani çözüm bağımsız değişkenlerin kapalı biçimli bir cebirsel ifadesidir.

Alanın sınırlı boyutlu alt alanlarını kapsayan küçük bir üçgen eleman Şekil 3.5.'de gösterilmiştir. Bu elemanın diferansiyel eleman olmaması onu $dx \times dy$ boyutunda sonlu bir öge yapar. Bu örneği iki boyutlu bir problem olarak ele alırsak, z yönündeki kalınlığın sabit olduğu varsayılır ve diferansiyel denklemde z bağımlılığı belirtilmez. Üçgen elemanın köşe noktaları, bu noktaların düğüm olduğunu belirtmek için numaralandırılmıştır.

Bir düğüm, sonlu elemanda alan değişkeninin değerinin açıkça hesaplanacağı özel bir noktadır. Dış düğümler sonlu elemanın sınırlarında bulunur ve bitişik sonlu elemanlara bir elemanı bağlamak için kullanılabilir.

Öge sınırlarında bulunmayan düğümler iç düğümlerdir ve başka herhangi bir ögeye bağlanamazlar. Şekil 3.5.'de ki üçgen eleman sadece dış düğümlere sahiptir.

Üç düğümlü üçgen örneği için düğümler eleman içindeki herhangi bir noktada iken alan değişkeni yaklaşık ilişkisi aşağıda ki gibi ifade edilir.

$$\phi(x, y) = N_1(x, y)\phi_1 + N_2(x, y)\phi_2 + N_3(x, y)\phi_3$$

Bu ilişkide ϕ_1 , ϕ_2 ve ϕ_3 , düğümlerdeki alan değişkeninin değerini ifade eder.

N_1 , N_2 ve N_3 alan değerini bulma fonksiyonlarıdır. Bu fonksiyonlar çoğunlukla bağımsız değişkenlerin polinom formlarıdır ki düğümlerde belirlenen gerekli koşulları saptamak için türetilmiştir.

Sonlu eleman ağını gösteren ek elemanlar Şekil 3.5.c'de gösterilmiş olup, her eleman dış düğümlerde diğer elemana bağlanır. Düğüm bağlantılarında sonlu eleman denklemi formüle edilir ki, alan değişkeninin herhangi bir bağlantıdaki değerinin, düğüme bağlı her eleman için aynı olacak şekilde meydana gelmesine dikkat edilir. Böylece, düğümlerdeki alan değişkeninin sürekliliği sağlanır. Aslında, sonlu eleman formülasyonları, ara değişkenler arasında alan değişkeninin sürekliliğinin sağlanacağı şekilde oluşturulur (Valberg, 2010).

3.2.3. Sonlu Elemanlar Yönteminin Ekstrüzyonda Uygulamaları

Ekstrüzyon işleminde sonlu elemanlar yöntemi ile deneysel uygulamalarda analiz tekniklerinin kullanılabilirliği sayesinde herhangi bir ekstrüzyon işleminin görselleştirilmesi ve süreç boyunca üretilen parçaların içindeki gerilme ve diğer şekillendirme koşullarını kolaylıkla incelemek artık mümkündür (Sünkür, 2016).

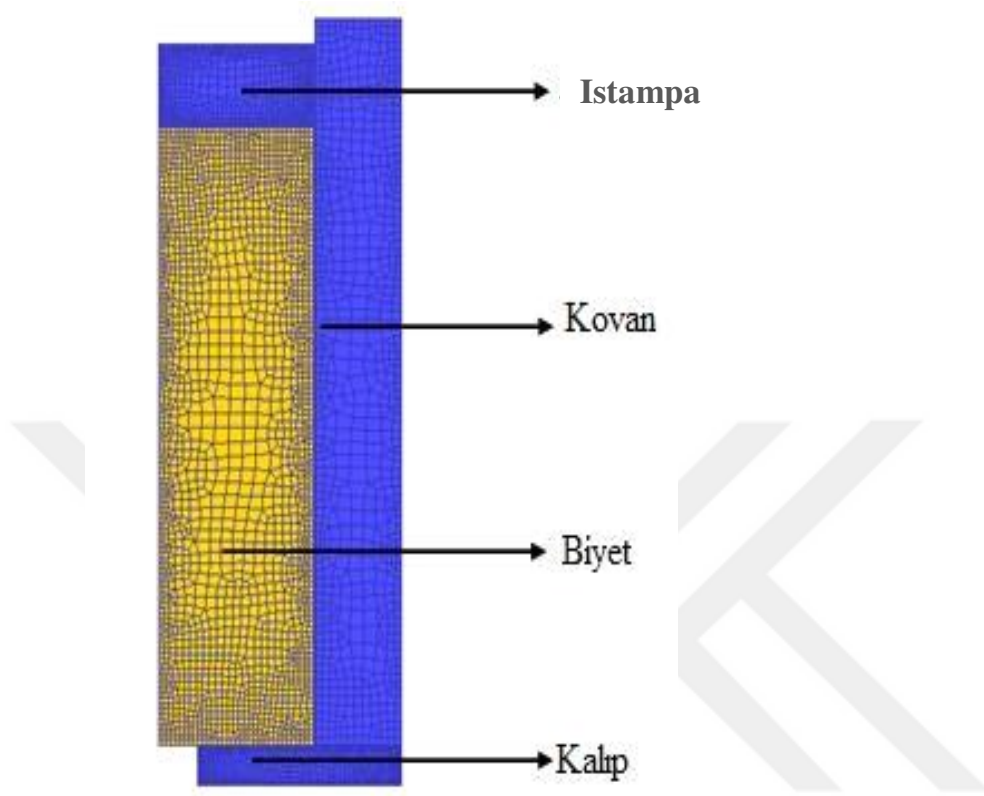
Sonlu elemanlar yöntemi ekstrüzyon işlem koşullarını karakterize ederek uygulanabilir ve süreçleri iyileştirmeye destek olabilir. Bu yöntemle karmaşık ürünlerin kalıplarla şekillendirildiği karmaşık üç boyutlu şekillendirme operasyonları dahil, çoğu metal şekillendirme işleminin gerçekçi sonlu elemanlar modellerini oluşturulabilir. Doğru modelleri oluşturmak için, laboratuvar ortamındaki deneyler yoluyla veya endüstriyel ekipmanlarla yapılan ekstrüzyon işlemlerindeki uygulamaları araştırmak gerekmektedir. Bazı deneyler olmaksızın, sonlu elemanlar modeline hangi bilginin verilmesi gerektiğini ve bir simülasyonun ne ölçüde hassas olduğunu bilmek zordur. Eğer analiz için sisteme girilen veriler yanlış olursa, sonlu elemanlar yönteminin faydası sınırlı olabilir.

3.2.4. Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Modelleme Çalışması

Bu çalışmada, metal şekillendirme işlemlerinde yaygın olarak kullanılmakta olan DEFORM 2D yazılım tabanlı sonlu elemanlar programı tercih edilmiştir. Strok boyunca maksimum sıcaklığın sonlu elemanlar yöntemiyle belirlenebilmesi için iş parçası üzerinde sonlu elemanlar programının belirlediği örgü yapıları (meşhler) ile kaplandığı bir görüntü oluşmuştur. Simülasyonlarda kullanılacak modelin malzeme, geometri ve giriş parametre değerleri için literatürden bilgi sağlanmıştır.

Simülasyonlar için kullanılan biyet malzemesi AA6061 alaşımıdır. Sayısal modelleme biyet sıcaklığı (T_b) 440° C, 470° C, 500 ° C'lik, kalıp sıcaklığı (T_k) 430° C'lik sabit bir değer olarak ve ıstampa hızları 4 mm/s, 8 mm/s, 12 mm/s değerleri olarak atanmıştır. Bu, farklı biyet sıcaklıklarının ve ıstampa hızlarının strok boyunca maksimum ekstrüzyon sıcaklığında etkisinin araştırmasını sağladı. Toplamda 9 simülasyon sonlu elemanlar yöntemi ile gerçekleştirildi. Simülasyonlarda kullanılan model biyet, ıstampa, kalıp ve kovan olmak üzere 4 bölümden oluşmaktadır. Biyetin 300 mm yüksekliği ve 178 mm çapı vardır.

Ekstrüde edilen ürünün çapı 46 mm ve toplamda uygulanan düğüm sayısı 2322'dir. Şekil 3.6.'da söz konusu model gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Modelin Bölümleri

Sonlu elemanlar yönteminde yapılacak analizler için model tasarımına uygulanacak simülasyonlar için biyet sıcaklığı, ve ıstampa hızı değerleri tablo halinde Çizelge 3.3.'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.3. Simülasyonlarda kullanılan sıcaklık ve hız değerleri

Simülasyon No	Biyet Sıcaklığı (°C)	Istampa Hızı (mm/s)
1	440	4
2	470	4
3	500	4
4	440	8
5	470	8
6	500	8
7	440	12
8	470	12
9	500	12

3.2.5. Sonlu Elemanlar Programının Uygunluğu

Yapılan bu çalışmada DEFORM 2D yazılımının uygun olup olmadığının ve elde edilecek sonuçların tutarlılığının tespit edilmesi amacıyla literatürden seçilen bir çalışma (Bingöl, 2015) ile bir uygunluk simülasyonu gerçekleştirilmiş ve sonuçlar incelenerek tezin “Bulgular ve Tartışma” bölümünde karşılaştırması ifade edilmiştir.

3.3. Yapay Sinir Ağları

Yeni bir bilim dalı olan yapay sinir ağları (YSA), çağdaş sinir bilimindeki araştırma başarıları temelinde geliştirilmiş ve doğrusal olmayan sistemlerin modellenmesi, tahmin, arıza teşhisi, kendi kendine uyarlamalı kontrol gibi geniş bir alanda başarı ile uygulanmıştır (Carpenter ve ark.,1997).

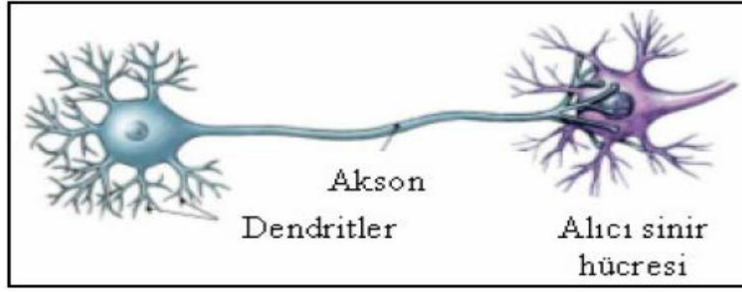
İnsan beyninin çalışmasını taklit etmek için biyolojik nöronların spesifik anahtar özelliklerinden çıkarılarak yapay nöronlardan oluşturulan bilgisayar programlarıdır (Lashkarbolooki ve ark., 2013).

Herhangi bir sistemin girdi ve çıktısı arasındaki karmaşık doğrusal olmayan bir ilişkiyi temsil etmek için kullanılabilecek başarılı bir yaklaşımdır ki hızları ve öğrenme kabiliyeti sayesinde çeşitli problemleri çözebilir (Hagan ve ark., 1996).

YSA gibi hesaplama araçlarından çıkan modeller için büyük bir veri seti, esneklik ve kabul edilebilir doğruluk seviyesi ile başa çıkma yeteneği gereklidir (Carrera ve ark.). Bu ağların kendi parametrelerini oluşturma kabiliyeti ile parametrik olmayan istatistiksel modelleme özellikleri olduğundan, klasik korelasyonlarla karşılaştırıldığında karmaşık doğrusal olmayan sistemlerin özellik tahminleri için daha uygun ve etkili araçlardır.

YSA'nın arkasında ki fikir insan beyninin çalışma prensibi dikkate alınarak uygulanan matematiksel algoritmalara dayanır. Ağa ayrıntılı olarak girmeden önce, insan beyninin yapısından bahsederek aralarındaki benzerliği şekillerle göstermek ağın anlaşılmasını daha iyi netleştirecektir.

İnsan beyni, doğrusal olmayan paralel hesaplama yapmak için son derece karmaşık bir yapıya sahiptir. Bu hesaplamaları gerçekleştirmek için nöronlar merkezi sinir sistemi tarafından kullanılır. Şekil 3.7.'de olduğu gibi, bir nöronun soma olarak adlandırılan bir hücre gövdesi vardır.



Şekil 3.7.Biyolojik sinir hücre yapısı (L. Fausett ,1994)

Bir biyolojik sinir hücresi şekilde görüldüğü gibi soma, akson, dendrit ve alıcı sinir hücrelerinden (sinapsisler) meydana gelmektedir.

Bir nörondan diğer nöron hücresine iletilecek sinyal, hücreyi yönetmekle ve denetlemekle görevli soma'da üretilir. Soma iletilen sinyalleri dendritler aracılığıyla toplamaktadır. Burada toplanan sinyaller aksona iletilir. Akson somada oluşturulan sinyalleri bir diğer nörona iletmekle görevlidir. İletim aksonlardan geçer. Arada bulunan bağlantı bölgesine de sinaps adı verilir ve sinaptik bağlantılarını kullanarak çok sayıda nöron ile bağlantı kurma kabiliyetine sahiptir. Sinaptik bağlantılarda kimyasal vericiler aracılığıyla sinyal diğer ilgili nöronlara aktarılır. Ağ için nöron referans alınarak bir model önermektedir. Bu nedenle sinir ağı iki yönüyle beyine benzemektedir Bilgi öğrenme süreci çevre yoluyla yoluyla elde edilmektedir. Nöronların bağlantı kuvvetleri bilgiyi depolamak için (sinirsel uygulamalarda sinaptik ağırlıklar) kullanılır (Yıldız, 2016).

YSA'nın en önemli özelliğinin bir bilgi kaynağından öğrenme yeteneği olduğu söylenebilir. Bir ağı öğrenme sürecinde, nöronlar bağlanır ve bu sürece “eğitim” denir ki ağırlıkların en iyi değerlerini bulma işlemidir. En çok kullanılan öğrenme algoritmaları (LM) Levenberg–Marquardt ve (BP) Geri Yayılım Algoritmalarıdır. Bu yöntemler, yapay zeka optimizasyonunda algoritmalar arasında ilk önce YSA eğitiminde kullanılmıştır. Bu nedenle, LM ve BP birçok çalışmada literatürde kullanılan yaklaşımlardır (Baş, 2016).

YSA sonlu bir sayının toplandığı bir öğrenme paradigması olup ağ modelinde hücreler bir görev için eğitilirler. Bir dizi sinir ağının oluşturulmasıyla deneysel çalışmalar önemli ölçüde geliştirilebilir. Sistemin çalışması ağın eğitimi ve daha sonra tahminlerin çıktı verileri şeklinde oluşturulmasından meydana gelmektedir. Bu teknoloji

son zamanlarda makinelerde başarıyla uygulanmış bir konu haline gelmiş olmakla birlikte öğrenme ve tahmin yeteneği ile yüz tanıma, optik karakter tanıma, bilimsel görüntü analizi, tıbbi tanı, sismik sinyal sınıflaması vb. alanlarda son derece iyi sonuçlar vermiştir (Zhou, 2001).

3.3.1. Yapay Sinir Ağları Gelişimi

Ağlarının depolama, hesaplama ve etkileyici öğrenme kabiliyetleri bu ağların bir çok alanda ilgi görmesini sağlamıştır. İlk YSA modeli McCulloch ve Pitts tarafından 1943'te yayınlanmış olan makale ile YSA'nın prensipte herhangi bir aritmetik veya mantıksal işlevi hesaplanabileceğinin gösterilmesi neticesinde; ilgiyi üzerine çeken bu çalışmayı takiben çok okunan ve araştırılan bir konu halini almıştır. Hebb (1949), YSA için öğrenme üzerine başlangıç noktası sayılabilecek bir kuralı geliştirmiştir ki bugün halen geçerli olan öğrenme kurallarından birçoğunun da temelini teşkil etmiştir. Roseblatt (1958) doğrusal algılayıcı modeli ve öğrenme kuralı ile YSA konusunda ikinci önemli çıkışı yakalamıştır (Şen, 2004).

1960'lı yıllarda çalışmalar hızlanarak yeni bir yaklaşım olan tekli yinelemeli doğrusal sinir Ağı, Widrow ve Hoff (1960) tarafından geliştirilmiştir. 1980'li yılların başında Hopfield tarafından doğrusal olmayan ağların geliştirilmeye başlanmasıyla YSA yaygın hale gelmiştir. Kohonen (1982) ve Anderson (1983) tarafından yapılan çalışmalar sonucunda eğiticiyiz öğrenen ağların geliştirilmesiyle çalışmalar ivme kazanmıştır (Şen, 2004).

YSA ile ilgili çalışmalar tek katmanlı sinir ağı ile başlamış olup ağı yapısı giriş ve çıkış katmanları ile tek katmanlı sinir ağları için doğrusal olan bir çıktı fonksiyonundan oluşmuştur. Ancak tek katmanlı sinir ağları doğrusal olmayan problemleri çözememiş olup; zamanla doğrusal olmayan problemleri çözmek için, çok tabakalı (the multi layer perception) (MLP) modeli Rumelhart, Hinton ve Williams (1986) tarafından geliştirilmiştir. Bu algoritma güçlü olmakla birlikte oldukça karmaşık matematiksel hesaplara dayanmaktadır. Halen en çok kullanılan öğretim sisteminden biri olan bu algoritmanın ortaya çıkması YSA alanında bir çığır açmıştır. Öğrenme algoritmalarının problemlerinin üstesinden gelmeye çalışan bu çalışmaların yanı sıra Connor, Martin ve Atlas (1994), Liano (1996), McDowall ve Ham (1997) Mili ve diğ. (1996), Sanchez (1995), Umasuthan ve Wallace (1996), Wang, Wu ve Principe (1996)

ve Zhang, Huang (1998) tarafından önerilen öğrenme algoritmalar da bulunmaktadır (Baş, 2016).

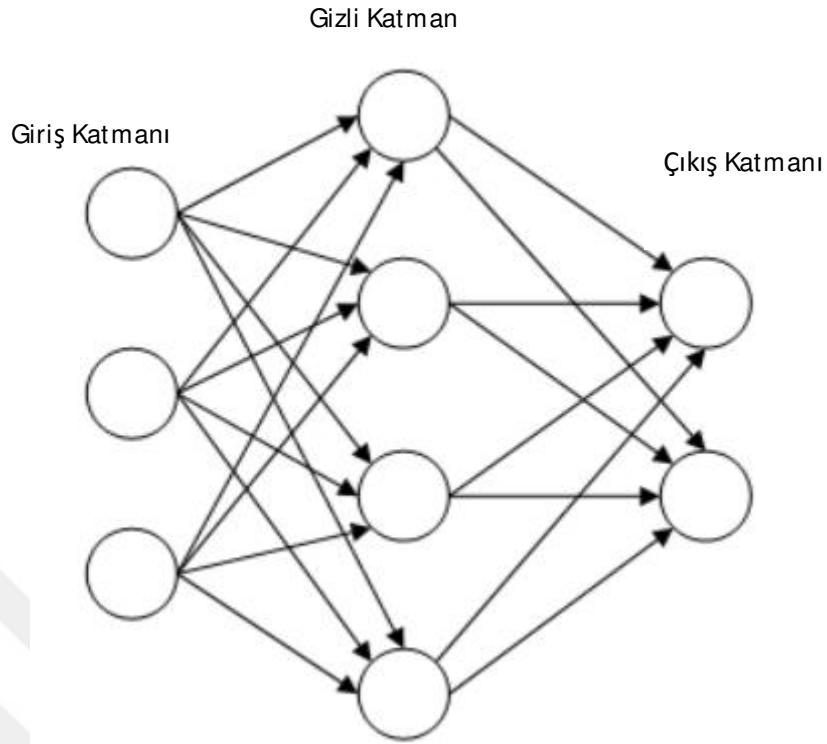
Ek olarak, aykırı değerleri içeren zaman serilerinin verilerin genel özellikleriyle bağdaşmadığı Hill, Marquez, O'Connor ve Remus (1994) ve Zhang, Eddy Patuwo, Hu (1998) çalışmalarıyla MLP' nin tahmin performansını olumsuz etkilediği gösterilmiştir. Bununla birlikte, Chuang, Hsiao ve Su (2000), veri kümesinin aşırılıkları olduğunda klasik YSA yaklaşımlarının bile problemleri olduğunu göstermiştir. Varsayımlardan sapmalara rağmen iyi özellikli tahminler üreten istatistiklere sağlam istatistikler denir. YSA literatüründe, veri kümesindeki aykırı değerlerin bulunması durumunda bile kullanılabilen birkaç sağlam öğrenme algoritması vardır (Baş, 2016).

MLP modeli, bir girdi, bir veya daha fazla gizli katman ve bir çıktı katmanı içerir. MLP modelinin ana amacı, ağ tarafından üretilen çıktı ile ağdan beklenen çıktı arasındaki farkı (hata) azaltmaktır. Modeller Basu ve Ho (1999), Labib (1999), Plate (2000) ve Zhang ve ark. tarafından önerilmiştir. Bu YSA türlerine ek olarak, literatürde, Yadav, Kumar, Kalra ve John (2006) ve geometrik ortalama nöron modeli tarafından önerilen genelleştirilmiş ortalama nöron modeli Shiblee, Chandra ve Kalra (2010) yer almaktadır. Bununla birlikte, tüm bu modellerin ortalamasına dayanan toplama işlevleri, veri kümesi aşırılıkları olduğunda oldukça olumsuz etkilenir. Bu durumda, modellerin tahminleri verilerin genel özelliklerinden uzaklaşır ve aykırı değerlere yönelir. Bu nedenle; model aşırı yüklemenin yüksek veya düşük olmasına bağlı olarak gerekli olanın altında veya daha yüksek tahminler verecektir (Baş, 2016).

3.3.2. Yapay Sinir Ağ Modeli

Sinir ağı modeli canlı sinir sistemlerinin simülasyonunu temel alan bir analiz şeklidir. Bir dizi yüksek düzeyde birbirine bağlı düğümler, aynı zamanda işleme elemanları, yapay nöronlar veya birimler olarak da adlandırılır. bilginin paralel olarak işlenmesini sağlar. Düğümler, diğer birimlerden girdilerini alır ve daha sonra bu ortak girdileri daha önce işlerler. YSA sürecinin aşamalarından önce, ağın giriş değişkenleri tanımlanmalıdır. Seçilen girdiler ve hedefler teorik bir ilişkiye sahip olmalıdır; aksi halde eğitim aşamasında karşılaşılan zorluklar olacaktır (Parhizgar, 2012).

Bir yapay sinir ağının genel yapısı Şekil 3.8.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Yapay sinir ağı modeli (Şen, 2004)

Şekil 3.8.'de gösterilen ağ yapısında her bir tabakada paralel görünen hücreler bulunmaktadır. Giriş katmanı (G) ve çıkış katmanı (Ç) değişkenleri arasındaki ilişki bir fonksiyonla gösterilecek olursa;

$$\text{Ç} = f(\text{G}) \text{ şeklinde bir fonksiyonla ifade edilebilir.}$$

3.3.3. Yapay Sinir Ağlarının Bileşenleri

- Giriş Bileşeni

Ağa dış ortamdan veya ağda bulunan hücrelerden gelen bilgiler giriş bileşeni olarak ifade edilir. Giriş bileşenleri ağın öğrenmesi için gerekli olan bilgileri kapsamaktadır. Ağ yapısını oluşturan giriş değerlerinin her birinin ağırlığı vardır. Giriş bileşenlerinin ağırlıkları ağda bulunan diğer verilere göre önemini gösterir. Yani ağırlıkların değerine göre üretilen çıktı verileri değişkenlik gösterir (Ayvaz, 2012).

- Ağırlık Bileşeni

Ağırlık bileşeni YSA için giriş verisi olarak ağa kaydedilen bilgilerin ağ yapısı genelinde önemini ve çıktı verisine etkisini ifade eder. Burada girdi değişkeninin önemi ağırlığın sayı değeri ile ölçülmemektedir. Bu nedenle ağırlığın değerinin 0 olması ya da

eksi değerler alması önemsiz olduğu demek değildir. Ağırlık değerinin eksi olması etkisinin negatif olduğu, artı olması ise etkisinin pozitif olduğu anlamına gelmektedir.

- Toplama Fonksiyonu

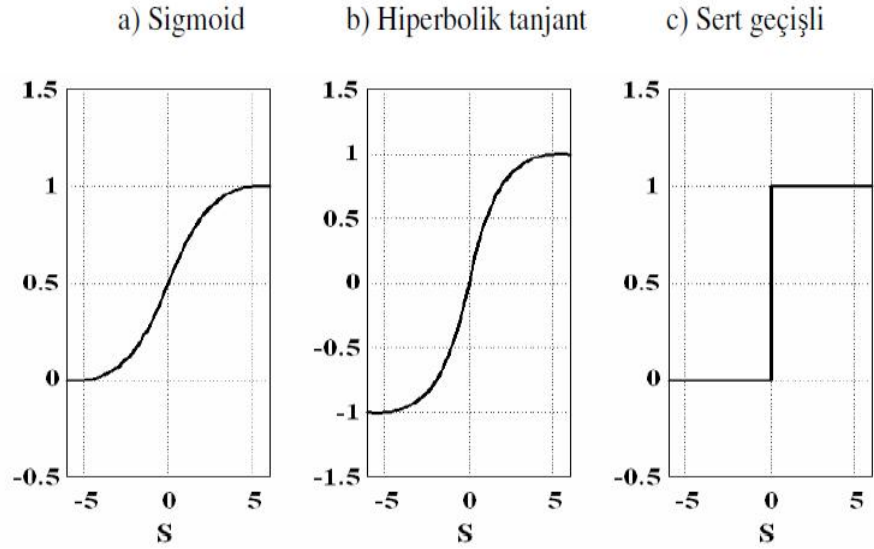
Toplama fonksiyonu ağ hüccesine gelmiş olan girdilerin net değerinin hesaplanmasını sağlayan fonksiyondur. Giriş verilerinin ağırlıklarıyla çarpılması sonucu ağırlıklı toplam bulunmuş olur. Ağın yapısına göre toplama fonksiyonlar değişkenlik göstermektedir. Bunlar maksimum, minimum, çarpım, kümülatif toplam, çarpım, toplam fonksiyonları olabilir. Hangi fonksiyonun seçileceği ise deneme yanılma yoluyla belirlenebilir (Ayvaz, 2012).

- Aktivasyon Fonksiyonu

Aktivasyon fonksiyonu ağ hüccesinin net girdisinin işlenerek çıktının belirlendiği fonksiyon olup, ağa girilen verileri işleyerek ağın bu veriyi kullanarak çıktı verisi oluşturmasını belirler. Çıktının hesaplanması değişik aktivasyon fonksiyonları seçilerek belirlenebilir. Kullanıcının toplama fonksiyonunda olduğu gibi denemeler sonucunda model çıktısı için uygun olan fonksiyon seçilir.

Ağlarda kullanılan aktivasyon fonksiyonları seçilirken türevi alınabilen türler olmasına dikkat edilmelidir.

şekil 3.9.'da ağ modeli oluşturulurken türevi alınabilen bazı aktivasyon fonksiyonları için en çok kullanılan örnekler den bazıları gösterilmiştir (Sevinçtekin, 2014).



Şekil 3.9. Aktivasyon fonksiyonu örnekleri (Sevinçtekin, 2014)

- Çıkış Fonksiyonu

Aktivasyon Fonksiyonu tarafından sonuç olarak elde edilen çıktı değeridir. Üretilen çıktı ağına dışına ya da başka bir hücreye gönderilir. Hücre kendi çıktısını kendisine girdi olarak ta gönderebilir. Yapay sinir hücrelerinin birden fazla girdisi olmasına rağmen çıkış değeri tektir.

3.3.4.Yapay Sinir Ağlarının Sınıflandırılması

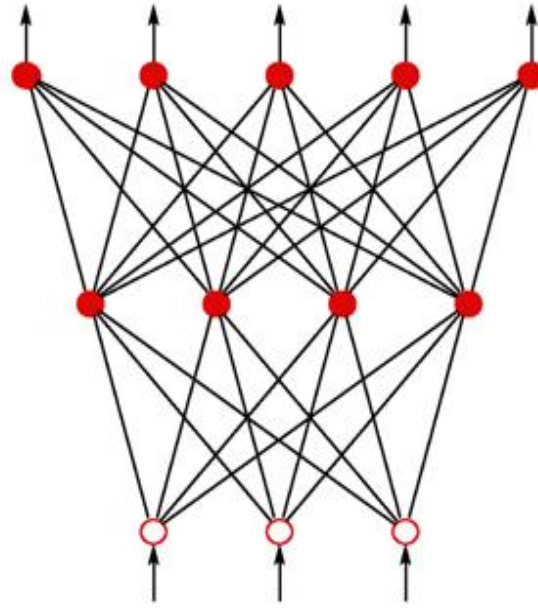
YSA katmanlar arası kurulan bağ yapısı dikkate alınarak ileri beslemeli ve geri beslemeli olmak üzere iki kategoriye ayrılabilir.

3.3.4.1. İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağları

İleri beslemeli bir YSA yapısında giriş verileri ileri doğrultuda ilerlemektedir. Katmanlar şeklinde organize edilen bir sayıdaki basit nöron benzeri işlem birimlerinden oluşur. Bir katmanda bulunan her birim, önceki katmanda yerleşmiş olan tüm birimlerle bağlanır. Bu bağlantı bileşenleri hepsi eşit değerler olmayıp, her bir bileşen birimler arasındaki farklı bir kuvvet veya ağırlığa sahip olabilir. Genellikle sinir ağına bulunan birimler de düğümler olarak adlandırılır.

Bilgiler giriş hücrelerine girer ve çıkışlardan gelene kadar ağ yapısında bir katmandan diğerine geçer. Ağ üzerinde çalışma sırasında, bir sınıflandırıcı olarak

davrandığında, katmanlar arasında geri bildirim yoktur. İşte bu yüzden ileri besleme yapay sinir ağları olarak ifade edilir (Sharma, 2013).



Şekil 3.10. İleri Beslemeli Ağ (Sharma, 2013)

Yukarıdaki şekilde gösterilen içi boş 3 (üç) daire girişleri ifade eder, yani ağın herhangi bir katmanında ait değildir. Aşağıdan yukarıya doğru ortada gizli katman ve en yukarıda ise çıkış katmanı yer almaktadır. Her bir katman yalnızca önceki katmana bağlı olup tüm bağlantılar şekilde gösterilmiştir.

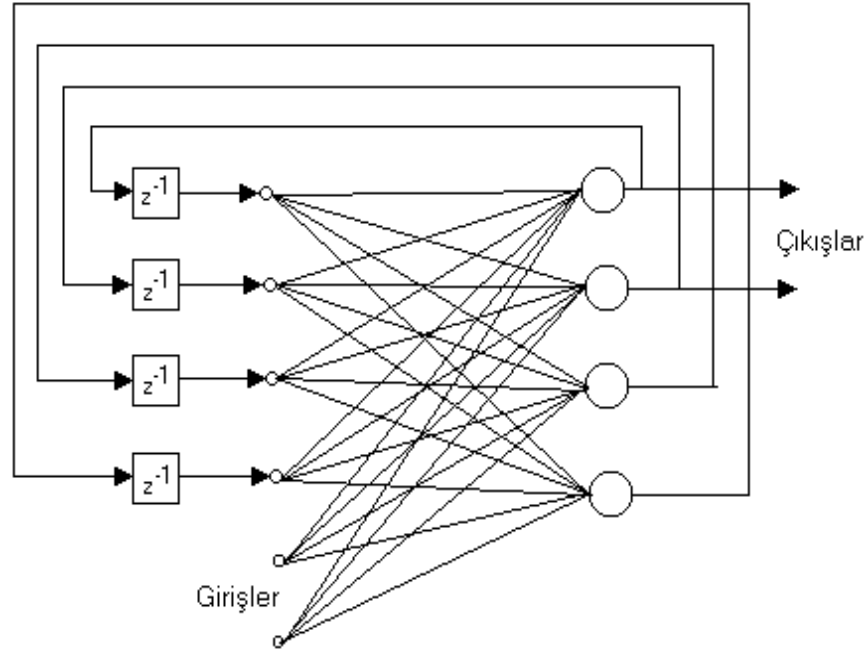
Ağa veri girişiyle başlayan bilgilerin akışı her zaman ileri yöndedir. Giriş katmanını almış olduğu verileri herhangi bir değişime uğramadan gizli katmana yönlendirmekle görevlidir (Elmas, 2003).

3.3.4.2. Geri Beslemeli Yapay Sinir Ağları

Geri Beslemeli YSA yapısında bir hücrenin oluşturduğu çıkış verisi diğer hücre için giriş verisi olarak kullanılmaktadır. Veri akışı bir katman üzerindeki hücreler arasında olabilmekle beraber katmanlar arasında da gerçekleşebilir. Geri besleme ardından elde edilen bağlantı verileri aynı giriş değerleri ile beslenerek işlem tekrarlanabilir ve YSA girdileri olarak bilinmeyen çıktıları öngörebilir (Çuhadar, 2006).

Sistem tamamen doğrudan bir çıktının alındığı geri beslemeli dinamik bir işlemin çıktısının diğer bir işlemin girişi olarak işlev görmesine dayanır. Geri besleme sistemi olarak çalışan ağlara “tekrarlayan ağlar” denir. Ağ mimarisinde

sistemin her çıktıyı diğer hücrede doğrudan operasyon ile giriş verisi olarak kullanması bir yenileme olduğundan tekrarlayan ağlar olarak ifade edilir (Zgurovsky, 2016).



Şekil 3.11. Geri beslemeli ağ yapısı (Hopfield,1984)

Şekil 3.11.'de geri beslemeli ağ yapısı özelliği net olarak gösterilmiştir. Bu tür beslemede çıkış katmanından elde edilen sinyaller yeniden ağın giriş katmanına z^{-1} verileri olarak uygulanmıştır.

3.3.5. Strok Boyunca Sıcaklığın Yapay Sinir Ağları ile Tahmini

Bu tez kapsamında ekstrüzyon işleminde proses parametrelerinin değerleri değiştirilerek her bir parametrenin maksimum profil sıcaklığı üzerindeki etkisi incelenirken YSA kullanılmıştır. YSA mühendislik problemlerinin çözümü ve bilişim teknolojilerinin yeteneklerini arttırmak için hızlı ve verimli uygulamalar olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle bu çalışmada model geliştirilerek çeşitli noktalarda sıcaklık tahmininin etkili bir şekilde yapabilmek için YSA'nın uygulanabilirliğini göstererek; strok boyunca sıcaklık artışının kritik seviyeye ulaştığı sınırlar tespit edilmiştir.

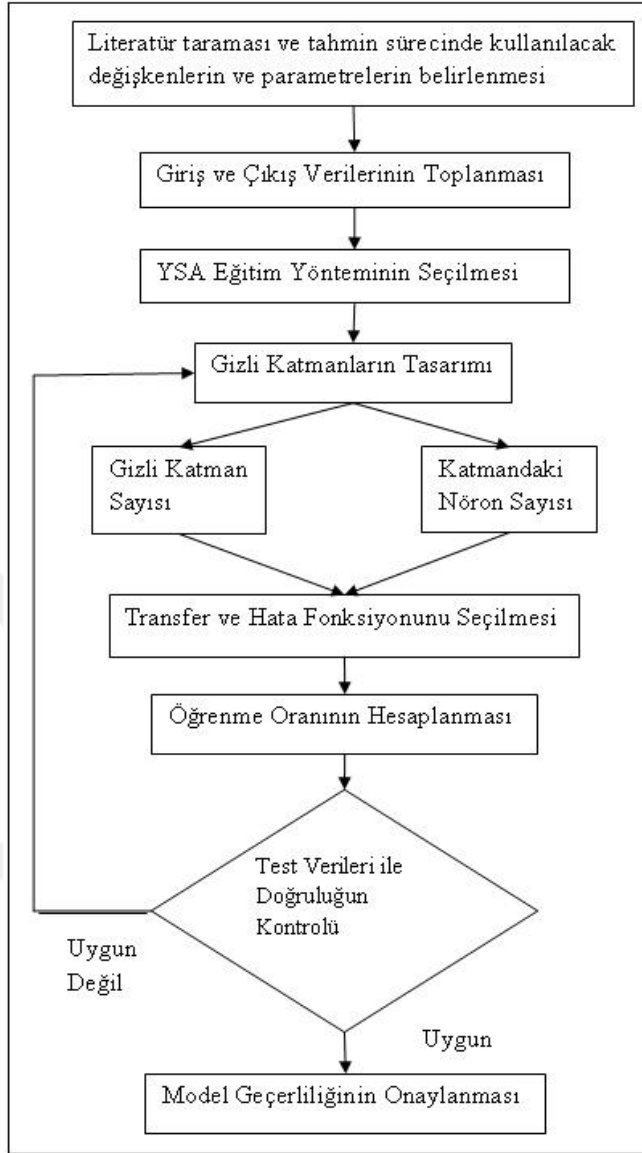
YSA modellerinin geliştirilmesi için biyet sıcaklığı, ıstampa hızı ve strok giriş parametreleri dikkate alınmıştır. Ağda kullanılan veri seti, bu çalışmada gerçekleştirilen sonlu eleman simülasyonlarından elde edilmiştir.

Bir YSA çalışmasının organizasyonu için farklı öğrenme kuralları ve mimarileri

kullanılabilir. En yaygın olarak kullanılan YSA'lar geri yayılım algoritmaları tarafından eğitilen çok katmanlı algılardır. Bu algoritma, herhangi bir sürekli işleve yakınlaştırma sağlayabilir ve daha kısa eğitim süresine sahiptir. En iyi modeli bulmak için, giriş verilerinin doğru kombinasyonu ile çeşitli YSA yapıları kurulmuştur. Bu çalışmada, toplam verilerin %85'i ağı eğitilmesi sürecinde kullanılmıştır. Test aşaması için ise toplam verinin kalan %15'i kullanılmıştır. Test veri seti, sinir ağının gelişimi sırasında kullanılmamıştır ve bu nedenle, geliştirilen ağın doğruluğunu test etmek için iyi bir gösterge oluşturabilirler.

YSA mimarisini her model için en uygun geliştirmek amacıyla, gizli katmandaki nöronların sayısı ve farklı transfer fonksiyonlarına sahip katmanlar strok boyunca ekstrüzyon sıcaklığı tahmin etmeye çalışılmıştır. Yakınsama sağlanana kadar ağ yapılarının farklı varyasyonları denenmiştir. Bu çalışmada, çok katmanlı algı, geri yayılım algoritmalarıyla eğitilmiş, ileri beslemeli sinir ağları kullanılırken Than Axon transfer fonksiyonu tercih edilmiştir.

YSA modeli kurulması için çalışma aşamaları Çizelge 3.4.'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.4. YSA modeli çalışma akış şeması (Kocatepe, 2016)

3.3.6. Tahmin İçin Kullanılacak Veriler

Sonlu eleman yöntemiyle gerçekleştirilen simülasyon grafiklerinden YSA modellerinin geliştirilmesi amacıyla kullanılacak veriler seçilerek, biyet sıcaklığı, ısıtma hızı ve strok değerleri giriş parametreleri olarak belirlenmiştir. Bu kapsamda Çizelge 3.5.'te model geliştirilmesi amacıyla çeşitli noktalarda sıcaklık tahmininin yapılması ve strok boyunca sıcaklık artışının maksimum seviyeye ulaştığı sınırların tespiti için ağız girilecek parametreler belirtilmiştir.

Çizelge 3.5. Sonlu elemanlar programından alınan veriler

No	Strok(mm)	Biyet Sıcaklığı(°C)	Maksimum Sıcaklık(°C)	No	Strok(mm)	Biyet Sıcaklığı(°C)	Maksimum Sıcaklık(°C)
1	6,6	440	440	30	159,6	440	476
2	6,96	440	443	31	164	440	475
3	7,24	440	448	32	172,4	440	474
4	7,52	440	451	33	176,8	440	473
5	8,16	440	457	34	179,6	440	472
6	9,92	440	466	35	6,4	470	470
7	12,36	440	468	36	6,96	470	471
8	13,44	440	471	37	7,44	470	476
9	15,28	440	473	38	7,68	470	479
10	18,52	440	475	39	8,04	470	482
11	19,8	440	476	40	8,56	470	484
12	23,8	440	477	41	8,88	470	485
13	26,68	440	477	42	9,2	470	486
14	33,76	440	478	43	10,2	470	490
15	42	440	479	44	10,8	470	491
16	50,8	440	479	45	11,44	470	491
17	58,4	440	481	46	12,16	470	494
18	68,4	440	482	47	12,76	470	494
19	76,8	440	482	48	15,08	470	496
20	86,8	440	483	49	15,92	470	496
21	95,6	440	482	50	17,56	470	497
22	108,4	440	482	51	19,44	470	497
23	116,8	440	483	52	21,04	470	498
24	125,6	440	482	53	24,28	470	498
25	131,6	440	482	54	28,4	470	499
26	141,2	440	481	55	32,84	470	500
27	148,4	440	480	56	36,96	470	499
28	152	440	478	57	42,4	470	499
29	154,4	440	477	58	47,6	470	498
59	52,4	470	498	103	115,6	500	511
60	61,2	470	498	104	121,6	500	510
61	70,8	470	498	105	127,2	500	508
62	82	470	497	106	134	500	507

Çizelge 3.5.'in (devamı). Sonlu elemanlar programından alınan veriler

No	Strok(mm)	Biyet Sıcaklığı(°C)	Maksimum Sıcaklık(°C)
63	89,2	470	497
64	98,8	470	497
65	106,8	470	497
66	115,2	470	495
67	122,4	470	495
68	129,6	470	495
69	132,4	470	493
70	144,8	470	491
71	151,2	470	489
72	156,8	470	488
73	165,2	470	486
74	171,6	470	485
75	175,2	470	483
76	178,4	470	483
77	6,4	500	500
78	6,96	500	501
79	7,56	500	504
80	8,36	500	508
81	9,28	500	511
82	10,24	500	514
83	11,8	500	516
84	13,08	500	517
85	14,08	500	518
86	15,84	500	519
87	18,08	500	520
91	38,16	500	520
92	41,6	500	519
93	47,2	500	518
94	53,6	500	517
95	60,8	500	516
96	70,4	500	515
97	78,8	500	514
98	84,8	500	513
99	90,4	500	513
100	99,2	500	512
101	105,2	500	511
102	110	500	510

No	Strok(mm)	Biyet Sıcaklığı(°C)	Maksimum Sıcaklık(°C)
107	140	500	506
108	146,8	500	505
109	149,2	500	503
110	154,8	500	502
111	159,2	500	500
112	164	500	499
113	169,2	500	497
114	172	500	496
115	176,8	500	495
116	6,4	440	440
117	6,8	440	441
118	6,976	440	445
119	7,216	440	451
120	7,728	440	461
121	7,992	440	464
122	8,64	440	469
123	9,6	440	471
124	10,8	440	475
125	11,44	440	477
126	12,96	440	479
127	15,12	440	481
128	17,6	440	483
129	20,64	440	485
130	24,4	440	486
131	28,32	440	489
132	33,04	440	489
133	36	440	490
134	40,48	440	491
135	47,44	440	492
136	54,08	440	492
137	62,24	440	493
138	67,76	440	492
139	74,88	440	494
140	81,6	440	493
141	92	440	494
142	96	440	495
143	100,8	440	496

Çizelge 3.5.'in (devamı). Sonlu elemanlar programından alınan veriler

No	Strok(mm)	Biyet Sıcaklığı(°C)	Maksimum Sıcaklık(°C)	No	Strok(mm)	Biyet Sıcaklığı(°C)
144	121,6	440	495	185	6,968	500
145	131,2	440	496	186	7,264	500
146	142,4	440	496	187	7,568	500
147	148	440	494	188	7,832	500
148	154,4	440	493	189	8,16	500
149	160,8	440	492	190	8,8	500
150	172	440	491	191	9,36	500
151	176,8	440	491	192	9,76	500
152	6,4	470	470	193	11,28	500
153	6,8	470	471	194	12,24	500
154	6,976	470	472	195	13,2	500
155	7,272	470	477	196	14,96	500
156	7,544	470	483	197	17,44	500
157	7,832	470	485	198	20,16	500
158	8,4	470	491	199	23,28	500
159	8,96	470	494	200	28,24	500
160	9,92	470	497	201	41,68	500
161	11,28	470	500	202	50,08	500
162	12,4	470	502	203	58,64	500
163	12,96	470	503	204	70,8	500
164	14,96	470	505	205	77,92	500
165	16,88	470	506	206	83,2	500
166	18,4	470	507	207	92,8	500
167	20,64	470	510	208	99,2	500
168	23,76	470	511	209	111,2	500
169	30,08	470	511	210	119,2	500
170	37,6	470	512	211	129,6	500
171	44,88	470	512	212	136,8	500
172	54,96	470	512	213	148	500
173	57,92	470	512	214	151,2	500
174	68,88	470	512	215	155,2	500
175	83,2	470	510	216	160,8	500
176	92	470	511	217	164	500
177	101,6	470	510	218	167,2	500
178	109,6	470	510	219	172,8	500
179	120	470	510	220	6	440
180	128,8	470	509	221	6,912	440
181	138,4	470	508	222	7,248	440
182	147,2	470	507	223	7,536	440
183	153,6	470	506	224	8,1	440
184	6,4	500	500	225	8,436	440

Çizelge 3.5.'in (devamı). Sonlu elemanlar programından alınan veriler

No	Strok(mm)	Biyet Sıcaklığı(°C)	Maksimum Sıcaklık(°C)	No	Strok(mm)	Biyet Sıcaklığı(°C)
226	9,396	440	475	267	10,452	470
227	9,552	440	478	268	11,076	470
228	10,2	440	480	269	11,688	470
229	11,136	440	482	270	12,6	470
230	12,48	440	484	271	14,28	470
231	14,04	440	486	272	14,52	470
232	14,64	440	487	273	15,12	470
233	15,84	440	488	274	19,08	470
234	17,88	440	492	275	21,24	470
235	23,52	440	493	276	21,96	470
236	24,6	440	495	277	24,24	470
237	27,12	440	497	278	28,92	470
238	29,64	440	498	279	33,72	470
239	32,88	440	499	280	39,6	470
240	37,56	440	500	281	49,56	470
241	51	440	500	282	64,08	470
242	57,72	440	502	283	76,8	470
243	62,52	440	501	284	95,64	470
244	68,88	440	501	285	99,12	470
245	75,24	440	501	286	111	470
246	87	440	501	287	122,4	470
247	96,48	440	502	288	133,2	470
248	107,64	440	502	289	146,4	470
249	116,28	440	502	290	153,6	470
250	128,4	440	502	291	156	470
251	141,6	440	502	292	168	470
252	147,6	440	503	293	176,4	470
253	159,6	440	504	294	177,6	470
254	168	440	503	295	5,4	500
255	171,6	440	503	296	6,6	500
256	6	470	470	297	6,972	500
257	6,912	470	472	298	7,26	500
258	7,284	470	482	299	7,572	500
259	7,608	470	486	300	7,884	500
260	7,848	470	492	301	8,184	500
261	8,292	470	494	302	8,484	500
262	8,58	470	496	303	9,108	500
263	8,88	470	498	304	9,672	500
264	9,18	470	499	305	10,62	500
265	9,456	470	500	306	12	500
266	10,02	470	502	307	12,96	500

Çizelge 3.5.'in (devamı). Sonlu elemanlar programından alınan veriler

No	Strok(mm)	Biyet Sıcaklığı(°C)	Maksimum Sıcaklık(°C)
308	14,88	500	534
309	18	500	536
310	20,88	500	537
311	26,04	500	538
312	29,16	500	539
313	42,12	500	540
314	48,36	500	540
315	53,88	500	539
316	60,36	500	538
317	72,24	500	537
318	81,84	500	536
319	86,16	500	535
320	94,68	500	534
321	106,56	500	534
322	109,44	500	533
323	128,4	500	533
324	138	500	532
325	145,2	500	530
326	152,4	500	528
327	157,2	500	527
328	169,2	500	527
329	176,4	500	526

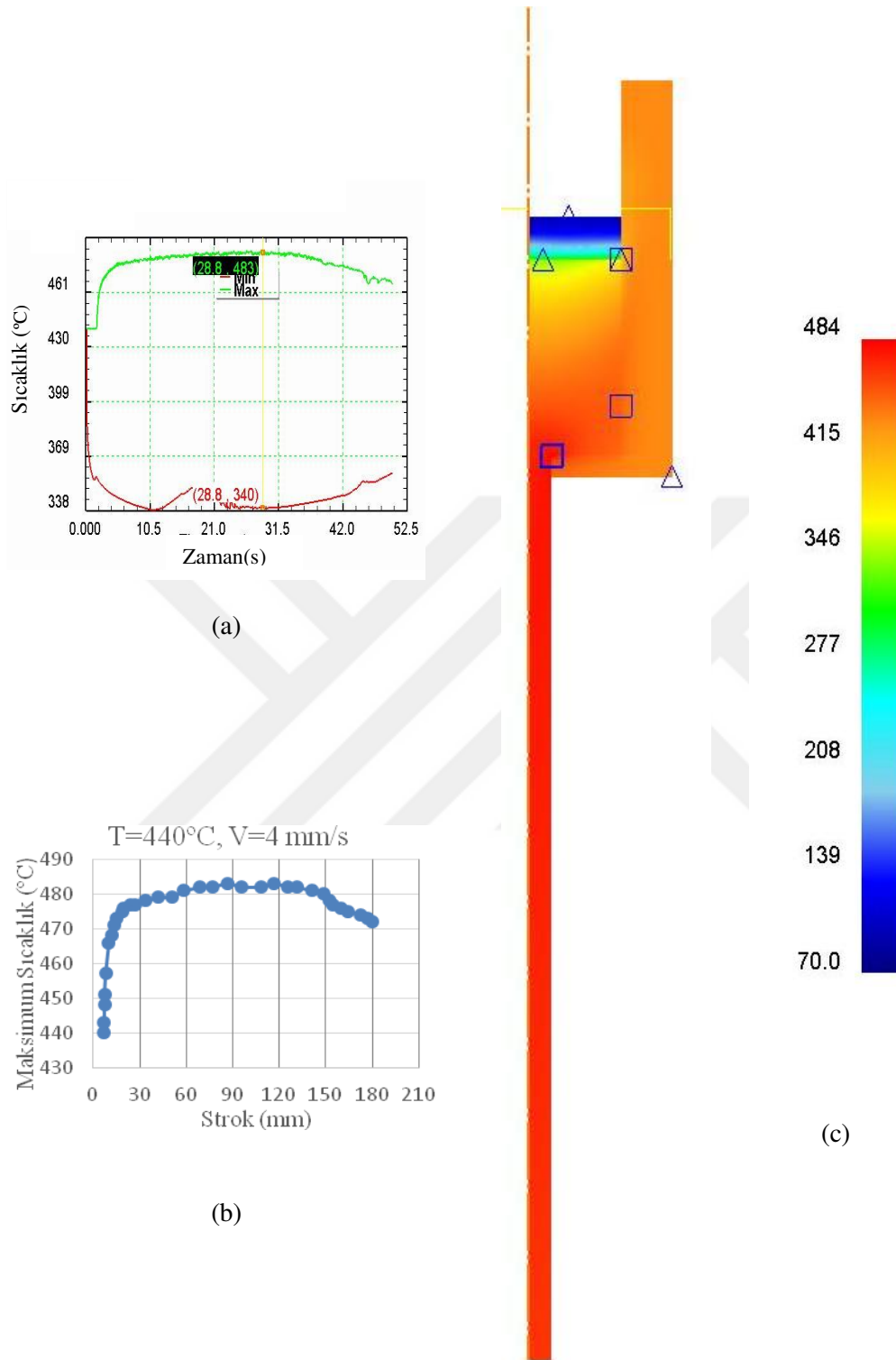
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Sonlu Elemanlar Simulasyon Sonuçları

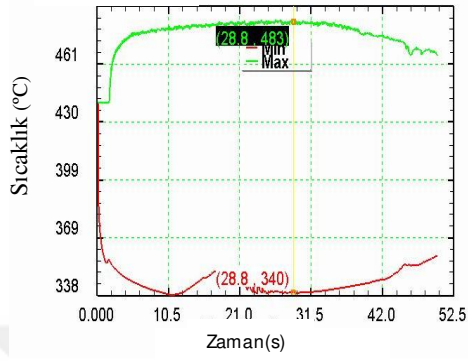
Sonlu elemanlar simülasyonları için biyet sıcaklığı (T_b) 440°C, 470°C, 500 °C'lik, kalıp sıcaklığı (T_k) 430° C'lik sabit bir değer ve ıstampa hızları 4 mm/s, 8 mm/s, 12 mm/s değerleri baz alınarak, farklı biyet sıcaklıklarının ve ıstampa hızlarının strok boyunca maksimum ekstrüzyon sıcaklığı üzerine etkisinin sonuçları alınmıştır.

Bu bölümde farklı veri değerlerinde gerçekleştirilen simülasyon sonuçlarından çıkan maksimum profil sıcaklığı ile sıcaklığın strok boyunca değişimleri gösterilmiştir. Ekstrüzyon süresince ortaya çıkan ısı değişimleri, maksimum ve minimum sıcaklık değerleri Şekil 4.1.'den 4.9.' a kadar olan şekillerde bölgeler halinde verilmiştir. Strok boyunca sıcaklık değişimi için DEFORM yazılımından alınan grafik, YSA modellemesinde kullanılmak üzere simülasyonlar sonucu yazılımdan seçilmiş verilerden oluşturulmuş grafik, simülasyon ait resim ve her simülasyon için ayrı ayrı oluşturulan sıcaklık skalasına yer verilmiştir.

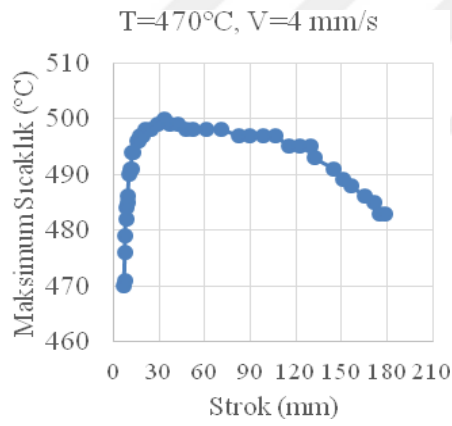
Gerçekleştirilen 9 simülasyonun bitmesi sonucu DEFORM 2D programından elde edilerek gözlemlenen sıcaklık değerlerinin gerçek ekstrüzyon uygulamaları aralığında olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca aynı hızlarda değiştirilen biyet sıcaklığına bağlı gerçekleştirilen simülasyon sonuçları incelendiğinde, biyet sıcaklığının strok boyunca maksimum ekstrüzyon sıcaklığında etkili olduğu görülmüştür. Diğer taraftan aynı biyet sıcaklığı değerinde farklı ıstampa hızlarında gerçekleştirilen simülasyonlarda ise hız artıkça maksimum sıcaklığın da yükseldiği skalalarda, farklı renklendirilmiş bölgeler halinde gösterilmiştir.



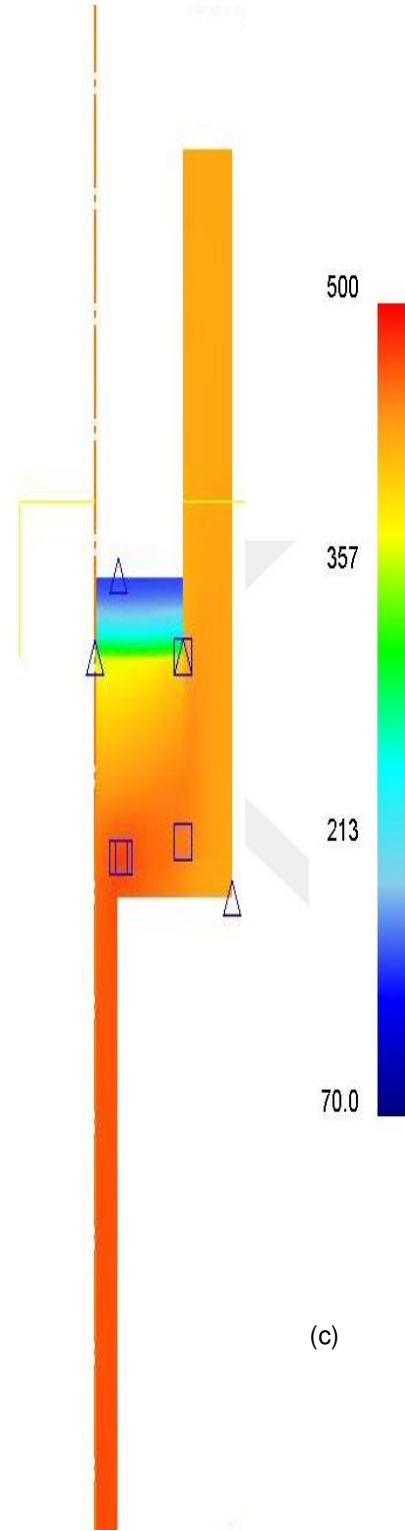
Şekil 4.1. 1 nolu simülasyon sonuçları: (T= 440°C V= 4mm/s) (a) DEFORM yazılımından alınan grafik, b) DEFORM yazılımının oluşturduğu grafikten YSA modellemesinde kullanılmak üzere seçilmiş verilere ait grafik, c) Simülasyona ait resim ve sıcaklık skalası)



(a)

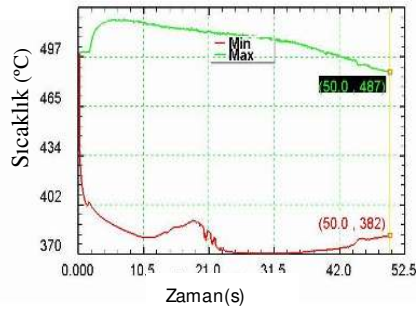


(b)

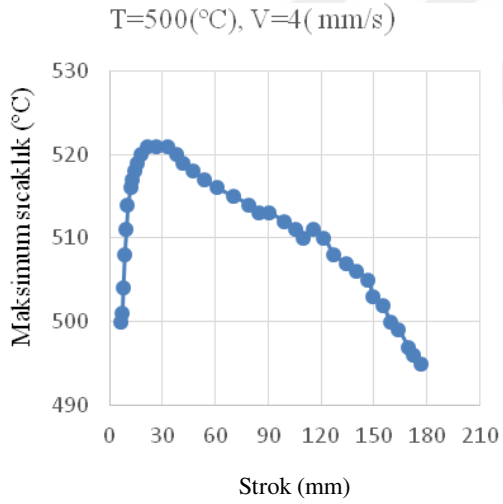


(c)

Şekil 4.2. 2 nolu simülasyon sonuçları: (T= 470°C V= 4mm/s) (a) DEFORM yazılımından alınan grafik, b) DEFORM yazılımının oluşturduğu grafikten YSA modellemesinde kullanılmak üzere seçilmiş verilere ait grafik, c) Simülasyona ait resim ve sıcaklık skalası)



(a)

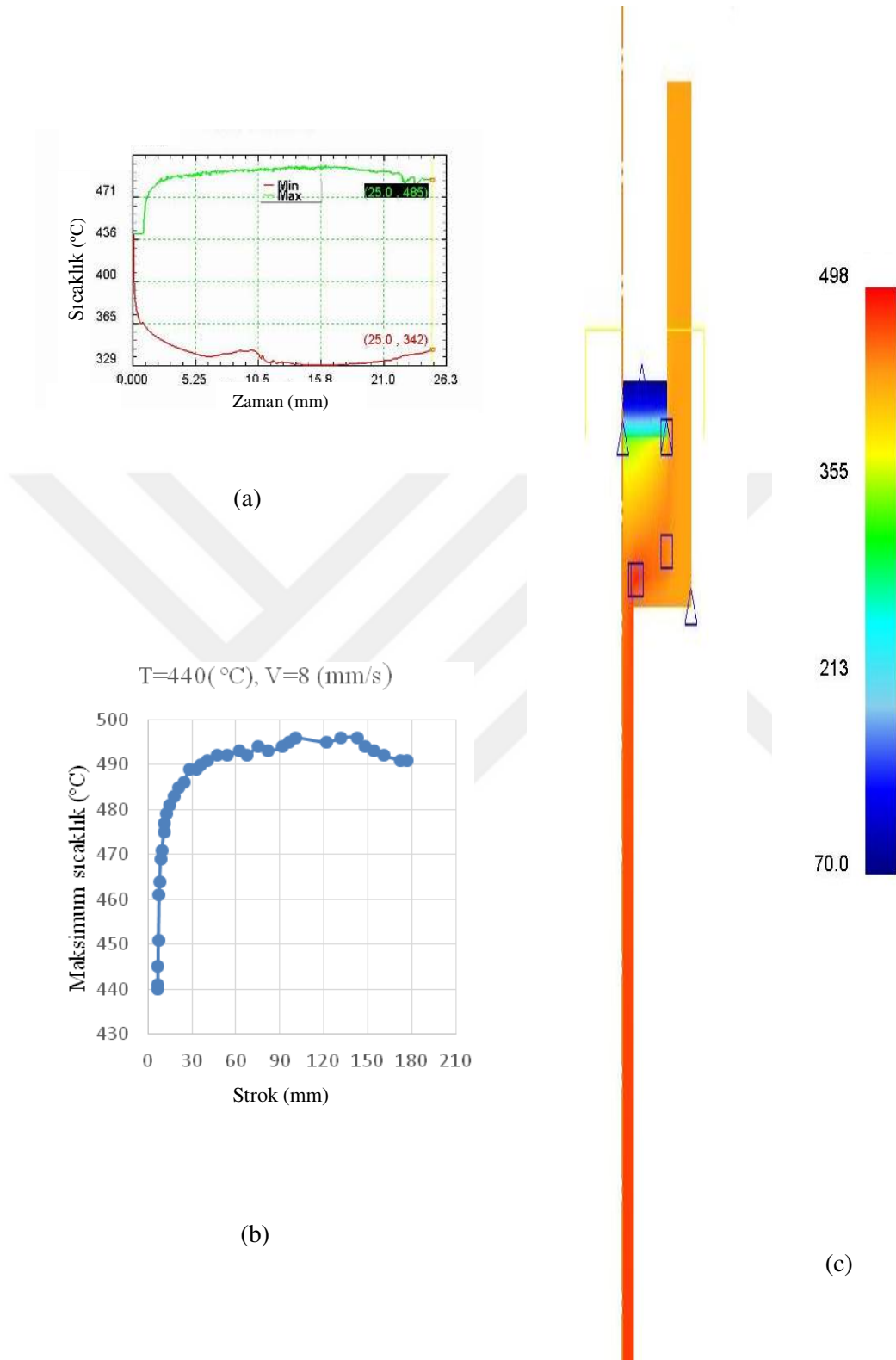


(b)

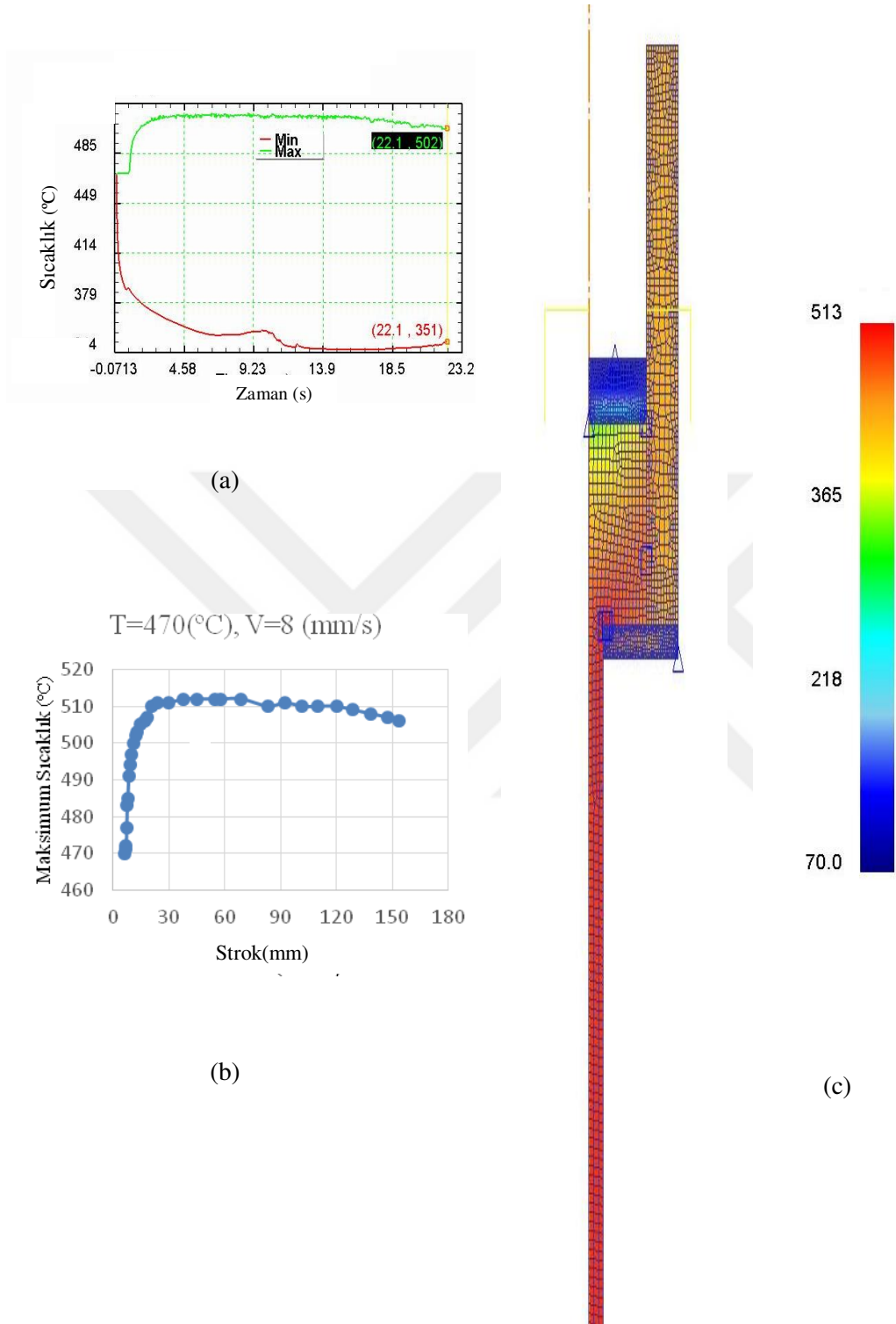


(c)

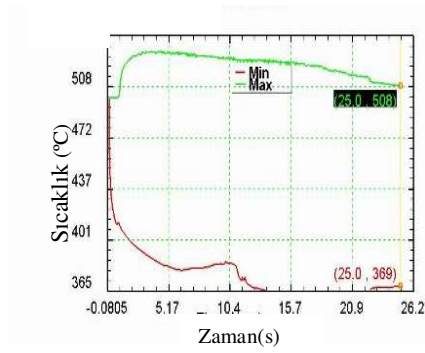
Şekil 4.3. 3 nolu simülasyon sonuçları: (T= 500°C V= 4mm/s) (a) DEFORM yazılımından alınan grafik, b) DEFORM yazılımının oluşturduğu grafikten YSA modellemesinde kullanılmak üzere seçilmiş verilere ait grafik, c) Simülasyona ait resim ve sıcaklık skalası)



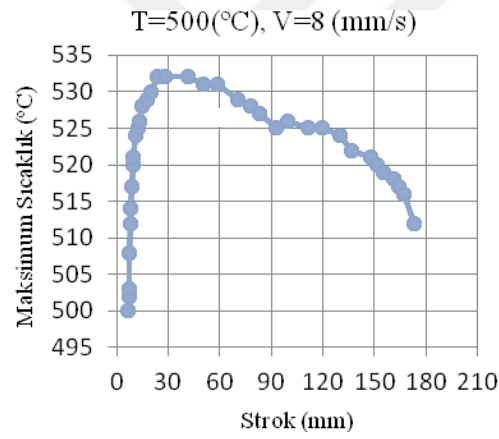
Şekil 4.4. 4 nolu simülasyon sonuçları: (T= 440°C V= 8mm/s) (a) DEFORM yazılımından alınan grafik, b) DEFORM yazılımının oluşturduğu grafikten YSA modellemesinde kullanılmak üzere seçilmiş verilere ait grafik, c) Simülasyona ait resim ve sıcaklık skalası



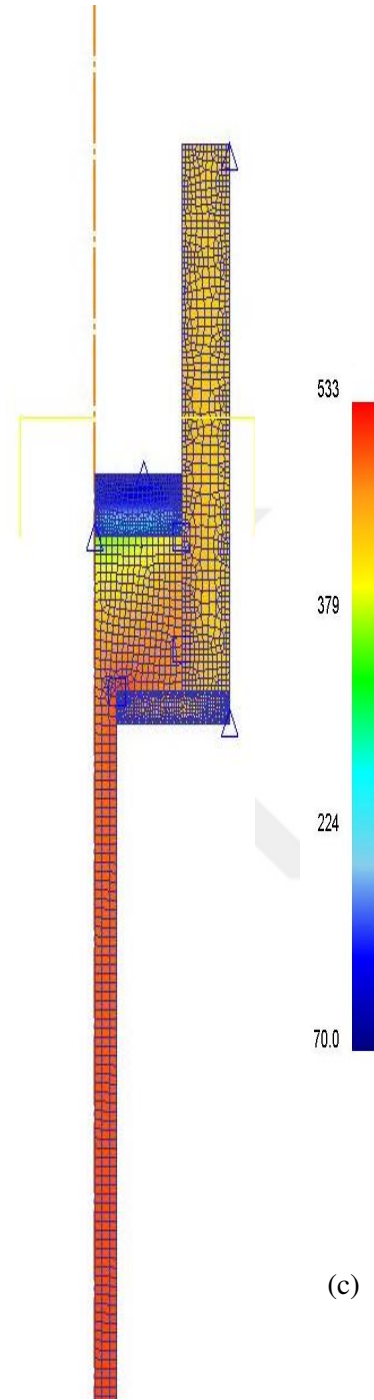
Şekil 4.5. 5 nolu simülasyon sonuçları: (T= 470°C V= 8 mm/s) (a) DEFORM yazılımından alınan grafik, b) DEFORM yazılımının oluşturduğu grafikten YSA modellemesinde kullanılmak üzere seçilmiş verilere ait grafik, c) Simülasyona ait resim ve sıcaklık skalası



(a)

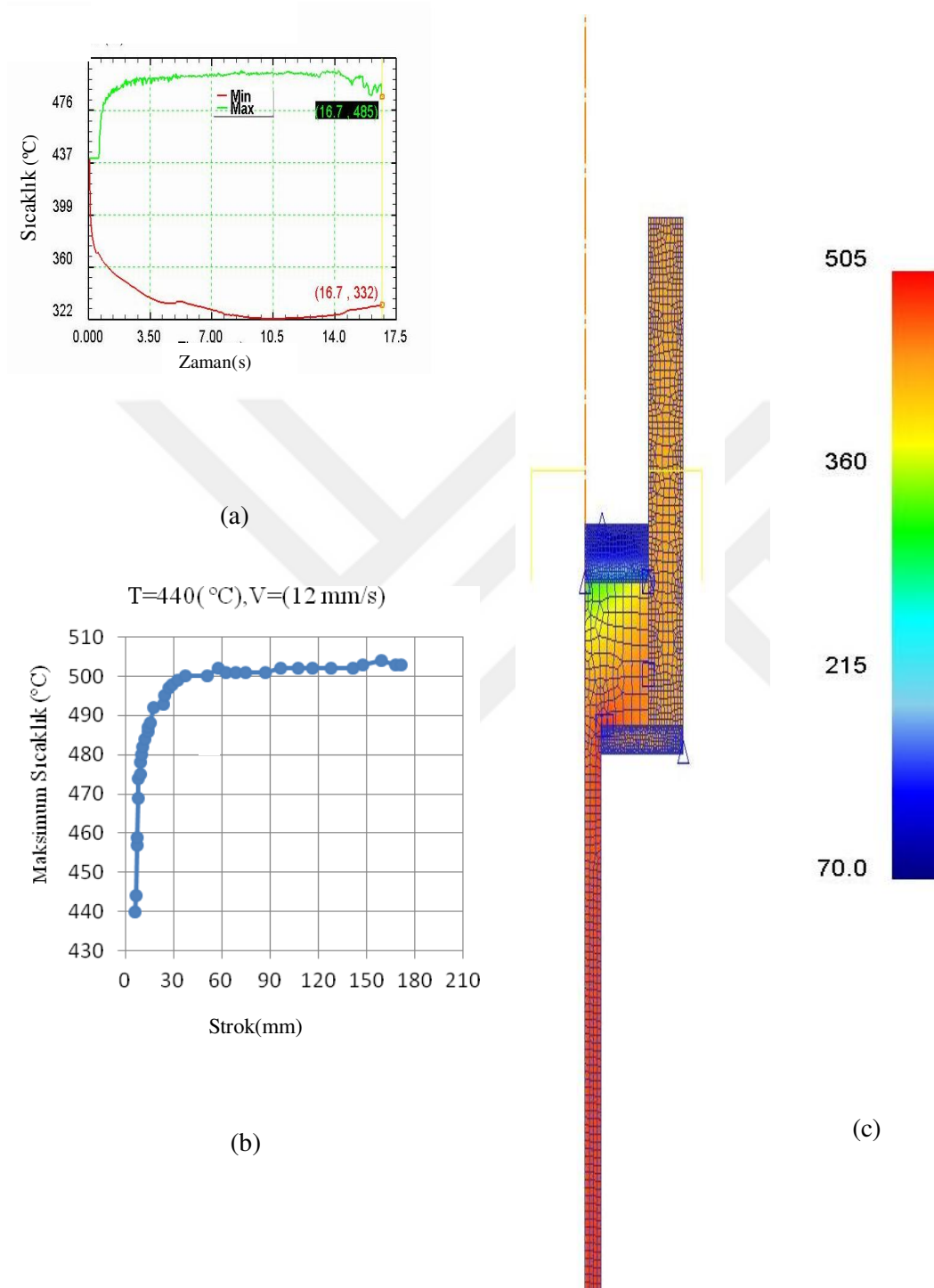


(b)

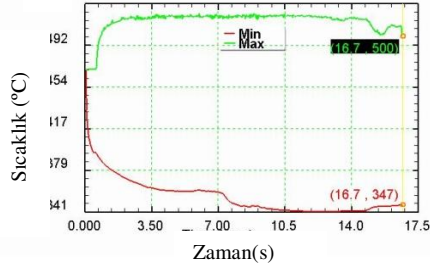


(c)

Şekil 4.6. 6 nolu simülasyon sonuçları: ($T= 500^{\circ}\text{C}$ $V= 8 \text{ mm/s}$) (a) DEFORM yazılımından alınan grafik, b) DEFORM yazılımının oluşturduğu grafikten YSA modellemesinde kullanılmak üzere seçilmiş verilere ait grafik, c) Simülasyona ait resim ve sıcaklık skalası

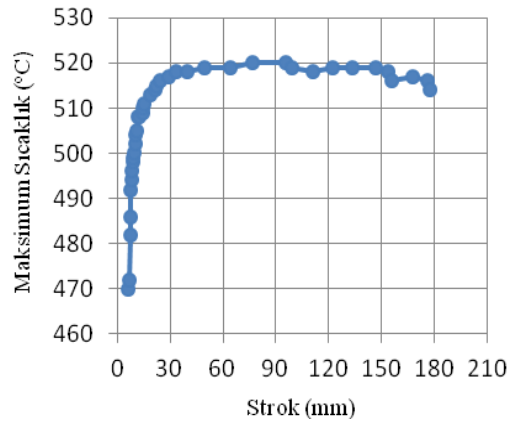


Şekil 4.7. 7 nolu simülasyon sonuçları: (T= 440°C V= 12 mm/s) (a) DEFORM yazılımından alınan grafik, b) DEFORM yazılımının oluşturduğu grafikten YSA modellemesinde kullanılmak üzere seçilmiş verilere ait grafik, c) Simülasyona ait resim ve sıcaklık skalası

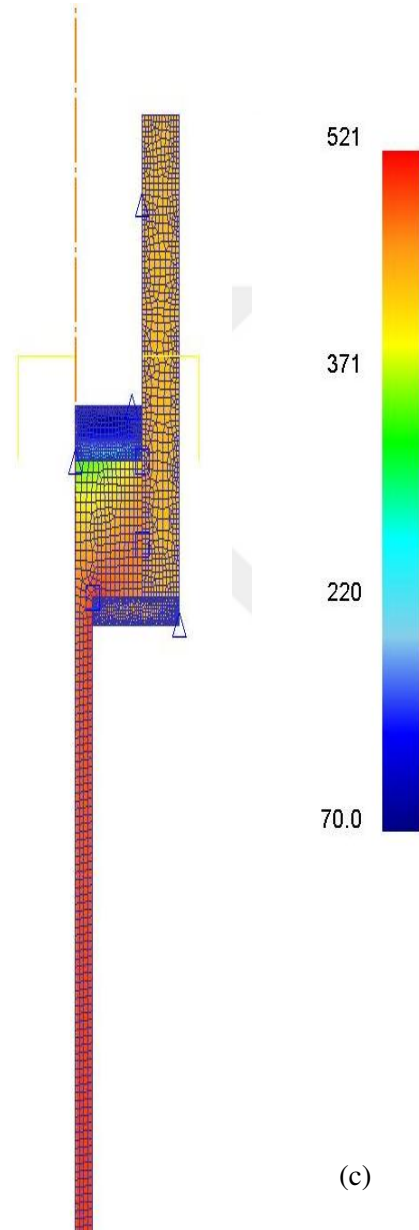


(a)

$T=470(^{\circ}\text{C})$, $V=12$ (mm/s)

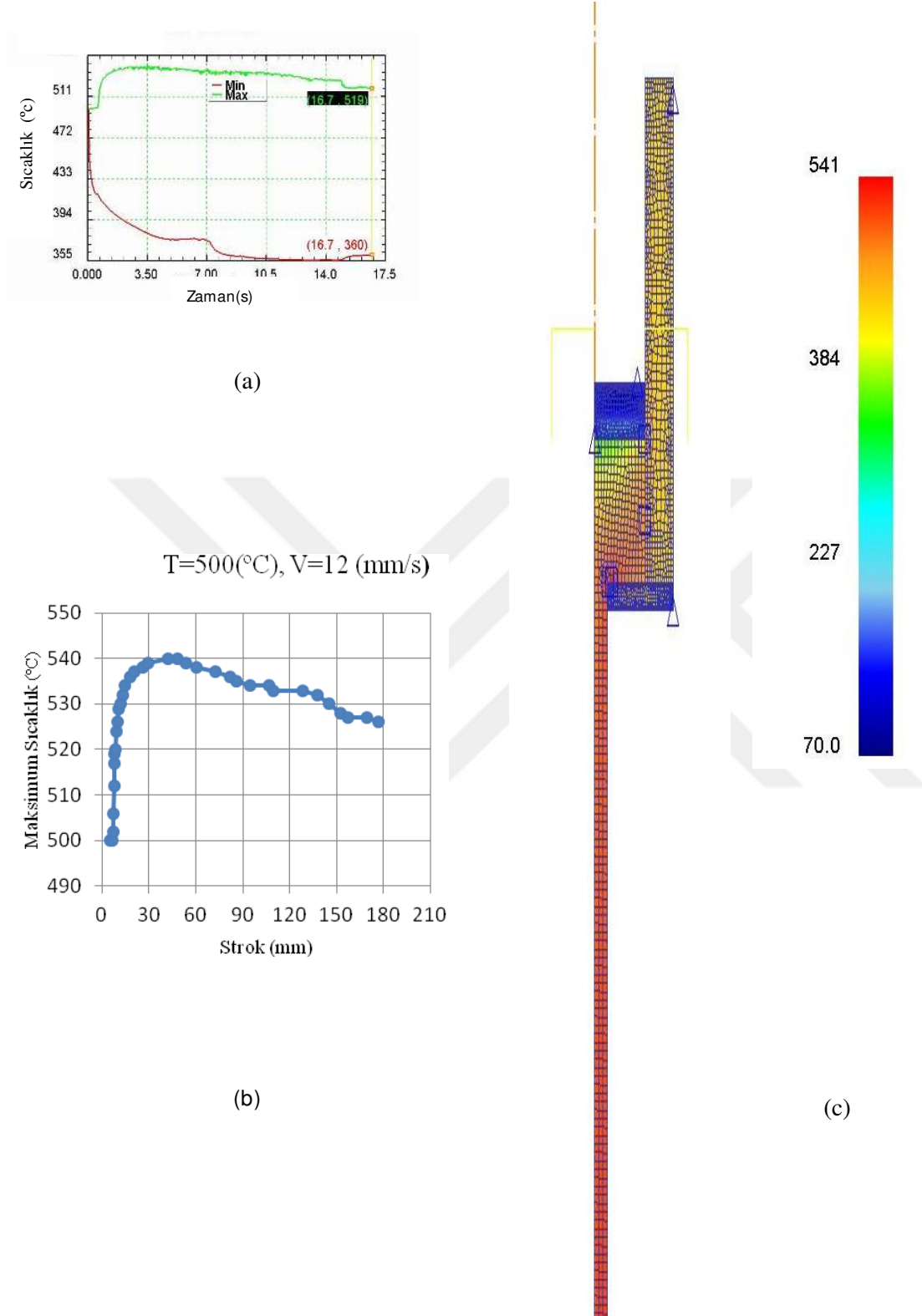


(b)



(c)

Şekil 4.8. 8 nolu simülasyon sonuçları: ($T= 500^{\circ}\text{C}$ $V= 8$ mm/s) (a) DEFORM yazılımından alınan grafik, b) DEFORM yazılımının oluşturduğu grafikten YSA modellemesinde kullanılmak üzere seçilmiş verilere ait grafik, c) Simülasyona ait resim ve sıcaklık skalası



Şekil 4.9. 9 nolu simülasyon sonuçları: (T= 500°C V= 12 mm/s) (a) DEFORM yazılımından alınan grafik, b) DEFORM yazılımının oluşturduğu grafikten YSA modellemesinde kullanılmak üzere seçilmiş verilere ait grafik, c) Simülasyona ait resim ve sıcaklık skalası

Simülasyonlarda gözlemlenen sıcaklık değişimi ve maksimum sıcaklık noktaları Şekil 4.1. ile Şekil 4.9. arasında gösterilmiştir. Şekil 4.1.'de yer alan grafik ve skala ($T=400\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V=4\text{ mm/s}$) değerlerine göre yapılmış 1 nolu simülasyona aittir. Bu simülasyonda kullanılan değerler diğerleri arasında en düşük değer olup; sıcaklık ve hızın düşüklüğüne bağlı olarak maksimum sıcaklık $484\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye ulaşmıştır. Şekil 4.2.'de ($T=470\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V=4\text{ mm/s}$) değerleri dikkate alınarak gerçekleştirilmiş simülasyonda hız sabit tutularak artırılan biyet sıcaklığının maksimum sıcaklık değerini yükselttiği görülmüş olup; bu değere $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye ulaşmıştır. Yine hız sabit tutularak biyet sıcaklığının $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ değerinin girildiği 3 nolu simülasyona ait Şekil 4.3.'te yer grafikler incelendiğinde maksimum sıcaklığın $522\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar çıktığı görülmüştür. Kalıptan çıkan ürünün çok aşırı sıcak olması durumunda kalıp açıklığından geçerek almış olduğu şeklin muhafazası zorlaşmaktadır. Bu durumda üretimde zaman ve malzeme kaybına ve kalitede düşüşe sebep olmaktadır. Bu nedenle ekstrüzyon ile üretim işlemlerinde meydana gelecek maksimum sıcaklığın uygulama öncesi simülasyonlar yapılarak gözlemlenebilir olması oldukça önemlidir.

İlk 3 simülasyonda kullanılan biyet sıcaklıkları bu defa da 4, 5 ve 6'ncı simülasyonlar, $V=8\text{ mm/s}$ hız değeri sabit tutularak sıcaklığın değişen kombinasyonlarıyla gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.4., Şekil 4.5. ve Şekil 4.6. incelendiğinde hız değerinin 4 mm/s yerine 8 mm/s seçilmesi maksimum sıcaklığı arttırdığı görülmüştür. Hız değerinin yüksek seçilmesi şekil değişimi için ihtiyaç duyulan kuvvetin daha az uygulanmasını sağlamıştır.

Son 3 simülasyon ise $V=12\text{ mm/s}$ hız ile biyet sıcaklığın yine $440\text{ }^{\circ}\text{C}$, $470\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'lik değerler seçilerek gerçekleştirilmiştir. Grafiklerinin tamamı incelendiğinde maksimum sıcaklığın 541°C olduğu görülmüştür. Bunun başlıca nedenleri biyet sıcaklığının belirlenen değerlerdeki en yüksek değer olan $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ olması ve ıstampa hızının en yüksek değer olan 12 mm/s olarak seçildiği 9 nolu simülasyonda sıcaklığın daha fazla artmasıdır. Yani sıcaklık ve hız değerleri arttıkça ve kalıptan çıkan ürün sıcaklığında da yüksek değerlere sebep olmaktadır.

Şekillerin tamamı incelendiğinde ekstrüzyon işlemi sırasında maksimum sıcaklığın olduğu nokta kalıp ağzı bölümü olduğu görülmüştür. Bu bölgede meydana gelen sürtünmeler ortaya çıkan ısıyı yükseltmektedir. Artan sürtünme sonucu sıcaklıkta meydana gelen artış malzemeyi sünekleştirir ve malzemenin akışını kolaylaştırır. Bu

sayede ekstrüzyon sırasında gerek duyulan ekstrüzyon kuvveti azalmaktadır. Ancak biyetin sıcaklığında meydana gelen aşırı yükselişler ekstrüzyon hatalarına yol açabilir.

Ekstrüzyon süresince sıcaklığın kontrolü ve üretim için gerçekleştirilen işlem sıklığına bağlı olarak düzenli aralıklarda belirlenecek olan kalite kontrol sistemleri dahilinde kalıp bakımı yapılmalıdır. Ayrıca üretim planı kapsamında belirli sayıda profilin şekillendirilmesi bitiminde gerçekleştirilmesi gereken bakımda belirlenerek kalite yönetimine katkı sağlanabilir. Düzenli bakımların yanı sıra kalıp soğutucu sistemler kullanılarak ya da zimba hızının ve biyet sıcaklığının azaltılmasıyla da sıcaklık kontrolü yapılabilmektedir.

Ekstrüzyon işlemi için gerçekleştirilen simülasyon adımlarında model üzerindeki ısı dağılımı şekillerde görüldüğü üzere homojen değildir. Başlangıçta biyet sıcaklığı düzgün dağılımlı olsa da ıstampa hızı, sürtünme ve sıkışmadan dolayı sıcaklık değişmeye başlamıştır. Model üzerindeki farklı renkler dikkate alınarak yapılan inceleme sonucu maksimum sıcaklığı temsil eden renk dağılımının kalıp ağzında yoğunlaştığı görülmüştür. Profilin ve kovanın sıcaklık dağılımları incelendiğinde ise içeriden dışarıya doğru sıcaklığın azaldığı şekillerden anlaşılmaktadır. Yani kalıp ve profil için iç sıcaklığın arttığı söylenebilir.

Şekillerde grafiklere ek olarak belirtilmiş olan sıcaklık skalaları ile ekstrüzyon işlemi süresince varılan maksimum ve minimum sıcaklık noktaları çıkarılmıştır. Skala üzerinde gösterilen maksimum ve minimum sıcaklık noktaları biyetin başlangıç sıcaklığının yüksek veya düşük olmasıyla ilgilidir. Daha yüksek girilen biyet sıcaklık değerleri ve yüksek zimba hızları ile yapılan simülasyonlarda programın verdiği sonuçlar incelendiğinde maksimum profil sıcaklıklarının daha yüksek değerlere ulaştığı görülmektedir.

Ekstrüzyon işlemi boyunca gerçekleştirilen işin büyük bir bölümü sıcaklığa dönüşmektedir. Bu nedenle plastik şekil değişimi esnasında sıcaklık değeri çok yüksek derecelere kadar çıktığından önemli ekstrüzyon parametrelerinden biridir. Yüksek sıcaklık sayesinde hem uygulanması gereken ekstrüzyon kuvvetleri düşürülebilir hem de plastik şekillendirme daha kolay bir şekilde gerçekleştirilebilir. Ancak bu sıcaklık değerinin de bir sınırı vardır, aşırı yüksek değerler profil malzemesinin erimesine neden olabilir ve daha yüksek ıstampa hızı ile uygulama yapılması konusunda sınırlamalara

yol açar. Kalıbın yıpranmasına sebep olabilecek sıcaklık değişimleri kontrol altına alınmalıdır.

Simülasyonlar sonucu elde edilen grafikler ile sıcaklık skalası incelenerek ve bilinen diğer gerçekler göz önünde bulundurularak ekstrüzyon işlemi boyunca sıcaklığı etkileyen faktörler aşağıdaki gibi sıralanabilir;

1. İstampa Hızı
2. Biyet Sıcaklığı
3. Kalıp-Biyet ve Kovan-Biyet arası sürtünmeler
4. Biyet malzemesinin özellikleri
5. Ölü Metal Bölgesi –Biyet arası sürtünmeler
6. Isı Transferleri
7. Ekstrüzyon oranı

4.2. Simülasyon Sonuçlarının Literatürle Karşılaştırılması

Çalışmada kullanılan sonlu elemanlar yazılımının uygunluğunun ölçülmesi sürecinde DEFORM 2D programına (Bingöl, 2015) literatür verileri girilerek elde edilen uygunluk simülasyonu sonuçlarının karşılaştırılması Çizelge 4.1.'de düzenlenmiştir.

Çizelge 4.1. Simülasyon ve Literatür Sonuçları

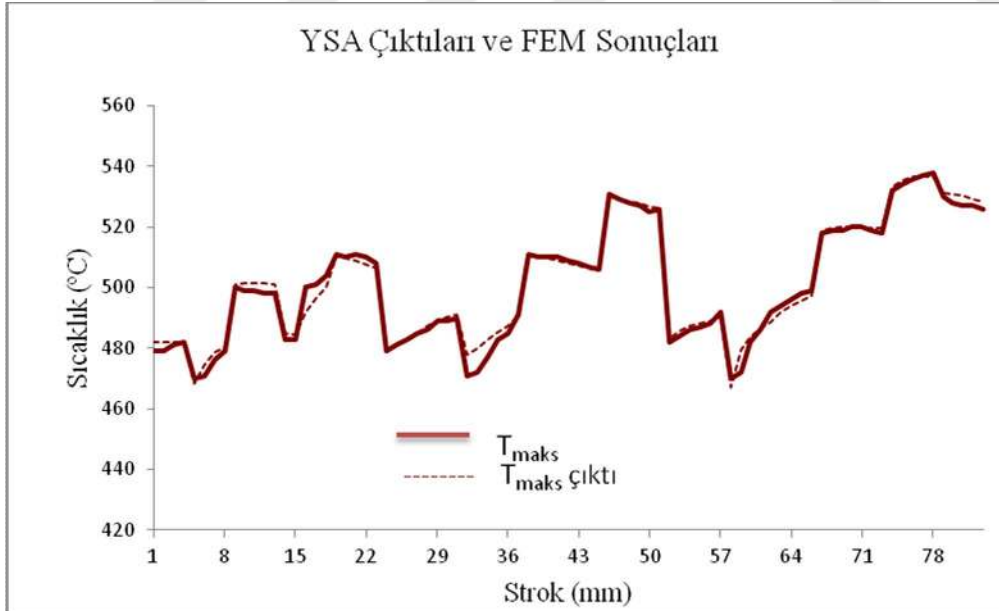
	Biyet Sıcaklığı	Kovan ve Kalıp sıcaklığı	İstampa Hızı	Maksimum Sıcaklık
Simülasyon Sonuçları	470	430	7,5	525
Literatür Sonuçları (Bingöl,2015)	470	430	7,5	522

Çizelge incelendiğinde de görülebileceği üzere literatür verilerinde Maksimum sıcaklık 522 °C iken bu tezde DEFORM 2D programı kullanılmasıyla elde edilen maksimum sıcaklık 525 °C olarak tespit edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde bu çalışma kapsamında elde edilen simülasyon sonuçları ile literatürdeki sonuçlar arasında tutarlı bir yakınlık derecesi olduğu görülmüştür. Bu nedenle yapılmış olan bu çalışmanın sonucunda simülasyonların başarıyla gerçekleştirildiği tespit edilmiştir.

4.3. Yapay Sinir Ağı Tahmin Sonuçları

Ekstrüzyon işleminde strok boyunca sıcaklığın YSA kullanılarak tahmini için Neuro Solutions yazılım programı kullanılarak bir ağ model geliştirildi. Giriş parametreleri olarak biyet sıcaklığı, ıstampa hızı ve strok YSA modellerinin geliştirilmesi için kullanıldı. Ağda kullanılan veri seti, bu çalışmada gerçekleştirilen sonlu eleman simülasyonlarından elde edildi.

Deney dataları iki gruba ayrılarak ilk grup yaklaşık %85'lik data YSA'nın eğitimi için kullanıldı ve kalan %15'lik ikinci grup datalar ise test için kullanıldı. Birkaç deneme yapıldıktan sonra gerçekleştirilen YSA modelinin sonuçlarını değerlendirmek için istatistiksel doğrulama aracı olarak belirleme katsayısı R^2 incelenerek, ağın en iyi yapısı belirlendi ve bu bölümde yer alan şekillerden verilen grafiklerden de doğru tercih yapıldığı tespit edildi. YSA ile tahmin yapan program kullanılarak maksimum ekstrüzyon sıcaklığı için girilen parametre değerlerine karşılık ağın verdiği tahmin sonuçlarının performansının incelenebileceği YSA çıktı değerleri ile sonlu elemanlar yazılımından elde edilen sonuçlar (istenilen sonuçlar) arasındaki benzerlik Şekil 4.10.'da gösterildi.



Şekil 4.10. YSA çıktıları ile FEM sonuçlarının karşılaştırılması

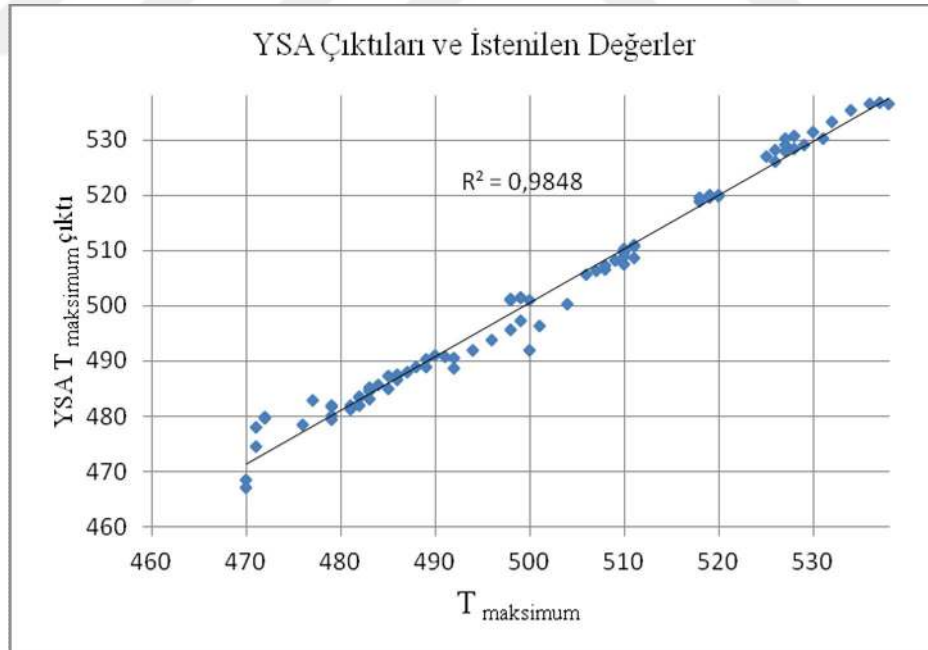
Şekil. 4.10.'da FEM sonuçları ile elde edilen maksimum sıcaklık değerleri ile ağın eğitimini tamamlaması ardından test edilmesiyle tahmin edilen maksimum sıcaklık değerleri salınımı incelenebilmektedir. Çıkış değerinin ne olduğu bilindiği için program

tarafından fark değeri tanımlanarak YSA çıktı değeri ile istenilen değer arasındaki fark azaldığında ağın eğitilmesine son verilebilir.

YSA'nın tahmin sonucu ortaya çıkardığı değerler beklenen değere ne kadar yakın olursa tahminin kabul edilebilirliği de o oranda yükselir. Şekil 4.10'dan anlaşılacağı gibi modelleme sonucunda maksimum sıcaklık trendi yakalanmış olup, simülasyonlar sonucu elde edilen sıcaklık verilerine yakın değerler elde edilmiştir.

Ancak bazı noktalarda aradaki fark açılmıştır ki ağın ortaya çıkardığı sonuçların istenilen ölçümler ile karşılaştırılması ile aradaki farklar hata olarak gözlenir. Gözlemlenen hataların kareleri toplamının en aza yönelecek şekilde ağı meydana getiren sınırlar arasındaki ağırlık değerleri hesaplanarak en küçük hata değeriyle çıktılarına yaklaşılmaktadır. Ağın ortaya çıkardığı hatalar tepeler ve çukurlar halinde yer alırlar. Oluşturulan YSA modeli kendi kendini ayarlayabilen bir donanıma sahiptir.

Ortaya çıkan hata değerlerinin analizinin yapılabilmesi için istenilen ve YSA çıktı değerlerinin saçılma diyagramı program tarafından oluşturulmakta olup Şekil 4.11.'de gösterilmektedir.



Şekil 4.11. YSA sonuçlarını doğrulama grafiği

Şekil 4.11'de YSA çıktıları ve istenilen değerlerin saçılma diyagramından anlaşılacağı üzere çalışmadan elde edilen sıcaklık sonuçları ile istenilen değerler arasında uyum olduğu bir gerçektir. YSA uygulamalarında istatistiksel yönden yapılan

değerlendirmelerde ağ modelinin iyi bir seçim olduğunun kanıtı, saçılma diyagramında verilen regresyon doğrusunun 45°'lik bir eğim ile oluşması ve bu doğrunun merkezden geçmesidir. Bu doğru matematiksel olarak ifade edilecek olursa;

$$y = ax+b$$

şeklinde oluşturulan regresyon denkleminde a olarak ifade edilen terim 1'e ve b terimi ise sifıra yakınsamalıdır. Bu çalışmada ağdan elde edilen çıktı değerleri ekstrüzyon işleminde strok boyunca sıcaklığının biyet, kovan ve kalıp sıcaklıkları ile ıstampa hızı parametrelerine bağlı olarak tahmininin kurulan model ile sağlıklı bir şekilde gerçekleştirilebileceği konusunda bir genelleme yapılabilir.



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılmış olan bu tez çalışmasında; biyet sıcaklığının ve ıstampa hızının strok boyunca ortaya çıkan ekstrüzyon sıcaklığı üzerine etkileri incelenmiştir. Çalışmanın ilk aşamasında AA6061 alaşımından oluşan biyet malzemesi seçilmiş olup; anılan malzeme için belirlenen parametrelerde simülasyonlar yapılmıştır. Strok boyunca oluşan maksimum sıcaklığın tespiti için DEFORM 2D sonlu eleman yazılımı kullanılarak toplam 9 adet simülasyon gerçekleştirilmiştir. Model üzerinde ekstrüzyon sıcaklığının bölgeler halinde değişimleri sonlu elemanlar yöntemi sayesinde görselleştirilmiş ve bu değişimleri kolaylıkla inceleyebileceğimiz resimler ve skalalar sunulmuştur. Resimler incelendiğinde ekstrüzyon boyunca simülasyon adımlarında modelin ısı dağılımlarının homojen olmadığı, sıcaklığın değiştiği tespit edilmiştir. Şekil değişimi sırasında gerçekleştirilen işin büyük bir bölümü sıcaklığa dönüştüğünden işlem boyunca sıcaklık artmakta olup, maksimum sıcaklığı temsil eden rengin yoğunlaştığı bölgenin kalıp ağzı olduğu resimlerden anlaşılmıştır. DEFORM 2D programının ekstrüzyon işleminde strok boyunca oluşan sıcaklığın ölçümü konusunda uygun olup olmadığına karar vermek için, literatürden seçilen bir çalışma ile (Bingöl, 2015) uygunluk simülasyonu gerçekleştirilmiş ve simülasyon sonuçları incelenerek kabul edilebilir oldukları görülmüştür. Sıcaklığın kontrolsüz şekilde artması profil malzemesinin bozulmasına, kalıbın yıpranmasına neden olabildiğinden analiz programları ile kontrol edilebilmesi önemli bir gelişme olduğu anlaşılmıştır.

Çalışmanın ikinci aşamasında sonlu elemanlar yöntemiyle yapılan simülasyonlardan alınan grafiklerden çıkarılan veriler YSA modelini kurmak amacıyla kullanılmıştır. Strok boyunca çeşitli noktalarda sıcaklığın maksimum seviyeye ulaştığı sınırların tahmin edilebilmesi için biyet sıcaklığı, strok değerleri ve ıstampa hızları belirlenmiştir.

YSA programının bilgi kütüphanesi ve veri işleme özelliklerini kullanarak inşa edilen nöral ağlar sayesinde ekstrüzyon sonucuna etki eden proses parametreleri daha net olarak tahmin edilmiştir. YSA yaklaşımı sonlu eleman simülasyon sonuçları ile karşılaştırılmış ve geliştirilen YSA modelinin maksimum ekstrüzyon sıcaklığını yüksek doğrulukla tahmin edebileceği görülmüştür. YSA ve sonlu eleman simülasyonu sonuçları arasındaki R^2 değeri 0,9848 olarak bulunmuş ve bu değer, maksimum

ekstrüzyon sıcaklığını tahmin etmek için geliştirilen YSA modelinin yüksek performanslı olduğunun bir kanıtıdır.

Ekstrüzyon yönteminde proses parametresinin fazla olması nedeniyle birçok deney yapılmasına sebep olmaktadır. Sonlu elemanlar yöntemiyle imalat sırasında iş parçasında gerçekleşen durumlar sanal ortamda gözlemlenmiş; yapılan bu çalışma ile ekstrüzyon teknolojisinin bir bölümünün etkileri incelenmiştir. Simülasyonlar sayesinde üretime geçilerek gözlemlenebilen sonuçlar üretim öncesinde ortaya konulabilir ve böylece hem zaman hem de maddi yönden kazanç sağlanabilir. Yapay Sinir Ağlarıyla tahmin yaparak laboratuvar ortamında ve üretim tesislerinde gerçekleştirilecek deneysel çalışmalar azaltılmış olur, metal şekillendirme sürecinde istikrar sağlayabilir ve metal iş parçasının şekillendirme kalitesini iyileştirmek için yeni bir fikir sağlanmasına yardımcı olabilir.

Simülasyonlar ve tahminler ışığında, önerilen modeller imalatla ekstrüzyon yöntemini kullananlar için verimli sayılabilecek sonuçlar ortaya koyulmuştur. Bilgisayar teknolojilerinin uygulamaya geçirilmesinde sağladığı avantajlar, sanayi ve imalat sektörünün teknolojik gelişmeleri yakından takip etmeleri gerektiğini göstermektedir. Ekstrüzyon yöntemiyle üretim yapan sanayi çalışanları deneme yanılma ve deneyimli personelin tecrübeleri göz önünde bulundurularak üretime geçme alışkanlığı olsa da bu alışkanlıkları değiştirebilecek nitelikte tahmin başarısına sahip programlar günümüzde geliştirilmiş ve gelişmeye de hızla devam etmektedir.

Bu çalışma, ekstrüzyon parametrelerini girdi verileri olarak kullanan YSA modellerinin ekstrüzyon sıcaklığını anlamlı düzeyde tahmin edebildiğini göstermiştir. YSA mühendislik problemlerinin çözümü ve bilişim teknolojilerinin yeteneklerini arttırmak için hızlı ve verimli uygulamalar olarak kabul edilebilir bir gerçektir. Yapay zekalar, sayısal modelleme yöntemleri mühendislik uygulamalarında son yıllarda kullanılmakta olan en modern yöntemler arasında yer almaktadırlar. Sadece mühendislik problemlerinde değil, çeşitli meteorolojik ve hidrolojik doğa olayları, ekonomi alanında kur tahminleri gibi konularda da sıklıkla uygulanmaktadır.

Gelecek çalışmalarda, farklı malzemeler kullanılarak ve kullanılan ekstrüzyon parametrelerini artırarak parametrelerin birbiri üzerindeki etkisi için tahmin modelleri gerçekleştirilebilir. Ağ modeli kurulurken seçilen öğrenme algoritması, ağ yapısı ve ağ

modeli değiştirilerek tahminler artırılabilir ve aynı çalışma daha farklı modeller kurularak yenilenmiş olur.

Yapay sinir ağları ve sonlu elemanlar yöntemlerinin sağladığı faydaların üretim çevrelerince kabullenmesi, bu çalışmalarda kullanılacak programların geliştirilmesi sanayi ve bilim alanları için önemli bir konu halini alması gerekmekte olup, sonuçların makul değerlerde olduğu gerçeği birçok problemin çözümünü mümkün hale getirmiştir.





6. KAYNAKLAR

- Ayvaz, E. 2012, Yapay Sinir Ağları Ve Paralel Akışlı Isı Eşanjörlerinde Uygulanması. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Baş, E., Uslu V. R., Egrioglu, E. 2016, Robust letarjinalgoritma for multiplicative neuron model artificial neural networks, *Expert Systems With Applications An International Journal* 56(80-88).
- Bauser, M., Sauer, G., Siegert, K., 2006. Extrusion Second Edition ASM International, America.
- Bingöl, S., Keskin, M.S., 2007 Effect of different extrusion temperature and speed on extrusion welds, *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering* 23.2 (39-43).
- Bingöl, S., Ayer Ö., Altınbalık M. T., 2014 Extrusion load prediction of gear-like profile for different die geometries using ANN and FEM with experimental verification, *International Journal Of Advanced Manufacturing Technology* 76:983–992
- Bingöl, S. 2015. The decreasing of the extrusion time with varying ram speed. *Materials and Manufacturing Processes, Taylor & Francis*. 30: 1185–1189
- Bingöl, S., 2016, Estimation Of Maximum Extrusion Temperature In Direct Extrusion, International Scientific Conference, 18 – 19 November 2016, Gabrovo 3(161-165).
- Bingöl, S., 2016, Kalıp Girşinin Ekstrüzyon Edilebilirlik Üzerine Etkisi, 2016. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, Diyarbakır.
- Carrera, G., Aires-de-Sousa J., 2005. Estimation of melting points of Pyridinium Bromide ionic Liquids With Decision Trees and Neural Networks, *Green Chemistry*, 7(20-27).
- Carpenter, W.C. Hoffman, M.E. 1997. Selecting the architecture of a class of back-propagation neural network used as approximators, *Artificial Intelligence for Engineering Design* 11(33-44).
- Chanda, T., Zhou, J., Duszczek, J. 2001. A comparative study on iso-speed extrusion and isothermal extrusion of 6061 Al alloy using 3D FEM simulations. *Journal of Materials Processing Technology* 114, 145–153.
- Çuhadar, M. 2006. Turizm Sektöründe Talep Tahmini İçin Yapay Sinir Ağları Kullanımı ve Diğer Yöntemlerle Karşılaştırmalı Analizi (Antalya İlinin Dış Turizm Talebinde Uygulama), Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı, Isparta.
- Elmas, Ç., 2003. Yapay Sinir Ağları, Seçkin Yayınevi, 132, Ankara.
- Hagan, M.T., Demuth, H.B., Beale, M.H. 1996. Neural Network Design. MA: PWS Publishing, Boston
- Hopfield, J., 1984. Neurons with graded response have collective computational abilities like those of two state neurons, *Proc. Nat. Academy of Science*, 81, pp 3088-309.
- Jawwad, A.K., Barghash, M. A. 2013. Evaluating the effects of process parameters on maximum extrusion pressure using a new artificial neural network-based (ANN-based) partial-modeling technique. *International journal of advanced manufacturing technology*, 68(9-12), 2547-2564.
- Kocatepe, C. İ. 2016. Ekonomik endeksler kullanılarak Türkiye’deki altın fiyatındaki değişim yönünün yapay sinir ağları ile tahmini, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Bilişim Enstitüsü, Ankara
- L. Fausett, 1994. Fundamentals of Neural Networks, Sayfa 6, Melbourne
- Lashkarbolooki, M., Vaferi, B., Shariati, A. Hezave, A.Z. 2013. Investigating vapor-liquid equilibria of binary mixtures containing super critical or near-critical carbon dioxide and acyclic compound using cascade neural network, *Fluid Phase Equilibria*, 343 24-29.

- Li, L., Zhou, J., Duszczek, J. 2004, Prediction of temperature development during the extrusion of 7075 aluminium alloy at various ram speeds by means of 3D FEM simulation, *Journal of Materials Processing Technology*, 145, 360–370.
- Parhizgar, H., Dehghani, M.R., Khazaei, A., Dalirian, M. 2012. Application of neural networks in the prediction of surface tensions of binary mixtures, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 51 (2775-2781).
- Saha, P. 2000. Aluminium Extrusion Technology. ASM International, America, (7-13-23-32)
- Sevinçtekin E., 2014 İmalat Sektöründe Yapay Sinir Ağları Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Sistem Mühendisliği Programı, İstanbul
- Sönmez, H., (1989), Metal Ekstrüzyonu, Eğitim yayınları A.S., İstanbul
- Sharma, A., Sandooja, B., Yadav, D. Extreme Machine Learning: Feed Forward Networks *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*. Volume 3, Issue 8, Gurgaon, India.
- Sünkür, E. 2016. Ekstrüzyon İşleminde Proses Parametrelerinin Etkisinin Sonlu Elemanlar İle Analizi Ve Taguchi Yöntemi İle Optimizasyonu Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi, Diyarbakır, 7-22.
- Şen, Z., 2004. Yapay Sinir Ağları İlkeleri, Su Vakfı Yayınları, İstanbul, (10-22).
- Valberg, H. 2010. Applied metal forming including fem analysis. Cambridge University Press. Norwegian University of Science and Technology
- Yang H., Zhang, J., Yangmin H., Bingtao H. 2005, Effect of Temperature and Ram Speed on Isothermal Extrusion for Large-size Tube with Piece-wing *Journal of Materials and Science Technology* 21.4 (499-504)
- Yıldız, D. 2016. Modelling, Simulation And Testing Of Artificial Neural Network Augmented Kalman Filter For Ins/Gps And Magnetometer Integration, Middle East Technical University, Ankara.
- Zgurovsky M.Z., Zaychenko, Y.P. 2016. The Fundamentals of Computational Intelligence: System Approach, Studies in Computational Intelligence 652, Springer International Publishing Switzerland DOI 10.1007/978-3-319-35162-9_2.
- Zhou, Z.H., Jianxin, W., Tang, W. 2002. Ensembling neural networks: Many could be better than all Artificial Intelligence 137 (239–263) National Laboratory for Novel Software Technology, Nanjing University, Hankou Road 22, Nanjing 210093, PR China.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Gülistan BALABAN

Doğum Tarihi : 03.10.1985

Doğum Yeri : Diyarbakır

Yabancı Dil : İngilizce

EĞİTİM DURUMU

İlköğretim : Sakarya İlköğretim Okulu Mardin

Lise : Nevzat Ayaz Anadolu Lisesi Diyarbakır

Lisans : Çukurova Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Adana 2011

Yüksek Lisans : Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği
Anabilim Dalı 2018



T.C.
DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI İNTİHAL RAPORU FORMU

ÖĞRENCİ BİLGİLERİ

ADI VE SOYADI	Gülistan BALABAN
ÖĞRENCİ NO	15818005
EĞİTİM – ÖĞRETİM YILI	2017/2018
YARIYIL	☐ Güz ☒ Bahar
ANABİLİM DALI	Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı
PROGRAM	Yüksek Lisans
TEZ KONUSU	Ekstrüzyon İşleminde Strok Boyunca Oluşan Sıcaklığın Sonlu Elemanlar Yöntemi Ve Yapay Sinir Ağları İle Modellenmesi

İNTİHAL RAPORU BİLGİLERİ

RAPOR TÜRÜ	Tez Savunma Sınavı Sonrası
SAYFA SAYISI	69
BENZERLİK ORANI	% 13
RAPORLAMA TARİHİ	19/07/2018

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın kapak sayfası, giriş, ana bölümler, sonuç ve tartışma kısımlarından oluşan toplam 69 sayfalık kısmına ilişkin, 19/07/2018 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan intihal raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 13'tür.

Uygulanan filtrelemeler:

- ☐ Kabul/Onay sayfaları hariç,
☐ Kaynakça hariç
☒ Alıntılar hariç/dâhil
☐ Diğer

Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Programlarda Tez Çalışması İntihal Raporu Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edilmesi durumunda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve vermiş olduğum bilgilerin oğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

(İmza)
Gülistan BALABAN

(İmza)
19/07/2018

Doç. Dr. Sedat BİNGÖL
Tez Danışmanı

(İmza)

19/07/2018

Doç. Dr. Vedat ORUÇ
Anabilim Dalı Başkanı