



MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**KAYNAK SONRASI OLUŞAN KALINTI
GERİLMELERİN TALAŞ KALDIRMA İLE
DEĞİŞİMİNİN DENEYSEL VE NÜMERİK
MODELLEME İLE ARAŞTIRILMASI**

SAVAŞ GÜNEYLİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mekatronik Anabilim Dalı

Mekatronik Programı

DANIŞMAN

Prof. Dr. Nihat AKKUŞ

İSTANBUL, 2016



MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**KAYNAK SONRASI OLUŞAN KALINTI
GERİLMELERİN TALAŞ KALDIRMA İLE
DEĞİŞİMİNİN DENEYSEL VE NÜMERİK
MODELLEME İLE ARAŞTIRILMASI**

SAVAŞ GÜNEYLİ
(526212018)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mekatronik Anabilim Dalı

Mekatronik Programı

DANIŞMAN

Prof. Dr. Nihat AKKUŞ

İSTANBUL, 2016

MARMARA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Öğrencisi Savaş GÜNEYLİ'nin *"Kaynak Sonrası Oluşan Kalıntı Gerilmelerin Talaş Kaldırma ile Değişiminin Deneysel ve Nümerik Modelleme ile Araştırılması"* başlıklı tez çalışması 19 Aralık 2015 tarihinde savunulmuş ve jüri üyeleri tarafından başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Nihat AKKUŞ

(Danışman)

Marmara Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Garip Genç

(Jüri)

Marmara Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Fatih Yalçın

(Jüri)

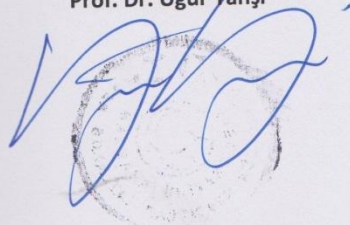
Gedik Üniversitesi

ONAY

Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 04/01/2016 tarih ve 2016/01-02 sayılı kararı ile Savaş GÜNEYLİ'nin Mekatronik Anabilim Dalı Mekatronik Programında Yüksek Lisans derecesi alması Onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Prof. Dr. Uğur Yahşi



ÖNSÖZ

Çalışmamızda kaynak simülasyonlarının bir kesme simülasyonu ile ardışık olarak yapılması durumunda kalıntı gerilme verilerinin değişimi, deney sonuçlarıyla karşılaştırılarak simülasyonun uygulanabilirliği araştırılmıştır.

Çalışmanın ileride sonlu eleman metodu ile kesme ve kaynak simülasyonu üzerinde yapılacak olan çalışmalara ışık tutmasını temenni ederim.

Projemiz boyunca yoğun temposuna rağmen yardımlarını esirgemeyen, çalışmamızı yönlendiren değerli hocalarım **Prof. Dr. Nihat AKKUŞ**'a ve **Dr. Ayhan ETYEMEZ**'e teşekkürü bir borç bilirim.

Ocak 2016

Savaş GÜNEYLİ

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	I
İÇİNDEKİLER.....	II
ÖZET	III
ABSTRACT.....	IV
YENİLİK BEYANI.....	V
SEMBOL LİSTESİ.....	VI
KISALTMALAR.....	VII
ŞEKİL LİSTESİ.....	IX
TABLO LİSTESİ.....	XII
1. GİRİŞ	1
1.1 Amaç	1
1.2 Literatür çalışması	4
1.3 Tezin İçeriği	22
2. SONLU ELEMENLAR İLE MODELLEME (FEM).....	25
2.1 Bölümün amacı ve hedefi.....	25
2.2 Modelin Özellikleri	26
2.3 Malzeme modeli	28
2.4 Sonlu Elemanlar ile Kaynak İşlemi.....	30
2.5 Sonlu Elemanlar ile Kesme İşlemi	33
3. DENEYSEL MODELLEME	37
3.1 Bölümün amacı ve hedefi.....	37
3.2 X-ışını yöntemi.....	38
3.3 Kaynak İşlemi.....	43
3.3.1 Kaynakta Kalıntı Gerilmeler ve Çarpılmalar.....	43
3.3.2 Kaynak İşleminin Uygulanması ve Değerlendirilmesi.....	48
3.3.3 Deney Düzeneği ve Kesme İşlemi.....	53
4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	55
4.1 Simülasyon sonuçları	57
4.2 Deney sonuçları.....	63
4.3 Deney sonucunda elde edilen kalıntı gerilme verilerinin kıyaslanması için hazırlanan simülasyon sonuçları	65
4.4 Simülasyon ve deney sonucu elde edilen kalıntı gerilme verilerinin karşılaştırılması.....	66
5. GENEL SONUÇ	69
KAYNAKLAR:.....	71
ÖZGEÇMİŞ	74

ÖZET

KAYNAK SONRASI OLUŞAN KALINTI GERİLMELERİN TALAŞ KALDIRMA İLE DEĞİŞİMİNİN DENEYSEL VE NÜMERİK MODELLEME İLE ARAŞTIRILMASI

Bu çalışmada kaynaklı birleştirme işlemi sonucunda yapısında kalıntı gerilme deformasyonu oluşan parçalara talaş kaldırma işlemi uygulanmakta ve bunu takiben ortaya çıkan deformasyon değişimlerinin Sonlu Elemanlar Modellemesi ile öngörülmesi amaçlanmaktadır. Özellikle sonlu elemanlar kaynak simülasyonlarının bir sonlu elemanlar kesme simülasyonu ile ardışık olarak yapılması, kaynak işleminde ortaya çıkan kalıntı gerilmelerin parça üzerine birebir yansıtılması, simülasyonun doğruluğu bakımından önem arz etmektedir. Simülasyonlarda nümerik analiz programı olarak MSC.Marc-Mentat Non-Linear hazır paket yazılımı kullanılmıştır. Simülasyon için 3-B model ve ağ oluşturulmuş, kaynak simülasyonu için oluşturulan sonlu eleman modeli simülasyon sonucu kayıt edilmiş ve model hiçbir değişikliğe uğratılmadan kesme simülasyonunda da kullanılmıştır. Malzeme modeli oluşturulurken C1040 malzemeye ait mekanik özellikleri elastik-plastik malzeme modeline göre simülasyona girilmiş, sıcaklık eğrileri oda sıcaklığından başlayarak kaynak ve kesme sıcaklıklarına kadar belirli aralıklarda değişken sıcaklık eğrileri ile modellenmiştir. Kesme yörüngeleri bir CAM yazılımı yardımıyla önceden belirlenmiş ve CCL dosyası olarak nümerik modele entegre edilmiştir. Simülasyonlar ile doğrudan veya kaynak işlemi ile ısıya maruz bırakılmış ve bu nedenle iç gerilmelere sahip bir elemanın üzerinden talaş kaldırıldığında iç gerilmelerin geometri değişimleri üzerindeki etkileri takip edilebilmiştir.

Ocak 2016

Savaş GÜNEYLİ

ABSTRACT

CHANGING OF WITH CHIP REMOVING OF RESIDUAL STRESSES WHICH IS OCCURING AFTER WELDING INVESTIGATION BY EXPERIMENTAL AND NUMERICAL MODELING

In this study, the process of being implemented in the welded joints in the structure deformation occurs as a result of residual stress on the parts of the chip removal and subsequent deformation changes occurring with Finite Element Modeling aims to predict. A finite element simulation done in tandem with the cutting, especially finite element welding simulations, one to be reflected on the part of the resulting residual stress in the welding process, is important in terms of the accuracy of the simulation. In the simulations as numerical analysis program, MSC.Marc Mentat Non-Linear package software is used. 3-D models and networks have been created for simulation, created finite element model for welding simulation has been registered at the end of simulation and model is being used in the cutting simulations suffered no changes. When material model created, mechanical properties of C1040 have been entered into simulation based on elastic-plastic material model, Material model of the mechanical properties of the material have been entered into C1040 creating simulation models based on elastic-plastic material, temperature curves have been modeled by periodically varying temperature curves starting from room temperature up to the welding and cutting temperature. Cutting orbits predetermined via a CAM software and as CCL file is integrated into the numerical model. By direct or welding Simulations were exposed to heat and therefore effects on geometry changes of internal stresses able to be followed when removed out of a chip component having internal stresses.

January 2016

Savaş GÜNEYLİ

YENİLİK BEYANI

TEZ ADI : KAYNAK SONRASI OLUŞAN KALINTI GERİLMELERİN TALAŞ KALDIRMA İLE DEĞİŞİMİNİN DENEYSEL VE NÜMERİK MODELLEME İLE ARAŞTIRILMASI

Özellikle kaynak işlemi gibi yüksek ısı girdisi altında yapılan imalat işlemlerinde ana parçalar üzerinde kalıntı gerilmeler ortaya çıkar yani kaynak işlemi görmüş bir malzeme kalıntı gerilmeler kazanmış durumdadır. Bu durum malzemeden talaş kaldırılırken bir takım istenmeyen durumların karşımıza çıkmasına neden olabilir. Günümüz üretim endüstrisinde malzemenin kullanılacağı sektör baz alınarak kaynak işlemlerinin uygulanması gerektiği kaçınılmazdır. Ve bunun getirdiği en büyük sorunlardan biri kalıntı gerilmelerin oluşmasına neden oluşudur. Bundan dolayı kaynaklı bir malzemeden talaş kaldırmak bir çok önemli parametrenin değişkenlik göstermesine neden olabilmektedir.

Bu çalışmada kaynak işlemi görmüş iş parçalarının kaynak dikişleri üzerinden talaş kaldırılarak kesme kuvvetlerinden doğan deformasyon ve aşınma mekanizmaları, bilgisayar ortamında nümerik modelleme analizi gerçekleştirilerek, deneysel yöntemle karşılaştırılmalı incelemesi yapılacaktır. Bu çalışma ile nümerik ve deneysel bir model ortaya çıkarılması amaçlanmıştır. Farklı kaynak ilerleme hızlarında kaynak işlemleri uygulanmış numuneler üzerinde düzlem yüzey frezeleme metodu kullanılarak oluşan ısı ve kesme kuvvetlerine bağlı olarak oluşan kalıntı gerilme değişimlerinin incelenmesi ve teklif edilen modelin doğruluğunun araştırılması amaçlanmıştır.

Ocak 2016

Prof. Dr. Nihat AKKUŞ

Savaş GÜNEYLİ

SEMBOL LİSTESİ

ϵ : Birim sekil değiştirme
 $\dot{\epsilon}$: Birim sekil değiştirme hızı
 q : Dügüme ait sıcaklık
 b : Uç açısı
 a : Boşluk açısı
 g : Talaş açısı
 t : Talaş derinliği
 E : Malzeme elastikiyet modülü
 M : Moment
 C : Tarafsız eksen uzaklığı
 I : Atalet momenti
 R : Direnç
 r : Malzeme direnç katsayısı
 L : Uzunluk
 F_x : Kesme kuvveti
 F_y : Radyal kuvvet
 F_n : Normal kuvvet
 F_f : Sürtünme kuvveti
 j : Sürtünme açısı
 μ : Sürtünme katsayısı
 h : Talaş yüksekliği
 b : Talaş derinliği
 f : İlerleme miktarı
 V : Kesme hızı

KISALTMALAR

FEM : **F**inite **E**lement **M**ethod (Sonlu elemanlar metodu)

FEA : **F**inite **E**lement **A**nalysis (Sonlu eleman analizi)

SI : **S**ysteme **I**nternational (Uluslar arası birim sistemi)

EPS : Birim şekil değiştirme

AISI : **A**merican **I**ron **A**nd **S**teel **I**nstitute

CAD : **C**omputer **A**ided **D**esign (Bilgisayar destekli tasarım)



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1. Tozaltı kaynağı yönteminin şematik diyagramı.....	5
Şekil 2. Benzer ve benzer olmayan malzemelerin kaynaklı birleştirmeleri.....	7
Şekil 3. Farklı köklere sahip çok pasolu kaynaklı birleştirme örnekleri.....	8
Şekil 4. Kaynak işlemi sonrası sıcaklık ölçümü yapılan noktalar	10
Şekil 5. Numune Malzeme Üzerinde Strain Gage'lerin Konumu	11
Şekil 6. Kaynak ilerleme hızı 4 mm/sn için deney ve simülasyon sonuçlarının	11
Şekil 7. Kaynak ilerleme hızı 7 mm/sn için deney ile simülasyon sonuçlarının	12
Şekil 8. Kaynak ilerleme hızı 10 mm/sn için deney ile simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması.....	12
Şekil 9. Kaynağa Dik Konumdaki Derinlik-Kalıntı Gerilme Arasındaki İlişki	13
Şekil 10. Kaynağa Paralel Konumdaki Derinlik-Kalıntı Gerilme Arasındaki İlişki	13
Şekil 11. Simülasyon 1 kesme kuvveti grafiği	15
Şekil 12. Simülasyon 2 kesme kuvveti grafiği	16
Şekil 13. Simülasyon 3 kesme kuvveti grafiği	16
Şekil 14. Simülasyon 4 kesme kuvveti grafiği	17
Şekil 15. Sabit Kesme Hızındaki iki farklı simülasyonun mukayesesi	17
Şekil 16. Talaş açısına bağlı karşılaştırmalı kesme kuvvetleri	18
Şekil 17. Kesme hızı, talaş açısı ve ilerleme miktarı parametrelerinin değiştirilerek yapılan simülasyonlardan elde edilen kesme kuvveti eğrilerinin kıyaslanması	20
Şekil 18. Sıfır talaş açısıyla yapılan kesme simülasyon ve deneylerin.....	20
Şekil 19. Yükleme durumu gösterilen sonlu elemanlar modeli.....	27
Şekil 20. İş parçası malzemesinin $E_p = 1.6 \cdot 10^{-11}$ 'deki akma gerilmesi–birim şekil değiştirme eğrileri	28
Şekil 21. Malzemenin sonlu elemanlarda kaynak edilmeden önceki durumu.....	30
Şekil 22. Kaynak işlemi sonrası 1. simülasyon için gerilme değerlerinin alındığı noktalar.....	31
Şekil 23. Kaynak işlemi sonrası 2. simülasyon için gerilme değerlerinin alındığı noktalar.....	31
Şekil 24. Kaynak işlemi sonrası 3. simülasyon için gerilme değerlerinin alındığı noktalar.....	32
Şekil 25. 11 nolu element tipi.....	34
Şekil 26. Kesici özelliklerinin takım üzerinde gösterimi	34
Şekil 27. Sonlu elemanlar ile düzlem yüzey üzerinden talaş kaldırma işlemi.....	35
Şekil 28. Sonlu elemanlar ile kanal açma işlemi	36
Şekil 29. Sonlu elemanlar ile delik delme işlemi	36
Şekil 30. Gerilmeli ve gerilmemiş malzemelerin içyapısının teorik şeması.....	38
Şekil 31. X-ışınımı kırınımı yöntemi şematik gösterimi	39
Şekil 32. X-ışını kırınım metodu uygulananın şematik gösterimi	41
Şekil 33. X ışını yöntemiyle kalıntı gerilme ölçümlerinin yapıldığı XRD cihazı	42
Şekil 34. Sabitlenen bir çubuğun ısınma ve soğumada iç gerilme değişimi	44
Şekil 35. Kaynak çevresinde oluşan çekme ve basma bölgeleri	45
Şekil 36. Kaynakta kalıntı gerilmelerin enine dağılımı	45
Şekil 37. Kaynaklı levhanın boydan ve enden çekerek çarpılması	46
Şekil 38. Kaynaklanan iki levhada açılma çarpılma	46
Şekil 39. Deney Numunesinin kaynak fikstürüne sabitlenmesi.....	50
Şekil 40. Kaynak ağzı detayı	50
Şekil 41. Malzemenin kaynak edilmeden önceki durumu.....	52
Şekil 42. Malzemenin kaynak edilmiş durumu	52

Şekil 43. Talaş kaldırma işlemi başlamadan önce malzemenin durumu	53
Şekil 44. Deney parçasının işlendiği takım tezgahı.....	54
Şekil 45. Deney parçasının talaşlı üretim tezgahında işlenmesi.....	54
Şekil 46. Kesmede kullanılan kesici takım.....	55
Şekil 47. Düzlem yüzey üzerinden talaş kaldırma simülasyonu kaynak sonrası ve talaş kaldırma sonrası çevresel gerilme simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması	57
Şekil 48. Düzlem yüzey üzerinden talaş kaldırma simülasyonu kaynak sonrası ve talaş kaldırma sonrası normal gerilme simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması.....	58
Şekil 49. Düzlem yüzey üzerinden talaş kaldırma simülasyonu kaynak sonrası ve talaş kaldırma sonrası kayma gerilmesi simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması.....	58
Şekil 50. Kanal açma talaş kaldırma simülasyonu kaynak sonrası ve talaş kaldırma sonrası çevresel gerilme simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması	59
Şekil 51. Kanal açma talaş kaldırma simülasyonu kaynak sonrası ve talaş kaldırma sonrası normal gerilme simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması	59
Şekil 52. Kanal açma talaş kaldırma simülasyonu kaynak sonrası ve talaş kaldırma sonrası kayma gerilmesi simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması.....	60
Şekil 53. Delik delme talaş kaldırma simülasyonu kaynak sonrası ve talaş kaldırma sonrası çevresel gerilme simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması	60
Şekil 54. Delik delme talaş kaldırma simülasyonu kaynak sonrası ve talaş kaldırma sonrası normal gerilme simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması	61
Şekil 55. Delik delme talaş kaldırma simülasyonu kaynak sonrası ve talaş kaldırma sonrası kayma gerilmesi simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması.....	61
Şekil 56a. Kaynak sonrası kaynağa dik konumdaki kalıntı gerilme değerleri	63
Şekil 56b. Kaynak sonrası kaynağa paralel konumdaki kalıntı gerilme değerleri	63
Şekil 57a. Talaş kaldırma sonrası kaynağa dik konumdaki kalıntı gerilme değerleri	63
Şekil 57b. Talaş kaldırma sonrası kaynağa paralel konumdaki kalıntı gerilme değerleri	63
Şekil 58. Simülasyon ve x ışını yöntemi ile elde edilen kalıntı gerilme değerleri grafiksel gösterimi.	64
Şekil 59. Simülasyon sonuçları ve kalıntı gerilme sonuçlarının karşılaştırılması	65

TABLO LİSTESİ

Tablo I.1. Farklı kesme parametreleriyle yapılan simülasyonlar.....	15
Tablo I.2. Kesme Deneyi Sonuçları.....	18
Tablo I.3. Simülasyon ve Deney Toplu Sonuçları.....	19
Tablo II.4. Element Özellikleri.....	26
Tablo II.5. Modelleme özellikleri.....	26
Tablo II.6. Kaynak simülasyonu parametreleri.....	30
Tablo II.7. FEM Simülasyonu için başlangıç şartları.....	33
Tablo II.8. Kesme simülasyonu için kesici özellikleri ve seçilen ilerleme hızı.....	34
Tablo III.9. Kullanılan Malzemenin Kimyasal Özellikleri.....	48
Tablo III.10. Kullanılan Malzemenin Mekanik Özellikleri.....	48
Tablo III.11 DIN 8559 tel elektrotların kimyasal bileşimi.....	49
Tablo III.12. DIN 8559 tel elektrotların mekanik özellikleri.....	49
Tablo III.13. Kaynaklı birleştirmede sabit tutulacak kaynak parametreleri.....	49
Tablo III.14. Talaş kaldırma işlemi için kesme parametreleri.....	55
Tablo IV.15. Simülasyon ve x ışını yöntemi ile elde edilen kalıntı gerilme değerleri.....	64

1. GİRİŞ

1.1 Amaç

Nümerik simülasyon günümüz endüstriyel problemleri için çok iyi sonuçlar verdiği kabul görmüş bir yöntemdir. Yapısal analiz, ısı, akışkan, manyetik alanlar gibi disiplinlerde de her disiplin için başarıyla kullanılmaktadır. Ancak farklı mühendislik alanlarını içine alan ve tek simülasyon şeklinde yapılan modellemelerde kısıtlamalar bulunmaktadır. Örneğin yapısal analiz, ısıl işlem, akışkanlar mekaniği ve metal şekillendirme ve aşırı deformasyon disiplinlerini aynı anda simülasyon yapan yazılımlar son derece sınırlı olup çok amaçlı sonlu elemanlar yazılımları bunları bir arada yapmakta zorluklar yaşamaktadır. Bu bağlamda yapısal analiz ısı, akışkan, manyetik alanlar gibi çok disiplini bir arada kullanabilen ya da bir disiplin de yapılan bir analizin sonucunu, sonuçlar değişmeden diğer bir disipline taşıyabilecek nümerik modelleme tekniklerine de ihtiyaç vardır. Bu bağlamda çalışmamızda, kaynak, ısıl işlem, aşırı plastik deformasyon gibi simülasyonlar ile malzeme bünyesinde oluşturulan artık gerilmeleri dikkate alarak ikinci veya üçüncü kez simülasyon yapılmasına imkan veren bir yöntem üzerinde çalışılmıştır. Çalışmamızın amacı ardışık simülasyon yöntemi kullanılarak kaynak işlemi uygulanmış ve gerilmeleri içerisinde barındıran bir sonlu elemanlar ile modeli üzerinden talaşlı üretim simülasyonu yoluyla talaş kaldırarak iç gerilmelerin neden olduğu distorsiyonların öngörülmesine imkan sağlayacak bir modelin geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Endüstride imalat aşamasında olan malzemeler bir çok üretim biçimine tabi tutulmaktadır. Isıl işlem, kaynaklı birleştirme, talaş kaldırma ve benzeri imalat aşamaları malzemenin bünyesinde artık gerilmelerin birikmesine neden olmakta ve bu artık gerilmeler malzeme ikinci bir üretim safhasına geçtikten sonra bünyesinde kalmaya devam etmektedir. Bu artık gerilmelerin malzemenin iç yapısında meydana getirdiği distorsiyon nedeniyle oluşan yapısal problemler ortaya çıkmaktadır. Talaş kaldırma esnasında gerilmelerin bir noktada birikmesi veya montaj edilmiş bir noktada artık gerilmelerin bir bölgede yoğunlaşması malzemenin kullanım sürecinde deformasyon problemlerini ortaya çıkaracaktır.

Çalışmamızda bu gibi problemleri üretim aşamasında tespit etmek için ardışık simülasyon yöntemi kullanılması amaçlanmıştır. Sonlu elemanlar yöntemi ile kaynak işlemi görmüş bir malzeme ön gerilmelere maruz kalacaktır. Simülasyon grafiği üzerinde malzemenin hangi bölgesinde gerilme yoğunluğu olduğu tespit edilecek ve malzeme bünyesinde oluşan iç gerilmeler ve yer değiştirme distorsiyonları hiç bir değişikliğe uğratılmadan talaş kaldırılacak model içine entegre edilerek yeni model üzerinden talaş kaldırılacaktır.

İlk durumdaki kaynak işleminin sebep olduğu deformasyon ile ortaya çıkan kalıntı gerilme değerleri ikinci durumdaki ön gerilmeler ile yüklenmiş talaş kaldırma işleminin sebep olduğu deformasyon ile ortaya çıkan kalıntı gerilme değerleri ile kıyaslanacaktır. Ardışık simülasyon yöntemi ile birinci simülasyondaki deformasyon sonucu oluşan gerilme verilerinin hiç bir değişikliğe uğratılmadan aynen ikinci simülasyona entegre edilerek sonuçların gözlenmesi çalışmamızın ana noktasıdır. Çalışmamızın bir sonraki aşamasında simülasyon koşulları deney koşullarına uygulanarak ardışık biçimde malzemedeki kaynak işlemi ve talaş kaldırma işlemi uygulanacaktır. Kaynak işleminden sonra malzeme herhangi bir deformasyona uğramayacak şekilde muhafaza edilerek talaş kaldırma işlemine tabi tutulacaktır. Sonlu elemanlar prosedürü ile yapılan iki işlemin simülasyon sonuçlarını, deney sonuçları ile kıyaslayarak ortaya çıkarılan modelin doğruluğunun araştırılması amaçlanmıştır.

Proje sonunda ulaşılması planlanan alt amaçlar aşağıdaki gibidir.

1- Bu projede sonlu elemanlar ile ardışık simülasyon yöntemi kullanılarak kaynak işlemine ısıya maruz kalmış bir malzemenin yapısında oluşan artık gerilmelerin talaş kaldırma ile değişimini ortaya çıkarma ve tekli simülasyon çalışmalarının sınırlılıklarını ortadan kaldırma amaçlanmıştır.

2- İki veya daha fazla imalat aşamasından geçen malzemelerde iç gerilmelerin neden olduğu distorsiyonların öngörülmesine imkan sağlayacak bir modelin geliştirilmesi amaçlanmıştır.

3- Malzeme bünyesinde oluşan iç gerilmeler ve yer değiştirme distorsiyonları hiç bir değişikliğe uğratılmadan talaş kaldırılacak model içine entegre edilebilirliği görmek amaçlanmıştır.

4- Sonlu elemanlar prosedürü ile simülasyonu gerçekleştirilen imalat aşamaları deneysel ortam hazırlanarak ardışık bir sıra ile deney ortamında gerçekleştirilecek ve iki aşamanın verdiği sonuçlar kıyaslanarak sonuçların araştırılması amaçlanmıştır.

Ardışık simülasyon yönteminin avantajları:

1-) Malzemedeki deformasyona neden olan herhangi bir işlem (ısı işlem, talaş kaldırma, kaynak işlemi, manyetik alanlar, akışkan etkisi, yapısal analiz vs.) sonrası malzemedeki ortaya çıkan kalıntı gerilmelerin tespiti ve iç yapısında oluşan kalıntı gerilmelerin malzemeye uygulanan ikinci bir deformasyon işlemi ile distorsiyonların nasıl değişeceği öngörülebilecektir.

2-) Malzemeyi deformasyona uğratacak bir işlemin simülasyonu yapıldıktan sonra sonlu elemanlar programı vasıtasıyla kalıntı gerilmeler hiç bir değişikliğe uğramadan aynen

muhafaza edilmiş bir yapıda, birinci simülasyonu takip eden ikinci simülasyona ilkel simülasyon geometrisi ile yüklenebilecektir.

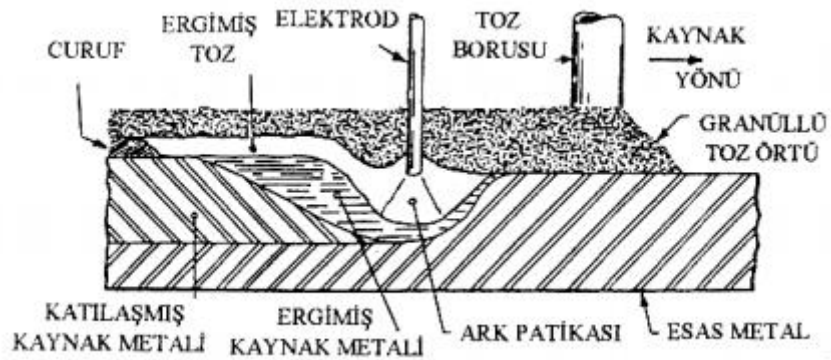
3-) Ardışık simülasyon yönteminde deformasyon tipine göre örneğin ısıtma işlemi veya bir talaş kaldırma simülasyonu için ayrı ayrı geometrik modelleme, başlangıç şartları, malzeme modeli, ağ yapısı oluşturma aşamaları iki ayrı simülasyon biçimi içim değilde tek bir simülasyon gibi kullanılacaktır. Örneğin kaynak durumu için hazırlanan model kesme işleminde CCL dosyaları eklenerek tekrardan kullanılabilir. Bu da hem yazılımın kullanımını daha basit hale getirecek hem de simülasyon sonuçlarının çözüm süresini daha kısa bir zaman dilimi içerisinde gerçekleştirilmesini sağlayacaktır.

4-) Birinci deformasyon işlemi sonucu malzeme üzerindeki çarpılmanın ne yönde olduğu ve ikinci deformasyon işlemi sonucu nasıl bir değişim göstereceği simülasyon üzerinde görülebilecek deneysel ortamda malzemenin aynı tepkiyi verip vermediği takip edilebilecektir.

1.2 Literatür çalışması

Kalıntı gerilmeler üretim ve işlem sırasında oluşabildikleri gibi servis sırasında da oluşabilirler. Hemen hemen üretilen tüm parçalar, malzeme özelliklerini ve şeklini değiştiren herhangi bir işlem tarafından oluşturulan, az da olsa kalıntı gerilmelere sahiptirler. Kalıntı gerilmeler ile ilgili olarak literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde, bu yaklaşıma dayanan çalışmalara yapıldığı görülmüştür. Bu çalışmalara örnek olarak; Linjie ve arkadaşları [1], üç boyutlu elastik ve plastik sonlu elemanlar modeli kullanarak, farklı kaynak ağzının kaynak çarpılması ve kalıntı gerilmeler arasındaki ilişkinin incelenmesinde kullanmışlardır. Deng ve arkadaşları [2], üç boyutlu termo elastik - plastik sonlu elemanlar metodu kullanılarak, düşük karbonlu çeliklerin kaynaklı birleştirme simülasyonunu gerçekleştirmiş buna bağlı olarak kaynak sıcaklığı, plastik şekil değiştirme dağılımı ve kaynak kalıntı gerilmesi sayısal analizi üzerine inceleme yapmışlardır. Yiğit ve arkadaşları [3], kalıntı gerilmeler hakkında bilgi vererek, bu gerilmelerin nasıl ve hangi işlemler sonucu oluştuğu, parçanın performansı üzerindeki etkileri ve neden ölçülmesi gerektiğinden bahsetmişlerdir. Daha sonra kalıntı gerilme ölçme yöntemleri, tahribatlı ve tahribatsız yöntemler olarak sınıflandırmış ve bu yöntemlerden kısaca bahsetmişlerdir. Demirler ve arkadaşları [4], ark fiziksel buhar biriktirme tekniği kullanılarak, iki farklı taban malzeme üzerine kaplanmış olan titanyum nitrür kaplamaların, kalıntı gerilmeleri klasik kitlesel teknik ve ince film tekniği olmak üzere iki farklı x-ışınları kırınım tekniği kullanarak ölçmüş ve karşılaştırmışlardır. Binici [5], kalıntı gerilmelerin, olumsuz etkilerini ortadan kaldıracak düzeye indirilmesini sağlamak gayesiyle, kalıntı gerilmelerin ölçülmesi ve titreşim yöntemiyle ne ölçüde giderildiği amacıyla incelemede bulunmuştur. Uçar ve arkadaşları [6], farklı ısı genleşme katsayısı, kaplama kalınlığı ve kaplama şartları gibi parametrelerin seramik kaplamalarda kalıntı gerilme oluşumu üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Özel ve arkadaşları [7], çalışmalarında kalıntı gerilmelerin hesaplanmasında nümerik bir çözüm yönetimi olan sonlu eleman yöntemini kullanmışlardır. Kaynak işlemi, özellikle de ark kaynağı; plazma-metal etkileşimleri, metal-gaz / toz reaksiyonları, kaynak banyosu akışkan akışı, elektromanyetik hareket, faz dönüşümü, ısı transferi, kaynak metali kimyası, ısının tesiri altında kalan bölge mikro yapısı, artık gerilmeler mekanik özellikler vb. gibi anlaşılması zor fiziksel kimyasal ve mekanik olguların etkileşimini içeren kompleks bir işlemdir. Önceleri, bu konuyla ilgilenen araştırmacılar ve bilim adamları çalışmalarının büyük bir kısmını kaynak fiziksel metalurjisi, kaynak metali ve mikro yapılarının karakterizasyonu ve kaynak işleminin optimizasyonu konularına ayırırken; son zamanlarda nümerik simülasyon, kaynak işleminin analizi ve optimizasyonuna yardımcı bir araç olarak artarak kullanılmakta ve özellikle kaynaktaki artık

gerilme ve uzamaların belirlenmesinde uygulanmaktadır. Kaynak işleminin kaynak bölgesine uyguladığı ısı çevrim (ısınma ve soğuma), bu bölgenin iç yapısını değiştirmekte ve dolayısıyla mekanik özellikleri farklı bir bölge ortaya çıkmaktadır. Isının tesiri altında kalan bölge (ITAB) olarak adlandırılan bu bölgenin kaynak dikişinin etrafında birkaç milimetre genişliğinde oluşu, bu bölgeye sertlik ve metalografik muayene dışında diğer muayene usullerinin uygulanmasını imkansız kılınmaktadır. Kaynağa uygulanan sıcaklığın dağılımı dolayısıyla çeşitli bölgelerde farklı sıcaklıklara kadar ısınmış ve soğumuş gayet dar bir bölge olan ITAB içerisinde iç yapı bakımından teorik olarak homojen bir bölge mevcut değildir. Dolayısıyla bu kısmın özellikleri hakkında fikir sahibi olabilmek amacıyla simülasyon yapılmaktadır. Mekanik özellikleri net olarak bilinmeyen bir bölge olan ITAB'ın, modelleme ile mekanik özelliklerinin önceden tahmin edilmesi, birçok alanda kullanılan kaynaklı yapıların emniyetinin sağlanması açısından önemlidir. Bu amaçla kaynak edilmiş parçaların kaynak bölgesinin deneysel olarak incelenerek, buradan elde edilen sonuçlar ile modellemenin gerçekleştirilmesi planlanmıştır. Kaynak bölgesinin özellikle de kaynaklı yapının emniyet açısından büyük önem taşıyan ITAB'ın mekanik özelliklerinin belirlenebilmesi için kaynak yöntemi olarak diğer yöntemlere göre hem daha geniş bir ITAB'a sahip (yüksek ısı girdisi dolayısıyla) hem de otomatik bir yöntem olan (kaynak hatalarının minimum olduğu) Tozaltı Kaynağı seçilmiştir. Bu yöntem kullanılarak yapılan kaynağın; kaynak metali, ITAB ve esas metal bölgelerinden çeşitli düz çekme numuneleri çıkartılarak bunlara çekme testleri uygulanmıştır. Bulunan mekanik özellikler, kaynak dikişinin metalografik görüntüsü, kaynak parametreleri vb. özellikler kullanılarak modelleme gerçekleştirilmiştir. [8]



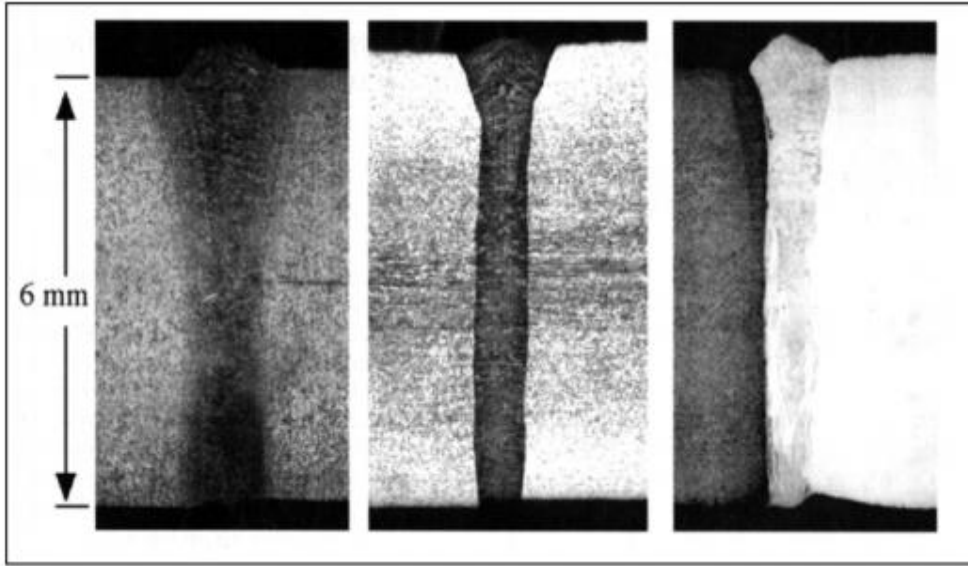
Şekil 1. Tozaltı kaynağı yönteminin şematik diyagramı [8]

Kaynak işleminin simülasyonu, kaynak işlemi üzerine yapılan araştırmaların en önemli konularından birisidir. Bu konuyla ilgili olarak çok çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Sonlu elemanlar yöntemi, nümerik analiz ve matematiksel modeller kullanarak bilgisayarların

da yardımıyla kaynak işleminde karşılaşılan kompleks durumlar açıklanmaya çalışılmıştır. Kaynaklı bir yapıdaki kaynak metali, esas metal ve özellikle de kaynak emniyeti açısından büyük önem taşıyan ısıнын tesiri altında kalan bölgenin yapısal ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Bu özelliklerin belirlenmesinde çeşitli yöntemler kullanılmış olup, bunlar kullanılan kaynak yöntemi, malzeme ve benzeri birçok faktöre göre de farklılıklar göstermektedir. Bu deneysel çalışmada gerek kullanılan kaynak yöntemi gerekse deneylerde kullanılan numunelerin klasik yöntemlerden farklı bir şekilde elde edilmiş olması gibi faktörler konuyla birebir ilgili olan araştırmaların sayısını kısıtlamıştır.

Wen S.W. ve arkadaşları [9], yapmış oldukları çalışmada çok telli bir tozaltı kaynağı prosesi (SAW), genel amaçlı bir sonlu eleman paket programı olan ABAQUS kullanılarak modellenmiştir. Bu çalışmada, kısaca kaynak işlemi ve bunun kalın çeperli boru hattı imalatındaki uygulaması açıklanmaktadır. Toz altı kaynağı işleminin iki ve üç boyutlu sonlu eleman (FE) modelleri geliştirilmiştir. Sonlu eleman analizleri kaynak süresince ergime ve ısıнын tesiri altında kalan bölgelerdeki ısı transferi karakteristiklerini incelemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. İşlem parametreleri ve kaynaklı yapı geometrisinin etkileri, kaynak öncesi şekil verme işlemlerinden kaynaklanan artık gerilme ve distorsiyonlar göz önüne alınarak ve de alınmayarak hesaplanmıştır. Sonlu eleman tahminleri ile deneysel sonuçların karşılaştırmaları sunulmuştur. Kaynağın neden olduğu geometrik distorsiyonlar artık gerilmeler ve uzamaların işlem optimizasyonu sayesinde minimize edilebileceği gösterilmiştir. Böylelikle kanıtlanmıştır ki; sonlu elemanlar analizi, tozaltı kaynağı prosesini daha iyi anlamak amacıyla uygulanabilir ve dolayısıyla ürün özelliklerini optimize etme görüşüyle gelecekteki işlem geliştirme ve kontrolü için faydalı bir araçtır. Tsirkas ve ark. tarafında yapılmış çalışmada lazer kaynağı prosesini simüle etmek amacıyla üç boyutlu bir sonlu eleman modeli geliştirilmiş ve lazer kaynaklı panel distorsiyonları tahmin edilmiştir. Sonlu eleman hesaplamalara, termal metalurjik ve mekanik yönleri de hesaba katan SYSWELD FE kodları kullanılarak yapılmıştır. Lazer kaynağı prosesinin simülasyonu termo mekanik analize dayanan lineer olmayan ısı transferi analizi kullanılarak yapılmıştır. Analiz, sıcaklığa bağlı malzeme özelliklerini ve sürekli soğuma dönüşümü (CET) diyagramlarını kullanarak metalurjik dönüşümleri dikkate almaktadır. İncelenen geometri, farklı kaynak parametrelerinin kullanıldığı, kalın AH 36 gemi inşa çeliği plakalarından oluşmuş bir alın kaynaklı numunedir. Deneysel testler, kaynaklı numunelerin distorsiyonlarının ölçülmesi ve sonlu eleman (FE) yaklaşımını doğrulamak amacıyla gerçekleştirilmiştir. Sonlu eleman analizi sonuçlarının deneysel ölçümleri uyum içerisinde olduğu görülmüştür.

Çam ve arkadaşları [10], yapmış oldukları çalışmada, düz (yassı) mikro çekme numuneleri benzer ve benzer olmayan malzemelerin lazer ışını kaynaklı birleştirmeleri mekanik özelliklerinin belirlenmesi için uygun bulunmuştur. Lazer kaynağında ısı çevrimlerin genellikle diğer geleneksel ark kaynağı proseslerinin içerdiğinden daha hızlı gerçekleşmesi ve ergime bölgesinin çok küçük boyutlarda olmasından dolayı bir lazer kaynağı birleştirme alanının çekme özelliklerinin belirlenmesi oldukça zordur. Bu yüzden lazer ışını kaynaklarının kaynak metali ve ısının tesiri altındaki bölgenin (ITAB) çekme özelliklerini belirlemek için bir test prosedürü oluşturmak amacıyla düz mikro çekme numuneleri kullanarak lazer kaynaklı birleştirmelerin mekanik özellikleri üzerine deneysel bir araştırma yapılmıştır. Düz çekme numunelerinin testine ilaveten, mekanik özellikler geleneksel enine numuneler ve yuvarlak çekme numuneleri ile incelenmiştir. Mikro çekme numunelerinin sonuçları standart yuvarlak çekme numuneleriyle karşılaştırılmış ve bu gibi birleştirmeler için mikro çekme numuneleri tekniğinin uygunluğu açıkça gösterilmiştir.



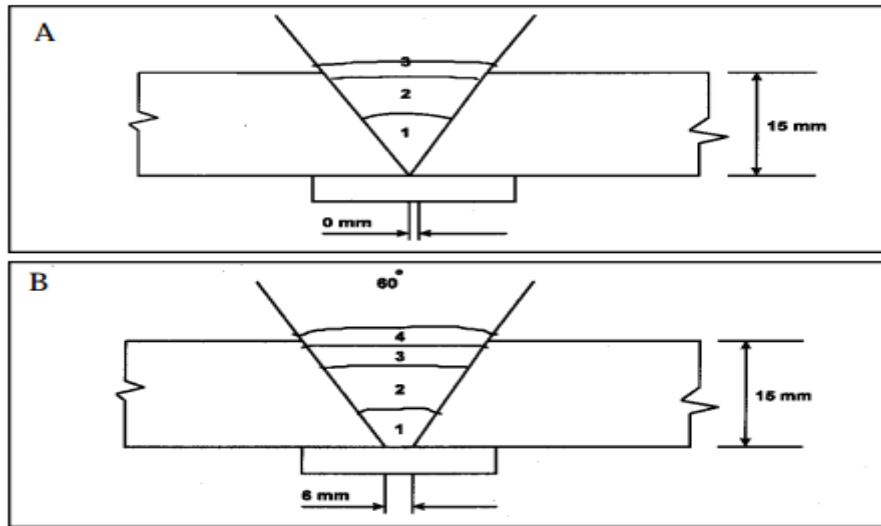
Şekil 2. Benzer ve benzer olmayan malzemelerin kaynaklı birleştirmeleri [10]

Zhu ve Chao [11], tarafından yapılmış çalışmada, sonlu eleman kaynak simülasyon kodu (WELDSIM) kullanılarak detaylı üç boyutlu lineer olmayan termal ve termo mekanik analizler gerçekleştirilmiştir. Kaynak prosesinin bilgisayarlı simülasyonunda geçiş sıcaklığındaki her sıcaklık bağımlı malzeme özelliğinin, artık (kalan) gerilme ve distorsiyonların etkisini incelemek amaçlanmıştır. Alüminyum levhaların kaynağı, üç grup halindeki malzeme özellikleri yani sıcaklığın fonksiyonu olan, oda sıcaklığı değerleri ve kaynaktaki tüm sıcaklık değişimi sürecindeki ortalama değerler kullanılarak simülasyonda dikkate alınmıştır.

Wu ve arkadaşları [12], yapmış oldukları çalışmada, iki çelik plakanın alın kaynaklı birleştirilmesi işlemi simüle edilmiştir. Sonlu eleman (FE) analizi iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk olarak, kaynak işlemi süresince oluşturulan sıcaklık dağılımını elde etmek için lineer olmayan geçici bir termal analiz yapılmıştır. Gerilme analizi, termal analizden elde edilen sıcaklıklar ile geliştirilmiştir. Termal ve gerilme analizlerinde genel amaçlı ANSYS FE programı kullanılmıştır. Kaynak metali, esas metal ve ısıdan etkilenen bölgenin malzeme özellikleri sıcaklık bağımlıdır. Ancak, kaynak metali ve ısıdan etkilenen bölgenin malzeme özelliklerine ilişkin bilgilerin eksikliğinden, her iki bölgenin termal ve mekanik özelliklerinin bu analizde esas metalin özelliklerinin aynısı olduğu varsayılmıştır. Yayımlanmış deneylerden ve nümerik simülasyonlardan elde edilmiş artık gerilme ve distorsiyonların sonuçlarıyla bu çalışmadakiler karşılaştırılarak modelin geçerliliği kanıtlanmıştır. Artık gerilmeler üzerine çeşitli faktörlerin etkileri incelenmiştir.

Meo ve Vignjevic [13], tarafından yapılmış çalışmada, kaynaklı alüminyuma plakaların kaynak prosesi süresince sıcaklık dağılımları, distorsiyonlar ve artık gerilme alanlarını tespit etmek amaçlanmıştır. Sonlu eleman metodu kullanılarak kaynak prosesinin nümerik bir analizi gerçekleştirilmiştir. Nümerik analiz sonuçları deneysel testlerle karşılaştırılmış, sonuçta değerlerin birbirine uygunluğu gösterilmiştir.

Jang ve arkadaşları [14], yapmış oldukları çalışmada, çok pasolu kaynakların mekanik özellikleri incelenmiş ve sonlu elemanlar analizi kullanılarak kaynak deformasyonu ve artık gerilmeler simüle edilmiştir.



Şekil 3. Farklı köklere sahip çok pasolu kaynaklı birleştirme örnekleri [14]

Teng ve Lin [15], tarafından yapılmış çalışmada, ANSYS sonlu eleman teknikleri kullanılarak çelik plakaların tek pasolu ark kaynağındaki artık gerilmeler belirlenmiştir.

Ayrıca artık gerilmeler üzerine kaynak hızı, numune boyutu, dış mekanik kısıtlamalar ve ön ısıtmanın etkileri tartışılmıştır.

Gunaraj ve Murugan [16], tarafından yapılmış çalışmada, yapısal çelik boruların tozaltı kaynağında proses değişkenlerinin ve ısı girdisinin etkilerini belirlemek amacıyla matematiksel modeller geliştirilmiştir.

Kuo ve Wu [17], tarafından yapılmış çalışmaya göre, kaynaklı plakaları etkileyen deformasyon ve artık gerilmelerin miktarı ısı girdisi metodu; kaynak hızı ve etkileyen deformasyon ve geometrik koşullar; kaynaklı yapı sınırlamaları olmak üzere kaynak prosesinin üç yönü ile doğrudan ilişkilidir. ITAB'daki sıcaklık davranışı, genellikle bütün olarak tüm kaynaklı plakanın mukavemetini belirler. Araştırmayı bu bölgedeki sıcaklık davranışına yönlendirmek sadece bu bölgedeki sıcaklığın malzeme kompozisyonun etkilemesinden değil, ayrıca görüntülemek için kaynak sistemine geri besleme sinyali sağlamak ve kaynak prosesini kontrol amacıyla da kullanılabilir.

Literatürde yapılan benzer çalışmaları araştırdığımızda Samet ve arkadaşları [18], tarafından yapılmış ark kaynak işlemi sonucu oluşan kalıntı gerilmelerin deneysel ve sonlu elemanlar simülasyonu ile incelenmesi adlı makalenin bu kısımda incelenmesi öngörülmüştür.

Bu çalışmada, sabitlenmiş aynı malzemeden, aynı ebatlarda saclar robotlu kaynak sistemi kullanılarak 4 mm/sn, 7 mm/sn ve 10 mm/sn hızlarında kaynak işlemleri gerçekleştirilmiştir. Kaynak esnasında termokupul kullanılarak sıcaklık ölçümü yapılmıştır. Kaynak işlemi sonrasında oda sıcaklığına kadar sacın soğuması beklenmiş ve ısı girdisine bağlı olarak oluşan kalıntı gerilmeler delik delme metodu kullanılarak incelenmiştir.

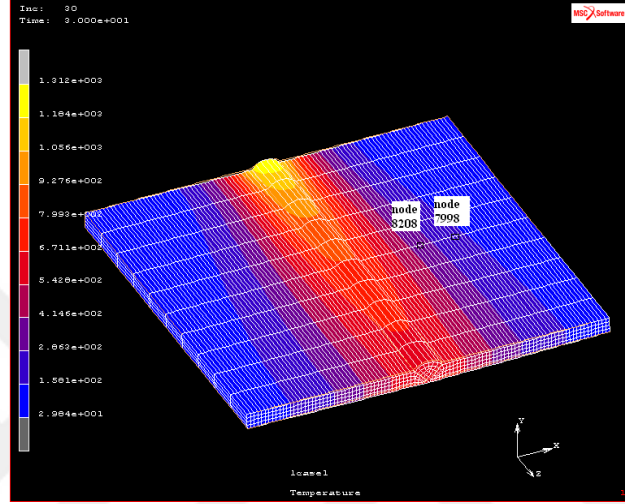
Aynı ark kaynağı için MSC. Marc Mentat 2007 yazılımı kullanılarak simülasyon modellemesi yapılmıştır. Sonlu elemanlar yöntemi ile 3 boyutlu modellemesi yapılan malzemenin üzerinden eşdeğer gerilim değerleri, erişilen maksimum sıcaklık ve ısınma hızı incelenmiştir. Ayrıca bu çalışmada, deneysel sonuçlar ile sonlu elemanlar yöntemiyle elde edilen simülasyon sonuçları karşılaştırılmıştır.

Deneylerde 100x50x4 ebatlarında hazırlanan 18 adet numune kesilip 9 adet kaynaklı bağlantı işlemi yapılmıştır. Ark kaynak robotuyla yapılan bu deneylerde kaynak hızları sırasıyla 4, 7 ve 10 mm/sn olacak şekilde 3'er adet numuneye uygulanmıştır. Diğer kaynak parametreleri ise sabit tutulmuştur.

Kaynak robotuna gerekli parametreler girildikten ve kaynak yolu tanımlandıktan sonra kaynak esnasında sıcaklık dağılımı ölçümünün yapılabilmesi için deney düzeneği kurulmuştur. Farklı 2 noktadan sıcaklık ölçümünün yapılarak sıcaklık dağılımının görülebilmesi için 2 adet termokupul kullanılmıştır. Kaynak esnasında termokupullardan alınan değerler veri

toplama cihazı'na (data logger) aktarıldıktan sonra bu veriler bilgisayar ortamında depolanmıştır.

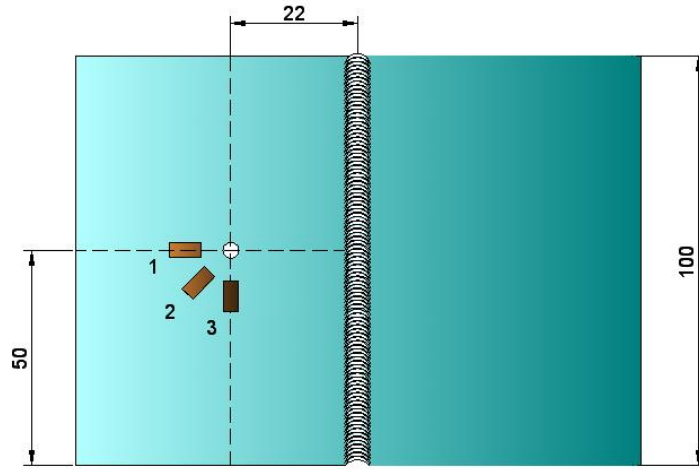
Ark kaynağı işleminin sonlu elemanlar modelinin oluşturulması için Msc Marc Mentat yazılımı kullanılmıştır. Farklı hız parametrelerinde sıcaklık ve iç gerilme değerlerinin malzeme özelliklerine etkisi incelenmiştir.



Şekil 4. Kaynak işlemi sonrası sıcaklık ölçümü yapılan noktalar [18]

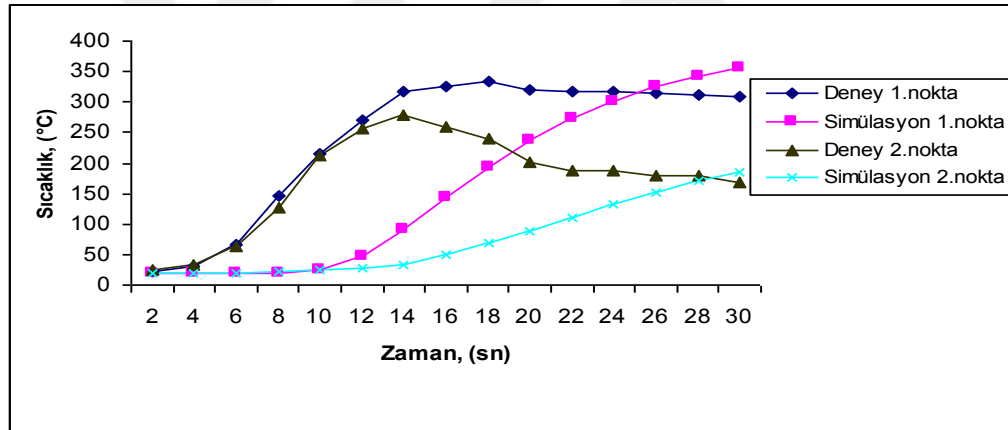
Şekil 4'de kaynak işlemi sonrası sıcaklık ölçümü yapılan noktalar görülmektedir. Burada termokupul ile ölçümü yapılan noktalar simülasyonda belirlenip deneysel ölçümlere göre karşılaştırmalar yapılmıştır.

Kalıntı gerilme ölçmek için delik delme işlemi ASTM E837 standardına göre gerçekleştirilmiştir. Kalıntı gerilme ölçme rozeti Şekil 5'de gösterildiği gibi kaynak merkezinden 22 mm mesafede olacak şekilde yapıştırılmıştır.



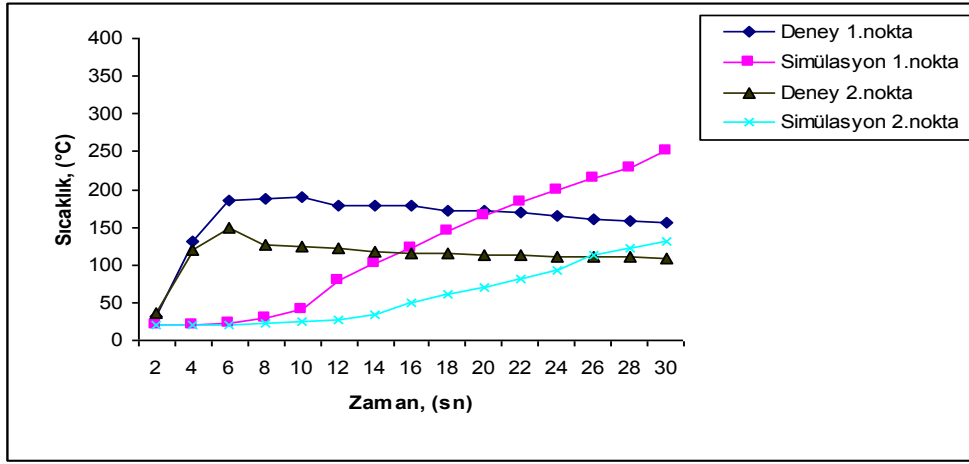
Şekil 5. Numune Malzeme Üzerinde Strain Gage'lerin Konumu [18]

Termokupul ile yapılan sıcaklık ölçüm deneyinde 4 mm/sn , 7 mm/sn ve 10 mm/sn hızlarında kaynak işlemi yapılmış ve kaynak esnasında sıcaklık değerleri Şekil 6'da gösterilmektedir.



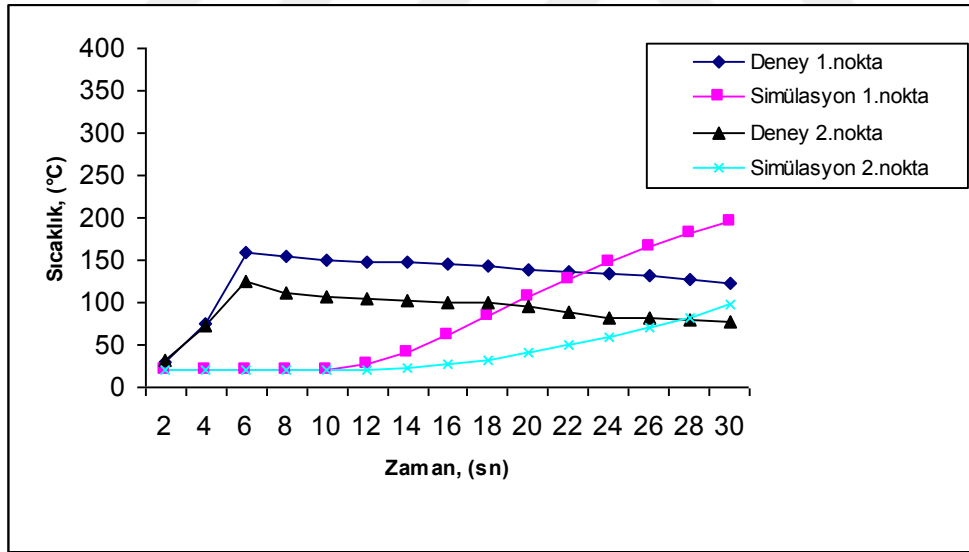
Şekil 6. Kaynak ilerleme hızı 4 mm/sn için deney ve simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması [18]

Şekil 6.'da gösterildiği gibi 4 mm/sn ilerleme hızında kaynak işlemi yapılan numunede kaynağa yakın olan 1. noktada en yüksek 334.7 °C, 2. noktada ise 277.7 °C sıcaklık ölçümü yapılmıştır. Simülasyon sonuçlarında ise, 1. noktada yaklaşık olarak en yüksek sıcaklık değeri 357 °C, 2. noktada ise 186 °C' dir.



Şekil 7. Kaynak ilerleme hızı 7 mm/sn için deney ile simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması [18]

Şekil 7.'de gösterildiği gibi 7 mm/sn hızında kaynak işlemi yapılan numunede kaynağa yakın olan 1. noktada en yüksek 189.4 ° C, 2. noktada ise 148.7 °C ölçüm yapılmıştır. Simülasyon sonuçlarında ise, 7 mm/sn hızında ise 1. noktada 251 °C, 2. noktada ise 132 °C ölçümü yapılmıştır.



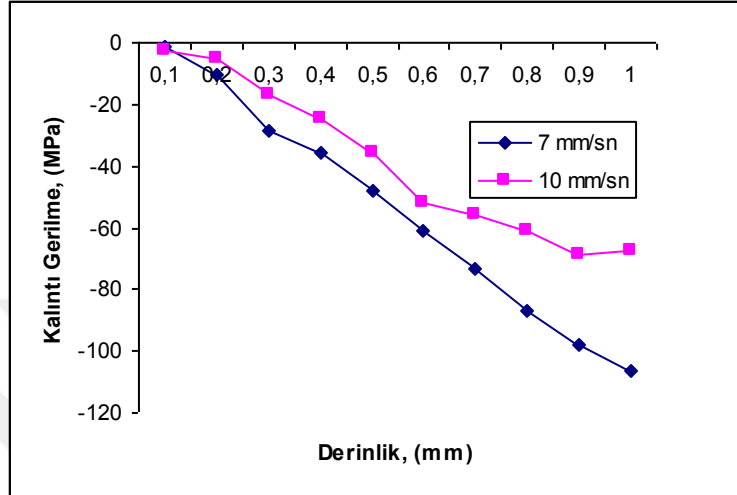
Şekil 8. Kaynak ilerleme hızı 10 mm/sn için deney ile simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması [18]

Şekil 8.'de gösterildiği gibi 10 mm/sn hızında kaynak işlemi yapılan numunede kaynağa yakın olan 158.1 °C, 2. noktada ise 124.3 °C ölçüm yapılmıştır. Simülasyon sonuçlarında ise, 10 mm/sn hızında kaynatılan numune de ise 1. noktada en yüksek 196 °C, 2. noktada ise 98 °C ölçüm sonucu alınmıştır.

Sonuç olarak deneysel çalışmalardan elde edilen ölçüm değerleri ile sonlu elemanlar

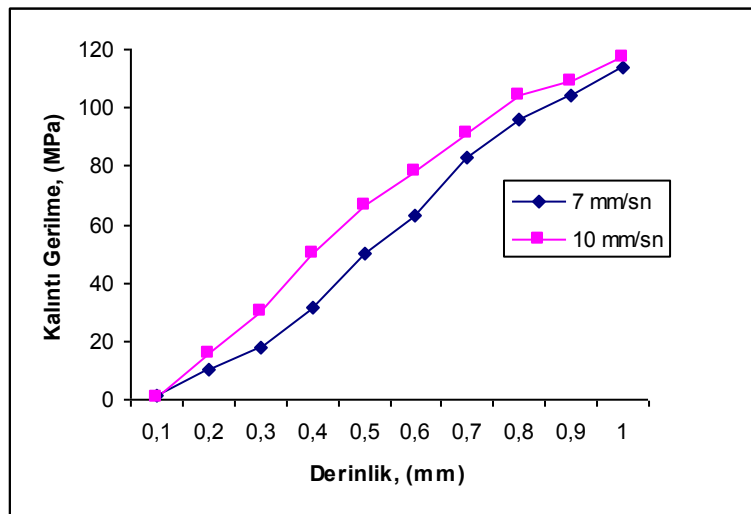
yöntemiyle elde edilen değerler birbirine benzerlikler göstermektedir. Farklı parametrelere göre incelendiğinde her ikisinde de kaynak ilerleme hızı arttıkça sıcaklık değerlerinin ve gerilme değerlerinin düştüğü görülmektedir.

Delik delme metodu ile yapılan kalıntı gerilme ölçüm deneyinde, 7 mm/sn ve 10 mm/sn hızında kaynaklı birleştirme parametreleri kullanılmıştır. [18]



Şekil 9. Kaynağa Dik Konumdaki Derinlik-Kalıntı Gerilme Arasındaki İlişki [18]

Şekil 9.'da gösterildiği gibi 7 mm/sn hızında kaynatılan numune kaynak metaline dik gerilim ölçerde max. -106,2 MPa çekme gerilmesi görülmektedir. Şekil 9.'da gösterildiği gibi 10 mm/sn hızında kaynatılan numune dik gerilim ölçerde ise max. -67,41 MPa çekme gerilmesi görülmektedir.



Şekil 10. Kaynağa Paralel Konumdaki Derinlik-Kalıntı Gerilme Arasındaki İlişki [18]

Şekil 10.'da gösterildiği gibi 7 mm/sn hızında kaynatılan numunede kaynak metaline paralel konumdaki gerilim ölçerde max. 113,96 MPa basma gerilmesi görülmektedir. Şekil 7.'de gösterildiği gibi 10 mm/sn hızında kaynatılan numunede dik gerilimölçerde ise max. 117,41 MPa basma gerilmesi görülmektedir.

Alınan ölçümler sonucunda 7 mm/sn hızında kaynatılan numunede kaynak metaline dik gerilim ölçerde, 10 mm/sn hızında kaynatılan numunedeki kaynak metaline dik gerilimölçere nazaran daha fazla gerilim boşalması olmuştur. Bunun sebebi literatür de ısı girdisi teorisinden de yararlanılarak açıklanabilir. Kaynak ilerleme hızı arttıkça kaynatılan malzemeye aktarılan ısı girdisinin azalmasıdır. Isı girdisinin azalması ile malzemede oluşan gerilmelerinde azaldığı görülmüştür. [18]

Literatürde yapılan benzer çalışmaları araştırdığımızda Ahmet Çapkın [19], tarafından yapılmış talaşlı üretimde kesme işleminin sonlu elemanlar modeli ile incelenmesi adlı yüksek lisans tezinin bu kısımda incelenmesi öngörülmüştür.

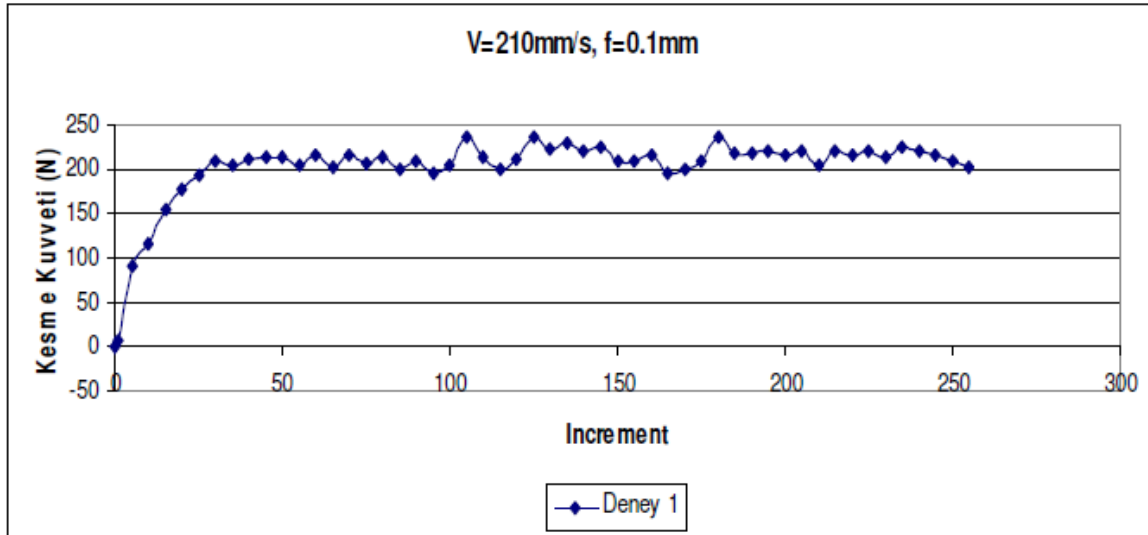
Bu çalışmada FEM prosedürü ile yapılan kesme işleminin simülasyonundan elde edilen sonuçların deney sonuçları ile kıyaslanarak sunulan modelin doğruluğu araştırılmıştır. Talaş kaldırmada kesme hızı, talaş açısı ve ilerleme miktarı gibi parametrelerin optimizasyonu ile kesme kuvvetlerinin azaltılması, kesici takım-iş parçası ara yüzeyinde ortaya çıkan ısının düşürülmesi veya ortamdan daha hızlı uzaklaştırılması ve sürtünme kuvvetlerinin azaltılması işlemleri kesici takım ömrünü uzatma yönünden önem taşımaktadır. Modelde kesici takım malzemesi olarak X8CrNi12 ve iş parçası olarak C45 girilmiş, bu (0 – 1200) sıcaklık C ve (0-80 s-1) birim şekil değiştirme hızlarına ait veriler tablolar halinde modele bağlanmıştır. İş parçası ve kesici takım malzemelerinin her ikisi içinde deforme edilebilen ve viskoplastik malzeme modeli seçilmiştir. Deneylerde ise aynı malzemeler kullanılarak vargel tezgahında değişik kesme hızı, kesme derinliği ve ilerleme altında kesme işlemi gerçekleştirilmiş ve kesme anında kesici uca gelen kuvvetler kesici takım üzerine bağlanan strain gage'ler ile ölçülmüştür. Elde edilen simülasyon sonuçları deneylerle karşılaştırılmış ve kullanılan modelin verimliliği görülmüştür. [19]

Bu çalışmada MSC.Marc-Mentat ve SuperForm kullanılarak nümerik modelleme ile ortogonal kesme işlemi için sonlu eleman modeli oluşturulmuş ve farklı kesme parametreleriyle yapılan simülasyonlarda bu parametrelerin kesme kuvvetlerine etkileri araştırılmıştır. Yapılan simülasyonlar deneyler ile karşılaştırılmış ve teklif edilen modelin uygunluğu araştırılmıştır.

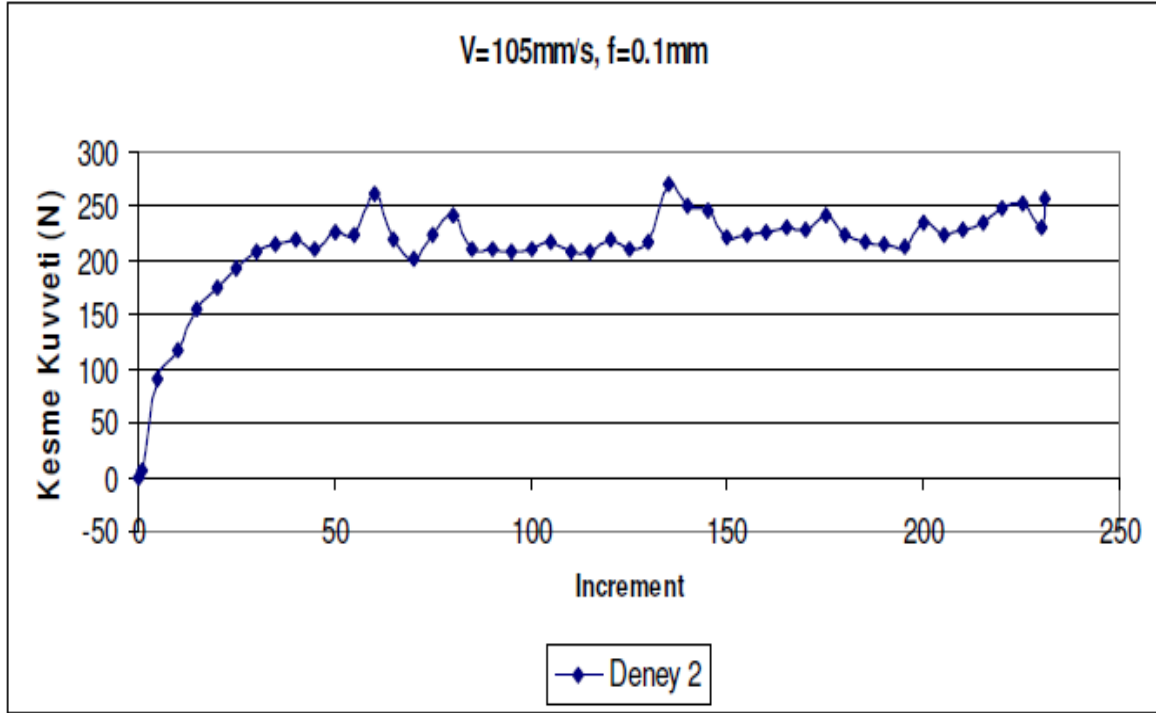
Kesme işleminde sonlu elemanlar yöntemiyle kesici takım ve iş parçası davranışı incelenmiş, kesici takıma etki eden kesme kuvvet bileşenleri analiz edilmiş deneysel yöntem ve nümerik modellemeyle elde edilen kuvvetler formüllerle açıklanmıştır. Kesme bileşenlerinin incelenmesi sonucunda simülasyon ve deneysel yöntemlerle yapılan çalışmalar karşılaştırılmıştır. Talaş derinliği, malzeme cinsi ve kesici takım boşluk açısı sabit tutularak yapılan 8 farklı tip simülasyon ve aynı şartlarda atölye ortamında vargel tezgahı ile deneysel çalışma yapılmıştır.

Tablo 1. Farklı kesme parametreleriyle yapılan simülasyonlar [19]

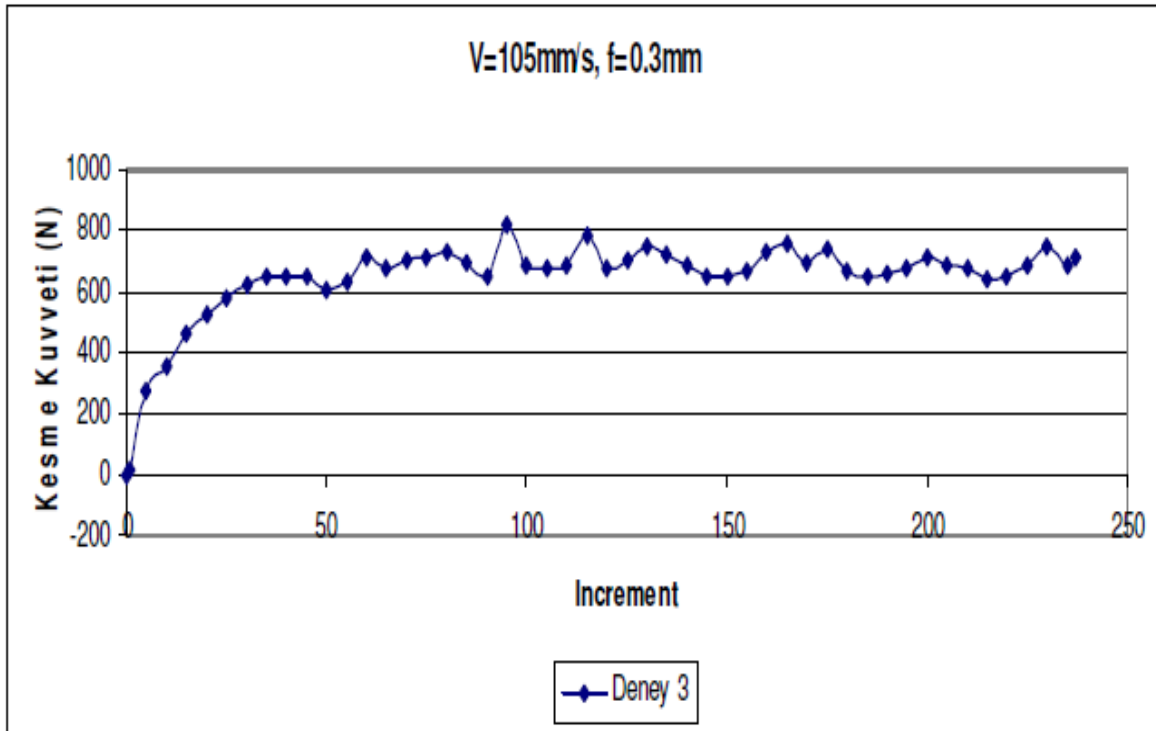
Talaş açısı	V=210 mm/sn		V=105 mm/sn	
γ (Deg)	f=0.1	f=0.3	f=0.1	f=0.3
0	Dny.1	Dny.4	Dny.2	Dny.3
11	Dny.7	Dny.6	Dny.8	Dny.5
V; kesme hızı(mm/sn), f; ilerleme miktarı(mm)				



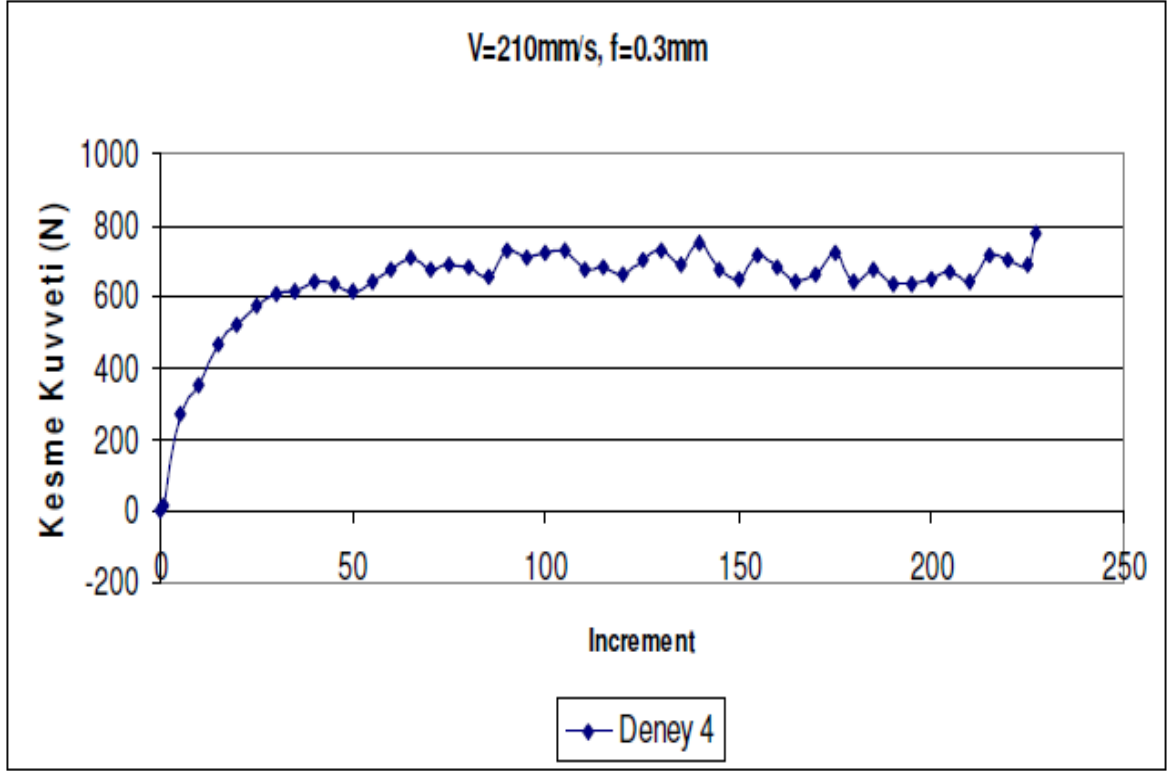
Şekil 11. Simülasyon 1 kesme kuvveti grafiği [19]



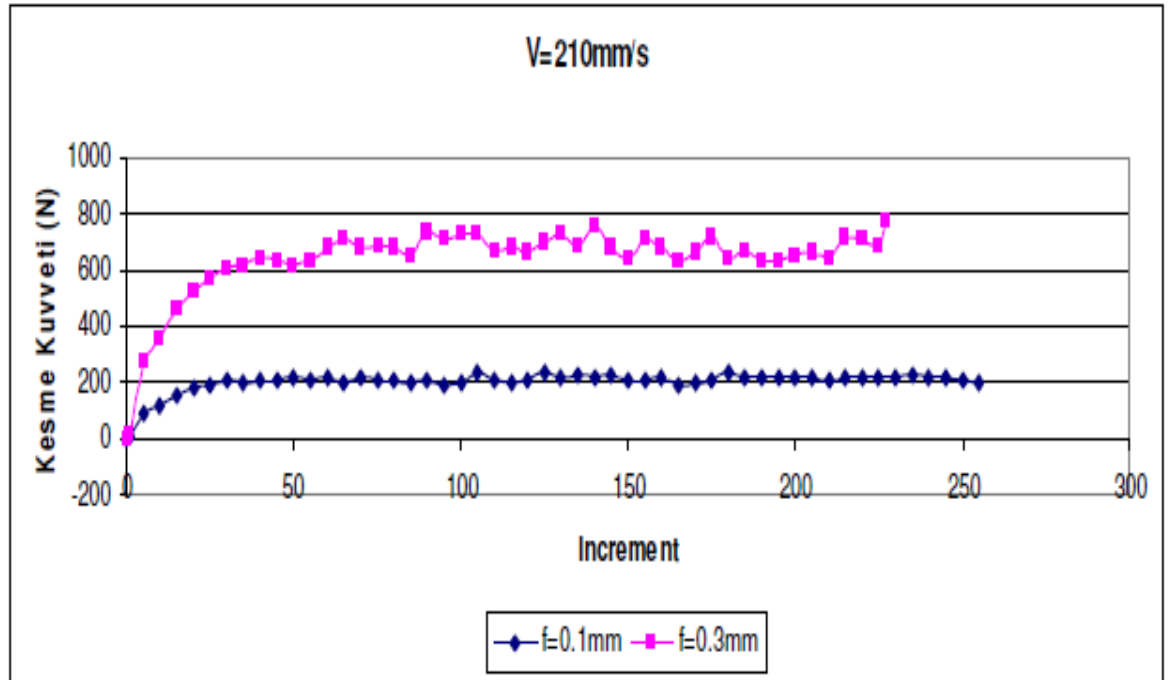
Şekil 12. Simülasyon 2 kesme kuvveti grafiği [19]



Şekil 13. Simülasyon 3 kesme kuvveti grafiği [19]



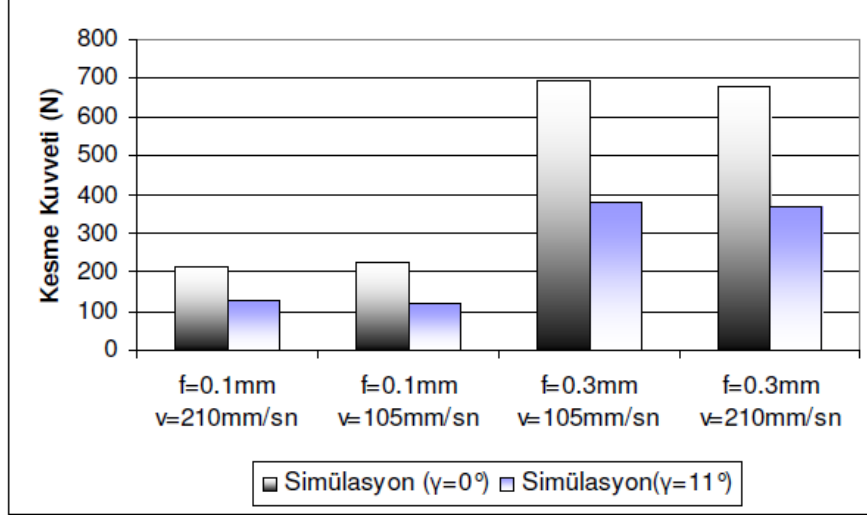
Şekil 14. Simülasyon 4 kesme kuvveti grafiği [19]



Şekil 15. Sabit Kesme Hızındaki iki farklı simülasyonun mukayesesi [19]

İlerleme miktarı incelendiğinde ise $f=0,3$ mm ilerleme miktarına sahip kesici, $f=0,1$ mm ilerleme miktarına göre kesme kuvveti yaklaşık 3 kat daha yüksek olduğu gözlenmektedir.

Bu kesme kuvveti artışı birim talaş kesit alanının artışından ortaya çıkmaktadır



Şekil 16. Talaş açısına bağlı karşılaştırmalı kesme kuvvetleri [19]

Talaş açısı (γ) artarak takım ucu incelendiğinde kesici malzemeye çok daha kolay nüfuz eder, çok daha küçük kesme kuvvetleriyle talaş kaldırır fakat uç incelendiğinden mukavemeti azalır aşınma, kırılma gibi risk artar.

Tablo 2. Kesme Deneyi Sonuçları [19]

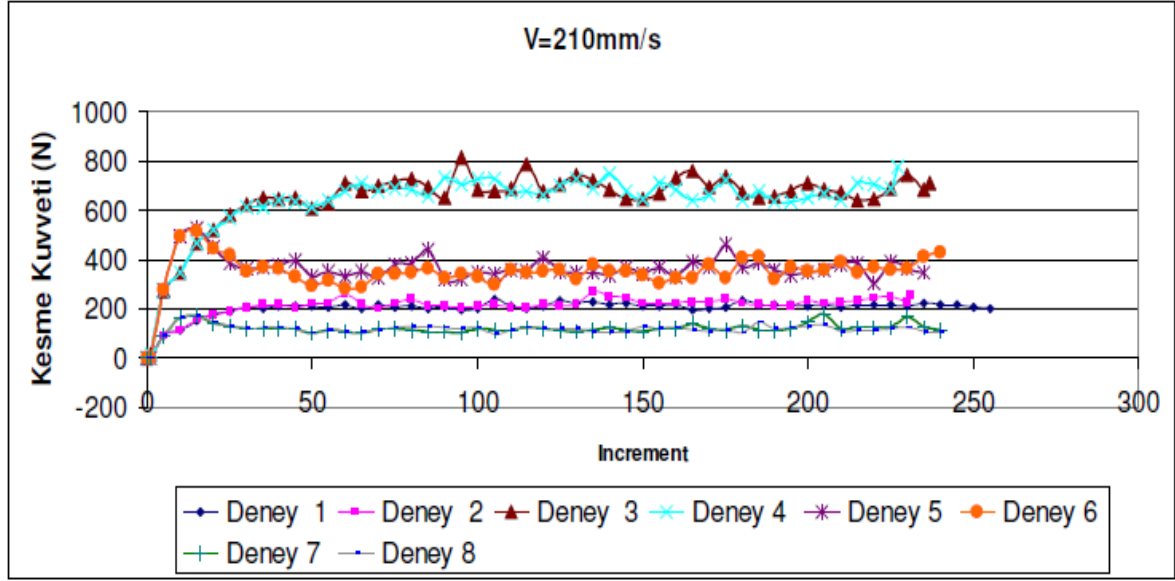
Deney 1			Deney 2		
V	(mm/sn)	210	V	(mm/sn)	105
f	(mm)	0,1	f	(mm)	0,1
t	(mm)	1	t	(mm)	1
ϵ		0,000489	ϵ		0,000517
E	(Gpa)	200	E	(Gpa)	200
G	(Pa)	97760980	G	(Pa)	103450000
Ms	(Nmm)	11633,51	Ms	(Nmm)	12310,5
Mmax	(Nmm)	16293,43	Mmax	(Nmm)	17241,6
F	(N)	332,386	F	(N)	351,7286
Deney 3			Deney 4		
V	(mm/sn)	105	V	(mm/sn)	210
f	(mm)	0,3	f	(mm)	0,3
t	(mm)	1	t	(mm)	1
ϵ		0,000997	ϵ		0,000958
E	(Gpa)	200	E	(Gpa)	200
G	(Pa)	199390900	G	(Pa)	191642860
Ms	(Nmm)	23727,42	Ms	(Nmm)	22805,41
Mmax	(Nmm)	33231,68	Mmax	(Nmm)	31940,35
F	(N)	677,9263	F	(N)	651,5831

Tablo 2.'den kesici takım ilerlemesinin artmasıyla kesme kuvvetinin büyük oranda arttığı görülebilir. Bu durum, ilerleme miktarının artmasıyla talaş boyutunun arttığı göz önünde bulundurularak formül 1. incelendiğinde daha iyi anlaşılacaktır.

Tablo 3. Simülasyon ve Deney Toplu Sonuçları [19]

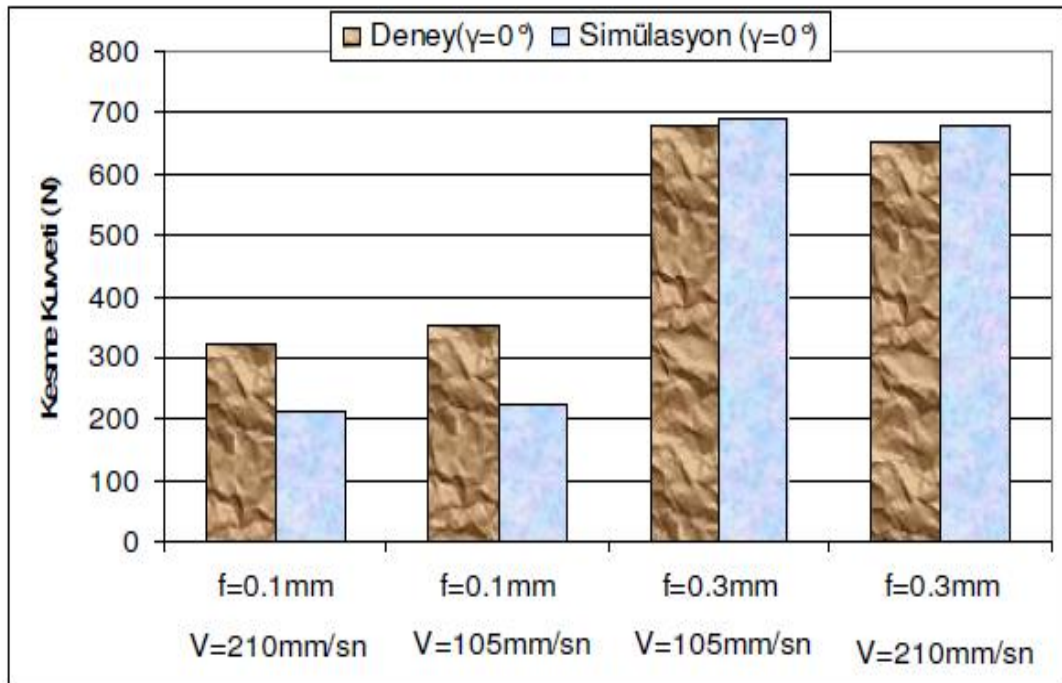
Simülasyon Sonuçları			
V(mm/sn)	γ (deg)	F (N)	
		f=0.1	f=0.3
210	0	213.70	679.06
105	0	226.27	690.00
210	11	127.15	368.10
105	11	116.87	379.58
Deney Sonuçları			
210	0	332.38	651.58
105	0	351.73	677.92
V; kesme hızı, γ ; talaş açısı, f; ilerleme miktarı, F; kesme kuvveti			

Kesme hızının kesme kuvveti üzerine etkisi Tablo 3'ten incelendiğinde 210 mm/s kesme hızına sahip kesicinin maruz kaldığı kesme kuvveti 105 mm/s kesme hızına sahip kesiciye göre % 3 ile %5 daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Kesme hızının 2 kat arttığı bir durumda talaş kesitinin sabit ise kesme kuvvetinin de 2 kata yakın artması beklenebilir. Ancak C45 malzemenin ideal kesme hızının 250 mm/s (15 m/dak) olduğu dikkate alınırsa kesme kuvvetinde artış olmamasının nedeni anlaşılabilir. İlerleme miktarı incelendiğinde ise f=0,3 mm ilerleme miktarına sahip kesici, f=0.1mm ilerleme miktarına göre kesme kuvveti % 90–95 daha yüksek olduğu gözlenmektedir. Bu kesme kuvvetine değil birim talaş kesit alanının artışından ortaya çıkmaktadır. İlerleme miktarı talaş boyutunu belirler. Talaş boyutu, F_x ile doğru orantılıdır. Şekil 14'de ise iki farklı talaş açısında (0 ve 11 derece) yapılan simülasyon ve deneyler kolaylıkla karşılaştırabilmesi için toplu halde gösterilmiştir.



Şekil 17. Kesme hızı, talaş açısı ve ilerleme miktarı parametrelerinin değiştirilerek yapılan simülasyonlardan elde edilen kesme kuvveti eğrilerinin kıyaslanması [19]

Çalışmanın amacı olan sonlu elemanların kesme üzerinde kullanılarak açıklanması ve bu yöntemin deneysel yöntemlerle karşılaştırılması olması nedeniyle talaş açısı sabit tutularak bilgisayar ve laboratuvar ortamında deneyler yapılmış ve Şekil 18'de sonuçlar gösterilmiştir.



Şekil 18. Sıfır talaş açısıyla yapılan kesme simülasyon ve deneylerin karşılaştırılması [19]

Sonlu elemanlar yöntemiyle yapılan iki boyutlu simülasyon, yukarıda verilmiş sıra formüller ve deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmış FEA modelinin belirli şartlar içerisinde başarıyla kullanılabileceği gözlenmiştir.

Oldukça basit bir yöntemle strain-gage'ler kullanılarak kesme kuvveti ölçülebilmekte ve sonuçlar simülasyon sonuçlarıyla karşılaştırıldığında tatmin edici sonuçlara ulaşılmıştır. Bu sonuç kullanılan ölçüm metoduyla kesmede, kesme kuvvetinin ölçülebileceğini göstermiştir.

Literatürdeki benzer çalışmalarda tekli simülasyonlar üzerinden araştırmalar yapılmıştır. Bir kaynak simülasyonunun deneysel bir kaynak işlemi ile karşılaştırılması veya farklı kesme ve ilerleme miktarları ile gerçekleştirilmiş talaş kaldırma simülasyonunun deneysel talaş kaldırma işlemleri ile kıyaslandığı görülmüştür. Bu çalışmalar kalıntı gerilmelerin nasıl bir değişim sergilediği hakkında ışık tutsa da kaynak ve talaş kaldırma işlemlerinin her ikisinin ardışık olarak gerçekleştirildiği durumlarda kalıntı gerilmeler hakkında bir öngörude bulunmaya imkan tanımamaktadır. Bu yüzden çalışmamızda her iki işlem ardışık simülasyon aracılığıyla birlikte incelenecektir.

1.3 Tezin İçeriği

Bu tez çalışmasında, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak kaynak işlemi uygulanmış bir malzemenin üzerinden talaş kaldırma yoluyla kalıntı gerilmeler incelenerek nümerik ve deneysel bir model ortaya çıkarılması amaçlanmıştır. Farklı kaynak ilerleme hızlarında kaynak işlemleri uygulanmış numuneye düzlem yüzey frezeleme, delik delme ve kanal açma işlemleri uygulanarak malzeme bünyesinde oluşan kalıntı gerilmelerin incelenmesi amaçlanmıştır.

Çalışmada ticari FEA Paket programlarından MARC kullanılmıştır. Sanal alışma prensiplerini baz alır ve elastik-plastik güncellenmiş Lagrangian yaklaşımı uygulanır. Program analizde malzeme modelleme hataları yapmaz. Programa programın çalışması esnasında meydana gelen hatalı elementleri yok edici bir alt program (Subroutine) eklenmiştir. Bu algoritma aşağıdaki şekilde verilmiştir. Bu subroutine her incrementteki her bir element için elde edilen gerilme değerlerini kullanır. Daha sonra bu gerilme değerlerini hesaplar ve en son gerilme değerleriyle karşılaştırır. Eşdeğer gerilme en son gerilmeye eşit olduğu zaman ilgili element ağdan (Mesh) ıkartılır. Modelleme hatası olduğu zaman elementleri bütün olarak yüzey boyunca elimine eder. Analizde dört düğümlü asimetrik sonlu elementler kullanılır. Her element dört integrasyon noktası içerir. Talaş teşkilli kesme simülasyonunda yeni subrutinler yazılarak orijinal kodlara ağlanır. Modifiye edilmiş bu yeni simülasyon malzeme kırılma simülasyonuna potansiyel kazandırır, iş parçası malzemesinin hasarı tanımlanmış kritik değerlerden daha büyük olduğu zaman ağ elementleri silinir.

Bu tez çalışması kaynak ve kesme deneyleri yaparak literatürde daha önce yapılmış kesme modellemelerinin değerlendirilmesi ve farklı metodlar ile elde edilen sonuçların daha iyi ortaya konabileceği yeni bir modelin önerilmesi konularını kapsamaktadır.

Malzemenin belirlenen geometri ve yükleme şartları altında temsil edilmesi sağlanarak farklı çeşitteki gerilme problemlerinin sonlu elemanlar yazılımında modellenmesi ve analizler yaparak kalıntı gerilme davranışlarının tahmin edilmesini kapsamaktadır.

Kesici takım olarak parmak freze akısı kullanılacaktır. Kullanılacak parmak freze akısının özellikleri simülasyon içerisine entegre edilen takım yolu dosyası (CCL dosyası) içerisinde tanımlanmıştır. Parmak freze akısı ile talaş kaldırmadan sonra kalıntı gerilmeler ölçülerek bu parametrelerin kaynak işlemi uygulanmış malzemeye etkisinin gözlenmesi ve değişimlerin karşılaştırılarak yorumlanması yapılacaktır. İş parçası olarak; kaynak olabilirliği yüksek, mukavim ve kolay işlenebilir olmasından dolayı uzay, havacılık ve otomobil sanayi gibi çok önemli kullanım alanına sahip olan C1040 eliği incelenecektir. C1040 malzemesinin bünyesinde kaynak işlemi gördükten sonra oluşan iç gerilmeler ile C1040 eliği üzerinden

talaş kaldırdıktan sonra kalıntı gerilmelerin gösterdiği değişim mukayeseli olarak incelenecektir. Bu çalışma sonucu ortaya çıkan sonuçlara göre kalıntı gerilmelerin FEM yöntemi ile simüle edilmesi ve deneysel yöntem ile karşılaştırılması amaçlanmaktadır. Kesme işleminin nümerik modellemesi için Marc Mentat paket yazılımı kullanılmıştır. Kesme işlemi için gereken katı modelin Marc Mentat'da modellenmesi, FEM prosedürü ile yapılan kaynak dikişine sahip numuneden talaş kaldırma simülasyonunun deney sonuçları ile kıyaslanarak ortaya çıkarılan modelin doğruluğunun araştırılması amaçlanmıştır.





2. SONLU ELEMANLAR İLE MODELLEME (FEM)

2.1 Bölümün amacı ve hedefi

Sonlu Elemanlar Yöntemi (Finite Element Method - FEM), karmaşık geometriye sahip sistemlerin statik ve dinamik analizlerinin yapılmasını sağlayan bir yöntem olarak, günümüzde çok yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Ancak genel bir yanlış, paket programı kullanımının, klasik yöntemlerle çözümü zor problemlerin kolayca ve otomatik olarak çözümünü sağladığıdır. Bir sonlu elemanlar yazılım paketi kullanımında, en kritik aşamalar elemanın modellenmesi ve sınır şartlarının belirlenmesidir.

Bu bölümün amacı ardışık simülasyon için gereken kaynak ve talaş kaldırma simülasyonlarının sonlu elemanlar programı ile hazırlanabilmesi için gerekli olan modellemeleri elde etmektir. Bu bölüm malzeme modellemesi, geometrik modelleme, ağ oluşturma ve sınır şartları olmak üzere belirli aşamalardan oluşmaktadır. Daha sonra kaynak işlemi için gerekli kaynak parametreleri modele entegre edilerek kaynak işlemi gerçekleştirilecek kaynak sonrası oluşan kalıntı gerilmeler T16 dosyası yardımı ile saklanacak daha sonra gerekli takım yolu, kesici takım ve T16 dosyası modele entegre edilerek talaş kaldırma için modelleme tamamlanmış olacaktır.

T16 dosyası kaynak simülasyonu sonucu elde edilen dosyadır. Bu dosya kaynağın en son aşamasındaki hali yani tüm kalıntı gerilmelerin üzerinde barındıran bir şekilde program tarafından sunulur. Daha sonra bu dosya başlangıç şartı olarak talaş kaldırma simülasyonuna entegre edilir. Böylece ardışık simülasyonun en önemli aşaması tamamlanmış olur. Talaş kaldırma modeli kaynak için hazırlanan modelin geometrisinin birebir aynısıdır. Bu geometri üzerine T16 dosyası ile kaynak sonrası oluşan gerilmeler ön gerilme olarak yüklendiğinde malzeme talaş kaldırılmadan önce belirli bir ön yükleme ile şartlandırılmış olmaktadır. Malzemeden daha sonra talaş kaldırma işlemi gerçekleştirildiğinde bu ön gerilmeler bir takım değişiklikler gerçekleştirecektir.

Böylece imalat aşamasında tekli simülasyon ile elde edilen sonuçların sınırlılıkları ortadan kaldırılmış olacaktır. Bir malzeme imalat aşamalarından geçtikten sonra tekli simülasyonlar ile yapılan çalışmalar gerçek koşullara uyum göstermekte zorlanırken iki veya üç simülasyon ile çalışmalar daha gerçekçi sonuçlar vermektedir. Çünkü mekanik yükler altında çalışan her malzeme imalat aşamasında sadece tek bir aşamadan geçmemektedir. Kaynak işlemi, ısıl işlem, talaş kaldırma gibi pek çok imalat aşamasından geçen malzemeler eğer ki bir sonlu elemanlar programıyla analiz edilecekse bu ardışık simülasyon yöntemi ile incelemek daha gerçekçi sonuçlar verecektir.

2.2 Modelin Özellikleri

Kaynak ve kesme işlemlerinin sonlu elemanlar modelini yapmak için MSC.Marc-Mentat 2010 yazılımı kullanılmıştır. Kaynak işlemi uygulanmış bir malzeme üzerinden talaş kaldırıldığında malzemeye etki eden gerilme çeşitlerinin değişimi araştırılmıştır. Malzemenin modellenmesinde kaynak bölgesinde talaş kaldırmaya uygun olacak şekilde ağ yapısı oluşturulmuştur. Modelin tamamı 3960 elementten oluşturulmuştur. Kaynak bölgesi ise 290 element ile oluşturulmuştur. Kaynak bölgesindeki gerilim değerlerinin daha iyi anlaşılabilmesi için modelin diğer kısımlarına nazaran kaynak bölgesi çevresinde ağ sayısı artış göstermektedir.

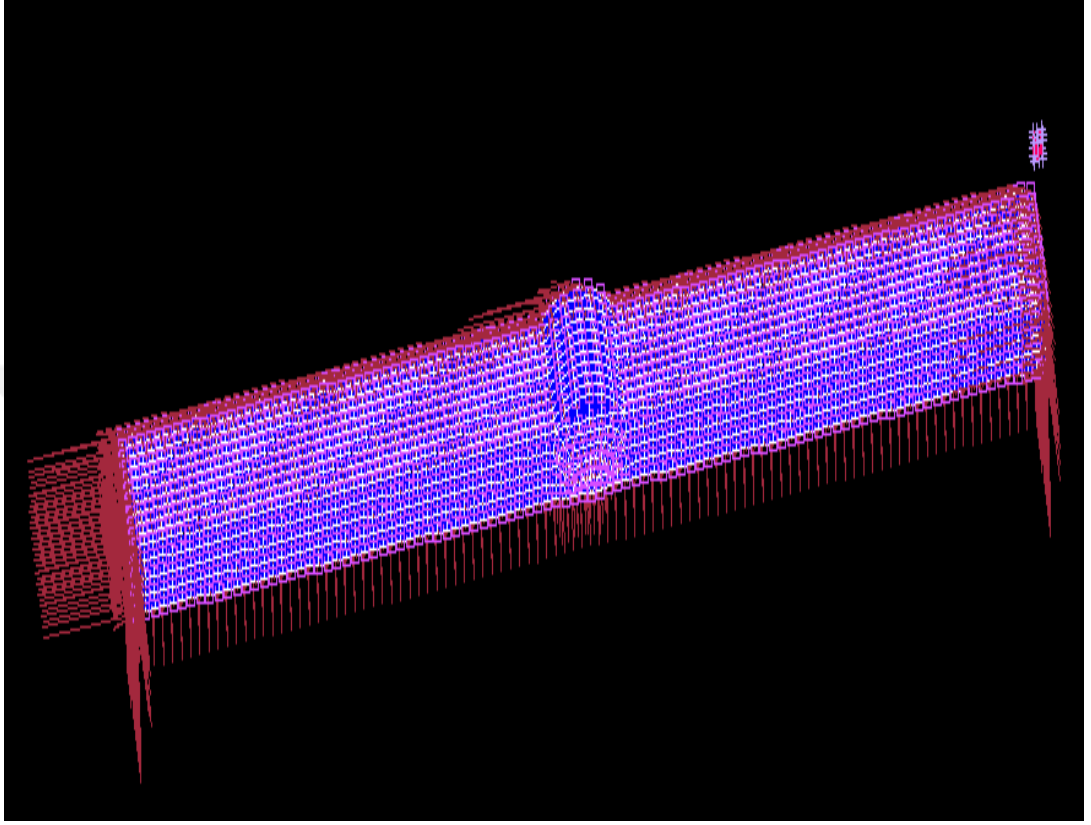
Tablo 4. Element Özellikleri

Element Tipi	11
Node Sayısı	4
İntegrasyon noktası sayısı	4
D.O.F Sayısı	2

Tablo 5. Modelleme özellikleri

Element Quantity	4250
Element Class	Quad (4)
Curve Type	Line
Surface Type	Quad
Solid Type	Block
Analysis Class	Structural

İş parçası malzemesi olarak C1040 çeliği seçilmiştir. Bu malzeme modeli için gerekli olan farklı sıcaklıklar ve deformasyon hızlarındaki eğriler simülasyona tablolar halinde bağlanmıştır.



Şekil 19. Yükleme durumu gösterilen sonlu elemanlar modeli

İş parçası Şekil 19’da görüldüğü üzere X ve Y eksenine doğrultusunda hareket etmemesi için sabitlenmiştir. Bu sabitleme iş parçasının +X ve -Y doğrultusunda hareket etmemesini sağlamakta, dolayısıyla mengine vazifesi görmektedir. Malzemenin rijitliği bu aşamada kritik önem taşımaktadır. Çünkü bir imalat aşamasında malzemenin herhangi bir yer değişimi göstermesi, uygun olarak sabitlenmemesi yapılan işlemin verimliliğini etkilemektedir.

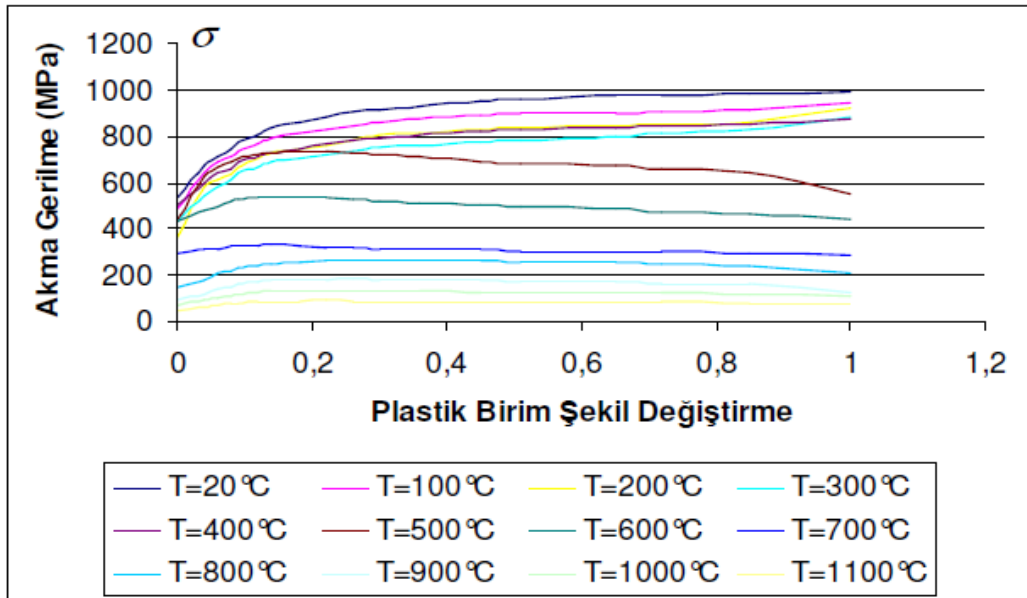
Uygun olarak her ekseninde sabitlenmeyen bir model bir işlem ile karşılaştığında o eksenlerde kaymalar gösterecektir. Bu durum deney sonuçlarını etkilemekte ve hatalı sonuçlar alınmasına neden olabilmektedir.

Bundan dolayı sonlu elemanlar simülasyonlarında yapılan her çalışmada modelin her ekseninde yeterli düzeyde sabitlenmesi gerekmektedir.

2.3 Malzeme modeli

İş parçası olarak C1040 girilmiş, bu malzemelerin (0 – 1200) sıcaklık C ve (0-80 s-1) birim şekil değiştirme hızlarına ait veriler tablolar halinde modele bağlanmıştır. İş parçası için deforme edilebilen ve viskoplastik malzeme modeli seçilmiştir.

İş parçası malzemesi olarak MSC.SuperForm'un veri tabanında bulunan ve gerçek deneylerde de aynı malzemenin kolay temin edilebilmesi için C40 çeliği seçilmiştir. Bu malzeme modeli için gerekli olan farklı sıcaklıklar ve deformasyon hızlarındaki eğriler simülasyona tablolar halinde bağlanmıştır. Malzeme eğrileri 1.6, 8 ve 40 gibi 3 ana şekil değiştirme hızları için 12 farklı sıcaklıkta (20, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1100°C) verilmiştir. Şekil 20'de $\dot{\epsilon}_p = 1.6$ için örnek diyagram verilmiştir.



Şekil 20. İş parçası malzemesinin $\dot{\epsilon}_p = 1.6 \text{ s}^{-1}$ 'deki akma gerilmesi – birim şekil değiştirme eğrileri

Plastik malzeme modeli

$$\sigma_y = A(\epsilon_0 + \epsilon^n) + B\dot{\epsilon}^m \quad (\text{II.1})$$

Burada A ve B plastik deformasyon katsayıları, m deformasyon hassasiyet katsayısı, n pekleşme katsayısı, e birim şekil değiştirme miktarıdır.

Formül 1 de kullanılan ε_0 ise;

$$\varepsilon_0 = (\sigma_0 / A)^{1/(m-1)} \quad (\text{II.2})$$

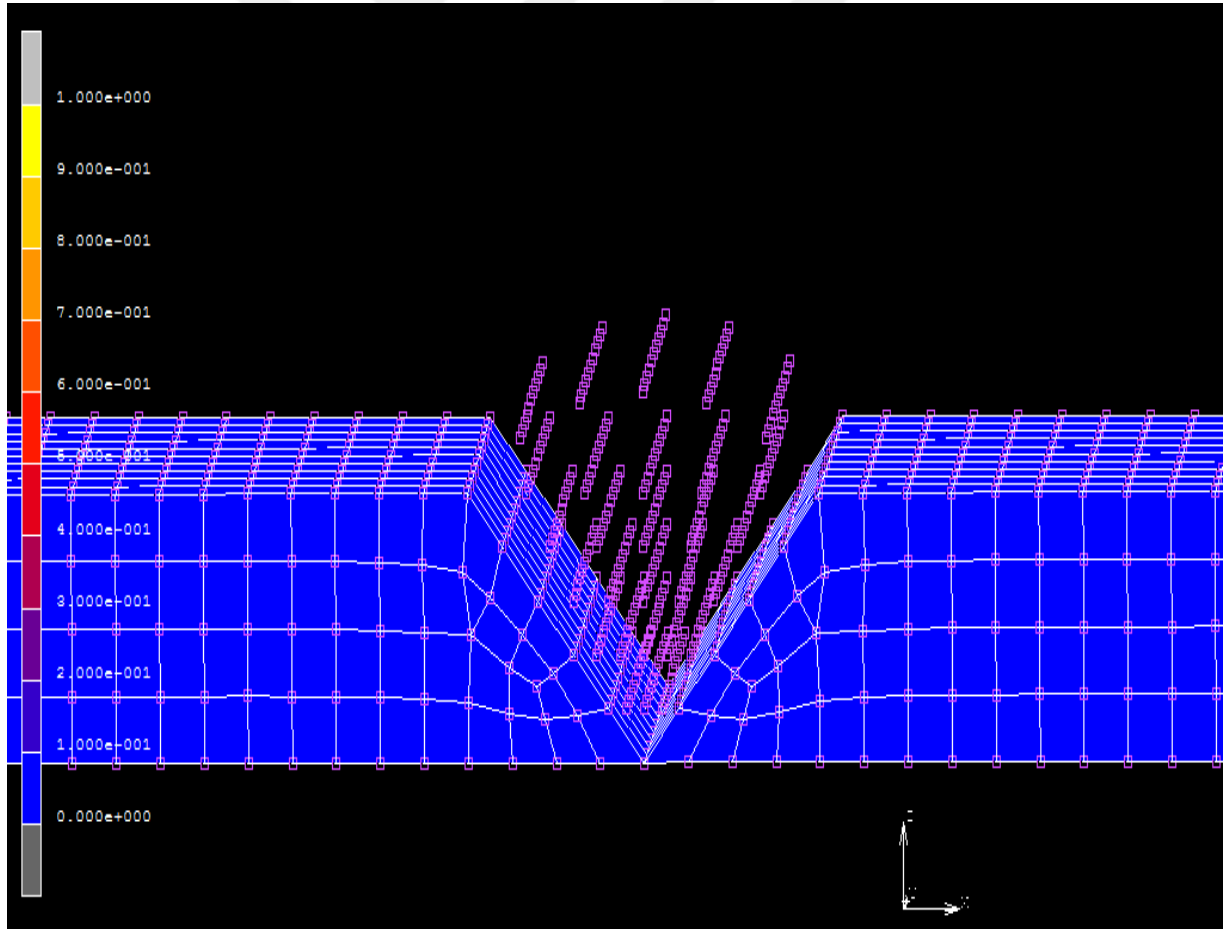
Çalışmada sıcaklık ve gerilme dağılımlarının araştırılmasına imkân veren, deformasyona uğrayabilen 11 nolu element kullanılarak, sıcaklık ve gerilme gibi değişkenler kesici takım üzerinden de araştırılabilmiştir. Sıcaklık ve sürtünme kuvveti gibi parametrelerin alınabilmesine olanak veren rijit kesici takım, deformasyona uğrayabilen elementlerden oluşturulmuştur.

2.4 Sonlu Elemanlar ile Kaynak İşlemi

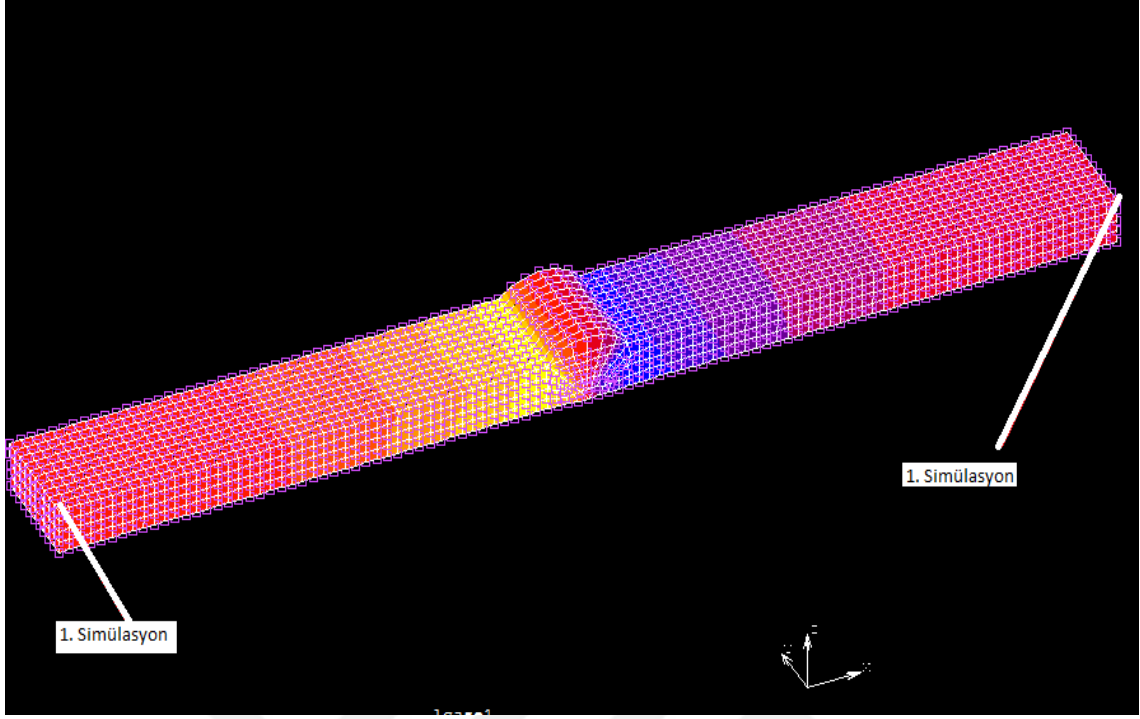
Ark kaynağı işleminin sonlu elemanlar modelinin oluşturulması için Msc Marc Mentat yazılımı kullanılmıştır. Kaynak işlemi sonunda malzemede oluşan gerilme değerlerinin etkisi incelenmiştir. Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapılan 3 boyutlu kaynak simülasyonu için Tablo 6.'da verilen yaklaşık değerler kullanılmıştır. Böylece kaynak işlemi sonunda malzemede oluşan çevresel gerilme, normal gerilme ve kayma gerilmesi değerlerinin sonuçları simülasyon ortamında görülebilecek böylece kaynak işleminin malzeme üzerinde oluşturduğu etkisi incelenmiş olmaktadır.

Tablo 6. Kaynak simülasyonu parametreleri [18]

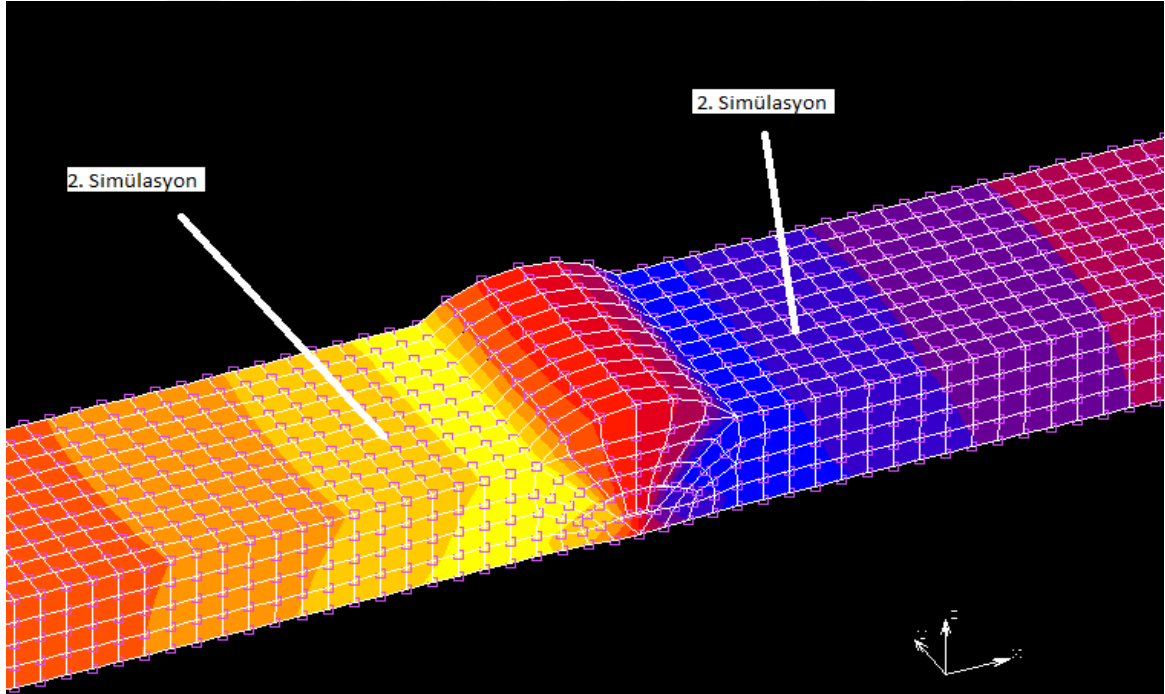
Kaynak ilerleme hızı (mm/Sn)	Kaynak Genişliği (mm)	Kaynak Derinliği (mm)	Kaynak süresi (sn)
10	7	3	15



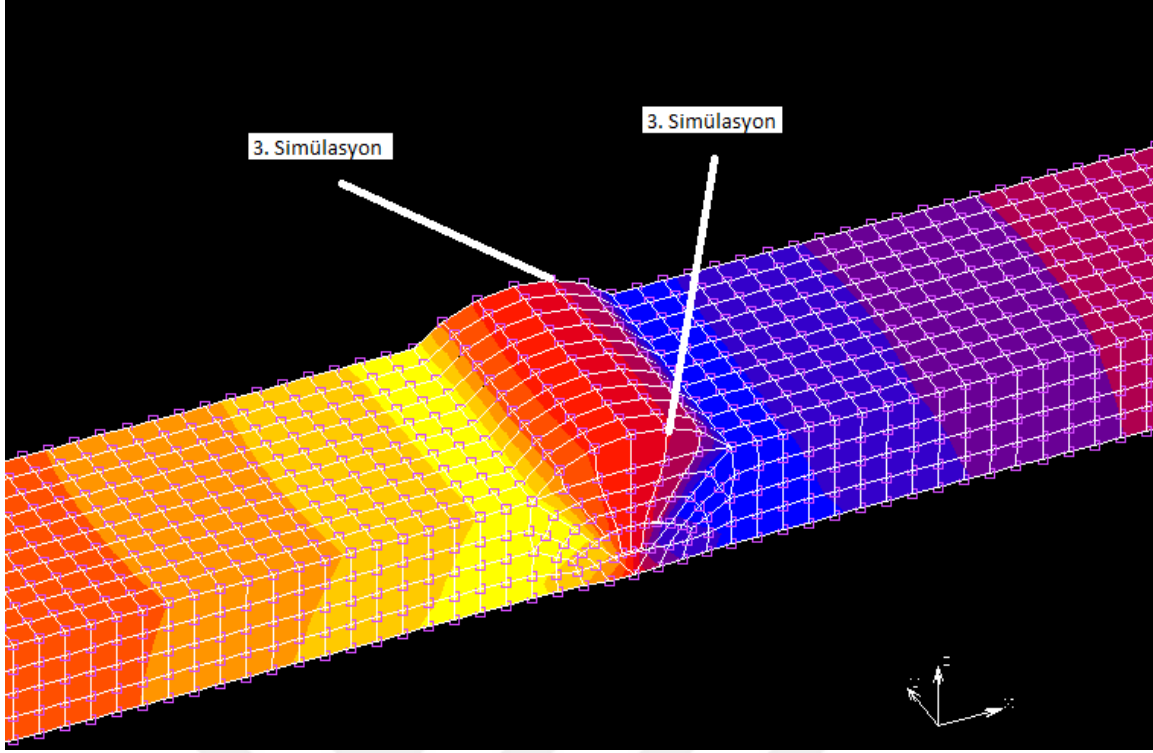
Şekil 21. Malzemenin sonlu elemanlarda kaynak edilmeden önceki durumu



Şekil 22. Kaynak işlemi sonrası 1. simülasyon için gerilme değerlerinin alındığı noktalar



Şekil 23. Kaynak işlemi sonrası 2. simülasyon için gerilme değerlerinin alındığı noktalar



Şekil 24. Kaynak işlemi sonrası 3. simülasyon için gerilme değerlerinin alındığı noktalar

Şekil 22,23 ve 24'de kaynak işlemi sonrası gerilme değerlerinin alındığı noktalar görülmektedir. 1. Simülasyonda kaynak işleminden sonra malzemenin tüm yüzeyine bir alın frezeleme işlemi uygulanacak olmasından dolayı x ekseninde malzemenin bir uzantısı seçilmiştir. 2. Simülasyonda kaynak bölgesi üzerine bir delik delme işlemi yapılacağından dolayı delik delindikten sonra gerilme boşalmalarını görmek ve değişimi incelemek için delik bölgesindeki x ekseni uzantısı seçilmiştir. 3. simülasyonda ise kaynak bölgesi üzerine y ekseni yönünde bir kanal açma işlemi uygulanacağından dolayı y eksenin üzerinde bir uzantıdan gerilme değerlerinin elde edileceği noktalar seçilmiştir.

2.5 Sonlu Elemanlar ile Kesme İşlemi

Çalışmada sıcaklık ve gerilme dağılımlarının araştırılmasına imkân veren, deformasyona uğrayabilen 11 nolu element kullanılarak, sıcaklık ve gerilme gibi değişkenler kesici takım üzerinden de araştırılabilmektedir. Sıcaklık ve sürtünme kuvveti gibi parametrelerin alınabilmesine olanak veren rijit kesici takım, deformasyona uğrayabilen elementlerden oluşturulmuştur. [19]

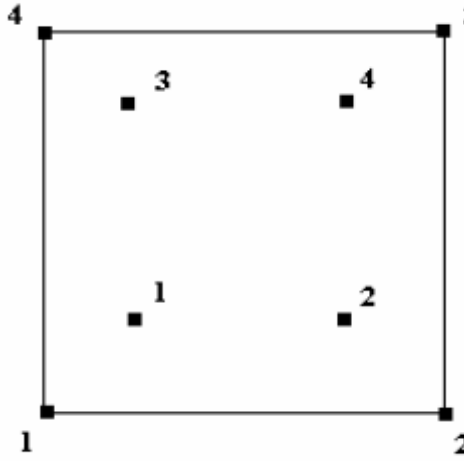
Tablo 7. FEM Simülasyonu için başlangıç şartları [19]

İş parçası Malzeme Boyutu	100x10x5 mm
İş parçası Malzemesi	C 1040
Kesici Takım Malzemesi	8CrNi12
Talaş Derinliği (t)	1 mm
Talaş Açısı	0°
Boşluk Açısı	0°
Analiz Tipi	3-D
İlerleme Hızı (f)	6 m/dak
İlk Sıcaklık	20°C
Sürtünme Katsayısı (μ)	0.30 μ
İş parçası ve arayüz teması için ilave ısı özellikleri	
Temas Sıcaklık Transfer Katsayısı	40 N/S/C/mm
Temas Sıcaklığı	20°C

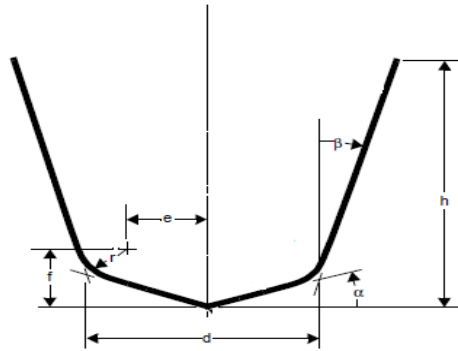
Kesme simülasyonu için seçilen kesici takım parametreleri Tablo 8'de gösterilmiştir.

Tablo 8. Kesme simülasyonu için kesici özellikleri ve seçilen ilerleme hızı

1. Kesme Simülasyonu	İlerleme hızı F (m/dak)	Takım çapı d (mm)	Burun radyusu r (mm)	Diş derinliği f (mm)	Talaş açısı A	Boşluk açısı B	Takım yüksekliği h (mm)
	6	10	1.6	1.6	0	0	10
2. Kesme Simülasyonu	İlerleme hızı F (m/dak)	Takım çapı d (mm)	Burun radyusu r (mm)	Diş derinliği f (mm)	Talaş açısı A	Boşluk açısı B	Takım yüksekliği h (mm)
	6	2	0.2	0.3	0.2	0	2
3. Kesme Simülasyonu	İlerleme hızı F (m/dak)	Takım çapı d (mm)	Burun radyusu r (mm)	Diş derinliği f (mm)	Talaş açısı A	Boşluk açısı B	Takım yüksekliği h (mm)
	6	10	0.16	0.4	0	0	10



Şekil 25. 11 nolu element tipi [19]



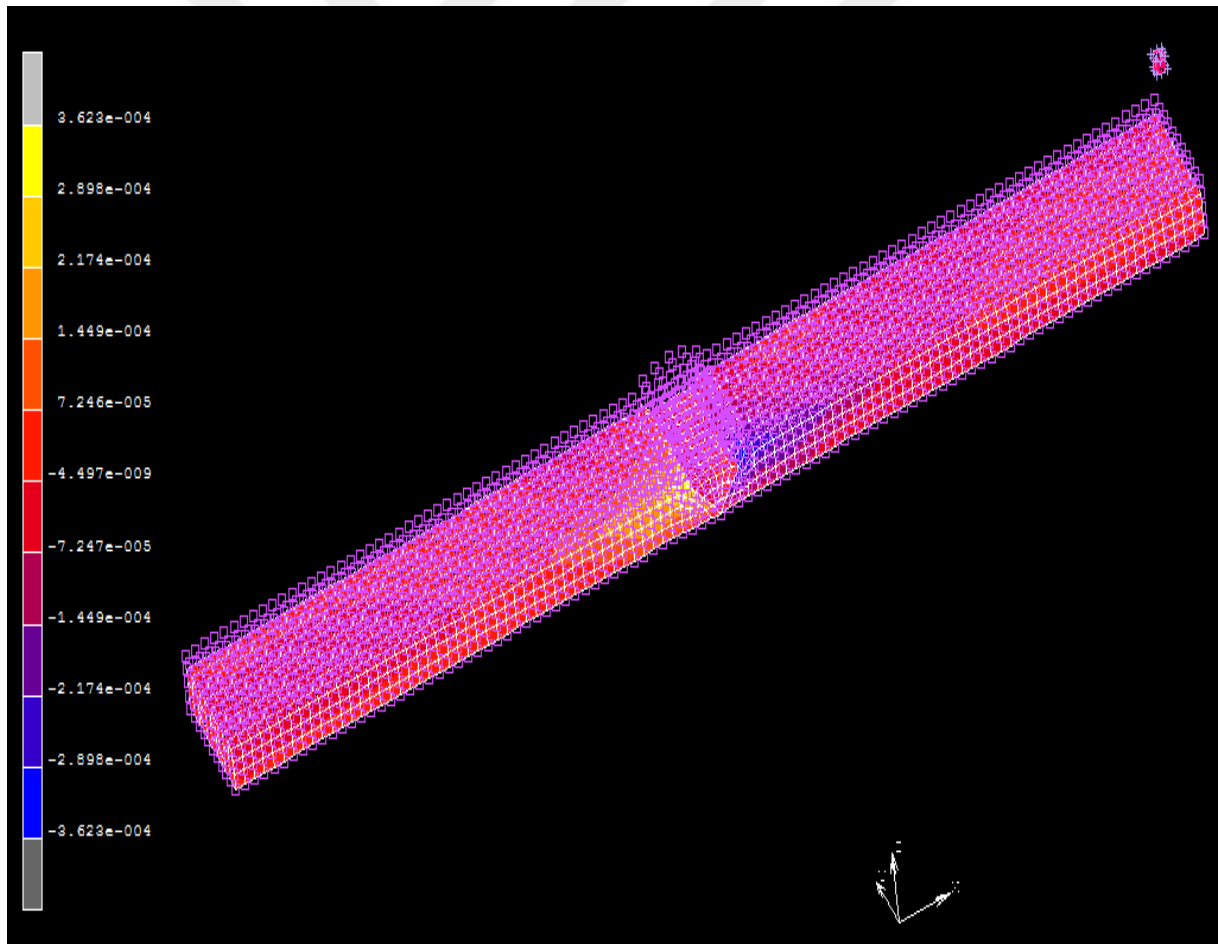
Şekil 26. Kesici özelliklerinin takım üzerinde gösterimi [21]

Modelin hazırlanması sırasında, gerçek yapının basitleştirilmesi zorunluluğu kaçınılmazdır. Ancak, sonuçların gerçeği aksettirebilmesi açısından, yapının basitleştirilmesinde bazı koşulların sağlanmasına dikkat edilmelidir.

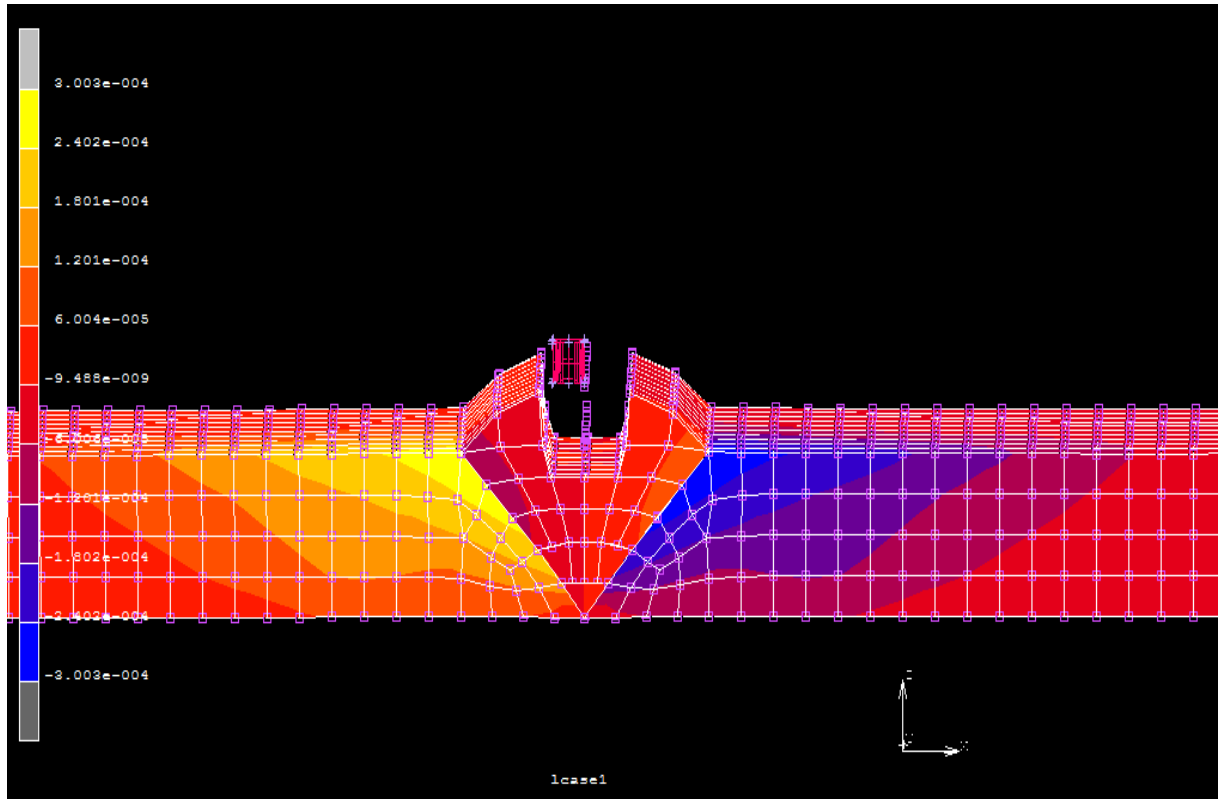
- İncelencek özellikleri etkileyecek basitleştirmelerden kaçınılmalıdır.
- Yüklerin uygulama nokta veya bölgelerinden başlayarak diğer bölgelere aktarılmasını sağlayan temel taşıyıcı yapı korunmalıdır.

Basitleştirilen bölgelerde kesit özellikleri, gerçek yapının kesit özelliklerine eşdeğer olacak şekilde seçilmelidir.

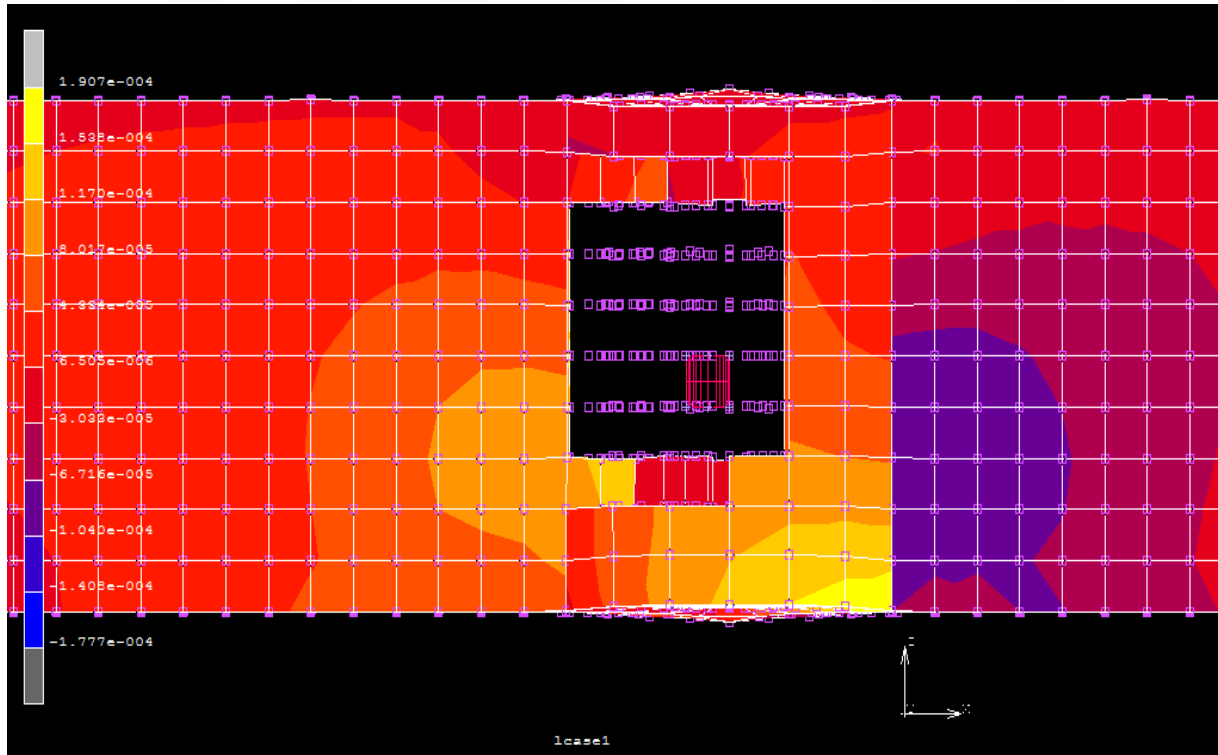
Çalışma boyunca sonlu elemanlar yöntemi ile düzlem yüzey üzerinden talaş kaldırma, kanal açma ve delik delme olmak üzere üç çeşit talaş kaldırma işlemi uygulanmıştır. Aşağıda işlem esnasında malzemenin gerilim dağılımı ve talaş kaldırıldıktan sonraki mesh yapısı görülebilmektedir.



Şekil 27. Sonlu elemanlar ile düzlem yüzey üzerinden talaş kaldırma işlemi



Şekil 28. Sonlu elemanlar ile kanal açma işlemi



Şekil 29. Sonlu elemanlar ile delik delme işlemi

3. DENEYSEL MODELLEME

3.1 Bölümün amacı ve hedefi

Bu bölümde sonlu elemanlar yöntemi ile kaynak ve kesme simülasyonu gerçekleştirilen modelin deneysel modellemesi yapılacaktır. Kaynak ve kesme için ayrı ayrı deney düzenekleri oluşturulacak ve her iki durum için gereken deneysel parametreler belirlenecektir.

Kaynak işlemi için gaz altı kaynağı yöntemi tercih edilmiştir. Bu yöntemle kaynak işlemi basit ve ekonomik bir şekilde gerçekleştirilebilmekte aynı zamanda tezimizin temel noktalarından biri olan malzemenin kaynak esnasında meydana gelen ısı ile oluşan çarpımalardan dolayı elverişli bir yöntemdir. Bu ısı girdisi sonlu elemanlar ile simüle edildiğinde oluşan deformasyonlar deneysel bir kaynak işleminde benzer deformasyonlara sebebiyet vermesi tezin ana amaçlarından biri olan ısı kalıntı gerilme değişimi incelemeye olanak tanımaktadır. Bu bakımdan gaz altı kaynağı yöntemi tercih edilmiştir.

Kesme işlemi için ise frezeleme yöntemi tercih edilmiştir. Kaynak için düz bir malzemenin kullanılmasından dolayı düz bir malzeme için en uygun kesme biçim frezeleme yöntemi olduğu aşikardır. Ayrıca x,y ve z olmak üzere her üç ekseninde malzeme bir kuvvet yüklemesi olacağından kalıntı gerilme değişimlerini incelemek her üç ekseninde daha kolay olacağı düşünülmüştür.

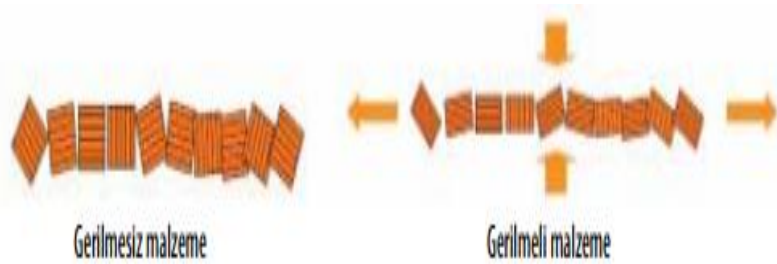
Her iki işlem için deney düzeneklerinin oluşturulması bu bölümün ana amacıdır. Yukarıda belirtilen özelliklere bağlı olarak simülasyon sonuçları ile deney sonuçlarını kıyaslamak için deneysel koşullar simülasyon şartlarına birebir benzetilerek deney ortamı hazırlanmıştır.

Deneyler sonuçlandıktan sonra kalıntı gerilmelerin ölçümü için sonuçların daha hızlı ve basit bir şekilde edilmesine olanak verdiğinden dolayı X ışını yöntemi tercih edilmiştir.

3.2 X-ışını yöntemi

XRD sistemi çoğunlukla ağır elementlerden oluşan, katı inorganik ve kristal maddelerin araştırılmasına uygun bir aletsel yöntemdir. Bu yöntem süper iletkenler, seramikler, metaller, alaşımlar, katı çözeltiler, heterojen katı karışımlar, çelik, kaplama malzemeleri, maden, toprak, safsızlık katılmış yarı iletkenler, böbrek ve mesane taşları, bazı boyar maddeler, pigmentler, çimentolar, doğal ve yapay mineraller ile polimerler gibi herhangi bir malzemenin içerdiği bileşiklerin belirlenmesinde, faz diyagramlarının ve faz dönüşümlerinin araştırılmasında yaygın kullanım alanına sahiptir. Yaygın olmamakla birlikte bazı katı organik bileşiklerin, katı organik polimerlerin, plastiklerin, organik boyar maddelerin analizinde de kullanılmaktadır. [22]

Gerilme (N/m² - Newton/metrekaare), maddelerde birim alana düşen kuvvettir. Tüm maddelerin içerisinde belirli gerilmeler olabilir. Bu gerilmeler gözle fark edilemez. Fakat gerilmelerin belli seviyenin üzerine çıkması, kullanım esnasında zamanla maddede bir takım deformasyonların oluşmasına neden olabilir. Dolayısıyla bu gerilmelerin bilinmesi önemlidir. X-ışınları yansıması yöntemi kullanılarak maddedeki, gözle görülmeyen seviyelerdeki gerilme değerleri ölçülebilir. Bazı uygulamalarda (örneğin makine parçaları), kullanım alanına göre, üretim sırasında maddede özellikle kalıntı gerilmesi oluşturulabilir. Kalıntı gerilmesi ölçümleri malzemelerde kullanım sonrası hasarların nedenlerini anlamakta faydalı olabileceği gibi, bilerek oluşturulmuş gerilmelerde bu gerilmenin kullanım sırasında malzemede yaratacağı problemler önceden izlenerek olası problemler için çözüm önerileri de geliştirilebilir. [22]

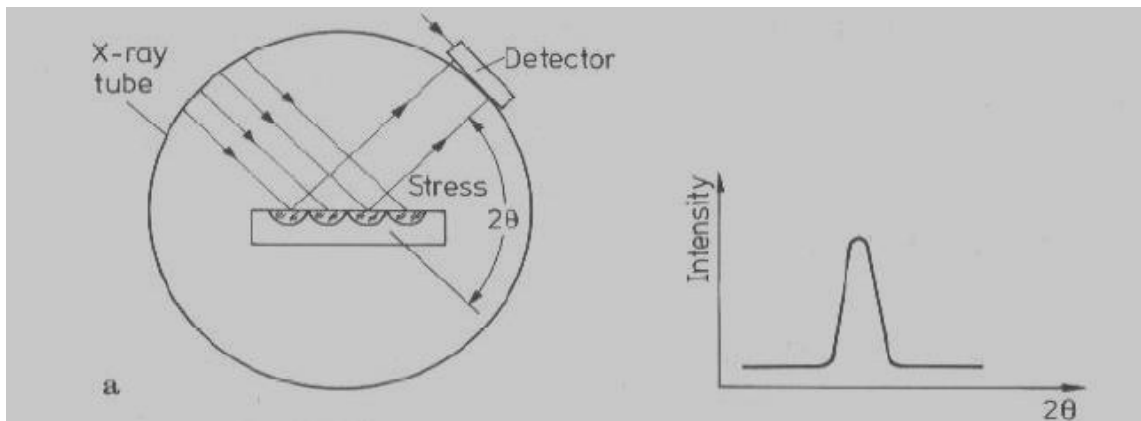


Şekil 30. Gerilmeli ve gerilmesiz malzemelerin iç yapısının teorik şeması [22]

Maddelerin iç yapılarını tanımlamak, bir maddenin geçmişini öğrenebilmek ve gelecekte kullanılabileceği alanlar hakkında bilgi sahibi olabilmek için kullanılabilecek en hızlı yöntemlerden biri olan X-ışını kırınımı, malzeme bilimi başta olmak üzere başka pek çok bilim dalında araştırmalara ve tanımlamalara öncülük eden, tahribata yol açmayan bir inceleme yöntemidir. [22]

X-ışını kırınımı kalıntı gerilmeleri hesaplamada uzun yıllardır kullanılan artık dünya çapında standartlaşmış bir yöntemdir. X-ışını kırınımı yöntemiyle hesaplama Bragg kanunu temel alınarak yapılır. X-ışını kırınımı tekniği, ferritik çelikler ve seramiklerde dahil olmak üzere tüm kristal yapıdaki malzemeler için ideal ve hızlı bir ölçüm yöntemidir. X-ışını kırınımıyla gerilme hesaplamada kristal yapıdaki atomlar arası boşluklardan faydalanılarak X-ışının farklı açılardaki kırılma ve yansımalarından gelen sonuçlarla gerilme ölçümü yapılır.

X-ışını kırınımı metodu kalıntı gerilmelerin bulunmasında oldukça doğru sonuçlar veren bir yöntemdir. Kristal yapı içerisinde bulunan atomik düzlemler arasındaki mesafe, uygulanan gerilmeler veya malzeme içerisinde kalan kalıntı gerilmeler sayesinde uzayıp kısalmır. Bu mesafenin artması o bölgede oluşan bir çekme gerilimi ifade ederken mesafenin azalması ise basma gerilmelerin varlığını gösterir. X-ışını kırınımı yönteminde malzemeye gönderilen X-ışınları malzeme içerisindeki kristal düzlemlerden yansır. Bu sırada malzemeye gelen ışınların yönü değiştirilerek en çok yansımanın olduğu açı bulunur. Bulunan açı ve Bragg yasası kullanılarak iki atomik düzlem arasındaki mesafe hesaplanır. Malzeme içerisinde kalıntı gerilmeler mevcutsa bu mesafe parçanın gerilim olmayan haline göre farklılık gösterir. Bu farklılık kullanılarak parçanın içerisinde kalan kalıntı gerilmeler hesaplanabilir. [23]



Şekil 31. X-ışını kırınımı yöntemi şematik gösterimi [23]

Özellikle ince kaplamalarda 2-3 μm derinliğe kadar ölçümler yapılabilmektedir. Tahribatsız bir yöntem olması dolayısıyla birçok uygulamada kullanılmaktadır. Bu uygulamalara ve sonuçlara örnek olarak taşlama işlemi sonucunda ortaya çıkan kalıntı gerilimlerin ölçülmesi örneklerini verebiliriz. X-ışını kırınımı yöntemi, saha uygulamaları için çok uygun değildir. Bu yöntemle yapılan ölçümler uzun sürmekte ve cihazların fiyatları da diğer yöntemlere oranla daha fazladır. [23]

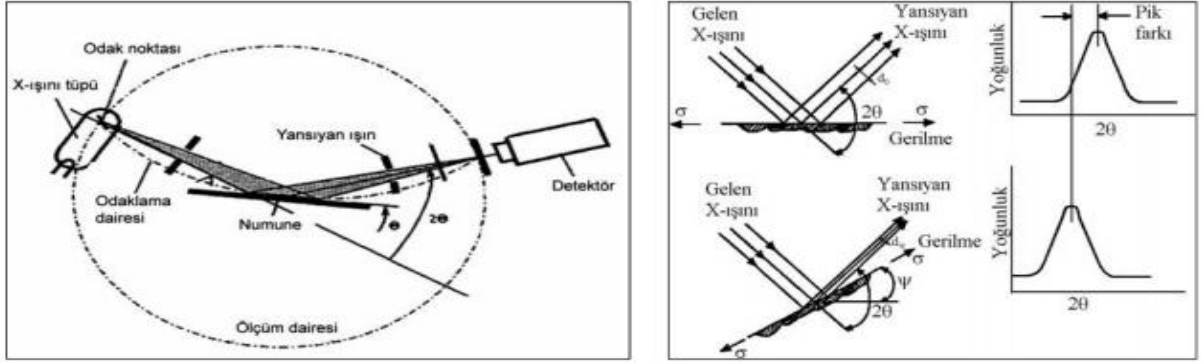
Kalıntı gerilimler üretilen malzeme içerisinde dengelenmiş bir halde bulunurlar. Parçanın bir bölgesinde varolan basma kalıntı gerilimler, diğer bölgelerdeki çekme kalıntı gerilimler tarafından dengelenirler ve malzeme içerisinde bir kalıntı gerilim dağılımı meydana gelir. Malzeme seçimi ve tasarımında, kullanılacak malzemenin içindeki kalıntı gerilim dağılımının önceden bilinmesi oldukça önemlidir. Bu nedenle kalıntı gerilimlerin ölçülmesi günümüzde oldukça yaygınlaşmış bir mühendislik uygulamasıdır. Kalıntı gerilim ölçümleri için tahribatlı testler uzun zamandır verimli olarak kullanılmaktadır. Fakat bu yöntemlerin, ölçüm yapılacak malzemeye zarar vermesi ve çalışan parçalara uygulanmasındaki zorluklar nedeniyle günümüzde tahribatsız tekniklerle kalıntı gerilim ölçme uygulamaları yaygınlaşmaktadır. [24]

Kalıntı gerilimler çeşitli üretim/imalat aşamalarından sonra parçada kalan elastik gerilimlerdir. Kaynaklı imalat, döküm, yüzey işlemleri ve ısı işlemler sonucunda malzeme içerisinde homojen olarak dağılmadan kalan plastik deformasyonlar veya ısısal değişimler, kalıntı gerilim oluşmasındaki ana nedenlerdendir. Kalıntı gerilmeler parçada gerilme korozyon çatlamasına, sürünmeye, çarpılmaya, aşınmaya, kırılmaya yorulma çatlamasına ve zamansız hatalara yol açabilir. [24]

Üretim sırasında oluşan zararlı kalıntı gerilmeleri mümkün olduğu kadar kontrol altına almak imalat yöntemlerini sürekli geliştirmekle sağlanabilir.

Artık gerilmeleri teorik olarak hesaplamak oldukça zordur, fakat deneysel olarak ölçümü nispeten kolaydır. Artık gerilmelerin ölçülmesinde X-ray diffraction metodu, kabuk kaldırma metodu (mekanik ve elektrokimyasal) ve delik açma metodu gibi pek çok teknikler vardır. Bunların içinde en yaygın ve pratik olarak X ışını kırınımı yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemle, artık gerilme olmamış haldeki numunenin ölçüm değerlerine gereksinim duyulmaksızın artık gerilmeler tespit edilebilmektedir. X ışını kırınımı yönteminin dezavantajı ise, X-ışınlarının mikronun sadece onda birkaçı kadar yayılmasından dolayı, yüzeydeki artık gerilmelerinin ölçülebilmesidir. Tornalama işlemi gibi termo-mekanik işlem yapılmış numunelerin yüzeyden çekirdeğe doğru artık gerilme değerlerinin elde edilmesinde

elektrolitik parlatma ile tabaka kaldırılarak istenilen derinliklerdeki artık gerilme değerleri ölçülmektedir. Artık gerilmelerin tespiti, Hooke Kanunu'na göre atomik kafes içindeki birim şekil değiştirmelerin ölçülmesi prensibine dayanmaktadır. Numunenin yüzeyine gönderilen X-ışını, aşağıdaki denklemde verilen Bragg Kanunu'na göre ve Şekil 29'da gösterildiği gibi, 2θ açısında kırınım göstererek yansıma yapar. [24]



Şekil 32. X-ışını kırınım metodu uygulanışının şematik gösterimi [24]

$$n\lambda = 2d \sin \theta \quad (III.1)$$

Burada n ; yansıyan ışının sayısı, λ ; monokromatik radyasyonun (tek renkli ışınım) dalga boyu, d ; iki bitişik paralel düzlemin atomları arasındaki mesafedir (düzlemler arası mesafe). Dalga boyu sabit tutulursa, herhangi belirli düzlem üzerindeki atomlar gelen X-ışınlarının belirli bir açıda kırılmasına neden olur. Yansıyan X-ışınları huzmesi kesişir ve numune çevresinde bulunan film üzerinde iz bırakır. Sadece düzlemler arası mesafeleri Bragg kanununu sağlayan düzlemlerde, radyasyon konisi filmi keser. Film analiz edilerek 2θ açısı hesaplandığında düzlemler arası mesafe belirlenebilir. Numune ψ açısı kadar eğilirse, atomik düzlemler de ψ açısı kadar eğilecektir. Eğer numunede artık gerilme yoksa kırılan eğrilerin ikisi de üst üste gelecektir. Ancak eğer artık gerilme varsa farklı yönlerdeki atomik düzlemler sıkışacak veya genişleyecek ve pik değeri değişecektir. [24]

Gerilme, σ , aşağıdaki denklemde verilen eşitliğe bağlı olarak tespit edilir.

$$\sigma = \frac{E}{1+\nu} \cdot \frac{1}{\sin^2 \psi} \cdot \frac{(d \psi - d_0)}{d_0} \quad (III.2)$$

Burada,

$d\psi$; ψ eğim açısındaki düzlemler arası mesafe,

E ; Elastisite modülü, ν ; Poisson oranı



Şekil 33. X ışını yöntemiyle kalıntı gerilme ölçümlerinin yapıldığı XRD cihazı

3.3 Kaynak İşlemi

3.3.1 Kaynakta Kalıntı Gerilmeler ve Çarpılmalar

Pratik olarak çok az bir kısmı hariç bütün kaynak yöntemleri kaynak yerinin ergime sıcaklığına kadar ısıtılmasını gerektirir. Kaynak tekniğinde kullanılan ısı kaynakları, elektrik arkı, elektrik direnç ısısı, sürtünme ısısı, oksî-asetilen alevi veya elektron bombardımanı gibi uygulanan yöneme göre değişebilir.

Gerek ekonomik kaynak bağlantılarının sağlanması, gerekse diğer bazı sebeplerden dolayı ısıtma mümkün olduğu kadar lokalize edilmelidir. Bu da mesela elektrik arkı veya gaz alevi gibi dışarıdan ısı kullanıldığı zaman, ısı kaynağının çok yüksek sıcaklığa ve büyük bir enerji kullanımını gerektirmektedir. Ergime veya ergime derecesine yakın lokal ısıtma, çabuk bir ısıtmaya karşılık gelir. Isı kaynağı kaldırıldığında, kaynak yerine bitişik soğuk metalde ısı kondüksiyon yoluyla yayıldığından, aynı zamanda çabuk bir soğuma meydana gelir.

Metallerin yüksek sıcaklığa kadar ısıtılması, esas metalde iç yapı değişiklikleri meydana getirir ve çevresindeki atmosferle sıcak veya ergimiş haldeki metal veya alaşım elemanları arasında bazı kimyasal reaksiyonların meydana gelmesine sebep olabilir. Diğer taraftan esas metal ve ilave metal ile curuf arasında bu işlem sırasında kimyasal reaksiyonlar da meydana gelmektedir. Sıcaklığın kimyasal reaksiyonlar üzerine etkin bir tesiri vardır, ve yüksek sıcaklıklarda birçok reaksiyonlar çok daha çabuk meydana gelir. Difüzyon işlemi de aynı zamanda sıcaklığa bağlıdır. Difüzyon diğer taraftan metallerde meydana gelen birçok yapı değişikliklerinin sebebidir. Şu halde sıcaklık ve sıcaklık hızı, ısının etkisi altında kalan metalde, meydana gelen iç yapı değişmesi üzerine en büyük etkiye sahiptir.

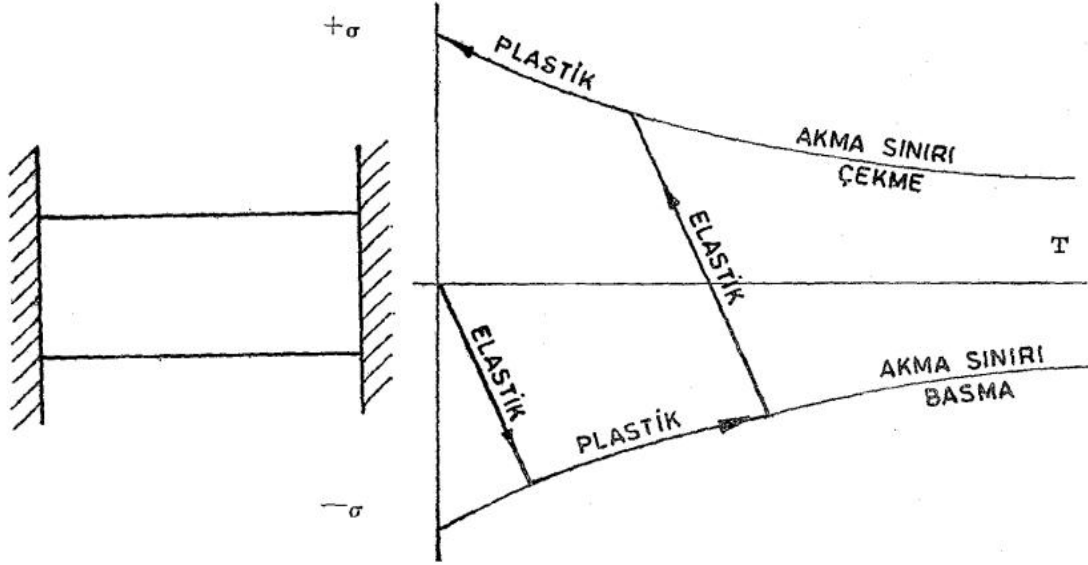
Erime kabiliyeti yine sıcaklığa bağlı başka bir faktördür. Elemanların metaller içerisindeki erime kabiliyeti normal olarak artan sıcaklıkla yükselir ve doymuş solüsyonlar soğutulduğu zaman çökelme meydana gelir ki, bu da metalin özelliklerine önemli ölçüde etki eder.

Bir metalin mekanik özellikleri daima artan sıcaklıkla azalır. Mesela bir metalin çekme gerilmesi ergime noktasında sıfıra iner ve bu halde metal hiçbir çekme gerilmesine karşı koyamaz. Kaynak işlemi esnasında lokal ısınmalar dolayısıyla, ısınma ve soğuma anında gerilmeler meydana gelir ve ısıtma işlemi sırasında büyük sıcaklık farklarının meydana getirdiği plastik deformasyonlar metalde artık gerilmelerin doğmasına sebep olur.

Yukarıda bahsedilenlerden anlaşılabileceği gibi kaynak işlemi metalin yapısına dolayısıyla özelliklerine etki etmektedir. Ayrıca günümüzde, yüksek, güçlü kaynak yöntemlerinin gelişmesiyle kaynak edilecek malzeme kalınlığı artmış, kaynak hızları yükselmiştir. Kaynak sırasındaki enerji girdi çıktıları, ergime sırasındaki ve katılaşma

sırasındaki reaksiyonlar, fazlar arasındaki bağıntılar, kaynak metalurjisinin önem kazanmasına neden olmuştur. [25]

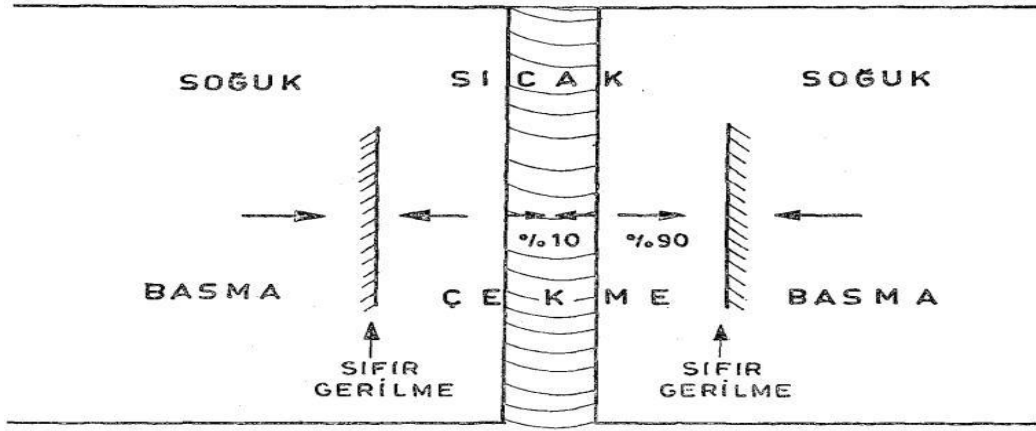
Bütün cisimler ısınırken genişir soğurken çekerler. Genleşme veya çekme herhangi bir nedenle engellenirse iç gerilmeler doğar. Bu olayın en kolay izahı şekildeki çubuk üzerinde yapılır.



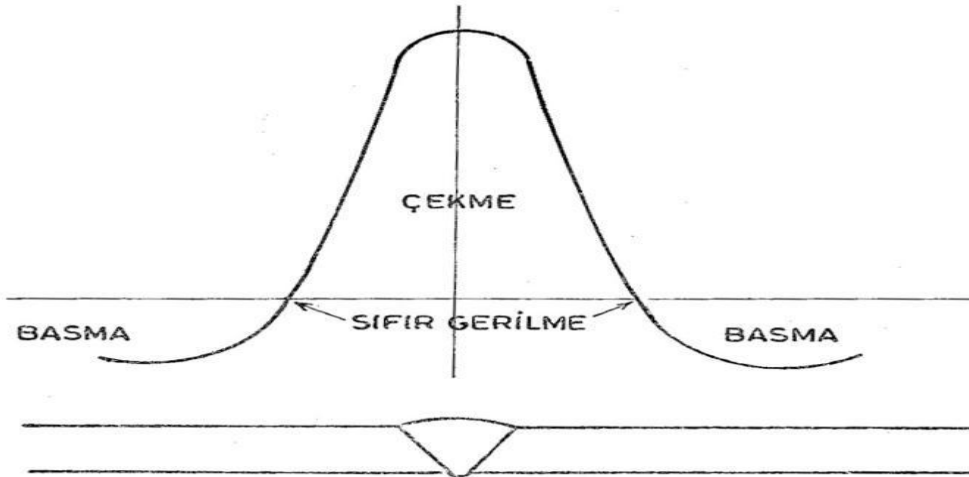
Şekil 34. Sabitlenen bir çubuğun ısınma ve soğumada iç gerilme değişimi [25]

Şeklin solundaki çubuk her iki başından uzamasına ve kısılmasına olanak tanınmadan tespit edilmiştir. Bu çubuk ısıtılırsa basınç gerilmeleri doğar. Bu gerilmeler elastik sınır içinde şeklin sağındaki ($T - \sigma$) diyagramında görüldüğü gibi sıcaklıkla orantılı olarak artar. Akma sınırına gelindiğinde metal içinde hareket başlayacağından gerilmeler o değeri aşamazlar. Çubuk soğutulmaya başlayınca boyu kısalma isteyecek, basınç gerilmeleri çok küçülecek. Sıcaklığın da iyice azalmasıyla bu kez çekme gerilmeleri ortaya çıkacak, bunlar elastik sonra da plastik olarak büyüyecektir. Çubuk ilk ısıtıldığı sıcaklığa gelince, içerisinde (σ_{AK}) dayanımına eş değer çekme gerilmeleri kalmıştır. Bunlar artık gerilmelerdir. Çelik 150 °C ısıtılsa artık gerilmeler oluşabilir. [25] Kaynak dikişi de kendisinden daha serin bir ana metal kütlesi ile çevrili olduğundan çubuk örneğine benzer olaylar meydana gelir. Serin kütle kaynak dikişinin soğuması esnasında çekmesini engeller. Ve içerde çekme gerilmeleri kalabilir. Kaynak dikişindeki koşullar çubuk örneğinden daha kötüdür. Çünkü bölge çok yüksek sıcaklıklara kadar ısınır. Soğuma esnasında bu bölgelerde kaynak dikişinin zıt yönünde çekerler. Böylece ana metal dikiş içi gerilmeleri daha da artırmış olur. Zaten kabaca artık çeki

gerilmelerinin % 10'u kaynak dikişinin kendi çekmesinden %90'ı ana metalin kendi çekmesinden kaynaklanır. [25]

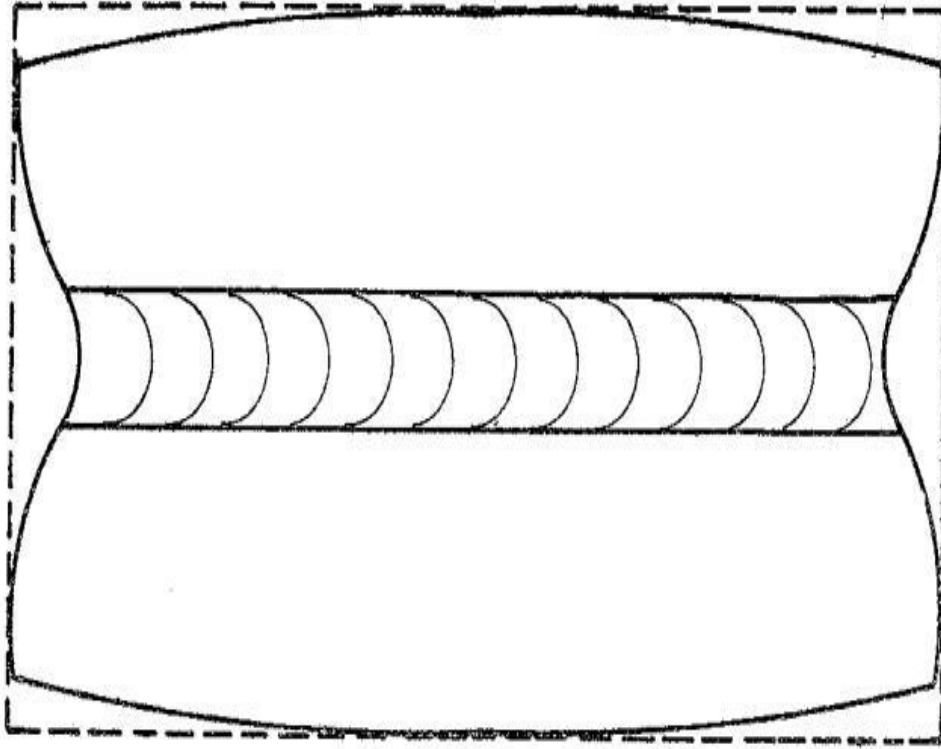


Şekil 35. Kaynak çevresinde oluşan çekme ve basma bölgeleri [25]



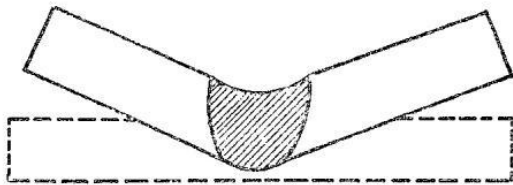
Şekil 36. Kaynakta kalıntı gerilmelerin enine dağılımı [25]

Kaynak dikişi ekseninde max. olan çeki gerilmesi az ötede sıfıra iner. Daha sonra basınç gerilmesine dönüşür. Her iki gerilme dengededir. Kaynak işlemindeki bölgesel sıcaklık farklılıkları genleşmeye ve çekmeye neden olur. Bu olayda çarpılmalara yol açar. [25]

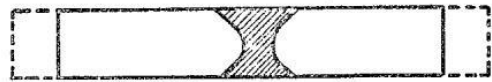


Şekil 37. Kaynaklı levhanın boydan ve enden çekerek çarpılma [25]

Şekilde yapılan alın kaynağından sonra hem enden hem de boydan çekerek çarpılma görülmektedir. Genellikle düz ve ince levhalarda kaynaktan sonra dalgalanma dikiş arasındaki bölgelerde kabarıklıklar görülür. Enine çekme 6 mm levha kalınlığında 1 mm, 12 mm levha kalınlığında 1,5 mm dolayında; boyuna çekme levha uzunluğuna bağlı 0,2 mm/m'dir. Şayet kaynak tek taraflı yapılmışsa açısallı çarpılma söz konusudur. Levha kalınlığı 6 mm ise açısallı çarpılma 1 °, 12 mm ise açısallı çarpılma 3° olabilir. Bu olay dar ve kendi ağırlıkları ile rahatlıkla dönebilen levhalar için geçerlidir. Açısallı çarpılma tek taraflı simetrik olmayan kaynak dikişleri için söz konusudur. Çift taraflı simetrik kaynakta açısallı çarpılma olmaz. [25]



Tek taraflı kaynak.
Açısallı çarpılma var.



Açısallı çarpılma yok.
Çift taraflı kaynak.

Şekil 38. Kaynaklanan iki levhada açısallı çarpılma [25]

Ancak kaynaklar ağırlık merkezinin hangi tarafında olursa o tarafa doğru sistem meyil eder.

Kalıntı üzerinde etkili olan malzeme özellikleri aşağıda sıralanmıştır.

Isıl Genleşme Katsayısı: (λ)

Malzemenin ısınırken uzama, soğurken kısalma miktarını belirleyen özelliktir.

Isıl İletkenlik: (k)

Malzeme içerisindeki ısı akışındaki kolaylığı zorluğu belirleyen özelliktir.

Akma Sınırı (σ_a):

Soğuma sırasında kaynak çevresi önce elastik çekme yapar. Bunun sonucunda iç gerilmeler oluşur. İç gerilmeler akma sınırına ulaşınca kalıcı büzölmeler meydana gelir.

$\sigma_a <$ küçükse sünek malzeme demektir, çarpılma düşük olur.

$\sigma_a >$ büyük ise gevrek malzeme demektir. İç gerilmeler ve çarpılma yüksek olur. [25]



3.3.2 Kaynak İşleminin Uygulanması ve Değerlendirilmesi

Gaz altı kaynağı koruyucu gaz altında uygulanan bir elektrik ark kaynak yöntemidir. Bu kaynak yönteminde ark oluşturulduktan sonra sarf malzemesi olan elektrod ayarlanabilen bir hızda kaynak bölgesine beslenir. Kaynak bölgesini havanın oksijeninden korumak için bir koruyucu gaz üflenir. Arkın ısısı ile kaynak teli, erir ve sıvı metal havuzuna damlar. Sıvı metalin damlama tipi kaynak akım yoğunluğuna , koruyucu gaz cinsine ve elektrodun akım yoğunluğuna bağlıdır. [26]

Deneylerde kullanılacak malzemenin kimyasal özellikleri Tablo 9’da verilmiştir.

Tablo 9. Kullanılan Malzemenin Kimyasal Özellikleri [27]

Kimyasal Bileşimi %				
C	Mn	P	S	B
max.	max.	max.	max.	max.
0.40	0.60	0.030	0.030	-
0.50	0.80	0.040	0.040	0.006

Kaynak işlemlerin gerçekleştirilmesinde kullanılacak 1 mm çaplı tel elektrotun mekanik ve kimyasal özellikleri Tablo 10 ve 11’de verilmiştir.

Tablo 10. Kullanılan Malzemenin Mekanik Özellikleri [27]

Malzeme	Mekanik özellikler			
C 1040	Kopma Dayanımı	Çekme Dayanımı	Uzama	Katlama
	MPa	MPa	A	180°
	700-850	800	%	0

Tablo 11. DIN 8559 tel elektrotların kimyasal bileşimi [18]

Simge	Kimyasal Bileşimi %		
	C	Si	Mn
SG 2	0.08	0.85	1.45

DIN 8559 elektrotlar için; alaşımlı ve alaşımsız çeliklerin kaynağında kullanılan gaz altı kaynağı için tel elektrotlar tanımlaması yapılır. Ayrıca kimyasal bileşiminde %0,003 fosfor, %0,03 kükürt, %0,35 bakır ve %0,7 oranında nikel bulunur. [28]

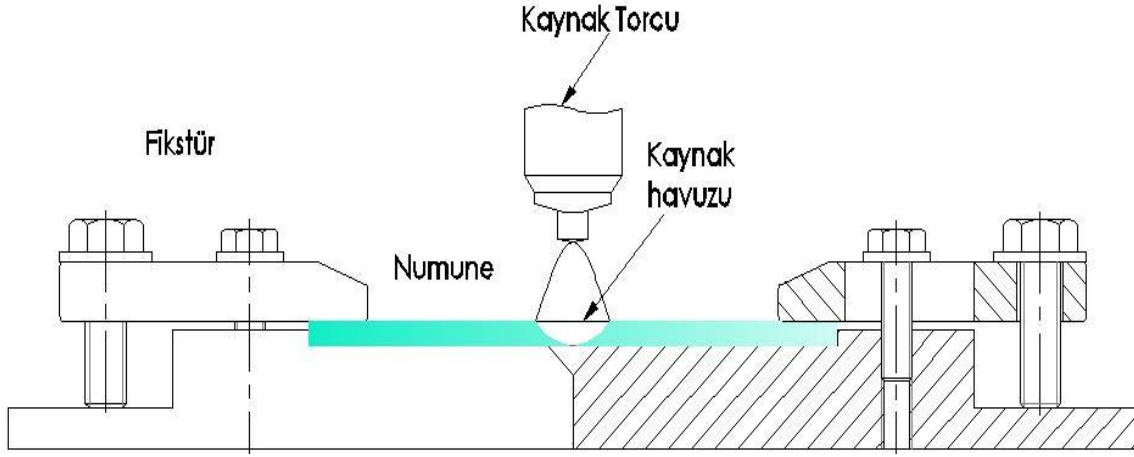
Tablo 12. DIN 8559 tel elektrotların mekanik özellikleri [18]

Akma Dayanımı	Çekme Dayanımı	Çentik Dayanımı	Uzama %
min. 420	500–640	min. 47 J	min. 22

Kaynak işlemlerinde koruyucu gaz olarak, karbonlu ve az alaşımlı çeliklerin kaynağına uygun olabileceği saptanan ve daha önce yapılmış olan araştırmaların sonuçlarına göre Ar, CO₂ ve O₂ karışımı gazlar kullanılacaktır. [29]

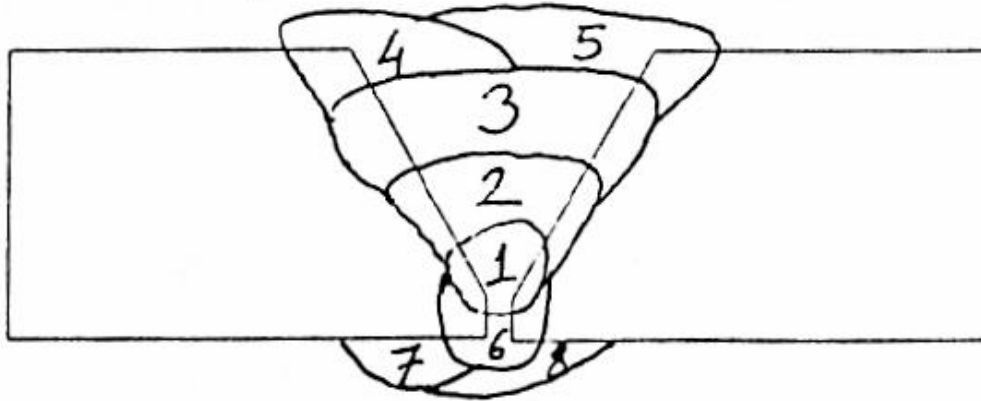
Tablo 13. Kaynaklı birleştirmede sabit tutulacak kaynak parametreleri

Akım şiddeti (Amper)	145
Tel çapı (Ø)	1
Tel besleme hızı (m/dk)	6
Gerilim (Volt)	24
Tel elektrotun simgesi	SG2



Şekil 39. Deney Numunesinin Kaynak Fikstürüne Sabitlenmesi

Malzemenin kaynak esnasında distorsiyona uğramasını önlemek amacıyla Şekil 39’da gösterilen aparat St37 malzemeden yapılacak şekilde tasarlanmış ve asgari seviyede distorsiyon oluşması sağlanmıştır. Numune malzeme kaynak boşluğu yaklaşık 2 mm olacak şekilde pabuçlar vasıtasıyla aparat bağlanacaktır. [18]



Şekil 40. Kaynak ağzı detayı [30]

Kaynak yapılan yerin etrafındaki malzeme üzerinde, kaynağın etkileri zararlı olabilir (kullanılan malzeme ve kaynak işleminde kullanılan ısı girişine bağlı olarak ısıdan etkilenmiş bölge boyutu ve dayanımı değişkenlik gösterebilir). Asıl malzemenin ısı yayılımı (ısı iletkenlik/hacimsel ısı kapasitesi) da burada büyük rol oynar. Eğer yayılım büyükse, malzemenin soğuma oranı yüksek olur ve ısıdan etkilenmiş bölge nispeten küçülür. Aksi durumda, düşük yayılım yavaş soğumayı ve daha büyük ısıdan etkilenmiş bölgeyi getirir.

Kaynak dikişinin kimyasal yapısı ana metal ile elektrod harmanından oluşmuştur. Elektodu uygun seçmek suretiyle kaynak dikişinin yapısı ana metalin yapısına yaklaştırılabilir. Ancak aynı yapı elde edilemez. Çünkü bazı alaşım elemanları yüksek

sıcaklıklarda çeşitli yollarla yanarak kimyasal bileşik oluşturarak veya ayrışarak kaybolurlar. Bu kayıp elektrodun zengin karışım yapılmasıyla karşılanmaya çalışılır. Fakat çoğu zaman bu gerçekleşmez. Ayrıca yanma derecesi kullanılan ısı kaynağı, kaynak yerini çevreleyen ısı atmosfere ve kullanılan kaynak yöntemine göre değişir. Hava atmosferine karşı korunma tam değilse, oksijen ve azot ergime bölgesi atmosferi tarafından absorbe edilir. Oksijen kaynağa kaydedilemeyen birçok yanmalara sebep olur. Oksijen, alaşımda mevcut birçok elemanla birleşerek kaynağın kalitesine etki eden oksitler meydana getirir. Örneğin, kaynak banyosunda erimiş haldeki çeliğin içeriğinde bulunan karbonla CO oluşturur ve bu gaz katılaşma esnasında dışarı çıkarken gözenekler meydana getirebilir.

İyi kaliteli kaynak dikişi elde etmek için, kaynak yerini havanın etkisinden korumak veya diğer bir yöntemle meydana gelecek kimyasal ve metalurjik reaksiyonları kontrol altında tutmak gerekir. Oksijenle oluşacak reaksiyonları kontrol için kullanılan bir yöntem, ilave kaynak meteline (tel veya elektrod) manganez, silisyum ve bazen de alüminyum ve titan gibi deoksidan maddelerin ilavesidir. [25]

Malzeme kaynak işlemi gördükten sonra kaynak bölgesinde diğer bölgelere nazaran daha fazla ısı alımı olmuştur. Bunun sonucunda şekil 4'de görüldüğü kaynak bölgesi ve çevresinde malzemenin iç yapı değişiklikleri (kristal hataları, dislokasyonlar, yer değiştirmeler) daha fazla olmuştur. Bu değişikliklerin kalıntı gerilme değişimine etkisi daha sonra x ışını yöntemi ile kalıntı gerilmeler ölçülerek incelenecektir.

Ayrıca malzemede kaynak işleminden sonra bir miktar çarpılma ortaya çıktığı gözlenmiştir. Ortaya çıkan tüm bu yapısal değişikliklerin kalıntı gerilmelere etkisi olduğu söylenebilir.



Şekil 41. Malzemenin kaynak edilmeden önceki durumu



Şekil 42. Malzemenin kaynak edilmiş durumu

Kaynak dikişi soğurken yukarıda anlatılan dönüşümler gerçekleşerek oda sıcaklığına inilir. Oda sıcaklığına inildiğinde malzeme iç yapısında kafes yapısı oturmuş ve iç yapı hataları ortaya çıkmıştır. Sonuç olarak ısı etkisi ile malzeme iç yapısı deformasyona uğramış ve kalıntı gerilmeler ortaya çıkmıştır. Pratikte çoğu zaman kaynak sonrası bu deformasyonlar ihmal edilir. Ancak malzemenin ömrü boyunca nerede kullanılacağı montaj durumundan sonra nasıl çalışacağı gibi kriterler kalıntı gerilmelerin önceden tahmin edilmesini gerekli kılmaktadır.

3.3.3 Deney Düzeneği ve Kesme İşlemi

C1040 eliğinin kimyasal bileşimine baktığımızda içerisinde 0,050 oranında kükürt (S), 0,040 oranında fosfor (P), 0,75 oranında mangan (Mn) ve 0,23 oranında silisyum (Si) olduğu görülmektedir.[1] Yapısındaki tanelerin büyüklüğü kaynak kabiliyetini el verişli kılmaktadır. Düşük karbonlu çeliklere göre mukavemeti yüksek ancak kırılmaya ve çatlamaya karşı daha az dirençlidir. Kopma dayanımı 700-850 Mpa arası, akma sınırı ise 430 Mpa'dır. Sertliği ise 200 HB'dir. Aşağıda malzemenin talaş kaldırma işlemine tabi tutulmadan önceki (kaynak edilmiş durumu) gösterilmektedir. [18]



şekil 43. Talaş kaldırma işlemi başlamadan önce malzemenin durumu

Talaş kaldırma işlemi vışon wide-tech firmasının ürettiği yüksek hassasiyetli takım tezgahında işlenmiştir.



Şekil 44. Deney parçasının işlendiği takım tezgahı



Şekil 45. Deney parçasının talaşlı üretim tezgahında işlenmesi

Simülasyon verilerini kıyaslayabilmek için 1. kesme simülasyonunun kesme parametrelerini birebir takım tezgahında uygulayarak sonuçları görmek için talaş kaldırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Kesici takım ve takım özellikleri Şekil 46. ve Tablo 14'de gösterilmektedir.



Şekil 46. Kesmede kullanılan kesici takım

Tablo 14. Talaş kaldırma işlemi için kesme parametreleri

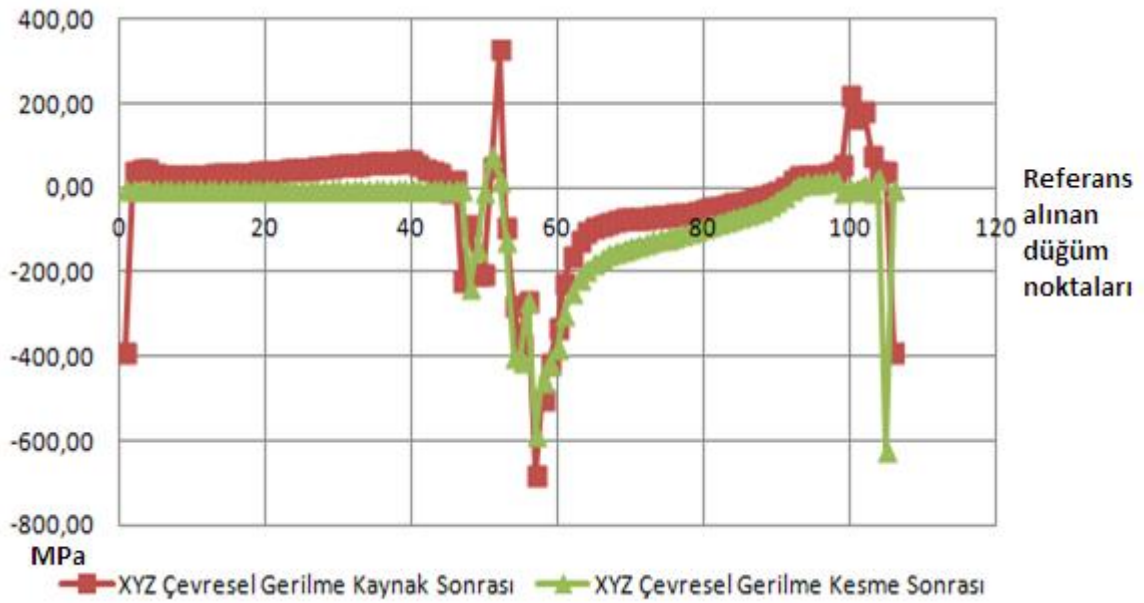
Talaş kaldırma kesme parametreleri	İlerleme hızı F (m/dak)	Takım çapı d (mm)	Burun radyusu r (mm)	Diş derinliği f (mm)	Talaş açısı A	Boşluk açısı B	Takım yüksekliği h (mm)
	6	10	1.6	1.6	0	0	10



4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

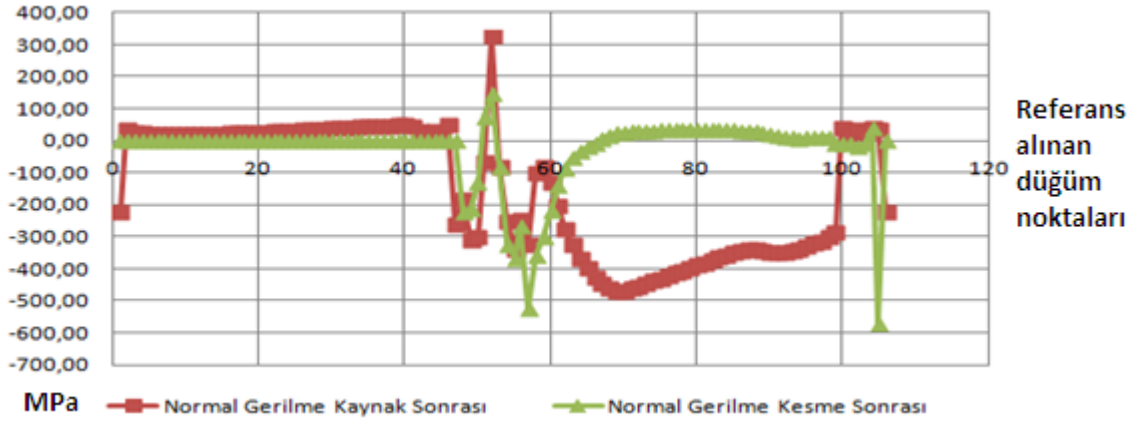
4.1 Simülasyon sonuçları

Marc Mentat sonlu elemanlar yazılımında önce malzemeye kaynak işlemi uygulanmış ve üç farklı gerilme çeşidinin sonuçları elde edilmiştir. Daha sonra kaynak edilen malzemeye üç farklı talaş kaldırma biçimi uygulanmıştır. Düzlem yüzey üzerinden talaş kaldırma, kanal açma ve delik delme olarak uygulanan talaş kaldırma biçimlerinden sonra malzemeden aynı gerilme verileri tekrar elde edilmiş ve kaynak sonrası elde edilen veriler ile talaş kaldırdıktan sonra elde edilen veriler karşılaştırılmıştır.



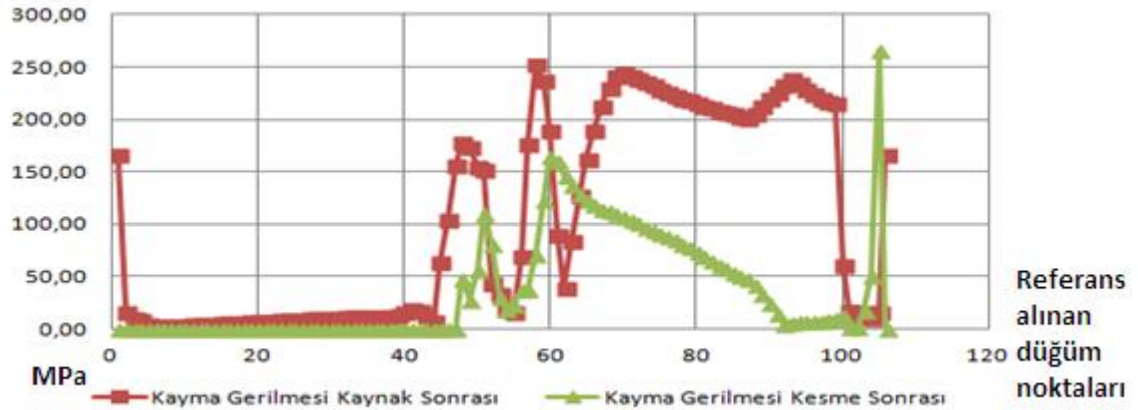
Şekil 47. Düzlem yüzey üzerinden talaş kaldırma simülasyonu kaynak sonrası ve talaş kaldırma sonrası çevresel gerilme simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması

Şekil 47.'de gösterildiği gibi kaynak sonrasında elde edilen simülasyon sonuçlarında ölçülen en yüksek (çevresel gerilme) gerilme değeri -681,15 MPa, kaynak üzerinden düzlem yüzey talaş kaldırma işlemi uygulandıktan sonra aynı noktalar üzerinden elde edilen (çevresel gerilme) gerilme değeri -584,46 MPa'dır.



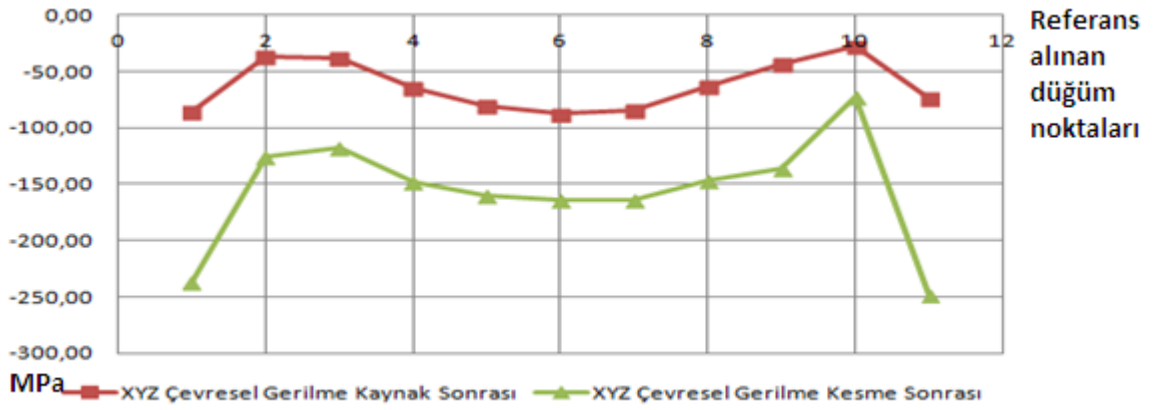
Şekil 48. Düzlem yüzey üzerinden talaş kaldırma simülasyonu kaynak sonrası ve talaş kaldırma sonrası normal gerilme simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması

Şekil 48.'de gösterildiği gibi kaynak sonrasında elde edilen simülasyon sonuçlarında ölçülen en yüksek (normal gerilme) gerilme değeri -470,01 MPa, kaynak üzerinden düzlem yüzey talaş kaldırma işlemi uygulandıktan sonra aynı noktalar üzerinden elde edilen (normal gerilme) gerilme değeri 23,18 MPa'dır



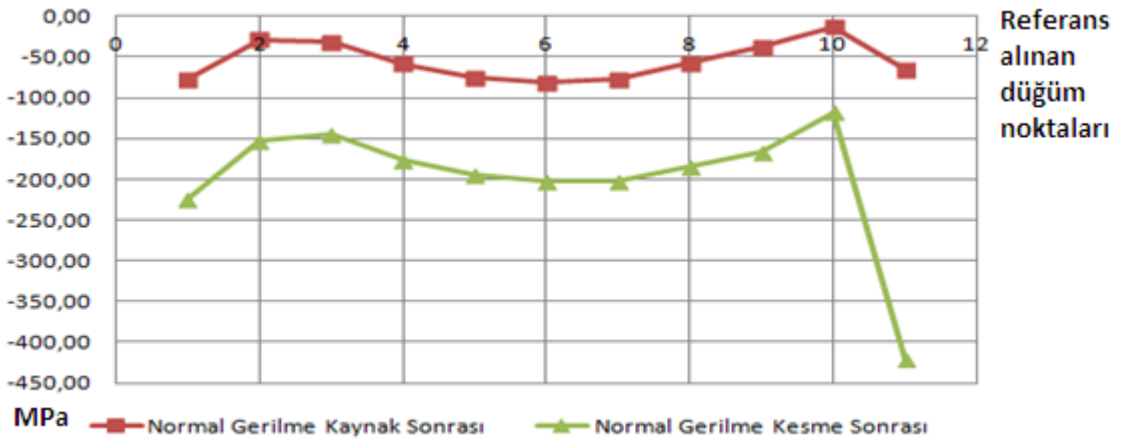
Şekil 49. Düzlem yüzey üzerinden talaş kaldırma simülasyonu kaynak sonrası ve talaş kaldırma sonrası kayma gerilmesi simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması

Şekil 49.'da gösterildiği gibi kaynak sonrasında elde edilen simülasyon sonuçlarında ölçülen en yüksek (kayma gerilmesi) gerilme değeri 251,86 MPa , kaynak üzerinden düzlem yüzey talaş kaldırma işlemi uygulandıktan sonra aynı noktalar üzerinden elde edilen (kayma gerilmesi) gerilme değeri 122,66 MPa'dır.



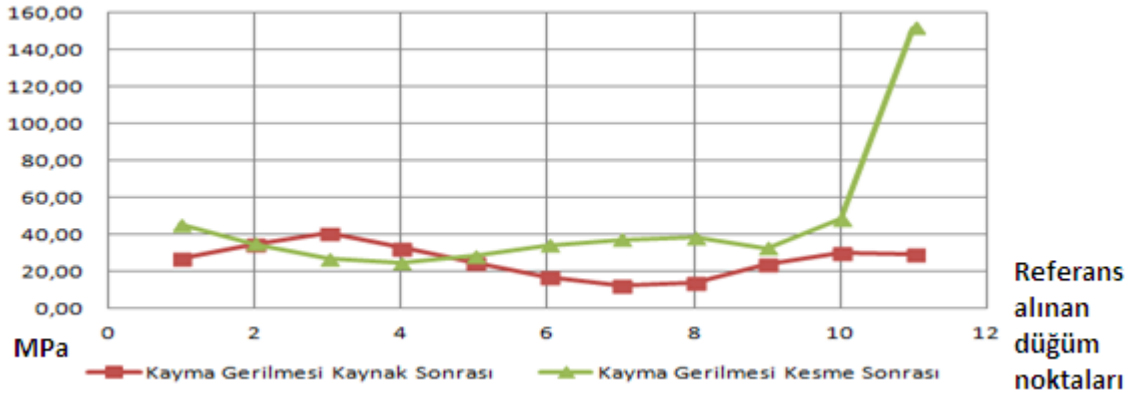
Şekil 50. Kanal açma talaş kaldırma simülasyonu kaynak sonrası ve talaş kaldırma sonrası çevresel gerilme simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması

Şekil 50.'de gösterildiği gibi kaynak sonrasında elde edilen simülasyon sonuçlarında ölçülen en yüksek (çevresel gerilme) gerilme değeri -87,64 MPa, kaynak üzerinden kanal açma talaş kaldırma işlemi uygulandıktan sonra aynı noktalar üzerinden elde edilen (çevresel gerilme) gerilme -163,54 MPa'dır.



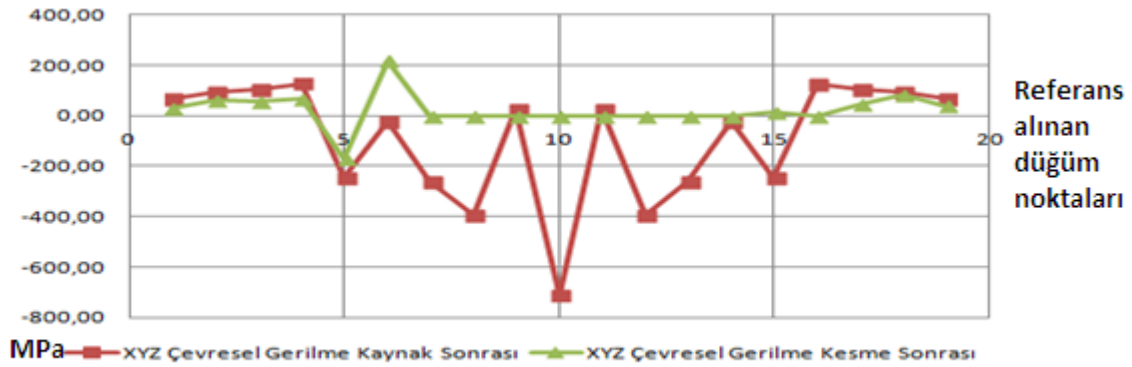
Şekil 51. Kanal açma talaş kaldırma simülasyonu kaynak sonrası ve talaş kaldırma sonrası normal gerilme simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması

Şekil 51.'de gösterildiği gibi kaynak sonrasında elde edilen simülasyon sonuçlarında ölçülen en yüksek (normal gerilme) gerilme değeri -81,88 MPa, kaynak üzerinden kanal açma talaş kaldırma işlemi uygulandıktan sonra aynı noktalar üzerinden elde edilen (normal gerilme) gerilme değeri -202,36 MPa'dır.



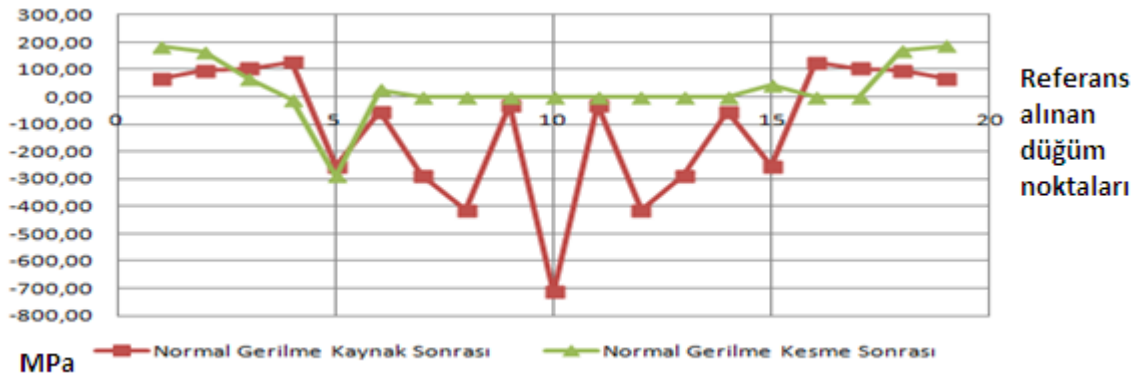
Şekil 52. Kanal açma talaş kaldırma simülasyonu kaynak sonrası ve talaş kaldırma sonrası kayma gerilmesi simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması

Şekil 52.'da gösterildiği gibi kaynak sonrasında elde edilen simülasyon sonuçlarında ölçülen en yüksek (kayma gerilmesi) gerilme değeri 40,49 MPa, kaynak üzerinden kanal açma talaş kaldırma işlemi uygulandıktan sonra aynı noktalar üzerinden elde edilen (kayma gerilmesi) gerilme değeri 26,80 MPa'dır.



Şekil 53. Delik delme talaş kaldırma simülasyonu kaynak sonrası ve talaş kaldırma sonrası çevresel gerilme simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması

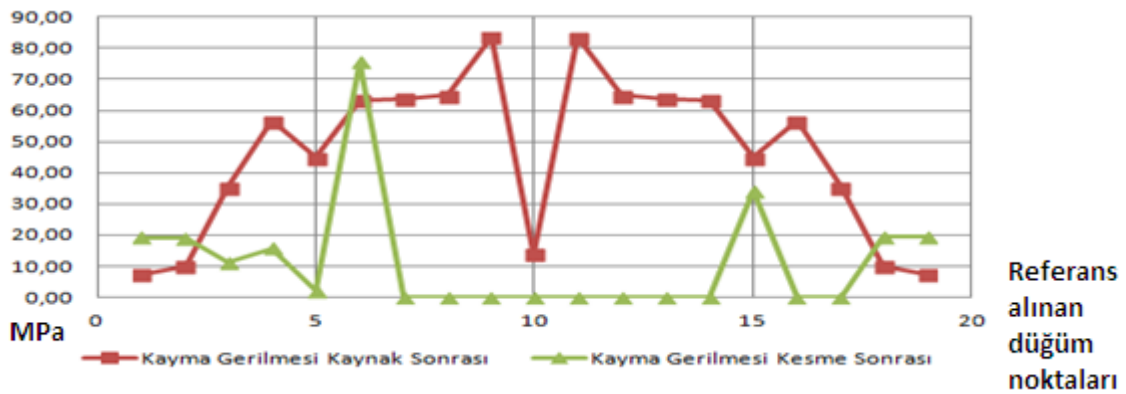
Şekil 53.'de delik delinen bölgede gerilme boşalmaları olduğu için bazı noktalarda gerilme değeri sıfır olmaktadır. Bundan dolayı gerilme değerleri en yüksek değer gösteren noktalardan alınmamıştır. Simülasyon sonuçlarında kaynak sonrasında 4 nolu noktadan alınan (çevresel gerilme) gerilme değeri 127,80 MPa, kaynak üzerinden delik delme talaş kaldırma işlemi uygulandıktan sonra aynı noktalar üzerinden elde edilen (çevresel gerilme) gerilme değeri 66,88 MPa'dır.



Şekil 54. Delik delme talaş kaldırma simülasyonu kaynak sonrası ve talaş kaldırma sonrası normal gerilme simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması

Şekil 54.'de delik delinen bölgede gerilme boşalmaları olduğu için bazı noktalarda gerilme değeri sıfır olmaktadır. Bundan dolayı gerilme değerleri en yüksek değer gösteren noktalardan alınmamıştır.

Simülasyon sonuçlarında kaynak sonrasında 5 nolu noktadan alınan (normal gerilme) gerilme değeri -253,75 MPa, kaynak üzerinden delik delme talaş kaldırma işlemi uygulandıktan sonra aynı noktalar üzerinden elde edilen (normal gerilme) gerilme değeri -289,62 MPa'dır.



Şekil 55. Delik delme talaş kaldırma simülasyonu kaynak sonrası ve talaş kaldırma sonrası kayma gerilmesi simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması

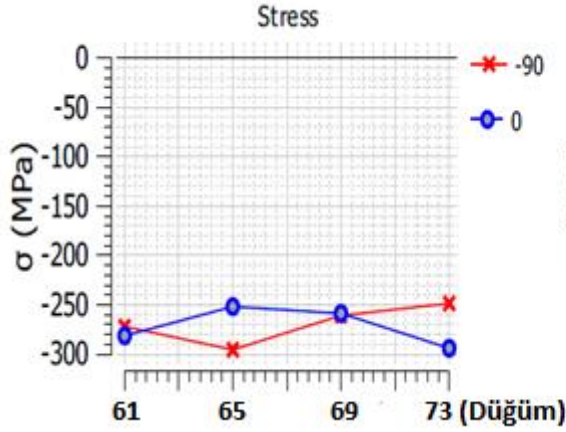
Şekil 55.'de delik delinen bölgede gerilme boşalmaları olduğu için bazı noktalarda gerilme değeri sıfır olmaktadır. Bundan dolayı gerilme değerleri en yüksek değer gösteren noktalardan alınmamıştır. Simülasyon sonuçlarında kaynak sonrasında 6 nolu noktadan alınan(kayma gerilmesi) gerilme değeri 63,37 MPa, kaynak üzerinden delik delme talaş kaldırma işlemi uygulandıktan sonra aynı noktalar üzerinden elde edilen (kayma gerilmesi) gerilme değeri 75,46 MPa'dır.

Elde edilen veriler sonucunda kaynak işlemleri uygulanmış bir malzemeye daha sonra talaş kaldırma işlemi uyguladığımızda kaynak sonrasında oluşan kalıntı gerilmeler artarak devam etmektedir. Düzlem yüzey üzerinden talaş kaldırma ve kanal açma işlemleri sonucu elde edilen kalıntı gerilmeler kaynak sonrası oluşan kalıntı gerilmelere göre artmış bir şekilde paralellik göstermektedir. Delik delme işleminde ise delik çevresinde oluşan gerilmeler her iki durumda paralellik göstermekte ancak delik bölgesindeki talaşın kaldırılmasını takiben gerilme boşalması olmasından dolayı değerler sıfır olmaktadır.

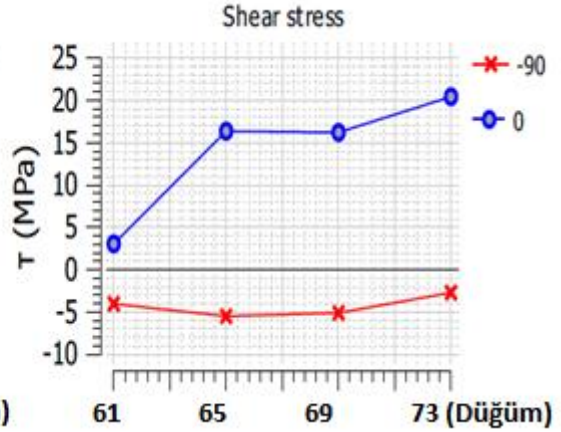


4.2 Deney sonuçları

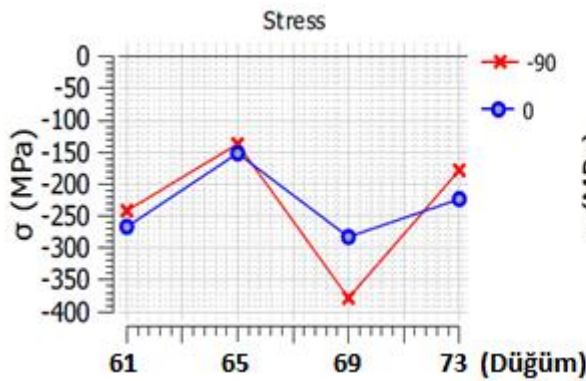
Kaynak sonrası ve talaş kaldırma sonrası Xrd cihazı ile yapılan normal ve kalıntı gerilme değerleri aşağıdaki şekillerde gösterilmektedir.



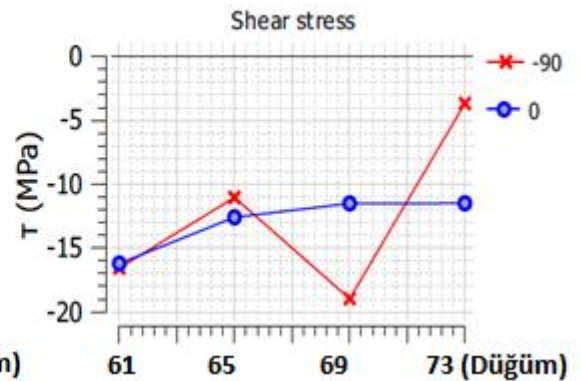
Şekil 56a. Kaynak sonrası kaynağa dik konumdaki kalıntı gerilme değerleri



Şekil 56b. Kaynak sonrası kaynağa paralel konumdaki kalıntı gerilme değerleri



Şekil 57a. Talaş kaldırma sonrası kaynağa dik konumdaki kalıntı gerilme değerleri



Şekil 57b. Talaş kaldırma sonrası kaynağa paralel konumdaki kalıntı gerilme değerleri

Not: Grafiklerde gösterilen 1,2,3,4 nolu noktalar 61,65,69,73 nolu düğümleri temsil etmektedir

Kullanılan Xrd cihazı tipi stresstech group firmasının ürettiği Xstress 3000 G2 / G2R modelidir. Kalıntı gerilme değerleri malzemenin x eksenini boyunca bir hat üzerinden alınmıştır. Böylece düzlem yüzey üzerinden talaş kaldırma simülasyonunda parça yüzeyindeki düğümlerin her birinden istenilen gerilme değerleri alınabilmektedir. X ışını yöntemi ile parça yüzeyindeki 61,65,69 ve 73 nolu düğümlerden normal ve kalıntı gerilme değerleri ölçülmüş ve Tablo 15'deki sonuçlara ulaşılmıştır.

Tablo 15. Simülasyon ve x ışını yöntemi ile elde edilen kalıntı gerilme değerleri

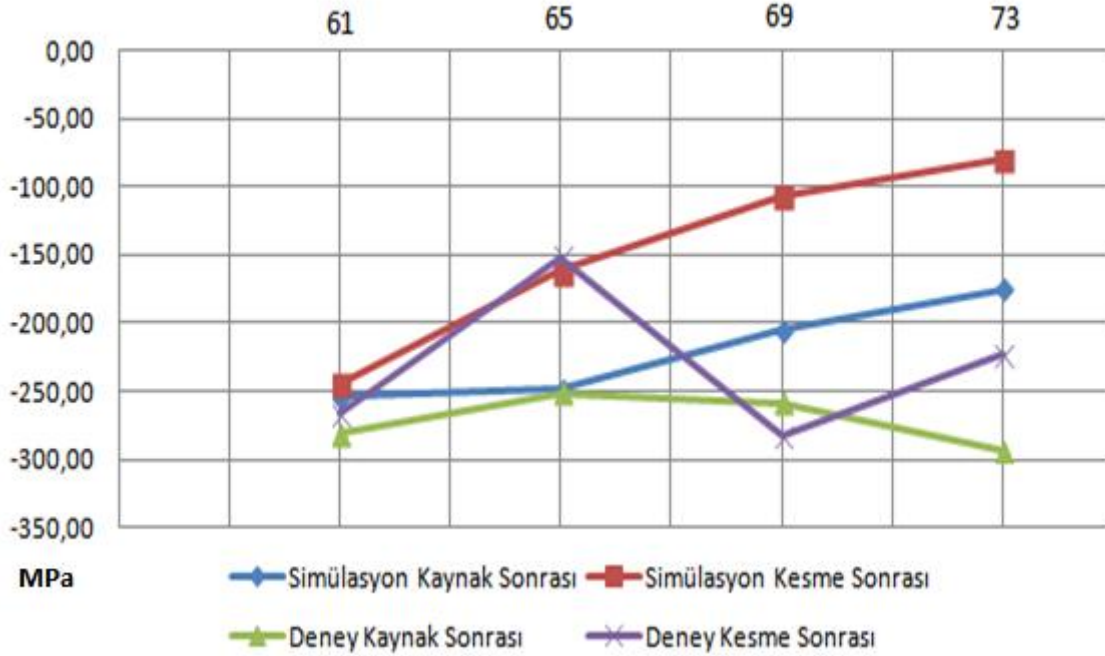
Simülasyon Kaynak Sonrası	Simülasyon Kesme Sonrası	Deney Kaynak Sonrası	Deney Kesme Sonrası
-254,05	-244,20	-281,20	-266,70
-248,83	-162,06	-251,70	-151,60
-204,73	-107,15	-258,60	-282,60
-174,95	-80,17	-293,90	-223,40



Şekil 58. Simülasyon ve x ışını yöntemi ile elde edilen kalıntı gerilme değerleri
grafiksel gösterimi

4.3 Deney sonucunda elde edilen kalıntı gerilme verilerinin kıyaslanması için hazırlanan simülasyon sonuçları

Deneyel olarak ölçüm yapılan noktalara karşılık gelen değerler simülasyon grafiğinden alınarak simülasyon sonuçları ve deney sonuçları Şekil 59.'da görülmektedir.



Şekil 59. Simülasyon sonuçları ve kalıntı gerilme sonuçlarının karşılaştırılması

Sonuç olarak deneysel çalışmalardan elde edilen ölçüm değerleri ile sonlu elemanlar yöntemiyle elde edilen değerler birbirine benzerlikler göstermektedir. Ancak kaynak bölgesinden uzaklaştıkça sıcaklık değerlerinin düşmesi ve soğumanın daha hızlı gerçekleşmesinden dolayı gerilme değerlerinin farklılaştığı ve gerilme eğrilerinin aralarının açıldığı görülmektedir. Bunun sebebi literatür de ısı girdisi teorisinden de yararlanılarak açıklanabilir. Kaynatılan bölgeden uzaklaştıkça aktarılan ısı girdisinin azalması ve ısı girdisinin azalması ile malzemede oluşan gerilmelerde değiştiği görülmüştür.

Malzemede soğuma işlemi bittikten sonra malzemeye talaş kaldırma işlemi uygulanması ısı girdilerinden dolayı oluşan kalıntı gerilmeleri kaynak bölgesine yakın noktalarda fazla etkilemezken kaynak bölgesinden uzaklaştıkça gerilme boşalmalarının daha fazla olduğu görülmüştür.

4.4 Simülasyon ve deney sonucu elde edilen kalıntı gerilme verilerinin karşılaştırılması

Sonlu elemanlar analizlerinin ilk aşaması olan kaynak işlemi süresince ergime ve ısıнын tesiri altında kalan bölgelerdeki ısı transferinin neden olduğu geometrik distorsiyonlar kalıntı gerilmelerin oluşmasına neden olmuştur. Ölçüm yapılan hat boyunca dört nokta üzerinden alınan ölçümlerde en yüksek gerilme değeri -254,05 Mpa olarak belirlenmiştir. Kaynak edilen bölgeden uzaklaştıkça gerilme değeri düzgün bir azalma göstermektedir. Kaynak bölgesinden uzaklaştıkça ısıнын etki ettiği alan daralarak ve soğumaya bağlı ısı transferi hızının zamanla düşmesinden dolayı kaynak dikişi çevresinden uzaklaştıkça deformasyona bağlı uzamaların azaldığı buna bağlı olarak kalıntı gerilme değerlerinin düştüğü gözlenmiştir.

Sonlu elemanlar yöntemi ile kaynak sonrası oluşan kalıntı gerilmeler ön gerilmeler şeklinde kesme yapılacak model üzerine aktarıldığında ve model üzerinden kesme işlemi gerçekleştirildiğinde aynı noktalar üzerinde gerilme azalmalarının olduğu gözlenmiştir. Kesici takımın kaynak bölgesi üzerinde talaş kaldırması esnasında kaynak işlemi süresince oluşan basma gerilmelerine neden olan iç kuvvetlerin kesici takımın bu iç kuvvetleri bir miktar yok etmesi ile gerilme değerlerinde bir miktar azalma olduğu gözlenmiştir.

Simülasyonda yapılan kaynak işlemini deneysel olarak yapılan kaynak işlemi ile karşılaştırsak eğer hemen hemen benzer değerlerin elde edildiğini görebiliriz. 65 nolu düğümde bu benzerliğin en yüksek seviyeye ulaştığı simülasyon sonrası ölçülen -248,83 Mpa ve deney sonrası ölçülen -251,70 Mpa gerilme değerleri ile ispat edildiğini görebiliriz.

Simülasyon ile yapılan kesme işlemini deneysel olarak yapılan kesme işlemi ile karşılaştırsak eğer aynı şekilde en büyük benzerliğin 65 nolu düğüm noktasında olduğunu -162,06 Mpa ve -151-60 Mpa gerilme değerleri ile ispat edildiğini görebiliriz. Kaynak bölgesinden uzaklaştıkça gerilme değerlerinin birbirinden uzaklaşmasıyla benzerlik özelliği kaybolmaktadır. 69 nolu düğümde simülasyon sonrası değer -107,15 Mpa iken deney sonrası -282,60 Mpa olarak ölçülmüştür.

Simülasyon ile yapılan kaynak ve kesme işlemleri sonucu alınan değerlerin değişimi ile deney ile yapılan kaynak ve kesme işlemleri sonucu alınan değerlerin değişimi oldukça büyük benzerlikler göstermekte ve bu da yapılan araştırmanın, kaynak ve talaş kaldırma işlemlerini kapsayan kalıntı gerilme araştırmalarında kullanılabileceğini ve gelecekte yapılacak çalışmalara ışık tutabileceğini göstermiştir. Simülasyon ile yapılan kaynak ve

kesme işlemleri sonucu alınan değerlerin değişimi ile deney ile yapılan kaynak ve kesme işlemleri sonucu alınan değerlerin değişimi korelasyon formülleri ile incelenerek bu bağıntının geçerli olduğu görülebilir.





5. GENEL SONUÇ

Çalışmanın amacı olan sonlu elemanlar ile kaynak ve kesmenin belirli parametreler altında açıklanması ve bu yöntemin deneysel yöntemlerle karşılaştırılması olması nedeniyle parametreler sabit tutularak bilgisayar ve laboratuvar ortamında deneyler yapılmış ve karşılaştırılmıştır.

Sonlu elemanlar yöntemiyle yapılan üç boyutlu simülasyon, bulgular ve tartışma bölümünde deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmış FEA modelinin belirli şartlar içerisinde başarıyla kullanılabileceği gözlenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda genel olarak aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

1. Bu çalışmada bilgimiz dahilinde dünyada ilk defa kaynak işlemi ile oluşan kalıntı gerilmeler, bir ardışık simülasyon ile talaş kaldırma simülasyonuna taşınmış ve talaş kaldırma işlemi esnasında kaynak iç gerilmelerinin etkisinin neden olduğu distorsiyon değişimi araştırılmıştır.

2. Ardışık simülasyon için MARC-Mentat hazır kodları kullanılarak bir model teklif edilmiştir.

3. Teklif edilen modele uygun bir deneysel çalışma ile simülasyon sonuçlarının doğruluğu araştırılmış ve modelin uygunluğu deneysel çalışmalar ile gösterilmiştir.

4. Bu sonuçlar kullanılan ölçüm metoduyla gerilmelerin, simülasyonlar ile büyük oranda benzerlik gösterdiğini doğrulamıştır.

5. Kaynak işlemi uygulandıktan sonra malzemenin kaynak bölgesi çevresinde termal kaynaklı basma kalıntı gerilmesi oluşmaktadır.

6. Frezeleme işlemi termo-mekaniksel bir yöntemdir ve malzemenin yüzeyinde basma ve çekme kalıntı gerilmeleri oluşturmaktadır.

7. Malzeme üzerinde kaynak ve talaş kaldırma işleminden sonra oluşan kalıntı gerilmelerin kaynak bölgesine yakın bölgelerde uyumlu hareket etmediği kararsız artış ve azalışlar gösterdiği tespit edilmiştir.

8. C 1040 malzemesinin yüzeyindeki simülasyon sonrası en yüksek basma kalıntı gerilmesi, -254,05 Mpa olduğu görülmüştür.

9. C 1040 malzemesinin yüzeyindeki deney sonrası en yüksek basma kalıntı gerilmesi, -293,90 Mpa olduğu görülmüştür.

10. C 1040 malzemesi kaynak ve talaş kaldırmadan sonra malzemesinin yüzeyindeki kalıntı gerilmeler kaynak bölgesinden uzaklaştıkça gerilme farklılıklarının daha fazla ortaya çıktığı görülmektedir.

Çalışmalar başlangıç aşamasında olup simülasyon ve deneysel yöntemler ile farklı parametrelerdeki farklı kesme tipleri araştırılmalıdır.



KAYNAKLAR:

- [1]. Linjie, Z., Jianxun, Z., Kalaoui, H., Li, H., Wang, Y.: “A comparative study of the residual deformation of an Automotive gear-case assembly due to deep-penetration high-energy welding”, Journal of Materials Processing Technology, 190, 2007, 109–116
- [2]. Deng, D., Murakawa, H.: “Prediction of welding distortion and residual stress in a thin plate butt-welded joint”, Computational Materials Science, 43, 2008, 353–365
- [3]. YİĞİT , O. , DİLMEÇ , M. , HALKACI , S. : “Tabaka Kaldırma Yöntemi ile Kalıntı Gerilmelerin Ölçülmesi ve Diğer Yöntemlerle Karşılaştırılması”, Mühendis ve Makine, Cilt : 49, Sayı: 579, Nisan, 2008.
- [4]. DEMİRLER, U., TAPTIK, Y. : “Substrate effects on residual stress of PVD TİN Coatings” , İTÜ Dergisi Mühendislik , Cilt:4, Sayı:1, 95-102, Şubat, 2005.
- [5]. BİNİCİ , İ. : “Kalıntı Gerilmelerin Ölçülmesi Ve Giderilmesinde Yeni Bir Yaklaşım ” , Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yöneticisi, YEREBAKAN , M., İSTANBUL, 1992.
- [6]. UÇAR, M., DEMİRER, H., SALMAN, S. : “Residual Stresses in Ceramic Coatings” , TMMOB Denizli Şubesi, Bilim Günleri, 5-6-7 Mayıs, 1999.
- [7]. ÖZEL, A., ŞEN, S., BELEVİ, M., “Effects of Residual Stresses Caused by Different Types of Loading on Silent Chain Strength” , Tr. J. of Engineering and Environmental Science, TÜBİTAK, 22, 461-470, 1998.
- [8]. Yavuz N., Özcan R., Polat F. G., "Tozaltı Kaynak Bağlantısının Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Termal ve Mekanik Analizi", Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 10, Sayı 2, 2005.
- [9]. Wen, S. W, Hilton P. and Farrugia, D.C.J. (2001) Finite element Modelling of a Submerged Arc Welding Process. Journal of Materials Processing Technology, 119. 203-209.
- [10]. Çam, G., Erim, S. Yeni, Ç. and Koçak, M. (1999) Determination of Mechanical and Fracture Properties of Eser Beam Welded Steel Joints. Welding Journal Research supplement. 193-201.
- [11]. Zhu, X.K. and Chao Y.J. (2002) Effects of Temperature-Dependent Material Properties on Welding Simulation.Computers and Structures, 80. 967–976.

- [12]. Wu, .A. Syngellakis, S. and Mellor. B.G. (2001) Finite Element Analysis of Residual Stresses in a Butt Weld. The Post Graduate Conference in Engineering Materials Proceedings, University of Southampton.
- [13]. Meo, M. and Vignjević, R. (1999) Welding Simulation Using FEA. The World Engineering Congress&Exhibition 99.59-64. Malaysia.
- [14]. Jang, G.B., Kim, H.K. and Kang S.S. (2001) The Effects of Root Opening on Mechanical Properties, Deformation and Residual Stress of Weldments. Welding Journal Research Supplement. 80–89.
- [15]. Teng, T.L. and Lin C.C. (1998) Effect of Welding Condition on Residual Stresses due to Butt Welds. International Journal of Pressure Vessels and Piping, 75. 857-864.
- [16]. Gunaraj, V. and Murugan, N. (2002) Prediction of Heat – Affected Zone Characteristics in Submerged Arc Welding of Structural steel Pipes. Welding Journal Research 94-102.
- [17]. Kuo, H.C. and L.J. W. (2002) Prediction of Heat-affected Zone using Grey Theory. Journal of Materials Processing Technology, 120. 151–168.
- [18]. Şen S., Garip G., Akkuş N. "Ark kaynak işlemi sonucu oluşan kalıntı gerilmelerin deneysel ve sonlu elemanlar simülasyonu ile incelenmesi" Yüksek Lisans, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009.
- [19]. Çapkın A., "Talaşlı üretimde kesme işleminin sonlu elemanlar modeli ile incelenmesi", Yüksek Lisans, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007.
- [20]. Akkurt, M., "Talas Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları", Birsan yayınevi, İstanbul, 1996.
- [21]. MARC User's Guide, Volume A – Theory and User Information, MARC Analysis Research Corporation, 1996.
- [22]. Günay E. , Öztürk Y. , Sarıgüzel M., "Maddenin iç evrenini tanımlamak: X ışınları", Tübitak Marmara Araştırma Merkezi, Malzeme Enstitüsü, Bilim ve Teknik Dergisi, 2011
- [23]. Yelbay H. İ., "Tahribatsız yöntemlerle kalıntı gerilim ölçümündeki gelişmeler", ODTÜ Kaynak Teknolojisi ve Tahribatsız Muayene Araş./Uyg. Merkezi, Nisan, 2008
- [24]. Yünlü L., Çolak O., Kurbanoglu C., "Yüksek Basıncılı Soğutma Sistemiyle İşlenmiş Titanyum Alaşımlardaki Kalıntı Gerilmelerin X-ışını Kırınımı Metodu ile İncelenmesi", Süleyman Demirel Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İstanbul Medeniyet Üniversitesi

Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, Cilt: 10, No: 4, 35-44, 2013.

- [25]. Çelik S., "Kaynak Metalurjisi" Ders Notları, Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi
- [26]. Geçmen İ., "Çeliklere gaz altı kaynağının uygulanması", Yüksek Lisans, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.
- [27]. Köksal N. Sinan, Uzkut Mehmet, Ünlü B. Sadık, "Farklı karbon içerikli çeliklerin mekanik özelliklerinin ısıt işlemlerle değişimi", Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik fakültesi fen ve mühendislik dergisi, Cilt: 6 Sayı: 2 s. 95-100, 2004.
- [28]. Tülbentçi K., "Mıg-mag eriyen elektrod ile gazaltı kaynağı", Gedik Eğitim Vakfı Kaynak Teknolojisi Eğitim Araştırma ve Muayene Enstitüsü, 1990.
- [29]. EN 439, "Kaynak sarf malzemeleri - Ark kaynağı ve Kesme için koruyucu Gazlar", Ankara, 1995.
- [30]. Yavuz N., Özcan R., Polat F. G., "Tozaltı Kaynak Bağlantısının Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Termal ve Mekanik Analizi", Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 10, Sayı 2, 2005.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı	Savaş GÜNEYLİ
Doğum Yeri	Eminönü/İSTANBUL
Doğum Tarihi	07/11/1989
Medeni Hali	Bekar
Yabancı Dili	İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise	
Bahçelievler Erkan Avcı Teknik Lisesi	
Makine Bölümü	2007
Lisans	
Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi	
Talaşlı Üretim Öğretmenliği Bölümü	2012
Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi	
Makine Mühendisliği Bölümü	(Halen devam ediyor)
Yüksek Lisans	
Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü	
Mekatronik Bölümü	(Halen devam ediyor)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar

Türk Hava Yolları Teknik A.Ş.	(Halen Çalışıyor)
-------------------------------	-------------------