



**T.C.**

**KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**HİDROMEKANİK DERİN ÇEKMEDE**  
**PROSES PENCERESİNİN BELİRLENMESİ**

**SERCAN ÖZÇELİK**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Mart-2020**

**KONYA**

**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL VE ONAYI

Sercan ÖZÇELİK tarafından hazırlanan “Hidromekanik Derin Çekmede Proses Penceresinin Belirlenmesi” adlı tez çalışması 23/03/2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

#### Başkan

Prof. Dr. H. Selçuk HALKACI

#### Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Mevlüt TÜRKÖZ

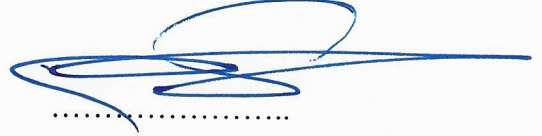
#### Üye

Prof. Dr. H. Selçuk HALKACI

#### Üye

Doç. Dr. Murat DİLMEÇ

### İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN

Enstitü Müdürü

## TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.



Sercan ÖZÇELİK

Tarih: 23.03.2020

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

## HİDROMEKANİK DERİN ÇEKMEDE PROSES PENCERESİNİN BELİRLENMESİ

Sercan ÖZÇELİK

Konya Teknik Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mevlüt TÜRKÖZ

2020, 72 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. H. Selçuk HALKACI

Doç. Dr. Murat DİLMEÇ

Dr. Öğr. Üyesi Mevlüt TÜRKÖZ

Sac parça üretiminde malzemelerin şekillendirilebilirliğinin artırılmasında kullanılan en etkili yöntemlerden birisi Hidromekanik Derin Çekme (HDC) işlemidir. Bu yöntemde, sac malzeme ıstampa yardımıyla derin çekilirken sacın karşı tarafından sıvı basıncı uygulanır. Uygulanan karşı yöndeki basınçla birlikte sac ve ıstampa arasındaki artan sürtünme kuvveti, gerilmelerin lokalleşmesini engelleyerek yırtılma hasarını geciktirmekte ve sac malzemelerin sınır çekme oranını önemli ölçüde artırmaktadır. Klasik derin çekme ile 2 civarında olan sınır çekme oranı hidromekanik derin çekme prosesinde 2.75'lere kadar artmaktadır.

HDC prosesinde ıstampanın hareket miktarına bağlı olarak değişken bir şekilde uygulanması gereken sıvı basıncı ve baskı plakası kuvveti optimum değerlerinin (yükleme profillerinin) belirlenmesi zor bir iştir. Uygun yüklem profillerinin kullanılmaması durumunda parçada yırtılma ya da buruşma hasarı oluşabilmektedir. Bu nedenle hedef parçanın imalat sürecinde nasıl davranışlar sergileyeceğini (maksimum inceltme, yırtılma, buruşma ve basınç kaçaqları) ve üretim kalitesini etkileyecek parametre değerlerinin nasıl değiştiğini gösteren diyagramlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu diyagramlara Proses Penceresi (PP) adı verilmektedir. PP'den faydalanılarak iş parçaları optimum kalitede üretilebilir.

Bu tez çalışmasında proses penceresi kullanılmadan HDC işlemiyle buruşmalı olarak üretilebilen AISI 304 paslanmaz çelik çaydanlık parçasının buruşma olmadan üretimi için PP elde edilmiştir. Çaydanlığın hasarsız üretilebilmesi için gerekli olan sıvı basıncı ve baskı plakası kuvveti PP'leri nümerik olarak oluşturulmuştur. Elde edilen PP'ler deneylerle doğrulanmıştır. Sonuç olarak PP'ler kullanılarak çaydanlık parçasında oluşan buruşma hasarı oldukça azaltılarak parça üretimi başarıyla gerçekleştirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Hidromekanik Derin Çekme, Proses Penceresi, Yüklem Profili



## **ABSTRACT**

### **MS THESIS**

## **DETERMINATION OF THE PROCESS WINDOW IN HYDROMECHANICAL DEEP DRAWING**

**Sercan ÖZÇELİK**

**Konya Technical University  
Institute of Graduate Studies  
Department of Mechanical Engineering**

**Advisor: Assist. Prof. Dr. Mevlüt TÜRKÖZ**

**2020, 72 Pages**

**Jury**

**Prof. Dr. H. Selçuk HALKACI**

**Assoc. Prof. Dr. Murat DİLMEÇ**

**Asst. Prof. Dr. Mevlüt TÜRKÖZ**

Hydromechanical Deep Drawing (HDD) is one of the most effective methods used to increase the formability of materials in sheet metal production. In this method, the liquid pressure is applied from the opposite side of the sheet while the sheet material is deep drawn with the help of stamping. The increased frictional force between the sheet and the stamp which is caused by the pressure in the opposite direction, prevents the localization of the stresses, delays the tear damage and significantly increases the limit drawing ratio of the sheet materials. The limit drawing ratio value which is around 2 in classical deep drawing process, can be increased up to 2.75 in the hydromechanical deep-drawing process.

Determining the optimum values (loading profiles) of fluid pressure and blank holder force, which must be applied varyingly depending on the amount of punch movement in the HDC process, is a difficult task. If proper loading profiles are not used, tearing or wrinkling damage may occur in the part. Therefore, diagrams are needed to show how the target part will behave in the manufacturing process (maximum thinning, tearing, wrinkling and pressure leaks) and how the parameter values that will affect the production quality have changed. These diagrams are called Process Window (PW). By using PW, workpieces can be produced in optimum quality.

In this thesis, PW was obtained for the production of AISI 304 stainless steel teapot part without wrinkling, which can be produced wrinkled by the HDD process without applying process window. The liquid pressure and blank holder force required to produce the teapot without damage, process windows are numerically created. The obtained PW's obtained were confirmed by experiments. As a result, the wrinkle damage in the teapot part was decreased by using PWs and the part production was successfully realized.

**Keywords:** Hydromechanical Deep Drawing, Process Window, Loading Profile

## ÖNSÖZ

Bu çalışmada, Prof. Dr. H. Selçuk HALKACI yürütücülüğünde yapılan ve Danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Mevlüt TÜRKÖZ'ün araştırmacı olduğu bir TÜBİTAK 1505 projesi kapsamında hidromekanik derin çekme yöntemiyle üzerinde yoğun buruşmalarla üretilebilen çaydanlıkta buruşmaların giderilmesi amacıyla proses pencereleri (PP) oluşturulmuştur. PP'ler, Sonlu Elemanlar Analizleri kullanılarak elde edilmiştir. Ancak hidromekanik derin çekme prosesinde PP'lerin oluşturulmasında literatürde bir yöntemle karşılaşılmamış olup, PP'ler yüzlerce simülasyon yapılarak farklı tiplerde birçok yükleme profillerinin kullanılmasıyla ve farklı hasar kriterlerinin denenmesiyle elde edilmiştir. Bu açıdan PP'lerin elde edilmesinin oldukça fazla zaman alan ve meşakkatli bir iş olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu nedenle sanayide katma değeri çok yüksek olan parçalarda elde edilip kullanılmasının, rekabet gücü açısından daha uygun olduğunu düşünmekteyim.

Bu çalışmada, beni yönlendiren danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Mevlüt TÜRKÖZ'e ve Prof. Dr. H. Selçuk HALKACI'ya, çalışmalarımda destek olan Arş. Gör. Gürkan ATAŞ'a teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarımda bana verdiği desteklerden dolayı değerli eşim Bedia Merve ÖZÇELİK'e teşekkürlerimi sunarım.

Sercan ÖZÇELİK

KONYA-2020

## İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET</b> .....	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>v</b>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>vi</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>vii</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR</b> .....	<b>ix</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI</b> .....	<b>3</b>
2.1. Hidroşekillendirme .....	3
2.2. Sac Hidroşekillendirme–Hidromekanik Derin Çekme .....	5
2.3. Proses Penceresi.....	9
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM</b> .....	<b>20</b>
3.1. Malzeme Akma Eğrisinin Elde Edilmesi.....	21
3.1.1. Mühendislik gerilmesi ve mühendislik birim şekil değiştirme .....	21
3.1.2. Gerçek gerilme ve gerçek birim şekil değiştirme .....	22
3.1.3. Pekleşme üssü .....	23
3.2. Sonlu Elemanlar Modelinin Hazırlanışı .....	24
3.2.1. Geometrik modelleme .....	26
3.2.2. Sonlu elemanlarına ayırma ve uygun eleman boyutunun seçilmesi.....	27
3.2.3. Malzeme modellemesi .....	28
3.2.4. Sınır şartların tanımlanması .....	29
3.2.5. Temas tanımlamaları .....	30
3.3. SEA'nın Doğrulanması.....	31
3.4. Proses Penceresinin Belirlenmesi .....	32
3.5. Deneylerin Yapılması .....	36
<b>4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA</b> .....	<b>40</b>
4.1. AISI 304 Paslanmaz Çelik Malzeme Akma Eğrisi Eldesi.....	40
4.2. SEA'nın Doğrulanması ve Uygun Eleman Boyutunun Seçilmesi .....	43
4.3. Proses Pencereleeri .....	45
4.4. Deney Sonuçları.....	51
<b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER</b> .....	<b>63</b>
5.1. Sonuçlar .....	63
5.2. Öneriler .....	64

<b>KAYNAKLAR</b> .....	<b>65</b>
<b>EKLER</b> .....	<b>67</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....	<b>71</b>



## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

$\sigma_m$	Mühendislik Gerilmesi
$\sigma_g$	Gerçek Gerilme
$A_0$	Başlangıç Kesit Alanı
F	Uygulanan Kuvvet
$e_m$	Mühendislik Birim Şekil Değişirme
$\varepsilon$	Gerçek Birim Şekil Değişirme
$\Delta l$	Numune Boyundaki Uzama Farkı
$l_0$	Başlangıç boyu
$dl$	Ölçü boyundaki anlık artış
$l$	Anlık Boyu
K	Mukavemet Katsayısı
n	Pekleşme üssü
$F_{BPK}$	Baskı Plakası Kuvveti
Y	Akma Mukavemeti
$D_b$	Baskı Plakası Çapı
t	Stok Kalınlığı
$R_D$	Kalıp Köşe Radyusu
N	Newton
kN	KiloNewton
MPa	MegaPascal
Pa	Pascal
Kgf	Kilogramkuvvet
mm	milimetre

## **Kısaltmalar**

BŞD	Birim Şekil Değişirme
SE	Sonlu Elemanlar
SEA	Sonlu Elemanlar Analizi
HDC	Hidromekanik Derin Çekme
BP	Baskı Plakası
BPK	Baskı Plakası Kuvveti
P	Sıvı Basıncı
SHF-P	Erkek Kalıpla Sac Hidroşekillendirme
SHF-D	Dişi Kalıpla Sac Hidroşekillendirme
SÇO	Sınır Çekme Oranı
PP	Proses Penceresi
HNC	Hidrolik Sayısal Kontrol
SW	Side Wall

## 1. GİRİŞ

Yapısal parçaların yüksek mukavemetli, hafif ve korozyon direncinin yüksek olması istenir. Sac metaller bu niteliklere sahip oldukları için otomotiv ve havacılık sektöründe oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle sac metallerin istenilen fonksiyonel şekillere dönüştürülmesi önemli bir bilimsel konu ve mühendislik uygulamasıdır.

Klasik şekillendirme yöntemi uygulanarak üretilen sac parçalarda yetersiz kalan sınır çekme oranı (SÇO) sebebiyle yeni bir yöntem olarak hidroşekillendirme prosesi kullanılmaya başlanmıştır. Hidroşekillendirme yöntemi ile klasik yöntemle göre şekillendirilmesi daha zor ve karmaşık olan parçalar sıvı desteği kullanılarak daha az kademe ve daha kaliteli olarak şekillendirilebilmektedir. Ayrıca bu yöntem kalıp maliyetlerinde %90'a varan oranda azalma sağlamaktadır. Hidroşekillendirme yönteminin geleneksel yöntemlere göre pek çok avantajı olmasına rağmen, alt yapı maliyetleri preslerin yüksek tonajı ve pahalı olan hidrolik-elektriksel donanım nedeniyle oldukça fazladır. Ancak teknolojik avantajı yüksek olan ve az sayıda parçaların üretimi için tercih edilmeleri oldukça karlı olmaktadır.

Hidromekanik derin çekme (HDC), klasik derin çekme yönteminden farklı olarak dişi kalıp yerine yüksek basınçlı bir akışkanın kullanıldığı ileri bir imalat yöntemidir. Bu yöntemde; sac malzemeyi şekillendirmek için ıstampa sac metal parçayı kontrollü olarak yüksek basınçlı sıvı bir akışkana doğru hareket ettirmektedir. Baskı plakası ise sacı kalıba bastırarak şekillendirme sırasındaki malzeme akışını kontrol eder ve sızdırmazlığı sağlar. ıstampa sıvı içerisinde hareket ettirilirken sıvı basıncı artırılır. Böylece ıstampa ile sac malzeme arasında sürtünme kuvveti artmakta ve bölgesel incelmelerin önüne geçilmektedir. Faydalarına rağmen en uygun sıvı basıncı ve baskı plakası kuvveti eğrilerinin (yükleme profillerinin) belirlenmesinin güçlüğü ve yüklem profillerinin preste kontrolünün zor oluşu nedeniyle yaygın olarak kullanılmasını sınırlandırmaktadır.

Proses Pencere (PP) imalat işlemlerinde parametrelerin uygun aralıklarını gösteren diyagramlardır. En az iki parametrenin değişimini içeren, merkeze yakın bölgelerde kabul edilebilir alanı; dış bölgelerde ise prosesin başarısız sonuçlanacağı alanları gösteren grafiklere proses penceresi denir. PP'ler üretilen parçanın malzemesi ve geometrisine göre değişmekte olup ilgili parçaların üretimi için kılavuz niteliği

taşımaktadır. Sıcak dövme, halka haddeleme, sürtünme punta kaynağı ve hidroşekillendirme gibi imalat yöntemlerinde proses pencerelerinin elde edildiği çalışmalar bulunmaktadır. HDC prosesinde de optimum yükleme profillerine ulaşmak başarılı parça üretimi için gerekli olduğundan dolayı PP'lerin kullanılması önem arz etmektedir.

Bu çalışmada, hidromekanik derin çekme işlemiyle üretiminde sıklıkla buruşma hasarıyla karşılaşılan ve AISI 304 paslanmaz çelik sac malzemeden imal edilen çaydanlık parçasının optimum kalitede üretilebilmesi için gerekli olan sıvı basıncı ve baskı plakası kuvveti PP'leri nümerik olarak oluşturulmuş ve sonrasında elde edilen PP'ler deneylerle doğrulanmıştır. PP'ler oluşturulurken prosesin SEA'sında farklı tipte (ıstampa konumuna göre sabit, lineer artan ve farklı karakteristiklerde artan) sıvı basıncı ve baskı plakası kuvveti eğrileri kullanılmış ve kabul edilen hasar kriterlerine göre yırtılma ve buruşma kontrolleri yapılarak hasarın oluştuğu değerler tespit edilmiştir. Elde edilen noktaların birleştirilmesiyle PP'ler elde edilmiştir. Sonrasında PP'ler deneylerle doğrulanmış ve PP'ler kullanılarak çaydanlık parçasında oluşan buruşma hasarı oldukça azaltılarak parça üretimi başarıyla gerçekleştirilmiştir.

Bu tezin 2. Kaynak araştırması bölümünde hidroşekillendirme, sac hidroşekillendirme, hidromekanik derin çekme ve proses penceresi konularında literatürde yapılan çalışmalar anlatılmıştır.

Üçüncü bölümde AISI 304 paslanmaz çelik için yapılmış olan çekme deneylerinden, malzemenin akma eğrisinin sayısal hesaplamalar ile elde edilmesi anlatılmıştır. SEA modellemesinin aşamaları açıklanmıştır. Daha önce HDC ile üretilmiş olan parça kullanılarak SEA'nın doğrulanması anlatılmış ve proses penceresinin elde edilebilmesi için uygulanan yöntemler ve deneylerin yapılması hakkında bilgi verilmiştir.

Dördüncü bölümde AISI 304 paslanmaz çelik malzemenin çekme deneyi sonuçları, SEA'nın doğruluk sonuçları verilmiştir. PP oluşturulmuş ve PP'den seçilen farklı yükleme profilleri ile deney sonuçları kıyaslanarak PP'lerin doğruluğu ortaya konulmuştur.

Beşinci bölümde tez çalışmasından elde edilen sonuçlar ve konuyla ilgili öneriler anlatılmıştır.

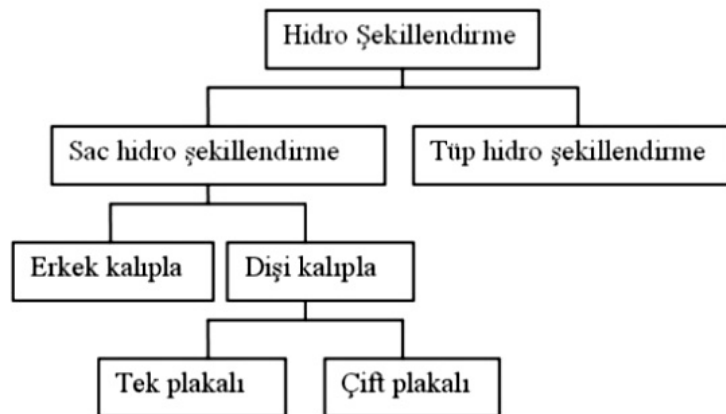


## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

### 2.1. Hidroşekillendirme

Hidroşekillendirme; sac veya tüp malzemelerin sıvı bir ortam vasıtasıyla kapalı kap kullanılarak şekillendirilmesidir. Yöntem ilk olarak 1890'larda ortaya çıkmış ancak asıl kullanımı II. dünya savaşı sonrasında gerçekleştirilmiştir. Almanya ve Japonya havacılık sektöründe ilk kullanan ülkeler arasında olmasına rağmen Amerika, Rusya ve Fransa günümüzde en çok araştırma yapan ülkeler arasındadır. Yeterli bilgi birikimi olmadığı için 1990'lara kadar çok detaylı araştırmalar yapılamamıştır. 1990'lardan sonra ise otomotiv sanayinde karmaşık parçaların üretilmesi gerektiği için hidroşekillendirme yöntemi kullanımı oldukça artmaya başlamış. Savunma ve saldırı sanayi gereksinimleri arttıkça yöntem önem kazanmaya devam etmektedir. Günümüzde kullanılan hidroşekillendirme yöntemleri (Şekil 2.1.) Sac ve Tüp şekillendirme olarak ikiye ayrılır.

Klasik derin çekme işleminde 2,2 olan Sınır Çekme Oranı (SÇO) değerleri, Hidro-mekanik derin çekmede 2,7'ye kadar çıkabilmektedir. Hidro-mekanik derin çekme prosesinin daha yüksek SÇO değeri sayesinde özellikle otomobil ve uçak sanayisinde sürekli artan bir oranda endüstride kullanım alanı bulmuştur. Hidro-mekanik derin çekme prosesi, verimlilik kaybı olmadan ürün kalitesinde artış sağlayabildiğinden diğer metal şekillendirme proseslerinin yerini alabilir.



Şekil 2.1.Hidroşekillendirme yönteminin sınıflandırılması (Altan, 2006)

### Avantajları

1. Hidro-şekillendirmede sadece erkek ya da dişi kalıptan biri kullanılır. Böylece kalıp masrafı ve işçilik giderleri düşer. Kalıbın kurulumu basittir. Takımlar kendi kendine merkezlenmekte ve hizalanmaktadır.
2. Takım malzemesinden tasarruf sağlar. Sertleştirilmiş çelik takımlara nadiren gereksinim duyulur. Zımbaların ve baskı plakalarının çoğu dökme demirden imal edilmektedir. Dökme demir çok iyi derecede uzun takım ömrü sağlayan kolayca işlenmiş ve ucuz bir malzemedir.
3. Ürünün kalitesini, özellikle de performansını artırır. Hidro-şekillendirilmiş parçalar daha hafif, daha mukavemetli, daha ucuz, yüzey kalitesi ve ölçü tamlığı daha iyidir.
4. Birçok malzeme bu yöntemle şekillendirilebilir. Pratikte soğuk olarak şekillendirilebilen çelik, alüminyum, paslanmaz çelik, bakır, pirinç, pahalı metaller, yüksek mukavemetli alaşımlar ve diğerleri gibi sac metallerin tamamı hidroşekillendirilebilir.
5. Tasarımı değiştirmek kolaydır. Hidro-şekillendirme ile sac kalınlığı genellikle herhangi bir takım değişimi gerekli olmadan değiştirilebilir.
6. Geleneksel kalıpla üretilmiş parçalarla kıyaslandığında hidro-şekillendirme toleranslar, tekrarlanabilirlik ve boyutsal doğruluk bakımından daha iyidir. İş parçasında geleneksel kalıplama ile oluşan çekme izleri ve darbe çizgileri azalmakta ve çoğu zaman da yok olmaktadır. Böylece şekillendirilmiş parça daha iyi görünümüne sahip olur. Bundan dolayı da son yüzey işlem maliyeti büyük oranda düşmektedir.
7. Hidro şekillendirilecek parçalar çok karmaşık olabilir. Geleneksel üretim metotlarıyla üretilmeyecek şekiller bu yolla elde edilebilir. Kalıp eşleşmesi gerekmediğinden dolayı, hidro-şekillendirme işlemi kullanılarak düzensiz şekilli parçalar kolayca şekillendirilir. Ayrıca kırılma başlangıcı geciktirildiğinden dolayı çekme derinlikleri % 30 daha fazla olabilmektedir.
8. Hidro-şekillendirme otomotivde derin çekilecek parçaların üretiminde kullanılabilir. Bu yolla küçük ölçekli üretimler bile kârlıdır. Prototip

üretiminde de kullanım avantajları küçümsenmeyecek derecede büyüktür.

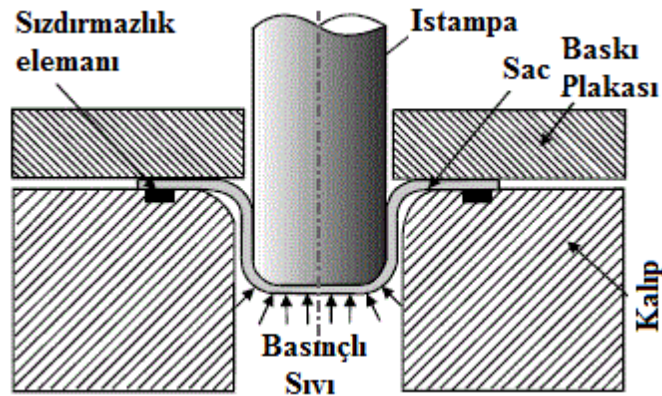
#### Dezavantajları

Hidro-şekillendirme yönteminin birçok avantajı olmasına rağmen dezavantajları da yok değildir. Bunlar:

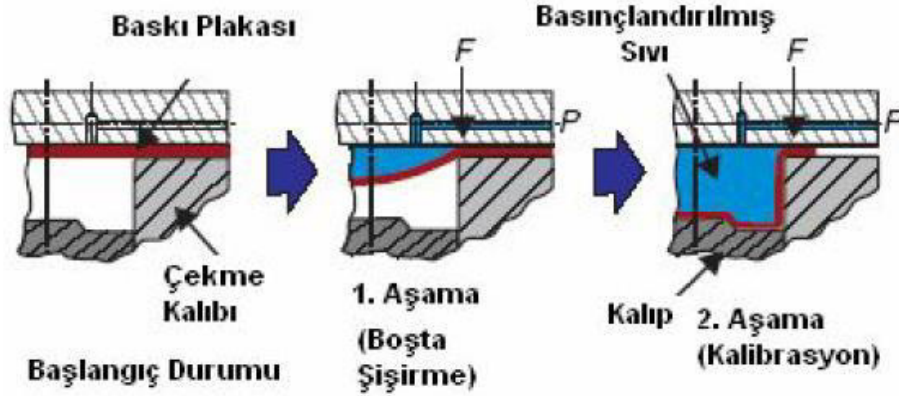
1. Yavaş üretim çevrimleri.
2. Uzun işlem süresi
3. İyi parlatılmış kalıplara ihtiyaç olması.
4. Özel sızdırmazlık teknolojileri
5. Daha yüksek tonajlı preslere ihtiyaç olması (Pahalı ekipmanlara ihtiyaç olması).(Şahin, 2004)

## 2.2. Sac Hidroşekillendirme–Hidromekanik Derin Çekme

Sac hidroşekillendirmede ıstampa ya da dişi kalıp kullanılarak şekillendirme yapılır. İstampa kullanılarak yapılan şekillendirme erkek kalıpla sac hidroşekillendirme (SHF-P) veya Hidromekanik Derin Çekme (HDÇ) olarak nitelendirilir. Dişi kalıp kullanılarak yapılan şekillendirme ise adından da anlaşılacağı gibi dişi kalıpla sac hidroşekillendirme (SHF-D) olarak nitelendirilir. Dişi kalıpla sac hidroşekillendirme de kendi içerisinde tek plakalı ve çift plakalı diye ikiye ayrılır. Şekil 2.2.'de erkek kalıpla hidroşekillendirme (SHF-P), Şekil 2.3.'te ise SHF-D prosesi görülmektedir.



Şekil 2.2. Erkek kalıpla hidro-şekillendirme (Zahedi ve ark., 2009)



Şekil 2.3. Dişi sac hidro-şekillendirme işlemi (Altan, 2006)

HDC prosesinde sac baskı plakası ve kalıp arasında belirli bir kuvvetle sıkıştırıldıktan sonra, ıstampa karşı taraftan uygulanan sıvı basıncının etkisiyle sac malzeme ıstampanın şeklini almaktadır. Malzeme ve parça geometrisine göre binlerce bar sıvı basıncının etkisiyle ıstampa ile sac arasında önemli bir sürtünme kuvveti meydana gelir. Sürtünme kuvveti sacda bölgesel gerilme yığılmalarını engelleyerek erken yırtılmaların önüne geçer. Böylece derinliği çok fazla olan parçalar tek kademede üretilebilir. Bu yöntemle klasik derin çekmeyle 3-4 kademede üretilebilecek bir parça bile tek kademede üretilebilmektedir. Sıvı basıncının, ıstampa konumuna göre hassas olarak ayarlanması gerekliliği HDC prosesinin uygulanmasını zorlaştırmaktadır. Bu yöntemde optimum sıvı basıncı profilinin uygulanmaması durumunda başarılı bir parça üretmek mümkün olmamaktadır. Basınç artışı ile Baskı Plakası Kuvvetinin (BPK) de artırılarak sac üzerinde kalıbı açmaya çalışan kuvvetin telafi edilmesi gerekmektedir. Yine BPK'nin en iyi şekillendirmeye ulaşmak için ıstampa konumuyla değişen optimum değerlerinin bulunması gerekmektedir. Bu nedenle sıvı basıncı ve baskı plakası kuvveti profillerinin (yükleme profilleri) optimum düzeylerinin belirlenmesi ve bu profillerin preste uygulanması yöntemi zorlaştırmakta ve alt yapı yatırımını da artırmaktadır. Özellikle kalıpları birbirinden ayırmaya çalışan sıvı basıncının yenilmesi için uygulanan fazla kuvvetin etkisiyle pres tonajları oldukça fazla artmaktadır.

SHF-D prosesinde sac malzeme sıvı basıncının etkisiyle dişi kalıbın şeklini almaktadır. Bu yöntemde basınç ıstampa pozisyonundan bağımsız olarak uygulandığı için yöntemin uygulanması HDC'ye göre çok daha kolaydır. Ancak sac ile ıstampa arasında fayda sağlayan sürtünme kuvveti SHF-D prosesinde kalıp duvarıyla sac arasında meydana gelmekte fakat burada sacın kalıp boşluğuna doğru akmasını

zorlaştırmaktadır. Bu nedenle SHF-D prosesinde çok daha sığ parçalar üretilebilmektedir. Yine bu proste çok yüksek uygulanan BPK ile gerdirilerek şekillendirilmesi ve daha sığ parçalar üretilmesi mümkün olduğu gibi kontrollü bir BPK ile sac akışının sağlanarak nispeten daha derin parçalarda üretilebilir.

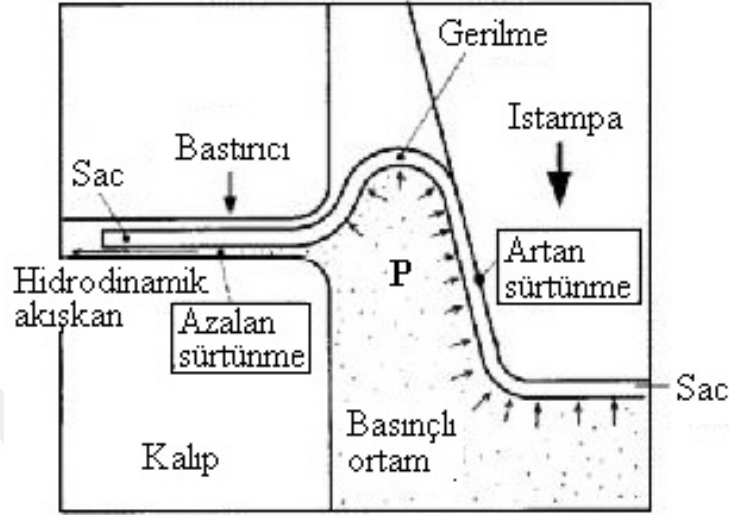
Gharib ve ark. 2006 yılında yapmış oldukları çalışmada, baskı plakası kuvvetini (BPK), HDC prosesinde önemli parametrelerden biri olarak nitelendirmiştir. BPK sacın flanş kısmında buruşma olmasını önler. BPK arttırıldığında ıstampa doğrultusunda oluşan gerilme de artacaktır ve buna bağlı olarak buruşma oluşumu engellenecektir. Fakat BPK yüksek değerlere çıktıkça sacın yırtılmasına neden olmaktadır. Uygun BPK değerleri ile yırtılma ve buruşma olmadan sacın şekillendirilebileceğini belirtmektedirler.

Japon araştırmacı Y. Kasuga, hidroşekillendirme prosesini 1955 yılında detaylı olarak araştırmaya ve geliştirmeye başlamıştır. Y. Kasuga 1958 yılından 1964 yılına kadar bu alandaki araştırma çalışmalarının sonucunda basınçla yağlanan derin çekmeyi (pressure-lubricated deep drawing) ortaya çıkarmıştır. K. Nakamura ve T. Nakagawa 1970'lerden sonra karşı basınçlı akışkanla şekillendirme prosesi (hydraulic counter-pressure fluid forming process) üzerinde çalışmışlardır. Araştırmalarının devam etmesi ile birlikte daha derin parçaların elde edilmesi için radyal basınçlı derin çekme metodu (radial-pressure deep drawing method) ortaya çıkmıştır (Nakamura ve ark., 1987).

Halkacı ve ark. 2011 yılında yaptıkları araştırma sonucunda HDC prosesinin başarılı olması için sıvı basıncı (P), baskı plakası kuvveti (BPK), ön şişirme yüksekliği, sac kalınlığı, sürtünme kuvveti gibi parametrelere de bağlı olduğunu ortaya koymuşlardır. Sıvı basıncı (P) ile baskı plakası kuvveti (BPK), birbirlerini etkileyen parametrelerdir. Yüksek P ve BPK olması durumunda sac malzemede yırtılma görülecektir. Düşük P ve BPK olması durumunda ise sac malzemede buruşmalara neden olacaktır. Akay 2014 yılında yaptığı çalışmada başarılı bir şekillendirme için uygun P ve BPK'nın belirlenmesi gerektiğine dikkat çekmiştir. HDC esnasında oluşan etkiler Şekil 2.4.'te gösterilmiştir.

Zhang ve ark. 1998 yılında Hidromekanik derin çekme prosesinde daha yüksek çekme oranları elde edilmesinin önemli nedenlerinden birinin, proses sırasında sacın ıstampaya yüzeyi boyunca temas etmesi olduğunu söylemişlerdir. Bunun sebebi olarak da sac, ıstampa yukarı doğru hareket ettikçe sıvı basıncının etkisiyle ıstampa yüzeyine

yapıştır. İstampa yüzeyine sıvanan sac, kalıba temas etmez ve ıstampa ile sac malzeme arasında sürtünme artarken sac malzeme ile kalıp arasındaki sürtünme azalır. Böylece ıstampa burun bölgesinde yırtılma önlenebilmektedir. Bu durum sınır çekme oranının artmasına olanak sağlamaktadır olarak tanımlanmıştır.



Şekil 2.4. HDC’de oluşan etkiler (Nakagava ve ark., 1997)

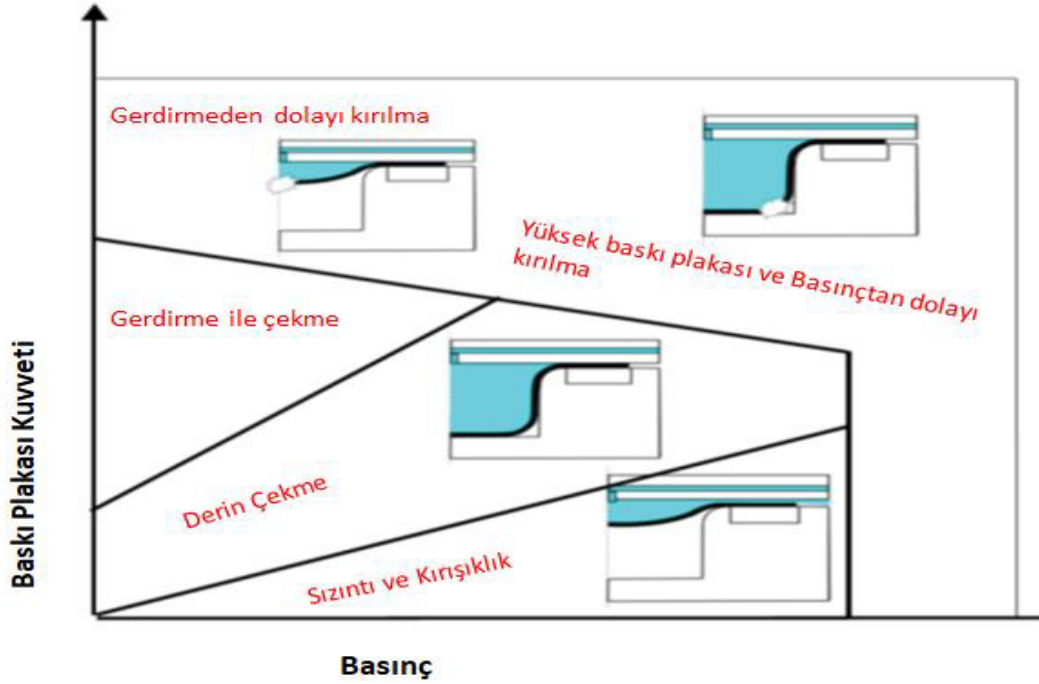
HDC yöntemiyle sac şekillendirmenin işlem basamakları aşağıdaki gibidir:

1. Sac alt kalıp üzerine merkezli olacak şekilde yerleştirilir.
2. Kalıplar belirli bir kuvvetle kapatılır.
3. İstampa saca değme konumuna kadar ya da sacdan belirli bir mesafe (ön şişirme yüksekliği) uzaklıkta konumlandırılır.
4. Basınç kabı sıvı ile doldurulduktan sonra ön şişirme basıncı uygulanır.
5. İstampa belirli bir hızda hareket ettirilir.
6. Sıvı basıncı, ıstampa konumuna karşılık gelen sıvı basıncı eğrisindeki değerlere sahip olacak şekilde uygulanır.
7. Baskı plakası kuvveti, ıstampa konumuna karşılık gelen baskı plakası kuvveti eğrisindeki değerlere sahip olacak şekilde uygulanır.
8. Parça şekillendikten sonra sıvı basıncı sıfırlanır.
9. İstampa geri çekilir ve kalıplar açılır.
10. Şekillenmiş parça kalıplar arasından alınır.

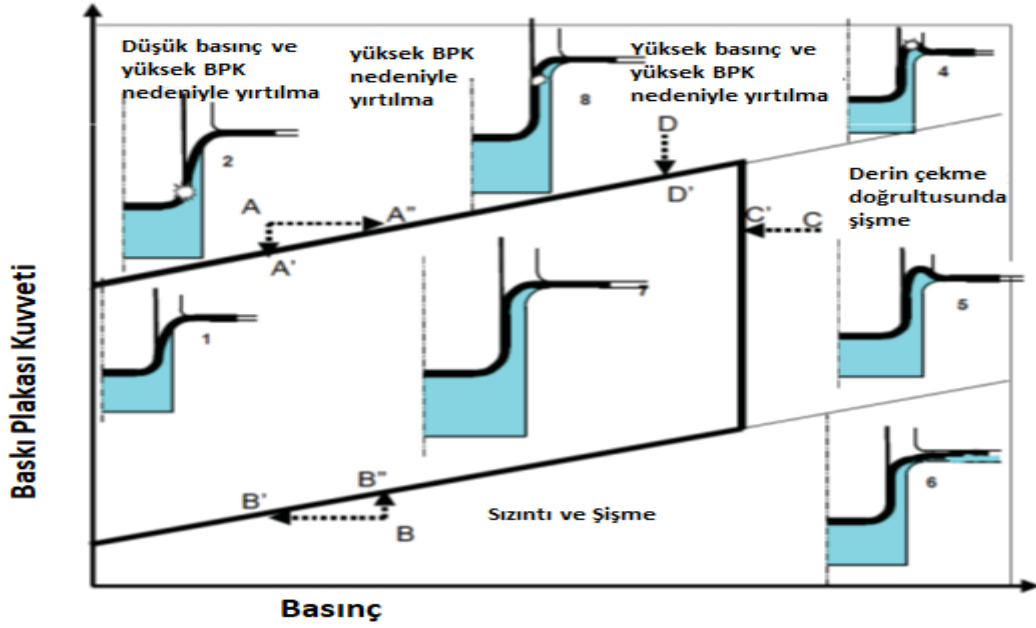
### 2.3. Proses Penceresi

Sac hidro-şekillendirmede üretilecek parçanın incelme, kırılma, buruşma, basınç kaçakları ve üretim kalitesini etkileyecek parametre değerlerinin nasıl değiştiğini gösteren diyagramlara proses penceresi adı verilir. Bu diyagramlardan faydalanılarak üretimi etkileyen parametrelerin proses sırasında ortaya çıkabilecek olumlu veya olumsuz sonuçları gözlemlenerek iş parçası optimum kalitede üretilebilir.

Proses penceresi genel olarak 4 bölüme ayrılmaktadır. Bunlar güvenli bölge, kırılma, buruşma ve sızdırmadır. Proses öncesi hazırlıkta, sac malzeme kalınlığı, üretilecek parça geometrisi, sınır çekme oranı, ıstampa ve kalıp radyüsü önceden belirlenen parametrelerdir. Proses penceresi oluştururken ıstampa ilerleme hızı ve sıvı basıncı değiştirilebildiği için bu parametreler kullanılarak istenilen proses penceresi oluşturulabilmektedir. Bu bağıntılar yardımı ile oluşturulmuş Şekil 2.5.'te dişi hidroşekillendirme proses penceresi Şekil 2.6.'da ise erkek hidroşekillendirme proses penceresi görülmektedir.



Şekil 2.5. Dişi kalıpla sac hidro-şekillendirmede proses penceresi (Altan,2006)



Şekil 2.6. Erkek kalıpla sac hidro-şekillendirmede proses penceresi (Gharib ve ark., 2006).

Proses penceresinin amacı, hangi parametrelerde başarılı sonuçlar elde edebileceğini göstermek, anlaşılır bir şekilde grafiksel olarak ifade edebilmek, prosesi istenilen doğru boyunca buruşma-yırtılma bölgesine minimum veya maksimum şekilde gerçekleştirebilmektir.

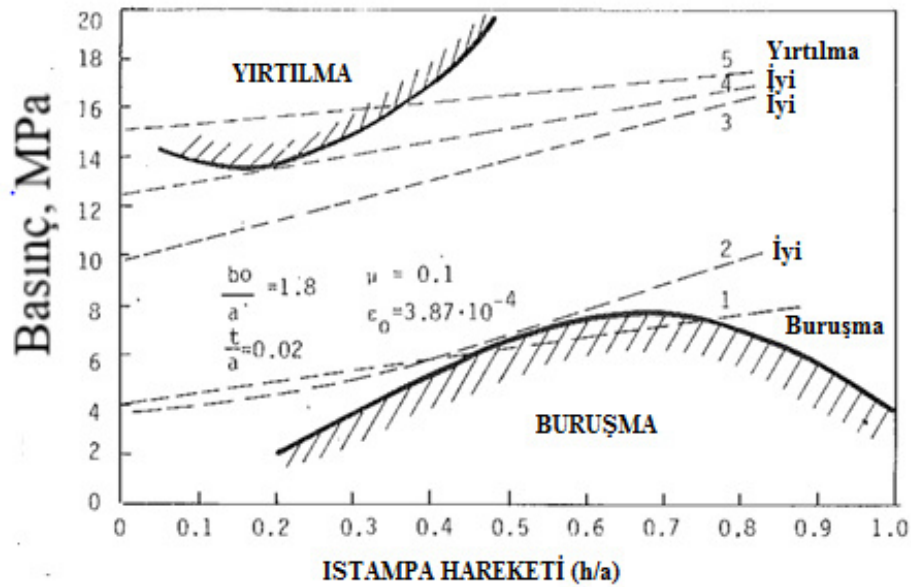
1. Proses penceresi veya proses haritaları deneysel olarak doğrulanmak şartıyla çok sayıda analiz ile elde edilebilir.
2. Yeni bir prosesin parametre optimizasyonunda bilinmesi gereken kısıtların belirlenmesi için proses penceresi bulunmalıdır.
3. Proses penceresinin elde edilmesinden sonraki aşamada, optimum yükleme eğrisinin elde edilmesi, tamamlayıcı ve önemli bir çalışma olur.
4. Özellikle prosesin doğası gereği, en az bir parametre proses boyunca değişiyorsa, uygun şekillendirmeyi sağlayan optimum yükleme profili bulunmalıdır.

Hidro-şekillendirmede proses penceresi sürtünme, üretilecek parça geometrisi, sac malzeme mekanik özellikleri, sıvı basıncı ve baskı plakası kuvvetine bağlıdır.

Yossifon ve ark. tarafından hazırlanan Şekil 2.7.'de görüldüğü gibi bir HDC prosesinde proses penceresi görülmektedir. Şekil incelendiğinde Yırtılma, uygun ve buruşma bölgeleri olduğu görülmektedir. Bu bölgelere göre sac malzeme farklı



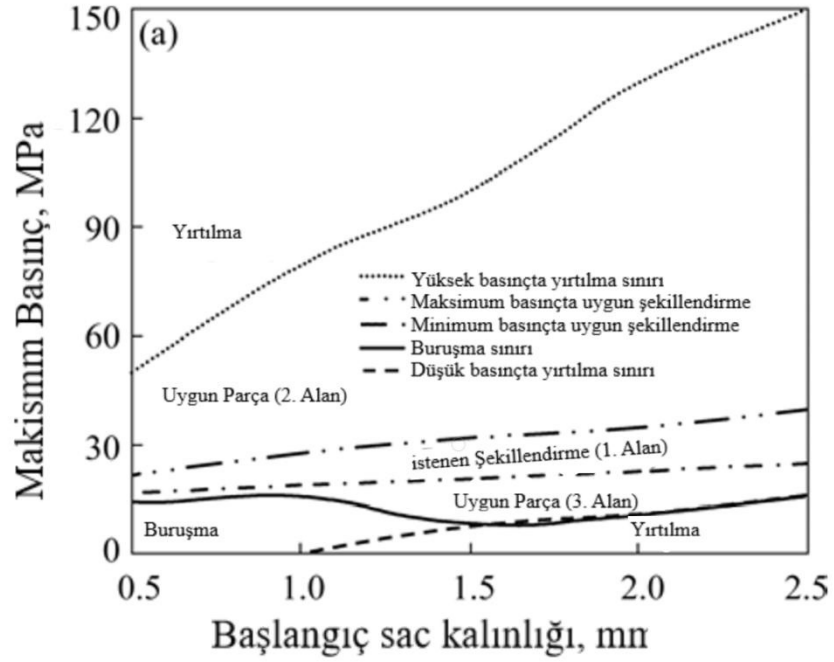
durumlarda şekillendirilmektedir. Yüksek BPK ve düşük P değerlerinde sac malzemeler gerdirme-çekme işlemine maruz kalmaktadır. BPK daha da artırıldığında sac malzemede yırtılmalar oluşmaktadır. BPK'nin düşük ve P'nin yüksek değerlerinde sızdırmazlık sorunları ile buruşma gözlemlenmektedir. Her iki parametrenin dengeli değerlerinde ise derin çekme işlemine maruz kalan sac malzemeler başarılı bir şekilde şekillenmiştir. Buna göre 1 numaralı deneyde düşük basınç sebebi ile sac malzeme buruşma ile şekillenmektedir. 2, 3 ve 4 numaralı deneylerde ise başarılı bir şekilde sac malzeme şekillenmektedir. Fakat 2 numaralı deneyde sıvı basıncının buruşma sınırında olduğu bu basınç altına düşmesi halinde buruşma meydana geleceği 4 numaralı deneyde ise buruşma basıncının yırtılma sınırında olduğu sıvı basıncının artması ile sac malzemenin yırtılma bölgesine girebileceği gözlemlenmektedir. 5 numaralı deney sac malzemenin yüksek sıvı basıncı sebebi ile yırtıldığı gözlemlenmektedir.



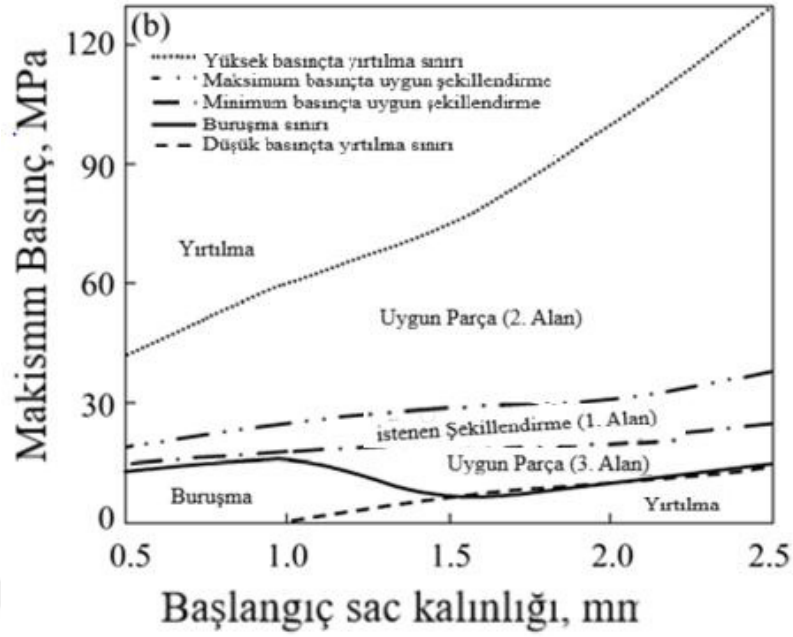
Şekil 2.7. Hidromekanik derin çekme işleminde proses penceresi (Yossifon ve ark., 1990).

Hashemi ve ark. 2015 yılında bir çalışmada radyal basınç destekli hidrodinamik derin çekmede proses penceresi diyagramları (PPD) alüminyum, bakır ve çelik malzemeler için Şekil 2.8.- Şekil 2.9. - Şekil 2.10.'da görüldüğü gibi elde edilmiştir. Hashemi ve ark. çelik, saf bakır ve alüminyum için PPD'ler oluşturmuşlardır. PPD'ler bir sac malzemenin ilgili yöntem ile üretilebilirliğinin hızlı bir şekilde değerlendirilmesini sağlamaktadır. Sonlu elemanlar metodu kullanılarak çok sayıda deney yapılmasının önüne geçilmiştir. Sonlu elemanlar metodu ile elde edilen sonuçların bir kısmı deneysel olarak doğrulanmıştır. Proses parametreleri olarak; basınç,

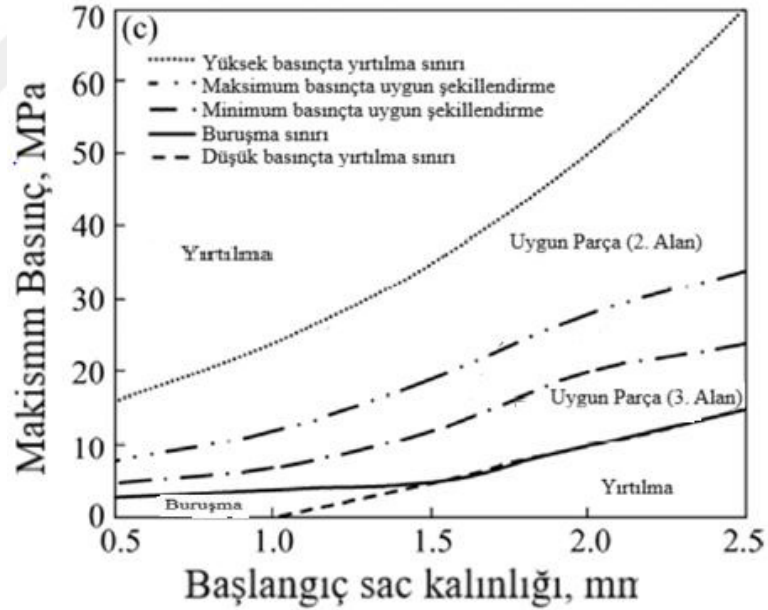
sac malzeme cinsi ve başlangıç sac kalınlığı alınmıştır. Sonuçlar kalınlık dağılımı ve şekillendirilebilirlik açısından karşılaştırıldığında, daha düşük başlangıç sac kalınlığına ve daha yüksek dayanıma sahip malzemeler; daha yüksek şekillendirilme kabiliyeti ve düzgün kalınlık dağılımına sahip sonuçlar vermiştir. Ayrıca elde edilen PPD sayesinde, uygun şekillendirme bölgesinin ve farklı yükleme profilleri altında buruşma ve yırtılma olasılıklarının tahmin edilebildiği gösterilmiştir (Hashemi ve ark., 2015).



Şekil 2.8.Çelik malzeme (St 14) proses penceresi diyagramı (Hashemi, 2015).



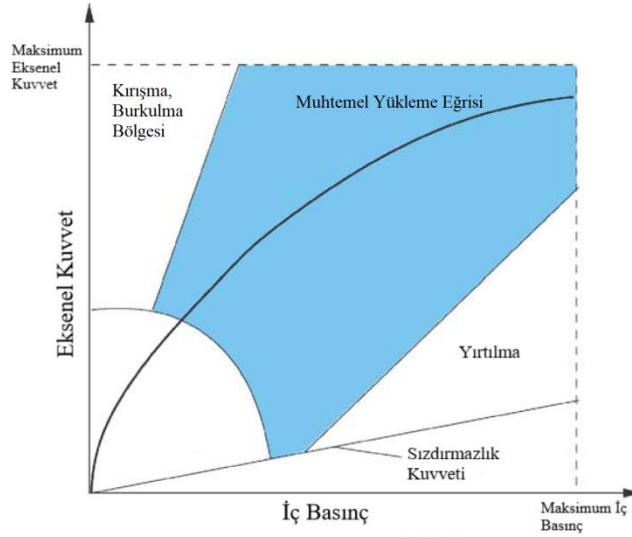
Şekil 2.9.Saf bakır proses penceresi diyagramı (Hashemi,2015).



Şekil 2.10.Alüminyum malzeme (Al 1050) proses penceresi diyagramı (Hashemi, 2015).

Bir üretim yönteminin parametrelerinin optimizasyonunda, parametrelerin çalışma aralığı oldukça önemli rol oynadığından, literatürde birçok farklı üretim yöntemi için proses penceresi kullanımı üzerine araştırmalarda bulunulmuştur. Bu üretim yöntemlerinden başlıcaları; tüp hidro-şekillendirme, sac hidro-şekillendirme, sıcak deformasyon, halka haddeleme ve kaynak yöntemidir. Yapılan çalışmaların

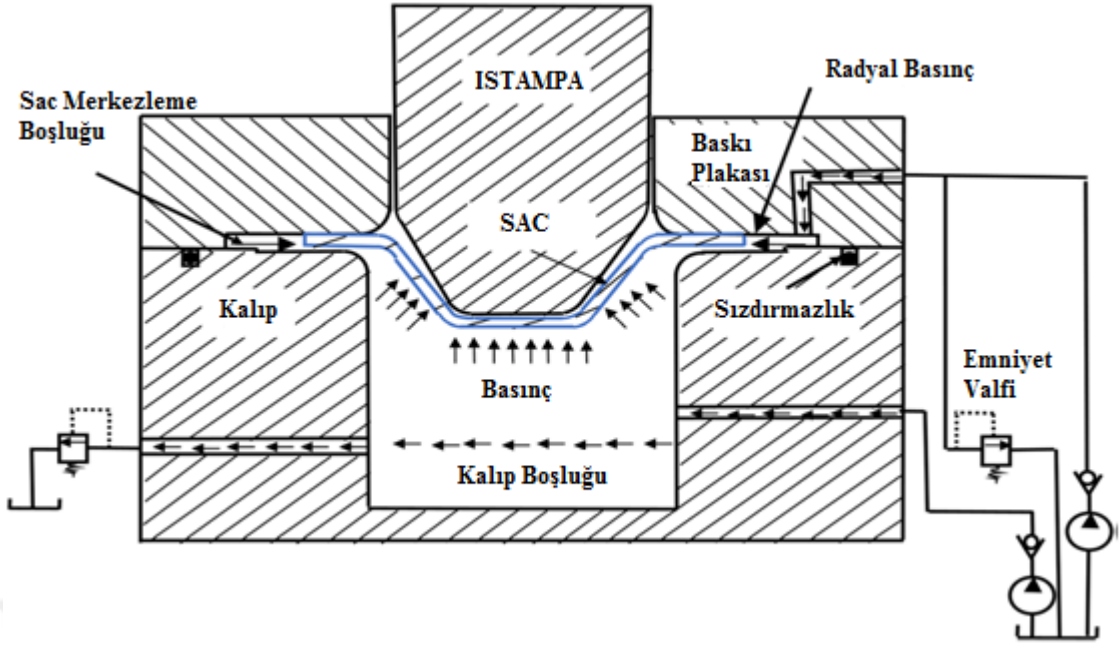
çoğunluğunda proses pencereleri iki parametreye dayalı olup, grafik ile görselleştirilme sonrasında iki eksenli grafikler elde edilmiştir. Aydemir ve ark. (2005) çalışmasında, tüp hidroşekillendirme işleminde Şekil 2.11.'de gösterildiği gibi bir optimum yükleme eğrisi bulunduğu ifade edilmiştir.



**Şekil 2.11.** Tüp hidro-şekillendirmenin proses penceresi (Aydemir ve ark., 2005).

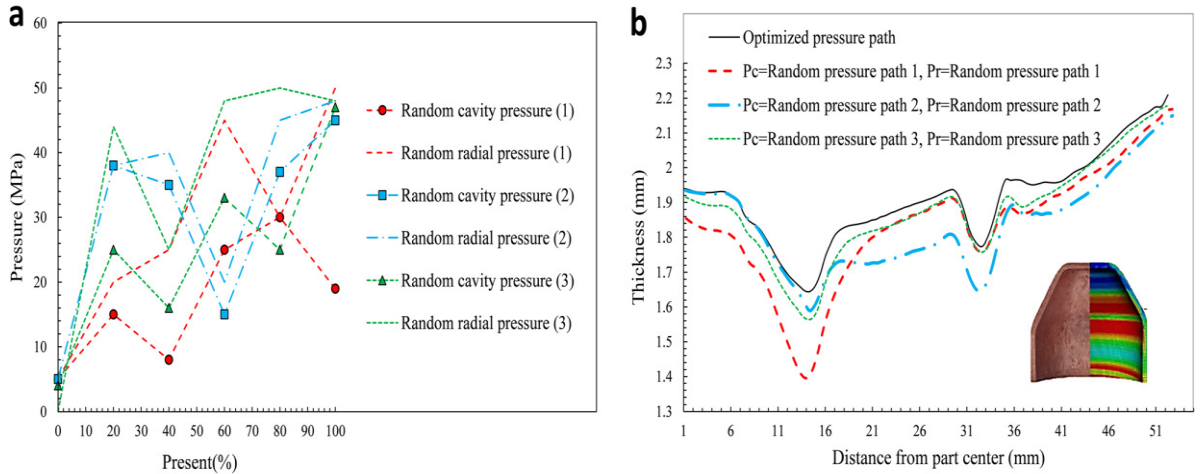
Hidro-şekillendirme yöntemlerinde prosesi etkileyen en önemli parametreler ve sıvı basıncıdır ve baskı plakası kuvveti olduğu için bu parametrelerin proses pencerelerinin elde edilmesi oldukça faydalı olacaktır.

Yazdi ve ark. 2018 yılında yapmış oldukları çalışmada yapay arı algoritmasını kullanarak (ABC), radyal basınçlı hidrodinamik derin çekme için basınç yollarını optimize etmişlerdir (Şekil 2.12.).



Şekil 2.12.Şematik olarak çalışmada kullanılan kalıp ve basınç sistemi (Yazdi ve ark., 2018)

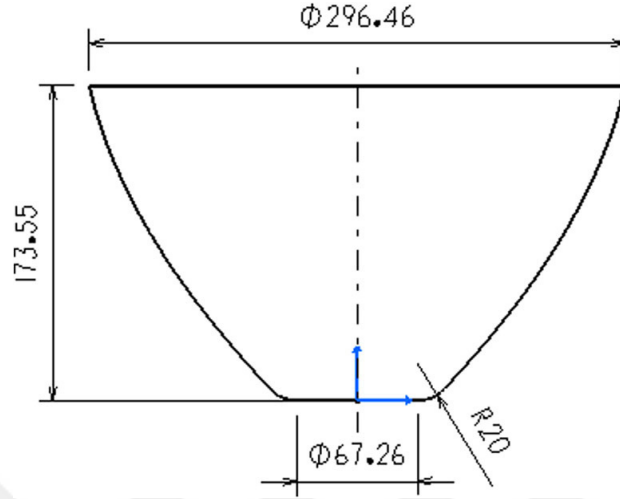
Yazdi ve ark. (2018) yırtılma ve buruşmaların en aza indirilmesi için SE analizleri ile ön çalışmasını yaptığı sac malzemenin optimize edilmeden ve optimize edildikten sonra kıyaslamasını yapmışlardır ve optimize edildikten sonra minimum incelmeye sahip buruşmasız bir ürün elde etmeyi başarmışlardır (Şekil 2.13.).



Şekil 2.13.a) Rasgele basınç yolları b) Basınç yollarını optimize ederek uygun kalınlık dağılım eğrisi (Yazdi ve ark. 2018)

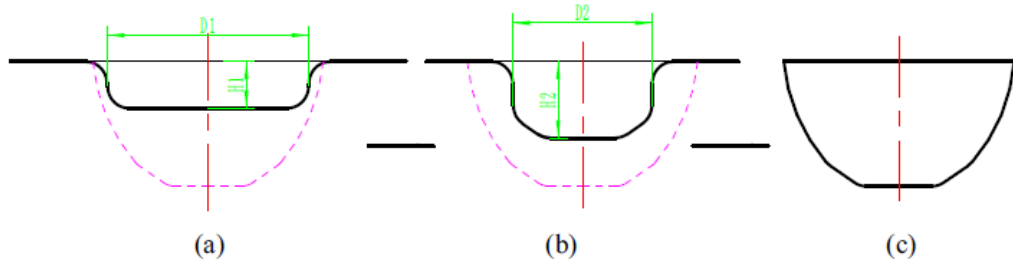
Sun ve ark. (2017) hidroşekillendirme yöntemi ile ilgili yapmış oldukları çalışmada yan duvarlar üzerindeki buruşmaları incelemişlerdir ve SE analizleri ile sorunları gidermeye çalışmışlardır. Sun ve arkadaşları deneylerini yaparken, 1.2 mm

kalınlığında 440 mm çapında LY12 alüminyum alaşımlı sac malzeme kullanmışlardır. Ayrıca Şekil 2.14.'te görülen konik ıstampa ile hidroşekillendirme işlemini gerçekleştirmişlerdir.



Şekil 2.14.Konik ıstampa'nın ölçü değerleri (Sun ve ark. 2017)

Sun ve arkadaşları 3 adımda, Şekil 2.15.c'de görülen parçayı, yan duvar buruşmalarını yok eden basınç profillerini belirleyerek üretmişlerdir.



Şekil 2.15.Şekillendirme adımları (Sun ve ark. 2017)

Yaptıkları deneyler ve analizler sonunda buruşma denklemini aşağıdaki gibi oluşturmuşlardır.

$$\varepsilon_{wc} = \varepsilon_2 + \frac{R}{1+R} \varepsilon_1$$

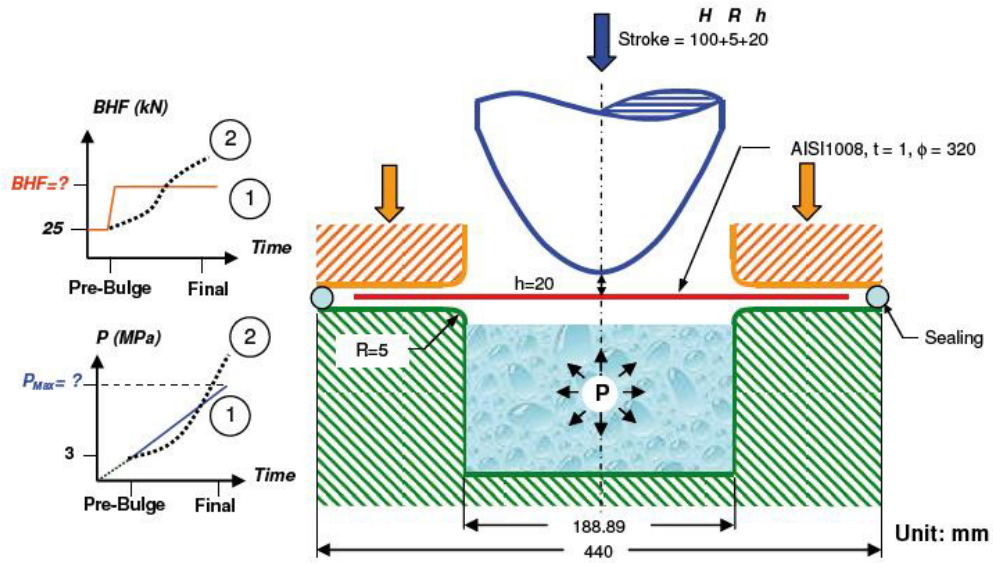
Buruşma denklemi yardımıyla, 3 adım için ayrı ayrı deney yaparak Şekil 2.16.'da görüldüğü gibi sac parçaları başarılı olarak şekillendirmişlerdir.



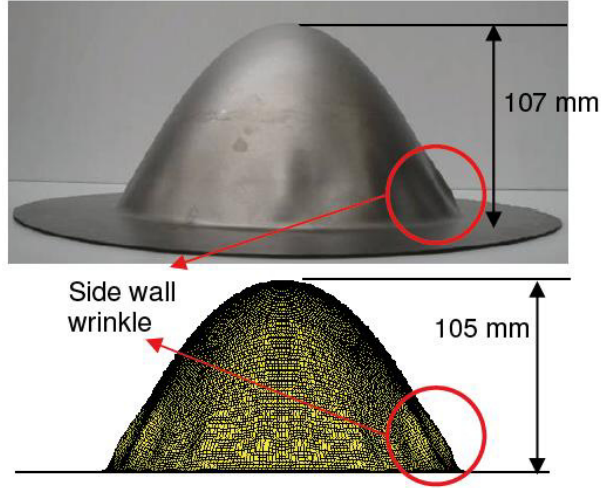


Şekil 2.16. 3 adım için ayrı ayrı şekillendirilmiş parçalar (Sun ve ark. 2017)

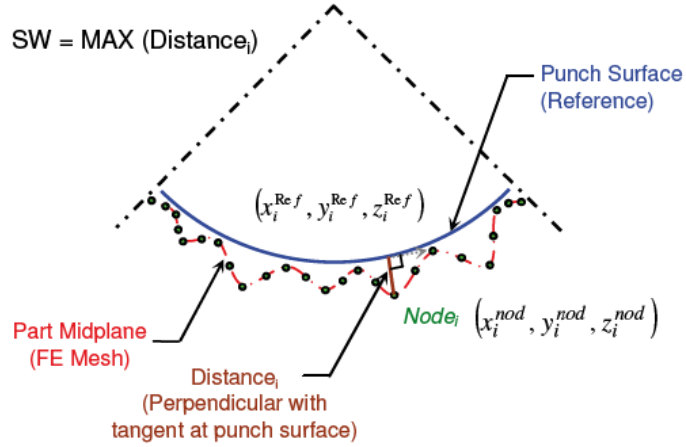
Intarakumthornchai ve ark. (2011) hidromekanik derin çekme yöntemi ile AISI 1008 sac malzemeyi şekillendirmeye çalışmışlar ve flanş ve duvar kısmındaki kırışmaları inceleyerek SE analizleri ve tepki yüzey yöntemi uygulanmıştır. Bulanık mantık kontrol yaklaşımı ile yükleme profillerini optimize etmeye çalışmışlardır. Çalışmada kullanmış olduğu deney düzeneği Şekil 2.17.'de görülmektedir ve sabit baskı plakası kuvveti (63,125 N) ve sabit basınç (3 MPa) altında parçayı oluşturduklarında Şekil 2.18.'de görüldüğü gibi duvar kısımlarında buruşmalar meydana gelmiştir. Duvar kısmındaki kırışmaları SW olarak adlandırmışlardır. SW olduğu zaman parçanın kusurlu olduğu ve SW sınırını (SWLim), ilk parçanın kalınlığının %5'i olarak kabul etmişlerdir. Şekil 2.19.'da gösterildiği gibi LS-Dyna programı yardımı ile her simülasyon sonunda ıstampa ve parça ağı arasındaki düğüm noktaları ölçülmüştür ve en uzak mesafe SW olarak seçilmiştir.



Şekil 2.17. Deney düzeneği ve boyutları (Intarakumthornchai ve ark. 2011)



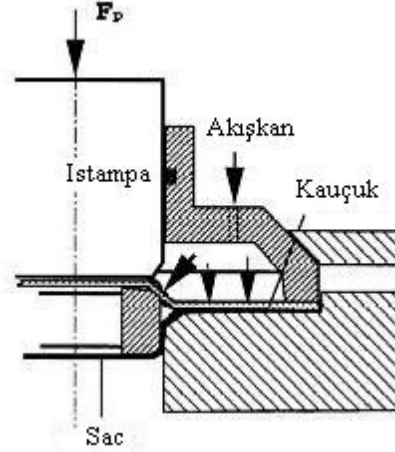
Şekil 2.18. Sabit basınç ve baskı plakası kuvveti ile üretilmiş parçadaki buruşma (Intarakumthornchai ve ark. 2011)



Şekil 2.19. SW'nin gösterimi (Intarakumthornchai ve ark. 2011)

Yossifon ve Tirosh (1990), tarafından geliştirilen deney düzeneğinde klasik rijit basınç yerine kontrol edilebilir hidrostatik akışkan basıncı uygulanmıştır (Şekil 2.20.). Deney düzeneğinde ince kauçuk bir diyafram kullanılmıştır. Bu diyafram basıncı flanşa iletmektedir. Hidrolik basınç ile derin çekme prosesinde istenmeyen bir esnekli oluşmaz ve rijit bir kalıp tarafından desteklenir. Bu proses özellikle ince sacların derin çekilmesinde kullanılmaktadır. Yossifon ve Tirosh (1990), hidroşekillendirme ile derin çekme için bir Sınır Çekme Oranı (SÇO) değeri sunmuşlardır. SÇO, kırılma ve buruşma olmadan elde edilebilecek en büyük çekme oranıdır. Istampacılık ilerledikçe sac malzeme kırılma ya da buruşma meydana getirebilir. Bu iki kritik eğri arasında kalan alan hasarsız çalışma bölgesidir.  $t = 0.5$  mm kalınlığında alüminyum malzeme ile (AL 1100) deneyler yapılmıştır (Şekil 2.20) ( $R=0.8$ ,  $n=0.215$ ).





**Şekil 2.20.** Hidrolik basınç yardımı ile derin çekme deney düzeneği (Yossifon ve Tirosh, 1990)

Özetle literatürde hidro-şekillendirme imalat yöntemiyle başarılı parça üretimi yapabilmek için yoğunlukla sıvı basıncı ve baskı plakası yükleme profillerinin optimize edildiği görülmektedir. Proses penceresi konusunda dişi kalıpla, erkek kalıpla (HDÇ) ve tüp hidroşekillendirme yöntemlerinde proses penceresi araştırılmıştır. HDÇ yöntemiyle yapılan proses penceresi araştırmalarında paslanmaz çeliğin kullanılmadığı ve silindirik parçalar için proses penceresinin ortaya koyulduğu görülmüştür. Bu çalışmada ise endüstriyel bir parça olan çaydanlık için AISI 304 paslanmaz çelik malzeme kullanılarak proses penceresi araştırılacaktır. Böylece çaydanlığın yan duvar buruşmaları olmadan başarıyla HDÇ yöntemiyle üretilebilmesi için en uygun proses şartları belirlenmeye çalışılacaktır.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Tez çalışmasında AISI 304 paslanmaz çelikten üretilen ve endüstriyel bir parça olan çaydanlığın (Şekil 3.1.) hidro-mekanik derin çekme yöntemiyle üretilmesinde kullanılacak proses penceresi araştırılmıştır. Endüstriyel çaydanlık, Prof. Dr. H. Selçuk HALKACI'nın yürütücüsü olduğu bir TÜBİTAK 1505 projesi kapsamında üretilmiştir. Üretimde SE analizi destekli bulanık mantık algoritmaları ile belirlenmiş sıvı basıncı ve baskı plakası kuvveti profilleri kullanılmıştır. Ancak bu profillerin her defasında başarılı parça üretmek için yeterli olmadığı görülmüş, başarıyla üretilen parçalarda ise Şekil 3.2.'de görüldüğü gibi buruşma problemlerinin yaşandığı gözlemlenmiştir.



Şekil 3.1. AISI 304 paslanmaz çelikten üretilen çaydanlık



Şekil 3.2. Üzerinde buruşmalar olan başarıyla şekillendirilmiş endüstriyel çaydanlık

Bu tez çalışmasında çaydanlık üretiminde yaşanan hasar ve buruşma problemlerinin kaynağını anlamak ve bu problemleri gidermek için belirtilen parçanın HDC prosesine üretimindeki proses penceresi araştırılmıştır. Belirtilen projede çaydanlığın laboratuvar ortamındaki deney ünitesinde ¼ oranında ölçeklenmiş boyutu üretilmiştir. Bu tez çalışmasında da proses penceresi, ¼ ölçekli parça için araştırılmıştır. Bu nedenle 0.18 mm kalınlığında 85 mm başlangıç çapına sahip AISI 304 paslanmaz çelik sac malzeme kullanılmıştır. Belirtilen malzemenin hidromekanik derin çekme prosesinde, belirli bir formda ürün haline getirilmesinde kullanılacak sıvı basıncı ve baskı plakası kuvveti profilleri için proses pencereleri nümerik olarak araştırılmıştır. Nümerik çalışma bir deneysel durum ile kıyaslanarak çalışmanın doğruluğu kontrol edilmiştir. Nümerik çalışmada malzemenin modellenmesi için öncelikle malzeme akma eğrisi elde edilmiştir.

### 3.1. Malzeme Akma Eğrisinin Elde Edilmesi

AISI 304 paslanmaz çelik sac malzemenin hadde yönü ile hadde yönüne göre 45° ve 90° açılarla üç tekrarlı yapılmış olan çekme deneyi verileri hazır olarak alınmıştır. Bu veriler kullanılarak mühendislik ve gerçek gerilme-birim şekil değiştirme (BŞD) diyagramları oluşturulmuş ve AISI 304 paslanmaz çelik malzemenin akma eğrisi elde edilmiştir.

#### 3.1.1. Mühendislik gerilmesi ve mühendislik birim şekil değiştirmesi

Mühendislik gerilmesi ( $\sigma_m$ ) numuneye uygulanan kuvvetin (F) kesit alanına ( $A_0$ ) bölünmesi ile elde edilir.

$$\sigma_m = \frac{F}{A_0} \quad (3.1)$$

$$A_0 = w_0 \cdot t_0 \quad (3.2)$$

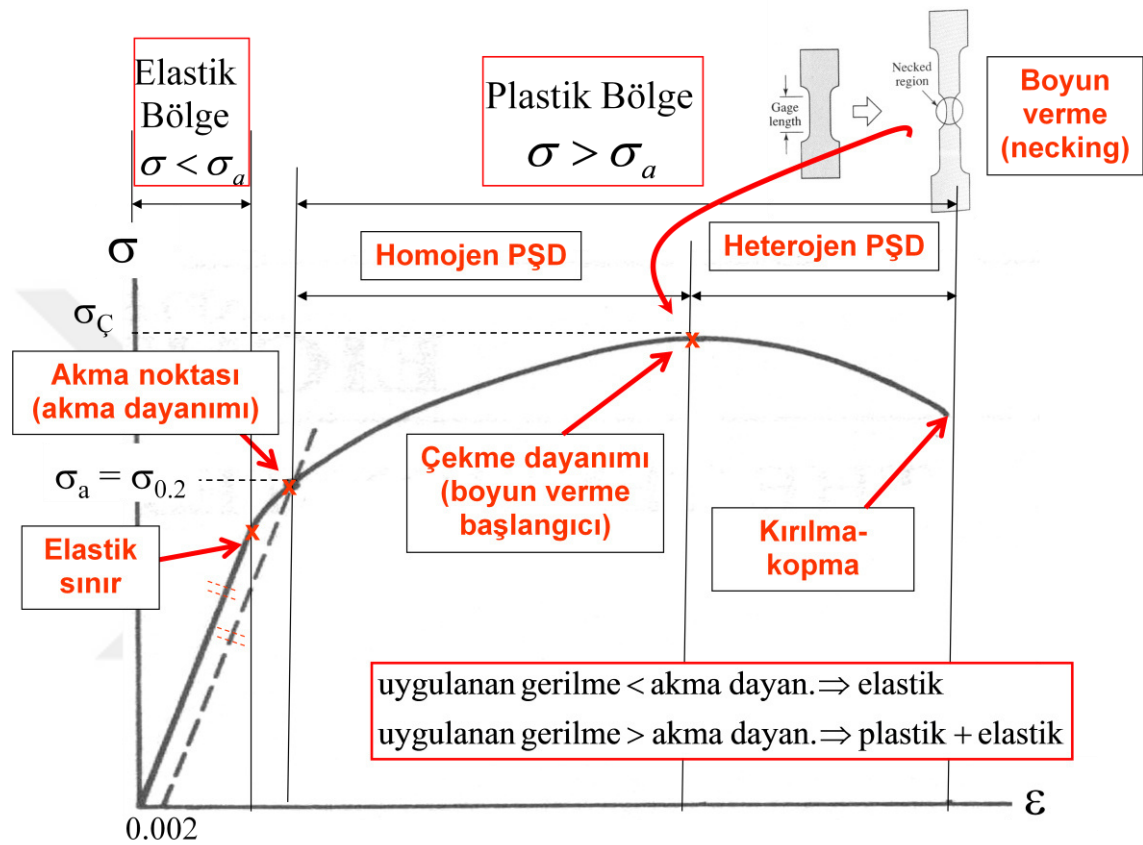
Mühendislik BŞD'si ( $e_m$ ) ise numunenin boyundaki uzama farkının ( $\Delta l$ ) başlangıç boyuna ( $l_0$ ) bölünmesi ile elde edilir.

$$e_m = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (3.3)$$

$$(\Delta l = l - l_0) \quad (3.4)$$

$$e_m = \frac{l}{l_0} - 1 \quad (3.5)$$

AISI 304 paslanmaz çelik sac malzemede akma noktası uzaması görülmediği için elastik kısmın Şekil3.3.'te görüldüğü gibi % 0.2 BŞD değeri uzaklıkta çizilen paralel ile kesişen noktanın gerilme değeri akma mukavemeti olarak alınmıştır. Çekme mukavemeti ise malzemenin maksimum yüke ulaştığı noktadaki gerilme değerinin başlangıç kesit alanına bölünmesi ( $A_0$ ) ile elde edilmiştir.



Şekil3.3.Çekme deneyinden sonra oluşan malzeme özellikleri (Anonim, 2018)

### 3.1.2. Gerçek gerilme ve gerçek birim şekil değiştirme

Gerçek gerilme uygulanan kuvvetin ( $F$ ) o andaki kesit alanına ( $A$ ) bölünmesi ile elde edilir.  $\sigma_g$  ile ifade edilir ve aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\sigma_g = \frac{F}{A} \quad (3.6)$$

$$A_0 \cdot l_0 = A \cdot l \quad (3.7)$$

$$\sigma_g = \frac{F}{A} = \frac{F \cdot l}{A_0 \cdot l_0} = \sigma_m \cdot (1 + e_m) \quad (3.8)$$

$$\sigma_g = \sigma_m \cdot (1 + e_m) \quad (3.9)$$

Gerçek BŞD ise ölçü boyundaki anlık artışın ( $dl$ ), anlık boyuna ( $l$ ) bölünerek integrasyon yöntemi ile elde edilir.  $\varepsilon$  ile ifade edilir ve aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\varepsilon = \int d\varepsilon = \int_{l_0}^l \frac{dl}{l} = \ln \frac{l}{l_0} \quad (3.10)$$

$$\frac{l-l_0}{l_0} = \frac{l}{l_0} - 1 = e_m \quad (3.11)$$

$$\varepsilon = \ln(1+e_m) \quad (3.12)$$

### 3.1.3. Pekleşme üssü

Pekleşme üssü  $n$  ile ifade edilir. Deneysel olarak elde edilen gerçek gerilme - gerçek uzama eğrisine uyan bazı ampirik denklemler geliştirilmiştir. Bunların en çok bilineni Holloman denklemidir. Holloman denklemi aşağıdaki gibidir.

$$\sigma_g = K \cdot \varepsilon^n \quad (3.13)$$

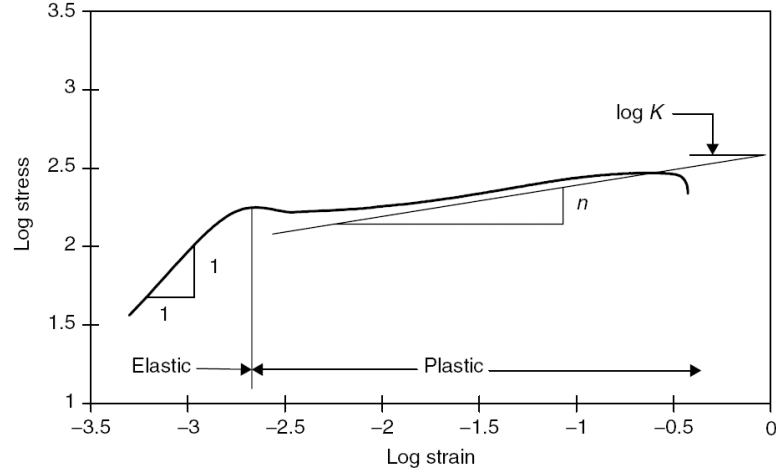
Holloman denkleminde  $\varepsilon=0$  alınırsa  $\sigma_g = 0$  olur. Bu sebepten dolayı ise denkleme  $\sigma_{ak}$  eklenmiş olur.

$$\sigma_g = \sigma_{ak} + K \cdot \varepsilon^n \quad (3.14)$$

Bu denklem ise Ludwing denklemi olarak adlandırılır.

Holloman denkleminden yola çıkarak  $n$  sayısını hesaplamak için gerçek gerilme ve BŞD değerlerinin logaritması alınarak akma eğrisindeki plastik bölgedeki eğimi  $n$  değerini verir. Mukavemet katsayısı  $K$  değeri  $\varepsilon = 1$  olduğu anda gerilme değeri okunarak bulunur. Şekil 3.4.'te Marciniak ve ark. (2002) tarafından  $n$  ve  $K$  değerleri için oluşturulmuş grafik görülmektedir.

$$\ln \sigma = \ln K + n \cdot \ln \varepsilon \quad (3.15)$$



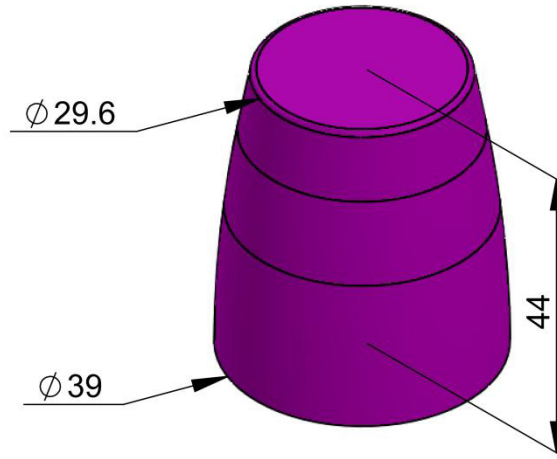
Şekil 3.4. Logaritmik gerilme - BşD diyagramı (Marciniak ve ark. 2002)

Pekleşme üssü için bazı temel bilgiler şu şekildedir;

- Doğrunun eğimi,  $n$ , pekleşme üstelini verir.
- $n$ , pekleşme (deformasyon sertleşmesi) kabiliyetini gösterir.
- $n$  arttıkça boyun verme zorlaşır, homojen BŞD kabiliyeti artar.
- $0 < n < 0.4$  arasında değerler alır.
- Birçok mühendislik malzemedede  $0.15 < n < 0.25$
- Sıcak deformasyonda  $n = 0$
- $K$ , doğrudan malzemenin dayanımı hakkında bilgi verir.

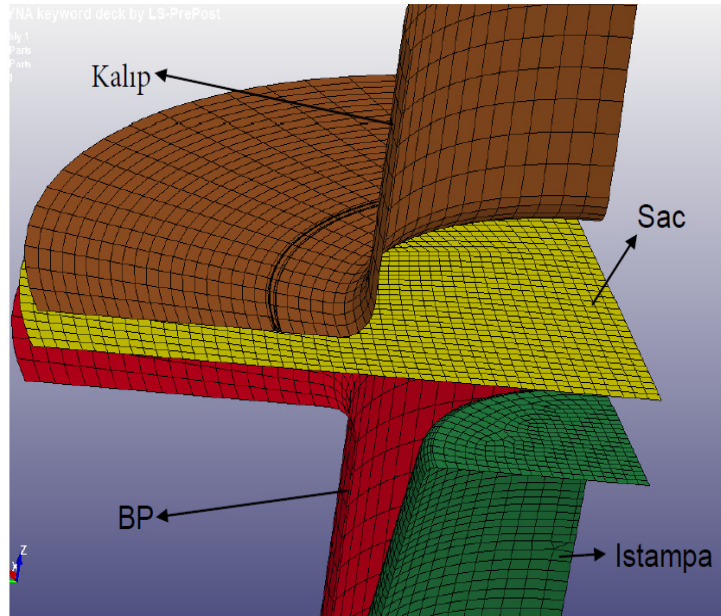
### 3.2. Sonlu Elemanlar Modelinin Hazırlanışı

Çalışmada Şekil 3.5.'te çaydanlığın tam görülen parçanın hidromekanik derin çekme prosesiyle üretilmesi için kullanılabilecek sıvı basıncı ve baskı plakası kuvveti proses pencereleri deneylerle doğrulanmış Sonlu Elemanlar Analizleri (SEA) ile araştırılmıştır.



**Şekil 3.5.** Hidromekanik derin çekme için proses penceresi belirlenen parça

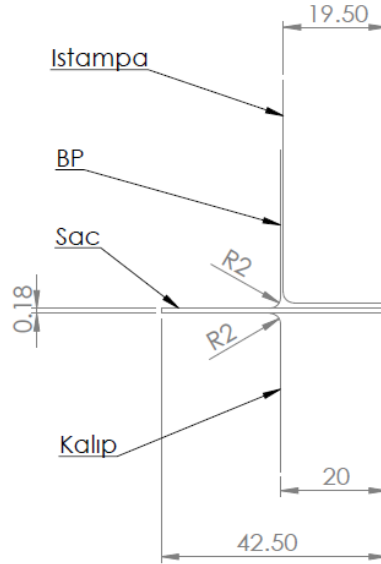
Sonlu elemanlar modelinin oluşturulması için öncelikle geometrik modelleme Solidworks yazılımında yapılmıştır. Sonrasında SEA modelinin hazırlanmasındaki adımlar olan malzeme modellemesi, kesit özelliklerinin tanımlanması, sınır şartların uygulanması, yük tanımlamalarının yapılması ve temas tanımlamalarının yapılması Ls-prepost'ta gerçekleştirilmiştir. Çalışmada yapılan metal şekillendirme simülasyonu lineer olmayan statik analizlerle gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.6.'da analizin çeyrek model hali görülmektedir.



**Şekil 3.6.** Ls-Prepostanaliz çeyrek modeli

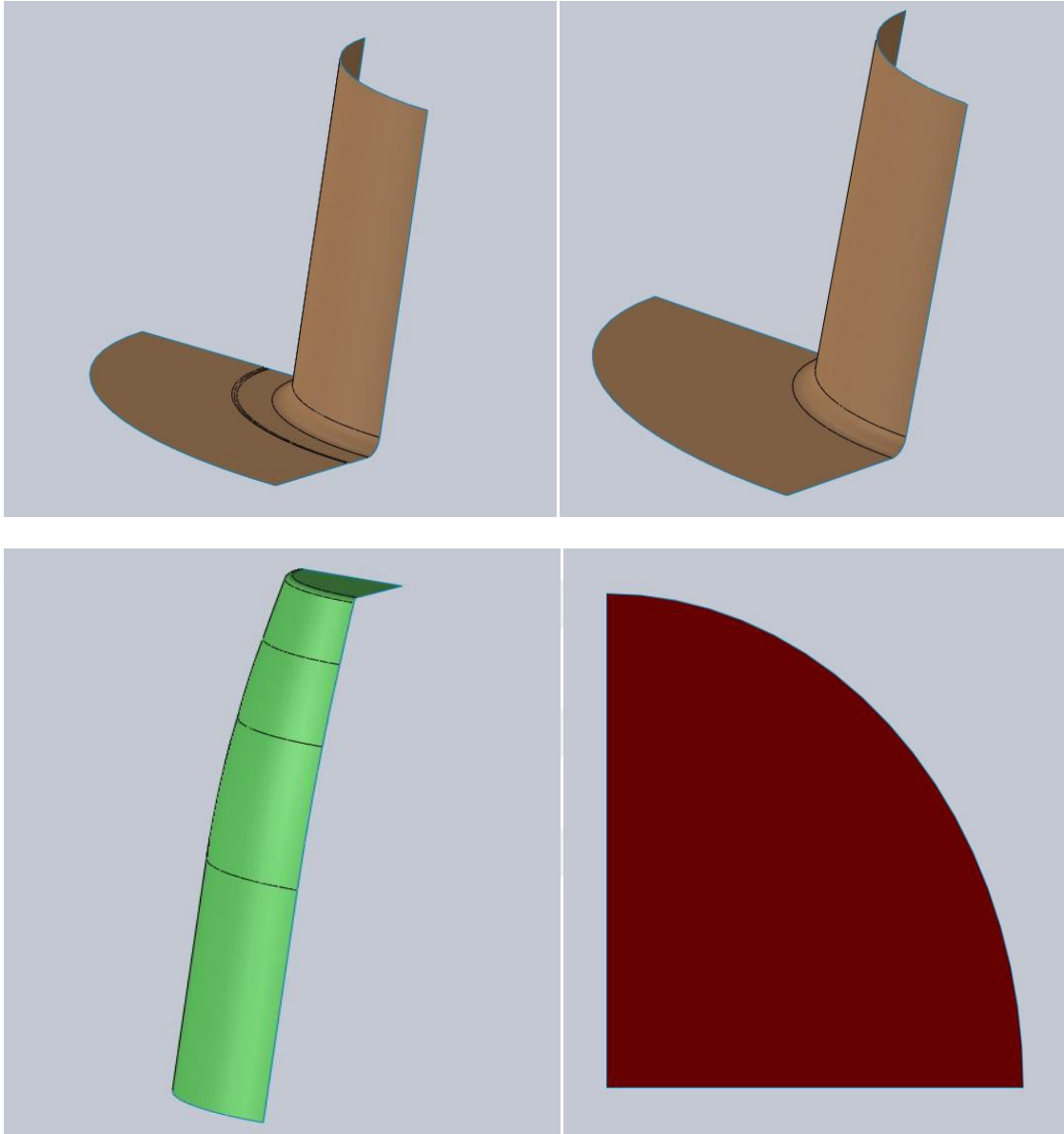
### 3.2.1. Geometrik modelleme

Geometrik model Solidworks programı yardımı ile oluşturulmuştur. SEA'nın daha hızlı yapılabilmesi ve derin çekme modelinin simetrik olması sebebi ile çeyrek model kullanılmıştır. Çeyrek model ölçüleri Şekil 3.7.'de gösterilmiştir. Şekil 3.8.'de ise çizilen parçalar gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Geometrik modellemede kalıp boyutları





Şekil 3.8.a) Baskı Plakası – b) Kalıp– c) İstampa – d) Sac

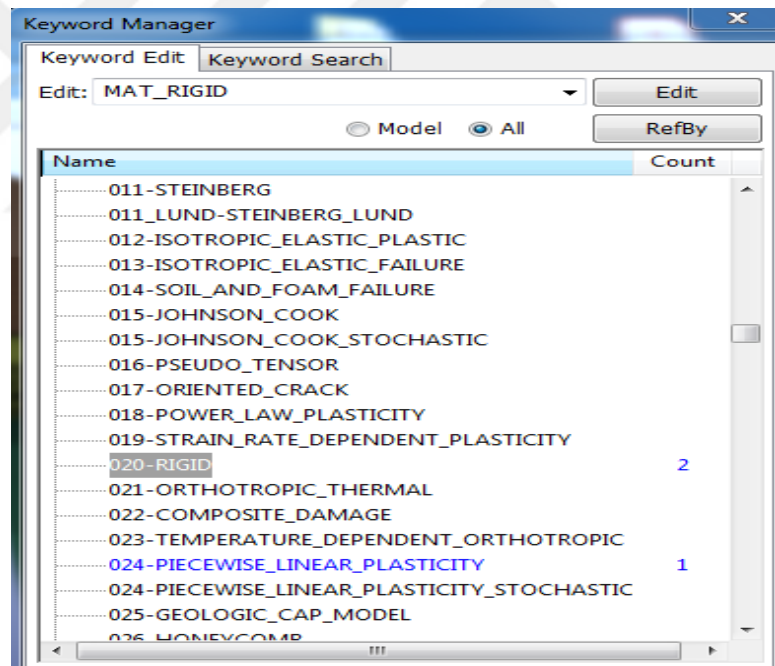
### 3.2.2. Sonlu elemanlarına ayırma ve uygun eleman boyutunun seçilmesi

Deneylerin SEA ile en uygun sonucu vermesi için öncelikle en uygun eleman boyutu seçilmelidir. Yüksek eleman sayısı analizlerin çözüm süresini artırırken, düşük eleman sayısı doğruluğu az sonuçlar verir. Dolayısıyla eleman sayısı seçimi önemli bir kriter haline gelmektedir. Çeyrek modeli tasarlanmış olan 0.18 mm kalınlığında ve 85 mm çapındaki AISI 304 paslanmaz çelik sac malzeme toplam eleman sayısı 1875 ve toplam düğüm noktası sayısı ise 1951'dir. Analiz için oluşturulan toplam eleman sayısı 5985'dir. Analiz için toplam düğüm noktası sayısı ise 7540'dır. Daha önce belirtilen proje kapsamında deneylerde kullanılmış olan parametreler ile SE analizi gerçekleştirilmiş ve ıstampa kuvveti değerleri hesaplanmıştır. Yine belirtilen deneylerde

ölçülmüş olan ıstampa kuvveti ve sac kalınlık dağılımı ile farklı eleman sayılarındaki analiz sonuçları kıyaslanarak en uygun eleman boyutu analiz süreleri de dikkate alınarak belirlenmiştir.

### 3.2.3. Malzeme modellemesi

Çalışmada kullanılan AISI 304 paslanmaz çeliğin akma davranışının modellenmesinde lineer plastik malzeme modeli kullanılmıştır. Malzeme özelliklerinin Ls-Dyna SEA yazılımında tanımlanmasında (Şekil 3.9.) 24 numaralı “Piece wise Linear Plasticity” kartı kullanılmıştır. Daha önce elde edilen malzemeye ait akma eğrisi tablo halinde girilmiştir. Malzemenin elastik davranışının modellenmesinde Çizelge 3.1.’de verilen ve literatürden alınan değerler kullanılmıştır. Plastik bölge için çekme deneyi verilerinden elde edilen akma eğrisi tablo halinde yazılıma girilerek tanımlama yapılmıştır. Kalıplar rijit malzeme olarak tanımlanmıştır. Bunun için 20 numaralı “Rigid” malzeme kartı kullanılmış ve sadece elastik özellikler girilmiştir.



Şekil 3.9.Ls-Prepost malzeme özellik giriş kartları

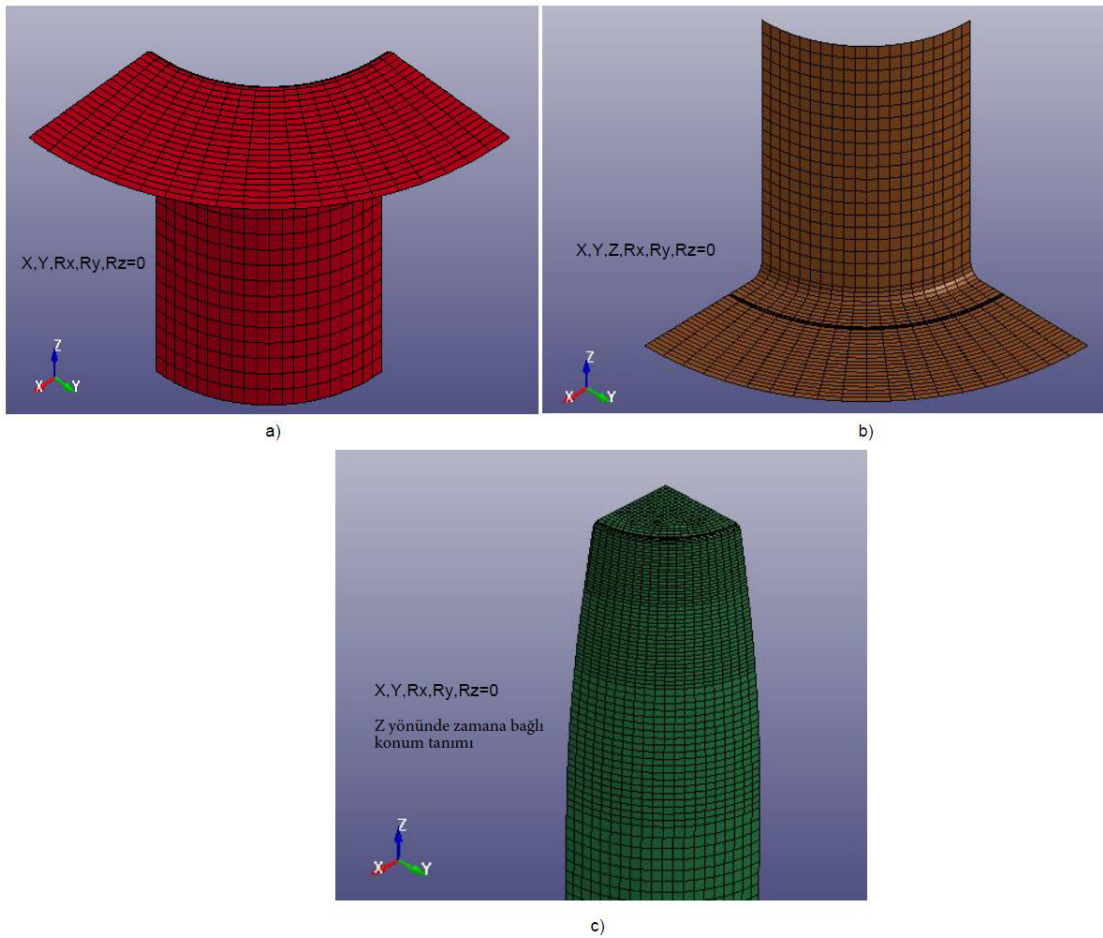
Çizelge 3.1.AISI 304 paslanmaz çelik malzeme elastik davranış verileri

Kütle Yoğunluğu (kg/m <sup>3</sup> )	Elastisite Modülü (MPa)	Poisson Oranı
7800	210000	0.28

### 3.2.4. Sınır şartların tanımlanması

Silindirik bir kap üretmek üzere yapılan modellemede sınır ve başlangıç koşulları Şekil 3.10.'da verilmiştir. Burada:

- Kalıp için  $x$ ,  $y$  ve  $z$  yönlerinde öteleme ve bu eksenlerde dönme engellenmiştir.
- Baskı plakasının hareketine, sadece  $z$  doğrultusunda müsaade edilmiştir.
- İstampa hareketi  $+z$  yönünde konum-zaman grafiği ile tanımlanmıştır.



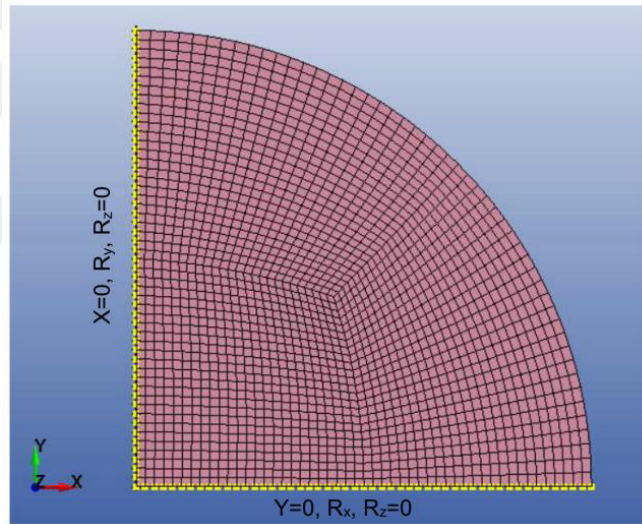
Şekil 3.10.HDÇ işleme için sonlu elemanlar modeli ve uygulanan sınır ve başlangıç koşulları, (a) Baskı plakası, (b) Kalıp, (c) İstampa

Baskı plakası kuvveti, iş parçasının, kalıp ile baskı plakası arasında kalan elemanlarına etki etmektedir. Bu nedenle baskı plakası parçasına proses penceresini belirlemede kullanılan kuvvet değerleri zamana bağlı olarak tanımlanmıştır. Geometrik modelin çeyrek olmasından dolayı baskı plakası kuvveti gerçek değerinin 1/4'ü alınarak analize girilmiştir.

Istampa, iş parçasını alt kısmından yukarı doğru iterken, sacın karşı tarafındaki elemanlara sıvı basıncı uygulanmaktadır. Istampa, hedeflenen parçanın üretilebilmesi için gerekli mesafe olan 44 mm değerinde yine bir zaman eğrisi şeklinde ilerletilmiştir.

Prosesteki hidrolik basınç, sıvının etki edeceği eleman yüzeylerine basınç yükü ile tanımlanmıştır. Bu tanımlamada basıncın etki edeceği elemanların seçilmesi yerine LS-Dyna'daki "Mask" kartının özelliği ile bir basınç sınırı tanımlanmış ve bu sınıra giren her elemanın üzerine belirtilen basınç değeri etki etmiştir. Basınç değerleri proses penceresinin belirlenmesi için ıstampa pozisyonuna bağlı olarak çok farklı eğriler şeklinde tanımlanmıştır. Araştırmada kullanılan basınç eğrileri ileride açıklanmıştır.

Çalışmada kullanılan parçanın aksenal simetrik geometrisi nedeniyle HDC prosesinde çeyrek model kullanıldığından, iş parçasının simetri eksenine karşın kenarlarına Şekil 3.11.'de görülen ilgili sınır şartları tanımlanmıştır.



Şekil 3.11. Saca uygulanan simetri sınır şartları

### 3.2.5. Temas tanımlamaları

HDC prosesine sac malzeme ıstampa, kalıp ve baskı plakası ile temas etmektedir. Sac ile ıstampa arasındaki temasta sürtünmenin fazla oluşu HDC' nin şekillendirilebilirlikte artış sağlama avantajının kaynağı olduğu için deneylerde ıstampa sac ara yüzünde bir yağlama yapılmamaktadır. Sacın kalıp ve baskı plakası arasından kolayca akması içinse bu bölgelere yağlayıcı uygulanmaktadır. SE modellemesinde belirtilen temaslar için Coulomb sürtünme modeli kullanılmıştır. Ls-Dyna'da bu sürtünme modeli için "Forming one way surface to surface" kartı kullanılmıştır.

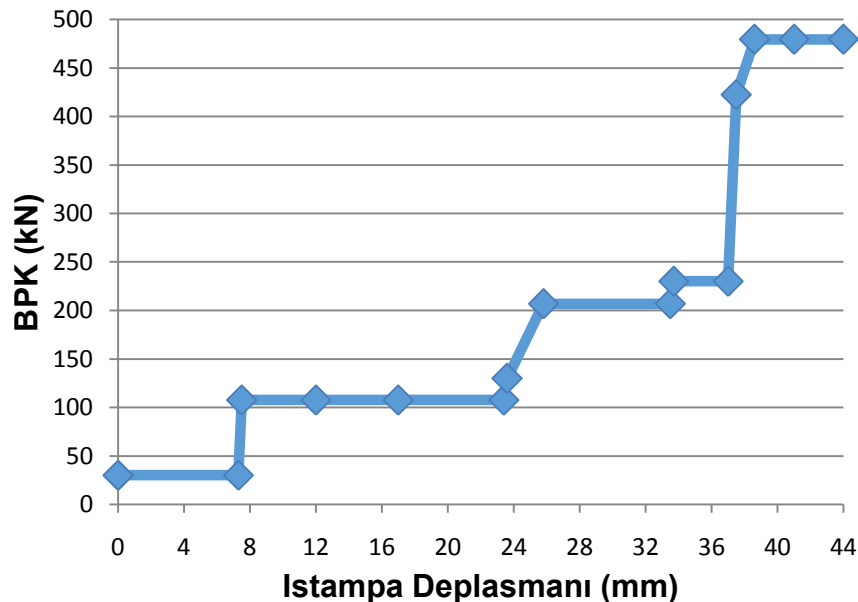
Yüzeyler arasındaki sürtünme katsayıları literatürden (Halkacı ve ark., 2014) alınmıştır. Bu değerlerin deneylerle doğrulandığı görülmüştür. (Çizelge 3.2.)

**Çizelge 3.2.**Uygulanan Sürtünme Değerleri

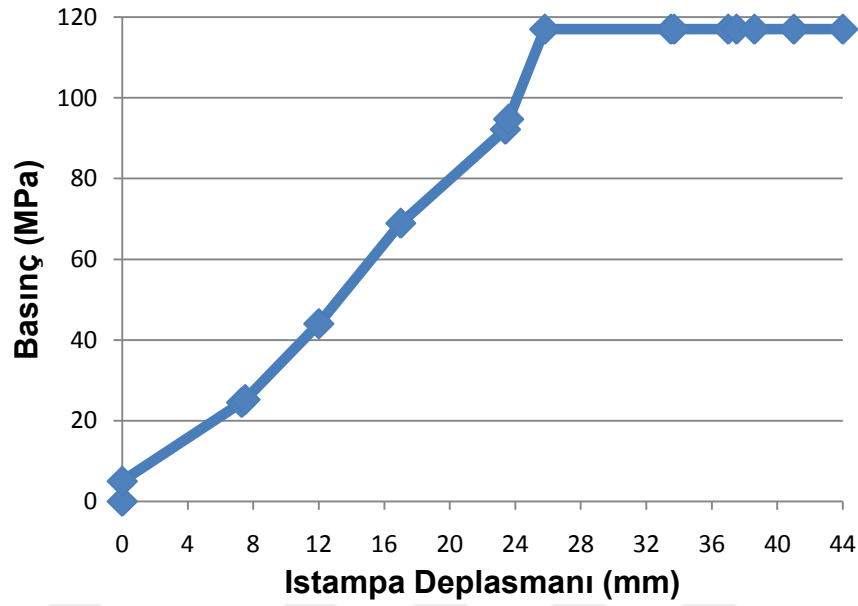
Kalıp-Sac	BP-Sac	Istampa-Sac
0.05	0.05	0.25

### 3.3. SEA'nın Doğrulanması

Daha önce bahsedilen TÜBİTAK 1505 projesi kapsamında optimum yükleme profilleri SEA ile eş zamanlı çalışan bulanık mantık algoritmalarıyla belirlenmiş sonrasında da belirlenmiş optimum profiller kullanılarak parça üretimi gerçekleştirilmiş olan çalışma, tezde kurulan SE modelinin doğrulanması için kullanılmıştır. Bu kapsamda belirtilen çalışmada belirlenen ve Şekil 3.12. - Şekil 3.13.'te verilen yükleme profilleri ile SE analizi yapılmıştır. Analizden ıstampa üzerine gelen kuvvet değeri tespit edilmiştir. Aynı parametrelerle gerçekleştirilmiş olan deneylerde ölçülen ıstampa kuvveti ile analizlerden elde edilen kuvvet karşılaştırılmış ve analizlerin doğruluğu ortaya konulmuştur.



**Şekil 3.12.** TÜBİTAK 1505 projesinde uygulanan optimum BPK eğrisi

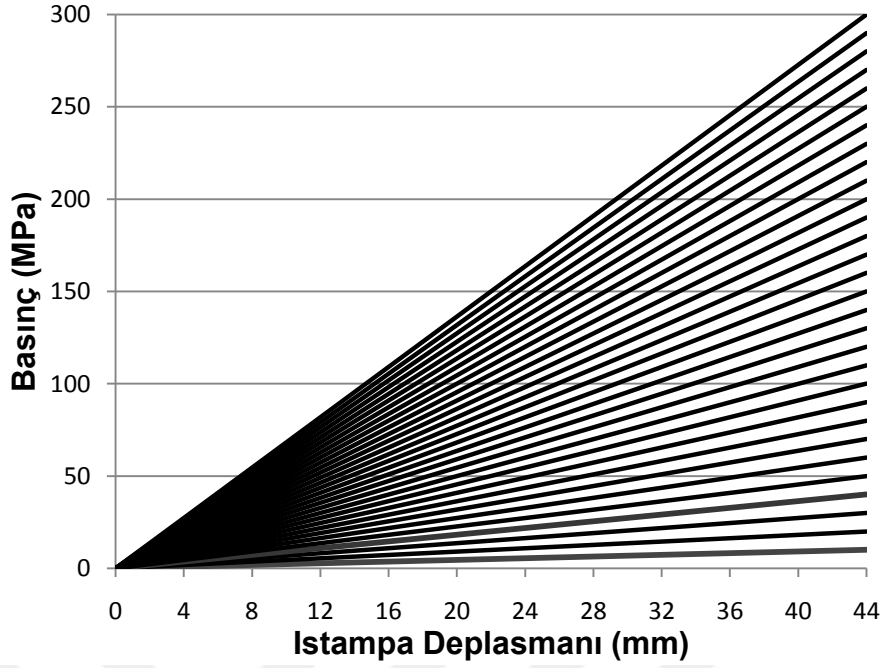


Şekil 3.13. TÜBİTAK 1505 projesinde uygulanan optimum basınç eğrisi

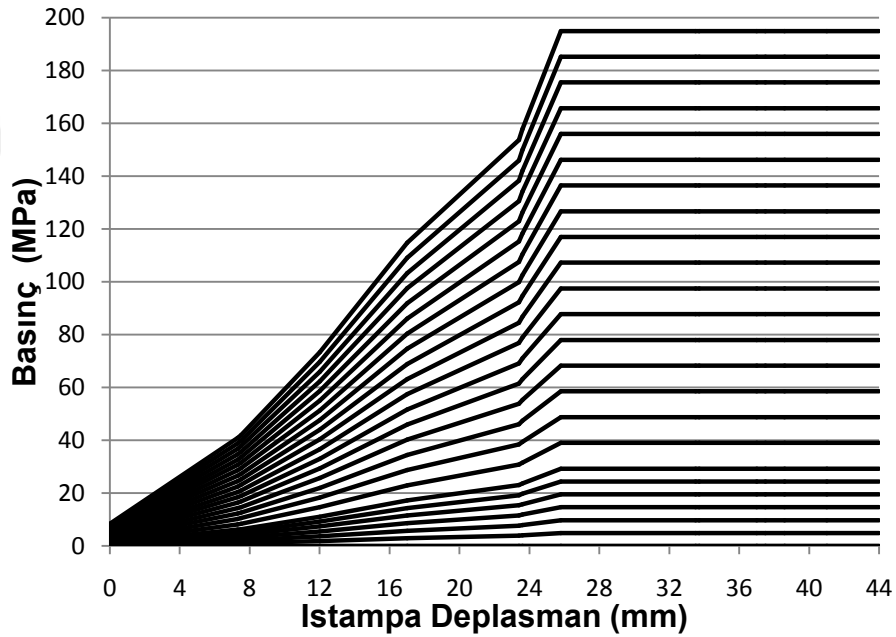
### 3.4. Proses Penceresinin Belirlenmesi

Bu çalışmada sıvı basıncı ve BPK için ayrı ayrı proses penceresi belirlenmiştir. Sıvı basıncı için 90 adet BPK için ise 80 adet analiz gerçekleştirilmiştir. Sıvı basıncı proses penceresinin belirlenmesi için sabit basınçta, lineer artan ve farklı karakteristiklerde artan eğriler denenmiş, yırtılma ve buruşma hasarının ıstampa konumuna bağlı olarak meydana geldiği basınç değerleri tespit edilmiştir. Sabit basınç eğrileri 0 MPa'dan başlanarak 300 MPa değerine kadar 10 MPa aralıklarla uygulanmıştır. Lineer artan sıvı basıncı eğrileri Şekil 3.14.'te ve farklı karakteristikleri Şekil 3.15.'te görülmektedir. Analizler sonucunda yırtılma ve buruşma hasarı kriterinin olduğu ıstampa konumları ve ona karşılık gelen sıvı basıncı değerleri belirlenmiştir.

SEA'da sac kalınlığında %30 incelme oluştuğunda (Mahabunphachai ve Koç, 2010) hasar meydana geldiği kabul edilmiştir. Şekillenme simülasyonlarında ıstampa ilerlerken parçada buruşma durumu gözlemlenerek buruşmanın meydana geldiği konuma karşılık basınç değerleri hesaplanmıştır. Belirlenmiş olan yırtılma ve buruşma hasarının meydana geldiği noktalar birleştirilerek sıvı basıncı için proses penceresi oluşturulmuştur. Sıvı basıncında kullanılan maksimum 300 MPa basınç değeri analizlerde deneme ve yanılma ile belirlenmiştir.



Şekil 3.14. Proses penceresinin oluşturulmasında kullanılan lineer sıvı basıncı yükleme profilleri



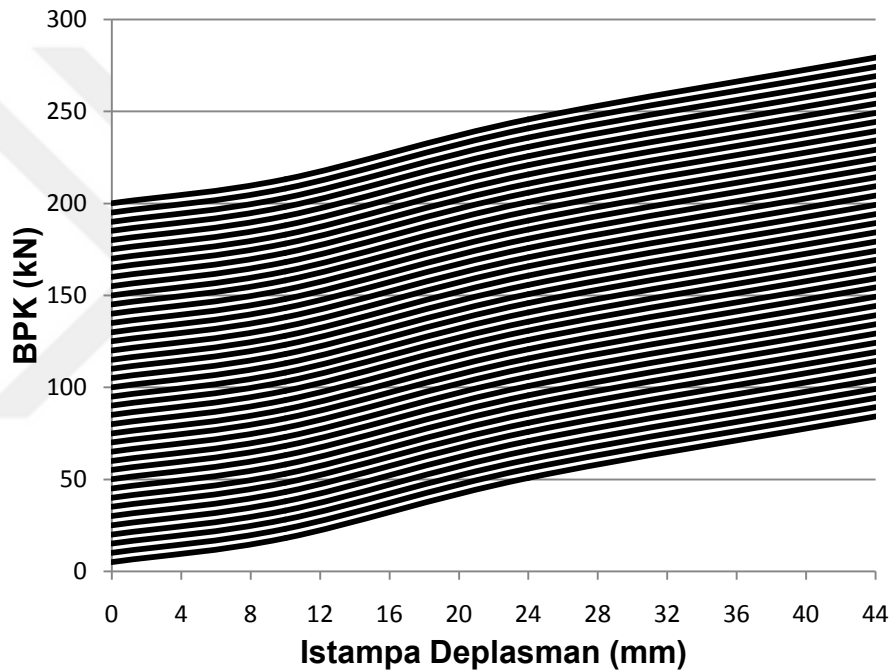
Şekil 3.15. Proses penceresinin oluşturulmasında kullanılan sıvı basıncı yükleme profilleri

HDC prosesinde sacın üzerine gelen sıvı basıncının oluşturduğu kuvvet kalıpları açmaya çalıştığı için sacın buruşmasını engelleyen net BPK'nin üzerine kalıpları kapalı tutup sızdırmazlığı sağlayacak telefi kuvvetinin de eklenmesi gerekmektedir. BPK proses penceresi bu toplam kuvvet için değil net kuvvet için elde edilmiştir. BPK için proses penceresi oluşturulurken **net** BPK değerleri 5 kN'den başlanarak 200 kN' ye

kadar 5 kN aralıklarla proses boyunca sabit olarak alınmıştır. Ancak sıvı basıncı ıstampa konumuyla arttığı için toplam BPK değeri

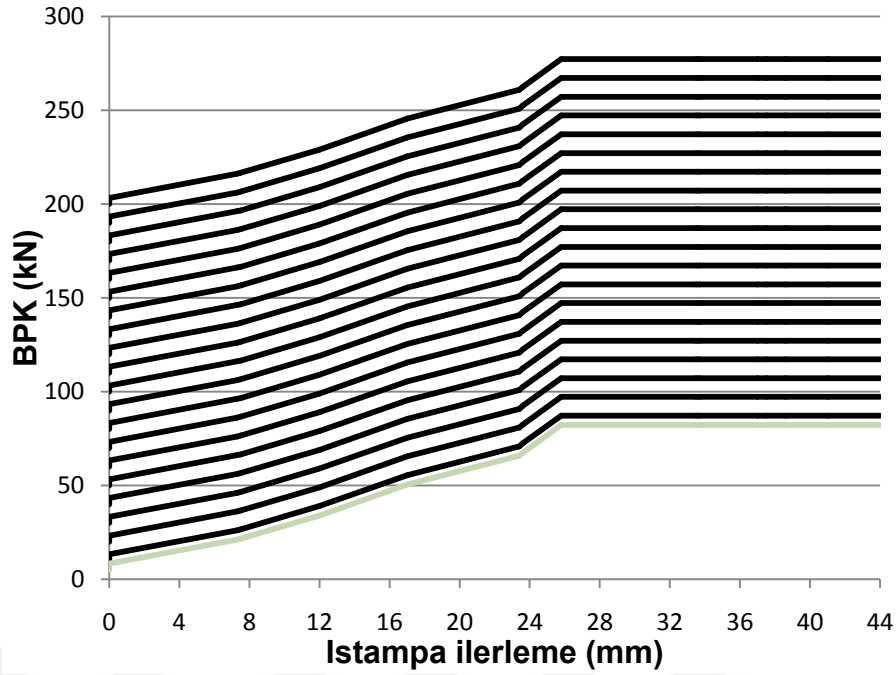
$$F_{BPK} = A \cdot P + F_{NBPK} \quad (3.16)$$

formülü ile sızdırmazlığın sağlandığı alan ile sıvı basıncı çarpılarak telafi kuvveti elde edilmiş ve net kuvvet ( $F_{NBPK}$ ) ile toplanarak toplamda 40 adet BPK eğrisi Şekil 3.16.'daki gibi oluşturulmuştur. Şekil 3.17.'de farklı karakteristikte bir BPK profilinin 5 kN değerinde aşağı ve yukarı yönde ötelenmesiyle elde edilmiş olan yükleme profilleri görülmektedir. 20 adedi şekilde görülen profillerde de toplamda 40 adet BPK profili denenmiştir.



**Şekil 3.16.** Baskı plakası kuvveti proses penceresinin oluşturulmasında kullanılan net kuvveti sabit olan yükleme profilleri





Şekil 3.17. Baskı plakası kuvveti proses penceresinin oluşturulmasında kullanılan değişken karakteristikteki yükleme profilleri

Uygulanması gereken net BPK değeri;

$$F_{BPK} = 0.015Y\pi \left\{ D_b^2 - (D_p + 2.2t + 2R_D)^2 \right\} \quad (3.17)$$

$F_{BPK}$  = Baskı plakası kuvveti

Y = Akma Mukavemeti

$D_b$  = Sac çapı

t = Sac kalınlığı

$R_D$  = Kalıp köşe yarıçapı

analitik formülü (Denklem 3.17) ile 70 kN olarak elde edilmiştir. BPK profillerinde net BPK olarak bu değer yaklaşık 3 katı olan 200 kN değerine kadar eğrileri oluşturulmuştur.

### 3.5. DeneYlerin Yapılması

Analizlerin sonunda oluşturulan proses penceresinin doğruluğu durum çalışması ile kontrol edilmiştir. DeneYler Konya Teknik Üniversitesi Hidroşekillendirme Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir.

Öncelikle AISI 304 sac levhalar 0.18 mm kalınlığında temin edilmiştir. Sac levhalar ¼ ölçekli çaydanlık üretim için gerekli olan 85 mm çapında kesilmiştir. Sac malzemeler lazer kesme cihazında hizmet alımı ile kestirilmiştir

Kesimi tamamlanan sac malzemenin kalıp ve BP arasından kolayca akması istendiğinden her iki tarafı parafin ve poşet kullanılarak Şekil 3.18.'de görüldüğü gibi yağlanmıştır.

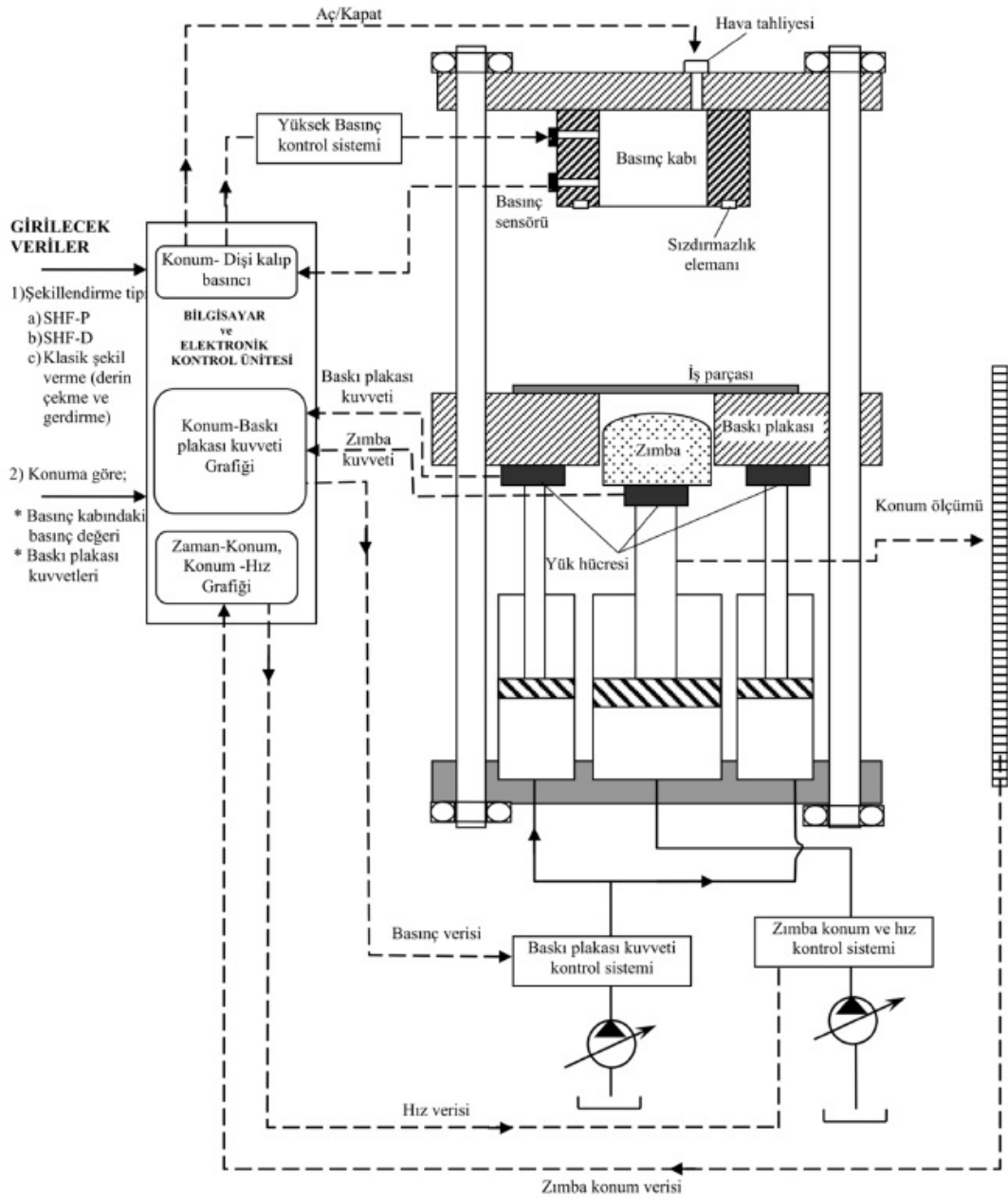


**Şekil 3.18.** Parafinle yağlanmış zerine PE film kaplanmış sac numune

Konya Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Hidroşekillendirme Laboratuvarı'nda bulunan Şekil 3.19.'da görülen pres 60 ton baskı plakası ve ıstampa kuvvetine, 1000 bar sıvı basıncına sahiptir. Pres Hidrolik Sayısal Kontrol (HNC) sistemi ile desteklendiği için BPK, ıstampa konumu ve hızı, sıvı basıncı hassas olarak kontrol edilebilmektedir. Şekil 3.20.'de presin detaylı sistem Şeması görülmektedir.



**Şekil 3.19.** Deney için kullanılan pres



Şekil 3.20. Hidroşekillendirme presi şeması (Dilmeç ve ark. 2007)

HDC deneylerinde proses penceresinde farklı şekillendirme sonuçları verecek 4 sıvı basıncı ve 4 adet de BPK yükleme profilleri kullanılmıştır. Deney sonucunda parçada meydana gelen hasar durumu ile proses penceresinde tahmin edilen hasar durumu karşılaştırılmış ve proses pencerelerinin doğruluğu tespit edilmiştir. Deneyler başlarken gerekli iş güvenliği önlemleri EK-1’de verilen “Hidroşekillendirme Laboratuvarında Bulunan Makine ve Ekipmanların Kullanım ve Güvenlik Talimatları” uygulama ve güvenlik talimatlarına göre alınmıştır.

Deney sırasında deneyin düzgün sonuçlar vermesi için dikkat edilmesi gereken bazı durumlar vardır. Bunlar;

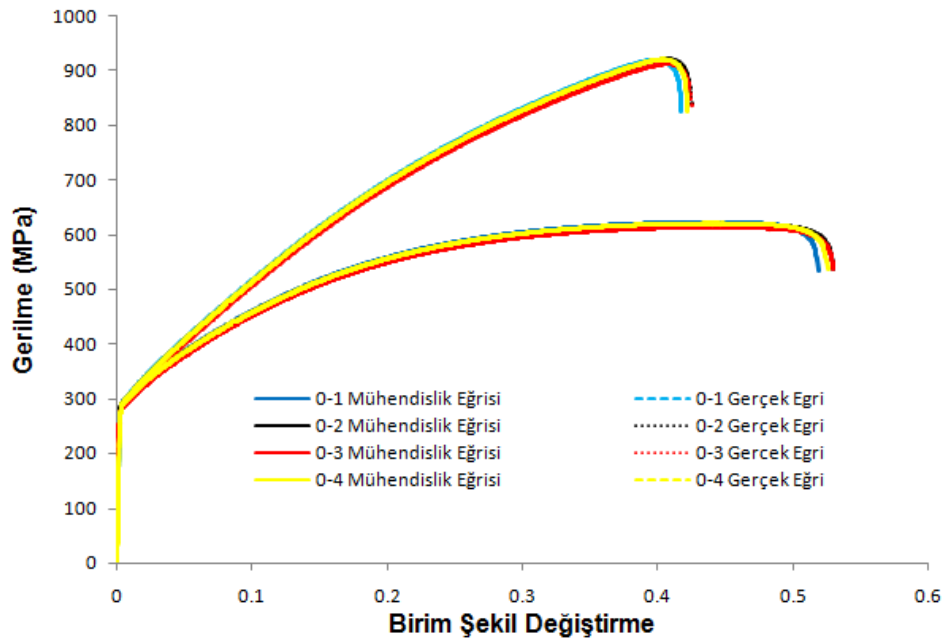
- Parafin poşet numuneyi tam olarak kaplamalıdır.
- Hazırlanan numune kumpas yardımı ile BP üzerine tam ortalı olacak şekilde yerleştirilmelidir.
- HNC kontrol düzeneği ile BP'nin kapatılması gerekir.
- Proses penceresinin güvenli bölgesinde kalan sıvı basıncı ve BPK değerleri uygulanarak sac malzeme şekillendirilir.
- Ana bilgisayarda kayıt işlemi uygulanır.

Deney sonucunda yapılan nümerik çalışma ile deney kıyaslaması yapılmıştır.

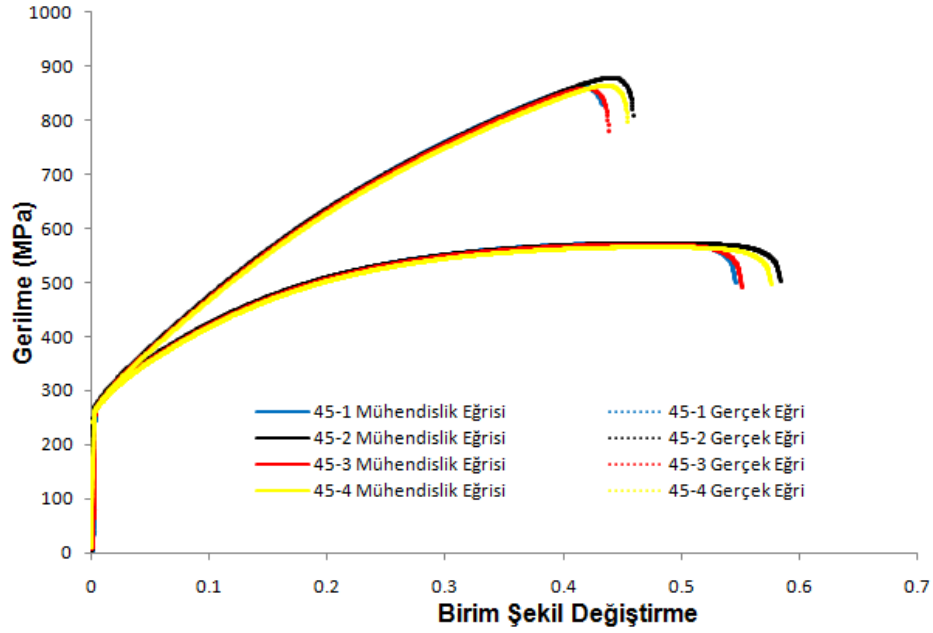
## 4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

### 4.1. AISI 304 Paslanmaz Çelik Malzeme Akma Eğrisi Eldesi

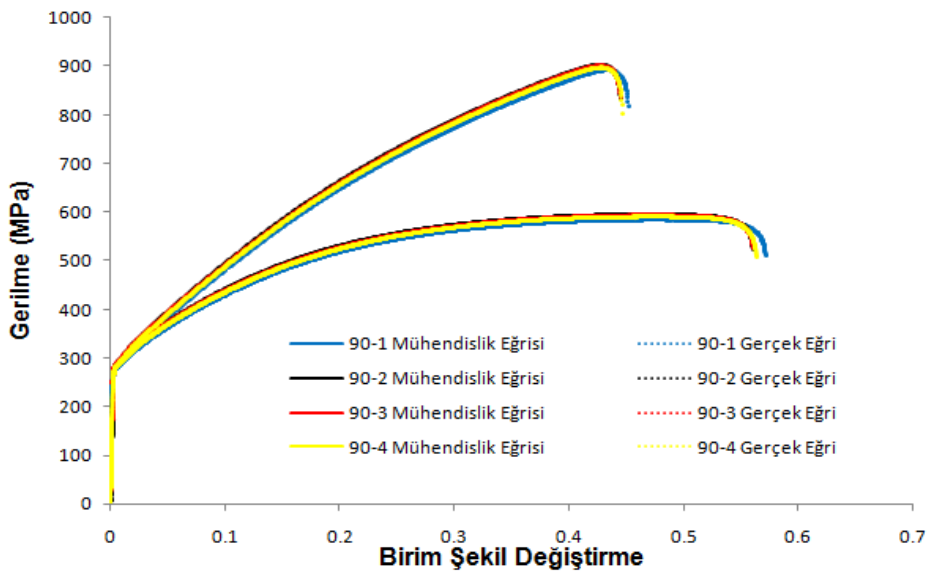
AISI 304 paslanmaz çelik malzemenin en azından dört tekrarlı olacak şekilde elde edilen mühendislik ve gerçek değerler cinsinden çekme deneyi grafikleri hadde yönü için Şekil 4.1.'de hadde yönüyle 45° açı için Şekil 4.2.'de, hadde yönüyle 90° açı için de Şekil 4.3.'te gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Hadde yönünde akma eğrisinin kıyaslanması



Şekil 4.2. Hadde yönüne 45° akma eğrisinin kıyaslanması



Şekil 4.3. Hadde yönüne 90° akma eğrisinin kıyaslanması

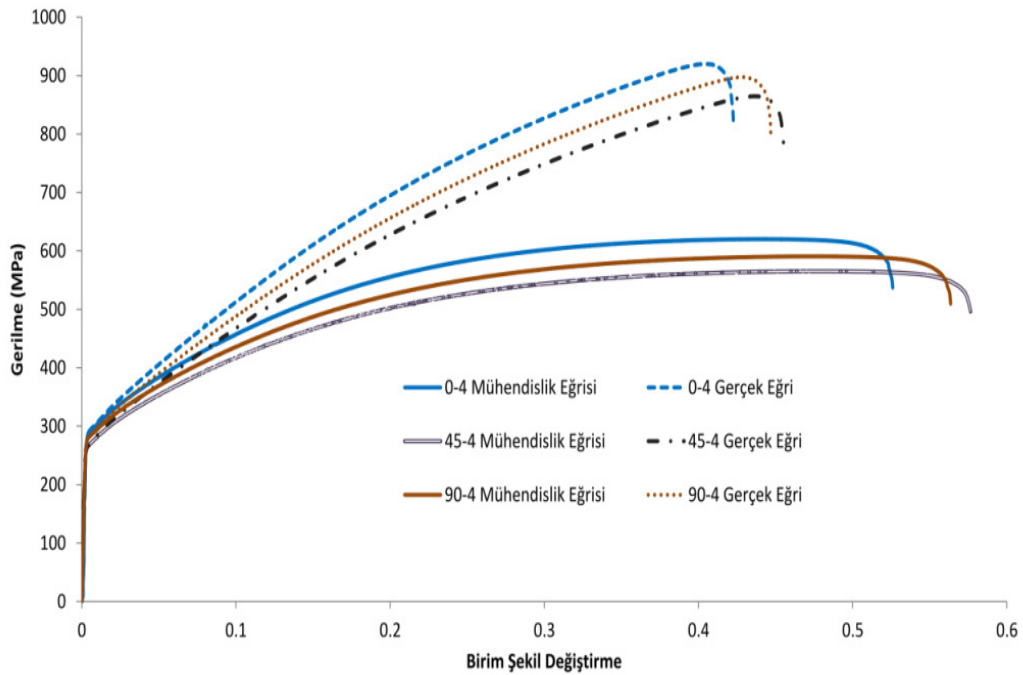
Çizelge 4.1.'de AISI 304 paslanmaz çelik malzemenin  $\sigma_a$  akma mukavemeti,  $\sigma_u$  çekme mukavemeti, yüzde uzaması,  $n$  pekleşme üssü ve  $K$  mukavemet katsayısı değerleri ile ortalamaları tüm tekrarlar için verilmiştir. Grafiklere ve Çizelge 4.1.'de verilen standart sapma değerlerine göre deneylerin tekrarlanabilirlikleri oldukça yüksektir. Bununla birlikte her doğrultu için ortalamayı temsil eden akma eğrileri seçilerek Şekil 4.4.'te kıyaslanmıştır. SEA'de izotropik malzeme modelinde 90°

doğrultudaki 4 numaralı ortalamayı temsil eden gerçek akma eğrisi malzeme davranışını modellemek üzere kullanılmıştır.

**Çizelge 4.1.** AISI 304 malzemenin mekanik özellikleri

	$\sigma_a$ (Mpa)	$\sigma_u$ (Mpa)	Uzama(%)	n	K
RD1	281	622	51,80	0.38	1252
RD2	288	620	53	0.322	1164
RD3	278	615	52.9	0.377	1261
RD4	288	620	52.5	0.385	1282
<b>Ortalama</b>	<b>284</b>	<b>619</b>	<b>53</b>	<b>0.365</b>	<b>1240</b>
<b>Std Sapma</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>0.029</b>	<b>52</b>
DD1	271	573	54.5	0.373	1169
DD2	273	573	58.4	0.371	1167
DD3	270	571	55.5	0.382	1148
DD4	266	566	57.5	0.376	1159
<b>Ortalama</b>	<b>270</b>	<b>571</b>	<b>56</b>	<b>0.376</b>	<b>1161</b>
<b>Std Sapma</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>0.005</b>	<b>10</b>
TD1	274	585	57.15	0.378	1202
TD2	286	596	56	0.368	1208
TD3	288	594	55.92	0.372	1211
TD4	281	591	56.2	0.376	1211
TD5	282	591	55.86	<b>0.37</b>	1202
<b>Ortalama</b>	<b>284</b>	<b>593</b>	<b>56</b>	<b>0.372</b>	<b>1208</b>
<b>Std Sapma</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0.003</b>	<b>4</b>





Şekil 4.4. Hadde yönünde, hadde yönüne 45° ve 90° çekme eğri kıyaslaması

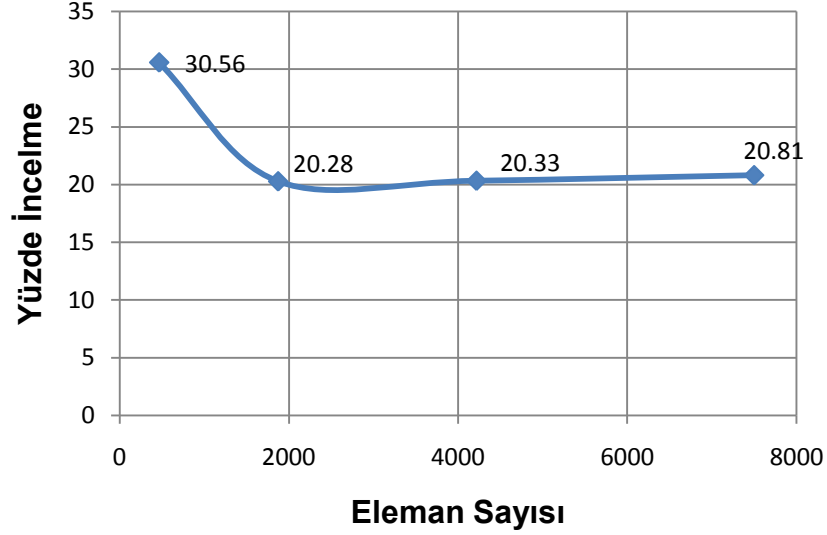
#### 4.2. SEA'nın Doğrulanması ve Uygun Eleman Boyutunun Seçilmesi

Bu çalışmada ağ örme işlemi gerçekleştirilirken, çözüm süresi ve analizin sonuçları gözlemlenerek en uygun eleman sayısı elde edilmiştir. Çeyrek modeli tasarlanmış olan 0.18 mm kalınlığında ve 85 mm çapındaki AISI 304 paslanmaz çelik sac malzeme Çizelge 4.2.'de verilen eleman sayılarıyla sonlu elemanlarına ayrılarak analizler yapılmış, sonuçta elde edilen ıstampa kuvveti ile sacda oluşan maksimum yüzde incelme değerleri birbirleriyle ve deneysel sonuçla karşılaştırılmıştır. Analizler 4 GB Ram ve 8 çekirdekli İ5-2.4 GHz işlemci hızındaki bilgisayarda gerçekleştirilmiştir.

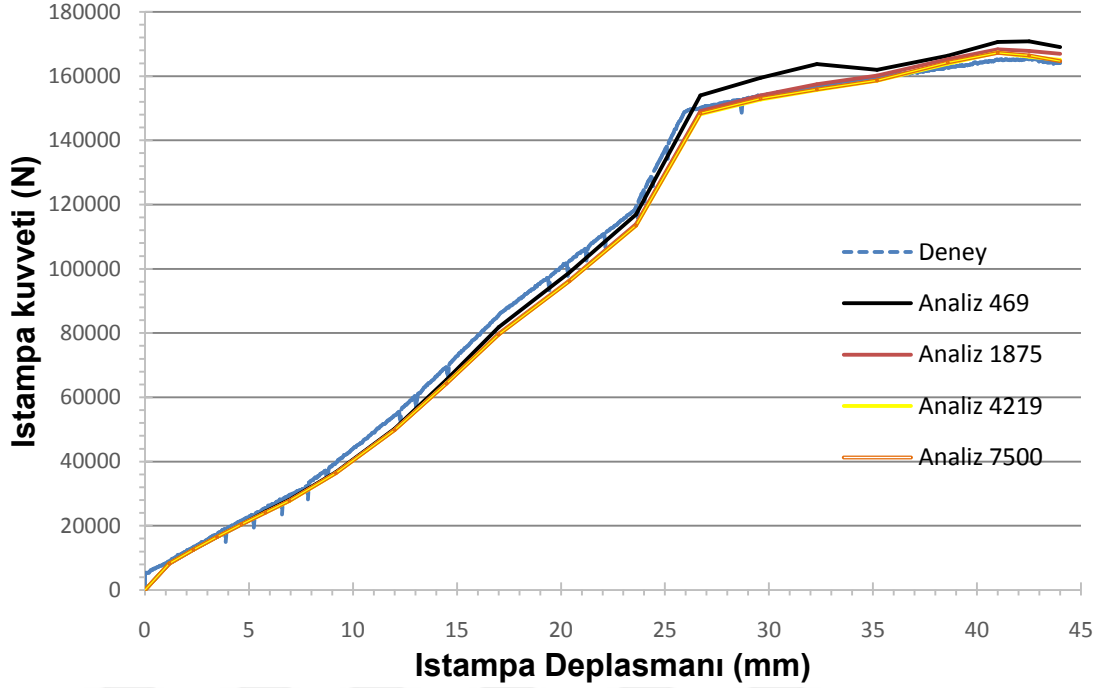
Çizelge 4.2. SEA'da sac için kullanılan eleman sayıları

	<b>Analiz 1</b>	<b>Analiz 2</b>	<b>Analiz 3</b>	<b>Analiz 4</b>
<b>Eleman sayısı</b>	469	1875	4219	7500
<b>Çözüm süresi</b>	12dk	19dk	29dk	47dk

Şekil 4.6.'da görülen farklı eleman sayılarına sahip analizlerde, ıstampa kuvveti sonuçlarında 469 elemana ayrılan analiz haricinde diğerlerinin birbiriyle çok yakın olduğu görülmektedir. Bu nedenle en uygun eleman boyutundan emin olmak için sac malzemede farklı eleman sayılarında meydana gelen yüzde incelme değerleri Şekil 4.5.'te karşılaştırılmıştır. Benzer şekilde 469 eleman haricindeki sonuçlar birbirine çok yakın çıktığı için en az çözüm süresine sahip olan 1875 eleman sayısı, sac için en uygun olarak belirlenmiş ve diğer tüm analizlerde sac bu eleman sayısı ile modellenmiştir. Şekil 4.6.'daki grafikte analizlerden elde edilen ıstampa kuvveti aynı şartlardaki deney sonucuyla da karşılaştırılmış ve analiz sonuçlarının deneysel sonuçlarla çok yakın olduğu görülmüştür. Buradan analizlerin oldukça yüksek güvenilirlikte yapıldığı sonucuna ulaşılmıştır.



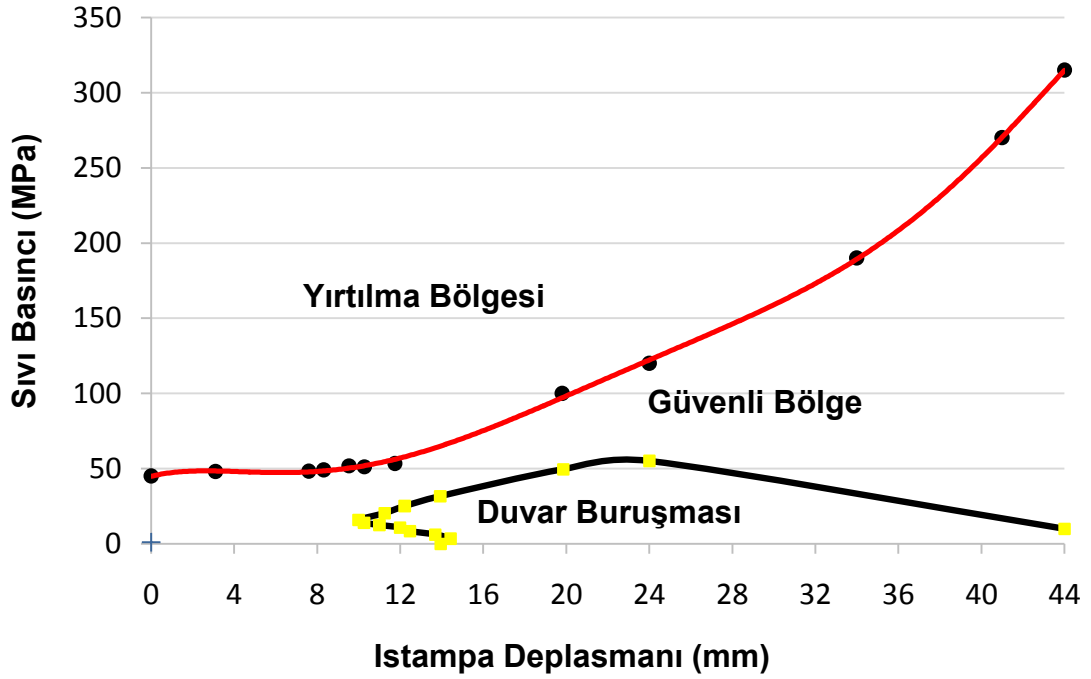
Şekil 4.5. Yüzde incelme grafiği



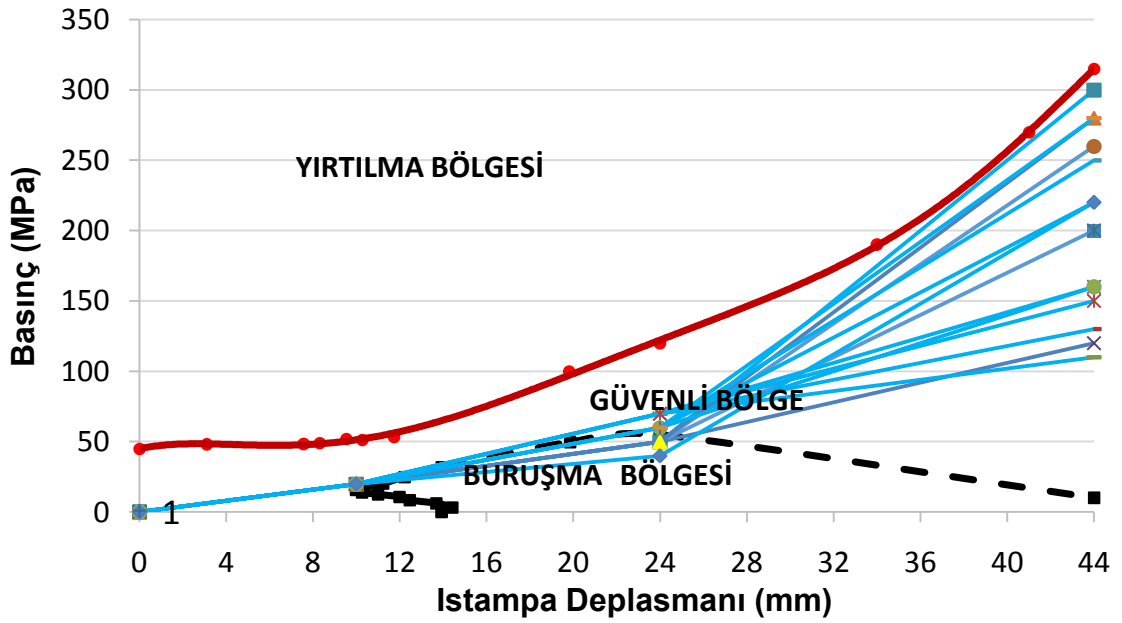
Şekil 4.6. Deneysel grafik ve ağ sayısı genel kıyaslama

### 4.3. Proses Pencereleeri

Bölüm 3.4'te anlatılan ve 44 mm maksimum ıstampa ilerlemesinde 300 MPa basınca 10 MPa aralıklarla lineer artan sıvı basıncı profilleri kullanılarak gerçekleştirilen analizlerde elde edilen basınç proses penceresi Şekil 4.7.'de görülmektedir. Bölüm 3.4'te verilen sıvı basıncı profilleri ile proses penceresinde ıstampa'nın ilk 24 mm ilerleme mesafesine kadar olan yırtılma hasarı çizgisi elde edilebilmiştir. Yırtılma hasarı sınır çizgisinin bu konumdan sonra nasıl ilerlediğini tespit etmek için 40 ila 70 MPa basınca kadar güvenli bölgeden ilerleyen ve Şekil 4.8.'de görülen sıvı basıncı profilleri ile analizler yapılmıştır. Bu analizler sonucunda Şekil 4.7.'deki sıvı basıncı profilinin 24 mm konumundan sonraki yırtılma hasarı çizgisi elde edilmiştir.



Şekil 4.7. Basınç proses penceresi

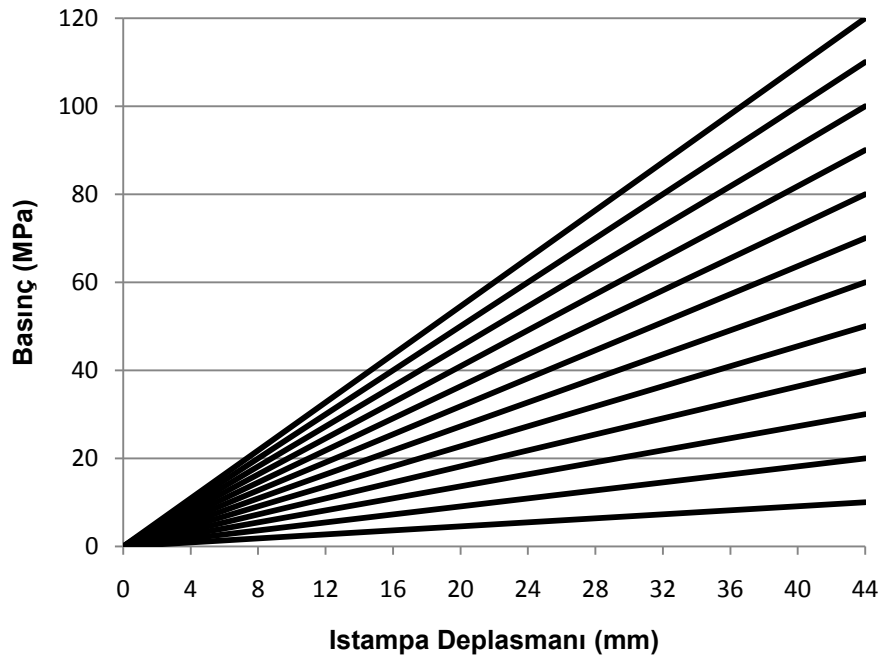


Şekil 4.8. Yırtılma hasarı sınırını ileri istampa konumlarında elde etmek için kullanılan sıvı basıncı profilleri

Şekil 4.7.'de görülen proses penceresinde ıstampanın ilk 12 mm ilerlemesinde 50 MPa basınç üzerinde sac malzemenin yırtıldığı görülmektedir. 12 mm'den sonra parça boyu olan 44 mm'ye kadar yırtılma bölgesi basınç sınırı artarak devam etmektedir. Maksimum yırtılma basıncı 44 mm de 31,5 MPa olarak belirlenmiştir. ıstampanın son

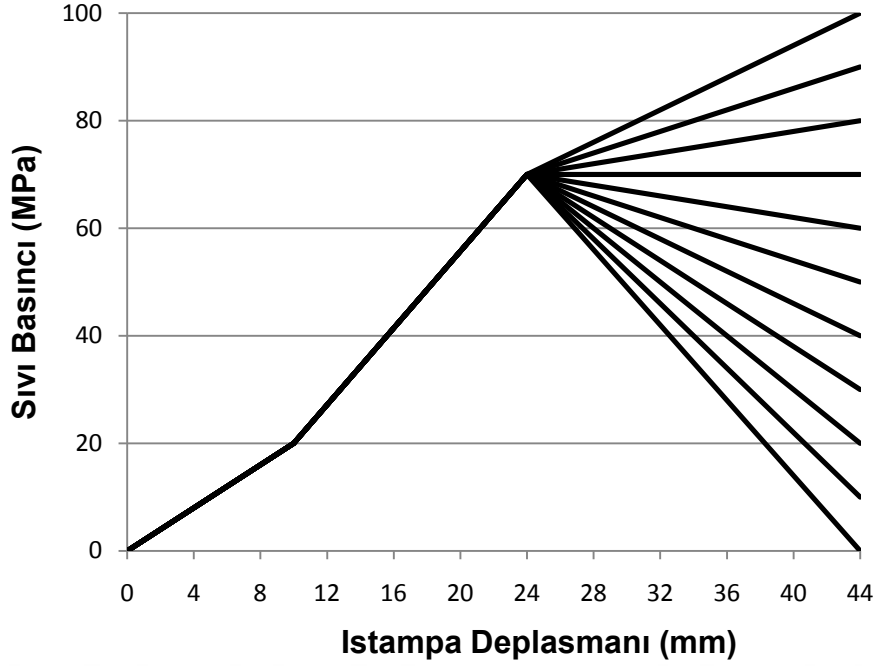
konumlarına doğru basınç arttıkça sacın ıstampaya daha çok temas etmesi sağlanıp, kalıp ve ıstampaya arasındaki boşluk gittikçe azaldığı için basıncın artması yırtılmaya neden olmamıştır. Basınç seviyesi çok düşük tutulduğunda buruşma problemi ile karşılaşmıştır. Sac üzerindeki basınç 10 MPa' dan daha az uygulandığında baskı plakası açılarak flanş buruşması meydana gelmiştir. 10 MPa' dan sonraki basınçlarda buruşma kalıp ile ıstampaya arasındaki desteksiz bölgede meydana gelmiş ve buruşmaya duvar buruşması ismi verilmiştir.

Proses penceresinde 10 ila 14 mm arasında azalarak ilerleyen ve 10 ila 20 mm arasında artarak ilerleyen buruşma sınırının elde edildiği veriler Şekil 4.9.'da görülen ve 10 MPa aralıklarla lineer olarak artan basınç yükleme profilleriyle elde edilmiştir. Buruşma sınırının 20 mm'den daha ileri konumlardaki seviyesini belirlemek için Şekil 4.10.'da görülen basınç profilleriyle SE analizleri yapılmıştır. Bu analizlerde buruşma daha ileri ıstampaya konumlarında ancak gittikçe azalan basınç değerlerinde duvar buruşması şeklinde meydana gelmiştir. Yırtılma ve buruşma bölgelerinin arasında kalan bölgede belirlenen hasar ve buruşma kriterlerine göre her hangi bir yırtılma ve buruşma meydana gelmemiş, üzerinde araştırma yapılan parça başarıyla üretilebilmiştir. 10-14 mm arasında dar bir boğaz haline gelen güvenli bölge sınırı 14 mm'den sonra genişlemektedir. Buda dar boğazdan geçildikten sonra parçanın rahat bir şekilde şekillendirilebileceğini göstermektedir.



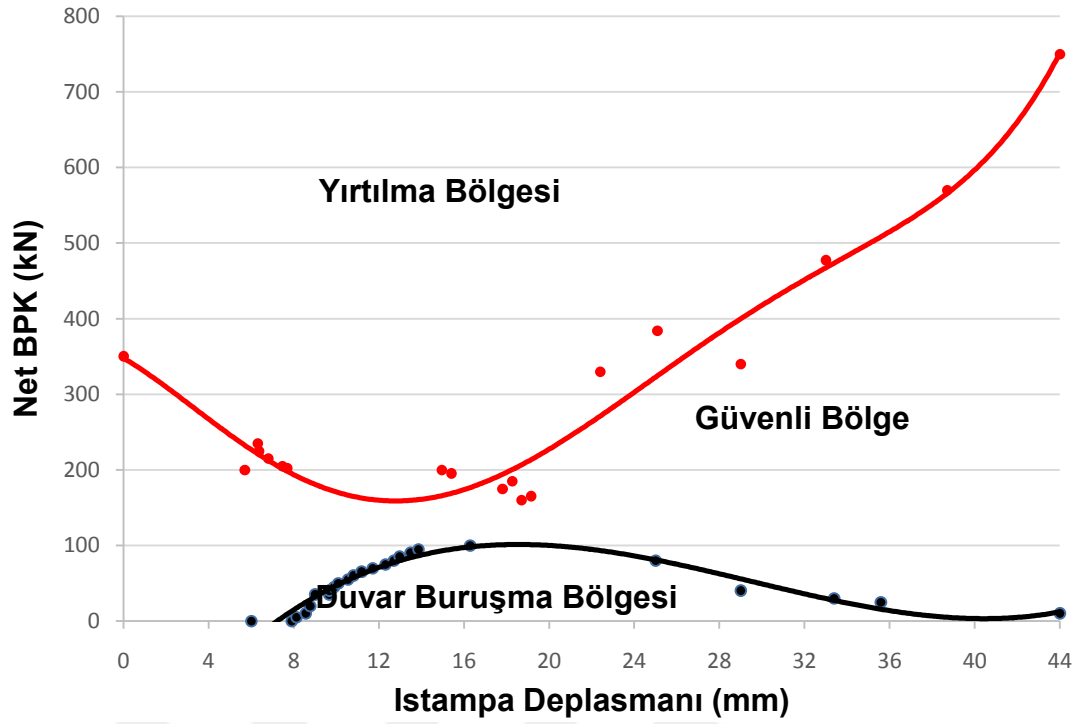
Şekil 4.9. Duvar buruşması yaşanan basınç yükleme profilleri

Basınç proses penceresinin doğrulanması için deneysel eğri ve lineer artan doğrulama deneyleri uygulanmıştır. Doğrulama deneyleri yırtılma ve buruşma bölgelerine giren yükleme profilleri ile şekillendirilen parçaların ilgili hasara uğradığı görülmüştür. Bu nedenle elde edilen basınç proses penceresinin doğru tahminlerde bulunduğu sonucuna ulaşılmıştır.



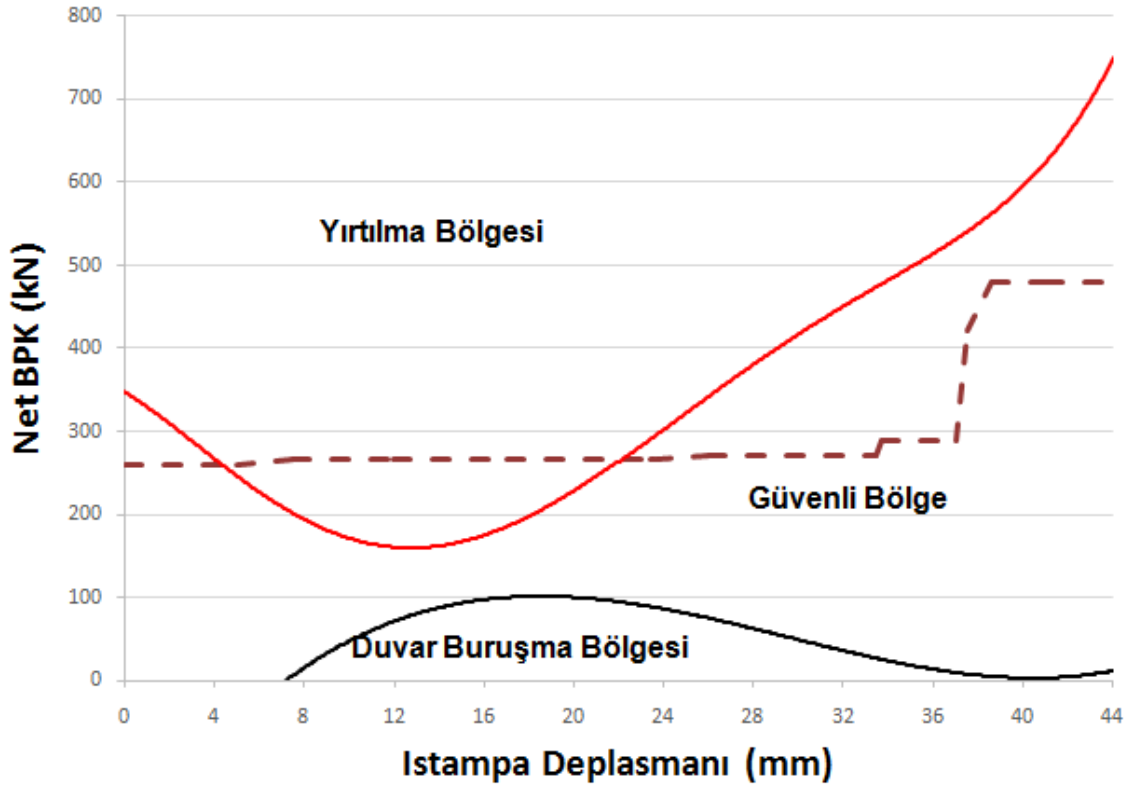
Şekil 4.10. Duvar buruşması yaşanan basınç yükleme profilleri

Baskı plakası kuvveti proses penceresi Bölüm 3.4'te verilen profiller kullanılarak Şekil 4.11.'deki gibi elde edilmiştir. Sıvı basıncı proses penceresinde olduğu gibi parçanın başarıyla şekillendirilebileceği güvenli bir bölge elde edilebilmiştir. BPK 100 kN değerinin altında iken duvar buruşması 20 kN değerinin altında flanş buruşması meydana gelmiştir. Beklenildiği gibi BPK belirli bir değer üzerine çıktığında sac parça yırtılma hasarına uğramıştır.

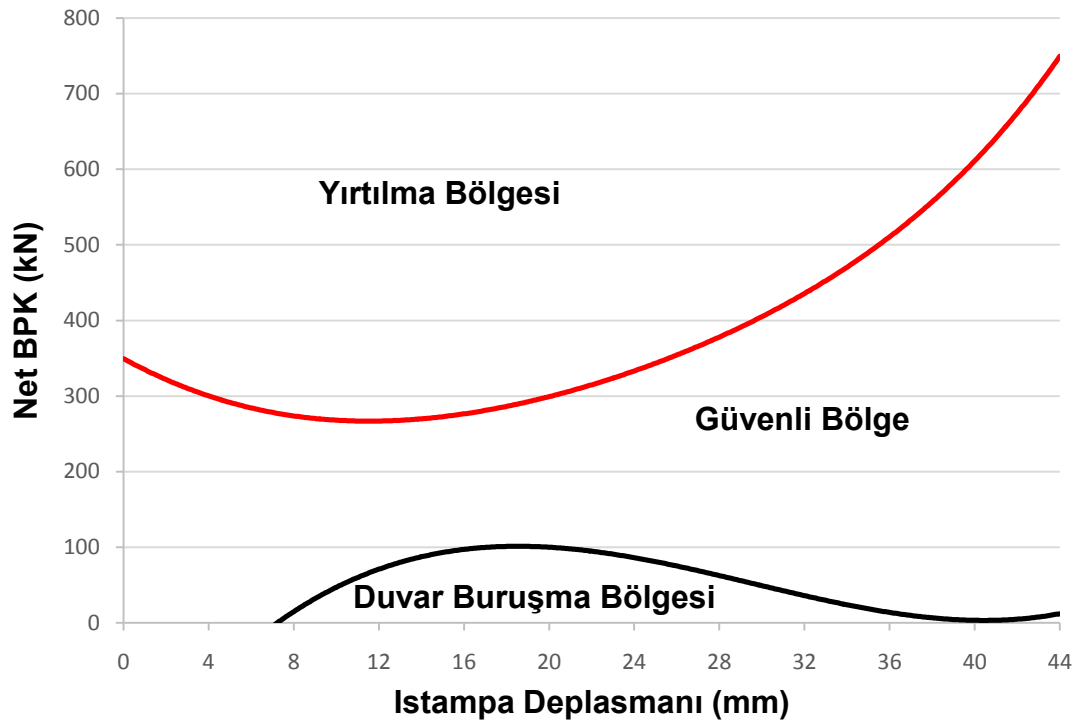


Şekil 4.11. Baskı plakası kuvveti (BPK) Analiz proses penceresi

Bölüm 4.4'te anlatılacak olan deney sonuçlarında; Şekil 4.12.'de görüldüğü gibi yırtılma sınırının üstünden geçirilen yükleme profili eğrisi sonucunda parça 3 kez başarılı olarak üretilmiştir. Deney sonuçlarında başarılı olarak üretimi yapılan yükleme profili proses penceresinin güncellenmesine sebep olmuştur ve proses penceresi Şekil 4.13.'teki gibi güncellenmiştir. Şekil 4.14.'te görüldüğü gibi analiz ve deneyler sonucunda oluşturulan proses pencerelerinin kıyaslaması gösterilmiştir.

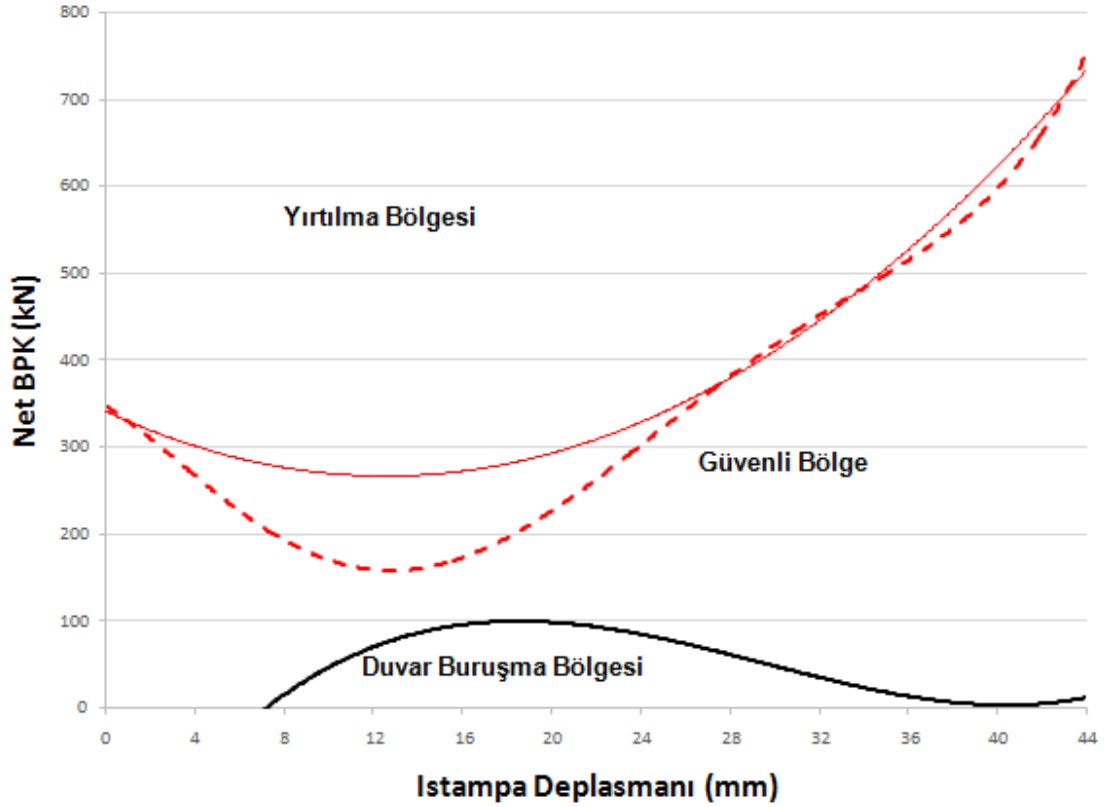


Şekil 4.12. Analizde çıkarılan proses penceresinde yırtılma bölgesinden geçirilen yükleme profili



Şekil 4.13. Deney ile güncellenen BPK proses penceresi



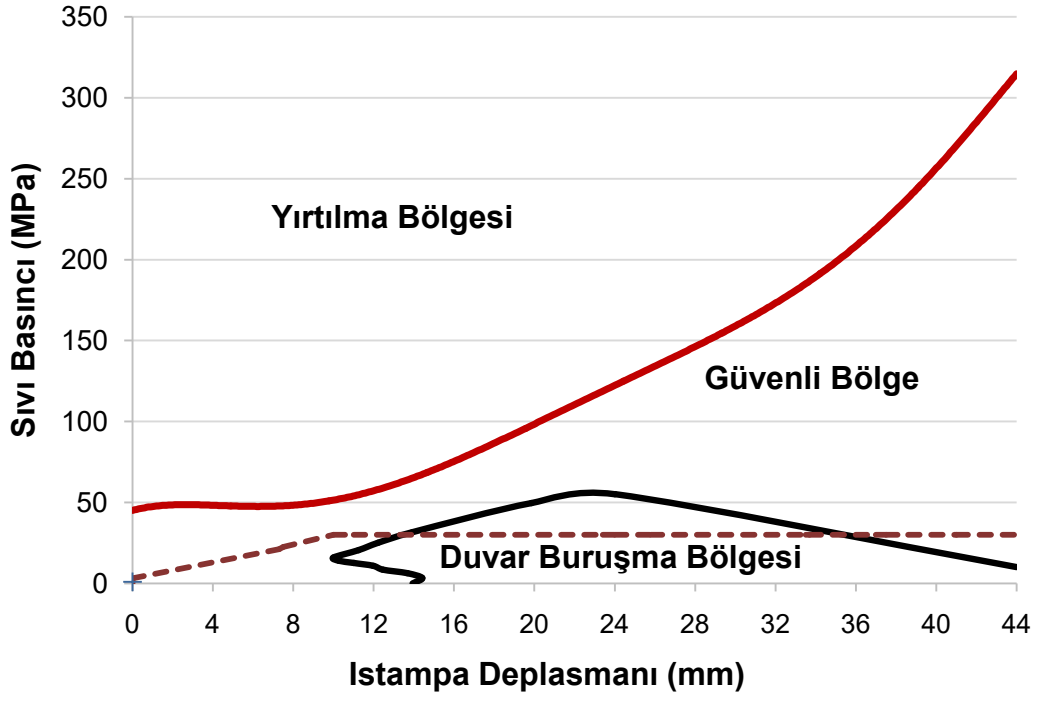


Şekil 4.14. Analiz ve deney proses penceresi kıyaslaması

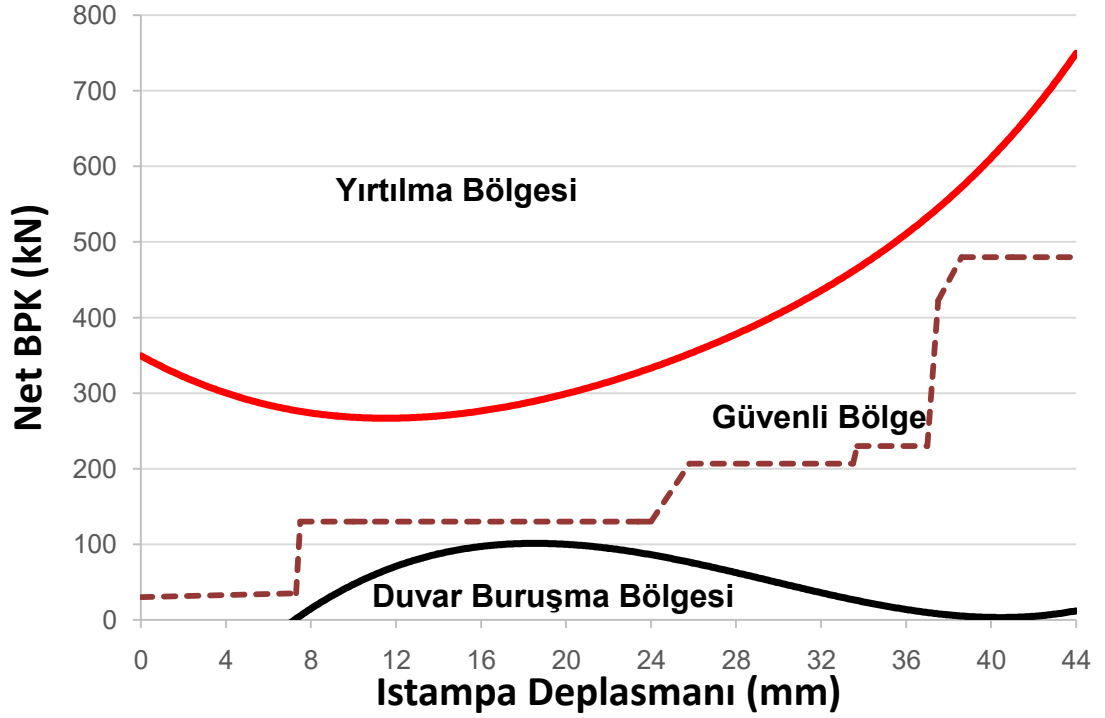
#### 4.4. Deney Sonuçları

Elde edilen proses pencerelerinin doğrulanması için deneyler yapılmıştır. Her bir deney doğruluğunu kanıtlanması için 3 kez tekrar edilmiştir. 3 tekrarda da başarılı olan deneylerin proses penceresini doğruladığı kabul edilmiştir. Deney ünitesinin kapasitesi 1000 bar basınç ve 60 ton bp kuvvetine çıkabildiği için bu aralıklarda deneyler gerçekleştirilmiştir. 1000 bar basınç ve 60 ton BPK aşan proses pencereleri için deney yapılamamıştır.

Sıvı basıncı proses penceresinin buruşma bölgesinin doğrulanması için 1. Deneyde basınç eğrisi Şekil 4.15.'te görüldüğü gibi buruşma bölgesinden, BPK ise Şekil 4.16.'da görüldüğü gibi güvenli bölgeden geçirilerek deneyler yapılmıştır. Sonuçta Şekil 4.17.'de görüldüğü gibi numunelerde buruşma hasarı meydana gelmiştir.



Şekil 4.15. Basıncı buruşma deneyi (1. Deney)

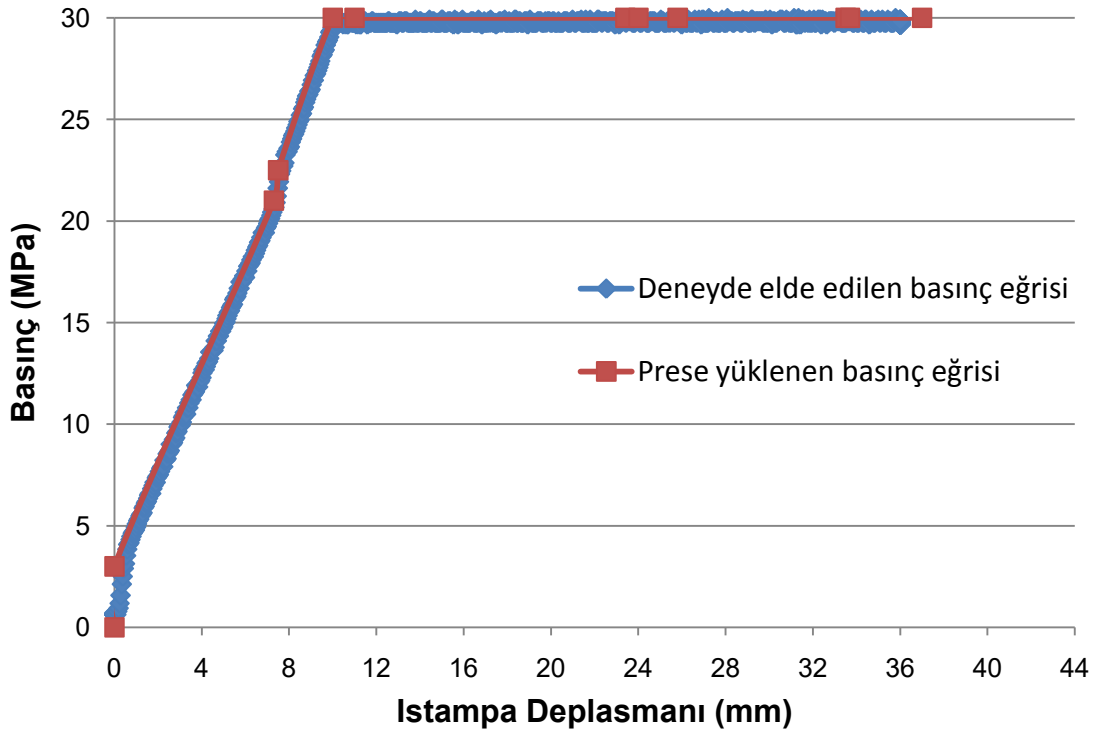


Şekil 4.16. Basıncı buruşma deneyi için BPK eğrisi (1. Deney)



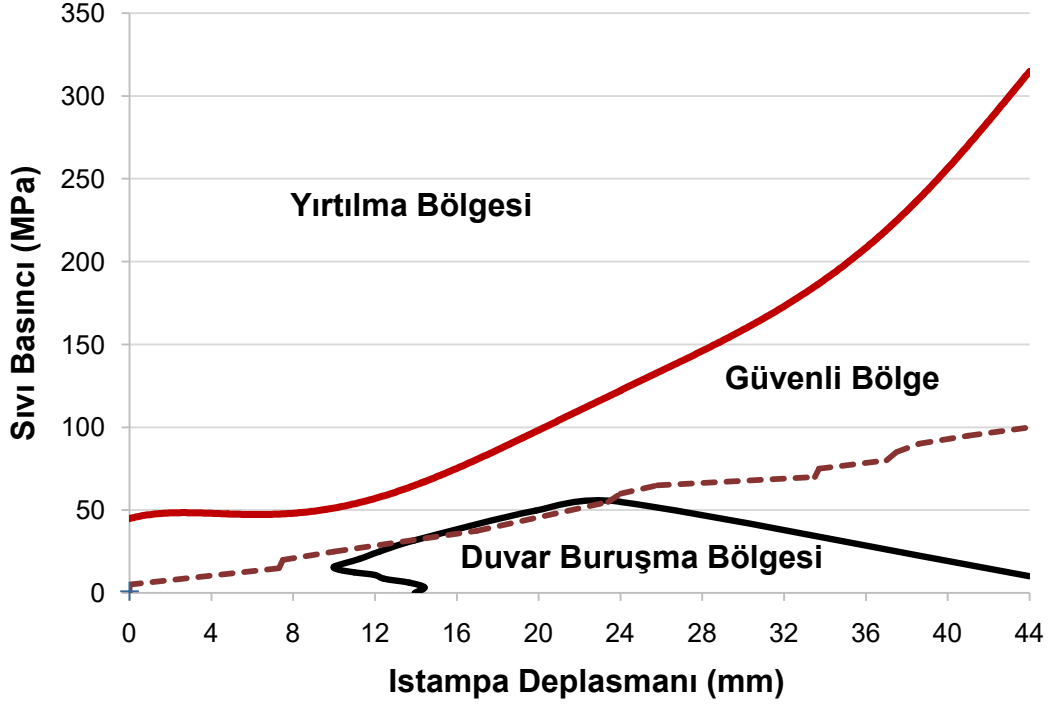
Şekil 4.17. 1.Deney sonunda oluşan buruşma hasarı

Deneylerde yükleme profillerinin uygulama doğruluğu proses penceresinin güvenilirliğinin belirlenmesi açısından önemlidir. Deney sırasında kalıptan sıvının kaçması durumunda istenilen basınç eğrisinin elde edilmesi mümkün olmamaktadır. Bu nedenle deneylerde prese yüklenen ve ölçülen eğriler karşılaştırılmıştır. 1. Deneyde prese yüklenen ve elde edilen eğriler Şekil 4.18.'de görüldüğü gibi karşılaştırılmış sonuçta presin girilen basınç eğrisinin oldukça yüksek doğrulukta uygulanabildiği görülmüştür. Tüm deneylerde prese yüklenen ve elde edilen sıvı basıncı eğrileri karşılaştırılarak deneylerde basınç grafiklerinde belirtilen eğrilerin uygulandığı garanti edilmiştir.



Şekil 4.18. Analiz ile deneyin sızdırmazlık (basınç) kıyaslaması (1. Deney)

2. deneyde buruşma bölgesinin sınırından geçen farklı bir profil için doğrulama yapılmıştır. Basınç eğrisi Şekil 4.19.'da verilmiştir. BPK eğrisi olarak Şekil 4.16.'daki güvenli bölgeden geçen eğri kullanılmıştır. Deneyler sonucunda numunelerde Şekil 4.20'de görüldüğü gibi yine buruşmalar olduğu gözlemlenmiştir. 1. ve 2. Deneyler sonucunda sıvı basınının proses penceresinin buruşma hattının doğru bir şekilde elde edildiği sonucuna ulaşılmıştır.



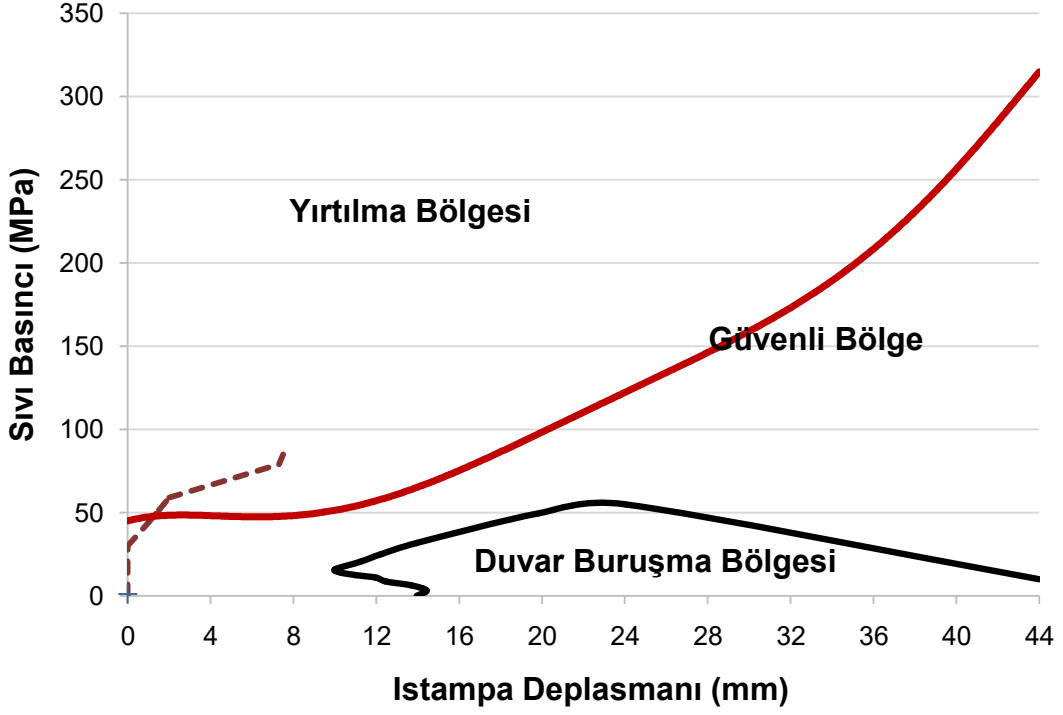
Şekil 4.19. Basınç buruşma deneyi (2. Deney)



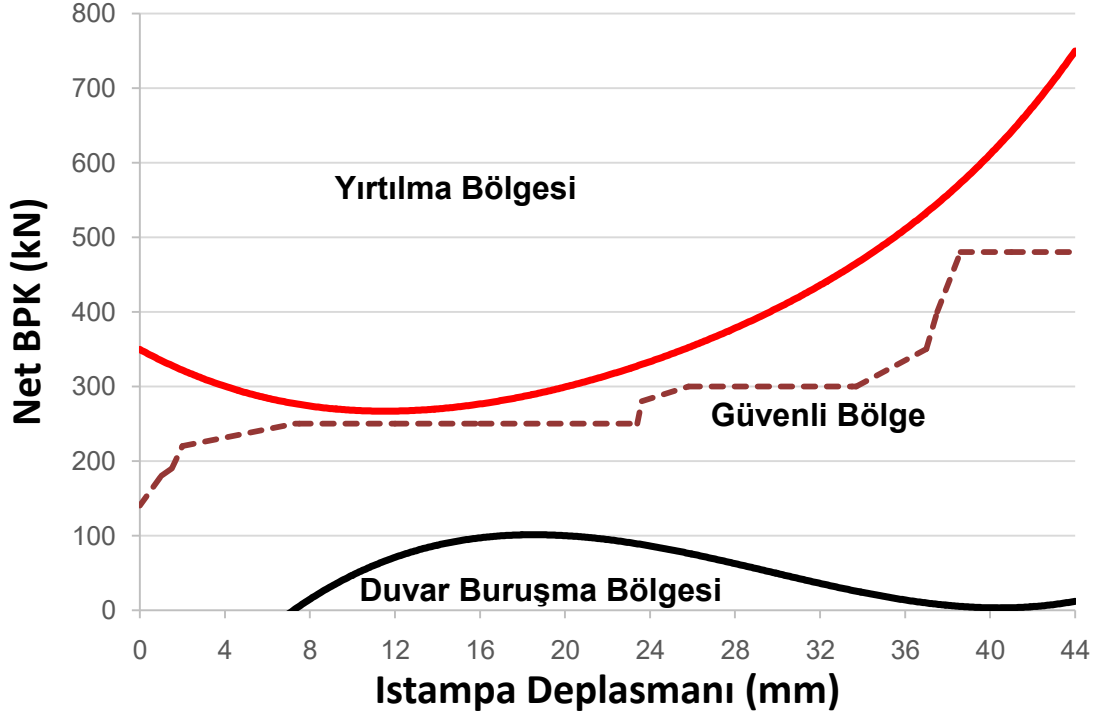
Şekil 4.20.2. Deney sonunda oluşan buruşma hasarı

3. Deneyde Şekil 4.21.'de görüldüğü gibi basınç yırtılma bölgesinden, BPK ise Şekil 4.22.'de görüldüğü gibi güvenli bölge sınırlarından geçirilen eğri gönderilerek

ürünün yırtılması beklenmektedir. Deney sonucunda ürünün yırtıldığı Şekil 4.23'te görüldüğü gibi gözlemlenmiştir.



Şekil 4.21. Basınç yırtılma eğrileri (3. Deney)

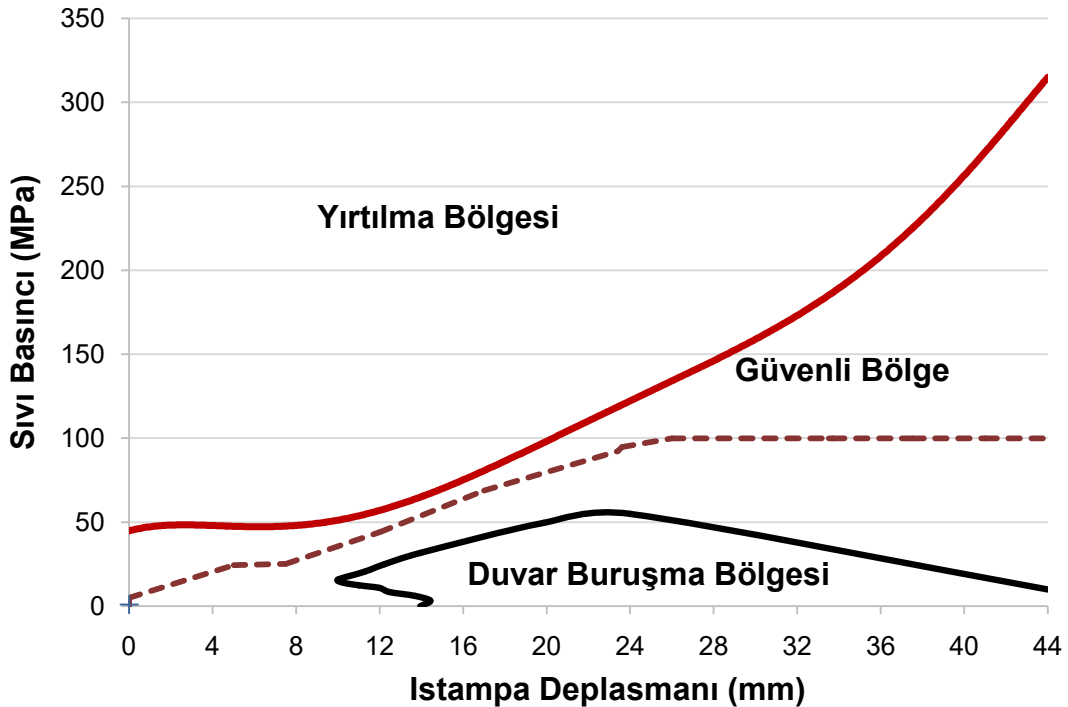


Şekil 4.22. Basınç Yırtılma BPK eğrileri (3. Deney)

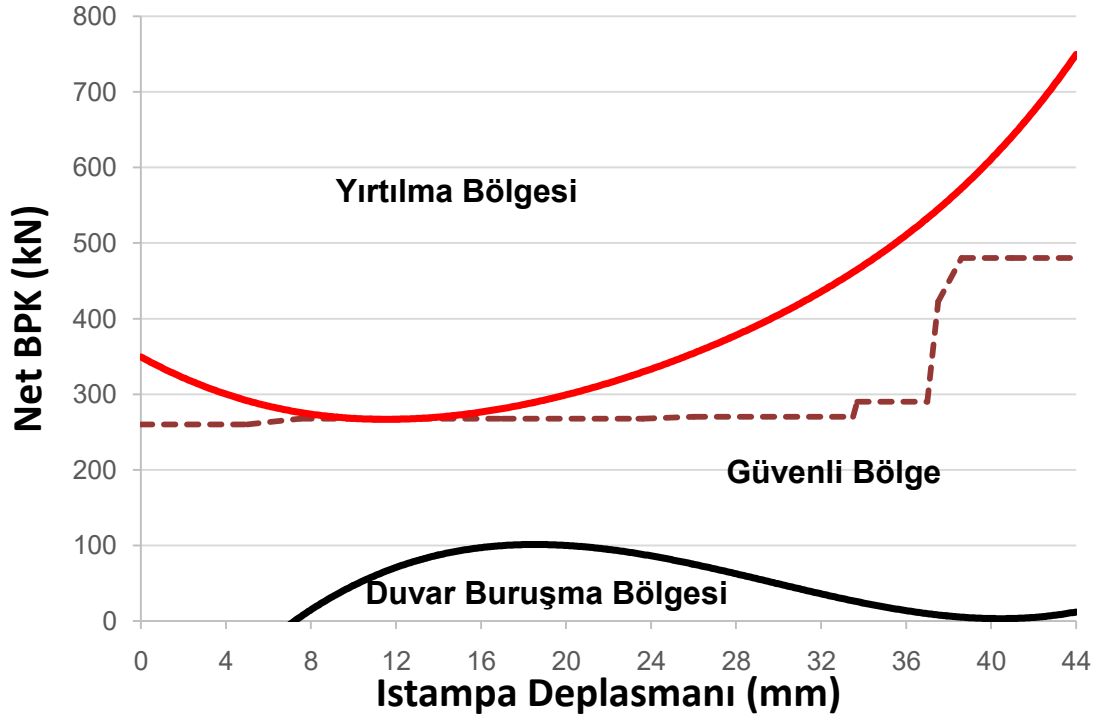


Şekil 4.23. 3.deneyde oluşan yırtılmalı şekillendirme

4. Deneyde PP'nin güvenli bölgelerinden geçirilecek sıvı basıncı ve BPK eğrileri ile buruşma ve yırtılma olmadan parça üretimi beklenmektedir. Basınç ve BPK eğrisi sırasıyla Şekil 4.24. ve Şekil 4.25.'teki gibi belirlenmiş ve sonuçta güvenli bölgeden geçirilerek Şekil 4.26.'da görüldüğü gibi hasar ve buruşma olmadan şekillendirme gerçekleştirilebilmiştir. BPK eğrisi yırtılma sınırının hemen altından geçirilerek buruşması en aza indirilmiş parça elde edilmeye çalışılmıştır.



Şekil 4.24. Buruşmasız şekillendirme için basınç eğrisi (4. Deney)



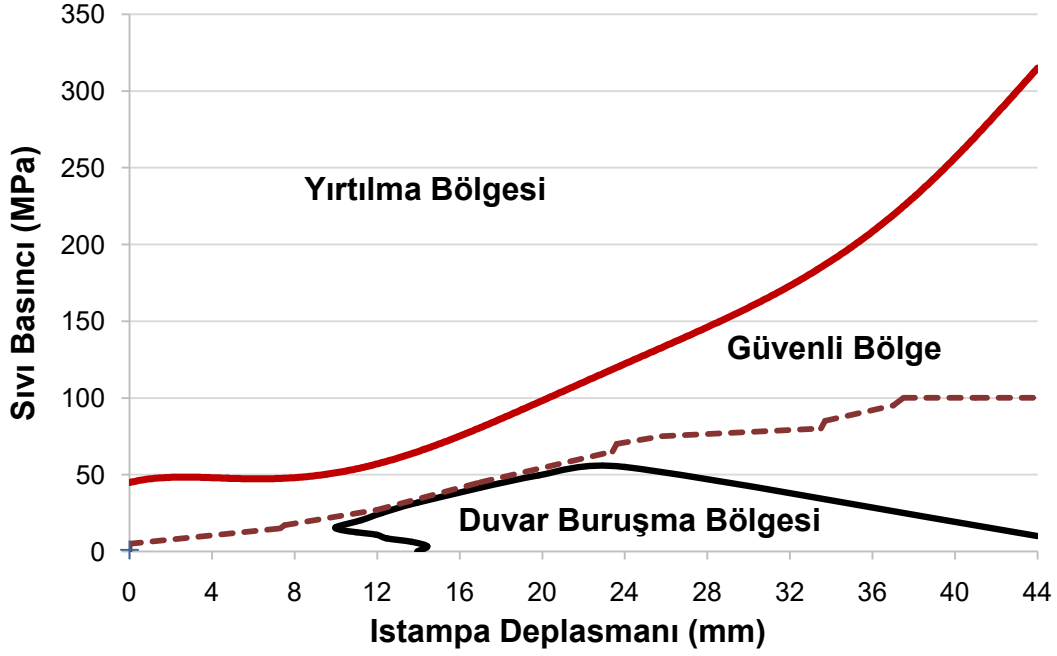
Şekil 4.25. Buruşmasız şekillendirme için BPK eğrisi (4. Deney)



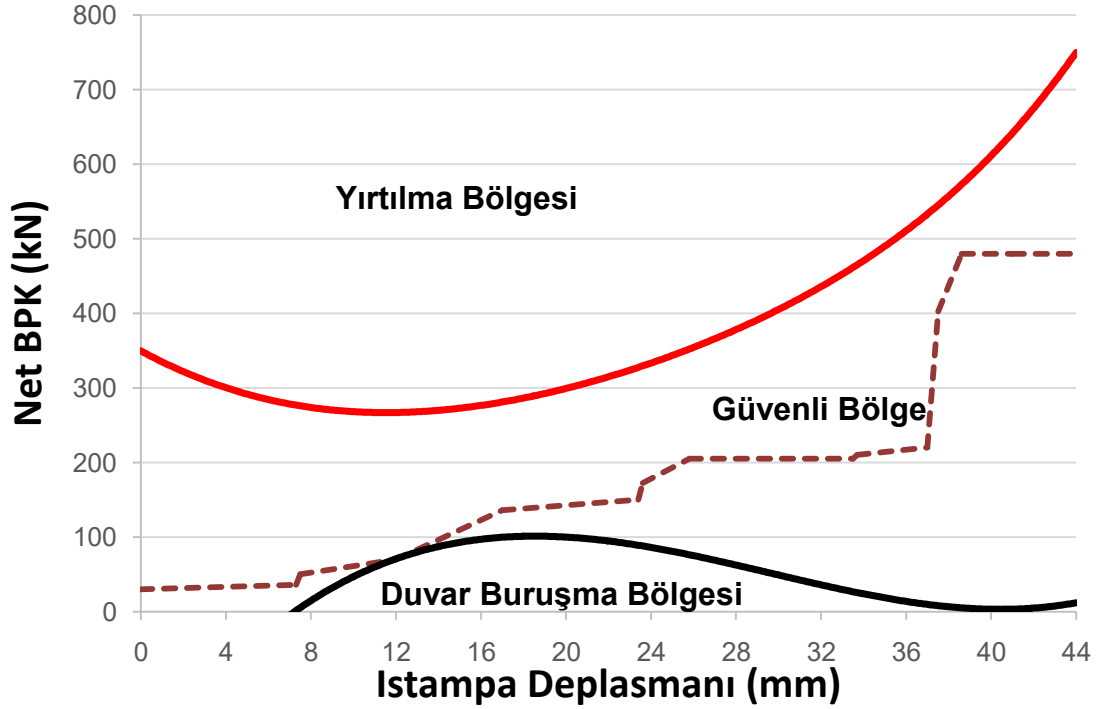
Şekil 4.26.4. Deneyde yırtılmasız ve buruşmasız şekillendirme

5. Deneyde Şekil 4.28.'de görüldüğü gibi BPK'nin buruşma bölgesinden geçirilerek üründe buruşma olup olmayacağı kontrol edilmiştir. Fakat baskı plakası değerleri düşük olduğu için basıncın oluşturduğu açma kuvveti etkisiyle kalıplar açılarak aşırı sıvı sızmaları olmuştur. Bu sebeple basınç değerleri Şekil 4.27.'de görüldüğü gibi güvenli bölgenin en düşük seviyesinde geçirilerek kalıbı açmaya çalışan kuvvet en düşük

değerde tutulmuştur. Sonuçta parçada Şekil 4.29’da görüldüğü gibi buruşmalar oluşmuştur.



Şekil 4.27. BPK buruşma için basınç eğrileri (5. Deney)



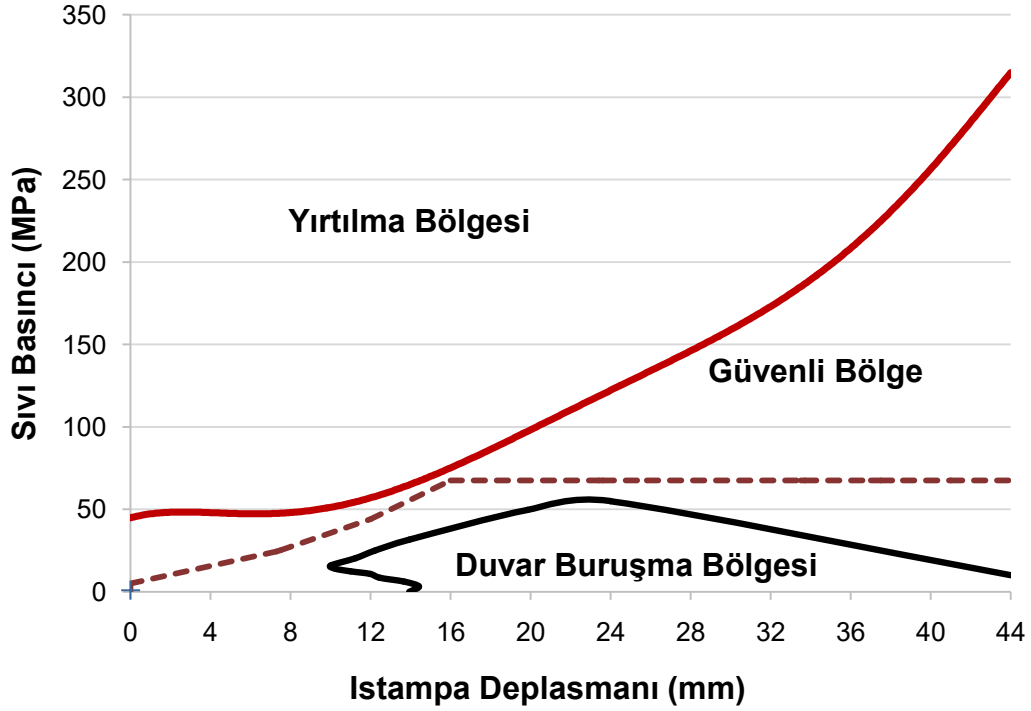
Şekil 4.28. BPK buruşma için BPK eğrisi (5. Deney)



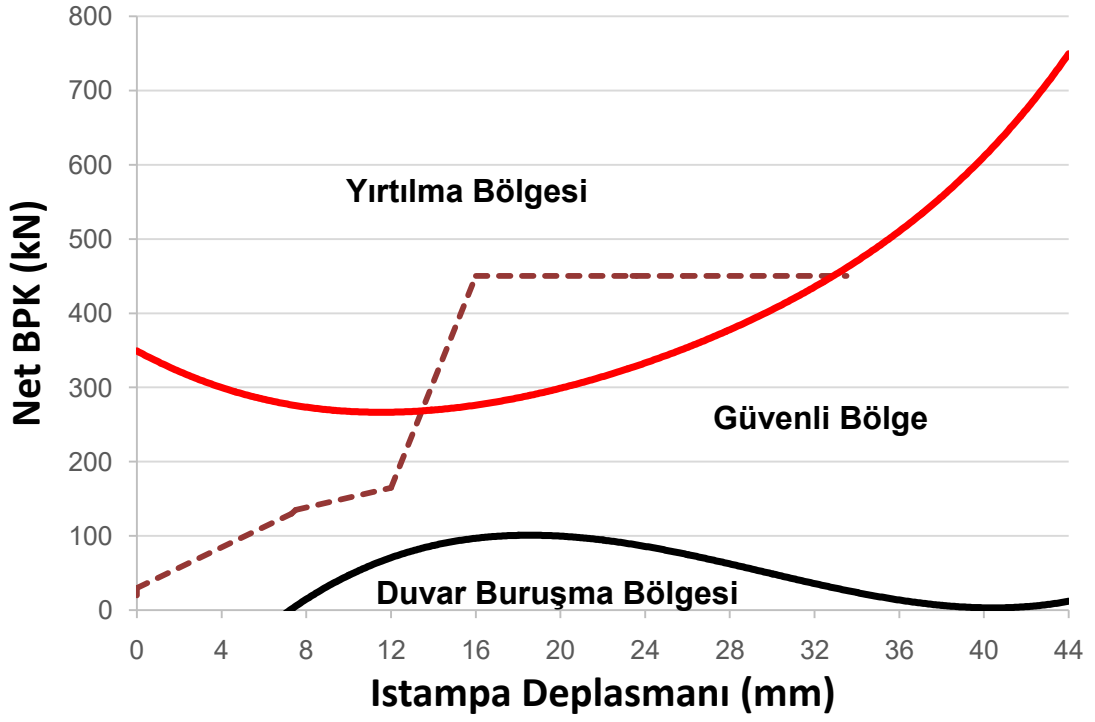


Şekil 4.29. 5. Deneyde oluşan BPK buruşmalı şekillendirme

6. Deneyde Şekil 4.30.'da görüldüğü gibi basınç güvenli bölgede bir eğri gönderilerek, BPK ise Şekil 4.31.'de görüldüğü gibi yırtılma sınırlarında bir eğri gönderilerek ürünün yırtılması beklenmektedir. Deney sonucunda ürünün yırtıldığı Şekil 4.32.'de görüldüğü gibi gözlemlenmiştir.



Şekil 4.30. BPK yırtılma basınç eğrileri (6. Deney)

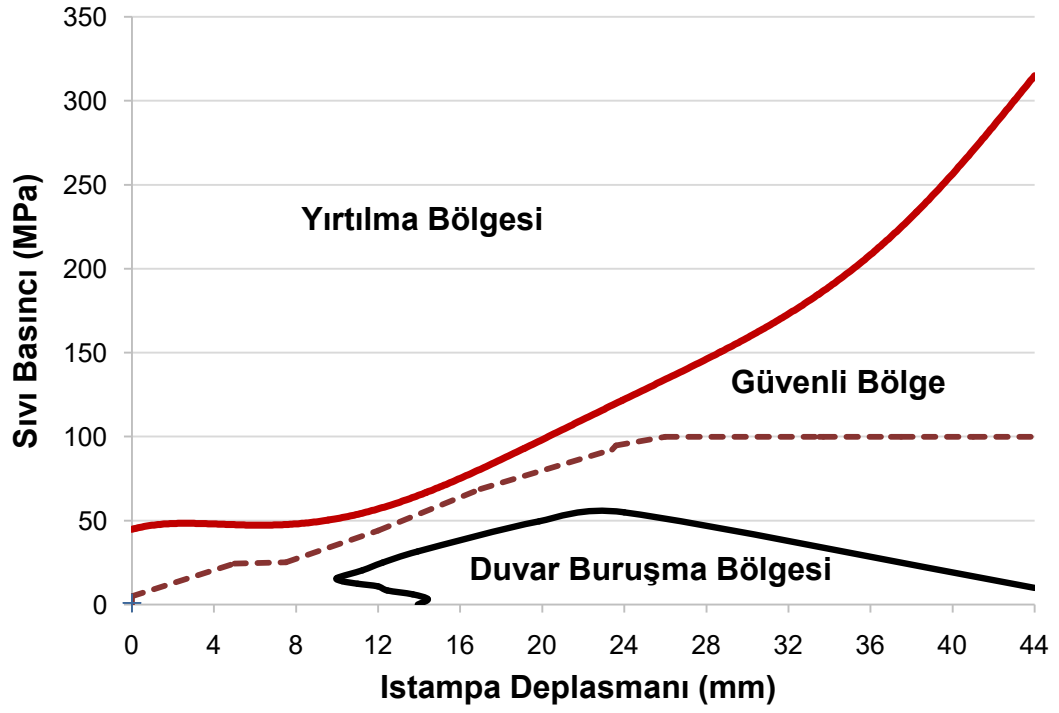


Şekil 4.31. BPK yırtılma eğrileri (6.Deney)

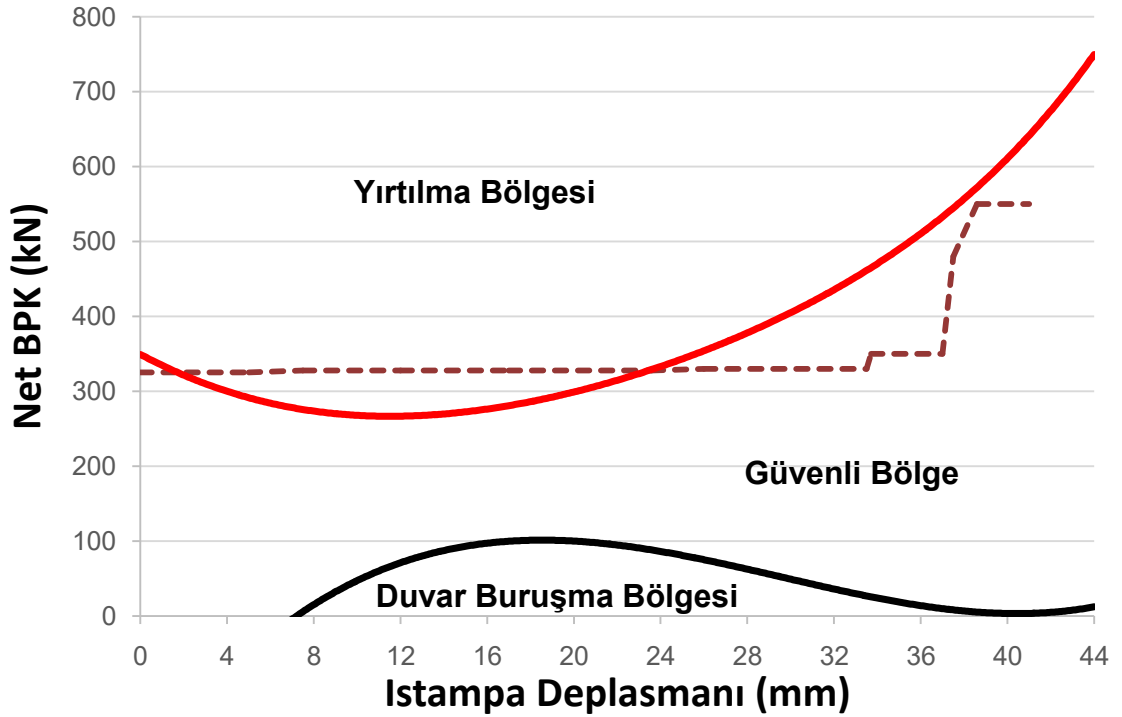


Şekil 4.32. 6. Deneyde oluşan yırtılmalı şekillendirme

7. Deneyde de BPK ile deney numunesinin yırtılma deneyi uygulanmıştır. Güvenli bölgeden gönderilen basınç eğrisi (Şekil 4.33) ile yırtılma bölgesine çıkartılan BPK eğrisi (Şekil 4.34) ile deney numunesinin yırtıldığı Şekil 4.35.'te görüldüğü gibi gözlemlenmiştir.



Şekil 4.33. BPK yırtılma için basınç eğrisi (7. Deney)



Şekil 4.34. BPK yırtılma deneyi (7. Deney)



Şekil 4.35. 7. Deneyde oluşan yırtılmalı şekillendirme (7. Deney)



## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında hidromekanik derin çekme işlemiyle üretilen AISI 304 paslanmaz sac malzeme çaydanlıkta oluşan buruşmaları engellemek için sıvı basıncı ve baskı plakası kuvveti proses pencereleri oluşturulmuştur. Analizler LS-Dyna sonlu elemanlar analiz (SEA) programı kullanılarak yapılmıştır. Deneyle Konya Teknik Üniversitesi Hidroşekillendirme Laboratuvarı'nda yapılmıştır.

### 5.1. Sonuçlar

Proses pencerelerinin elde edilmesi oldukça uzun zaman alan, zor ve zahmetli bir işlemdir. Üretilen parçanın geometrisine, malzemesine ve sac kalınlığına göre farklılık göstermektedir. Parametrelerin hedef parçanın başarıyla üretilmesini sağlayacak değerlerinin tespiti için geniş bir aralıkta birçok deneme yapılması gerekmektedir. Bu nedenle deneysel olarak elde edilmesi oldukça yüksek maliyet ve zaman alacağı için proses pencerelerinin belirlenmesinde en etkili yöntem nümerik olarak elde edilmeleridir. Bu çalışmada hidromekanik derin çekme prosesiyle üretilen örnek parçanın proses pencereleri, şekillendirme sırasında değerleri kontrol edilebilen ve parçanın başarıyla üretilmesinde en etkili parametreler olan sıvı basıncı ve baskı plakası kuvveti için ıstampa konumuna göre ayrı ayrı elde edilmiştir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Bu çalışmada özel geometrili bir parça için elde edilen proses pencereleri deneyle doğrulanmış, böylece proses pencerelerinin elde edilmesinde önerilen yöntemin geçerli olduğu bulunmuştur.
- Elde edilen proses pencereleri kullanılarak hatasız parça üretiminin mümkün olduğu kanıtlanmıştır.
- Sıvı basıncı proses penceresinde güvenli bölge baskı plakası proses penceresine göre çok daha dar bir aralıktadır. Buradan endüstriyel parçanın HDC prosesiyle üretilmesinde sıvı basıncının çok daha hassas ayarlanması gerektiği bulunmuştur.
- Proses penceresi sac malzemedeki oluşabilecek yırtılma ile duvar ve flanş buruşması hasarlarının meydana gelebileceği değerlerin sınırlarını göstermektedir. Bu

sınırların belirlenmesinde seçilen hasar kriterleri proses penceresinin şeklini oldukça fazla etkilemektedir.

- Proses pencerelerinin belirlenmesinde standart bir yöntemin olmayışı ve sadece belirli bir probleme özgün oluşu, proses pencerelerinin daha çok sanayi işletmelerinin kullanımına uygun know-how bilgisi haline getirmektedir.
- Gerçekleştirilen SEA'larda ıstampa kuvvetinin sac kalınlığındaki azalmaya nazaran eleman boyutundan etkilenmediği bulunmuştur.

## 5.2. Öneriler

Bu çalışmada elde edilmiş olan proses pencereleri belirli bir geometri, malzeme ve sac kalınlığına özgüdür. Proses pencerelerinin elde edilmesi oldukça uzun zaman alan, zor ve zahmetli bir işlem olduğu için bir parçanın pratik olarak üretilmesinde parametrelerin sınırlarının araştırılması yerine optimum parametrenin tespitine yönelik olarak bulanık mantık, genetik algoritma gibi optimizasyon tekniklerini uygulamak daha kısa sürede sonuca ulaşılmasını sağlayacaktır. Ancak bilimsel olarak parametrelerin uygun aralığını göstermek ve sac kalınlığı, malzemesi ve parça geometrisine bağlı olarak parametrelerin etkisinin ortaya konabilmesi için proses pencerelerinin belirlenebileceği konuyla ilgili çalışacak araştırmacılara önerilmektedir.

## KAYNAKLAR


- Akay S., 2014, Hidromekanik Derin Çekmede Sıvı Basıncı Ve Baskı Plakası Kuvveti Eğrilerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 5-13.
- Altan T. 2006 Process for hydroforming sheet metal. Stamping Journal : 400-418
- Anonim., 2018,<https://www.humbarahane.com/donati-akma-dayanimi-siniri/>
- Aydemir, A., De Vree, J.H.P., Brekelmans, W.A.M., Geers, M.G.D., Sillekens, W.H. ve Werkhoven, R.J. 2005. "An adaptive simulation approach designed for tube hydroforming processes", Journal of Materials Processing Technology, 159, 303-310.
- Dilmec, M., Türköz, M., ve Halkacı, H., S. 2007. "Design of Stamping and Sheet Hydroforming Test Unit", Archives of Materials Science, 28/1-4, 25-29.
- Gharib H., Wifi A.S., Younan M., Nassef A., 2006, "An Analytical Incremental Model for the Analysis of the Cup Drawing", Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, vol. 17, pp 245-248.
- Halkacı H.S., Turkoz M., Dilmec M. (2014) Enhancing Formability in Hydromechanical Deep Drawing Process Adding a Shallow Draw bead to the Blank Holder, Journal of Material Processing Technology, 214, 8, 1638-1646.
- Hashemi, Abbas, Mohammad Hoseinpour Gollo, and SM Hossein SEYEDKASHI. "Process window diagram of conical cups in hydrodynamic deep drawing assisted by radial pressure." Transactions of Nonferrous Metals Society of China 25.9 (2015): 3064-3071
- Mahabunphachai S., Koç M., 2010, Investigations on forming of aluminum 5052 and 6061 sheet alloys at warm temperatures, Materials and Design, 31, 2422–2434.
- Marciniak, Z., Duncan, J.L., and Hu, S.J., 2002. Mechanics of Sheet Metal Forming, 5-10.
- Nakagawa, T., Nakamura, K., and Amino, H., 1997. Various applications of hydraulic counter-pressure deep drawing, Journal of Materials Processing Technology, 71, 160-167.
- Nakamura, K. And Nakagawa, T., 1987. Sheet metal forming with hydraulic counter pressure in Japan, Annals of the CIRP, 36, 191-194.
- Novotny, S., and Hein, P., 2001. Hydroforming of sheet metal pairs from aluminium alloys, Journal of Materials Processing Technology, 115, 65-69.
- Lang L., Danckert J., Nielsen K.B., 2004, Investigation in to the effect of pre-bulging during hydromechanical deep drawing with uniform pressure on to the blank, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 44, 649-657.

- Şahin S. 2004 Hidrolik Şekillendirme Yönteminin Esasları ve Sınıflandırılması. Mühendis ve Makine cilt 45 sayı: 533, s. 35-39
- Toprak E., 2015, <https://www.bilgitimi.com/hidro-sekillendirme-nedir.html>
- Türköz M., 2015, İlk Hidromekanik Derin Çekmede Proses Optimizasyonu – Baskı Plakası Kuvveti, Basınç ve Sıcaklık Üzerine Deneysel ve Sayısal Çalışmalar, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 8-46.
- Yossifon, S., and J. Tirosh. "The maximum drawing ratio in hydroforming processes." *Journal of Engineering for Industry* 112.1 (1990): 47-56.
- Zhang S. H. ,Danckert J. 1998 Development of hydro-mechanical deep drawing. *Journal of Materials Processing Technology* 83 : 14–25
- Zahedi, S. A., Shamsi, A., Gorji, A., Hosseinipour, S. J. ve Bakhshi-Jouybari, M., 2009, Theoretical study and finite element simulation of tearing in hydroforming process, *Journal of Applied Sciences*, 9:178-182.



## EKLER

## EK-1 Hidro-şekillendirme Laboratuvarında Bulunan Makine ve Ekipmanların Kullanım ve Güvenlik Talimatları

	<b>HİDROŞEKİLENDİRME LABORATUVARINDA BULUNAN MAKİNE VE EKİPMANLARIN KULLANIM VE GÜVENLİK TALİMATLARI</b>	Doküman No	MM-TL-XX
		Revizyon Tarihi	01.04.2015
		Revizyon No	00
		Sayfa No	9/9
<b>Hazırlayan</b> Arş. Gör. Mevlüt TÜRKÖZ		<b>Onaylayan</b> Prof. Dr. Ali ÜNÜVAR	


1. **AMAÇ VE KAPSAM:** Hidroşekillendirme laboratuvarında yapılacak çalışmalarda ve laboratuvarında bulunan makine ve ekipmanların kullanımında uyulması gereken iş sağlığı ve güvenliği kurallarını tanımlamak, çalışanların iş güvenliğini sağlamak, yangınları, can ve mal kaybını önlemek.

2. **SORUMLULUK:** Öğretim elemanları, öğrenciler ve teknisyenler kendisinin ve çalışma ortamında bulunanların can güvenliğini tehlikeye sokmamak için hidroşekillendirme laboratuvarında çalışırken bu kurallara uymak zorundadır.

### 3. UYGULAMA:

#### A- LABORATUVAR GÜVENLİK TALİMATLARI

- 3.1. Her laboratuvar çalışması veya deney çalışması öncesi ilgili laboratuvar sorumlusu tarafından, çalışacak kişilere laboratuvardaki cihazların kullanımı ve iş sağlığı - güvenliği önlemleri anlatılmalı, gerekli eğitim verilmelidir.
- 3.2. Laboratuvarında çalışma yapacak kişiler, laboratuvar güvenlik ile deney uygulama ve güvenlik talimatlarına uygun olarak çalışacaklarına ve aksi bir halde sorumluluğun kendilerine ait olacağını kabul ettiklerine dair formu imzalarlar. Bu form Laboratuvar Sorumlusu ve Atölye/Laboratuvar Koordinatörü tarafından da imzalanır.
- 3.3. Laboratuvarında bulunan makine ve teçhizatın listesi EK-A'da verilmiştir.
- 3.4. Laboratuvarında çalışma yaparken iş önlüğü veya iş tulumu ve gerektiği durumlarda kullanılması gereken kişisel koruyucu donanımlar (KKD) kullanılacaktır. Kullanmayanlara tutanak tutulacaktır.
- 3.5. Yerlerin yağdan arındırılmış ve temiz olması sağlanacaktır.
- 3.6. Pres çalıştırılmadan önce mekanik ve elektrik aksamında herhangi bir arıza veya sızıntı olup olmadığı gözle kontrol edilecektir.
- 3.7. Hidrolik akümülatörün üstünde yer alan basınçölçerde çalışması basıncı gözle takip edilecektir.
- 3.8. Hidrolik akümülatörler sadece nitrojenle şarj edilecektir. Bakım, onarım veya dolum işlerinde yetkili kişilere haber verilecektir. Bireysel olarak hiçbir işlem yapılmayacaktır.
- 3.9. Hidrolik akümülatörlerin çalışma sıcaklıkları -16 oC ile 70 oC arasında olmalıdır.
- 3.10. Hidrolik akümülatörlerin bakımı yalnızca üretici firmalar tarafından yapılmalıdır. Hiçbir şekilde kaynak, lehim veya delme işlemi yapılmamalıdır.
- 3.11. Presin altında yağ dolan tava dolmuşsa yağ, yağ doldurma tenekesine aktarılacaktır.
- 3.12. Bilgisayarda çalışırken sandalye, laboratuvar zeminindeki yükselti farkına dikkat edilerek yerleştirilecektir.
- 3.13. Pres üzerindeki güvenlik tertibatının özellikleri bozulmayacak ve devreden çıkartılmayacaktır.
- 3.14. Deney yapılırken, presin arkasında kesinlikle kimse durmayacaktır
- 3.15. Preste yapılacak ayar, bakım ve onarım sadece yetkili elemanlar tarafından ve her türlü enerji bağlantıları kesilerek yapılacaktır.
- 3.16. Pres normal kapasiteleri içinde ve özelliklerine uygun olarak çalıştırılacaktır.

	<b>HİDROŞEKİLLENDİRME LABORATUVARINDA BULUNUN MAKİNE VE EKİPMANLARIN KULLANIM VE GÜVENLİK TALİMATLARI</b>	Doküman No	MM-TL-XX
		Revizyon Tarihi	01.04.2015
		Revizyon No	00
		Sayfa No	9/9
<b>Hazırlayan</b> Arş. Gör. Mevlüt TÜRKÖZ		<b>Onaylayan</b> Prof. Dr. Ali ÜNÜVAR	

- 3.17. Tezgâhta operatörün etrafında, rahatça çalışacağı bir açıklık bulunmalıdır.
- 3.18. Yapılan işle ilgili bütün gerekli koruyucular, yerinde ve çalışır durumda bulunmalıdır.
- 3.19. Preste ayarlama veya onarım yapılacağı zaman veya işbaşında ayrılmayı gerektiren hallerde pres durdurulmalıdır.
- 3.20. Tezgâh operatörünün dikkatini dağıtacak olaylar önlenmelidir.
- 3.21. Laboratuvarda bulunan ekipmanların kullanımında 6331 sayılı iş sağlığı ve güvenliği kanununun 30 ve 31. Maddeleri ile 9/1/1985 tarihli ve 3146 sayılı çalışma ve sosyal güvenlik bakanlığının teşkilat ve görevleri hakkında kanununun 2 ve 12 maddelerine dayanılarak ve 3/10/2009 tarihli ve 2009/104/EC sayılı Avrupa Birliği Direktifine paralel olarak hazırlanmış İŞ EKİPMANLARININ KULLANIMINDA SAĞLIK VE GÜVENLİK ŞARTLARI YÖNETMELİĞİ'nin ilgili maddelerine uyulmalıdır.


## B- HİDROŞEKİLLENDİRME PRESİ KULLANIM VE GÜVENLİK TALİMATI

### Kalıpları Bağlama

- 3.22. Çalışma sırasında koruyucu eldiven, iş tulumu ve iş ayakkabısı kullan
- 3.23. Presi elektronik kontrol ünitesini kullanarak çalıştır
- 3.24. Pres çalışırken koruyucu kapakları kapat
- 3.25. Stampa silindirini en aşağı ve baskı plakası silindirini de yeterince yukarı bir konuma ilerlet
- 3.26. Kalıplar bağlanırken, hidrolik motoru durdur
- 3.27. Stampayı, stampa silindirine vidalayarak bağla
- 3.28. Baskı plakası tablasını yeterince aşağı bir konuma al
- 3.29. Alt kalıbı baskı plakası tablasındaki yerine yerleştir
- 3.30. Üst kalıbı alt kalıp üzerine yerleştir ve baskı plakası tablasını üst kalıbın civatalarla bağlanabileceği bir konuma kadar yükselt
- 3.31. Üst kalıbın hidrolik giriş nipelini ile basınç kabının nipelinin aynı yöne baktığından emin ol
- 3.32. Civatalarla üst kalıbı, sabit duran basınç kabına bağla
- 3.33. Rakorlanmış çelik boruyu basınç kabı ve üst kalıp arasına 14 numara anahtar kullanarak bağla
- 3.34. Sıvı çıkış vanasını üst kalıp üzerindeki nipele yine 14 numara anahtar kullanarak bağla

### Deney Yapma

- 3.35. Çalışma sırasında koruyucu eldiven, iş tulumu ve iş ayakkabısı kullan
- 3.36. Bilgisayardan pres kontrol yazılımı olan Winped programını aç


	<b>HİDROŞEKİLENDİRME LABORATUVARINDA BULUNUN MAKİNE VE EKİPMANLARIN KULLANIM VE GÜVENLİK TALİMATLARI</b>	Doküman No	MM-TL-XX
		Revizyon Tarihi	01.04.2015
		Revizyon No	00
		Sayfa No	9/9
<b>Hazırlayan</b> Arş. Gör. Mevlüt TÜRKÖZ		<b>Onaylayan</b> Prof. Dr. Ali ÜNÜVAR	

- 3.38. Programda gerekli “R Parameter” penceresinden stampa alt konumu, üst konumu ve stampa hızlarını ayarla. “Curves” penceresinden de stampa konumuna göre uygun sıvı basıncı ve baskı plakası kuvveti parametrelerini ayarla.
- 3.39. Kontrol ünitesi PLC konumundayken manuel olarak baskı plakasını ve stampayı numune yerleştirmek için uygun konumlara getir
- 3.40. Hazırlanmış numuneyi maşa kullanarak alt kalıp üzerine yerleştir
- 3.41. Tezgâhta iki kişi çalışırken, kontrol ünitesi başındaki operatör, preste çalışan operatör numune yerleştirirken, ayar yaparken veya parça alırken presi kesinlikle çalıştırmayacaktır.
- 3.42. Pres muhafaza kabininin kapaklarını kapat, pres çalışırken kapakları kesinlikle açma
- 3.43. Hidrolik akümülatörleri kontrol ünitesini kullanarak doldur
- 3.44. Kontrol ünitesini HNC konumuna al. Böylece pres artık bilgisayarda ayarlanan parametrelere uygun olarak otomatik çalışacaktır.
- 3.45. Baskı plakası ve stampayı deneye başlamadan önceki konumlarına alırken pres muhafaza kabini içerisine kimsenin elini sokmasına izin verme, birilerinin eli/kolu pres muhafaza kabininin içindeyken presi kesinlikle çalıştırma
- 3.46. Baskı plakasını kapat
- 3.47. Stampayı alt konumuna ilerlet
- 3.48. Sıvı çıkış vanasının açık olduğundan emin ol ve ön doldurma yap
- 3.49. Sıvı çıkış vanasını kapat
- 3.50. Basınç yükselticiyi çalıştır
- 3.51. Stampayı ilerlet ve şekillendirme işleminin tamamlanmasını bekle
- 3.52. Şekillendirme bitince kontrol ünitesini PLC konumuna al
- 3.53. Manual olarak stampayı ve baskı plakasını aşağıya, parçayı alabileceğin konumlara al
- 3.54. Maşa kullanarak şekillenmiş parçayı kalıpların arasından al
- 3.55. Tehlike söz konusu olduğunda, kontrol ünitesi üzerindeki acil durdurma butonuna bas

Yukarıdaki yönergeler oda sıcaklığında yapılacak deneyler içindir. Eğer **ılık hidroşekillendirme** deneyi yapılacaksa yukarıdaki yönergelere ilaveten uyulacak talimatlar aşağıda belirtilmiştir:

- 3.56. Ilık şekillendirme deneyinde mutlaka koruyucu eldiven ve kolları tamamen kapatan bir iş tulumu giy
- 3.57. Numuneyi kalıba yerleştirirken ve parçayı kalıptan alırken, yüksek sıcaklıktaki kalıplara ve kalıptan damlayan yağa karşı çok dikkatli ol, mutlaka maşa kullan
- 3.58. Kalıplar ısıtılmaya başlamadan önce havalandırmayı çalıştır
- 3.59. Laboratuvar çok sıcaksa klimayı çalıştır
- 3.60. Kalıpları ısıtmak için sıcaklık kontrol ünitesini aç
- 3.61. İndüksiyon ısıtma sisteminde soğuk su sirkülasyonu sağlayan soğutucuyu çalıştır



	<b>HİDROŞEKİLENDİRME LABORATUVARINDA BULUNUN MAKİNE VE EKİPMANLARIN KULLANIM VE GÜVENLİK TALİMATLARI</b>	Doküman No	MM-TL-XX
		Revizyon Tarihi	01.04.2015
		Revizyon No	00
		Sayfa No	9/9
<b>Hazırlayan</b> Arş. Gör. Mevlüt TÜRKÖZ		<b>Onaylayan</b> Prof. Dr. Ali ÜNÜVAR	

- 3.62. İndüksiyon cihazını, bağlı olduğu prizın sigortasını kaldırarak çalıştır, cihazı çalıştırmadan önce, soğutucunun çalıştığından emin ol
- 3.63. Sıcaklık kontrol ünitesinde, kalıpların ısıtılacağı sıcaklık değerini ayarla
- 3.64. Sıcaklık kontrol ünitesinde, güvenlik önlemi olarak girilen “kalıp maksimum sıcaklık” değerini kesinlikle 300 °C’nin üzerinde ayarlama. 300 °C’nin üzerindeki sıcaklıklarda deney yapılması gerektiği zaman, şekillendirme sıvısı olarak mevcut sıcaklığa dayanıklı özel yağ kullan. Aksi halde şekillendirme yapan yağın alevlenme riski vardır.
- 3.65. “Fark denetleme sıcaklık değerini kalıpların ısıtılacağı sıcaklığın en az 10 °C altında ayarla.
- 3.66. Şekillendirme bitip parçayı kalıplar arasından aldıktan sonra soğumasını bekle, daha sonra parçayı temizle
- 3.67. Tehlike söz konusu olduğunda, sıcaklık kontrol ünitesi ve indüksiyon cihazı acil durdurma butonuna bas

### **B- SAC KESME MAKİNASI KULLANIM VE GÜVENLİK TALİMATI**

- 3.68. Sac kesme makinasını, üzerindeki cetvele bakarak keseceğin çap için ayarla
- 3.69. Sacla ilgili işlemler yaparken koruyucu eldiven kullan
- 3.70. Sacı kesme ağızına yaklaştırıp sabitle
- 3.71. Kesme kolunu döndürerek sacı kes
- 3.72. Kesme sırasında kolu çok hızlı döndürme, makine yakınına bir başkasının yaklaşmasına izin verme, dairesel hareket yapan saca karşı dikkatli ol
- 3.73. Kesme işleminden sonra aşağı düşen hurdayı al, dikkatlice katlayıp hurda kutusuna at
- 3.74. Kesilen sacı makinadan al, kenarındaki çapakları eğeleyerek yok et
- 3.75. Yağlayıcıları sac üzerine sürerken, sac kenarlarının elini kesmesine karşı dikkatli ol

### **C- HAVALANDIRMA SİSTEMİ KULLANIM VE GÜVENLİK TALİMATI**

- 3.76. Gözle havalandırma borusu üzerindeki menfezin açık olup olmadığını kontrol et
- 3.77. Havalandırma menfezi kapalı ise üzerindeki kolu çevirerek menfezi aç
- 3.78. Elektrik panosu içerisindeki havalandırma sistemi sigortasını kaldırarak havalandırma sistemini çalıştır

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Sercan ÖZÇELİK  
**Uyruğu** : Türkiye Cumhuriyeti  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : Burdur, 01.02.1992  
**Telefon** : 0544 497 24 41  
**Faks** : -  
**E-Posta** : [sercanozcelik15@gmail.com](mailto:sercanozcelik15@gmail.com)

### EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: 15 Temmuz Şehitler Anadolu Lisesi, Merkez BURDUR	2010
Üniversite	: Selçuk Üniversitesi, Selçuklu, KONYA	2015
Yüksek Lisans	: Konya Teknik Üniversitesi, Selçuklu, KONYA	2020

### İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2015-2016	ATUNEB (MAMAK/ANKARA)	6/8 Aylık Er
2016-2019	BMY AUTO	Üretim Mühendisi
2019-	YILDIZ PUL OTOMOTIV A.Ş.	Tasarım Mühendisi

### UZMANLIK ALANI

Sac Metal Şekillendirme, Hidro-şekillendirme, İmalat, Üretim, Kalıp ve ürün tasarımı.

### YABANCI DİLLER

İngilizce

**YAYINLAR**

Sercan ÖZÇELİK, Mevlüt TÜRKÖZ, Hidromekanik Derin Çekmede Proses Penceresinin Belirlenmesi, IATENS 2019, 5 Ekim 2019, Seydişehir/KONYA (Yüksek Lisans tezinden yapılmıştır.)

