

BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ❖ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DERİN ÇEKMEDE GERİ YAYLANMANIN ETKİSİNİN
SONLU ELEMANLAR METODU İLE İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehtap GÜLEN

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

ŞUBAT 2019

BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ❖ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DERİN ÇEKMEDE GERİ YAYLANMANIN ETKİSİNİN
SONLU ELEMANLAR METODU İLE İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Mehtap GÜLEN
(162080114)**

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Selçuk KARAGÖZ

ŞUBAT 2019

BTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 162080114 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Mehtap GÜLEN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “DERİN ÇEKMEDE GERİ YAYLANMANIN ETKİSİNİN SONLU ELEMENLAR METODU İLE İNCELENMESİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Dr. Öğr. Üyesi Selçuk KARAGÖZ**
Bursa Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Dr. Öğr. Üyesi Erdem UZUNSOY**
Bursa Teknik Üniversitesi

Prof.Dr. Ali Rıza YILDIZ
Uludağ Üniversitesi

Savunma Tarihi : 21 Şubat 2019

FBE Müdürü : **Doç. Dr. Murat ERTAŞ**
Bursa Teknik Üniversitesi/...../.....

İNTİHAL BEYANI

Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde kaynak göstererek belgelediğimi, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

Öğrencinin Adı Soyadı: Mehtap GÜLEN

İmzası :

X X X X X

ÖNSÖZ

Tez çalışmam süresince yol gösteren, bilgi ve tecrübesi ile desteğini esirgemeyen tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Selçuk KARAGÖZ'e, tez kapsamında yaptığım çalışmalar sırasında desteğini esirgemeyen Arş. Gör. Hüseyin BEYTÜT'e, tez çalışmalarım boyunca maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen kıymetli aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Şubat 2019

Mehtap GÜLEN

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	v
İÇİNDEKİLER	vi
SEMBOLLER	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
ÖZET	x
SUMMARY	xii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
2.1 Sac Metal Şekillendirme Prosesi Üzerine Yapılan Çalışmalar	3
2.2 Derin Çekme	5
2.2.1 Derin çekme işleminde kullanılan kalıpların başlıca parçaları	5
2.2.2 Derin çekme mekaniği	6
2.2.3 Derin çekme işlem adımları	8
2.2.4 Derin çekme kabiliyetini etkileyen faktörler	9
2.2.4.1 Malzeme özellikleri.....	9
2.2.4.2 Kalıp geometrisi	10
2.2.4.3 İşlem koşulları	10
2.2.5 Derin çekmede gerilmeler	11
2.2.6 Derin çekilme sırasında saclarda görülen hatalar	11
2.3. Çekme Sacının Teknik Özellikleri	12
2.4 Geri Yaylanma	12
2.4.1 Geri yaylanma davranışına etki eden faktörler	14
2.4.2 Geri yaylanmanın telafisi	14
3. MATERYAL VE YÖNTEM	16
3.1 Sonlu Elemanlar Yöntemi	16
3.2 Hyperworks Programı ile Alüminyum Sac Metal Parçaların Derin Çekme ve Geri Yaylanma Analizleri	17
3.2.1 Analizlerde kullanılan malzeme ve özellikleri.....	18
3.2.2 Şekillendirme Sınır Diyagramı	19
3.2.3 Birinci parçanın derin çekme ve geri yaylanma analizleri.....	19
3.2.4 İkinci parça için derin çekme ve geri yaylanma analizleri.....	24
4. SONUÇ VE ÖNERİLER	30
4.1 Birinci Parça için Analiz Sonuçları ve Öneriler	30
4.2 İkinci Parça için Analiz Sonuçları ve Öneriler.....	31
KAYNAKLAR	33
ÖZGEÇMİŞ	35

SEMBOLLER

E	: Elastisite modülü
n	: Pekleşme üsteli
N	: Newton
t	: Kalınlık
ϵ	: Deformasyon
K	: Dayanım sabiti
ν	: Poison oranı
σ	: Gerilme
σ_A, σ_Y	: Akma dayanımı
σ_B	: Kırılma dayanımı
$\sigma_Ç$: Çekme dayanımı
σ_U	: Kopma dayanımı

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Al 3000 serisinin özellikleri	18
Çizelge 3.2 : Birinci parça için yapılan derin çekme analizleri (ilk aşama).	20
Çizelge 3.3 : Birinci parça için yapılan derin çekme analizleri (ikinci aşama).	20
Çizelge 3.4 : Geri yaylanma analiz sonuçlarının kıyaslanması.	21
Çizelge 3.5 : Birinci parça için derin çekmede kullanılacak parametreler.	21
Çizelge 3.6 : İkinci parça için yapılan derin çekme analizleri.	25
Çizelge 3.7 : İkinci parça için derin çekmede kullanılacak parametreler.	26
Çizelge 4.1 : Birinci parça için parametrelerdeki değişimin geri yaylanma miktarına etkisi.	30
Çizelge 4.2 : İkinci parça için parametrelerdeki değişimin geri yaylanma miktarına etkisi.	31

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 : Basit bir derin çekme işlemi.....	5
Şekil 2.2 : Çekme kalıbındaki işlev bölgeleri.....	6
Şekil 2.3 : Derin çekmenin mekaniği.....	6
Şekil 2.4 : Derin çekmede meydana gelen gerilmeler.....	7
Şekil 2.5 : Derin çekme sırasında buruşma ve kalınlık artışı.....	7
Şekil 2.6 : Derin çekmede yırtılma bölgesi ve bükme.....	8
Şekil 2.7 : Derin çekme işlem adımları.....	9
Şekil 2.8 : Flanştaki bir hacim elemanına etkiyen gerilmeler.....	11
Şekil 3.1 : Alüminyum alaşımı için gerilme-birim şekil değiştirme grafiği.....	18
Şekil 3.2 : Birinci parçanın ekran görüntüsü.....	19
Şekil 3.3 : Derin çekmeye hazır parça.....	21
Şekil 3.4 : Parametre değerlerinin girilmesi.....	22
Şekil 3.5 : Şekillendirme sınır diyagramı.....	22
Şekil 3.6 : Geri yaylanma analizi için ilgili dosyanın aktarımı.....	23
Şekil 3.7 : Geri yaylanma analizinde veri giriş ekranı.....	23
Şekil 3.8 : Parça üzerinde düğüm noktası seçimi.....	23
Şekil 3.9 : Geri yaylanma sonucu parçanın görüntüsü.....	24
Şekil 3.10 : İkinci parçanın ekran görüntüsü.....	24
Şekil 3.11 : Derin çekme kalıbı ve sac parça.....	26
Şekil 3.12 : Derin çekme parametrelerinin girilmesi.....	26
Şekil 3.13 : Şekil değiştirme sınır diyagramı.....	27
Şekil 3.14 : Geri yaylanma analizi için ilgili dosyanın aktarımı.....	27
Şekil 3.15 : Geri yaylanma analizi için veri giriş ekranı.....	28
Şekil 3.16 : Parça üzerinde düğüm noktası seçimi.....	28
Şekil 3.17 : Geri yaylanma sonucu parçanın görüntüsü.....	29

DERİN ÇEKMEDE GERİ YAYLANMANIN ETKİSİNİN SONLU ELEMENLAR METODU İLE İNCELENMESİ

ÖZET

Bu tez çalışmasında sac şekillendirme yöntemlerinden biri olan derin çekme işleminde en çok karşılaşılan sorunlardan biri olan geri yaylanma davranışı incelenmiştir. Geri yaylanmanın tahmini ve telafisi nihai parça geometrisini etkileyen aynı zamanda zaman ve maliyet açısından kazanç sağlayan önemli bir unsurdur. Sonlu eleman benzetimi ile alüminyum derin çekme işlemlerini değerlendirmeye ve bu işlemler için uygun parametreler geliştirmeye odaklanılmıştır.

Derin çekme yöntemi, birbirini tamamlayan, genelde zımba ve matris olarak adlandırılan uygun formlu dökme demir veya çelik malzemeden imal edilmiş parçalar arasına sacın konulup, orta kısımda bir çekme kuvveti ve kenarlarda yüksek bir basma kuvveti uygulanması ile yapılan şekillendirmedir. Uygulanan şekil verme yöntemi ile parçaya istenilen form verilirken, parçada deformasyonlar ortaya çıkmaktadır. Bu tez çalışmasında derin çekmeye uygun iki ayrı parça belirlenmiştir. Malzemenin cinsi, ağ örgüsünün boyutu, ağ örgüsünün yapısı, sac parçanın kalınlığı, tutucu kuvveti, zımbanın hızı gibi derin çekme analizinde kullanılacak parametreler kararlaştırılmıştır. Alüminyum parçalar için analiz yapılmıştır. Tutucu kuvveti ve zımbanın hızı için programa girilen değerler geniş bir aralıkta değiştirilerek derin çekme analizleri yapılmıştır. Analizler sonucunda oluşan animasyon dosyaları Hyperview'de oynatılmış ve şekillendirme sınır diyagramı çizdirilmiştir. Şekillendirme sınır diyagramları incelenmiştir. Sac malzemelerin şekillendirilebilirliğini değerlendirmek için birçok teknik kullanılmaktadır. Bu tekniklerden birisi de şekillendirme sınır diyagramıdır. Bu diyagrama bakılarak derin çekme işlemi sonucunda işlem görmüş parçada buruşma veya yırtılma olup olmadığı değerlendirilir. Yırtılma olan parçalara geri yaylanma analizi uygulanmaz. Değerlendirme sonucu uygun görülen parçalara geri yaylanma analizi uygulanmıştır. Sac malzemeleri şekillendirirken uygulanan yük kaldırıldığında, malzeme elastik olarak toparlanmaya ve böylelikle şekillendirme işlemi öncesi formuna dönmeye çalışmaktadır. Bu olaya geri yaylanma denir. Geri yaylanma analizi için ilgili dosya programa aktarılmıştır. Geri yaylanma analizleri tamamlanmıştır. Elde edilen animasyon dosyaları Hyperview'de oynatılmıştır. Sonuç ekranından yer değiştirme değeri okunmuştur. Yer değiştirme değeri derin çekilmiş parçada meydana gelen geri yaylanma miktarını verir. Yer değiştirme değeri en düşük olan parçada geri yaylanma miktarı en azdır. Bu parçanın derin çekilmesi sırasında kullanılan kuvvet ve hız değerleri en iyi parametreler olarak belirlenmiştir.

Geri yaylanmanın en az çıktığı analiz ile geri yaylanmanın en fazla çıktığı analizin sonuçları kıyaslanmış ve bu çalışmanın sonucunda ne kadarlık bir iyileşme sağlandığı belirlenmiştir. En yüksek geri yaylanma miktarından en düşük geri yaylanma miktarı çıkarılmış, en yüksek geri yaylanma miktarına bölünmüş yüz ile

arpılmış ve yüzde cinsinden iyileştirme oranı hesaplanmıştır. Birinci parça için iyileştirme oranı %57,26, ikinci parça için iyileştirme oranı %95,28 ‘dir.

Parametrelerin değerleri değiştiğinde geri yaylanma miktarının ne kadar değiştiği izlenmiş ve kıyaslanmıştır. Geri yaylanmanın değerinin en az olması için bu parametrelerin değerlerinin ne olması gerektiği üzerine yorum yapılmıştır.

Geri yaylanmayı azaltmak için daha küçük kuvvet değerlerinde derin çekme işleminin yapılması önerilebilir. Derin ekme işleminde parçada buruşmalar ortaya çıkmayacak kadar bir kuvvet ve hız tercih edilmesi gerekir. Çok yüksek hızlara ve kuvvet değerlerine çıkılması uygun değildir.

Anahtar kelimeler: Sac şekillendirme, derin çekme, geri yaylanma, alüminyum, sonlu elemanlar metodu



INVESTIGATION OF THE EFFECT OF SPRING BACK IN DEEP DRAWING WITH FINITE ELEMENT METHOD

SUMMARY

One of the basic problems in sheet metal forming by deep drawing is springback. In this study, this determination is investigated. Springback prediction and compensation is one of the most important factor which affects the desired piece shape, time and cost gains. Finite element simulation focused on evaluating aluminum deep drawing processes and developing appropriate parameters for these processes.

The deep drawing method is the forming of the sheet between the pieces made of cast iron or steel material of suitable form, which are generally complementary to each other, called staples and matrices, with a pulling force in the middle part and a high pressing force on the edges. While the desired shape is given to the piece by the applied shaping method, deformations occur in the piece. In this thesis, two pieces which are suitable for deep drawing were determined. The parameters to be used in deep drawing analysis such as type of material, size of mesh, structure of mesh, thickness of sheet metal, holding force, speed of punch were determined. Analysis were done for aluminum pieces. Deep drawing analysis was performed by changing the values entered into the program for the holding force and the speed of the punch. The animation files formed as a result of the analyzes were played at the Hyperview and the forming limit diagram was drawn. Forming limit diagrams were investigated. Many techniques are used to assess the formability of sheet materials. One of these techniques is the forming limit diagram. By looking at this diagram, the deep-drawing process is evaluated whether the treated piece is wrinkled or torn. Spring back analysis were not applied to torn pieces. Spring back analysis was applied to the parts considered appropriate after the evaluation.

When the load applied while shaping sheet materials, the material tries to recover elastically and thus return to the preforming form. This event is called springback. The relevant file for the springback analysis was transferred to the program. Spring back analyzes were completed. The resulting animation files were played at Hyperview. The displacement value was read from the result screen. The displacement value gives the amount of spring back occurring in the deep drawn piece. At the lowest displacement value, the amount of springback is minimal. The force and velocity values used during the deep drawing of this part were determined as the best parameters.

The results of the analysis with the lowest spring back and the results of the analysis with the maximum spring back were compared. It is determined how much improvement has been achieved as a result of this study. The lowest springback amount was removed from the highest springback amount, divided by the maximum springback, multiplied by a hundred and the percentage improvement rate was

calculated. The improvement rate for the first piece was 57,26% and the improvement rate for the second piece was 95,28%.

When the values of the parameters were changed, the amount of spring back changed was monitored and compared. In order for the value of the springback to be the lowest, the values of these parameters should be interpreted.

In order to reduce spring back, deep drawing can be recommended at smaller force values. In the deep drawing process, a force and velocity should be preferred so that the wrinkles do not occur. Very high speeds and force values are not suitable.

Keywords: Sheet metal forming, deep drawing, spring back, aluminum, finite element method



1. GİRİŞ

Günümüzde teknolojinin kullanımı üretici firmanın rekabet ortamındaki başarı şansını arttıracaktır. Çünkü imalatta kullanılmakta olan deneme yanılma metodu ıskarta, işçilik, zaman kayıpları ve maliyet artışlarına neden olmaktadır. İlk denemede doğru parçayı kısa sürede en az hata ile üretmek için teknolojik ekipman desteği alınması şarttır.

Şekillendirilmiş sac metal levhalar endüstride oldukça yaygın kullanım alanına sahiptir. Sac metal kullanımı özellikle teknolojinin üst seviyede olduğu uçak ve otomotiv sektöründe farklı malzeme türlerinde çeşitli şekillendirme yöntemleri ile karşımıza çıkmaktadır. Bu tez çalışmasında esas itibariyle, sac şekillendirme işlemlerinden derin çekme yönteminde ortaya çıkan geri yaylanma davranışı üzerinde durulmuştur.

Sac şekillendirmede birçok yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemler genel olarak, sac malzemelerin, istenen forma sahip daha rijit nesnelere yardımıyla şekillendirilmesini esas alırlar. Bunlardan en yaygını, derin çekme yöntemi, birbirini tamamlayan, genelde zımba ve matris olarak adlandırılan uygun formlu dökme demir veya çelik malzemeden imal edilmiş parçalar arasına sacın konulup, orta kısımda bir çekme kuvveti ve kenarlarda yüksek bir basma kuvveti uygulanması ile yapılan şekillendirmedir. Uygulanan şekil verme yöntemi ile parçaya istenilen form verilirken, parçada deformasyonlar ortaya çıkmaktadır. Uygulanan yük kaldırıldıktan sonra elastik toparlanma nedeniyle ortaya çıkan geri yaylanmanın önceden tahmin edilip, bunun işleme yansıtılarak başarılı bir imalat yapılabilmesi önemlidir. Geri yaylanma telafisi için birçok yöntem söylenebilir. Fakat her önlem için geri yaylanma miktarının önceden bilinmesi gereklidir. Geri yaylanmanın önceden tahmini hem zaman hem de maliyet açısından önemli kazançlar sağlamaktadır. Sonlu eleman yöntemi kullanılarak yapılan analizler sonucu geri yaylanma miktarı bulunabilir. Değişen teknoloji ile sürekli gelişim gösteren sonlu eleman analiz yazılımları sayesinde değişik malzeme türleri ile değişik boyutlardaki sac parçalarda şekil verme esnasında meydana gelen gerilme, birim şekil değişimi gibi değerler

bulunabilmektedir (Arslan, 2007). Ayrıca sonlu eleman analizi sayesinde sac malzemenin son şekli şekillendirme öncesinde tahmin edilebilmektedir.

Derin çekme, yassı bir metalik sacdan üç boyutlu derin bir kap elde etme yöntemidir. Sac levhalardan kalıp formuyla şekil verilerek silindirik şeklinde kaplar elde etmek için kullanılan yöntemlerin en önemlisi derin çekmedir. Derin çekme kalıplarında kalıp geometrisi şekil verilecek sacın son haline her zaman uymamaktadır. Geri yaylanma ve yırtılma problemleri tasarımı etkileyen en önemli unsurlardır.

Derin çekme kalıpları tasarımında iki yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden birisi tecrübeye dayalı olan deneme yanılma yöntemidir. Diğerisi ise sonlu elemanlar yöntemidir. Yazılımlar aracılığıyla modellerin davranışı bilgisayarda incelenmektedir.

Bu tezin amacı sonlu elemanlar yazılımı kullanılarak, derin çekme probleminin değişkenlerinin optimize edilmesidir. Sonlu elemanlar yazılımı kullanılarak derin çekmede geri yaylanma davranışına etki eden faktörler incelenecektir. İncelenecek olan geri yaylanma davranışına etki eden faktörler; kalıp hızı, sac tutucu kuvveti, pekleşme üsteli, elastiklik modülü, kalınlıktır. Sonlu elemanlar yazılımlarından biri olan Hyperworks paket programının Hyperform modülünde kalıp hızı ve sac tutucu kuvveti için girilen değerler belirlenen aralıkta değiştirilerek seçilen bir malzeme için derin çekme analizi yapılacaktır. Parametrelerin değerleri değiştiğinde geri yaylanma miktarının ne kadar değiştiği izlenecektir, kıyaslanacaktır. Geri yaylanmanın değerinin en az olması için bu parametrelerin değerlerinin ne olması gerektiği üzerine yorum yapılacaktır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1 Sac Metal Şekillendirme Prosesi Üzerine Yapılan Çalışmalar

Sac şekillendirme işlemlerinin amacı, öncelikle plastik deformasyon ile ürünün arzu edilen bir şeklini üretmektir. Son ürün kalitesi sadece tabaka malzeme özelliklerine değil aynı zamanda gerinme, gerinme oranı gibi süreç değişkenlerine de bağlıdır ve ayrıca çalışma koşullarına bağlıdır. Bu değişkenler takım geometrisi ve tasarım tarafından etkilenir (Lal ve diğ., 2018).

Derin çekmede ortaya çıkabilecek problemler belirlenmiş ve sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak çözüm yöntemleri geliştirilmiştir. Soğuk şekillendirme işlemi için sonlu elemanlar yöntemi ile bulunan sonuçlarla deneysel analizle bulunan sonuçların tutarlı olduğu sonucuna varılmıştır (Yıldız ve Kırılı, 2004).

Sonlu elemanlar metodu kullanılarak temas modeli, malzeme özellikleri ve sürtünme katsayısı ile simülasyon gerçekleştirilmiş, baskı plakasının cidar kalınlığına etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar deneysel datalarla karşılaştırılarak % 90 uyum sağladığı görülmüş, derin çekme işleminde kalıp üretilmeden önce karşılaşılabilecek problemler belirlenmiş ve çözüm önerileri sunulmuştur (Demirci ve diğ., 2005).

Hafif metaller içerisinde yüksek mukavemet, düşük yoğunluk ve korozyona karşı dayanıklılık özelliklerinden dolayı alüminyum-magnezyum alaşımları en fazla üzerinde çalışılan malzemelerdendir. Otomobil imalatında bu alaşımların yeri ve şekillendirilebilme kabiliyetlerini artırma yönünde yapılan çalışmalar incelenmiştir. Şekillendirme hızı, malzemenin pekleşme özellikleri, kalıp ve zımba köşelerinin yarıçapları, yağlama vb. gibi parametrelerin de malzemenin şekillendirilebilme kabiliyeti üzerinde önemli etkilere sahip olduğu görülmektedir (Öztürk ve Toros, 2009).

Farklı kalınlıktaki 2000 ve 6000 seri alüminyum malzemelerin farklı kalıp açılarında oluşan geri yaylanma miktarları deneysel yöntem ve sonlu elemanlar yöntemi ile

karşılaştırılmıştır. Kalınlık arttıkça geri yaylanmanın azaldığı görülmüştür. Akma mukavemeti arttıkça geri yaylanma artmaktadır (Esat ve diğ, 2002).

Sonlu elemanlar programlarında, geri yaylanma tahmini, telafisi ve en uygun forma sokma sürecini ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. Sonlu elemanlar programında kullanılan ağ boyutlarının ve miktarının geri yaylanmaya etkisi incelenmiştir. Sonuç olarak sonlu elemanlar yönteminde iş parçası üzerindeki ağ miktarının artırılmasıyla elde edilen sonuçların daha hassas olduğu tespit edilmiştir (Meinders ve diğ, 2008).

Geri yaylanma üzerine yapılan bir çalışmada geri yaylanmaya etki eden bütün etmenler açıklanmış ve geri yaylanmanın nasıl önüne geçilebileceği konusu ele alınmıştır (Tekaslan ve diğ, 2008).

Kalıbın uygun tasarlanması ile geri yaylanma miktarı azaltılabilir. Ancak, tamamen ortadan kaldırılması mümkün değildir. Geri yaylanmayı telafi edebilmek amacıyla çeşitli yöntemlerden faydalanılmaktadır (Tekiner, 2004).

Elastikiyet modülü, akma gerilmesi gibi malzeme parametreleri ile uygulanan kuvvet, sacın kalınlığı, kalıbın açısı, zımba yarıçapı, kalıp açıklığı gibi işlem parametreleri, geri yaylanmaya karmaşık bir şekilde etki etmektedir. Dolayısıyla, geri yaylanma davranışı incelenirken sağlıklı çözümlerlerin yapılabilmesi için, bu değişkenlerin bağımsız etkilerinin yanı sıra, çoklu etkilerinin de göz önünde bulundurulması gerekmektedir (Turan, 2009).

Farklı kalınlıklarda farklı mekanik özelliklere sahip alüminyum malzemelerin geri yaylanma davranışları incelenmiştir. Akma gerilmesi arttıkça geri yaylanmanın da arttığı gözlemlenmiştir (Esat ve diğ, 2002).

Geri yaylanmayı önlemek için kalıp tasarım yöntemleri araştırılmış ve uygun kalıp yapımı ile geri yaylanmanın azaltılabileceği tespit edilmiştir (Gan ve Wagoner, 2004).

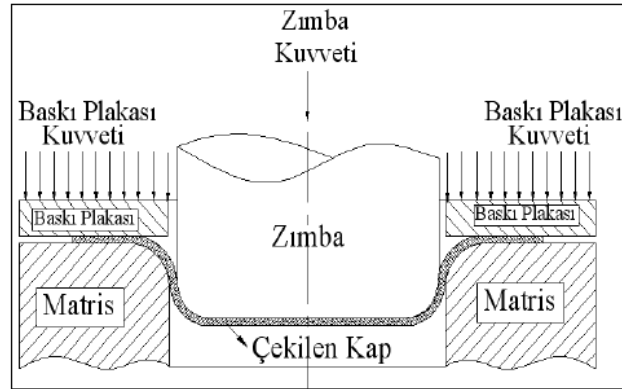
Sonlu elemanlar yöntemini diğer sayısal yöntemlerden üstün kılan başlıca unsurlar şöyle sıralanabilir (Karataş, 2009):

- Cismin geometrisi tam olarak tanımlanabilir.
- Delik veya köşelerin bulunduğu bölgeler analiz edilebilir.
- Farklı malzeme ve geometrik özelliklere sahip cisimler incelenebilir.

- Yükleme durumları, artık gerilmeler, ön gerilmeler, ısıl yükler, sınır koşulları göz önüne alınabilir.
- Lineer olmayan yapı problemleri çözülebilir.
- İzotrop olmayan ve süreksizlik içeren malzemeler kullanılabilir.

2.2 Derin Çekme

Düz sac levha malzemelerden içi boş, üç boyutlu kap vb. parçaları biçimlendirmek için kullanılan sacların çekme kalıbı denilen düzenlerle pres kullanılarak belirli derinlik ve profillerde kap şeklinin verilmesi işlemine derin çekme denir. Sac metal şekillendirmede derin çekme konusu ayrı bir önem taşır. Günlük hayatta kullanılan araç ve gereçlerin çoğu derin çekme prosesi ile yapılabilmektedir.



Şekil 2.1 : Basit bir derin çekme işlemi.

Derin çekme işlemi birden fazla işlemi içermektedir. Bunlar eğme, bükme, basma gibi biçimlendirme işlemleridir. Baskı plakası malzemenin kulaklanmasını önlemekte ve kabın incelmeye yardımcı karşı kuvvet olarak kullanılmaktadır. Böylece sac malzeme matris içine ilerleyerek şekillenmesi şekil 2.1'de gösterildiği gibi sağlanır.

2.2.1 Derin çekme işleminde kullanılan kalıpların başlıca parçaları

Zimba : Görevi sac malzemeye şeklini vermektir. Sacın matrisin içerisine doğru ilerlemesini sağlar.

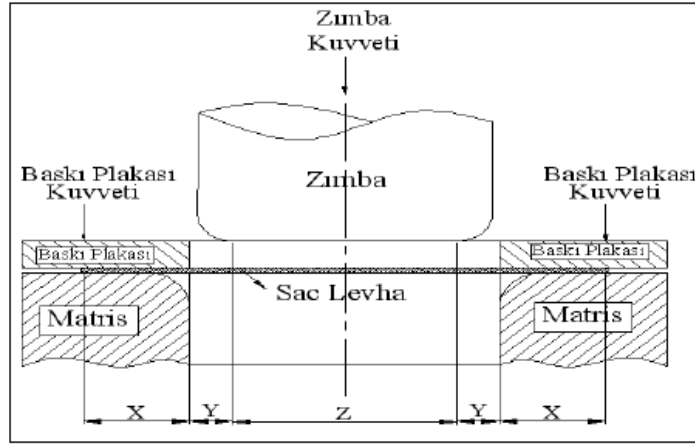
Matris : Sacın son şeklini almasını sağlar.

Baskı plakası : Baskı plakası sacın matris ile sıkıştırılmasını sağlayarak matris içerisine düzgün akmasını sağlar. Şekillendirmenin başında sacın kırışmasını önler.

2.2.2 Derin çekme mekaniği

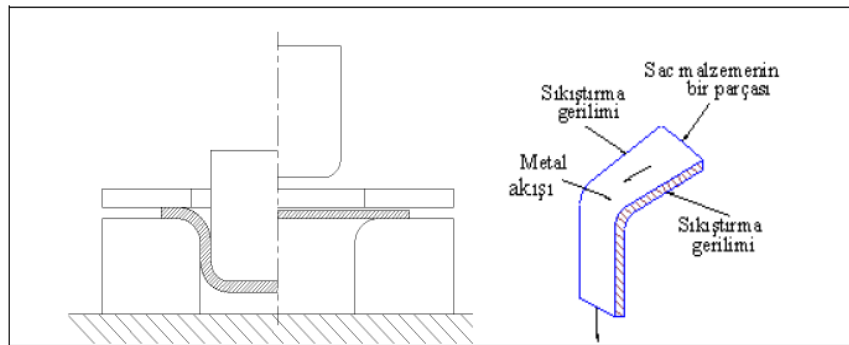
Çekme işleminde, çekilecek kap boyutlarına uygun şerit malzeme veya yuvarlak sac malzeme hazırlanır. Matris üzerine yerleştirilen sac levha baskı plakası yardımı ile belirli basınçta sabitlenir. Zımbanın sac malzeme üzerine uyguladığı kuvvet yardımıyla levha matris içerisine doğru ilerler ve sac malzemenin zımba etrafına düzgün ve homojen bir şekilde sarılması sağlanır. Bu işlemlerin sonunda matris içerisine ilerleyen levha matris boşluğunda şekillendirilir.

Çekme sacı X,Y,Z ile belirtilen üç ayrı bölgeye ayrılarak şekil 2.2’de gösterilmiştir.



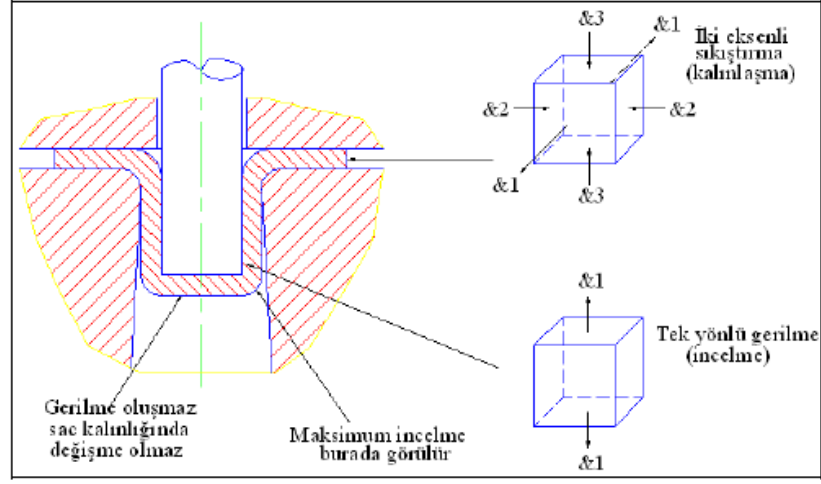
Şekil 2.2 : Çekme kalıbındaki işlev bölgeleri.

X ile belirtilen bölge sac levhanın matrisle temas ettiği kısımdır. Y ile gösterilen bölgede çekme başlangıcında hem matrisle hem de zımbayla teması olmamaktadır. Z ile gösterilen dairesel bölge ise zımbanın alt yüzeyiyle temas eder. Çekme sırasında X ile ifade edilen bölge baskı plakası ile temas ettirilerek basıncın etkisi ile çekmeye karşı kuvvet oluşturulur, çekilme esnasında malzeme kalınlığı artar, Y bölgesinde sac malzeme uzama ve kayma eğilimi göstererek malzeme kalınlığında incelmeye uğruşur, Z bölgesinde ise malzeme zımba tabanında hem uzama hem de kaymaya maruz kalır.



Şekil 2.3 : Derin çekmenin mekaniği.

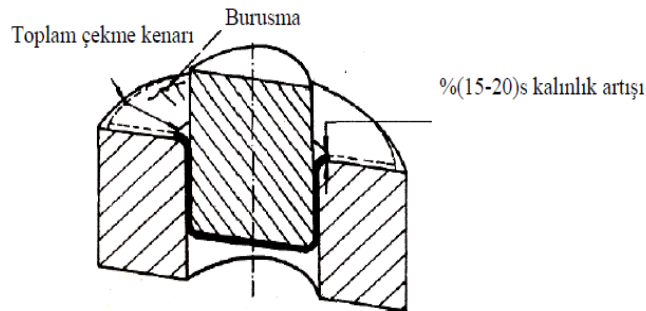
Derin çekmede malzeme baskı plakası ile temas halinde olduğu yüzeyde şekil 2.3'deki gibi sıkıştırma gerilimi oluşur ve matrisin kavis kısmında malzeme şekillenirken incelmeye yani metal akışı şekil 2.4'deki gibi meydana gelmektedir.



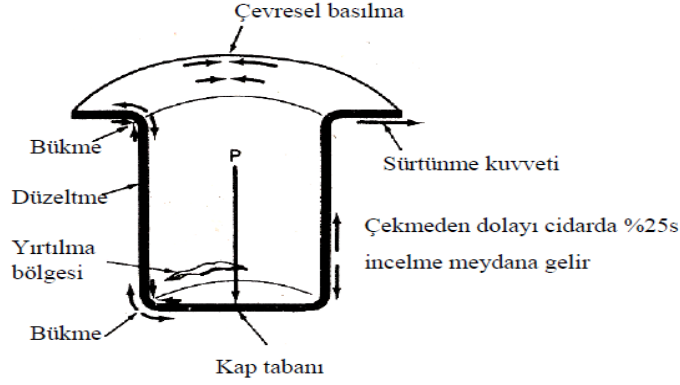
Şekil 2.4 : Derin çekmede meydana gelen gerilmeler.

Derin çekme işlemi sırasındaki zımba köşe kavisinde tek yönlü gerilme ile malzemede maksimum incelmeye görülür, zımba tabanında ise sac kalınlığında değişme olmaz, sacın baskı plakası ile bastırıldığı kısımda ise iki eksenli sıkıştırma oluşarak sac malzemenin kalınlığında şekil 2.5 'deki gibi kalınlaşma oluşur.

Kalıp içerisine akan sac malzemenin dış çevresinde basma gerilimi meydana gelir. Bu basma gerilimi, çekilen kabın ağız kısmında malzeme yığılması meydana getirir. Bu şekildeki malzeme yığılmasına buruşma adı verilir. Çekilen kabın ağız kısmında buruşma ve (% 15 - % 20) kadar kalınlık artışı meydana gelir. Ayrıca, çekme işlemi biten kabın ağız ve taban kavis yüzeylerinde eğilme ve basma gerilmeleri, tabana yakın kısımlarda maksimum çekme gerilimi meydana gelir. Çekme geriliminin maksimum olduğu bu kısımlarda çekilen kabın et kalınlığı azalır ve parça aşırı çekmeye zorlandığında taban çevresinde yırtılma bölgeleri şekil 2.6'daki gibi oluşur.



Şekil 2.5 : Derin çekme sırasında buruşma ve kalınlık artışı.



Şekil 2.6 : Derin çekmede yırtılma bölgesi ve bükme.

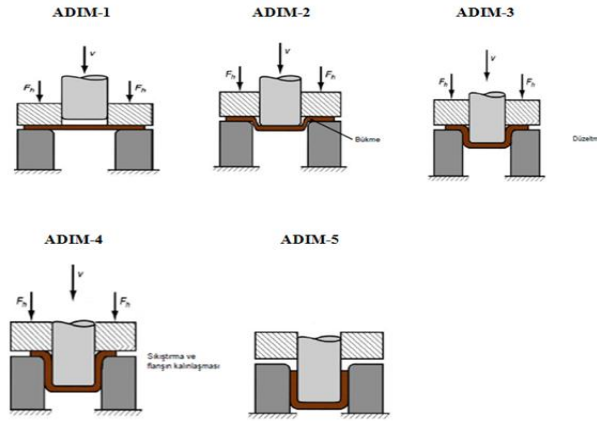
Literatürde yapılan araştırmalar incelendiğinde, çalışmaların büyük bölümünün derin çekme işlemi sırasında oluşan kuvvetlerin belirlenmesine ve malzemelerin çekilebilirliğinin iyileştirilmesine yönelik deneysel çalışmalar olduğu görülmüştür.

Yapılan deneysel çalışmalarda, pres kuvveti, baskı plakasının ve baskının etkileri, çekme yüksekliği, yağlama, yüzey kalitesi, kırışmalar, et kalınlıklarındaki değişim, yırtılmalar vb. birçok parametrenin incelendiği tespit edilmiştir. Bununla birlikte, derin çekme işleminin analizi ve simülasyonuna yönelik çalışmalarında yaygın olarak uygulandığı görülmüştür. Çalışmalarda, derin çekmenin analizi için, Dynaform, Ansys ve Autoform gibi ticari yazılımlar kullanılmış ve analiz sonuçlarında malzemedeki gerilmeler, çekme limitleri, çekme değişkenlerinin etkileri, et kalınlıklarındaki değişim vb. parametreler araştırılmıştır.

Yapılan literatür araştırması sonucunda elde edilen bilgiler doğrultusunda, derin çekme işlemi sırasında geri yaylanmayı etkileyen faktörler sonlu elemanlar metodu ile Hyperworks paket programı kullanılarak incelenecektir. Daha önce Hyperworks programı ile çalışılmış bir literatür bulunmadığından yapılacak bu çalışmanın literatürden farklı yönlerinin olacağı görülmüştür.

2.2.3 Derin çekme işlem adımları

Derin çekme yönteminde matris, zımba ve baskı plakası kullanılmaktadır. Sac metal parça, kalıp boşluğunun üzerine yerleştirilir ve ardından zımba, metali boşluğa doğru iter. Bu işlemlerin sonrasında matris içerisine ilerleyen levha matris boşluğunda şekillendirilir. Matris ve baskı plakası arasında kalan sac levhaya, baskı plakası kuvvet uygulamaktadır. Bu uygulanan kuvvet sayesinde şekillendirme sağlanır. Derin çekme işlem adımları şekil 2.7’de gösterilmiştir.



Şekil 2.7 : Derin çekme işlem adımları.

2.2.4 Derin çekme kabiliyetini etkileyen faktörler

Derin çekmeyi etkileyen faktörler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Malzemenin özellikleri
2. Kalıp geometrisi
3. İşlem koşulları

2.2.4.1 Malzeme özellikleri

Elastisite (young) modülü : Malzemenin kuvvet altında elastik şekil değiştirmesinin ölçüsüdür. Birim kesit alanına sahip bir malzemede birim boyu bir kat arttırmak için uygulanması gereken kuvveti gösterir.

Yük altında deformasyona uğramış malzemenin tekrar eski halini alma özelliğinin ölçüsüdür. Birim gerilme ile birim şekil değiştirme arasındaki orandır.

Gerilme birim şekil değiştirme eğrisinin sıfır olduğu nokta ile üst akma noktası arasında malzemenin elastik bölgesi adı verilir. Bu bölgede hook kanunu geçerli olup bu doğrunun eğimi malzemenin Young modülünü verecektir.

Young modülünün değeri sac malzemedeki geriye yaylanma miktarının saptanmasında önemlidir. Bu geriye yaylanma eğilimi, yüksek akma dayanımı ve düşük bir young modülünün yardımcı olduğu elastik gerinim artışı ile artar.

Pekleşme üsteli "n": Bir sacın sertleşme yeteneği, soğuk şekillendirilebilirliğini etkileyen en önemli malzeme özelliğidir. Plastik değişime uğrayan bir bölgede oluşacak pekleşmeden dolayı dayanım artar. Malzeme deforme oldukça deformasyon sertleşmesi nedeniyle şekil alma kabiliyeti giderek azalır. Gerçek gerilme gerçek

şekil değiştirme eğrisinin eğiminden hesaplanır. Veriler denklem (2.1) ile uyum gösterir.

$$\sigma = K\varepsilon^n \quad (2.1)$$

σ = Gerilme

K= Sabit

ε = Deformasyon

n = Pekleşme üsteli

2.2.4.2 Kalıp geometrisi

Derin çekme işleminde zımba yarıçapı önemli bir etkindir yarıçapında azalma olursa malzemede yırtılmalar oluşabilir. Diğer etken ise matris ile zımba arası boşluk sıfıra yakın bir değer olursa malzemede yırtılma veya kesme hataları oluşabilir.

2.2.4.3 İşlem koşulları

Baskı plakası kuvveti : Katlanmanın engellenmesi ve sacın düzgün bir şekilde kalıp içerisine doğru itilebilmesi için baskı plakası kullanılmaktadır. Bu plakayla saca uygulanan kuvvet sacın geriye doğru akarak şekil almasını sağlamaktadır. Baskı plakasının uyguladığı kuvvete bağlı olarak kapta yırtılma ya da kırışmalar görülebilmektedir.

Derin çekme esnasında malzemenin kırışmasını engellemek için baskı plakası kullanılır. Baskı plakası malzeme üzerine basma kuvveti uygulayarak malzemenin çekilmesine yardımcı olur. Baskı plakasına fazla kuvvet uygulanması halinde malzemede yırtılmalar, delinmeler meydana gelebilir.

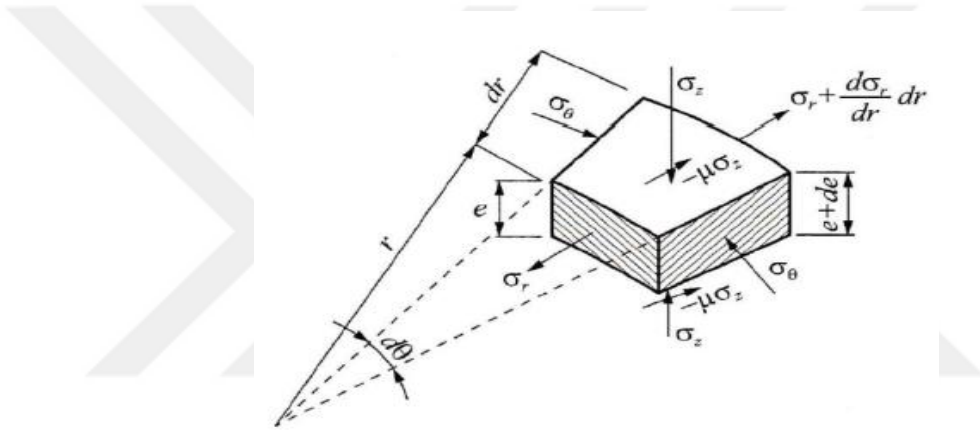
Sac kalınlığı : Sac kalınlığındaki artış biçimlendirilebilirliğe olumlu yönde etkiler. Yapılan biçimlendirme işleminde kalın sacda ince saca göre daha büyük sınır gerinimleri elde edilir. Levha kalınlığının artmasıyla biçimlendirme limiti artmaktadır.

Derin çekme hızı : Derin çekme hızı, çekilen parçanın düzgünlüğüne ve fiziksel özelliklerine etki eder. Genelde çekme hızı malzemenin cinsine, kalınlığına bağlı olarak seçilir.

Çekme kalıbının tasarımı : Derin çekme işleminde çekme kalıbının tasarımı önemlidir. Yani çekme kalıbının veya malzemenin uygun olmaması derin çekme işlemini olumsuz etkilemektedir.

2.2.5 Derin çekmede gerilmeler

Silindirik kapların derin çekilmesinde baskı plakasının altındaki parça, radyal çeki gerilmesine ve teğetsel bası gerilmesine maruz kalır. Aynı zamanda flanştaki buruşmayı önlemek için baskı plakası kuvveti, en küçük değerde ve dik şekilde bası gerilmesi uygulamalıdır. Dairesel bir çekme sacının silindirik bir parça haline dönüştürülmesi sırasında flanşta alınan bir hacim elemanına etkiyen gerilmeler şekil 2.8'de verilmiştir.



Şekil 2.8 : Flanştaki bir hacim elemanına etkiyen gerilmeler.

2.2.6 Derin çekilme sırasında saclarda görülen hatalar

Çekme işleminde meydana gelen hatalar buruşma, yırtılma ve benzeri hallerdir. Bu hatalar çekilerek elde edilen iş parçalarında asla kabul edilmeyen hatalardır. Çekme işleminde en çok rastlanan hatalar şunlardır:

1. Çekilen iş parçasının sac kalınlığının değişmesi
2. Buruşma
3. Yırtılma
4. Geri yaylanma gibi hatalar görülebilir.

Çekme etkisinden dolayı sac bünyesinde ortaya çıkacak kuvvetler, malzemenin kalınlığında değişmelere neden olmaktadır.

Çekilen kap malzemenin flanş veya gövde kısımlarında buruşmalar meydana gelebilir. Bu buruşmalara, malzeme yığılması adı verilir ve çekilen kabın yırtılmasına sebep olur.

Uzama, dayanım sınırını aşınca malzeme yırtılır. Yırtılmaya neden olacak birçok sebep vardır.

Çekme kalıbından çıkan kap, geri yaylanma sonucu açılır. Çekme sonucu elde edilen hatalı parçanın incelenmesiyle hatanın oluşum nedeni hakkında bir karar verilebilir. Hatanın giderilmesi oluşum nedeninin ortadan kaldırılmasıyla mümkündür. Yırtılma gibi hatalar parçaların ıskartaya çıkmasına neden olur. Buruşma gibi hatalarda parçalara yapılacak son operasyonlar ile parçalar kullanılabilir. Buruşma, parçanın kullanım ömrünü azaltmadığı ve parçada estetik kaygının olmadığı durumlarda parça direkt kullanılabilir.

2.3 Çekme Sacının Teknik Özellikleri

Alüminyumun hafiflik ve dayanıklılığın yanında asıl avantajları şekillendirme kabiliyetinin çok yüksek olması ve endüstride geniş bir kullanma alanının bulunmasıdır. Alüminyumla çalışmak genel olarak demir esaslı metallere çalışmaktan daha kolay olduğu için kullanımı yayılmaktadır. Endüstride alüminyum çok çeşitli şekillerde ve ölçülerde üretilmektedir.

Alüminyum alaşımları ısı işleme tabi tutulanlar ve ısı işleme tabi olmayanlar olarak iki gruba ayrılır. Ayrıca alüminyum tavlendiğinde diğer metal esaslı malzemelere nazaran daha fazla derin çekilebilir. Bunun yanında yoğunluğu düşük olması, korozyona dayanıklı olması ve yüksek elektrik ve ısı iletmesi alüminyumu cazip hale getirmiştir.

2.4 Geri Yaylanma

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 gerçekleştirerek kaybeder. Bu olaya geri yaylanma denir (Lange, 1985).

Sac malzemeleri şekillendirirken uygulanan yük kaldırıldığında, malzeme elastik olarak toparlanmaya ve böylelikle şekillendirme işlemi öncesi formuna dönmeye çalışmaktadır (Tekiner, 2004).

Geri yaylanma, sac malzemenin şekillendirme sırasında uygulanan bükme momentinden kurtulmasıyla sonuçlanan elastik toparlanma olarak tanımlanabilmektedir (Yi ve diğ, 2008).

Sac malzemelerin şekillendirilmesi sonrasında, malzemede elastik toparlanma meydana gelmekte ve sonuç olarak malzeme bünyesinde kalıntı gerilmelerle karşılaşmaktadır (Hosford ve Caddell, 1993).

Geri yaylanmayı, şekillendirme kalıplarının malzeme üzerinden kalkmasından sonra karşılaşılan, gerilmelerin malzemeye dağılması olayı olarak da görmek mümkündür (Zhang ve diğ, 2007).

Geri yaylanma, bitmiş parçada boyut ve şekil doğruluğunu etkileyen en önemli faktördür (Livatyalı ve Altan, 1994).

Şekillendirme işlemleri sonrasında karşılaşılan geri yaylanma problemi, sac malzemelerde kalıntı gerilmeler yaratarak, şekillendirilmiş parçada boyutsal doğruluğu etkilemektedir (Mkaddem ve Saidane, 2007).

Parçaların, arzu edilen tolerans sınırlarında kalabilmesi ve nihai geometrinin doğru bir şekilde belirlenebilmesi için geri yaylanma davranışının önceden tahmin edilmesi gerekmektedir (Tekiner, 2004).

Geri yaylanmayı öngörebilmek ve kontrol edebilmek, şekil verme işleminin kalitesini artırmak ve düşük maliyetli nihai ürünler ortaya çıkarmak açısından çok önemlidir. Geri yaylanmanın doğru bir şekilde tahmin edilmesi için geri yaylanma üzerinde etkili olan sıcaklık, baskı plakası kuvveti, sac kalınlığı, sac genişliği, sürtünme katsayısı, malzeme özellikleri gibi parametrelerin ve bunların varyasyonlarının bilinmesi gerekir. Malzeme özellikleri ve işlem parametrelerine bağlı olan geri yaylanmanın yanlış bir şekilde tahmin edilmesi, kalıp maliyetini artırmaktadır (Gündü, 2000).

Derin çekme operasyonlarında, baskı plakası kuvvetinin değiştirilmesi geri yaylanma miktarının azaltılmasında en etkili yöntemlerden biridir. Baskı plakası kuvveti kulak oluşumuna neden olacak kadar düşük ve yırtılmalara neden olacak kadar yüksek

seviyelerde olmamalıdır. Baskı plakası kuvvetinin belirli bir değerde tutulması ile geri yaylanma miktarı azaltılırken, yırtılma ve buruşma gibi istenmeyen sonuçlardan kaçınılabılır (Çapan, 1999).

2.4.1 Geri yaylanma davranışına etki eden faktörler

Geri yaylanma, malzemelerin mekanik özellikleri, işlem parametreleri ve boyutsal faktörler gibi birçok değişkenin çoklu etkileşiminin söz konusu olduğu karmaşık bir şekillendirme problemidir. Ayrıca parça geometrisi ve malzeme türüne bağlı olduğundan, geri yaylanmanın telafi edilmesinde genel bir kuraldan söz edilememektedir (Yi ve diğ, 2008).

Geri yaylanma davranışı incelenirken, çoklu etkileşim nedeniyle, parametreler ve geri yaylanma arasında lineer olmayan ilişkilerle karşılaşmak mümkün olmaktadır (Wei ve diğ, 2009).

Kalınlık : Kalınlık, geri yaylanma davranışını belirgin şekilde etkileyen parametrelerin başında gelmektedir. Sac malzemenin kalınlığı azaldıkça geri yaylanma miktarı artış göstermektedir (Turan, 2009).

Akma dayanımı : Sac malzemeleri karşılaştırmada kullanılabilen en temel değişkenlerden biri de akma dayanımıdır. Malzemenin kalıcı şekil değişimine maruz kalmaya başladığı gerilme değeri akma dayanımı olarak ifade edilir. Geri yaylanma davranışı malzemenin elastik ve plastik deformasyon davranışına bağlı olarak değişmektedir (Turan, 2009).

Geri yaylanmanın küçük olması için, şekillendirilen malzemenin akma dayanımının düşük olması gerekmektedir (Gau, 1999).

Elastiklik modülü : Elastiklik modülü arttıkça, elastik deformasyona direnç artarak geri yaylanma miktarı azalmaktadır (Tekiner, 2004).

2.4.2 Geri yaylanmanın telafisi

Sac malzemelerin şekillendirilmesi işleminde, şekillendirme sonrası arzu edilen parça geometrisini etkilediğinden, geri yaylanmanın telafisi gerekmektedir. Malzeme özelliklerine bağlı olarak geri yaylanma miktarı ne kadar yüksek olursa olsun, uygun kalıp tasarımları ile geri yaylanmaya müdahale etmek mümkün olmakla birlikte tamamen ortadan kaldırılması mümkün değildir (Gan ve Wagoner, 2004).

Sac metalin derin çekilmesi işleminde incelme ve geri yaylanma konusu üzerine yapılan çalışmalarda geri yaylanmanın değişimini etkileyen faktörlerden bazıları ile geri yaylanma arasındaki değişimi gösteren grafikler verilmiştir. Geri yaylanmanın zımbanın radyüsüne bağlı değişimi, sac metalin kalınlığına bağlı değişimi, tutucu kuvveti ve sürtünme katsayısına bağlı değişimi makalede grafikler yardımıyla gösterilmiştir (Zein ve diğ, 2013).



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Sonlu Elemanlar Yöntemi

Sonlu elemanlar yöntemiyle analiz, bir dizaynı belirli yük ve sınır kosullarında simüle edip, bu yüklere tepkisini bulmanın bir yöntemidir. Dizaynın modellenmesi elemanlar denen parçalara ayrılarak yapılır. Her elemanın yüklemeye vereceği tepkiyi ifade eden bir denkleme vardır. Bu elemanların tepkilerinin toplamı, dizaynın yüklemeye vereceği tepkiyi oluşturur. Elemanlar sonlu sayıda bilinmeyen içerir; sonlu elemanlar tabiri buradan gelir.

Sonlu elemanlar metodu, yüzeylerin geometri bilgisini matematiğe dönüştürmede oldukça başarılıdır. Sonlu elemanlar ağı detaylandıkça matematik model, fiziksel modele daha da yaklaşacaktır.

Çalışma içeriğinde derin çekme ve geri yaylanma analizlerinde sonlu elemanlar yöntemi seçilmiştir. Sonlu elemanlar dışında bu konuda çözümler sunan başka yöntemler de vardır. Fakat bu yöntemler malzeme hareketini her doğrultuda kontrol etmez, kesitlerde inceler. Ayrıca malzeme bilgisi içermeden yalnız geometrik özdeşlikler yardımı ile sonuca ulaştıkları için, gerilmeler ve enerji değişimleri konusunda yetersiz kalmaktadırlar. Metal şekillendirmede sonlu elemanların seçilmesinin başka sebepleri de; çok farklı malzeme ve çok çeşitli temas tanımlamalarıdır. Böylelikle şekillendirme işleminin doğasını oldukça fazla değişken ile simüle etme imkanı sağlanır.

Sonlu elemanlar metodunun temel prensibi, öncelikle bir elemana ait sistem özelliklerini içeren denklemlerin çıkartılıp tüm sistemi temsil edecek şekilde eleman denklemlerini birleştirerek sisteme ait lineer denklem takımının elde edilmesidir.

Sonlu elemanlar metoduna dayanan Hyperworks paketi içerisinde yer alan Hyperform yazılımı derin çekme ve geri yaylanma analizleri için kullanılmıştır.

3.2 Hyperworks Programı ile Alüminyum Sac Metal Parçaların Derin Çekme ve Geri Yaylanma Analizleri

Derin çekme ile üretilebilecek iki farklı parça seçilmiştir. Seçilen parçalara hyperworks paket programı kullanılarak derin çekme işlemi uygulanmıştır. Tutucu kuvveti ve zımbanın hızı gibi parametreler değiştirilerek derin çekme işlemleri tekrarlanmıştır. Derin çekme işlemleri sonucunda elde edilen animasyon dosyaları Hyperview'de çalıştırılmış ve şekil değiştirme sınır diyagramları incelenmiştir. Şekil değiştirme sınır diyagramına bakılarak derin çekme işlemi sonucunda üretilen parçada buruşma veya yırtılma olup olmadığına karar verilmiştir. Eğer parçada yırtılma oluyorsa tercih edilen kuvvet ve hız parametreleri uygun değildir. Yırtılmanın önüne geçebilmek için kuvvet azaltılmıştır. Daha düşük kuvvetlerde derin çekme işlemi uygulanmıştır. Diğer taraftan eğer parçada çok fazla buruşma oluyorsa kuvvet değeri yırtılmaya izin vermeyecek ancak buruşmayı ortadan kaldıracak kadar bir miktar artırılmıştır. Bu şekilde optimum parametre değerleri elde edilmiştir. Yapılan derin çekme analizlerinde yırtılma ile sonuçlananlar elenmiştir. Kalan analizlerin arasından güzel sonuçlar elde edilenler belirlenmiş ve bunlara geri yaylanma analizi uygulanmıştır.

Geri yaylanma analizleri için de yine Hyperworks programı tercih edilmiştir. Hyperworks programında analizlerin yapılması ile elde edilen animasyon dosyaları Hyperview'de çalıştırılmıştır ve yer değiştirme değeri okunmuştur. Yer değiştirme değeri geri yaylanmanın miktarı hakkında bilgi verir. Yer değiştirme değerinin küçük çıkması geri yaylanmanın az olduğuna işarettir. Geri yaylanmanın mümkün olduğunca az olması istenir. Bu nedenle yer değiştirme değerinin en küçük olduğu analizde geri yaylanma en az olduğundan en iyi sonuç elde edilmiştir. Bu analizde kullanılan kuvvet ve hız parametreleri de en iyi parametreler olarak belirlenmiştir. Geri yaylanmanın en az çıktığı analiz ile geri yaylanmanın en fazla çıktığı analizin sonuçları kıyaslanır ve bu çalışmanın sonucunda ne kadarlık bir iyileşme sağlandığı belirlenir. Kuvvet ve hız değerlerinin doğru seçilmesi ile elde edilen iyileştirme oranı hesaplanır.

Tezin amacında da belirtildiği gibi parametrelerin değerleri değiştiğinde geri yaylanma miktarının ne kadar değiştiği izlenmiş ve kıyaslanmıştır. İleriki bölümlerde

geri yaylanmanın değerinin en az olması için bu parametrelerin değerlerinin ne olması gerektiği üzerine yorum yapılacaktır.

3.2.1 Analizlerde kullanılan malzeme ve özellikleri

Hyperworks programı ile yapılan derin çekme ve geri yaylanma analizlerinde malzeme olarak Al 3000 serisi kullanılmıştır. Bu seride ana alaşım elemanı Mangandır. Manganın alaşım içindeki yüzdesi %1,5'tir. Yapıda ayrıca çok az miktarlarda demir ve silisyum elementleri bulunmaktadır. Korozyona karşı yüksek mukavemet gösterirler. Kolay işlenebilirler. Bir malzemenin şekillendirilebilirliği gerilme, akma dayanımı, pekleşme üsteli elastiklik modülü v.b. gibi özelliklerine bağlıdır (Çetin, 2005). Al 3000 serisinin özellikleri çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1 : Al 3000 serisinin özellikleri

E (GPa)	σ_A (MPa)	σ_C (MPa)	ν	K(MPa)	n
70	145	150	0,33	180	0,20

E : Elastisite Modülü

σ_A : Akma Dayanımı

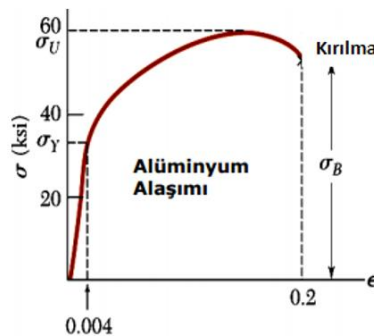
σ_C : Çekme Dayanımı

ν : Poison oranı

K : Dayanım sabiti

n : Peklleşme üsteli

Gerilme-birim şekil değiştirme eğrisi : Uygulanan kuvvet miktarına bağlı olarak numunede oluşan şekil değişimini gösteren bir eğridir. Malzemenin gerilme-birim şekil değiştirme diyagramından malzemenin sünek mi gevrek mi olduğu anlaşılır. Alüminyum alaşımı için gerilme-birim şekil değiştirme grafiği Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1 : Alüminyum alaşımı için gerilme-birim şekil değiştirme grafiği

σ_Y : malzemenin akma dayanımı
 σ_U : malzemenin kopma dayanımı
 σ_B : malzemenin kırılma dayanımı

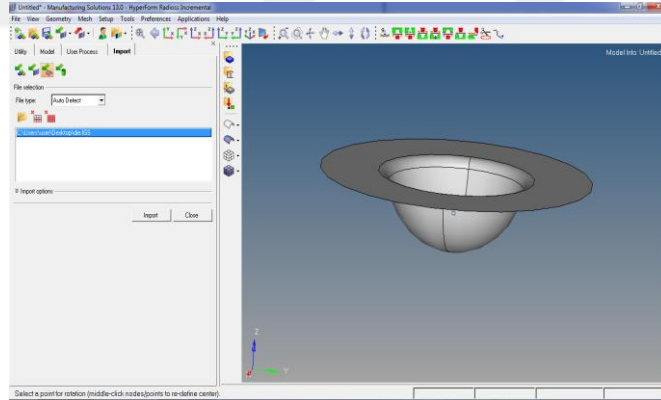
3.2.2 Şekillendirme Sınır Diyagramı

Şekillendirme Sınır Diyagramı ile derin çekme uygulanan sac malzemelerin davranışları analiz edilebilir. Sac şekillendirme işlemlerinde yırtılmayı kontrol etmek ve malzemenin maksimum şekilde faydalanabilmek amacıyla şekillendirme sınır diyagramları geliştirilmiştir. Şekillendirme sınır diyagramının koordinatları küçük uzama ve büyük uzama olarak adlandırılır. Şekillendirme sınır diyagramı sacın şekillenebileceği bölge ile şekillenemeyeceği bölgeyi ayırır.

Hyperview’de oluşturulan şekillendirme sınır diyagramlarındaki mavi derin çekme sırasında parçada meydana gelen buruşmayı, kırmızı yırtılmayı, sarı marjinal bölgeyi ve yeşil güvenli bölgeyi göstermektedir.

3.2.3 Birinci parçanın derin çekme ve geri yaylanma analizleri

İlk seçilen parçanın görüntüsü Şekil 3.2’deki gibidir.



Şekil 3.2 : Birinci parçanın ekran görüntüsü.

Sac parçanın malzemesi: Alüminyum

t (kalınlık değeri) :1.3

Ağ yapısının boyutu: 3

Ağ yapısının tipi : karma

Tutucu kuvveti ve zımbanın hızı geniş bir aralıkta değiştirilmiş ve derin çekme analizleri gerçekleştirilmiştir. Çizelge 3.2’de bu analizler gösterilmiştir.

Çizelge 3.2 : Birinci parça için yapılan derin çekme analizleri (ilk aşama).

Tutucu kuvveti (N)	Zımbanın hızı (mm/s)	Derin çekme
10000	100	yırtılma yok
10000	500	yırtılma yok
10000	1000	yırtılma yok
10000	5000	yırtılma yok
10000	10000	yırtılma yok
20000	5000	yırtılma var
30000	5000	yırtılma var
50000	5000	yırtılma var

Yapılan bu analizlerin sonuçları incelenmiştir. Tutucu kuvveti ve zımbanın hızı için yeni bir aralık belirlenmiş ve bu aralıkta derin çekme analizleri yinelenmiştir. Çizelge 3.3’de bu analizler gösterilmiştir.

Çizelge 3.3 : Birinci parça için yapılan derin çekme analizleri (ikinci aşama).

Tutucu kuvveti (N)	Zımbanın hızı (mm/s)	Derin çekme	Geri yaylanma analizi
10000	12000	yırtılma yok	yapılmıştır
10000	14000	yırtılma yok	yapılmıştır
10000	16000	yırtılma var	yapılmamıştır
10000	20000	yırtılma var	yapılmamıştır
14000	5000	yırtılma yok	yapılmıştır
14000	12000	yırtılma var	yapılmamıştır
14000	14000	yırtılma var	yapılmamıştır
16000	5000	yırtılma yok	yapılmıştır
18000	5000	yırtılma var	yapılmamıştır

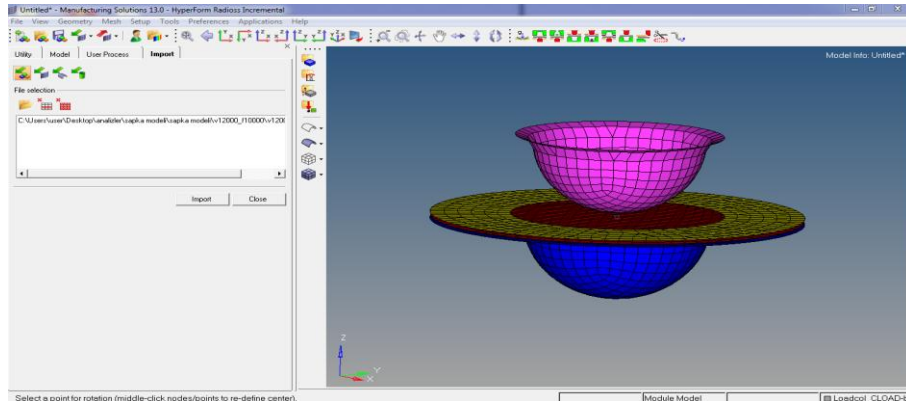
Yinelenen bu analizlerin sonuçları incelenmiştir. Yırtılma olanlar elenmiştir. Kalanlara geri yaylanma analizi uygulanmıştır. Geri yaylanma analiz sonuçları çizelge 3.4’de kıyaslanmıştır. Geri yaylanmanın en az olduğu işlem parametreleri belirlenmiştir. Yapılan analizler sonucunda ne kadarlık bir iyileşme sağlandığı hesaplanmıştır.

Çizelge 3.4 : Geri yaylanma analiz sonuçlarının kıyaslanması.

Tutucu kuvveti (N)	Zımbanın hızı (mm/s)	Geri yaylanma analiz sonucu
10000	12000	en az geri yaylanma
10000	14000	
12000	5000	
14000	5000	
16000	5000	en çok geri yaylanma

Kuvvet : 10000 N, hız : 12000 mm/s olduğunda en az geri yaylanma olmuştur. En iyi sonuç elde edilmiştir.

Birinci parça için en iyi model : En iyi sonucu veren parametrelerle derin çekme ve geri yaylanma analizlerinin nasıl yapıldığı detaylı olarak açıklanacaktır. Hyperworks paket programının Hypermesh modülünde derin çekme analizi yapılmıştır. Ağ yapısının boyutu : 3 girilmiş, ağ yapısının tipi : karma seçilmiş tümüne ağ yapısı oluşturulmuş, matris die, sac parça ise blank olarak adlandırılmış, matrise göre zımba ve tutucu oluşturulmuş, kalınlık değeri 1.3 girilmiştir. Belirtilen işlem adımları takip edildikten sonra parçanın son hali şekil 3.3'deki gibi oluşturulmuştur.



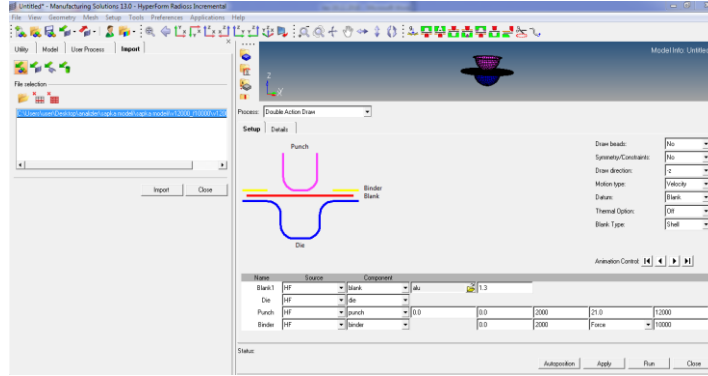
Şekil 3.3 : Derin çekmeye hazır parça.

Birinci parça için derin çekmede kullanılacak parametrelerin değerleri çizelge 3.5'de verilmiştir.

Çizelge 3.5 : Birinci parça için derin çekmede kullanılacak parametreler.

Ağ örgüsünün boyutu	Tutucu kuvveti	Zımbanın hızı	Kalınlık
3	10000	12000	1,3

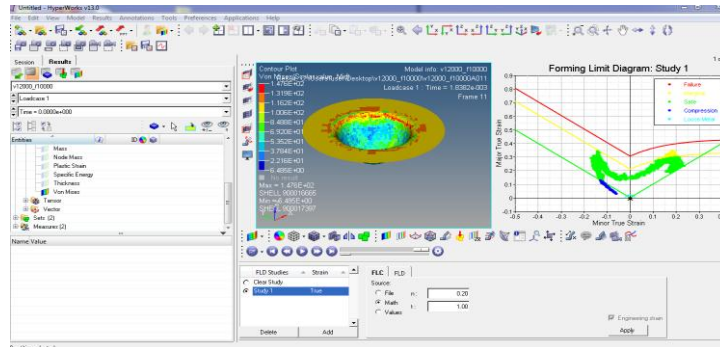
Daha sonra double acting draw seçeneği tıklanıp karşımıza çıkan pencereden ağ örgüsünün boyutu, tutucu kuvveti, zımbanın hızı, sac parçanın malzemesi ve kalınlık değerleri şekil 3.4'deki gibi girilmiştir.



Şekil 3.4 : Parametre değerlerinin girilmesi.

Önce autoposition sonra apply tıklanmış sonra çalışma kaydedilmiş, daha sonra doğru dosya seçilmiş ve analiz başlatılmıştır.

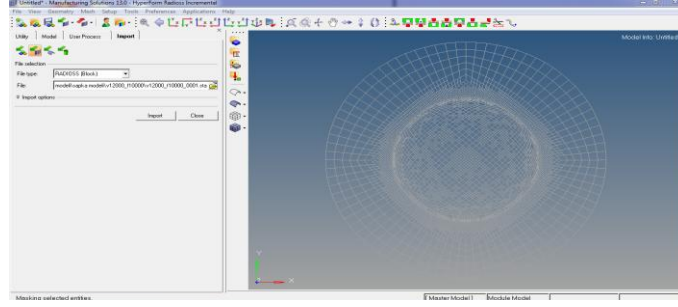
Hyperview ekranına geçilmiş animasyon çalıştırılmış ve sonuçlar gözlenmiştir. Şekil 3.5'deki şekillendirme sınır diyagramı çizdirilmiştir. Derin çekme işlemi sonucu sac parçada ne kadar kalınlaşma, ne kadar incelmeye olduğu ve gerilmenin nasıl değiştiğine bakılarak bu seçilen parça için belirlenen parametrelerde (tutucu kuvveti, zımbanın hızı) bu derin çekme işleminin uygulanıp uygulanamayacağına karar verilmiştir.



Şekil 3.5 : Şekillendirme sınır diyagramı.

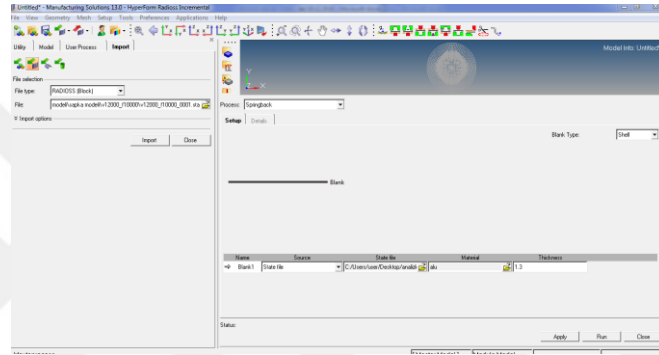
Şekillendirme sınır diyagramında kırmızılıklar yoktur. Öyleyse yırtılma yoktur. Bu derin çekme analizi parametreleri uygundur. Bu dosyanın üzerinden geri yaylanma analizi yapılmıştır.

Geri yaylanma analizi için öncelikle ilgili dosya Şekil 3.6'daki gibi aktarılır.



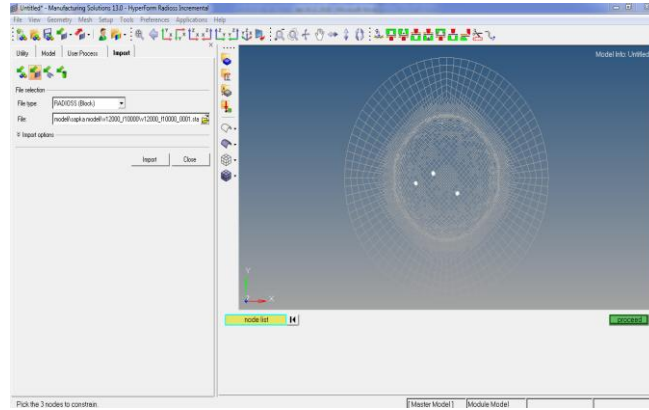
Şekil 3.6 : Geri yaylanma analizi için ilgili dosyanın aktarımı.

Üst taraftaki araç çubuğunda springback simgesine tıklanır. Karşımıza çıkan ekrandan ilgili dosya seçilir. İşlem yapılan sac metalin malzemesi ve kalınlık değerleri şekil 3.7'deki gibi girilir.



Şekil 3.7 : Geri yaylanma analizinde veri giriş ekranı.

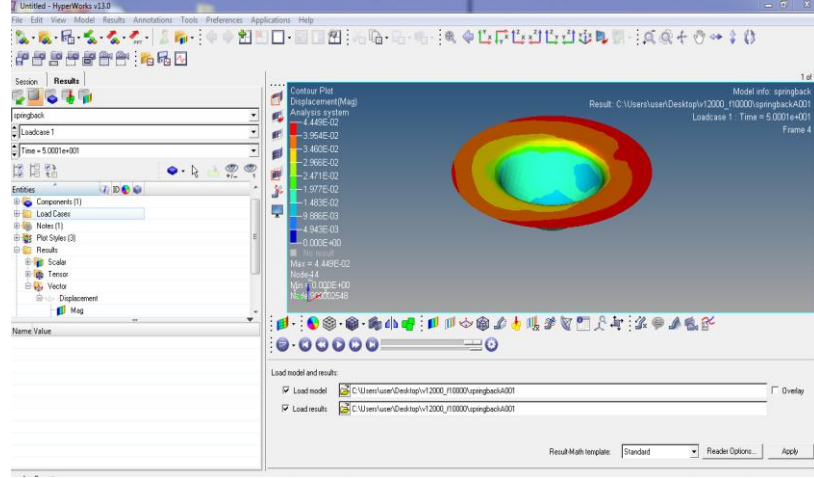
Önce apply seçeneğine tıklanır. Sonra karşımıza gelen ekranda şekil 3.8'de gösterildiği gibi parçanın üzerinde 3 farklı düğüm noktası seçilir.



Şekil 3.8 : Parça üzerinde düğüm noktası seçimi.

Daha sonra ekranın alt tarafındaki proceed butonuna tıklanır. Sonra run butonuna tıklanır ve analiz başlatılır. Analiz sonuçlandığında program dört ayrı animasyon dosyası yazdırır. Bu animasyon dosyaları Hyperview'de oynatılır. Geri yaylanma

analizi sonucunda elde edilen parçanın son hali şekil 3.9’da görüldüğü gibi elde edilir.

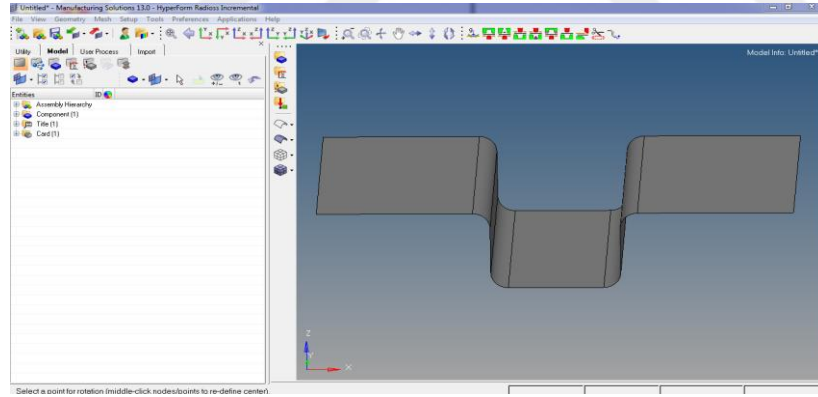


Şekil 3.9 : Geri yaylanma sonucu parçanın görüntüsü.

Programda sonuçlar kısmında yer değiştirme değeri okunur. Yer değiştirme değeri parçadaki geri yaylanma miktarını verir.

3.2.4 İkinci parça için derin çekme ve geri yaylanma analizleri

İkinci parçanın görüntüsü şekil 3.10’daki gibidir.



Şekil 3.10 : İkinci parçanın ekran görüntüsü.

Sac parçanın malzemesi: Alüminyum

t (kalınlık değeri) :1.3

ağ örgüsünün boyutu: 3

ağ örgüsünün tipi : karma

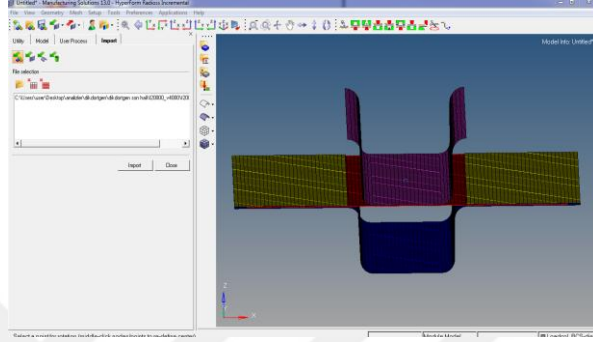
Tutucu kuvveti ve zımbanın hızı geniş bir aralıkta değiştirilmiş ve derin çekme analizleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu analizlerin sonuçları incelenmiştir.

Yırtılmanın olmadığı dosyalara geri yaylanma analizi uygulanmıştır. Çizelge 3.6'da bu analizler gösterilmiştir.

Çizelge 3.6 : İkinci parça için yapılan derin çekme analizleri.

Tutucu kuvveti (N)	Zımbanın hızı (mm/s)	Derin çekme	Geri yaylanma
10000	4000	yırtılma yok	yapılmamıştır
10000	8000	yırtılma yok	yapılmıştır
10000	12000	yırtılma yok	yapılmıştır
10000	16000	yırtılma yok	yapılmamıştır
20000	4000	yırtılma yok	yapılmıştır
20000	8000	yırtılma yok	yapılmıştır
20000	12000	yırtılma yok	yapılmamıştır
20000	16000	yırtılma var	yapılmamıştır
30000	4000	yırtılma yok	yapılmıştır
30000	8000	yırtılma yok	yapılmıştır
30000	12000	yırtılma yok	yapılmıştır
30000	16000	yırtılma var	yapılmamıştır
40000	4000	yırtılma yok	yapılmıştır
40000	8000	yırtılma yok	yapılmıştır
40000	12000	yırtılma var	yapılmamıştır
40000	16000	yırtılma var	yapılmamıştır
60000	4000	yırtılma yok	yapılmıştır
60000	8000	yırtılma var	yapılmamıştır
80000	4000	yırtılma yok	yapılmıştır
80000	8000	yırtılma var	yapılmamıştır
100000	4000	yırtılma yok	yapılmıştır
100000	8000	yırtılma var	yapılmamıştır

İkinci parça için en iyi model : En iyi sonucu veren parametrelerle derin çekme ve geri yaylanma analizlerinin nasıl yapıldığı detaylı olarak açıklanacaktır. Hyperworks paket programının Hypermesh modülünde derin çekme analizi yapılmıştır. Ağ örgüsünün boyutu : 3 girilmiş, ağ örgüsünün tipi : karma seçilmiş tümüne ağ yapısı oluşturulmuş, matris die, sac parça ise blank olarak adlandırılmış, matrise göre zımba ve tutucu oluşturulmuş, kalınlık değeri 1.3 girilmiştir. Belirtilen işlem adımları takip edildikten sonra parçanın son hali şekil 3.11’deki gibi oluşturulmuştur.



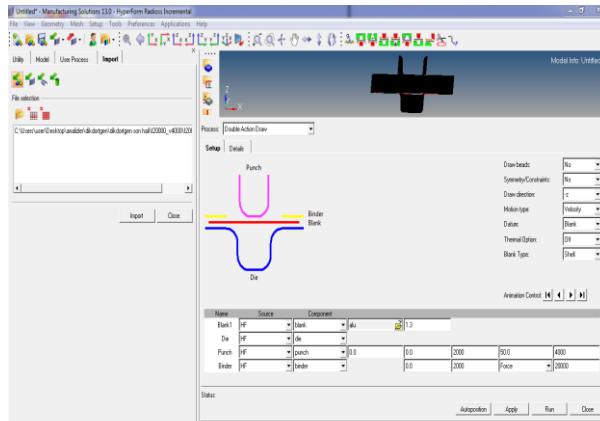
Şekil 3.11 : Derin çekme kalıbı ve sac parça.

İkinci parça için derin çekmede kullanılacak parametrelerin değerleri çizelge 3.7’de verilmiştir.

Çizelge 3.7 : İkinci parça için derin çekmede kullanılacak parametreler.

Ağ örgüsünün boyutu	Tutucu kuvveti	Zımbanın hızı	Kalınlık
3	20000	4000	1.3

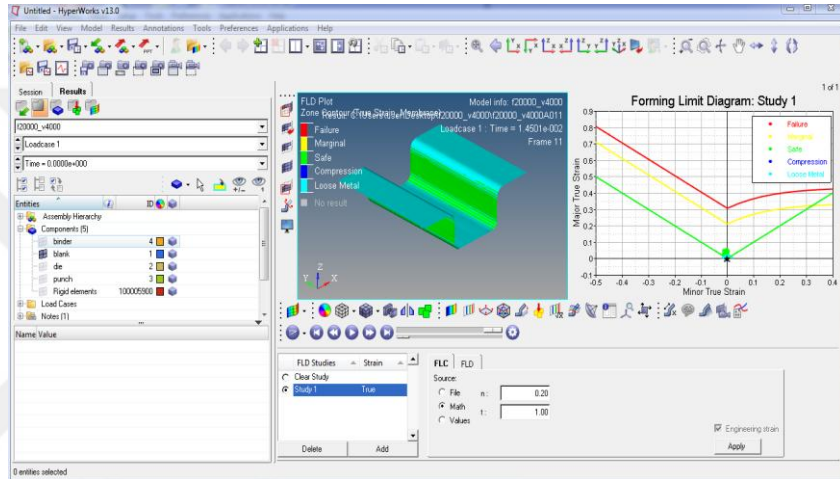
Daha sonra double acting draw seçeneği tıklanıp karşımıza çıkan pencereden tutucu kuvveti, zımbanın hızı, parçanın malzemesi ve kalınlık değerleri şekil 3.12’deki gibi girilmiştir.



Şekil 3.12 : Derin çekme parametrelerinin girilmesi.

Önce autoposition sonra apply tıklanmış sonra çalışma kaydedilmiş, daha sonra doğru dosya seçilmiş, run butonuna tıklanmış ve derin çekme işlemi başlatılmıştır.

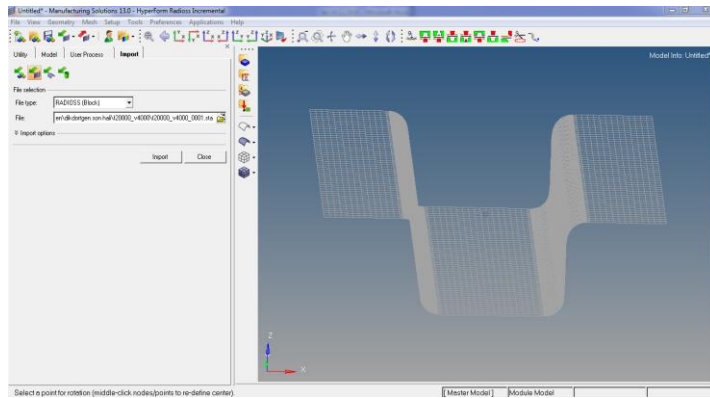
Hyperview ekranına geçilmiş animasyon çalıştırılmış ve sonuçlar gözlenmiştir. Şekil 3.13'deki şekil değiştirme sınır diyagramı çizdirilmiştir. Derin çekme işlemi sonucu sac parçada ne kadar kalınlaşma, ne kadar incelme olduğu ve gerilmenin nasıl değiştiğine bakılarak bu seçilen parça için belirlenen parametrelerde (tutucu kuvveti, zımbanın hızı) bu derin çekme işleminin uygulanıp uygulanamayacağına karar verilmiştir.



Şekil 3.13 : Şekil değiştirme sınır diyagramı.

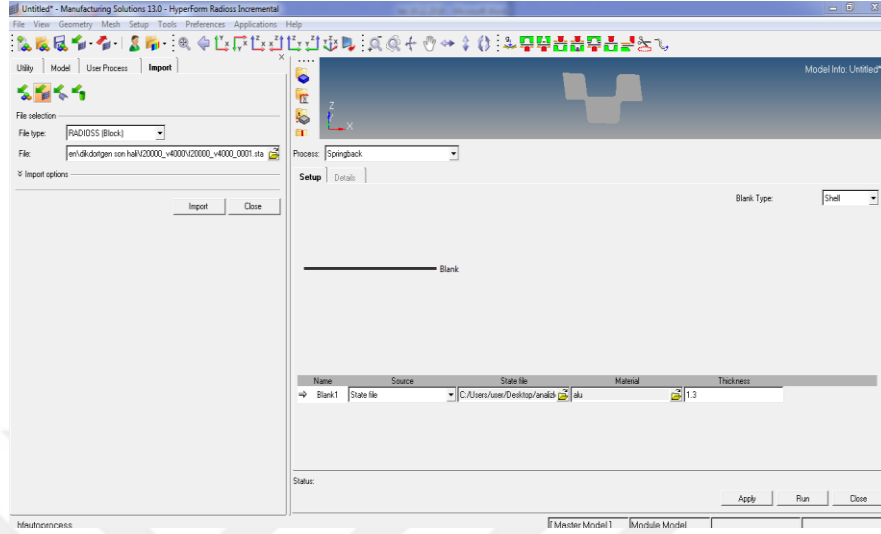
Şekil değiştirme sınır diyagramında kırmızılıklar yoktur. Öyleyse yırtılma yoktur. Bu derin çekme analizi parametreleri uygundur. Bu dosyanın üzerinden geri yaylanma analizi yapılmıştır.

Geri yaylanma analizi için öncelikle ilgili dosya Şekil 3.14'deki gibi programa aktarılır.



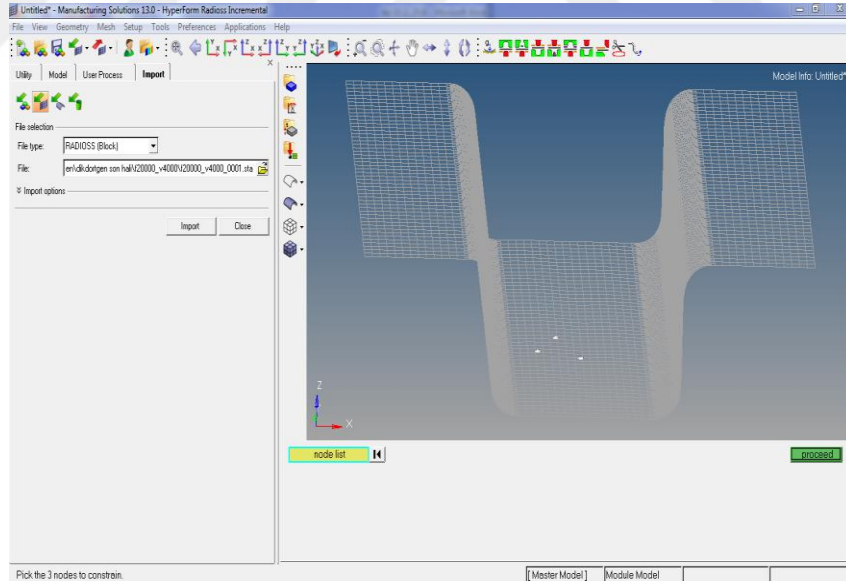
Şekil 3.14 : Geri yaylanma analizi için ilgili dosyanın aktarımı.

Üst taraftaki araç çubuğunda springback simgesine tıklanır. Karşımıza çıkan ekrandan ilgili dosya seçilir. İşlem yapılan sac metalin malzemesi ve kalınlık değerleri şekil 3.15'deki gibi girilir.



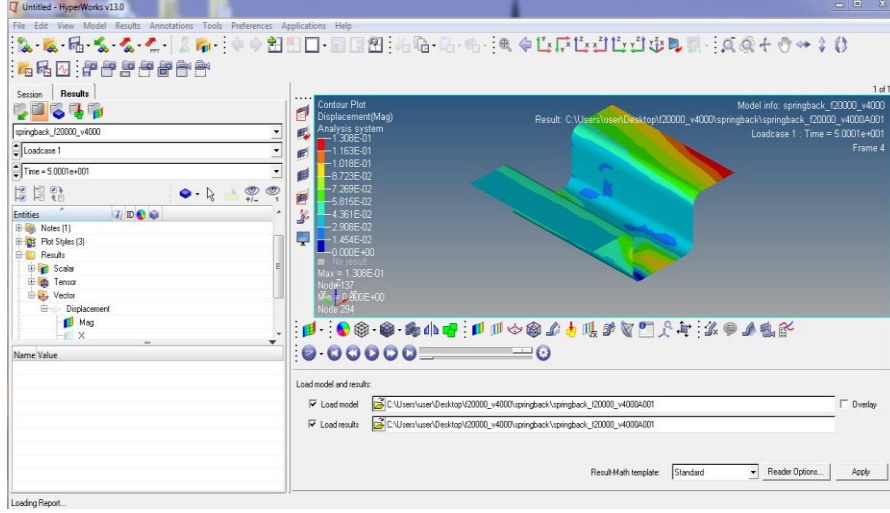
Şekil 3.15 : Geri yaylanma analizi için veri giriş ekranı.

Önce apply seçeneğine tıklanır. Sonra karşımıza gelen ekranda şekil 3.16'da gösterildiği gibi parçanın üzerinde 3 farklı düğüm noktası seçilir.



Şekil 3.16 : Parça üzerinde düğüm noktası seçimi.

Daha sonra ekranın alt tarafındaki proceed butonuna tıklanır. Karşımıza çıkan ekranda run butonuna tıklanır ve analiz başlatılır. Analiz sonuçlandığında program dört ayrı animasyon dosyası yazdırır. Bu animasyon dosyaları Hyperview'de oynatılır. Geri yaylanma analizi sonucunda elde edilen parçanın son hali şekil 3.17'de görüldüğü gibi elde edilir.



Şekil 3.17 : Geri yaylanma sonucu parçanın görüntüsü.

Programda sonuçlar kısmında yer değiştirme değeri okunur. Yer değiştirme değeri parçadaki geri yaylanma miktarını verir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

4.1 Birinci Parça için Analiz Sonuçları ve Öneriler

Birinci parça için geri yaylanma analiz sonuçlarına kuvvet ve hızın etkisi çizelge 4.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 : Birinci parça için parametrelerdeki değişimin geri yaylanma miktarına etkisi.

Kuvvet (N)	Hız (mm/s)	Derin çekme	Geri yaylanma Yerdeğiştirme miktarı (mm)
12000	5000	güvenli bölge ve buruşma	0,07170
14000	5000	güvenli bölge ve buruşma	0,07197
16000	5000	güvenli bölge ve marjinal bölge	0,10410
10000	12000	güvenli bölge ve marjinal bölge	0,04449
10000	14000	güvenli bölge ve marjinal bölge	0,06136

$$\text{İyileştirme Oranı} = \frac{0,10410 - 0,04449}{0,10410} * 100 \quad (4.1)$$

$$\text{İyileştirme Oranı} = \%57,26 \quad (4.2)$$

Kuvvet:16000 hız:5000 olduğunda en fazla geri yaylanma olmuştur. Geri yaylanma miktarı 0,10410 mm’dir. Kuvvet: 10000 hız: 12000 olduğunda en az geri yaylanma olmuştur. Geri yaylanma miktarı 0,04449 mm’dir. Bu parça için en iyi parametreler olarak belirlenmiştir. Bu çalışmayı yapmadaki amaç, kuvvet ve hız parametrelerinin geri yaylanma üzerine etkisini incelemek ve optimum parametreleri belirlemektir. Aynı zamanda en iyi sonucu bulurken bulunan en kötü sonuç ile de kıyaslamak ve ne kadarlık bir iyileştirme yapıldığını hesaplamaktır. Bu analizler sonucunda %57,26’lık iyileştirme yapılmıştır. Ayrıca aynı hız değerinde kuvvet arttıkça geri yaylanmanın da arttığı görülmüştür. Kuvvetin azaltılması ile geri yaylanma miktarı da azaltılabilir. Derin çekme işlemi yapılırken daha düşük kuvvet değerlerinin tercih edilmesi önerilebilir.

4.2 İkinci Parça için Analiz Sonuçları ve Öneriler

İkinci parça için analizlerin sonuçları çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2 : İkinci parça için parametrelerdeki değişimin geri yaylanma miktarına etkisi.

Kuvvet (N)	Hız (mm/s)	Derin çekme sonucu	Geri yaylanma Yerdeğiştirme miktarı (mm)
100000	4000	güvenli bölge ve marjinal bölge	0,7294
100000	8000	yırtılma	-
80000	4000	güvenli bölge	2,7740
80000	8000	yırtılma	-
60000	4000	güvenli bölge	0,5219
60000	8000	yırtılma	-
40000	4000	güvenli bölge	0,4058
40000	8000	güvenli bölge ve buruşma	0,3502
40000	12000	yırtılma	-
40000	16000	yırtılma	-
30000	4000	güvenli bölge	0,2628
30000	8000	güvenli bölge ve buruşma	0,1346
30000	12000	güvenli bölge ve buruşma	0,8038
30000	16000	yırtılma	-
20000	4000	güvenli bölge	0,1308
20000	8000	güvenli bölge ve buruşma	0,2648
20000	12000	güvenli bölge ve buruşma	-
20000	16000	yırtılma	-
10000	4000	-	-
10000	8000	güvenli bölge ve buruşma	0,5095
10000	12000	güvenli bölge ve buruşma	0,9274
10000	16000	güvenli bölge ve buruşma	-

$$\text{İyileştirme Oranı} = \frac{2,7740 - 0,1308}{2,7740} * 100 \quad (4.3)$$

$$\text{İyileştirme Oranı} = \%95,28 \quad (4.4)$$

En yüksek geri yaylanma miktarından en düşük geri yaylanma miktarı çıkarılmış, en yüksek geri yaylanma miktarına bölünmüş yüz ile çarpılmış ve yüzde cinsinden iyileştirme oranı hesaplanmıştır. Hesaplanan değer yapılan analizler sonucu ne kadarlık bir iyileşme sağlandığının göstergesidir. %95,28 lik bir iyileşme sağlanmıştır.

Kuvvet:80000 N, hız:4000 mm/s seçildiğinde en fazla geri yaylanma olmuştur. En fazla geri yaylanma miktarı miktarı 2,7740 mm'dir. Kuvvet:20000 N, hız:4000 mm/s seçildiğinde en az geri yaylanma olmuştur. En az geri yaylanma miktarı 0,1308 mm'dir. Geri yaylanma miktarına kuvvetin de hızın da etkisi büyüktür. Ancak bu örnek parça için geri yaylanma miktarına kuvvetin etkisi daha fazladır. Aynı hız değerlerinde yapılan iki analizde büyük kuvvette geri yaylanma da fazla olurken daha küçük kuvvette geri yaylanma da daha az olmuştur. Geri yaylanmayı azaltmak için daha küçük kuvvet değerlerinde derin çekme işleminin yapılması önerilebilir. Ayrıca aynı kuvvet değerinde birden fazla yapılan analizlerde hız değerleri arttıkça derin çekme işleminde iyi bir sonuç alınmadığı parçada yırtılmalar ile karşılaşıldığı görülmüştür. Derin çekme işlemi yapılırken parçada kırışmalar, buruşmalar ortaya çıkmayacak kadar yüksek bir kuvvet ve hız tercih edilmesi gerekir. Çok yüksek hızlara ve kuvvet değerlerine çıkılması uygun değildir.

Malzemenin farklı kuvvet ve hız değerlerinde şekil değiştirme özelliklerinin bilinmesi, işlem sırasında doğru parametrelerin seçiminde yol gösterici olacaktır. Doğru kuvvet ve hız değerlerinde derin çekme işleminin yapılması en az deneme ve en kısa zamanda üretim yapabilmeyi olanaklı hale getirecektir. Kullanılacak malzeme ve üretilecek parçaya en uygun işlem parametrelerinin belirlenmesi firmaların maliyetlerini azaltmalarına yardımcı olacak ve rekabet güçlerini arttıracaktır.

KAYNAKLAR

Arslan, B. (2007). *Geri Esnemenin Sac Parçaları Biçim Tamlığı Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi ve Sonlu Elemanlar Yöntemi Uygulamaları ile Değerlendirilmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Demirci, H. İ., Yaşar, M., Demiray, K. ve Karalı, M. (2005). Derin çekme işlemlerinde baskı plakasının cidar kalınlığı üzerindeki etkisinin Ansys Ls-Dyna ile incelenmesi, 4th International Advanced Technologies Symposium, Konya, Eylül 28-30.

Çapan, L. (1999). *Metallere Plastik Şekil Verme*, Çağlayan Kitabevi, İstanbul.

Çetin, H. (2005). *Alüminyum Alaşımı Hafif Metal Levhaların Prizmatik Derin Çekmede Biçimlendirilebilirlik Özelliklerinin Araştırılması*. (Yüksek Lisans Tezi). Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

Esat, V., Darendeliler, H., Gokler, M. I. (2002). Finite Element Analysis of Springback in Bending of Aluminium Sheets, *Materials and Design*, 23, 223-229.

Gündü, T. (2000). *Derin çekme saclarında derin çekilebilirlik özelliklerinin belirlenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Gan, W., Wagoner, R.H. (2004). Die design method for sheet springback, *International Journal of Mechanical Sciences*, 46, 1097-1113.

Gau, J. T. (1999). *A Study of the Influence of the Bauschinger Effect on Springback in Two-Dimensional Sheet Metal Forming*. (Doktora Tezi). The Ohio State University, Columbus, Ohio.

Hosford, W.F., ve Caddell, R.M. (1993). *Metal Forming: Mechanics and Metallurgy*. Prentice Hall, New Jersey, 2, 42-45.

Karataş, E. (2009). *Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Sac Metalin Büküm Şekillerine Göre Deformasyonunun İncelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Gebze İleri Teknoloji Enstitüsü, Gebze.

Lal, R., K., Choubey, V., K., Dwivedi, J., P. (2018). Study of factors affecting Springback in Sheet Metal Forming and Deep Drawing Process, *Science Direct*, 5(2), 4353-4358.

Lange, K. (1985). *Handbook of Metal Forming*. McGraw-Hill Book Company, New York.

Livatyah, H., Altan, T. (2001). Prediction and elimination of springback in straight flanging using computer aided design methods Part 1. Experimental investigations. *Journal of Materials Processing Technology*, 117, 262-268.

- Meinders, T., Burchitz, I., A., Bonte, M., H., A. Lingbeek, R., A.** (2008). Numerical Product Design: Springback Prediction, Compensation and Optimization, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 48, 499-514.
- Mkaddem, A., Saidane, D.** (2007). Experimental approach and RSM procedure on the examination of springback in wiping-die bending process, *Journal of Materials Processing Technology*, 189, 325-333.
- Öztürk, F. ve Toros, S.** (2009). *Otomobillerde alüminyum-magnezyum alaşımlarının yeri ve şekillendirilebilme kabiliyetlerinin incelenmesi.* (Yüksek Lisans tezi). Niğde Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Niğde
- Tekaslan O., Gerger N., Seker U.** (2008). Determination of spring-back of stainless steel sheet metal in “V” bending dies, *Materials and Design*, 29, 1043-1050.
- Tekiner, Z.** (2004). An Experimental Study on The Examination of Springback of Sheet Metals with Several Thicknesses and Properties in Bending Dies, *Journal of Materials Processing Technology*, 145,109-117.
- Turan, S.E.** (2009). *Düz Kenar Bükme ve Döner Kalıpla Kenar Bükme İşlemlerinin Geri Yaylanma Üzerine Etkilerinin Deneysel Olarak İncelenmesi.* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Wei, L., Yuying , Y., Zhongwen, X., Lihong, Z.** (2009). Springback control of sheet metal forming based on the response-surface method and multi-objective genetic algorithm, *Materials Science and Engineering*, 499, 325-328.
- Yıldız, H. ve Kırılı, O.** (2004). Derin çekme işleminin doğrusal olmayan sonlu elemanlar metodu yardımıyla modellenmesi, *Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 10(3) 317-326.
- Yi, H.K., Kim, D.W., Van Tyne, C.J., Moon, Y.H.** (2008). Analytical prediction of springback based on residual differential strain during sheet metal bending. *Journal of Mechanical Engineering Sciences*, 222(2), 117-129.
- Zein,H., El-Sherbiny, M., Abd-Rabou, M., El Shazly, M.** (2013). Effect of die design parameters on thinning of sheet metal in the deep drawing process. *American Journal of Mechanical Engineering*, 1(2), 20-29.
- Zhang, D., Cui, Z., Chen, Z., Ruan, X.** (2007). An analytical model for predicting sheet springback after V-bending, *Journal of Zhejiang University Science*, 8(2) 237-244.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Mehtap GÜLEN

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2015, Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü
- **Yüksek Lisans** : 2019, Bursa Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı