

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇEKME KALIPLARINDA SÜZDÜRME ÇUBUK VE
KANAL TASARIMININ KONSTRÜKTİF AÇIDAN
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak.Müh. Erman ASLAN

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : MAKİNA TASARIM VE İMALAT
Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Mehmet FIRAT

Haziran 2006

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇEKME KALIPLARINDA SÜZDÜRME ÇUBUK VE
KANAL TASARIMININ KONSTRÜKTİF AÇIDAN
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak.Müh. Erman ASLAN

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE MÜH.

Enstitü Bilim Dalı : MAKİNA TASARIM VE İMALAT

Bu tez 19 / 06 /2006 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

**Yrd. Doç. Dr.
Mehmet FIRAT**

Jüri Başkanı

**Prof. Dr.
Ümit KOCABIÇAK**

Üye

**Yrd. Doç. Dr.
Erdal KARADENİZ**

Üye

TEŞEKKÜR

Bana bu konuyu öneren ve çalıőmamda bana her konuda yardımcı olan danıőman hocam Yrd. Doç. Dr. Mehmet FIRAT' a teőekkürlerimi sunarım

Bana her konuda destek olan aileme çok teşekkür ediyorum.

Çalıőmalarımda bana destek olan FORD OTOSAN Takım Kalıp ve Prototip Bölümü Tasarım (CAD) ve Metot ve Kalite Grubu mühendislerine teker teker teşekkür ediyorum.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
TABLolar LİSTESİ.....	viii
ÖZET	ix
SUMMARY	x
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
1.1. Genel Tanıtım.....	1
BÖLÜM 2.	
SÜZDÜRME ÇUBUĞU VE KANALI TANITIMI.....	4
2.1. Kesit Şekillerine Göre Süzdürme Çubukları	4
2.2. Geometrik Parametreler.....	5
2.3. Süzdürme Çubuğu Ve Kanalı Konumu	6
2.4. Gergi Kuvvetine Etki Eden Faktörler.....	8
2.5. Gergi Kuvvetinin Tespit Edilmesi.....	9
2.5.1. Deneyle tespit (Süzdürme çubuğu ve kanalı benzetimi)	9
2.5.2. Sayısal modeller	10
2.5.2.1. Stoughton modeli.....	10
2.6. Eşdeğer Süzdürme Çubuğu	13
BÖLÜM 3.	
ÇEKME KALIBI ÇİZİM AŞAMALARI.....	15
3.1. Akış Şeması	17
3.2. Giriş	19

3.3. Kalıp Bilgileri.....	20
3.4. Erkek Kalıp.....	20
3.5. Pot Çemberi.....	21
3.6. Alt Kalıp.....	21
3.7. Üst Kalıp.....	22
3.8. Yardımcı Elemanlar.....	23
3.9. Montaj.....	24
3.9.1. Alt montaj.....	24
3.9.2. Üst Montaj.....	24
3.9.3. Komple montaj.....	25
3.9.3.1. Kapalı haldeki montaj.....	25
3.9.3.2. Açık haldeki yüksekliği.....	25
3.10. WDX Standartları.....	26
3.10.1. WDX standartlarına örnekler.....	26

BÖLÜM 4.

ANALİZLER VE SONUÇLAR.....	28
4.1. Analizin Tanımlanması.....	28
4.1.1. Geometri.....	28
4.1.2. Malzeme özellikleri.....	30
4.1.3. Sınır koşulları.....	31
4.1.4. Sonlu elemanlar ağı.....	32
4.2. Analiz Sonuçları.....	33
4.2.1. Genel sonuçlar.....	33
4.2.1.1. Düşey yöndeki kuvvet dengesi.....	33
4.2.1.2. Çekme yöndeki kuvvet dengesi.....	35
4.2.2. Yerel sonuçlar.....	37
4.2.2.1. Kanal omzundaki kesitin üst tarafı.....	39
4.2.2.2. Kanal omzunda bulunan kesit üst tarafının üç duruma göre değerlendirilmesi.....	40
4.2.2.3. Alt ve üst noktadaki sacın davranışı.....	41
4.2.2.4. Orta kesitteki sacın davranışı.....	42
4.2.3. Deformasyon değerlerinin incelenmesi.....	43

4.2.3.1. Çekme yönündeki gerilme dağılımları	43
4.2.3.2. Düşey yöndeki gerilme dağılımları	45
4.2.3.3. Çekme yönündeki gerinim dağılımları.....	46
4.2.3.4. Düşey yöndeki gerinme değerleri.....	48
4.2.3.5. Eşdeğer plastik gerinim değerleri.....	49

BÖLÜM 5.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	47
---------------------------	----

KAYNAKLAR	52
-----------------	----

EKLER.....	47
------------	----

ÖZGEÇMİŞ	70
----------------	----

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.	Sac metal şekillendirmede oluşan olası kusurlar	2
Şekil 1.2.	Süzdürme çubuğu ve kanalı şematik gösterimi.	2
Şekil 1.3.	Süzdürme çubuğu ve kanalında oluşan bükme ve doğrulma işlemleri.....	3
Şekil 2.1.	Kesit şekillerine göre süzdürme çubukları ve kanalları.....	5
Şekil 2.2.	Yarı daire formun geometrik parametreleri	6
Şekil 2.3.	Yamuk ve üçgen form süzdürme çubukları	6
Şekil 2.4.	Süzdürme çubuğu ve kanalı kullanılmadan sacda oluşan potansiyel koşullar	7
Şekil 2.5.	Süzdürme çubuğu ve kanalı benzetimi	9
Şekil 2.6.	Stoughton modeli şematik gösterimi	11
Şekil 2.7.	Farklı süzdürme çubukları ve kanallarında deformasyona uğramış sac şekilleri	12
Şekil 2.8.	Stoughton modelinde kullanılan bükme ve dik kuvvetler	13
Şekil 2.9.	3-B süzdürme çubuğu ve kanalı modeli ile onun eşdeğer süzdürme çubuğu modelinin şematik gösterimi	14
Şekil 3.1.	Çekme işlemi	16
Şekil 3.2.	Geliştirilmiş yüzey	19
Şekil 3.3.	Erkek kalıp	20
Şekil 3.4.	Pot çemberi	21
Şekil 3.5.	Alt kalıpta gerekli boşaltmaların yapılması.	22
Şekil 3.6.	Üst kalıpta gerekli boşaltmaların yapılması.....	23
Şekil 3.7.	Alt monta	24
Şekil 3.8.	Üst montaj.....	24
Şekil 3.9.	Kapalı haldeki komple montaj	25
Şekil 3.10.	Açık haldeki komple montaj.....	26
Şekil 3.11.	Erkek kalıp ve pot çemberi duvar kalınlıkları tespiti.....	27

Şekil 3.12. Sürtünme plakası tespiti.....	28
Şekil 4.1. Süzdürme çubuğu ve kanalı geometrisi	30
Şekil 4.2. Malzemeye ait gerilme - gerinme eğrisi	31
Şekil 4.3. Sınır koşulları.....	32
Şekil 4.4. Sonlu elemanlar ağı.....	33
Şekil 4.5. İzotropik pekleşme ve sürtünmesiz durumdaki düşey yöndeki kuvvet dengesi.....	34
Şekil 4.6. Kinematik pekleşme ve sürtünmesiz durumdaki düşey yöndeki kuvvet dengesi.....	35
Şekil 4.7. İzotropik pekleşme ve sürtünmesiz durumdaki çekme yönündeki kuvvet dengesi.....	36
Şekil 4.8. Kinematik pekleşme ve sürtünmesiz durumdaki çekme yönündeki kuvvet dengesi.....	37
Şekil 4.9. Deforme olmamış geometride kanal omzundaki kesitin yeri	38
Şekil 4.10. Deforme olmuş geometride kanal omzundaki kesitin yeri	38
Şekil 4.11. Kanal omzundaki kesitin üst tarafına ait gerilim - gerinim eğrisi	39
Şekil 4.12. Kanal omzundaki kesitin üst tarafına ait gerinim – zaman eğrisi.....	40
Şekil 4.13. İzotropik pekleşme ile çözülen analizlerin karşılaştırılması.....	40
Şekil 4.14. Sürtünmesiz durumda çözülen analizlerin karşılaştırılması	41
Şekil 4.15. Kanal omzu kesitinde alt noktada oluşan gerilme - gerinme eğrisi	42
Şekil 4.16. Kanal omzu kesitinde orta noktada oluşan gerilme - gerinme eğrisi.....	42
Şekil 4.17. Çubuğun basması anında çekme yönündeki gerilme dağılımı	44
Şekil 4.18. Sacın çekilmesi esnasında çekme yönündeki gerilme dağılımı.....	44
Şekil 4.19. Çubuğun basması anında düşey yöndeki gerilme dağılımı.....	45
Şekil 4.20. Sacın çekilmesi esnasında düşey yöndeki gerilme dağılımı.....	46
Şekil 4.21. Çubuğun basması anında çekme yönündeki gerinim dağılımı	47
Şekil 4.22. Sacın çekilmesi esnasında çekme yönündeki gerinim dağılımı.....	47
Şekil 4.23. Çubuğun basması anında düşey yöndeki gerinim dağılımı	48
Şekil 4.24. Sacın çekilmesi esnasında düşey yöndeki gerinim dağılımı.....	49
Şekil 4.25. Çubuğun basması anındaki eşdeğer gerinim dağılımı	50
Şekil 4.26. Sacın çekilmesi esnasında eşdeğer gerinim dağılımı.....	50

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 3.1. Akış Şeması	17
Tablo 3.2. Sürtünme plakası WDX kodları.....	28

ÖZET

Anahtar Kelimeler: Süzdürme çubuğu ve kanalı, sac metal şekillendirme, sonlu elemanlar yöntemi

Günümüzde sac metal şekillendirme işlemi başta otomotiv sektörü olmak üzere birçok sektörde kullanılmaktadır. Otomotiv parçalarının dış aksamının hepsi ve iç aksamının bir kısmı sac metal şekillendirme işlemi ile oluşturulmaktadır.

Sac malzeme, kalınlığı boyuna göre küçük malzemelere denir ve bu tip malzemelerin davranışını doğru bir şekilde ölçmek diğer malzemelere göre zordur.

Süzdürme çubuğu, kanalı form kalıplarında sacın akışını düzenleyen yerel kontrol mekanizmasıdır. Sacın dışı kalıptaki akışını daha az pot çemberi kuvveti uygulayarak sağlar. Ayrıca sac şekillendirme işleminde en önemli kusur olan geri yaylanma problemi çözümünde süzdürme çubuğu ve kanalı kullanılabilir. Süzdürme çubuğu ve kanalından geçen sacın üzerinde çevrimsel bir yükleme söz konusudur.

Bu çalışmada, form verme (çekme) işleminde sac akışının kontrolünü sağlayan yerel kontrol mekanizması süzdürme çubuğu ve kanalı tasarımının çekme kalıplarında konstrüktif açıdan incelenmesi yapıldı. Yarım daire formda süzdürme çubuğunda izotropik ve kinematik pekleşme malzeme modelleri kullanılarak Sonlu Elemanlar Analizi yapıldı ve sonuçlar değerlendirildi. Sonuçlar ışığında sacın çevrimsel yüke maruz kaldığı ve sacın davranışının pekleşmeye bağlı olarak değiştiği gözlemlendi.

IN FORMING DIES, INVESTIGATION OF DRAWBEAD DESIGN FROM THE POINT OF VIEW OF CONSTRUCTIVE

SUMMARY

Keywords: Drawbead, sheet metal forming, finite element method.

Nowadays, sheet metal forming process is used firstly in automotive industry, moreover it is used many industry. Automotive parts which are all outside parts and some inside parts exist with sheet metal process.

Sheet metal's thickness is finer than its length and be able to measure of this kind materials' behavior is more difficult than the others.

Drawbead is local control mechanism which regulates the sheet flow in die. Drawbeads support sheet flow in die with less blankholder force. Drawbead can use in springback which is an important problem in sheet metal forming. Sheet metal that passes in drawbead exists cyclic loading.

In this study, in forming dies, investigation of drawbead design from the point of view of constructive was done. In semicircular form drawbeads, using the isotropic and kinematic hardening material model, finite element analysis was done and results were evaluated. The result of analysis has shown that the sheet metal is exposed to the cyclic loading and its behavior show differences according to their hardening. This shown result was observed by.

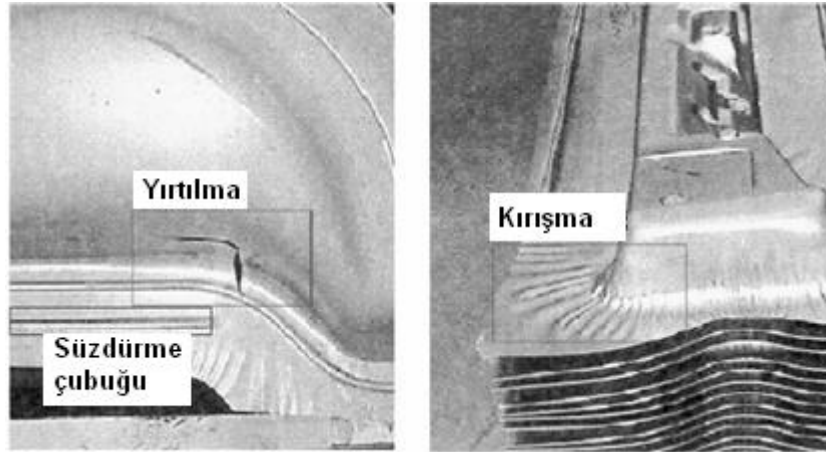
BÖLÜM 1. GİRİŞ

Sac metallerin temel şekillendirme işlemlerinden olan çekme işleminde, sac malzemenin kontrolü ve bir şekilde kalıp boşluğu doldurması en önemli imalat tasarım işlemidir. Çekme işlemi sırasında güç direk olarak erkek kalıp ile malzemenin tabanından uygulandığından dolayı, dişi kalıp giriş açıları ve malzeme ile dişi kalıp arasındaki sürtünme değerleri oldukça önem taşır[1, 2].

1.1. Genel Tanıtım

Sac metal basma işleminin kalitesi dişi boşluğunda sac akışının uygun olmasına bağlıdır. Bu sebeple sac akışının kontrolü kırışma ve yırtılma problemlerinin çözümünde önemlidir. Genellikle, sac akışı pot çemberi tarafından kontrol edilir. Germe kuvveti de sac ile sacın temas ettiği parçalar arasındaki sürtünmeden oluşmaktadır. Bununla birlikte, çekme işlemi boyunca pot çemberi sac akışını tamamen kontrol etmemektedir. Yüksek germe kuvveti gerektiği zamanlarda, yüksek pot çemberi kuvveti uygulanmalıdır. Bu iki kuvvet birbirleri ile doğru orantılıdır. Bu yüzden yerel kontrol mekanizması gerekmektedir. Daha düşük pot çemberi kuvvetlerinde yeteri kadar germe kuvvetleri sağlanmaktadır. Bu istekler süzdürme çubukları tarafından yerine getirilebilmektedir [3].

Süzdürme çubuğunun geri yaylanma problemini belli durumlarda giderebilir. Sac üzerinde yeteri gergi kuvveti oluşturarak sac üzerindeki lifleri gerer ve sacın geriye esnemesi engellenir.



Şekil 1.1 Sac metal şekillendirmede oluşan olası kusurlar [4].

Süzdürme çubuğu ana kalıpta dişi ögenin yanında üst kalıpta, süzdürme kanalı ana kalıpta erkek kalıbın yanında pot çemberi üzerinde bulunmaktadır [5].

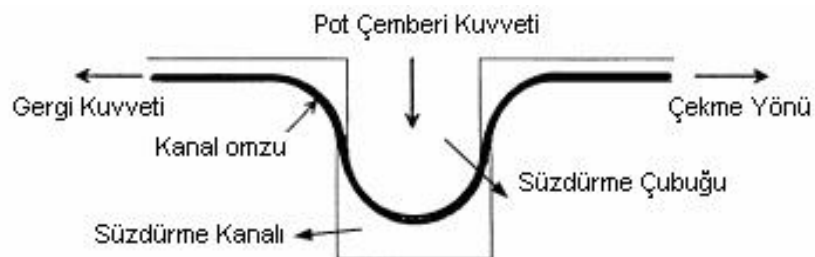
Süzdürme çubuğu ve kanalı iki ögeden oluşmaktadır [3].

1. Süzdürme çubuğu
2. Süzdürme kanalı

Süzdürme çubuğu ve kanalından geçen sacın üzerinde iki çeşit kuvvet oluşmaktadır.

1. Gergi kuvveti
2. Kaldırma kuvveti

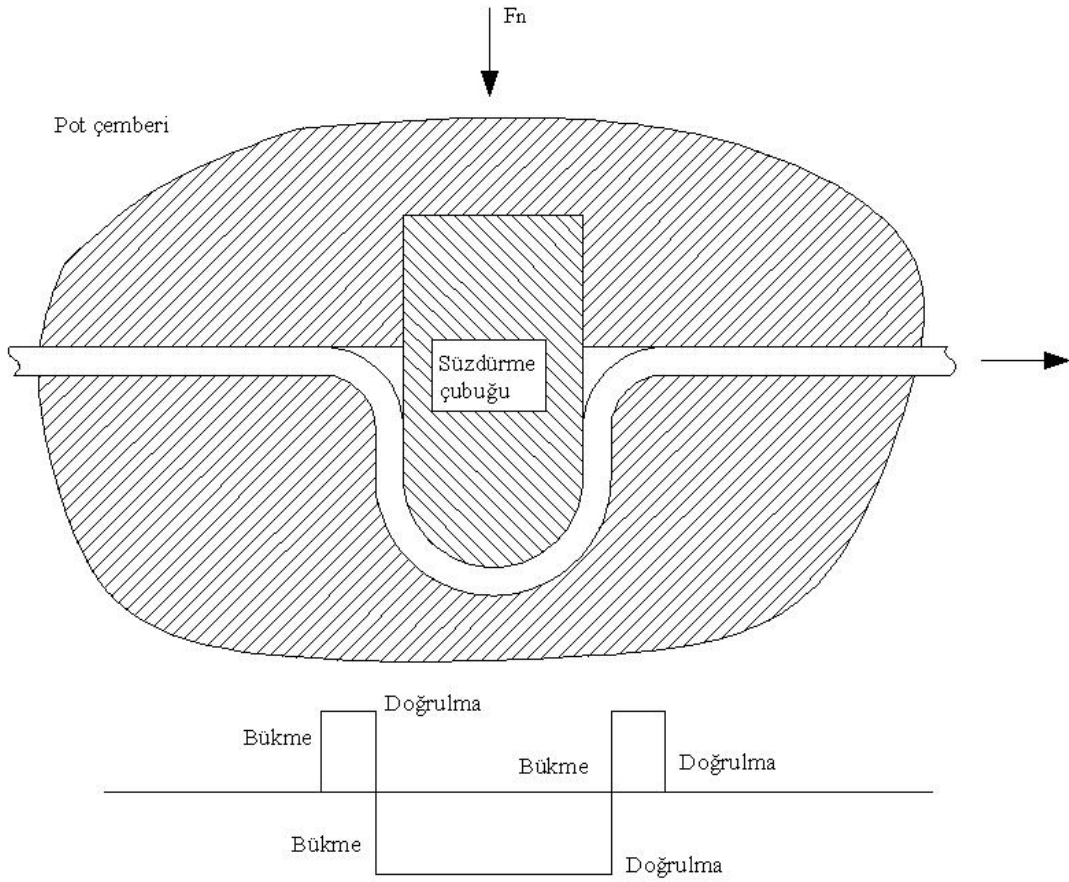
Gergi kuvveti her zaman çekme yönüne zıt tarafta olmaktadır ve saca teğettir. Kaldırma kuvveti ise sac üzerine her zaman diktir.



Şekil 1.2 Süzdürme çubuğu ve kanalı şematik gösterimi [6].

Süzdürme çubukları gerinim pekleşmesine ve gerinim dağılımındaki değişikliklere bağlı olarak sacda incelmeler neden olur [7, 8, 9]

Süzdürme çubuğu ve kanalı sadece çekme kalıplarında kullanılır. Süzdürme çubuğu dişi kalıbında sac akışını kontrol eder ve kırışma probleminin önlemeye veya azaltmaya çalışır. Sac süzdürme çubuğundan geçtiği zaman ilk olarak bir yönde bükülür sonra ters yönde doğrulur [2].



Şekil 1.3 Süzdürme çubuğu ve kanalında oluşan bükme ve doğrulma işlemleri [2]

BÖLÜM 2. SÜZDÜRME ÇUBUĞU VE KANALI TANITIMI

2.1. Kesit Şekillerine Göre Süzdürme Çubukları

Kesit şekillerine göre süzdürme çubukları genel olarak üçe ayrılır[10];

1. Yarım daire form
2. Dikdörtgen form
3. Köşe (kenar) form

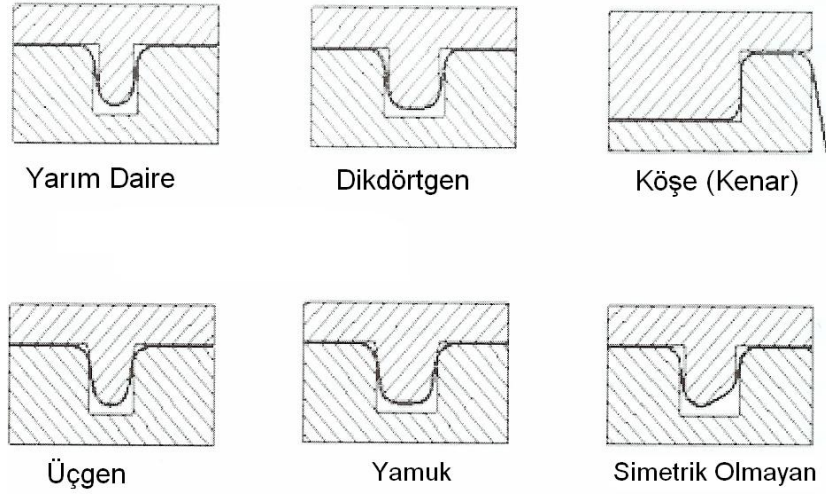
Yarım daire formda sac 3 kez bükme 3 kez doğrulma işlemine maruz kalır, yani 3 çevrim gerçekleşir. Form kaplarında en çok kullanılan süzdürme çubuğu tipi yarım daire form tipidir.

Dikdörtgen formda sac 4 kez bükme 4 kez doğrulma işlemlerine maruz kalır, yani 4 çevrim gerçekleşir. Dikdörtgen formdaki süzdürme çubuğu yağlamaya karşı duyarsızdır ve en fazla gerji kuvveti oluşturur.

Köşe kenar formda bükme açısı 90° olduğu ve çubuk ile kanal arası yatay uzaklık sac kalınlığına eşit olduğu zaman sacda 2 bükme 2 doğrulma işlemi gerçekleşir. Köşe form dışı kalıbın köşesine uygulanabilir böylelikle malzeme kaybı en aza indirilebilir.

Üretilen gerji kuvvetine göre süzdürme çubuğu ve kanalını sıralaması:

$$F_{\text{dikt}} > F_{\text{daire}} > F_{\text{köş}} \quad (2.1)$$



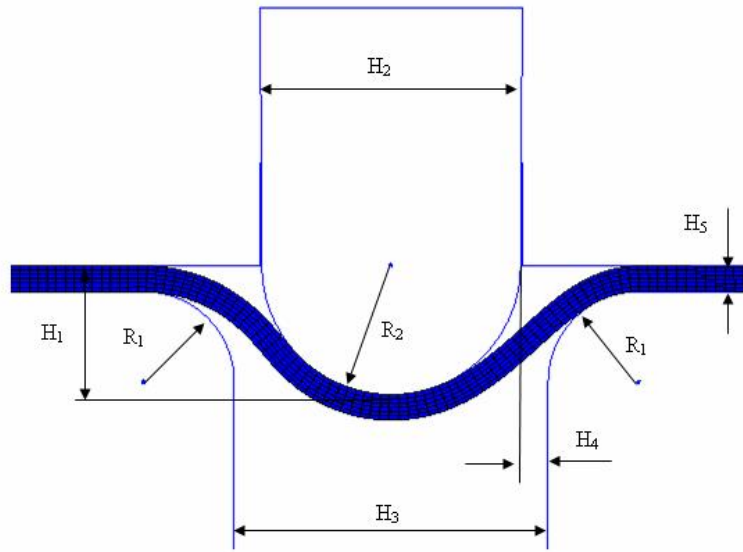
Şekil 1.4 Kesit şekillerine göre süzdürme çubukları ve kanalları [11].

2.2. Geometrik Parametreler

Yarım daire formda biz süzdürme çubuğu ve kanalını tanımlayan belli ölçüler vardır.

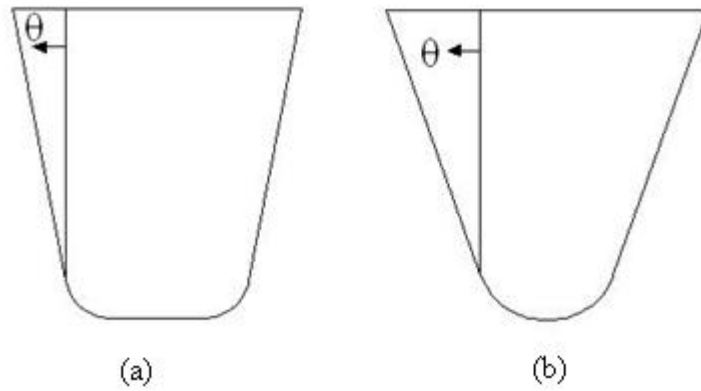
Bunlar;

- R_1 : Kanal yarıçapı
- R_2 : Çubuk yarıçapı
- H_1 : Çubuk geçişi
- H_2 : Çubuk genişliği
- H_3 : Kanal genişliği
- H_4 : Çubuk ile kanal arası yatay uzaklık
- H_5 : Çubuk ile kanal arası dikey uzaklık



Şekil 1.5 Yarı daire formun geometrik parametreleri

Dikdörtgen formda yarı daire formdan farklı olarak çubukta düz bir alan mevcuttur. Yamuk ve üçgen formda ise geometrik parametreler yan açılarla belirlenir [9].



Şekil 1.6 Yamuk ve üçgen form süzdürme çubukları [11]

2.3. Süzdürme Çubuğu Ve Kanalı Konumu

Süzdürme çubuğu ve kanalının konumunun kararı genellikle Sonlu Elemanlar (SE) hesaplaması yapılarak karar verilir.

Derin çekme işlemlerinde sac dişi kalıpta daha çok şekillendirilir, form verilir. Form verme işlemi sırasında dişi kalıpta malzeme akışının kalitesi şekil verilmiş sacın kalitesini etkiler. Daha iyi sac akışı için ya da yeteri kadar gergi kuvveti için bu tip işlemlerde süzdürme çubuğu ve kanalı kullanılması gerekmektedir.

Şekil 2.4' de süzdürme çubuklu ve çubuksuz iki durum karşılaştırılmıştır. Süzdürme çubuksuz durumda üç tane kusur karşımıza çıkmaktadır Bunlar;

- Yeteri kadar gerinme olmadığı için malzeme hızlı hareket etmiş ve kesme hattına yaklaşmıştır.
- Erkek kalıp ve dişi kalıp arasında sıkışan sacda yeteri kadar gergi kuvveti oluşmadığı için kırışmalar meydana gelmiştir.
- Artık gerilmeler oluşmadığı için parçada dağınık malzeme bölgeleri oluşmuştur.

Bu üç kusurun giderilmesi süzdürme çubuğunun ve kanalının Şekil 2.4' deki gibi kullanılması ile giderilebilir [12].



Şekil 1.7 Süzdürme çubuğu ve kanalı kullanılmadan sacda oluşan potansiyel koşullar [10]

2.4. Gergi Kuvvetine Etki Eden Faktörler

Form verme işleminde gergi kuvveti büyük olursa çekme işlemi gerçekleşmez ve yırtılmalar meydana gelir, küçük olursa kırışıklıklar meydana gelir. Gergi kuvveti bükme – doğrulma kuvvetlerinden ve sürtünme kuvvetlerinden meydana gelir [13].

Gergi kuvvetine etki eden faktörler [10, 14];

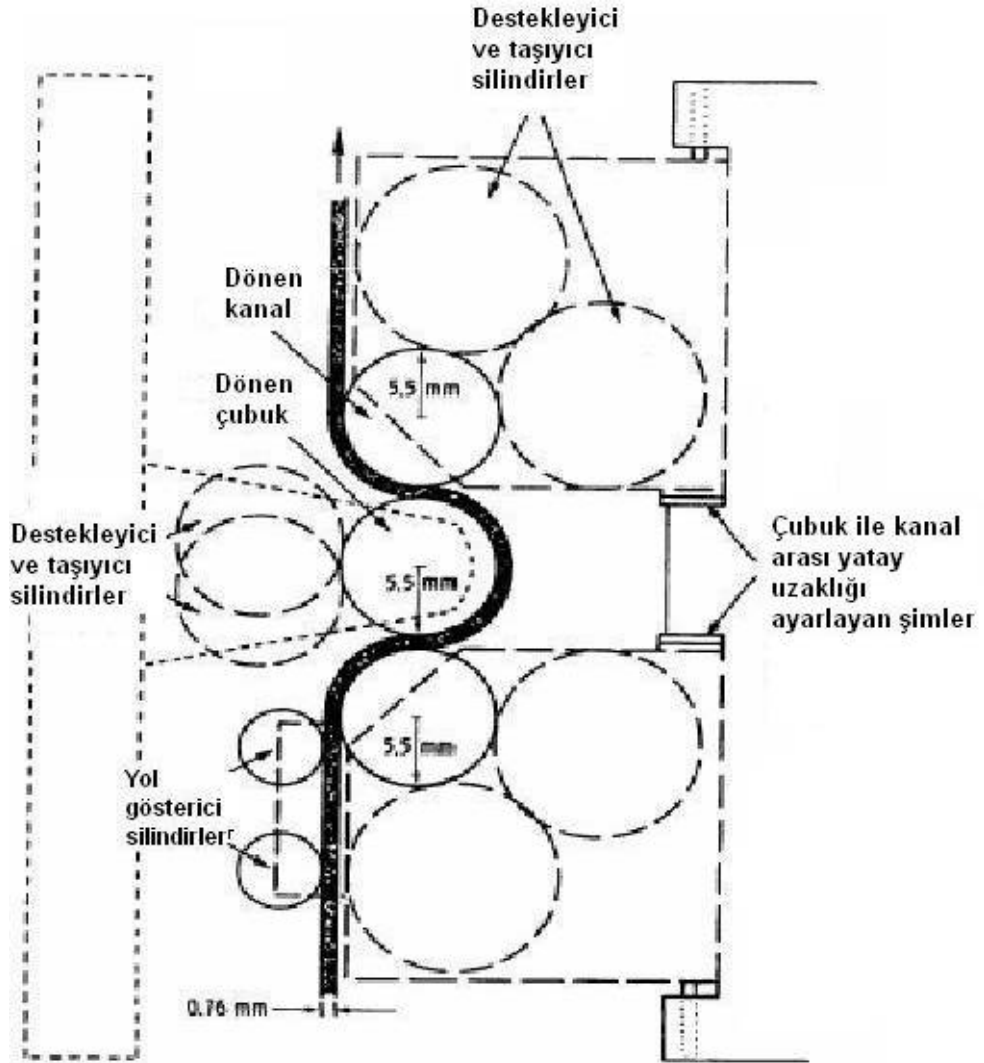
1. Süzdürme çubuğu geometrisi
 - a) Kesit şekillerine göre süzdürme çubuğu
 - b) Çubuk geçişi
 - c) Bükme açısı
 - d) Çubuk yarıçapı
 - e) Kanal yarıçapı
 - f) Çubuk ile kanal arasındaki yatay uzaklık
 - g) Çubuk ile kanal arasındaki dikey uzaklık
2. Malzeme özellikleri
3. Sac kalınlığı
4. Kalıp elemanları ve sac arasındaki sürtünme durumu

Daha önceden de belirtildiği gibi en fazla gergi kuvveti dikdörtgen formlu süzdürme çubukları ve kanallarından elde edilir (Denklem 2.1) Çubuk geçişi ve bükme açısı arttığı zaman gergi kuvveti artmaktadır. Çubuk ve kanal yarıçapları azaldığı zaman gergi kuvveti artmaktadır. Çubuk ile kanala arasındaki yatay ve dikey uzaklığın azalması gergi kuvvetini arttırmaktadır. Kalıp elemanları arasındaki sürtünmenin artması gergi kuvvetini artırır.

2.5. Gergi Kuvvetinin Tespit Edilmesi

2.5.1. Deneyle tespit (Süzdürme çubuğu ve kanalı benzetimi)

Süzdürme çubuğu ve kanalı benzetimi, süzdürme çubuğu ve kanalından geçen malzemedeki gergi kuvvetini ve sürtünme çubuğu ve kanalındaki sürtünme katsayısını hesaplamak için kullanılır.



Şekil 1.8 Süzdürme çubuğu ve kanalı benzetimi [15]

Deney düzeneğinde farklı boyutlarda çubuk ve kanalları benzetimini yapmak için farklı büyüklükteki silindirler kullanılmıştır. Çubuk ile kanalların taşınması ve desteklenmesi için taşıyıcı ve destekleyici silindirler kullanılmıştır. Çubuk ve kanal arası yatay mesafe şimler sayesinde ayarlanmaktadır. Sacın rahat ve düz bir şekilde hareket etmesi için yol gösterici silindirler kullanılmıştır.

Bu düzenekte sadece yarım daire formdaki süzdürme çubuğu ve kanalının benzetimi yapılmıştır. Ayrıca pot çemberi kuvveti hesaplamaya katılmamıştır. İki durumda benzetim yapılmıştır.

1. Çubuk ile kanal dönerek
2. Çubuk ile kanal sabit kalarak

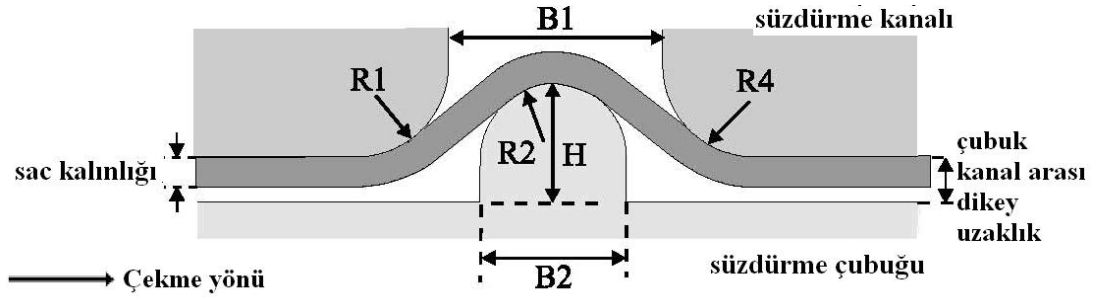
İlk durumda sürtünmenin etkisi ortadan kaldırılmak istenmiştir.

Bu deney düzeneği ilk olarak Taylan ALTAN tarafından gösterildi ve 1992 yılında uygulamaya konuldu [15, 16].

2.5.2. Sayısal modeller

2.5.2.1. Stoughton modeli

Germe kuvvetini kararı için sık sık kullanılmaktadır. Stoughton modeli virtüel iş prensibine dayanmaktadır ve süzdürme çubuğu ve kanalı yarıçapları yerine malzemenin eğilme yarıçapları kullanılmaktadır. Bu modelde sacın sürtünmeyi yenerek ilerlemesi ve bükme – doğrulma işlemleri dikkate alınmaktadır. Malzeme uzama oranı duyarlılığı Holloman pekleşme kuralına uyduğu varsayılmıştır [15].



Şekil 1.9 Stoughton modeli şematik gösterimi [17]

Stoughton modelinde kullanılan geometrik ölçüler;

- R_1, R_4 : Kanal yarıçapı
- R_2 : Çubuk yarıçapı
- B_1 : Kanal genişliği
- B_2 : Çubuk genişliği

Stoughton modelinde germe kuvveti aşağıdaki formüle göre hesaplanmaktadır;

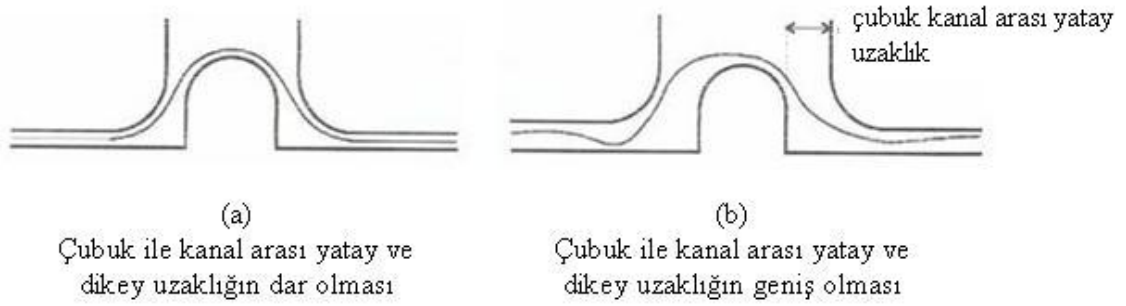
$$DBRF = \left((F_1 e^{\mu\theta} + \mu F_e + F_2 + F_3) e^{2\mu\theta} + \mu F_e + F_4 + F_5 \right) + F_6 e^{\mu\theta} \quad (2.2)$$

Kaldırma kuvveti ise aynı biçimle hesaplanabilir.

Bu denklemde kullanılan değişkenler aşağıdaki gibidir;

- F_1, F_2 : R_1 yarıçapında oluşan bükme ve doğrulma kuvvetleri
- F_3, F_4 : R_2 yarıçapında oluşan bükme ve doğrulma kuvvetleri
- F_4, F_5 : R_4 yarıçapında oluşan bükme ve doğrulma kuvvetleri
- μ : Sac ile kanal ve sac ile çubuk arasındaki sürtünme katsayısı
- θ : Bükme açısı
- F_e : Elastik normal kuvvet

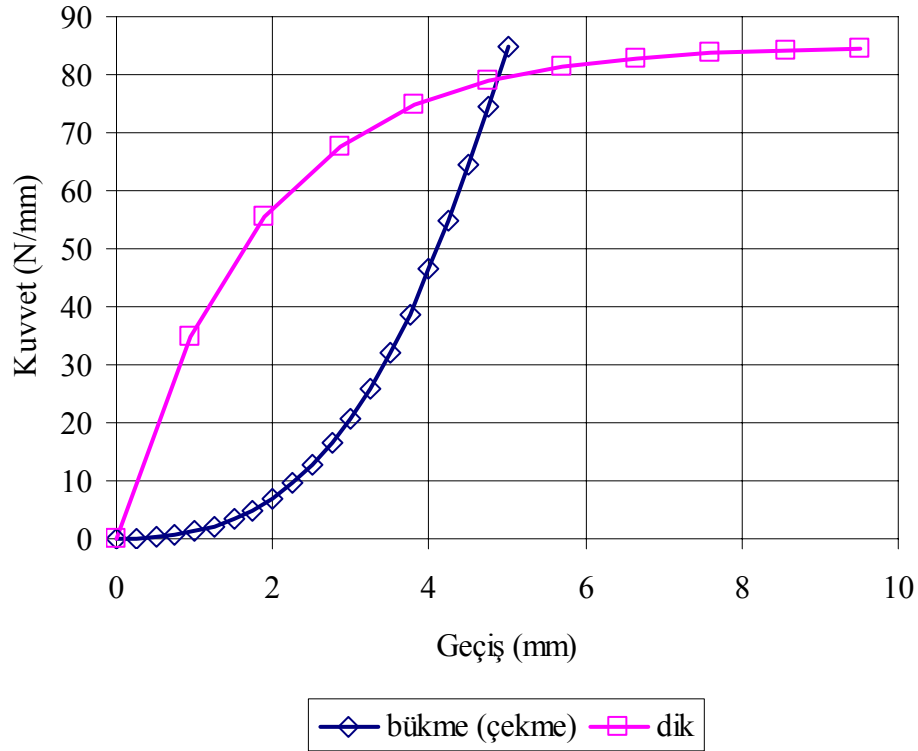
Çubuk ile kanal arası yatay ve dikey uzaklıkların az olması koşullarında Stoughton modelinde hassas sonuçlar elde edilmesini sağlar



Şekil 1.10 Farklı süzdürme çubukları ve kanallarında deformasyona uğramış sac şekilleri [17]

Dynaform programı süzdürme çubuğu ve kanalından geçen sacın üzerindeki hesaplamalarda Stoughton modelini kullanmaktadır. Programda süzdürme çubuğu ve kanalı geometrileri tanımlandıktan sonra bükme (çekme) ve düşey yöndeki (dik) kuvvet değerleri elde edilir.

Bükme kuvveti sacın çekilmesi sırasında oluşan bükme kuvvetleridir. Düşey yöndeki kuvvet ise süzdürme çubuğu ve kanalına dik yönde etki eden kuvvettir. Çubuğun geçişine göre bükme kuvveti giderek artmaktadır, düşey yöndeki kuvvet ise belli bir değerden sonra sabitlenmektedir.

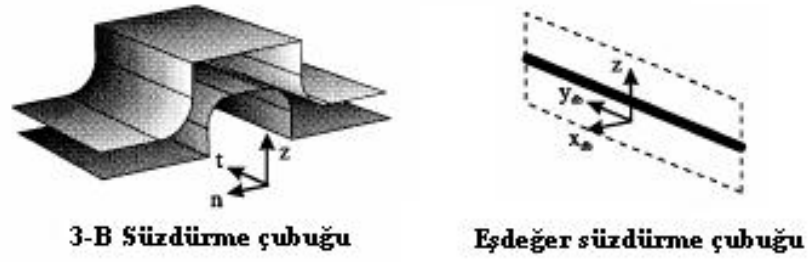


Şekil 1.11 Stoughton modelinde kullanılan bükme ve dik kuvvetler

2.6. Eşdeğer Süzdürme Çubuğu

Eşdeğer süzdürme çubuğu modelleri SE hesaplamalarında hesaplamalara dâhil edilmesi amacıyla gergi kuvvetini bulmaya yarar [18, 19]. Gergi kuvvetinin bulunmasında genellikle Stoughton model kullanılır. Eşdeğer süzdürme çubuğu modelinin kullanılmasının amacı fazla süren bilgisayar (CPU) süresinin sonuçların hassasiyetinde bir azalma olmadan kısaltmaktır. Tasarım (CAD) bilgisi üzerinde herhangi bir değişiklik olmadan süzdürme çubuğu ve kanalı değişik geometrilere ve değişik konumlarda çalışılabilir. Bu nedenle eşdeğer süzdürme çubuğu esnek tasarım aracıdır. Eşdeğer süzdürme çubuğu kalıp yüzeyinde çizgi olarak gösterilir [17].

Gerçek süzdürme çubuğu ve kanalı modelinde toplam sac akışı normal (n) ve teğetsel (t) yönünde olmaktadır fakat eşdeğer süzdürme çubuğu modelinde sac akışı sadece normal yöndedir ve gergi kuvvetine plastik gerinim genişlemesine neden olur [15]. Eşdeğer süzdürme çubuğu modelinde gerilim ve gerinim tahmini daha hassastır. [20]



Şekil 1.12 3-B süzdürme çubuğu ve kanalı modeli ile onun eşdeğer süzdürme çubuğu modelinin şematik gösterimi [17]

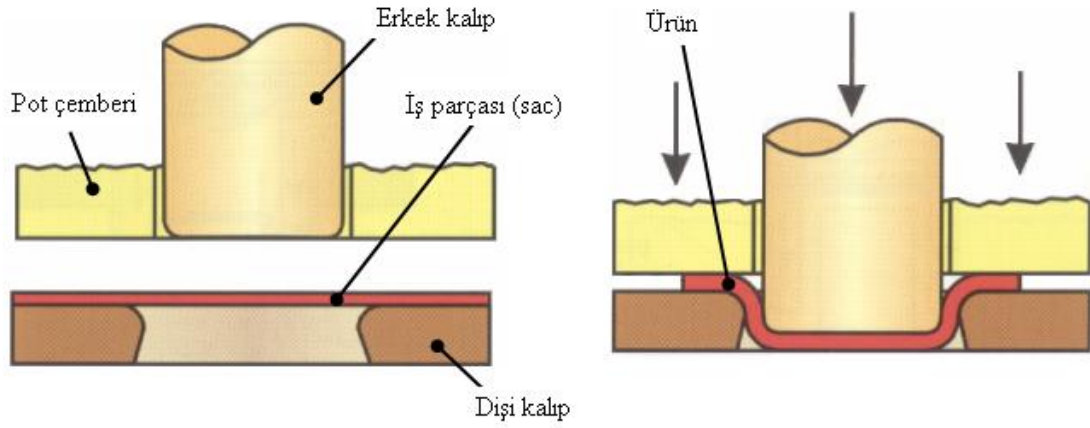
Sonuç olarak eşdeğer süzdürme çubuğunda aşağıdaki öğeler hesaba katılmaz [17].

- Süzdürme çubuğu germe kuvvetinin zamana göre değişimi
- Gerinme değişimlerinin dağılımı
- Sac kalınlıkları

BÖLÜM 3. ÇEKME KALIBI ÇİZİM AŞAMALARI

Derin çekme işlemi çekme ile büyük yapısal benzerlik gösterirler[1, 2]. Başlangıçtaki taslak sac malzeme derin çekme işlemi ile içi boş derin kap halini alır. İşlemden sonra sac malzeme kalınlığında çok büyük değişiklikler olmaz. Bir ya da birçok tesirli derin çekme işlemleri olabilir. Tek bir ürün üretimi için çoğu zaman tek bir derin çekme işlemi yeterli olmayacaktır, bundan dolayı çoğu zaman derin çekme işlemi birden fazla adımda yapılır. Çoğu imalat sürecinde derin çekme işlemi parçanın tam olarak üretimi için yeterli olmamaktadır. Böyle durumlarda çekme işleminde kadem elendirme yapmak gerekir [2].

Kademeli çekme işlemi; koç hareketinin iki kademeli olduğu ve “teleskopik” konstrüksiyon presler kullanılarak yapılır [2]. Bu tip çekme isminde temel işleyiş malzeme şekillendirilebilirliğinin, homojen olmayan kademeleri izin vereceği kabulüne dayanır. Bu amaçla tasarlanan çekme kalıbında, ikili (veya daha fazla) erkek kalıp bulunur ve çekme işlemi kademeli olarak aynı kalıp üzerinde tek bir baskıda gerçekleştirilir. Kademeli olan yapı ilk çekme işleminde erkek kalıp, işlemin devamında da pot çemberi olarak davranır. Bazı geometrik yapılarda çekme işlemi tek adımda olmayacağı gibi, tek bir yönde yapılan işlemlerle de istenen sonuca ulaşmak mümkün olmaz. Ters çekme işlemi olarak adlandırılan bu imalat işleminde, parça ikinci bir işlem ile ilk çekme yönünün aksine ikinci bir işlemde daha geçirilir. Ya da bu iki işlem tek bir yapıda birleştirilerek kullanılır. Çekme işlemi sırasında şekillendirici olarak her zaman metal kalıp zımba-erkek kullanılmayabilir. Bunun yerine aktif malzeme yani çelik bilyalar, sıvılar (yağ ya da su), gazlar kullanımı da söz konusu olabilir. Nispeten yeni bir çekme işlemi olan bu yaklaşım hidro-mekanik çekme olarak adlandırılır.



Şekil 3.1 Çekme işlemi [2]

Sac metal şekillendirme işleminde farklı kalıplar kullanılmaktadır;

- Açınım kalıbı
- Çekme kalıbı
- Kesme ve delme kalıbı
- Ütüleme kalıbı
- Flanş (bükme) kalıbı

Rulo halinde gelen sac açınım kalıbı tarafından açılır ve kesilir. Çekme kalıbında kesilen saca ilk formu verilir. Çekme kalıbında sac bir işlem ile şekillendirilebileceği gibi birden fazla işlemle de şekillendirilebilir. Çekmeden çıkan sac kesme ve delme kalıbına gelir. Kesme ve delme işlemleri işlemin özelliğine bakılarak aynı operasyonda da olabilir. Kesme ve delme işlemi yapıldıktan sonra flanş (bükme) kalıplarında bükme işlemi yapılır. Son olarak eğer gerekirse sac ütüleme kalıbında şekillendirilir. Ütüleme kalıbında şekillendirmenin birinci amacı sacın geri yaylanma problemlerini en aza indirmektedir.

Sac metal şekillendirme de her zaman ilk iki operasyon açınım ve çekme işlemleridir, son işlem ise ütüleme işlemidir. Aradaki işlemlerin parça geometrisi ve işlem süreci gereği değişebilir.

Form kalıbında temel şekillendirme yüzeyleri belirlendikten sonra erkek, dişi ve pot çemberinden oluşan alt kalıp ve üst kalıp elemanlarının konstrüktif şekillendirmesi yapılır ve kalıp elemanlarının şekillendirme planı hazırlanır[20].

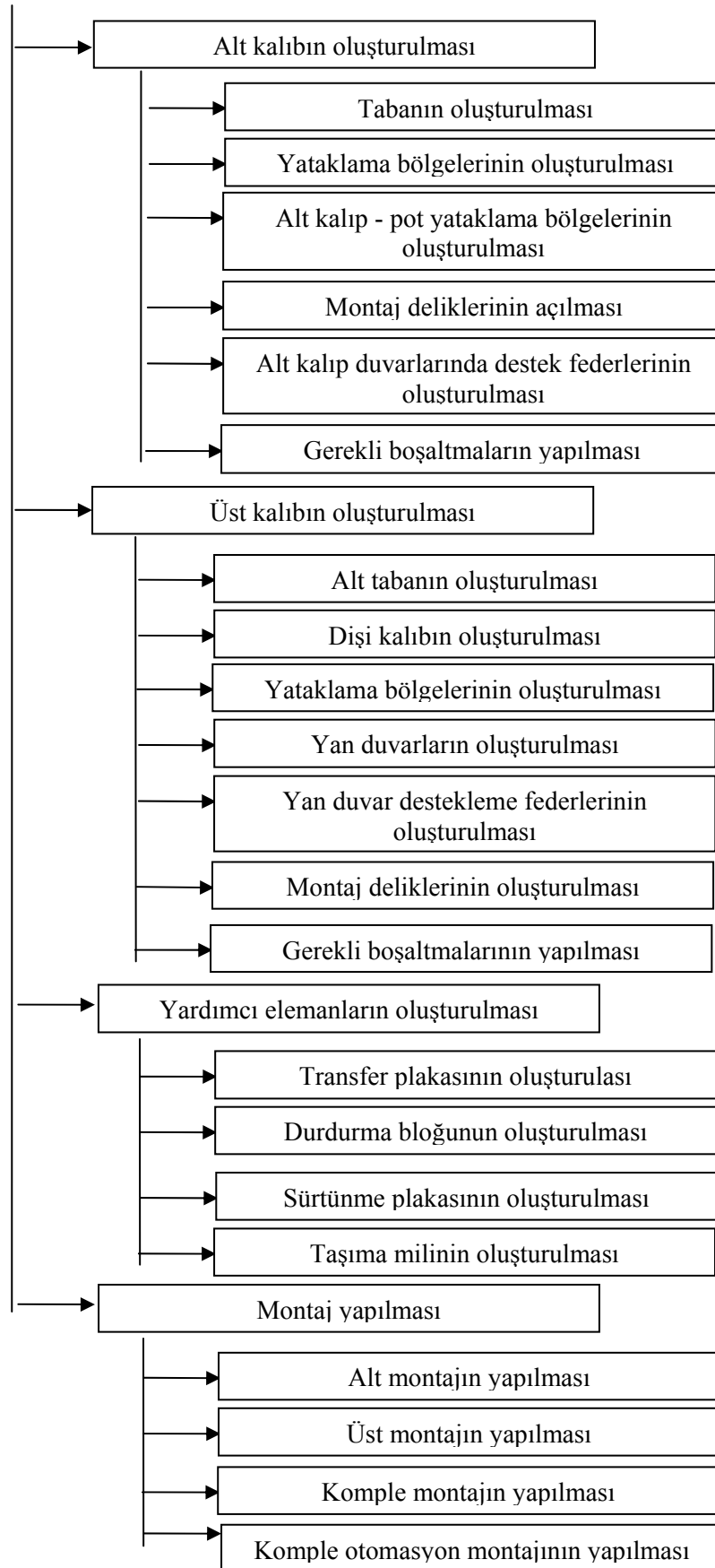
Bir form kalıbının konstrüktif şekillendirme işlemi, kalıp özelliklerine bağlı olarak bir ay ile üç ay arasında değişebilir [20].

3.1. Akış Şeması

Tablo 3.1 Akış Şeması



Tablo 3.1 Akış Şeması devamı



3.2. Giriş

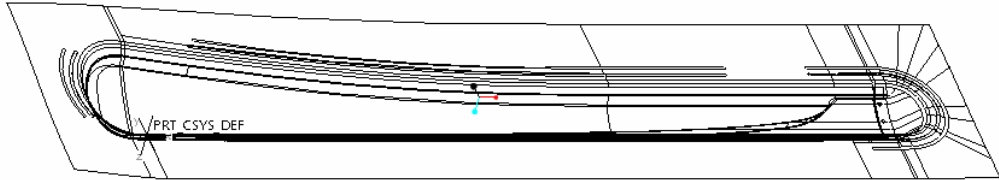
Kalıp çizimine başlamadan önce birim sistemini rahat çalışılabilmesi ve kalıp oluşturulduktan sonra yapılacak analizlerin daha rahat çalışılabilmesi için birim sistemini aşağıdaki gibi ayarlandı. Böylelikle birim sistemi SI birim sistemine çevrildi.

- Uzunluk (Length): mm
- Büyüklük (Mass): kg
- Zaman (Time): sn
- Sıcaklık (Temperature): °C

Çekme kalıbını tasarlarken izlenen tasarım sırası;

1. Erkek kalıp
2. Pot çemberi
3. Alt kalıp
4. Üst kalıp
5. Diğer yardımcı elemanlar
6. Montaj

Ayrıca erkek kalıp, pot çemberi ve üst kalıbı tasarlanmasında gerekli olan geliştirilmiş yüzey tamir edildi.



Şekil 3.2 Geliştirilmiş yüzey

3.3. Kalıp Bilgileri

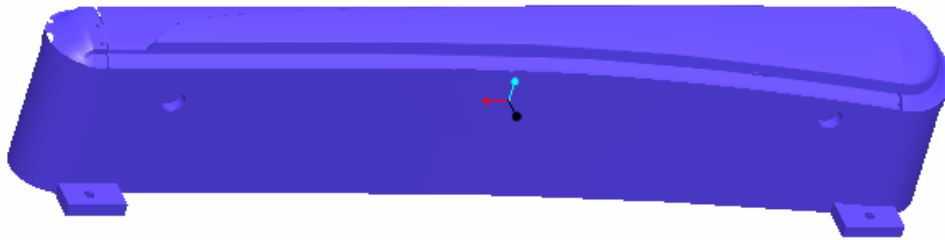
Kalıp tek tesirli bir kalıptır ve çekme kalıbıdır. Yani alt kalıpta erkek kalıp ve pot çemberi mevcuttur. Ama pot çemberi alt kalıba sabitlenmemiştir. Form kalıbındaki temel ölçüler aşağıdaki gibidir;

- Kalıp Açıklığı: 500mm
- Kapalı Halde Kalıp Yüksekliği: 922mm
- Açık Halde Kalıp yüksekliği: 1422mm
- Kalıp Toplam Ağırlığı: 8142kg

3.4. Erkek Kalıp

Erkek kalıp malzemesi yoğunluğu $\rho_{\text{EN-JS-2070}} = 7.8 \times 10^{-6} \text{ kg/mm}^3$ olan EN-JS 2070 dir [22]. Erkek kalıbın ağırlığı 1067kg dır.

Erkek kalıbı oluşturmak için ilk geliştirilmiş yüzeyden 500mm uzaklığa bir veri yüzeyi (datum plane) atandı. Sonra bu yüzeyden diğer yüzeye kadar uzatma (extrude) yapıldı ve böylelikle erkek kalıpta taslak oluşturuldu. Geliştirilmiş yüzeyi 40mm alt tarafa kopyalayarak erkek kalıbının sac ile temas yüzeyi oluşturuldu [21]. Erkek kalıpta alt boşaltmaları yapıldı. Erkek kalıp duvar kalınlığı W-DX12-4M standardına göre oluşturuldu. Erkek kalıbın alt kalıba bağlanması sabitlenmesi için bağlantı yerleri ve delikler oluşturuldu. Son olarak erkek kalıbın rahatlıkla taşınması için delikler oluşturuldu [21].

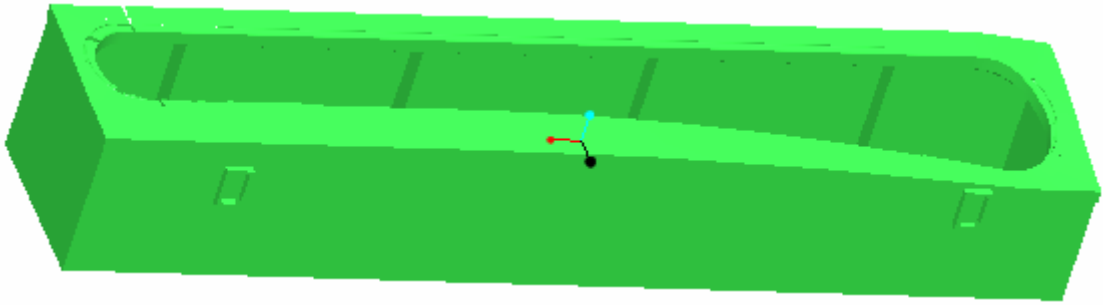


Şekil 3.3 Erkek kalıp

3.5. Pot emberi

Pot emberi de erkek kalıp gibi yoğunluğu $\rho_{\text{EN-JS-2070}} = 7.8 \times 10^{-6} \text{ kg/mm}^3$ olan EN-JS 2070 dır [21]. Pot emberinin ağırlığı 968kg dır.

Pot çemberini oluşturmak için geliştirilmiş yüzeyden 500mm uzaklığında bir veri yüzeyi atandı. Buradan geliştirilmiş yüzeye kadar uzatma yapılarak pot çemberi taslağını oluşturuldu. Erkek kalıpta yapıldığı gibi geliştirilmiş yüzeyi 40mm alt tarafa kopyalanarak pot çemberinin sac ile temas yüzeyini oluşturuldu. Pot emberinde et kalınlığını W-DX12-4M standardına göre 40mm olarak oluşturuldu [21]. Pot emberinin mukavemetini artırılabilmesi için destek federlerini oluşturuldu. Pot emberinin rahatlıkla kaldırılabilmesi için kaldırma kolları oluşturuldu.



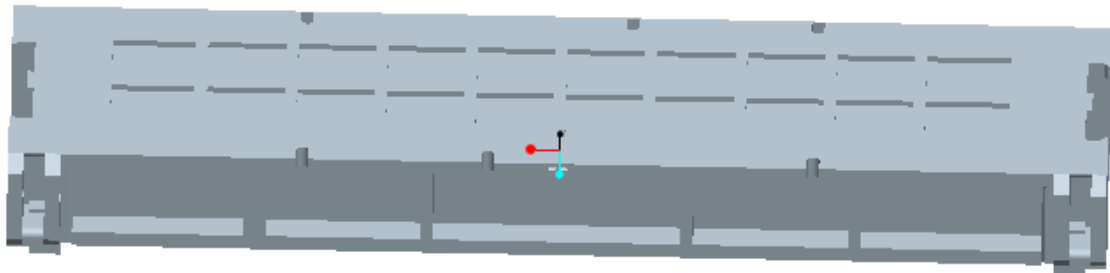
şekil 3.4 Pot emberi

3.6. Alt Kalıp

Alt kalıp malzemesi yoğunluğu $\rho_{\text{EN-JS-2070}} = 7.8 \times 10^{-6} \text{ kg/mm}^3$ olan EN-JS 2070 dir [21]. Alt kalıbın ağırlığı 2510kg dır Ayrıca geliştirilmiş yüzey kullanılmadan oluşturulan tek ana kalıp elemanı alt kalıptır.

Alt kalıp oluşturulurken ilk başta 40mm et kalınlığına sahip olan taban oluşturuldu [21]. Tabanın büyüklüğü erkek kalıp ve pot çemberine göre ayarlandı. Alt kalıba ait yataklama bölgeleri oluşturuldu. Yataklama bölgeleri işlem kolaylığı olsun diye ilk başta 1 tane çizildi, sonra kopyalanarak 4 köşeye yerleştirildi. Alt kalıpta pot çemberi ile temasta olacak alt kalıp – pot yataklama duvarları oluşturuldu. Tabi bu

duvarların üzerinde hareketten oluşan sürtünmeleri en aza indirmek için sürtünme plakası (wear plate) yerleri açıldı. Ayrıca alt kalıbın prese konumlanması için montaj delikleri açıldı. Montaj delikleri presin konumlarına göre düzenlendi. Alt kalıp duvarlarına 40mm lik 8 tane destek federleri oluşturuldu[21]. Federler kalıbın çalışması esnasında yan duvarları daha sağlam hale getirir. Kalıbın döküm ağırlığını azaltılabilmesi için gerekli boşaltmalar yapıldı. Bu boşaltmalar hem kalıbın ağırlığını büyük ölçüde düşürüyor ve malzeme israfını önlemektedir.



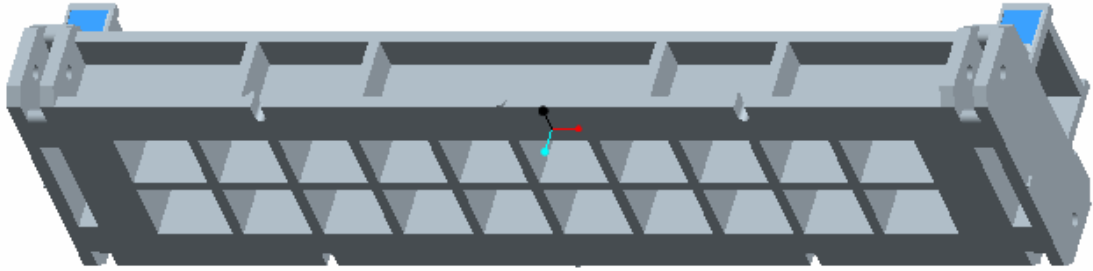
Şekil 3.5 Alt kalıpta gerekli boşaltmaların yapılması.

3.7. Üst Kalıp

Üst kalıp malzemesi yoğunluğu $\rho_{EN-JS-2070} = 7.8 \times 10^{-6} \text{ kg/mm}^3$ olan EN-JS 2070 dır[21]. Üst kalıbın ağırlığı 3517kg dır.

Üst kalıp alt tabanı oluşturuldu. Dışarıdan gelen (external) yüzey bulunmadığı için tabanı oluşturulduktan sonra üstüne dişi kalıbı çizildi. Dişi kalıp oluşturulurken tamir edilmiş geliştirilmiş yüzeyden faydalanıldı. Dişi kalıp kesme yüzeyi oluşturulurken erkek kalıp ve pot çemberinde yapıldığı gibi yüzey 40mm kopyalandı [21]. Üst kalıp yataklama bölgeleri oluşturuldu. Alt kalıptaki gibi 1 tane oluşturulan yataklama bölgesi kopyalanarak çoğaltıldı. Bu kısımlar alt kalıp ile uyumlu olmak zorundadır çünkü iki ana unsur (alt kalıp ve üst kalıp)kalıp çalışırken birbirine temas etmemesi gerekir. Ayrıca alt kalıp ve üst kalıp arasındaki sürtünmeleri göz önüne alarak sürtünme plakaları kullanıldı. Üst kalıpta yan duvarlar ve yan duvarlara destek sağlayan 40mm'lik federler oluşturuldu [21]. Sonra üst kalıbın prese konumlanması için montaj delikleri oluşturuldu. Montaj delikleri prese göre ayarlandı. Son olarak

döküm ağırlığını hafifletmek ve malzeme israfını önlemek için gerekli boşaltmalar yapıldı. Boşaltmalar dış kalıbı oluşturan geliştirilmiş yüzeye kadar olmalıdır. Üst kalıptaki boşaltma alt kalıptaki boşaltmadan daha fazladır. Böylelikle daha fazla malzeme tasarrufu sağlanmış olur.



Şekil 3.6 Üst kalıpta gerekli boşaltmaların yapılması

3.8. Yardımcı Elemanlar

Transfer plakası: Kalıp kapalı iken rahatlıkla taşınabilmesi için kullanılmaktadır. 4 adet kullanıldı.

Durdurma bloğu: Kalıp çalışırken alt kalıp ve üst kalıbın birbirine değmemeleri için konulmuştur. 4 adet kullanıldı. WDX13-60-1605-B standardına göre oluşturuldu [21].

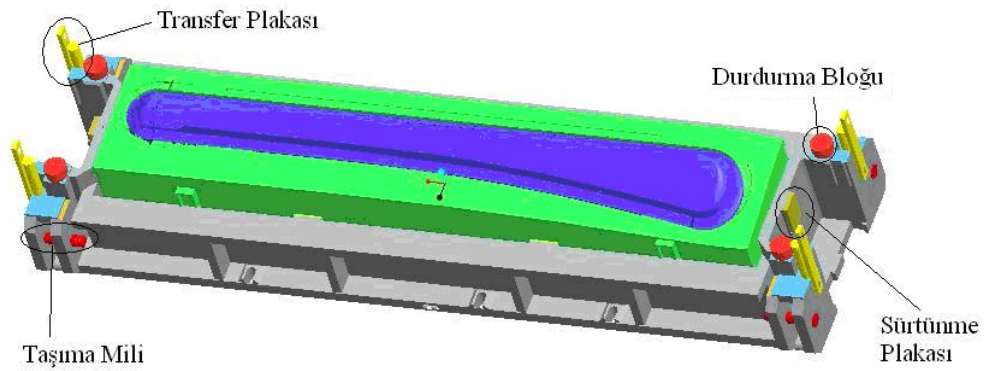
Sürtünme plakası: Sürtünme plakası kalıp çalışırken birbirlerine değen ve belli bir sürtünme oluşturacak yüzeylere konulmalıdır. Kalıp oluştururken alt kalıp ve üst kalıp arasına, pot çemberi ile erkek kalıp arasına sürtünme plakaları yerleştirildi. Sürtünme plakası alt kalıpta 8, üst kalıpta 3 olmak üzere 11 adet kullanılmıştır. WDX13-62-02125315-D ve WDX13-62-02160250-Y standartlarına göre oluşturuldu [21].

Taşıma mili: Alt kalıpta bulunur ve alt kalıbın taşınması için kullanılır. 4 adet kullanıldı. WDX22-70-D1D63 standardına göre oluşturuldu [21].

3.9. Montaj

3.9.1. Alt montaj

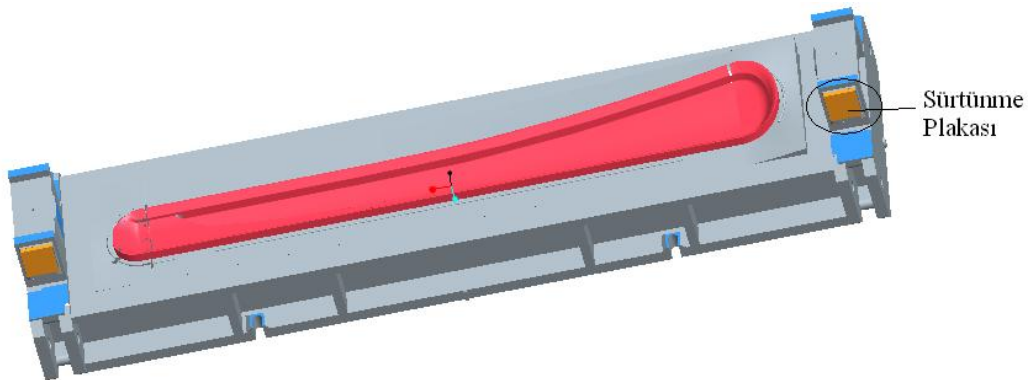
Alt montajda alt kalıp, durdurma bloğu, taşıma mili, sürtünme plakası, transfer plakası, pot çemberi, erkek kalıp bulunmaktadır. Alt montaj toplam ağırlığı 4612kg dır.



Şekil 3.7 Alt montaj

3.9.2. Üst Montaj

Üst montajda üst kalıp ve sürtünme plakası bulunmaktadır. Üst montaj toplam ağırlığı 3530kg dır.



Şekil 3.8 Üst montaj

3.9.3. Komple montaj

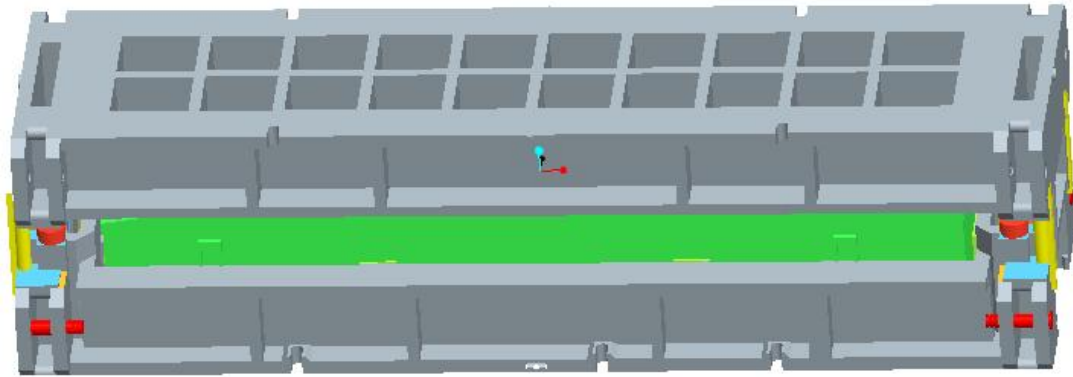
Komple montaj alt ve üst montajların tekrar montaj edilmeleri ile oluşmaktadır. İki çeşit gösterimi vardır.

1. Kapalı haldeki montaj
2. Açık haldeki montaj

Kapalı haldeki montaja komple montaj denilirken açık haldeki montaja komple otomasyon montajı denilmektedir.

3.9.3.1. Kapalı haldeki montaj

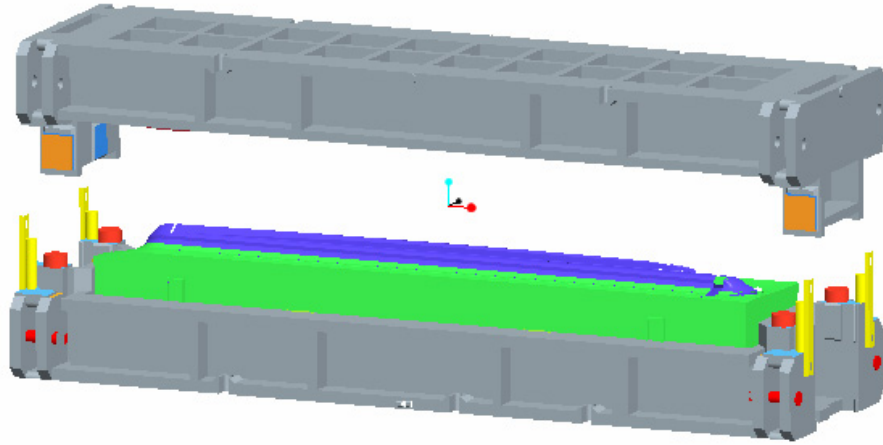
Kalıbın taşınması esnasındaki halidir. Presin konumuna göre ayarlandı. Kapalı haldeki yükseklik değişince kalıp içindeki temel elemanların boyutlarında değişiklik yapılmalıdır. Kalıp kapalı haldeki yüksekliği 922mm dir.



Şekil 3.9 Kapalı haldeki komple montaj

3.9.3.2. Açık haldeki yüksekliği

Kalıbın en çok açılabilirdiği durumdur. Presin konumuna göre ayarlandı. Kalıp açık haldeki yüksekliği 1422mm dir.



Şekil 3.10 Açık haldeki komple montaj

3.10. WDX Standartları

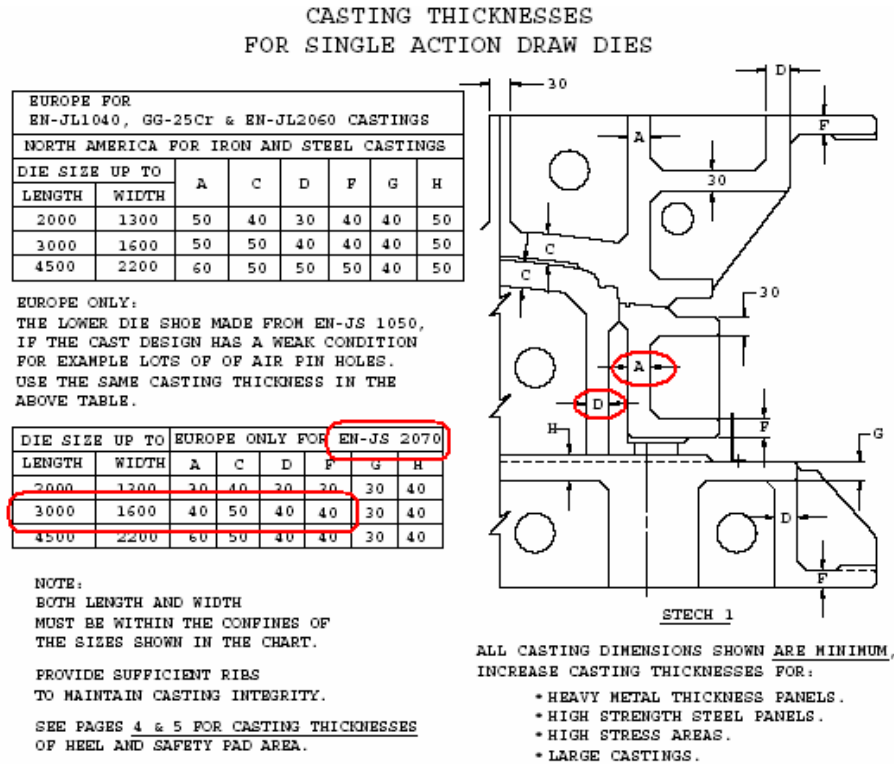
WDX standartları Ford Otomotiv firmasında Takım Kalıp ve Prototip bölümünde sac metal kalıp tasarımında kullanılmaktadır. WDX in açılımı Worldwide Die Design and Construction Specifications dir. WDX standartları tecrübeler sonucunda oluşturulmuştur. WDX standartları her geçen gün yenilenmektedir yani yaşayan bir varlıktır.

3.10.1. WDX standartlarına örnekler

Tasarım sırasında WDX standartları aktif olarak kullanıldı. Kullanılan standartlar;

- 1 Kalıp elemanları parça seçiminde,
- 2 Erkek kalıp ve pot çemberi duvar kalınlıkları tespitinde,
- 3 Erkek kalıp taşıma deliklerini tespitinde,
- 4 Alt kalıp ve üst kalıp destek federlerinin oluşturulmasında,
- 5 Alt kalıp taban kalınlığının tespitinde ,
- 6 Yardımcı elemanların boyutlandırmasında,
 - a) Durdurma bloğu
 - b) Sürtünme plakası
 - c) Taşıma mili.

Erkek kalıp ve pot çemberi duvar kalınlıkları tespitinde W-DX12-4M standardına göre oluşturuldu. [21]

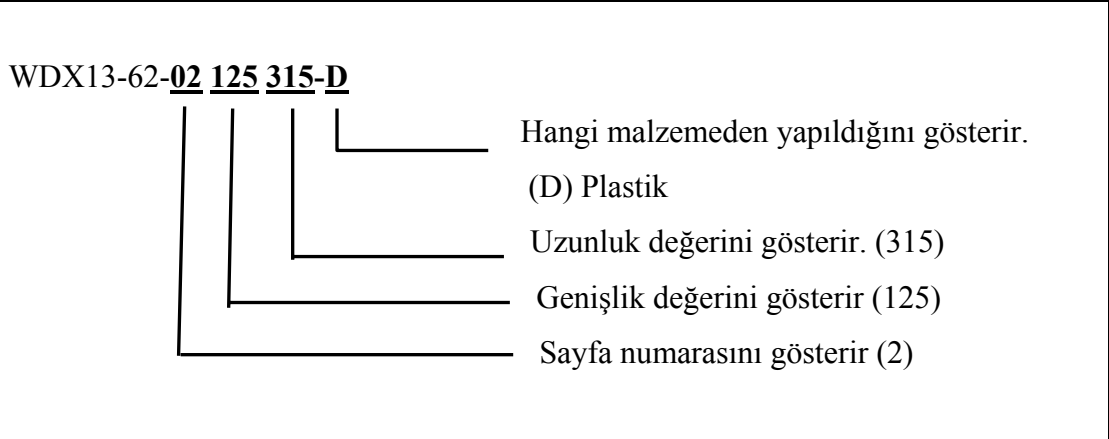


Şekil 3.11 Erkek kalıp ve pot çemberi duvar kalınlıkları tespiti [21]

Alt kalıp ve üst kalıp uzunluk ve genişliğine göre ve seçilen malzemeye göre seçim yapıldı. Buna göre erkek kalıp ve pot çemberi duvar kalınlıkları 40mm olarak belirlendi [21].

Sürtünme plakaları WDX13-62-02125315-D standardına göre oluşturuldu. Sürtünme plakaları standartlarında uygulanan kodlar sürtünme plakası boyutları ve malzemesi hakkında bilgi verir [21].

Tablo 3.2 Sürtünme plakası WDX kodları [21]



WIDTH W	LENGTH L	FORD PART NUMBER	A	B	C	D	E	F	G	SCR. HOLES	
										AMT.	PATT.
50	100	WDX13-62-02050100-	25		25	30			60	2	A
50	150	WDX13-62-02050150-	25		25	30			110	2	A
50	200	WDX13-62-02050200-	25		25	40			160	2	A
80	100	WDX13-62-02080100-	20		80	30			60	2	A
80	150	WDX13-62-02080150-	20		80	30			110	2	A
80	200	WDX13-62-02080200-	20		80	40			160	2	A
80	250	WDX13-62-02080250-	20		80	40			210	2	A
80	315	WDX13-62-02080315-	20	40	60	40		250	275	3	B
100	100	WDX13-62-02100100-	22		78	30			60	2	A
100	150	WDX13-62-02100150-	22		78	30			110	2	A
100	200	WDX13-62-02100200-	22	50	78	40		135	160	3	B
100	250	WDX13-62-02100250-	22	50	78	40		185	210	3	B
100	315	WDX13-62-02100315-	22	50	78	40		250	275	3	B
125	100	WDX13-62-02125100-	25		100	30			60	2	A
125	150	WDX13-62-02125150-	25		100	30			110	2	A
125	200	WDX13-62-02125200-	25	82	100	40		135	160	3	B
125	250	WDX13-62-02125250-	25	82	100	40		185	210	3	B
125	315	WDX13-62-02125315-	25		100	40	65	250	275	4	C
160	100	WDX13-62-02160100-	30		130	30			60	2	A

Şekil 3.12 Sürtünme plakası tespiti [21]

BÖLÜM 4. ANALİZLER VE SONUÇLAR

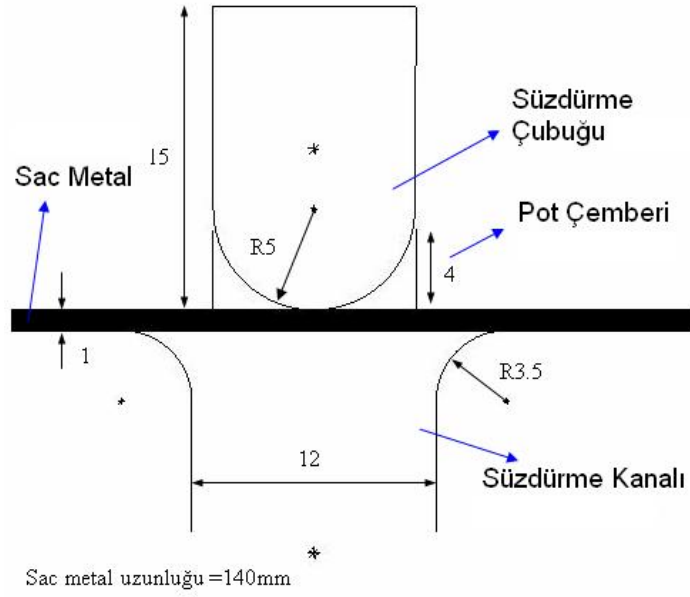
4.1. Analizin Tanımlanması

Çekme kalıplarında bulunan süzdürme çubuğu ve kanalından geçen sacın deformasyon değerlerini incelemek ve dairesel formdaki bir süzdürme çubuğu için kaldırma ve gergi kuvvetlerini hesaplamak için bu analizler yapıldı. Üç farklı durumda analizler yapıldı;

1. Komponentler arası sürtünme ihmal edildi ve malzeme izotropik pekleşme kuralına göre düzenlendi
2. Kanal ile sac arası 0.125' lik sürtünme var ve malzeme izotropik pekleşme kuralına göre düzenlendi.
3. Komponentler arası sürtünme ihmal edildi ve malzeme kinematik pekleşme kuralına göre düzenlendi.

4.1.1. Geometri

Çubuk yarıçapı 5mm, uzunluğu 15mm dir. Kanal yarıçapı 3.5mm, genişliği 12mm dir. Pot çemberi yüksekliği 4mm dir ve pot çemberi sacı boydan boya sarmaktadır. Sac kalınlığı 1mm ve uzunluğu 140mm dir. Çubuk ile kanal arası yatay uzaklık 1mm dir.



Şekil 4.1 Süzdürme çubuğu ve kanalı geometrisi

4.1.2. Malzeme özellikleri

Sac derin çekme kaliteli çeliktir. (DDQ).

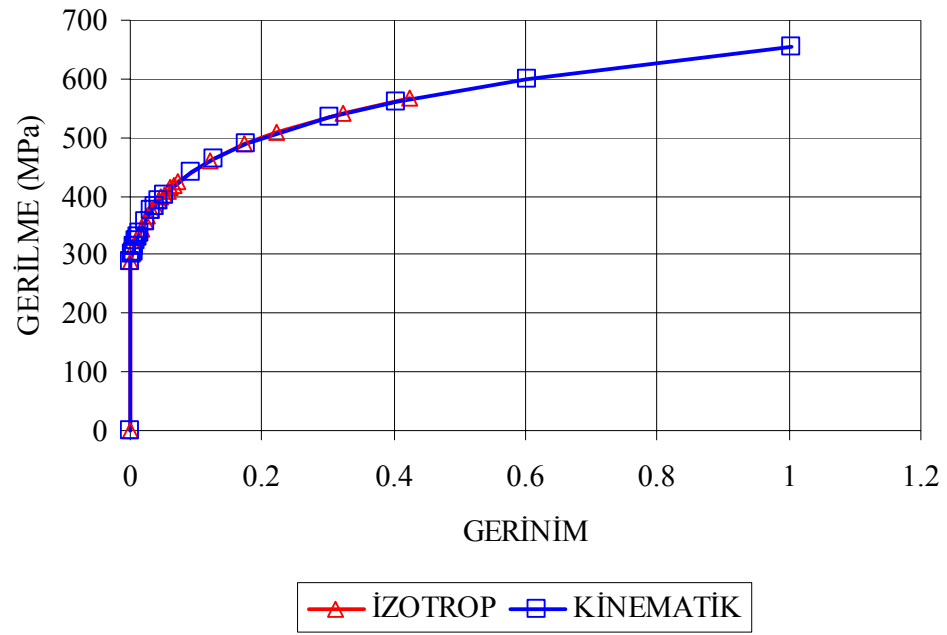
Sac malzemenin elastik özellikleri;

- Elastik modül, E: 207 GPa
- Poisson sabiti, ν : 0.3

Malzemenin plastik özellikleri ya da basit çekme testinden elde edilen değerleri;

- Pekleşme katsayısı, K: 654 MPa
- Pekleşme üstü, n: 0,12
- Akma gerilmesi: 289.2MPa

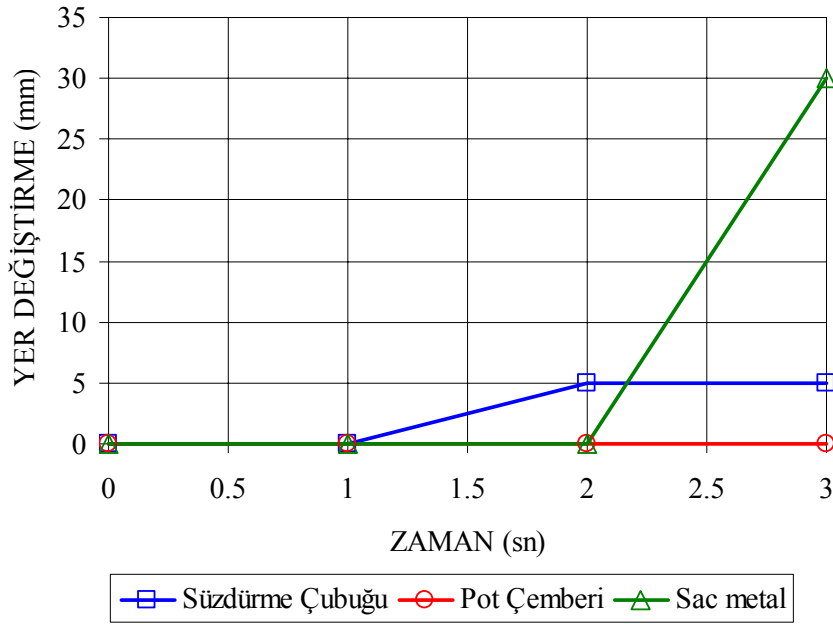
İki farklı pekleşme kuralına göre analiz yapıldı. Bunun için malzeme izotropik pekleşme ve kinematik pekleşme kuralına göre düzenlendi.



Şekil 4.2 Malzemeye ait gerilme - gerinme eğrisi

4.1.3. Sınır koşulları

Pot çemberi işlem boyunca saca baskı uyguladı. Çubuk 1.sn ve 2.sn arasında saca düşey yönde 5mm' lik yer değiştirme yaptı. Sac 2.sn sonunda 30mm' lik yana çekildi.



Şekil 4.3 Sınır koşulları

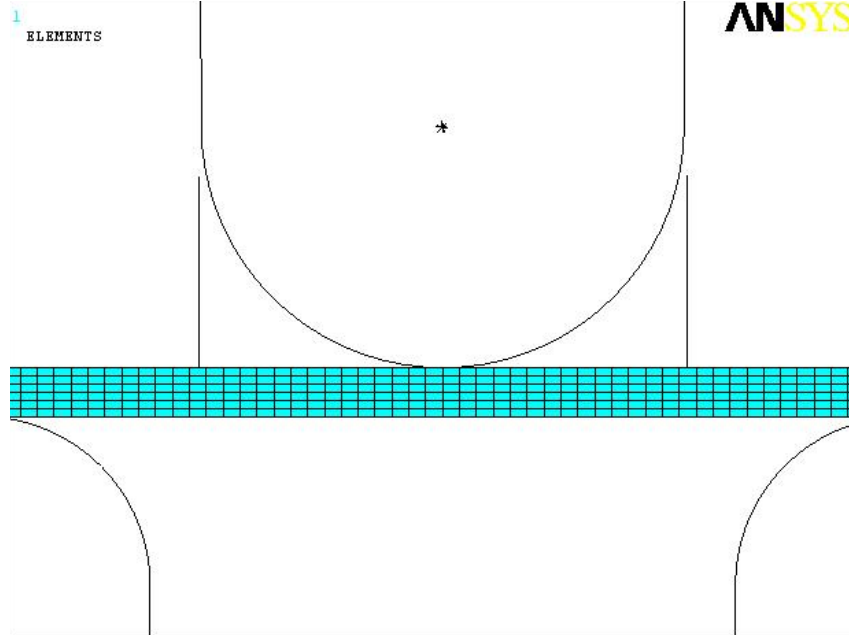
4.1.4. Sonlu elemanlar ağı

Kalınlık yönünde 6 eleman kullanıldı. Yatay yönde 0.35mm' lik ağ yapısı oluşturuldu. Buna göre boyutsal oranı 2.1 olarak belirlendi. Ansys Plane182 elemanı kullanıldı. Kontak elemanı olarak Ansys Conta171 ve Ansys Targe169 elemanı kullanıldı.

Sac malzemede kullanılan eleman 4 düğüm noktalı dikdörtgen yapılıdır. Sadece düşey ve yatay yönde yer değiştirmeye izin vermektedir, dönme serbestliği yoktur.

Ansys Conta171 elemanı yüzey – yüzey kontak algoritmasında kullanabilen, her zaman esnek malzeme olarak kullanılan, X ve Y' de harekete izin veren, iki düğüm noktalı ve doğrusal olmayan analizlerde kullanılabilen bir elemandır [22].

Ansys Targe169 elemanı yüzey – yüzey ve düğüm noktası – yüzey kontak algoritması olarak kullanılabilen, esnek veya rijit malzeme olarak kullanılan, X ve Y' de harekete izin veren, üç düğüm noktalı, doğrusal olmayan analizlerde kullanılabilen bir elemandır [22].



Şekil 4.4 Sonlu elemanlar ağı

4.2. Analiz Sonuçları

4.2.1. Genel sonuçlar

Çubuk, kanal, pot çemberi ve sacı temsil eden pilot düğüm noktalarından reaksiyon kuvveti verileri toplandı. Bu değerler ışığında düşey ve çekme yönündeki kuvvet dengeleri verildi. Dengeler sonucunda oluşan maksimum düşey yöndeki kuvvet sac üzerinde oluşan kaldırma kuvvetini, maksimum çekme yönündeki kuvvet sac üzerinde oluşan gergi kuvvetini vermektedir.

4.2.1.1. Düşey yöndeki kuvvet dengesi

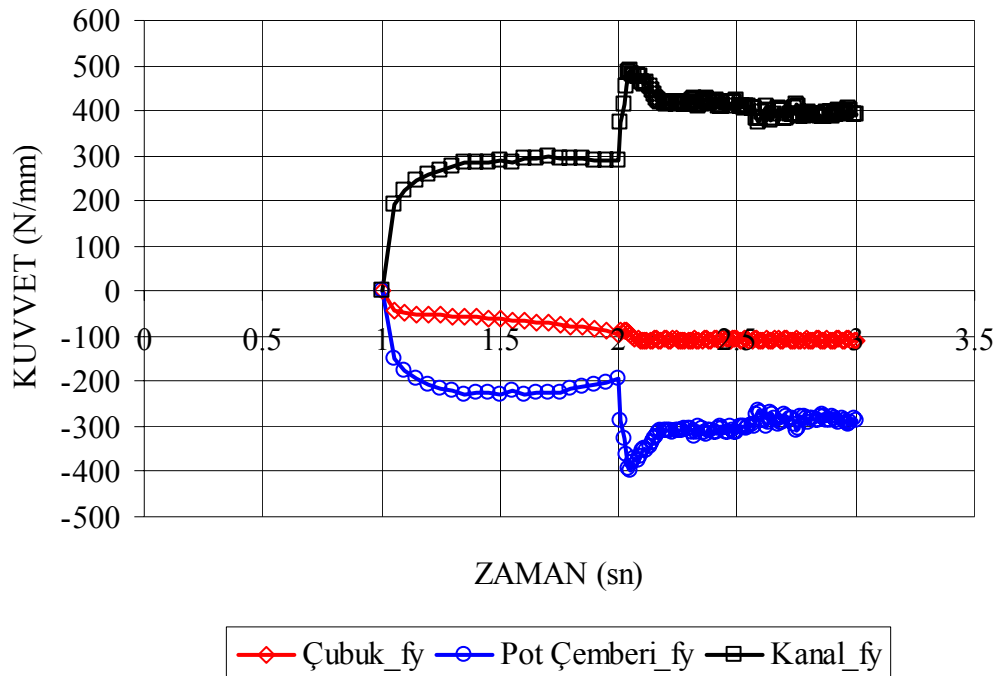
Düşey yönde kanal kuvveti; çubuk kuvveti ile pot çemberi kuvvetinin toplamına eşittir. Kanal üzerinde oluşan maksimum düşey kuvvet kaldırma kuvvetidir.

$$f_{\text{kanal}} = f_{\text{çubuk}} + f_{\text{pot}} \quad (4.1)$$

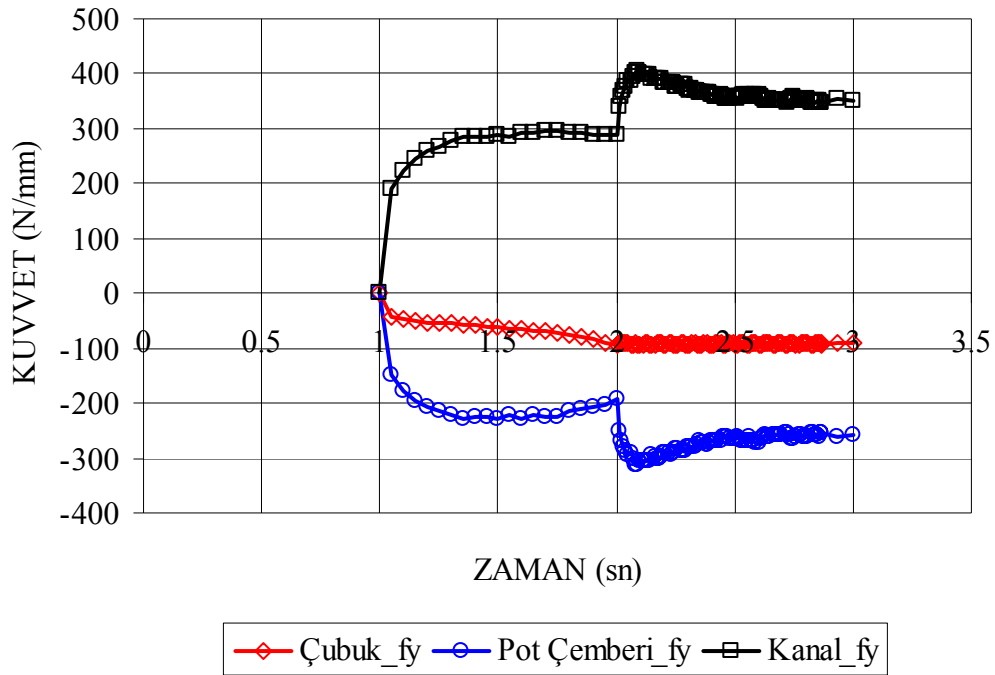
Üç durumda kuvvet değerlerinin değişim karakteristiği aynıdır. Çubuk kuvveti sacın çekilmesi anına kadar artarken sonra sabit bir değere ulaşmıştır. Pot çemberi ise sacın çekilmesi ile beraber hızlı bir artış göstermiştir fakat sonra azalarak sabit bir değere ulaşmıştır. Kanal kuvveti pot çemberi kuvveti gibi sacın çekilmesi ile hızlı bir artış göstermiştir sonra sabit bir değere ulaşmıştır.

İzotropik pekleşme altında çözülen analizlerde kuvvet değerleri birbirine yakın çıkmıştır. Maksimum çubuk kuvveti 100N, pot çemberi kuvveti 400N, kanal kuvveti ise 500N dur. Sürtünmesiz durumdaki kuvvet değerleri çok azda olsa yüksek çıkmıştır.

Sürtünmesiz durumda çözülen analizlerde kuvvet değerleri birbirinden farklıdır. Kinematik pekleşmede çözülen analizde pot çemberi kuvveti daha azdır ve buna bağlı olarak kanal kuvveti daha az çıkmıştır. Kinematik pekleşme ile çözülen analizde oluşan maksimum çubuk kuvveti 100N, pot çemberi kuvveti 300N, kanal kuvveti 400N dur.



Şekil 4.5 İzotropik pekleşme ve sürtünmesiz durumdaki düşey yöndeki kuvvet dengesi



Şekil 4.6 Kinematik pekleşme ve sürtünmesiz durumdaki düşey yöndeki kuvvet dengesi

4.2.1.2. Çekme yöndeki kuvvet dengesi

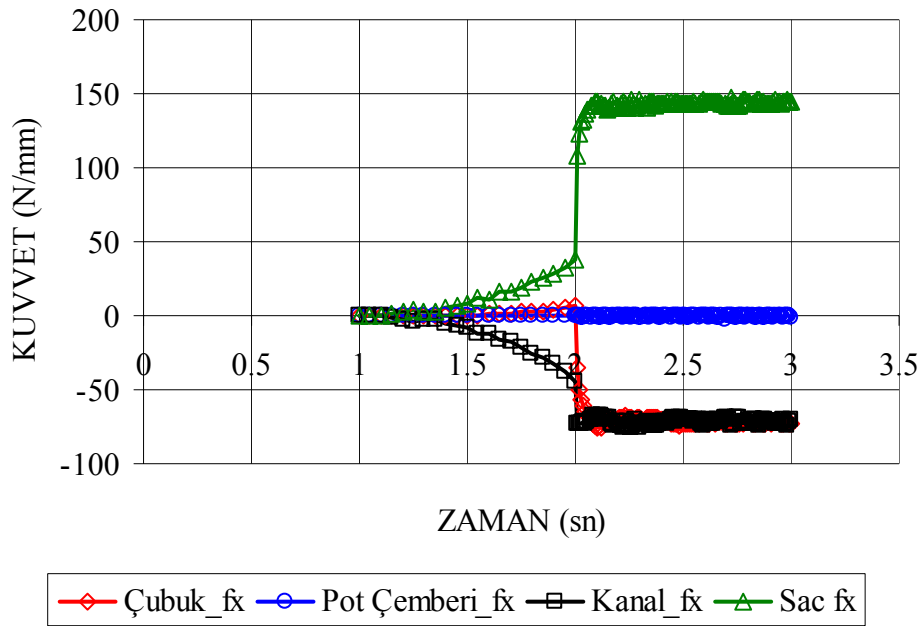
Çekme yönündeki sac kuvveti; çubuk kuvveti, kanal kuvveti ve pot çemberi kuvvetinin toplamına eşittir. Sac üzerinde oluşan maksimum çekme kuvveti gergi kuvvetidir.

$$f_{\text{sac}} = f_{\text{çubuk}} + f_{\text{kanal}} + f_{\text{pot}} \quad (4.2)$$

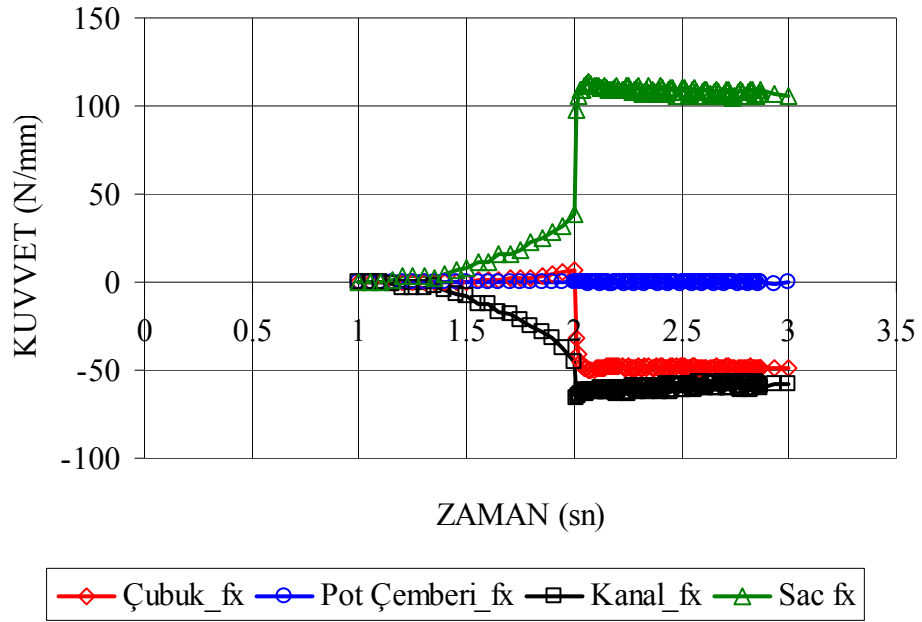
Üç durumda kuvvet değerlerinin değişim karakteristiği aynıdır. Pot çemberi üzerine çekme yönünde hiçbir kuvvet etmediği için pot çemberi kuvveti üç durumda da sıfıra çok yakındır. Çubuk kuvveti sacın çekilmesi ile hızlı bir şekilde artmış ve sabit değere ulaşmıştır. Kanal kuvveti sacın çekilmesi esnasına kadar orantısal bir artış göstermiş ve sabit değere ulaşmıştır. Sac kuvveti de sacın çekilmesi ile hızlı bir artış gösterip sabit bir değere ulaşmıştır.

İzotropik pekleşme altında çözülen analizlerde kuvvet değerleri birbirine yakın çıkmıştır. Maksimum çubuk kuvveti 75N, kanal kuvveti ise 75N ve sac kuvveti 150N dur. Sürtünmeli durumdaki kuvvet değerleri çok azda olsa yüksek çıkmıştır.

Sürtünmesiz durumda çözülen analizlerde kuvvet değerleri birbirinden farklıdır. Kinematik pekleşmede çözülen analizde çubuk kuvveti ve kanal kuvveti daha azdır ve buna bağlı olarak sac kuvveti daha az çıkmıştır. Kinematik pekleşme ile çözülen analizde oluşan maksimum çubuk kuvveti 50N, kanal kuvveti 60N, sac kuvveti 110N dur.



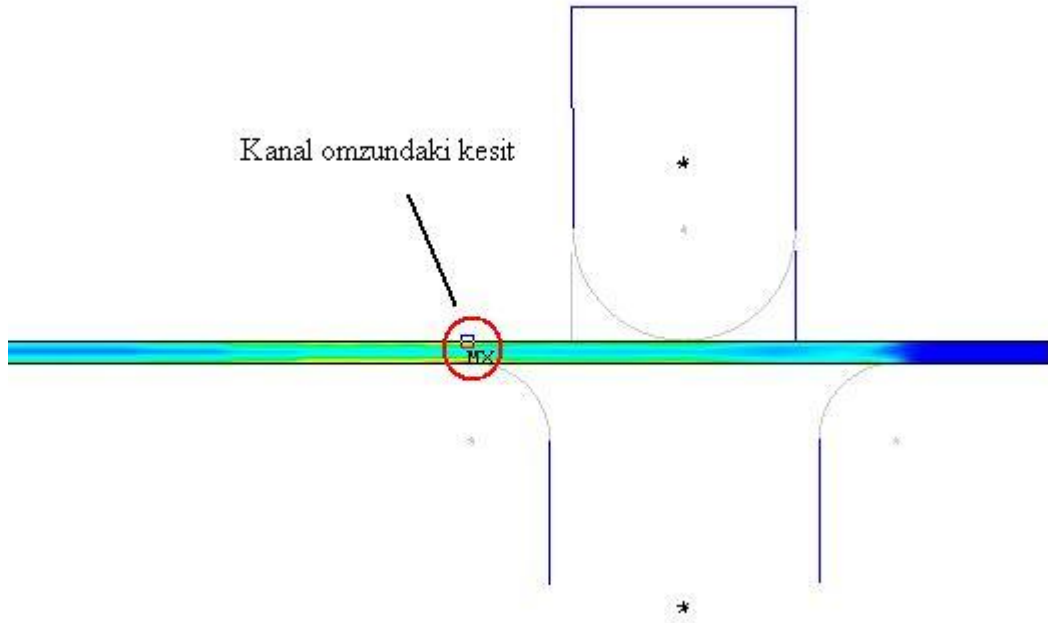
Şekil 4.7 İzotropik pekleşme ve sürtünmesiz durumdaki çekme yönündeki kuvvet dengesi



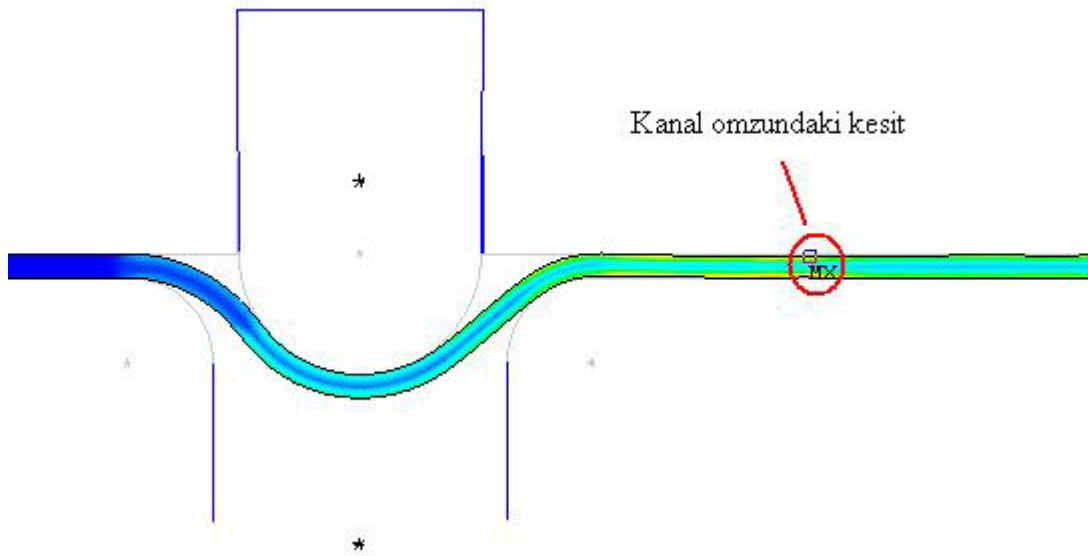
Şekil 4.8 Kinematik pekleşme ve sürtünmesiz durumdaki çekme yönündeki kuvvet dengesi

4.2.2. Yerel sonuçlar

Sac üzerinde en kritik kesit kanal omzundaki kesitten alt taraf, üst taraf ve orta taraf olmak üzere 3 noktadan veriler toplandı. En kritik kesit süzdürme çubuğu ve kanalından tamamen geçen ve başlangıçta kanal omzunda bulunan kesittir.



Şekil 4.9 Deforme olmamış geometride kanal omzundaki kesitin yeri



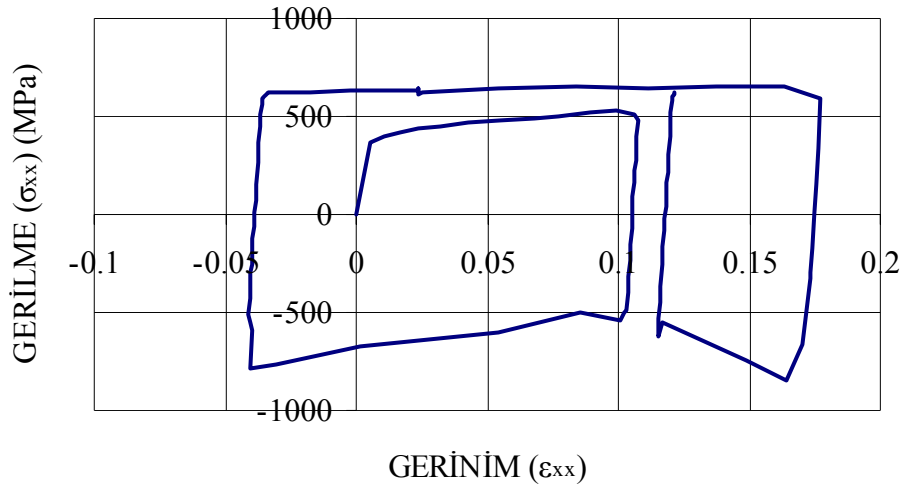
Şekil 4.10 Deforme olmuş geometride kanal omzundaki kesitin yeri

Şekil 4.9 ve Şekil 4.10' da eşdeğer plastik gerinim değerleri gösterilmiştir. Eşdeğer plastik gerinim değerlerine bakarak sacın süzdürme çubuğu ve kanalına girip girmediği anlaşılabilir ya da plastik şekil değişimine uğrayıp uğramadığı anlaşılabilir. Buna göre kanal omzundaki kesit tam olarak süzdürme çubuğu ve kanalından geçmektedir.

4.2.2.1. Kanal omzundaki kesitin üst tarafı

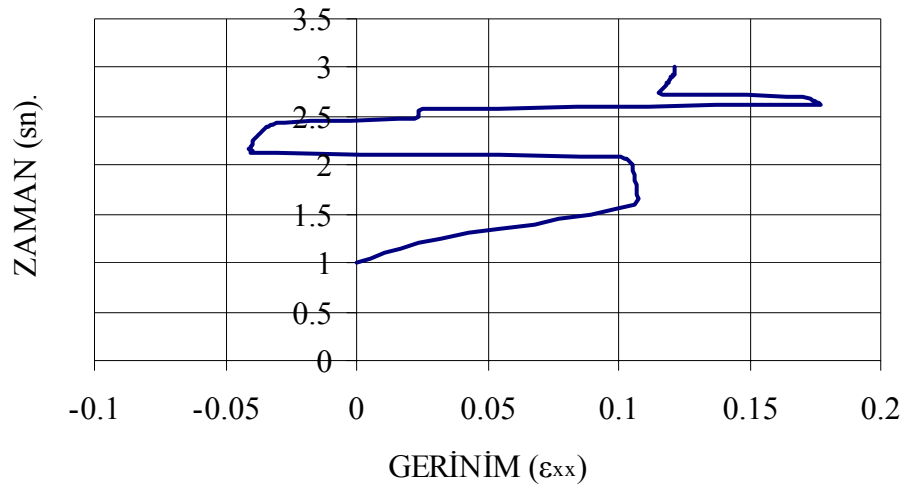
Kesitlere ait gösterilen eğriler komponentler arası sürtünme ihmal edildiği ve malzemenin izotropik pekleşme kuralına göre düzenlendiği analizden alındı.

Başlangıçta kanal omzunda bulunan kesit işlem başlar başlamaz süzdürme çubuğu ve kanalına girmiştir.



Şekil 4.11 Kanal omzundaki kesitin üst tarafına ait gerilim - gerinim eğrisi

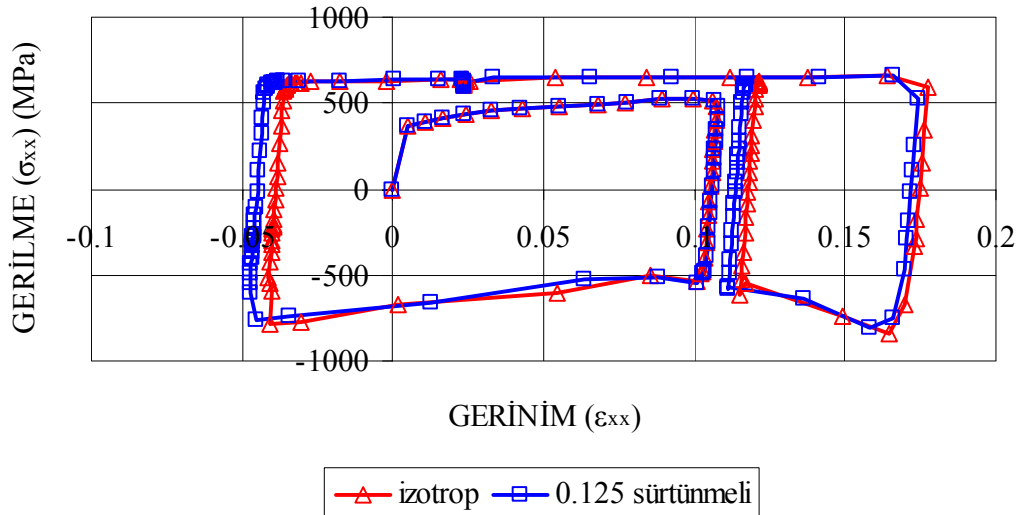
İşlem sonunda kesitin üst tarafı 2.5 bükme, 2.5 doğrulma işlemi gerçekleştirmiştir. Böylelikle 2.5 çevrim oluşmuştur. 2. ile 2.5.sn arasında kesitin üst tarafında bir çevrim oluşmuştur. Diğer çevrim ise 2.5. ile 3.sn arasında tamamlanmıştır. 3.sn sonunda yarım çevrim gerçekleştiren kesitin üst tarafı işlemi tamamlamıştır.



Şekil 4.12 Kanal omzundaki kesitin üst tarafına ait gerinim – zaman eğrisi

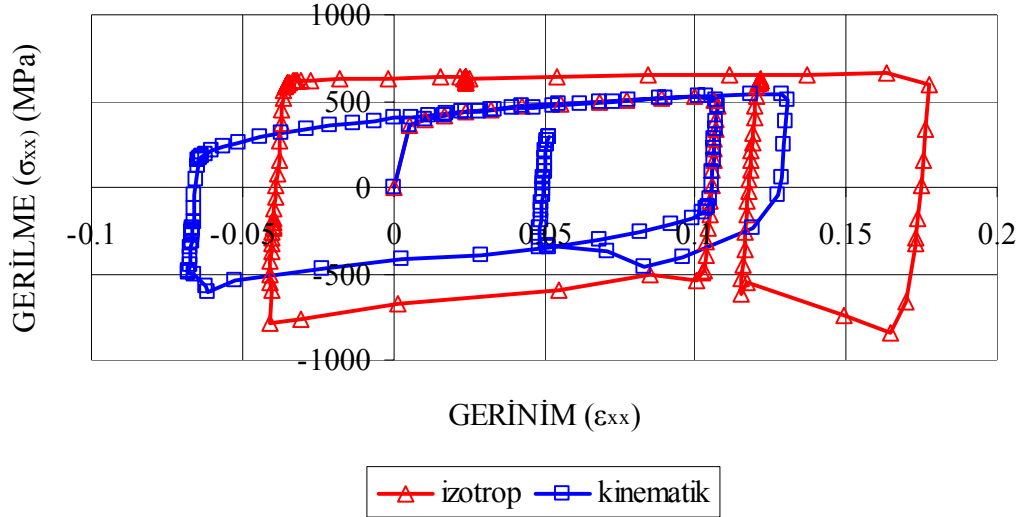
4.2.2.2. Kanal omzunda bulunan kesit üst tarafının üç duruma göre değerlendirilmesi

İzotropik pekleşmeye göre çözülen analizlerde sonuçlar birbirine yakın çıkmıştır. Sürtünmesiz durumdaki değerler, sürtünlü durumdaki değerlerin sağa kaymış halidir.



Şekil 4.13 İzotropik pekleşme ile çözülen analizlerin karşılaştırılması

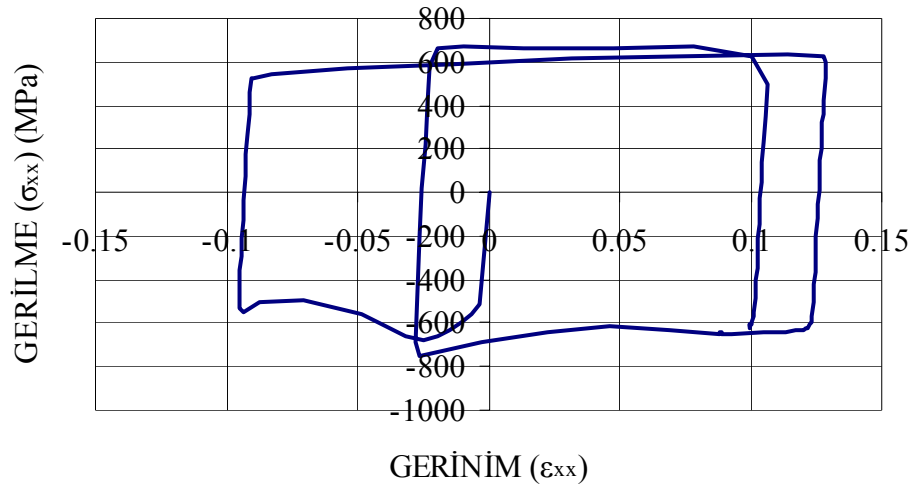
Sürtünmesiz duruma göre çözülmüş analizlerde sonuçlar birbirinden farklıdır. Kinematik pekleşmedeki değerler izotropik pekleşmedeki değerlerden az çıkmıştır.



Şekil 4.14 Sürtünmesiz durumda çözülen analizlerin karşılaştırılması

4.2.2.3. Alt ve üst noktadaki sacın davranışı

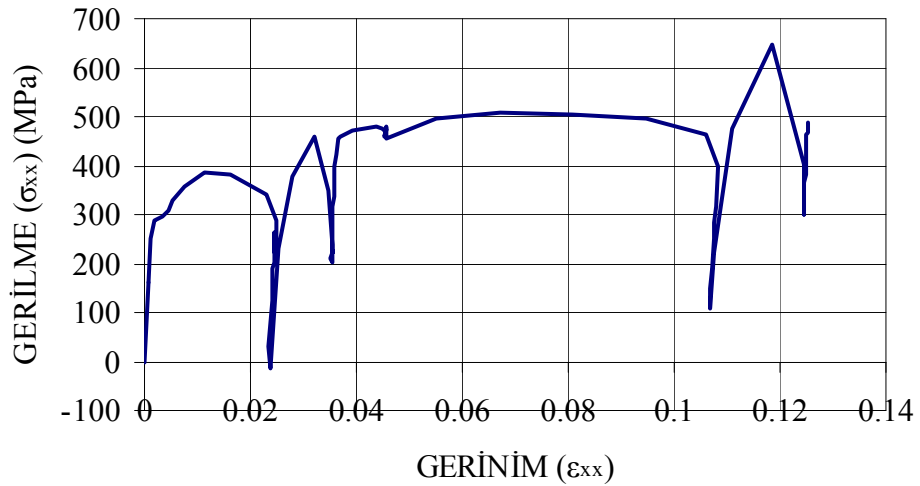
Kesitin üst tarafındaki sonuçlara bakıldığında sac ilk önce çekme gerilmesinin etki ettiği sonra basma gerilmesinin etki ettiği görülmektedir. Kesitin alt tarafında ise durum tam terstir. Bu farklılık gerilme - gerinim eğrisine yansımaktadır. Üst kesitte grafik üst tarafa eğim ile başlarken alt kesitte grafik alt tarafa eğim yaparak başlar. Aynı durum gerilme - zaman ve gerinme - zaman eğrisinde gözlemlenmektedir.



Şekil 4.15 Kanal omzu kesitinde alt noktada oluşan gerilme - gerinme eğrisi

4.2.2.4. Orta kesitteki sacın davranışı

Kesitin alt ve üst taraflarında çevrim oluşumu gözlemlenmektedir ama kesitin orta tarafında herhangi bir çevrim oluşumu ya da kesitte yön değiştirmeler gözlemlenmemektedir.



Şekil 4.16 Kanal omzu kesitinde orta noktada oluşan gerilme - gerinme eğrisi

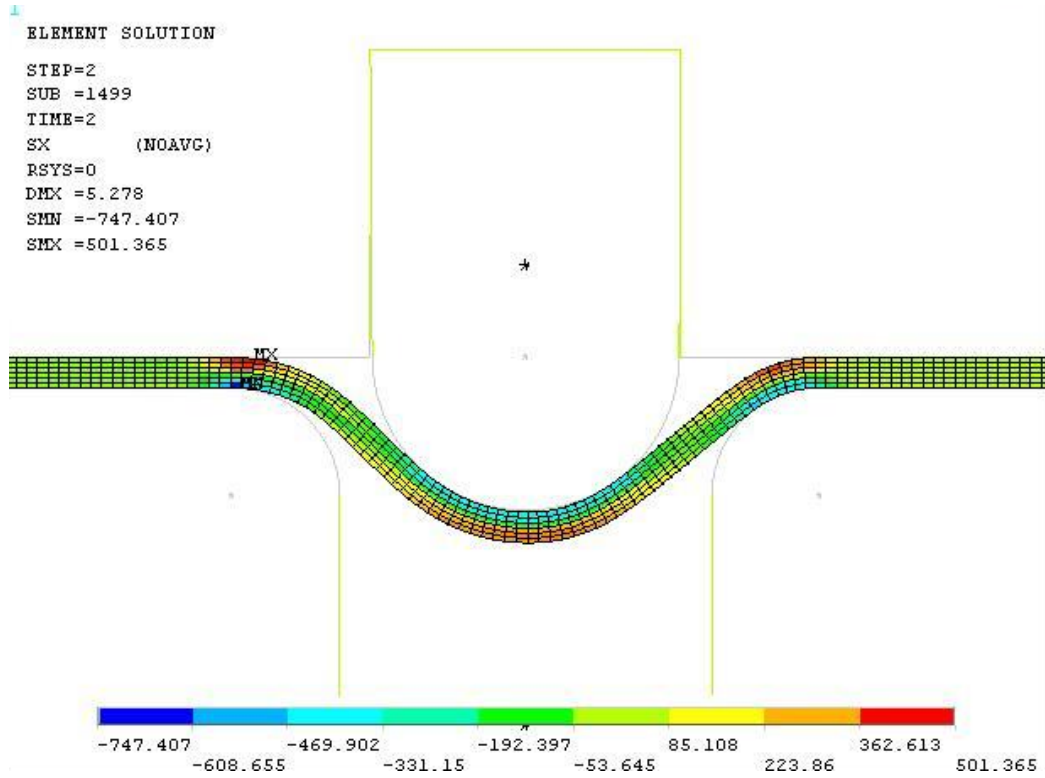
4.2.3. Deformasyon değerlerinin incelenmesi

Deformasyon değerleri komponentler arası sürtünmenin ihmal edildiği ve malzemenin izotropik pekleşme kuralına göre düzenlendiği analizden alındı. Diğer analizlere ait deformasyon değerleri EK kısmında verildi. İncelenecek deformasyon değeri çubuğun basması anında ve sacın çekilmesi esnasında gösterildi ve birbirlerine göre durumları karşılaştırıldı.

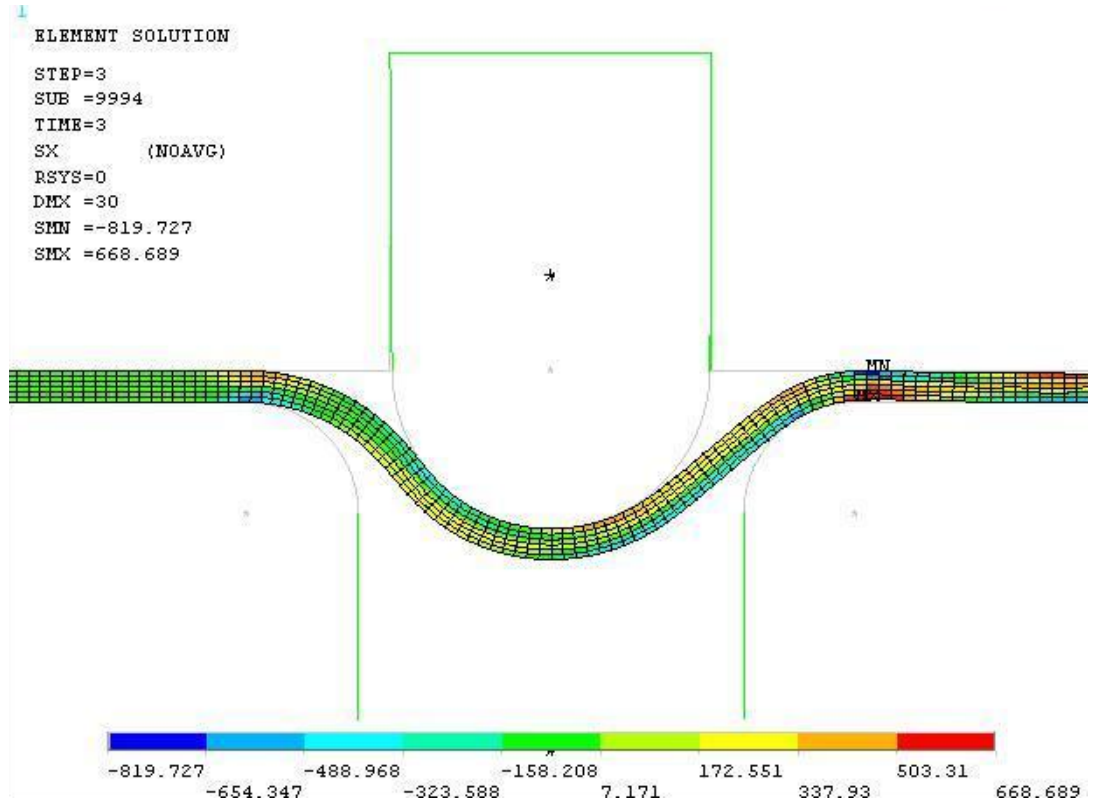
4.2.3.1. Çekme yönündeki gerilme dağılımları

Çubuğun basması anında çekme yönündeki maksimum gerilme değerleri çubuk ve kanal yarıçaplarında çıkmıştır. Kanal yarıçapında sacın üst tarafında çekme gerilmesi olurken alt tarafında basma gerilmesi olmuştur. Maksimum çekme gerilmesi 500MPa, basma gerilmesi 750MPa dır (Şekil 4.17).

Sacın çekilmesi esnasında çekme yönündeki maksimum gerilme değerleri kanal sol omzunda çıkmıştır. Maksimum çekme gerilmesi 670MPa, basma gerilmesi 820MPa dır. Sacın çekilmesi esnasında basma ve çekme gerilmesi değerleri artmıştır. Ayrıca çekme yönünde basma gerilmesi çekme gerilmesinden yüksek çıkmıştır (Şekil 4.18).



Şekil 4.17 Çubuğun basması anında çekme yönündeki gerilme dağılımı (MPa)

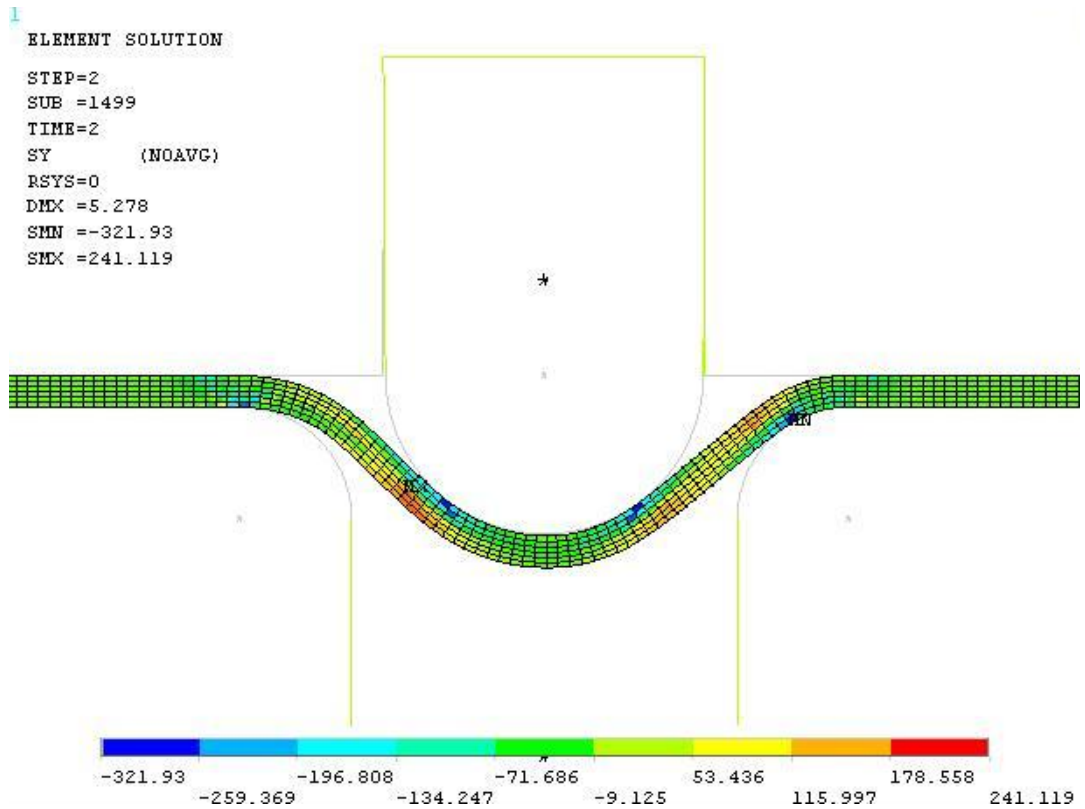


Şekil 4.18 Sacın çekilmesi esnasında çekme yönündeki gerilme dağılımı (MPa)

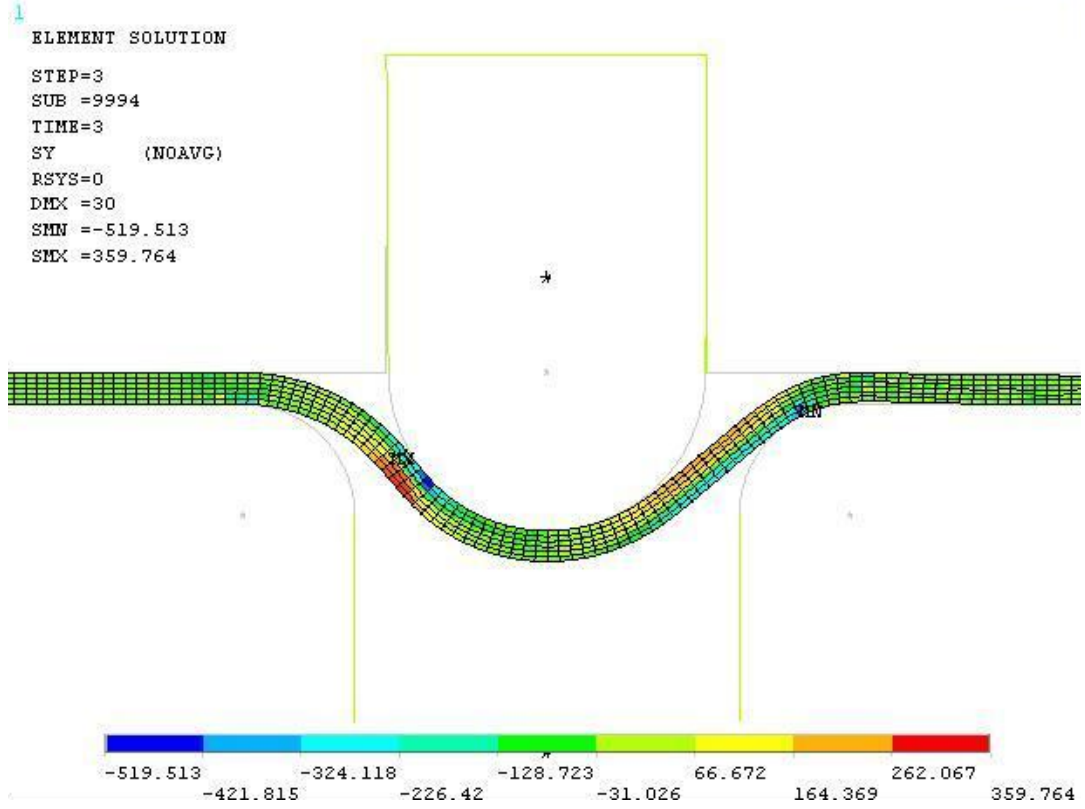
4.2.3.2. Düşey yöndeki gerilme dağılımları

Çubuğun basması anında düşey yöndeki maksimum gerilme değerleri kanal omuzlarında ve çubuğun sağ ve sol kısımlarında çıkmıştır. Maksimum çekme gerilmesi 240MPa, basma gerilmesi 320MPa çıkmıştır (Şekil 4.19).

Sacın çekilmesi esnasında düşey yöndeki maksimum gerilme değerleri çubuğun sağ tarafında çıkmıştır. Maksimum çekme gerilmesi 360MPa, basma gerilmesi 520MPa dır. Bu durumda çekme yönündeki gerilmeler de de gözlendiği gibi düşey yöndeki gerilme değerleri sacın çekilmesi esnasında yükselmiştir. Ayrıca düşey yöndeki basma gerilmesi çekme gerilmesinden yüksek çıkmıştır (Şekil 4.20).



Şekil 4.19 Çubuğun basması anında düşey yöndeki gerilme dağılımı (MPa)

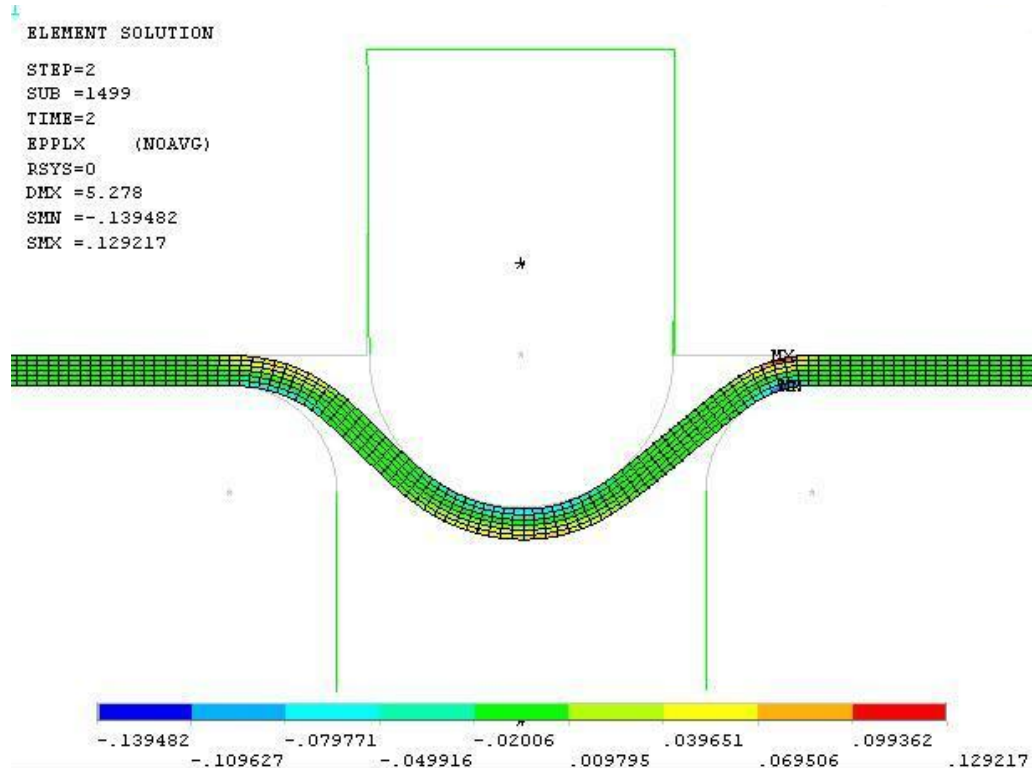


Şekil 4.20 Sacın çekilmesi esnasında düşey yöndeki gerilme dağılımı (MPa)

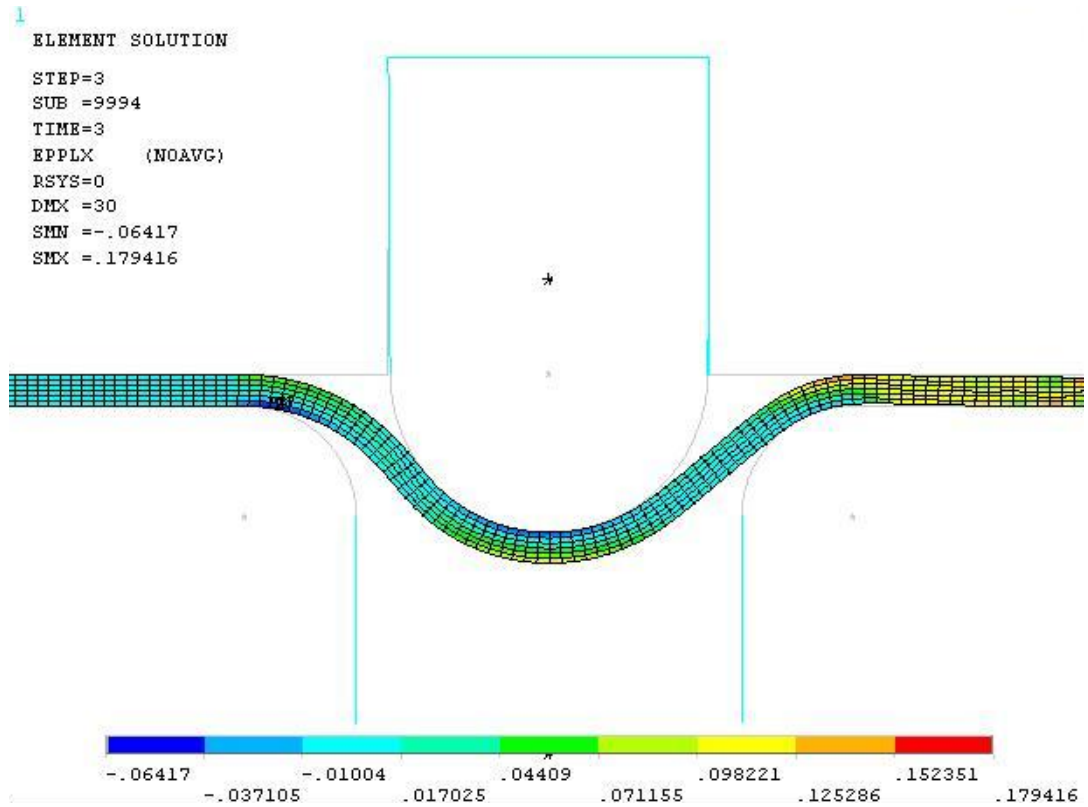
4.2.3.3. Çekme yönündeki gerinim dağılımları

Çubuğun basması anında çekme yönündeki maksimum gerinme değerleri sağ taraftaki kanal omzunda çıkmıştır. Maksimum çekme gerinmesi %13, basma gerinmesi %14 çıkmıştır (Şekil 4.21).

Sacın çekilmesi esnasında çekme yönündeki maksimum gerinme değerleri sol taraftaki kanal omzunda çıkmıştır. Maksimum çekme gerinmesi %18, basma gerinmesi %6 dır. Çubuğun basması anında basma gerinmesi yüksek iken sacın çekilmesi esnasında çekme gerinmesi yüksek çıkmıştır (Şekil 4.22).



Şekil 4.21 Çubuğun basması anında çekme yönündeki gerinim dağılımı

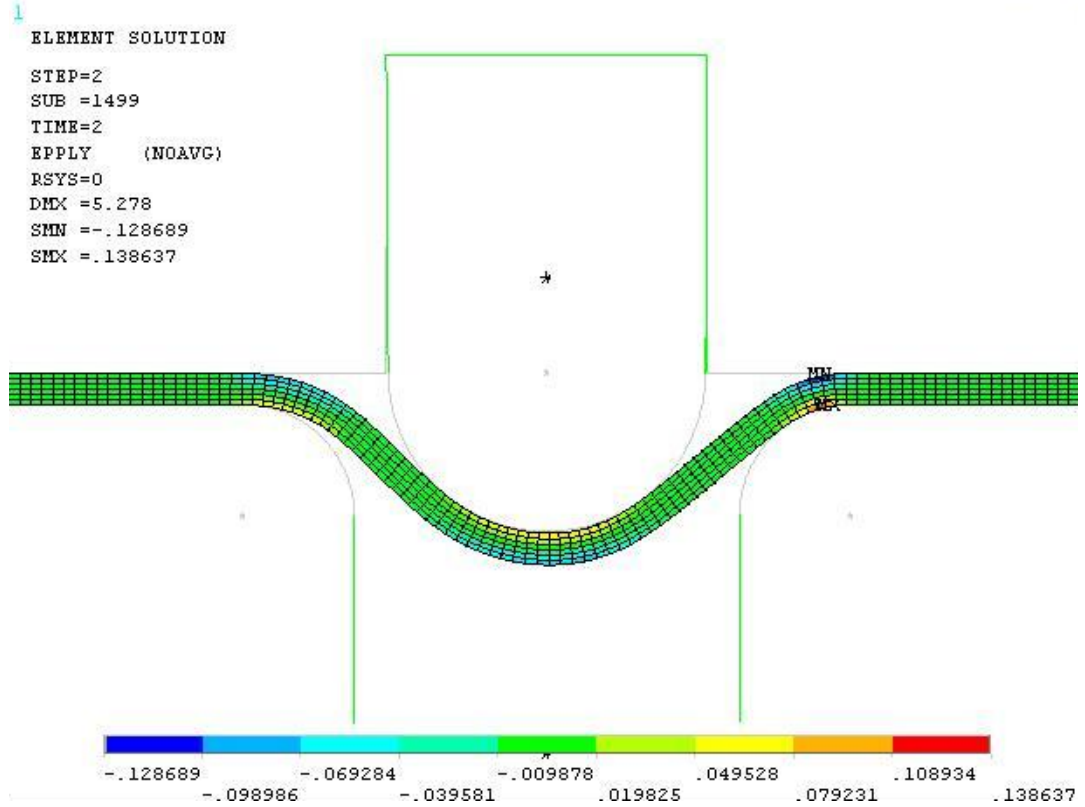


Şekil 4.22 Sacın çekilmesi esnasında çekme yönündeki gerinim dağılımı

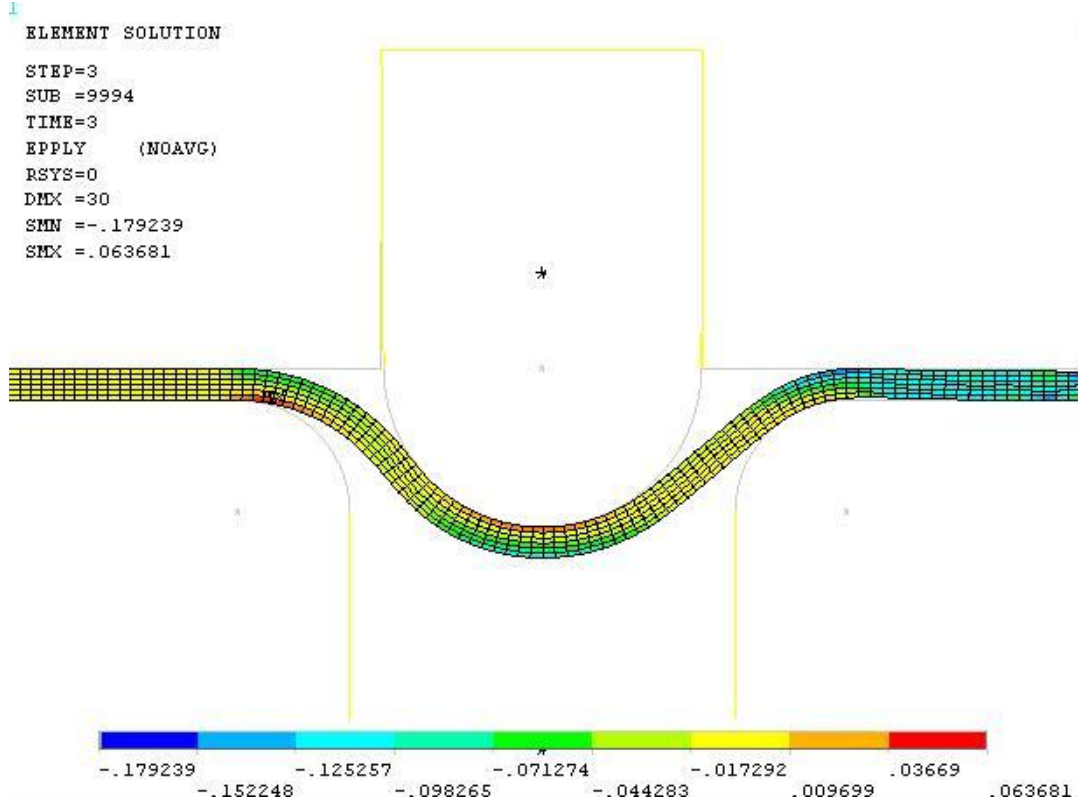
4.2.3.4. Düşey yöndeki gerinme değerleri

Çubuğun basması anında düşey yöndeki maksimum gerinme değerleri sol taraftaki kanal omzunda çıkmıştır. Maksimum çekme gerinmesi %14, basma gerinmesi %13 çıkmıştır (Şekil 4.23).

Sacın çekilmesi esnasında düşey yöndeki maksimum gerinme değerleri sol taraftaki kanal omzunda çıkmıştır. Maksimum çekme gerinmesi %6, basma gerinmesi %18 çıkmıştır. Çubuğun basması anında çekme gerinmesi yüksek iken sacın çekilmesi esnasında basma gerinmesi yüksek çıkmıştır (Şekil 4.24).



Şekil 4.23 Çubuğun basması anında düşey yöndeki gerinim dağılımı

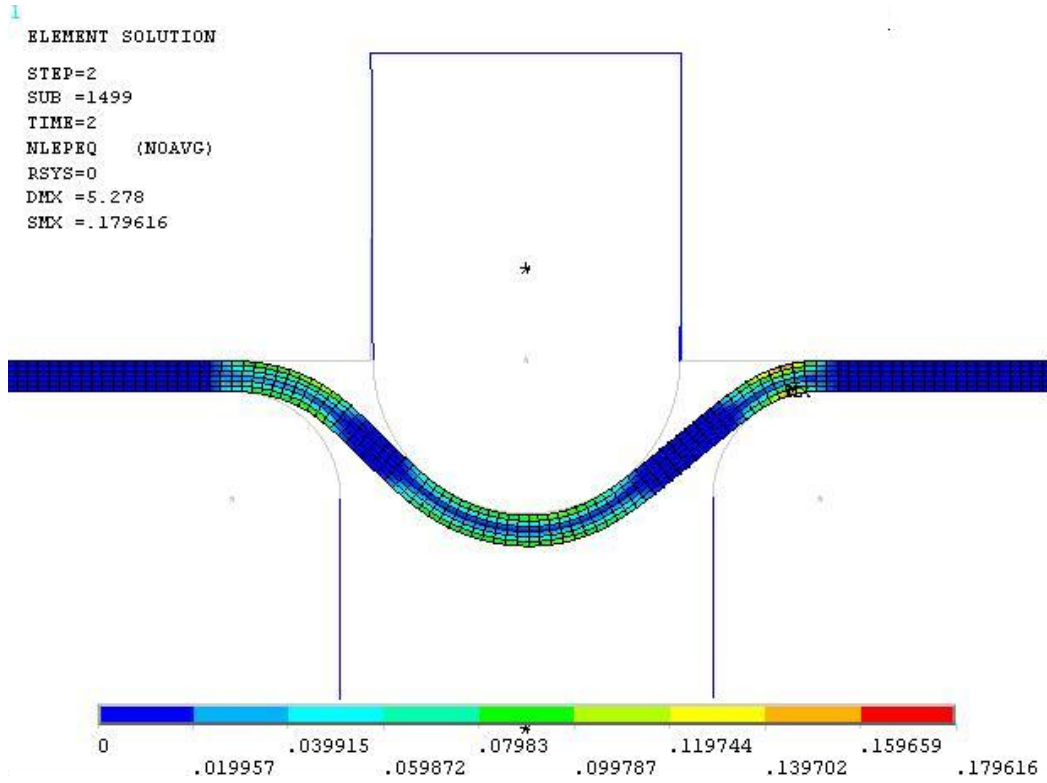


Şekil 4.24 Sacın çekilmesi esnasında düşey yöndeki gerinim dağılımı

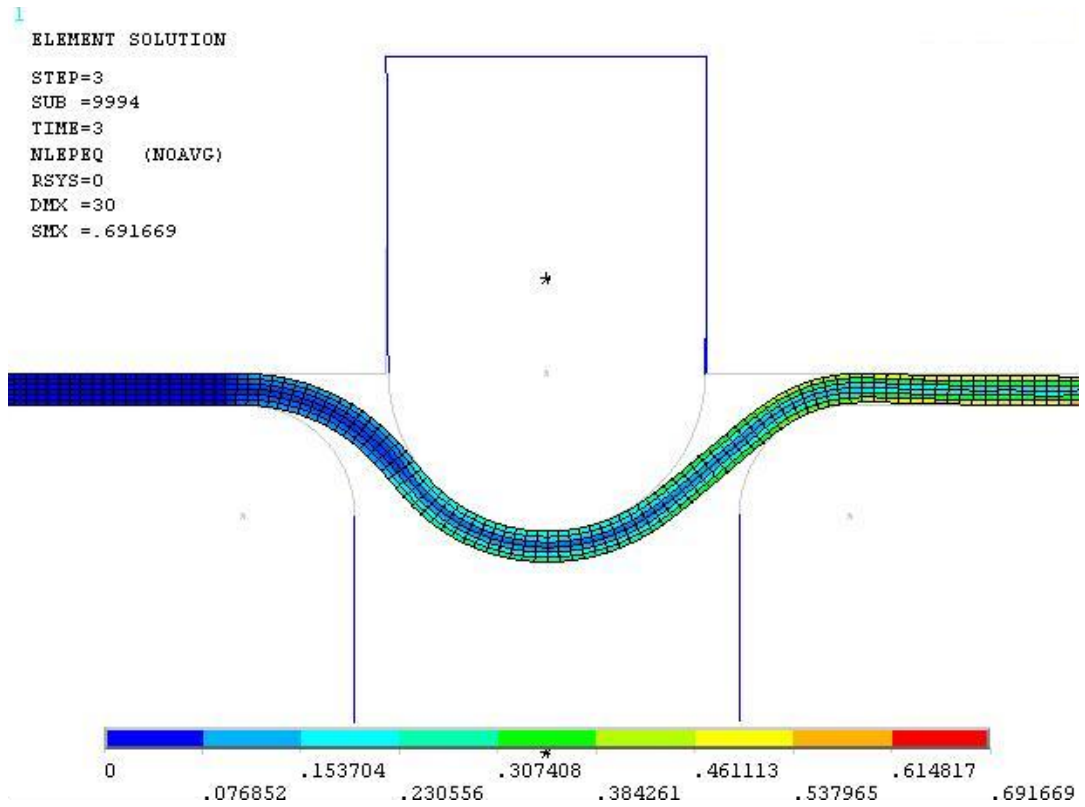
4.2.3.5. Eşdeğer plastik gerinim değerleri

Eşdeğer plastik gerinim değerleri çekme testinden elde edilen değerleri ile karşılaştırılabilir. Çubuğun basması anında maksimum eşdeğer plastik gerinim değeri kanal ve çubuk yarıçaplarında çıkmıştır. Bu bölgelerde plastik şekil değişime uğradığı varsayılmaktadır. Mavi ile gösterilen diğer bölgelerde herhangi bir plastik şekil değişimi olmamıştır. Maksimum gerinme değeri %18 çıkmıştır (Şekil 4.25).

Sacın çekilmesi esnasında plastik şekil değişimine uğramamış bölgeler plastik şekil değişimine uğramıştır. Maksimum gerinme değeri %70 çıkmıştır. Çubuğun basılması anındaki değer ile sacın çekilmesi esnasındaki değer arasında çok büyük fark vardır (Şekil 4.26).



Şekil 4.25 Çubuğun basması anındaki eşdeğer gerinim dağılımı



Şekil 4.26 Sacın çekilmesi esnasında eşdeğer gerinim dağılımı

BÖLÜM 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Süzdürme çubuk ve kanalından geçen sacda çevrimsel yükleme gözlenmiştir. Süzdürme çubuğu tam geçiş yapmadığı için sac süzdürme çubuğu ve kanalından geçerken 2.5 bükme ve 2.5 doğrulma işlemi gerçekleştirmiştir yani 2.5 çevrim gerçekleştirmiştir.

Sacın çekilmesi esnasında gerilim ve gerinim değerleri sacın basılması anına göre yüksek çıkmıştır. Özellikle eşdeğer plastik gerinim değeri sacın çekilmesi esnasında çok büyük artış göstermiştir.

Gerekli gergi kuvveti sacın dışı kalıptan akış kontrolü için çok önemlidir. Yeteri kadar gergi kuvveti sacın kırışması, yırtılması hatta geri yaylanma problemlerini giderir. Malzeme modeli izotropik ve kinematik pekleşme ile yapılan sürtünmesiz analizlerde sac üzerinde oluşan gergi kuvvetleri ve diğer elamanlara ait gergi kuvvetlerinin dağılımı birbirine yakın çıkmıştır.

Bundan sonraki çalışmalarda değişik tipteki malzeme modelleri kullanarak ve farklı formda süzdürme çubuk ve kanalları kullanarak analizler ve testler yapılabilir. Ayrıca birleşik süzdürme çubuğu ve kanalları kullanarak çalışmaya devam edilerek sac üzerindeki deformasyon değerleri, gergi ve kaldırma kuvveti değerleri incelenebilir. Birleşik süzdürme çubuk ve kanalı, aynı veya farklı geometrik formda en az 2 iki tane süzdürme çubuğu ve kanalı kullanarak oluşturulur.

KAYNAKLAR

- [1] LANGE, K., “Handbook of Metal Forming”, Springer-Verlag, 1985.
- [2] HOSFORD, W.F., CADDELL, R.M., “Metal Forming: Mechanics and Metallurgy”, Prince-Hall, NJ, 1993
- [3] FIRAT, M., “Sheet Metal Forming – Stamping Process from the view point of a Computational Mechanics Engineer” ,”Forming Control Elements”, The University of Sakarya, Şubat 2004
- [4] NACEUR, H., GUO, Y.Q., BATOZ, J.L., KNOPF-LENOIR, C., “Optimization of drawbead restraining forces and drawbead design in sheet metal forming process”. International Journal of Mechanical Sciences 43 (2001) 2407–2434, 1999
- [5] ÇORAK, C., 25.01.2005 tarihinde yapılan ikili görüşme
- [6] CHEN, F. K., CHIANG, B.H., “Analysis of die design for the stamping of a bathtub” Journal of Materials Processing Technology 72 (1997) 421–428,1996
- [7] CAO, J., BOYCE, M.C., “Drawbead penetration as a control element of material flow”, SAE 930517, Sheet Metal and Stamping Symposium, Detroit, 1993
- [8] CARLEER, B.D., VREEDE, P.T., LOUWES, M.F.M., HUÉTINK, J., “Modelling drawbeads with finite elements and verification”, J. Mat. Proc. Tech. , vol. 45/1-4, p. 63-69, 1994
- [9] CARLEER B.D., MEINDERS, T., HUÉTINK, J., “Equivalent drawbead model in finite element simulations”, Proceedings of the 3rd International Conference on Numerical Simulations of 3-D Sheet Metal Forming Processes, J.K. Lee et al. (eds.), Dearborn, Michigan, p. 25-31, 1996
- [10] KAWKA, M., WANG, A., “Improving drawbeads and friction models simulations of industrial sheet metal forming process” Metal forming in Industry, Conference proceedings, Baden-Baden, 1994
- [11] KELER, S., “How we think drawbead work” The Science of Forming 70-71, 2000

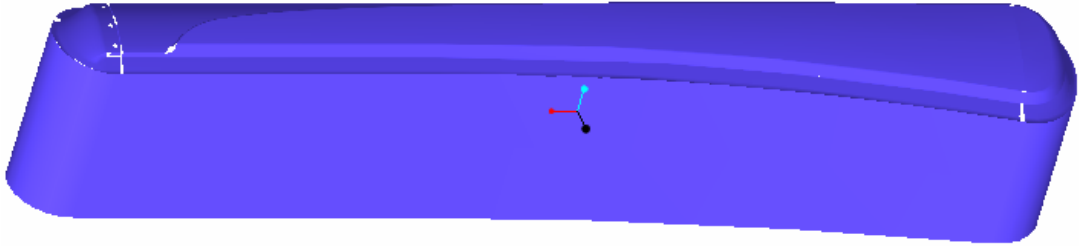
- [12] PENG, Y., RUAN, Y.X., “The new calculation method of drawbead restrain forces” Numisheet’99 , Besacon-France, September 1999
- [13] MATTIASSON, K., BERNSPANNG, L., “ Drawbead modelling in sheet metal stamping simulation” Numisheet’99 , Besacon-France, September 1999
- [14] NINE, H.D., “Drawbead forces in sheet metal forming” mechanics of sheet metal forming, Koistinen, D.P., and Wang. N.M., Plenum Press, New York, pp179-210, 1978
- [15] MICHLER, J. R., RAO, V. D., KASHANI, A. R., MAJLESSI, S.A., WEINMANN, K.J., “New concept for a hydraulically controlled sheet metal strip drawing test apparatus”, Transactions of NAMRI of SME, Vol 21, pp 25-31, 1993
- [16] MEINDERS, T., CARLEER, B.D., GEIJSELAERS, H.J.M., HUÉTINK, J., “The implementation of an equivalent drawbead model in a finite element code for sheet metal forming” , J. Mat. Proc.Tech., vol. 83, p. 234-244, 1998
- [17] MAKER, B., SAMANTA, S.K, GRAB, G., TRIANTAFYLLIDIS, N., “An analysis of drawbeads in sheet metal forming: part 2 – experimental verification”, J. Eng. Mat. Tech. ,vol.109, p.164-170, 1987
- [18] MATTIASSON, K., BERNSPANNG, L., “Drawbead modelling in sheet metal stamping simulation”, Proceedings of the 4th International Conference on Numerical Simulations of 3-D Sheet Metal Forming Processes, Gelin, J.C., Picard, P., (eds), Besancin, vol. 1 p. 235-242, 1999
- [19] MEINDERS, T., GEIJSELAERS, H.J.M., HUÉTINK, J., “Equivalent drawbead performance in deep drawing simulations”, Numisheet’99 , Besacon-France, September 1999
- [20] FIRAT, M., “ Sac metal form kalıpcılığına giriş” The University of Sakarya, p. 33, şubat 2004
- [21] WDX-Worldwide Die Design and Construction Specifications, Ford, 2001.
- [22] Release 10.0 Documentation for ANSYS, Element Reference, Element Library.

EKLER

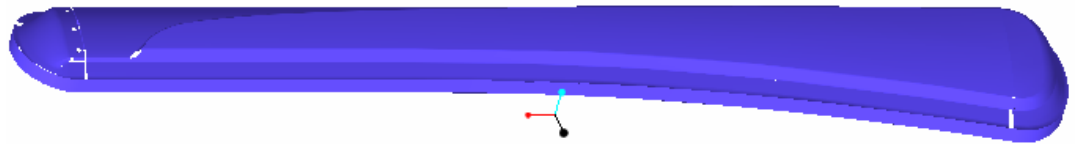
EK A

Erkek kalıp çizim aşamaları

- Erkek kalıp taslağı



- Erkek kalıbın sac ile temas yüzeyi

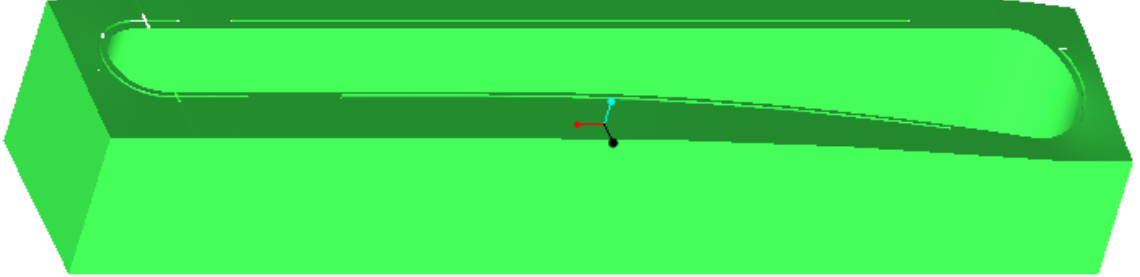


- Erkek kalıpta alt boşaltma

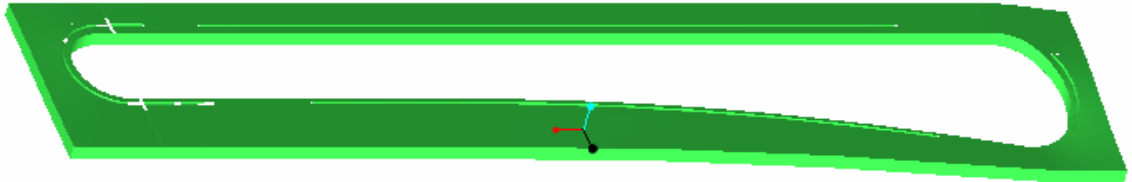


Pot çemberi çizim aşamaları

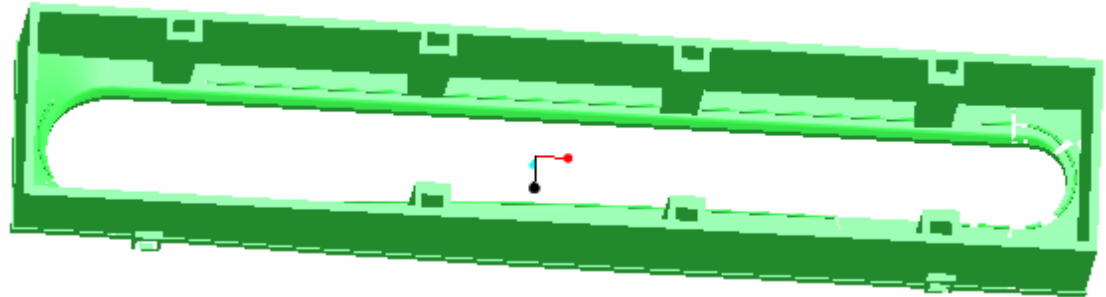
- Pot çemberi ön taslağı



- Pot çemberinin sac ile temas yüzeyi



- Pot çemberinde alt boşaltma ve destek federleri



Alt kalp çizim aşamaları

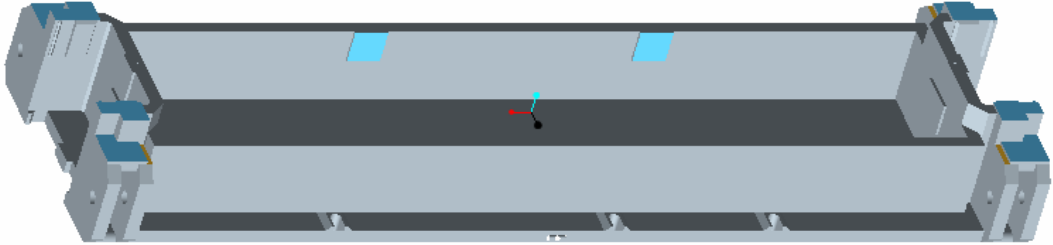
- Alt kalıp tabanı



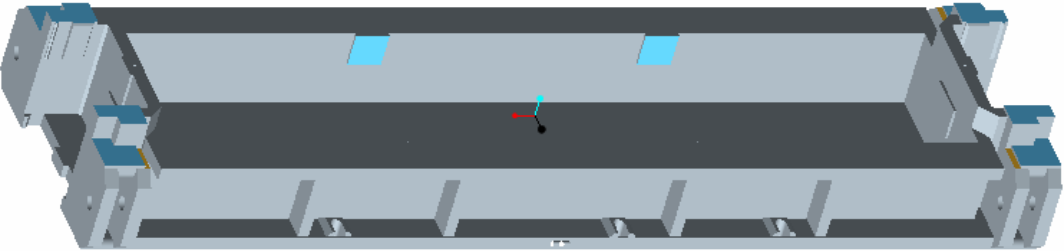
- Alt kalıba ait yataklama bölgeleri



- Alt kalıp – pot çemberi yataklama duvarları ve pres konum delikleri

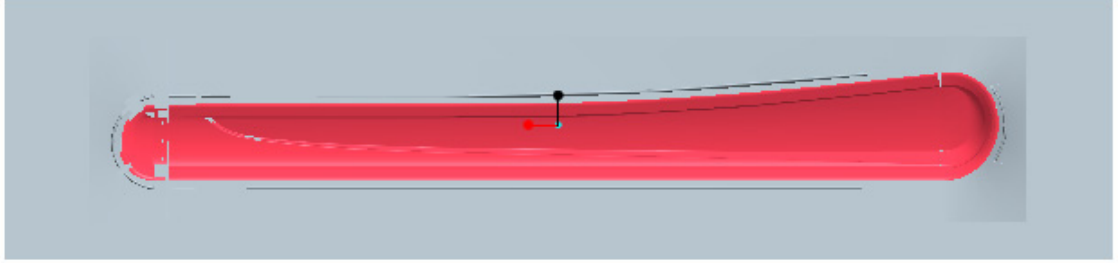


- Alt kalıp duvarlarında destek federleri

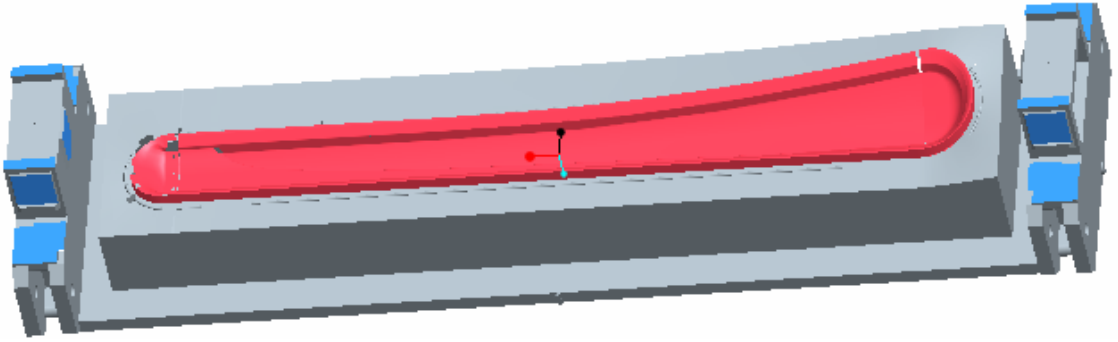


Üst kalıp çizim aşamaları

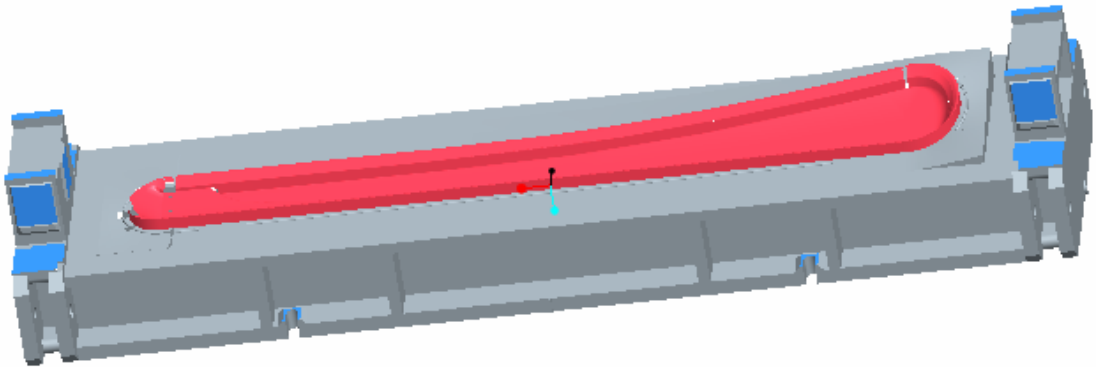
- Üst kalıp tabanı ve dişi kalıp



- Üst kalıp yataklama bölgeleri

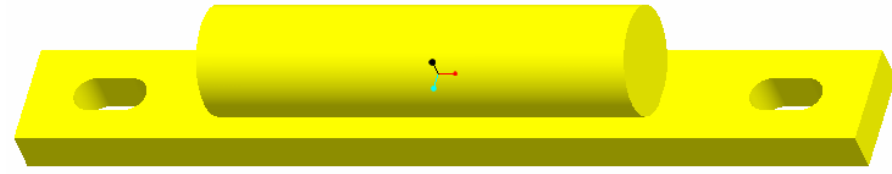


- Üst kalıp yan duvarları, destek federleri ve konumlama delikleri

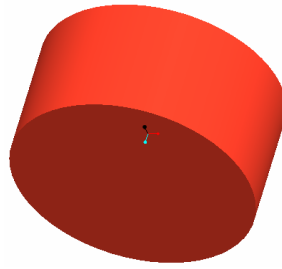


Yardımcı elemanlar

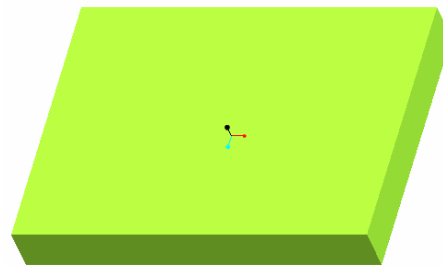
- Transfer plakası



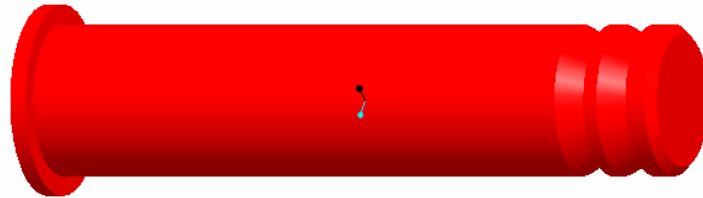
- Durdurma bloğu



- Sürtünme plakası



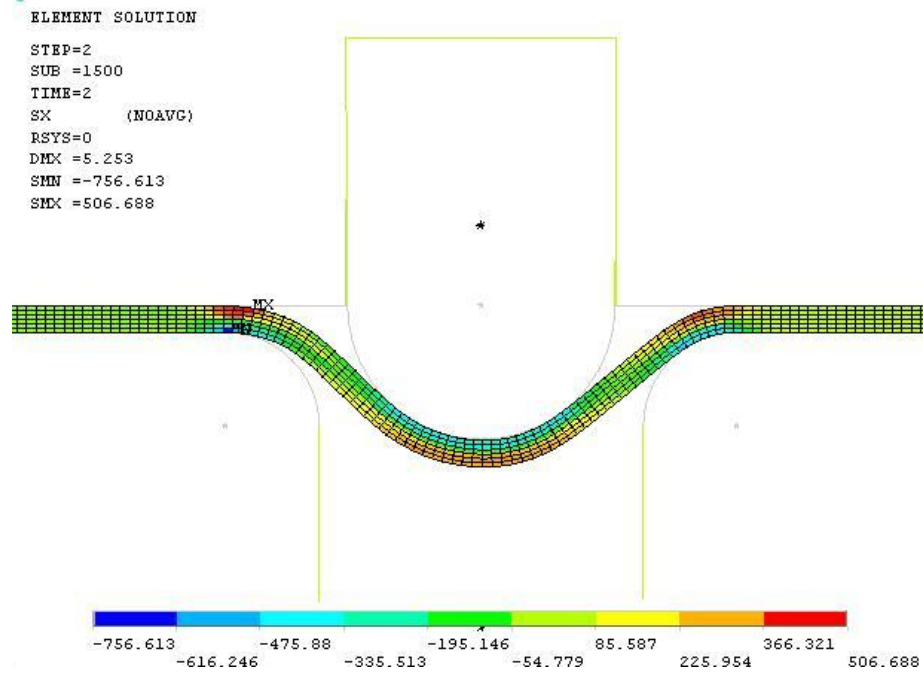
- Taşıma mili



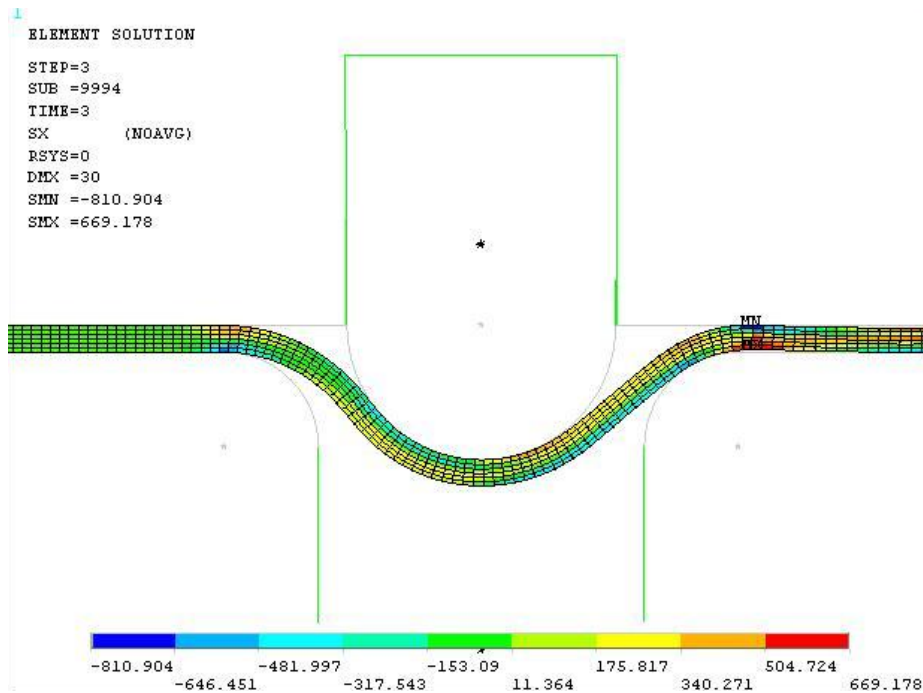
EK B

Kanal ile sac arası 0.125' lik sürtünme var ve malzeme izotropik pekleşme kuralına göre düzenlenen analize ait deformasyon dağılımları

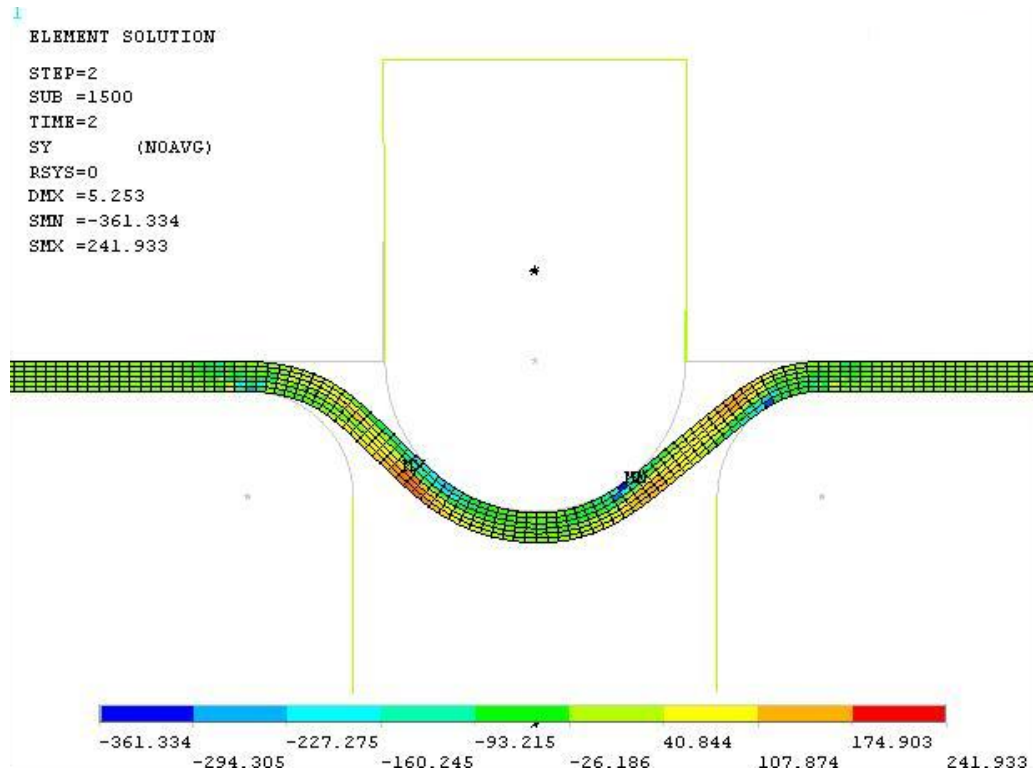
- Çubuğun basması anında çekme yönündeki gerilme dağılımı (MPa)



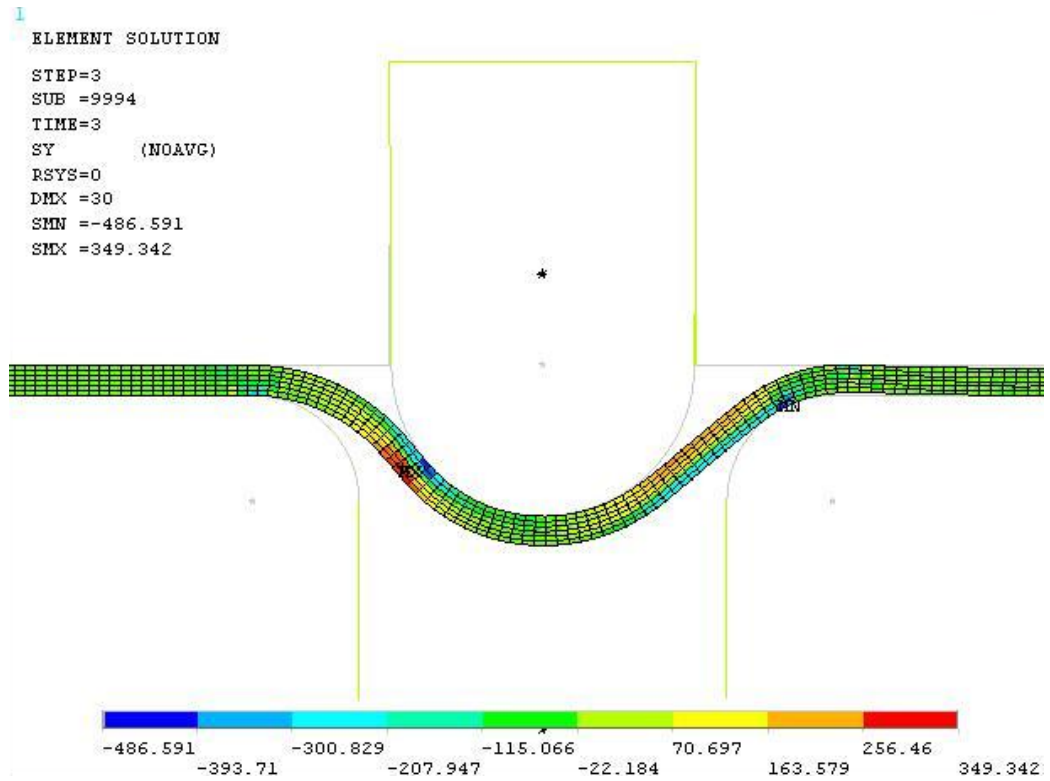
- Sacın çekilmesi esnasında çekme yönündeki gerilme dağılımı (MPa)



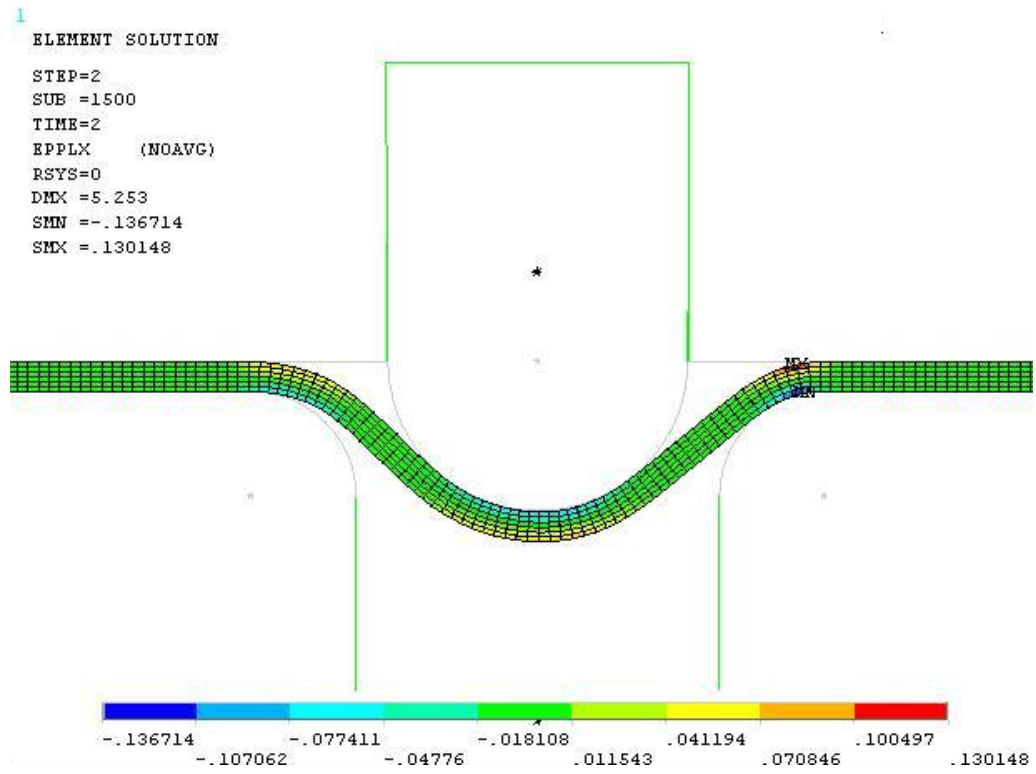
- Çubuğun basması anında düşey yöndeki gerilme dağılımı (MPa)



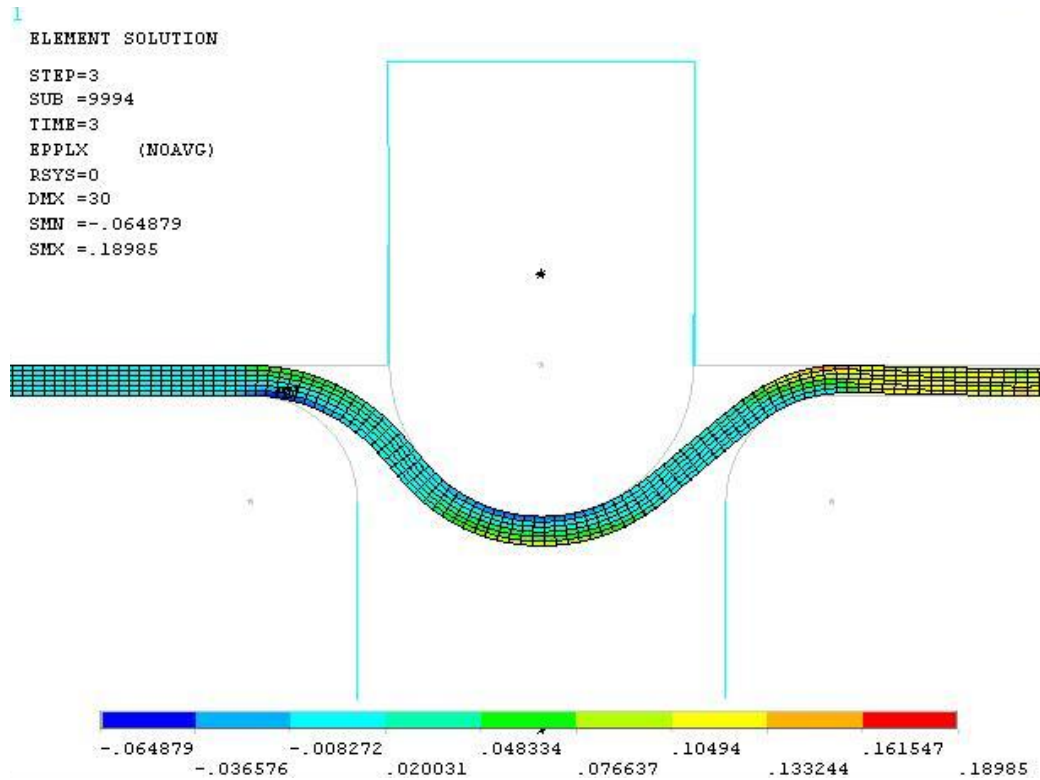
- Sacın çekilmesi esnasında düşey yöndeki gerilme dağılımı (MPa)



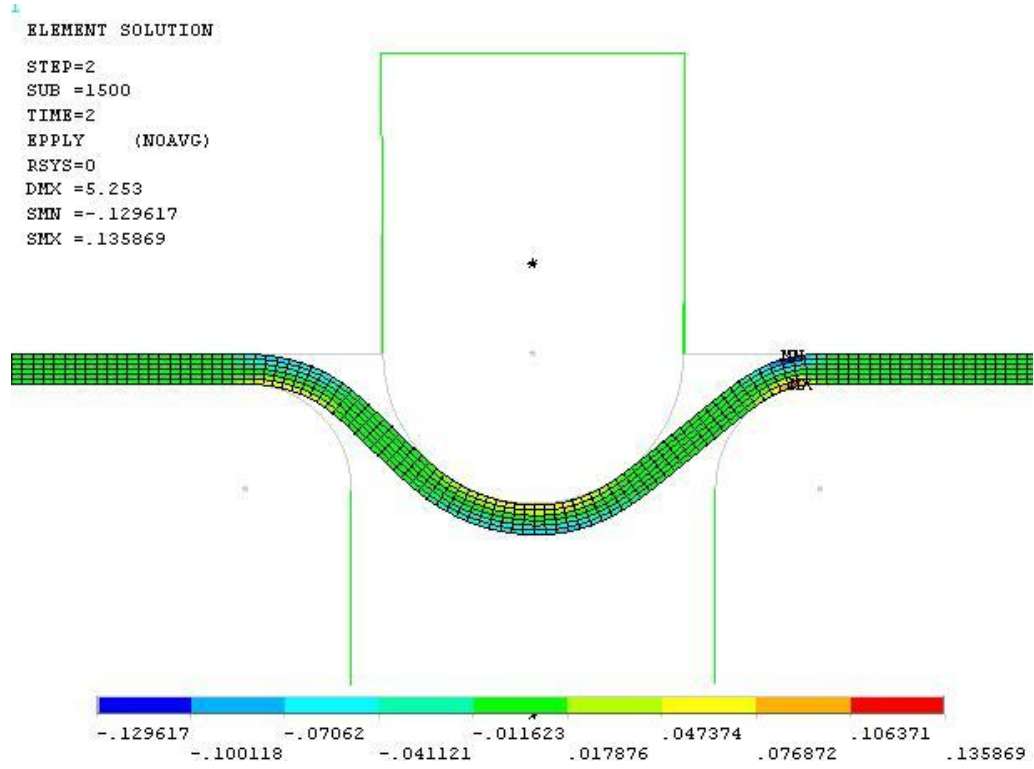
- Çubuğun basması anında çekme yönündeki gerinim dağılımı



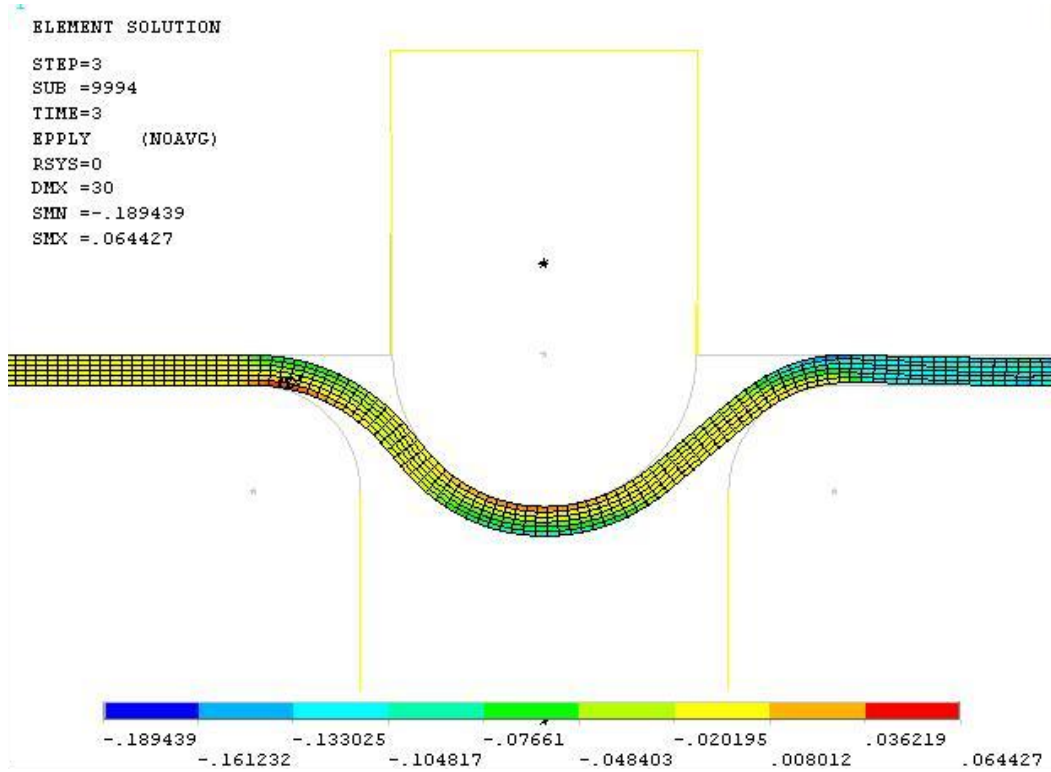
- Sacın çekilmesi esnasında çekme yönündeki gerinim dağılımı



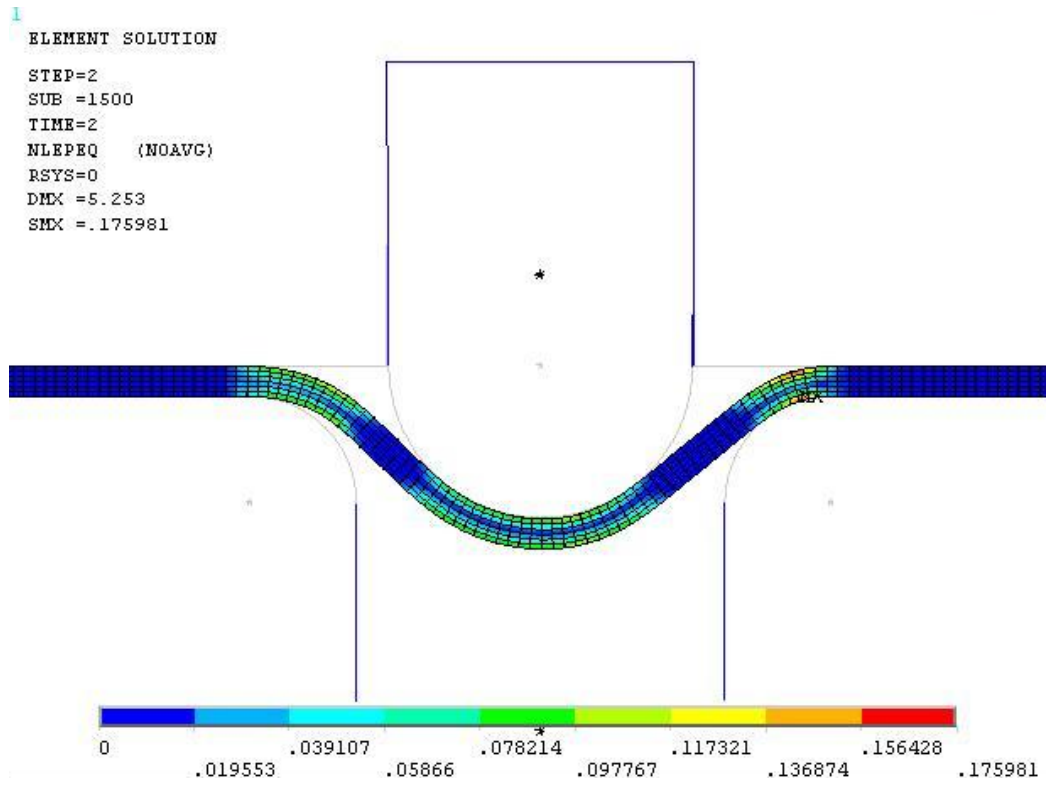
- Çubuğun basması anında düşey yöndeki gerinim dağılımı



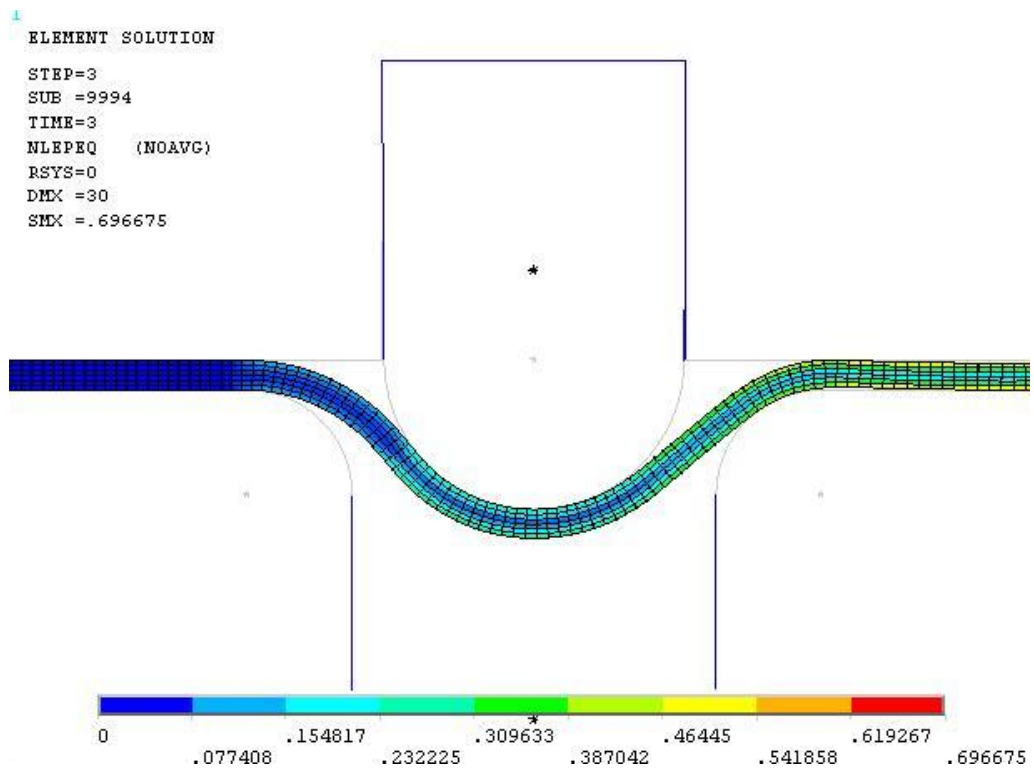
- Sacın çekilmesi esnasında düşey yöndeki gerinim dağılımı



- Çubuğun basması anında eşdeğer plastik gerinim dağılımı

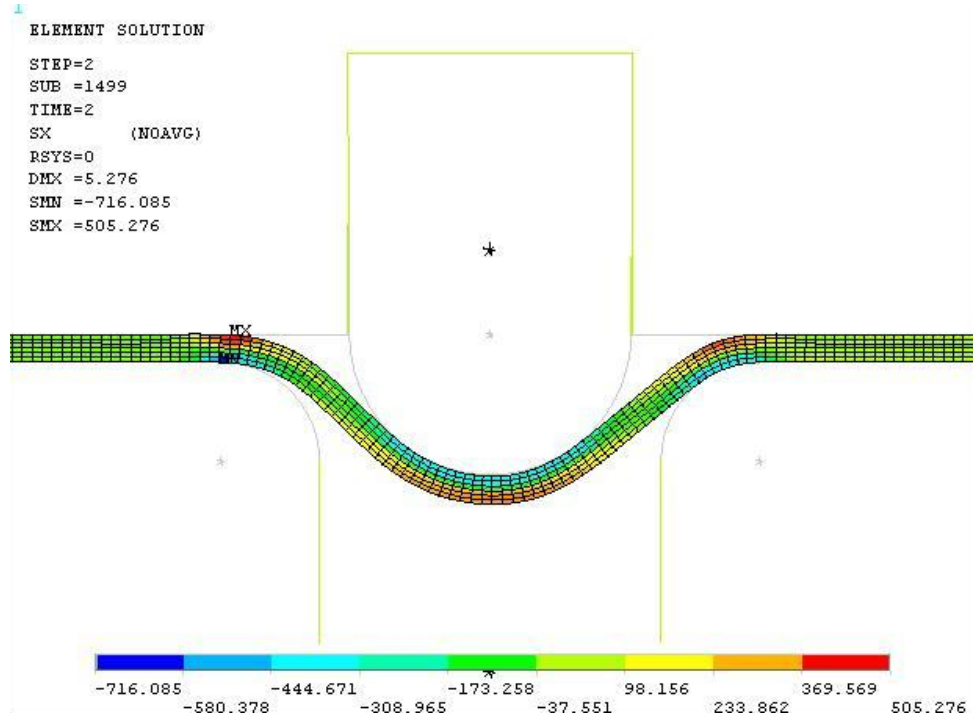


- Sacın çekilmesi esnasında eşdeğer plastik gerinim dağılımı

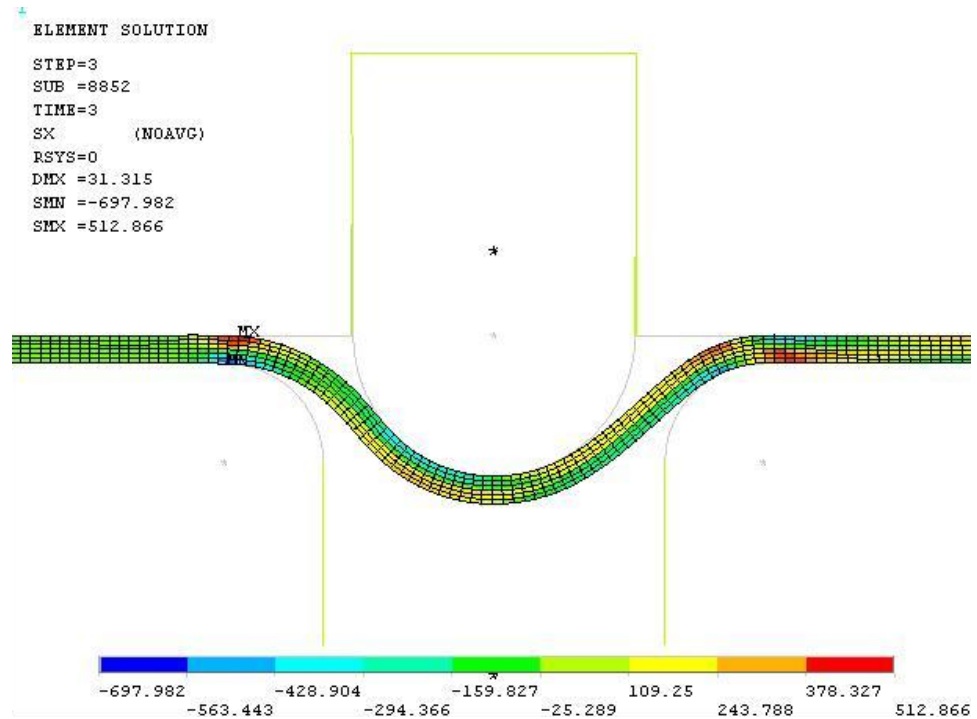


Komponentler arası sürtünme ihmal edildi ve malzeme kinematik pekleşme kuralına göre düzenlenen analize ait deformasyon değerleri

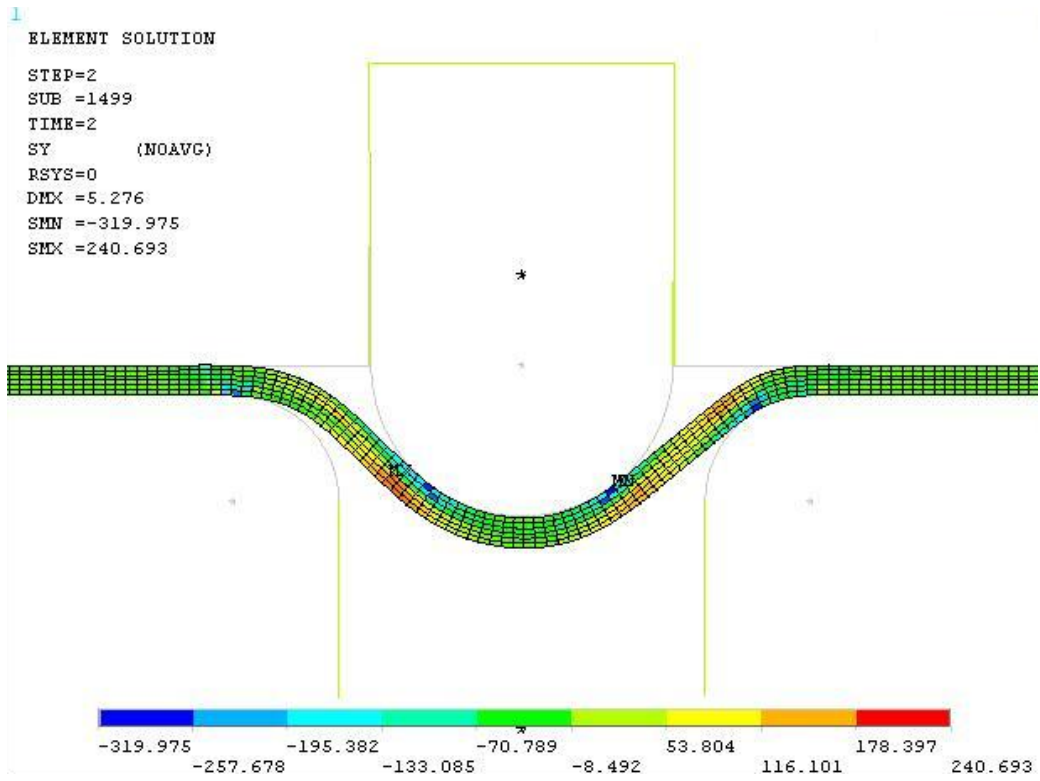
- Çubuğun basması anında çekme yönündeki gerilme dağılımı (MPa)



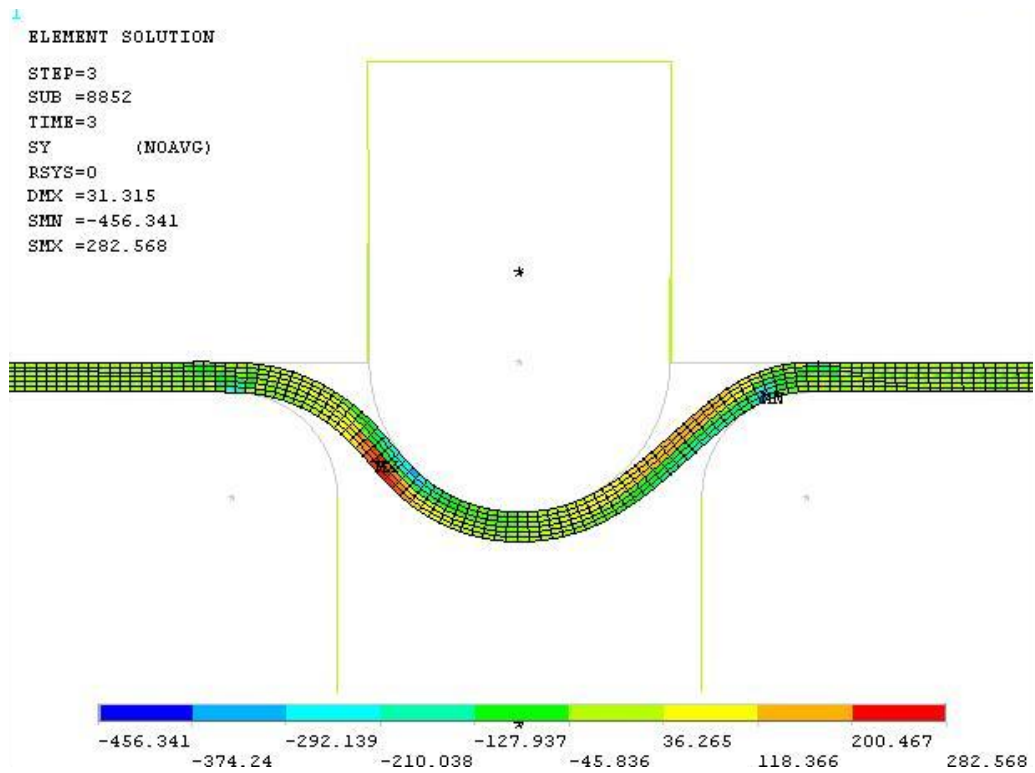
- Sacın çekilmesi esnasında çekme yönündeki gerilme dağılımı (MPa)



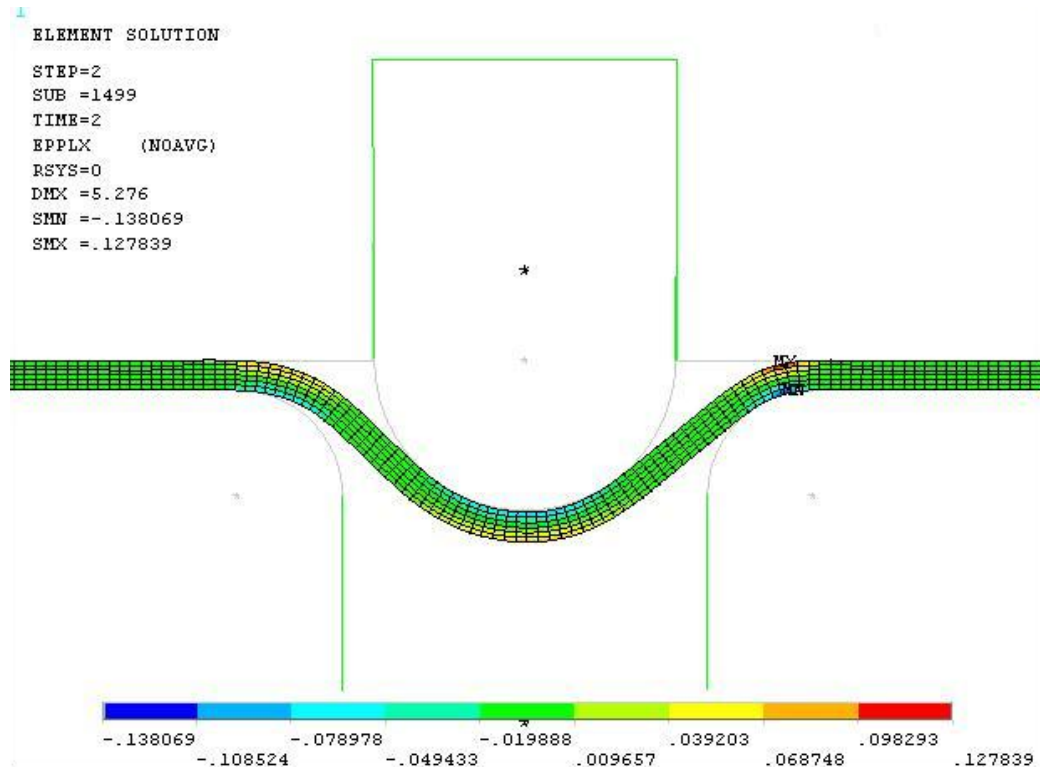
- Çubuğun basması anında düşey yöndeki gerilme dağılımı (MPa)



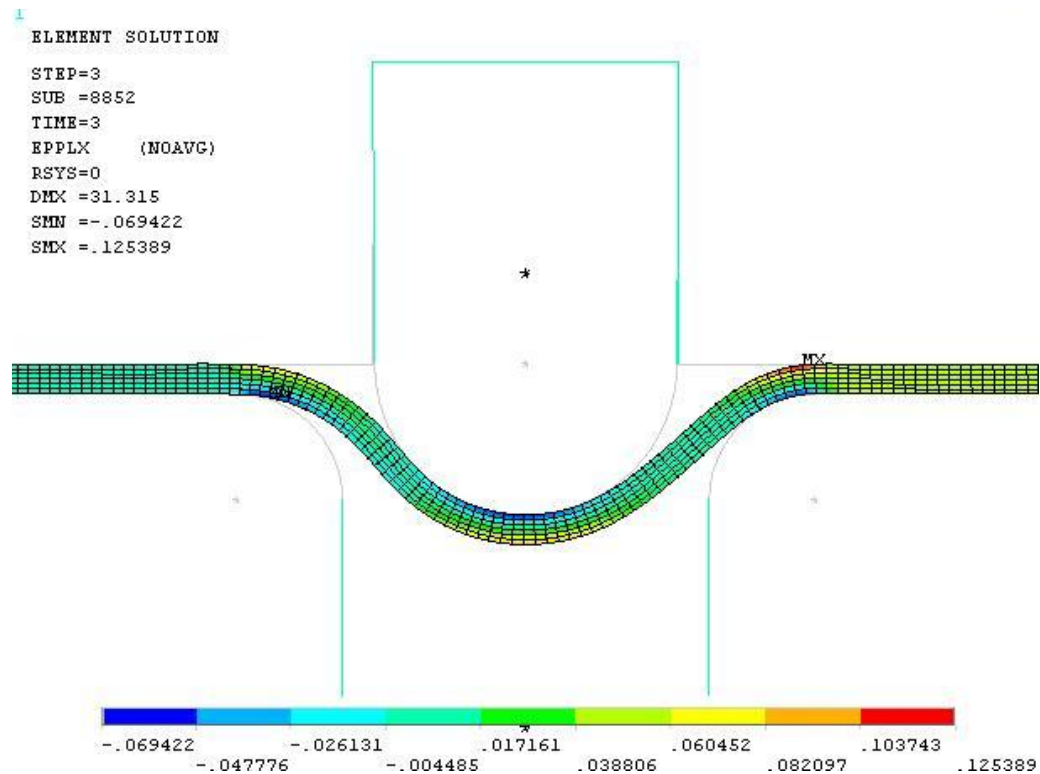
- Sacın çekilmesi esnasında düşey yöndeki gerilme dağılımı (MPa)



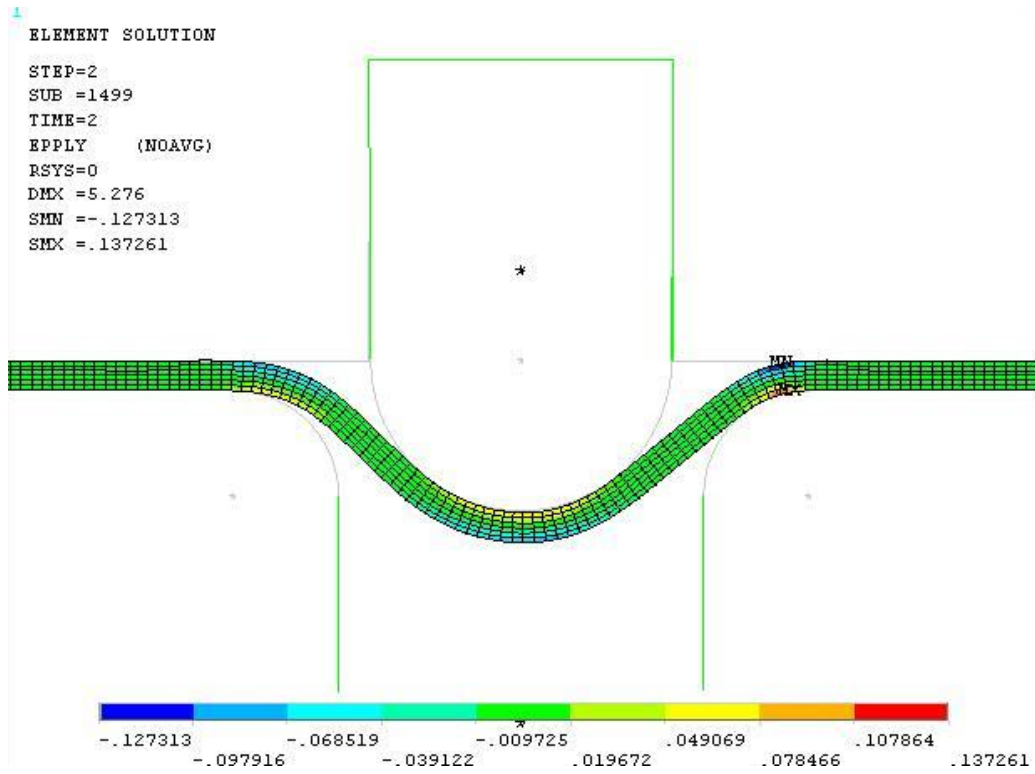
- Çubuğun basması anında çekme yönündeki gerinim dağılımı



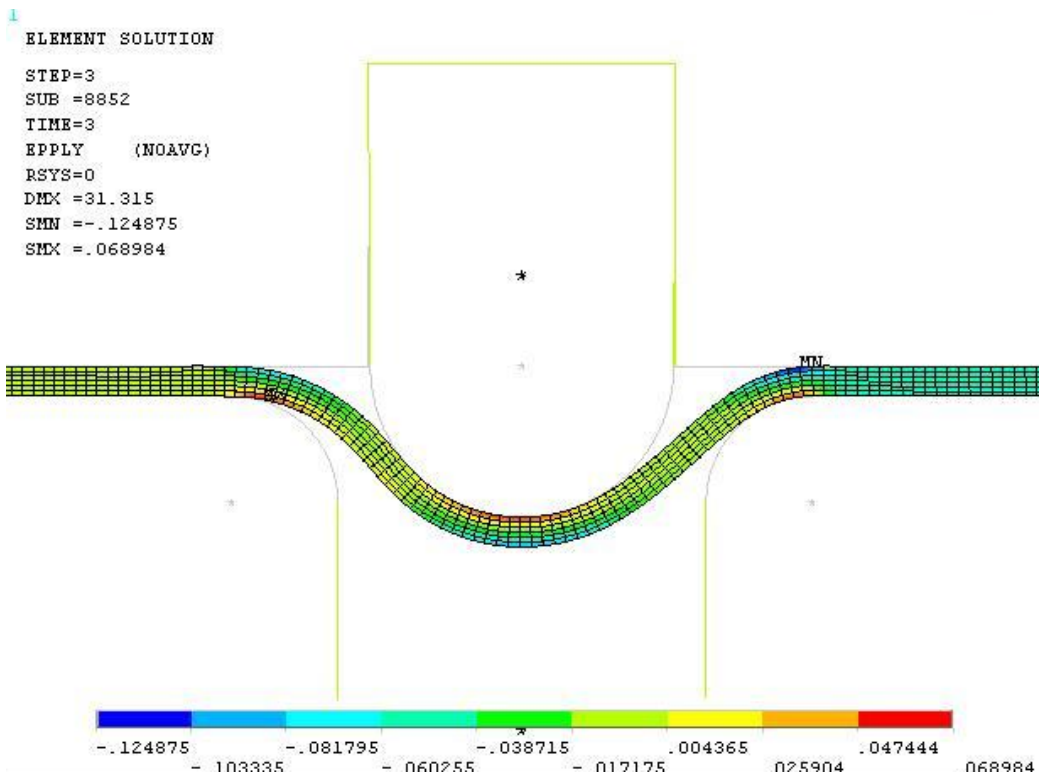
- Sacın çekilmesi esnasında çekme yönündeki gerinim dağılımı



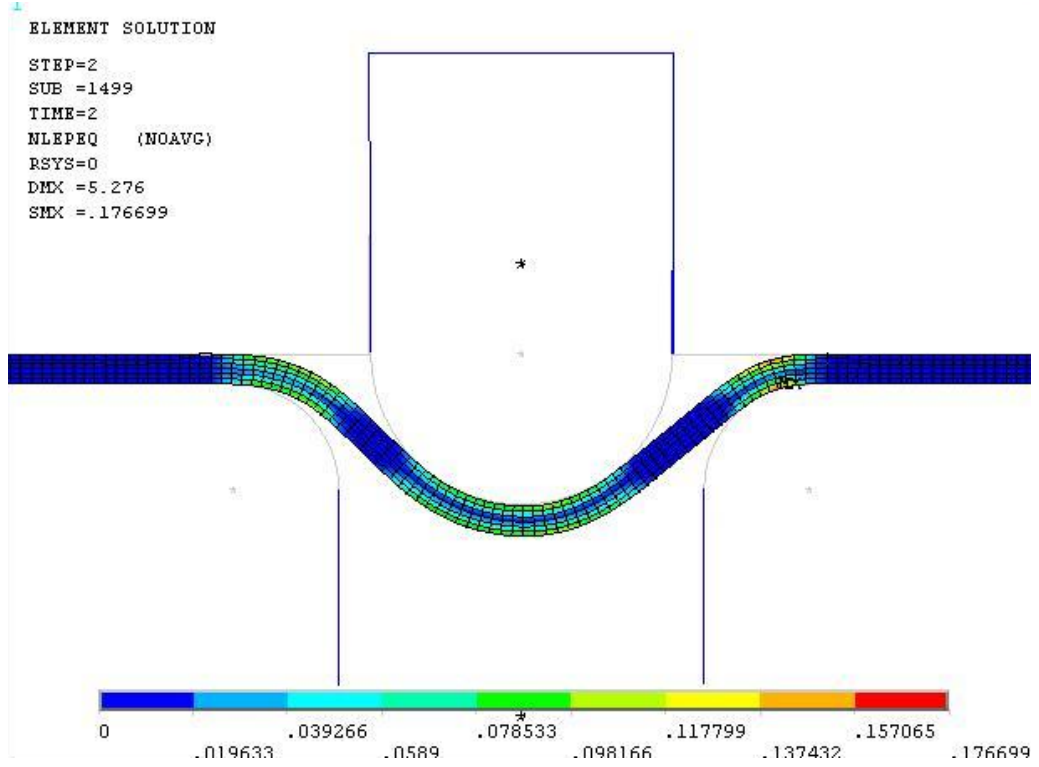
- Çubuğun basması anında düşey yöndeki gerinim dağılımı



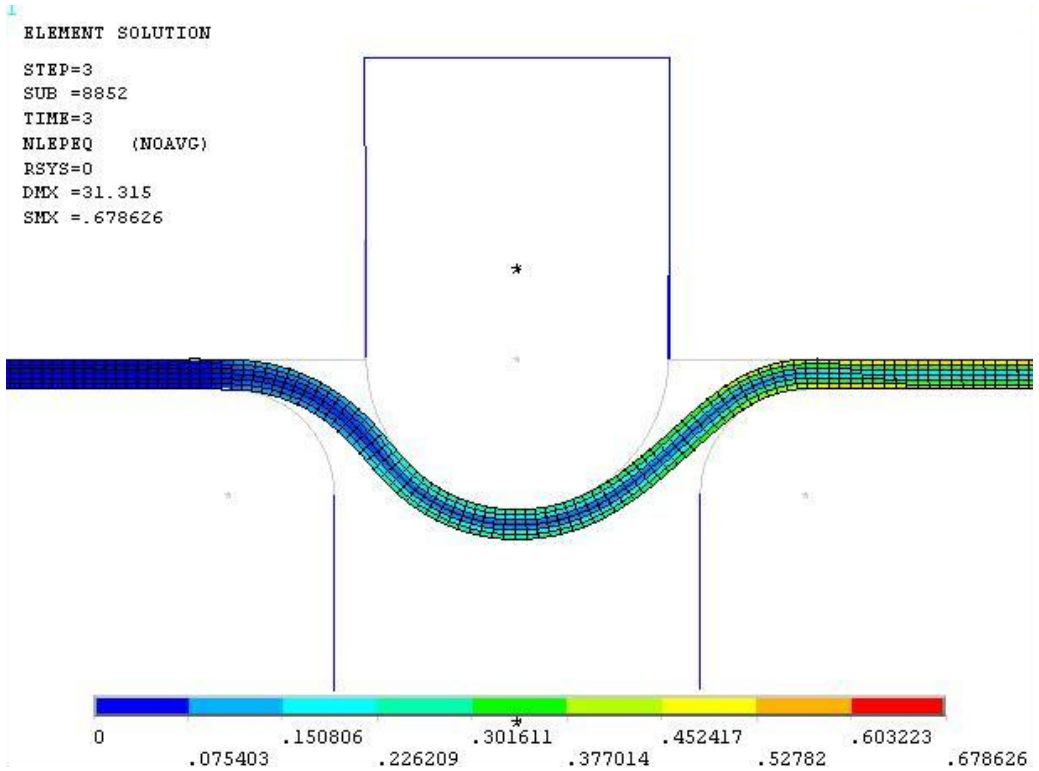
- Sacın çekilmesi esnasında düşey yöndeki gerinim dağılımı



- Çubuğun basması anında eşdeğer plastik gerinim dağılımı



- Sacın çekilmesi esnasında eşdeğer plastik gerinim dağılımı



ÖZGEÇMİŞ

Erman ASLAN 1982 yılında Erzurum' da doğdu. 2000 yılında İzmit Lisesi' nden mezun olduktan sonra, Sakarya Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümüne girdi. 2004 yılında mezun oldu. Aynı sene Yüksek Lisans programına kaydoldu. 2006 yılında Sakarya Üniversitesinde araştırma görevlisi olarak atandı, halen aynı görevi sürdürmektedir.