

**SAC METAL ÜRÜNLERDE GERİ ESNEME MİKTARININ
DENEYSEL VE SONLU ELEMANLARLA TESPİTİ,
YAPAY SİNİR AĞLARIYLA TAHMİNİ**

Ayhan ÖZDEMİR

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ŞUBAT 2010
ANKARA**

Ayhan ÖZDEMİR tarafından hazırlanan SAC METAL ÜRÜNLERDE GERİ ESNEME MİKTARININ DENEYSEL VE SONLU ELEMANLARLA TESPİTİ, YAPAY SİNİR AĞLARIYLA TAHMİNİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Zafer TEKİNER

.....

Tez Danışmanı, Makine Eğitimi Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Makine Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Adnan SÖZEN

.....

Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Doç. Dr. Zafer TEKİNER

.....

Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Doç. Dr. Ferhat GÜL

.....

Metal Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Çetin KARATAŞ

.....

Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Neşet AKAR

.....

Metal Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Tarih: 25/02/2010

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Bilal TOKLU

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin

etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Ayhan ÖZDEMİR

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	IV
ABSTRACT.....	VII
TEŞEKKÜR.....	VIII
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	IX
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	X
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	XXII
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI.....	2
3. BÜKME	5
3.1. Bükme İşleminin Tanımlaması ve Terminolojisi.....	5
3.2. Bükme İşlem Çeşitleri	5
3.2.1. V bükme.....	8
3.2.2. Kenar bükme.....	9
3.2.3. Serbest bükme işlemi.....	10
3.3. Bükmeye Etki Eden Faktörler	11
3.4. Malzemenin Davranışı	12
3.5. Geri Esneme	13
3.6. Geri Esnemeye Etki Eden Faktörler	16
4. SONLU ELMANLAR YÖNTEMİ VE MODELİ.....	18
4.1. Sonlu Elemanlar Modeli	18
4.2 Örgü Yapısı	19
4.3. Malzeme Özellikleri	20

4.4. Kinematik Deformasyon.....	21
4.5. Doğrusal ve Doğrusal olmayan çözümleme	23
4.5.1 Doğrusal çözümleme	23
4.5.2 Doğrusal olmayan çözümleme	23
4.6. Analizin Modellenmesi.....	24
4.6.1 Modelin örülmesi.....	24
4.6.2. Sınır koşulları.....	24
4.6.3. Malzemenin modellenmesi.....	24
4.6.4. Temas yüzeyleri.....	27
4.6.5. Sürtünme modeli.....	28
4.6.6. Yazılım prosedürü	28
5.YAPAY SİNİR AĞLARI:	30
5.1. Yapay Sinir Ağlarının Özellikleri.....	31
5.2. Aktivasyon Fonksiyonları.....	32
5.2.1. Treshold fonksiyonu.....	32
5.2.2. Parçalı-lineer fonksiyon	33
5.2.3. Sigmoid fonksiyon	34
5.3. Yapay Sinir Ağı Modelleri.....	35
5.3.1. İleri beslemeli ağlar	35
5.3.2. Tek katmanlı ileri beslemeli ağlar	36
5.3.3. Çok katmanlı ileri beslemeli ağlar.....	37
5.3.4. Geri beslemeli yapay sinir ağları	38

6.MATERYAL VE METOD	39
6.1 Serbest “V” Bükme Deney Sonuçları Ve Tartışma	39
6.2. Serbest “V” Bükme Deney Sonuçları	42
6.2.1. 1 mm kalınlığındaki paslanmaz sac ve 1 mm zımba radyüs değeri için serbest “V” bükme operasyonu sonuçlarının incelenmesi	42
6.2.2. 1 mm kalınlığındaki paslanmaz sac ve 2 mm zımba radyüs değeri için serbest “V” bükme operasyonu sonuçlarının incelenmesi	49
6.2.3. 1 mm kalınlığındaki paslanmaz sac ve 3 mm zımba radyüs değeri için serbest “V” bükme operasyonu sonuçlarının incelenmesi	55
6.2.4. 2 mm kalınlığındaki paslanmaz sac ve 2 mm zımba radyüs değeri için serbest “V” bükme operasyonu sonuçlarının incelenmesi	61
6.2.5. 2 mm kalınlığındaki paslanmaz sac ve 3 mm zımba radyüs değeri için serbest “V” bükme operasyonu sonuçlarının incelenmesi	66
6.2.6. 2 mm kalınlığındaki paslanmaz sac ve 4 mm zımba radyüs değeri için serbest “V” bükme operasyonu sonuçlarının incelenmesi	71
6.2.7. 3 mm kalınlığındaki paslanmaz sac ve 3 mm zımba radyüs değeri için serbest “V” bükme operasyonu sonuçlarının incelenmesi	76
6.2.8. 3 mm kalınlığındaki paslanmaz sac ve 4 mm zımba radyüs değeri için serbest “V” bükme operasyonu sonuçlarının incelenmesi	81
6.2.9. 3 mm kalınlığındaki paslanmaz sac ve 6 mm zımba radyüs değeri için serbest “V” bükme operasyonu sonuçlarının incelenmesi	87
6.2.10. 4 mm kalınlığındaki paslanmaz sac ve 4 mm zımba radyüs değeri için serbest “V” bükme operasyonu sonuçlarının incelenmesi.....	93
6.2.11. 4 mm kalınlığındaki paslanmaz sac ve 6 mm zımba radyüs değeri için serbest “V” bükme operasyonu sonuçlarının incelenmesi	98
6.2.12. 4 mm kalınlığındaki paslanmaz sac ve 8 mm zımba radyüs değeri için serbest “V” bükme operasyonu sonuçlarının incelenmesi	104
6.2.13. 1 mm kalınlığındaki dkp sac ve 1 mm zımba radyüs değeri için serbest “V” bükme operasyonu sonuçlarının incelenmesi	110

6.2.14. 1 mm kalınlığındaki dkp sac ve 2 mm zımba radyüs değeri için serbest “V” bükme operasyonu sonuçlarının incelenmesi	115
6.2.15. 1 mm kalınlığındaki dkp sac ve 3 mm zımba radyüs değeri için serbest “V” bükme operasyonu sonuçlarının incelenmesi	121
6.2.16. 2 mm kalınlığındaki dkp sac ve 2 mm zımba radyüs değeri için serbest “V” bükme operasyonu sonuçlarının incelenmesi	127
6.2.17. 2 mm kalınlığındaki dkp sac ve 3 mm zımba radyüs değeri için serbest “V” bükme operasyonu sonuçlarının incelenmesi	133
6.2.18. 2 mm kalınlığındaki dkp sac ve 4 mm zımba radyüs değeri için serbest “V” bükme operasyonu sonuçlarının incelenmesi.....	139
6.2.19. 3 mm kalınlığındaki dkp sac ve 3 mm zımba radyüs değeri için serbest “V” bükme operasyonu sonuçlarının incelenmesi.....	145
6.2.20. 3 mm kalınlığındaki dkp sac ve 4 mm zımba radyüs değeri için serbest “V” bükme operasyonu sonuçlarının incelenmesi	151
6.2.21. 3 mm kalınlığındaki dkp sac ve 6 mm zımba radyüs değeri için serbest “V” bükme operasyonu sonuçlarının incelenmesi	157
6.2.22. 4 mm kalınlığındaki dkp sac ve 4 mm zımba radyüs değeri için serbest “V” bükme operasyonu sonuçlarının incelenmesi.....	163
6.2.23. 4 mm kalınlığındaki dkp sac ve 6 mm zımba radyüs değeri için serbest “V” bükme operasyonu sonuçlarının incelenmesi.....	168
6.2.24. 4 mm kalınlığındaki dkp sac ve 8 mm zımba radyüs değeri için serbest “V” bükme operasyonu sonuçlarının incelenmesi	173
7. ÜRÜN AÇI DEĞERLERİNİN MATEMATİKSEL MODELİ	178
8. YAPAY SİNİR AĞLARI İLE TAHMİN SONUÇLARI	181
8.1. Yapay Sinir Ağları ile Elde Edilen Sonuçların Matematiksel Modellenmesi	184
8.2. Yapay Sinir Ağları ile Elde Edilen Sonuçların İncelenmesi	187
8.2.1. Paslanmaz çelik deneysel ve analiz sonuçlarının (YSA) tahmini.....	189
8.2.2. Dkp çeliğinin deneysel ve analiz sonuçlarının ysa tahmini	191

9. DENEYSEL SONUÇLARA GÖRE YSA VE MATEMATİKSEL MODELİN KARŞILAŞTIRILMASI.....	193
10. SONUÇ VE ÖNERİLER	196
KAYNAKLAR	198
EKLER.....	203
EK-1	204
EK-2	207
ÖZGEÇMİŞ	210

**SAC METAL ÜRÜNLERDE GERİ ESNEME MİKTARININ
DENEYSEL VE SONLU ELEMANLARLA TESPİTİ,
YAPAY SİNİR AĞLARIYLA TAHMİNİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

Ayhan ÖZDEMİR

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Şubat 2010**

ÖZET

Bükme kalıplarında sac malzemelerin büküldükten sonra elastik şekil değiştirmeye bağlı olarak bir miktar geri esnedikleri bilinmektedir. Kalıp tasarımının kısa sürede yapılabilmesi ve istenilen ölçü tamlığının yapılabilmesi için geri esneme miktarının gerekli bir parametre olduğu bilinmektedir. Bu çalışmada, serbest bükme kalıplarında geri esnemenin deneysel olarak tespiti ve sonlu elemanlar yöntemi ile tahmini yapılmıştır. Geri esneme miktarlarının belirlenebilmesi için modüler serbest V bükme kalıbı tasarlanarak, deney malzemesi olarak Dkp ve paslanmaz çelik (AISI/SAE 304) malzemesi kullanılmıştır. Numuneler 1, 2, 3 ve 4 mm kalınlıklarda olup her kalınlık için 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105 ve 120 derecedeki açılarda, her açı da 3 farklı radyüs değerinde bükülerek her bir numuneden en az 3 tane bükme gerçekleştirilmiştir. Üretilen parçaların ölçü tamlığı optik projeksiyon cihazı ile elde edilerek geri esneme miktarlarının tespit edilmesi ve bu değerlerin bilgisayar destekli sonlu elemanlar analizlerinde kullanılan Marc-Mentat programında yapılan çözümlemelerle karşılaştırması yapılmıştır. Yapay sinir ağlarında sigmoid fonksiyon kullanılarak 2 gizli ara katman ve her katmanda 4 hücre ile tahmin edilerek, deney yapılmayan sonuçlar tablolar halinde verilmiştir.

Bilim Kodu : 708. 3. 028
Anahtar Kelimeler : Serbest V Bükme, V Bükme, Geri Esneme, Yapay Sinir
Ağları, Soğuk Şekillendirme, Sonlu Elemanlar Analizi
Sayfa Adedi : 210
Tez Yöneticisi : Doç. Dr. Zafer TEKİNER

**DETERMINATION OF THE AMOUNT OF THE SPRING-BACK IN THE
SHEET METAL PRODUCTS USING EXPERIMENTAL AND FINITE
ELEMENT METHODS AND THEIR ESTIMATION BY MEANS OF
NEURAL NETWORKS**

(M. Sc. Thesis)

Ayhan ÖZDEMİR

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

February 2010

ABSTRACT

It is known that the sheet metals in the bending moulds are subject to some amount of spring-back depending on the shape deformation after bending. It is also a fact that the the mentioned spring-back amount is a parameter necessary for making the mould design in a short duration and reaching the desired dimensional fineness. In this project, a study is conducted upon the determination of the amount of the spring-back in the bending moulds both experimentally and using finite element method. Designing a modular free V bending mould to determine the spring-back amount, Dkp and stainless steel which are extensively used in the automotive industry, defence industries, and several industrial applications are selected as the materials for the experiments. As the thickness values of the specimens are chosen to be 1, 2, 3, and 4 mm, for each different thickness value, at least three bending operations are carried out for each specimen regarding the bending angles of 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105 and 120 degrees with three different radius values corresponding to each angle. After checking the dimensional fineness of the produced specimens using an optical projection device and determination of the of the relevant spring-back quantities, these values are compared to the results of the analyses performed in the Marc-Mentat software used in the computer-aided finite element studies.

Furthermore, the results of the constructed artificial neural network structures are also obtained and the yielded results are discussed. This way, the experimental and estimation results are contributed to the literature by means of this publication.

Science Code : 708. 3. 028

Key Words : Free V-bending, V-bending, Spring-back, Artificial Neural Networks, Cold Forming, Finite Element Analysis

Page Number: 210

Adviser : Assoc. Prof. Dr. Zafer TEKİNER

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca her türlü yardımı ve katkısını esirgemeyerek beni yönlendiren değerli hocam sayın Doç. Dr. Zafer TEKİNER'e, çalışma arkadaşlarımdan sayın Mesut ÖZEL, Matlab da modellemeye yardımcı olan sayın Dr. Bülent ÖZKAN'a ve M.Sinan HASANOĞLU'na ve teknik destek sağlayan sayın Osman ULUIŞIK, sayın Dr. Kemal YAMAN'a ve beraber çalıştığım Mekanik Tasarım Birimine teşekkür ederim.

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. Paslanmaz çelik için kullanılan değerler.....	26
Çizelge 4.2. Dkp çelik için kullanılan değerler.....	27
Çizelge 8.1. Dkp sacının analiz verilerinden yapay sinir ağlarından elde edilen ağırlık değerleri	185
Çizelge 8.2. Dkp sacının deneysel verilerinden yapay sinir ağlarından elde edilen ağırlık değerleri	186
Çizelge 8.3. Paslanmaz sacının analiz verilerinden yapay sinir ağlarından elde edilen ağırlık değerleri.....	186
Çizelge 8.4. Paslanmaz sacının deneysel verilerinden yapay sinir ağlarından elde edilen ağırlık değerleri	187
Çizelge 8.5 Paslanmaz çelik için farklı radyüslerde YSA tahmin sonuçları.....	189
Çizelge 8.6. Paslanmaz çelik için farklı açılarda YSA tahmin sonuçları.....	189
Çizelge 8.7. Paslanmaz çelik için farklı kalınlıklarda YSA tahmin sonuçları.....	190
Çizelge 8.8. Paslanmaz çelik için farklı bükme mesafelerindeki YSA tahmin sonuçları.....	190
Çizelge 8.9. Dkp çeliğinin için farklı radyüslerde YSA tahmin sonuçları.....	191
Çizelge 8.10. Dkp çeliğinin için farklı açılarda YSA tahmin sonuçları.....	191
Çizelge 8.11. Dkp çeliğinin için farklı kalınlıklarda YSA tahmin sonuçları.....	192
Çizelge 8.12. Dkp çeliğinin farklı bükme mesafelerindeki YSA tahmin sonuçları	192

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Bükme işlem çeşitleri-1	5
Şekil 3.2. Bükme işlem çeşitleri-2	6
Şekil 3.3. Bükme işlem çeşitleri-3	6
Şekil 3.4. Bükme işlem çeşitleri-4	7
Şekil 3.5. V Bükme işlemi operasyonu.....	8
Şekil 3.6. Kenar bükme işlemi operasyonu.....	9
Şekil 3.7. Serbest bükme operasyonu (Dongye, 2006)	10
Şekil 3.8. Serbest bükme operasyonu kesitleri.....	11
Şekil 3.9. Rijit plastik model.....	11
Şekil 3.11. Malzeme Modelleri.....	13
Şekil 3.12. Sünek bir metaldeki geri esnemenin akma diyagramı üzerinde gösterilişi.....	13
Şekil 3.13. Bükülen bir sac kesiti üzerinde geri esnemenin gösterimi	14
Şekil 3.14. Bükme ve çekme etkisindeki bir sac kesitindeki plastik uzama bölgesinin dış Yüzeyden iç yüzeye doğru (1- η)s derinliğinde dağılımı (Ergeldi, 2002).....	15
Şekil 3.15. Bükmenin sebep olduğu molekül hareketleri	15
Şekil 3.16. Farklı malzemeler için bükme yarıçapı fonksiyonu olarak geri esneme oranı	17
Şekil 4.1. Sonlu elemanlar bükme operasyonu	19
Şekil 4.2. Serbest V Bükme operasyonundaki modelin örülmüş hali 1000 adet	20
Şekil 4.3. Serbest V Bükme operasyonundaki modelin örülmüş hali 420 adet	20
Şekil 4.4. Çekme testi aparatı.....	25
Şekil 4.5. Çekme testinde kullanılan standart numune ebatları	25

Şekil	Sayfa
Şekil 4.6. AISI 304 paslanmaz çelik true Stress plastik strain grafiği	26
Şekil 4.7. Dkp Çelik için True Stress Plastik Strain Grafiği	27
Şekil 5.1. Treshold fonksiyonu	33
Şekil 5.2. Parçalı-Lineer Fonksiyon	33
Şekil 5.3. Sigmoid fonksiyonu	34
Şekil 5.4. Tek katmanlı ileri beslemeli ağ	36
Şekil 5.5. Çok katmanlı ileri beslemeli ağ	37
Şekil 5.6. Geri beslemeli ağ	38
Şekil 6.1. Hidrolik pres	39
Şekil 6.2. Bükme kalıbı	40
Şekil 6.3. Optik projeksiyon cihazı	41
Şekil 6.4. Deneysel ve sonlu elemanlar yönteminin karşılaştırma verileri	42
Şekil 6.5. 30 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler	43
Şekil 6.6. 60 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler	43
Şekil 6.7. 90 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler	44
Şekil 6.8. 90 derece bükümde oluşan plastik gerilmelerin sayısal değerleri	44
Şekil 6.9. 30 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri	45
Şekil 6.10. 60 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri	46
Şekil 6.11. 90 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri	46
Şekil 6.12. 90 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmelerinin sayısal değerleri	47
Şekil 6.13. Deneysel ve sonlu elemanlar yöntemleri arasındaki geri esneme miktarlarındaki hata değerleri	48
Şekil 6.14. Deneysel ve sonlu elemanlar yönteminin karşılaştırma verileri	49

Şekil	Sayfa
Şekil 6.15. 30 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler.....	50
Şekil 6.16. 60 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler.....	50
Şekil 6.17. 90 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler.....	51
Şekil 6.18. 30 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri	52
Şekil 6.19. 60 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri	52
Şekil 6.20. 90 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri	53
Şekil 6.21. Deneysel ve sonlu elemanlar yöntemleri arasındaki geri esneme miktarlarındaki hata değerleri	54
Şekil 6.22. Deneysel ve sonlu elemanlar yönteminin karşılaştırma verileri	55
Şekil 6.23. 30 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler.....	56
Şekil 6.24. 60 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler.....	56
Şekil 6.25. 90 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler.....	57
Şekil 6.26. 30 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri	58
Şekil 6.27. 60 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri	58
Şekil 6.28. 90 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri	59
Şekil 6.29. Deneysel ve sonlu elemanlar yöntemleri arasındaki geri esneme miktarlarındaki hata değerleri.....	60
Şekil 6.30. Deneysel ve sonlu elemanlar yönteminin karşılaştırma verileri	61
Şekil 6.31. 30 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler.....	62
Şekil 6.32. 60 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler.....	62
Şekil 6.33. 90 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler.....	63
Şekil 6.34. 30 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri	63
Şekil 6.35. 60 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri	64

Şekil	Sayfa
Şekil 6.36. 90 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri	64
Şekil 6.37. Deneysel ve sonlu elemanlar yöntemleri arasındaki geri esneme miktarlarındaki hata değerleri	65
Şekil 6.38. Deneysel ve sonlu elemanlar yönteminin karşılaştırma verileri	66
Şekil 6.39. 30 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler.....	67
Şekil 6.40. 60 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler.....	67
Şekil 6.41. 90 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler.....	68
Şekil 6.42. 30 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri	68
Şekil 6.43. 60 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri	69
Şekil 6.44. 90 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri	69
Şekil 6.45. Deneysel ve sonlu elemanlar yöntemleri arasındaki geri esneme miktarlarındaki hata değerleri	70
Şekil 6.46. Deneysel ve sonlu elemanlar yönteminin karşılaştırma verileri	71
Şekil 6.47. 30 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler.....	72
Şekil 6.48. 60 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler.....	72
Şekil 6.49. 90 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler.....	73
Şekil 6.50. 30 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri	73
Şekil 6.51. 60 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri	74
Şekil 6.52. 90 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri	74
Şekil 6.53. Deneysel ve sonlu elemanlar yöntemleri arasındaki geri esneme miktarlarındaki hata değerleri.....	75
Şekil 6.54. Deneysel ve sonlu elemanlar yönteminin karşılaştırma verileri	76
Şekil 6.55. 30 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler.....	77
Şekil 6.56. 60 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler.....	77

Şekil	Sayfa
Şekil 6.57. 90 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler.....	78
Şekil 6.58. 30 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri	78
Şekil 6.59. 60 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri	79
Şekil 6.60. 90 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri	79
Şekil 6.61. Deneysel ve sonlu elemanlar yöntemleri arasındaki geri esneme miktarlarındaki hata değerleri	80
Şekil 6.62. Deneysel ve sonlu elemanlar yönteminin karşılaştırma verileri	81
Şekil 6.63. 30 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler.....	82
Şekil 6.64. 60 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler.....	82
Şekil 6.65. 90 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler.....	83
Şekil 6.66. 30 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri	84
Şekil 6.67. 60 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri	84
Şekil 6.68. 90 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri	85
Şekil 6.69. Deneysel ve sonlu elemanlar yöntemleri arasındaki geri esneme miktarlarındaki hata değerleri	86
Şekil 6.70. Deneysel ve sonlu elemanlar yönteminin karşılaştırma verileri	87
Şekil 6.71. 30 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler.....	88
Şekil 6.72. 60 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler.....	88
Şekil 6.73. 90 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler.....	89
Şekil 6.74. 30 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri	90
Şekil 6.75. 60 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri	90
Şekil 6.76. 90 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri	91
Şekil 6.77. Deneysel ve sonlu elemanlar yöntemleri arasındaki geri esneme miktarlarındaki hata değerleri	92

Şekil	Sayfa
Şekil 6.78. Deneysel ve sonlu elemanlar yönteminin karşılaştırma verileri	93
Şekil 6.79. 30 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler.....	94
Şekil 6.80. 60 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler.....	94
Şekil 6.81. 90 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler.....	95
Şekil 6.82. 30 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri	95
Şekil 6.83. 60 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri	96
Şekil 6.84. 90 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri	96
Şekil 6.85. Deneysel ve sonlu elemanlar yöntemleri arasındaki geri esneme miktarlarındaki hata değerleri.....	97
Şekil 6.86. Deneysel ve sonlu elemanlar yönteminin karşılaştırma verileri	98
Şekil 6.87. 30 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler.....	99
Şekil 6.88. 60 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler.....	99
Şekil 6.89. 90 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler.....	100
Şekil 6.90. 30 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri	101
Şekil 6.91. 60 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri	101
Şekil 6.92. 90 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri	102
Şekil 6.93. Deneysel ve sonlu elemanlar yöntemleri arasındaki geri esneme miktarlarındaki hata değerleri.....	103
Şekil 6.94. Deneysel ve sonlu elemanlar yönteminin karşılaştırma verileri	104
Şekil 6.95. 30 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler.....	105
Şekil 6.96. 60 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler.....	105
Şekil 6.97. 90 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler.....	106
Şekil 6.98. 30 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri	107
Şekil 6.99. 60 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri	107

Şekil	Sayfa
Şekil 6.100. 90 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri	108
Şekil 6.101. Deneysel ve sonlu elemanlar yöntemleri arasındaki geri esneme miktarlarındaki hata değerleri	109
Şekil 6.102. Deneysel ve sonlu elemanlar yönteminin karşılaştırma verileri	110
Şekil 6.103. 30 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler.....	111
Şekil 6.104. 60 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler.....	111
Şekil 6.105. 90 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler.....	112
Şekil 6.106. 30 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri	112
Şekil 6.107. 60 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri	113
Şekil 6.108. 90 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri	113
Şekil 6.109. Deneysel ve sonlu elemanlar yöntemleri arasındaki geri esneme miktarlarındaki hata değerleri	114
Şekil 6.110. Deneysel ve sonlu elemanlar yönteminin karşılaştırma verileri	115
Şekil 6.111. 30 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler.....	116
Şekil 6.112. 60 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler.....	116
Şekil 6.113. 90 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler.....	117
Şekil 6.114. 30 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri	118
Şekil 6.115. 60 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri	118
Şekil 6.116. 90 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri	119
Şekil 6.117. Deneysel ve sonlu elemanlar yöntemleri arasındaki geri esneme miktarlarındaki hata değerleri	120
Şekil 6.118. Deneysel ve sonlu elemanlar yönteminin karşılaştırma verileri	121
Şekil 6.119. 30 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler.....	122
Şekil 6.120. 60 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler.....	122

Şekil	Sayfa
Şekil 6.121. 90 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler.....	123
Şekil 6.122. 30 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri	124
Şekil 6.123. 60 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri	124
Şekil 6.124. 90 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri	125
Şekil 6.125. Deneysel ve sonlu elemanlar yöntemleri arasındaki geri esneme miktarlarındaki hata değerleri.....	125
Şekil 6.126. Deneysel ve sonlu elemanlar yönteminin karşılaştırma verileri.....	127
Şekil 6.127. 30 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler.....	128
Şekil 6.128. 60 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler.....	128
Şekil 6.129. 90 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler.....	129
Şekil 6.130. 30 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri	130
Şekil 6.131. 60 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri	130
Şekil 6.132. 90 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri	131
Şekil 6.133. Deneysel ve sonlu elemanlar yöntemleri arasındaki geri esneme miktarlarındaki hata değerleri.....	132
Şekil 6.134. Deneysel ve sonlu elemanlar yönteminin karşılaştırma verileri.....	133
Şekil 6.135. 30 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler.....	134
Şekil 6.136. 60 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler.....	134
Şekil 6.137. 90 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler.....	135
Şekil 6.138. 30 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri	136
Şekil 6.139. 60 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri	136
Şekil 6.140. 90 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri	137
Şekil 6.141. Deneysel ve sonlu elemanlar yöntemleri arasındaki geri esneme miktarlarındaki hata değerleri.....	138

Şekil	Sayfa
Şekil 6.142. Deneysel ve sonlu elemanlar yönteminin karşılaştırma verileri	139
Şekil 6.143. 30 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler.....	140
Şekil 6.144. 60 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler.....	140
Şekil 6.145. 90 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler.....	141
Şekil 6.146. 30 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri	142
Şekil 6.147. 60 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri	142
Şekil 6.148. 90 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri	143
Şekil 6.149. Deneysel ve sonlu elemanlar yöntemleri arasındaki geri esneme miktarlarındaki hata değerleri	144
Şekil 6.150. Deneysel ve sonlu elemanlar yönteminin karşılaştırma verileri	145
Şekil 6.151. 30 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler.....	146
Şekil 6.152. 60 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler.....	146
Şekil 6.153. 90 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler.....	147
Şekil 6. 154. 30 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri	148
Şekil 6.155. 60 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri	148
Şekil 6.156. 90 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri	149
Şekil 6.157. Deneysel ve sonlu elemanlar yöntemleri arasındaki geri esneme miktarlarındaki hata değerleri	150
Şekil 6.158. Deneysel ve sonlu elemanlar yönteminin karşılaştırma verileri	151
Şekil 6.159. 30 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler.....	152
Şekil 6.160. 60 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler.....	152
Şekil 6.161. 90 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler.....	153
Şekil 6.162. 30 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri	154

Şekil	Sayfa
Şekil 6.163. 60 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri	154
Şekil 6.164. 90 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri	155
Şekil 6.165. Deneysel ve sonlu elemanlar yöntemleri arasındaki geri esneme miktarlarındaki hata değerleri	156
Şekil 6.166. Deneysel ve sonlu elemanlar yönteminin karşılaştırma verileri	157
Şekil 6.167. 30 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler.....	158
Şekil 6.168. 60 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler.....	158
Şekil 6.169. 90 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler.....	159
Şekil 6.170. 30 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri	160
Şekil 6.171. 60 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri	160
Şekil 6.172. 90 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri	161
Şekil 6.173. Deneysel ve sonlu elemanlar yöntemleri arasındaki geri esneme miktarlarındaki hata değerleri.....	162
Şekil 6.174. Deneysel ve sonlu elemanlar yönteminin karşılaştırma verileri	163
Şekil 6.175. 30 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler.....	164
Şekil 6.176. 60 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler.....	164
Şekil 6.177. 90 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler.....	165
Şekil 6.178. 30 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri	165
Şekil 6.179. 60 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri	166
Şekil 6.180. 90 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri	166
Şekil 6.181. Deneysel ve sonlu elemanlar yöntemleri arasındaki geri esneme miktarlarındaki hata değerleri.....	167
Şekil 6.182. Deneysel ve sonlu elemanlar yönteminin karşılaştırma verileri	168
Şekil 6.183. 30 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler.....	169

Şekil	Sayfa
Şekil 6.184. 60 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler.....	169
Şekil 6.185. 90 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler.....	170
Şekil 6.186. 30 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri	170
Şekil 6.187. 60 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri	171
Şekil 6.188. 90 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri	171
Şekil 6.189. Deneysel ve sonlu elemanlar yöntemleri arasındaki geri esneme miktarlarındaki hata değerleri	172
Şekil 6.190. Deneysel ve sonlu elemanlar yönteminin karşılaştırma verileri	173
Şekil 6.191. 30 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler.....	174
Şekil 6.192. 60 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler.....	174
Şekil 6.193. 90 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler.....	175
Şekil 6.194. 30 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri	175
Şekil 6.195. 60 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri	176
Şekil 6.196. 90 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri	176
Şekil 6.197. Deneysel ve sonlu elemanlar yöntemleri arasındaki geri esneme miktarlarındaki hata değerleri	177
Şekil 7.1. Dkp sac malzemesinin verilerinden elde edilen matematiksel model grafiği	179
Şekil 7.2. Paslanmaz sac malzemesinin verilerinden elde edilen matematiksel model grafiği.....	180
Şekil 8.1. 2 mm Paslanmaz çelik için elde edilen tahmin sonuçlarının incelenmesi	181
Şekil 8.2. 2 mm kalınlık ve 4mm radyüs ile paslanmaz çelik için elde edilen tahmin sonuçlarının incelenmesi	YSA 182
Şekil 8.3. 2 mm kalınlık ve 60 derece bükme işleminin paslanmaz çelik için elde edilen ysa tahmin sonuçlarının incelenmesi.....	183

Şekil	Sayfa
Şekil 8.4. Yapay sinir ağı fonksiyonu grafiği	184
Şekil 8.5 Tahmin için girdi ve çıktı hesap ekranı.....	188
Şekil 9.1. Paslanmaz sacın 1 mm kalınlığındaki zımba radyüsü 1 mm ile deneysel bükme sonuçlarına göre sapma değerleri	193
Şekil 9.2. Paslanmaz sacın 3 mm kalınlığındaki zımba radyüsü 3 mm ile deneysel bükme sonuçlarına göre sapma değerleri	193
Şekil 9.3. Dkp sacın 1 mm kalınlığındaki zımba radyüsü 1 mm ile deneysel bükme sonuçlarına göre sapma değerleri.....	194
Şekil 9.4. Dkp sacın 3 mm kalınlığındaki zımba radyüsü 3 mm ile deneysel bükme sonuçlarına göre sapma değerleri	194

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
b_i^o	Referans durumundaki gövde kuvveti
C	Istampa ve matris arasındaki boşluk
E	Malzeme elastisite modülü
ε	Gerinim
I	Atalet momenti
K	Geri esneme oranı
ℓ	Bükme sonrası uzunluk
ℓ_0	Başlangıç uzunluğu
M	Bükme momenti
m	Birim moment
n	Pekleşme üsteli
R	Bükme yarıçapı
ρ	Nötr eksen yarıçapı
R_d	Kalıp yarıçapı
R_p	Zimba yarıçapı
s	Sac parçası kalınlığı
S	Piola-Kirchhoff gerilme tensörü

t	Kalınlık
t_f	Bağıl hız yönündeki birim çekme vektörü
T	Çekme kuvveti
W	Bükme işi
W_b	Bükmeden sonraki sacın karsı momenti
θ	Bükme açısı
Δ_u	Yer değiştirme artış vektörü
Δ_θ	Geri esneme miktarı
η	Gerçek yer değiştirme
η_i	Gerçek yer değiştirmeler
μ	Sürtünme katsayısı
ν	Poisson oranı
σ_f	Akma gerilmesi
σ_n	Normal gerilme
$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$	Asal gerilmeler
γ	AB yayının nötr eksene olan uzaklığı

1. GİRİŞ

Bükme, ısı ile veya ısı yardımı almadan, talaş kaldırma işlemi yapmadan malzemenin bir eksen etrafında şekillendirilmesidir. Sanayide ve etrafımıza baktığımızda birçok parçanın soğuk sac şekillendirme ile elde edildiğini görmekteyiz ve kalıpsal ürünü ortaya koymak ne kadar önemli ise düşük maliyetli daha hızlı ve daha düzgün kalıp üretmekte o kadar önemlidir. Bükme kalıplarının yapım aşamasında istediğimiz ürünü elde edebilmek için kalıp üzerinde birçok işlem gerçekleştirilir. İstenilen ölçünün elde edilebilmesi için birçok defa kalıp sökölür tezgaha bağlanır. Bu işlemler zaman kaybına, maliyet'e, işçilik kaybına ve bunun gibi olumsuz yönde üretimimizi etkileyen faktörler halini almaktadır. Bu faktörler ise deneysel ve çok maliyetli yöntemlerdir. Bu tezde birçok endüstride kullanılan sac parçaların kalıplarla imalatı esnasında karşılaşılan geri esneme problemi incelenmiştir. Sac şekillendirmeyi metot olarak birçok yöntem kapsar. En çok kullanılan bükme yöntemleri V bükme, U bükme, kenar bükme, serbest bükme çeşitleridir. Sacın orta kısmında bir çekme kuvveti ve kenarlarda yüksek bir basma kuvveti uygulanması ile yapılan bükme işlemi malzemenin gösterdiği karşı dirençten büyük, ama kalıbın gösterdiği dirençten ise küçük olmalıdır. Bükme esnasında uygulanan kuvvetin kalkmasıyla deformasyona uğrayan malzeme bir miktar esneyerek istenilen formdan uzaklaşmaktadır. Oluşan geri esnemeyi daha önceden tahmin etmek veya analizlerle ile bükme işleminin simülasyonunu gerçekleştirmek zaman ve maliyet açısından önemli kazançlar sağlar. Bu çalışmada v bükme sonlu elamanlar analizi yöntemi için de doğrusal olmayan çözüm yapabilen Marc-Mentat yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Son yıllarda sonlu eleman metodu ile metal şekillendirme proseslerinin analizleri sayesinde Von-Mises gerilme grafikleri, plastik gerinim grafiklerini ve uygulanan yükler gibi değerlerin grafikleri elde edilebilmektedir.

2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Sac levhaların şekillendirilmesi ile, mutfak eşyasından endüstride kullanılan araç gereçlere kadar her alanda sıkça rastlanabilmektedir. Özellikle teknolojinin üst seviyede kullanıldığı otomotiv uçak ve beyaz eşya sektöründe malzeme şekillendirme işlemine çok ihtiyaç duyulduğundan her geçen gün daha hızlı yöntemler de geliştirilmektedir. Tez çalışması esnasında uygulanan malzemeler ve yöntemler incelendiğinde geri esnemeye kalınlık, bükme radyüsünün ve bükme açısının geri esnemeye nasıl etki ettiğinin gözlemlenmesi ve analizlerle karşılaştırılarak incelenmesi, oluşan geri esnemeyi yapay sinir ağları ile tahmin etmeye çalışılarak elde edilen sonuçların tahmini hem zaman hem de maliyet açısından önemli kazançlara sebep olur.

M.Luisa Garcia, Roneu ve Joaquim Ciurana (2006) serbest bükmede alüminyum ve paslanmaz çelik için geri esneme değerlerini farklı radyüs ve açılarda elde etmiştir. Yapay sinir ağlarında geri yayılım algoritmasını kullanarak tahmine çalışmış ve birden fazla yapay sinir ağı modelleyerek birbiriyle karşılaştırmıştır.

L.J. de Vin, A.H. Streppel, U.P. Singh, H.J.J. Kals (1996) serbest bükme modelinin prosesleri hakkında çalışmıştır. Sacın serbest bükmedeki hallerini modellemiş ve sacın davranışını deneysel ve matematiksel olarak incelemiştir. Elde edilen sonuçları birbiriyle karşılaştırarak tablolar halinde kullanılabilirliğini göstermiştir.

M.Inamdar, P.P. Date, K.Narasimhan(2000) serbest bükmedeki geri esneme değerlerini sonlu elemanlar analizi ile karşılaştırmıştır. Elde ettiği sonuçları yapay sinir ağlarında geri yayılım algoritmasını kullanarak tahmine çalışmıştır. Tahmin sonuçlarının kullanılabilirliğini kanıtlamış ve bükmeye etki eden faktörleri incelemiştir.

C. Bruni, A. Forcellese, F. Gabrielli, M.Simoncini (2006) A231 magnezyum alaşımının sıcak ve soğuk şekillendirilmiş malzemelerinin serbest bükmedeki geri esnemelerini tespit etmiştir. Elde ettiği sonuçları grafiklerle vermiştir.

M.Yenice (2006) Dp600, HSLA350, FEP04 malzemelerini 2 mm kalınlığında farklı açılarda, radyüslerle ve farklı hadde yönlerinde bükerek geri esneme miktarını deneysel olarak incelemiş, açılara göre radyüslerin, hadde yönlerinin nasıl etki ettiği elde edilerek geri esneme miktarının grafiklerini elde etmiştir.

B.Arslan (2004) Al-1050 malzemesinin geri esneme değerlerini deneysel olarak inceleyip Abaqus yazılımında sonlu elemanlar analizi yaparak karşılaştırmış ve geri esneme grafiklerini elde etmiştir. Sonlu elemanların deneysel verilerle uyumluluğunu kanıtlamaya çalışmıştır.

Ling ve Ç.A. (2005) sac parçalar L bükme prosesinde geri esneme analizini sonlu elemanlar yöntemi kullanarak (ABAQUS programı yardımıyla) incelemişlerdir. Analiz sonucunda geri esnemeyi etkileyen faktörleri kanıtlamışlardır.

Hsu ve Shien (1997), eksenel simetrik ve düzlem gerinim levha metali şekillendirme prosesleri için bükme teorisine dayanan hesaplama yöntemi sunmuşlardır ve bükme etkisinin esas olarak, zımba yarıçapının levha kalınlığına oranı gibi zımba parametrelerine (özellikle düzlem gerilme koşullarında) bağlı olduğunu iddia etmişlerdir. Ayrıca hesaplanan sonuçlarla mutabık deneysel sonuçlar, sonlu eleman yönteminin levha metal şekillendirme operasyonlarındaki aletle şekillendirme tasarımında etkili olduğunu göstermektedir.

Samuel (2000) ve Lovell (1999) sonlu elemanlar yöntemi ve deneysel teknikler kullanarak geri esnemenin tahmini ve saptanmasında çalışmalar yürütmüşlerdir. Elde edilen sonuçların geri esnemenin önceden tahmin edilebilmesi için grafikler halinde incelemişlerdir.

Chou ve Hung'ın (1999) çalışmasında, U-kanal bükme proseslerinde kullanılan çeşitli geri esnemeyi azaltma tekniklerini sonlu eleman yöntemi ile analiz edilmiştir. Bu çalışmada implisit problemleri için sonlu elemanlar analizi ve optimizasyon programı kullanılmıştır. Optimizasyon için yazarların araştırma sonuçları, geçerli

tasarım değişkenleri setlerini sağlamaktadır ve çift sonlu eleman optimizasyon analizinin kullanımının, geri esneme kontrol probleminin çözümünde hem pratik hem de etkili olduğunu göstermektedir.

Wang ve Ç.A. (2002) çalışmalarında malzeme katılaşma modelinin, serbest v bükme işleminde meydana gelen geri esneme üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Sinterlenmiş bakır sacların üzerindeki V bükme prosesinin deneysel ve teoriksel olarak Sriram ve arkadaşları (1997) karşılaştırmalarını yapmışlardır.

Yukarıda verilen literatür çalışmaları incelendiğinde çalışmaların genelde deneysel veya sonlu elemanlar yöntemiyle yapıldığı görülmektedir. Bu çalışmada ise deneysel olarak yapılan çalışma verileri sonlu elemanlar yöntemiyle kıyaslanmış ve sebep sonuç ilişkileri sonlu elemanlar yöntemine göre yorumlanmıştır. Ayrıca bu çalışmada yapay sinir ağlarıyla tahmin sonuçlarıda eklenerek üç methodun (deneysel, sonlu elemanlar ve yapay sinir ağları) birleştirilmesi yapılmıştır. Eğitimi yapılan ağ yapısının matematiksel modelide oluşturularak deney sisteminin modellenmesi yapılmıştır.

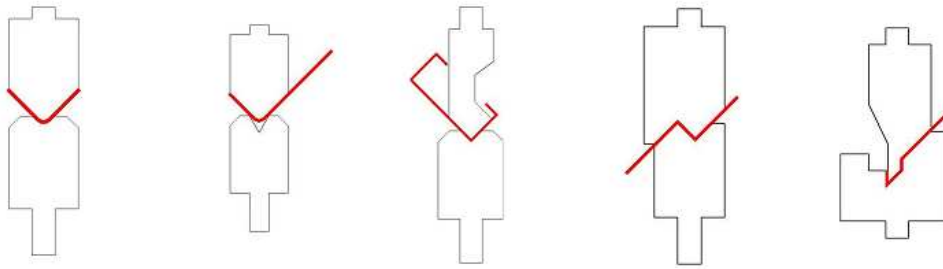
3. BÜKME

3.1. Bükme İşleminin Tanımlaması ve Terminolojisi

Bükme endüstriyel alanlarda özellikle otomotiv ve beyaz eşya sektöründe yaygın olarak sac parçaların şekillendirilme işleminde kullanılmaktadır. Bükme; ısı ile veya ısı olmadan talaş kaldırma işlemi olmadan bir eksen etrafında döndürülmesi işlemidir. Bükme işleminde sacın belirli bir bölgesi deformasyona uğrar. Bu sac parçaya uygulanan kuvvet basma gerilmesine maruz kaldığında malzemenin eski formuna dönmesi ile sonuçlanır. Basma gerilmesinin aşılmasıyla oluşan akma gerilmesi parça üzerinde plastik deformasyon ve elastik şekil değişimi meydana getirir. Bükme kuvveti, malzemenin gösterdiği karşı dirençten büyük ama kalıbın gösterdiği karşı kuvvetten küçük olmalıdır.

3.2. Bükme İşlem Çeşitleri

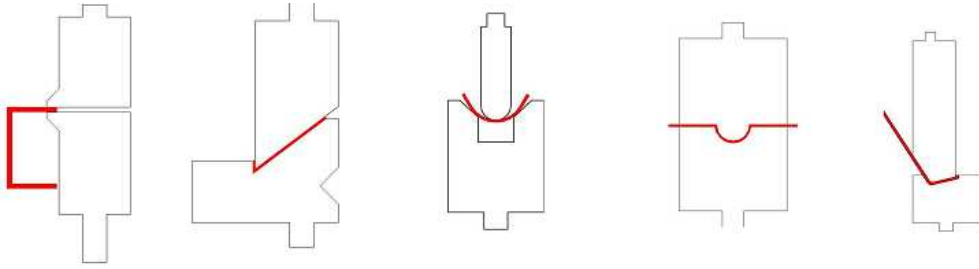
Bükme işleminde en çok kullanılan yöntemler V bükme, U bükmedir. V bükme kendi içinde serbest bükme, kenar bükme, açısall bükme gibi alt gruplara ayrılabilir.



Şekil 3.1. Bükme işlem çeşitleri-1

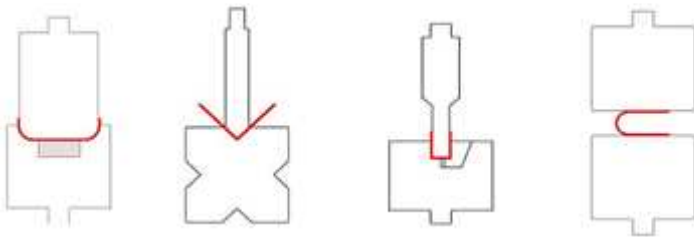
Genellikle 90°lik V-bükme kalıbı en çok kullanılanıdır. Bu tip bükme kalıplarına taban (ezme) bükme kalıpları adı verilir. 90°lik V-bükme kalıbında zımba ucu kavis yarıçapı, sac malzeme kalınlığından az olmamalıdır. Çekme gerilimi yüksek malzemelerin 90°lik V-bükme işleminde, zımba ucu kavis yarıçapı büyük alınır. Dar açılı V-bükme işlemi genellikle, basınçlı havayla çalışan bükme kalıplarında

yapılmaktadır. Bükme açısı önemli değilse, kalıplama işlemi 90° V-bükme kalıbında yapılabilir. Geri dönüşlü flanş bükme kalıpları genellikle 90° V-bükme kalıbına benzer, ancak bükme işleminin merkezden dışarıya doğru olması nedeniyle fazla yükleme yapılamamaktadır. Ofset bükme kalıbı, iki 90° bükme işlemini bir arada yapabilir. Bu nedenle, bu tip kalıplara ofset bükme kalıpları denir. 90° den büyük bükmelerde kullanılan kalıplara, Z bükme kalıbı denir (Şekil 3.1) [25].



Şekil 3.2. Bükme işlem çeşitleri-2

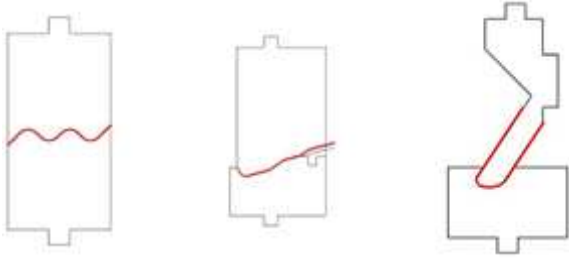
Katlama kalıbı sac malzemelerin kenarlarını birbiri üzerine katlayan kalıptır. Genellikle parça kenarlarında düzgünlük sağlamak ve mukavemet kazandırmak amacıyla katlama işlemi yapılır. Kavis bükme kalıbı yarıçapı sac malzeme kalınlığının 4 katından fazla olması gereken bükme işlemlerinde kullanılan kalıplardır. Basit bükme kalıbı genellikle düz sac malzemelere, bazen de ön bükme işlemi yapılacak parçalara uygulanır. Kıvrırma bükme kalıbı parça ucunun yuvarlatılması veya halka şeklinde kalıplanması, kıvrırma kalıplarıyla yapılır (Şekil 3.2) [25].



Şekil 3.3. Bükme işlem çeşitleri-3

Tüp bükme kalıpları genellikle kıvrırma kalıplarına benzer. Her iki ucu ön bükme kalıplarıyla biçimlendirilen parça, ikinci veya daha fazla kalıplama işlemleriyle tüp

şeklinde kalıplayan kalıplara denir. Dört kanallı bükme kalıbı küçük parçaların kısa zamanda ve seri halde kalıplanabilmesi için çoklu V-bükme kalıbı kullanılır. Bu tip çoklu V veya U bükme kalıplarına, kanal bükme kalıbı denir. Kanal bükme kalıbı genellikle uzun kaz boynu bükme kalıplarıyla yapılır. Kalıplanan parçanın kalıp içerisinden çıkmasını kolaylaştırmak amacıyla itici plâkalı kanal bükme kalıbı kullanılır. U-Bükme kalıbı, kanal bükme kalıbına benzer, ancak geri esneme miktarı bu kalıp da daha fazladır. Geri esneme miktarını gidermek için ikinci bir kalıp da U-bükme miktarı arttırılır (Şekil 3.3) [25].



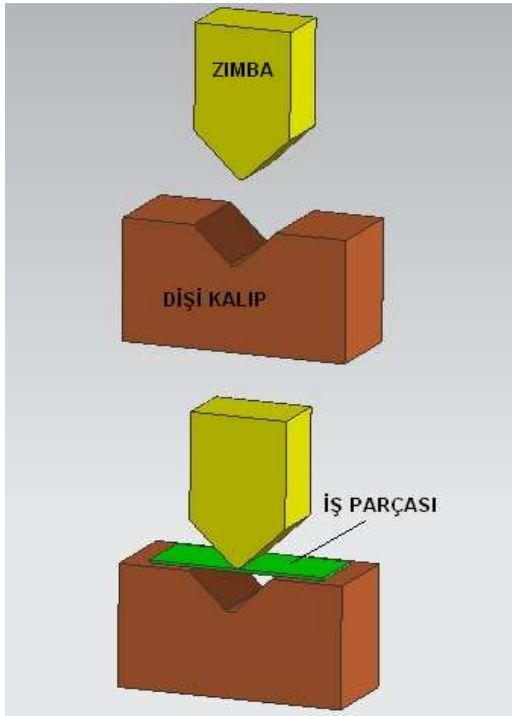
Şekil 3.4. Bükme işlem çeşitleri-4

Oluk bükme kalıplan genellikle tek veya çok sıralı yapılmaktadır. Bu kalıplarla tek vuruşta bir oluk bükmeden dört oluk bükmeye kadar kalıplama yapılabilmektedir. Çok profilli bükme kalıpları değişik konstrüksiyon ve uygulamalara açık kalıplardır. Genellikle bir vuruşta bükme işleminin tamamlanması gereken çok sayıdaki parçanın bükme işleminde kullanılır. Pabuç bükme kalıpları dik konumda kalıplanamayan pabuç ve benzeri parçaların kalıplanmasında kullanılır (Şekil 3.4) [25].

Bükme işlemi günümüzde hidrolik veya mekanik preslerde gerçekleştirilmektedir. Bu preslerde basılacak kalıplar ise alt ve üst kısım olarak prese yerleştirilir. Erkek kalıp, dişi kalıp, zımba dan oluşan kalıplar prese bağlanırken sağlıklı bükme işlemini gerçekleştirebilmek için kalıpların birbirine görme durumları yapılan işin hassasiyeti açısından çok önemli olduğu için, uygun şekilde eksenlenmeleri gerekmektedir.

3.2.1. V bükme

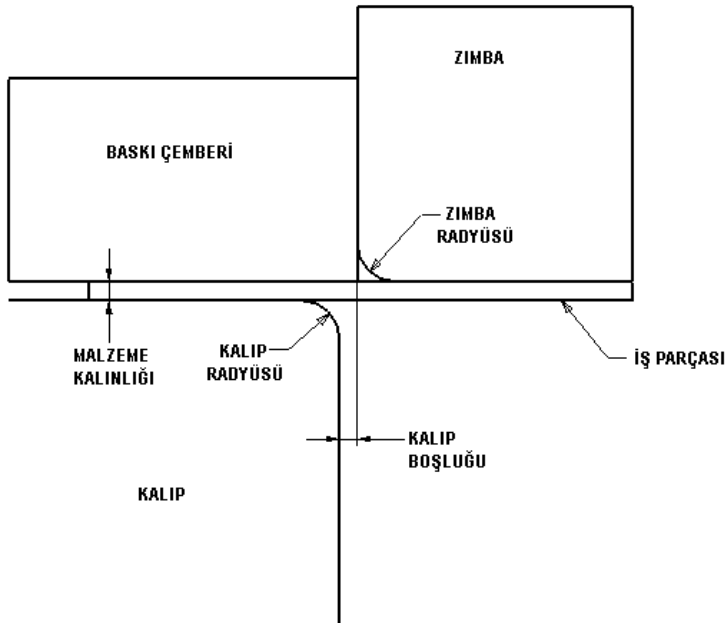
V bükme süresince zımba (ıstampa - erkek kalıp) aşağı doğru inerken ilk olarak desteksiz sac ile temas eder. Zımba iş parçasının merkezinden, malzeme kalınlığı kadar aşağı bastırır. Bu durumda bükme kollarının uçları yukarı esneyerek kalıp radyüsleri etrafında çok az bir miktar hareket ederek reaksiyon gösterirler. Bükme olayı ilerledikçe sürüklenme ve dolayısı ile malzemenin reaksiyonu daha da artmaktadır. Bu durumda kollar bir öncekine göre daha da yukarıya kalkmış bulunmaktadır. Son safhada yalnız zımba ucu değil artık yan yüzeyleri de temas halinde ve zımba parçayı kalıp içine yatırmış durumdadır. Şekil 3,5' de v bükme olayı yer almıştır [1].



Şekil 3.5. V Bükme işlemi operasyonu

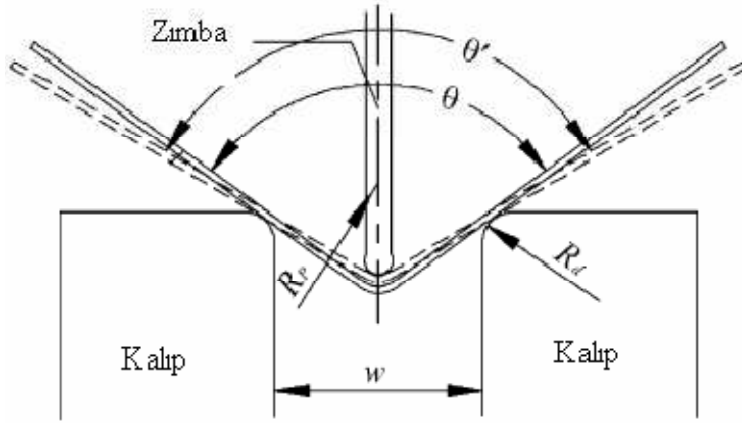
3.2.2. Kenar bükme

Kenar bükme metodunda sac baskı çemberi tarafından sabit pozisyonda tutulur. Şekillendirici ıstampa aşağı doğru inerek sacı şekillendirir. Bükülecek sacın uzunluğu sacın diğer kısımlarına nazaran çok kısa ise bu tip bükme tercih edilir. Şekil 3.6 da görüldüğü üzere kalıp yarıçapı, zimba yarıçapı, kalıp ve zimba arasındaki boşluk ise sacın kalınlığıdır [26].



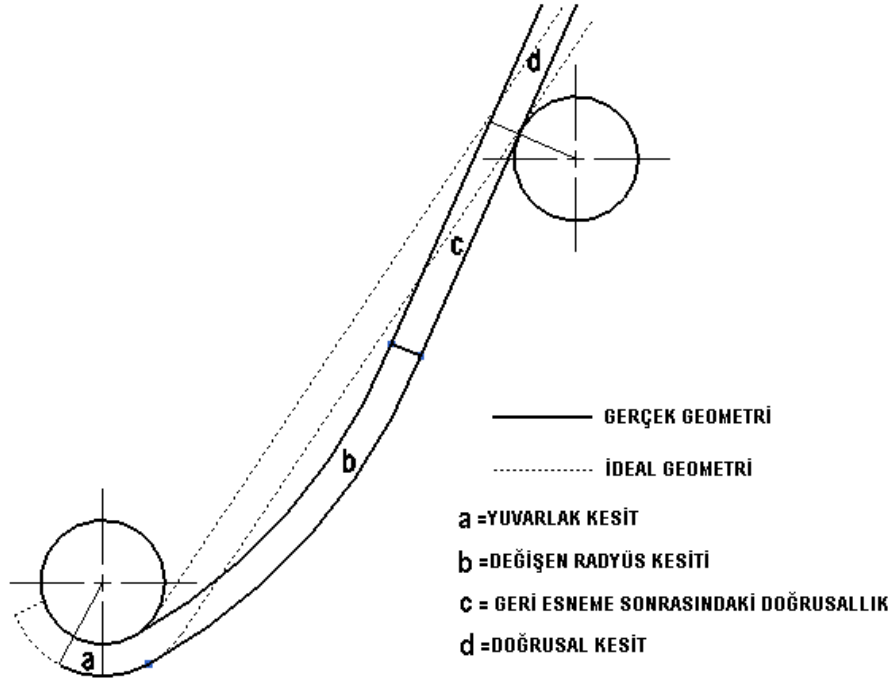
Şekil 3.6. Kenar bükme işlemi operasyonu

3.2.3. Serbest bükme işlemi



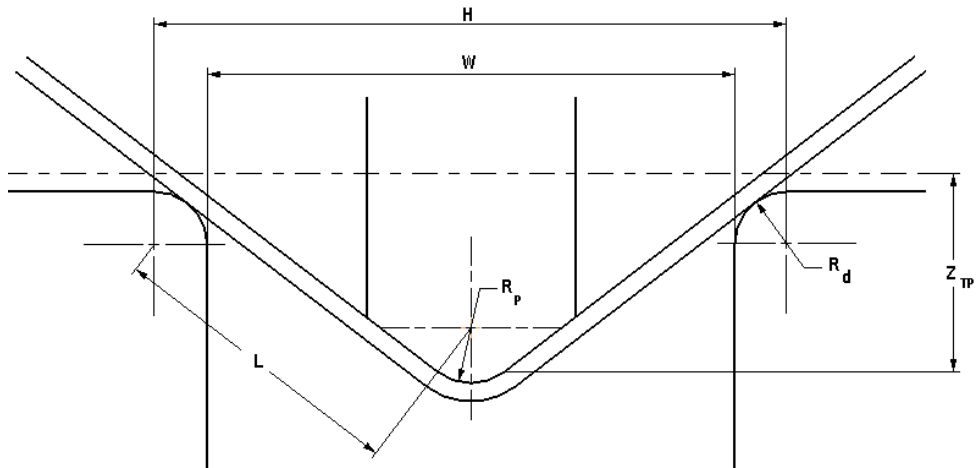
Şekil 3.7. Serbest bükme operasyonu

Serbest bükmede; sac parça altta yer alan kalıbın kenarları tarafından desteklenir. Kalıp mesafesine göre zımbanın aşağı doğru sacı bükme etkisini oluştururken zımbaya baskı yaparak gerekli bükme açısını oluşturur. Şekil 3,7' de görüldüğü üzere R_p zimba radyüsü, R_d kalıp radyüsü, θ bükme açısı θ' ise bükme sonrasındaki açıdır. Sac parçanın aldığı şekil itibari ile V bükmeye benzemesine rağmen sac parçanın kenarları bükme işleminin başlangıcında ve bitiminde de serbest haldedir. Şekil 3.8'de görüldüğü üzere malzemenin serbest halde bükülmesinden dolayı bükme üzerinde oluşan kesitler görülmektedir [1].



Şekil 3.8. Serbest bükme operasyonu kesitleri

3.3. Bükmeye Etki Eden Faktörler



Şekil 3.9. Rijit plastik model

Bükme işleminde sacın dış yüzeyindeki lifler uzayarak çekme gerilmesi oluşturmakta, iç kısmında ise lifler kısalarak basmaya zorlanmaktadır. Böylelikle bükülen malzemenin iç kısmında basma gerilmeleri, dış kısmında da çekme gerilmeleri meydana gelmektedir.

Bükülen kısımda her hangi bir ezilmeden dolayı veya normal şartlar altında sac kalınlığının değişmediği kabul edilirse nötr eksen sacın ağırlık noktasından geçer. Bu eksen çekmeye ve basmaya zorlanan kısımları ayırır. Nötr ekseninde bir değişiklik olmadığından dolayı bu eksenindeki lif uzunluğu değişmediği kabul edilir [1].

Bükülen malzemenin kesitinde oluşan deformasyonlar ve gerilmeler genel olarak şunlara bağlıdır (Şekil 3.9).

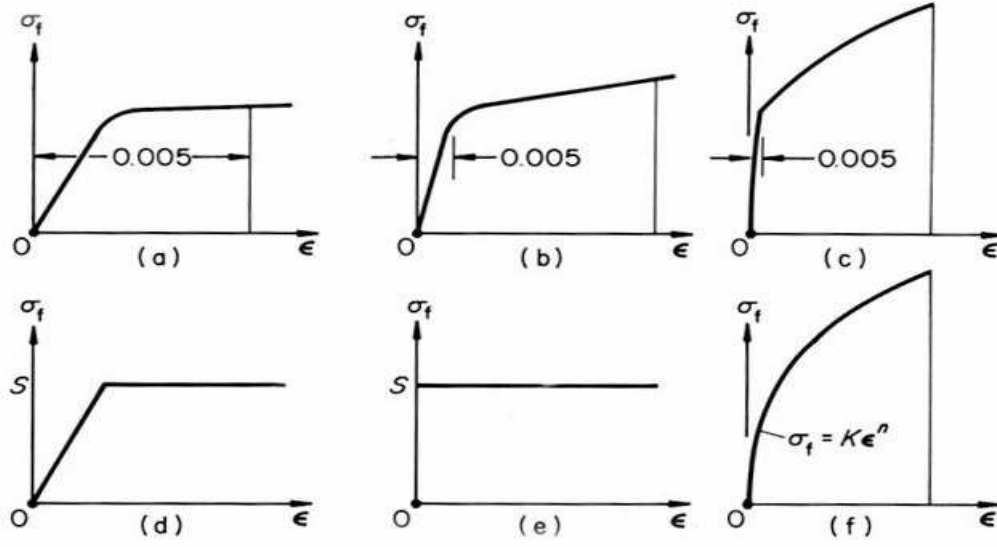
1. Malzemenin kalitesine,
2. Malzemenin kalınlığına,
3. Uygulanan kuvvete,
4. Bükme yarıçapına,
5. Bükme açısına.

3.4. Malzemenin Davranışı

Malzemelerin mekanik özellikleri akma gerilmesi σ_f ile şekil değiştirme ϵ nin deneysel eğrileri ile ifade edilir. Şekil 3.10’ deki altta yer alan diyagramlar birbirine yakın olmasına rağmen gerinim değerleri olarak birbirlerinden farklılık gösterirler. Şekil (3.10 d)’ de elastik- tam plastik ideal bir malzemenin gerçek gerilme- gerçek gerinme şekil diyagramı bulunmaktadır. Şekil (3.10 e)’ de rijit, tam plastik ideal bir malzemenin gerçek gerilme- gerçek şekil değiştirme diyagramı görülmektedir. Uygulanan gerilme ile malzeme akma sınırına kadar rijittir. Elastik şekil değiştirme olmaz. Akma sınırına ulaştığında da plastik şekil değiştirme olur. Şekil (3.10 f)’ de ise gerilme değeri Eş. 3.1 ile ifade edilebilir [1].

Bu denklemde n pekleşme katsayısıdır.

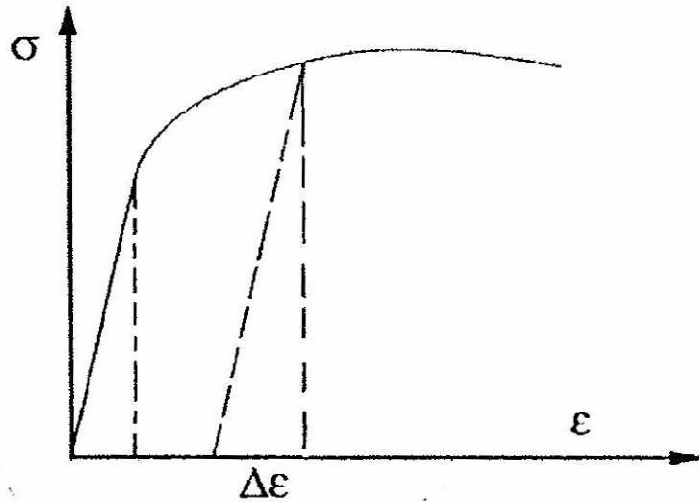
$$\sigma = K \epsilon^n \quad (3.1)$$



Şekil 3.10. Malzeme Modelleri

3.5. Geri Esneme

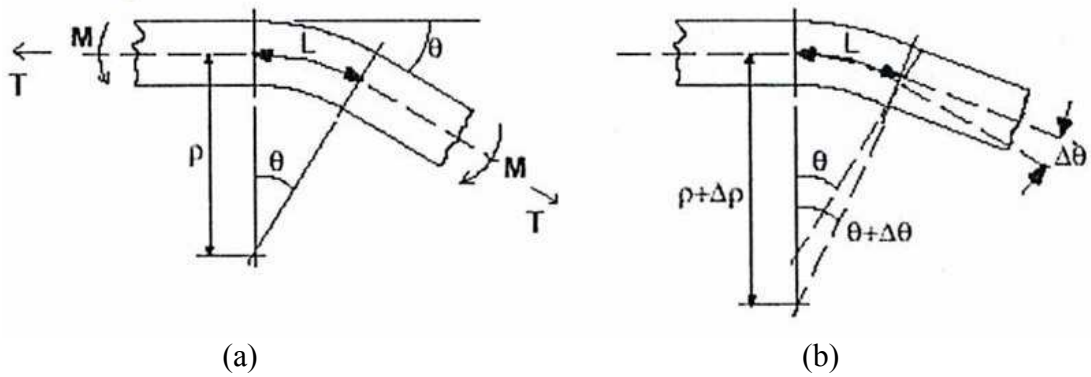
Sac malzeme yüksek çekme, germe ve bükme kuvvetleri altında almış olduğu formu bu kuvvetler üzerinden kalktıktan sonra, malzemenin elastik özelliklerinden dolayı parça geometrisinde meydana gelen büyük oranda elastik ender olarak da elastik-plastik değişim olarak tanımlanan bir geometrik değişim gerçekleştirir (Şekil 3.11). Buna geri esneme denir [47].



Şekil 3.11. Sünek bir metaldeki geri esnemenin akma diyagramı üzerinde gösterilişi

Geri esneme daha farklı bir ifadeyle, form almış sacın gerilme indüklenmiş halden serbest hale geçişi sırasında ters kuvvetler nedeniyle fazladan oluşan geometri değişimi olarak tarif edilebilir.

Geri esnemenin sayısal olarak ifade edilmesinde en çok kullanılan büyüklük “eğrilikteki değişim” dir. Geri esneme hesaplamaları, saca uygulanmasıyla geometriyi bulunduğu duruma getiren kuvvet veya momentin kaldırılması ilkesine dayanır. Geri esneme nicelik olarak pek çok biçimde ifade edilebilir. Bunlardan biri bükülme yarıçapının büyümesi veya başka bir ifadeyle eğriliğin azalmasıdır. Geri esnemenin form verilmiş bir sac kesiti üzerinde gösterilmesi Şekil 3.12’ de verilmiştir. Burada sac kesitindeki tarafsız eksenin eğrilik yarıçapını ifade etmektedir.



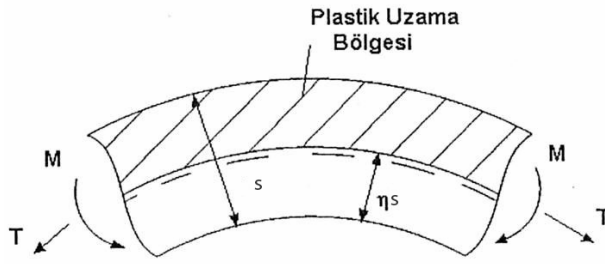
Şekil 3.12. Bükülen bir sac kesiti üzerinde geri esnemenin gösterimi

(a) L boyundaki bir sac kesitinin M momenti T çekme kuvveti etkisinde bükülmesi, ve (b) aynı kesitin yükleme kalktıktan sonraki hali [1]

İki boyutlu kesit üzerindeki harekete bakılırsa tarafsız eksen etrafında bir dönme ve açılma olduğu görülür. Bu form değişikliğini tamamen engellemek mümkün olmadığına göre, yapılacak en makul şey bu değişimin sağlıklı ve doğru bir şekilde geri esnemesini bulmak ve geri esnemenin telafisinin giderilmesine bakılmalıdır.

Geri esneme telafi yöntemi; düğüm noktasının geri esneme sırasında aldığı yolu hesaplayıp aynı şiddette fakat ters yönde bir geometriye uygulamaktır. Yolun bu tür küçük değişimlerde en doğru ifadesi bir yay parçasıdır.

Malzemenin elastik sınır aşıldıktan sonra ükme yarıçapının maksimum olduğu dıştaki liflerdeki gerilme akma gerilmesini aştığında, öncelikle sacın dış yüzeyinden içe doğru plastik deformasyonlar başlar (Şekil 3.13). Plastik deformasyon bölgesi sac kalınlığı s 'nin belli bir bölümünü oluşturmaktadır. Bu bölge η oransal çarpanla $s(1-\eta)$ olarak ifade edilebilir.



Şekil 3.13. Bükme ve çekme etkisindeki bir sac kesitindeki plastik uzama bölgesinin dış Yüzeyden iç yüzeye doğru $(1-\eta)s$ derinliğinde dağılımı [1]



Şekil 3.14. Bükmenin sebep olduğu molekül hareketleri

Sekil 3.14' de 90° ve geniş açı ile bükülmüş düz levha resmedilmiştir. Şekilde parçanın iç kısımlarında basma, dış kısımlarında ise çekmenin meydana geldiği görülmektedir. Parça büküldüğünde, iç ve dış yüzeyine sırayla basma ve çekme gerilmelerine maruz kalır. Genelde malzemede bası yönündeki gerinim, çeki yönündeki gerinimden daha büyüktür. Uygulanan kuvvet ile parçanın dış kısmı deforme olur fakat iç kısmı henüz akma noktasına ulaşmamıştır. Parçanın iç kısmı eski haline geri dönme eğilimi gösterir. Parçayı eski konumuna getirmeye çalışan bası gerilmesi geri yaylanmayı meydana getirir [2].

Formüllerin birçoğu kompleks plastisite denklemlerine dayanmakta ve başarılı sonuçlar vermektedir. Ancak malzeme özellikleri, takım parametreleri bükme operasyonunda değişikliğe yol açar. Bu da yüksek hassasiyette ve doğrulukta denklemleri geliştirmeyi ve sağlamayı zorlaştırır. Bunun bir nedeni de elastik plastik davranışların bükme operasyonunda olmasıdır. Geri esneme parametreleri için yaklaşık sonuçları veren denklemler vardır. Geri esnemeyi yaklaşık olarak hesaplayabileceğimiz denklem

$$\frac{R_0}{R_1} = 4 \left(\frac{R_0}{t} \frac{\sigma_y}{E} \right)^3 - 3 \left(\frac{R_0}{t} \frac{\sigma_y}{E} \right) + 1 \quad (3.2)$$

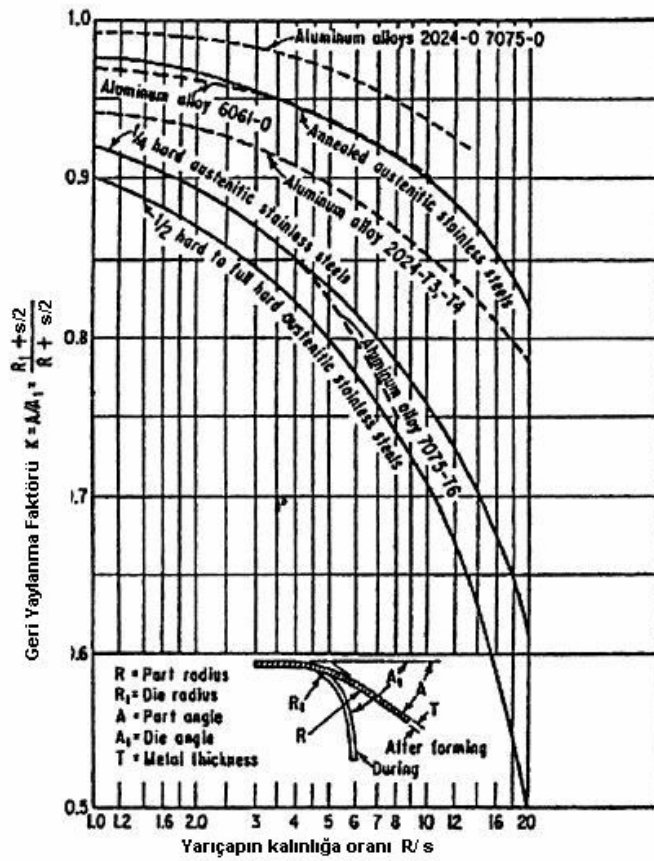
R/S oranı ve malzemenin çekme dayanımı ile geri esneme artar, elastisite modülü arttıkça da geri esneme azalır. V bükme işleminde geri esneme negatif geri esneme gösterdiği gibi pozitif olması da mümkündür. Fakat serbest bükme de ise negatif geri esneme baskısızlıktan dolayı meydana gelmez. Düzlemsel bükme gerilmesi halinde aşağıdaki formül kullanılabilir:

$$\frac{R_0}{R_1} = 4 \left(\frac{R_0}{t} \frac{\sigma_y}{E} (1 - \nu^2) \right)^3 - 3 \left(\frac{R_0}{t} \frac{\sigma_y}{E} (1 - \nu^2) \right) + 1 \quad (3.3)$$

3.6. Geri Esnemeye Etki Eden Faktörler

Bükme prosesinde malzemenin elastik limitler aşılmakta fakat akma limitleri aşılmamaktadır. Yük kalktığı zaman basmaya maruz kalan kenarlar genişlemeye çalışacak ama malzemenin çekmeye maruz kalan kısımları ise küçülmeye çalışacaktır. Sonuçta malzeme geri esneme yapacak ve bükülmüş malzemede açılacaktır. Geri esneme; malzeme kalınlığına, malzeme ve proses parametrelerine, malzeme özelliğine (elastisite modülü, çekme dayanımı), zımbanın malzeme üzerinde kalma periyodu, kalıp boyutları gibi parametrelere bağlıdır. Örneğin serbest bükme prosesindeki kalıplar arasındaki boşluğun büyük olması geri esnemeyi

arttırıcı bir faktördür. Bükme ve geri esneme hakkındaki literatüre baktığımızda; sac parçaların çeşitli kalınlıktaki farklı geri esneme derecelerini gösteren grafikler yeterli olmamaktadır. Şekil 3.15’ de farklı malzemeler için bükme yarıçapı fonksiyonu olarak geri esneme oranı verilmiştir. Bükme kalıp tasarımcıları hesaplama ya da deneysel metotları kullanarak bükme kalıbının açısını hesaplayabilir. Fakat bu hem vakit hem de para kaybına yol açmaktadır. Oysaki geri esneme açısı biliniyor olsa tasarımcı geri esneme açısını ekleyerek bükme kalıbının açısını hesaplayabilir [1].



Şekil 3.15. Farklı malzemeler için bükme yarıçapı fonksiyonu olarak geri esneme oranı

4. SONLU ELMANLAR YÖNTEMİ VE MODELİ

Sonlu elemanlar yöntemi ile sac parçanın bükme analiz tasarımı belirli yük ve sınır koşullarında bükme analizlerinin simüle edip, bu yüklere tepkisini bulmanın bir yöntemidir. Dizaynın modellenmesi parçaların küçük örgü bölümlerine ayrılması ile her parçacığın yük'e karşı vereceği tepkiyi ifade eden denklemleri vardır. Elemanlar sonlu sayıda bilinmeyi içerir; sonlu elemanlar tabiri buradan gelir. Günümüzde analiz programlarının sayısı gün geçtikçe artmaktadır. Sonlu elemanlar metodu; karmaşık olan problemlerin daha basit alt problemlere ayrılarak her birinin kendi içinde çözülmesiyle tam çözümün bulunduğu bir çözüm şeklidir.

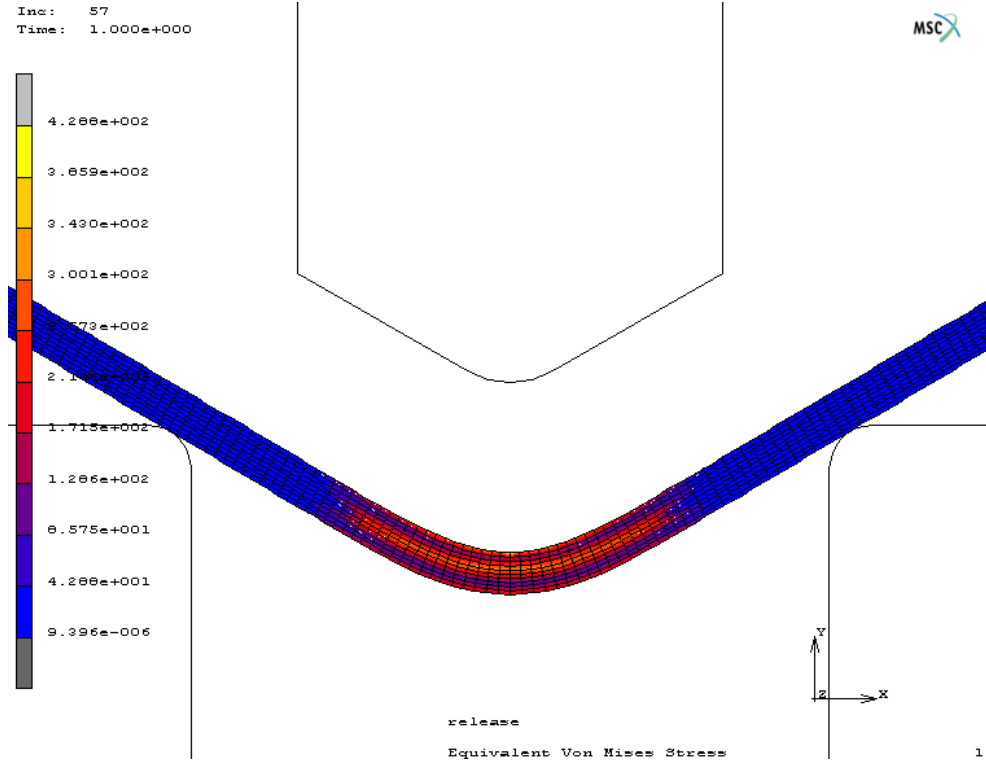
Sonlu elemanlar yöntemi kullanarak sac şekillendirmesini simüle etmek amacıyla birkaç farklı yöntem mevcuttur. Bunlar formülasyonlarındaki farklılıklara veya zaman parametresini ele alışlarına göre sınıflandırılabilir. Bu yöntemlerin birbirlerine göre avantajları ve dezavantajları bulunduğundan farklı yazılımlar birini veya birkaçını esas alan çözümler sunmaktadırlar.

LS-DYNA geniş eleman kütüphanesi, gerek ısı transferi gerekse gerilme analizi yapabilmesi gibi özellikleri ile pek çok uygulama alanında kullanılmaktadır. Genel olarak araştırma amaçlı ve çokça da üniversitelerde tercih edilir. Sonlu elemanlarla analiz yapan yazılımların en eskilerinden biridir. Autoform İsviçre kökenli bir yazılım olup diğer yazılımlara göre daha yenidir. Statik implisit yöntemle çalışır. Tek adımlı ve artımlı hesaplamalar yapabilir [1].

4.1. Sonlu Elemanlar Modeli

Bu çalışmada bükme operasyonun sonlu elemanlar analizi Marc-Mentat yazılımı kullanılmıştır (Şekil 4.1). Marc-Mentat'ın kuvvetli teorik yapısından dolayı mühendisler tarafından bilgisayar simülasyonlarında kullanılmaktadır. Marc-Mentat genel amaçlı bir sonlu eleman programıdır. Marc-Mentat sonlu eleman modellerini oluşturmak gayet başarılı sonuçlar elde edebilen programdır. Marc-Mentat her çözüm artışında bir denklem sistemini tamamen çözer. Marc-Mentat sonlu elemanlar

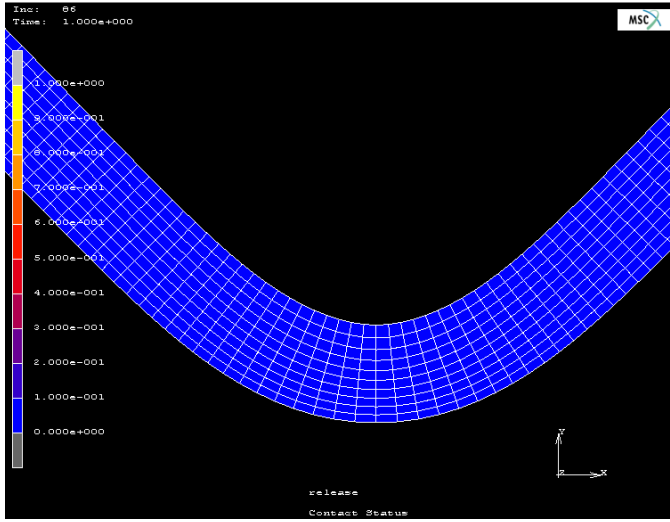
analizinde malzeme özellikleri, sınır koşulları, temas yüzeyleri, çözüm adımları, geometrik özellikler gibi bilgilerin girilmesi ile analizin ilk kısmı tamamlanır. İkinci adım ise verilen bu girdileri çözüme yollamak ve çözüm sonunda da istenilen grafikleri elde etmektir.



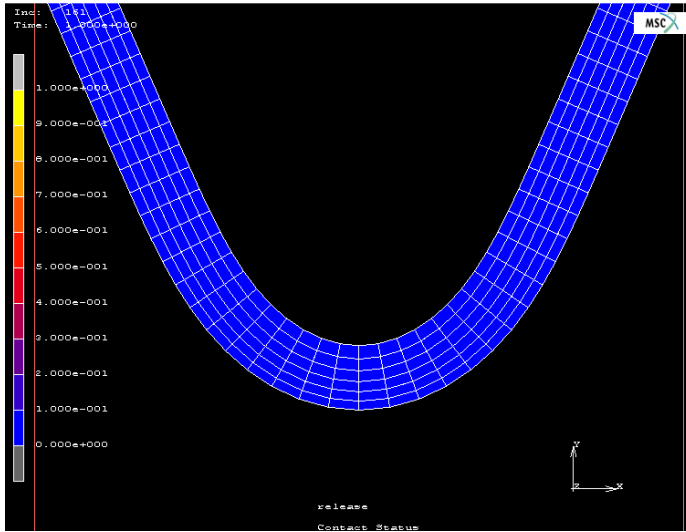
Şekil 4.1. Sonlu elemanlar bükme operasyonu

4.2 Örgü Yapısı

Sonlu elemanlar analizlerinde modeller küçük örgülere ayrılarak hesaplamalar yapılmaktadır. Bu çalışmada, bükme operasyonunun simülasyonu düzlemsel gerinim (plane strain) durumunda yapılmıştır. Bu kabul ile model sadeleştirilerek üç boyut yerine iki boyutlu hali tercih edilmiştir. Örgü yapısında eleman sayısını arttırmak çözümün hassaslaşmasını sağlamaktadır (Şekil 4.2, 4.3).



Şekil 4.2. Serbest V Bükme operasyonundaki modelin örülmüş hali 1000 adet



Şekil 4.3 .Serbest V Bükme operasyonundaki modelin örülmüş hali 420 adet

4.3. Malzeme Özellikleri

Birçok malzeme çeşidi bu yazılımda kullanılabilir. Bunlar izotropik, ortotropik, anizotropiktir. Bu çalışmada izotropik malzeme seçilmiştir. Mühendislikte kullanılan metallerin çoğu (çelik v.b.) izotropiktir. Tanımı için basitçe yoğunluk, elastisite modülü ve Poisson oranı yeterlidir. izotropik seçilmesinin başka bir nedeni ise analizi basitleştirmektir.

Diğer malzeme çeşitlerinden ortotropik malzemeler; dokuz bağımsız sabit ve yoğunluk ile tanımlanır. Ortotropik malzemeler bir koordinat sistemine göre tanımlanır. Anizotropik malzemeler ise 21 bağımsız sabitten ve yoğunluktan oluşur. Bu simülasyonda malzeme özelliği olarak elastisite modülü, poisson oranı ve gerilme-gerinim dağılımının grafiği girilmiştir [1].

4.4. Kinematik Deformasyon

Bu yazılımda kinematik deformasyonlar Lagrange formülasyonları ile tanımlanır. Bu çalışmada Lagrange formülasyonu sonlu elemanlar ağı malzemeye bağlandığında ve malzeme ile tüm yüzey boyunca hareket ettiğinde uygulanır.

Denge gerçek iş prensibi ile anlatılır[27]

$$\int_{V_0} S_{ij} \delta E_{ij} dV = \int_{V_0} b_i^0 \delta \eta_i dV + \int_{A_0} t_i^o \delta \eta_i dA \quad (4.1)$$

S_{ij} : 2. Piola-Kirchhoff gerilme tensörü

E_{ij} : Lagrange gerilme tensörü

b_i^0 : Referans durumundaki gövde kuvveti

t_i^0 : Referans durumundaki çekme kuvveti

η_i : Gerçek yer değiştirme

Denklem (4.1)'in sol tarafı doğrudan lineerleştirildiğinde denklem (4.2) elde edilir.

$$\int_{V_0} S_{ij} (d(\delta E_{ij})) dV = \int_{V_{n+1}} \nabla \eta_{ik} \sigma_{kj} \nabla \Delta u_{ij} dv \quad (4.2)$$

Burada Δu ve η sırasıyla gerçek artış ve gerçek yer değiştirmedir ve σ_{kj} Cauchy gerilme tensörüdür ve aşağıdaki gibi gösterilebilir:

$$\sigma_{ij} = \frac{1}{J} F_{im} S_{mn} F_{jn} \quad (4.3)$$

$$\delta E_{ij} = F_{mi} \nabla^S \eta_{mn} F_{nj} \quad (4.4)$$

$$L_{ijkl} = \frac{1}{J} F_{im} F_{jn} F_{kp} F_{lq} D_{mnpq} \quad (4.5)$$

D_{mnpq} referans durumundaki malzeme modül tensörünü temsil eder ve şimdiki durumda L_{ijkl} olarak adlandırılır.

$$\int_{V_o} dS_{ij} (\delta E_{ij}) dV = \int_{V_{n+1}} \nabla^S \eta_{ij} L_{ijkl} \nabla^S (\Delta u_{kl}) dv \quad (4.6)$$

Şimdiki durumda gradyan operatörünü ifade eden ∇^S, ∇' 'nın simetrik kısmıdır.

Referans durumu şimdiki durum olduğu zaman, hız formülasyonu Eş. 4.7' deki gibi elde edilir.

$$\int_{V_{s+1}} \left[\sigma_{ij}^{\nabla} \delta d_{ij} + \sigma_{ij} \frac{\partial v_k}{\partial x_i} \frac{\partial \delta \eta_k}{\partial x_j} \right] dv = \int_{V_{n+1}} b_i \delta \eta_i dv + \int_{A_{s+1}} t_i \delta \eta_i da \quad (4.7)$$

$$\{K_1 + K_2\} \delta u = F - R \quad (4.8)$$

Burada K_1 malzeme stiffness matrisi ve K_2 geometrik stiffness matrisidir.

4.5. Doğrusal ve Doğrusal olmayan çözümleme

4.5.1 Doğrusal çözümleme

Doğrusal analiz, doğrusal gerilme-gerinim ilişkisini esnek yapılarda gerçekleştirir. Malzemeye yük uygulama özelliği doğrusallık koşulları altında tutulur. Bu yüzden, birkaç düğüm çözümü bir analize ait toplam çözümü sağlamak için üzerine koyulmuştur. Doğrusal analiz, doğrusal olmayan analizin yaptığı gibi çözümleri çok miktarlar olarak depolamaz; bu yüzden daha fazla çekirdek belleği kullanır [28].

4.5.2 Doğrusal olmayan çözümleme

Doğrusal olmayan çözümlemenin üç ana kaynağı vardır.

- Doğrusal olmayan malzeme
- Geometrik doğrusallık
- Doğrusal olmayan sınır koşulları

Doğrusal olmayan malzeme, gerilme ve gerinim arasındaki doğrusal ilişkiden sonuçlanır. Doğrusal olmayan malzeme davranışını tanımlayan çeşitli modeller vardır.

Elasto-plastik ve elasto-viskoplastic doğrusal olmayan malzeme için örnek gösterilebilir. Doğrusal olmayan geometrik sonuçlar gerinim ile yer değiştirme arasında ve gerilme ile yük arasındaki doğrusal olmayan ilişkiden sonuçlanır. Doğrusal olmayan geometrik problemlerin iki ana türü, büyük uzaklık problemleri ve bükülme problemleridir [27].

Bu tezde analizlerin tamamı doğrusal olmayan analiz olarak gerçekleştirilmiştir.

4.6. Analizin Modellenmesi

4.6.1 Modelin örülmesi

Bu çalışmada, bükme operasyonunun simülasyonu düzlemsel gerinim (plane strain) durumunda yapılmıştır. Bu kabul ile model sadeleştirilerek üç boyut yerine iki boyutlu hali tercih edilmiştir. Örgü yapısında eleman sayısını arttırmak çözümün hassaslaşmasını sağlamaktadır. Bu çalışmada kalınlık beş eşit parçaya bölünerek örgü yapısı oluşturulmuştur. İdeal örgü sayısı olarak 1000 adet örgü ile işlem yapılmıştır.

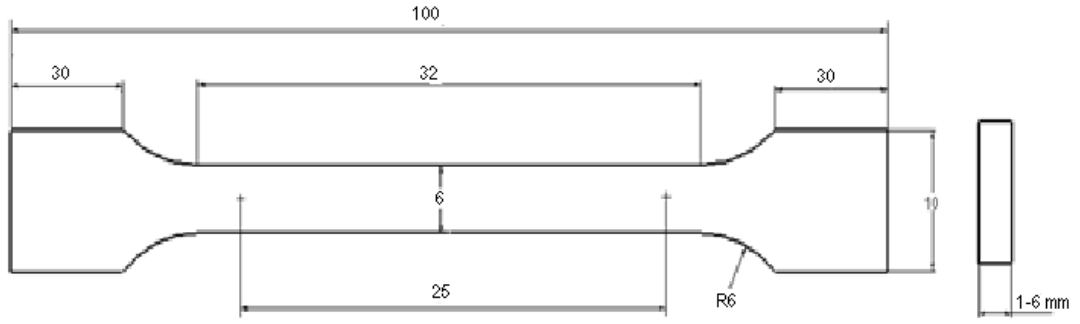
4.6.2. Sınır koşulları

Alt ve üst kalıp analitik sabit parçalar olarak kabul edilmiştir. Tüm Serbestlik dereceleri kısıtlanarak sadece zımbanın aşağıya inmesine olanak sağlanmıştır. Malzeme ise elastik plastik malzeme olarak tanımlandığından zımba aşağıya doğru inerken alt kalıba sürtünerek aşağıya doğru şekil almaya başlamaktadır. Alt kalıp sabitlenerek, üst kalıbın ise düşey yönde hareket ettirilerek parçaya şekil vermesi sağlanmıştır.

4.6.3. Malzemenin modellenmesi

Bükme işlemi Marc Mentat analiz programı ile gerçekleştirilmiştir. Malzemeyi tanımlayabilmek için numunelerden 3 adet Şekil 4.4 de gösterilen standart değerlerde Şekil 4.5 de gösterilen cihazla çekme testi yaptırılarak Şekil 4.6 ve Şekil 4.7 de gösterilen AISI 304 paslanmaz çelik ve dkp çelik için true stress plastik strain grafiği elde edilmiştir.

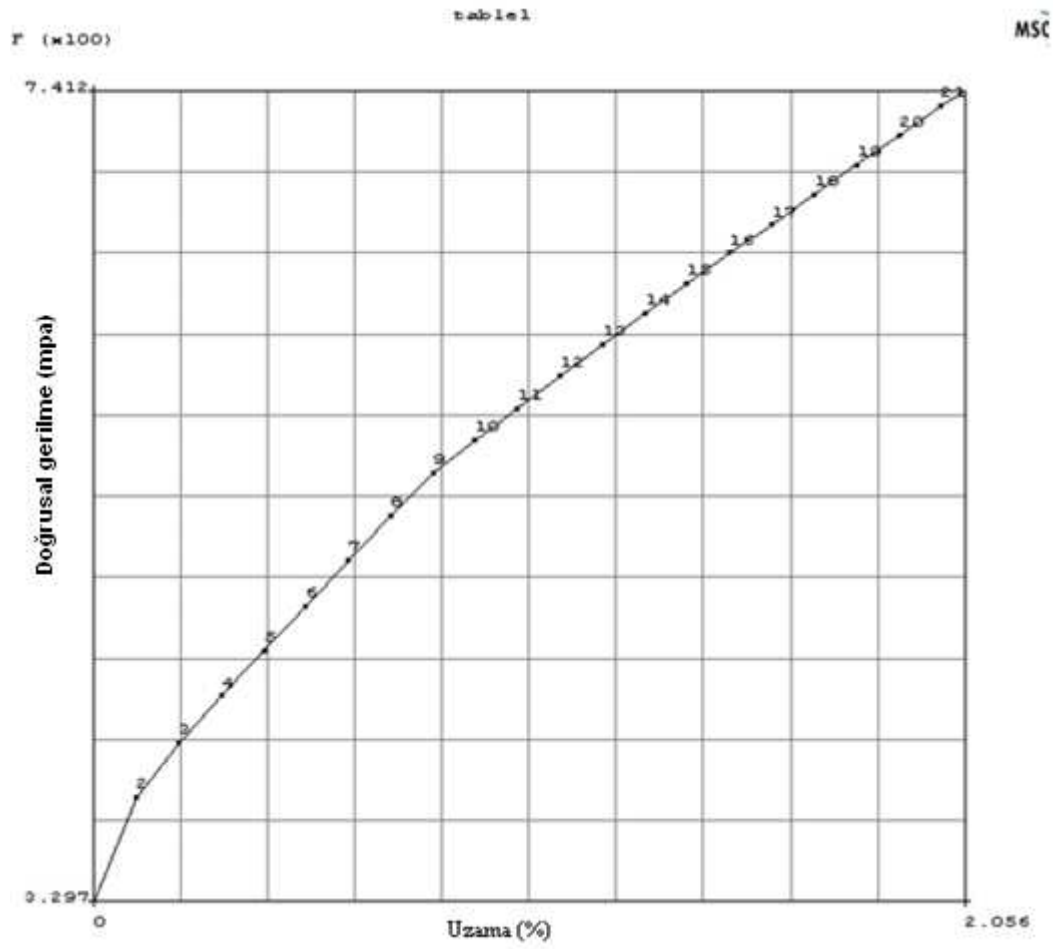
Bu analizde malzeme özelliği olarak, özkütle, elastikiyet modülü, poisson oranı ve gerilme- gerinim dağılımının grafiği girilmiştir (Çizelge 4.1, 4.2).



Şekil 4.4. Çekme testinde kullanılan standart numune ebatları



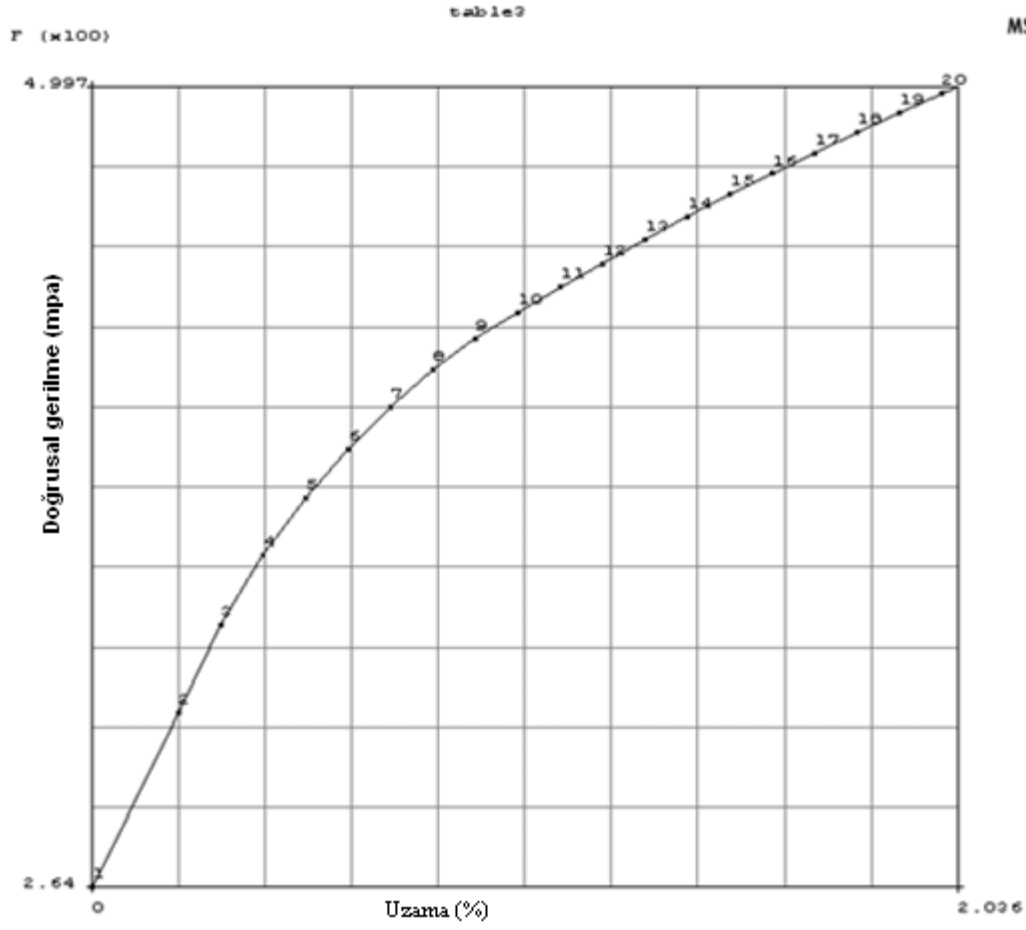
Şekil 4.5. Çekme testi aparatı



Şekil 4.6. AISI 304 Paslanmaz çelik için gerilme - gerinim Grafiği

Çizelge 4.1. Paslanmaz çelik için kullanılan değerler

ELASTİKİYET MODÜLÜ	POISSON ORANI	YOĞUNLUK
190000 Mpa	0,3	7,9e-009 kg/mm ³



Şekil 4.7. Dkp çelik için gerilme - gerinim grafiği

Çizelge 4.2. Dkp çelik için kullanılan değerler

ELASTİKİYET MODÜLÜ	POISSON ORANI	YOĞUNLUK
200000 Mpa	0,3	7,8e-009 kg/mm ³

4.6.4. Temas yüzeyleri

Bu çalışmada, zımba aşağıya doğru sert bir şekilde inerek sabit olan alt kalıba malzeme sürtünerek aşağıya doğru sürüklenir. Zımbanın sayısal olarak yapacağı işlem tanımlanarak izleyeceği yol belirlenir. Girilen bilgiler doğrultusunda zımbanın hareketi için sonlu elemanlar analizi ile çözümleme yapılır [27].

4.6.5. Sürtünme modeli

Sürtünme; yüzey pürüzlülüğünün, sıcaklık, normal gerilme ve rölatif hız gibi parametreler içeren karmaşık bir fiziksel konudur. Bu çalışmada tercih edilen Coulomb sürtünme modelidir.

$$\sigma_{fr} \leq -\mu \sigma_n t_f$$

σ_{fr} : Sürtünme (tangential) gerilme

σ_n : Normal gerilme

μ : sürtünme katsayısı

t_f : rölatif ivme yönündeki birim sürtünme vektörü

Coulomb modeli aynı zamanda, gerilmelerin yerine düğüme ait güç koşullarında da yazılabilir.

$$|f_t| < \mu \cdot f_n \quad (\text{çubuk}) \quad \text{ve} \quad f_t = -\mu \cdot f_n \cdot t \quad (\text{kayma})$$

f_t : Tanjant yük

f_n : Normal tepki yükü [28].

4.6.6. Yazılım prosedürü

Doğrusal olmayan yazılımlarda artarak çözüm yapan yazılımlar, her yük ve zaman artışında artarak çözümü planlar ve her seferinde döngü tekrarlanarak yeniden bunları çözer ve çözümün sonu tek bir çözüme sahip değildir. Doğrusal olmayan bir problem bazen, doğru olarak tanımlanmasına rağmen herhangi bir çözüme sahip olmaz [28].

Bu tezde; Newton-Raphson Algoritma'sını tercih edilmiştir. Newton- Raphson algoritması, doğrusal olmayan analizlerde bükme gibi büyük yer değiştirme problemlerine sahip durumlarda en iyi sonuçları elde etmeye çalışır [28].

5.YAPAY SİNİR AĞLARI:

Sayısal bilgisayarlar tamamen kendileri için tanımlanmış komut dizilerini yürütmekte oldukça başarılıdırlar. Öte yandan insan beyni, sayısal bilgisayarlarla yapılması zor olan gürültülü bir ortamda ve kısmen bozulmuş bilgi ile görme, konuşma, bilgi düzeltmesi ve şekil tanıma gibi işlerde başarılı bir davranış gösterir [29, 30].

Yapay sinir ağ modelleri üzerinde, yapay zekanın çeşitli alanlarında yıllarca çalışılmıştır. Bir yapay sinir ağı, insan sinir sisteminin bazı fonksiyonlarını modelleyen ve onun bazı yeteneklerini yakalamak isteyen basit hesaplama birimlerinin (nöronların) yoğun bir paralel dizisidir. Nöral ağların başka bir tanımı şu şekilde verilebilir. Yapay sinir ağları, basit elemanların yoğun bir şekilde paralel olarak bağlanmasıyla oluşan ağlardır ve gerçek dünyadaki cisimlerin, aynen biyolojik sinir sistemlerinin yaptığı gibi ilişkide bulunabilmeleri için, belli bir düzende birbirlerine bağlanmış halidir [31].

Yapay sinir ağları konusunda literatüre geçmiş ilk büyük çalışma 1943 yılında W. S. McCulloch ve W. A. Pitts tarafından yapılmıştır.[32] Bu tarihte McCulloch ve Pitts ilk hücre modelini geliştirdiler ve birkaç hücrenin arabağlasımını incelediler. 1949 yılında ise bir nöropsikolojist olan Hebb, sinir ağının davranışını ortaya çıkarmış ve hücre bağlarının değerlerini ayarlamak için bir öğrenme kuralı geliştirmiştir [33].

Minsky, 1960’larda yürüttüğü araştırmasının bir sonucu olarak, basit tek katmanlı ağların bazı çok kolay problemleri çözemeyeceklerini keşfetti. O zamanlarda çok katmanlı ağlar çok az anlaşılmıştı ve çok katmanlı eğitmeyi gösteren hiçbir teori yoktu. 1969 yılında Minsky ve Papert, beraber yazdıkları “Perceptron” adlı kitapta, tek katmanlı ağların XOR işlemini gerçekleştirmek gibi basit işlemleri yapamayacağını ispatlamışlardır [37] .

1986'da, Rumelhart, esas olarak 1974 yılında Werbos tarafından bulunan çok katmanlı algılayıcı (perceptron) tipi ağlar için geriye yayılma algoritması denen bir eğitim algoritması geliştirdi [46]. Bu çalışmayla yapay sinir ağları alanında bir çığır açtılar. Bugün en çok kullanılan algoritma da bu algoritmadır.

5.1. Yapay Sinir Ağlarının Özellikleri

Yapay sinir ağlarının alışlagelmiş bilgi işleme yöntemlerine göre üstünlükleri şu şekilde sıralanabilir [35,36].

Paralellik: Alışlagelmiş olduğu gibi işlem yöntemlerinin çoğu seri işlemlerden oluşmaktadır. Bu da özellikle hız problemlerine neden olur. Mesela, bilgisayarlar beyne göre çok hızlı çalışmasına rağmen beynin toplam hızı bilgisayarlara göre kıyaslanamayacak kadar yüksektir. Doğaları gereği sinir ağları kendilerini düzenlerler başka bir deyişle her düğüm sistem içinde diğer tüm işlemcilerden bağımsız olarak kendi girişleri üzerinde çalışan bir işlemci olarak görülebilir. Yani, ağ bir çözüme yakınsarken, tüm işlemciler meşguldür.

Gerçekleme Kolaylığı: Yapay sinir ağları, karışık fonksiyonlar yerine basit işlemleri içerdiği için gerçeklemek kolaydır.

Yerel Bilgi İşleme: Yapay sinir ağlarında her bir işlem birimi, çözülecek problemin tümü ile ilgilenmek yerine, sadece problemin bir parçası ile ilgilenir. Hücrelerin çok basit işlemler yapmalarına rağmen, sağlanan görev paylaşımı sayesinde çok karmaşık ve zor problemler çözülebilmektedir.

Öğrenebilirlik: Alışlagelmiş veri işleme yöntemlerinin çoğu programlama ile hesaplamaya dayanır. Bu yöntemler ile tam tanımlı olmayan bir problem çözülemez. Ayrıca, herhangi bir problemin çözümü için probleme yönelik algoritma geliştirmek gerekir. Yapay sinir ağları ise problemleri, verilen örnekler ile çözer. Çözülecek problemler için yapı aynıdır.

Genelleme: Geleneksel bilgisayarların bir karakteristiği, istenilen çıkışı üretmek için, tam doğru girişlere ihtiyaç göstermeleridir. Öte yandan sinir ağları girişlerine değişimler olsa bile çıkışı üretebilir. Örneğin, basılı harfleri tanımak için eğitilmiş bir sistem, giriş karakterleri %40 oranında bozulsan bile doğru olarak çalışabilir. Yani, sistem daha önceden tam o tipten hiçbir şey görmemiş olmasına rağmen aynen insanların tamam olmayan veya kısmen hatalı girişlerle yaptığı gibi tanıyabilmektedir. Çalışmalar, insanların çoğunun bir metindeki harflerin yarısından fazlası silinmiş olsa bile o metni okuyabildiklerini göstermiştir. Bilgisayarlar gürültülü girişlere katlanacak şekilde programlanabilirler ancak getirilen ek hesapsal yük çoğu kez bu algoritmaların pratik uygulamalarda kullanılmasını engellemektedir. Sinir ağları bu genellemeyi ayrıntılı programlamadan ziyade, yapılarından dolayı başarılılar.

Çıkarım yapma: Yapay sinir ağları tam olmayan bir eğitim kümesinden tam doğruyu çıkarabilir. Örneğin; alfabeyi tanımak için eğitilmiş bir yapay sinir ağına farklı biçimde yazılmış harfler gösterildiğinde harfleri tanıyabilmektedir. Yani sistem kendine hiç öğretilmemiş bir şeyleri hatırlamıştır. Diğer bir deyişle sistem eğitim kümesinin özünü çıkarmış ve saklamıştır. Böylece eksik girişlere uygun cevap verebilmektedir.

5.2. Aktivasyon Fonksiyonları

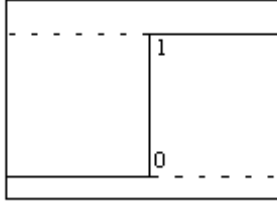
5.2.1. Treshold fonksiyonu

Treshold fonksiyonu aşağıda görüldüğü gibidir. Bu fonksiyon;

$$f(net) = \begin{cases} 1, & net \geq 0 \\ 0, & net < 0 \end{cases} \quad (5.1)$$

yada

$$f(net) = \text{sign}(net) \quad (5.2)$$



Şekil 5.1. Treshold fonksiyonu

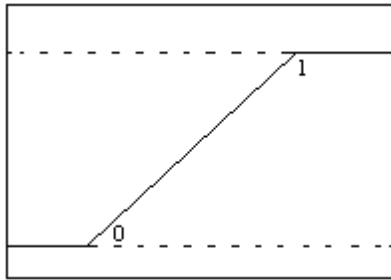
Bu modelde, nöron çıkışı, $net(X, W_k^T)$ değeri pozitif ise 1 aksi halde 0'dır. Bu durum, McCulloch&Pitts modeli özelliklerini gösterir.

5.2.2. Parçalı-linear fonksiyon

Parçalı-linear fonksiyon aşağıda tanımlandığı gibidir.

$$f(net) = \begin{cases} 1, & net \geq 1 \\ net, & 1 > net > -1 \\ -1 & net \leq -1 \end{cases} \quad (5.3)$$

Şekil 5.2.'de bu fonksiyonun grafiği görülmektedir.



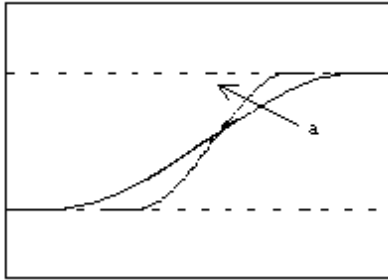
Şekil 5.2. Parçalı-Lineer Fonksiyon

5.2.3. Sigmoid fonksiyon

Sigmoid fonksiyonu, yapay sinir ağlarında yukarda anlatılan fonksiyonlardan oldukça farklıdır. Bu fonksiyon doğrusal davranış ile doğrusal olmayan davranış arasında çok güzel bir denge sağlar. Bu fonksiyon ile nonlinear sistemlerin davranışı daha iyi karakterize edilebilir. Bu fonksiyon aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$f(net) = \frac{2}{1 + \exp(-a \cdot net)} - 1 \quad (5.4)$$

Burada a , sigmoid fonksiyonun eğim parametreleri olarak adlandırılır. Bu parametrenin değişmesiyle Şekil 5.3'de görüldüğü gibi farklı eğimlerde sigmoid fonksiyon elde edilir. a parametresinin sonsuza gitmesi ile sigmoid fonksiyonu treshold fonksiyonu haline dönüşür. Bununla beraber sigmoid fonksiyonunda sınır değerler arasında değişim görülürken, treshold fonksiyonunda değişim olmaz.



Şekil 5.3. Sigmoid fonksiyonu

Sigmoid fonksiyonu yerine kullanılan diğer bir fonksiyon ise tanjant hiperbolik fonksiyonudur.

$$f(net) = \tanh(net) \quad (5.5)$$

Yukarıda açıklanan aktivasyon fonksiyonları -1 ile 1 aralığında tanımlıdır. Fakat bazı durumlarda fonksiyonun 1 ile 0 arasında tanımlanması istenebilir. Böyle bir durumda (5.5) 'deki fonksiyonlar aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$f(net) = \begin{cases} 1, & net \geq \frac{1}{2} \\ net, & \frac{1}{2} > net > -\frac{1}{2} \\ 0 & net \leq -\frac{1}{2} \end{cases} \quad (5.6)$$

Sigmoid fonksiyonu 1 ile 0 arasında tanımlanmak isteniyorsa

$$f(net) = \frac{1}{1 + \exp(-a \cdot net)} \quad (5.7)$$

şeklinde bir fonksiyon kullanılır.

5.3. Yapay Sinir Ağı Modelleri

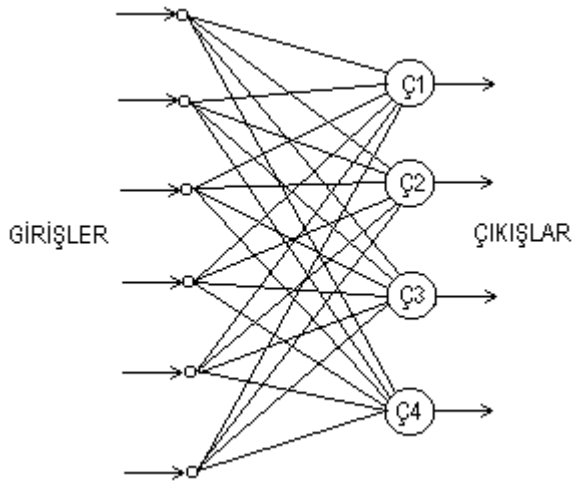
Son 50 yılda çok sayıda ağ modelleri geliştirilmiştir. Bu modellerde biyolojik sinir sisteminin prensiplerinden ve mühendislikte bilinen teorilerden yararlanılmıştır. Genel olarak yapay sinir ağları, iki sınıfa ayrılır: İleri beslemeli ağlar ya da cebrik ağlar ve geri beslemeli ağlar ya da dinamik ağlar. İleri beslemeli ağlar, örüntü tanıma(pattern recognition) problemlerinde, geri beslemeli ağlar ise optimizasyon problemlerinin çözümünde başarılı olarak kullanılabilmektedir [31].

5.3.1. İleri beslemeli ağlar

İleri beslemeli ağlar, işaretin ağ girişinden çıkışına doğru tek yönlü olarak iletildiği ağlardır. Bir katmandaki hücreler, ancak bir önceki katmanın çıkışlarını giriş olarak alabilir. İleri beslemeli ağlar kendi içinde ikiye ayrılır.

5.3.2. Tek katmanlı ileri beslemeli ağlar

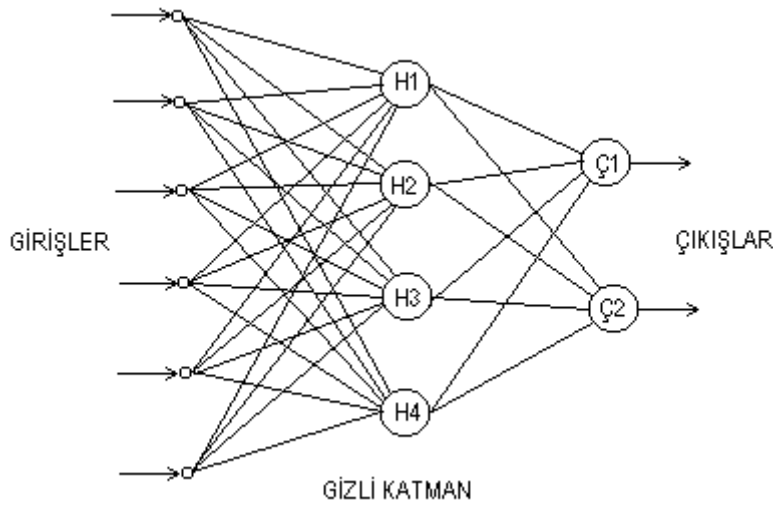
Genelde tek bir hücre, istenen giriş-çıkış işlevini yerine getiremez. Bunun için bağlantı ağırlıkları dışında aynı özelliklere sahip hücreler bir araya getirilerek katmanlar oluşturulur. En basit şekliyle, katmanlı bir sinir ağı giriş katmanı olarak giriş sinyallerinin ağıya uygulandığı katman düşünülebilir. Giriş katmanındaki sinyaller ağırlıklarla çıkış katmanına bağlanmıştır. Böyle bir yapı, tek katmanlı yapay sinir ağı olarak isimlendirilir. Bu yapıda bilgi işlemesi girişten çıkışa doğrudur. Giriş katmanı, hesaplama yapılmadığı için katman olarak sayılmaz. M girişli ve N çıkışlı tek katmanlı ileri beslemeli bir ağ şekil 5.4'de gösterilmiştir [36].



Şekil 5.4. Tek katmanlı ileri beslemeli ağ

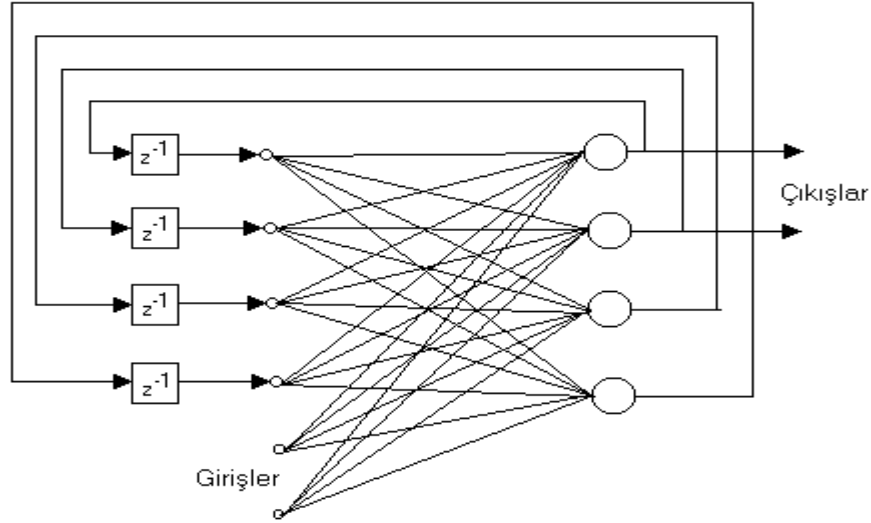
5.3.3. Çok katmanlı ileri beslemeli ağlar

Bu tip sinir ağları, bir yada daha fazla gizli katman bulundurmaları ile ayırt edilebilirler. Gizli katman, giriş katmanı ile çıkış katmanı arasında ilişkiyi oluşturur. Gizli katmanın eklenmesiyle, yapay sinir ağının yüksek derecede matematik işlemlerGiriş katmanının boyutu arttığına, gizli katmanın yüksek derecede matematik işlemyapma kapasitesi daha bir önem taşımaktadır. Şekil 5.5’de çok katmanlı ileri yol ağlarına bir örnek görülmektedir. Buradaki ağ yapısı, tam bağlı ileri besleme ağ yapısıdır. Bazı ağlarda her nöron her nöronla bağlı olmayabilir. Böyle yapılara ise parçalı bağlı ağ yapıları denir.



Şekil 5.5. Çok katmanlı ileri beslemeli ağ

5.3.4. Geri beslemeli yapay sinir ağı



Şekil 5.6. Geri beslemeli ağ

Bu tür ağlarda en belirgin özellik çıkış katmanından elde edilen sinyalin giriş katına uygulanmasıdır. Şekil 5.6'de bu yapıya bir örnek görülmektedir. Bu şekilde gösterilen yapıda öz geri besleme yoktur. Öz geri besleme, her bir nöronun akışının kendi girişlerine tekrar uygulanmasıdır. Ayrıca bu yapı tek katmalı bir sinir ağının geri beslemesidir. Ayrıca çok katmalı ağlarda da geri besleme uygulanabilir. Geri besleme döngüsü yapay sinir ağının performansında ve öğrenme kabiliyetinde çok büyük etki oluşturur. Geri beslemeli ağlarda birim zaman gecikme elemanı bulunur. Bunların özelliği nonlinear dinamik davranış sergilemeleridir.

6.MATERYAL VE METOD

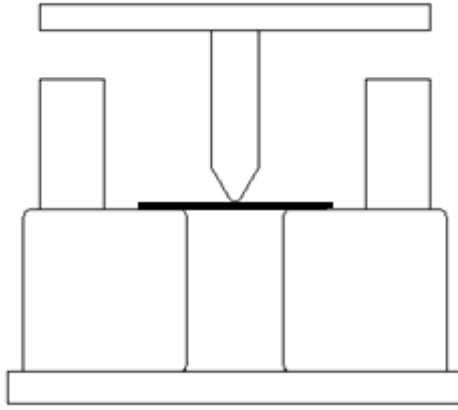
6.1 Serbest “V” Bükme Deney Sonuçları Ve Tartışma

Kalıp ölçüleri belirlenirken bu güne kadar yapılan çalışmalardaki deneysel formüller ve kabuller benimsenmiştir. Kalıbın imali sırasında CNC Freze tezgahı, Tel erozyon tezgahı, Matkap tezgahı, Giyotin, Hidrolik testere tezgahı, Hidrolik pres tezgahı ve bunların ekipmanları kullanılmıştır. Özellikle modüler kalıp parçalarının yapımında tel erozyon tezgahından faydalanılmıştır. Deneyde kullanılan modüler kalıp parçaları tel erozyon tezgahında kararlaştırılan bükme açılarında 0.001 mm . hassasiyetle kesilmiştir. Kalıpların yüzey pürüzlülüğü Ra16 değerindedir. Bu ölçülerin ve bükme şartlarının değişmesi, elde edilen sonuçları da değiştirebilir.



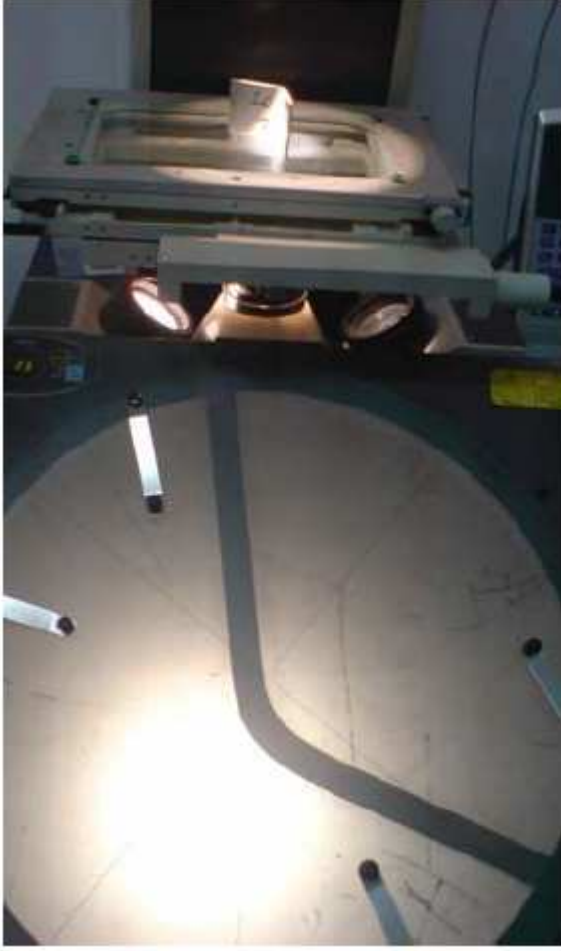
Şekil 6.1. Hidrolik pres

Deney numuneleri 60x20 mm ebatlarında hazırlanmıştır, malzeme ebatlarının küçük seçilmesinin nedeni, dar alanda geri esnemenin daha sağlıklı olarak tespit edilebileceği düşüncesinden kaynaklanmıştır. Deneyler Dkp ve paslanmaz çelik için hadde yönleri bükme eksenine dik olacak şekilde kalınlıkları 1 mm, 2 mm, 3 mm ve 4 mm den oluşan sırasıyla 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105, 120 derece değerlerindeki açılar da ve her açı için de 3 farklı bükme radyüsü kullanılarak bükme işlemleri Şekil 6.2 deki kalıp ile yapılmıştır. Bükülen sac malzemelerin hadde yönü bükme eksenine dik ve pres hızı 50 m/dk olarak bükme işlemleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6.2. Bükme kalıbı

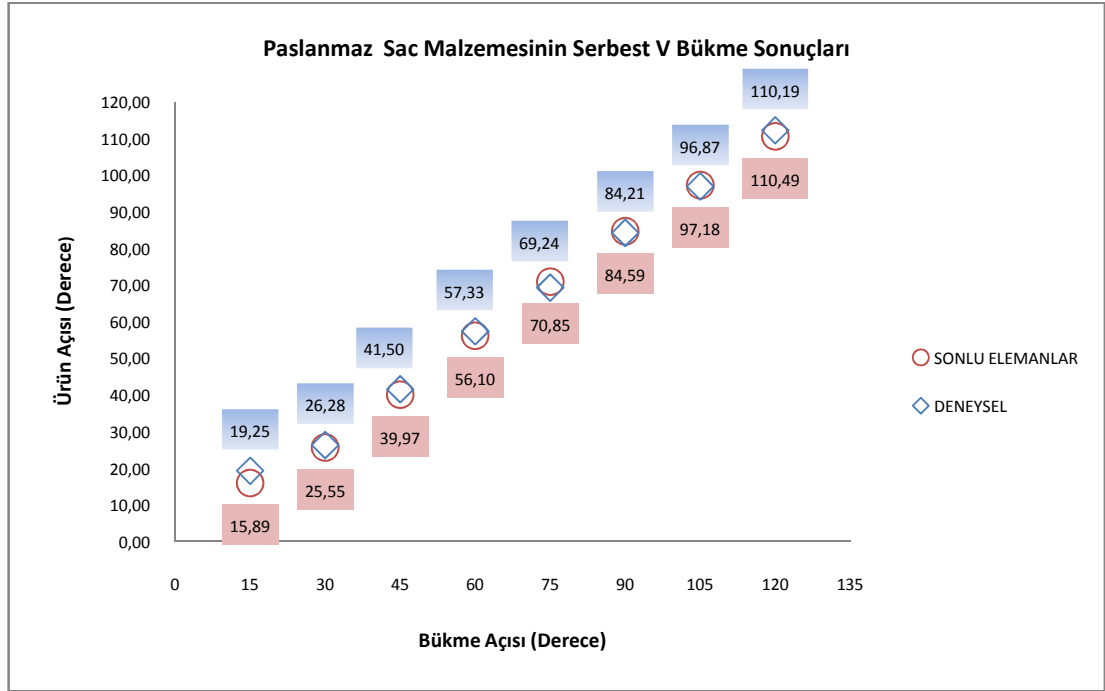
Bükme numunelerinin Şekil 6.3'deki optik projeksiyon cihazı ile ölçülmesinden elde edilen değerler kullanılmıştır. Zımba malzeme üzerinde bekleme yapılmamaktadır. Ek-1 ve Ek-2 de kullanılan kalınlık ve bükme mesafelerine göre elde edilen değerler kalınlıkların açılara ve farklı radyüslere göre incelenmesine olanak sağlamaktadır. Bükme işlemi sonucu farklı malzeme, kalınlık, açı ve radyüs değerlerine göre aşağıdaki grafikler elde edilmiştir.



Şekil 6.3. Optik projeksiyon cihazı

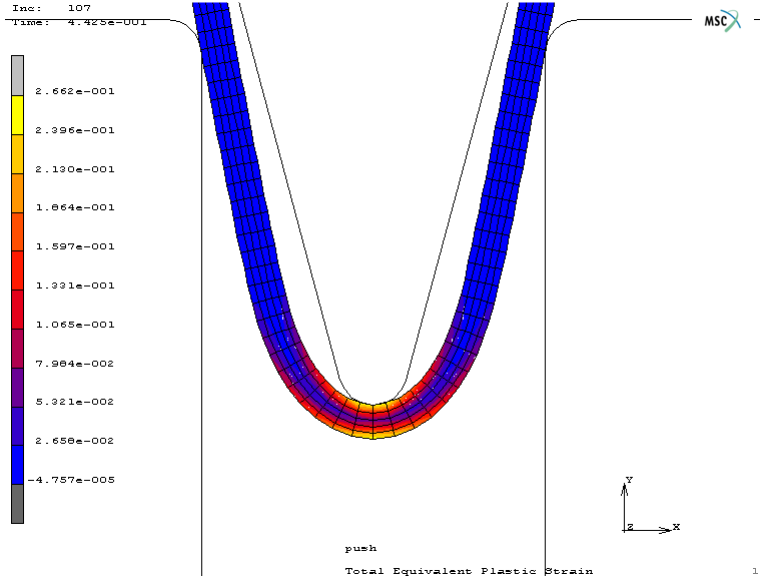
6.2. Serbest “V” Bükme Deney Sonuçları

6.2.1. 1 mm kalınlığındaki paslanmaz sac ve 1 mm zımba radyüs değeri için serbest “V” bükme operasyonu sonuçlarının incelenmesi

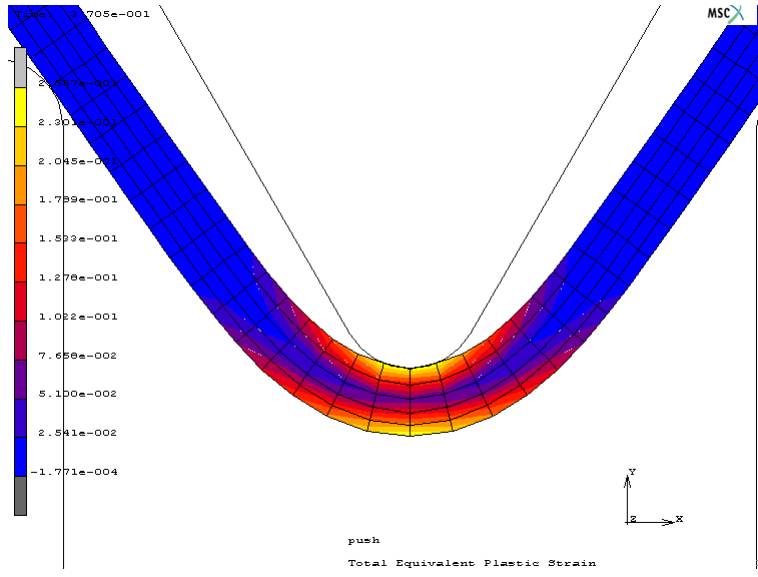


Şekil 6.4. Deneysel ve sonlu elemanlar yönteminin karşılaştırma verileri

1 mm kalınlığındaki paslanmaz sac ve 1mm zımba radyüs değeri için sonlu elemanlar yöntemiyle deney sonuçları karşılaştırıldığında değerlerin birbirine yakın sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Bükme açısı arttıkça geri esneme azalmıştır (Şekil 6.4).

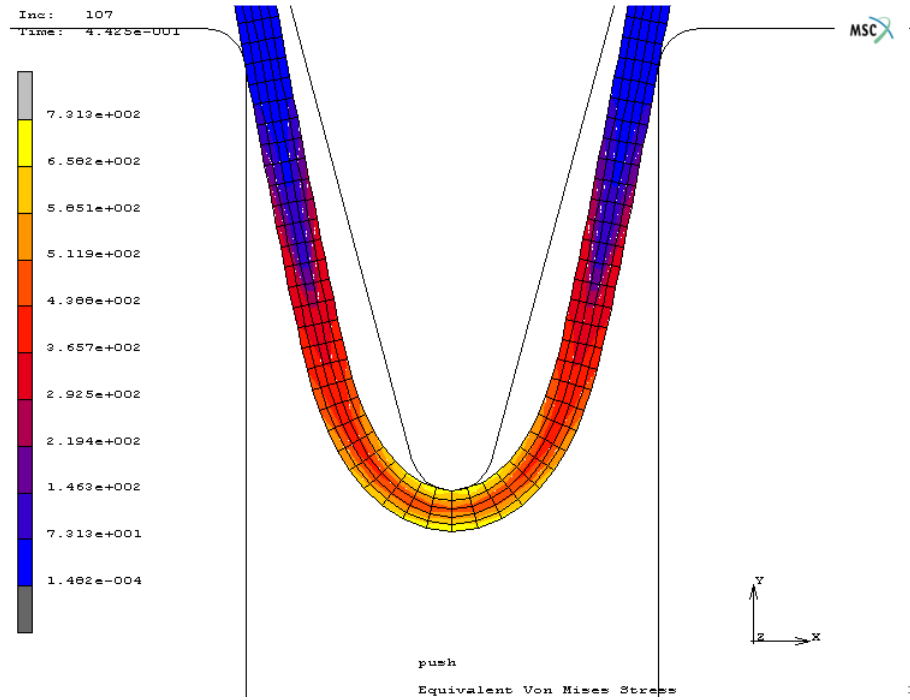


Şekil 6.5. 30 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler

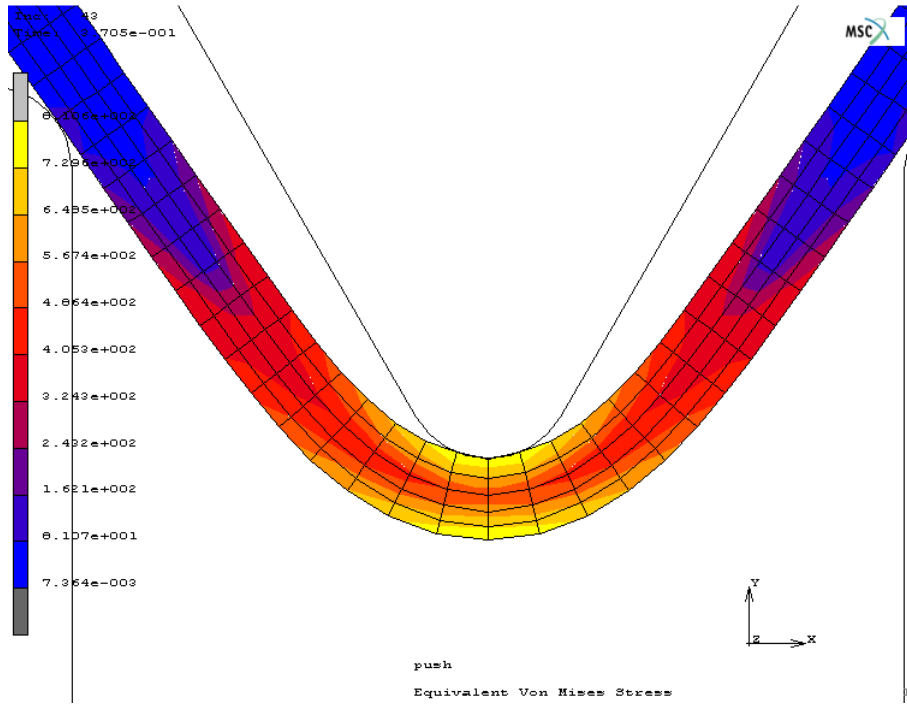


Şekil 6.6. 60 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler

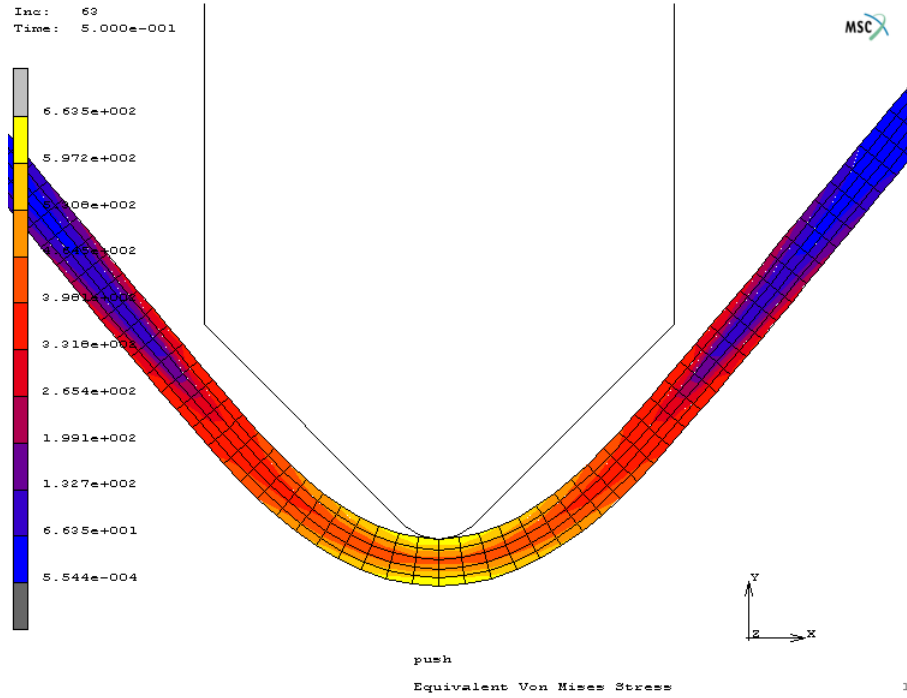
Şekil 6.6, 6.7, 6.8 incelendiğinde iç ve dış kısımlarda gerinime maruz kalan örgü sayılarının eşit çıktığı görülmüştür. Dış kenar yüzeylerde oluşan gerinim değerleri iç yüzeylerde oluşan gerinim değerlerine göre daha küçüktür, nötr bölgeye yaklaşıldıkça dış yüzeye yakın bölgedeki örgülerin gerinim değerleri iç bölgeye göre daha büyük değerlerde olduğu görülmüştür. Dış yüzeyin gerinim değerlerinin daha büyük çıkması uzamaya maruz kalmayan nötr bölgeyi orta eksenden iç kısma doğru taşıyarak kalınlığın 0,45 oranında iç kısımda oluşmasına sebep olmaktadır (Şekil 6.6). İç ve dış kısımlarda 30 derecedeki 12 adet örgü üzerinde %2,6, 60 derecedeki 10 adet örgü üzerinde %2,2, 90 derecedeki 14 adet örgü üzerinde %1,5 oranında gerinim olduğu görülmektedir. Gerinim değerlerine göre dış yüzeyler daha fazla gerinime maruz kalmaktadır. Bükme açısı arttıkça gerinime uğrayan bölge ve uzama miktarıda azalmaktadır.



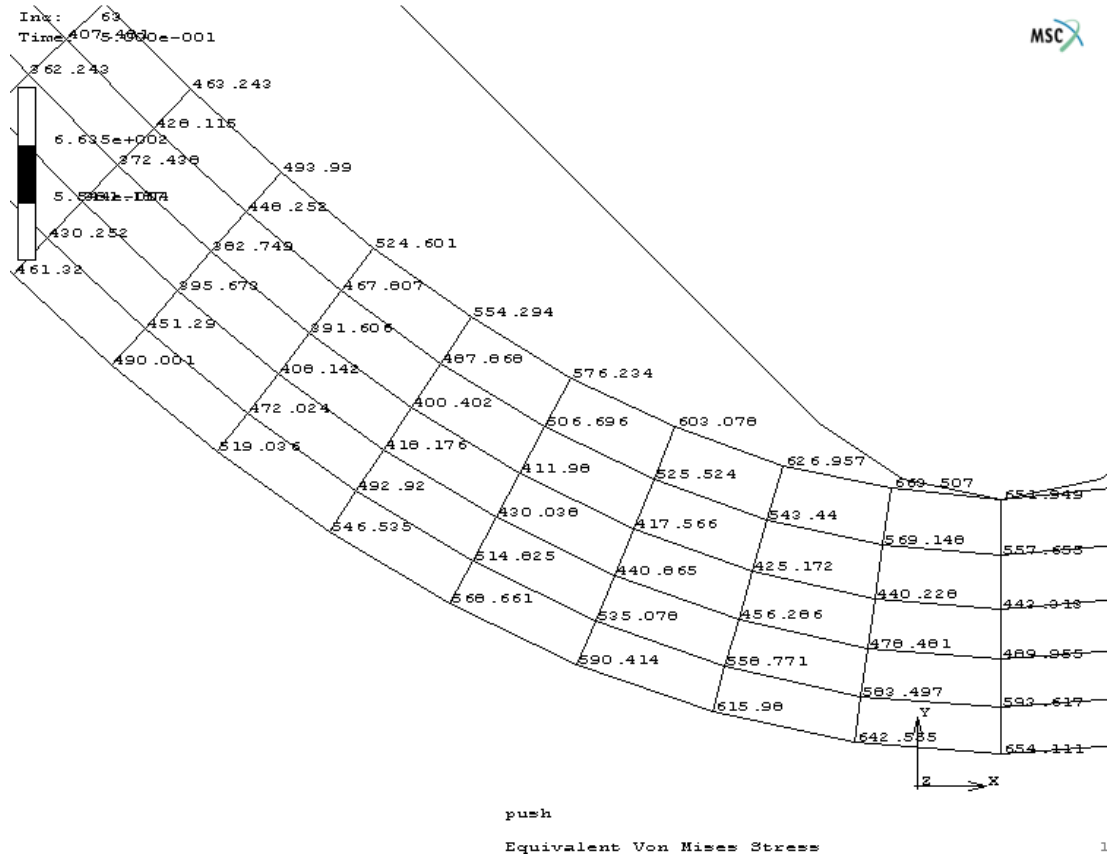
Şekil 6.9. 30 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri



Şekil 6.10. 60 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri



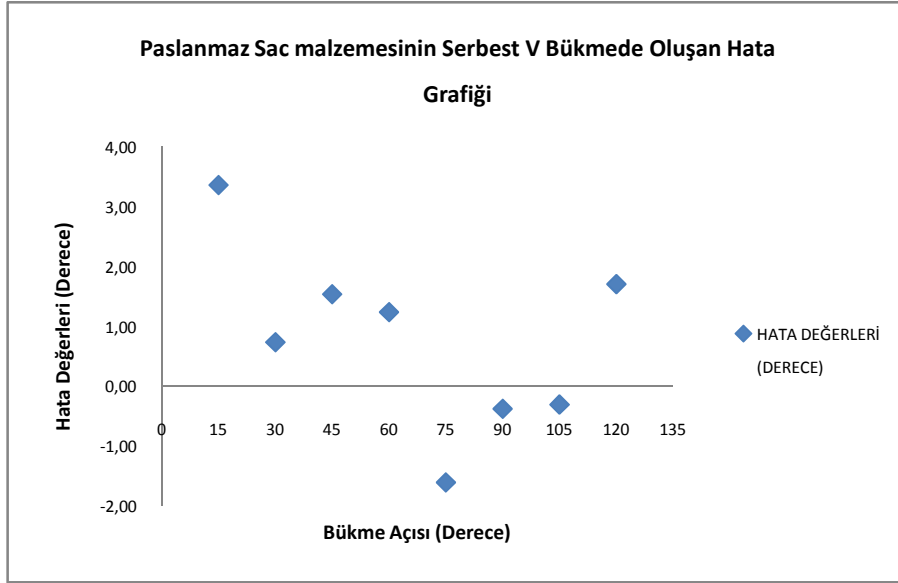
Şekil 6.11. 90 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri



Şekil 6.12. 90 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmelerinin sayısal değerleri

1 mm kalınlığındaki paslanmaz sacının 1mm radyüslü zımba ile bükme işleminde oluşan gerilmeler dış yüzeylerde iç yüzeylere göre daha küçük, nötr bölgeye yaklaşıldıkça dış bölgeye yakın yerlerde ki yükler iç yüzeye göre daha büyük çıkmaktadır (Şekil 6.9, 6.10, 6.11). Nötr bölgenin dış kısımlardaki yükler daha büyük olduğundan, Nötr eksen iç kısma yakın oluşmuştur. Nötr eksen kalınlığın 0,45 oranında iç kısma yakın olduğu görülmüştür. 30 derecelik bükmede kenar örgüler üzerinde 654 mpa gerilme olduğu nötr ekseninde ortalama 450 mpa olduğu, 60 derece bükümünde 730 mpa gerilme olduğu nötr ekseninde ortalama 550 mpa olduğu, 90 derece bükümünde Dış yüzey de 5 örgü üzerinde ortalama 614,344 mpa iç yüzeyde 5 örgü üzerinde 624,345 mpa yük oluşmakta ve nötr eksene yaklaşıldıkça dış yüzeye yakın yerlerin gerilmesi iç yüzeylerden daha büyük çıktığı görülmüştür (Şekil 6.12). Nötr bölgede ortalama 440 mpa olduğu görülmüştür. Bükme açısı arttıkça parça üzerindeki gerilmeler ve parçaya uygulanan bükme kuvveti de azalmıştır. Paslanmaz çelik malzemesi 330 mpa yük üzerinde akma gerilmesine, 750 mpa yük üzerinde de

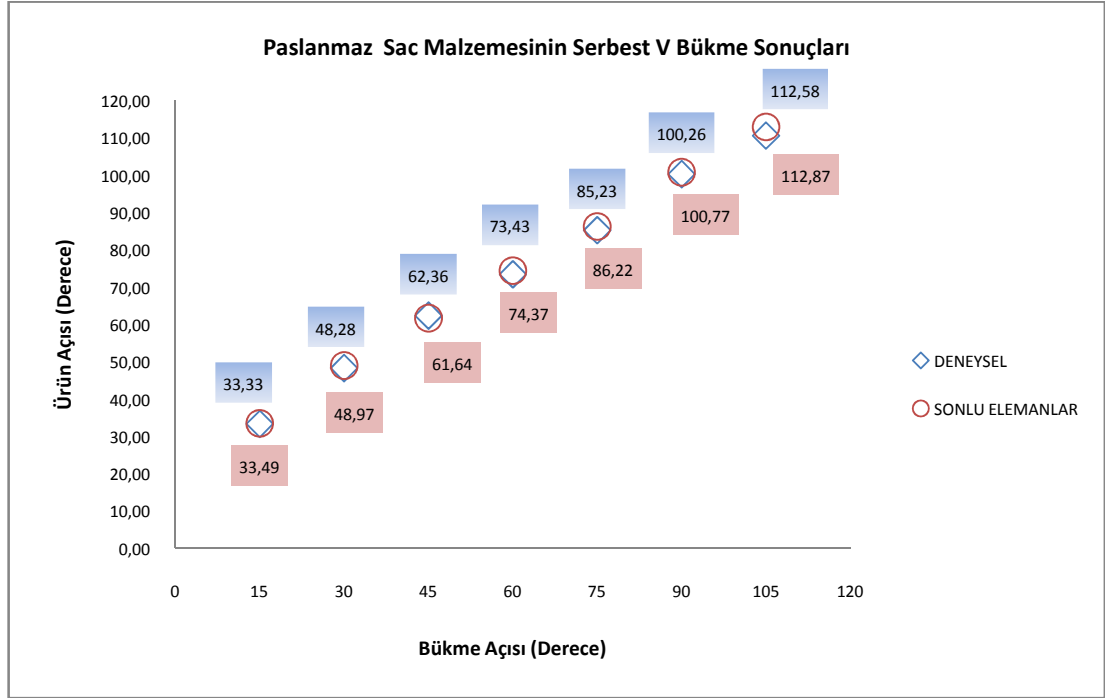
kopma gerilmesine maruz kalmaktadır. Bu veriler dikkate alındığında nötr eksen de kalıcı deformasyonun olduğu görülmektedir.



Şekil 6.13. Deneysel ve sonlu elemanlar yöntemleri arasındaki geri esneme miktarlarındaki hata değerleri

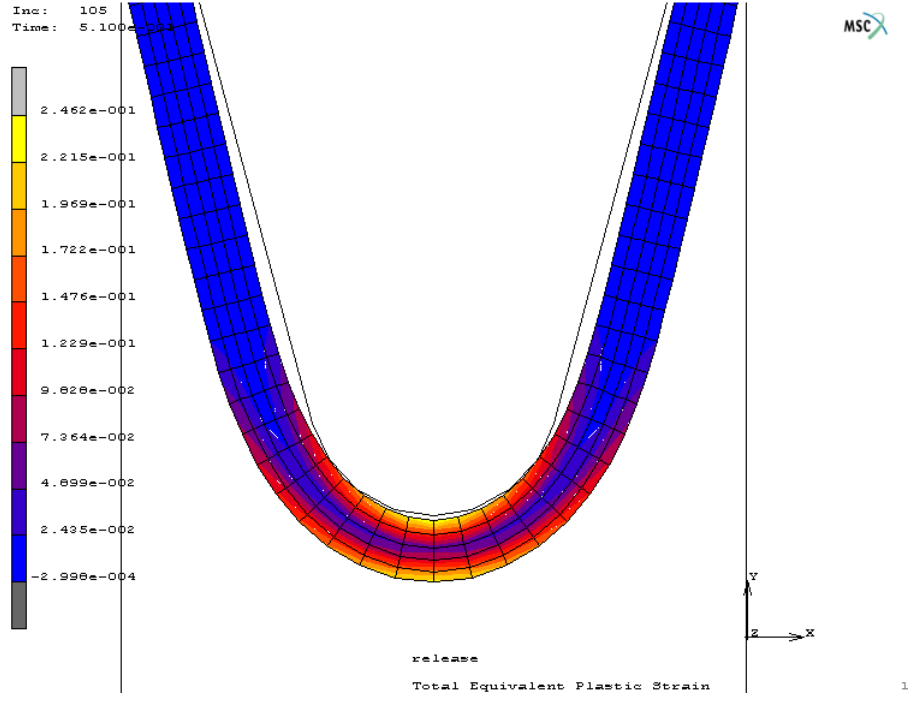
Şekil 6.13'e bakıldığında deneysel veriler ile sonlu elemanlar yönteminin sonuçlarındaki hata miktarları görülmektedir. 15 derece büküm işleminde hata oranının fazla olduğu görülmektedir. Bu bükme açılarında deformasyon miktarlarının fazla olması sonlu elemanlar ile yapılan bükme işlemlerinin hata değerlerini arttırmaktadır. Geri esnemenin malzeme özelliklerinin de bir fonksiyonu olduğu bilinmektedir ve kuvvet büyüdükçe geri esneme de o kadar büyük olacaktır. Kuvveti artıran malzeme kalınlığı ve zımba radüsü geri esnemeyi direk etkileyen faktörlerdir. Aşağıdaki verilerle bu parametrelerin etkileri karşılaştırmalı olarak incelenecektir.

6.2.2. 1 mm kalınlığındaki paslanmaz sac ve 2 mm zımba radyüs değeri için serbest “V” bükme operasyonu sonuçlarının incelenmesi

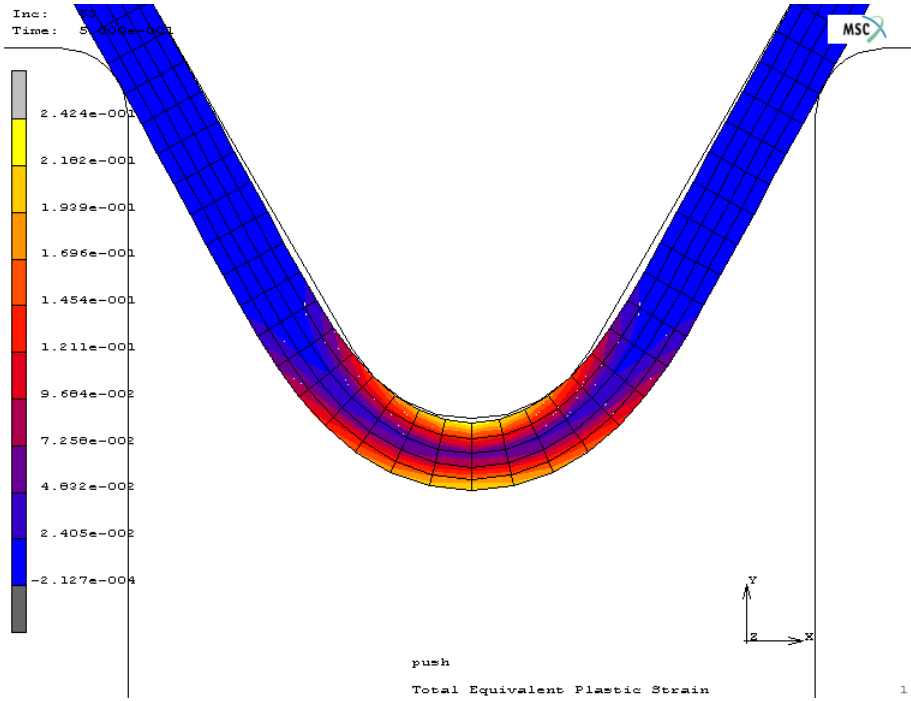


Şekil 6.14. Deneysel ve sonlu elemanlar yönteminin karşılaştırma verileri

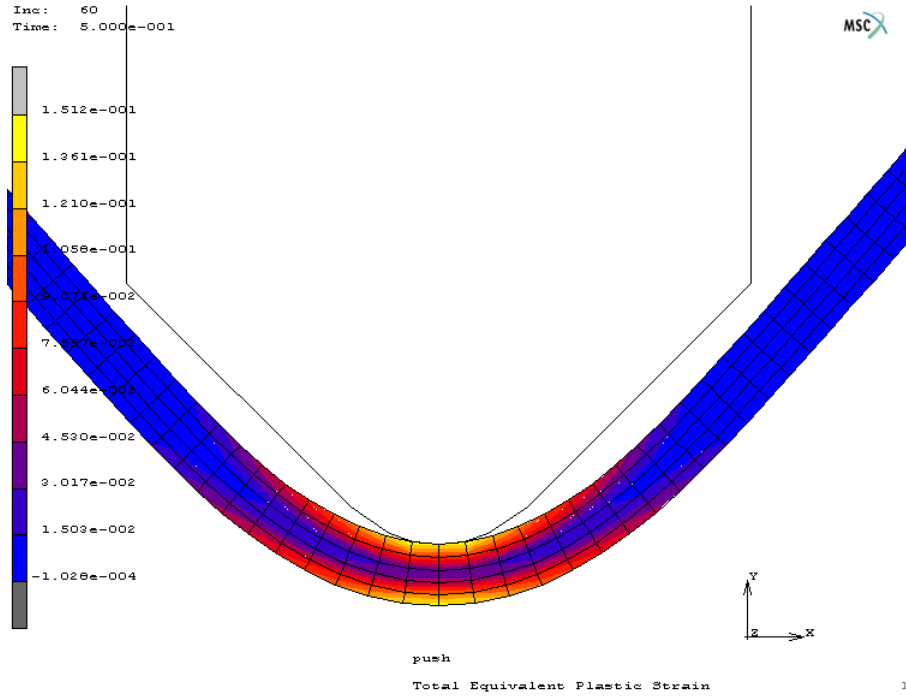
1 mm kalınlığındaki paslanmaz sac ve 2 mm zımba radyüs değeri ile bükme işleminde 1mm zımba radüslü deneylere göre geri esneme değerlerinin daha fazla olduğu görülmektedir. Bu sonuç zımba radüsünün artmasıyla geri esneme miktarının da arttığı sonucunu çıkarmaktadır. 1 mm zımba radyüs değeri ile yapılan deneylerde olduğu gibi bükme açısı arttıkça geri esnemenin azaldığı görülmüştür. Deneysel sonuçlar ile sonlu elemanlar yönteminde yapılan bükme sonuçları birbirleri ile kıyaslandığında daha yakın değerler elde edilmiştir (Şekil 6.14). 1mm zımba radüslü bükme deneylerine göre hata değerlerinin daha az olduğu görülmüştür. Zımba radyüs değeri 1mm ile yapılan deneylerde bükülme yarıçapının az olmasından dolayı bükme açıları daha az gerçekleşirken zımba radüsü 2mm değerine çıkarıldığı zaman bükme açıları büküm açılarından daha fazla gerçekleşmiştir.



Şekil 6.15. 30 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler

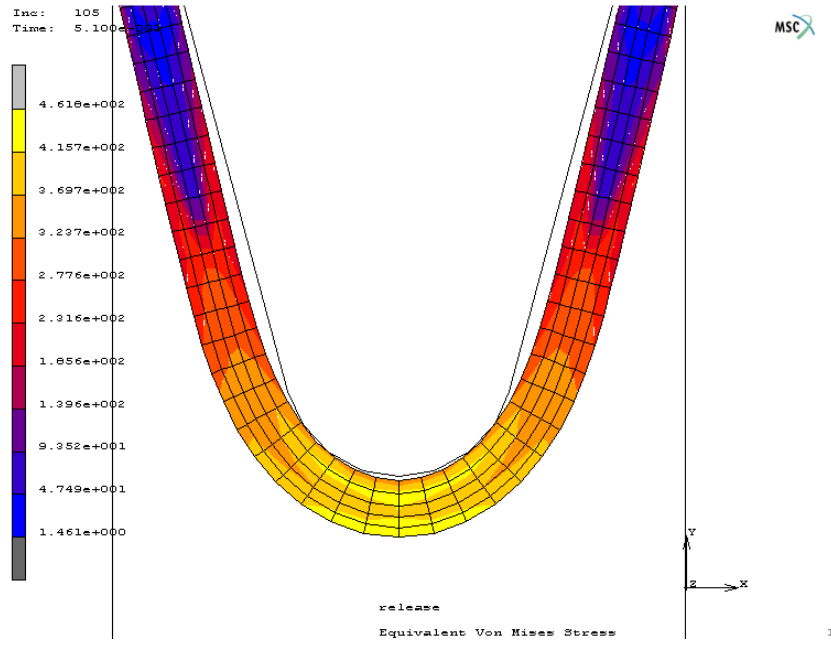


Şekil 6.16. 60 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler

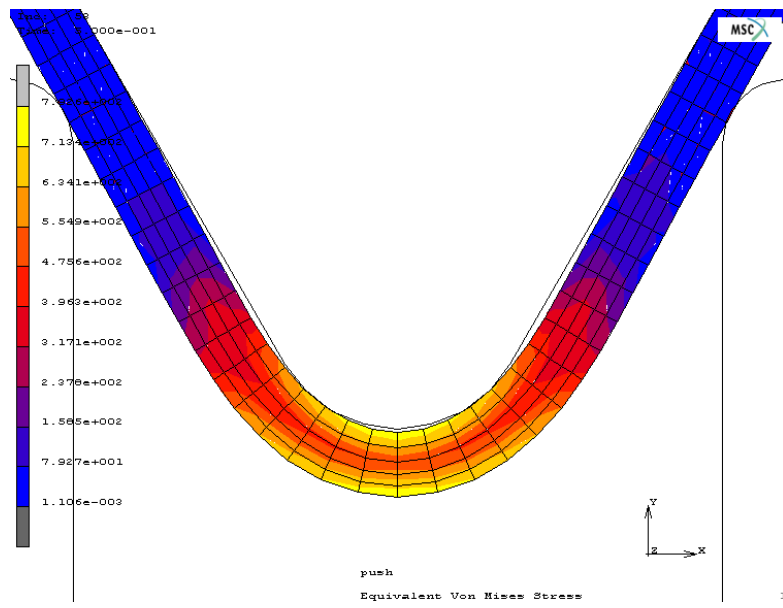


Şekil 6.17. 90 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler

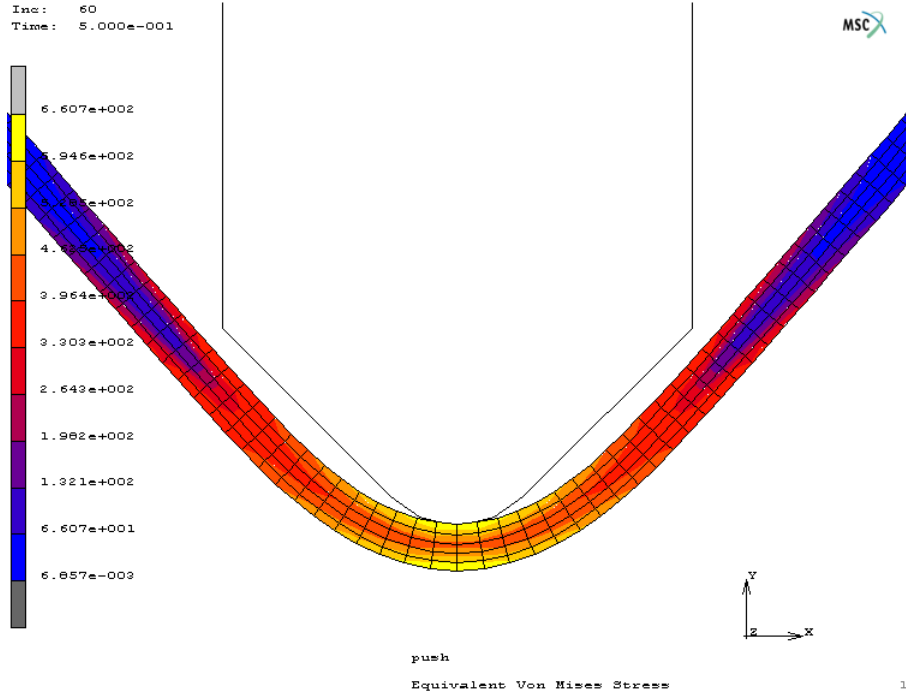
Paslanmaz sacın zımba radyüsü 1 mm ile yapılan bükmelerle karşılaştırılmasında radyüs arttıkça bükme kuvvetinin arttığı buna bağlı olarak geri esnemenin arttığı, plastik gerinim grafikleri incelendiğinde de iç ve dış bölgelerde gerinime maruz kalan örgü sayılarının eşit çıktığı görülmüştür. Dış kenarlardaki yüzeylerde oluşan gerinim değerleri iç yüzeylerde oluşan gerinim değerlerine göre daha küçüktür, nötr bölgeye yaklaşıldıkça dış yüzeye yakın örgülerin gerinim değerleri iç yüzeye göre daha büyük değerler aldığı görülmüştür. Nötr eksenindeki kayma miktarı 2 mm zımba radyüs değerinde daha belirgin gerçekleşmiştir. Nötr eksen iç kısma doğru kayma göstererek et kalınlığının 0,45 değerinde gerçekleşmiştir (Şekil 6.15, 6.16, 6.17).



Şekil 6.18. 30 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri

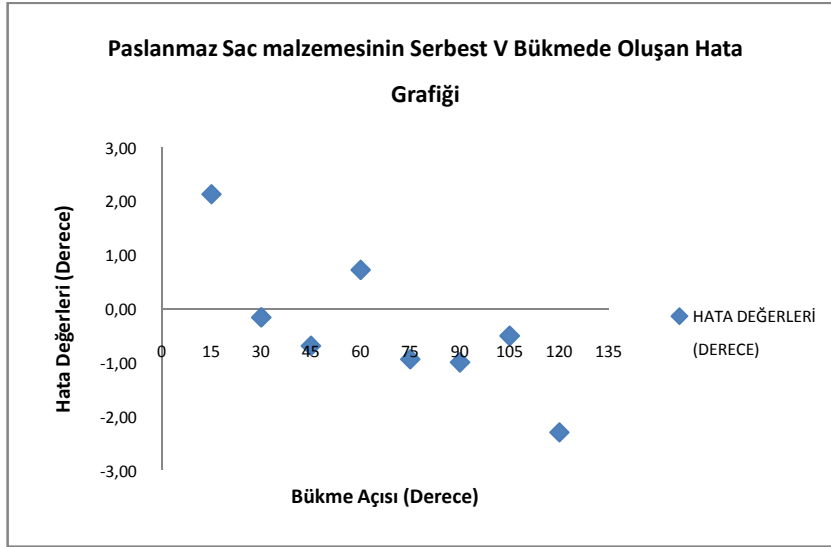


Şekil 6.19. 60 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri



Şekil 6.20. 90 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri

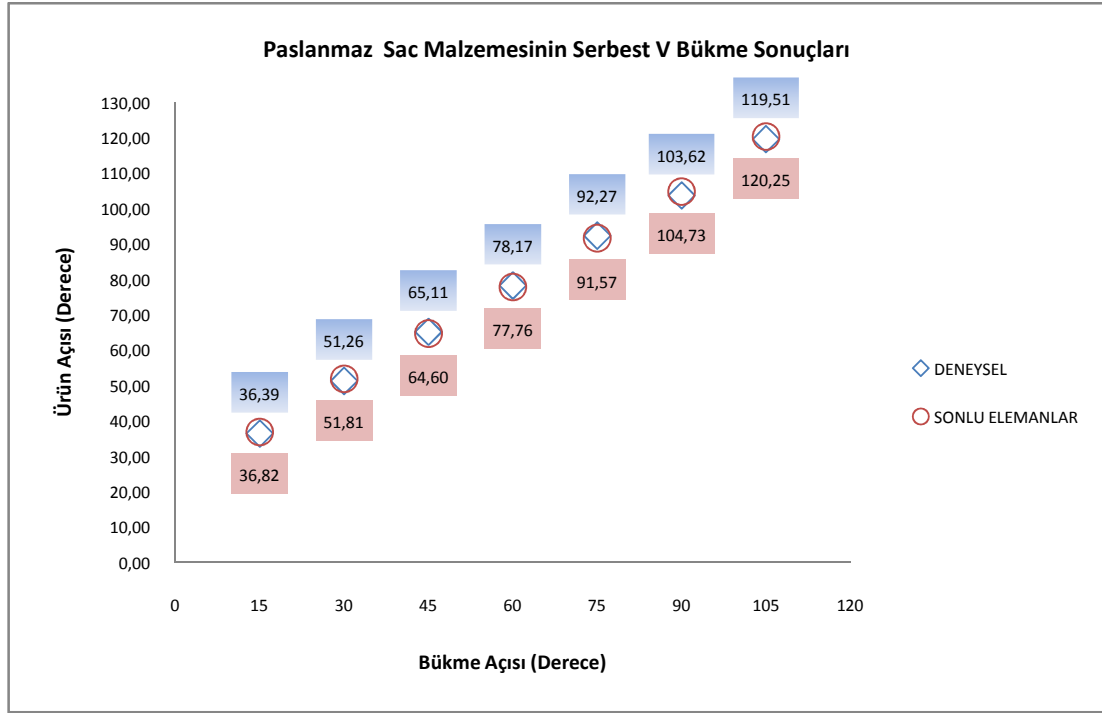
1 mm kalınlığındaki paslanmaz sacının zımba radyüsü 2 mm ile bükme işleminde oluşan gerilmeler dış yüzeylerde iç yüzeylere göre daha küçük, nötr bölgeye yaklaşıldıkça dış yüzeye yakın yerlerde ki yükler iç yüzeye göre daha büyük çıkmaktadır. 1 mm zımba radüyüsü değerleri ile karşılaştırıldığında oluşan kuvvetlerin azaldığı görülmüştür. Aynı zamanda nötr eksendeki kuvvetlerinde azaldığı görülmektedir. Kuvvetin azalması o bölgelerde oluşan kalıcı deformasyonların da az olmasına neden olmaktadır. Buda geri esnemeyi artıran bir faktördür (Şekil 6.18, 6.19, 6.20).



Şekil 6.21. Deneysel ve sonlu elemanlar yöntemleri arasındaki geri esneme miktarlarındaki hata değerleri

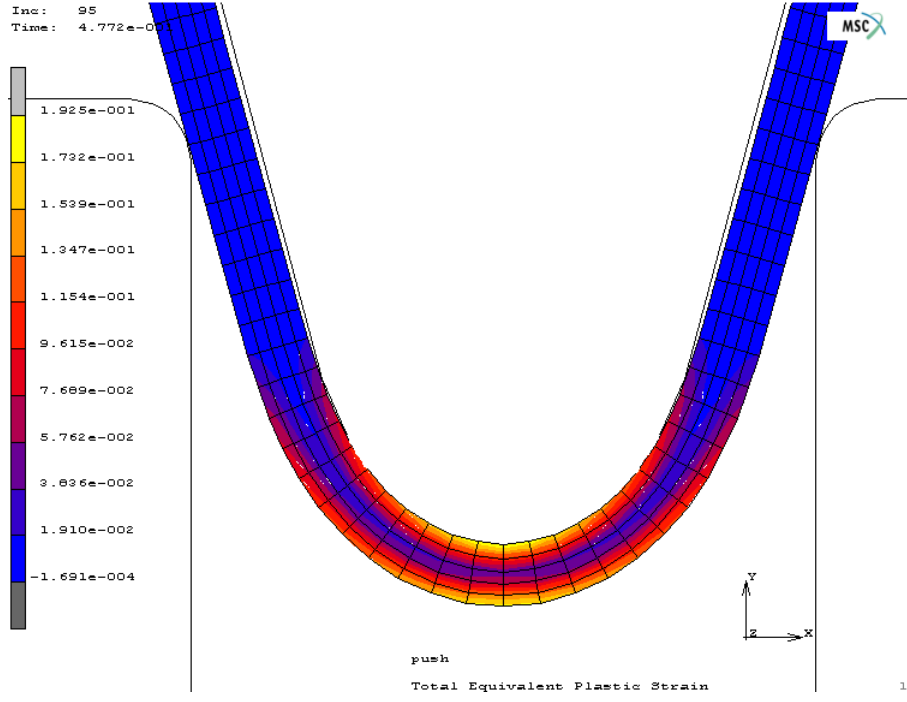
Hata grafiğinde 15 derece de ve 120 derecedeki hata değerlerinin daha fazla çıktığı görülmektedir. 15 derecede parçanın daha fazla gerinime maruz kaldığı ve 120 derecede ise daha fazla geri esnemenin oluşmasından sonlu elemanlar hesaplamalarında deneysel sonuçlarla farklılıklar görülmektedir. En az hata değerlerinin 30 derecede çıktığı görülmüştür. Zımbanın yer değiştirmesi ile sac parçada oluşan bölgeler bükme yönüne ters istikamette bir geri esnemeye sebep olurlar. Buradan anlaşılabacağı gibi bükme radyüsünün artması ile geri esneme artmaktadır. Radyüs arttıkça zımbanın malzeme üzerine uyguladığı kuvvette artmaktadır. Kuvvet büyüdükçe geri esneme de o kadar büyük olacaktır.

6.2.3. 1 mm kalınlığındaki paslanmaz sac ve 3 mm zımba radyüs değeri için serbest “V” bükme operasyonu sonuçlarının incelenmesi

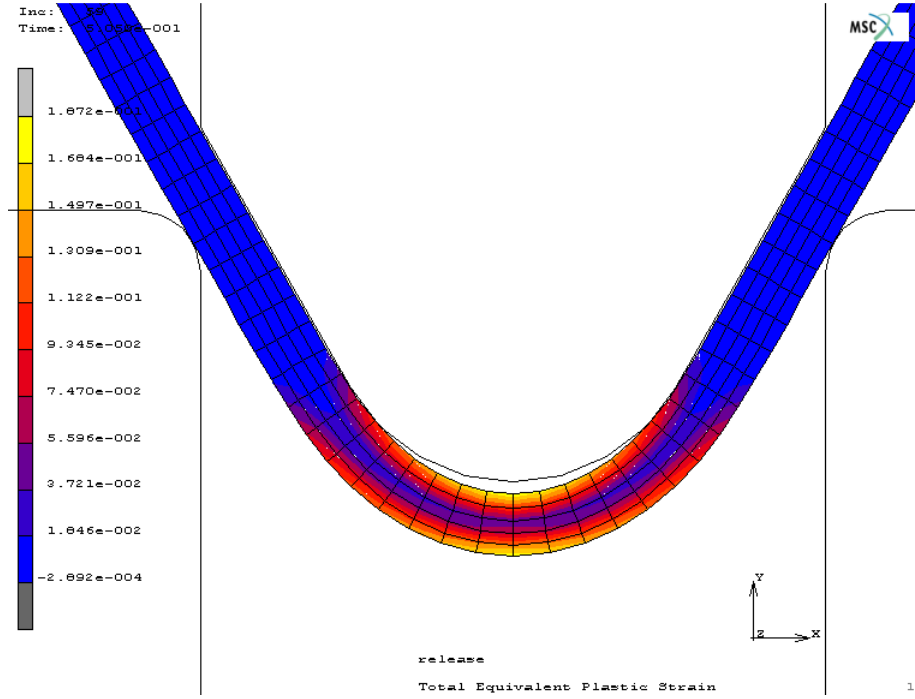


Şekil 6.22. Deneysel ve sonlu elemanlar yönteminin karşılaştırma verileri

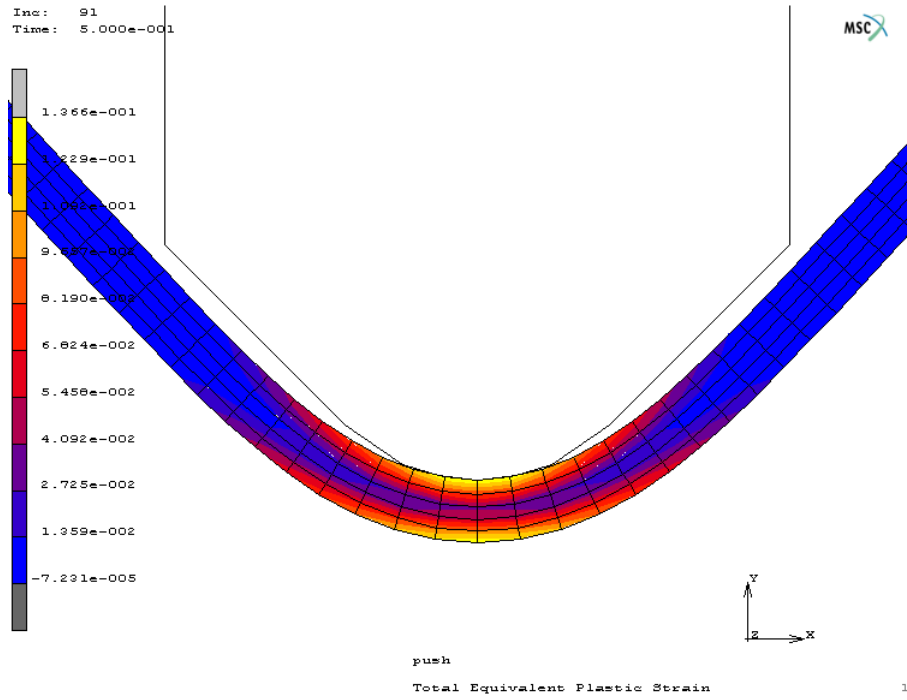
1 mm paslanmaz sac ve zımba radyüsü 3 mm ile bükülen sonuçlardan elde edilen değerler incelendiğinde yükleme açılarından daha az bükme açılarının sadece 105 ve 120 derecede olduğu görülmektedir. Bu bükme açılarının az olmasından dolayı yuvarlanma yarı çapları artmaktadır. 3 mm zımba radyüs değeri ile yapılan bükme deneylerindeki sonuçlar radyüs 1 mm ve radyüs 2 mm deki geri esnemeye göre daha fazla bir geri esneme göstermiştir. Bütün bükme açıları için bükme radyüsü büyüdükçe elde edilen ürün açısının arttığı Ek-1 deki bükme mesafelerine göre gözlenmektedir. Sonlu elemanlar yöntemi ile deneysel olarak yapılan sonuçlar karşılaştırıldığında değerlerin nispeten yakın sonuçlar verdiği gözlenmiştir (Şekil 6.22).



Şekil 6.23. 30 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler

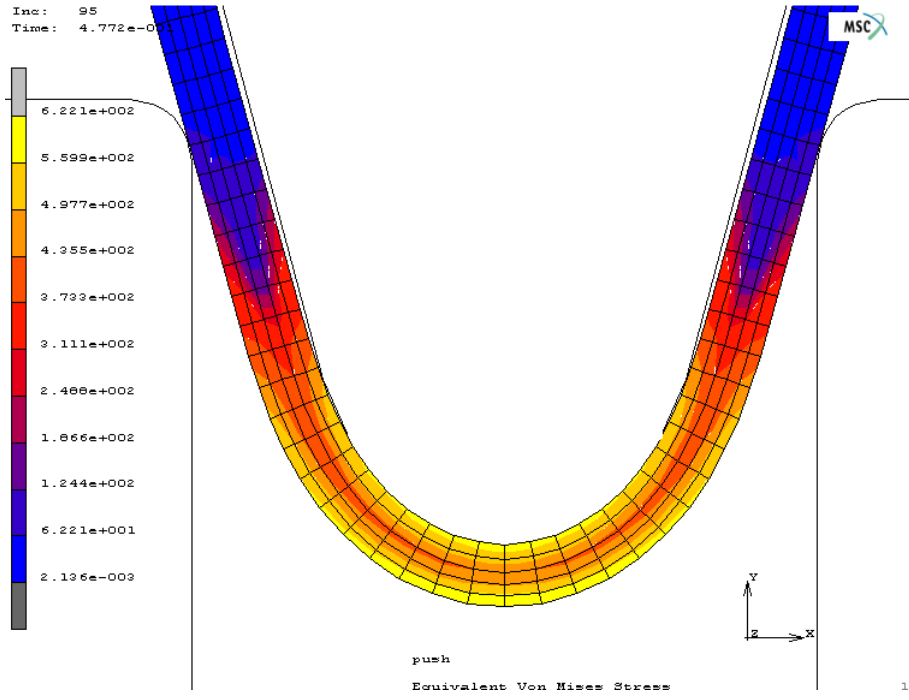


Şekil 6.24. 60 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler

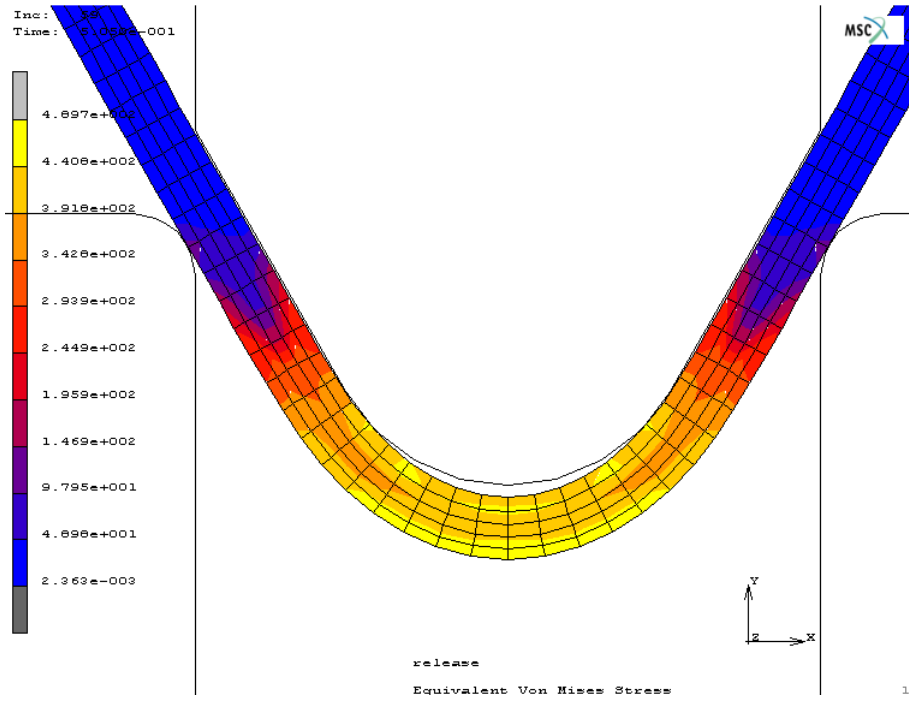


Şekil 6.25. 90 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler

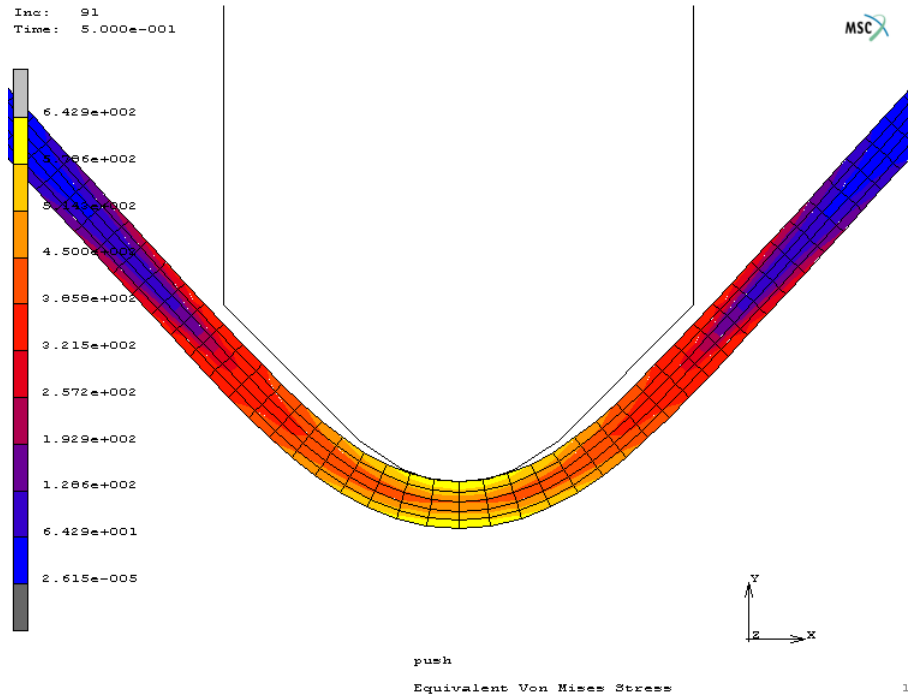
Plastik gerinim grafikleri incelendiğinde 1mm ve 2mm zımba radyüslü deney numunelerinde olduğu gibi iç ve dış kısımlarda gerinime maruz kalan örgü sayılarının eşit çıktığı görülmüştür. Dış yüzeylerde oluşan gerinim değerleri iç yüzeylerde oluşan gerinim değerlerine göre daha küçüktür, nötr bölgeye yaklaşıldıkça dış yüzeye yakın örgülerin gerinim değerleri iç yüzeye göre daha büyük değerler çıktığı görülmüştür. Dış yüzeyin gerinim değerlerinin daha büyük çıkması uzamaya maruz kalmayan nötr bölgeyi orta eksenden iç kısma doğru daha belirgin bir şekilde taşıyarak kalınlığın iç kısma doğru 0,42 oranında iç kısımda oluşmasına sebep olmaktadır. Bu sonuçlar ışığında, zımba radüsünün artması nötr eksenini etkilediği sonucuna varılabilir. Nötr eksenin değişmesi açılım hesaplarının hassasiyetini direk etkilemektedir (Şekil 6.23, 6.24, 6.25).



Şekil 6.26. 30 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri

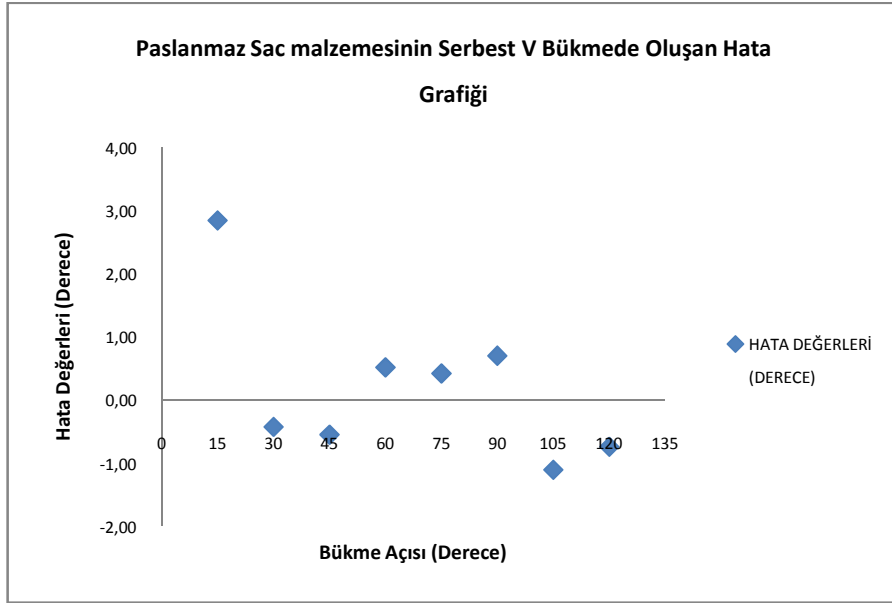


Şekil 6.27. 60 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri



Şekil 6.28. 90 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri

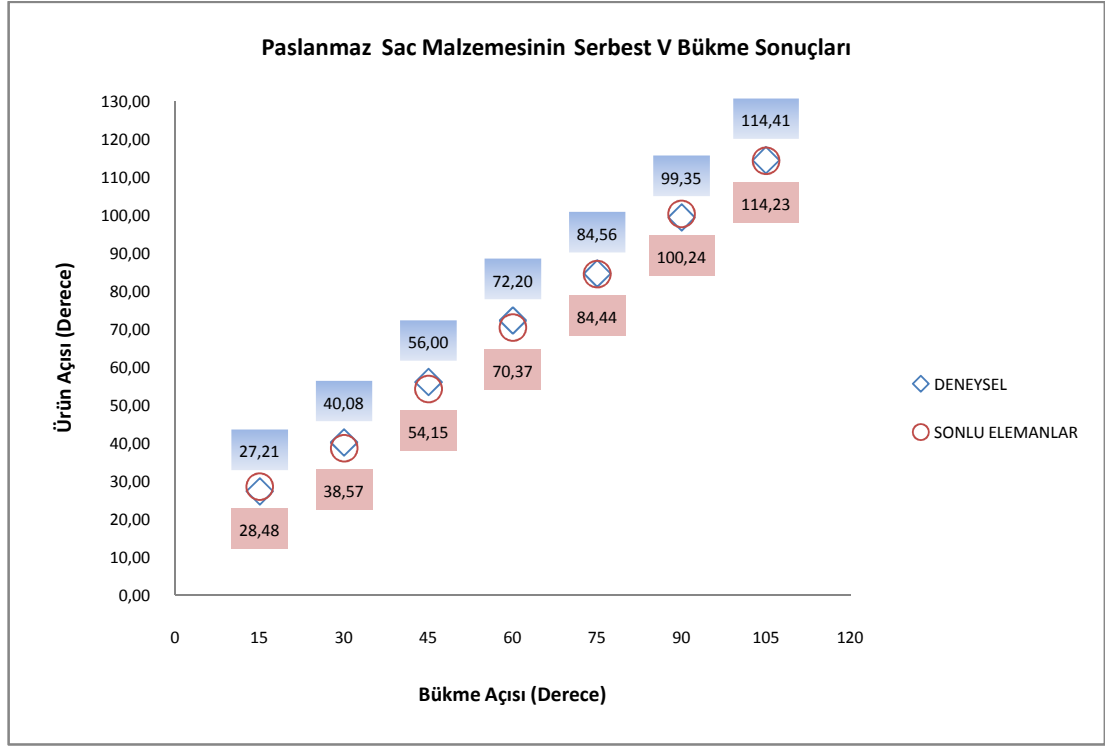
3mm zımba radyüs değeri ile yapılan deneylerde nötr eksen dış kısımlardaki yükler daha büyük olduğundan iç kısma yakın kalınlığın 0,42 oranındaki yerde görülmüştür. Nötr eksendeki gerilmelere bakıldığında akma sınırı değerlerinin üzerinde yükler oluştuğu görülmektedir. 1 mm paslanmaz sacının radyüs 3 mm ile 30 derece bükümünde kenar örgüler üzerinde ortalama 600 mpa gerilme oluştuğu nötr ekseninde ortalama 400 mpa olduğu, 60 derece bükümünde kenar örgüler üzerinde ortalama 500 mpa gerilme oluştuğu nötr ekseninde ortalama 390 mpa olduğu, 90 derece bükümünde ortalama 500 mpa gerilme oluştuğu nötr ekseninde ortalama 400 mpa olduğu görülmüştür. Bükme açısı arttıkça parça üzerindeki gerilme yükleri azalmıştır. Bükme radyüsü arttıkça parça üzerindeki gerilmeler artmıştır. Paslanmaz çelik malzemeleri 330 mpa yük üzerinde akma gerilmesine 750 mpa yük üzerinde de kopma gerilmesine maruz kalmaktadır



Şekil 6.29. Deneysel ve sonlu elemanlar yöntemleri arasındaki geri esneme miktarlarındaki hata değerleri

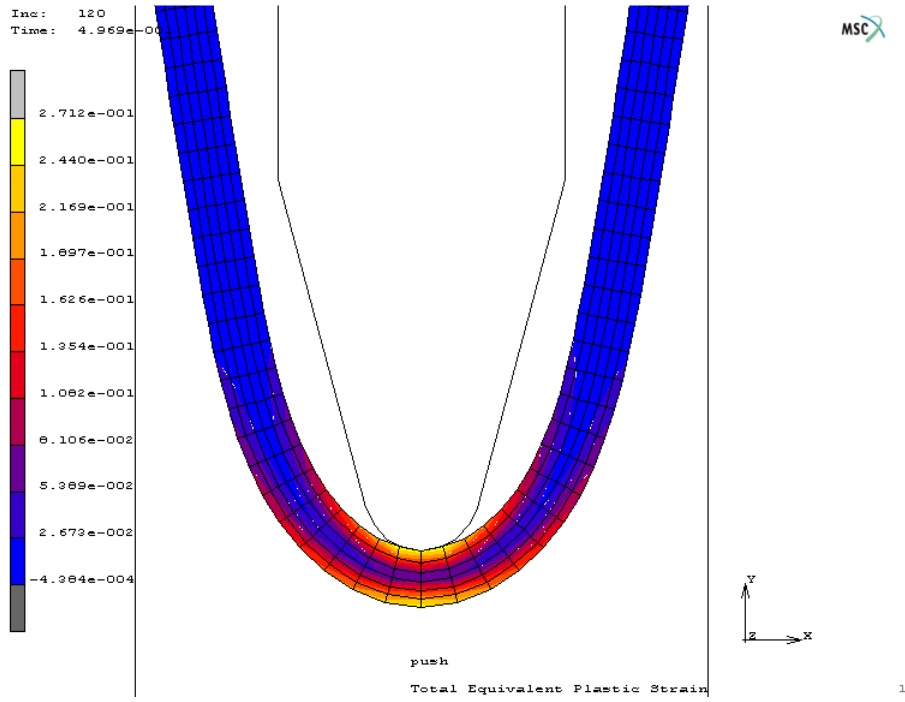
Serbes “V” bükme operasyonunda, bükme işleminin mekaniği yüzünden bükülmüş sac parça üzerinde iki farklı bükme açısı oluşmaktadır. Bu açılardan birincisi zımbanın yüklemeyi tamamladıktan sonra parçayı terk etmeden oluşturduğu açı, diğeri ise zımbanın malzemeyi terk ettiği zaman oluşturduğu açıdır. Birinci açı yuvarlanma çapına bağlı oluşan bir açıdır. Malzeme ne kadar ince ise bu açıda yükme açısından o kadar farklılık gösterecektir. Zımbanın teması malzeme üzerinden kalktığı zaman malzemenin bükme açısı gerçekleşir. Bu açı geri esnemenin ve yuvarlanmanın telafi edildiği açıdır. Bu açıların malzeme kalınlığıyla değişimi aşağıda deney sonuçlarıyla beraber tartışılmıştır. Şekil 6.29 da deneysel ve sonlu elemanlar yöntemiyle bükülen sonuçların farkları verilmiştir.

6.2.4. 2 mm kalınlığındaki paslanmaz sac ve 2 mm zımba radyüs değeri için serbest “V” bükme operasyonu sonuçlarının incelenmesi

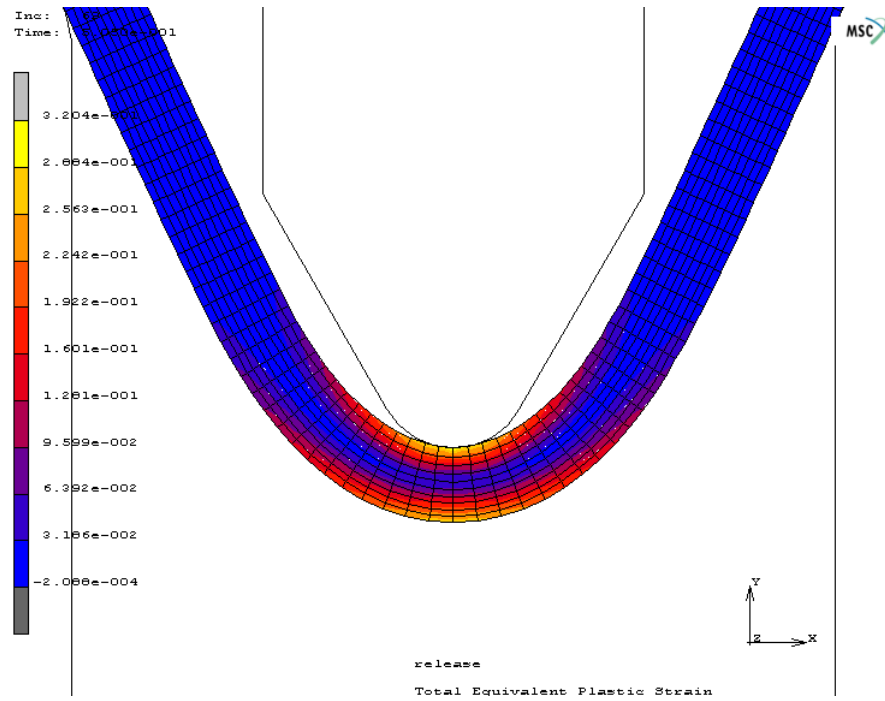


Şekil 6.30. Deneysel ve sonlu elemanlar yönteminin karşılaştırma verileri

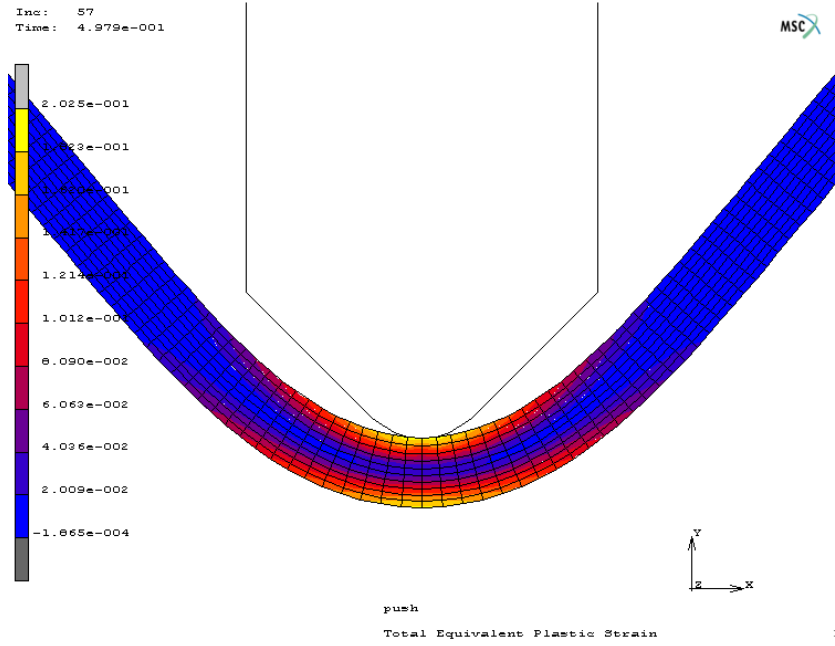
2 mm kalınlığındaki deney numunelerinin geri esneme miktarlarıyla sonlu elemanlar yöntemi karşılaştırıldığında 1mm malzeme kalınlığına göre daha yakın sonuçlar vermiştir (Şekil 6.30). Bu sonuç yuvarlanma yarıçapı esnekliğinin kaybolması olarak yorumlanabilir.



Şekil 6.31. 30 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler

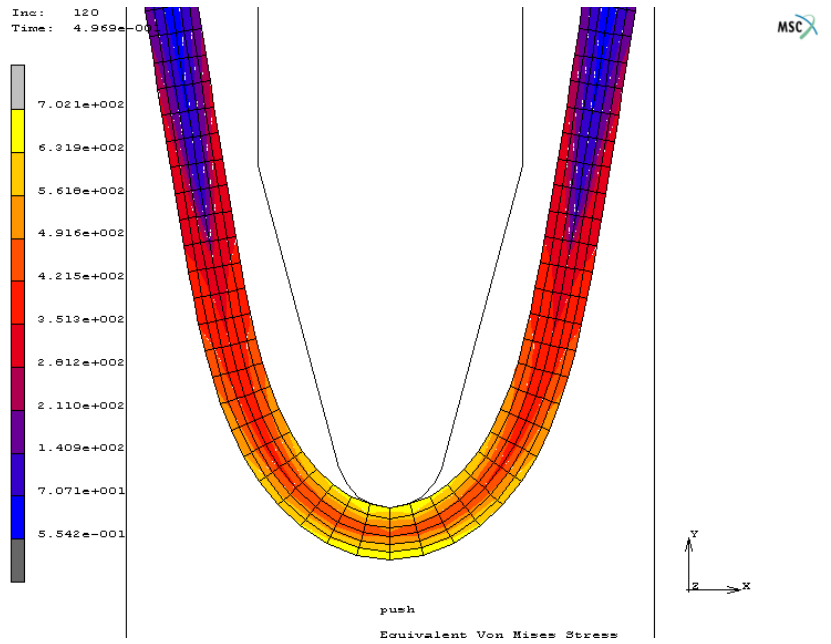


Şekil 6.32. 60 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler

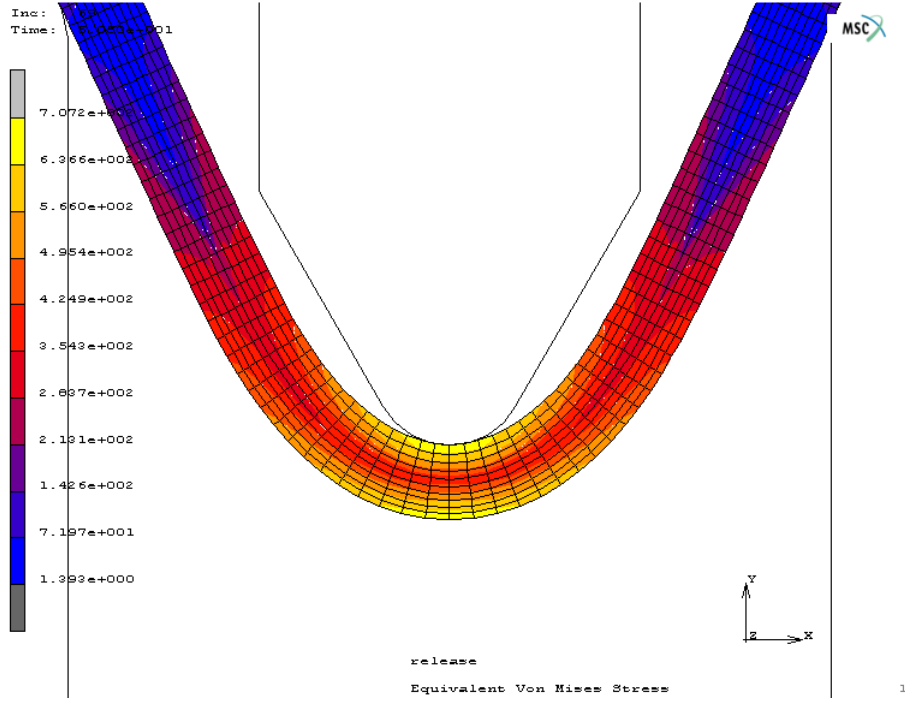


Şekil 6.33. 90 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler

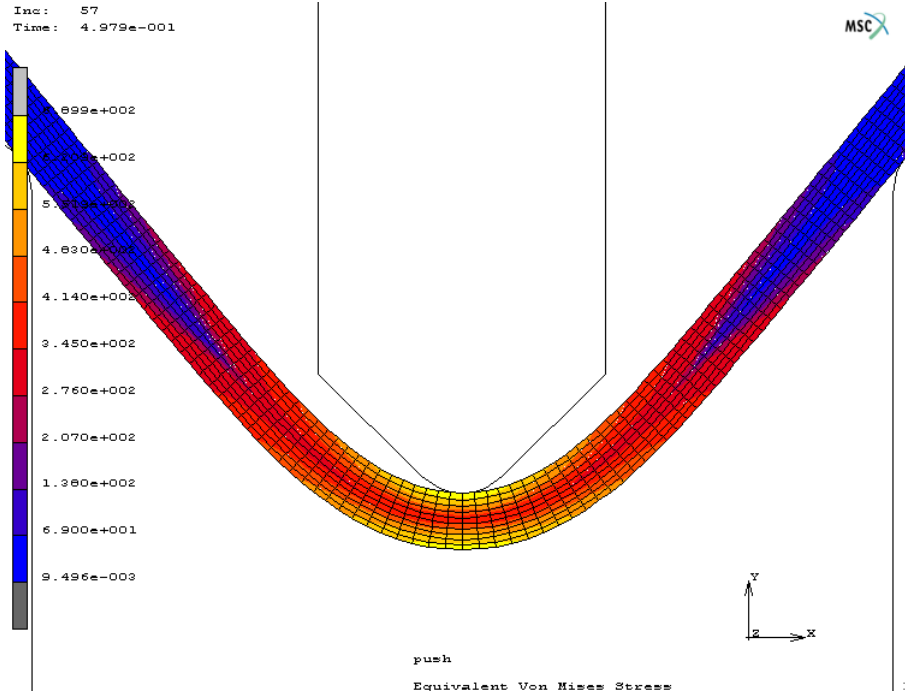
Şekil 6.31, 6.32, 6.33 incelendiğinde nötr eksen iç eksen tarafında 0,41 de oluşmuştur. Bükme kuvveti 1 mm kalınlığa göre artmıştır. Kalınlık arttıkça uzama artmış ve geri esneme azalmıştır.



Şekil 6.34. 30 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri

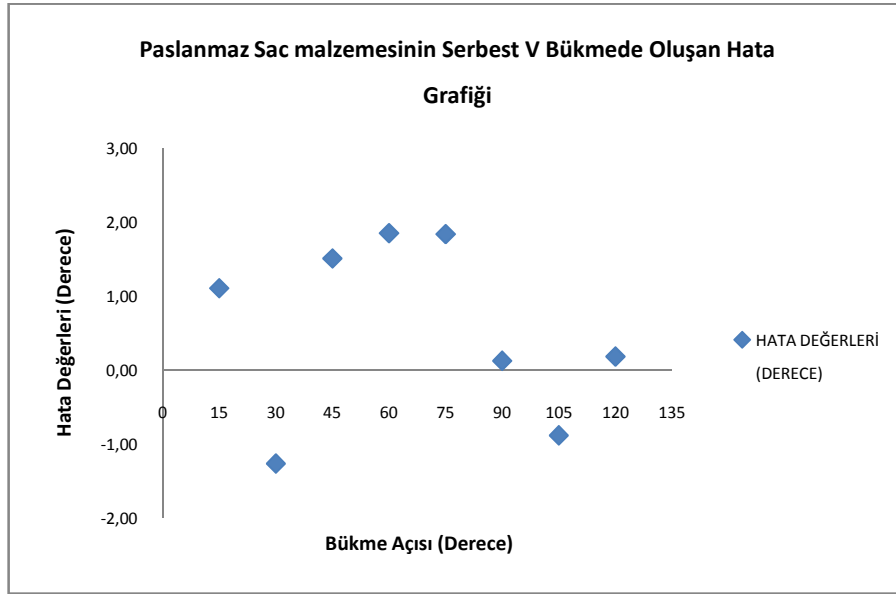


Şekil 6.35. 60 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri



Şekil 6.36. 90 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri

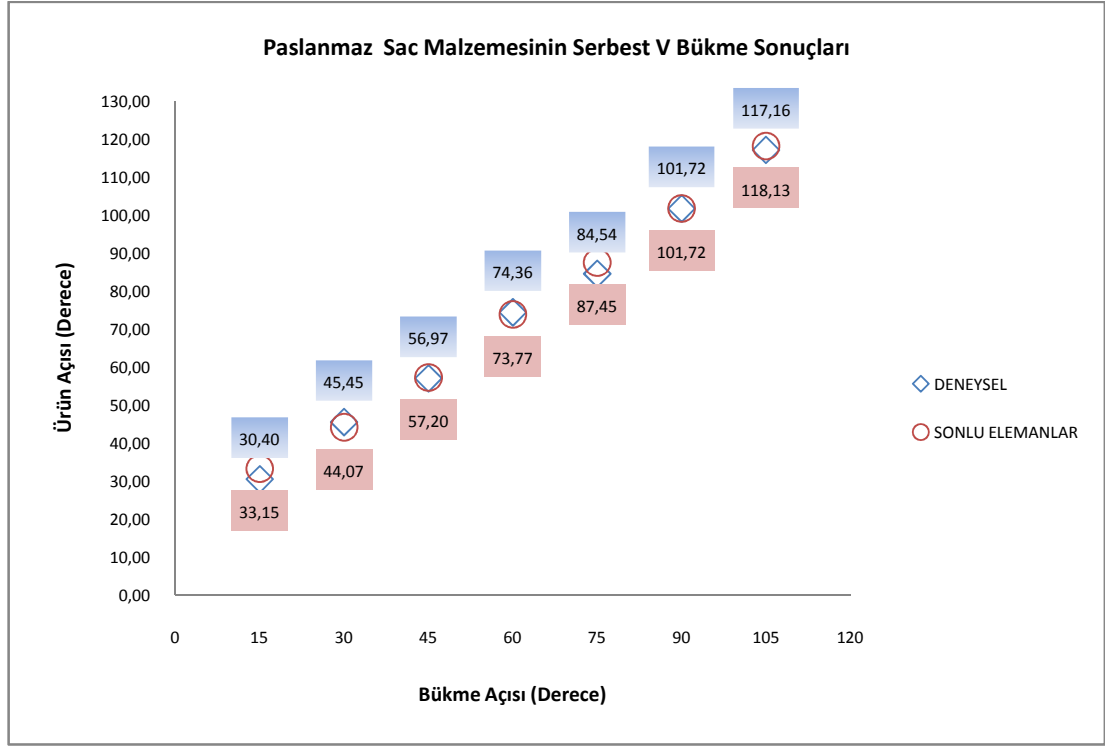
Şekil 6.34, 6.35, 6.36 incelendiğinde 1 mm kalınlığa göre parça üzerindeki gerilmelerin arttığı görülmüştür. Nötr eksen iç tarafda et kalınlığının 0,41 oranında oluşmaktadır. Kalınlık arttıkça gerilmeye maruz kalan bölge azalmıştır.



Şekil 6.37. Deneysel ve sonlu elemanlar yöntemleri arasındaki geri esneme miktarlarındaki hata değerleri

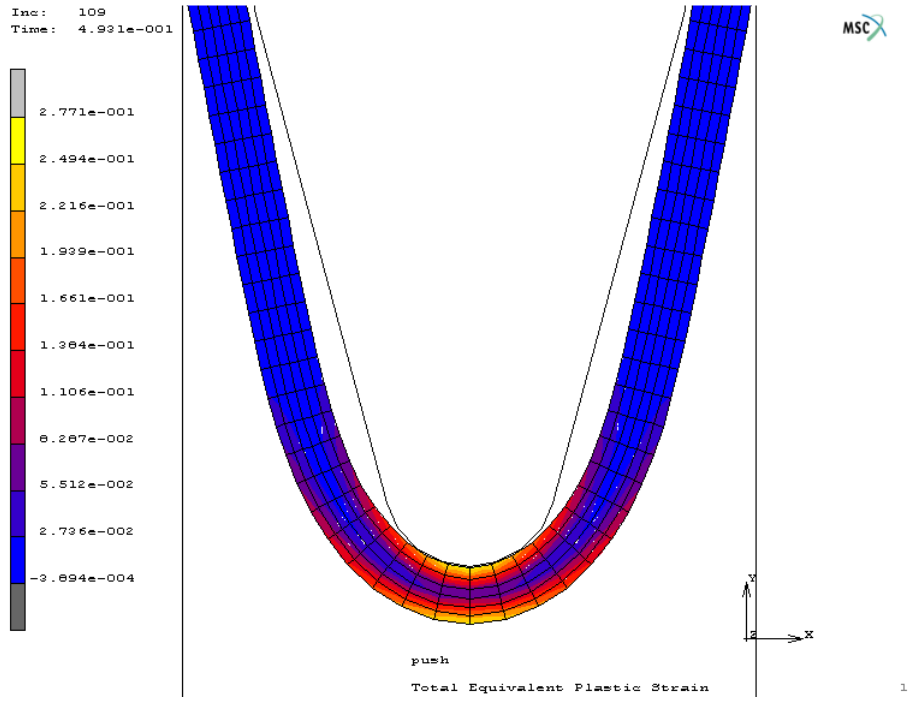
Şekil 6.37 deki hata değerleri incelendiğinde bütün açılar için 2 derecenin altında hata olduğu görülmüştür. En az hata değeri 90 ve 120 derecede meydana gelmiştir. 1 mm kalınlıkdaki hata değerlerine göre daha az çıkmasının sebebi sonlu elemanlar analizlerin de kalınlık arttıkça geri esnemenin azalmasından kaynaklanmaktadır

6.2.5. 2 mm kalınlığındaki paslanmaz sac ve 3 mm zımba radyüs değeri için serbest “V” bükme operasyonu sonuçlarının incelenmesi

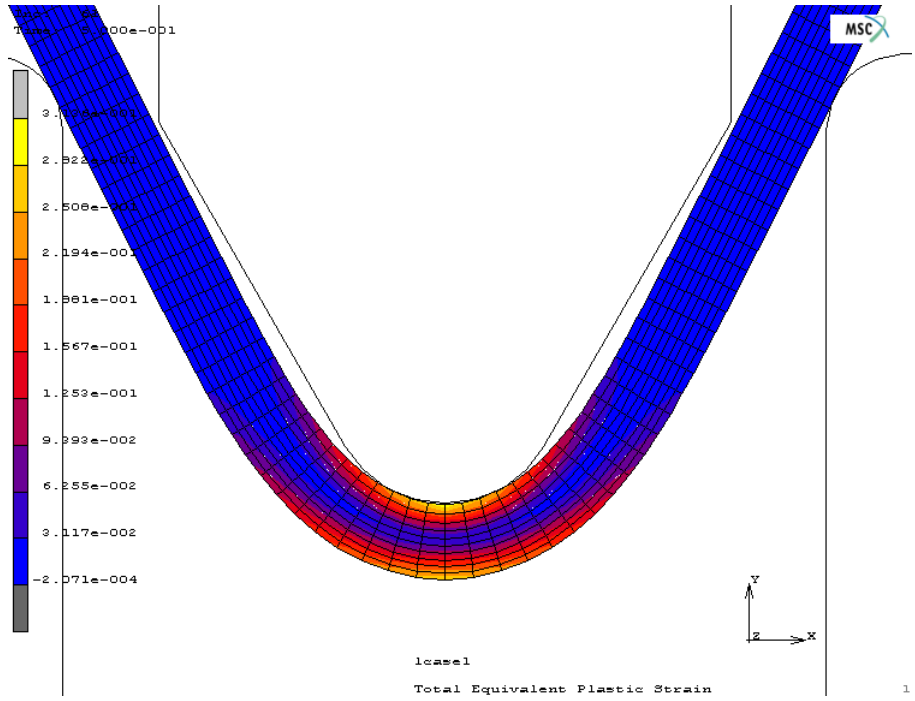


Şekil 6.38. Deneysel ve sonlu elemanlar yönteminin karşılaştırma verileri

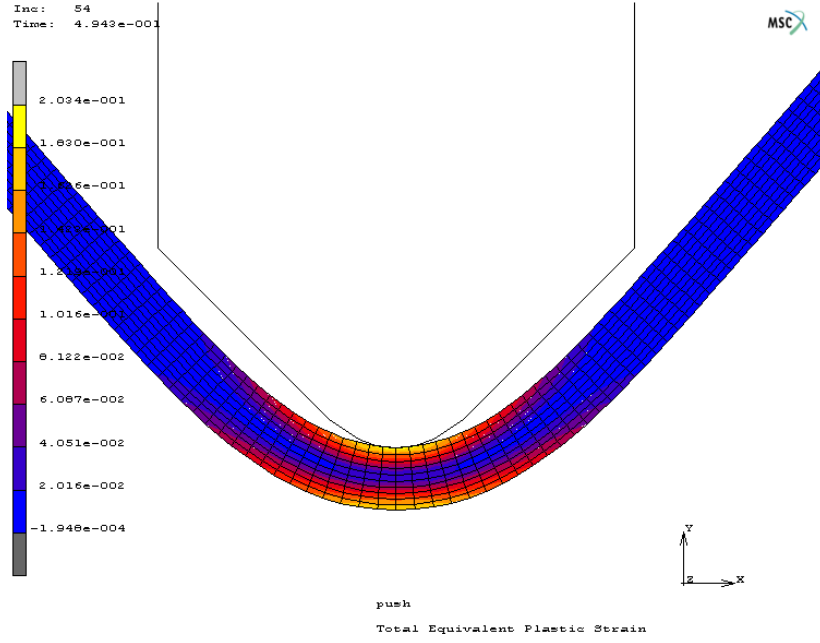
3 mm kalınlığındaki deney numunelerinin zımba radyüsü 3 mm ile bükmelerinde oluşan geri esneme miktarlarıyla sonlu elemanlar yöntemi karşılaştırıldığında 1mm malzeme kalınlığına göre daha yakın sonuçlar vermiştir (Şekil 6.38). Bu sonuçlara göre kalınlık arttıkça geri esneme azalmış ve bükme radyüsü arttıkça geri esneme artmıştır.



Şekil 6.39. 30 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler

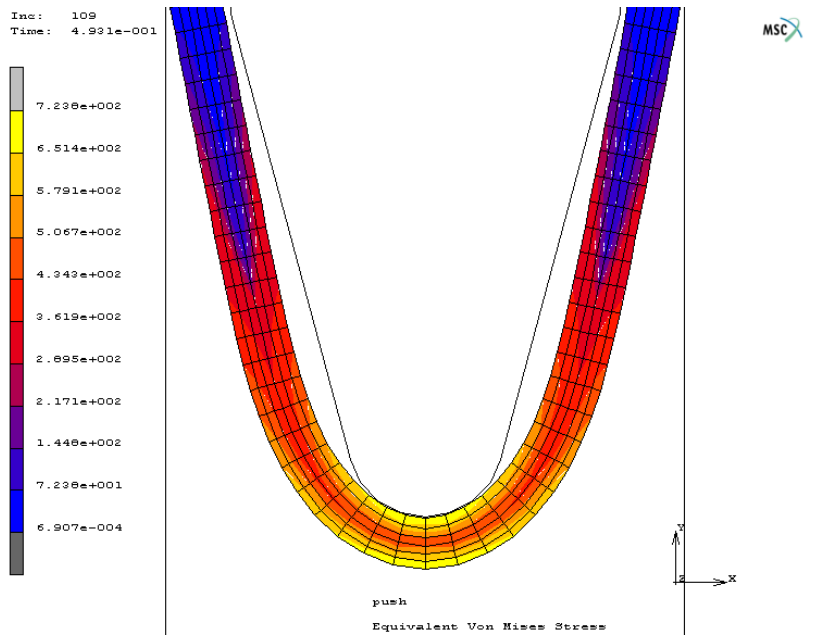


Şekil 6.40. 60 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler

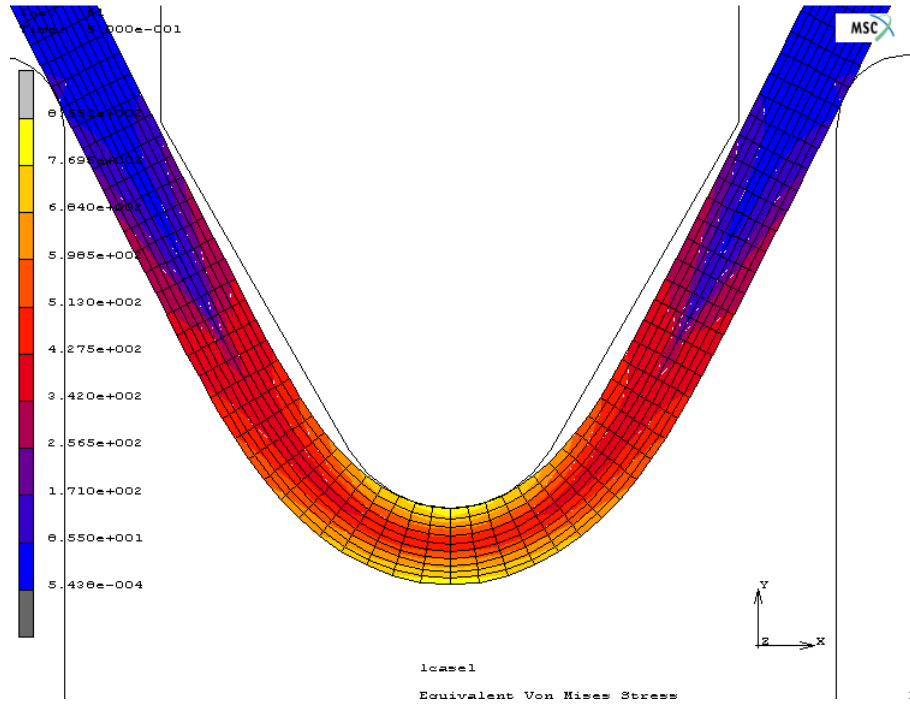


Şekil 6.41. 90 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler

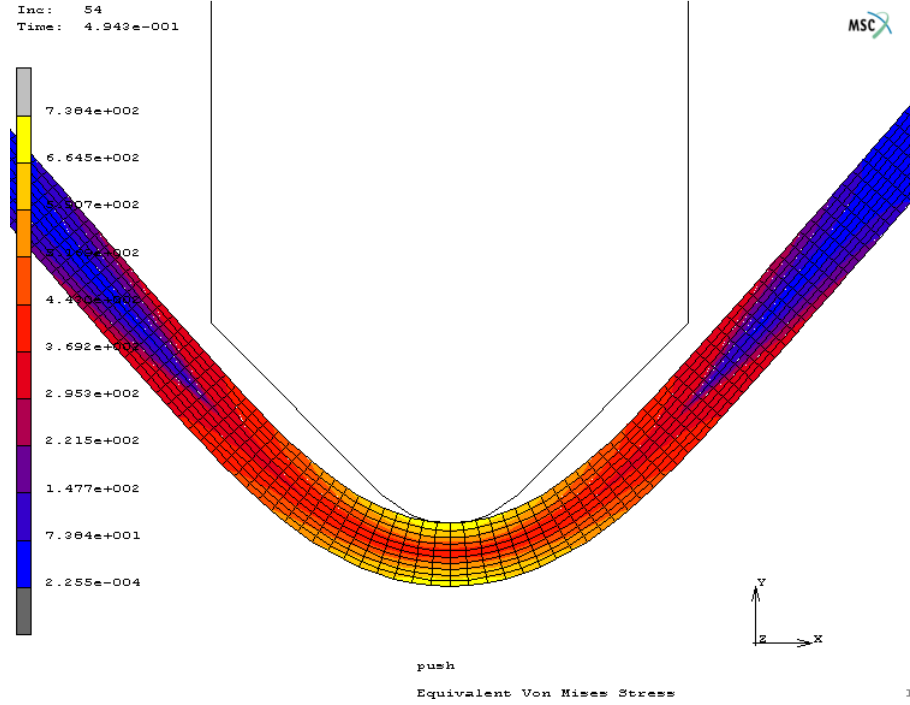
Nötr bölge iç taraf da et kalınlığının 0,40 oranında meydana gelmiştir. Zımba radyüsü arttıkça nötr bölge iç tarafa yaklaşmaktadır. Zımba radyüsü 1 ve 2 mm göre zımba radyüsünün artması uzamayı azaltmıştır (Şekil 6.39, 6.40, 6.41).



Şekil 6.42. 30 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri

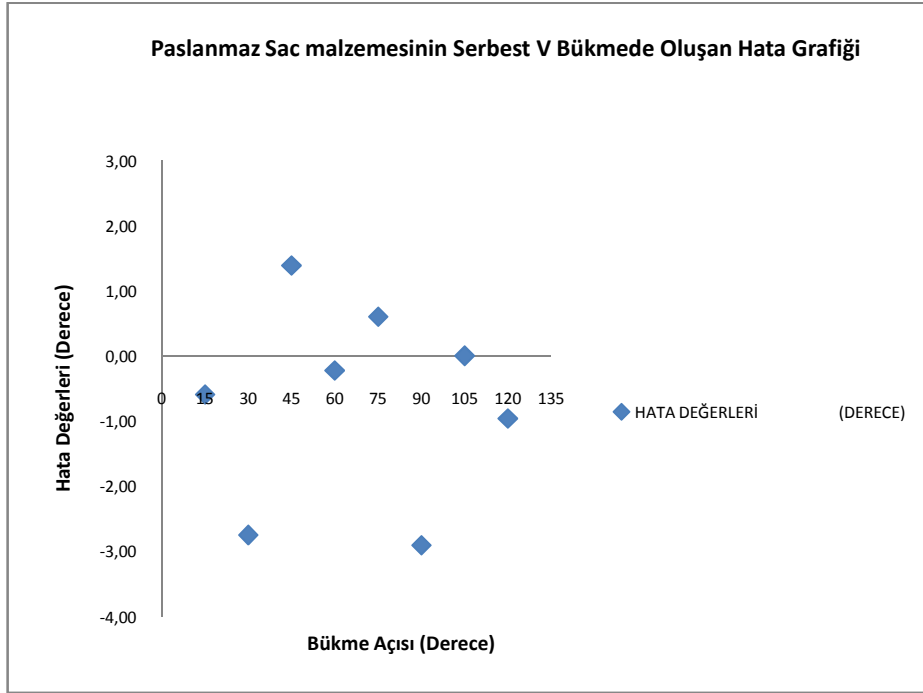


Şekil 6.43. 60 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri



Şekil 6.44. 90 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri

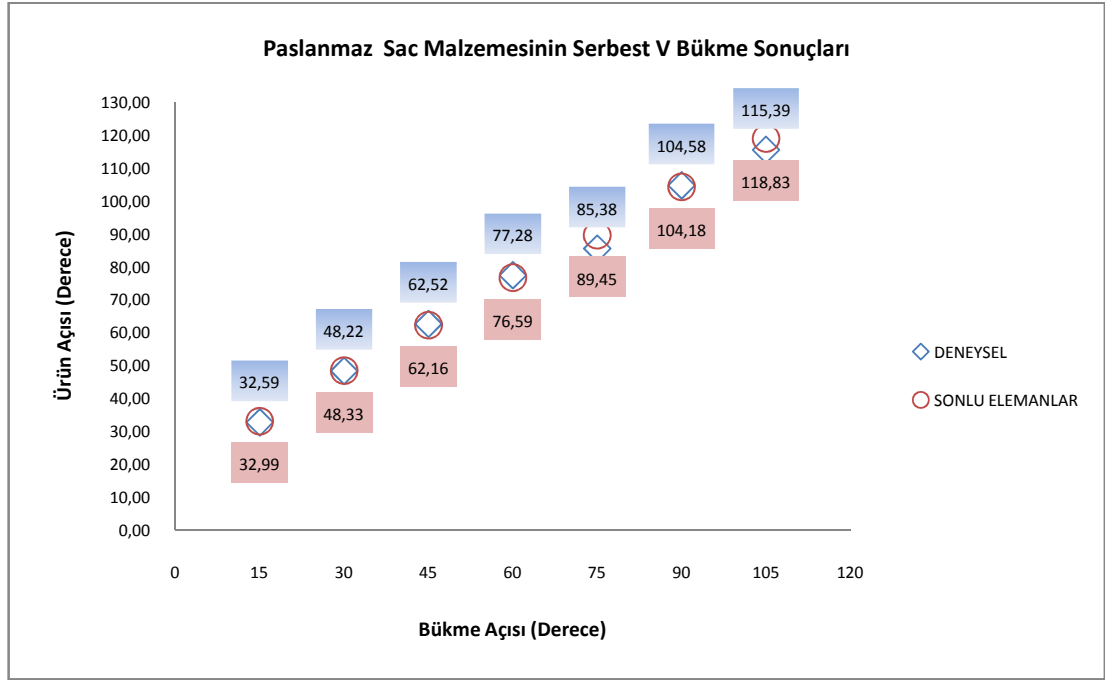
2 mm kalınlıkdaki zımba radyüsü 3 mm ye göre oluşan gerilmeler incelendiğinde (Şekil 6.42, 6.43, 6.44) zımba radyüsünün artmasının malzeme üzerine uygulanan kuvveti artırdığı, kuvvetin artmasıyla da geri esnemenin arttığı görülmüştür. Nötr bölge 0,40 oranında meydana gelmiştir.



Şekil 6.45. Deneysel ve sonlu elemanlar yöntemleri arasındaki geri esneme miktarlarındaki hata değerleri

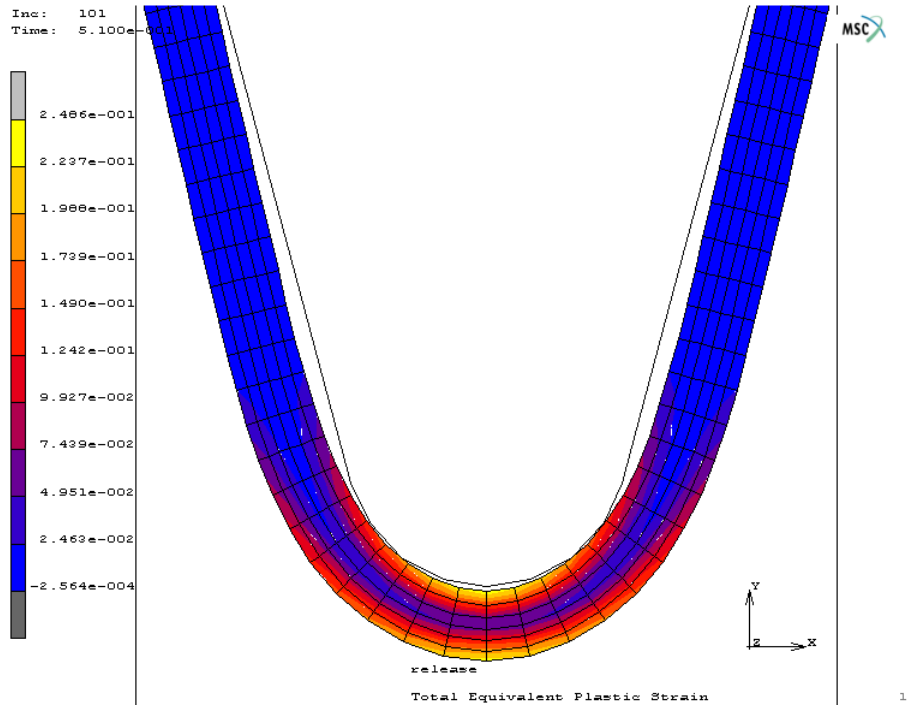
Şekil 6.45 deki hata farkları incelendiğinde 30 ve 90 deredeki değerlerin daha büyük çıktığı görülmüştür. Bu değerlerin fazla çıkmasının sebebi bükmede oluşan deformasyonun büyük olmasıdır.

6.2.6. 2 mm kalınlığındaki paslanmaz sac ve 4 mm zımba radyüs değeri için serbest “V” bükme operasyonu sonuçlarının incelenmesi

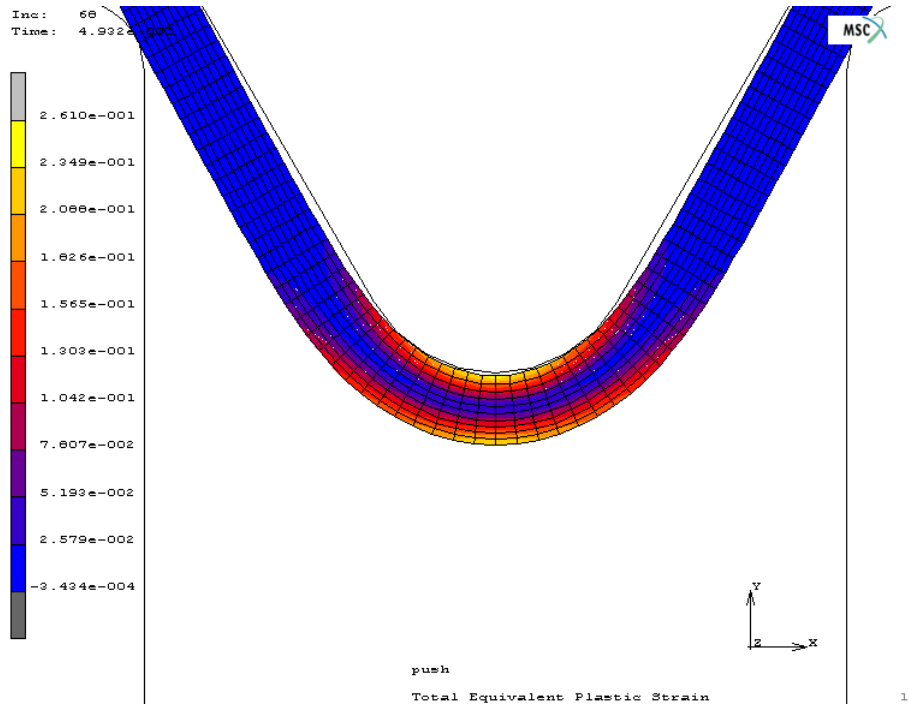


Şekil 6.46. Deneysel ve sonlu elemanlar yönteminin karşılaştırma verileri

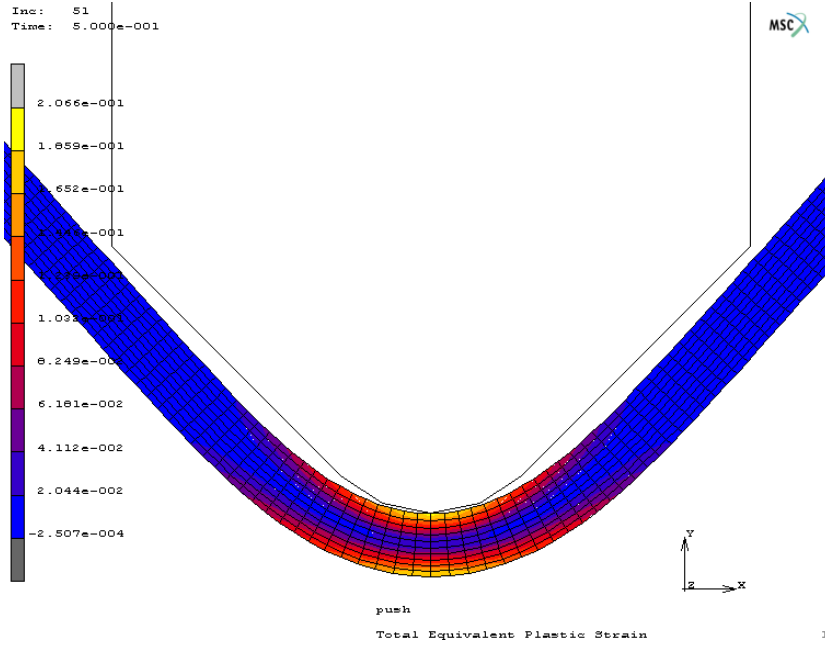
2 mm kalınlığındaki deney numunelerinin radyüs 4 mm ile bükmede oluşan geri esneme miktarlarıyla sonlu elemanlar yöntemi karşılaştırıldığında, 1mm malzeme kalınlığına göre daha az geri esnediği, zımba radyüsü 2 ve 3 mm’ye göre daha fazla geri esnediği görülmüştür (Şekil 6.46).



Şekil 6.47. 30 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler

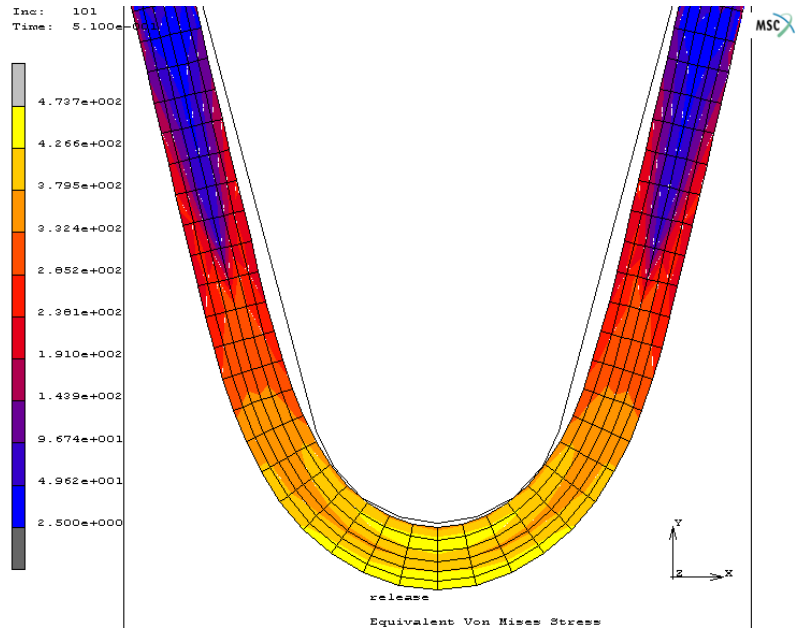


Şekil 6.48. 60 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler

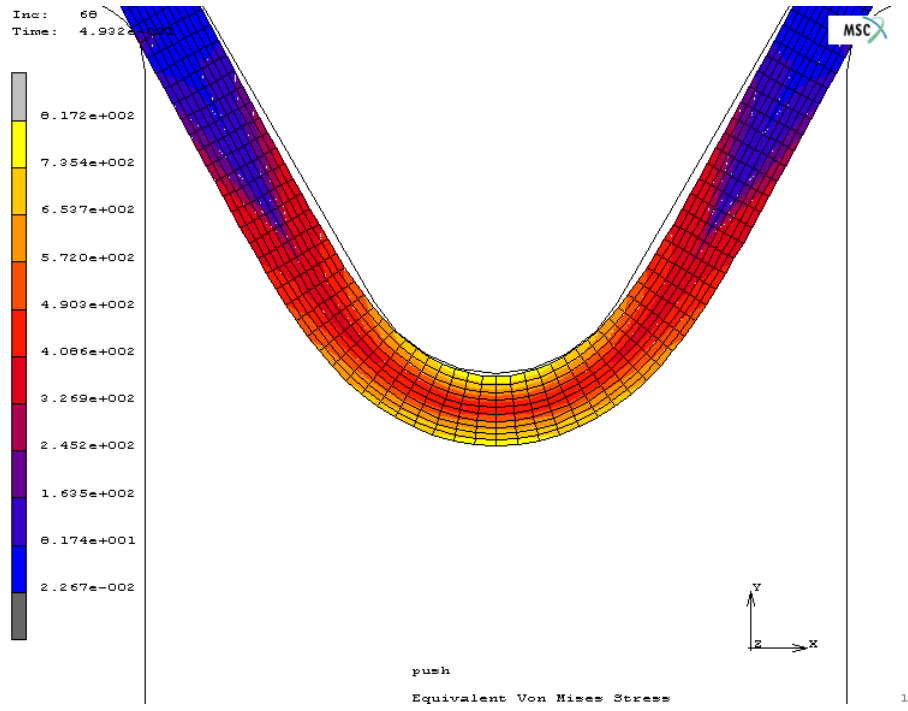


Şekil 6.49. 90 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler

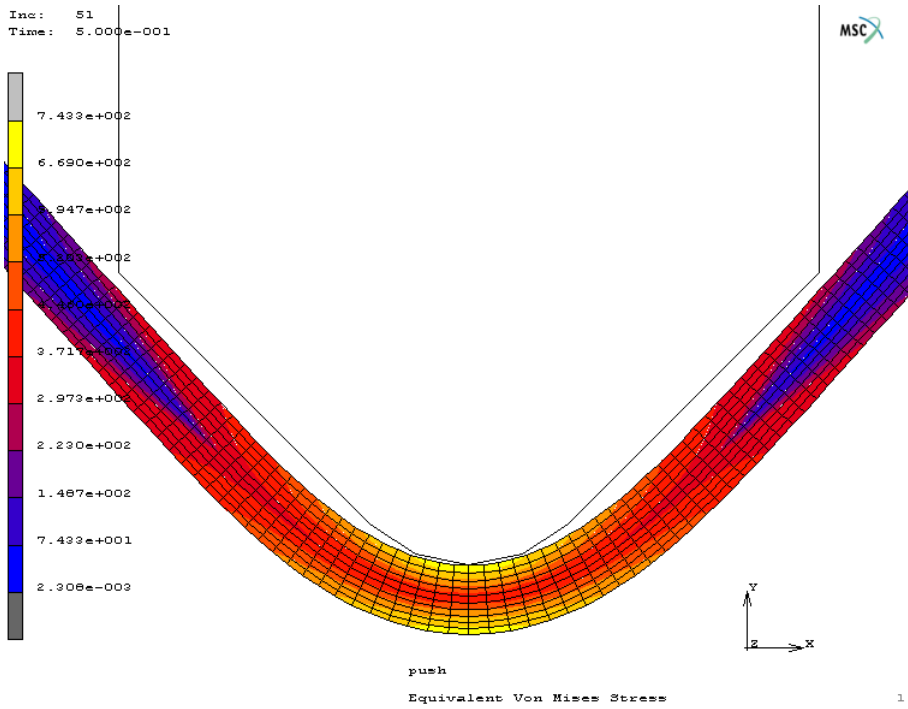
Şekil 6.47, 6.48, 6.49 incelendiğinde nötr eksenin iç tarafda et kalınlığının 0,40 oranında oluşmuştur. Zımba radyüsü 2 ve 3 mm göre nötr eksen iç bölgeye daha çok yaklaştığı görülmüştür. Bükme radyüsü arttıkça uzama miktarı azalmıştır.



Şekil 6.50. 30 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri

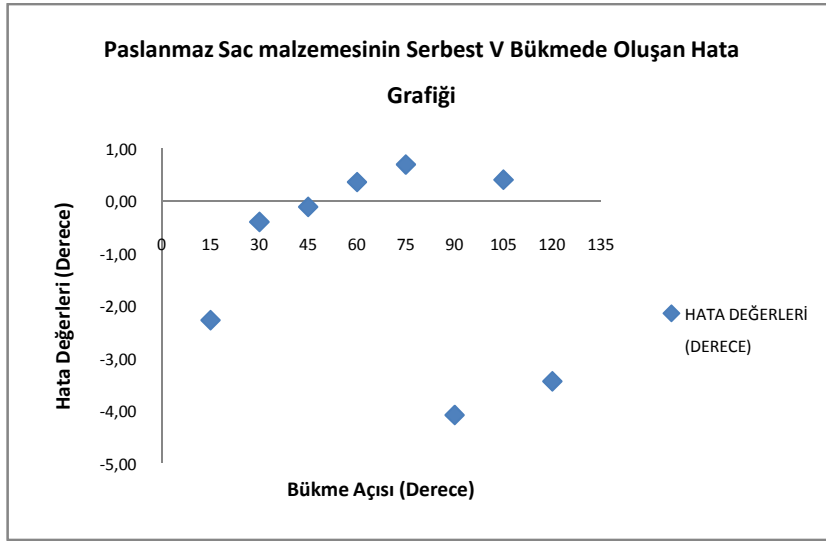


Şekil 6.51. 60 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri



Şekil 6.52. 90 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri

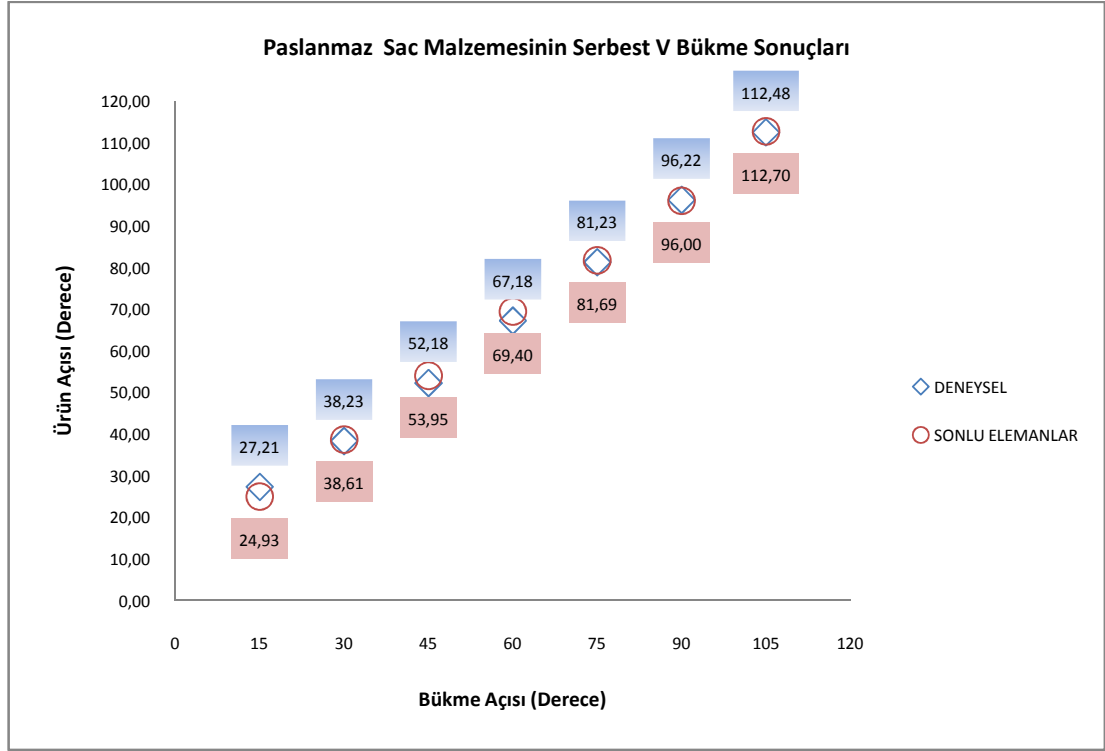
2 mm kalınlıkdaki zımba radyüsü 4 mm ile bükme sonuçları incelendiğinde (Şekil 6.49, 6.50, 6.51) 2 mm ve 3 mm'ye göre daha fazla gerilmeye maruz kaldığı ve daha fazla geri esnediği görülmüştür. Radyüs arttıkça gerilmeye maruz kalan bölge azalmaktadır.



Şekil 6.53. Deneysel ve sonlu elemanlar yöntemleri arasındaki geri esneme miktarlarındaki hata değerleri

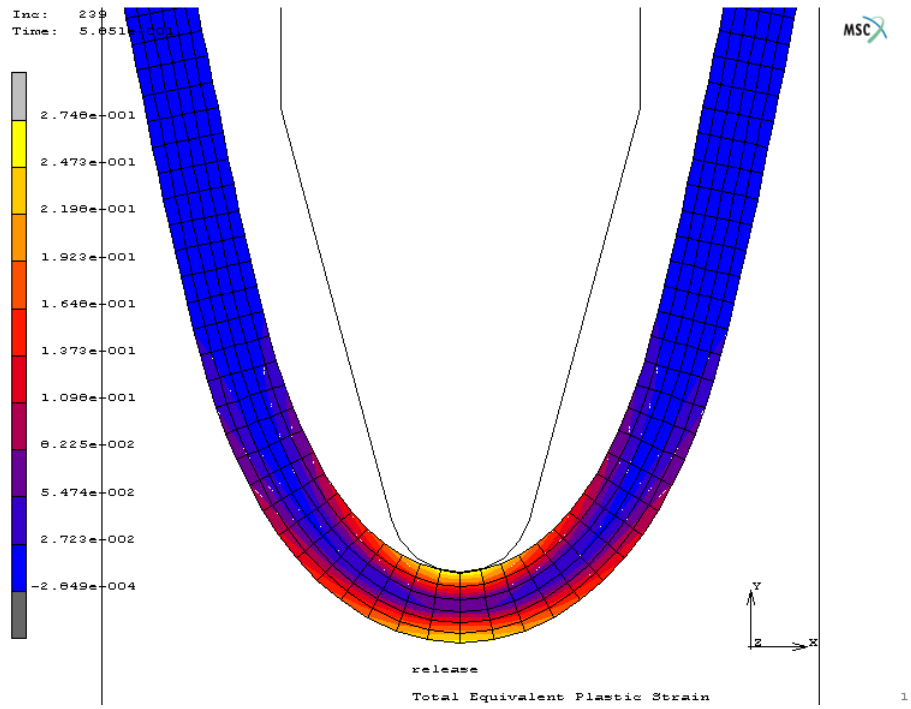
Şekil 6.53 incelendiğinde bükme radyüsü 2 mm ve 3 mm göre daha fazla hata değerlerinin olduğu görülmüştür. Bunun sebebi radyüs arttıkça daha fazla geri esnemenin oluşmasından sonlu elemanlar hesaplamalarında deneysel sonuçlarla farklılıklar görülmektedir

6.2.7. 3 mm kalınlığındaki paslanmaz sac ve 3 mm zımba radyüs değeri için serbest “V” bükme operasyonu sonuçlarının incelenmesi

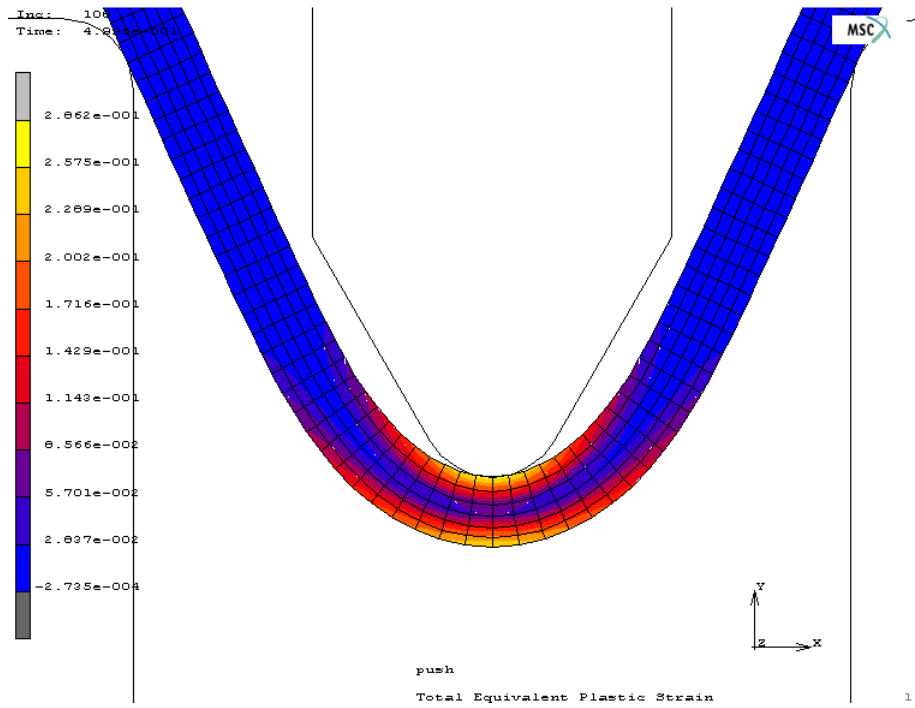


Şekil 6.54. Deneysel ve sonlu elemanlar yönteminin karşılaştırma verileri

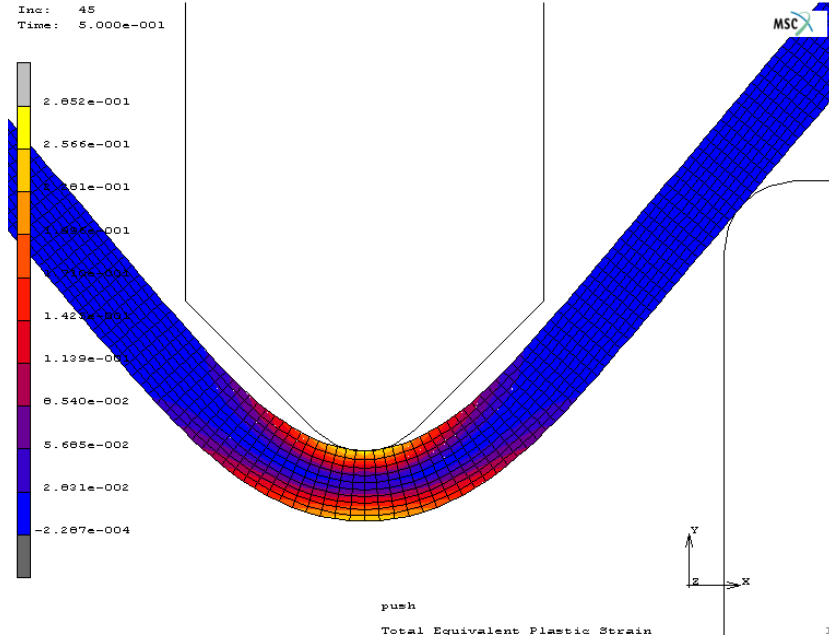
3 mm kalınlığındaki deney numunelerinin geri esneme miktarları 1mm ve 2mm malzeme kalınlığına göre daha yakın sonuçlar vermiştir (Şekil 6.54). Bu sonuç yuvarlanma yarıçapı esnekliğinin kaybolması olarak yorumlanabilir. Kalınlık arttıkça geri esneme azalmıştır.



Şekil 6.55. 30 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler

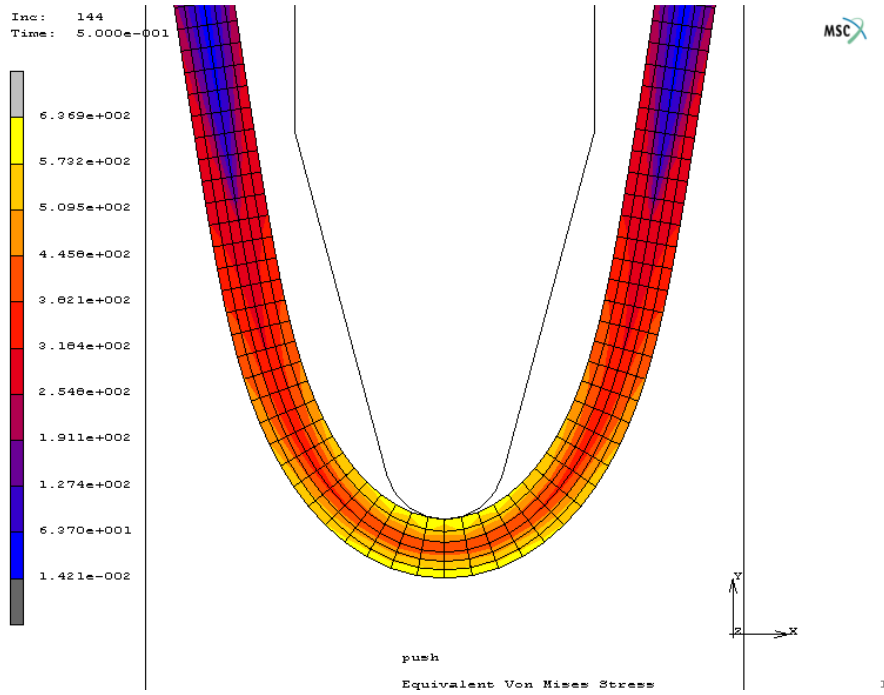


Şekil 6.56. 60 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler

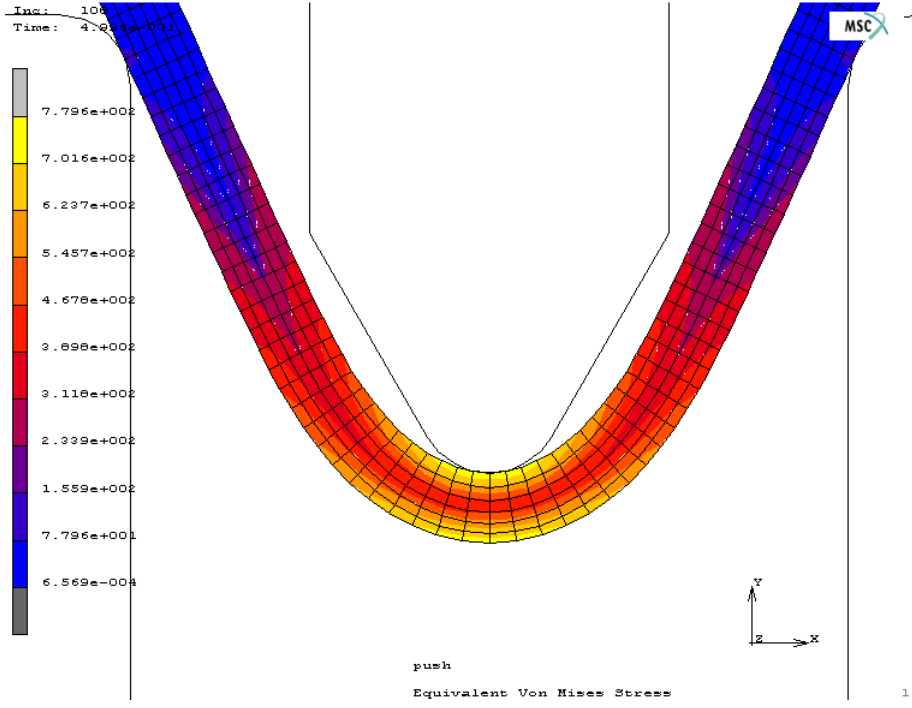


Şekil 6.57. 90 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler

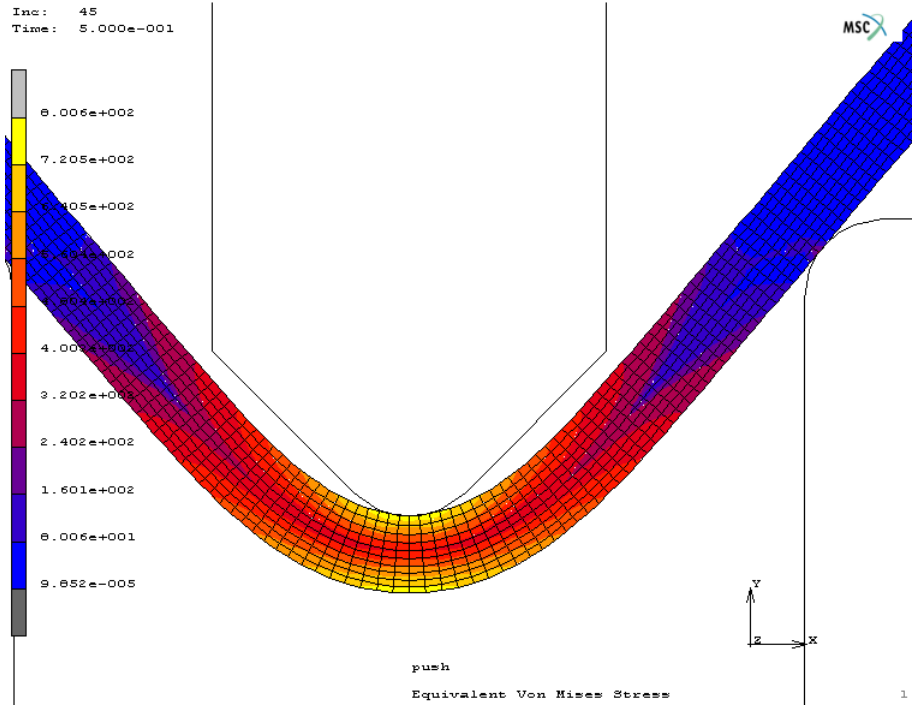
Nötr bölge iç tarafa yakın et kalınlığının 0,40 oranında oluşmuştur. 1 mm ve 2 mm kalınlık sonuçlarına göre kalınlık arttıkça gerinim değerleri ve uzamaya maruz kalan bölge artmaktadır (Şekil 6.55, 6.56, 6.57).



Şekil 6.58. 30 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri

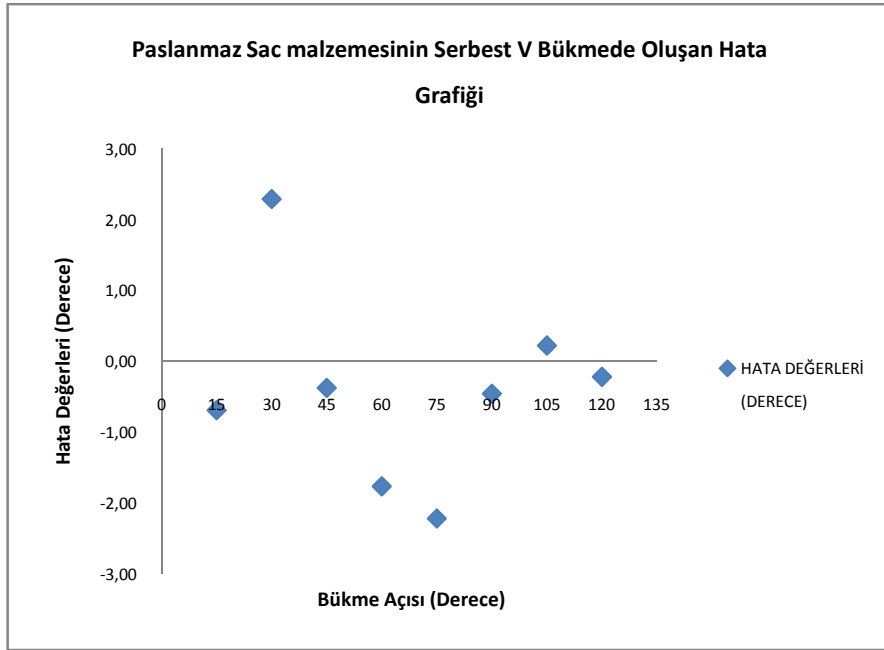


Şekil 6.59. 60 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri



Şekil 6.60. 90 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri

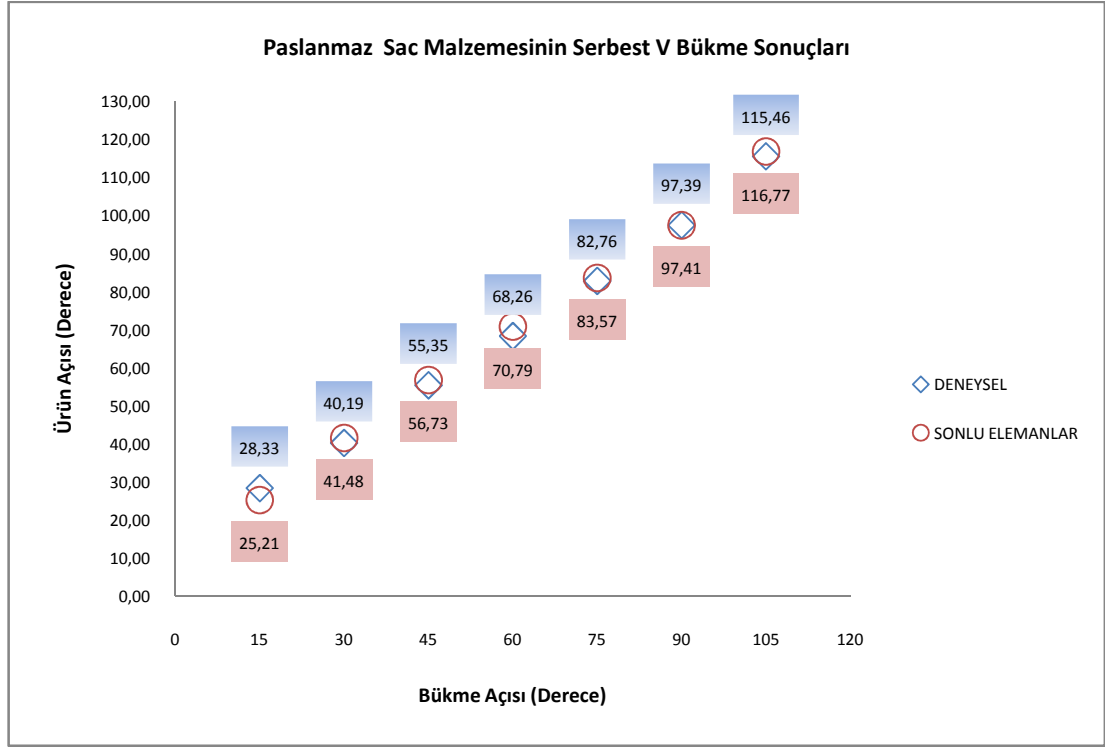
3 mm kalınlıkdaki gerilme değerleri incelendiğinde 1 ve 2 mm²ye göre daha fazla gerilmeye maruz kaldıkları, kalınlık arttıkça gerilme bölgesinin azaldığı ve geri esnemenin azaldığı görülmüştür. Nötr bölge kalınlığın iç tarafında 0,40 oranında oluşmuştur. Kalınlık arttıkça nötr bölge iç tarafa kaymaktadır (şekil 6.58, 6.59, 6.60).



şekil 6.61. Deneysel ve sonlu elemanlar yöntemleri arasındaki geri esneme miktarlarındaki hata değerleri

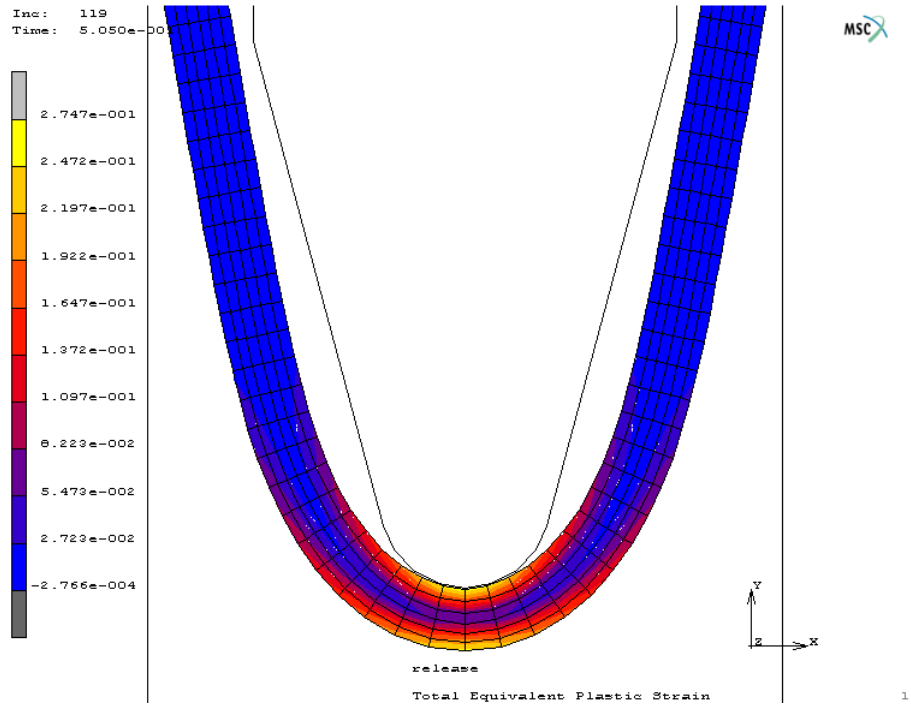
şekil 6.61 deki hata grafiği incelendiğinde 1 mm ve 2 mm kalınlığındaki bükme sonuçlarına göre daha az fark oluştuğu görülmektedir. Bunun sebebi kalınlık arttıkça geri esnemenin azalmasıdır.

6.2.8. 3 mm kalınlığındaki paslanmaz sac ve 4 mm zımba radyüs değeri için serbest “V” bükme operasyonu sonuçlarının incelenmesi

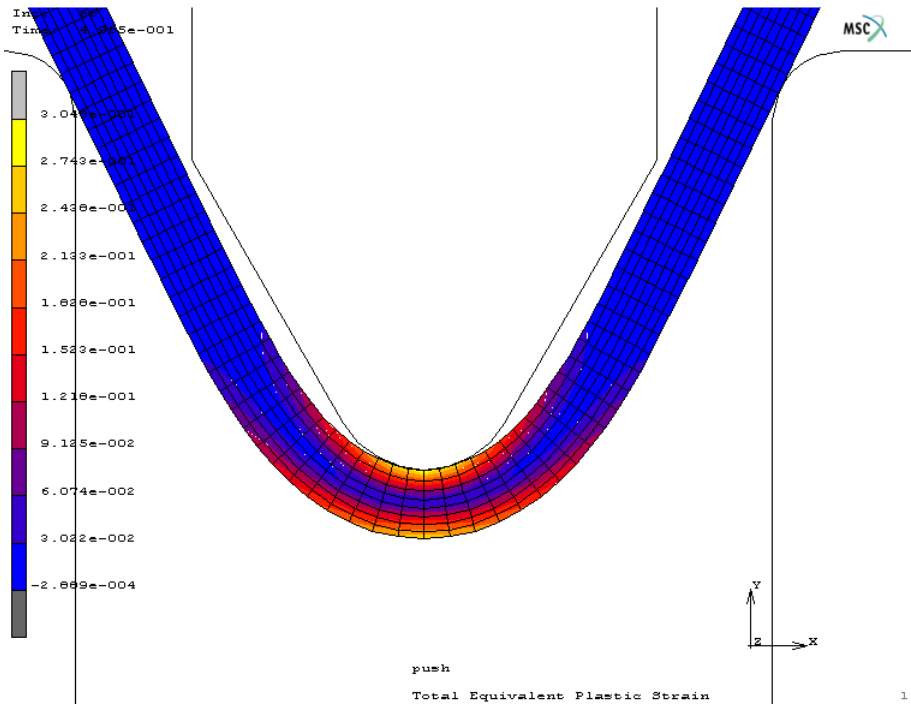


Şekil 6.62. Deneysel ve sonlu elemanlar yönteminin karşılaştırma verileri

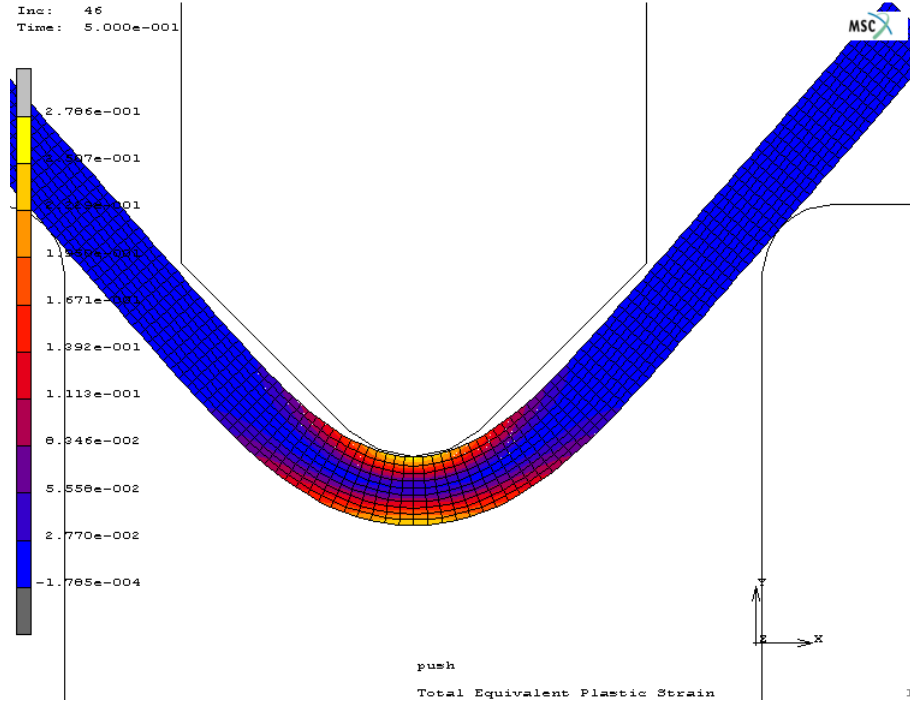
3 mm kalınlığındaki deney numunelerinin zımba radyüsü 6 mm ile bükmede oluşan sonuçların zımba radyüsü 4 mm'ye göre daha fazla geri esnediği görülmüştür(Şekil 6.62). Bu sonuç yuvarlanma yarıçapı esnekliğinin kaybolması olarak yorumlanabilir. Zımba radyüsünün artması geri esnemeyi artırmıştır.



Şekil 6.63. 30 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler

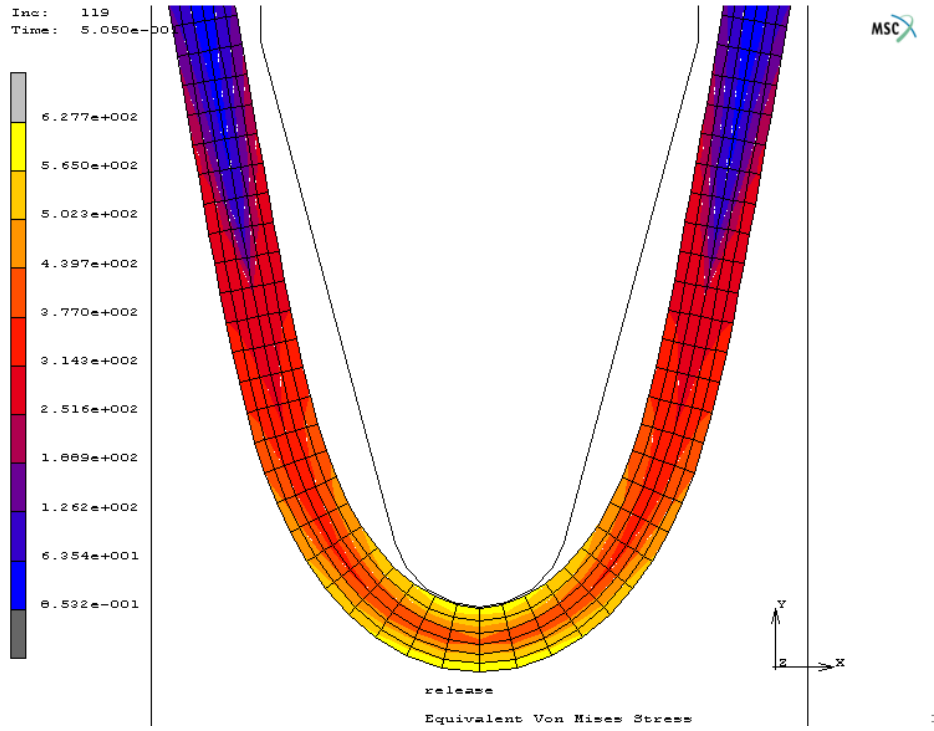


Şekil 6.64. 60 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler

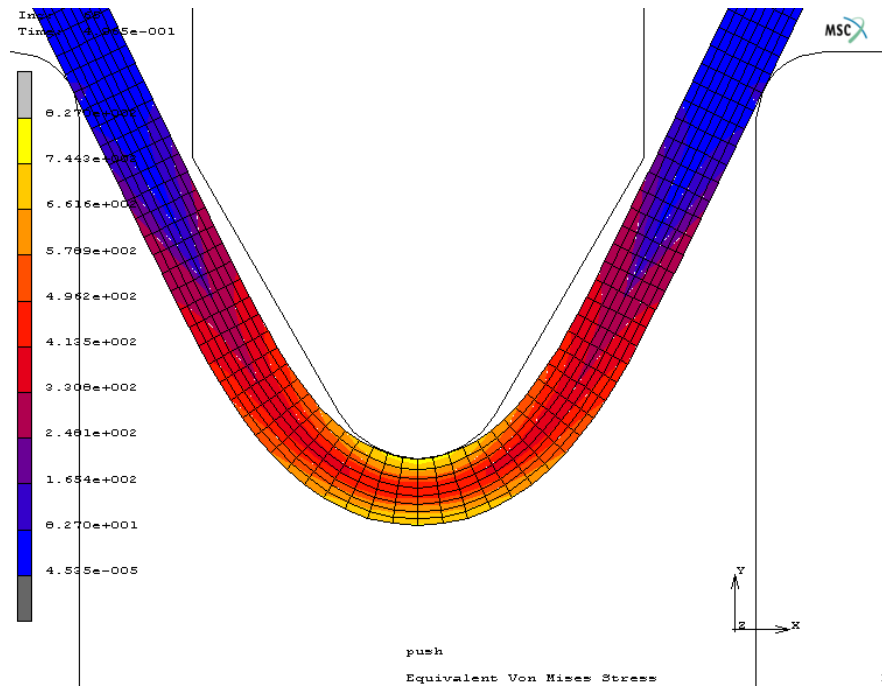


Şekil 6.65. 90 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler

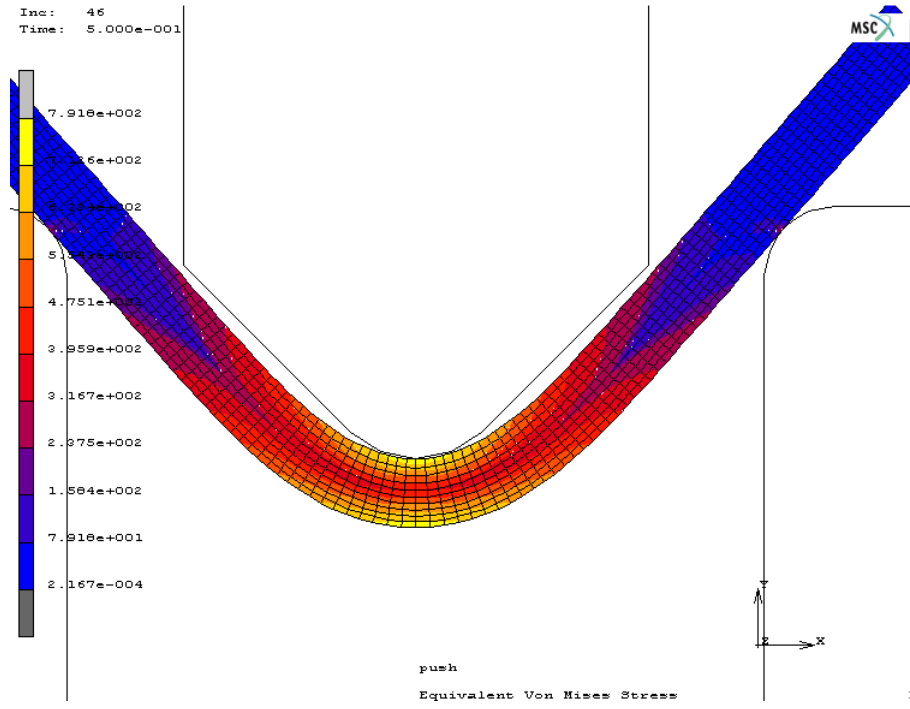
Gerinim grafikleri incelendiğinde (Şekil 6.63, 6.64, 6.65) nötr bölge zımba radyüsünün artmasıyla iç taraf da 0,39 oranında oluşmuştur. Zımba radyüsünün artması nötr bölgeyi iç eksene taşımaktadır. Kalınlık arttıkça gerinim değerleri ve gerinime uğrayan bölge artmıştır.



Şekil 6.66. 30 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri

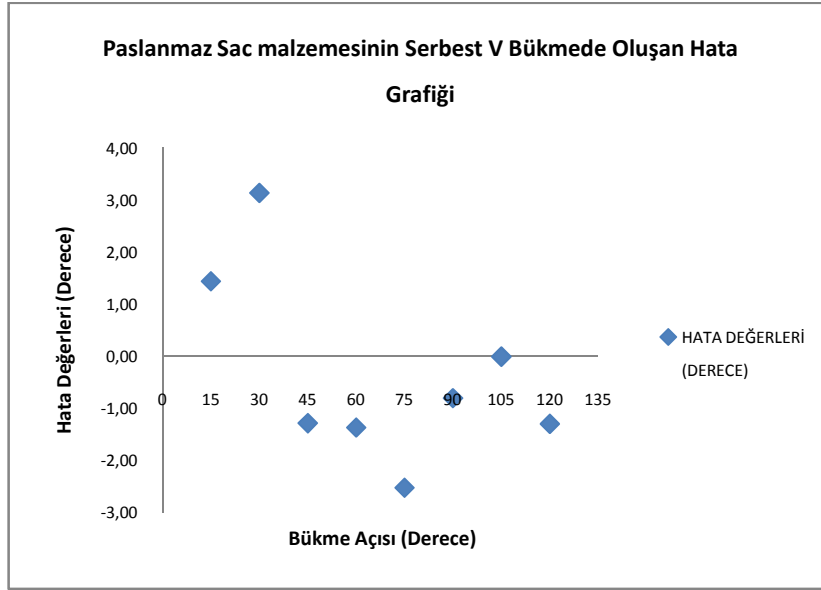


Şekil 6.67. 60 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri



Şekil 6.68. 90 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri

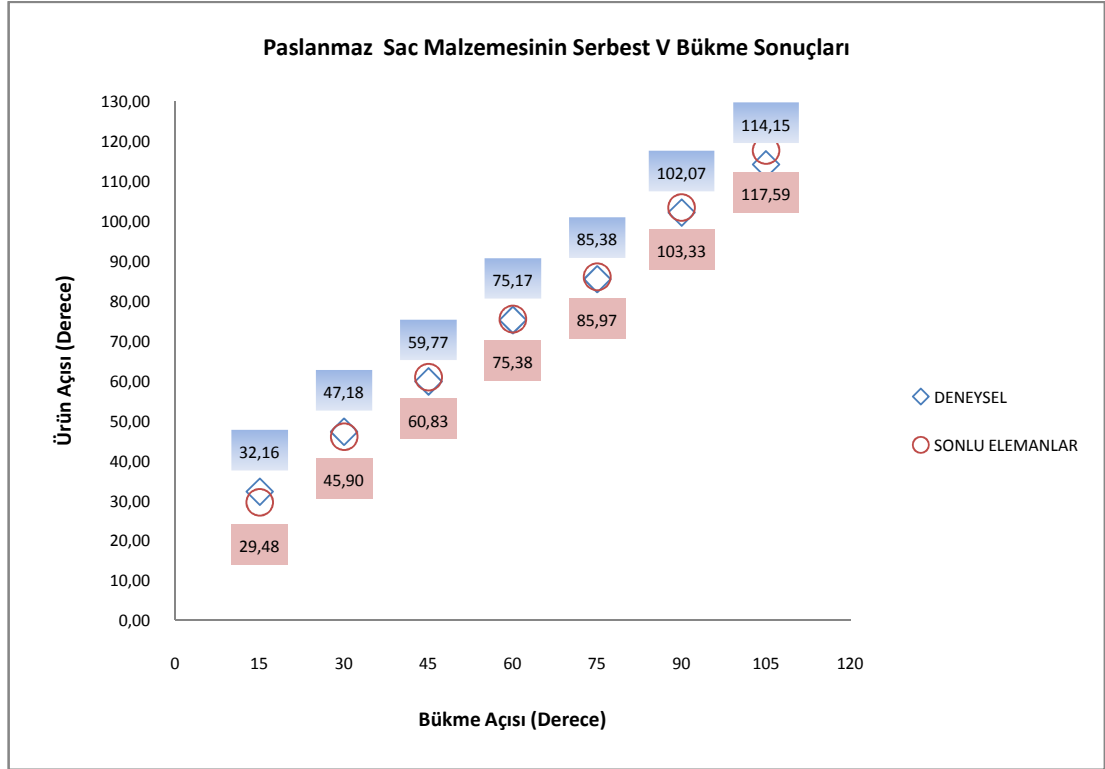
3 mm kalınlıkdaki ve zımba radyüsü 4 mm ile bükmede oluşan gerilmeler incelendiğinde (Şekil 6.66, 6.67, 6.68) radyüs arttıkça gerilme değerlerinin arttığı ve gerilme bölgesinin arttığı görülmüştür. Kalınlık 1 mm ve 2mm'ye göre daha az geri esnemiştir.



Şekil 6.69. Deneysel ve sonlu elemanlar yöntemleri arasındaki geri esneme miktarlarındaki hata değerleri

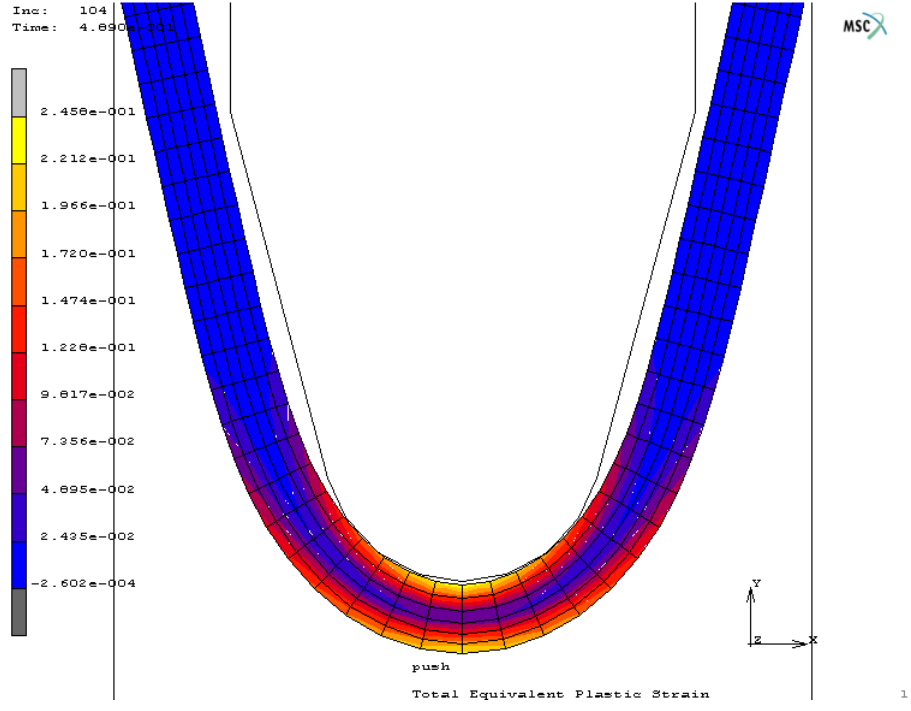
Şekil 6.69'daki grafik incelendiğinde 1 mm ve 2 mm deki değerlere göre daha yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. Bunun sebebi kalınlık arttıkça geri esnemenin azalmasıdır. En fazla hata 30 derece de oluşmasının sebebi bükme mesafesinin fazla olmasından kaynaklanmaktadır.

6.2.9. 3 mm kalınlığındaki paslanmaz sac ve 6 mm zımba radyüs değeri için serbest “V” bükme operasyonu sonuçlarının incelenmesi

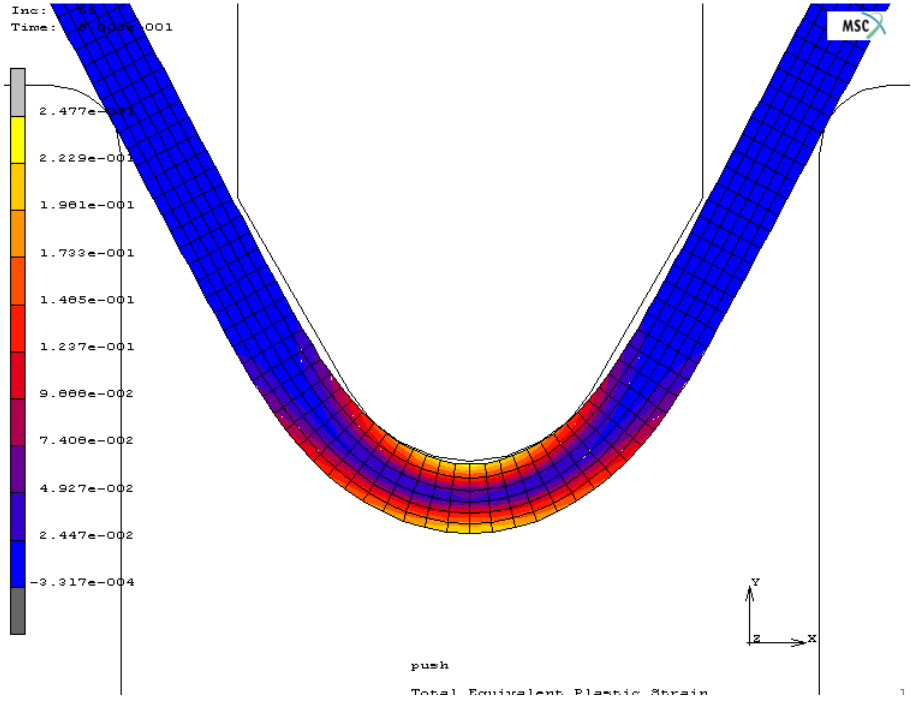


Şekil 6.70. Deneysel ve sonlu elemanlar yönteminin karşılaştırma verileri

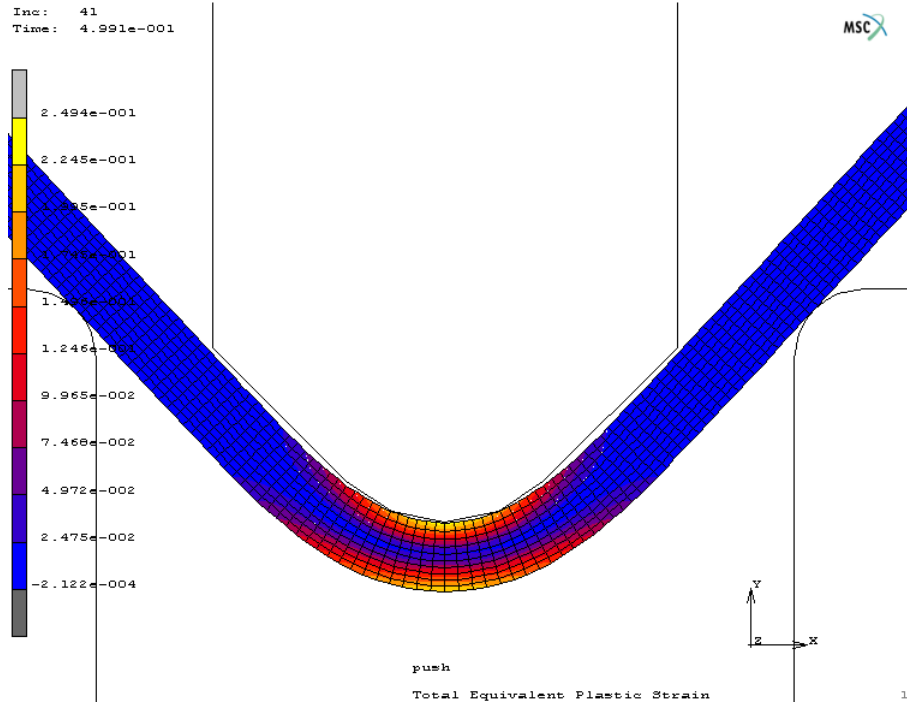
3 mm kalınlığındaki deney numunelerinin geri esneme miktarlarının zımba radyüsü 3 mm ve 4 mm ile bükme sonuçlarına göre daha fazla geri esnediği ve kalınlık arttıkça daha az geri esnediği görülmüştür (Şekil 6.29).



Şekil 6.71. 30 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler

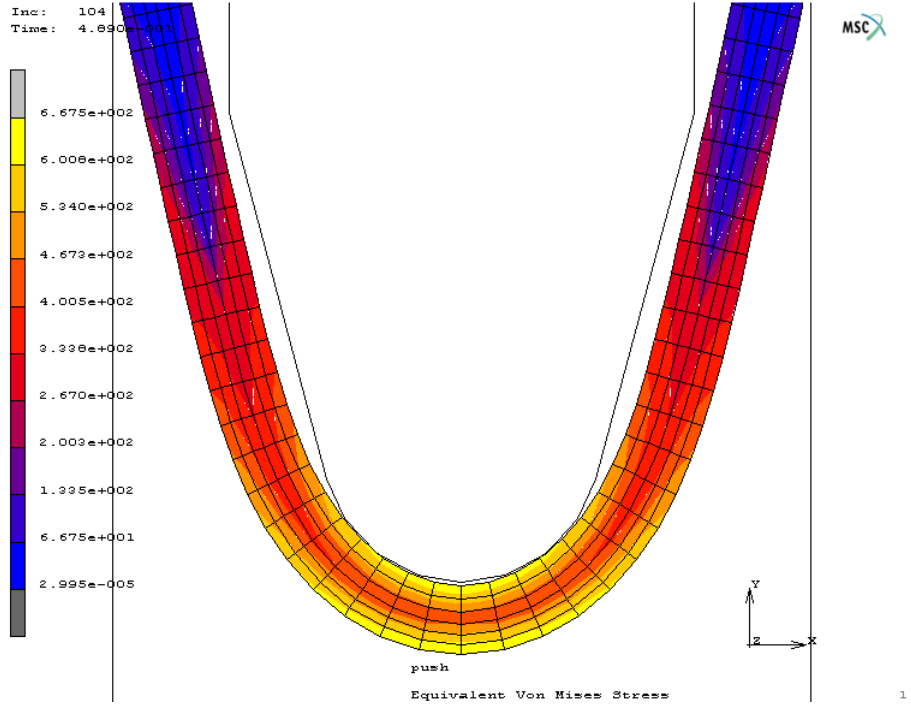


Şekil 6.72. 60 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler

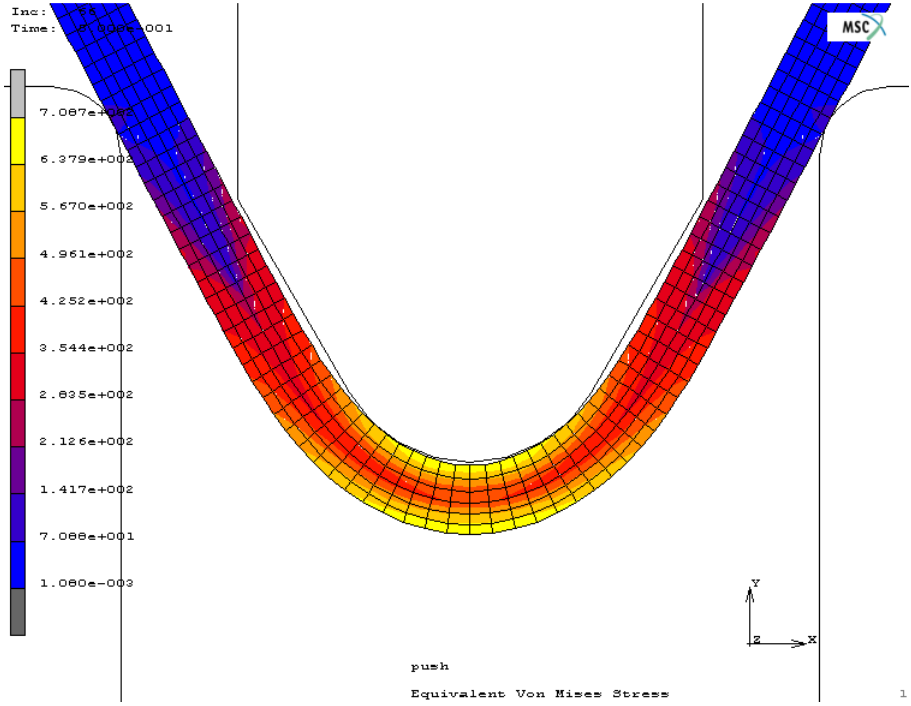


Şekil 6.73. 90 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler

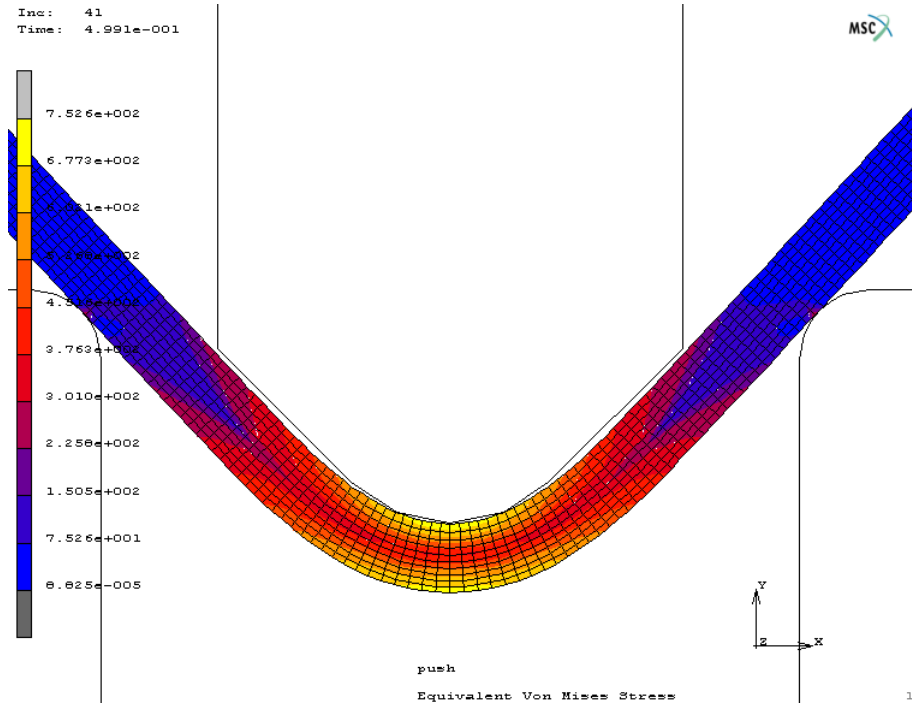
Şekil 6.71, 6.72, 6.73 incelendiğinde nötr eksen iç taraf da et kalınlığının 0,39 oranında oluşmuştur. Zımba radyüsü 4 ve 6 mm'ye göre nötr eksenin iç bölgeye daha çok yaklaştığı görülmüştür. Bükme radyüsü arttıkça uzama miktarı azalmıştır. Kalınlık arttıkça uzamaya maruz kalan bölge artmıştır.



Şekil 6.74. 30 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri

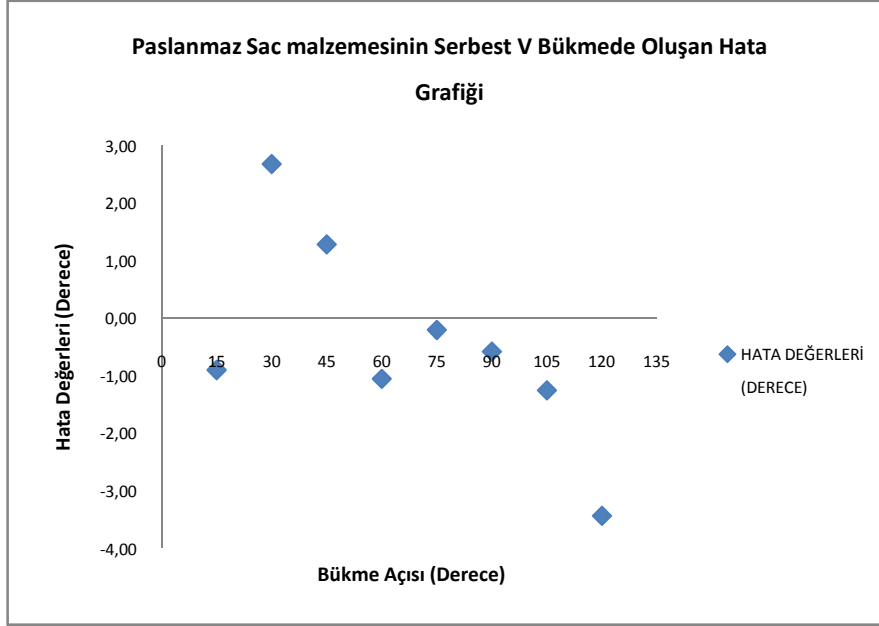


Şekil 6.75. 60 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri



Şekil 6.76. 90 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri

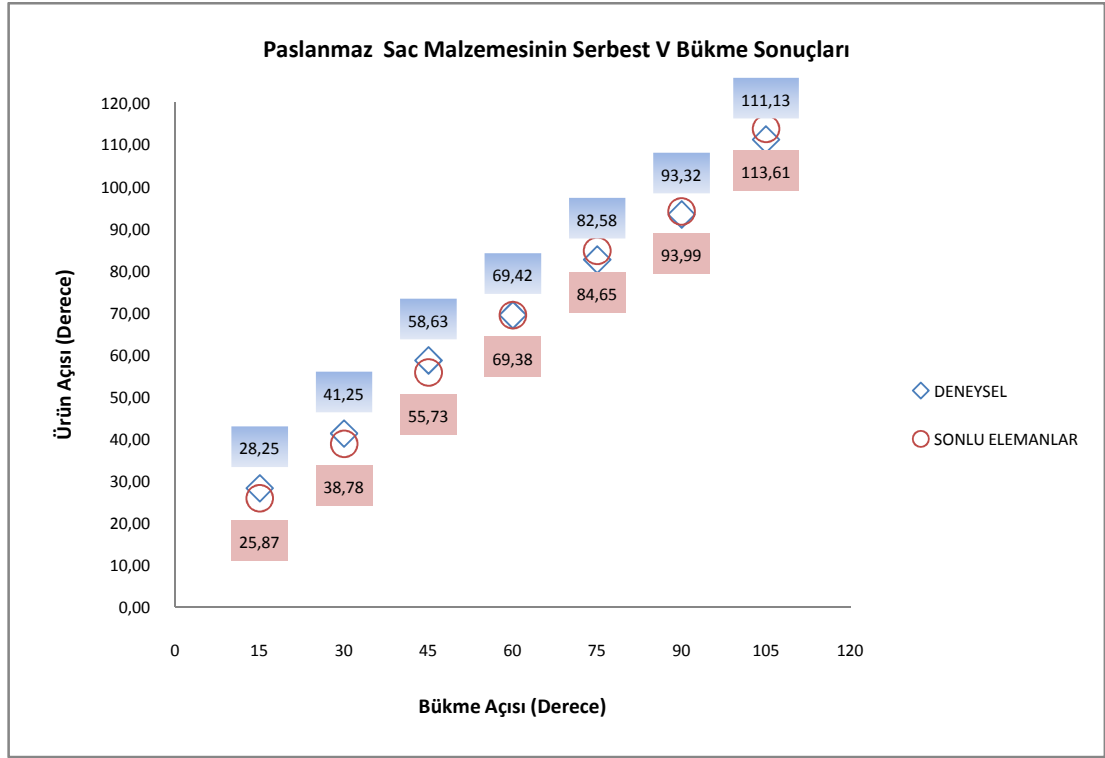
3 mm kalınlıkdaki zımba radyüsü 6 mm ile bükme sonuçları incelendiğinde (Şekil 6.74, 6.75, 6.76) 3 mm ve 4 mm zımba radyüslerine göre daha fazla gerilmeye maruz kaldığı ve daha fazla geri esnediği görülmüştür. Radyüs arttıkça gerilmeye maruz kalan bölge azalmaktadır.



Şekil 6.77. Deneysel ve sonlu elemanlar yöntemleri arasındaki geri esneme miktarlarındaki hata değerleri

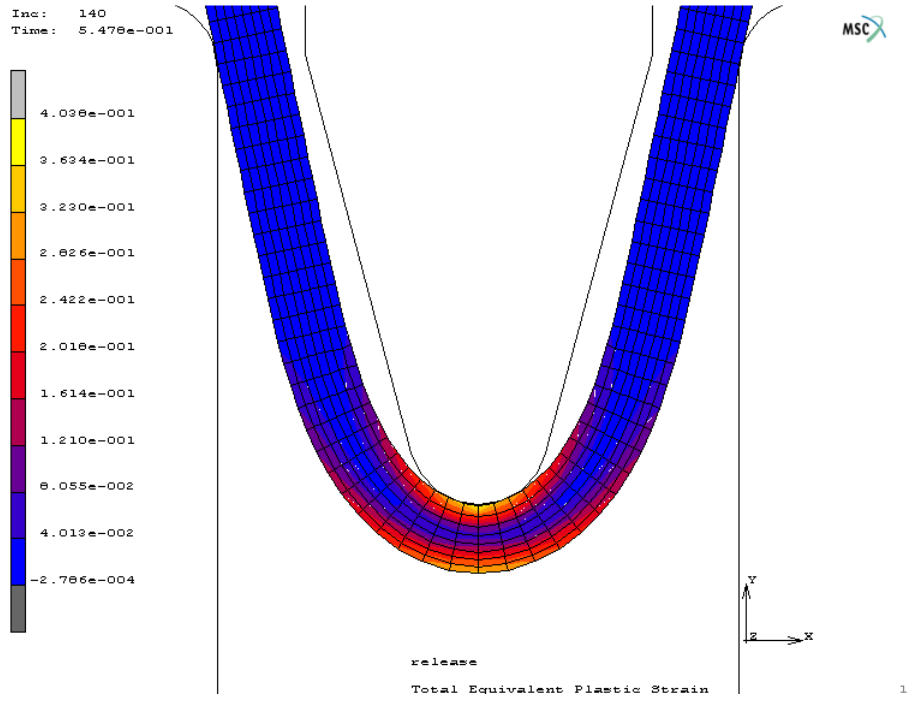
Şekil 6.77 incelendiğinde bükme radyüsü 2 mm ve 3 mm göre daha fazla hata değerlerinin oluştuğu görülmüştür. Bunun sebebi radyüs arttıkça daha fazla geri esnemenin oluşmasından sonlu elemanlar hesaplamalarında deneysel sonuçlarla farklılıklar görülmektedir

6.2.10. 4 mm kalınlığındaki paslanmaz sac ve 4 mm zımba radyüs değeri için serbest “V” bükme operasyonu sonuçlarının incelenmesi

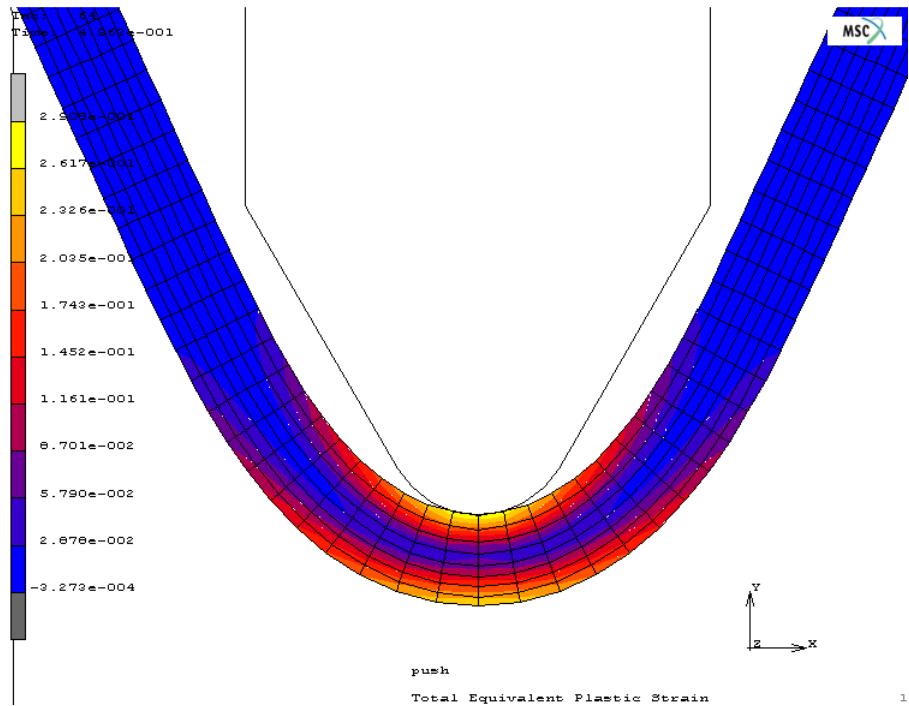


Şekil 6.78. Deneysel ve sonlu elemanlar yönteminin karşılaştırma verileri

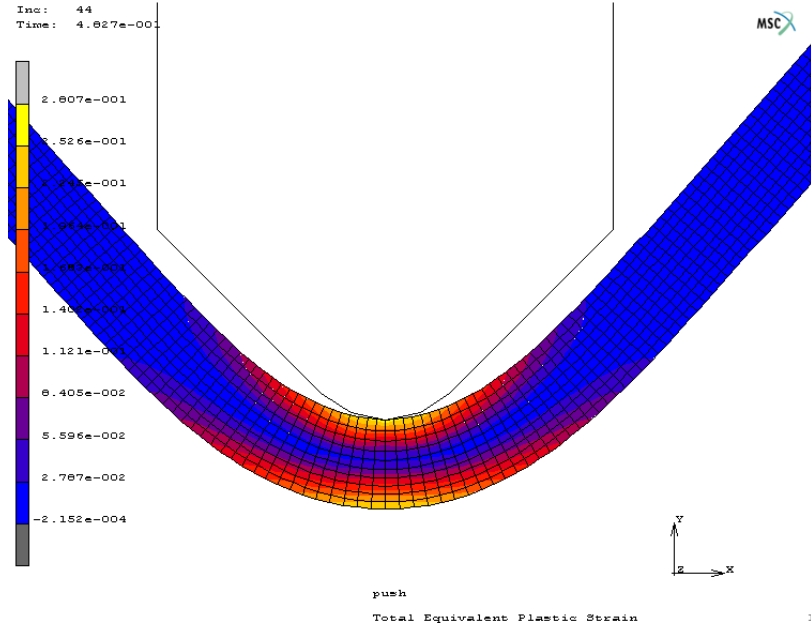
Şekil 6.78 incelendiğinde deneysel sonuçlarla sonlu elemanlar analizlerinin daha uyumlu olduğu görülmüştür. Kalınlık arttıkça geri esneme azalmıştır. 120 derecede ters açi oluşmuştur. Bunun sebebi ise yükleme durumunda yuvarlama yarı çaplarının büyük olmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 6.79. 30 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler

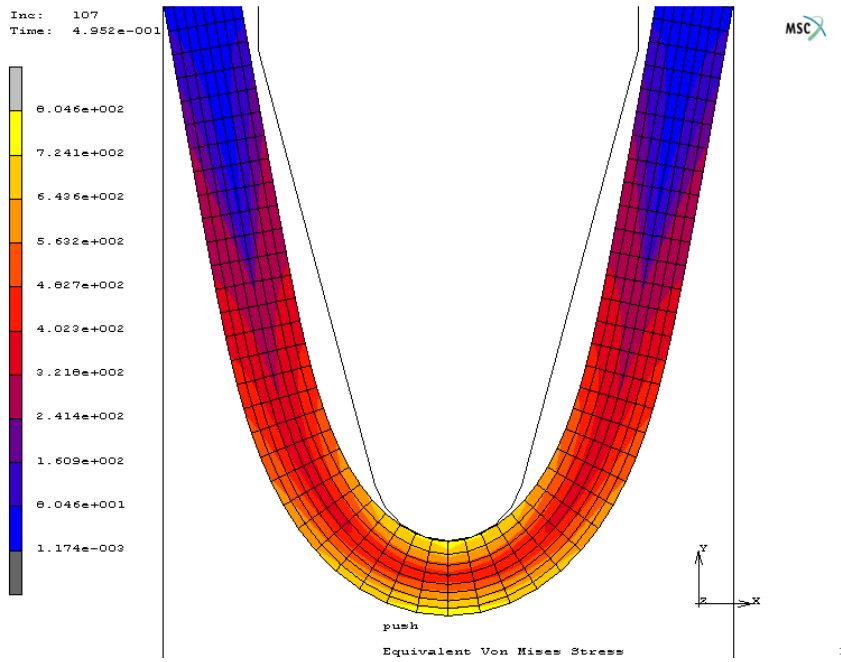


Şekil 6.80. 60 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler

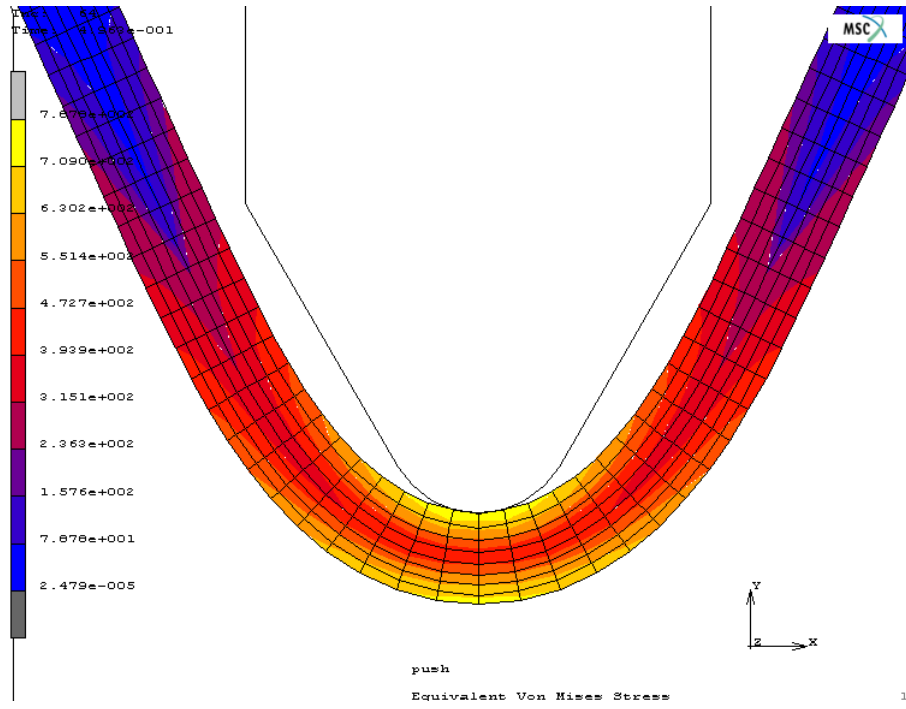


Şekil 6.81. 90 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler

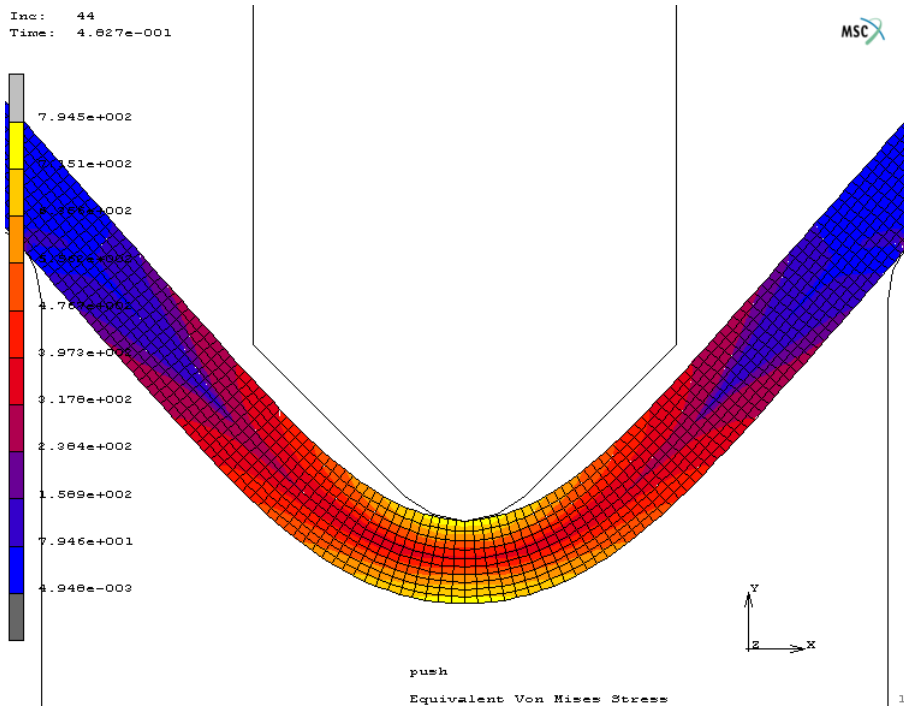
Şekil 6.79, 6.80, 6.81 incelendiğinde nötr eksenin iç taraf da et kalınlığının 0,40 oranında oluşmuştur. Bükme radyüsü arttıkça uzama miktarı azalmıştır. Kalınlık arttıkça uzama bölgesi artmıştır.



Şekil 6.82. 30 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri

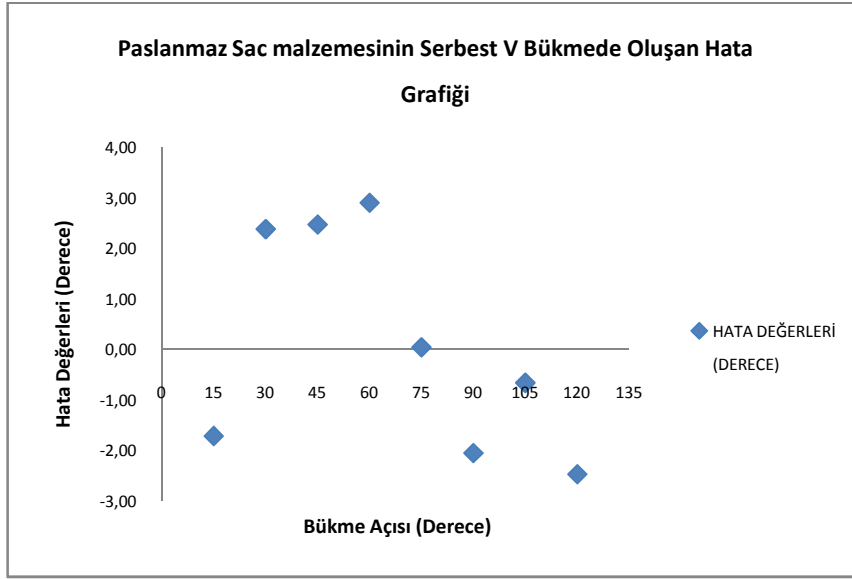


Şekil 6.83. 60 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri



Şekil 6.84. 90 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri

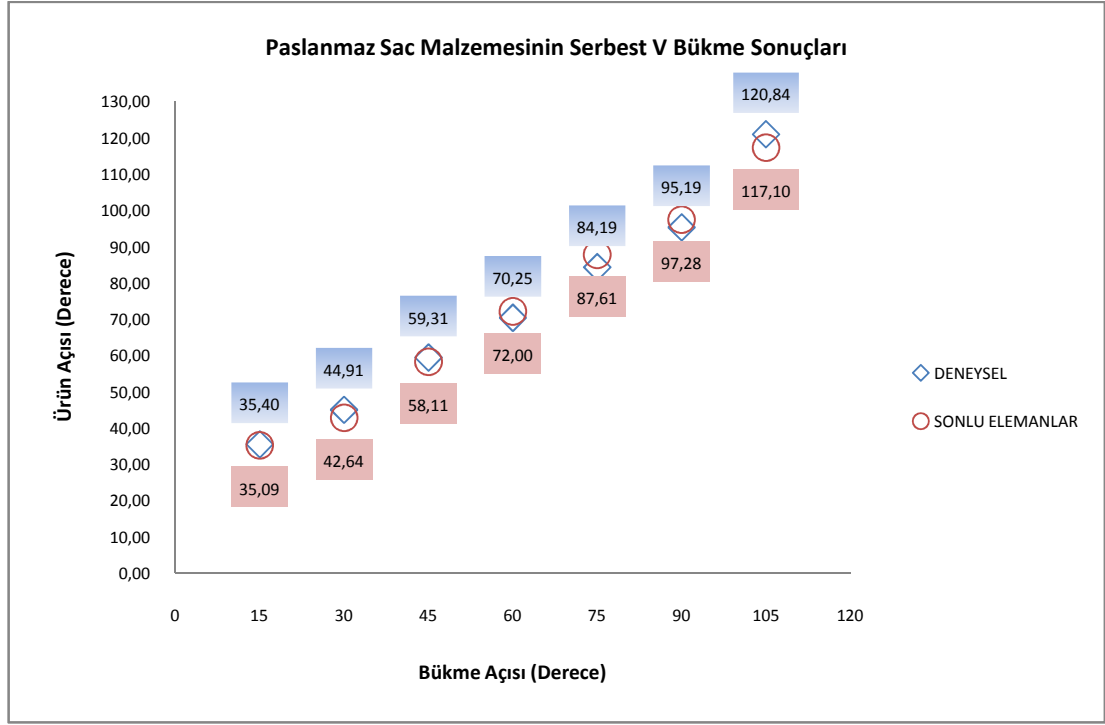
4 mm kalınlıkdaki zımba radyüsü 4 mm ile bükme sonuçları incelendiğinde (Şekil 6.82, 6.83, 6.84) kalınlık arttıkça gerilme değerleri ve uzama bölgesi artmıştır. Kalınlık arttıkça geri esneme azalmıştır.



Şekil 6.85. Deneysel ve sonlu elemanlar yöntemleri arasındaki geri esneme miktarlarındaki hata değerleri

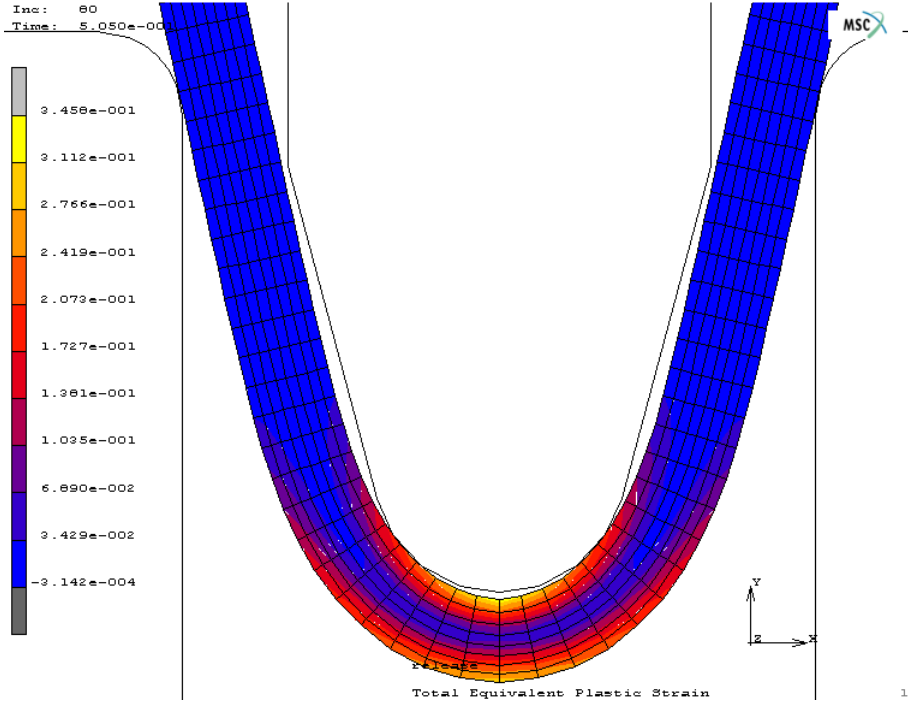
Şekil 6.85 incelendiğinde fazla çıkan hata değerlerinin yuvarlanma yarıçapının fazla olmasından kaynaklanmaktadır.

6.2.11. 4 mm kalınlığındaki paslanmaz sac ve 6 mm zımba radyüs değeri için serbest “V” bükme operasyonu sonuçlarının incelenmesi

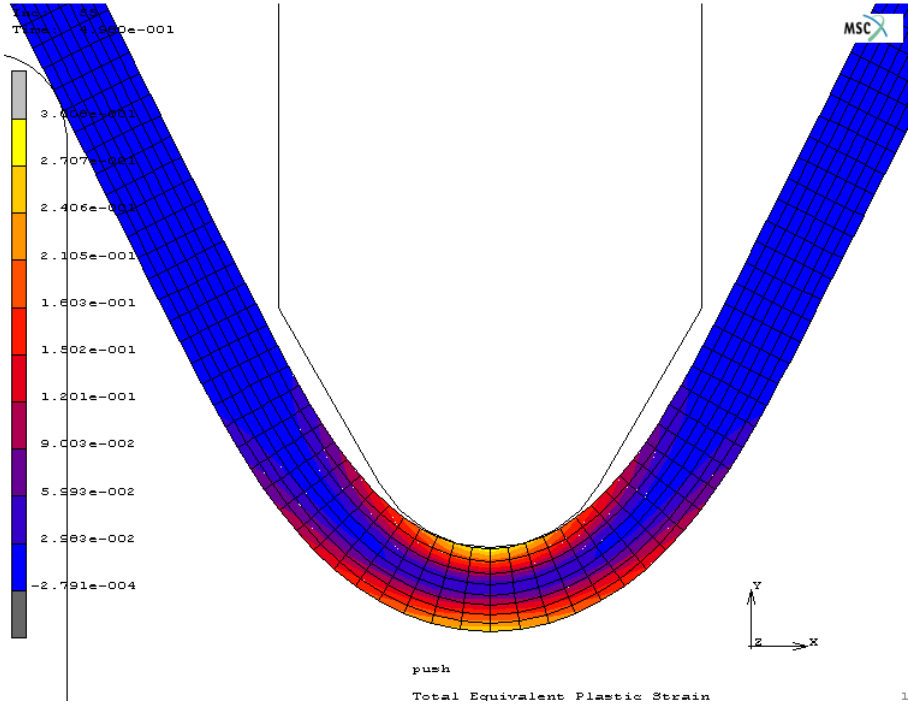


Şekil 6.86. Deneysel ve sonlu elemanlar yönteminin karşılaştırma verileri

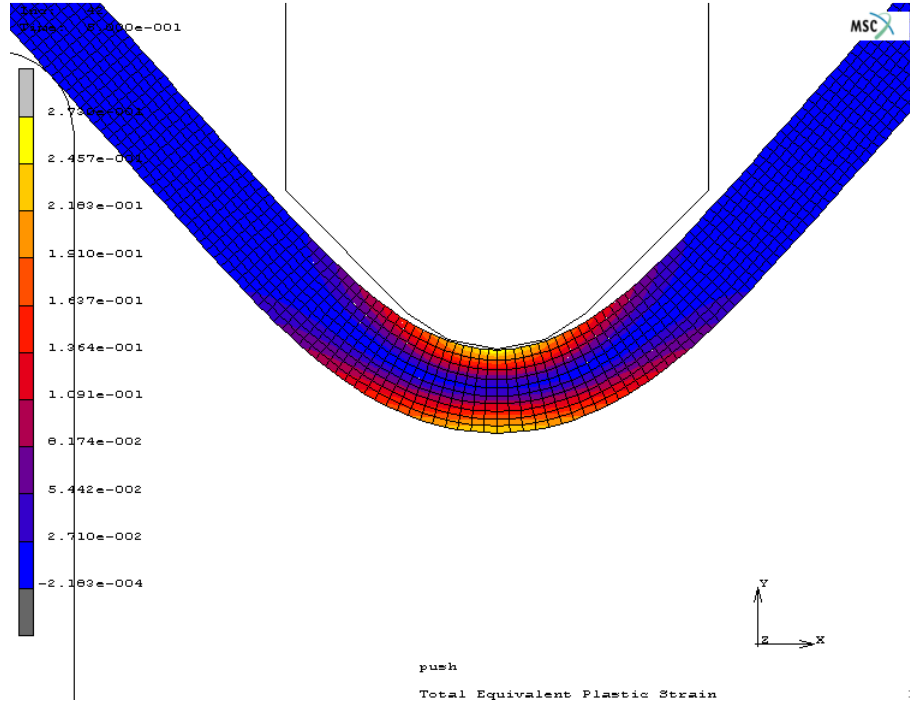
4 mm kalınlığındaki deney numunelerinin geri esneme miktarlarının zımba radyüsü 4 mm bükme sonuçlarına göre daha fazla geri esnediği ve kalınlık arttıkça daha az geri esnediği görülmüştür (Şekil 6.86).



Şekil 6.87. 30 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler

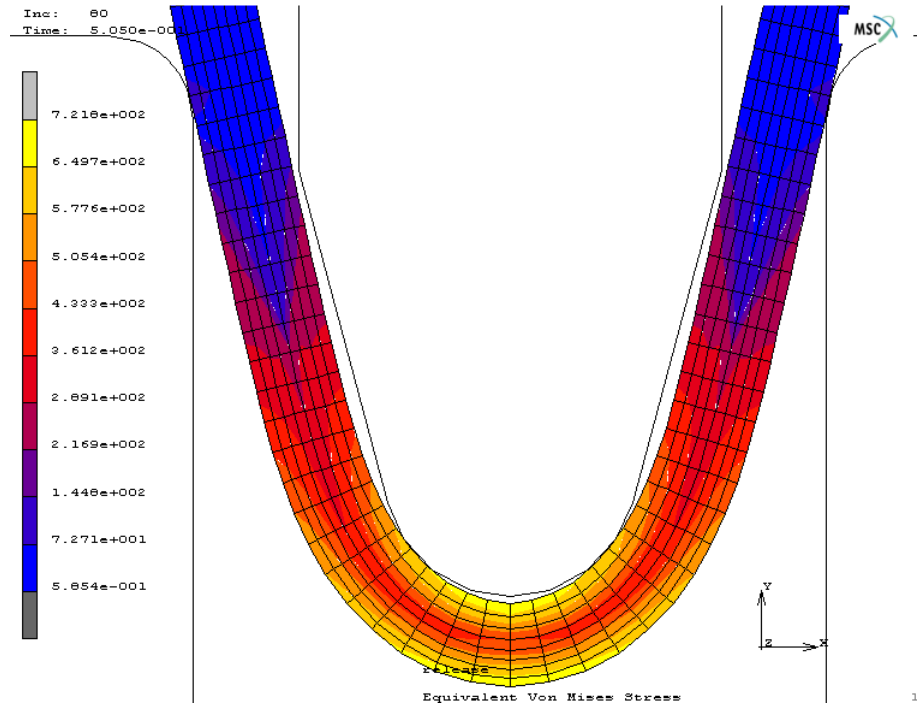


Şekil 6.88. 60 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler

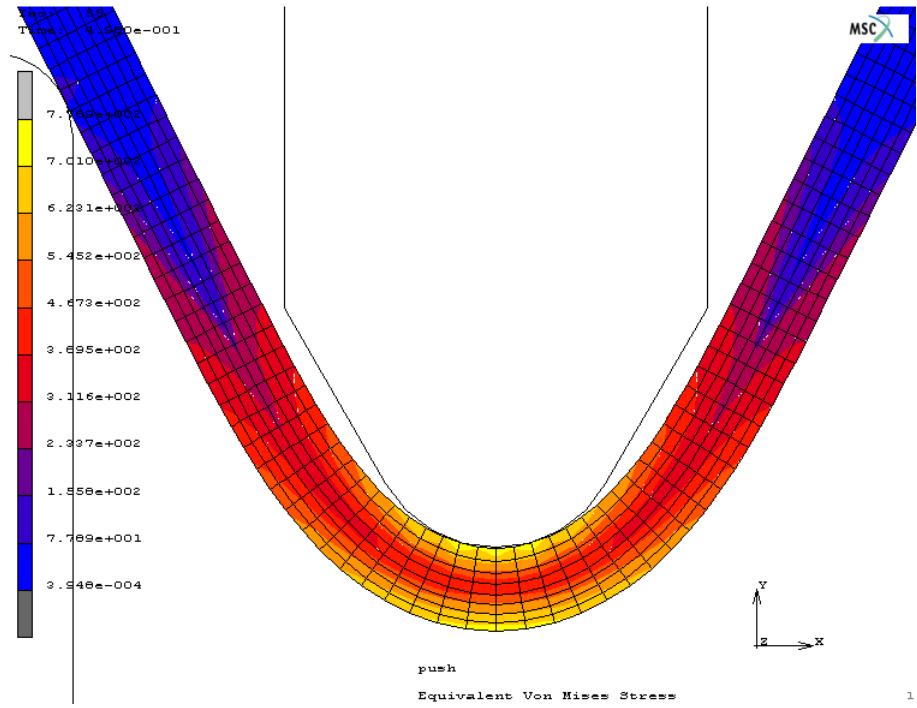


Şekil 6.89. 90 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler

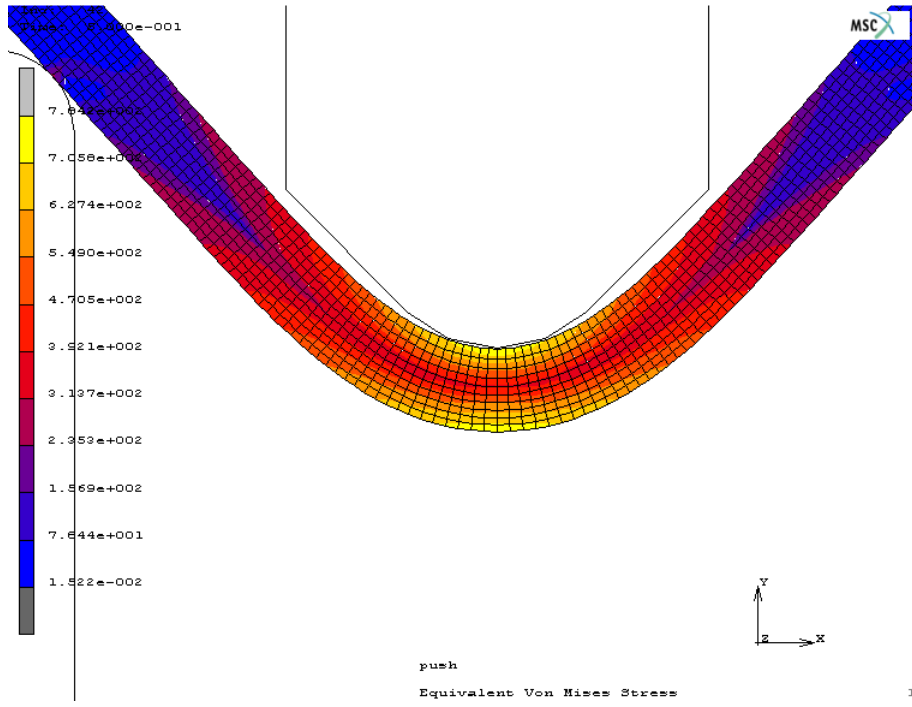
Şekil 6.87, 6.88, 6.89 incelendiğinde nötr eksen iç taraf da et kalınlığının 0,40 oranında oluşmuştur. Zımba radyüsü 4 mm'ye göre nötr eksen iç bölgeye daha çok yaklaştığı görülmüştür. Bükme radyüsü arttıkça uzama miktarı azalmıştır. Kalınlık arttıkça uzamaya maruz kalan bölge artmıştır



Şekil 6.90. 30 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri

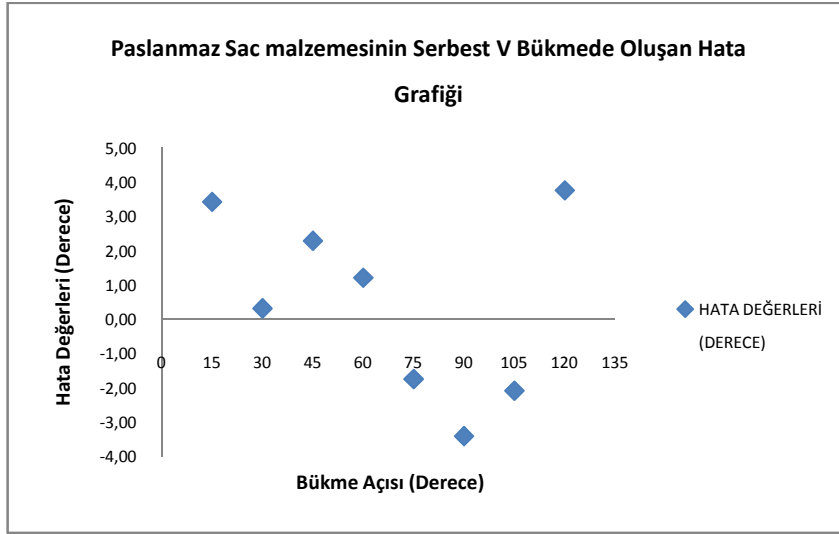


Şekil 6.91. 60 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri



Şekil 6.92. 90 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri

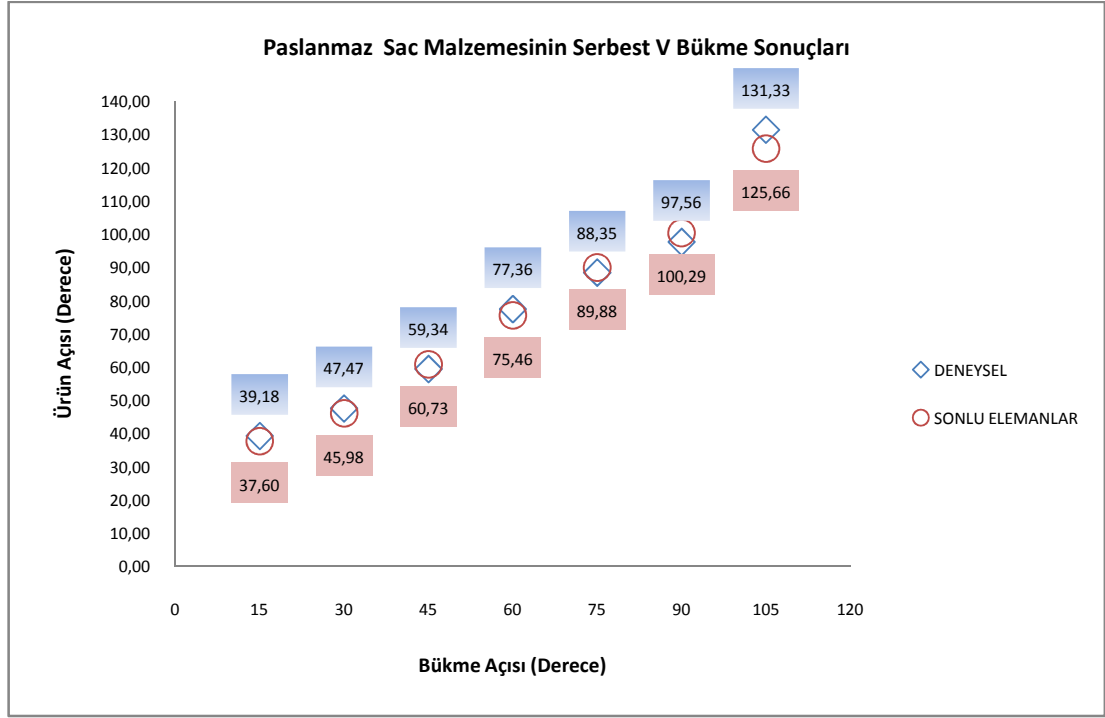
3 mm kalınlıkdaki zımba radyüsü 6 mm ile bükme sonuçları incelendiğinde (Şekil 6.90, 6.91, 6.92) 4 mm zımba radyüslerine göre daha fazla gerilmeye maruz kaldığı ve daha fazla geri esnediği görülmüştür. Radyüs arttıkça gerilmeye maruz kalan bölge azalmaktadır.



Şekil 6.93. Deneysel ve sonlu elemanlar yöntemleri arasındaki geri esneme miktarlarındaki hata değerleri

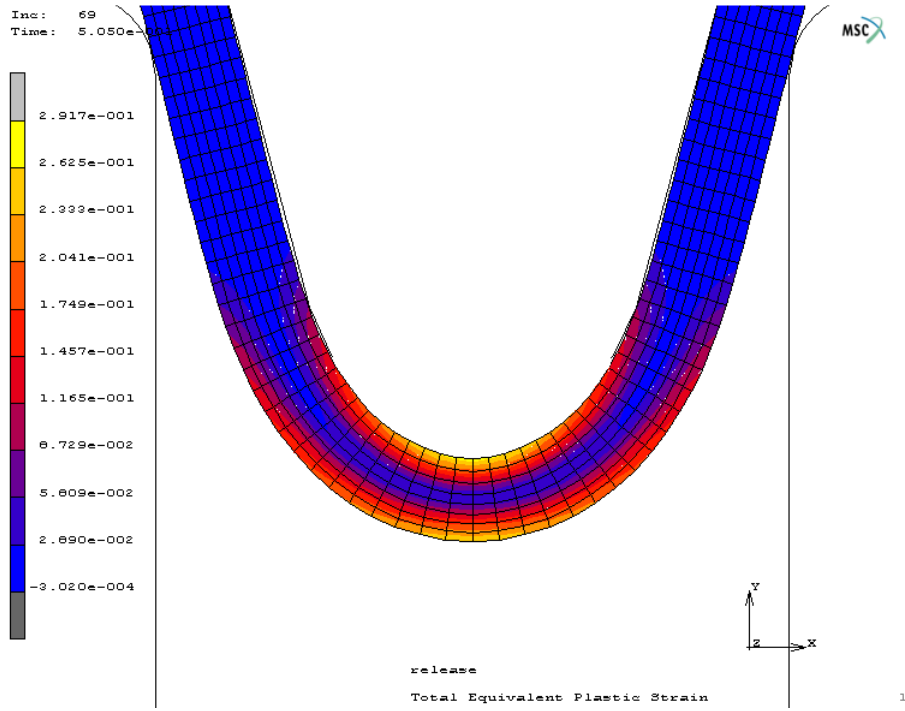
Şekil 6.93 incelendiğinde fazla çıkan hata değerlerinin yuvarlanma yarıçapının fazla olmasından kaynaklanmaktadır.

6.2.12. 4 mm kalınlığındaki paslanmaz sac ve 8 mm zımba radyüs değeri için serbest “V” bükme operasyonu sonuçlarının incelenmesi

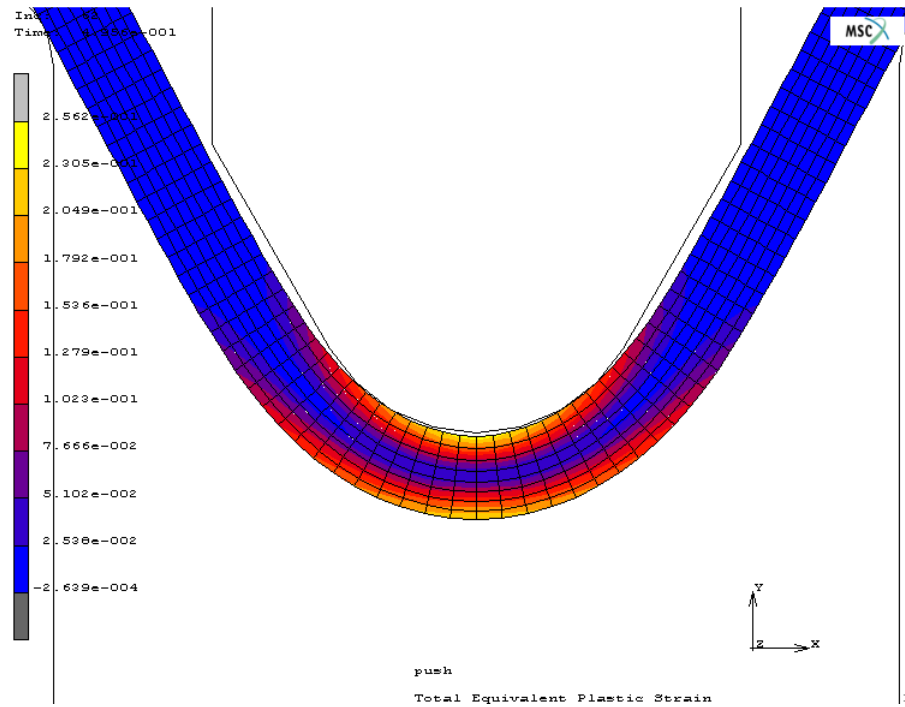


Şekil 6.94. Deneysel ve sonlu elemanlar yönteminin karşılaştırma verileri

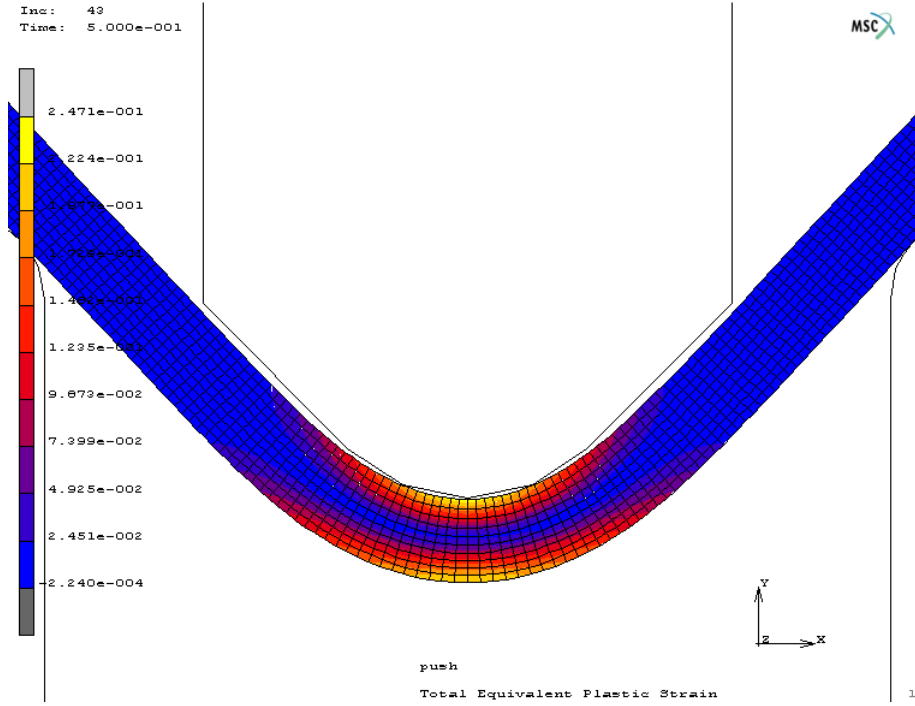
4 mm kalınlığındaki deney numunelerinin geri esneme miktarlarıyla sonlu elemanlar yöntemi karşılaştırıldığında 1 mm, 2 mm ve 3 mm malzeme kalınlığına göre daha yakın sonuçlar vermiştir (Şekil 6.94). Kalınlık arttıkça geri esneme azalmıştır. Bükme radyüsü arttıkça geri esneme artmaktadır.



Şekil 6.95. 30 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler

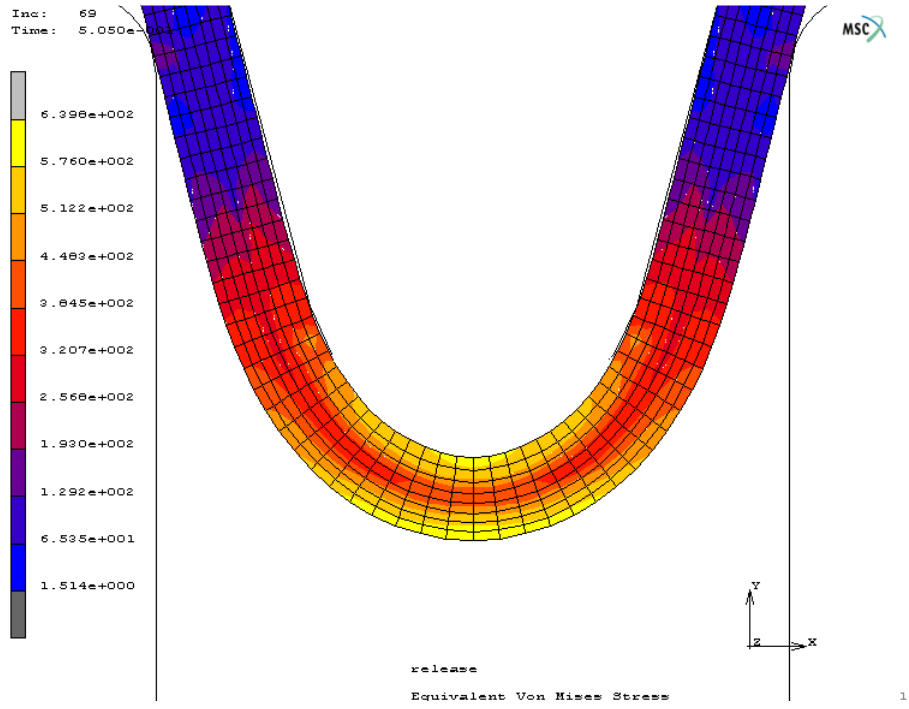


Şekil 6.96. 60 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler

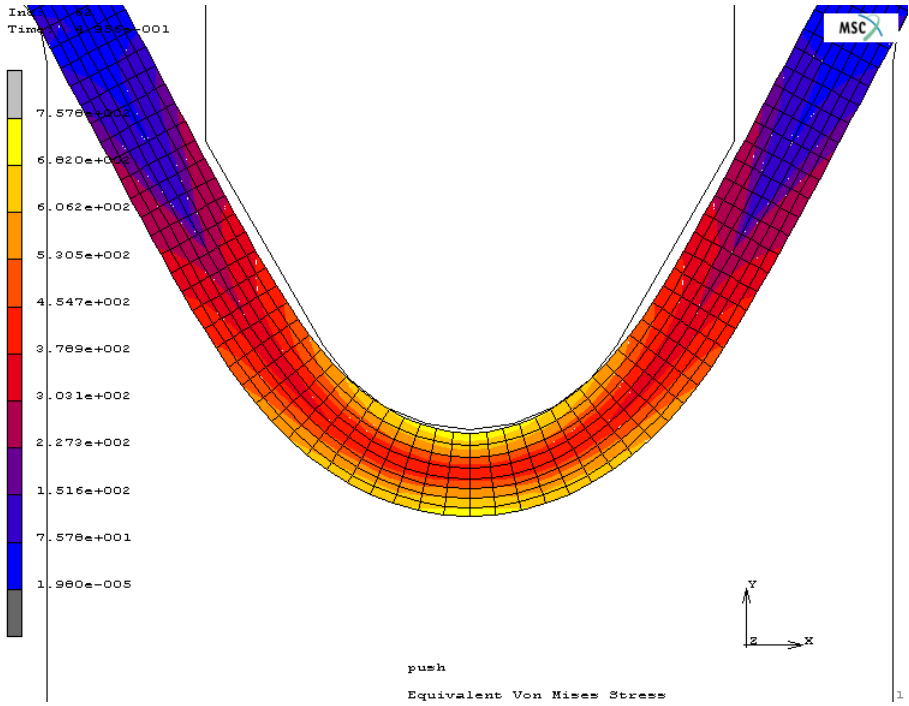


Şekil 6.97. 90 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler

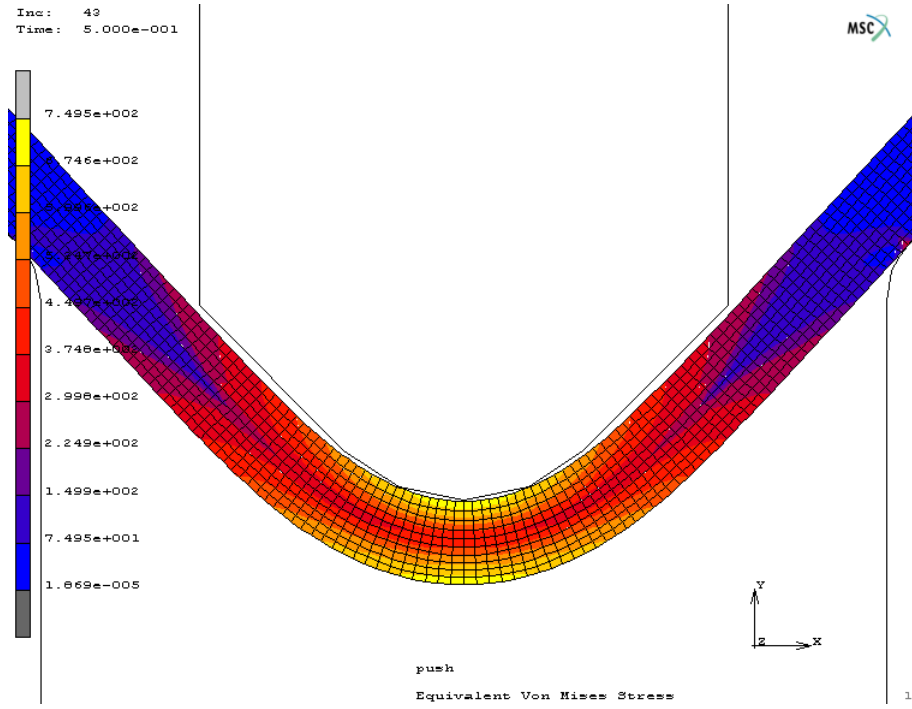
Şekil 6.95, 6.96, 6.97 incelendiğinde nötr eksen iç taraf da et kalınlığının 0,39 oranında oluşmuştur. Zımba radyüsü 4 ve 6 mm'ye göre nötr eksenin iç bölgeye daha çok yaklaştığı görülmüştür. Bükme radyüsü arttıkça uzama miktarı azalmıştır. Kalınlık arttıkça uzamaya maruz kalan bölge artmıştır.



Şekil 6.98. 30 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri

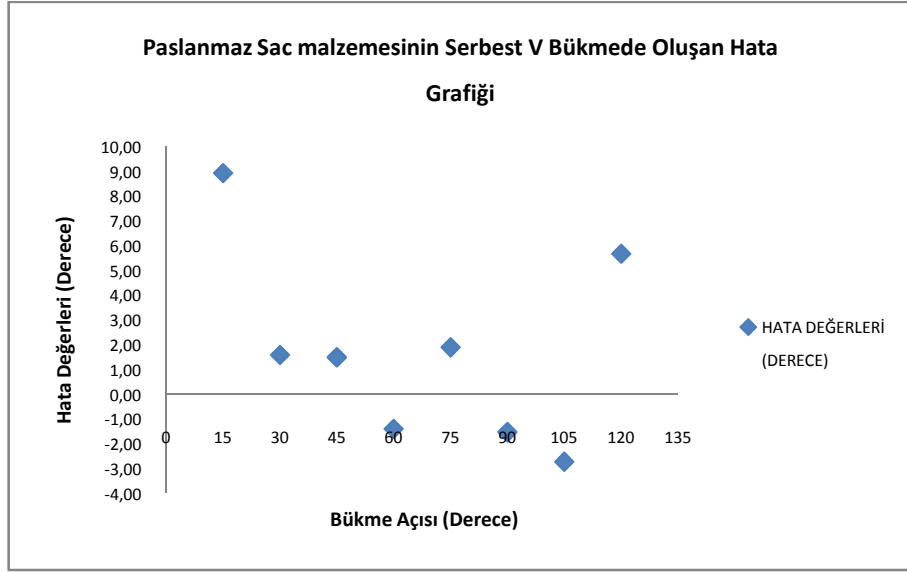


Şekil 6.99. 60 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri



Şekil 6.100. 90 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri

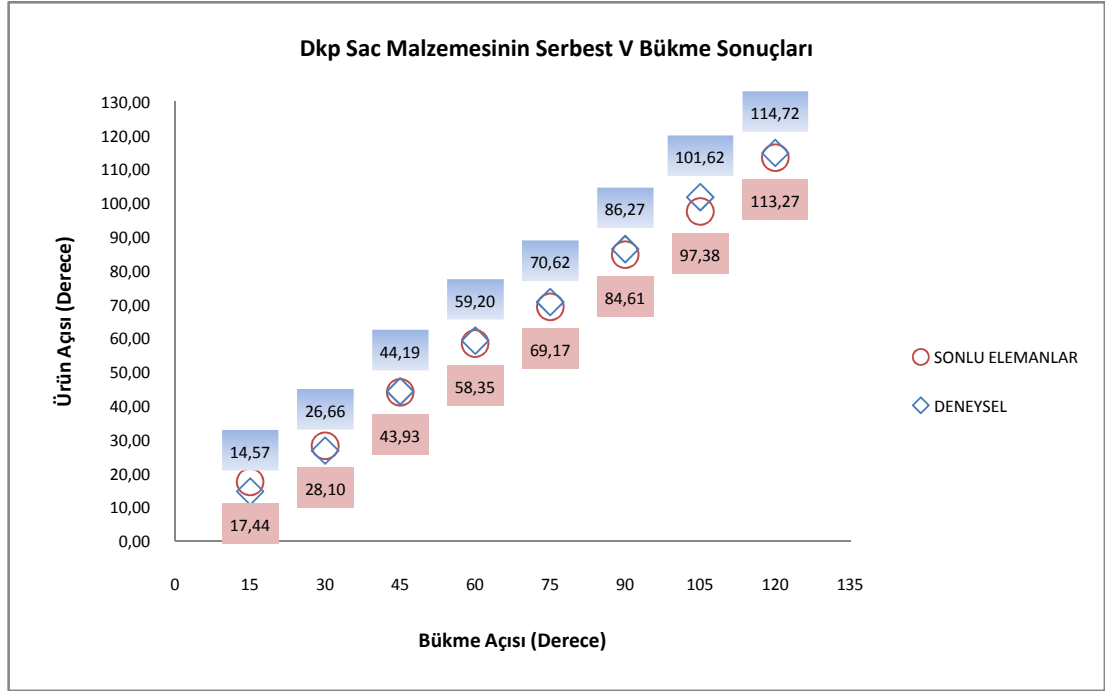
4 mm kalınlıkdaki zımba radyüsü 8 mm ile bükme sonuçları incelendiğinde (Şekil 6.98, 6.99, 6.100) 4 mm ve 6 mm zımba radyüslerine göre daha fazla gerilmeye maruz kaldığı ve daha fazla geri esnediği görülmüştür. Radyüs arttıkça gerilmeye maruz kalan bölge azalmaktadır. Kalınlık arttıkça gerilme değerleri artmıştır.



Şekil 6.101. Deneysel ve sonlu elemanlar yöntemleri arasındaki geri esneme miktarlarındaki hata değerleri

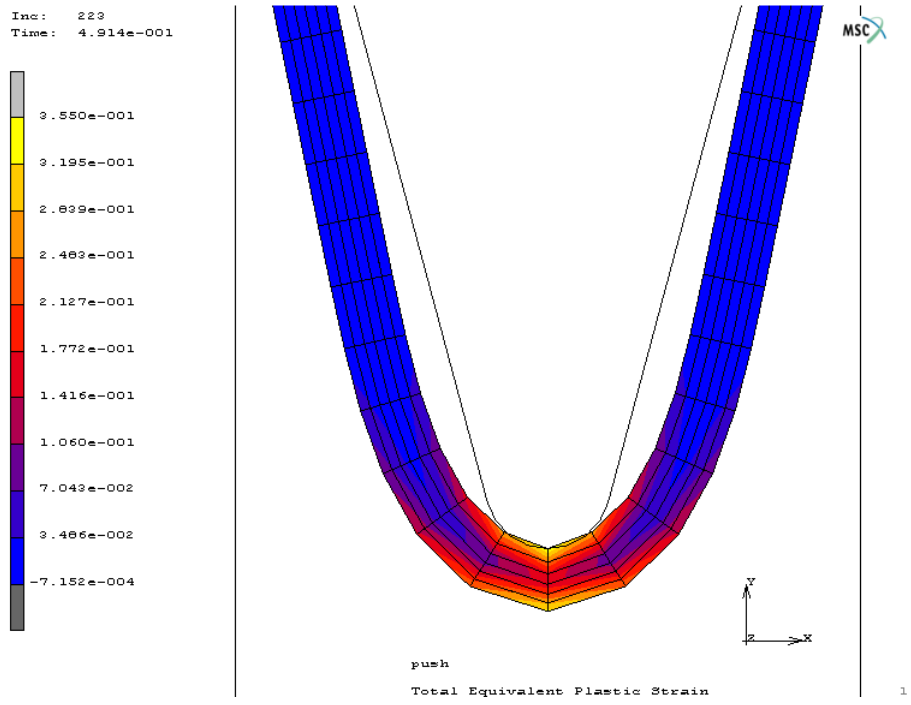
Şekil 6.101’ye bakıldığında deneysel veriler ile sonlu elemanlar yönteminin sonuçlarındaki hata miktarları görülmektedir. 15 ve 120 derecede büküm işleminde hata oranının fazla olduğu görülmektedir. Bu bükme açılarında deformasyon miktarlarının fazla olması sonlu elemanlar ile yapılan bükme işlemlerinin hata değerlerini arttırmaktadır.

6.2.13. 1 mm kalınlığındaki dkp sac ve 1 mm zımba radyüs değeri için serbest “V” bükme operasyonu sonuçlarının incelenmesi

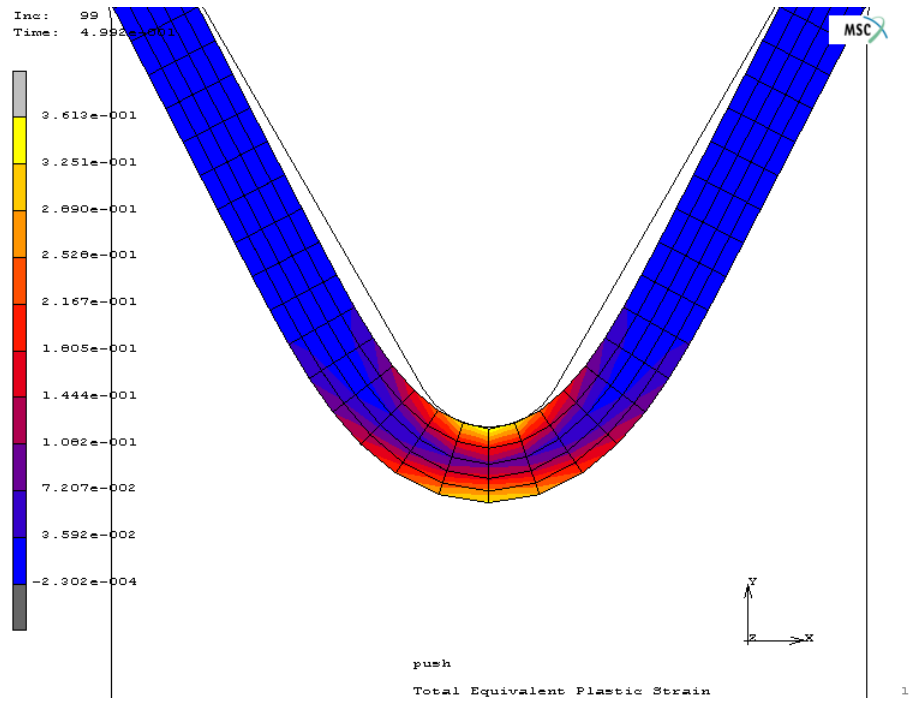


Şekil 6.102. Deneysel ve sonlu elemanlar yönteminin karşılaştırma verileri

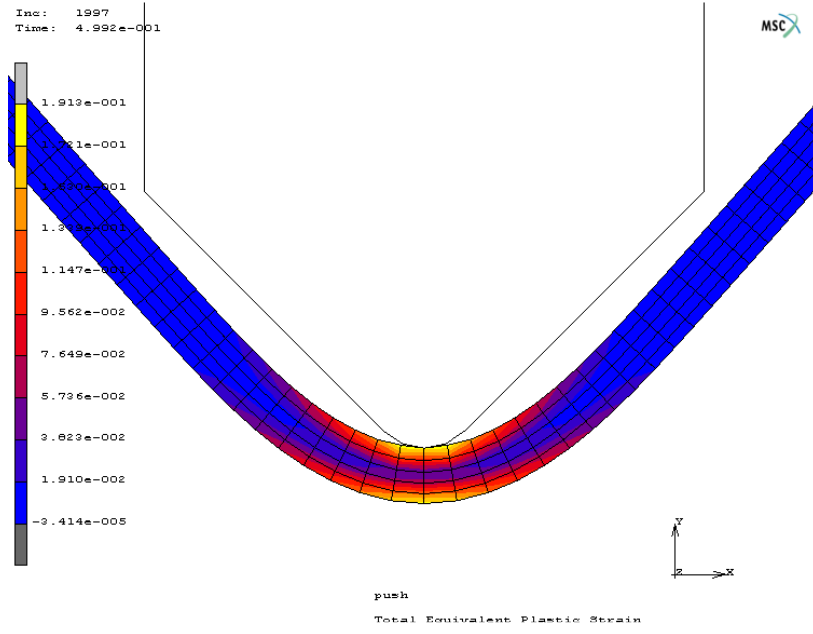
Şekil 6.102 deki Dkp 1 mm kalınlığındaki deneysel ve sonlu elemanlardan elde edilen bükme sonuçlarının kısmen yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. Bükme açısı arttıkça geri esneme azalmıştır. Paslanmaz saca göre daha fazla ters açı oluşmuştur. Bunun sebebi dkp sacının daha az geri esnemesinden kaynaklanmaktadır.



Şekil 6.103. 30 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler

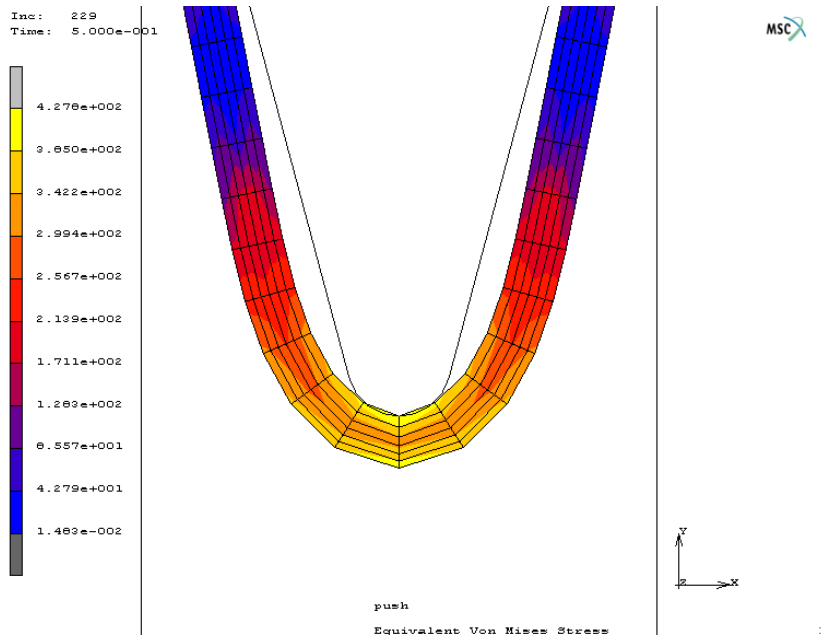


Şekil 6.104. 60 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler

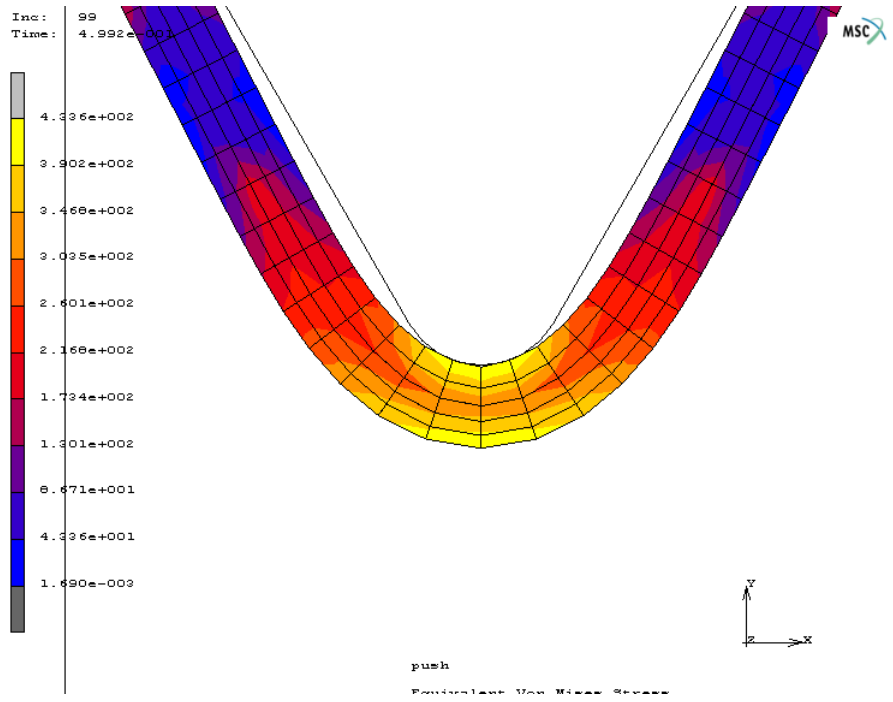


Şekil 6.105. 90 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler

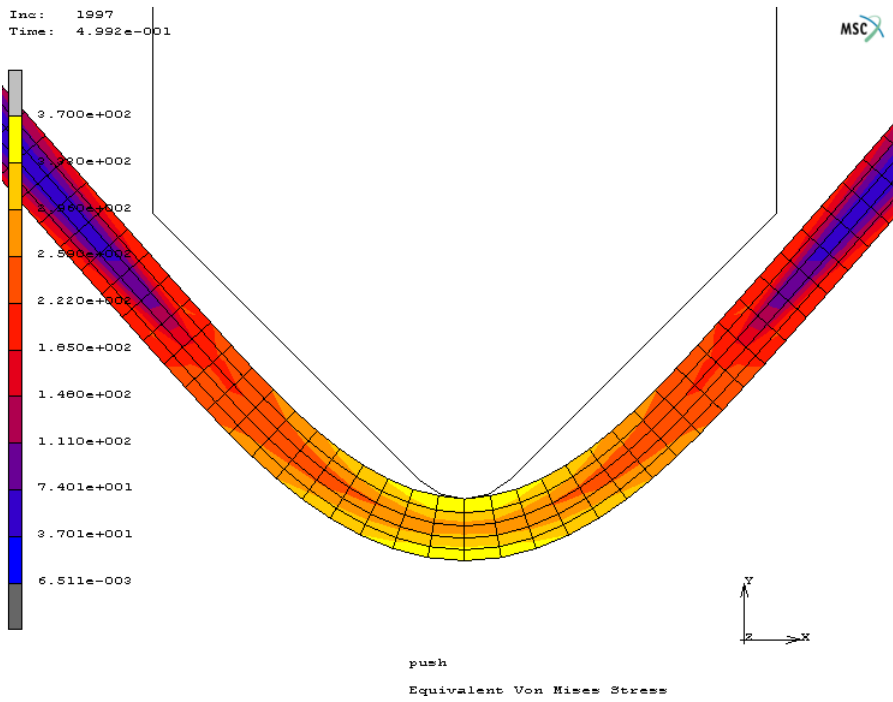
Şekil 6.103, 6.104, 6.105 incelendiğinde nötr eksen iç taraf da kalınlığın 0,4 oranında oluşmuştur. Bükme açısı arttıkça uzama miktarı azalmıştır. Paslanmaz çeliğe göre akma değerlerinin düşük olmasından dolayı daha fazla uzamaya maruz kalmıştır.



Şekil 6.106. 30 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri

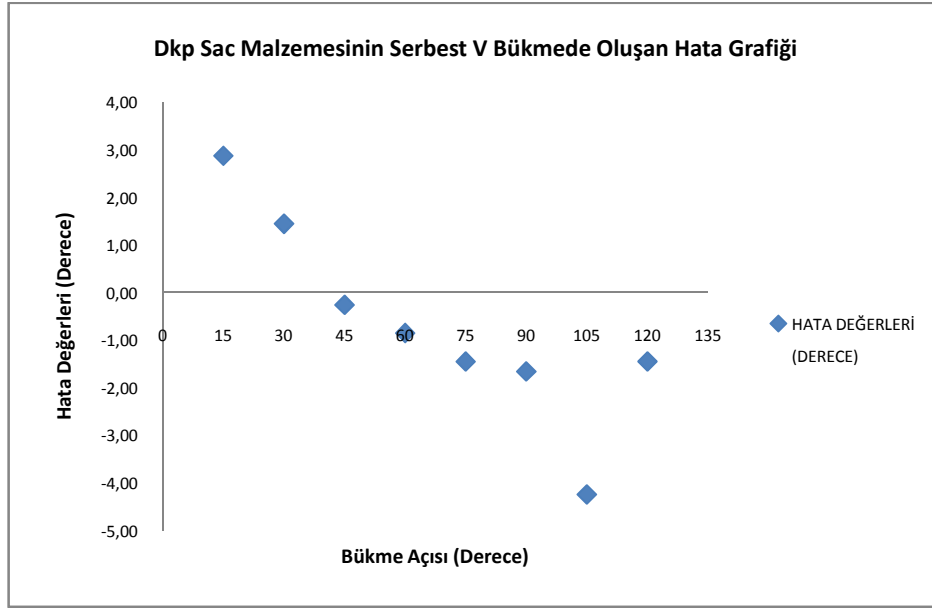


Şekil 6.107. 60 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri



Şekil 6.108. 90 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri

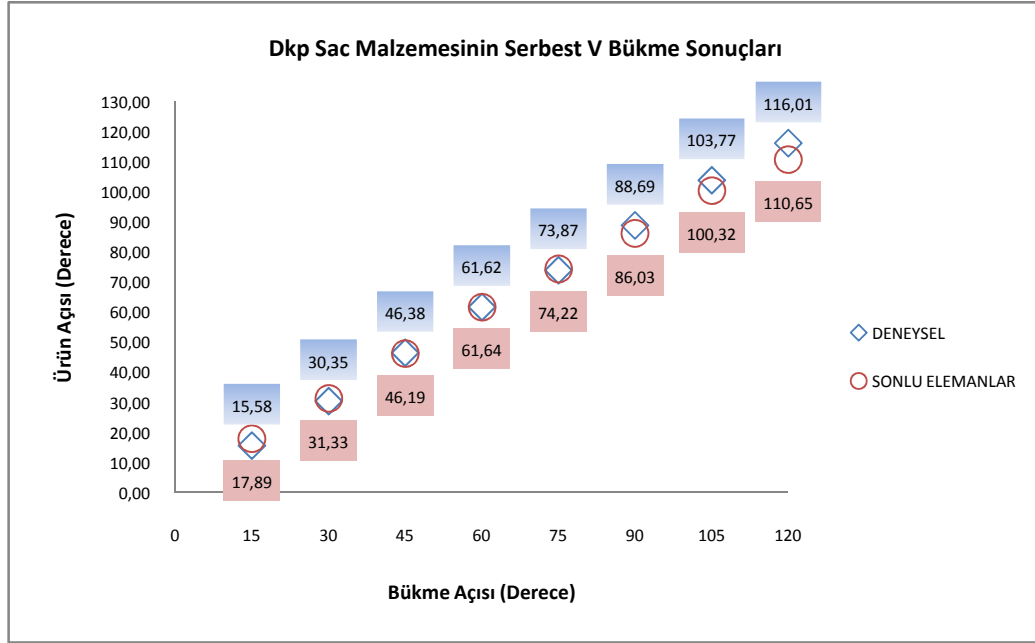
Şekil 6.106, 6.107, 6.108’eki gerilme değerleri incelendiğinde 1 mm Dkp sacının akma değerinin paslanmaz çeliğe göre düşük olmasından dolayı daha az gerilmeye maruz kalmıştır. Bükme açısı arttıkça daha az gerilme oluşmaktadır.



Şekil 6.109. Deneysel ve sonlu elemanlar yöntemleri arasındaki geri esneme miktarlarındaki hata değerleri

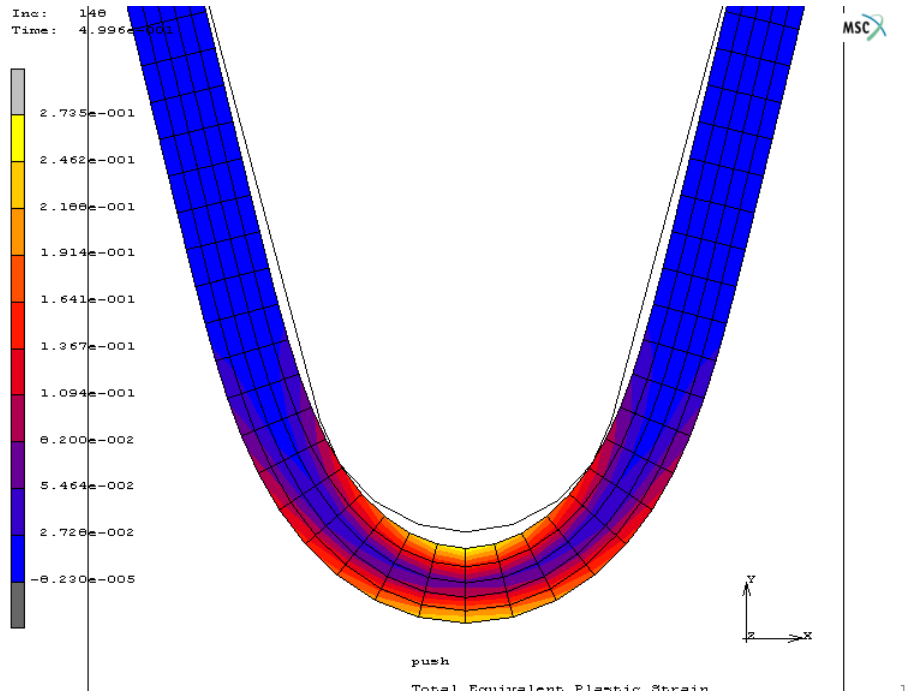
Şekil 6.109 daki hata değerleri incelendiğinde 15 ve 120 derecedeki değerlerin fazla olduğu görülmüştür. Dkp sacı paslanmaz saca göre daha az geri esnediğinden dolayı hata farkları paslanmaz saca göre daha az değerlerde çıkmaktadır.

6.2.14. 1 mm kalınlığındaki dkp sac ve 2 mm zımba radyüs değeri için serbest “V” bükme operasyonu sonuçlarının incelenmesi

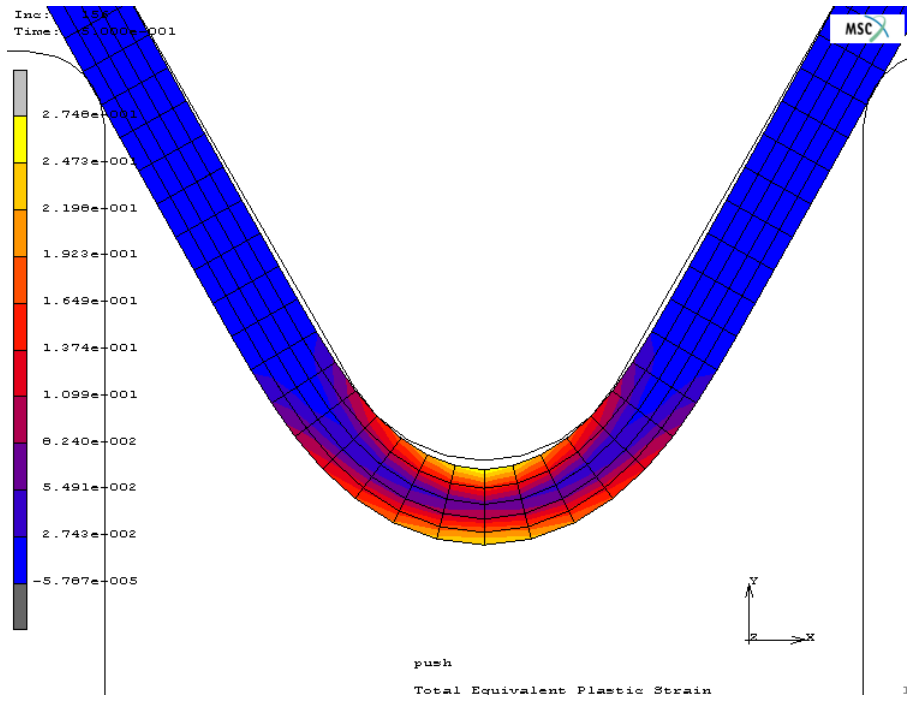


Şekil 6.110. Deneysel ve sonlu elemanlar yönteminin karşılaştırma verileri

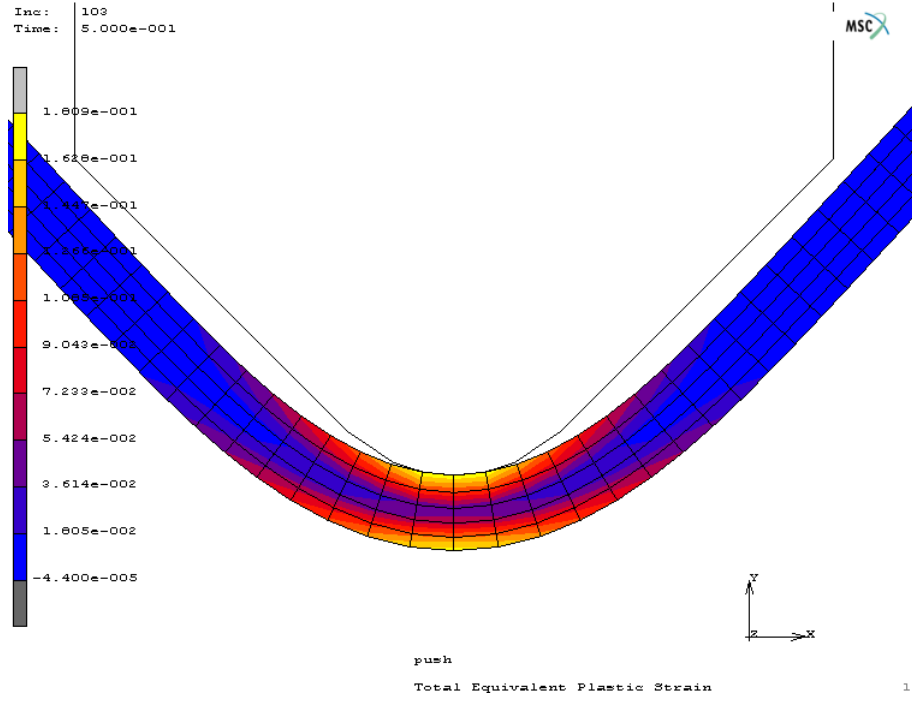
Dkp 1 mm kalınlığındaki zımba radyüsü 2 mm ile bükme sonuçlarının paslanmaz saca göre daha az geri esnedikleri görülmüştür. Zımba radyüsü 1 mm ile bükme sonuçlarına açı arttıkça geri esneme azalmıştır. Bükme radyüsü arttıkça geri esneme artmıştır (Şekil 6.110).



Şekil 6.111. 30 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler

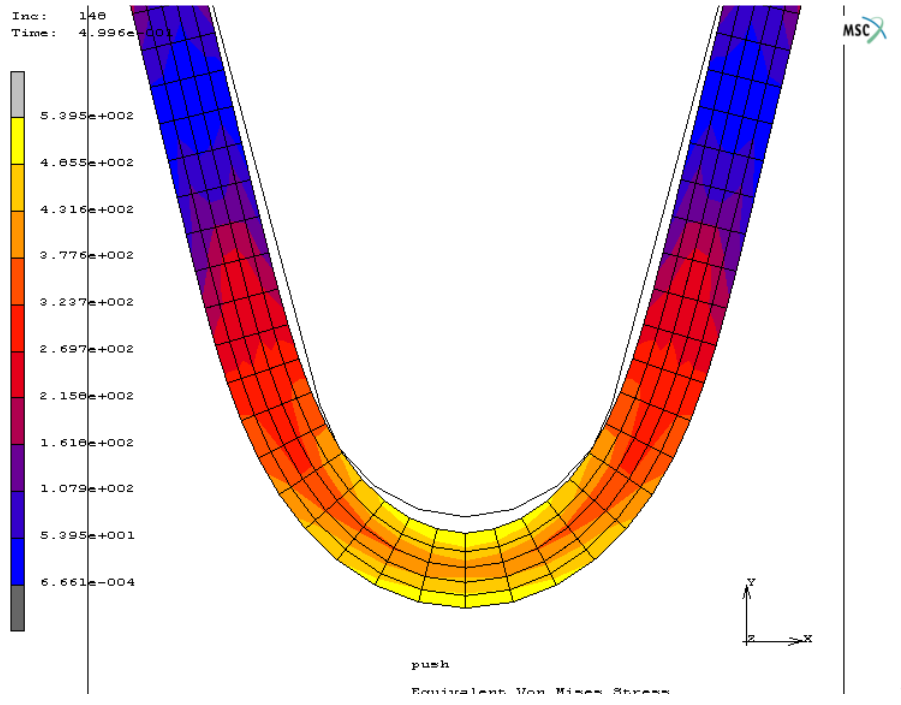


Şekil 6.112. 60 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler

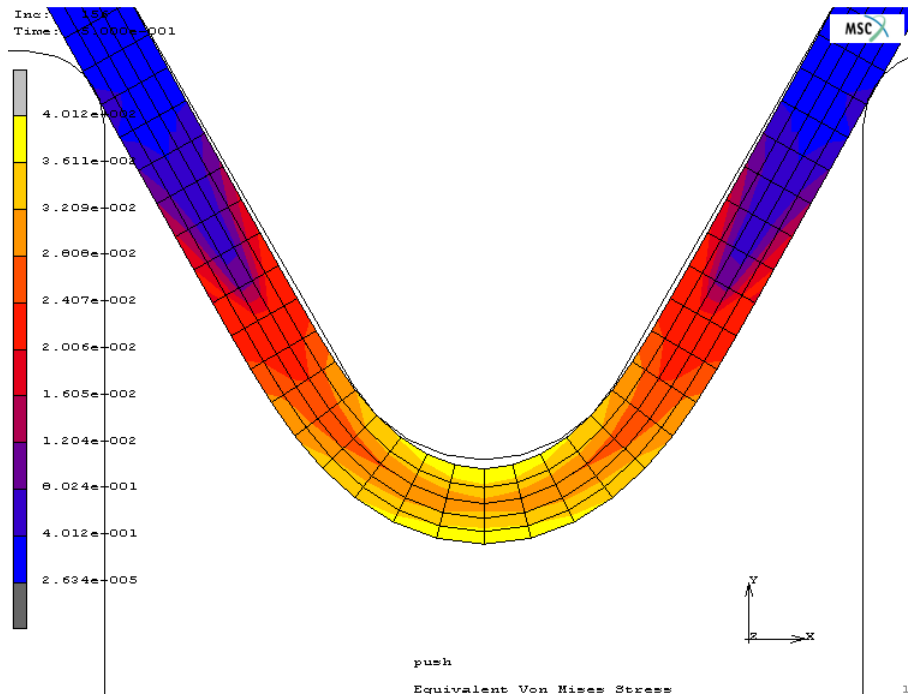


Şekil 6.113. 90 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler

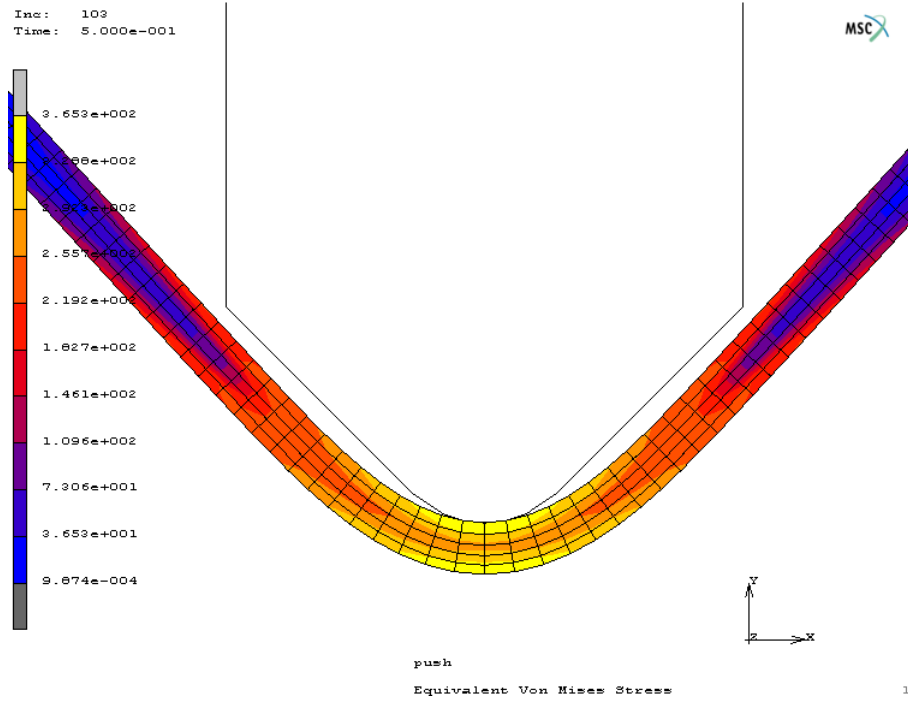
Şekil 6.111, 6.112, 6.113 incelendiğinde nötr eksen iç taraf da et kalınlığının 0,4 oranında oluşmuştur. Bükme radyüsü arttıkça uzama miktarı azalmıştır. Kalınlık arttıkça uzamaya maruz kalan bölge artmıştır. Paslanmaz saca göre daha fazla uzamaya maruz kalmıştır.



Şekil 6.114. 30 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri

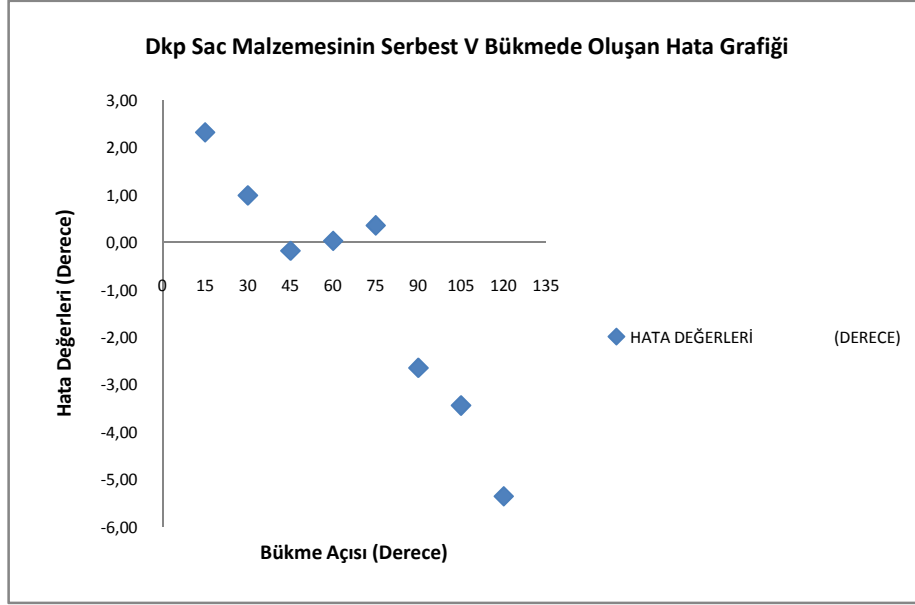


Şekil 6.115. 60 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri



Şekil 6.116. 90 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri

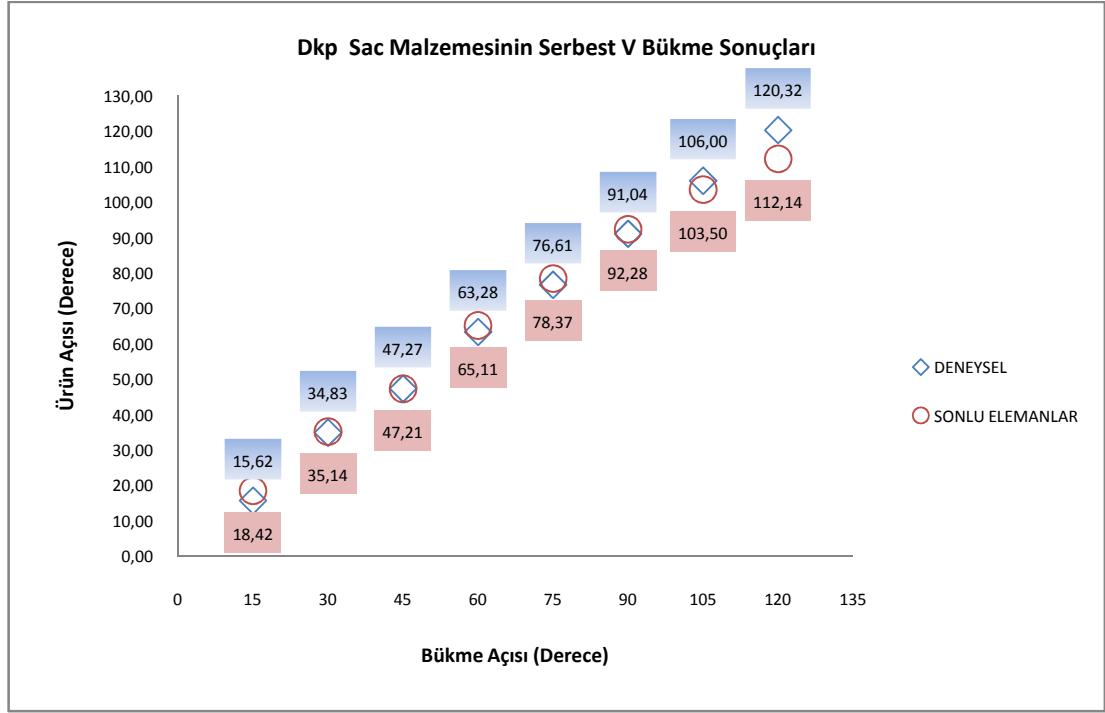
1 mm kalınlıkdaki zımba radyüsü 2 mm ile bükme sonuçları incelendiğinde (Şekil 6.114, 6.115, 6.116) paslanmaz saca göre daha az gerilmeye maruz kalmıştır. Radyüs arttıkça geri esneme artmıştır ve gerilmeye maruz kalan bölge azalmaktadır.



Şekil 6.117. Deneysel ve sonlu elemanlar yöntemleri arasındaki geri esneme miktarlarındaki hata değerleri

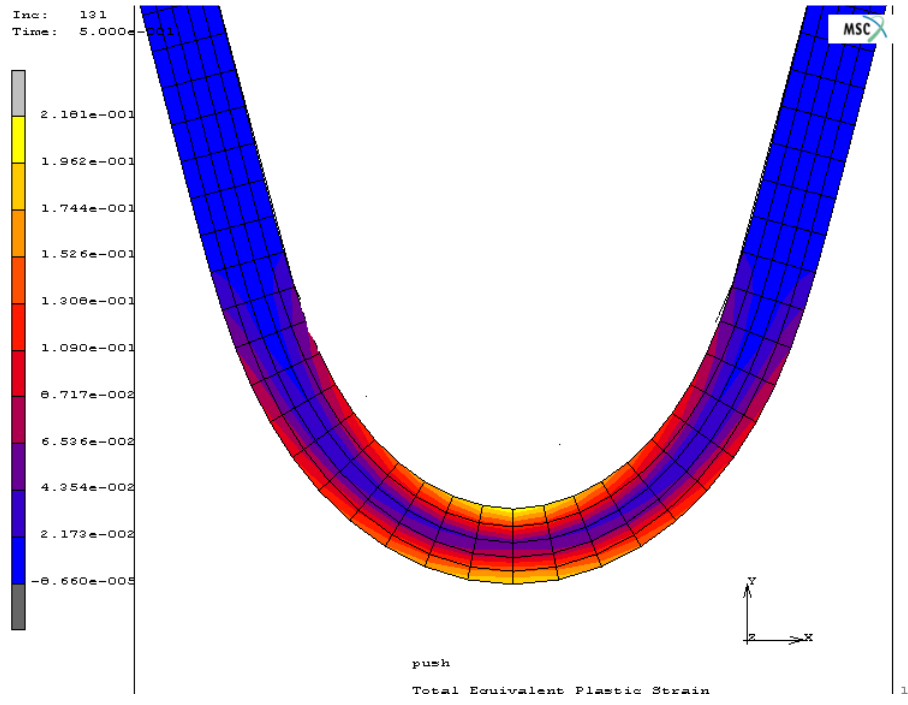
Şekil 6.117 deki hata değerleri incelendiğinde en fazla 90, 105, 120 derecelerde olduğu görülmüştür. Bu bükme açılarında deformasyon miktarlarının fazla olması sonlu elemanlar ile yapılan bükme işlemlerinin hata değerlerini arttırmaktadır

6.2.15. 1 mm kalınlığındaki dkp sac ve 3 mm zımba radyüs değeri için serbest “V” bükme operasyonu sonuçlarının incelenmesi

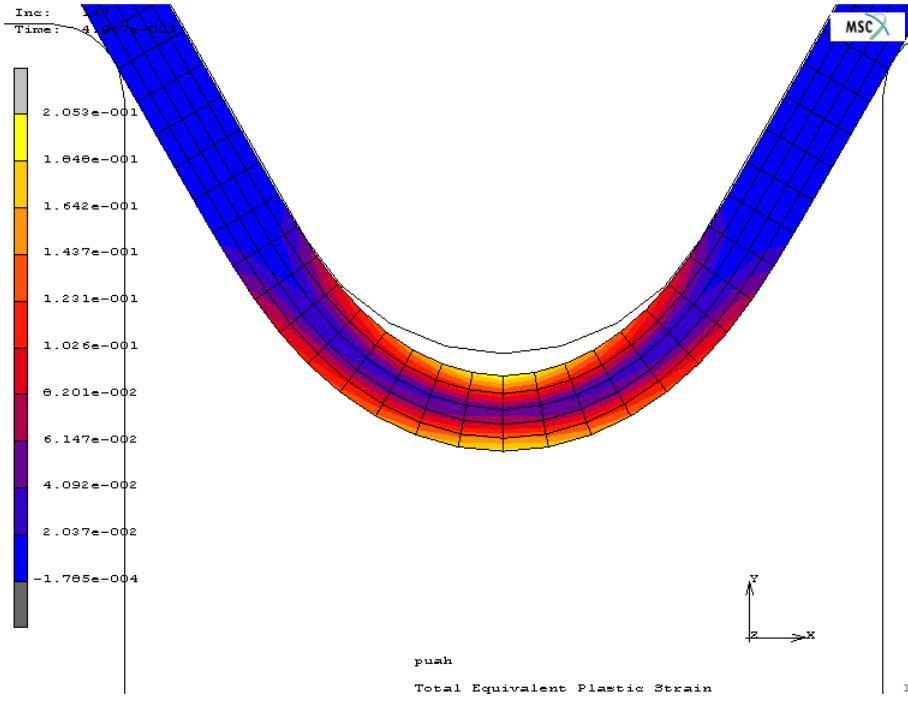


Şekil 6.118. Deneysel ve sonlu elemanlar yönteminin karşılaştırma verileri

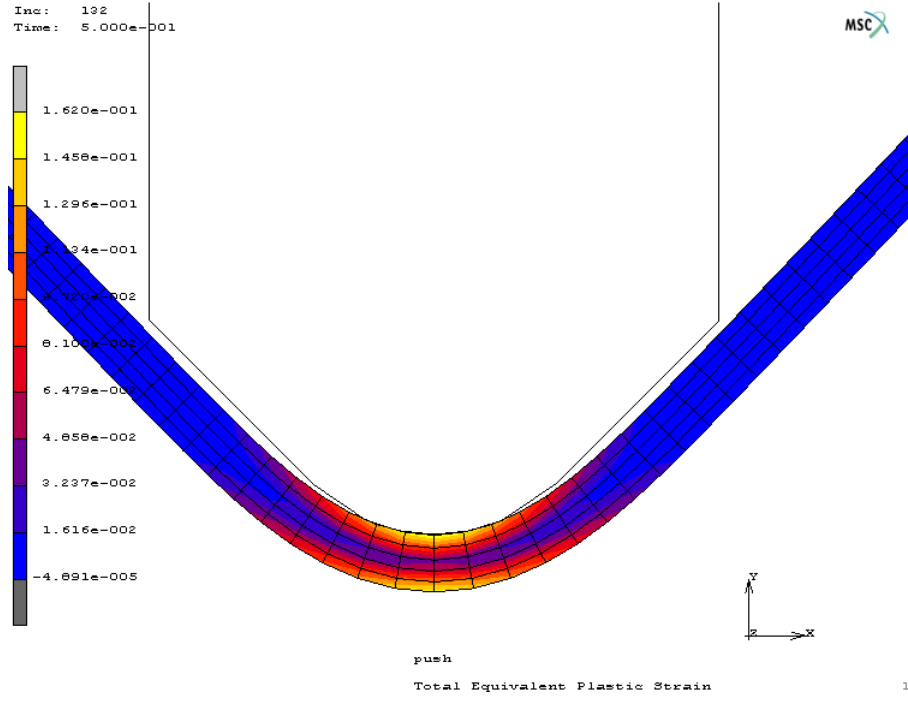
Dkp 1 mm kalınlığındaki zımba radyüsü 3 mm ile bükme sonuçlarının paslanmaz saca göre daha az geri esnedikleri görülmüştür. Zımba radyüsü 1 mm ve 2 mm ile bükme sonuçlarına göre radyüs arttıkça geri esneme artmıştır. Bükme açısı arttıkça geri esneme azalmıştır (Şekil 6.118).



Şekil 6.119. 30 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler

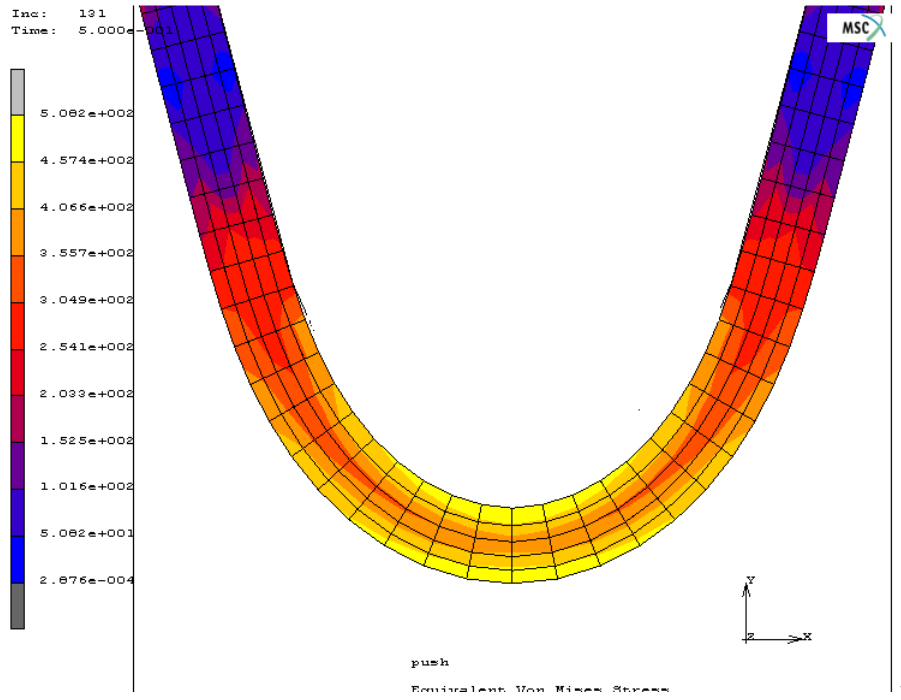


Şekil 6.120. 60 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler

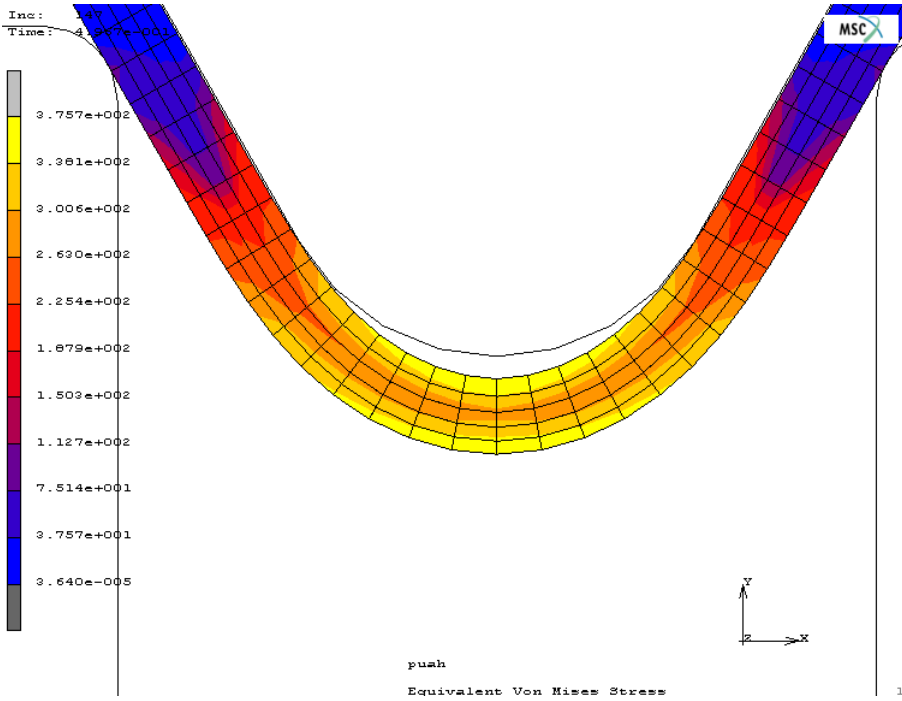


Şekil 6.121. 90 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler

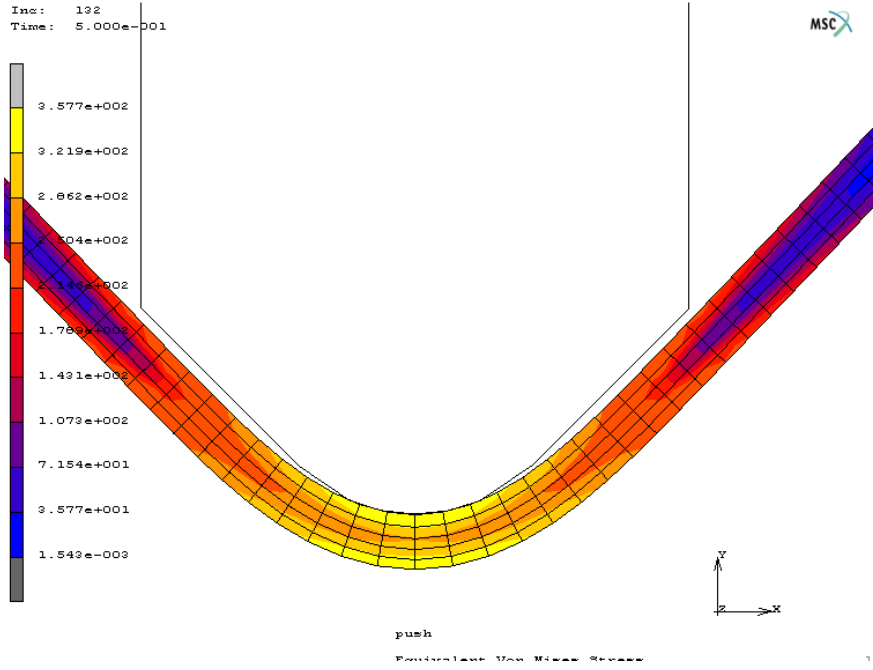
Şekil 6.119, 6.120, 6.121 incelendiğinde nötr eksen iç tarafda et kalınlığının 0,4 oranında oluşmuştur. Bükme radyüsü arttıkça uzama miktarı azalmıştır. Paslanmaz saca göre daha fazla uzamaya maruz kalmıştır.



Şekil 6.122. 30 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri

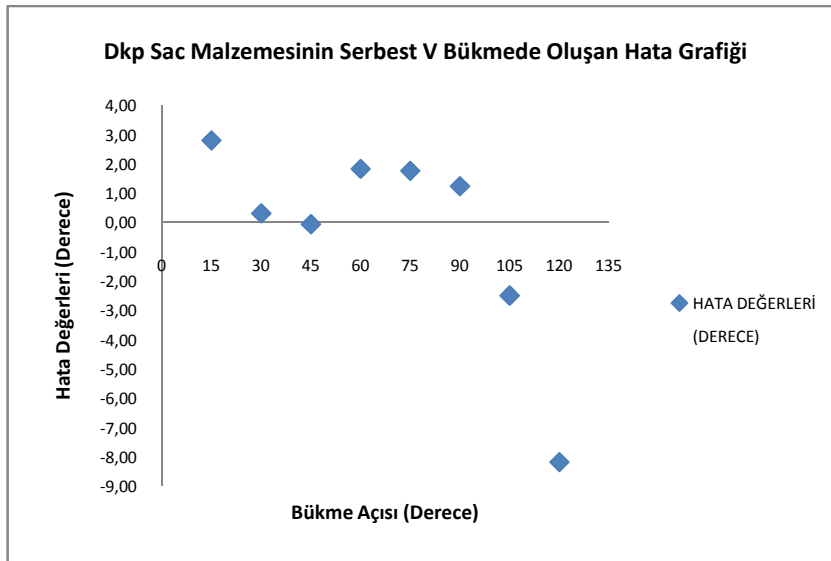


Şekil 6.123. 60 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri



Şekil 6.124. 90 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri

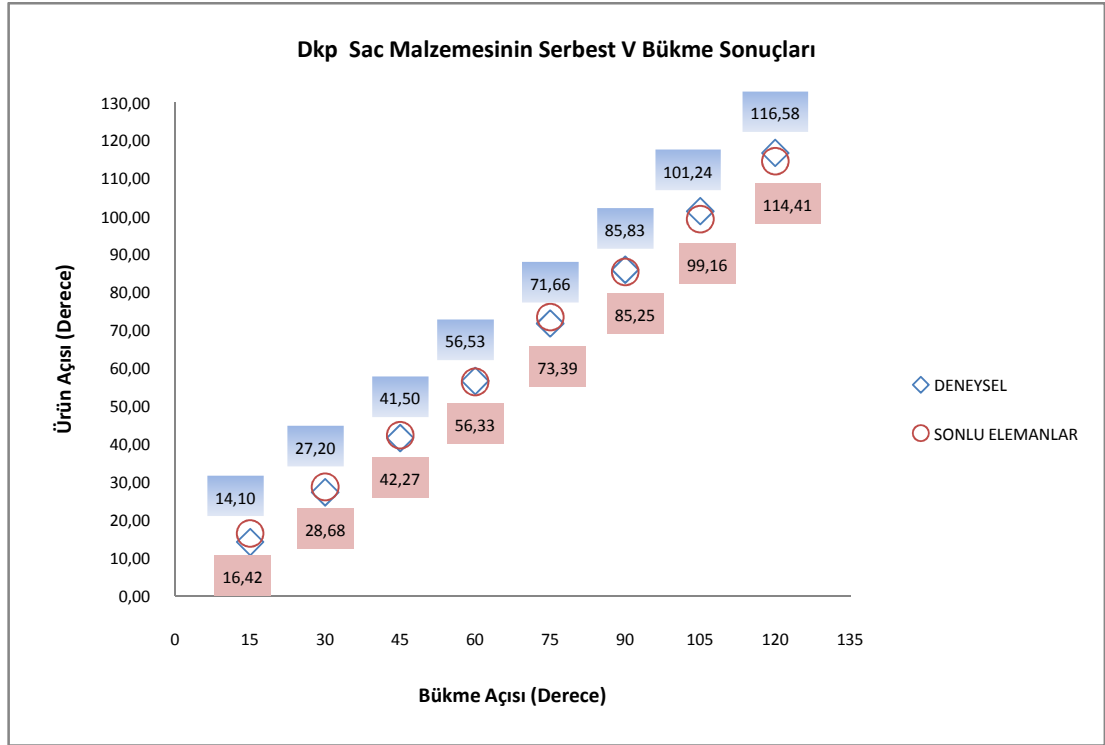
1 mm kalınlıkdaki zımba radyüsü 2 mm ile bükme sonuçları incelendiğinde (Şekil 6.122, 6.123, 6.124) paslanmaz saca göre daha az gerilmeye maruz kalmıştır. Radyüs arttıkça geri esneme artmıştır ve gerilmeye maruz kalan bölge azalmıştır..



Şekil 6.125. Deneysel ve sonlu elemanlar yöntemleri arasındaki geri esneme miktarlarındaki hata değerleri

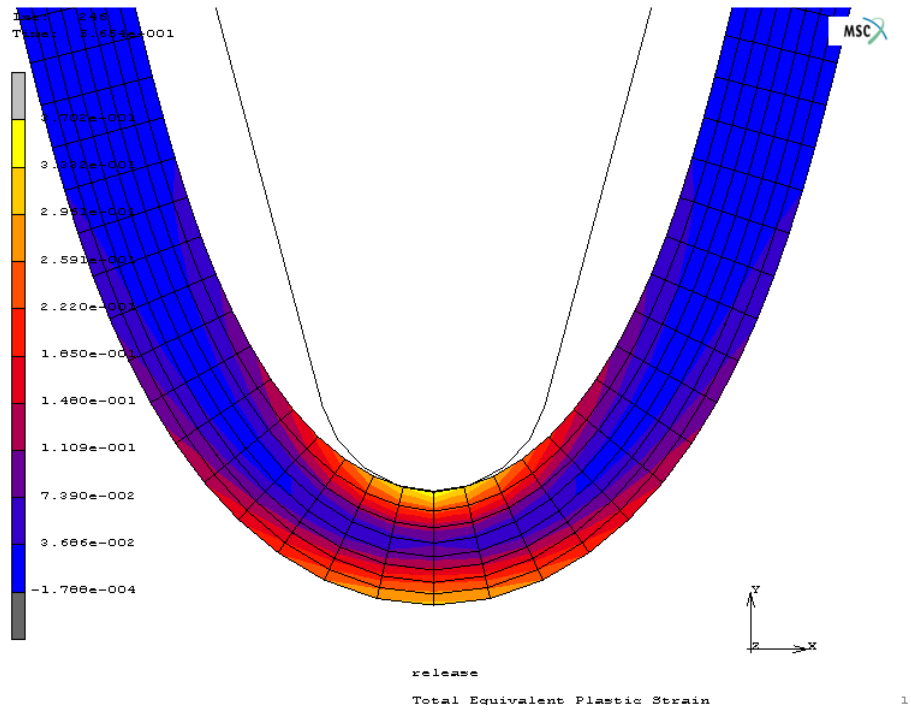
Şekil 6.125 deki hata değerleri incelendiğinde en fazla 15, 120 dercelerde olduğu görülmüştür. Bu bükme açılarında deformasyon miktarlarının fazla olması sonlu elemanlar ile yapılan bükme işlemlerinin hata değerlerini arttırmaktadır. Paslanmaz saca göre hata farklarının daha az olduğu görülmüştür.

6.2.16. 2 mm kalınlığındaki dkp sac ve 2 mm zımba radyüs değeri için serbest “V” bükme operasyonu sonuçlarının incelenmesi

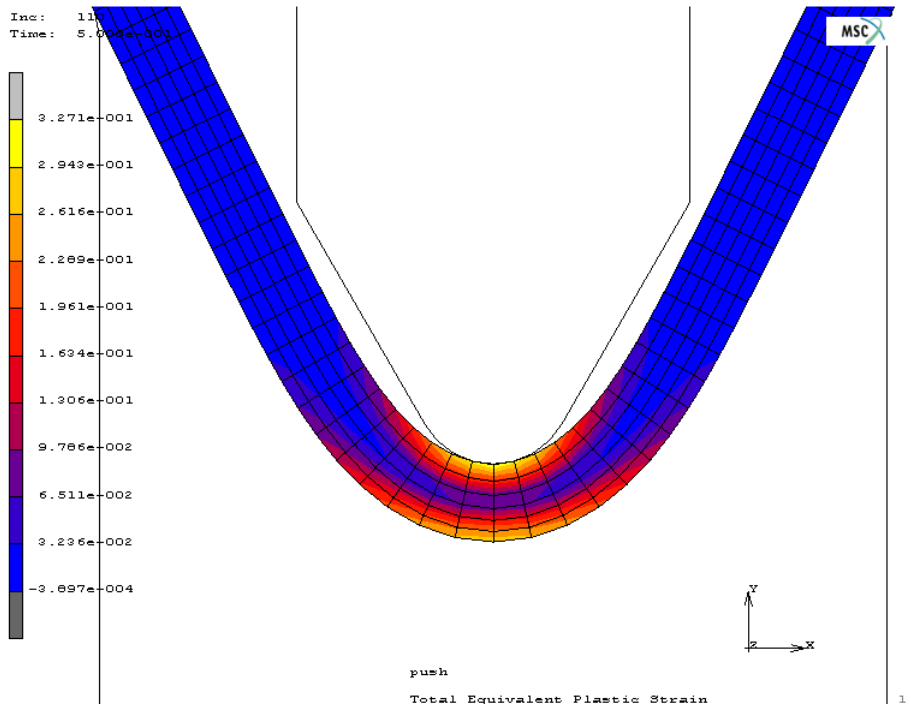


Şekil 6.126. Deneysel ve sonlu elemanlar yönteminin karşılaştırma verileri

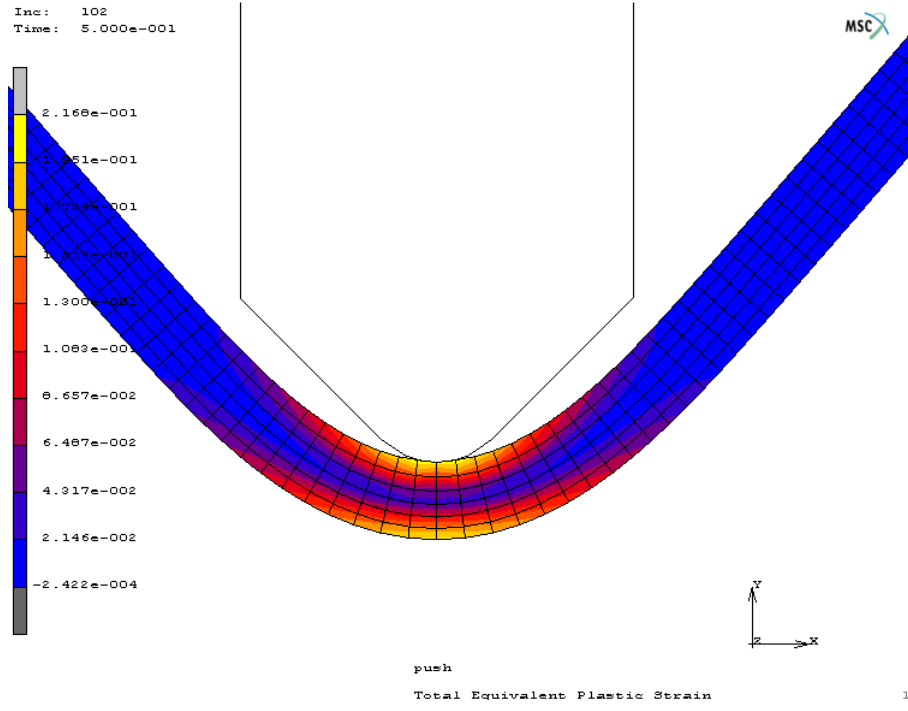
2 mm kalınlıkdaki 2 mm zımba rayüsü ile bükme sonuçları, paslanmaz saca göre daha az geri esnedikleri, dkp 2 mm kalınlığındaki zımba radyüsü 1 mm ile bükme sonuçlarına göre daha az geri esnedikleri ve bükme açısı arttıkça geri esnemenin azaldığı görülmüştür (Şekil 6.126).



Şekil 6.127. 30 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler

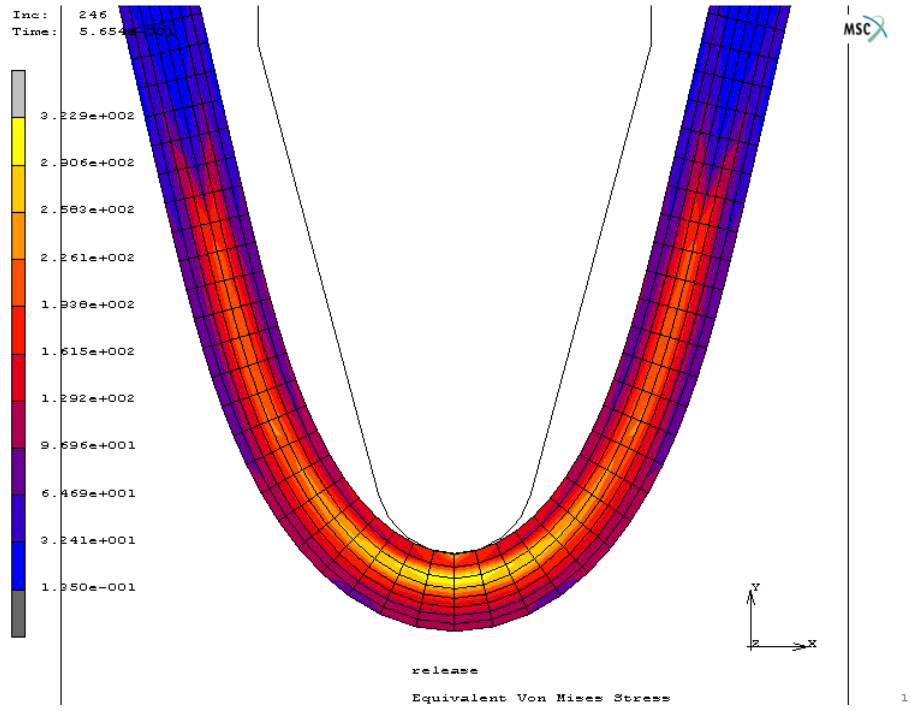


Şekil 6.128. 60 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler

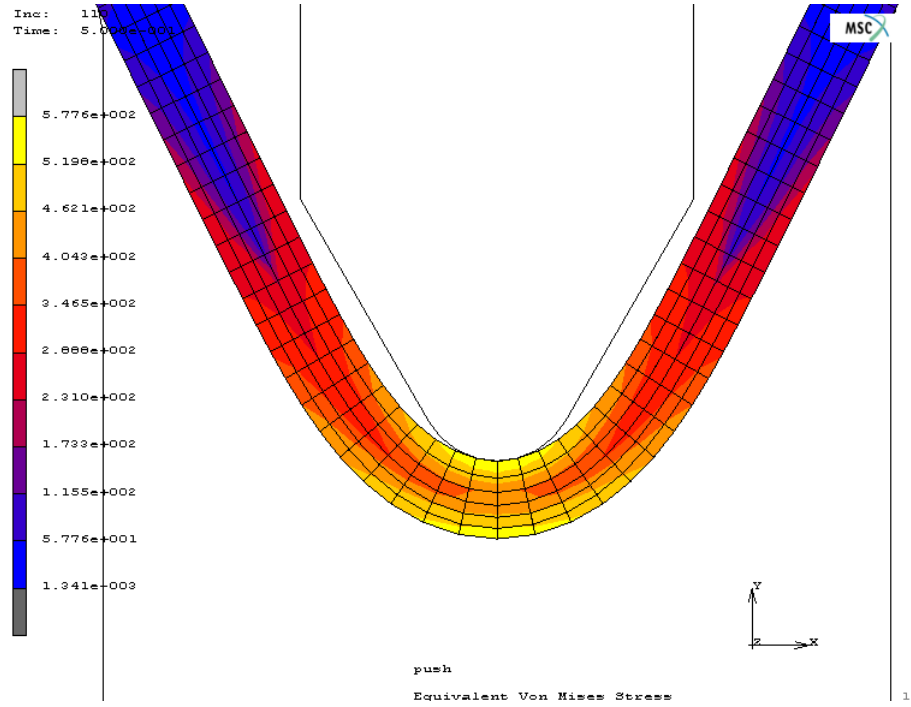


Şekil 6.129. 90 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler

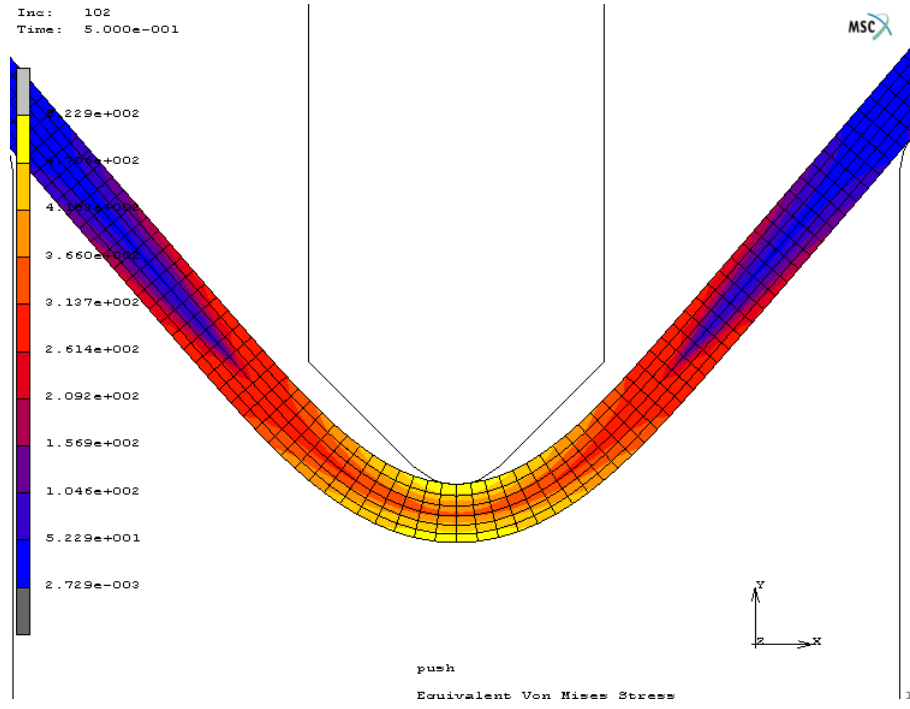
Şekil 6.127, 6.128, 6.129 incelendiğinde nötr eksen iç tarafda et kalınlığının 0,41 oranında oluşmuştur. Paslanmaz saca göre daha fazla uzamaya maruz kalmıştır. Radyüs 1 mm ye göre gerinim değerleri azalmıştır.



Şekil 6.130. 30 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri

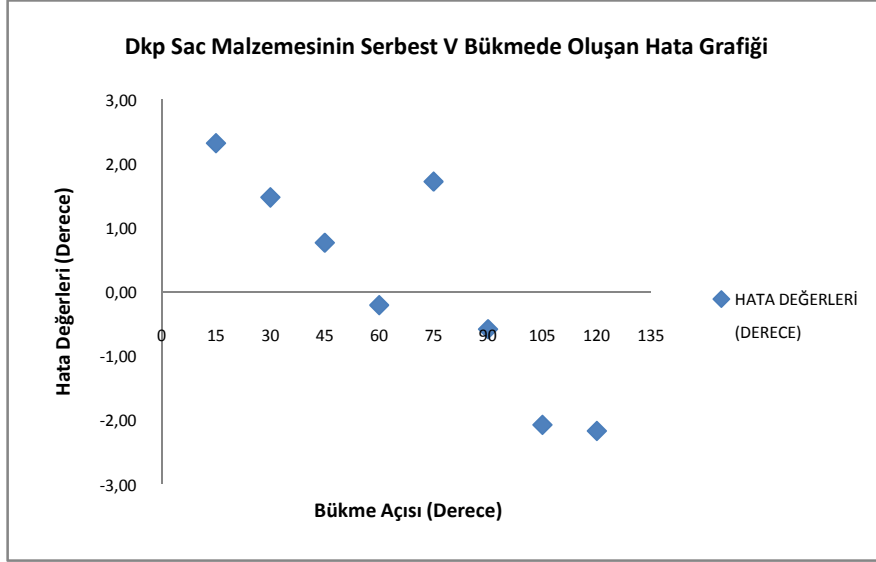


Şekil 6.131. 60 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri



Şekil 6.132. 90 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri

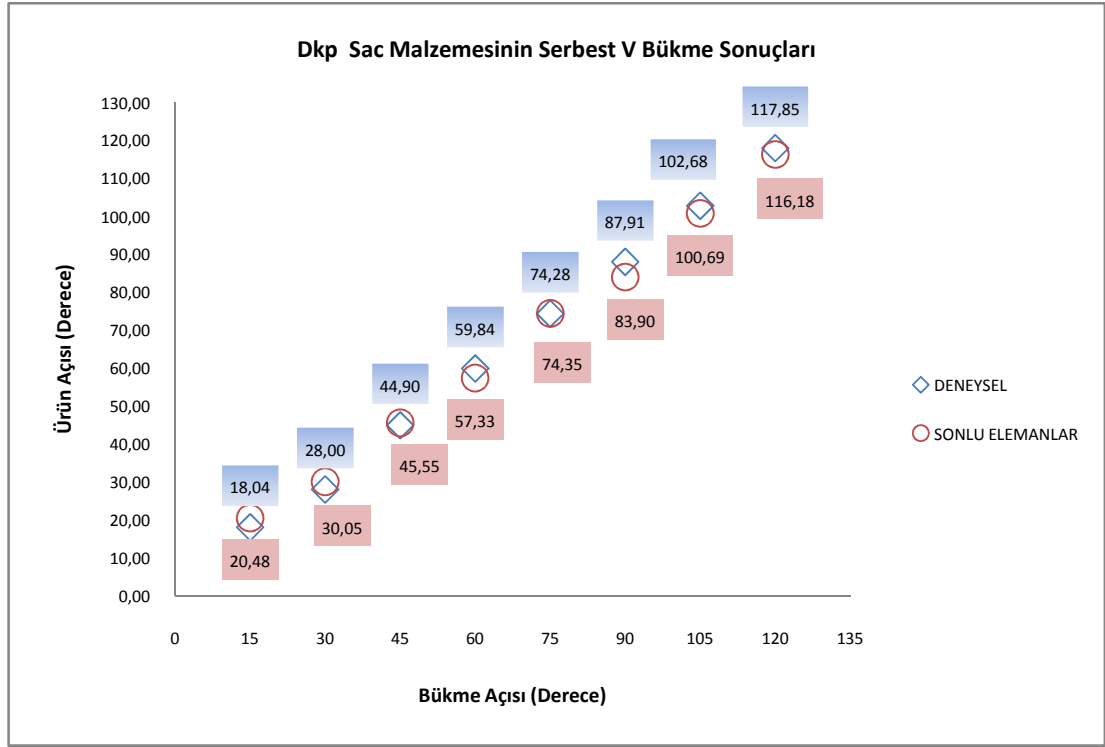
2 mm dkp sacının zımba radyüsü 2 mm ile bükme işleminde oluşan gerilmeler paslanmaz saca göre daha küçük, gerilmeye maruz kalan bölgeler daha fazla çıkmıştır. kalınlık arttıkça geri esneme azalmıştır (Şekil 6.130, 6.131, 6.132).



Şekil 6.133. Deneysel ve sonlu elemanlar yöntemleri arasındaki geri esneme miktarlarındaki hata değerleri

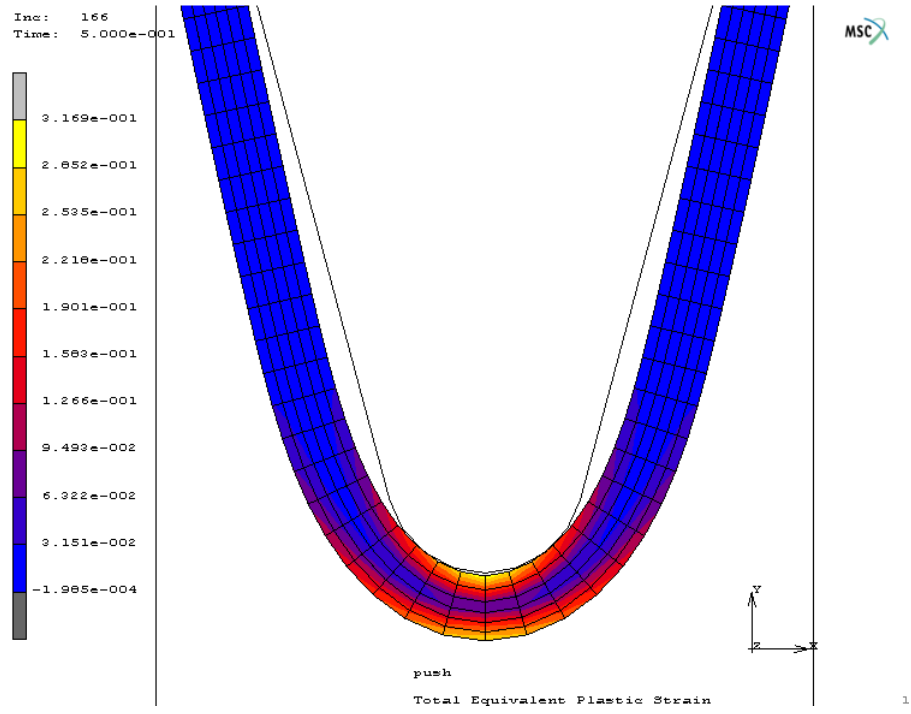
Paslanmaz saca göre daha küçük değerlerde hata elde edilmiştir. En fazla 15 ve 120 derecede hata oluştuğu görülmüştür (Şekil 6.133).

6.2.17. 2 mm kalınlığındaki dkp sac ve 3 mm zımba radyüs değeri için serbest “V” bükme operasyonu sonuçlarının incelenmesi

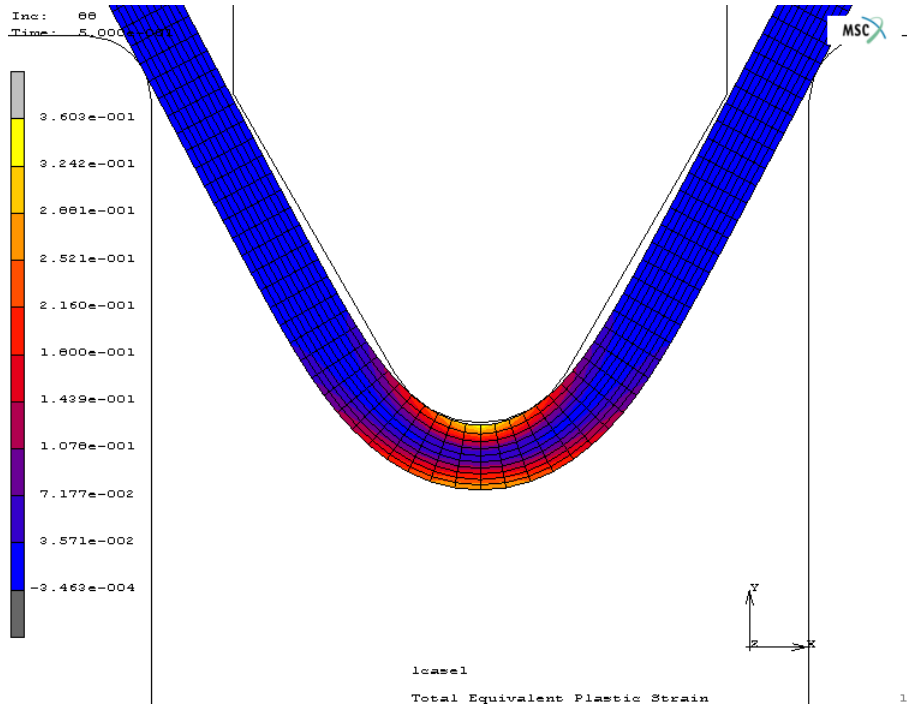


Şekil 6.134. Deneysel ve sonlu elemanlar yönteminin karşılaştırma verileri

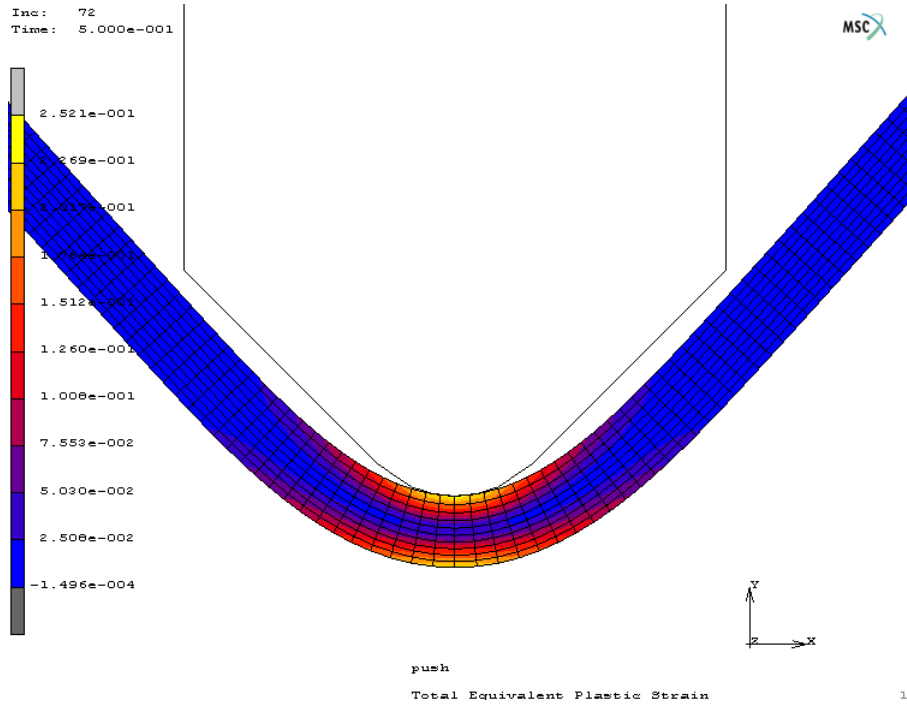
Dkp sacının 2 mm kalınlığındaki sonuçları, 1 mm kalınlığındaki sonuçlara göre daha az geri esneme olduğu, radyüs arttıkça geri esnemenin azaldığı, Paslanmaz saca göre ters açıların fazla oluşmasının sebebi dkp sacının daha az geri esneme yapmasından kaynaklanmaktadır (Şekil 6.134).



Şekil 6.135. 30 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler

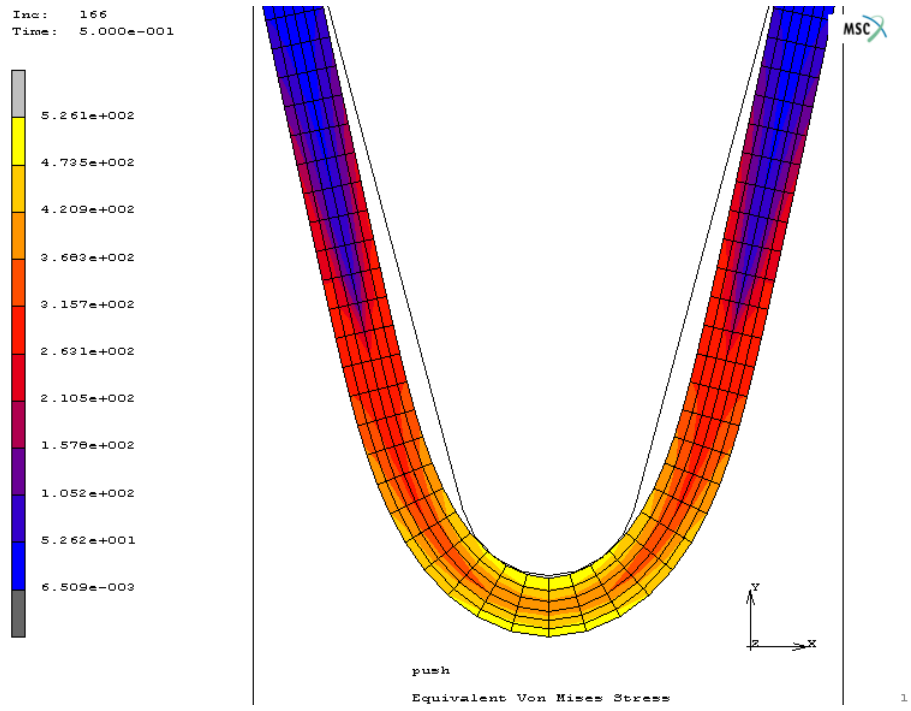


Şekil 6.136. 60 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler

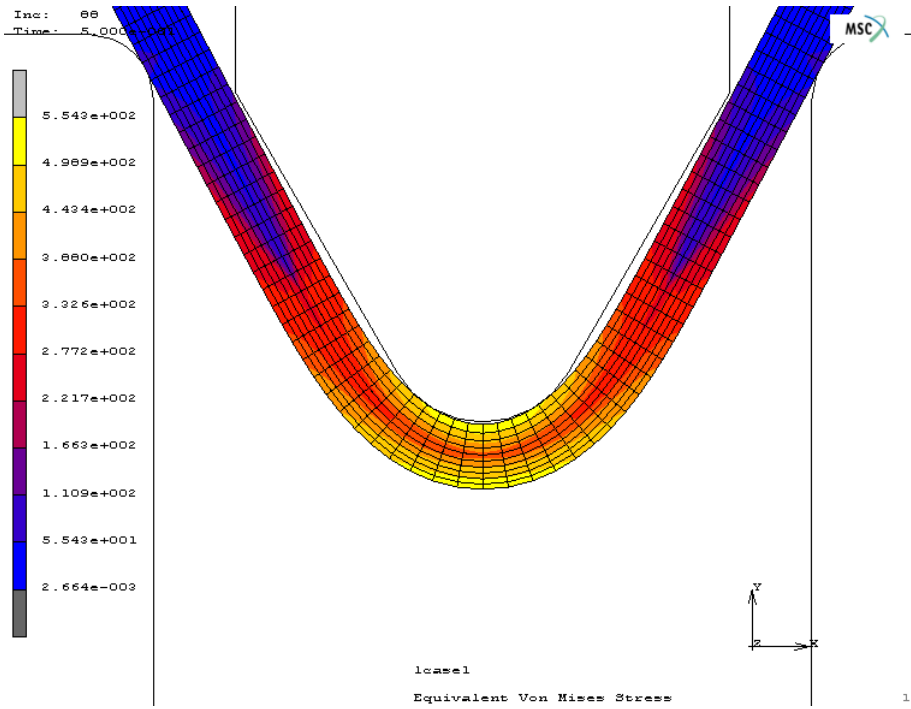


Şekil 6.137. 90 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler

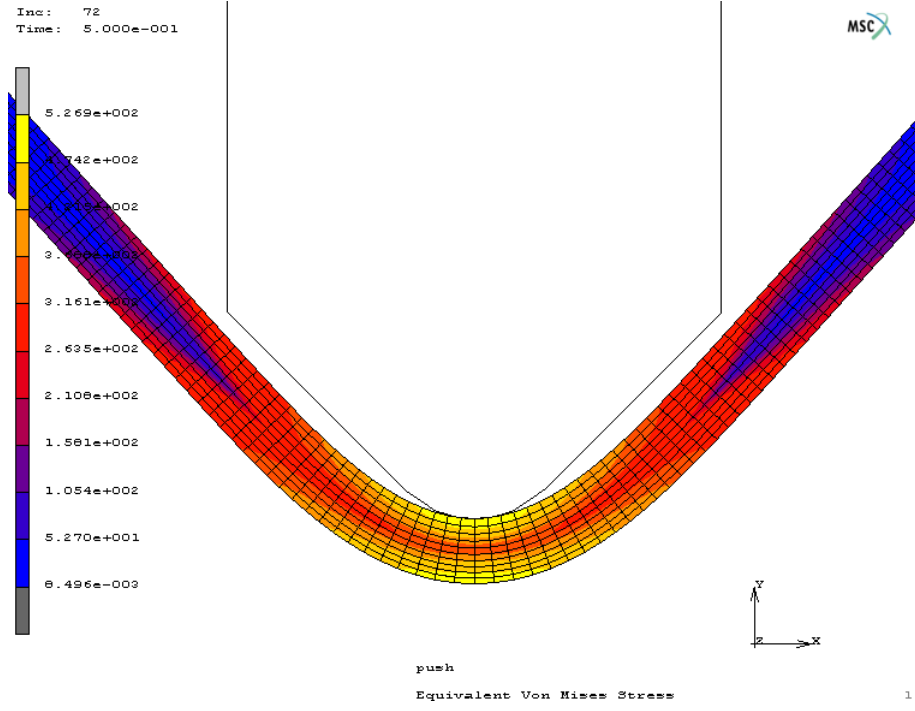
Şekil 6.135, 6.136, 6.137 incelendiğinde nötr eksen iç tarafda et kalınlığının 0,40 oranında oluşmuştur. Radyüs arttıkça nötr eksen iç bölgeye yaklaşmaktadır. Radyüs ve kalınlık arttıkça uzama azalmıştır.



Şekil 6.138. 30 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri

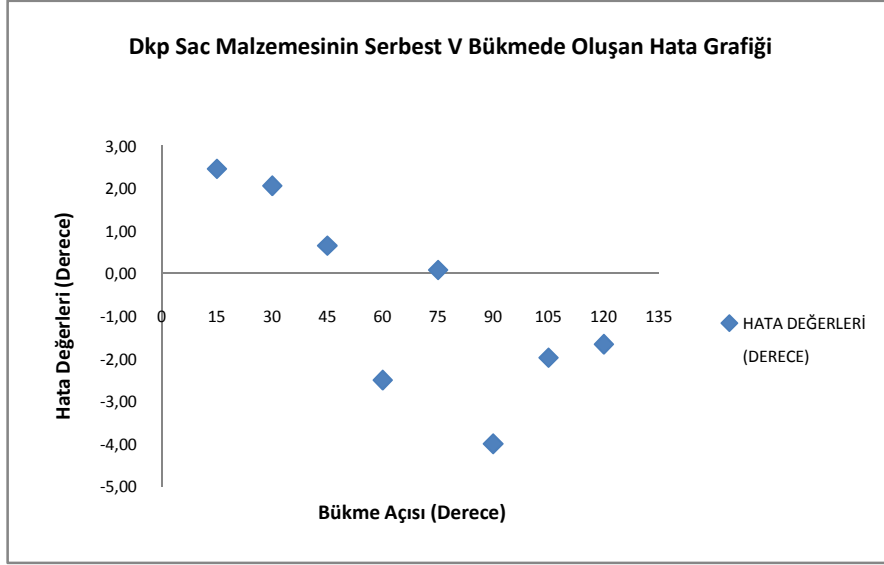


Şekil 6.139. 60 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri



Şekil 6.140. 90 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri

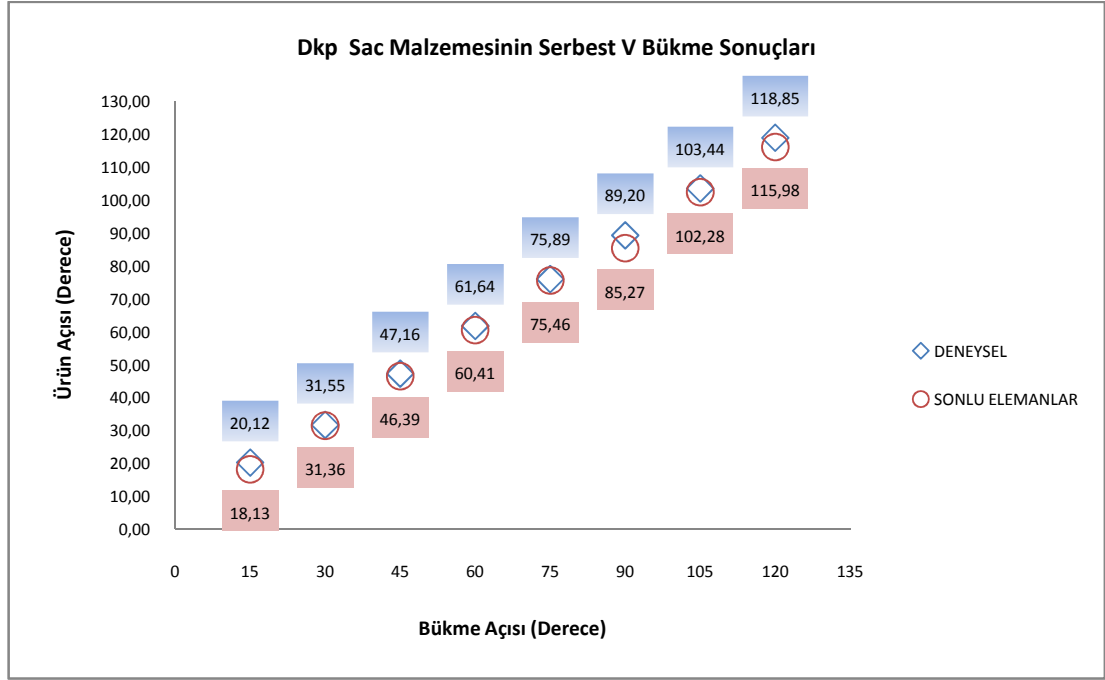
2 mm dkp sacının zımba radyüsü 3 mm ile bükme işleminde oluşan gerilmeler kalınlık ve radyüs arttıkça artmış, bükme açısı arttıkça azalmıştır. (Şekil 6.138, 6.139, 6.140).



Şekil 6.141. Deneysel ve sonlu elemanlar yöntemleri arasındaki geri esneme miktarlarındaki hata değerleri

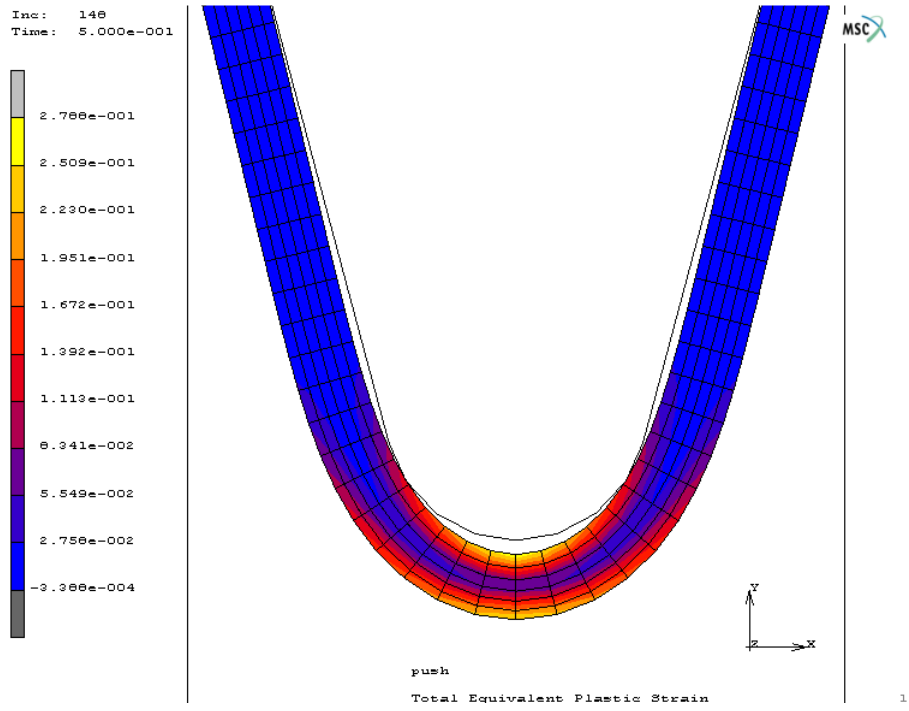
Şekil 6.141 deki deneysel ve sonlu elemanlardan elde edilen farklar incelendiğinde diğer bükme sonuçlarına göre kalınlık arttıkça geri esnemenin azalmasından ve paslanmaz saca göre geri esnemenin daha az olmasından hata değerleri daha küçük çıkmıştır.

6.2.18. 2 mm kalınlıktaki dkp sac ve 4 mm zımba radyüs değeri için serbest “V” bükme operasyonu sonuçlarının incelenmesi

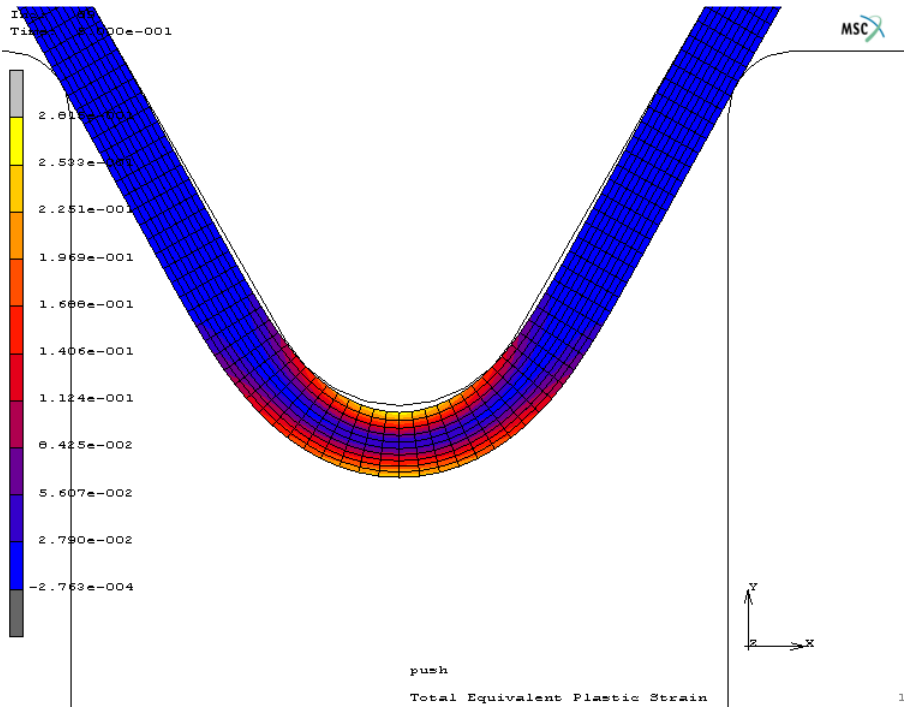


Şekil 6.142. Deneysel ve sonlu elemanlar yönteminin karşılaştırma verileri

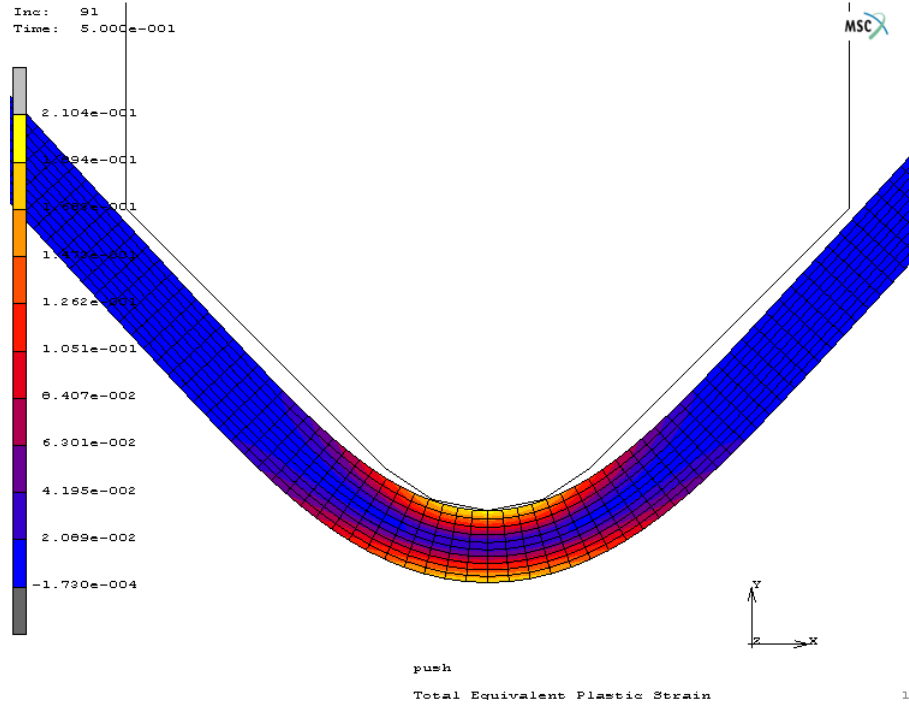
Dkp sacının 2 mm kalınlıktaki sonuçları, 1 mm kalınlığındaki sonuçlara göre daha az geri esneme olduğu, radyüs arttıkça geri esnemenin azaldığı, Paslanmaz saca göre ters açıların fazla oluşmasının sebebi dkp sacının daha az geri esneme yapmasından kaynaklanmaktadır (Şekil 6.142).



Şekil 6.143. 30 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler

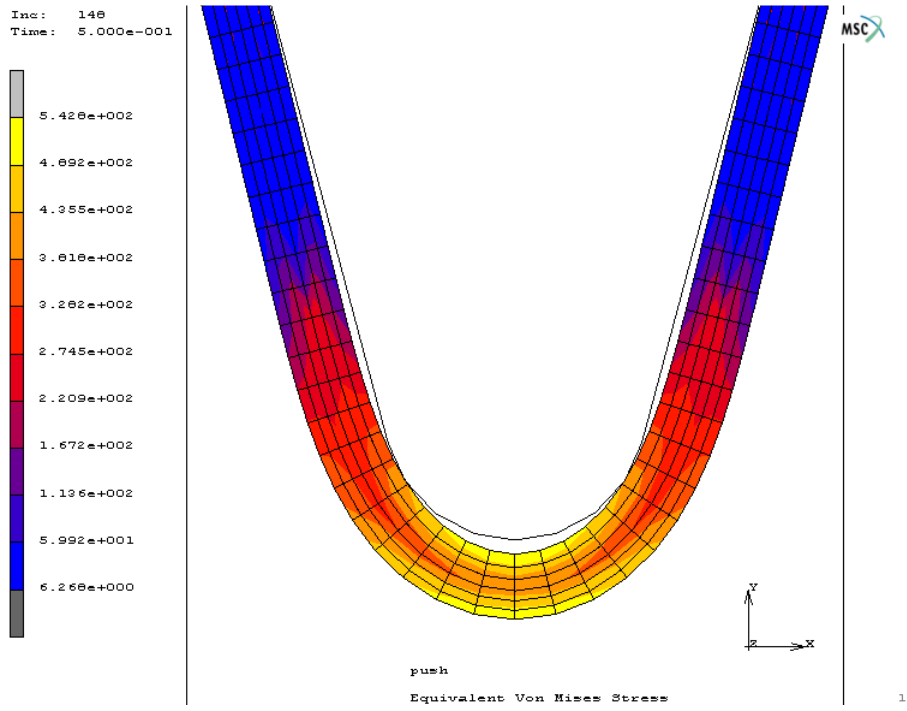


Şekil 6.144. 60 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler

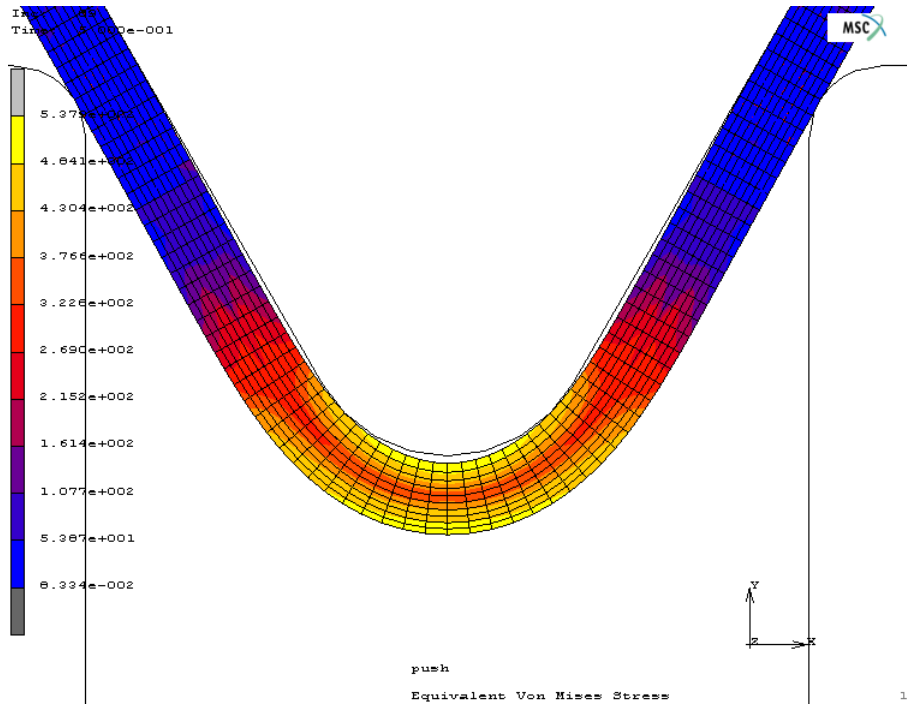


Şekil 6.145. 90 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler

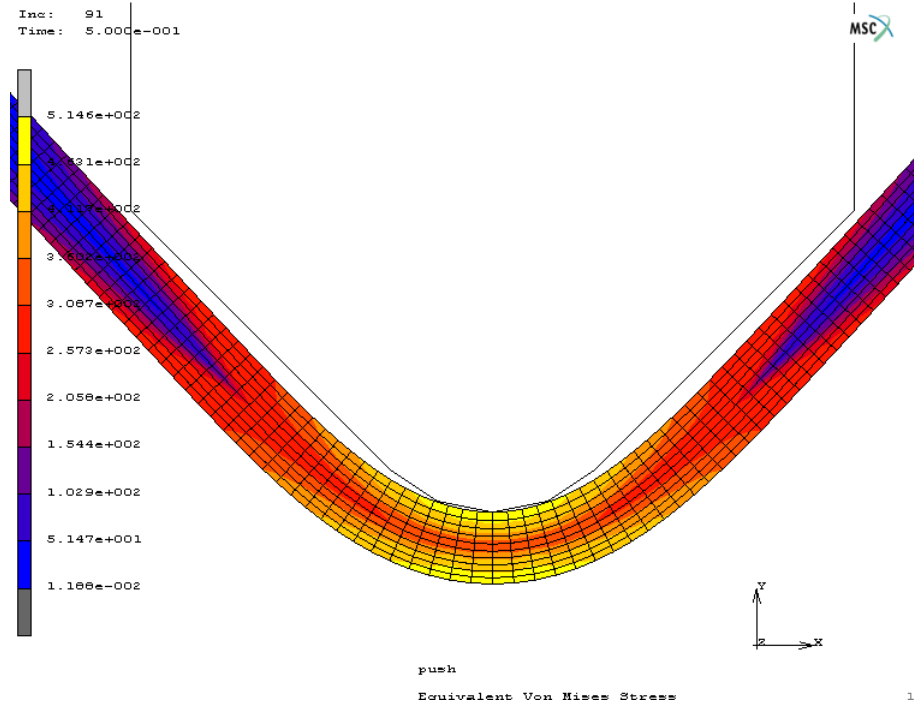
2 mm kalınlıkdaki zımba radyüsü 2 ve 3 mm ile bükme sonuçlarına göre daha az gerinime maruz kaldığı, Bükme açısı arttıkça gerinime uğrayan bölge ve gerinim değerleri azalmaktadır. Gerinime maruz kalmayan nötr eksen bütün açılar üzerinde kalınlığın 0,45 oranındaki yerde meydana geldiği görülmüştür.



Şekil 6.146. 30 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri

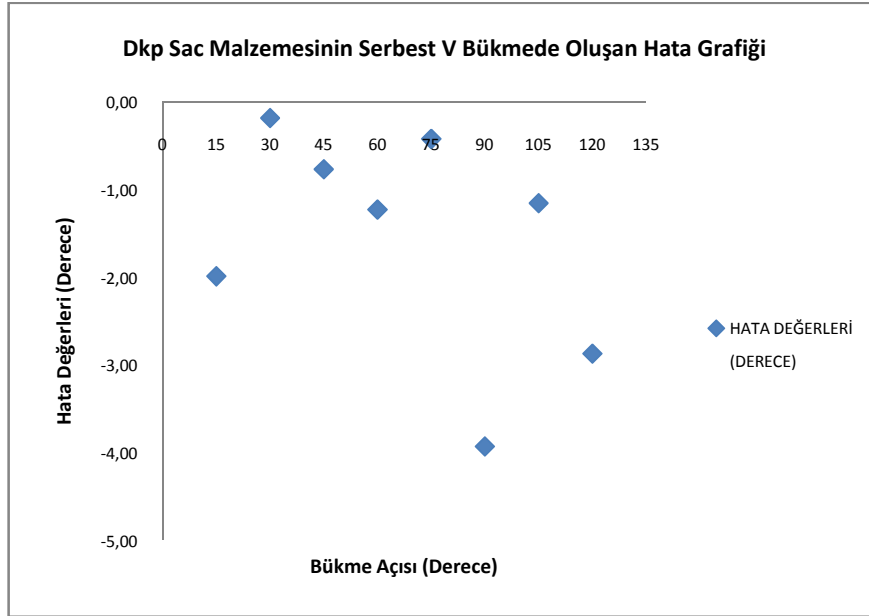


Şekil 6.147. 60 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri



Şekil 6.148. 90 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri

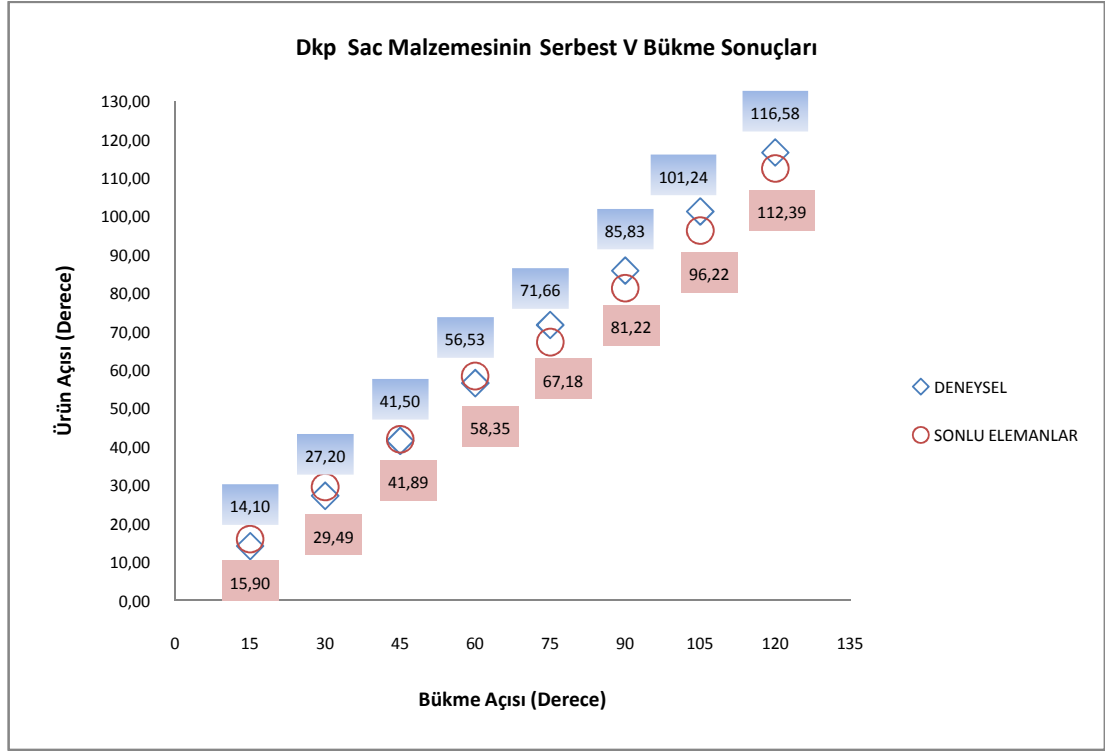
2 mm kalınlıkdaki zımba radyüsü 4 mm ile bükmede oluşan gerilmelerin, zımba radyüsü 2 ve 3 mm ile bükme sonuçlarına göre daha fazla gerilmeye maruz kaldığı, bükme açısı arttıkça parça üzerindeki gerilme değerlerinin azaldığı ve bükme radyüsü arttıkça parça üzerindeki gerilmelerin arttığı görülmüştür (Şekil 6.146, 6.147, 6.148).



Şekil 6.149. Deneysel ve sonlu elemanlar yöntemleri arasındaki geri esneme miktarlarındaki hata değerleri

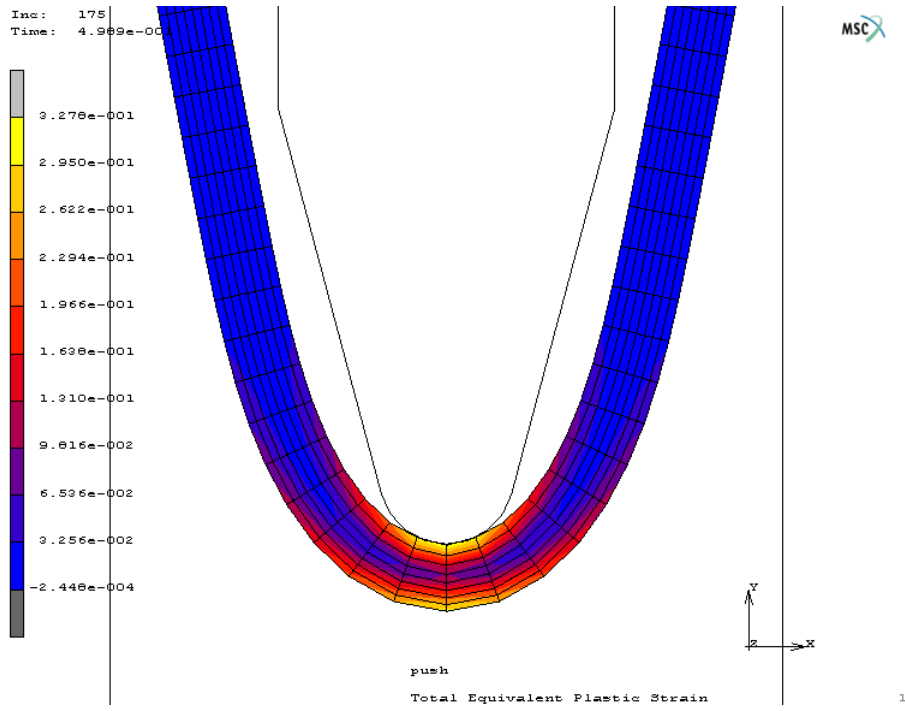
Şekil 6.149 daki fark grafiği incelendiğinde diğer bükme sonuçlarına göre hata değerlerinin daha az oluştuğu görülmüştür. 90 ve 120 derecedeki fazla oluşan hata değerlerinin ise geri esnemenin fazla olmasından kaynaklanmaktadır.

6.2.19. 3 mm kalınlığındaki dkp sac ve 3 mm zımba radyüs değeri için serbest “V” bükme operasyonu sonuçlarının incelenmesi

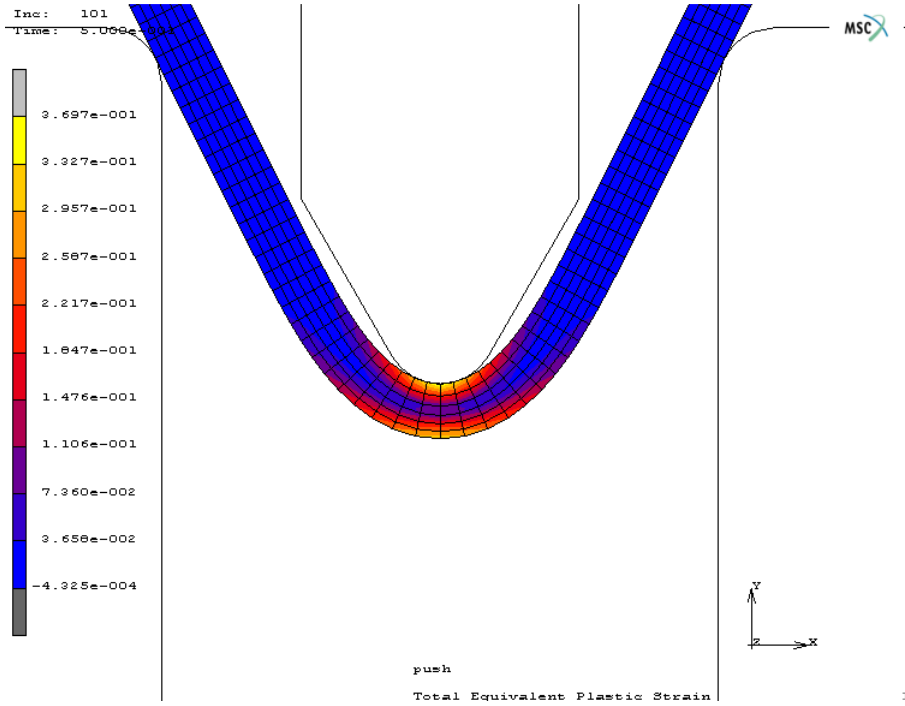


Şekil 6.150. Deneysel ve sonlu elemanlar yönteminin karşılaştırma verileri

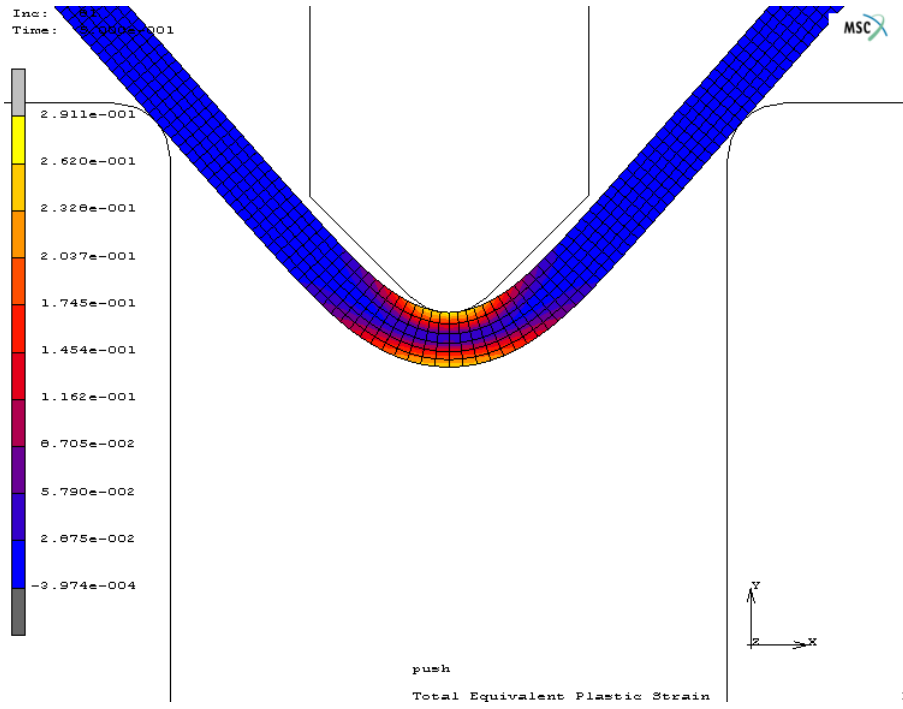
Dkp sacının 3 mm kalınlığındaki ve zımba radyüsü 3 mm ile bükme sonuçlarından elde edilen değerlerin 1 mm ve 2 mm kalınlıkdaki bükme sonuçlarına göre daha az geri esnediği görülmüştür. Kalınlık ve bükme açısı arttıkça geri esneme azalmıştır.



Şekil 6.151. 30 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler

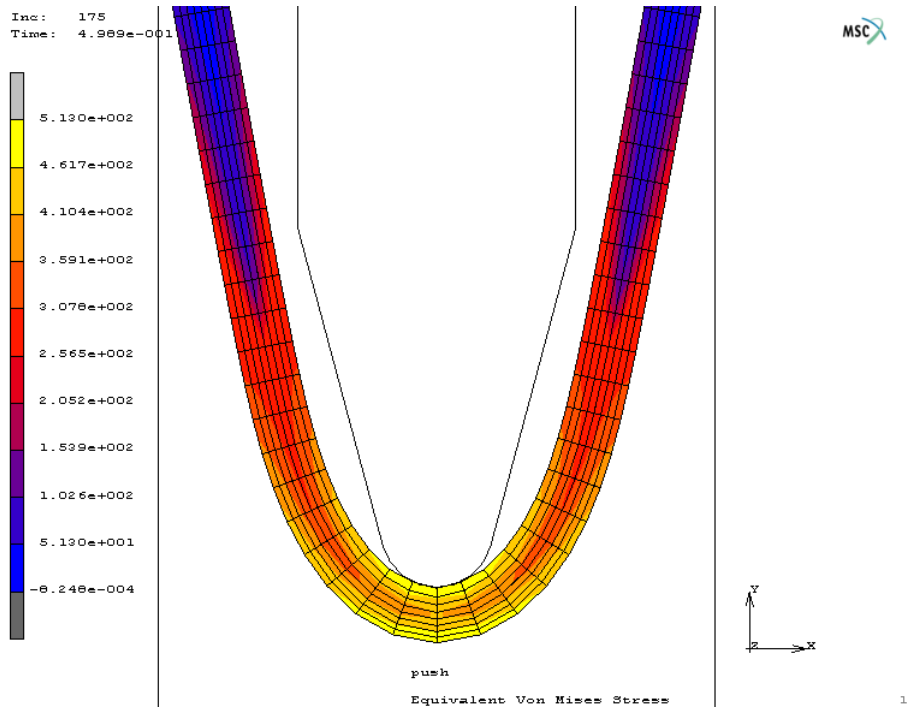


Şekil 6.152. 60 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler

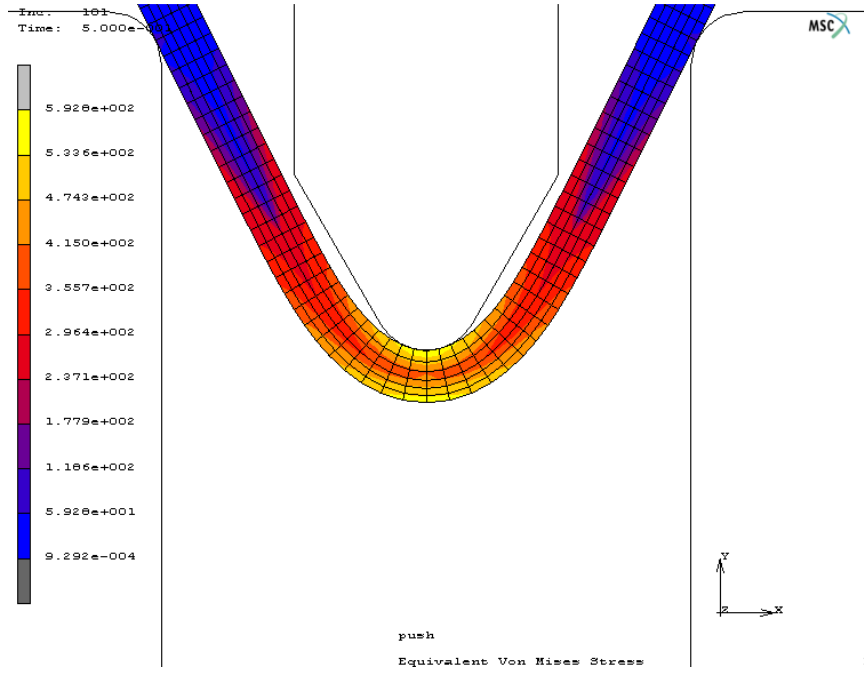


Şekil 6.153. 90 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler

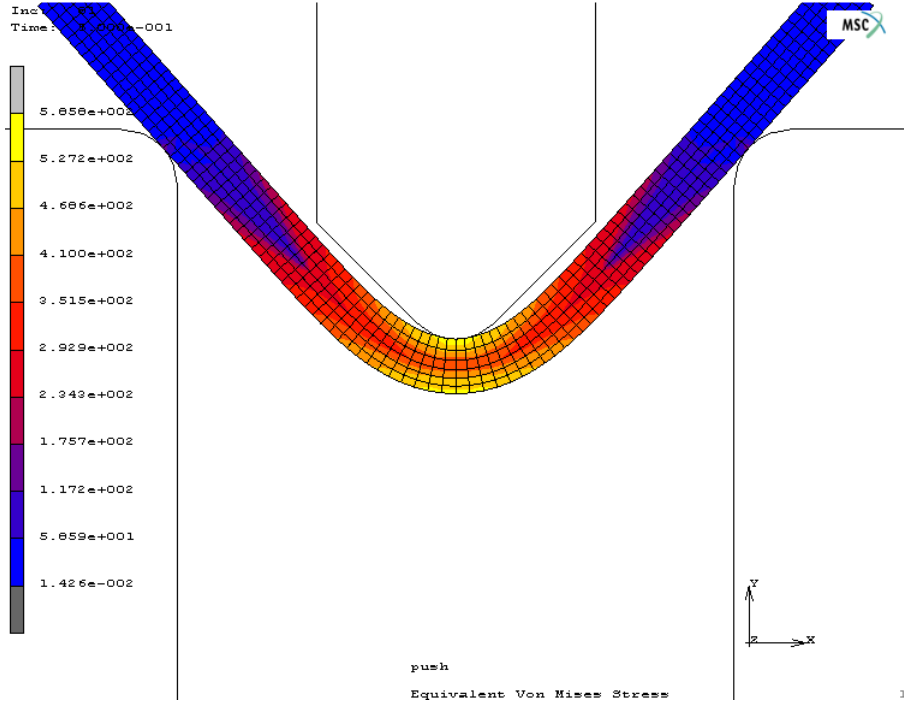
Nötr eksen et kalınlığının iç tarafında 0,42 oranında meydana gelmiştir. Zımba radyüsü arttıkça uzama değerleri azalmıştır. Kalınlık arttıkça uzama artmıştır (Şekil 6.151, 6.152, 6.153).



Şekil 6. 154. 30 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri

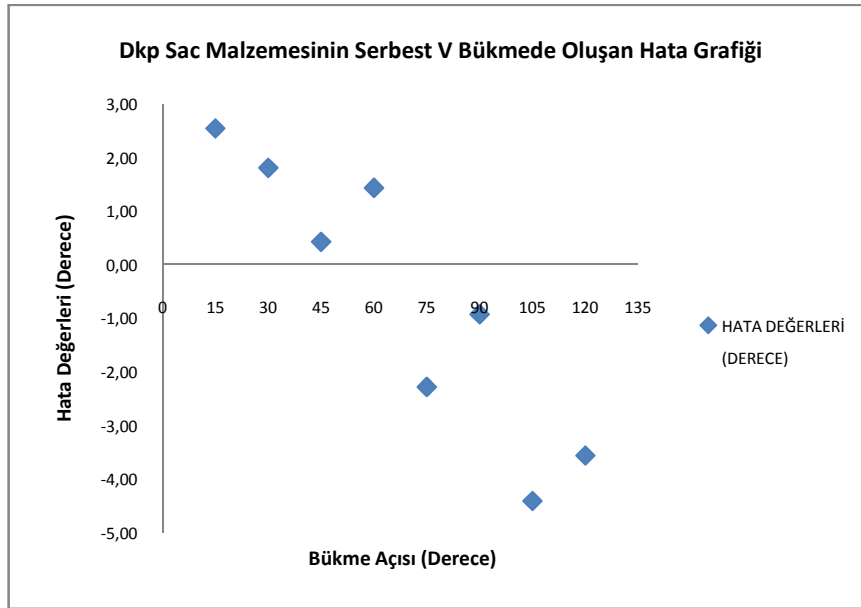


Şekil 6.155. 60 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri



Şekil 6.156. 90 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri

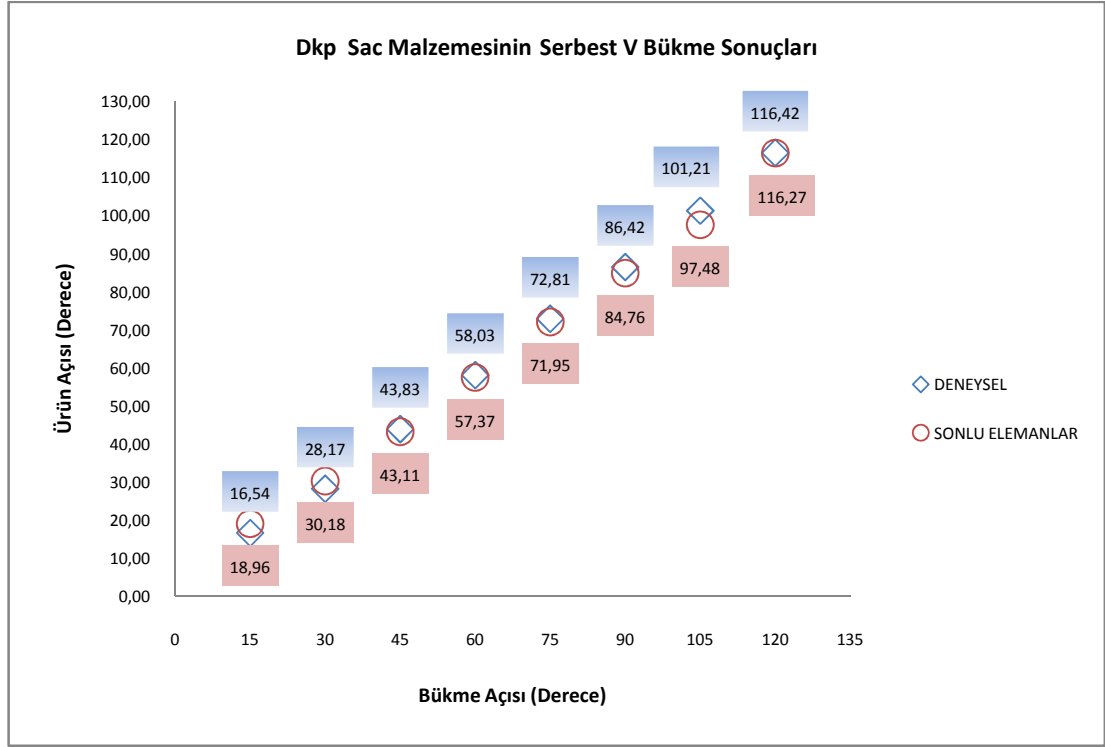
Dkp sacın 3 mm kalınlığındaki zımba radyüsü 3mm ile bükmede oluşan gerilmeler, rradyüs arttıkça gerilemlerin daha fazla oluştuğu, bükme açısı arttıkça parça üzerindeki gerilme değerlerinin azaldığı görülmüştür (Şekil 6.154, 6.155, 6.156).



Şekil 6.157. Deneysel ve sonlu elemanlar yöntemleri arasındaki geri esneme miktarlarındaki hata değerleri

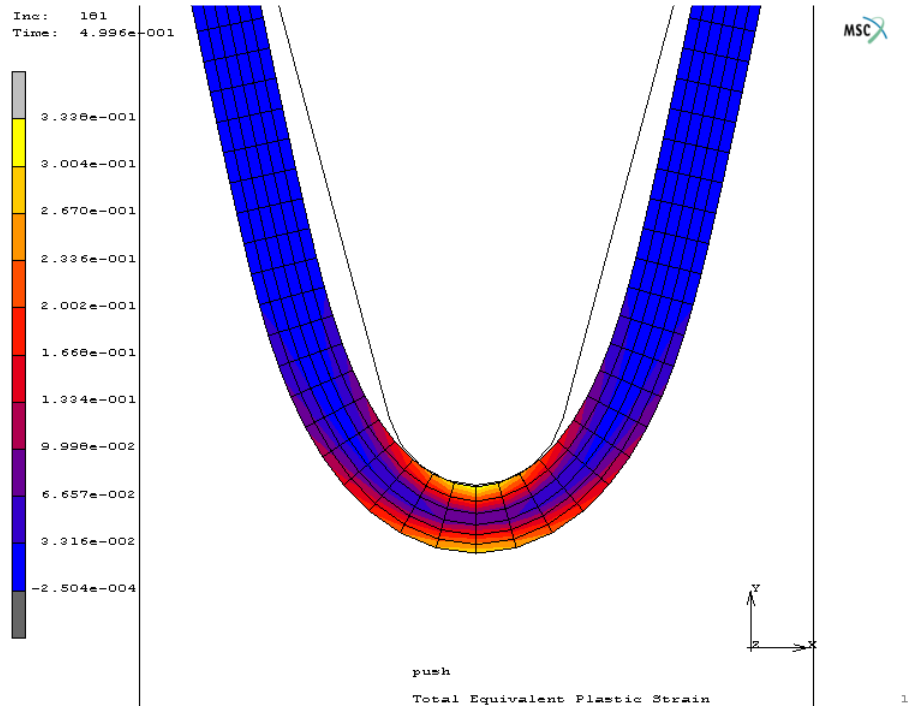
Şekil 6.157 deki hata değerleri incelendiğinde 105 ve 120 derecedeki bükme açılarında deformasyon miktarlarının az olması sonlu elemanlar ile yapılan bükme işlemlerinin hata değerlerini arttırmaktadır.

6.2.20. 3 mm kalınlığındaki dkp sac ve 4 mm zımba radyüs değeri için serbest “V” bükme operasyonu sonuçlarının incelenmesi

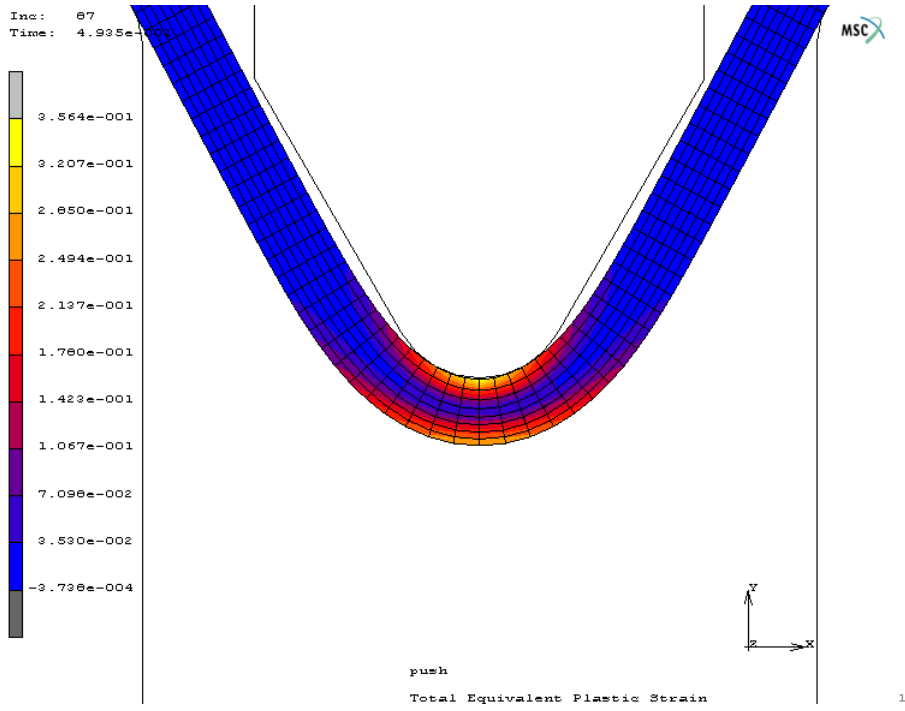


Şekil 6.158. Deneysel ve sonlu elemanlar yönteminin karşılaştırma verileri

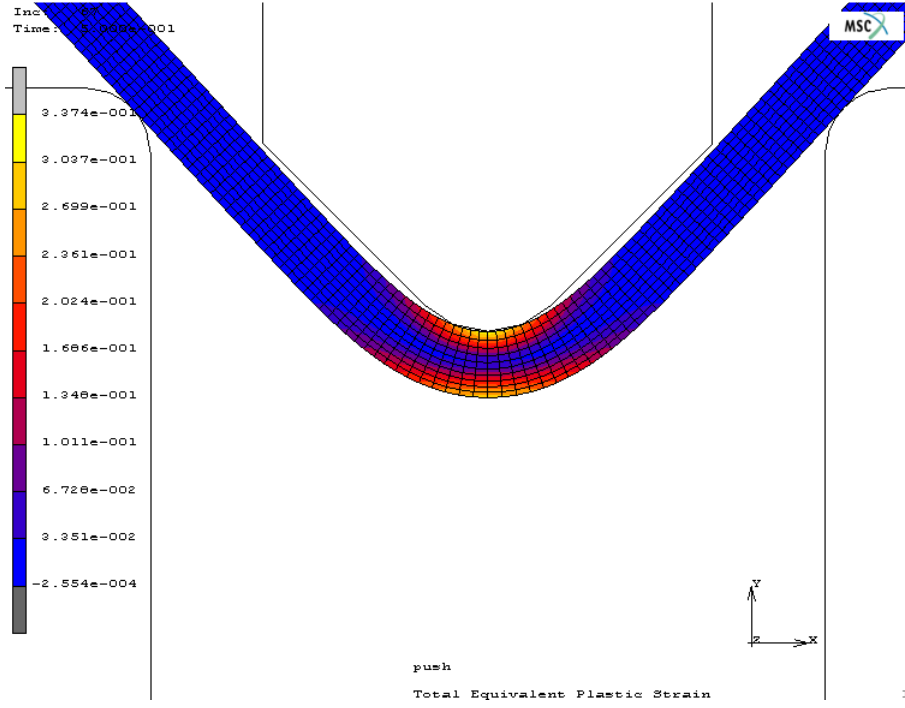
Dkp sacın 3 mm kalınlığındaki zımba radyüsü 4 mm ile bükme sonuçlarından elde edilen değerlerin radyüs arttıkça daha fazla geri esnediği görülmüştür. Kalınlık ve bükme açısı arttıkça bükme sonuçlarına göre daha az geri esnediği görülmüştür.



Şekil 6.159. 30 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler

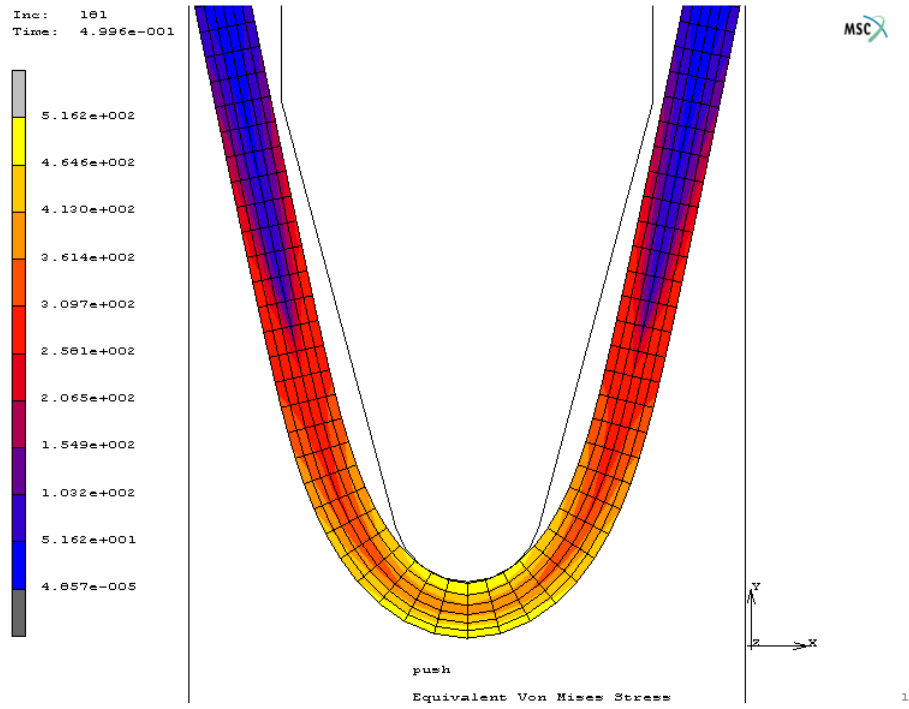


Şekil 6.160. 60 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler

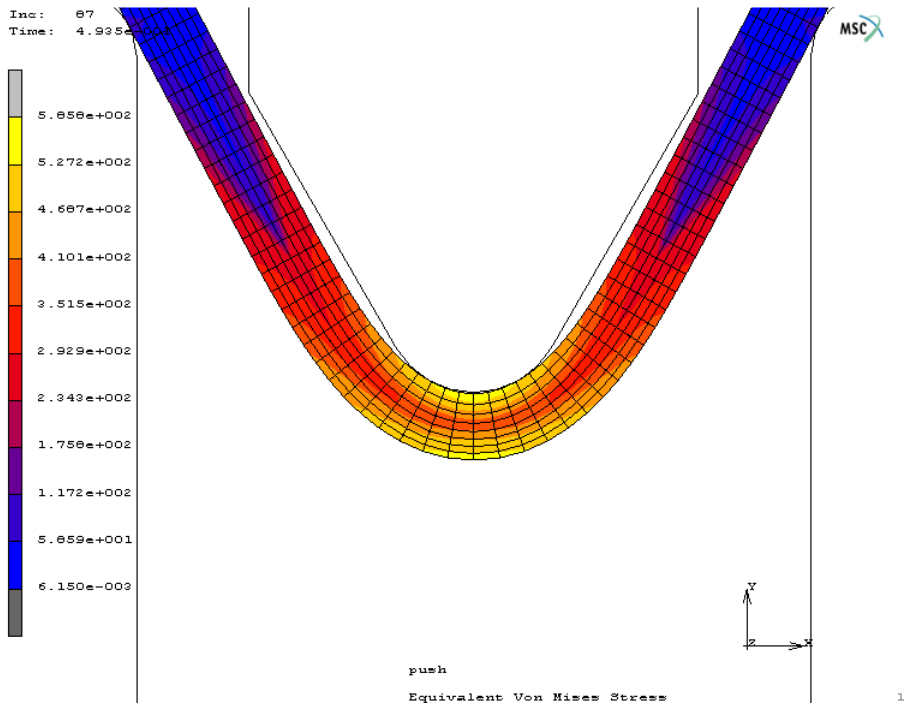


Şekil 6.161. 90 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler

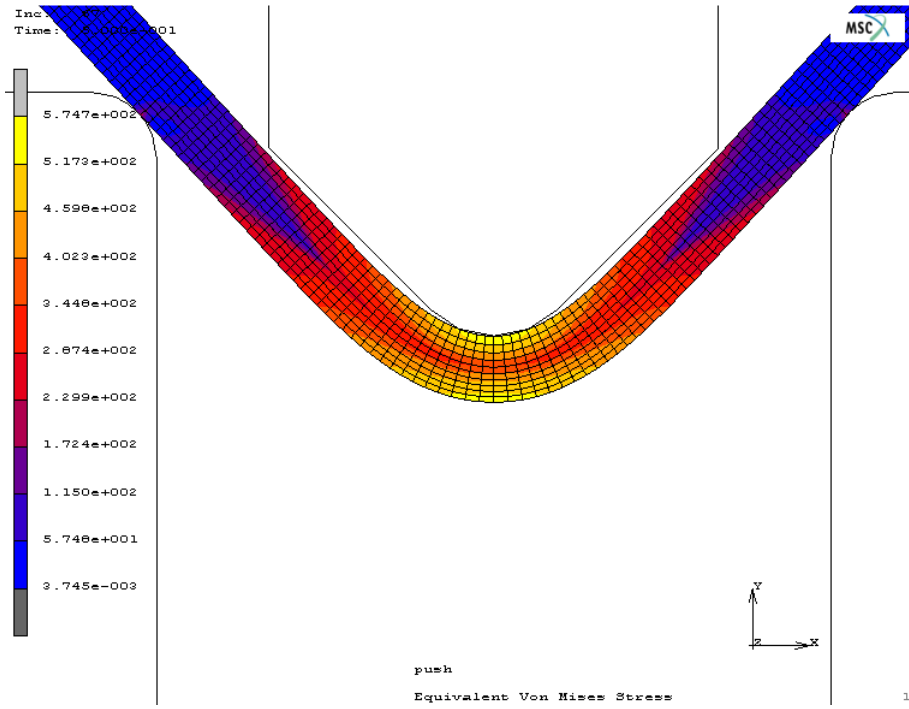
Nötr eksen et kalınlığının iç tarafında 0,40 oranında meydana gelmiştir. Zımba radyüsü arttıkça uzama değerleri azalmıştır. Kalınlık arttıkça uzama artmıştır (Şekil 6.159, 6.160, 6.161).



Şekil 6.162. 30 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri

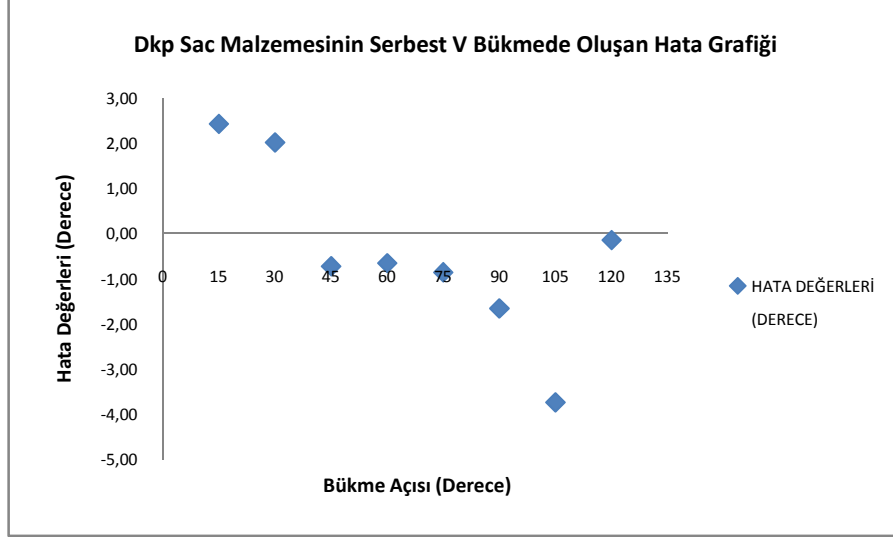


Şekil 6.163. 60 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri



Şekil 6.164. 90 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri

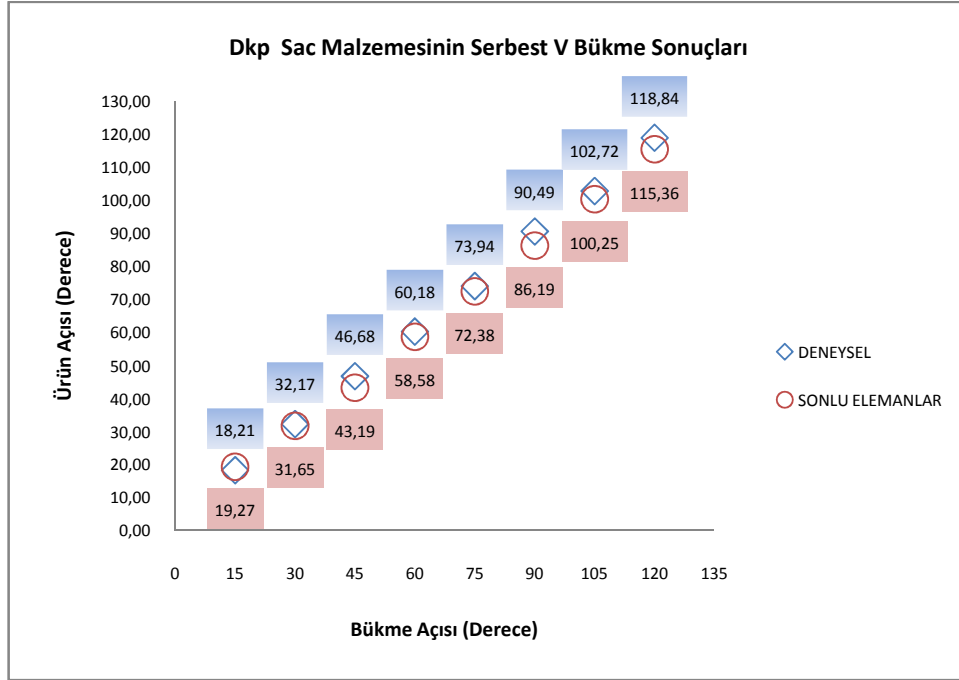
3 mm kalınlığındaki dkp sac zımba radyüsü 4 mm ile bükme sonuçları incelendiğinde, bükme radyüsü arttıkça daha fazla gerilme değerlerinin oluştuğu kalınlık ve bükme açısı arttıkça gerilme değerleri azalmaktadır (Şekil 6.162, 6.163, 6.164).



Şekil 6.165. Deneysel ve sonlu elemanlar yöntemleri arasındaki geri esneme miktarlarındaki hata değerleri

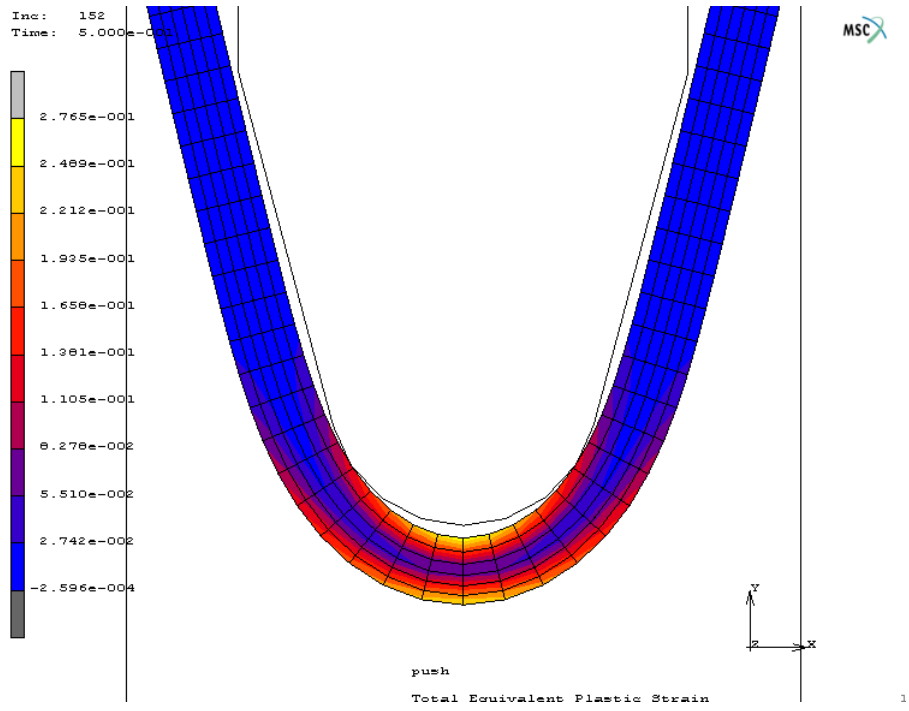
Şekil 6.165 deki hata değerleri incelendiğinde, diğer sonuçlara göre daha az hata olduğu görülmüştür. En fazla hata değeri 105 derecede oluşmuştur.

6.2.21. 3 mm kalınlığındaki dkp sac ve 6 mm zımba radyüs değeri için serbest “V” bükme operasyonu sonuçlarının incelenmesi

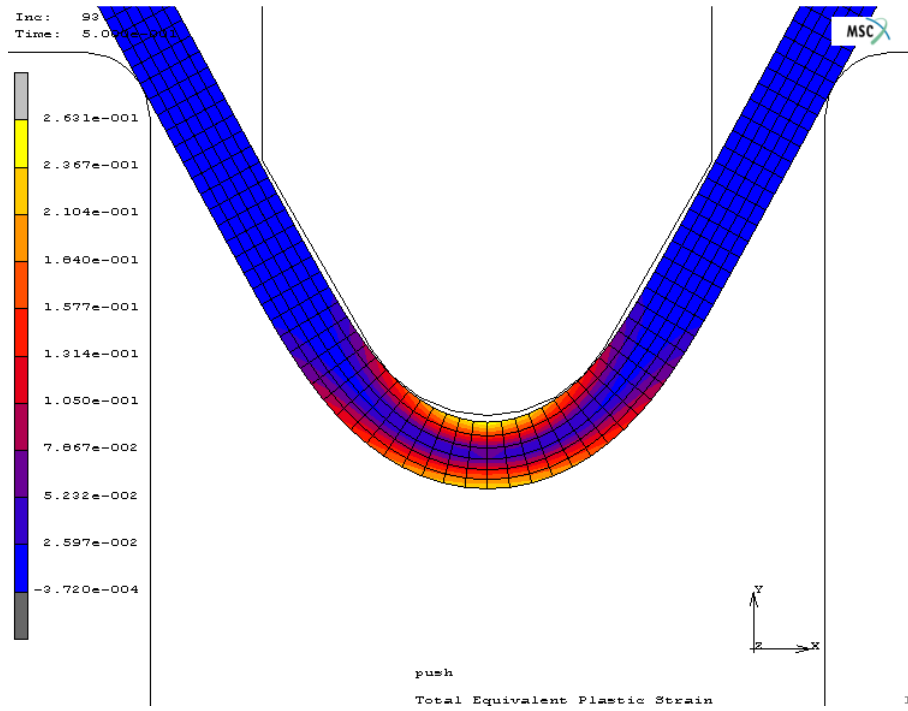


Şekil 6.166. Deneysel ve sonlu elemanlar yönteminin karşılaştırma verileri

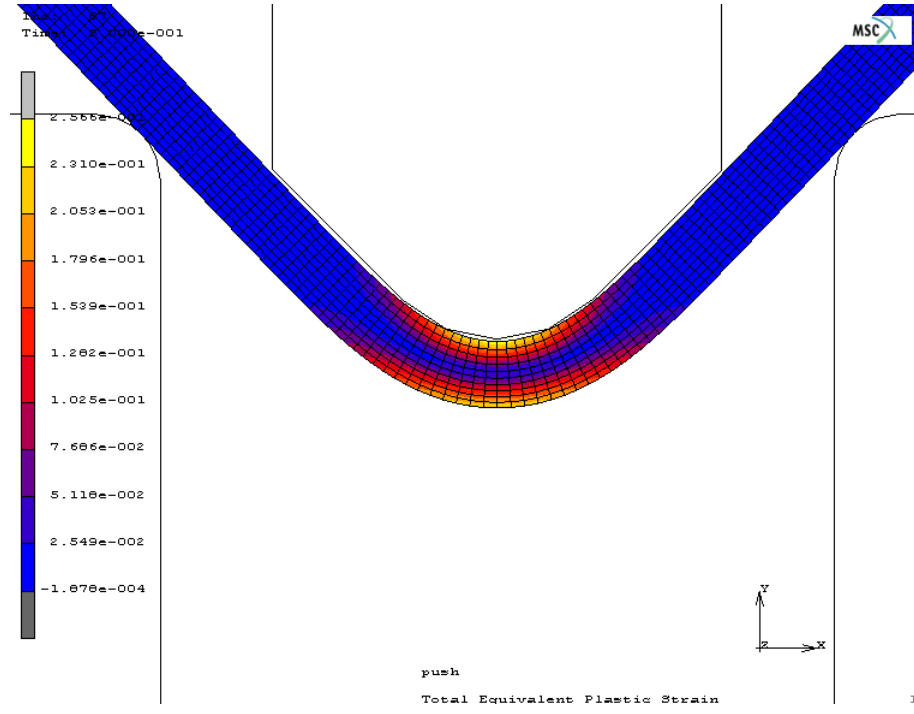
Dkp sacın 3 mm kalınlığındaki zımba radyüsü 6 mm ile gerçekleştirilen bükme sonuçlarında, zımba radyüsünün artması geri esnemeyi artırdığı, kalınlık ve bükme açısının artması geri esnemeyi azalmıştır (Şekil 6.166).



Şekil 6.167. 30 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler

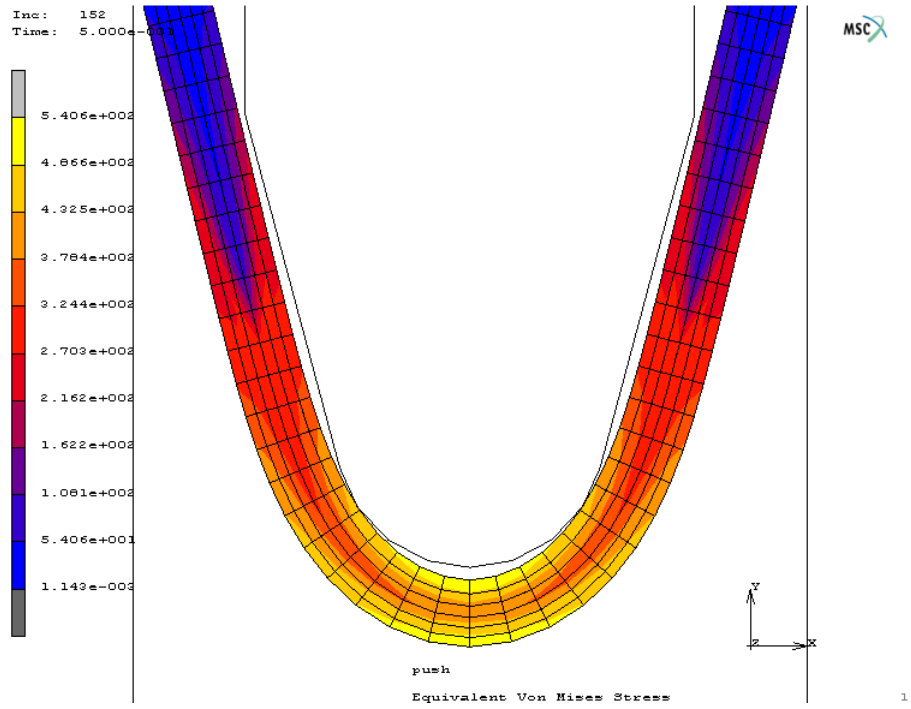


Şekil 6.168. 60 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler

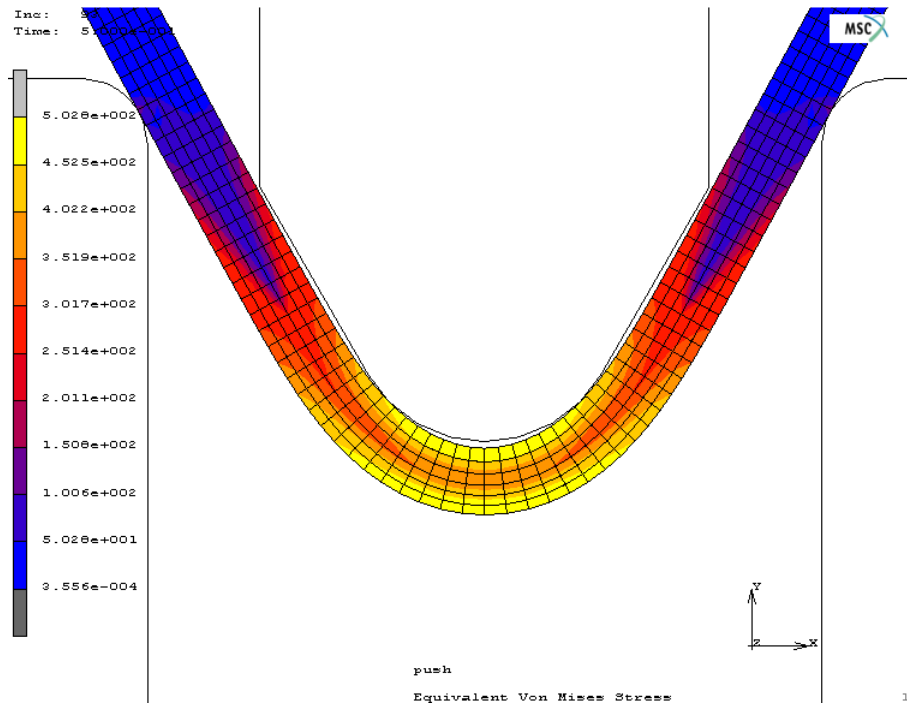


Şekil 6.169. 90 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler

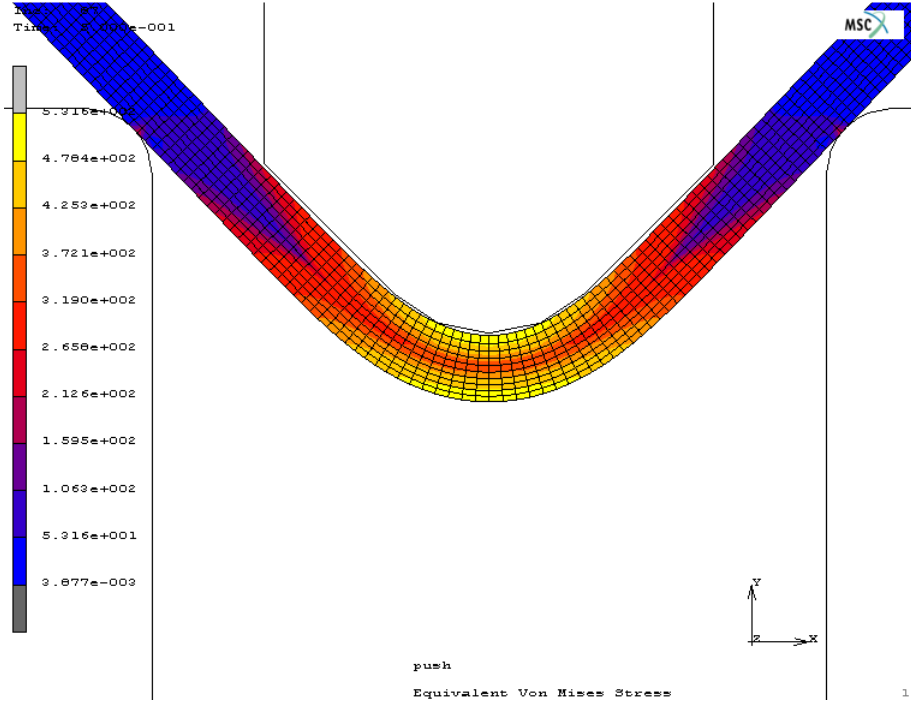
Nötr eksen iç eksen tarafında 0,42 oranında oluşmuştur. Radyüs ve bükme açısı arttıkça gerinim azalmıştır. Kalınlık arttıkça gerinim artmıştır (Şekil 6.167, 6.168, 6.169).



Şekil 6.170. 30 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri

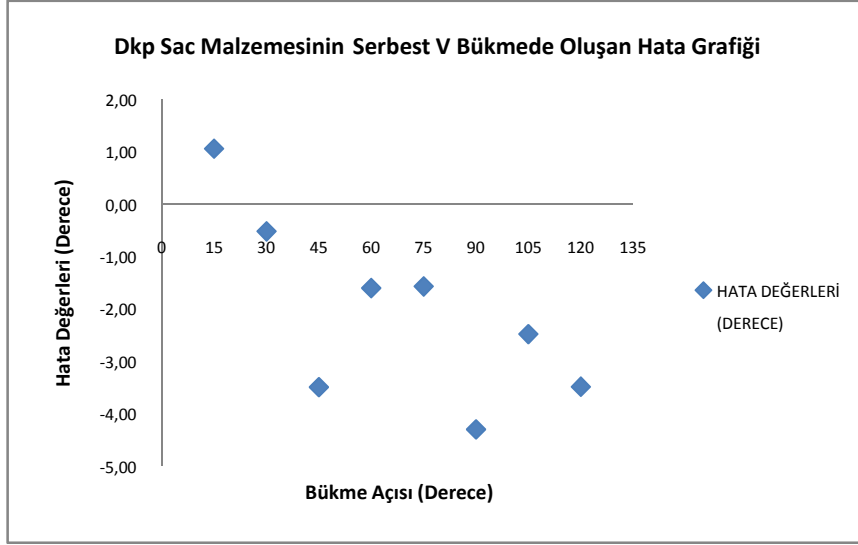


Şekil 6.171. 60 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri



Şekil 6.172. 90 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri

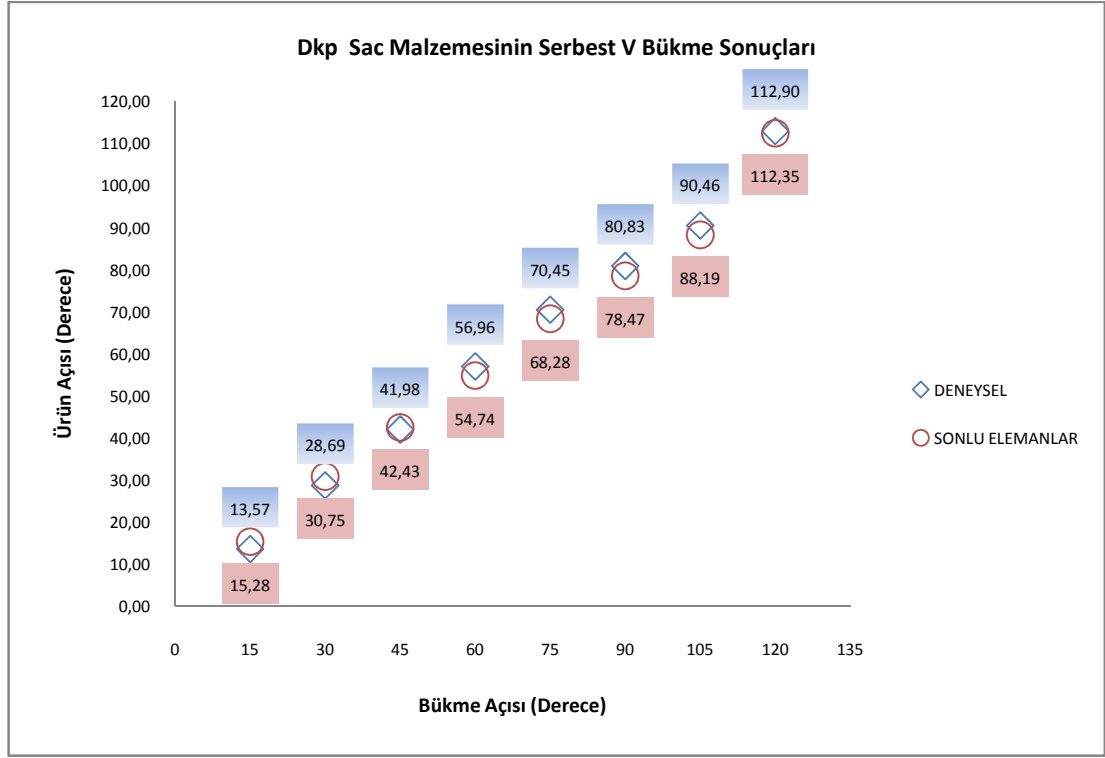
Dkp sacın 3 mm kalınlıkdaki zımba radyüsü 6 mm ile bükmede oluşan gerilme değerleri, zımaba radyüsü ve kalınlık arttıkça daha fazla gerilme oluştuğu, Bükme açısı arttıkça gerilme değerlerinin azaldığı görülmüştür (Şekil 6.170, 6.171, 6.172) .



Şekil 6.173. Deneysel ve sonlu elemanlar yöntemleri arasındaki geri esneme miktarlarındaki hata değerleri

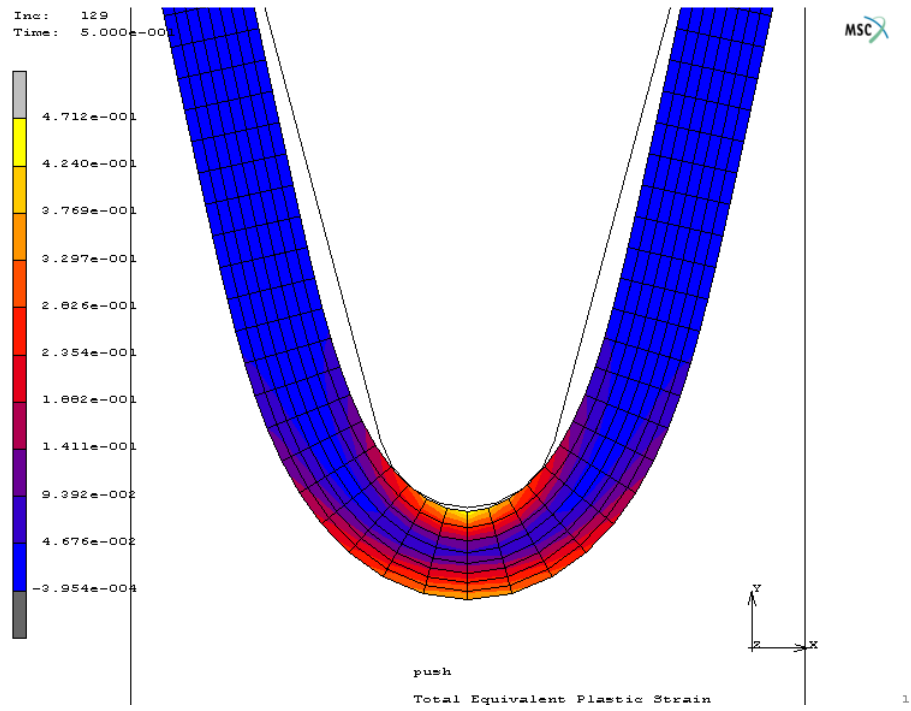
Şekil 6.173 incelendiğinde hata fazla çıkmasının sebebi bükme esnasında oluşan deformasyonun fazla oluşmasından dolayı ve geri esnemenin fazla olmasından kaynaklanmaktadır. Bu durumda sonlu elemanlar ile yapılan işlemlerde hata oranını artırmaktadır.

6.2.22. 4 mm kalınlığındaki dkp sac ve 4 mm zımba radyüs değeri için serbest “V” bükme operasyonu sonuçlarının incelenmesi

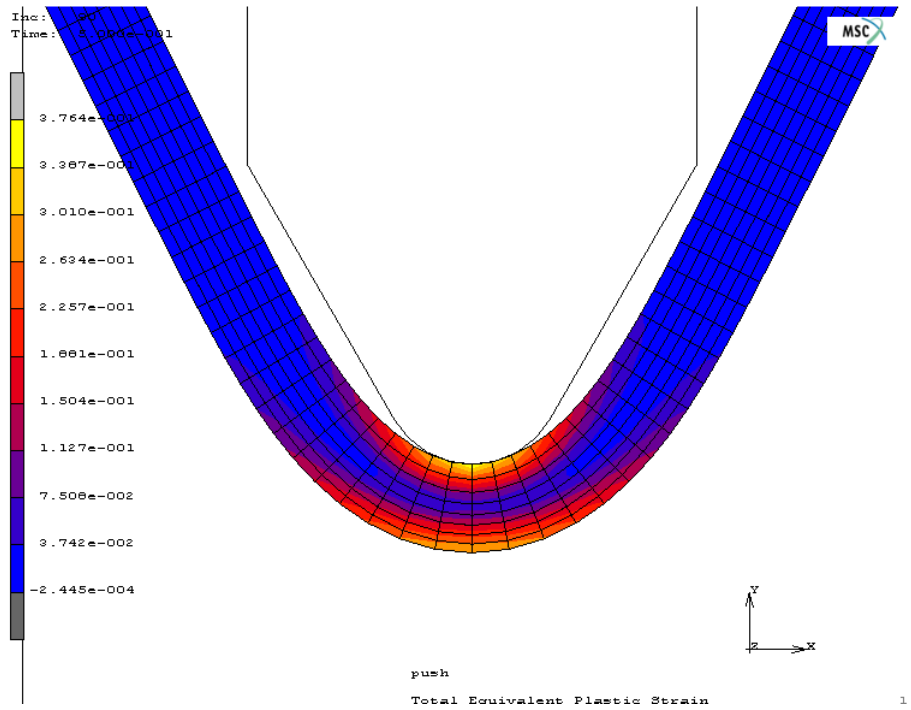


Şekil 6.174. Deneysel ve sonlu elemanlar yönteminin karşılaştırma verileri

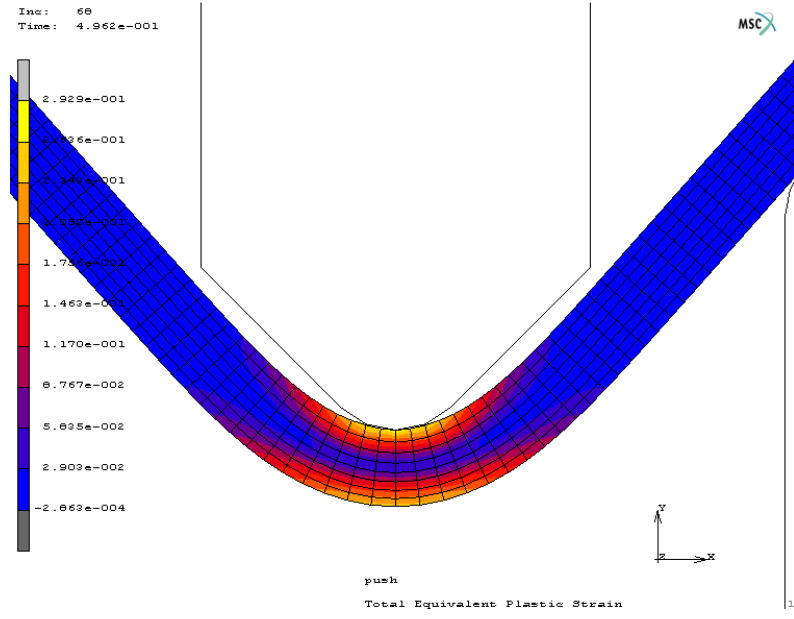
Dkp sacının 4 mm numunesi için zımba radyüsü 4 mm ile bükme sonuçlarından elde edilen değerlere göre, bükme açısı ve kalınlık arttıkça daha az geri esneme olduğu, Deneysel olarak yapılan sonuçlarla karşılaştırıldığında değerlerin yakın sonuçlar verdiği gözlenmiştir.



Şekil 6.175. 30 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler

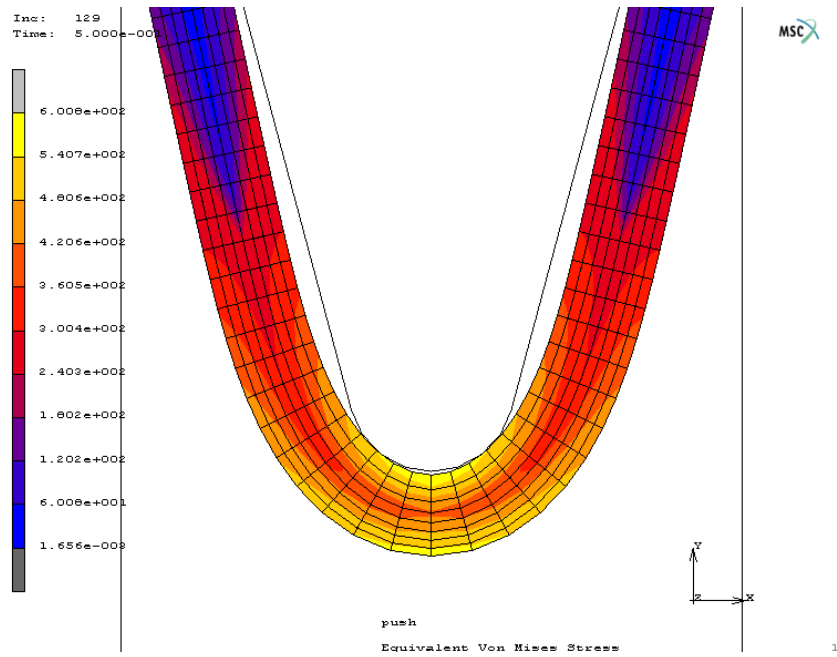


Şekil 6.176. 60 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler

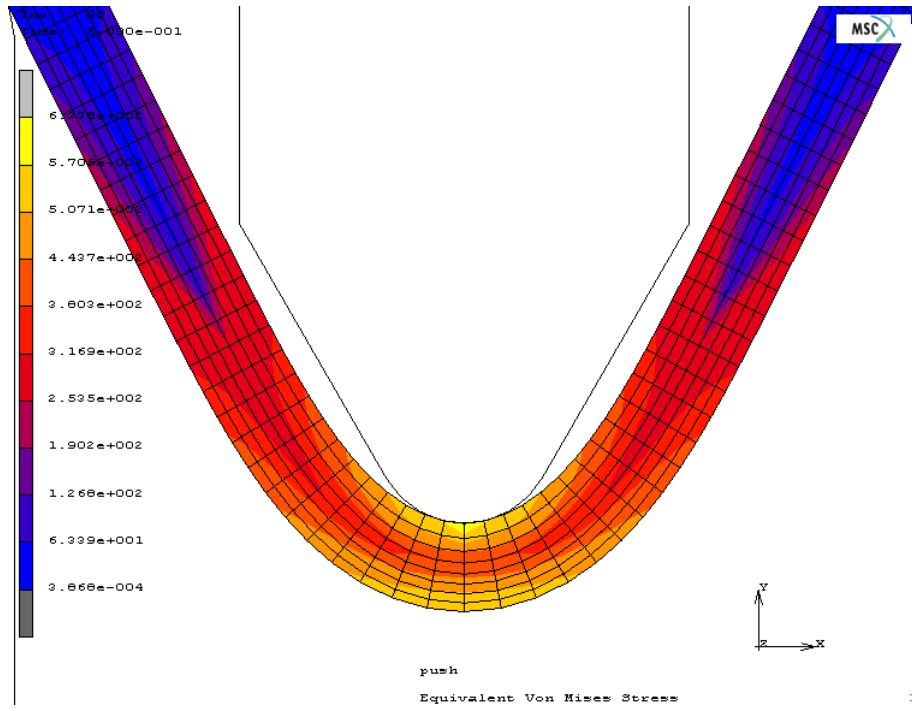


Şekil 6.177. 90 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler

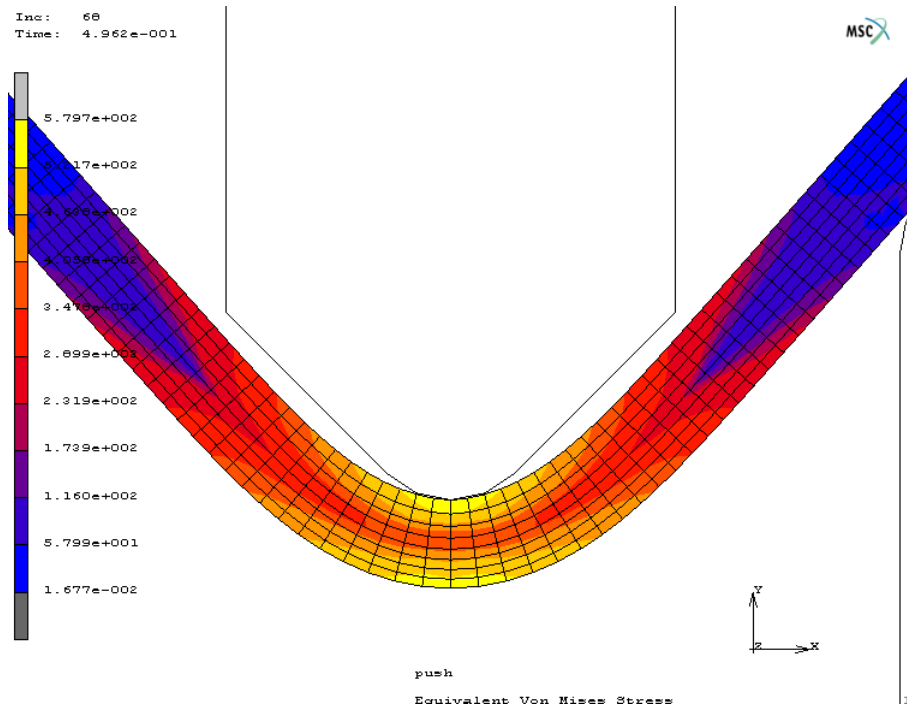
Nötr eksen iç tarafda kalınlığın 0,43 oranında oluşmuştur. Kalınlık arttıkça uzama değerleri artmıştır. Bükme açısı arttıkça uzama azalmıştır. (Şekil 6.175, 6.176, 6.177)



Şekil 6.178. 30 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri

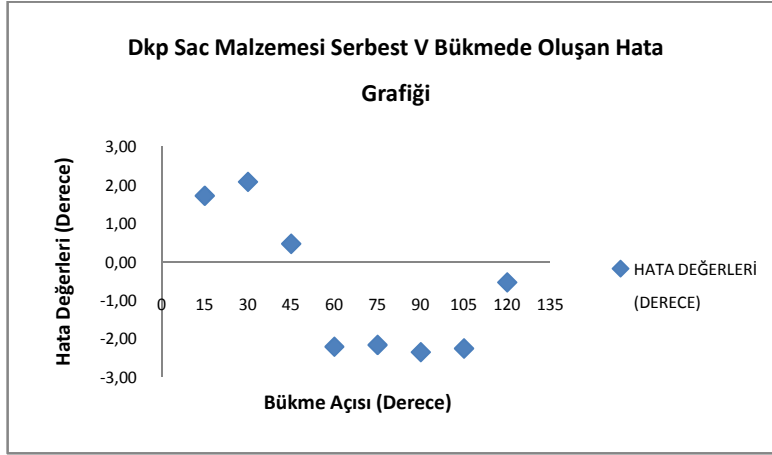


Şekil 6.179. 60 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri



Şekil 6.180. 90 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri

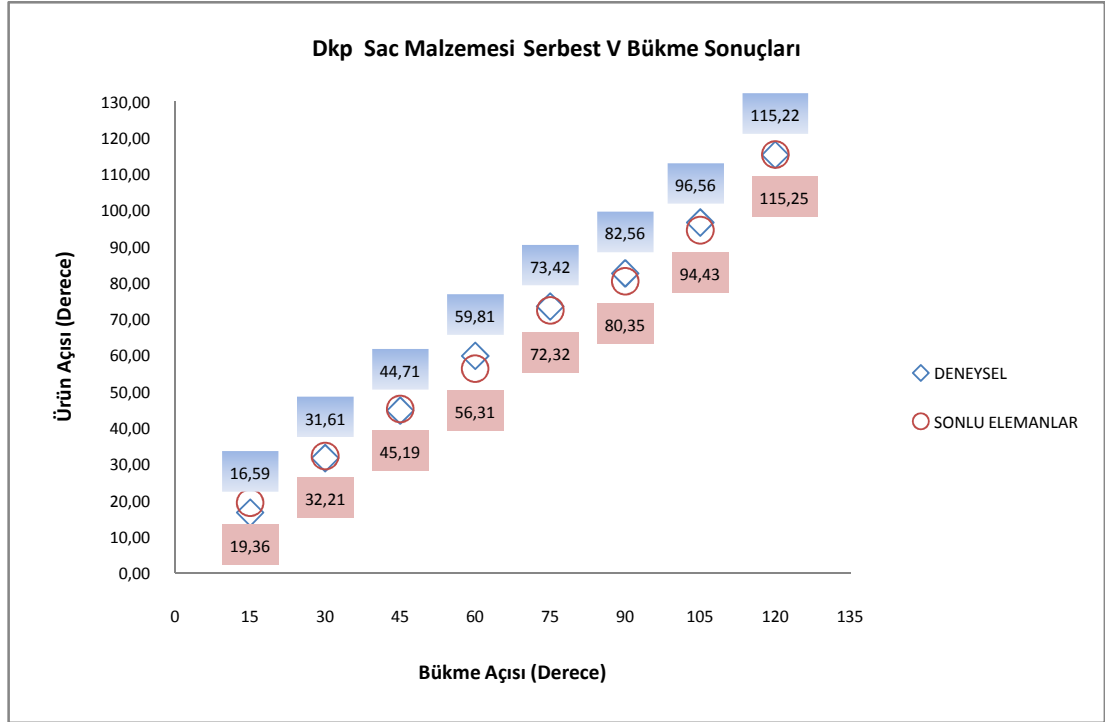
Dkp sacın 4 mm kalınlıkdaki zımba radyüsü 4 mm ile bükmede oluşan gerilme değerleri, zımba radyüsü ve kalınlık arttıkça daha fazla gerilme oluştuğu, bükme açısı arttıkça gerilme değerlerinin azaldığı görülmüştür (Şekil 6.178, 6.179, 6.180).



Şekil 6.181. Deneysel ve sonlu elemanlar yöntemleri arasındaki geri esneme miktarlarındaki hata değerleri

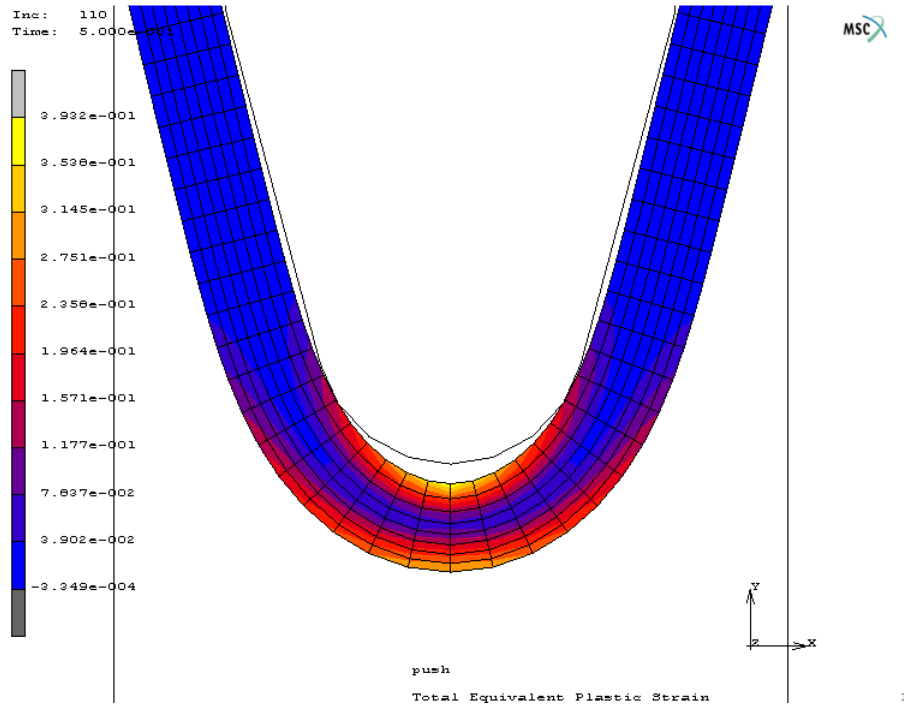
Şekil 6.181 incelendiğinde elde edilen sonuçların daha tutarlı sonuçlar verdiği görülmüştür. Geri esnemenin daha az olmasından dolayı, sonlu elemanlarla hesaplamalarda daha düzgün sonuçlar elde edilmektedir.

6.2.23. 4 mm kalınlığındaki dkp sac ve 6 mm zımba radyüs değeri için serbest “V” bükme operasyonu sonuçlarının incelenmesi

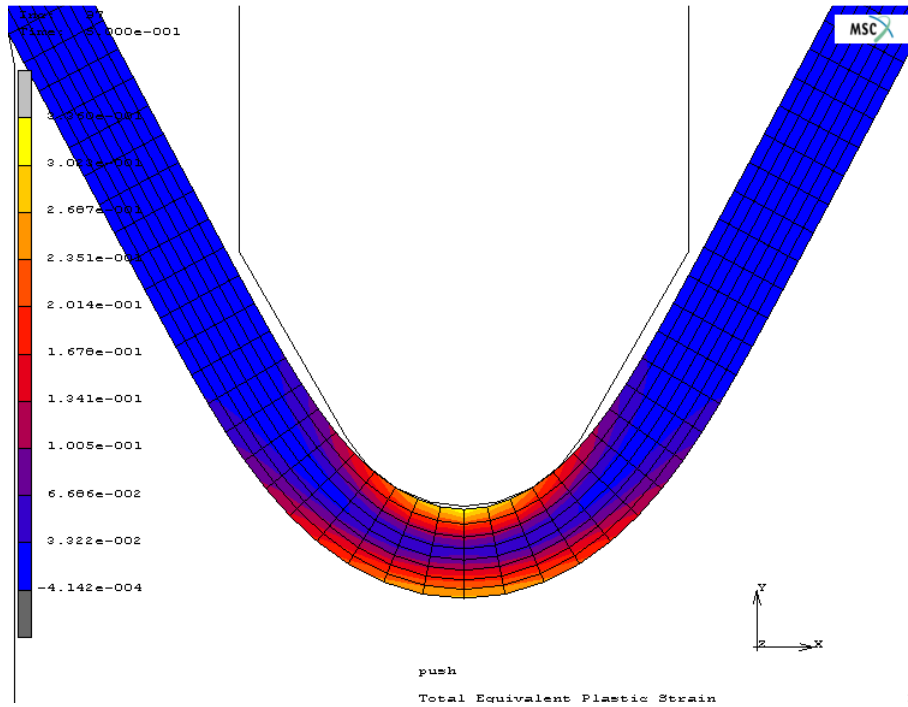


Şekil 6.182. Deneysel ve sonlu elemanlar yönteminin karşılaştırma verileri

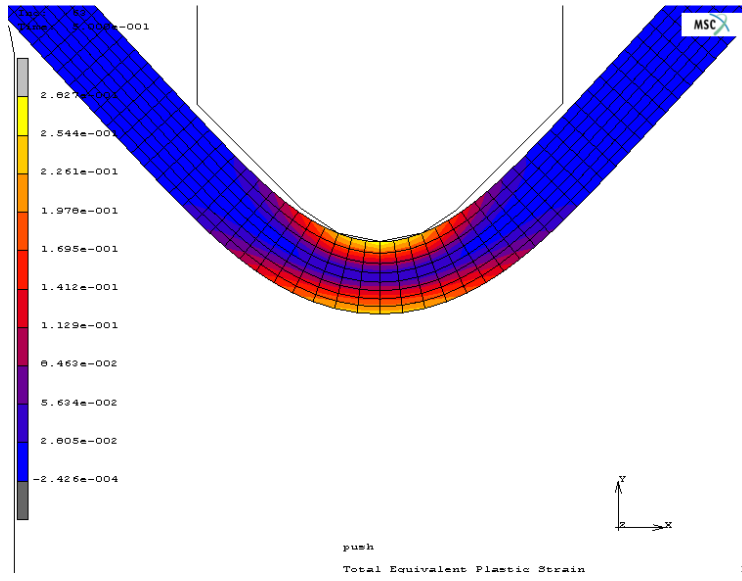
Dkp 4 mm kalınlığındaki zımba radyüsü 6 mm ile bükme sonuçlarında elde edilen değerlerin radyüs arttıkça daha fazla geri esnediği görülmüştür. Kalınlıkve bükme açısı arttıkça daha az geri esnediği görülmüştür.



Şekil 6.183. 30 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler

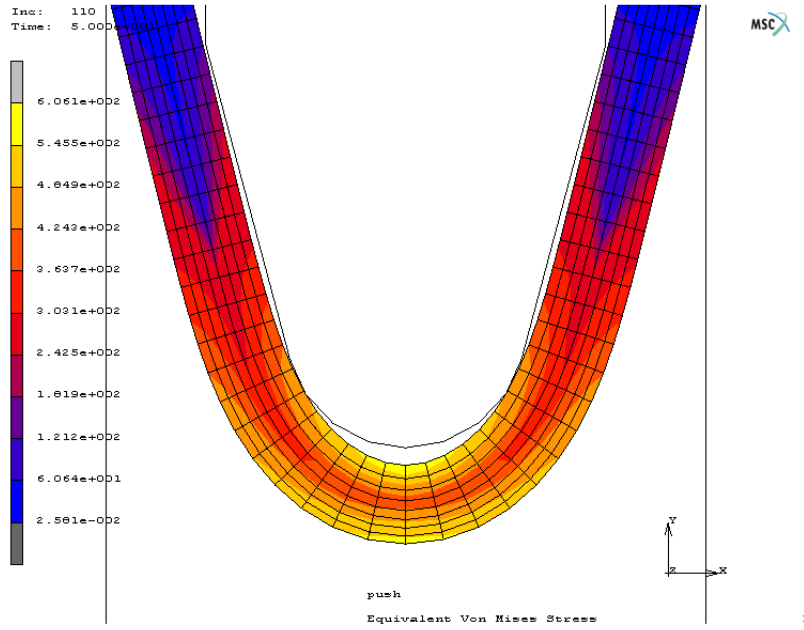


Şekil 6.184. 60 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler

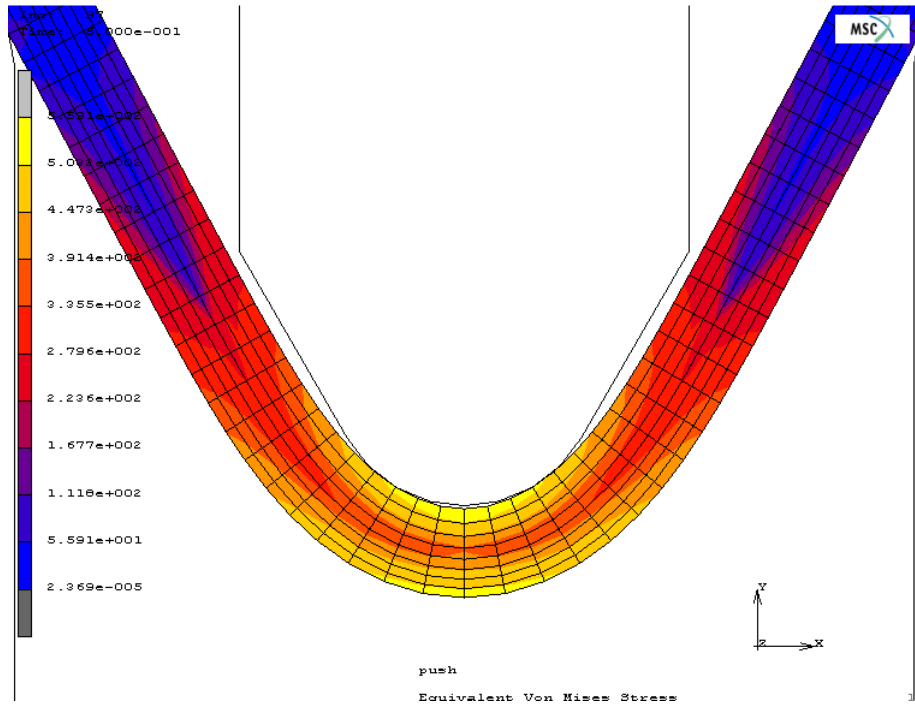


Şekil 6.185. 90 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler

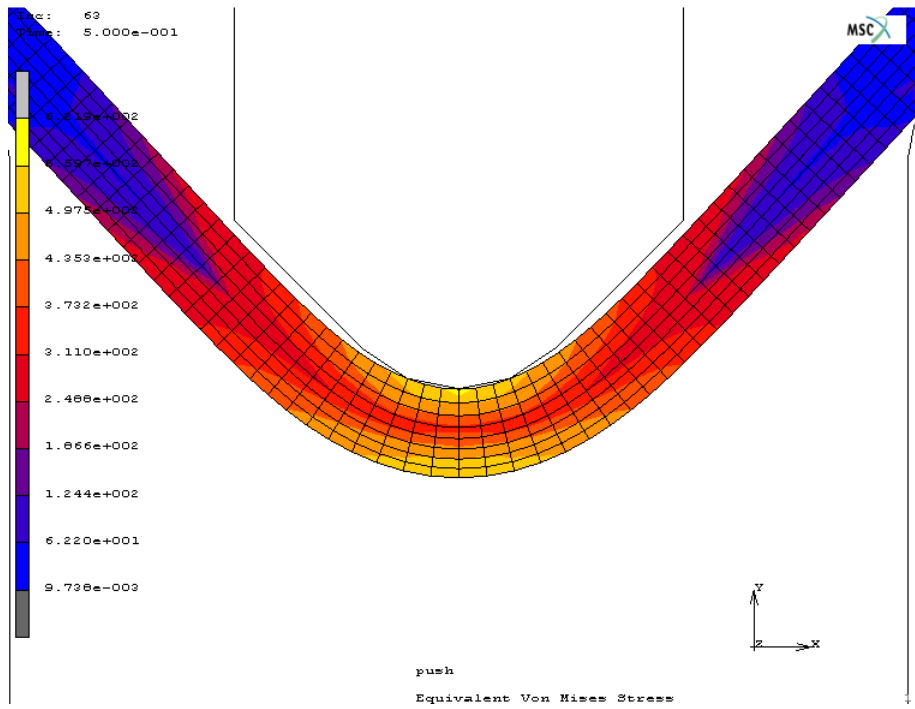
Nötr eksen iç tarafda kalınlığın 0,40 oranında oluşmuştur. Kalınlık arttıkça gerinim değerleri artmıştır. Bükme açısı ve radyüs arttıkça gerinim değerleri azamıştır (Şekil 6.183, 6.184, 6.185).



Şekil 6.186. 30 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri

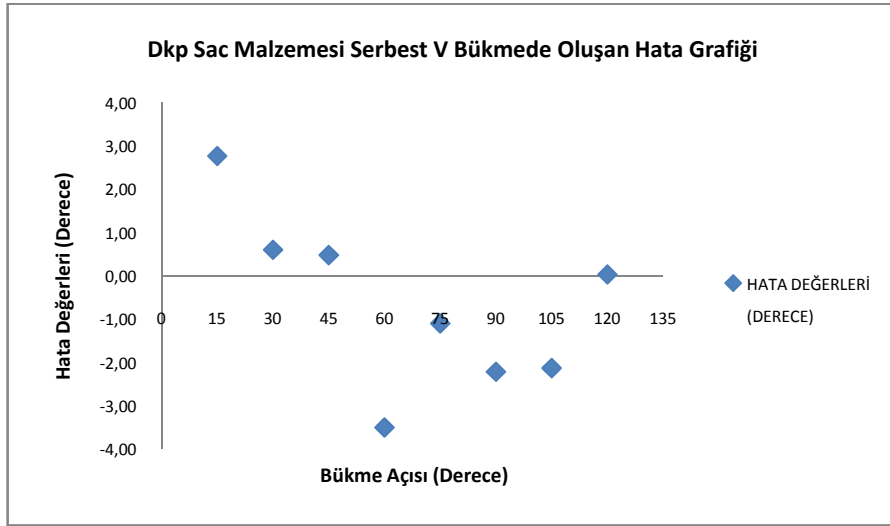


Şekil 6.187. 60 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri



Şekil 6.188. 90 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri

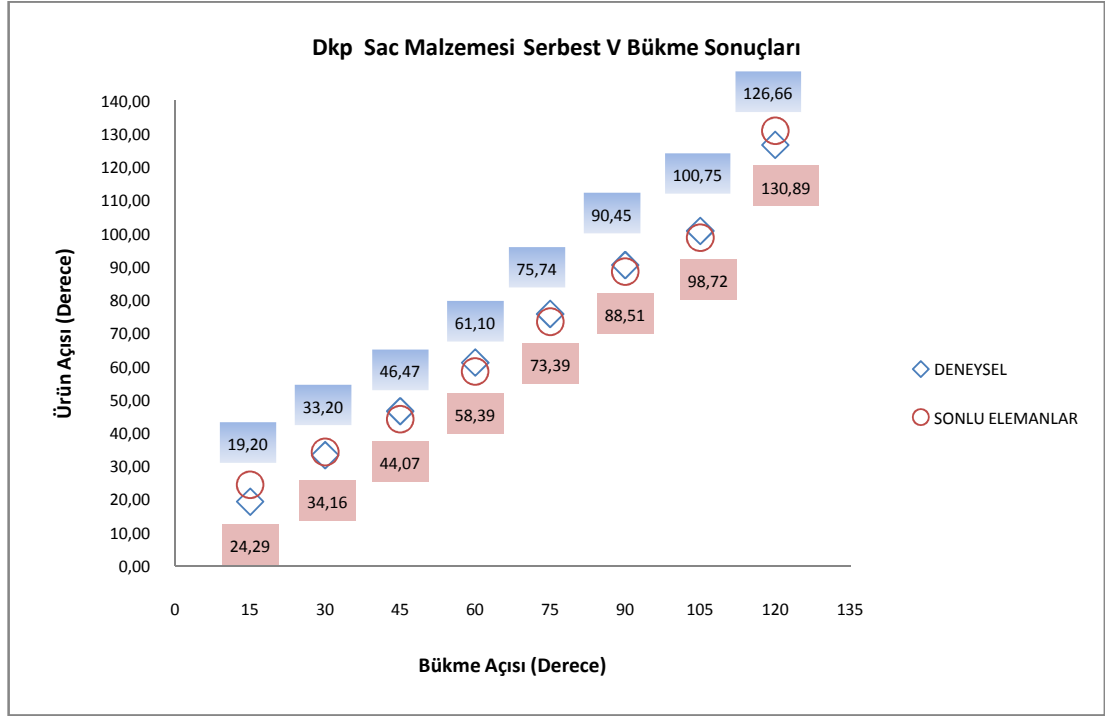
Dkp sacın 4 mm kalınlıkdaki zımba radyüsü 6 mm ile bükmede oluşan gerilme değerleri, zımba radyüsü ve kalınlık arttıkça daha fazla gerilme oluştuğu, Bükme açısı arttıkça gerilme değerlerinin azaldığı görülmüştür (Şekil 6.186, 6.187, 6.188).



Şekil 6.189. Deneysel ve sonlu elemanlar yöntemleri arasındaki geri esneme miktarlarındaki hata değerleri

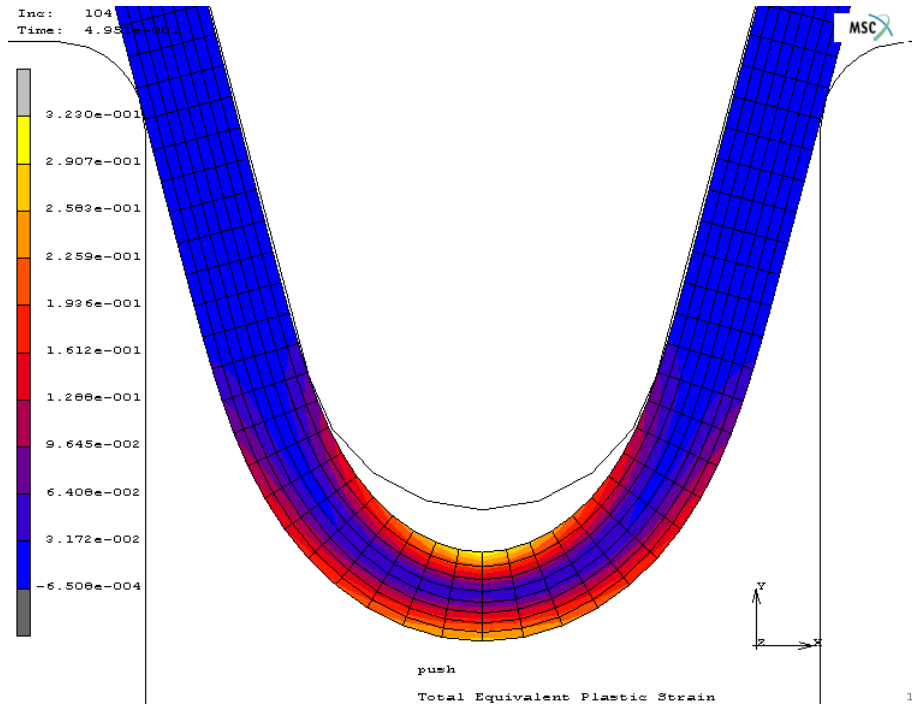
Şekil 6.189 daki hata değerleri incelendiğinde, diğer sonuçlara göre daha az hata oluştuğu görülmüştür. En fazla hata değeri 15 derecede deformasyonun fazla olmasından dolayı oluşmuştur.

6.2.24. 4 mm kalınlığındaki dkp sac ve 8 mm zımba radyüs değeri için serbest “V” bükme operasyonu sonuçlarının incelenmesi

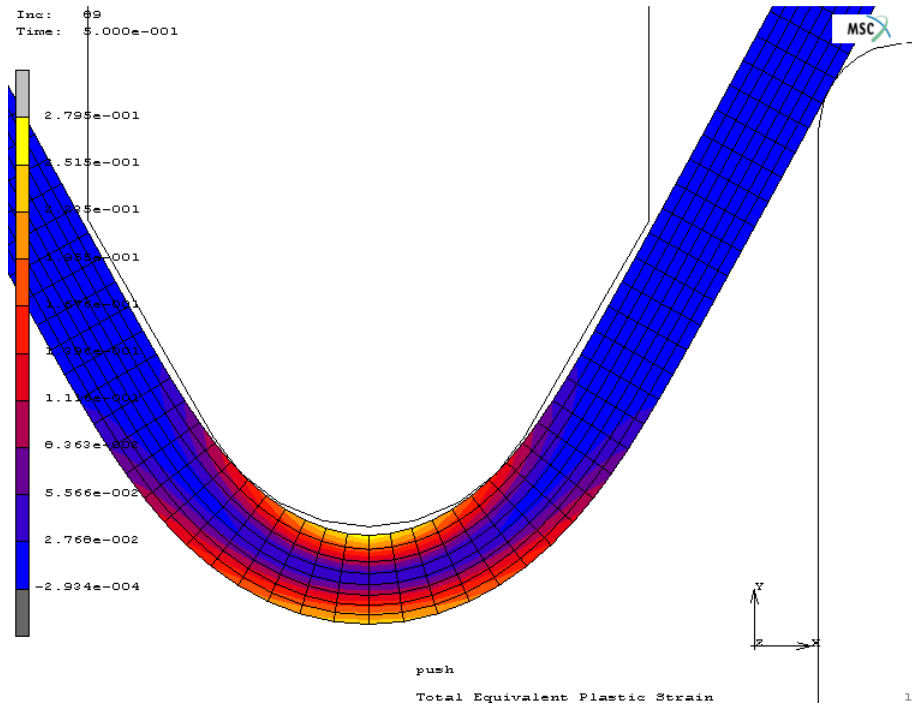


Şekil 6.190. Deneysel ve sonlu elemanlar yönteminin karşılaştırma verileri

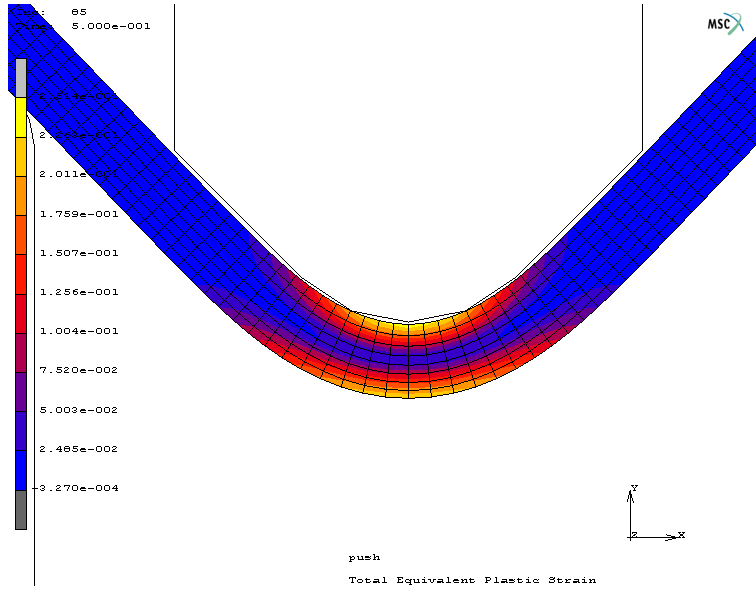
Dkp sacının 4 mm kalınlığındaki numunesi için radyüs 8 mm ile bükme sonuçlarında elde edilen değerlerin zımba radyüsü arttıkça daha fazla geri esnediği, kalınlık ve bükme açısı arttıkça geri esnemenin azaldığı görülmüştür.



Şekil 6.191. 30 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler

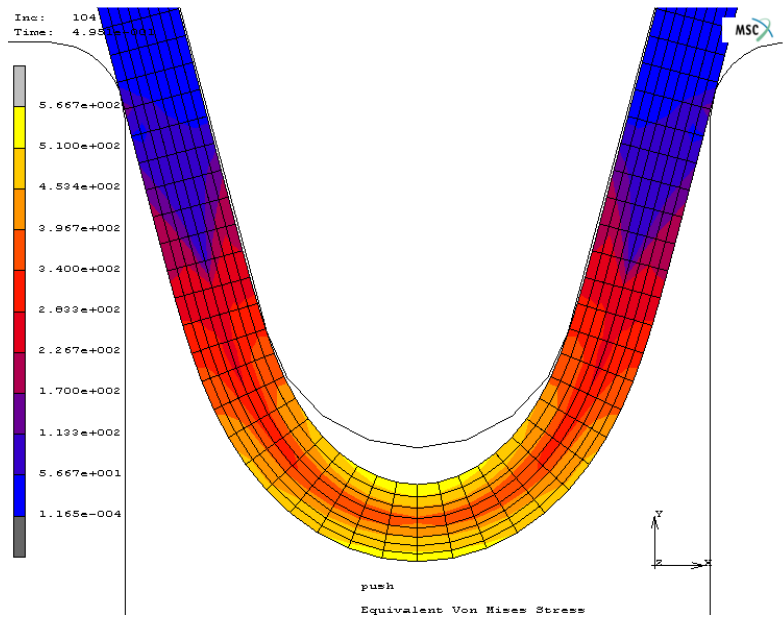


Şekil 6.192. 60 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler

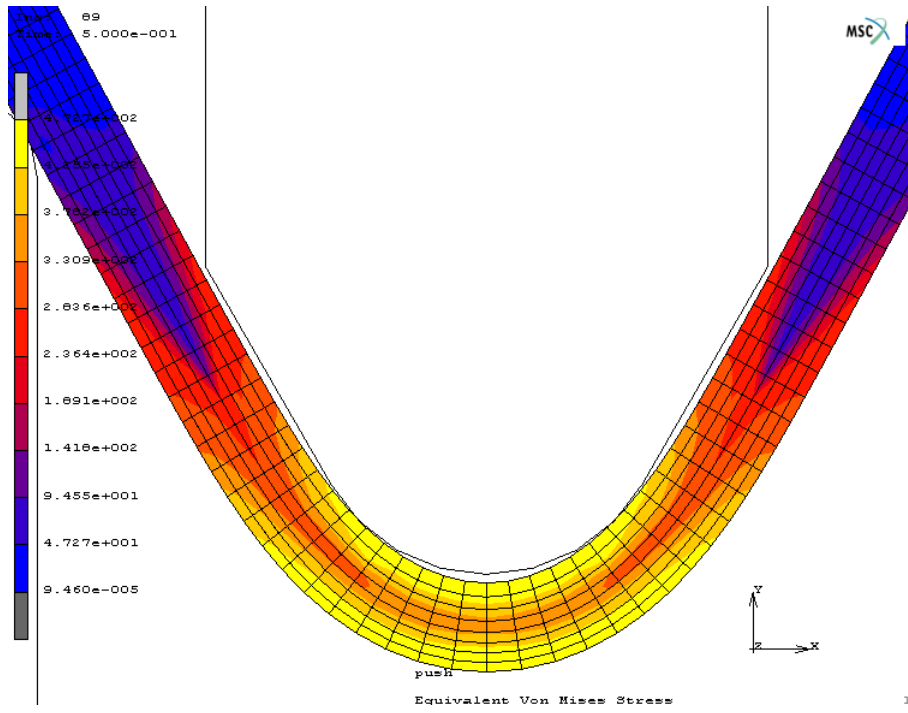


Şekil 6.193. 90 derece bükümde oluşan plastik gerilmeler

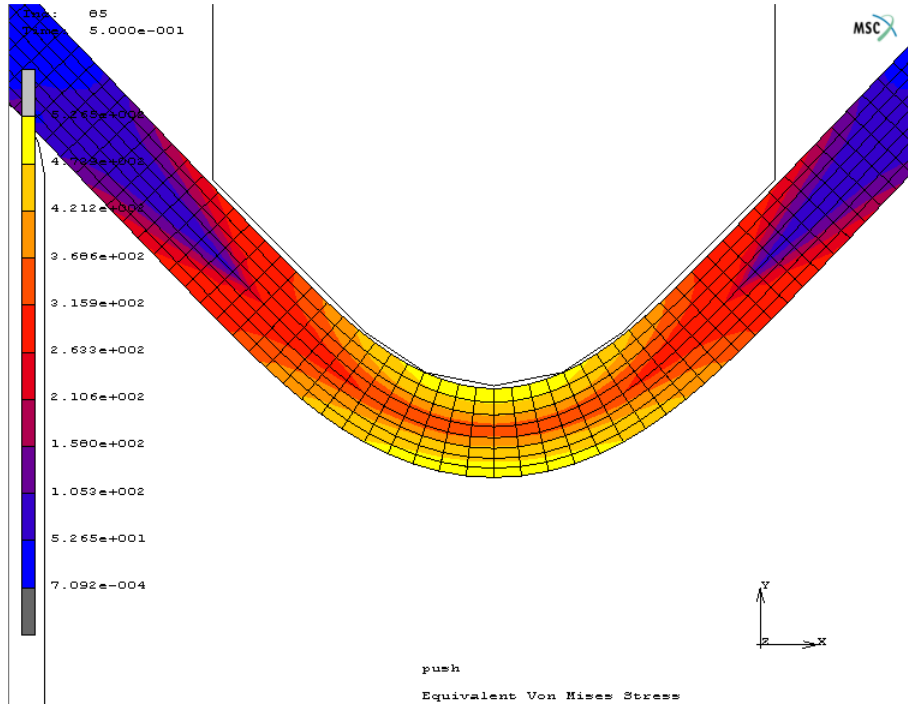
Nötr eksen iç tarafda et kalınlığının 0,43 oranında oluşmuştur. Kalınlık arttıkça uzama azalmıştır. Bükme açısı ve radyüsü arttıkça gerinim değerleri azalmıştır (Şekil 6.191, 6.192, 6.193).



Şekil 6.194. 30 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri

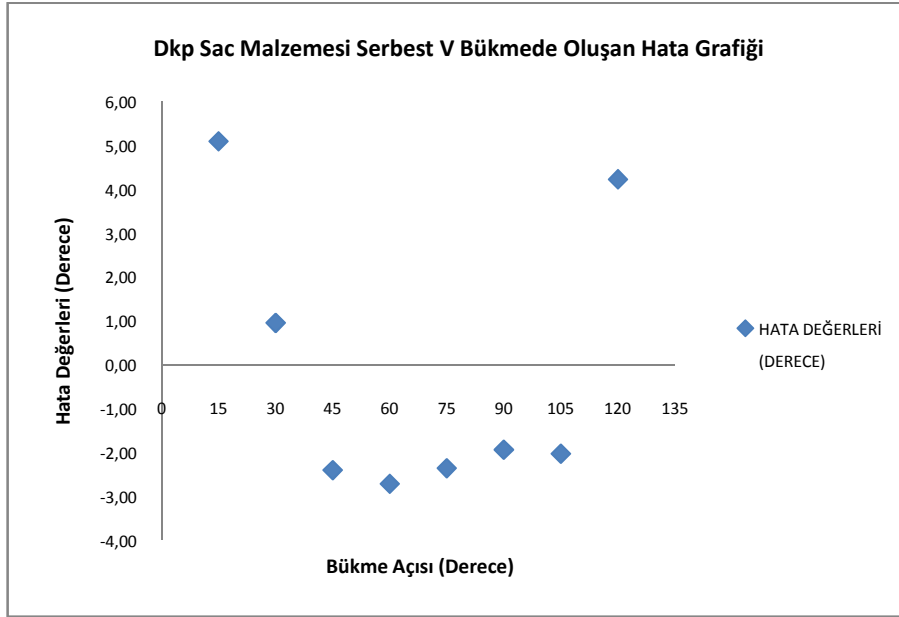


Şekil 6.195. 60 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri



Şekil 6.196. 90 derece bükümde oluşan Von-Mises gerilmeleri

Dkp sacın 3 mm kalınlıkdaki zımba radyüsü 6 mm ile bükmede oluşan gerilme değerleri, zımba radyüsü ve kalınlık arttıkça daha fazla gerilme oluştuğu, Bükme açısı arttıkça gerilme değerlerinin azaldığı görülmüştür.



Şekil 6.197. Deneysel ve sonlu elemanlar yöntemleri arasındaki geri esneme miktarlarındaki hata değerleri

Şekil 6.197 incelendiğinde hata fazla çıkmasının sebebi bükme esnasında oluşan deformasyonun fazla oluşmasından dolayı ve geri esnemenin fazla olmasından kaynaklanmaktadır. En fazla hata 15 derecede oluşmuştur. Bu durumda sonlu elemanlar ile yapılan işlemlerde hata oranını artırmaktadır.

7. ÜRÜN AÇI DEĞERLERİNİN MATEMATİKSEL MODELİ

Deneysel ve Sonlu elemanlar yöntemiyle yapılan bükme verilerine göre bükme işlemi etkileyen faktörler olarak bükme açısı θ , bükme mesafesi W , malzeme kalınlığı T ve bükme radüsü R_p olduğu belirlenmiştir. Daha basit bükme işlemlerinde kullanılabilmesi için aşağıdaki formüller elde edilmiştir.

Dkp sacının sonlu elemanlar yönteminden elde edilen matematiksel modeli =

$$0,9538 - 0,1145 \times W - 0,203 \times T + 0,9968 \times \theta + 1.8083 \times R_p - 0,022 \times T \times \theta - 0,1505 \times T \times R_p + 0,0068 \times \theta \times R_p \quad (7.2)$$

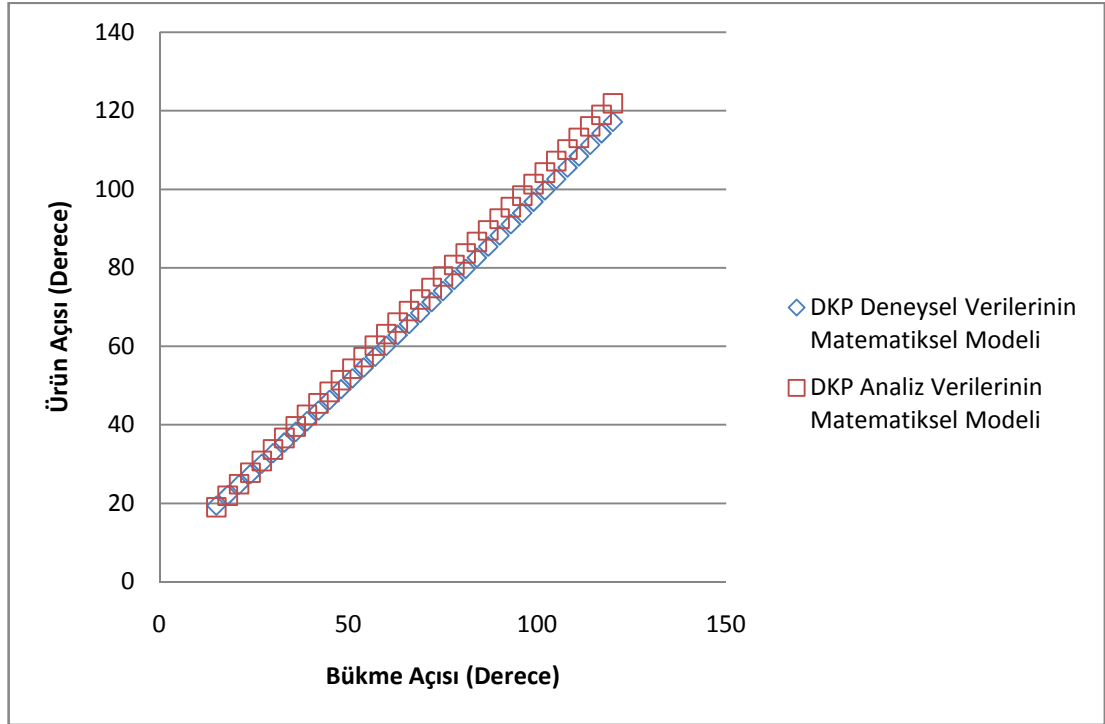
$R^2=0,957422$

Dkp sacının deneysel verilerinden elde edilen matematiksel modeli=

$$5.2638 - 0,1309 \times W - 0,6287 \times T + 0,8708 \times \theta + 1.8726 \times R_p + 0,00044 \times \theta^2 - 0,0078 \times W \times R_p \quad (7.3)$$

$R^2=0,953575$

Dkp sac için bulunan lineer matematiksel model ile deney sonuçlarının uyumluluğu aşağıda Şekil 7.1’de verilmiştir.



Şekil 7.1. Dkp sac malzemesinin verilerinden elde edilen matematiksel model grafiği

Paslanmaz sacın sonlu elemanlar yönteminden elde edilen matematiksel modeli=

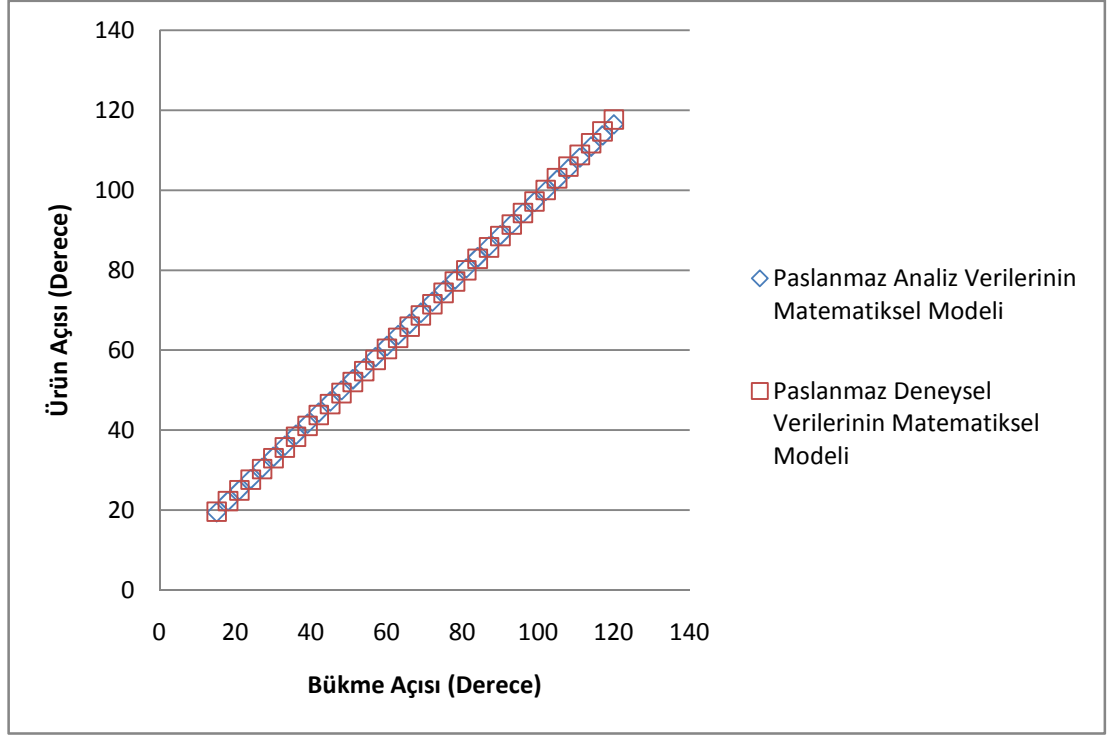
$$5.9498 - 0,7640 \times W - 0,1996 \times T + 0,8638 \times \theta + 4.32 \times R_p + 0,8694 \times T^2 + 0,0083 \times W \times \theta - 0,0527 \times T \times \theta + 0,0282 \times W \times R_p - 0,9639 \times T \times R_p \quad (7.4)$$

$$R^2=0,956425$$

Paslanmaz sacın deneysel verilerden elde edilen matematiksel modeli =

$$9.6397 + 0,00049 \times \theta^2 - 0,0592 \times W \times R_p - 1.9826 \times T - 0,7251 \times W + 0,8408 \times \theta + 3.575 \times R_p + 0,0066 \times \theta \times R_p + 2.0954 \times T^2 + 0,0359 \times W^2 - 0,4237 \times W \times T \quad (7.5)$$

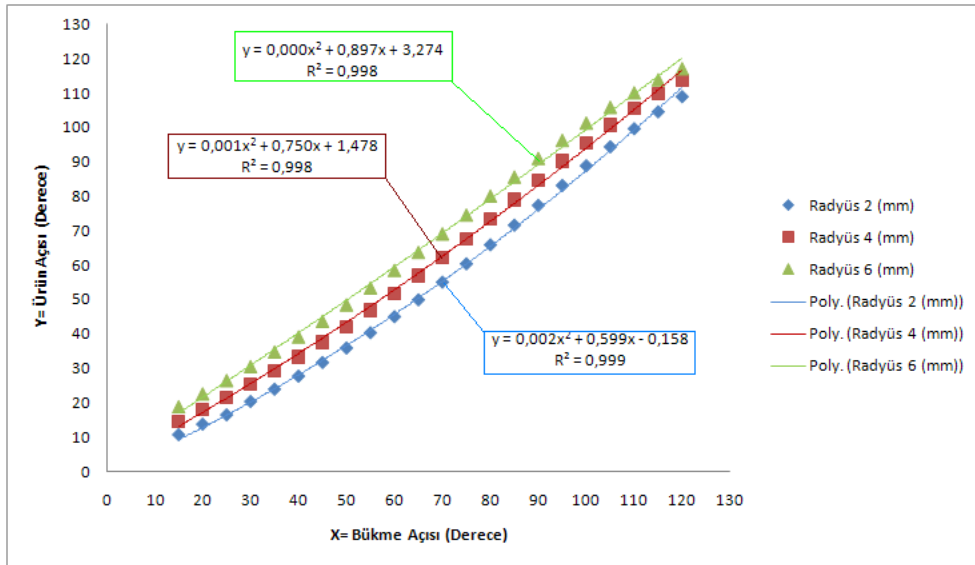
$$R^2=0,954179$$



Şekil 7.2. Paslanmaz sac malzemesinin verilerinden elde edilen matematiksel model grafiği

8. YAPAY SİNİR AĞLARI İLE TAHMİN SONUÇLARI

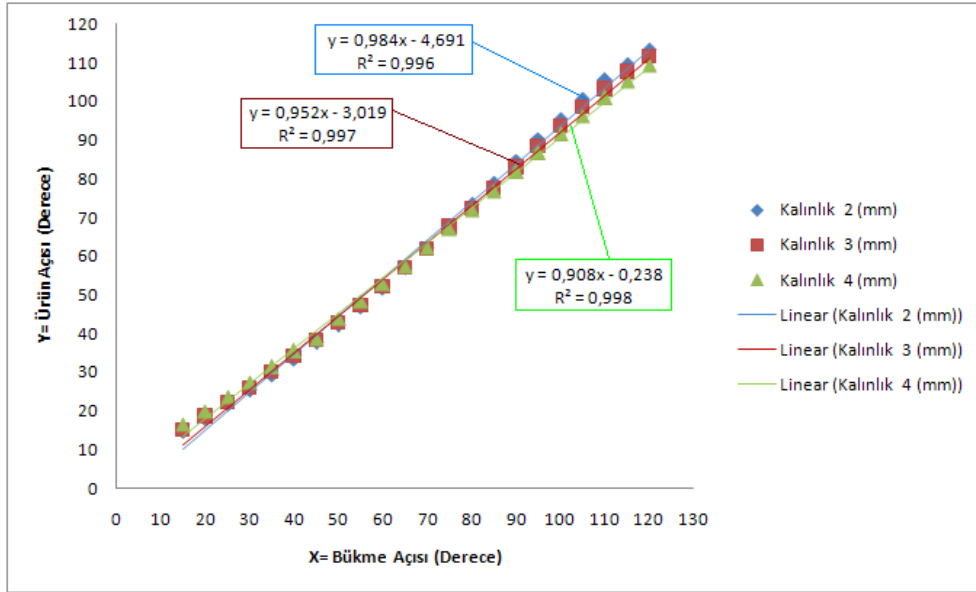
Geri esneme değerlerinin grafikleri incelendiğinde malzeme ve kalıp ikilisinin fonksiyonlarına göre değiştiği, bükme mesafesinin, malzeme kalınlığının, bükme radyüsünün, bükme açısının geri esnemeye etkisi olduğu görülmüştür. Bükme açısı arttıkça geri esneme geri esnemenin azaldığı görülmüştür. Bükme radyüsü arttıkça geri esneme artmıştır. Kalınlık arttıkça geri esneme azalır. Elde edilen deney sonuçlarına dayanarak geri esnemeyi tespit edebilmek için malzeme kalınlığının, bükme mesafesinin, bükme açısının ve zımba bükme radyüsünün önemli olduğu sonucuna varılmıştır. Zımba yükünün bekletilmesi geri esneme değerini azalttığı bilinmektedir. Yapay sinir ağlarında sigmoid fonksiyon kullanılarak 2 gizli ara katman ve her katmanda 4 hücre ile tahmin edilerek, deney yapılmayan sonuçlar tablolar halinde verilmiştir.



Şekil 8.1. 2 mm Paslanmaz çelik için elde edilen tahmin sonuçlarının incelenmesi

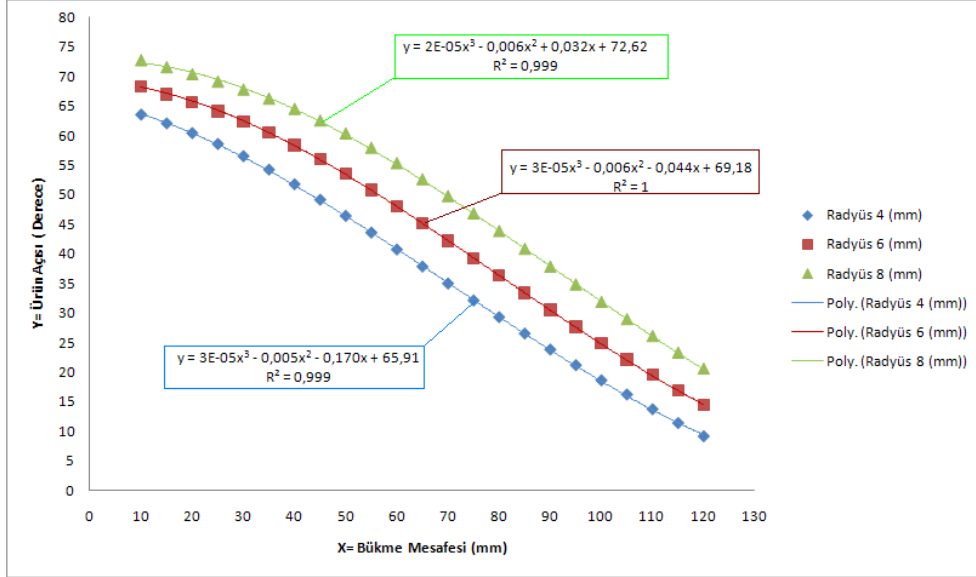
Şekil 8.1 de görülen grafik 2 mm paslanmaz çelik için 40 mm bükme mesafesinde, 15 derece den 120 dereceye kadar her 5 derece için radyüs 2, radyüs 3 ve radyüs 4 mm ile bükme radyüslerinden elde edilen ürün açılarını göstermektedir. Grafikteki radyüs 2 mm, 4 mm ve 6 mm ile bükme sonuçları incelendiğinde elde edilen Y eksenindeki ürün açısı sonuçlarının birbirine göre paralel bir şekilde büyüdüğü

görülmektedir. Deney değerleri sabit tutulup değişken olan bükme radyüsünün elde edilen sonuçlarına bakıldığında elde edilen ürün açılarının radyüs büyüdükçe arttığı görülmektedir.



Şekil 8.2. 2 mm kalınlık ve 4mm radyüs ile paslanmaz çelik için elde edilen YSA tahmin sonuçlarının incelenmesi

Şekil 8.2 de görülen grafik 40 mm bükme mesafesinde, 15 derece den 120 dereceye kadar her 5 derece için radyüs 4 mm ile bükme radyüsünden elde edilen farklı kalınlıklardaki ürün açılarını göstermektedir. Grafikteki 2 mm, 3 mm ve 4 mm kalınlıklardaki bükme sonuçları incelendiğinde elde edilen y eksenindeki ürün açısı sonuçlarının kalınlık arttıkça birbirine göre büyüdüğü görülmektedir. Deney değerleri sabit tutulup değişken olan kalınlıklardan elde edilen sonuçlara bakıldığında elde edilen ürün açılarının kalınlık arttıkça azaldığı ve geri esnemenin arttığı görülmektedir.

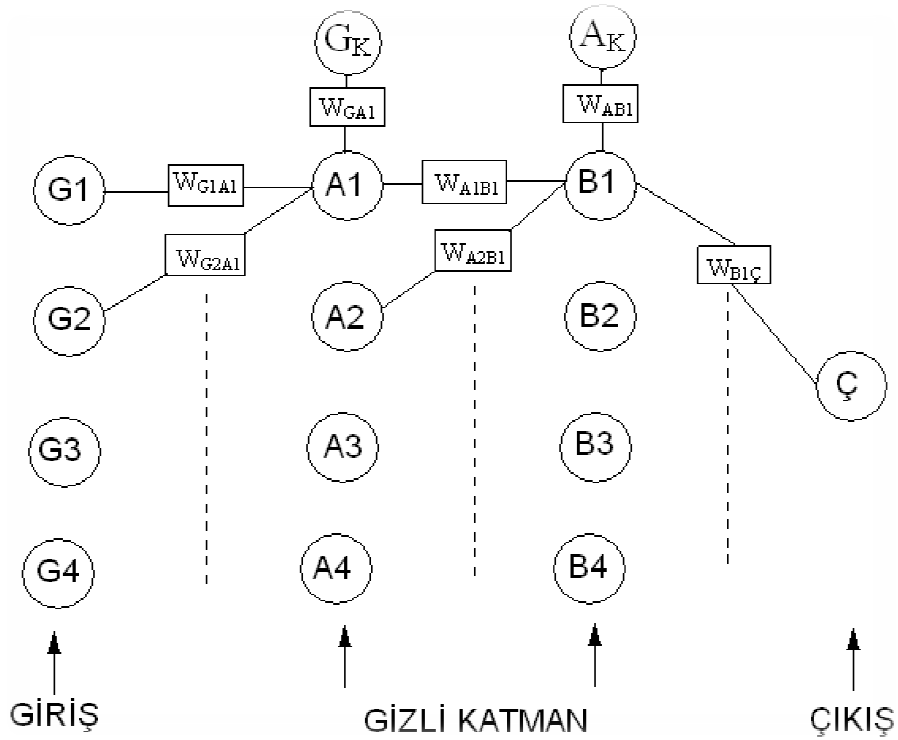


Şekil 8.3. 2 mm kalınlık ve 60 derece bükme işleminin paslanmaz çelik için elde edilen ysa tahmin sonuçlarının incelenmesi

Şekil 8.3 de görülen grafik 2 mm paslanmaz çelik için 60 derece bükme açısı ile 15 dereceden 120 dereceye kadar her 5 derece için radyüs 2, radyüs 3 ve radyüs 4 mm ile X eksenindeki farklı bükme mesafelerinde bükülmüş ve farklı bükme radyüslerinden elde edilen ürün açıları gösterilmiştir. Grafikteki radyüs 2 mm, 4 mm ve 6 mm ile bükme sonuçları incelendiğinde elde edilen y eksenindeki ürün açısı sonuçlarının birbirine göre paralel bir şekilde azaldığı görülmektedir. Deney değerleri sabit tutulup değişken olan bükme mesafesi incelenerek elde edilen sonuçlara bakıldığında bükme mesafesi arttıkça ürün açısı azalmıştır. Bu durumda geri esnemenin kalıp mesafesi büyüdükçe arttığı görülmektedir.

8.1. Yapay Sinir Ağları ile Elde Edilen Sonuçların Matematiksel Modellenmesi

Yapay sinir ağlarından elde edilen sonuçların 2 gizli ara katman ve her katmanda 4 hücre ile işlem yapılarak hesaplanmıştır. Yapay sinir ağları modelinden elde edilen ağırlık değerlerinin sigmoid fonksiyonda yerine konması ilede sonuca ulaşılmaya çalışılmıştır.



Şekil 8.4. Yapay sinir ağı fonksiyonu grafiği

$$A1 = \frac{2}{1 + \exp(-a \cdot W_{AiNET})} - 1$$

$$W_{AiNET} = W_{G1A1} \times G1 + W_{G2A1} \times G2 + W_{G3A1} \times G3 + W_{G4A1} \times G4 + W_K \times G_K$$

$$A_i = A1, A2, A3, A4, A5$$

$$B1 = \frac{2}{1 + \exp(-a \cdot W_{BiNET})} - 1$$

$$W_{BiNET} = W_{A1B1} \times A1 + W_{A2B1} \times A2 + W_{A3B1} \times A3 + W_{A4B1} \times A4$$

$$B_i = B1, B2, B3, B4, B5$$

$$W_{\zeta NET} = W_{B1\zeta} \times \zeta + W_{B2\zeta} \times \zeta + W_{B3\zeta} \times \zeta + W_{B4\zeta} \times \zeta$$

$$\zeta = \frac{2}{1 + \exp(-a \cdot W_{\zeta NET})} - 1$$

$$R^2 = 0,998425$$

Çizelge 8.1. Dkp sacının analiz verilerinden yapay sinir ağlarından elde edilen ağırlık değerleri

	G1	G2	G3	G4	G _K
A1	-0,3975	-0,4432	2,743	0,6466	-15,691
A2	18,388	-12,716	27,699	-0,0317	15,931
A3	-16,652	0,2033	-14,689	0,8664	1,927
A4	0,8003	0,2215	30,154	-0,2977	11,558
	A1	A2	A3	A4	A _K
B1	0,681	0,5031	0,2859	-10,536	0,3321
B2	-14,811	0,5097	-0,3831	-13,229	-10,985
B3	0,8974	0,9149	0,794	-27,525	15,621
B4	21,084	-0,4021	-12,663	1,313	-1,909
	B1	B2	B3	B4	B _K
Ç	0,061	-17,606	-0,1006	18,772	11,967

Çizelge 8.2. Dkp sacının deneysel verilerinden yapay sinir ağlarından elde edilen ağırlık değerleri

	G1	G2	G3	G4	G _K
A1	0,4011	-0,0549	19,649	-0,131	-15,209
A2	0,2687	-0,9409	0,7133	0,1867	0,9432
A3	-0,9174	0,6217	-0,6431	-0,0409	-18,558
A4	-19,091	0,7448	0,8594	0,4486	0,4347
	A1	A2	A3	A4	A _K
B1	14,242	0,4922	0,0608	0,3481	0,2568
B2	0,5927	0,5597	-14,915	14,624	0,9917
B3	-0,0376	-0,4797	0,0654	-0,3118	-12,361
B4	13,039	-0,1763	-0,0665	0,6081	0,1904
	B1	B2	B3	B4	B _K
Ç	14,852	-0,2412	-0,9072	17,842	0,4701

Çizelge 8.3. Paslanmaz sacının analiz verilerinden yapay sinir ağlarından elde edilen ağırlık değerleri

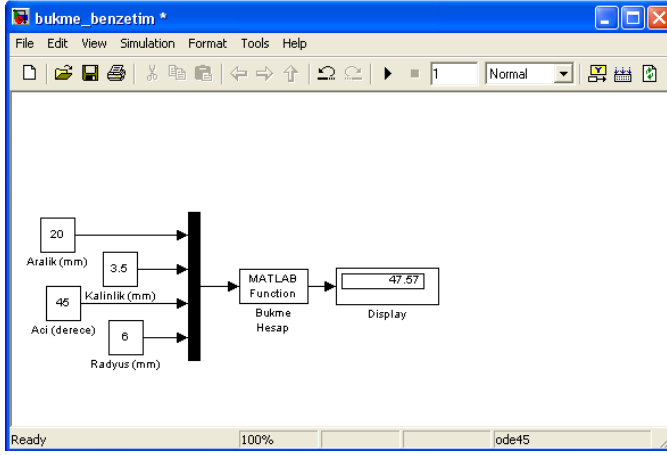
	G1	G2	G3	G4	G _K
A1	-0,3596	-11,122	16,981	0,5307	-0,7338
A2	-18,345	10,752	-1,153	12,454	0,8364
A3	-0,0694	0,5336	14,714	0,4945	-16,863
A4	0,1614	-0,0214	0,3939	0,51	-20,681
	A1	A2	A3	A4	A _K
B1	-0,4625	-0,9344	-1,921	13,354	-0,188
B2	-13,553	10,828	0,6005	0,7069	-12,007
B3	0,1839	0,9938	-0,4719	16,442	-0,9164
B4	23,099	-14,161	26,375	16,014	-10,163
	B1	B2	B3	B4	B _K
Ç	-22,256	-10,696	-16,615	26,332	0,9863

Çizelge 8.4. Paslanmaz sacının deneysel verilerinden yapay sinir ağlarından elde edilen ağırlık değerleri

	G1	G2	G3	G4	G _K
A1	-0,5145	-1,138	16,542	0,4611	-0,5146
A2	-17,988	10,989	-10,906	11,896	0,5967
A3	-0,1594	0,6722	12,852	0,342	-17,978
A4	0,0905	-0,017	0,4637	0,0983	-18,731
	A1	A2	A3	A4	A _K
B1	-0,3817	-0,6911	-18,022	12,205	0,0556
B2	-13,122	11,126	0,5352	0,6615	-11,448
B3	0,1528	0,9222	-0,4663	16,315	-0,9213
B4	2,175	-10,735	24,192	13,172	-0,7059
	B1	B2	B3	B4	B _K
Ç	-20,605	-0,9962	-17,095	22,825	10,782

8.2. Yapay Sinir Ağları ile Elde Edilen Sonuçların İncelenmesi

Yapay sinir ağları modülleri ile elde edilen sonuçların değerlendirilebilmesi ve geri esneme miktarına nasıl etki ettiğinin görülebilmesine imkan vermek için aşağıdaki grafiklerde bükme mesafesi, kalınlık, açı, radyüs, gibi değerler sırası ile değiştirilerek aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir. Deneysel ve analiz sonuçları karşılaştırılmıştır.



Şekil 8.5 Tahmin için girdi ve çıktı hesap ekranı

8.2.1. Paslanmaz çelik deneysel ve analiz sonuçlarının (YSA) tahmini

Çizelge 8.5 Paslanmaz çelik için farklı radyüslerde YSA tahmin sonuçları

BÜKME MESAFESİ	KALINLIK	AÇI	RADYÜS	DENEYSEL SONUÇ	ANALİZ SONUÇ
20	2	45	2	40,83	40,63
20	2	45	3	43,48	43,91
20	2	45	4	46,08	46,79
20	2	45	5	48,06	49,28
20	2	45	6	51,07	51,43
20	2	45	7	53,48	53,23
20	2	45	8	55,86	54,88
20	2	45	9	58,21	56,3
20	2	45	10	60,56	57,63

Çizelge 8.6. Paslanmaz çelik için farklı açılarda YSA tahmin sonuçları

BÜKME MESAFESİ	KALINLIK	AÇI	RADYÜS	DENEYSEL SONUÇ	ANALİZ SONUÇ
20	2	15	6	24,57	23,21
20	2	30	6	37,33	37,09
20	2	45	6	51,07	51,43
20	2	60	6	65,62	65,99
20	2	75	6	80,65	80,66
20	2	90	6	95,35	94,94
20	2	105	6	108,3	107,5
20	2	120	6	118,2	116,6
20	2	135	6	124,4	121,6

Çizelge 8.7. Paslanmaz çelik için farklı kalınlıklarda YSA tahmin sonuçları

BÜKME MESAFESİ	KALINLIK	AÇI	RADYÜS	DENEYSEL SONUÇ	ANALİZ SONUÇ
20	0,5	45	6	53,97	54,57
20	1	45	6	52,95	53,64
20	1,5	45	6	51,99	52,59
20	2	45	6	51,07	51,43
20	2,5	45	6	50,22	50,17
20	3	45	6	49,45	48,87
20	3,5	45	6	48,8	47,57
20	4	45	6	48,32	46,32
20	4,5	45	6	48,04	45,17

Çizelge 8.8. Paslanmaz çelik için farklı bükme mesafelerindeki YSA tahmin sonuçları

BÜKME MESAFESİ	KALINLIK	AÇI	RADYÜS	DENEYSEL SONUÇ	ANALİZ SONUÇ
10	2	45	6	54,09	53,56
15	2	45	6	52,6	52,57
20	2	45	6	51,07	51,43
25	2	45	6	49,45	50,02
30	2	45	6	47,64	48,27
35	2	45	6	45,75	46,12
40	2	45	6	43,63	43,55
45	2	45	6	41,34	40,06
50	2	45	6	38,91	37,35

8.2.2. Dkp çeliğinin deneysel ve analiz sonuçlarının ysa tahmini

Çizelge 8. 9. Dkp çeliğinin için farklı radyüslerde YSA tahmin sonuçları

BÜKME MESAFESİ	KALINLIK	AÇI	RADYÜS	DENEYSEL SONUÇ	ANALİZ SONUÇ
20	2	45	2	41,1	41,98
20	2	45	3	43,25	43,99
20	2	45	4	45,36	45,93
20	2	45	5	47,44	47,8
20	2	45	6	49,48	49,63
20	2	45	7	51,49	51,42
20	2	45	8	53,47	53,21
20	2	45	9	55,42	55,01
20	2	45	10	57,35	56,85

Çizelge 8.10. Dkp çeliğinin için farklı açılarda YSA tahmin sonuçları

BÜKME MESAFESİ	KALINLIK	AÇI	RADYÜS	DENEYSEL SONUÇ	ANALİZ SONUÇ
20	2	15	6	23,16	20,47
20	2	30	6	35,45	34,76
20	2	45	6	49,48	49,63
20	2	60	6	65,04	64,98
20	2	75	6	81,27	80,83
20	2	90	6	96,48	96,63
20	2	105	6	108,8	110,3
20	2	120	6	117,2	119,4
20	2	135	6	122	123,7

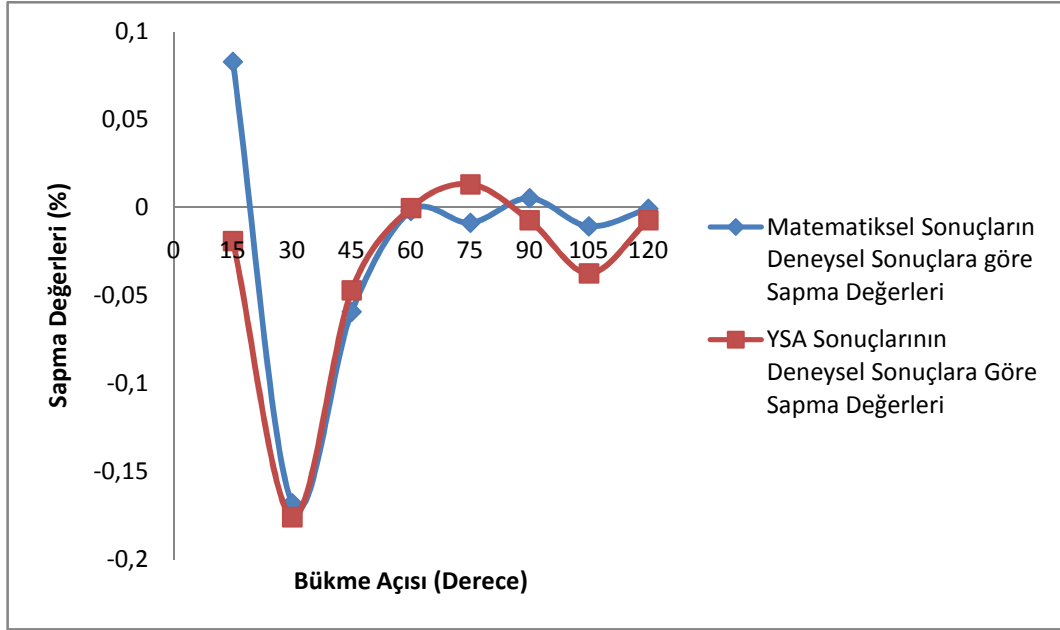
Çizelge 8.11. Dkp çeliğinin için farklı kalınlıklarda YSA tahmin sonuçları

BÜKME MESAFESİ	KALINLIK	AÇI	RADYÜS	DENEYSEL SONUÇ	ANALİZ SONUÇ
20	0,5	45	6	52,55	51,6
20	1	45	6	51,8	51,15
20	1,5	45	6	50,78	50,49
20	2	45	6	49,48	49,63
20	2,5	45	6	47,9	48,56
20	3	45	6	46,03	47,31
20	3,5	45	6	43,88	45,95
20	4	45	6	41,46	44,52
20	4,5	45	6	38,76	43,11

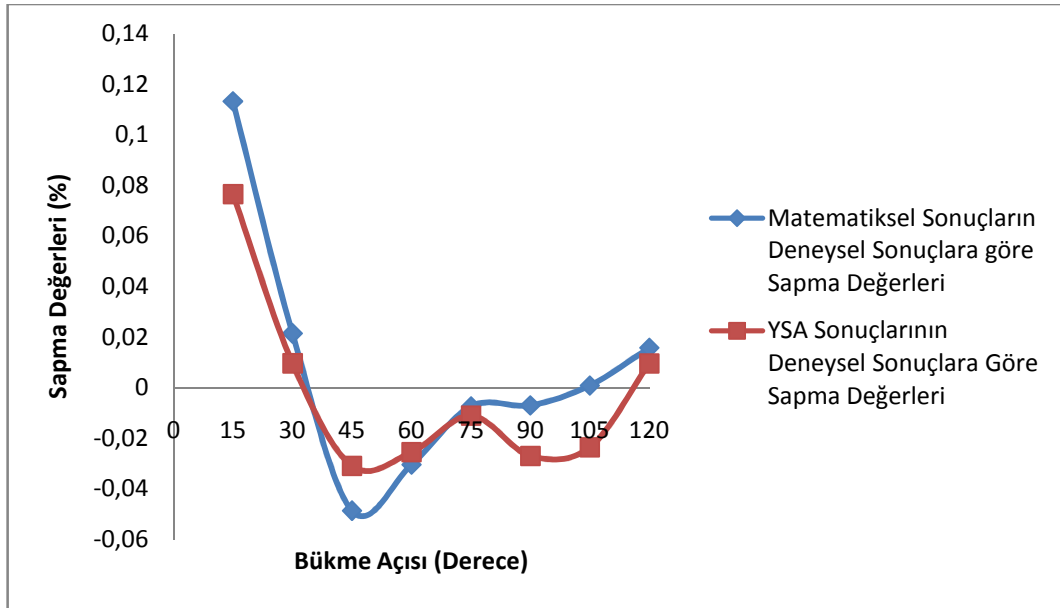
Çizelge 8.12. Dkp çeliğinin farklı bükme mesafelerindeki YSA tahmin sonuçları

BÜKME MESAFESİ	KALINLIK	AÇI	RADYÜS	DENEYSEL SONUÇ	ANALİZ SONUÇ
10	2	45	6	49,98	50,8
15	2	45	6	49,61	50,22
20	2	45	6	49,48	49,63
25	2	45	6	49,09	48,91
30	2	45	6	48,45	47,95
35	2	45	6	47,56	46,65
40	2	45	6	46,43	44,97
45	2	45	6	45,07	42,9
50	2	45	6	43,49	40,48

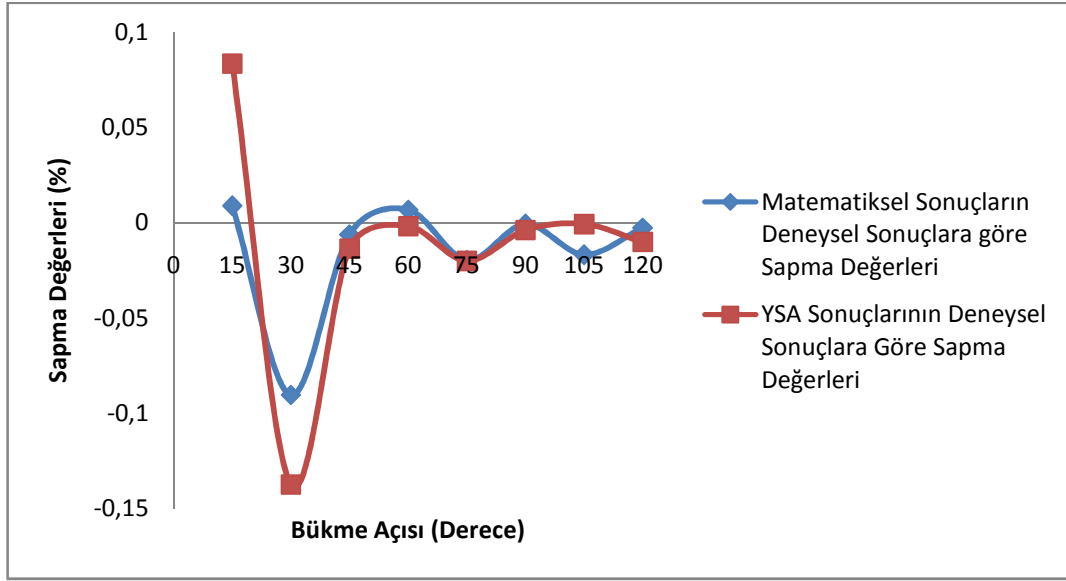
9. DENEYSEL SONUÇLARA GÖRE YSA VE MATEMATİKSEL MODELİN KARŞILAŞTIRILMASI



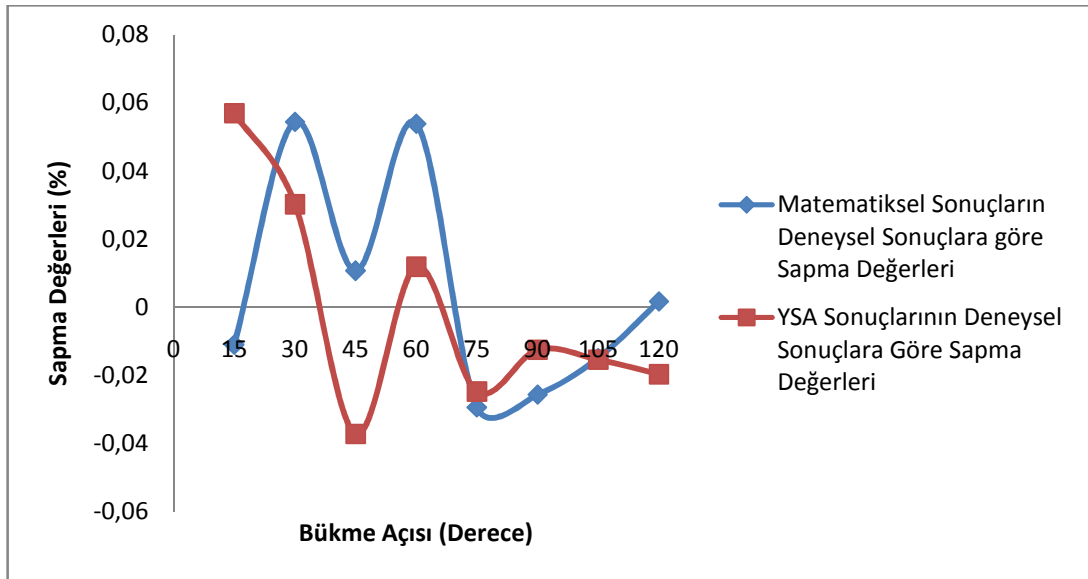
Şekil 9.1. Paslanmaz sacın 1 mm kalınlığındaki zımba radyüsü 1 mm ile deneysel bükme sonuçlara göre sapma değerleri



Şekil 9.2. Paslanmaz sacın 3 mm kalınlığındaki zımba radyüsü 3 mm ile deneysel bükme sonuçlara göre sapma değerleri



Şekil 9.3. Dkp sacın 1 mm kalınlığındaki zımba radyüsü 1 mm ile deneysel bükme sonuçlarına göre sapma değerleri



Şekil 9.4. Dkp sacın 3 mm kalınlığındaki zımba radyüsü 3 mm ile deneysel bükme sonuçlarına göre sapma değerleri

Yapılan deneysel çalışmalar ile elde edilen yapay sinir ağıları ve matematiksel olarak modellenen sonuçlar karşılaştırıldığında yakın değerler elde edilmiştir. Yapay sinir ağıları sonuçları matematiksel modele göre deneysel sonuçlara daha yakın değerler verdiği görülmüştür. Matematiksel değerler için elde edilen $R^2=0,956425$ değeri yapay sinir ağıları için $R^2=0,998425$ olarak elde edilmiştir.

10. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada ilk olarak serbest v bükme kalıbı ile bükme operasyonunda değişik kalınlıktaki ve radyüslerdeki dkp ve paslanmaz çelik sac parçalarının geri esneme değerleri ve parçalarda oluşan deformasyonlar incelenmiştir. Sonlu elemanlar analizlerinde, sac şekillendirmede yaygın olarak kullanılan Marc Mentat analiz programı ile yapılmıştır.

Sac parçalar için farklı kalınlıktaki ve radyüslerdeki numuneler için Marc Mentat ile bükme analizi yapılmış ve geri esneme simülasyonları elde edilmiştir. Deneysel veriler ile sonlu elemanlar yönteminden elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak incelenmiştir. Değerlerin yakın olduğu görülmüş tam olarak uyuşmamasının sebeplerinden bir tanesi deneysel olarak ölçüm yapılırken meydana gelebilecek hatalar; bir diğeri de analizden kaynaklanan sapmalar olduğu düşünülmektedir.

- Geri esneme malzeme ve kalıp ikilisinin fonksiyonlarına göre değiştiği bir kez daha görülmüştür.
- Malzeme kalınlığının artması geri esneme değerini azaldığı tespit edilmiştir.
- Bükme açısının artması ile de geri esneme değerinin azaldığı tespit edilmiştir.
- Daha geniş kalıp boşluğu daha büyük bir geri esnemeye neden olduğu görülmüştür.
- Bükme yarıçapı büyüdükçe geri esneme miktarının arttığı görülmüştür.
- Geri esnemenin bükme yarıçapıyla doğru orantılı olarak değiştiği görülmüştür.
- Bükme operasyon problemlerin çözümünde sonlu elemanlar yönteminin kullanılabileceği görülmüştür.
- Sonlu elemanlar yönteminde örgü sayısı sonucu etkileyen faktörlerdendir.
- Sonlu elemanlar yönteminde kullanılan örgü tipi ve ölçüsü sonucu etkilemektedir.
- Sonlu elemanlar yöntemiyle bulunan sonuçlar ile deneysel sonuçlar karşılaştırıldığında %85'in üzerinde uyum gözlenmiştir.
- Paslanmaz ve DKP sac malzemesi için serbest bükme denklemleri oluşturulmuştur. Bu denklemler ara sonuçların bulunmasında kullanılabilir.

- Yapay sinir ağlarının bükme parametrelerinin tahmin edilmesinde kullanılabileceği görülmüştür.
- Yapay sinir ağları kullanılarak deney yapılmayan parametrelerin tahminleri yapılmış ve tablolar halinde literatüre kazandırılmıştır.
- Yapay sinir ağları ile yapılan eğitim modelleri matamatiksel modellere dönüştürülmüştür.
- Sertliği fazla olan sac malzemelerde elastik metal bant büyük olduğu için geri esnemeyi artırır, Paslanmaz 304 çelik numunesinin Dkp numunesine, göre akma değerleri yüksek olduğu için daha fazla geri esneme yaptığı görülmüştür.
- Bulunan sonuçlar daha önce yapılan çalışmalar ile paralellik göstermiştir [1,2,21]

Yapılacak yeni çalışmalar ile farklı malzemeler içinde bu deneyler yapılarak matamatiksel modeller çıkarılabilir. Bu değerler kalıp yapımında geri esneme telafisi için kullanılarak maliyet ve zamandan tasarruf sağlanabilir.

Değişik yazılımlar kullanılarak yapılan sonlu elemanlar yöntemlerinin kıyaslanması yapılabilir. İdeal yaklaşımlar ve hesaplama tabanları arasındaki farklılıklar bulunabilir.

KAYNAKLAR

1. Arslan, B., “Geri esnemenin sac parçaların biçim tamlığı üzerindeki etkilerinin incelenmesi ve sonlu elemanlar yöntemi uygulamaları ile değerlendirilmesi” Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul 3-12 (2004).
2. Yenice, M., “Bükme ile şekillendirilen saclarda geri yaylanma davranışının incelenmesi”, *Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa 26-31 (2006).
3. Streppel, A.H., Lutters, D., Ten, E., Brinke, H., Pijlman, H., Kals, H. H., “Process modeling for air bending: validation by experiments and simulations”, *Journal of Materials Processing Technology*, 115: 76-82 (2001).
4. Singh, U. P., Maiti, S. K., Date, P. P., Narasimhan, K., “Numerical simulation of the influence of air bending tool geometry on product quality”, *Journal of Materials Processing Technology*, 145: 269–275 (2004).
5. Inamdar, M. V., Date, P. P., Sabnis, S.V., “On the effects of geometric parameters on springback in sheets of five materials subjected to air v bending”, *Journal of Materials Processing Technology*, 123: 459-463 (2002).
6. Fei, D., Hodgson, P., “Experimental and numerical studies of springback in air v-bending process for cold rolled TRIP steels”, *Nuclear Engineering and Design*, 236: 847–1851 (2006).
7. Asnafi, N., “Springback and fracture in v-die air bending of thick stainless steel sheets”, *Materials and Design*, 21: 217-236 (2000).
8. Bozdemir, M., Gölcü, M., “Artificial neural network Analysis of springback in V bending”, *Journal of Applied Sciences*, 8(17):3038-3043 (2008).

9. L.J. De Vim, “Computer aided process planning for the bending of sheet metal components”, PhD Thesis, *University of Twente*, 50-55 (1994).
10. Tekiner, Z., “An experimental study on the examination of springback of sheet metals with several thicknesses and properties in bending dies”, *J. Mater. Process. Technol.*, 145: 109-117 (2004).
11. Streppel, A. H., Devin, L. J., Brinkman, J., and Kals, J. J., “Suitability of sheet bending modelling techniques in CAPP applications”, *Journal of Materials Processing Technology*, 36: 339-356 (1993).
12. Antonelli, L., Salvini, P., Vivio, F., Vincenzo, V., “Identification of elasto-plastic characteristics by means of air-bending test”, *Journal of Materials Processing Technology*, 183:127–139 (2007).
13. Garcia, M., Ciurana, R. and Ciurana, J., “Springback and Geometry Prediction – Neural Networks Applied to the Air Bending Process Dept. of Mechanical Engineering and Industrial Construction”, *University of Girona*, 120-122 (2007).
14. Forcellese, A., Gabrielli, F., Runi, R., “ect of the training set size on springback control by neural network in an air bending process”, *J. Mater. Process Tech.*, 80-81: 493–500 (1998).
15. Inamdar, M. V., Date, P., Desai, U. B., “Studies on the prediction of springback in air vee bending of metallic sheets using an arti.cial neural network”, *J. Mater. Process Tech.*, 108(1): 45–54 (2000).
16. Devin, J., “Curvature prediction in air bending of metal sheet”, *Journal of Materials Processing Technology*, 100: 257-261 (2000).

17. Asnafi, N., "Springback and fracture in v-die bending a literature survey of analytical models", *Swedish Institute for Metals Research*, Rep. No. IM-3343 (1996).
18. Weinmann, K., Shippel, R., "Effect of tool and workpiece geometries upon bending forces and springback in 908 v-die bending of HSLA steel plate". *Proceedings of the Sixth North . American Manufacturing Research Conference NAMRC*, held in ainsville-Fl. Dearborn Michigan: SME, 220-227 (1978).
19. Kalpakjian, S., "Manufacturing Engineering and Technolog", *Prentice Hall*, A.B.D., 140-148 (2000).
20. Shu, J., ve Hung, C., "Finite Element Analysis and Optimization of Springback Reduction: the Double-Bend Technique", *International Journal of Machine Tools Manufacture*, 36 (4): 423-434 (1996).
21. Ling, Y. E., Lee, H. P., Cheok, B. T., "Finite Element Analysis of Springback in L-Bending of Sheet Metal", *Journal of Materials Processing Technology*, 168 (2): 296-302 (2005).
22. Yuan, W., "Generalized Solution for the Prediction of Springback in Laminated Strip", *Journal of Materials Processing Technology*, 61 (3): 254-264 (1996).
23. Tekaslan, Ö., "V Bükme Kalıplarında Bakır Sac Malzemelerin Geri Esneme Miktarlarının Tespiti", *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 23 (1): 201-238 (2008).
24. Hopfield, J., "Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities", *Proc. Nat. Academy of Sci.*, 79: 2554-2558 (1982).

25. Zhang, L., Shi, M.F., “Issues concerning material constitutive laws and parameters in springback simulations”. *SAE 1999-01-(1002)*. (1999).
26. Ling, Y. E., Lee, H. P. ve Cheok, B. T., “Finite Element Analysis of Springback in Lbending of Sheet Metal”, *Journal of Materials Processing Technology*, 168: 296-302., (2005).
27. Sarıkaya, O., “Analysis of heat treatment effect on springback in v-bending”, *Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara 50-58 (2008).
28. Hopfield, J., “Neurons with graded response have collective computational abilities like those of two state neurons”, *Proc. Nat. Academy of Sci.*, 81: 3088-3092 (1984).
29. Sancaktar, T., “Yapay sinir ağı destekli kalman filtresi yardımıyla hedef izleme”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul 4-15 (2002).
30. Sorenson, H. W., “Least-squares Estimation From Gauss to Kalman”, *IEEE Spectrum, Vol.*, 7: 63-68 (1970).
31. Narendra, K. S., ve Parthasarathy, K., “Identification and Control Dynamic Systems Usind Neural Network”, *IEEE Trans. Neural Networks*, 1: 4-27 (1990).
32. Mcculloch, W. S., Pitts W. A., “A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity”, *Bull. Math. Biophysics*, 9: 127-147 (1947).
33. Hebb, D. O., “The Organization of Behavior: A Neuropsychological Theory”, *NewYork Wiley*, 2: 62 (1949).

34. Rosenblatt, F., “A probabilistic model for information storage and organization in the brain”, *Psychological Review*, 65: 386-408 (1958).
35. Wasserman, P. D., Schwartz, T., “Neural Networks-Part 2”, *IEEE Expert*, 3 (1): 10-15 (1988).
36. Wasserman, P. D., Schwartz, T., “Neural Networks-Part 1”, *IEEE Expert*, 2 (4): 10-12 (1987).
37. Grewal, M. S., Andrews, A. P., “Kalman Filtering Theory and Practice”, *Printice Hall Englewood Cliffs*, New Jersey (1993).
38. Güzeliş, C., “Genelleştirilmiş Hücresel Yapay Sinir Ağları”, *Elektrik Mühendisliği 5. Kongresi*, Trabzon, 7-12 (1993).
39. Gao. F., Wang, F. M., “Neural network based nonlinear controller using an extended Kalman filter”, *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 38: 2345-2349 (1999).

EKLER

EK-1 Paslanmaz Çeliğinin Bükme Sonrası Elde Edilen Ürün Sonuçları

KALINLIK	BÜKME MESAFESİ	AÇI	RADYÜS	1.NUMUNE	2.NUMUNE	3.NUMUNE	ORTALAMA	ANALİZ SONUÇ:
1	10	15	R1	19,16	19,39	19,21	19,25	15,892
	10	15	R2	20,41	20,6	20,25	20,42	18,292
	10	15	R3	23,18	23,35	23,31	23,28	20,438
	10	30	R1	26,32	26,41	26,12	26,28	25,55
	10	30	R2	33,13	33,37	33,5	33,33	33,494
	10	30	R3	36,3	36,33	36,54	36,39	36,818
	10	45	R1	41,31	41,65	41,55	41,50	39,966
	10	45	R2	48,46	48,25	48,13	48,28	48,97
	10	45	R3	51,27	51,07	51,44	51,26	51,812
	10	60	R1	57,52	57,34	57,14	57,33	56,096
	10	60	R2	62,47	62,31	62,31	62,36	61,642
	10	60	R3	65,02	65,04	65,28	65,11	64,598
	20	75	R1	69,25	69,2	69,27	69,24	70,85
	20	75	R2	73,54	73,56	73,2	73,43	74,372
	20	75	R3	78,37	78,02	78,13	78,17	77,756
	20	90	R1	84,32	84,17	84,15	84,21	84,592
	20	90	R2	85,23	85,44	85,01	85,23	86,224
	20	90	R3	92,21	92,25	92,34	92,27	91,568
	20	105	R1	97,02	97,22	96,38	96,87	97,182
	20	105	R2	100,11	100,18	100,5	100,26	100,768
	20	105	R3	103,56	103,75	103,55	103,62	104,728
	20	120	R1	111,97	112,04	112,57	112,19	110,488
	20	120	R2	110,48	110,54	110,71	110,58	112,874
	20	120	R3	119,47	119,48	119,57	119,51	120,25
2	15	15	R2	17,52	17,2	17,57	17,43	16,328
	15	15	R3	20,44	20,53	20,62	20,53	21,126
	15	15	R4	21,11	20,58	20,75	20,81	23,082
	20	30	R2	27,3	27,01	27,31	27,21	28,48
	20	30	R3	30,55	30,58	30,07	30,40	33,154
	20	30	R4	32,48	32,57	32,71	32,59	32,986
	20	45	R2	40,11	40,1	40,02	40,08	38,572
	20	45	R3	45,52	45,38	45,46	45,45	44,068
	20	45	R4	48,04	48,43	48,18	48,22	48,33
	20	60	R2	56	56	56	56,00	54,154
	20	60	R3	56,44	57,23	57,24	56,97	57,198
	20	60	R4	62,35	62,58	62,62	62,52	62,158

EK-1 (Devam) Paslanmaz Çeliğinin Bükme Sonrası Elde Edilen Ürün Sonuçları

2	20	75	R2	72,17	72,17	72,26	72,20	70,366
	20	75	R3	74,54	74,44	74,11	74,36	73,766
	20	75	R4	77,27	77,38	77,2	77,28	76,59
	30	90	R2	85,04	84,5	84,13	84,56	84,438
	30	90	R3	84,5	84,08	85,05	84,54	87,454
	30	90	R4	85,27	85,29	85,58	85,38	89,454
	30	105	R2	99,39	99,27	99,38	99,35	100,238
	30	105	R3	101,46	101,46	102,23	101,72	101,72
	30	105	R4	104,56	104,48	104,7	104,58	104,176
	30	120	R2	114,1	114,59	114,54	114,41	114,234
	30	120	R3	117,32	117,06	117,11	117,16	118,126
	30	120	R4	115,23	115,53	115,42	115,39	118,826
3	20	15	R3	19,41	19,23	19,48	19,37	20,066
	20	15	R4	20,56	20,57	20,62	20,58	19,152
	20	15	R6	21,14	21,01	21,59	21,25	22,152
	30	30	R3	27,35	27,18	27,11	27,21	24,926
	30	30	R4	28,49	28,45	28,05	28,33	25,205
	30	30	R6	32,19	32,14	32,14	32,16	29,484
	30	45	R3	38,17	38,14	38,38	38,23	38,608
	30	45	R4	40,52	40,03	40,01	40,19	41,48
	30	45	R6	47,34	47,05	47,14	47,18	45,9
	30	60	R3	52,26	52,2	52,09	52,18	53,95
	30	60	R4	55,62	55,42	55,01	55,35	56,726
	30	60	R6	59,85	59,41	60,06	59,77	60,832
	30	75	R3	67,25	67,28	67,01	67,18	69,4
	30	75	R4	68,04	68,38	68,35	68,26	70,788
	30	75	R6	75,34	75,03	75,13	75,17	75,376
	30	90	R3	81,3	81,2	81,19	81,23	81,69
	30	90	R4	82,57	83,27	82,43	82,76	83,57
	30	90	R6	85,59	85,3	85,26	85,38	85,97
	30	105	R3	96,18	96,28	96,2	96,22	96
	30	105	R4	97,55	97,38	97,24	97,39	97,406
	30	105	R6	102,19	102,01	102,01	102,07	103,33
	30	120	R3	112,33	112,59	112,52	112,48	112,702
	30	120	R4	115,4	115,47	115,51	115,46	116,767
	30	120	R6	114,53	114,19	113,74	114,15	117,592
4	25	15	R4	17,55	17,02	17,25	17,27	19
	25	15	R6	22,25	22,14	22,63	22,34	18,932
	25	15	R8	27,04	27,05	27	27,03	18,116

EK-1 (Devam) Paslanmaz Çeliğinin Bükme Sonrası Elde Edilen Ürün Sonuçları

4	30	30	R4	28,02	28,56	28,16	28,25	25,87
	30	30	R6	35,58	35,49	35,13	35,40	35,094
	30	30	R8	39,37	39,07	39,11	39,18	37,596
	40	45	R4	41,31	41,18	41,26	41,25	38,782
	40	45	R6	45,14	45,05	44,54	44,91	42,638
	40	45	R8	47,55	47,54	47,31	47,47	45,978
	40	60	R4	59,19	58,3	58,4	58,63	55,732
	40	60	R6	59,08	59,28	59,56	59,31	58,108
	40	60	R8	59,46	59,25	59,3	59,34	60,732
	40	75	R4	69,59	69,23	69,43	69,42	69,384
	40	75	R6	70,55	70,02	70,18	70,25	72,002
	40	75	R8	77,46	77,31	77,3	77,36	75,464
	40	90	R4	82,53	82,26	82,96	82,58	84,648
	40	90	R6	84,04	84,02	84,52	84,19	87,606
	40	90	R8	88,47	88,2	88,37	88,35	89,876
	40	105	R4	93,46	93,13	93,36	93,32	93,988
	40	105	R6	95,07	95,35	95,16	95,19	97,284
	40	105	R8	97,5	97,83	97,36	97,56	100,286
	40	120	R4	111,13	111,1	111,157	111,13	113,612
	40	120	R6	120,26	121,02	121,24	120,84	117,1
	40	120	R8	131,44	131,13	131,41	131,33	125,662

EK-2 Dkp Çeliğinin Bükme Sonrası Elde Edilen Ürün Sonuçları

KALINLIK	BÜKME MESAFESİ	AÇI	RADYÜS	1.NUMUNE	2.NUMUNE	3.NUMUNE	ORTALAMA	ANALİZ SONUÇ
1	10	15	R1	17,46	17,56	17,29	17,44	14,57
	10	15	R2	17,82	17,96	17,89	17,89	15,58
	10	15	R3	18,48	18,29	18,49	18,42	15,62
	10	30	R1	28,11	28,12	28,08	28,10	26,663
	10	30	R2	31,49	31,32	31,17	31,33	30,346
	10	30	R3	35,04	35,12	35,26	35,14	34,828
	10	45	R1	44,48	43,26	44,04	43,93	44,19
	10	45	R2	46,26	46,03	46,29	46,19	46,38
	10	45	R3	47,17	47,34	47,13	47,21	47,272
	10	60	R1	58,4	58,38	58,26	58,35	59,201
	10	60	R2	61,33	62,05	61,55	61,64	61,622
	10	60	R3	65,02	65,04	65,28	65,11	63,282
	20	75	R1	69,13	69,16	69,21	69,17	70,62
	20	75	R2	74,26	74,11	74,28	74,22	73,868
	20	75	R3	78,45	78,16	78,5	78,37	76,606
	20	90	R1	85,04	84,37	84,42	84,61	86,272
	20	90	R2	86,42	85,55	86,12	86,03	88,686
	20	90	R3	92,43	92,2	92,2	92,28	91,036
	20	105	R1	97,13	97,42	97,59	97,38	101,624
	20	105	R2	100,04	100,47	100,45	100,32	103,77
	20	105	R3	103,7	103,5	103,31	103,50	106
	20	120	R1	113,23	113,53	113,05	113,27	114,722
	20	120	R2	110,59	110,24	111,12	110,65	116,014
	20	120	R3	112,04	112,11	112,28	112,14	120,324
2	15	15	R2	16,5	16,52	16,25	16,42	14,102
	15	15	R3	20,44	20,53	20,48	20,48	18,035
	15	15	R4	18,06	18,12	18,2	18,13	20,118
	20	30	R2	28,5	29,04	28,5	28,68	27,204
	20	30	R3	29,27	30,37	30,5	30,05	28
	20	30	R4	31,17	31,52	31,4	31,36	31,552
	20	45	R2	42,28	42,14	42,38	42,27	41,498
	20	45	R3	45,14	45,5	46	45,55	44,9
	20	45	R4	46,08	46,5	46,59	46,39	47,162
	20	60	R2	56,07	56,44	56,47	56,33	56,532
	20	60	R3	57,34	57,53	57,11	57,33	59,84
	20	60	R4	60,14	60,52	60,58	60,41	61,644

EK-2 (Devam) Dkp Çeliğinin Bükme Sonrası Elde Edilen Ürün Sonuçları

2	20	75	R2	73,56	73,27	73,33	73,39	71,663
	20	75	R3	74,28	74,5	74,28	74,35	74,28
	20	75	R4	75,5	75,42	75,46	75,46	75,886
	30	90	R2	85,08	85,25	85,41	85,25	85,828
	30	90	R3	83,39	84,3	84,01	83,90	87,908
	30	90	R4	85,05	85,46	85,3	85,27	89,2
	30	105	R2	99,19	99,14	99,16	99,16	101,238
	30	105	R3	100,51	100,49	101,08	100,69	102,675
	30	105	R4	102,12	102,25	102,48	102,28	103,442
	30	120	R2	114,1	114,59	114,54	114,41	116,578
	30	120	R3	116,36	116,06	116,11	116,18	117,848
	30	120	R4	116,4	115,38	116,16	115,98	118,853
3	20	15	R3	15,55	16,01	16,13	15,90	13,36
	20	15	R4	19,48	18,29	19,12	18,96	16,544
	20	15	R6	19,07	19,34	19,4	19,27	18,208
	30	30	R3	29,66	29,5	29,32	29,49	27,692
	30	30	R4	30,14	30,22	30,17	30,18	28,166
	30	30	R6	31,37	32	31,58	31,65	32,166
	30	45	R3	41,52	42,16	42	41,89	41,472
	30	45	R4	43,24	43,07	43,01	43,11	43,834
	30	45	R6	43,34	43,04	43,2	43,19	46,684
	30	60	R3	54,25	55,2	55,32	58,35	56,918
	30	60	R4	57,02	57,51	57,58	57,37	58,028
	30	60	R6	58,41	58,61	58,72	58,58	60,178
	30	75	R3	67,25	67,28	67,01	67,18	69,468
	30	75	R4	72,13	72,34	71,39	71,95	72,814
	30	75	R6	72,48	72,12	72,53	72,38	73,944
	30	90	R3	81,5	81,14	81,02	81,22	82,152
	30	90	R4	85,22	84,5	84,55	84,76	86,416
	30	90	R6	86,24	86,29	86,04	86,19	90,486
	30	105	R3	96,18	96,28	96,2	96,22	100,635
	30	105	R4	97,52	97,43	97,48	97,48	101,212
	30	105	R6	100,23	100,41	100,1	100,25	102,724
	30	120	R3	112,07	112,59	112,52	112,39	115,962
	30	120	R4	116,19	116,68	115,95	116,27	116,421
	30	120	R6	115,04	115,54	115,5	115,36	118,842
4	25	15	R4	15,28	15,4	15,15	15,28	13,572
	25	15	R6	19,24	19,31	19,52	19,36	16,592
	25	15	R8	24,26	24,43	24,19	24,29	19,198

EK-2 (Devam) Dkp Çeliğinin Bükme Sonrası Elde Edilen Ürün Sonuçları

4	30	30	R4	31,07	30,37	30,82	30,75	28,688
	30	30	R6	32,04	32,22	32,38	32,21	31,614
	30	30	R8	34,09	34,26	34,13	34,16	33,204
	40	45	R4	42,29	42,47	42,54	42,43	41,976
	40	45	R6	45,04	45,22	45,32	45,19	44,714
	40	45	R8	44	44	44,2	44,07	46,468
	40	60	R4	54,51	54,63	55,08	54,74	56,958
	40	60	R6	56,37	56,23	56,32	56,31	59,806
	40	60	R8	58,55	58,13	58,49	58,39	61,102
	40	75	R4	68,3	68,28	68,25	68,28	70,45
	40	75	R6	72,34	72,04	72,59	72,32	73,422
	40	75	R8	73,29	73,56	73,31	73,39	75,744
	40	90	R4	78,67	78,62	78,11	78,47	80,826
	40	90	R6	80,3	80,3	80,44	80,35	82,562
	40	90	R8	88,56	88,38	88,59	88,51	90,446
	40	105	R4	88,13	88,16	88,29	88,19	90,458
	40	105	R6	94,56	94,29	94,45	94,43	96,564
	40	105	R8	98,56	98,72	98,88	98,72	100,746
	40	120	R4	112,44	112,47	112,14	112,35	112,898
	40	120	R6	115,05	115,57	115,14	115,25	115,222
	40	120	R8	130,22	131,33	131,11	130,89	126,656

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı : ÖZDEMİR, Ayhan
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 16.01.1985 KASTAMONU
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (312) 590 93 61
 e-mail : ayhanozdemir@gazi.edu.tr

Eğitim

Mezuniyet

Derece	Eğitim Birimi	tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi /Makina Eğitimi	-
Lisans	Gazi Üniversitesi/ Kalıpçılık Eğitimi	2006
Lise	Kastamonu Anadolu Teknik Lisesi	2002

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2006-2007	Plastika Plastik Kalıp Tic. Ltd. Şti.	Cad/Cam
2007-2010	Tübitak-Sage	Uzman Yardımcısı

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

Hobiler

Seyahat, Bilgisayar teknolojileri,