



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**DIŞI KALIPLA SAC
HİDROŞEKİLLENDİRME PROSESİNDE
HAREKETLİ KALIP KULLANIMININ
ŞEKİLLENDİRİLEBİLİRLİK ÜZERİNDEKİ
ETKİSİNİN NÜMERİK İNCELENMESİ**

Mustafa Samet ANKARALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Ekim 2018
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Mustafa Samet ANKARALI tarafından hazırlanan “**DİŞİ KALIPLA SAC HİDROŞEKİLLENDİRME PROSESİNDE HAREKETLİ KALIP KULLANIMININ ŞEKİLLENDİRİLEBİLİRLİK ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN NÜMERİK İNCELENMESİ**” adlı tez çalışması 16/10/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Doç.Dr. Ahmet CAN

Danışman

Doç.Dr. Murat DİLMEÇ

Üye

Dr.Öğr.Üyesi Mevlüt TÜRKÖZ

İmza

.....

.....

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof.Dr. Ahmet AVCI
FBE 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.

Mustafa Samet ANKARALI

Tarih: 16.10.2018

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DİŞİ KALIPLA SAC HİDROŞEKİLLENDİRME PROSESİNDE HAREKETLİ KALIP KULLANIMININ ŞEKİLLENDİRİLEBİLİRLİK ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN NÜMERİK İNCELENMESİ

Mustafa Samet ANKARALI

**Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Doç.Dr. Murat DİLMEÇ

2018, 94 Sayfa

Jüri

Doç.Dr. Murat DİLMEÇ

Doç.Dr. Ahmet CAN

Dr.Öğr.Üyesi Mevlüt TÜRKÖZ

Bu tez çalışmasında, dişi kalıpla sac hidroşekillendirme prosesinde hareketli dişi kalıp kullanılmasının sac metal parçalardaki incelemelere etkisi sonlu elemanlar analizi ile nümerik olarak incelenmiştir. Düz silindirik bir parçadaki incelemeleri karşılaştırmak amacıyla, hem sabit kalıpla hem de hareketli kalıpla sac hidroşekillendirme prosesi, aynı sürtünme katsayıları, baskı plakası kuvveti ve basınç eğrileri kullanılarak modellenmiştir. Sac malzeme olarak SS 304 seçilmiştir. Yapılan analizler sonucunda, aynı geometriye sahip sabit kalıpla sac hidroşekillendirme prosesi ile gerçekleştirilen analiz sonucunda parçada yaklaşık maksimum %17 civarında incelme olurken, hareketli dişi kalıpla yapılan analizde parçada %9 civarında maksimum incelme gözlenmiştir. Yani, hareketli dişi kalıpla yapılan analizde parçadaki maksimum % incelme değerinin, sabit kalıpla sac hidroşekillendirme prosesiyle yapılan analizlere göre, yaklaşık %8 civarında daha az olduğu görülmüştür. Ayrıca, parçadaki birim şekil değiştirmeler şekillendirme sınır eğrisinde değerlendirildiğinde, sabit kalıpla analiz sonunda parçada yırtılma riski varken, hareketli kalıpla yapılan analizlerde yırtılma riski tespit edilmemiştir. Hareketli kalıpla sac hidroşekillendirme prosesinde daha az % incelme olması, proses süresince hareketli kalıpla sac hidroşekillendirme prosesinde, dişi kalıpla sac arasındaki sürtünmenin, sabit kalıba göre daha kısa sürede gerçekleşmesiyle açıklanabilir. Hareketli dişi kalıpla sac hidroşekillendirme prosesinde sac ile dişi kalıp arasında sürtünmenin daha kısa süreli olması sayesinde, parçanın incelmeye karşı direnci artmaktadır.

Anahtar Kelimeler: hareketli kalıpla sac hidroşekillendirme, sabit kalıpla sac hidroşekillendirme, sonlu elemanlar analizi

ABSTRACT

MS THESIS

NUMERICAL INVESTIGATION ON EFFECT OF USE OF MOVABLE DIE IN SHEET HYDROFORMING WITH DIE ON FORMABILITY

Mustafa Samet ANKARALI

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN MECHANICAL ENGINEERING**

Advisor: Assoc.Prof.Dr. Murat DİLMEÇ

2018, 94 Pages

Jury

Assoc.Prof.Dr. Murat DİLMEÇ

Assoc.Prof.Dr. Ahmet CAN

Assist.Prof.Dr. Mevlüt TÜRKÖZ

In this master thesis, effect of use of movable die has been numerically investigated on thinning of sheet metal parts in sheet hydroforming with die process using finite element analysis. Both of sheet hydroforming processes with fixed and movable die has been modeled by using the same coefficient of friction, blank holder force and pressure curves so as to compare thinning of flat cylindrical part. SS 304 was selected as material. As results of conducted analysis, while maximum percentage of thinning of the part analyzed by using sheet hydroforming processes with fixed die is about 17%, in case of using movable die maximum thinning occurs about 9%. In the other words, maximum thinning of the part analyzed using the hydroforming with movable die is about 8% lower than that's of the fixed die. Moreover, when the strains on the part is evaluated on the forming limit curve, while there is risk of crack on the part analyzed with fixed die, there is no risk of crack on that's of with movable die. Less percentage of thinning of the part analyzed by using sheet hydroforming processes with movable die can be explained by friction duration between sheet metal and die is less than that's of fixed die during the process. Because of less friction duration between sheet metal and die, sheet hydroforming with movable die process, resistance of the sheet metal against to thinning increases.

Keywords: sheet hydroforming with movable die, sheet hydroforming with fixed die, finite element analysis

ÖNSÖZ

Sac metal ürünleri üreten firmaların, daha homojen bir kalınlık dağılımı elde edilmesi ve daha iyi bir yüzey kalitesi elde edilmesi, karmaşık geometrili parçaların daha kolay şekillendirilmesi gibi talepleri, klasik sac metal şekillendirmeye göre önemli üstünlükleri olan hidroşekillendirme prosesine ilgileri artmıştır. Bu tez çalışmasında ülkemizde henüz uygulama alanı olmayan hareketli dişi kalıpla sac hidroşekillendirme prosesinin, sabit dişi kalıpla sac hidroşekillendirme prosesine göre karşılaştırması sonlu elemanlar analizi kullanılarak yapılmıştır. Bu yeni metodun endüstride uygulanmasıyla daha kaliteli ürünlerin ve klasik şekillendirme prosesiyle çok kademede şekillenebilen parçaların bu yöntemle tek kademede üretilebileceğini düşünmekteyim.

Bu çalışmada bana yol gösteren ve desteğini esirgemeyen başta danışmanın Doç.Dr. Murat DİLMEÇ'e ve önemli katkılarından dolayı Dr.Öğr.Üyesi Mevlüt TÜRKÖZ'e ve tez süresince benden maddi ve manevi yardımlarını esirgemeyen değerli aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

Mustafa Samet ANKARALI
KONYA-2018

Babama ithafen



İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Sac Hidroşekillendirme.....	3
1.1.1. Erkek kalıpla sac hidroşekillendirme.....	4
1.1.2. Dişi kalıpla sac hidroşekillendirme.....	5
1.2. Tüp Hidroşekillendirme	7
1.3. Hidroşekillendirme Yönteminin Avantajları ve Dezavantajları	8
1.4. Sac Malzeme Şekillendirme İşleminde Karşılaşılan Başlıca Hatalar	8
1.4.1. Yırtılma ve kalınlık dağılımı.....	8
1.4.2. Buruşma	9
1.4.3. Geri yaylanma.....	9
1.5. Sonlu Elemanlar Metodu	9
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	11
2.1. Literatürdeki Çalışmalar	11
2.2. Literatür Analizi.....	14
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	16
3.1. Sabit Dişi Kalıpla Sac Hidroşekillendirme Prosesinin Modellenmesi	16
3.1.1. Proses bileşenlerinin import edilmesi	17
3.1.2. Proses bileşenlerinin tanıtılması	18
3.1.3. Temel proses parametrelerinin tanıtılması.....	19
3.1.4. Sac malzeme seçimi ve sonlu elemanlar ağının oluşturulması.....	20
3.1.5. Simetri özelliğinin tanıtılması.....	24
3.1.6. Baskı plakası ve alt kalıbın tanıtılması	26
3.1.7. Proses parametrelerinin girilmesi	32
3.2. Hareketli Dişi Kalıpla Sac Hidroşekillendirme Prosesinin Modellenmesi.....	40
3.2.1. Proses bileşenlerinin import edilmesi	42
3.2.2. Proses bileşenlerinin tanıtılması	42

3.2.3. Temel proses parametrelerinin tanıtılması.....	43
3.2.4. Sac malzeme seçimi ve sonlu elemanlar ağının oluşturulması.....	43
3.2.5. Simetri özelliğinin tanıtılması.....	46
3.2.6. Hareketli ve diğer kalıpların tanıtılması	47
3.2.7. Proses parametrelerinin girilmesi	53
3.3. 30 mm Derinliğinde Modellenen Parça	60
3.4. Deneyle ve Sac Malzemelerin Sonlu Elemanlar Metodunun Oluşturulması	65
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	71
4.1. Sabit Dişi Kalıpla Sac Hidroşekillendirme Prosesi Sonuçları	71
4.2. Hareketli Dişi Kalıpla Sac Hidroşekillendirme Prosesi Sonuçları	78
4.3. Proseslerde Zamana Bağlı Şişme Miktarları	80
4.4. 30 mm Derinliğinde Modellenen Parçanın Sonuçları.....	81
4.5. Deneyle ve SEM Analizlerinin Sonuçları	84
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	88
5.1. Sonuçlar	88
5.2. Öneriler	90
KAYNAKLAR	91
ÖZGEÇMİŞ	94

SİMGELER VE KISALTMALAR

Kısaltmalar

3B : 3 Boyutlu

BP : Baskı Plakası

SEM : Sonlu Elemanlar Metodu



1. GİRİŞ

Hidroşekillendirme yöntemi sac veya boru şeklindeki parçaların sıvı basıncı etkisiyle kalıbın şeklini almaya zorlanması için kullanılan ileri bir üretim yöntemidir. Hidroşekillendirme yöntemi ilk olarak 1890'larda gün yüzüne çıkmış fakat esas gelişimini II. Dünya savaşından sonra gerçekleştiren bir üretim metodudur. İlk incelemeler Almanya'da havacılık alanında ve Japonya'da yapılmasına rağmen günümüzde Amerika, Rusya, Fransa, İtalya, Güney Kore, Çin gibi farklı ülkelerde gerek üniversite gerekse özel tetkik birimlerinde sıkı bir şekilde bu yöntem üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. Yöntem, gerekli bilgi birikimine erişilememiş olmasından ve birtakım teknik güçlüklerden dolayı, 1990'lı yıllara kadar yeterli ilgiyi görememiştir. Takip eden yıllarda ise bilgisayarlı kontrol ve hidrolik sistem teknolojilerindeki gelişmeler ve özellikle otomotiv sektöründe hidroşekillendirme prosesinin kullanılmasıyla büyük bir ilerleme kaydetmiştir (Koç ve Cora, 2008).

Gelişme gösteren ülkelerde özellikle 1990'lı yıllardan sonra daha çok otomotiv ve havacılık alanlarında kullanılmaya başlanan hidroşekillendirme yöntemi sac veya boru şeklindeki parçaların sıvı basıncı vasıtası ile biçimlendirilmesinde kullanılmakta ve geleneksel biçimlendirme yöntemlerine göre pek çok avantajlar sağlamaktadır. Hidroşekillendirme yöntemi ile geleneksel biçimlendirme metotlarına nazaran, daha sağlam, daha hafif, biçimlendirilmesi daha zor ve daha kompleks şekilli parçalar daha düşük maliyetle ve daha az aşamada, daha sıkı toleranslarla, daha az yüzey pürüzlülüğüne sahip olarak ve de daha tümleşik bir şekilde üretilebilmektedir. Günümüzde hidroşekillendirme prosesi birçok gelişme gösteren ülkelerde son on yıl içerisinde, otomotiv, havacılık, uzay alanları ve gemi sektörü gibi farklı alanlarda seri imalatta etkili ve daha uygun maliyetli olarak uygulanmaktadır. Gelecek on yıllık bir zaman dilimi içerisinde de bu metot otomotiv, havacılık, gıda gibi sektörlerin kaçınılmaz üretim tekniklerinden birisi olacaktır (Kandil 2003, Zhang 1999, Zhang ve ark. 2003).

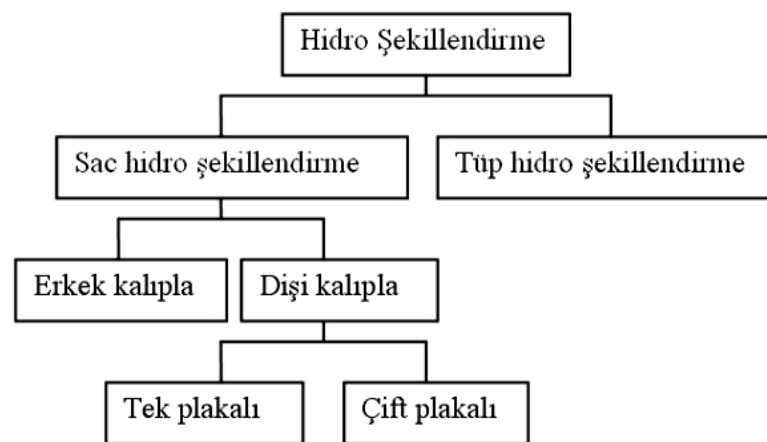
Mühendisliğin bir perspektifi olarak, bir ürünü imal etmeden önce o ürünün fonksiyonelliği ve uygunluğu denetlenmelidir. En elverişli malzeme seçimi ve üretim metodu, tüm üretim masrafları göz önüne alınarak belirli şartlar çerçevesinde özenli bir şekilde seçilmelidir. Günümüzde kullanılan sonlu elemanlar metodu (SEM) bu amaç doğrultusunda yararlanılan, benimsenmiş bir yöntemdir. SEM analizinin kullanılmasıyla bir mühendis, bir malzemenin önceden herhangi bir hasara uğrayıp uğramadığını ve asıl

ürünün üretilmeden önce uygunluğunu tahmin edebilmektedir. Analizi yapılan üründe hasar tespit edilmiş ise, yeniden başka bir malzeme seçimi veya mevcut proses değişkenleri SEM’de yeniden tanımlanabilmektedir (Şanay, 2010).

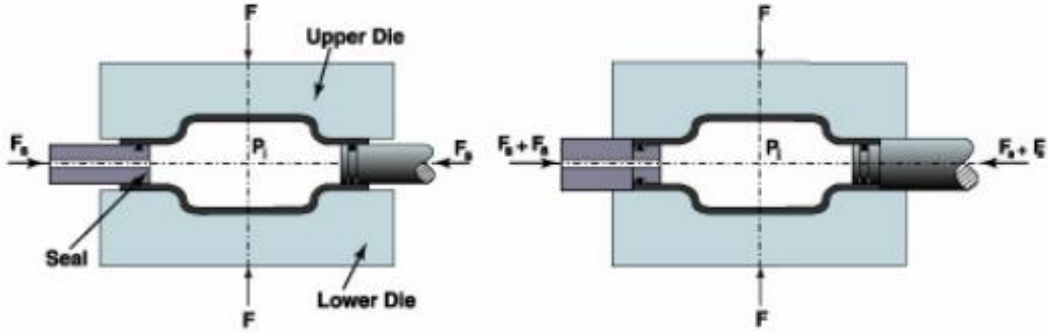
Bu bölümde genel olarak hidroşekillendirme metodu ve sınıflandırılması, sonlu elemanlar metodu üzerinde durulmuştur.

Hidroşekillendirme yöntemi literatürde, akışkan şekillendirme, esnek kalıp şekillendirme, lastik zar şekillendirme olarak da adlandırılan hidrolik şekillendirme yöntemi, sac veya tüp şeklindeki metalik malzemenin, erkek veya dişi kalıbın formunu alan akışkan bir ortam yardımıyla (su, viskoz, polimerik malzeme v.s.) kapalı bir kaptaki şekillendirilmesi olarak tanımlanmaktadır. Akışkanın sıkıştırılmaz özelliği sebebiyle, şekillendirme esnasında meydana gelen basınç etkisiyle parçalar şekillendirilmektedir (Altan 2006, Zhang ve ark. 2004, Singh 2003).

Hidroşekillendirme yöntemi, esas itibariyle sac hidroşekillendirme ve tüp hidroşekillendirme yöntemi olarak ikiye ayrılmaktadır (Şekil 1.1.). Sac hidroşekillendirmenin de erkek kalıpla sac hidroşekillendirme ve dişi kalıpla sac hidroşekillendirme olmak üzere iki türü vardır. Dişi kalıpla yapılan sac hidroşekillendirme prosesi de kullanılan sacın tek ve çift plakalı olması durumuna göre ikiye ayrılmaktadır (Altan, 2006). Sac hidroşekillendirme yönteminde ki sac malzemesi, yüksek basınçlı akışkanın etkisiyle erkek veya dişi kalıbın formunu almaktadır. Tüp hidroşekillendirme yönteminde ise Şekil 1.2.’de belirli bir formda bulunan boru parçası aynı anda uygulanan aksenal kuvvet ve iç basınç veya yalnızca iç basınç etkisiyle, alt ve üst kalıbın oluşturmuş olduğu geometrinin şeklini almaktadır (Koç ve Taylan, 2001).



Şekil 1.1. Hidroşekillendirme yönteminin sınıflandırılması (Altan, 2006)



Şekil 1.2. Hidroşekillendirme işleminde iç basınç ve eksenel kuvvetlerin uygulanması

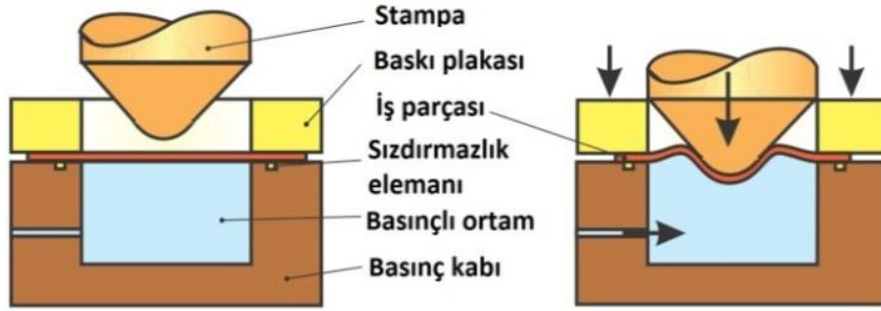
(<https://www.thefabricator.com/article/hydroforming/hydroforming-of-tubes-extrusions-and-sheet>)

1.1. Sac Hidroşekillendirme

Geleneksel olarak kullanılan bir kalıpla, parçalar iki kalıp aralığında şekillendirilirken, sac hidroşekillendirmede sacın bir yüzeyine basınçlı sıvı iletilerek, sac dişi (Şekil 1.3.) veya erkek (Şekil 1.4.) kalıbın formunu almaya zorlanır (Altan 2006). Bu süreçte daha az yüzey pürüzlülüğüne sahip olma, daha düşük miktarlarda geri yaylanma, daha sıkı toleranslar ve karmaşık yapıları sac metal parçaları şekillendirebilme yeteneği gibi özellikleri sebebiyle sac hidroşekillendirme, geleneksel derin çekme metoduna göre daha üstün bir süreçtir (Zhang ve ark., 2004). Sac hidroşekillendirme yöntemi erkek kalıpla hidroşekillendirme (hidromekanik derin çekme) ve dişi kalıpla sac hidroşekillendirme (yüksek basınçlı hidroşekillendirme) olmak üzere iki ana grupta sınıflandırılmaktadır (Zhang, 1999).



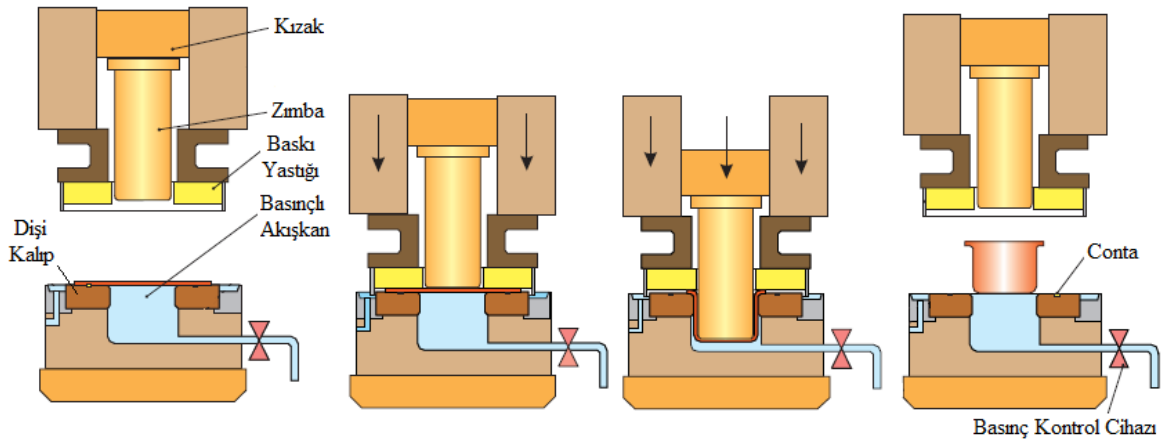
Şekil 1.3. Dişi kalıpla sac hidroşekillendirme yöntemi (Altan, 2006)



Şekil 1.4. Erkek kalıpla sac hidroşekillendirme yöntemi (Kleiner ve ark., 2004)

1.1.1. Erkek kalıpla sac hidroşekillendirme

Zhang ve arkadaşlarına göre, erkek kalıpla sac hidroşekillendirme yöntemi Şekil 1.5'te gösterildiği gibi (hidromekanik derin çekme yöntemi), şekillendirme süresi boyunca dişi kalıp olarak su, yağ veya diğer sıvılardan faydalanılan bir şekillendirme metodudur. Parçanın nihai şeklini zımbanın formu belirlemektedir. Sıvı basıncı, geleneksel derin çekme metodunda kullanılan dişi kalıbın yerini almıştır. Böylelikle aynı sıvı basıncı ile farklı formlardaki parçaları, yalnızca zımba değiştirerek üretmek mümkün olacaktır (Zhang ve ark., 2000).



Şekil 1.5. Hidromekanik derin çekme (Singh, 2003)

Hidromekanik derin çekme yönteminde kompleks biçimli parçaların şekillendirilmesi yapılabilir ve ayrıca sac malzemelerde ve kalıplarda maliyetler büyük ölçüde azaltılabilir. Bu yöntemde zımbanın uç kısımlarında görülen yırtılmalar sıvı basıncı yardımı ile yok edilebilmektedir. Sac parçanın flanş bölgesindeki bulunan sıvı

kanalı yağlama kalitesini arttırmaktadır. Sürtünmedeki bu düşüş nedeniyle sac parçanın şekillendirilmesini kolaylaştırmaktadır (Nakagawa ve ark., 1997).

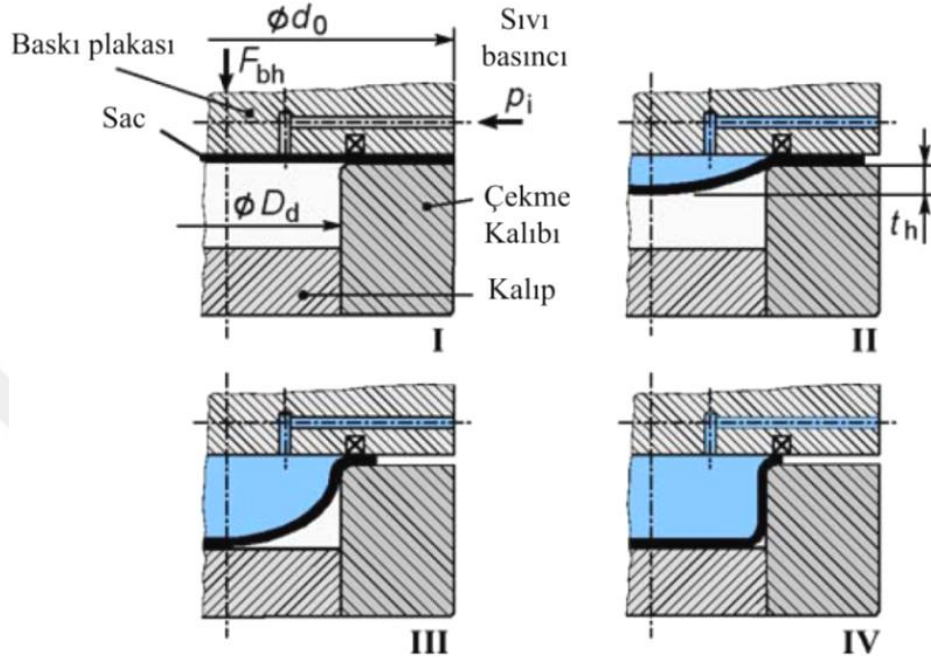
Bu yöntemde ön şişirme, hidroşekillendirme başlangıcında zımba hareketine başlamadan önce, sacın bir miktar zımba hareketine zıt doğrultuda belirli bir basınçla şişkin duruma getirilmesine ve bu sayede zımbanın uç kısmında sacda meydana gelen gerilme hallerinin değiştirilmesine (sac ve zımba arasındaki sürtünmenin artışı ve dolayısıyla birbirine değen bölgelerdeki çekme gerilmesinin azalması) neden olmakta ve sacın yırtılma ve buruşma olasılığını azaltarak şekillendirilebilirliğini arttırmaktadır (Lang ve ark., 2004 ve Choi ve ark., 2007).

1.1.2. Dişi kalıpla sac hidroşekillendirme

Dişi kalıpla sac hidroşekillendirme, tek plakalı sac hidroşekillendirme ve çift plakalı sac hidroşekillendirme olarak iki şekilde sınıflandırılmaktadır. Dişi kalıpla sac hidroşekillendirme yöntemi bir diğer adıyla tek plakalı sac (yüksek basınçlı) hidroşekillendirme yöntemi yüksek basınçlı bir sıvının bir zımba görevi üstlendiği, böylelikle kalıp maliyetleri ve iş gücünden kazanç elde ettiği bir serbest hidroşişirme metodudur (Önder ve Tekkaya, 2008). Bu metotta önemli olan parametreler sıvı basıncı, baskı plakası (üst kalıp) kuvveti ve kalıpların formudur. Bu metotta sac malzeme üst ve alt kalıpları arasına konumlandırıldıktan sonra arzu edilen nihai geometri alt kalıbın geometrisidir. Kalıplar kapatıldıktan sonra sac metal üzerine üst kalıba entegre edilmiş bir kanal vasıtasıyla basınç uygulanmaktadır. Temel olarak şekillendirme prosesi iki adımdan oluşmaktadır. İlk adım üst kalıptan alt kalıba doğru olan hareketi engellemeden malzeme akışına izin verilmektedir. Şekillendirme süresince sıvı akışkanın sızıntısını ve kontrolsüz malzeme akışının önüne geçmek için verilen basınca karşı baskı plakası kuvvetinin de düzenlenmesi gerekmektedir. Bu adımda, eğer yeterli parça miktarı alt kalıpla temas halinde ise iş parçası neredeyse tamamen alt kalıbın formunu almış durumdadır. İkinci adımda ise daha yüksek iç basınç etkisiyle parça kalibrasyonunu içermektedir (Şekil 1.6.). Bu yöntemin sonunda kalıplar açıldıktan sonra tek bir iş parçası üretilmiş olmaktadır (Groche ve Metz, 2006).

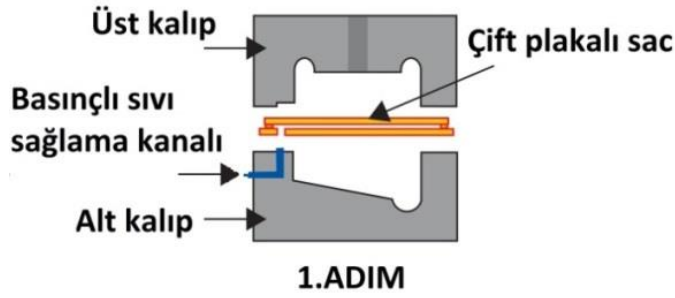
Kleiner ve ark. (2004)'e göre dişi kalıpla sac hidroşekillendirme yöntemi, geleneksel derin çekme yöntemi ile kıyaslandığında, yüksek şekil ve boyut hassasiyeti ya da yüksek mukavemet gibi teknolojik faydalarının yanı sıra belirli geometriler için işlem kademelerini de azaltmaktadır. Bu yöntemin hidromekanik derin çekme

yöntemine kıyasla bir dezavantajı, basınçtan dolayı sac ve kalıp arasında oluşan sürtünme kuvvetinin tesiriyle derinliği fazla olan parçaların şekillendirilmesi mümkün olmamaktadır. Ancak bu proseste hidromekanik derin çekmede olduğu gibi zımbanın konumuna bağlı bir sıvı basıncı eğrisinin belirlenmesine gerek yoktur.

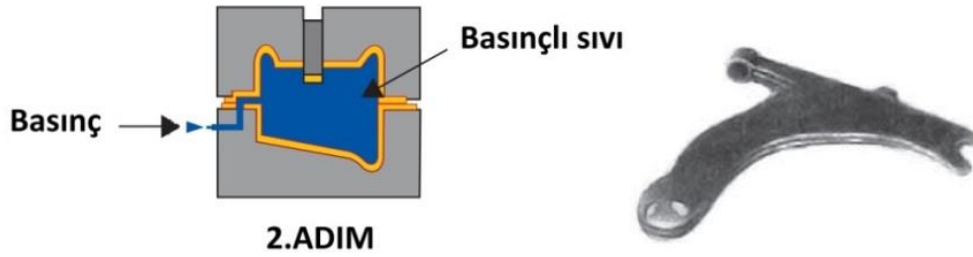


Şekil 1.6. Yüksek basınç (tek plakalı) hidroşekillendirme prosesi ve adımları (Kleiner ve ark., 2004)

Çift plakalı olarak şekillendirilecek parçalar ile hem üst hem de alt kalıplara sahip olan düzene yerleştirilir. Sac kenar kısımlarından tutulur ve basınçlı ortam saclar arasına gönderilir. Saclar, istenen parça şeklini elde etmek için sıvı basıncı vasıtasıyla üst ve alt kalıpların şekli oluşturulmaktadır (Şekil 1.7.).



Sac malzemeler üst üste konularak kalıba yerleştirilir.

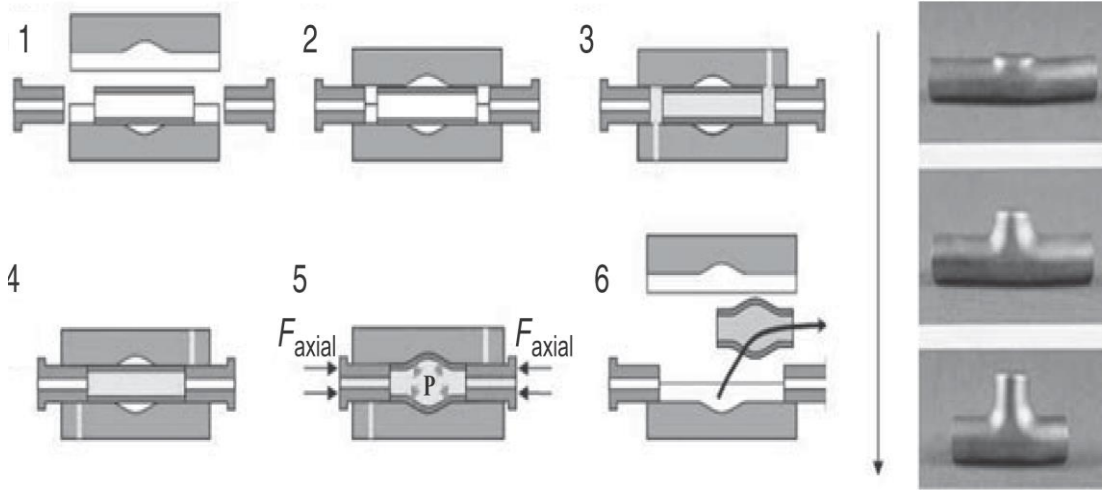


Kanaldan basınçlı sıvı verilir ve iş parçasının şekillendirilir.

Şekil 1.7. Çift plakalı hidroşekillendirme yöntemi (double blank sheet hydroforming process)
(Altan, 2006)

1.2. Tüp Hidroşekillendirme

Tüp Hidroşekillendirme yönteminde Şekil 1.8.'de görülen silindirik ve ön şekillendirilmiş bir boru, istenen şekle göre düzenlenen kalıba yerleştirilir ve boru içerisine düşük miktarda bir iç basınç uygulanır. Boru içerisine uygulanan düşük miktardaki basınç sabit tutularak kalıp alt ve üst kısımları birleştirilerek kapatılır. Sızdırmazlığı ve eş zamanlı olarak aksenal kuvveti sağlayacak olan pistonlar hareket eder, borunun iki yanını kapatır ve ortam şekillendirmeyi sağlayacak olan akışkanla basınçlandırılır. Uygulanan iç basınçtan ve eğer varsa aksenal kuvvet yardımıyla malzeme kalıp içerisinde akmaya başlar ve şişerek kalıbın formunu alır. Proses sonunda kalıp açılır ve iş parçası üretilmiş olur (Şahin, 2004).



Şekil 1.8. Tüp hidroşekillendirme (Koç ve Cora, 2008)

1.3. Hidroşekillendirme Yönteminin Avantajları ve Dezavantajları

Hidroşekillendirme yöntemin avantajları; malzemenin homojen olmayan deformasyonunu geciktirerek yüksek çekilebilirlik sağlaması, kullanılan takımlarda az miktarda aşınma olması, basınç dağılımının düzgün olmasıyla parçada azaltılan incelme, bazı ısıtma vb. yöntemlerine ihtiyaç duyulmadan parçanın üretilebilmesini sağlaması, bazı son işlem operasyonlarına gerek bırakmadan ıskarta malzemeyi azaltması, konveks dış hatlara sahip kompleks parçaların üretilebilmesine imkan vermesi olarak sıralanabilir. Geleneksel yöntemlerden daha uzun olması, işlem esnasında izotermal durumları korumanın zorluğu ve akışkan basıncı-erkek kalıp stroğu arasındaki ilişkinin tanımlanmasının zorluğu bu yöntemin dezavantajları olarak sıralanabilir (Zampaloni ve ark., 2003).

1.4. Sac Malzeme Şekillendirme İşleminde Karşılaşılan Başlıca Hatalar

1.4.1. Yırtılma ve kalınlık dağılımı

Şekillendirme esnasında sac malzeme sistem geometrisine bağlı olarak incelme veya kalınlaşma ile sonuçlanan bir bölgeden başka bir bölgeye doğru akma gerçekleştirilmektedir. Sac malzeme yerel incelmenin en yüksek olduğu bu noktada kırılmakta ve bu hasar mekanizması yırtılma olarak adlandırılmaktadır. Sac

malzemelerin yüksek kalitede üretilebilmesi için kalınlık dağılımının eşit derecede olması istenmektedir ancak bu durumun elde edilebilmesi oldukça zordur (Hatipoğlu, 2007).

1.4.2. Buruşma

Sac malzemelerin bazı bölgeleri proses esnasında yüksek düzlemsel basma gerilmelerine maruz kalmaktadır. Bu basma gerilmeleri belirli bir değerden fazla olursa bu bölgelerde kararsızlık oluşarak çarpılma meydana gelmektedir. Oluşan bu kırışma bölgeleri buruşma olarak adlandırılmaktadır. Buruşma olayını ortadan kaldırmak için baskı plakası kuvvetini yükseltmek gereklidir (Hatipoğlu, 2007).

1.4.3. Geri yaylanma

Şekillendirme esnasında iki farklı deformasyon çeşidi vardır. Birincisi parçanın kalıcı olmayan şekil değişimi bölgesi elastik deformasyona uğraması, ikincisi ise parçanın sürekli şekil değiştirdiği plastik deformasyondur. Her parça öncelikle elastik deformasyona uğramaktadır ve yeteri kadar kuvvet uygulanması durumunda plastik deformasyona uğramaktadır. Elastik deformasyon bölgesinden sonra sac malzemenin şeklinde bükülme meydana gelmekte ve nihai parçanın şekli üretmek istenen parçanın şeklinden biraz farklı olacaktır. Bu durum geri yaylanma olarak adlandırılmaktadır ve endüstrinin bu sorunun üstesinden gelmesi zor görünmektedir (Hatipoğlu, 2007).

1.5. Sonlu Elemanlar Metodu

Sonlu elemanlar metodunun ana prensibi, bir elemana ait sistem niteliklerini kapsayan denklemlerin çıkartılıp tüm sistemi yansıtacak şekilde eleman denklemlerini bir araya getirerek sisteme ait doğrusal denklem kümesinin elde edilmesidir. Bir başka ifadeyle; sofistike olan problemlerin indirgenmiş alt problemlere dönüştürülerek her bir elemanın kendi içinde çözülmesiyle net bir sonucun elde edildiği bir çözümleme metodudur. Metodun esas olarak 3 yöntemi vardır: Birincisi, şekil yönünden kompleks olan çözüm alanı, sonlu elemanlar olarak nitelenen geometrik olarak daha küçük bölgelere ayırır. İkincisi, her elemandaki daimi fonksiyonlar, cebirsel polinomların doğrusal kombinasyonu olarak belirtilebileceği kabul edilir. Üçüncü ise, elde edilmeye

çalışılan değerlerin her eleman içinde daimi olan tanım eşitliklerinin düğüm noktalarındaki verilerinin elde edilmesinin, tanımlanan problemi çözmek için yeterli olmasıdır (Topçu ve Taşgetiren, 1998). Sonlu elemanlar metodunu diğer nümerik metotlardan nitelik olarak üstün olmasının başlıca maddeleri şöyle sıralanabilir;

- Kullanılan sonlu elemanların boyutlarının ve geometrilerin değişkenliği sebebiyle incelenen bir parçanın geometrisi gerçek olarak temsil edilebilir.
- Bir veya daha fazla delik veya köşeleri bulunan kısımlar kolaylıkla incelenebilir.
- Farklı malzeme ve geometrik özellikleri olan parçalar incelenebilir.
- Sebep sonuç ilişkisine bağlı problemler, genel direngenlik matrisi ile birbiriyle bütünleştirilen genelleştirilmiş kuvvetler ve deplasmanlar türünden formüle edilebilir. Sonlu elemanlar metoduna ait bu özellik problemleri basitleştirerek hem anlaşılmasını hem de çözülmesini sağlar.
- Sınır şartları kolayca tanımlanabilir (Topçu ve Taşgetiren, 1998).

Bu tez çalışmasında, dişi kalıpla sac hidroşekillendirme prosesinde hareketli dişi kalıp kullanılmasının parçalardaki kalınlık dağılımına etkisi sonlu elemanlar analizi ile nümerik olarak incelenmiştir. Dişi kalıpla sac hidroşekillendirme prosesinin sabit kalıpla da sonlu elemanlar analizi gerçekleştirilmiş ve hareketli dişi kalıp kullanılmasının sonuçlara etkisi belirlenmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Literatürdeki Çalışmalar

Dişi kalıpla sac hidroşekillendirme prosesi kullanılarak kompleks geometriye sahip sığ parçalar şekillendirilebilmektedir. Hidroşekillendirme prosesinde, doğru olmayan proses parametrelerinin kullanılması, sac parçanın aşırı incelmeye veya buruşmasına ve basınçlı bölgeden sızıntı olmasına sebep olabilmektedir. Böylelikle erişilmek istenen şekillendirme sınırlarına ulaşılamamaktadır. Yöntem parametrelerinin optimize edilmesi ile bu sorunlar azaltılabilmektedir. Hidroşekillendirme prosesinde, etkin proses parametrelerinin ve etki seviyelerinin belirlenmesi üzerine çeşitli araştırmalar vardır. Sacların şekillendirilebilme yeteneği, takım geometrileri, yağlama koşulları, baskı plakası kuvveti, sac kalınlığı ve malzeme karakteristiklerinden normal anizotropi; r ve çekme üsteli; n 'ye bağlıdır (Verma ve Chandra 2006, Hatipoğlu 2007).

Sac hidroşekillendirme prosesinde bunlara ilaveten sıvı basıncı ve ön şişirme operasyonu etkili proses parametrelerindedir. Sac hidroşekillendirme prosesinde etkili bir şekillendirme operasyonu gerçekleştirmek için yürütülen çalışmalarda bu proses parametrelerinin en etkili değerleri belirlenmektedir. Ancak hidroşekillendirme prosesinde, proses parametrelerinin yanında şekillendirme prosesine önemli bir şekilde etki eden önemli geometrik parametrelerin göz önünde bulundurulması gereklidir (Kandil 2003, Dachang ve ark. 2005, Abedrabbo ve ark. 2005, Lang ve ark. 2007, Khandeparkar ve Liewald 2008).

Gather ve ark., (2002) hidroşekillendirme proses parametreleriyle birlikte, şekillendirme prosesine önemli ölçüde etkileyen geometrik parametrelerin göz önünde bulundurulması da prosesin etkili olarak kullanılması bakımından önemli derecede etkili olduğunu belirtmektedir. Esas uygulamalarda, kalıp geometrisi parametrelerinin şekil değiştirme oranlarının etkisinin araştırılması hedeflenmektedir.

Khandeparkar ve Liewald (2008), çalışmalarında, kompleks kademeli geometrisi olan kapların imalatında erkek kalıpla sac hidroşekillendirme (hidromekanik derin çekme) prosesini kullanmışlardır. Öncelikle prosesin sonlu elemanlar analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Silindirik ve konik olmak üzere iki farklı zımbanın taban kısmında karmaşık geometriye sahip pozitif ve negatif yüzeyler meydana getirmişler ve yüksek derin çekme oranları elde etmek için kompleks yüzeylerin zimbadan levha

yüzeyine sıvanma yeteneği incelenmiştir. Sonuç olarak kademeli geometrilerde yöntemin uygulanabilirliği kanıtlanmıştır. Çekme kademelerinin düşürülmesi ve daha iyi bir parça niteliği gibi üstünlükler başarılı bir şekilde ortaya açıklanmıştır.

Wu ve ark. (2004), çalışmalarında sonlu elemanlar metodu kullanarak kademeli geometrilerin hidromekanik derin çekme prosesi ile şekillendirilmesinde alt ve üst limitlerini incelemişlerdir. Hidromekanik derin çekme prosesinde kademeli geometriye sahip parçaların şekillendirilmesi simülasyon sonuçları, sacın buruşma ve yırtılma alt ve üst şekillendirme limitlerinin başlangıcını belirlemek için etkili bir araç olarak kullanılabileceğini belirtmiştir.

Qin ve Balendra (2004), çalışmalarında hidromekanik derin çekme yönteminde, içbükey özellikli geometrilere sahip geometrilerin şekillendirmesinin, dışbükey özelliklere sahip olanlara göre daha fazla detaylı koşullar gerektirdiğini açıklamışlardır. İç ve dış bükey şekle sahip parçaların hidromekanik derin çekme yöntemi ile şekillendirilmesinin sonlu elemanlar metodu vasıtasıyla simülasyonlarını gerçekleştirmişlerdir. Biçimlendirme kusurlarının başlamasını engellemek ve yüksek nitelikli ürünler elde etmek için, uygulanacak sıvı basıncı dağılımlarının, şekillendirilecek olan parça şekillerine uyum sağlayacak şekilde düzenlenmiş olması gerektiğini sonucuna varmışlardır.

Palumbo ve ark. (2004a), çalışmalarında hidroşekillendirme prosesinin kompleks geometrili parçaları elde etmek için endüstride yaygın bir şekilde kabul gördüğünü belirtmektedirler. Özellikle sac hidroşekillendirme yönteminde, parçanın nihai şeklinde herhangi bir sınırlama yoktur. Araştırmacılar, karmaşık şekilli parçaları üretmek için sac hidroşekillendirme prosesiyle gerçekleştirilmesiyle ilgili daha detaylı araştırmaların yapılması gerekliliğinin bu sebepten kaynaklandığını belirtmektedir. Yaptıkları çalışmada, silindir biçiminde bir bölge üzerine bağlanmış bir çıkıntı kare şeklindeki parçanın erkek kalıpla sac hidroşekillendirme yöntemiyle üretilmesi ile ilgili deneysel ve nümerik analizler yapmışlardır.

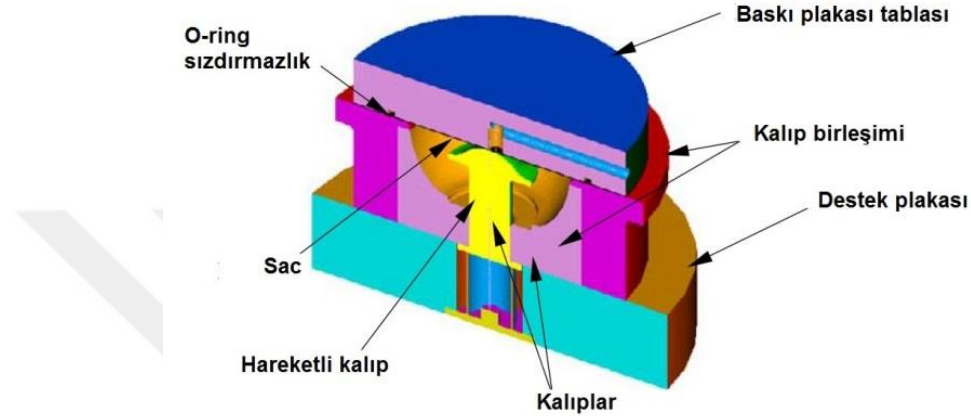
Önder ve Tekkaya (2008), çalışmalarında dairesel, eliptik, dikdörtgen ve kare gibi farklı geometrik biçimdeki parçalar için en iyi şekillendirme yöntemi ve proses parametrelerinin belirlenmesi üzerinde yoğunlaşmışlardır. Bu amaçla, sac erkek hidroşekillendirme, hidromekanik derin çekme ve konvansiyonel derin çekme proseslerinin simülasyonlarının sayısal çıktılarını karşılaştırmışlardır. Her bir kesit için derinlik, karakteristik boyutlar oranı ve köşe yarıçapı sistemli bir şekilde değiştirilmiştir. Çalışma boyunca, nümerik analizler ve ampirik doğrulama numune

malzemesi olarak St14 ve DC04 çelikleri kullanılmıştır. Analizlerin sonucunda oluşan kalınlık dağılımları, radyüs oluşumu gibi sonuçları, şekillendirme yönteminin etkinliğini değerlendirmek için kullanmışlardır. Analizler, parça şekli ve boyutsal özelliklere bağlı olarak, hidroşekillendirme yönteminin daha uygun ürünler üretmek için tercih edilebilir olduğunu ortaya koymuştur. Araştırmacılar, bu verilerin, belirli bir parça şekli için uygun bir üretim yöntemi seçilmesi ve her bir sac şekillendirme yönteminin sınırlarını belirlemek için faydalı olabileceğini belirtmektedirler.

Palumbo ve ark. (2004b) çalışmalarında, sac hidroşekillendirme yöntemi kullanılarak kompleks parçaların üretimi ile ilgili problemlere yoğunlaşmışlardır. Dişi kalıpla sac hidroşekillendirme yönteminde farklı şekillere sahip kalıp boşluğu için deneyler yapmışlardır. Silindirik, kare ve bileşik geometrili parçaların üretimi için sac hidroşekillendirme simülasyonları yapmışlardır ve deneysel çıktılarla analiz sonuçlarını teyit etmişlerdir. Bileşik geometrilerin oluşturulması çalışmasıyla ilgili esas problemleri, minimum incelmeyi kriter seçerek incelemişlerdir. Çeşitli konfigürasyonları rahatlıkla oluşturabilmek için sade bir kalıp tasarımı yapmışlardır. Böylece çok çeşitli bileşik biçimlere ve boyuta sahip kalıplar oluşturulabilmiştir. Kare ve bileşik geometrili boşlukları içeren kalıplar arasındaki kıyaslamadan proses hakkında yararlı çıkarımlar ortaya koymuşlardır. Kalıp boşluğunun kare şekilli kalıp olması halinde olası hasar bölgesinin bükme-tersine bükme sebebiyle köşe radyüsünde olduğu, silindir biçimindeki kalıp boşluğunun durumunda, her tarafa düzgün çekme olmasından dolayı silindir biçimindeki parçanın olumlu tesirinin olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Kleiner ve ark. (2004) yaptıkları çalışmada, dişi kalıpla sac hidroşekillendirme yöntemi ile hidromekanik derin çekme yöntemini kıyaslamışlardır. Dişi kalıpla sac hidroşekillendirme yöntemi ile yüksek şekil ve boyut hassasiyeti elde edilebilmesinin yanı sıra belirli geometriler için işlem kademelerinin azaltılabileceğini ortaya koymuşlardır. Bu yöntemin hidromekanik derin çekme yöntemine kıyasla dezavantajı, basınçtan dolayı sac ve kalıp arasında oluşan sürtünme kuvvetinin tesiriyle derinliği fazla olan parçaların şekillendirilmesinin mümkün olmamasıdır. Ancak bu proseste hidromekanik derin çekmede olduğu gibi zımbanın konumuna bağlı bir sıvı basıncı eğrisinin belirlenmesine gerek yoktur.

Zhang ve ark. (2003) hidroşekillendirme yönteminde yeni bir yöntem önermişlerdir. Bu yöntemde, şekillendirme esnasında sac metalin deforme olan kısımlarını destekleyen, dişi kalıbın orta kısmından yüksek basınçta şişen sac parçaya doğru hareket ettirilen bir kalıp kullanmışlardır (Şekil 2.1). Tavsiye ettikleri bu yöntemde sac parçada meydana gelen % incelmelerin daha az olduğu ve bu nedenle daha yüksek sınır çekme oranlarına erişebileceği sonucuna varmışlardır.



Şekil 2.1. Hareketli kalıpla sac hidroşekillendirme yöntemi (Zhang ve ark. 2004)

2.2. Literatür Analizi

Literatürde sac metal hidroşekillendirme prosesi ile ilgili çalışmalar incelendiğinde, erkek kalıpla sac hidroşekillendirme prosesi üzerine oldukça fazla çalışma olduğu, ancak dişi kalıpla sac hidroşekillendirme prosesi ile ilgili çalışmaların az sayıda olduğu görülmüştür. Erkek kalıpla sac hidroşekillendirme prosesinde baskı plakası ve sıvı basıncının zımba pozisyonuna göre değişken ayarlanması gerekmektedir. Dişi kalıpla sac hidroşekillendirme prosesinde ise şekillendirme işlemi sabit baskı plakası ve sıvı basıncı ile mümkün olabilmektedir. Yani dişi kalıpla sac hidroşekillendirme prosenin uygulanması daha basittir. Ayrıca kontrolün basit oluşu, daha basit hidrolik sistemlerle prosesin gerçekleştirilmesini sağlamaktadır.

Dişi kalıpla sac hidroşekillendirme prosesinde baskı plakası kuvveti ve basınç sabit uygulanmaktadır. Basınç arttıkça sac malzeme ile dişi kalıba temas etmekte ve sac ile dişi kalıp arasında sürtünme olmaktadır. Bu sürtünmenin etkisiyle, sac malzemede bölgesel incelme oluşmaktadır.

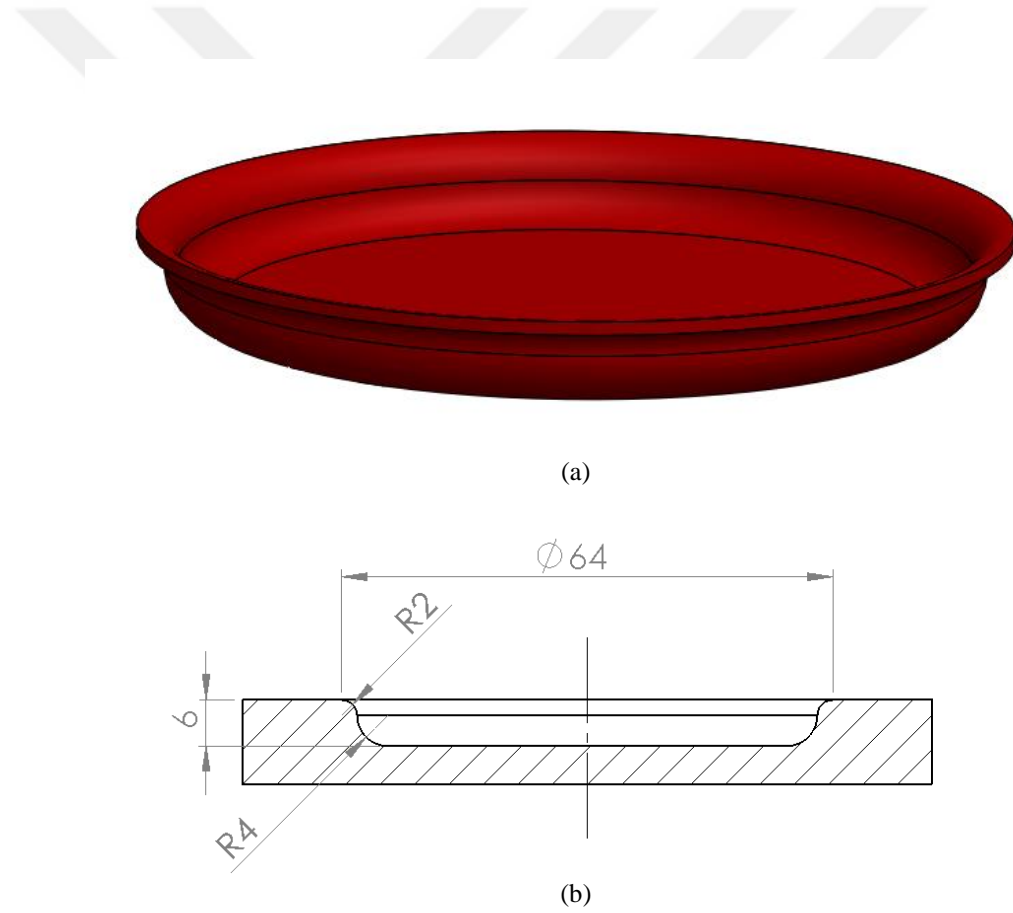
Zhang ve ark. (2004) yaptıkları çalışmada, parçada kısmi olarak çıkıntı oluşturmak amacıyla, hareketsiz ana dişi kalıbın ortasından çıkan yüksek basınçta şişen sac parçaya doğru hareket ettirilen hareketli bir dişi kalıp kullanmışlardır. Araştırmacılar özellikle çıkıntı bölgesindeki, dolayısıyla parçadaki % maksimum incelmelerin azaldığını tespit etmişlerdir.

Bu tez çalışmasında ise, dişi kalıpla sac hidroşekillendirme prosesinde dişi kalıbın tamamı hareketli yapılarak, sac malzeme ile dişi kalıbın sürtünmesi daha da azaltılması ve parçada daha üniform bir kalınlık dağılımı elde edilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca sabit ve tamamı hareketli dişi kalıp kullanılmasının sonuçlara etkisi de belirlenmiş olacaktır. Yapılan araştırma sonuçlarına göre, uygulanması daha karmaşık olan erkek kalıpla sac hidroşekillendirmeyle üretilebilecek nispeten derin parçaların, tamamı hareketli dişi kalıpla sac hidroşekillendirme prosesiyle de üretilebilirliği sağlanabilecektir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tez çalışmasında, Şekil 3.1’de ölçüleri ve 3B görünümü verilen parçanın, dişi kalıpla sac hidroşekillendirme prosesinde nümerik olarak üretilmesi üzerine çalışmalar yapılmıştır. Öncelikle parçanın dişi kalıbının 3B katı modeli oluşturulmuştur. Parça, 1 mm kalınlığa ve 80 mm ilkel çapa sahip SS304 sac malzemedен üretilecektir.

Dişi kalıpla sac hidroşekillendirme prosesinde, sabit ve hareketli dişi kalıp ile analizler gerçekleştirilmiştir. Sabit ve hareketli dişi kalıpla sac hidroşekillendirme prosesi için gerekli kalıp ve model tasarımları gerçekleştirilmiştir. Parçalar yüzey olarak 3B modelleme yazılımında oluşturulmuş ve bu tasarımlar sonlu elemanlar yazılımında modellenerek çözüme hazır hale getirilmiştir.

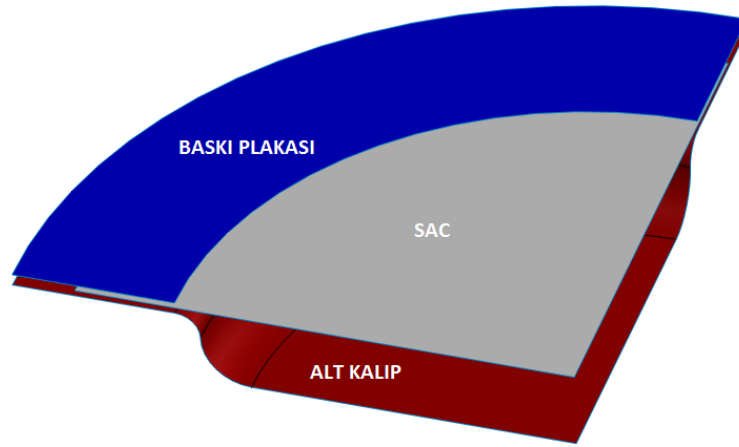


Şekil 3.1. a) Parçanın 3B görünümü ve b) Dişi kalıp kesit geometrisi

3.1. Sabit Dişi Kalıpla Sac Hidroşekillendirme Prosesinin Modellenmesi

Sabit dişi kalıpla sac hidroşekillendirme bileşenleri; baskı plakası, sac malzeme ve alt kalıptan oluşmaktadır. 3B yazılımında katı olarak çeyrek model tasarlanan alt

kalıp parçasından yüzey modeli sıfır öteleme yapılarak alt kalıp yüzeyi oluşturulmuştur. Dynaform sonlu elemanlar yazılımında prosesin daha kısa sürede çözüme erişebilmesi için proses çeyrek olarak modellenmiştir. Benzer şekilde sac malzeme ve baskı plakası da düzlemsel yüzey olarak çizimi elde edildikten sonra 3B modelleme yazılımında montaj ortamına aktarılmıştır. Montaj ortamında ilişkiler verilirken alt kalıbın düzlemsel yüzeyinin, baskı plakası ve sac malzemenin yüzeylerine paralel ilişkilerinin verilmesi gereklidir. Aynı şekilde sac malzeme ve alt kalıbın köşe kenarları x ve y düzlemlerine paralel olarak tanımlanır. Sac malzeme *shell* olarak modellenmiştir. Bu ilişkiler verildikten sonra sac malzemenin kalınlığı 1 mm olduğu için alt kalıp flanş düzlemi ve baskı plakası düzlemi arası mesafe 1 mm olarak tanımlanır. Sac malzeme iki kalıbın orta kısmına (0,5 mm sac malzemedan alt kalıp flanş yüzeyine mesafesi ve 0,5 mm sac malzemedan baskı plakasına mesafesi) konumlandırılır. Şekil 3.2’de yüzey modelleri oluşturulan sabit dişi kalıpla sac hidroşekillendirme prosesinin bileşenleri çeyrek model olarak gösterilmektedir.



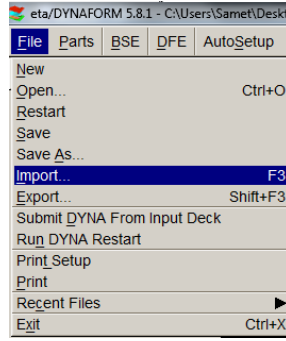
Şekil 3.2. Sabit dişi kalıpla sac hidroşekillendirme prosesinin bileşenleri ve yüzey montajı

Montajı 3B modelleme yazılımında tamamlanan proses bileşenleri sonlu elemanlar yazılımının kabul ettiği “.igs” uzantılı olacak şekilde farklı kaydedilerek bir klasör oluşturulur.

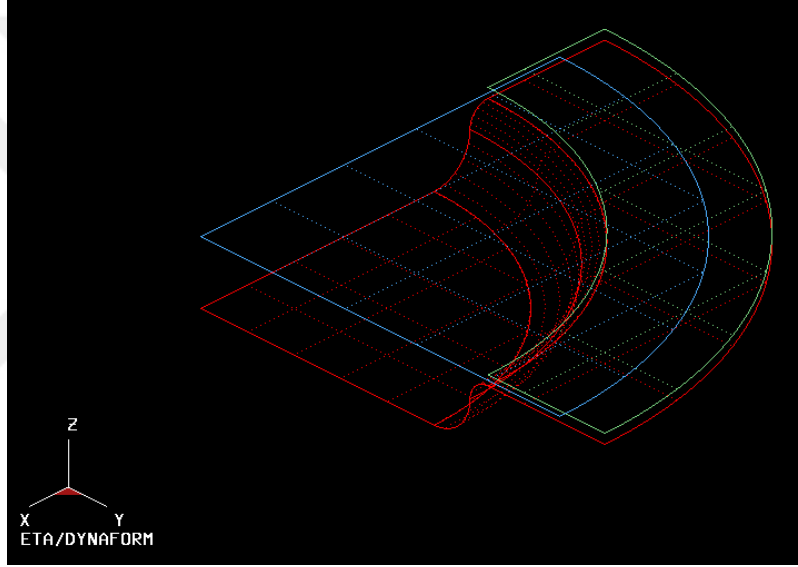
3.1.1. Proses bileşenlerinin import edilmesi

Öncelikle “.igs” uzantılı oluşturduğumuz dosyayı sonlu elemanlar programı menüsünden sırasıyla *File, Import* seçenekleri tıklanarak “.igs” uzantılı dosya

bulunduğu klasör konumundan “OK” tıklanarak sonlu elemanlar yazılımının ara yüzüne getirilir (Şekil 3.3).



(a)

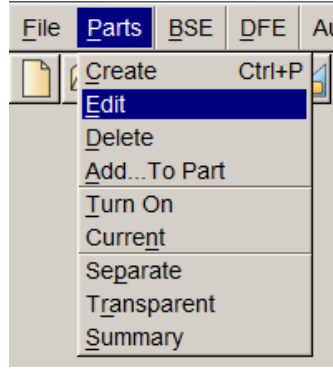


(b)

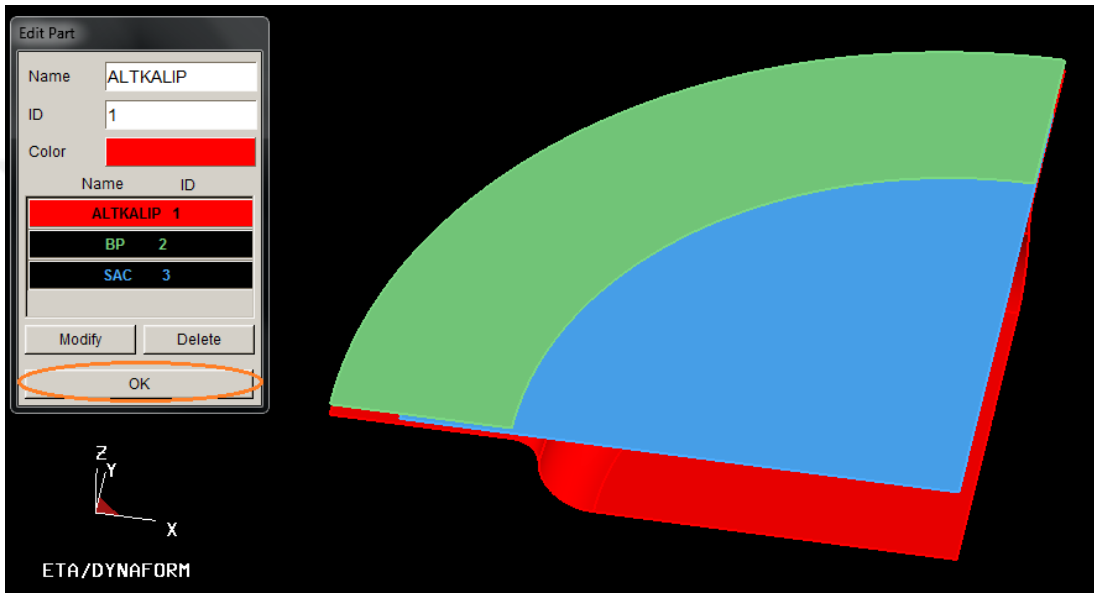
Şekil 3.3. a) Import sekmesi ve b) Import edilen dosyanın ara yüze getirilmesi

3.1.2. Proses bileşenlerinin tanıtılması

Proses bileşenlerini tanıtmak için sırasıyla *Parts*, *Edit* seçenekleri tıklanır. Burada açılan *Edit Part* menüsünde bileşenlerin rengine bakılarak *Name* kısmına bileşenin adı yazılır (en fazla 8 karakter olmalıdır bu yüzden baskı plakası “BP” olarak tanıtılmıştır) ve *Modify* tıklanarak tek tek bileşenler tanıtıldıktan sonra “OK” tıklanır ve bileşen tanımlama işlemi tamamlanır (Şekil 3.4).



(a)



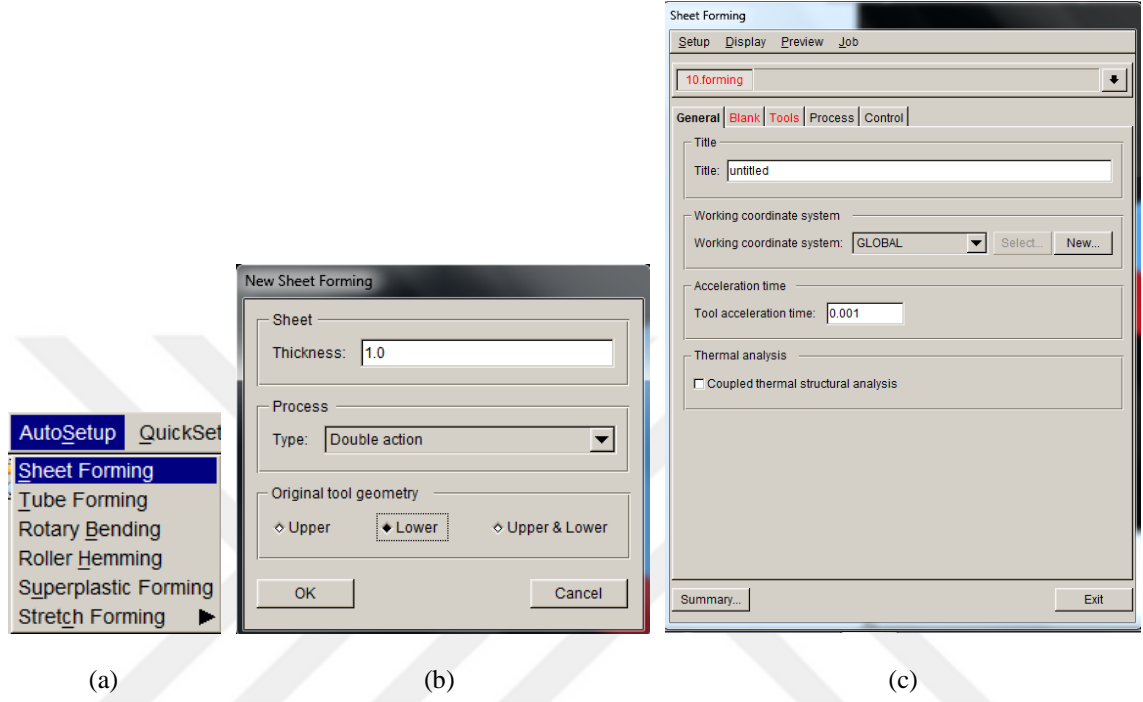
(b)

Şekil 3.4. a) Bileşenleri tanıma sekmesi, b) Proses bileşenlerinin tanıtılması

3.1.3. Temel proses parametrelerinin tanıtılması

Proses bileşenlerinin tanıtılmasından sonra sonlu elemanlar yazılımının üst menüsünde bulunan *AutoSetup* sekmesinden *Sheet Forming* sekmesine tıklanır. Bu kısımda temel proses parametrelerin tanıtılacağı *New Sheet Forming* menüsü açılır. Burada sac malzemenin kalınlığı 1 mm olduğu için *Sheet* kısmında bulunan *Thickness* değerine 1 mm yazılır. *Process* kısmında bulunan *Type* bölümünde *Double Action* sekmesi seçilir. Çünkü sabit dişi kalıpla sac hidroşekillendirme prosesi iki etkili bir prosestir. Burada birinci etki baskı plakasının sac malzemeye uyguladığı kuvvetten dolayı oluşan etkidir. İkinci etki ise sıvı basıncının sac malzemeye uyguladığı basınç etkisidir. *Original tool geometry* ise sac malzemenin formunu alacağı bölgenin

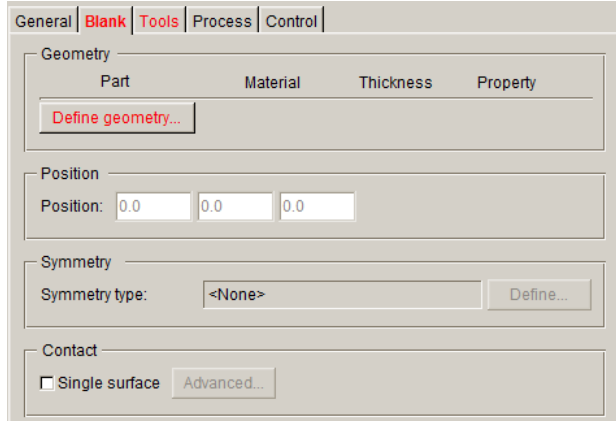
tanıtılmasıdır. Sac malzeme alt kalıbın formunu alacağı için *Lower* sekmesi işaretlenerek temel proses parametrelerinin tanıtılması “OK” tıklanarak tamamlanır ve sabit dişi kalıpla sac hidroşekillendirme prosesinin asıl parametrelerinin tanımlanacağı *Sheet Forming* menüsü açılır (Şekil 3.5).



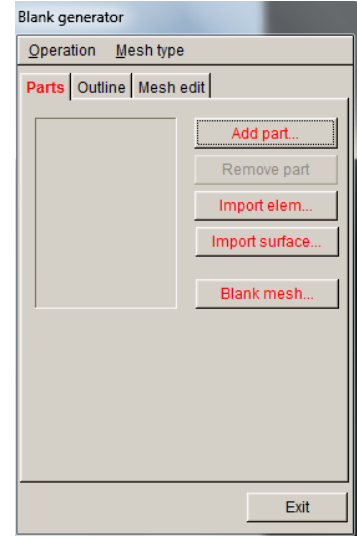
Şekil 3.5. a) Temel proses tanıtımı açma sekmesi, b) Temel proses tanıtma menüsü ve c) Diğer proses parametrelerinin tanımlanacağı menü

3.1.4. Sac malzeme seçimi ve sonlu elemanlar ağının oluşturulması

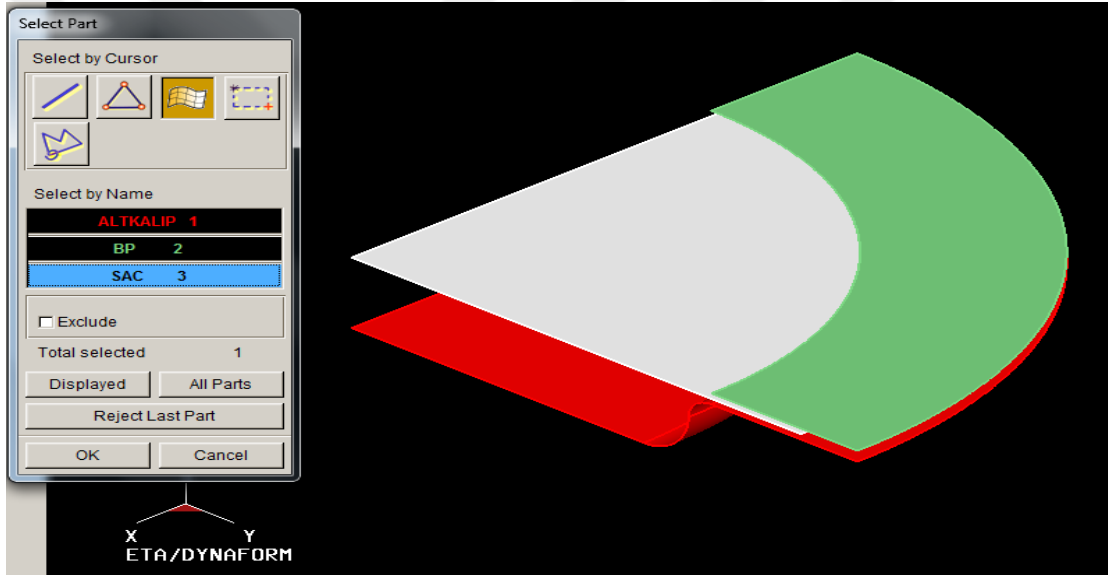
Sac malzeme ile ilgili parametreleri tanımlarken *Sheet Forming* menüsü altında bulunan *Blank* sekmesi kullanılır. İlk önce *Blank* sekmesine tıkladığımız zaman parçanın geometrisini tanımlamamızı istediği *Define geometry* sekmesi açılır. *Define geometri* sekmesi tıklandıktan sonra *Blank generator* menüsü açılır ve bu menüden *Add part* sekmesi tıklandıktan sonra *Select Part* menüsü açılır. Bu menüden sac malzeme olarak önceden tanıttığımız “SAC” isimli parça tıklandıktan sonra ekran da doğru malzeme seçiminin yapılıp yapılmadığını teyit etmek için renk değişimi kontrol edilerek “OK” tıklanır ve sac malzeme tanıtma işlemi tamamlanır (Şekil 3.6).



(a)



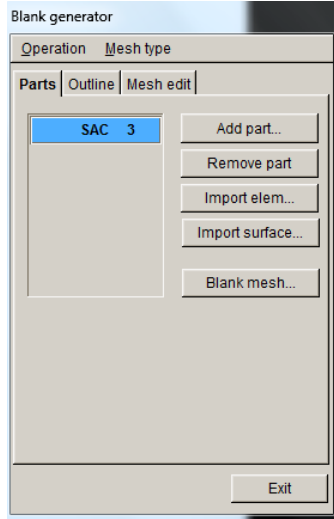
(b)



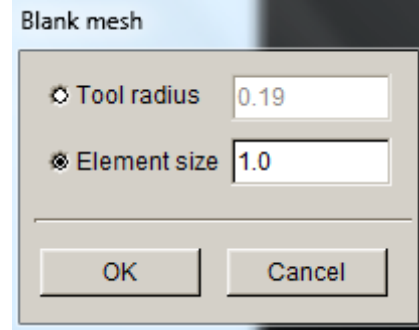
(c)

Şekil 3.6. a) Geometri tanımlama sekmesi, b) Parça ekleme sekmesi ve c) Parça seçme menüsü

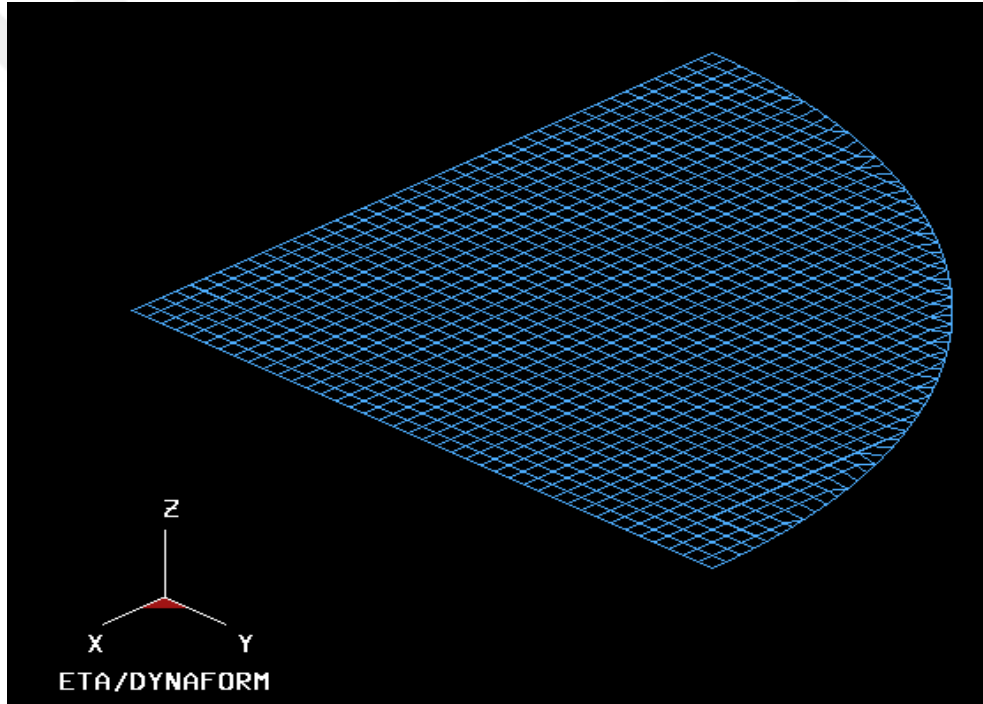
Sac malzeme seçimini yaptıktan sonra *Blank generator* menüsü tekrar açılmakta ve bu kısımda seçtiğimiz sac malzeme görülmektedir. *Blank generator* menüsünün alt kısmında bulunan *Blank mesh* seçmesi tıklanarak mesh işleminin yapılacağı menü açılır ve bu kısımda *Element size* sekmesine yazılım 16 değerini otomatik olarak atamaktadır. Mesh boyutu için yazılımda *Refining mesh* modülü kapatılarak malzemenin nihai şekillenen 4mm lik kalıp radyüs bölümünde oluşan sac radyüsü ve incelme miktarlarında değişim incelenerek 1 alınmıştır (Şekil 3.7).



(a)



(b)

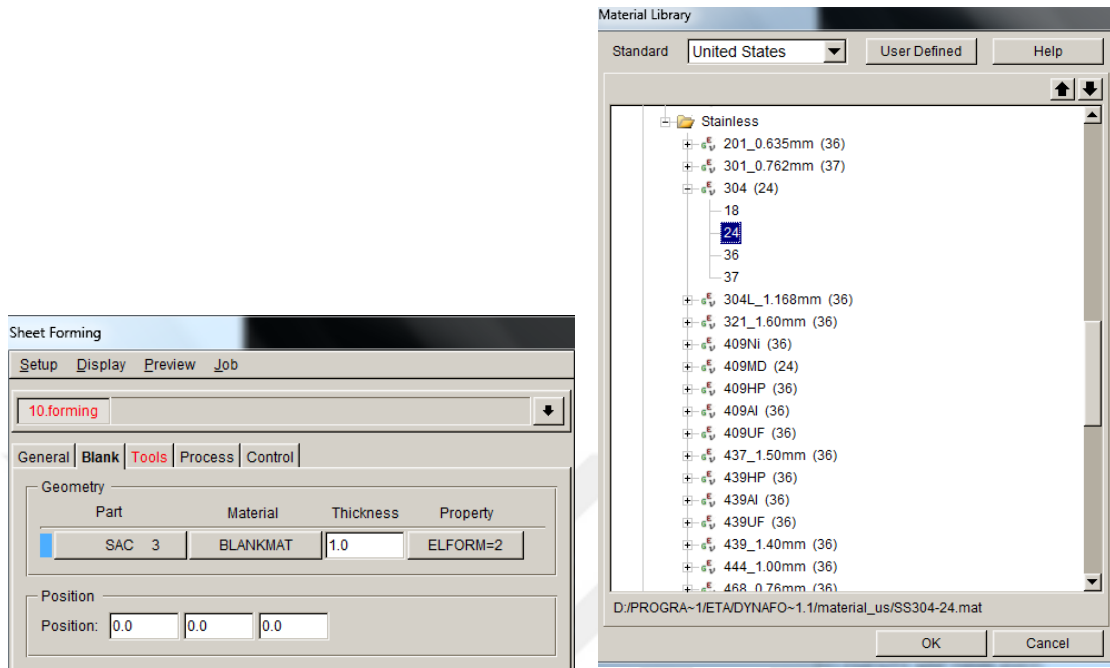


(c)

Şekil 3.7. a) Sac malzemenin tanımlanması ve blank mesh sekmesi, b) Eleman boyutunun tanımlanması ve c) Sac malzemenin mesh görüntüsü

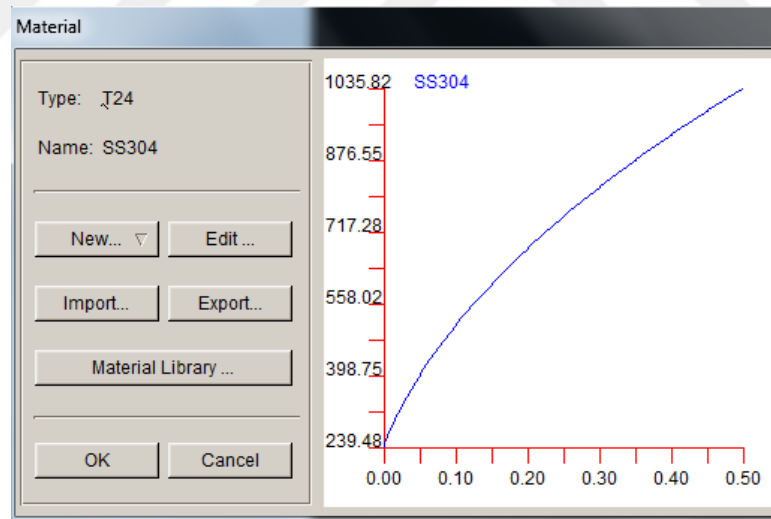
Mesh tanımlama işleminden sonra *Blank generator* sekmesinden *Exit* tıklanarak *Sheet Forming* menüsü tekrar açılır ve *Geometry* alt menüsünden *Blankmat* sekmesi tıklanarak malzemenin tanıtılacağı *Material* menüsü açılmaktadır. Buradan *Material Library* tıklanarak yazılım kütüphanesinde bulunan SS304 malzemesi seçilir. Burada malzeme seçimi yapıldıktan sonra yazılım SS304 malzemenin plastik bölgedeki akma

eğrisini göstermektedir. Ayrıca malzeme kalınlığı 1 mm olarak *Thickness* bölümüne yazılır (Şekil 3.8).



(a)

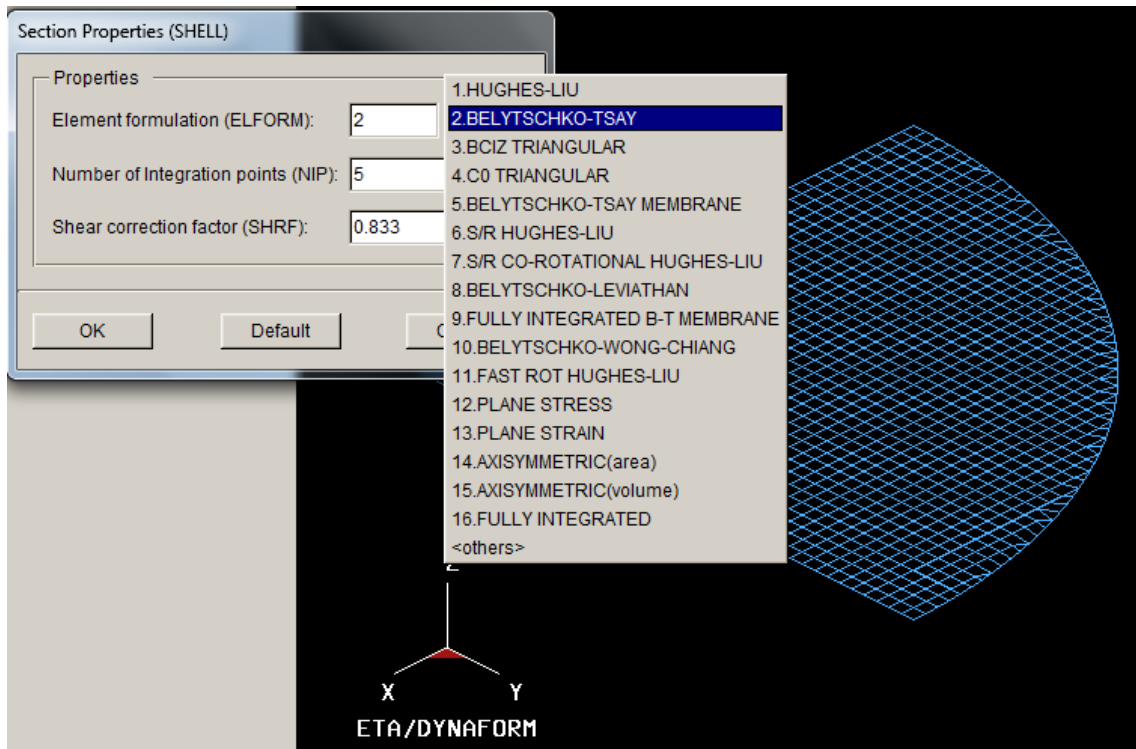
(b)



(c)

Şekil 3.8. a) Malzeme seçimi ve kalınlığın tanıtılması, b) Malzeme kütüphanesi ve c) SS304 malzemenin plastik bölgedeki akma eğrisi



Şekil 3.8. (a) menüsünde *Property* seçeneğinden eleman formülasyonu “BELYTSCHKO-TSAY” seçilmiştir. *Number of integration points* kısmı 5 alınmıştır (Şekil 3.9).



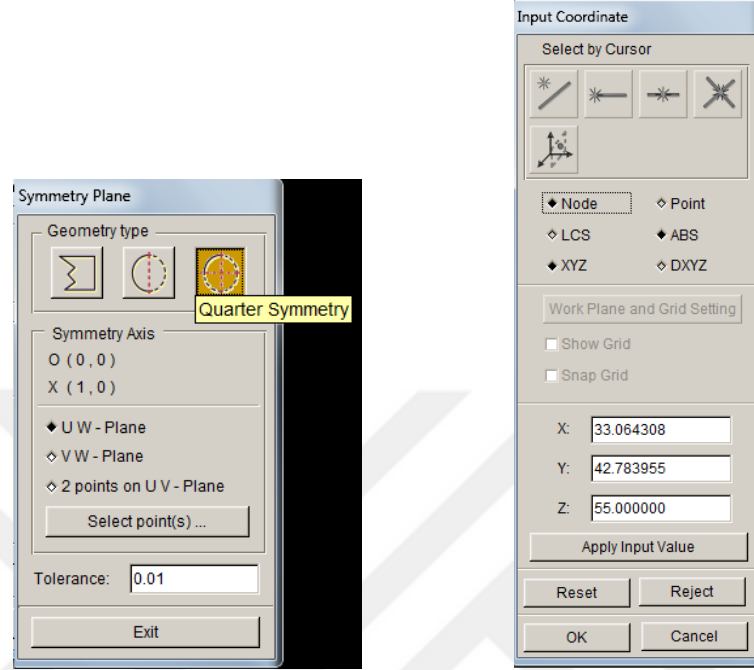
Şekil 3.9. Eleman formülasyonunun ve integrasyon noktasının tanımlanması

Number of integration points kısmı sac malzeme kalınlığı doğrultusunda elemanları bölen bir uygulamadır. Çözüm süresini uzatmaktadır ve “BELYTSCHKO-TSAY” eleman formülasyonunda integrasyon noktası sayısının minimum 3 alınması önerilmektedir (Maker ve Zhu, 2000).

3.1.5. Simetri özelliğinin tanıtılması

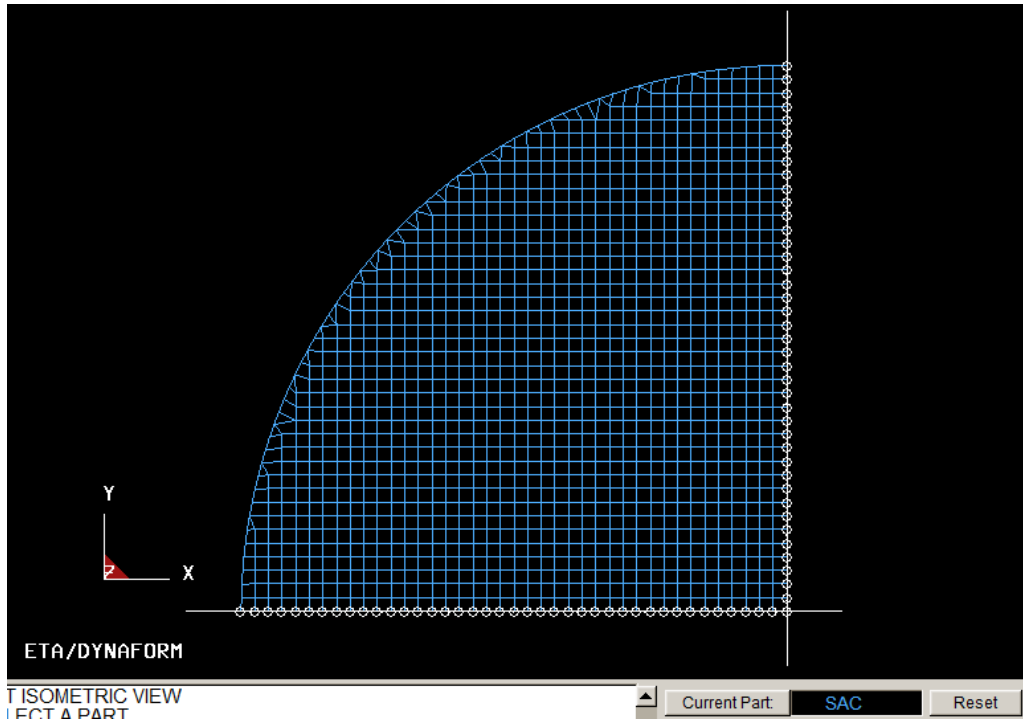
Blank menüsünde son olarak simetri türünü tanımlayacağız. Burada *Symmetry Type* kısmından *Define* tıklanır. *Symmetry Plane* menüsü açıldıktan sonra üst araç çubuğundan *Quarter Symmetry* işaretlenir ve *Select point(s)* sekmesi tıklandıktan sonra *Input Coordinate* menüsü açılır. Burada çeyrek modelin koordinatının net bir biçimde tanımlanması için mesh işlemi yaptığımız sac malzemenin düğüm noktalarından faydalanmak en uygun yol olacaktır. Bu yüzden ilk önce yalnızca sac malzemenin görüntüsünü elde etmek için program ara yüzünde üst kısımda bulunan araç kutusundan *Turn Part On/Off*  simgesi tıklanarak açık kalmasını istediğimiz parça üzerine tıklanır ve diğerleri kapatılır. Üstten görünüş için ise aynı şekilde program ara yüzeyinde bulunan  simgesi tıklanır. Sac malzemenin düğüm noktalarından faydalanacağımız için program ara yüzünde ki sağ alt menüden yalnızca *Nodes* sekmesi işaretlenerek

sadece düğümlerin görüntülenmesi sağlanır. Kenar kesişim bölgesindeki düğüm noktası tıklanarak çeyrek modelin düzlemleri tanımlanır ve simetri türü tanıma işlemi tamamlanır (Şekil 3.10).



(a)

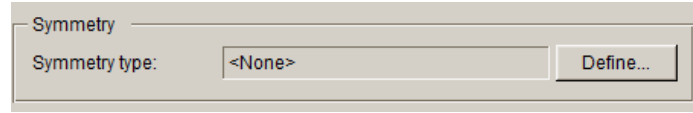
(b)



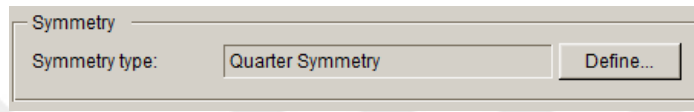
(c)

Şekil 3.10. a) Simetri türünün tanıtılması, b) Koordinat tanımlama menüsü ve c) Simetri düzleminin koordinatının tanıtılması

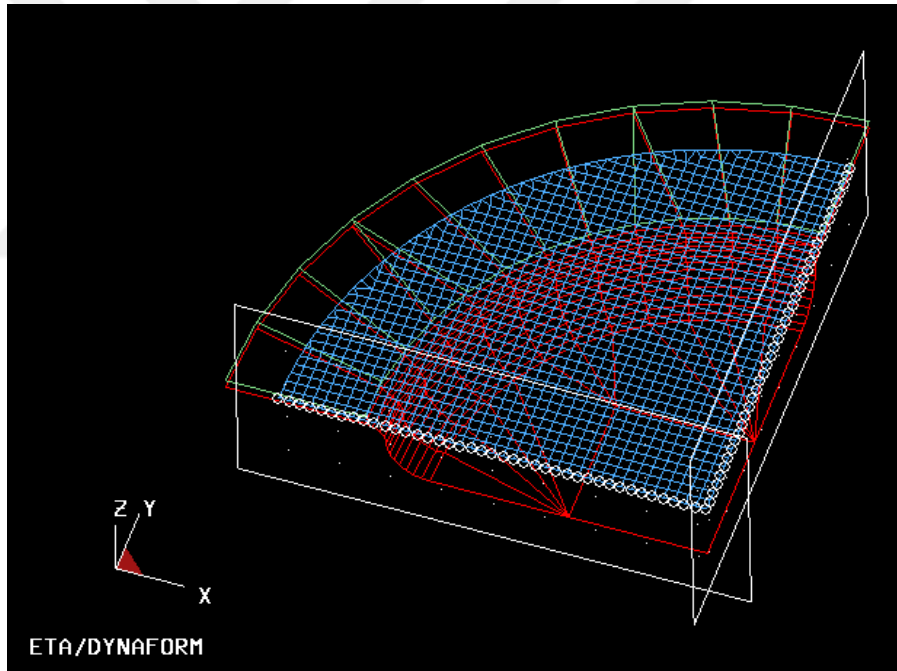
Ayrıca simetri düzlemini 3 boyutlu olarak kontrol etmek için üst kısımda bulunan araç çubuğundan bütün bileşenler görüntülenerek tekrar işlemin yapıldığı *Blank* menüsünden *Symmetry* kısmından *Define* yolu izlenir. Bu bölümde önce tanımlanmayan simetri türü de *None* olarak görülürken tanımlandıktan sonra bu kısım *Quarter Symmetry* olarak görülmektedir (Şekil 3.11).



(a)



(b)



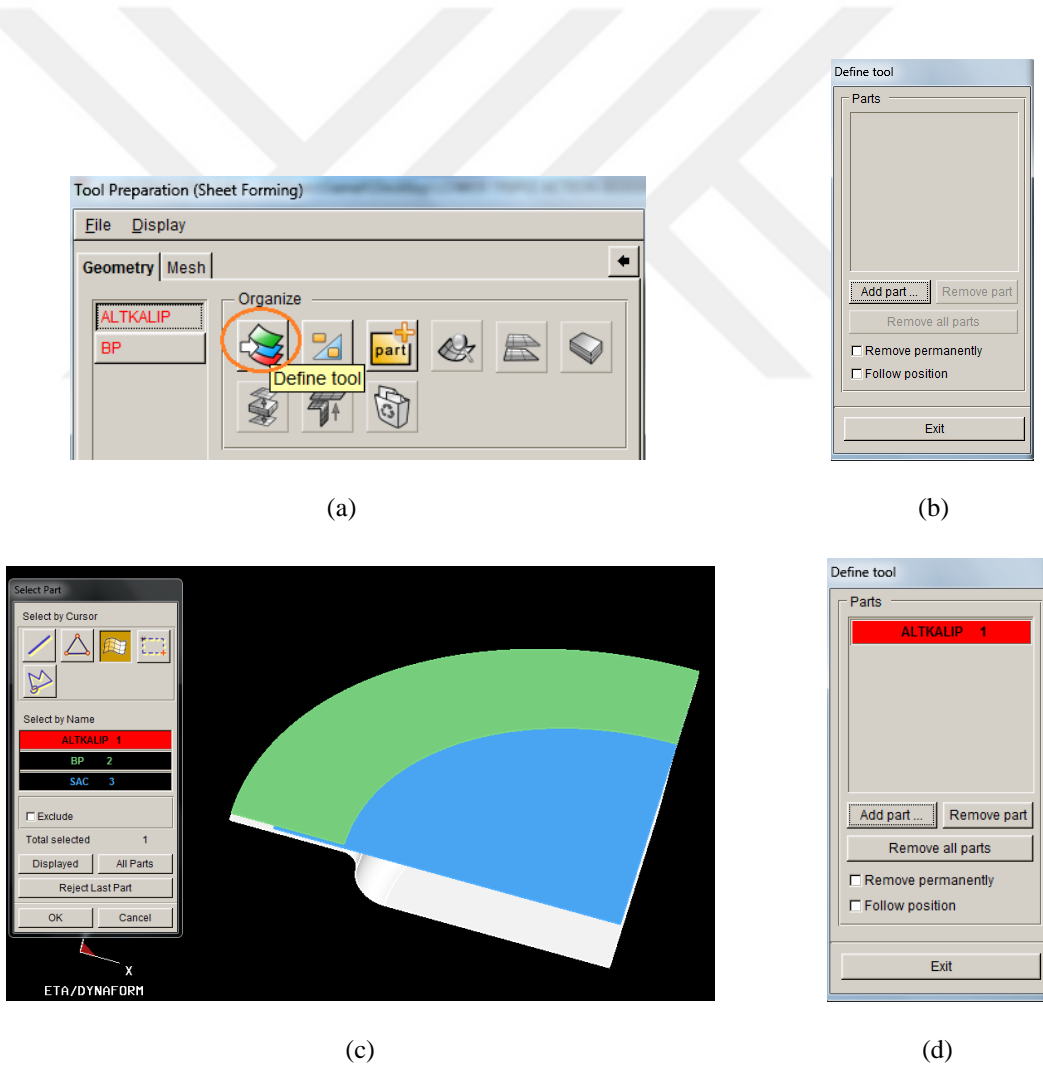
(c)

Şekil 3.11. a) Simetri türü tanımlanmadan önce menü görüntüsü, b) Simetri türü tanımlandıktan sonra menü görüntüsü ve c) Simetri düzlemlerinin kontrolü

3.1.6. Baskı plakası ve alt kalıbın tanıtılması

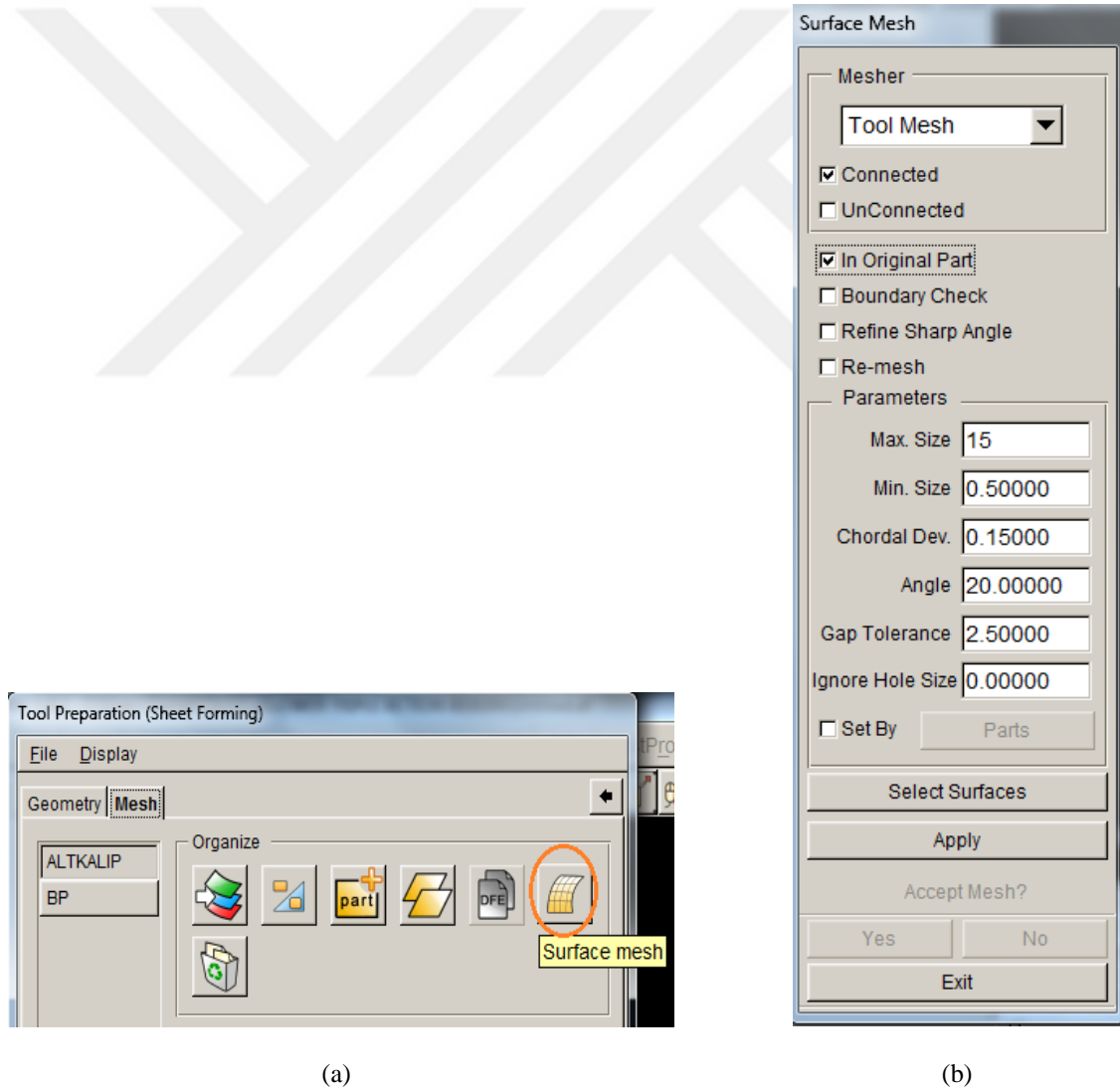
Bu kısımda baskı plakası ve alt kalıbın geometri tanımlama ve mesh işlemleriyle birlikte aralarındaki sürtünme katsayıları tanımlanmıştır.

Alt kalıp tanıtımında ilk öncelikle *Tools* menüsünden *Geometry* kısmından *Define geometry* sekmesi tıklanarak *Tool Preparation (Sheet Forming)* menüsü açılır. Buradan alt menüde bulunan *Geometry* ve *Define Tool* sekmeleri seçilerek *Define Tool* menüsü açılır. Bu kısımdan da sırasıyla *Add part* sekmesi tıklanır ve malzeme geometrisini tanımlayacağımız *Select Part* menüsünden alt kalıp bileşeni seçildikten sonra herhangi bir yanlışlık olup olmadığını seçtiğimiz bileşenin 3 boyutlu görüntüsünde parçanın normal rengi kırmızı iken beyaz renge dönüştüğünü teyit ederek “OK” tıklanarak tamamlanır. Yazılım otomatik olarak alt kalıp bileşenini tanıdığını göstermek için *Define Tool* menüsü tekrar otomatik olarak açılarak bileşenin ismi göstermektedir. Bu menüden de *Exit* tıklanarak malzemenin geometri tanımlama işlemi tamamlanır (Şekil 3.12).



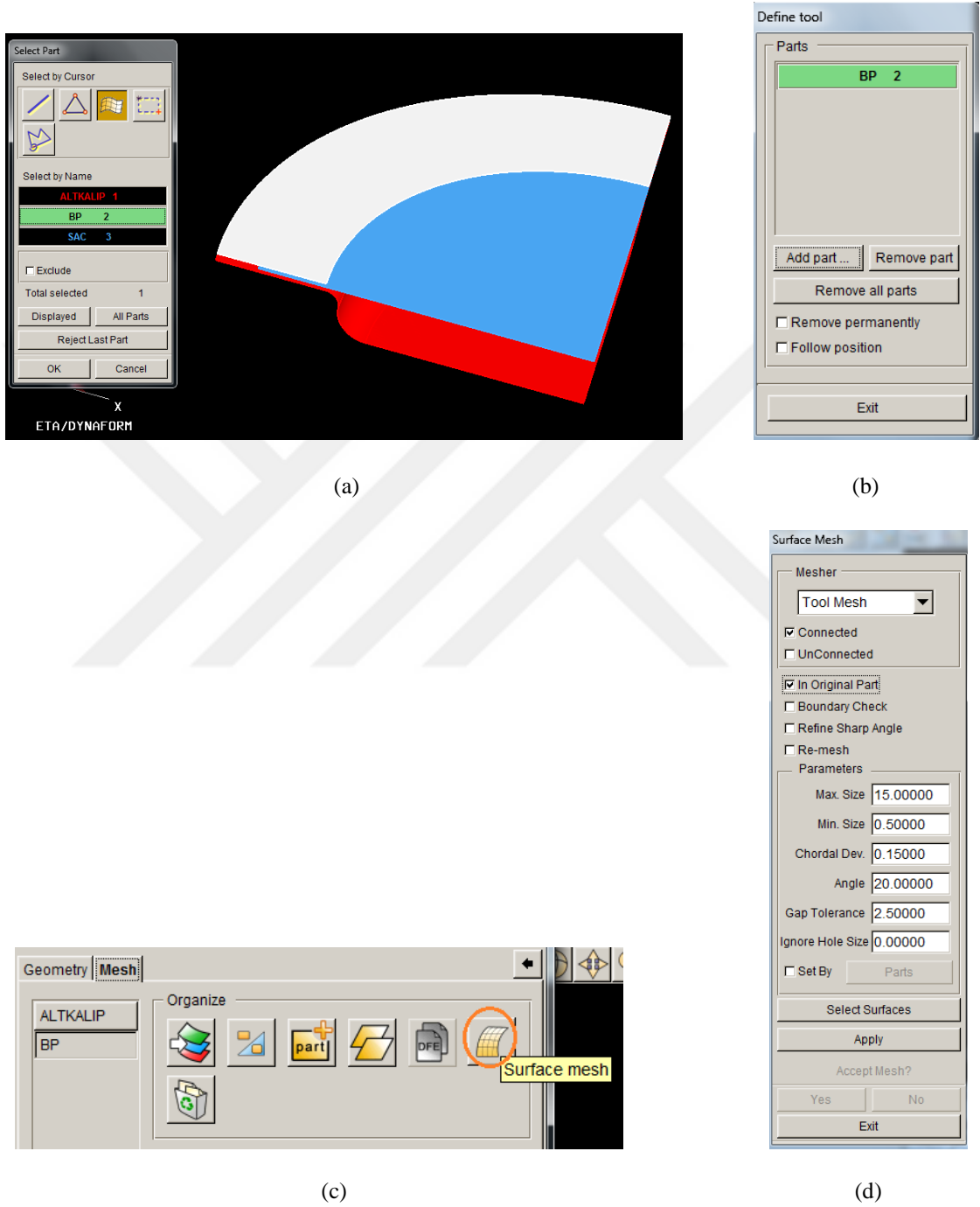
Şekil 3.12. a) Bileşen tanımlama sekmesi, b) Bileşen ekleme menüsü, c) Bileşen seçme menüsü ve d) Bileşen seçiminin tamamlanmasını gösteren menü

Alt kalıp tanımlama işlemi bitirildikten sonra mesh aşamasına geçilir. Burada *Tool Preparation (Sheet Forming)* menüsünün üst kısmından *Mesh* sekmesi tıklanarak *Surface Mesh* araç çubuğu seçilerek *Surface Mesh* menüsü açılır. *Surface Mesh* menüsünde *In Original Part* sekmesi seçilerek *Parameters* bölümünden *Max Size* 15 değeri verilerek *Apply* sekmesi tıklanır ve *Surface Mesh* menüsünün en alt kısmında pasif halde bulunan *Accept Mesh* sekmesi aktif hale gelir ve *Yes* sekmesi tıklanarak mesh tanımlama işlemi tamamlanır. Yazılım otomatik olarak bu değeri 30 olarak atamaktadır. Alt kalıp bileşeninin mesh büyüklüğü sonuçların hassasiyetine düşük seviyede etki göstereceği için maksimum mesh boyutu büyük bir değer tanımlanmıştır (Şekil 3.13).



Şekil 3.13. a) Yüzey mesh araç çubuğu ve b) Yüzey mesh tanımlama menüsü

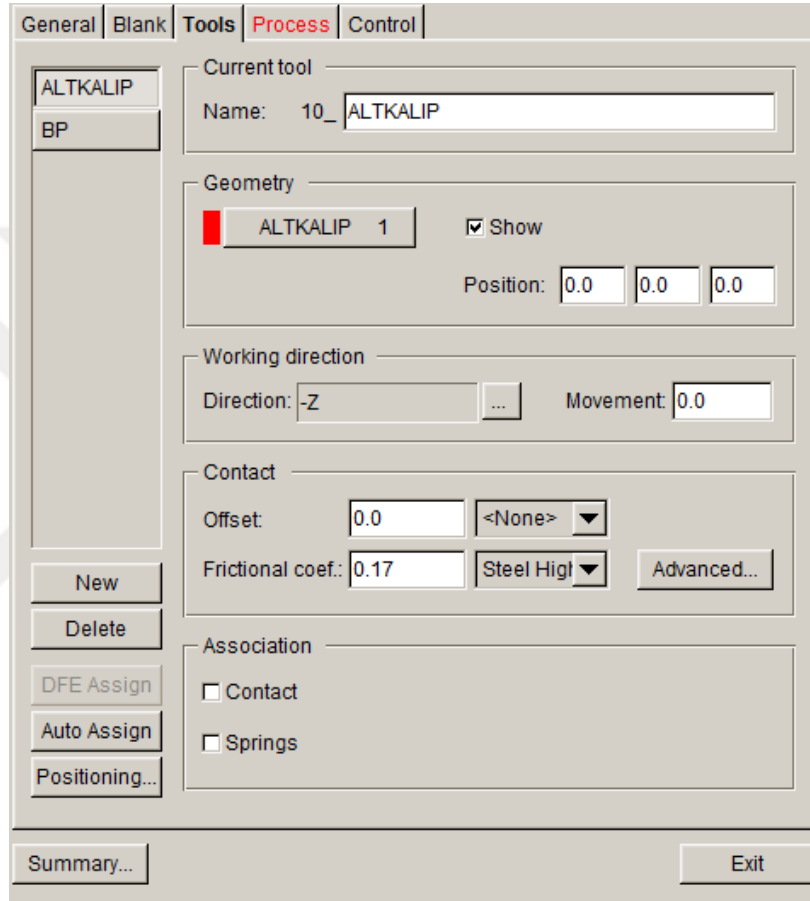
Baskı plakası geometri tanımlama ve mesh işlemi de alt kalıp mesh oluşturma işleminde olduğu gibi aynı yol izlenerek aynı değerler tanımlanır. Baskı plakası geometri tanımlama ve mesh işlemleri sonuçları Şekil 3.14' da gösterilmiştir.



Şekil 3.14. a) Bileşen seçme menüsü, b) Bileşen seçiminin tamamlanmasını gösteren menü, c) Yüzey mesh araç çubuğu ve d) Yüzey mesh tanımlama menüsü

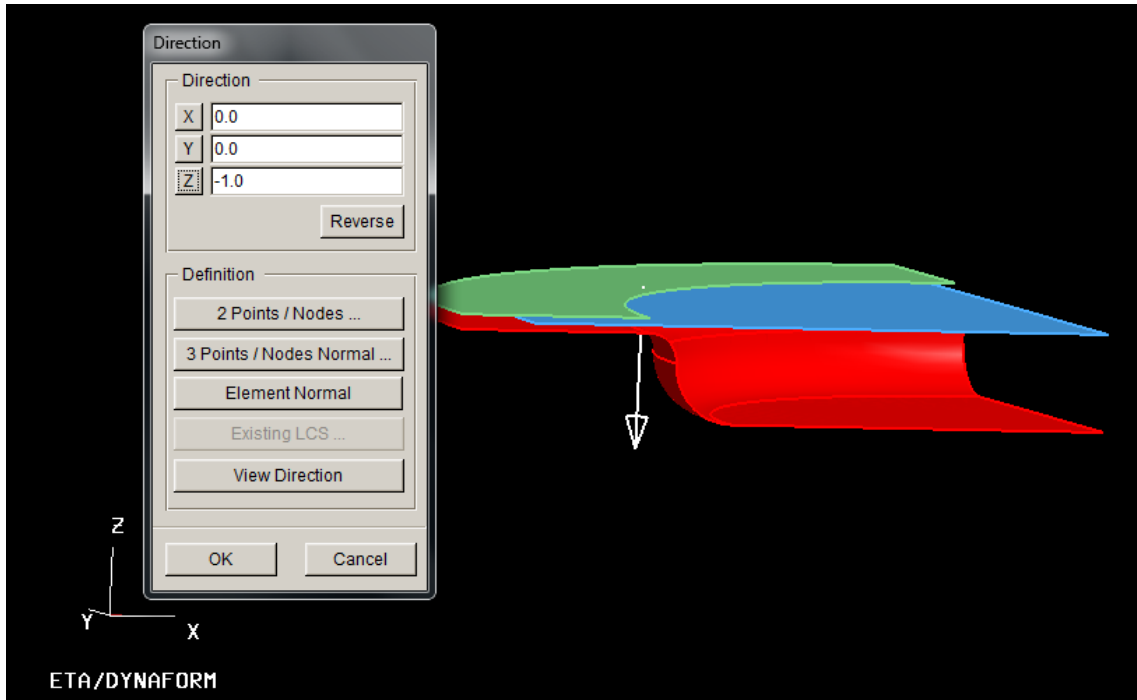
Dynaform sonlu elemanlar yazılımında her bir bileşenin hareket yönünü belirtmek gereklidir. Ancak alt kalıp proses süresince sabit olduğu için ilk öncelikle bir yön tayin

edilir fakat proses kısmında sabit olarak tanımlanır. Bu yüzden alt kalıbın *Working Direction* kısmına yazılımda *Tools* menüsünde $-z$ yönü tanımlanır. *Contact* kısmında *Offset* seçeneğinde bir düzenleme yapılmayacağı için *None* konumuna getirilir. Sürtünme katsayısı ise *Frictional Coefficient* kısmından *Steel High* 0,17 seçilerek sürtünme katsayısı değeri belirtilir. Buradaki sürtünme katsayısı alt kalıp ile sac malzeme arasındaki sürtünme katsayısıdır (Şekil 3.15).

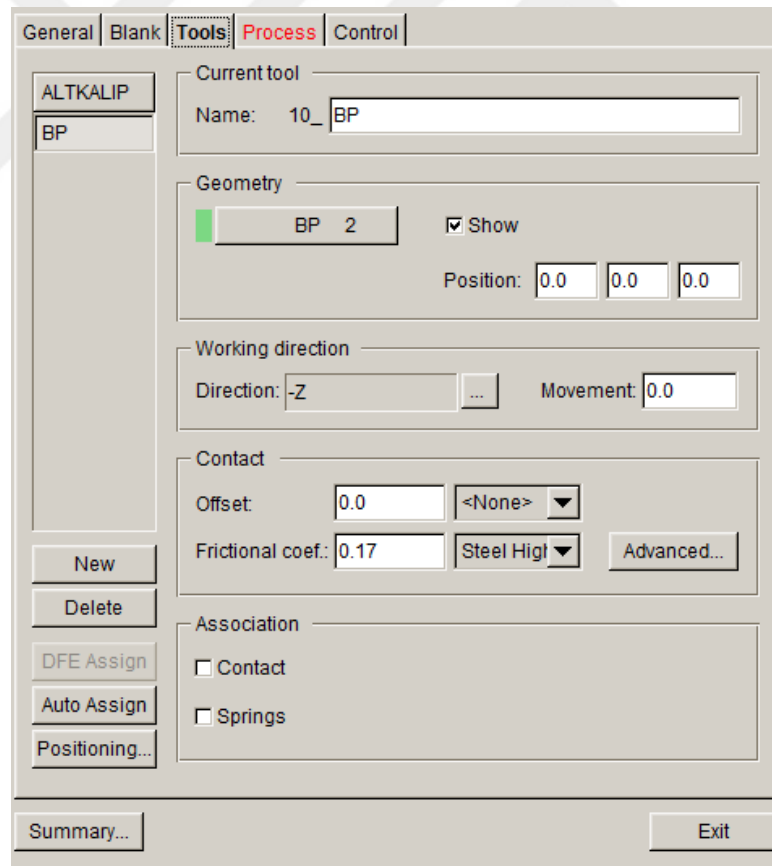


Şekil 3.15. Alt kalıbın hareket yönü ve sürtünme katsayısının tanımlanması

Baskı plakası proses esnasında sac malzemeye kuvvet uygulayacağından dolayı hareket yönü basma doğrultusunda ki $-z$ yönü *Working Direction* kısmından *Direction* menüsüne girilerek z sekmesine tıklanarak tanımlanır. Sürtünme katsayısı da *Contact* kısmından ilk önce *Offset* kısmı *None* konumuna getirilerek *Frictional Coefficient* kısmı *Steel High* seçilir. Buradaki sürtünme katsayısı da baskı plakası ile sac malzeme arasındaki sürtünme katsayısıdır (Şekil 3.16).



(a)



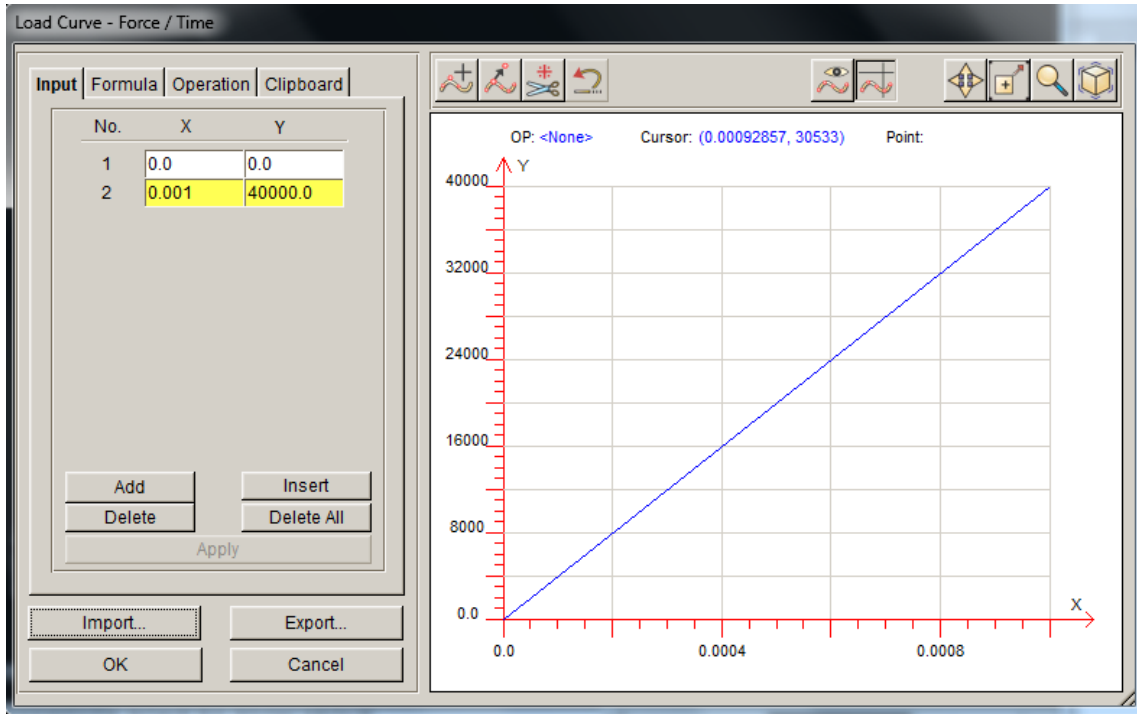
(b)

Şekil 3.16. a) Baskı plakası çalışma yönü tanıtmı ve b) Baskı plakasının hareket yönü ve sürtünme katsayısının tanımlanması

3.1.7. Proses parametrelerinin girilmesi

Sabit dişi kalıpla hidroşekillendirme prosesi kapama ve basınç olarak isimlendirdiğimiz iki aşamadan oluşmaktadır. Kapama aşamasında baskı plakası sac malzemeye bir kuvvet uygulanır. Basınç aşamasında ise sabitlenen sac malzemeye kalıp geometrisini oluşturmak için üstten sıvı basıncı uygulanır.

Baskı plakası ile kapama sırasında alt kalıp hareketsiz durmakta ve sac malzeme üzerine 40000 N'luk baskı plakası kuvveti uygulanmaktadır. Burada uygulanan baskı plakası kuvveti sac malzemede yırtılma olmayacak şekilde ve yüksek bir incelme değeri elde etmek için fazla miktarda verilmiştir. Bu proseste alt kalıp hareketsiz olduğu için *Process* menüsünden *Tool Control* bölümünden alt kalıp *Stationary* olarak tanımlanır. Baskı plakası da bu bölmeden *Force* konumuna getirilerek sırasıyla yanındaki sekmeden *Variable* ve *Edit* yolu izlenerek *Load Curve –Force/Time* menüsü açılır. Bu menüde ilk önce *Add* kısmından iki tane zaman-kuvvet eğrisini tanımlayacağımız bölme eklenir. İlk zaman olarak sıfırncı saniyede sıfır değeri verilir ve ikinci zaman olarak da 0,001 saniyede 40000 N'luk baskı plakasına kuvvetine ulaşması sağlanır. Bu eğri tanımlandıktan sonra *Apply* tıklanarak uygulanması sağlanır ve “OK” tıklanarak zaman-kuvvet eğrisi tanımlanır. Kapama süresi toplam 0,001 sn de gerçekleştiği için *Process* menüsünde *Duration* bölümünde *Type* sekmesi *Time* olarak tanımlanır ve *Time* sekmesine 0,001 yazılır. Kapama prosesinde en son olarak *D3plot* bölümünden kapama prosesinin sonuçlarını *Post-Processor* sonuç görüntüleme yazılımında kaç aşamada görmek istediğimizin tanıtma işlemi yapılır ve *Edit* kısmından *States* bölümünden *Total number* işaretlenerek *Total number* kutusuna 5 yazılır ve “OK” tıklanarak görüntüleme aşaması seçme işlemi tamamlanır (Şekil 3.17).



(a)

General | Blank | Tools | **Process** | Control

Current step
Name: 10_ KAPAMA Hydro

Tool control
Tools Action & Value
ALTKALIP Stationary
BP Force Edit... Variable -

Duration
Type: Time
Time: 0.001

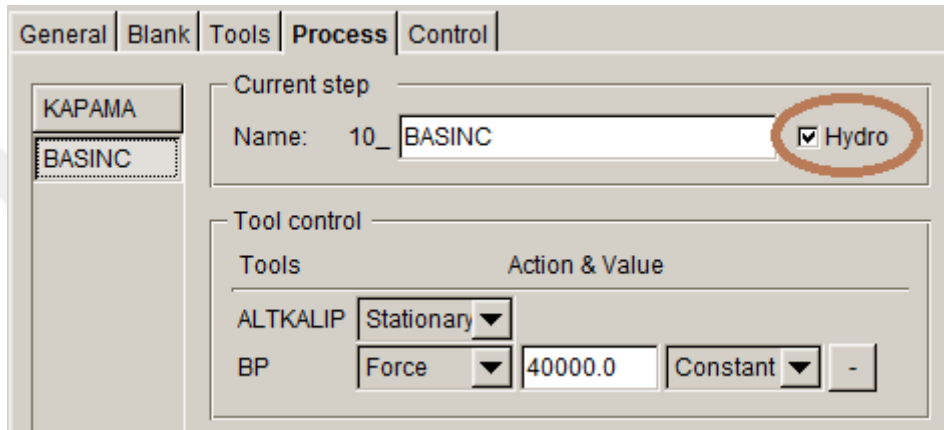
D3plot
Total number = 5 Edit...

New
Delete
SPCs(0)
Summary... Exit

(b)

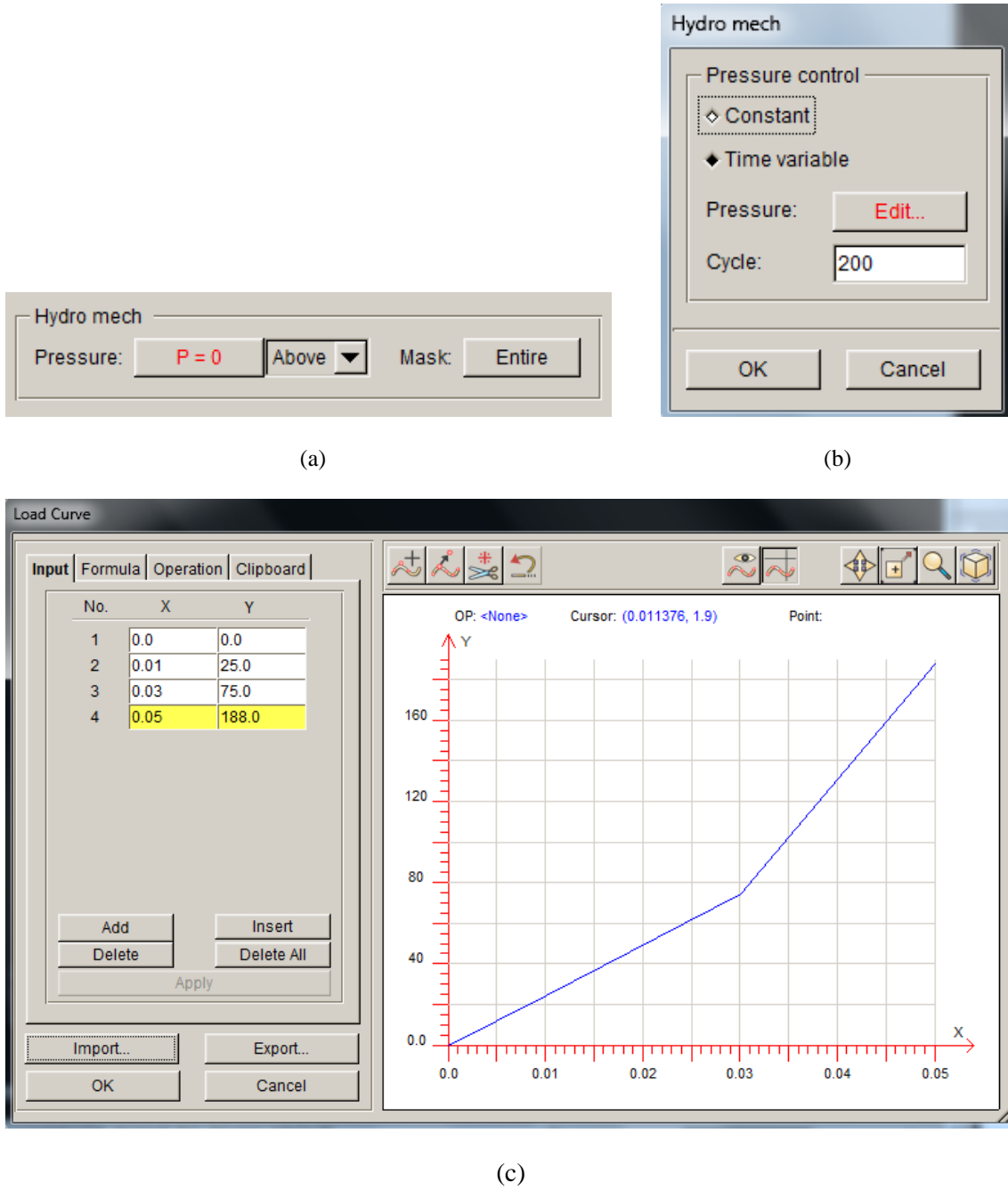
Şekil 3.17. a) Zaman-kuvvet eğrisinin tanımlanması ve b) Kapama prosesinin tanımlanması

Basınç aşamasında alt kalıp hareketsiz durmakta, baskı plakası 40000 N'luk sabit bir kuvvetle etki etmekte ve 188 MPa değerinde bir basınç sac malzemeyi şişirerek şekillendirmektedir. Basınç proses modellemede ilk önce *Process* menüsünden *Current step* bölümünden *Hydro* seçeneği işaretlenmelidir. Basınç etkisinde alt kalıp hareketsiz durduğu için *Tool control* bölümünden alt kalıp seçeneği *Stationary* seçilmelidir. Baskı plakası basınç süresince sabit olarak kuvvet uyguladığından dolayı *Tool control* bölümünde baskı plakası *Force* seçilmeli, 40000 N kuvvet değeri yazılmalı ve yan sekmesi *Constant* konumuna getirilmelidir (Şekil 3.18).



Şekil 3.18. Hydro sekmesi, alt kalıp ve baskı plakası durumlarının tanıtılması


Basınç değerini tanıtmak için *Process* menüsünde bulunan *Hydro mech* kısmından *Pressure P=0* yazan sekme tıklanır ve *Hydro mech* menüsü açılır bu kısımdan zamana bağlı basınç değerini tanımlayacağımız için *Pressure* kısmı *Edit* tıklanarak *Load Curve* menüsünden *Add* tıklanarak 4 bölme açılır. Sıfırıncı zamanda sıfır değeri verilir ve 0,01, 0,03, 0,05 saniyelerinde sırasıyla 25, 75, 188 MPa basınç değerleri tanımlanır. İlk önce dikkat edilmesi gereken husus, prosesin ilk başlarında sacda ani şişme ve patlamaya sebep olmayacak şekilde küçük bir basınç değerinin verilmesidir. 188 MPa basınç değeri ise sac malzemenin minimum şekillenmeye başladığı basınç olarak belirlenmiştir (Şekil 3.19).

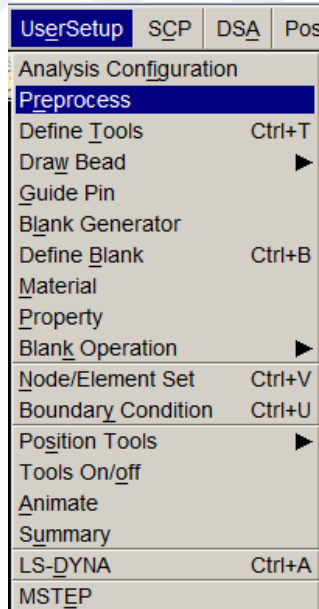


Şekil 3.19. a) Hydro mech menüsü, b) Basınç tanımlama menüsü ve c) Zaman-basınç dağılımının tanımlanması

Yazılımın kısa zaman aralıklarında büyük deformasyonları çözebileceğini belirtmiştik. Burada uygulanan zaman dilimleri gerçek proses süreleriyle doğru orantı kurularak her bir zaman diliminin gerçek prodesteki zaman dilimlerine karşılık gelen basınç değerleri hesaplanarak uygulanmalıdır.

Şu anki haliyle sıvı basıncı sacın tüm yüzeyine uygulanacaktır. Bu durumda baskı plakası kapama kuvveti de artış gösterecektir. Gerçekte sıvı basıncı sacın kalıp boşluğunun izdüşümüne uygulanmaktadır. Bu durumda sabit bir izdüşümü

tanımlanması yapmak gerekecektir. Bunu yapmak için, sıvı basıncının Şekil 3.19 (a) menüsünde bulunan *Mask* sekmesi ile basınç bölgesi tanımlanmalıdır. Bunun için önce *Sheet Forming* menüsü *Exit* tıklanarak kapatılır. Yalnızca baskı plakası bileşeni açık tutularak araç çubuğunda  simgesi tıklanarak üstten bakış sağlanır. Sağ alt menüden yalnızca *Nodes* seçilerek düğüm noktalarının görüntülenmesi sağlanır. Burada baskı plakası bileşeninden faydalanmamızın sebebi sac malzemeye uygulanacak basıncın; baskı plakası çeyrek çemberin iç kısmından merkeze doğru uzanan bölgeye uygulanacak olmasından kaynaklanmaktadır. Ana menüden bu bölgeyi tanımlamak için sırasıyla *UserSetup*, *Preprocess* yolu izlenerek *Preprocess* menüsü açılır. Buradan *Line* menüsünden *Create* araç çubuğu seçilir. Çizilecek çizgilerin koordinatını tanımlayacağımız *Input Coordinate* menüsü açılır. Burada baskı plakası iç çeyrek çemberinin uç kısımlarındaki düğüm noktalarından x ve y ekseninde çizgi tanımlamak için yazılımın belirlediği x ve y değerleri çizilecek yöne göre toplama veya çıkarmak yapılarak uç düğüm noktalarına tıklanır. Hesaplanan değerler sırasıyla x ve y için *Input Coordinate* kısımlarına yazılır ve “OK” tıklanarak tamamlanır (Şekil 3.20).



(a)




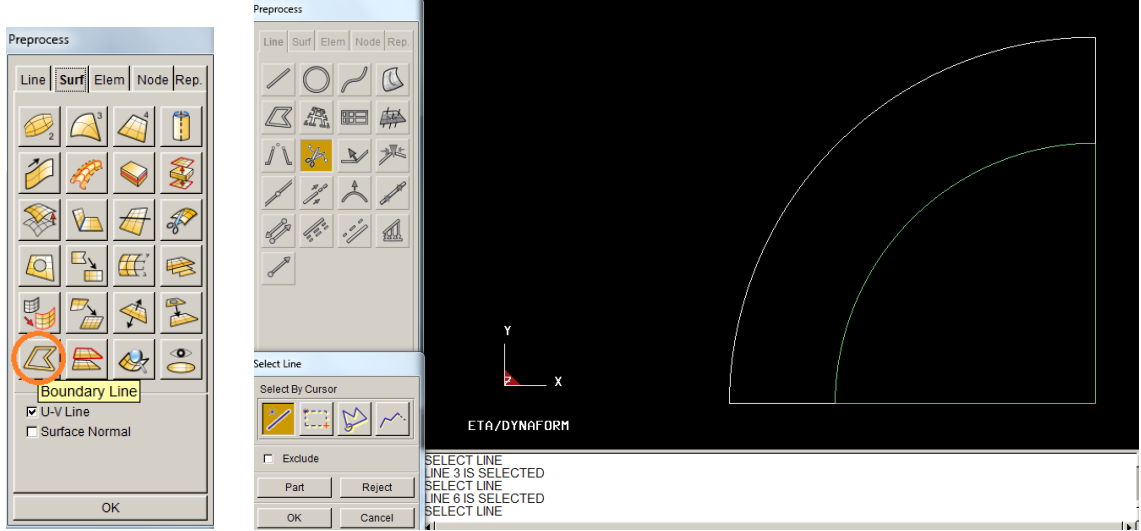
(b)



(c)

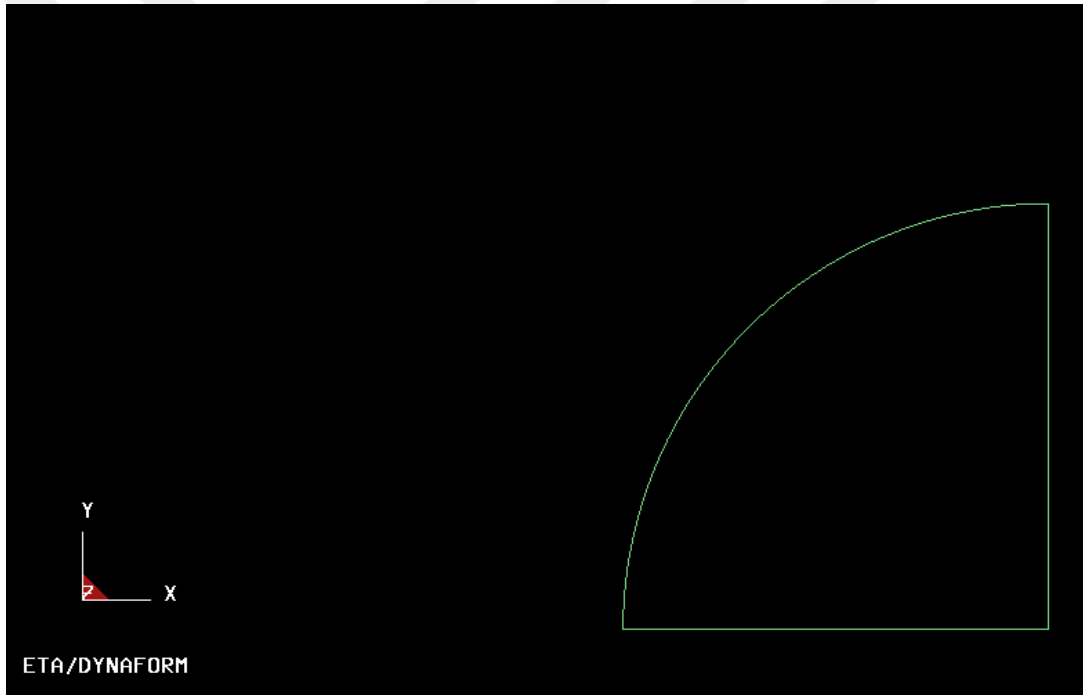
Şekil 3.20. a) User Setup menüsü, b) Çizgi oluşturma menüsü ve c) Koordinat tanımlama

Son olarak baskı plakası çeyrek çemberin iç bölgesi çizgi haline dönüştürülerek basınç bölgesinin nihai alanı tamamlanacaktır. Bütün bileşenler yazılımda yüzey olarak modellendiği için baskı plakası yüzeyini sınır çizgilerini oluşturacağımız *Preprocess* menüsünden *Surf* kısmı tıklanır ve *Boundry Line* araç çubuğu seçilir. *Boundry Line* menüsü açıldıktan sonra *Select Surfaces* sekmesi tıklanır ve baskı plakası bölgesinin sınırladığı alanın herhangi bir noktasına tıklanarak “OK” tıklanır ve *Boundry Line* menüsü tekrar otomatik açılır. Buradan sırasıyla *Apply* ve *Close* yolu izlenerek baskı plakası sınır çizgileri elde edilir. Buradan baskı plakası iç çember kısmı haricinde oluşan diğer sınır çizgilerini *Preprocess* menüsünden *Line* kısmına tekrar gelinerek  araç çubuğu seçilir ve basınç bölgesinin harici çizgiler belirtilir ve “OK” tıklanarak basınç bölgesi alanının çizimi tamamlanır (Şekil 3.21).



(a)

(b)

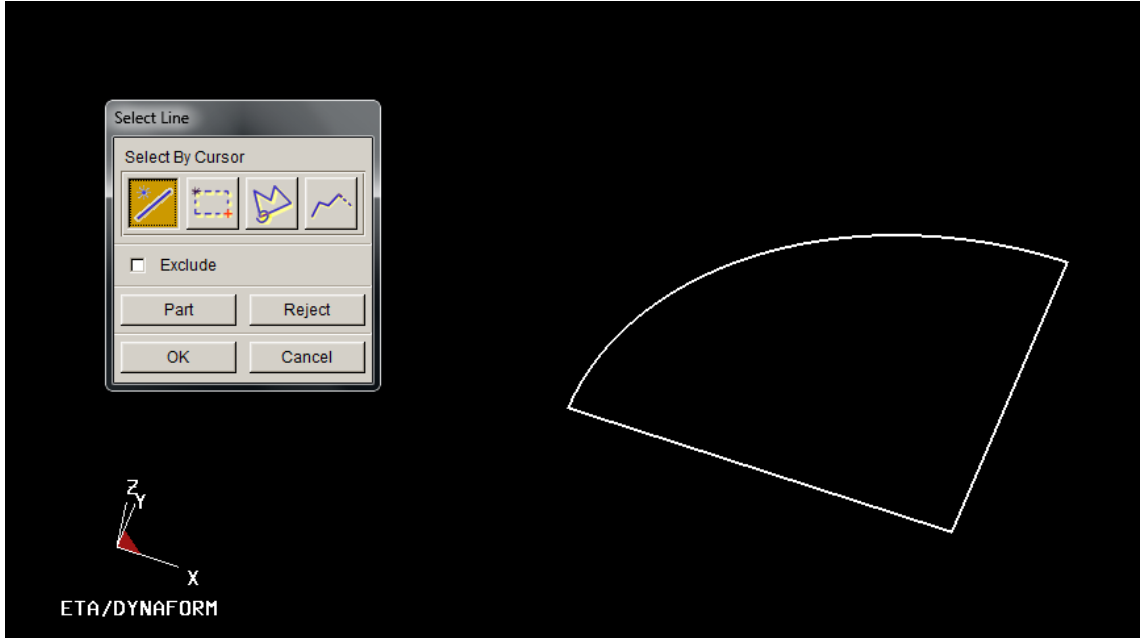


(c)

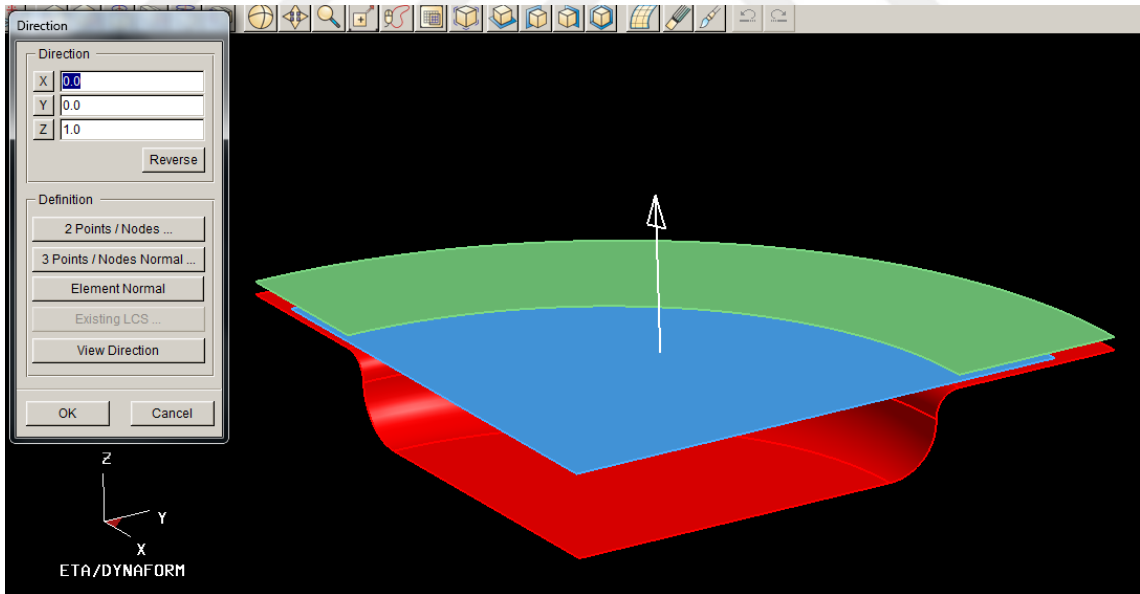
Şekil 3.21. a) Yüzey modelden sınır çizgileri oluşturma menüsü, b) Sınırları oluşturulan baskı plakasının fazla sınırlarının silinmesi ve c) Basınç alanının geometrisi

Basınç alanının geometrisi oluşturulduktan sonra yazılımın ana menüsünden *AutoSetup*, *Sheet Forming*, *Process* yolu izlenerek basınç geometrisini tanımlayacağımız *BASINC* prosesi menüsü yeniden açılır. Buradan *Hydro Mech* bölümünden *Mask* kısmının *Entire* sekmesi seçilir. *Mask* menüsü açıldıktan sonra *Loop* bölümünden *Lines* seçilir ve oluşturduğumuz basınç geometrisi tek tek seçilir ve *Select Line* menüsü “OK” tıklanarak basınç alanı tanımlama işlemi tamamlanır. Bu adımdan

sonra tekrar *Mask* menüsüne dönülerek *Direction* kısmından *Projecting Direction* sekmesinden basıncın geleceği yön z ekseninde tanımlanarak basınç gelme yönü tanımlanır (Şekil 3.22).



(a)



(b)

Şekil 3.22. a) Basınç alanının tanıtılması ve b) Basınç yönünün tanıtılması

Basınç alanı tanımlandıktan sonra *Mask* kısmındaki *Entire* sekmesi modelimiz çeyrek model olduğu için *Partial* şekline dönüşmüştür.

Basınç prosesinde en son proses süresi *Duration* ve görüntüleme adımlarının tanımlanacağı *D3Plot* bölümlerinin tanımlanması kalmıştır. Basınç prosesini 0.05 saniye olarak tanımladığımız için *Duration* bölümünde ki *Type* kısmı *Time* olarak seçilir ve proses zamanı *Time* bölümüne 0.05 olarak tanımlanır. Basınç prosesinin adımlarını daha fazla aşamada görüntülemek için *D3Plot* bölümünden *Edit* sekmesi tıklanarak *States* bölümü *Total number* konumuna getirilir ve 50 değeri verilerek basınç prosesinin tüm parametreleri tamamlanmış olur (Şekil 3.23).

Şekil 3.23. Basınç prosesinin tanımlanması

3.2. Hareketli Dişi Kalıpla Sac Hidroşekillendirme Prosesinin Modellenmesi

Sabit kalıpla sac hidroşekillendirme prosesi için yapılan analiz sonunda parça, hareketli dişi kalıp kullanılarak da üretilmiştir. Hareketli dişi kalıpla sac

hidroşekillendirme bileşenleri; baskı plakası, sac malzeme, üst kalıp ve hareketli dişi kalıptan oluşmaktadır. Burada modelleyeceğimiz proses parametreleri sabit dişi kalıpla yapılan proses parametreleriyle aynıdır. Çünkü sabit dişi kalıpla yapılan proses sonuçları ile hareketli dişi kalıp kullanarak yapılan proses sonuçları karşılaştırılacak ve iki proses arasındaki fark incelenecektir. Bu farklılıkları belirlemenin en uygun yöntemi ise aynı sınır koşullarına sahip proseslerin farklı bir metot uygulanarak değerlendirilmesinden geçmektedir. Bu yeni metottaki tek farklılık sabit dişi kalıbın yerine hareketli dişi kalıbın kullanılmasıdır.

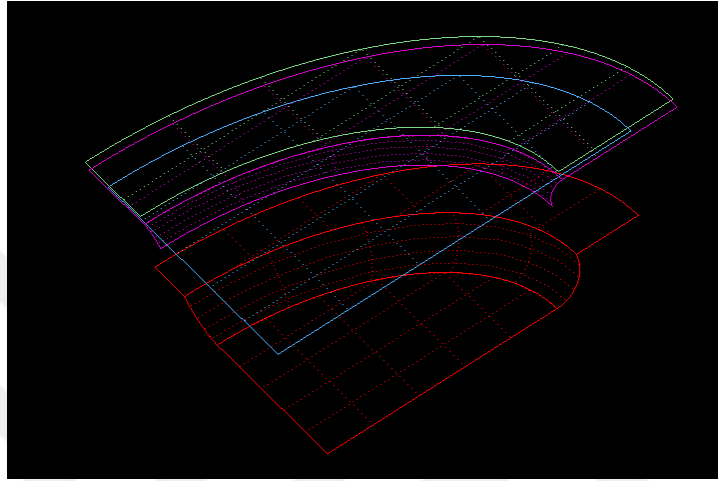
Hareketli dişi kalıpla sac hidroşekillendirme prosesi bileşenlerinden hareketli dişi kalıp, kesit geometrisi verilen dişi kalıbın 4 mm'lik radyüsünü kapsayacak şekilde 3B modelleme yazılımında çeyrek yüzey olarak modellenmiştir. Üst kalıp ise dişi kalıbın 2 mm'lik radyüs ve flanş bölgesini kapsayacak şekilde çeyrek model yüzey olarak oluşturulmuştur. Baskı plakası ve sac malzemede çeyrek model düzlemsel yüzey olarak modellenmiştir. Sac malzeme kalınlığı 1 mm olduğu için montaj kısmında baskı plakası ile üst kalıp arası 1 mm olarak modellenmiş ve sac malzeme ikisinin orta kısmına 0.5 mm (üst kalıp ve baskı plakasına mesafesi olacak şekilde) modellenmiştir. Hareketli dişi kalıp ise üst kalıp ile mesafesi 6 mm olacak şekilde modellenmiştir. Ayrıca bileşenlerin kenarları x ve y düzlemlerine paralel olacak şekilde modellenmiştir. Şekil 3.24'de yüzey modelleri oluşturulan hareketli dişi kalıpla sac hidroşekillendirme prosesinin bileşenleri çeyrek model olarak gösterilmektedir.



Şekil 3.24. Hareketli dişi kalıpla sac hidroşekillendirme prosesinin bileşenleri ve yüzey montajı

3.2.1. Proses bileşenlerinin import edilmesi

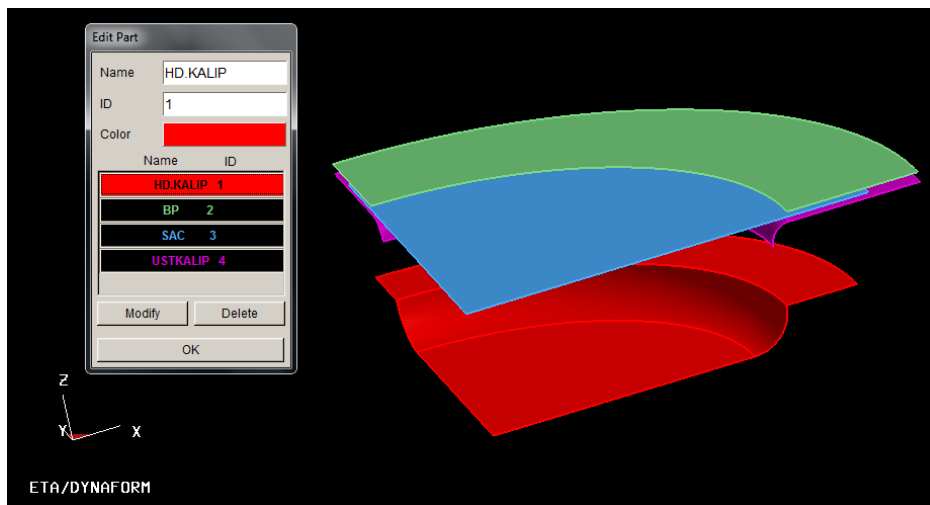
İlk olarak “.igs” uzantılı oluşturduğumuz dosyayı sonlu elemanlar yazılımı menüsünden sırasıyla *File, Import* yolu izlenerek “.igs” uzantılı dosya kaydedilen klasör konumundan “OK” tıklanarak sonlu elemanlar yazılımının ara yüzünde görüntülenir (Şekil 3.25).



Şekil 3.25. Import edilen dosyanın program ara yüzünde görüntülenmesi

3.2.2. Proses bileşenlerinin tanıtılması

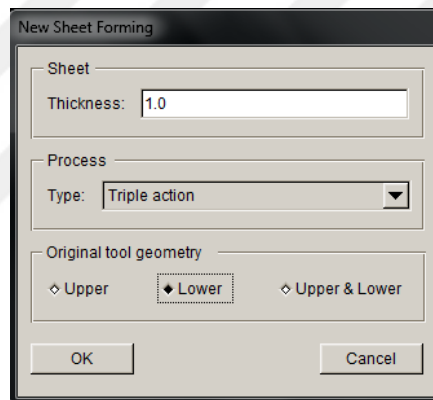
Edit part menüsündeki bölümlere en fazla 8 karakter yazılabildiği için hareketli dişi kalıp ‘HD.KALIP’, baskı plakası da ‘BP’ olarak tanıtılmıştır (Şekil 3.26).



Şekil 3.26. Proses bileşenlerinin tanıtılması

3.2.3. Temel proses parametrelerinin tanıtılması

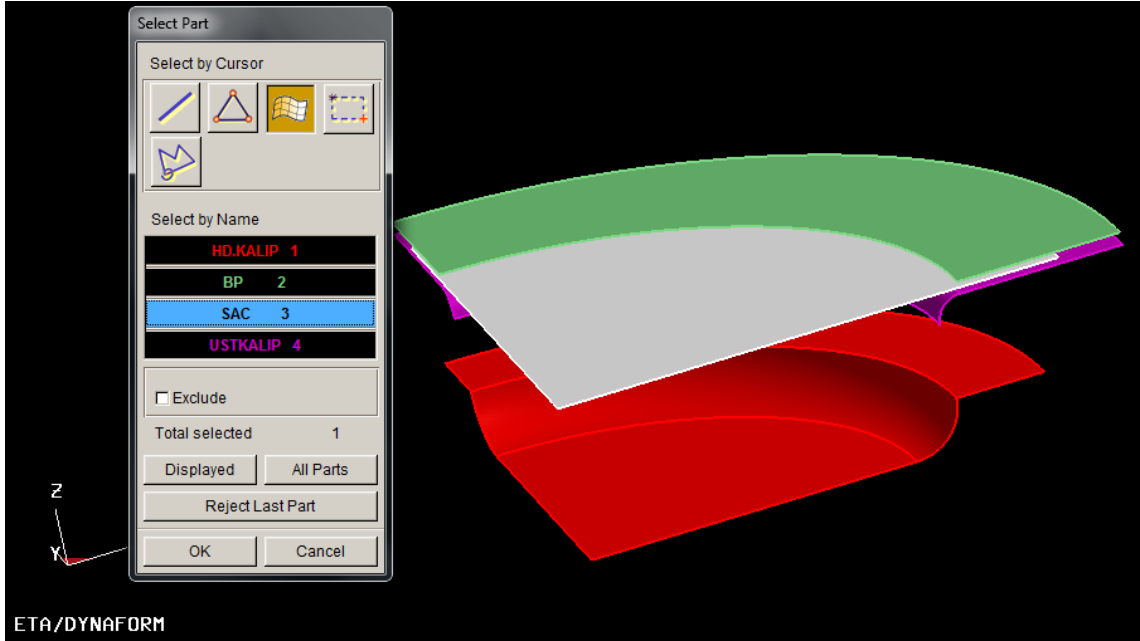
Sac malzemenin kalınlığı 1 mm olduğu için *Sheet* kısmında bulunan *Thickness* değerine 1 yazılır. *Process* kısmında bulunan *Type* bölümünde *Triple Action* sekmesi seçilir. Bu proses üç etkili bir prosestir. Çünkü bu proseste hareketli dişi kalıp kullanıldığından dolayı sabit dişi kalıpla yapılan hidroşekillendirme metodundan bu sebeple ayrılmaktadır. Burada birinci etki baskı plakasının sac malzemeye uyguladığı kuvvetten dolayı oluşan etkidir. İkinci etki ise sıvı basıncının sac malzemeye uyguladığı basınç etkisidir. Üçüncü etki ise hareketli dişi kalıbın kullanılmasından kaynaklanmaktadır. *Original tool geometry* yine benzer şekilde sac malzeme alt bölgenin formunu alacağı için *Lower* seçilir ve temel proses parametrelerin tanımlanması “OK” tıklanarak tamamlanır (Şekil 3.27).



Şekil 3.27. Temel proses tanıtma menüsü

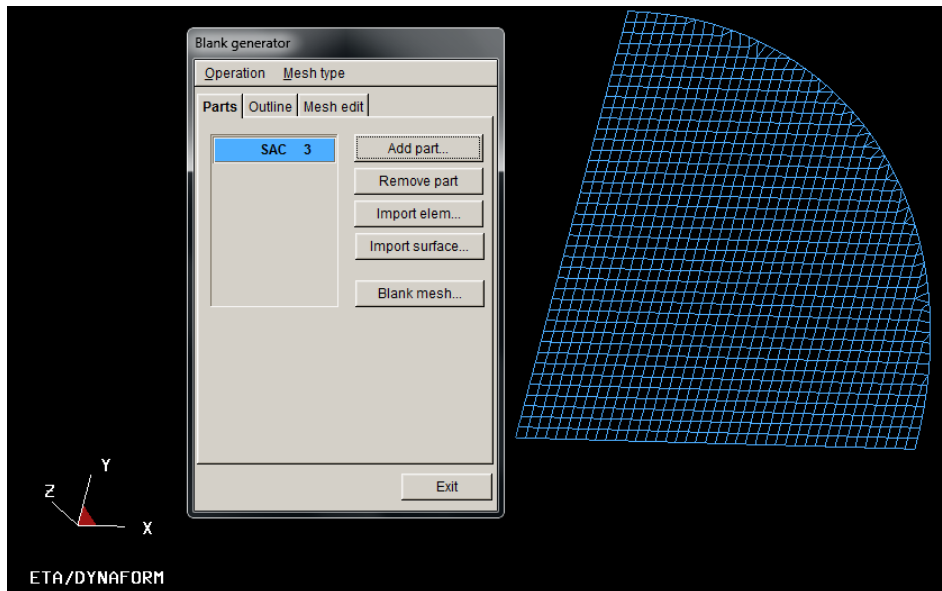
3.2.4. Sac malzeme seçimi ve sonlu elemanlar ağının oluşturulması

İlk önce sac malzeme seçimi için *Blank, Define geometry* yolu izlenir. Bu kısımda *Blank generator* menüsü açılır ve bu menüden *Add part sekmesi* tıklanarak *Select Part* menüsü açılır. Bu menüden “SAC” isimli parça tıklandıktan yazılımın uygun malzemeyi seçip seçmediği renk değişiminden teyit edilerek (mavi renkte olan sac malzemenin renginin değişmesi) “OK” tıklanır ve sac malzeme tanıtma işlemi tamamlanır (Şekil 3.28).



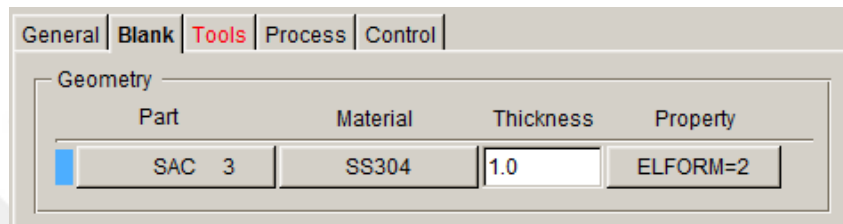
Şekil 3.28. Sac malzeme seçme menüsü

Sac malzeme seçimini yaptıktan sonra *Blank generator* menüsü otomatik olarak açılır ve bu kısımda tanımladığımız sac malzeme adı görüntülenir. *Blank generator* menüsünün alt kısmında bulunan *Blank mesh* seçmesi tıklanarak mesh işleminin yapıldığı menü açılır ve bu kısımda *Element size* sekmesine önceki modelimizde tanımladığımız gibi 1 değeri tanımlanarak mesh işlemi tamamlanır (Şekil 3.29).

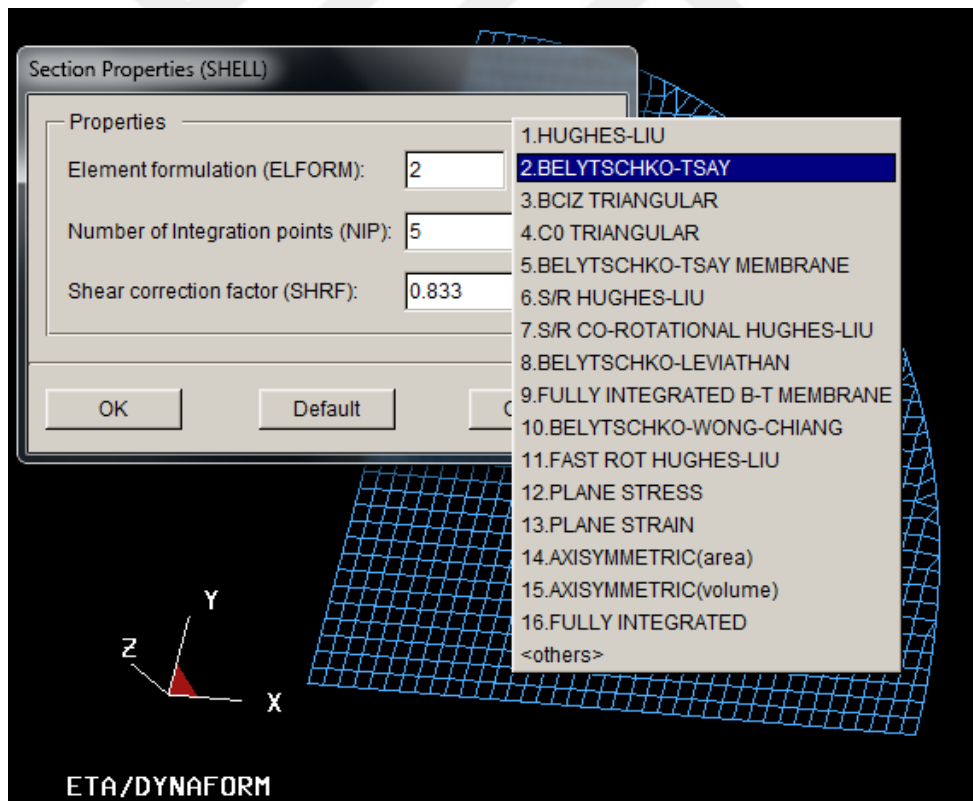


Şekil 3.29. Sac malzemenin mesh görüntüsü

Mesh tanımlama işleminden sonra *Blank generator* sekmesinden *Exit* tıklanarak *Sheet Forming* menüsü tekrar açılır ve *Geometry* alt menüsünden *Blankmat*, *Material* yolu izlenerek *Material* menüsü açılmaktadır. Buradan *Material Library* tıklanarak önceki modelimizde seçilen SS304 malzemesi yazılım kütüphanesinden seçilir. Malzeme kalınlığı 1 mm olarak *Thickness* bölümüne yazılır. *Blank* ana menüsünden *Property* kısmından *ELFORM* sekmesine tıklanır ve önceki modelimizde tanımlanan BELYTSCHKO-TSAY eleman formülasyonu seçilerek *Number of integration points* sekmesine 5 değeri tanımlanır.(Şekil 3.30).





(a)



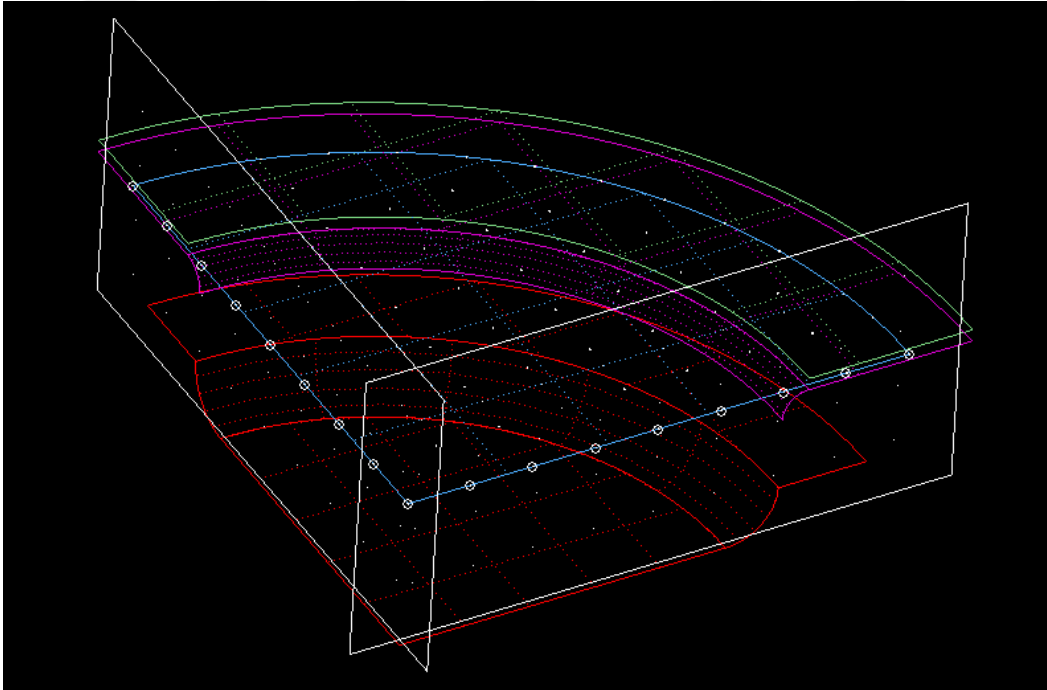
(b)

Şekil 3.30. a) SS 304 malzeme seçimi ve kalınlığın tanıtılması ve b) Eleman formülasyonunun ve integrasyon noktasının tanımlanması

3.2.5. Simetri özelliğinin tanıtılması

Blank menüsünde son olarak simetri türü tanımlanır. Burada *Symmetry Type* kısmından *Define* seçilir. *Symmetry Plane* menüsü görüntüledikten sonra üst araç çubuğundan *Quarter Symmetry* seçilir ve *Select point(s)* sekmesi tıklanır. Burada *Input Coordinate* menüsü açılır. Burada çeyrek modelin koordinatları, malzemenin düğüm noktalarından faydalanılarak yapılır. Öncelikle yalnızca sac malzemenin görüntüsünü elde etmek için sonlu elemanlar yazılımı ara yüzünde üst kısımda bulunan araç çubuğundan *Turn Part On/Off*  simgesi tıklanarak “SAC” bileşeni seçilir ve diğerleri kapatılır. Üstten görünüş için ise benzer şekilde sonlu elemanlar yazılımı ara yüzünde bulunan  simgesi tıklanır. Sonlu elemanlar yazılımı ara yüzünde ki *Nodes* sekmesi işaretlenerek sadece mesh işlemi yapılan sac malzemenin düğüm noktaları görüntülenir. Merkez noktadaki düğüm noktası tıklanarak çeyrek modelin düzlemleri tanımlanarak simetri türü tanımlama işlemi tamamlanır.

Simetri düzlemini 3 boyutlu olarak kontrol etmek için *Blank* menüsünden *Symmetry, Define* yolu izlenir (Şekil 3.31).

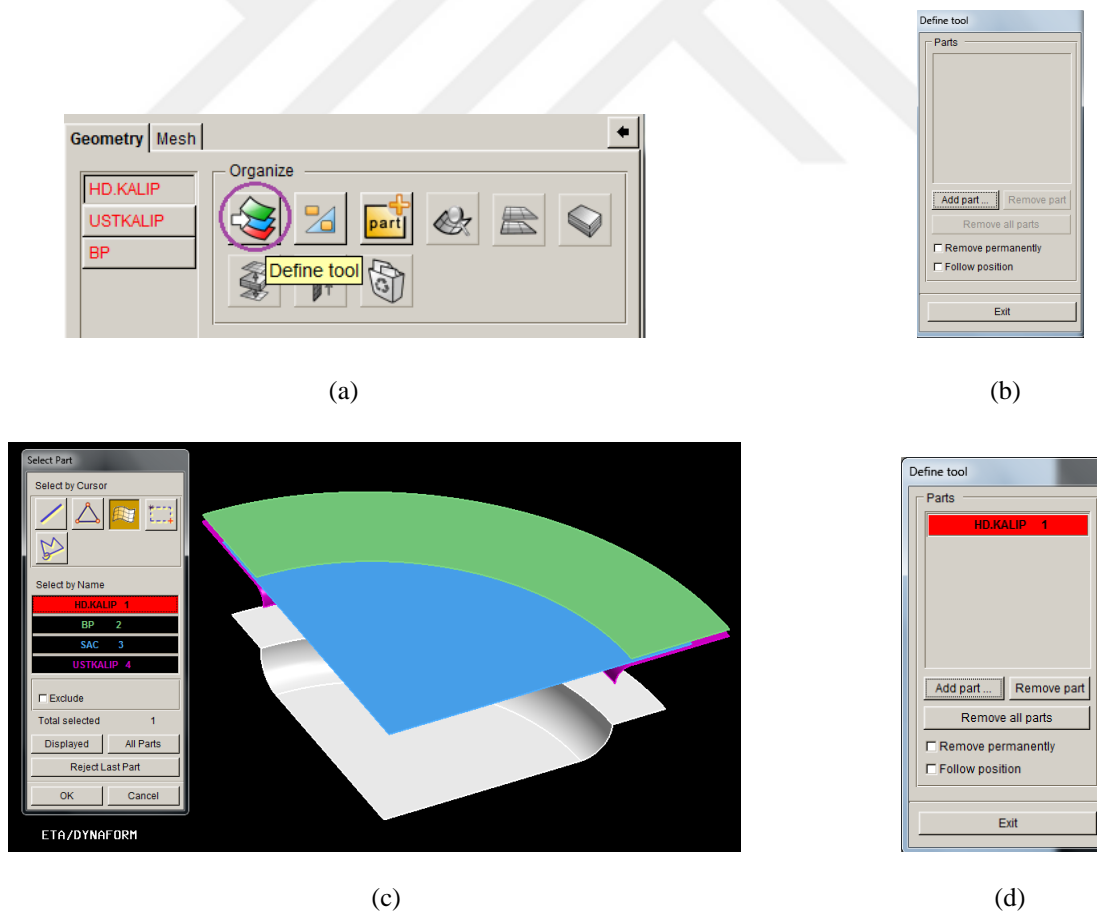


Şekil 3.31. Simetri düzlemlerinin kontrolü

3.2.6. Hareketli ve diğer kalıpların tanıtılması

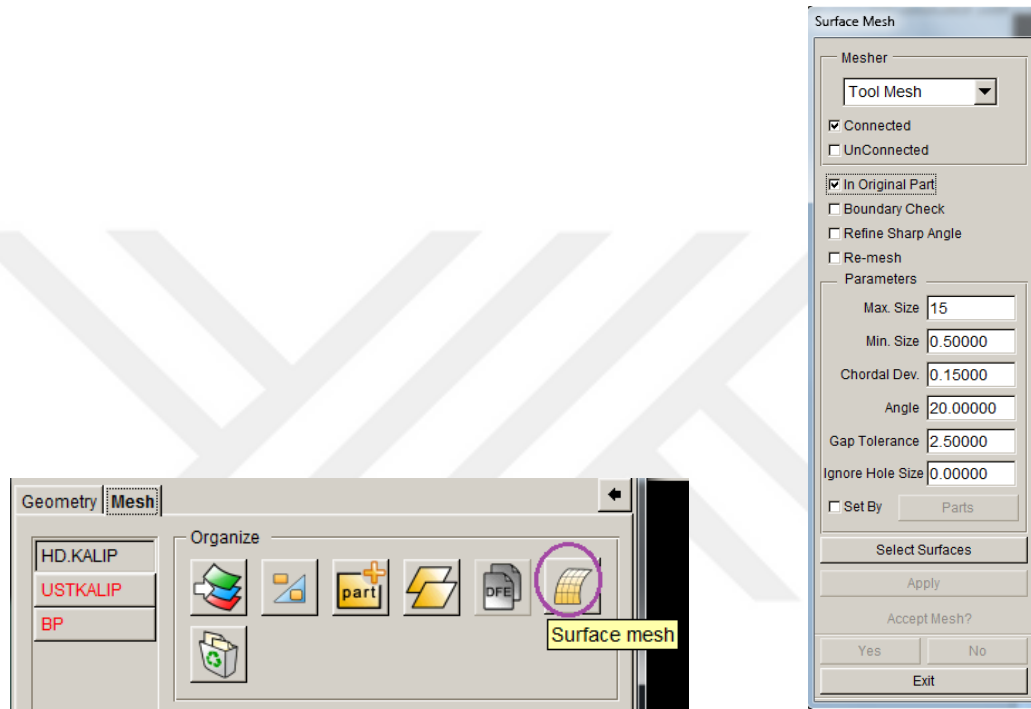
Bu bölümde baskı plakası, üst kalıp ve hareketli dişi kalıp geometrilerini tanımlama ve mesh işlemleriyle birlikte aralarındaki sürtünme katsayıları tanımlaması yapılmıştır.

Hareketli dişi kalıp tanımlamamızda ilk öncelikle *Tools, Geometry, Define geometry* yolu izlenerek *Tool Preparation (Sheet Forming)* menüsü görüntülenir. Buradan *Geometry* ve *Define Tool* sekmeleri seçilerek *Define Tool* menüsü açılır. Bu kısımdan da sırasıyla *Add part, Select Part* yolu izlenerek hareketli dişi kalıp seçilir ve doğru bileşeni seçip seçmediğimizi, bileşenin 3 boyutlu görüntüsünde parçanın normal rengi kırmızı iken renk değişimine uğradığı teyit edilerek “OK” tıklanarak tamamlanır. Malzeme bileşenin tanımlanmasını *Define Tool* menüsü tekrar otomatik olarak açılarak göstermektedir. Bu menüden de *Exit* sekmesi tıklanarak malzemenin geometri tanımlama işlemi tamamlanır (Şekil 3.32).



Şekil 3.32. a) Bileşen tanımlama sekmesi, b) Bileşen ekleme menüsü, c) Bileşen seçme menüsü ve d) Bileşen seçiminin tamamlanmasını gösteren menü

Hareketli dişi kalıp tanımlama işleminden sonra mesh aşamasına geçilir. Burada *Mesh* sekmesi tıklanarak *Surface Mesh* araç çubuğu seçilir. *Surface Mesh* menüsünde *In Original Part* sekmesi tıklanarak *Parameters* bölümünden *Max Size* bölümüne önceki modelde tanımladığımız gibi 15 değeri verilerek *Apply* sekmesi tıklanır ve *Surface Mesh* menüsünde pasif halde bulunan *Accept Mesh* sekmesi aktifleşir ve *Yes* sekmesi tıklanarak mesh oluşturma işlemi tamamlanır (Şekil 3.33).

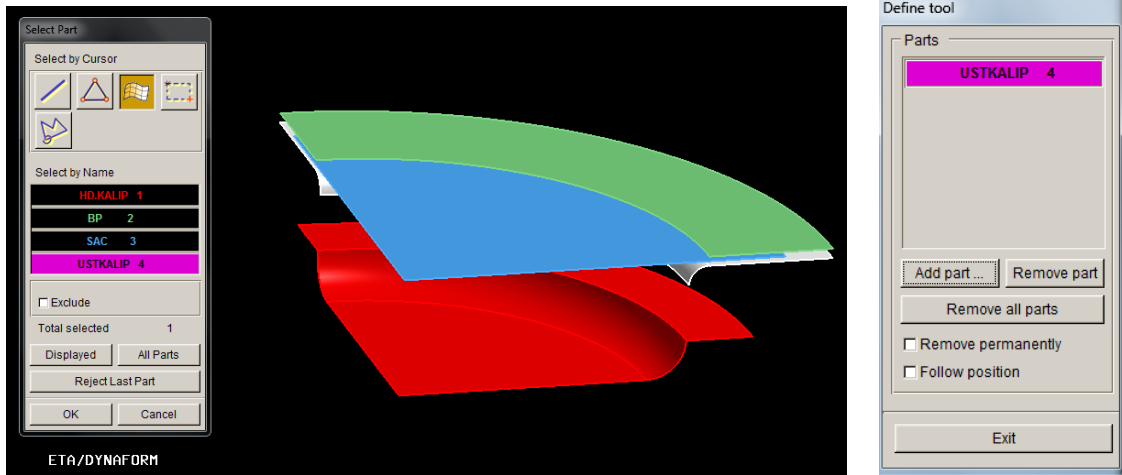


(a)

(b)

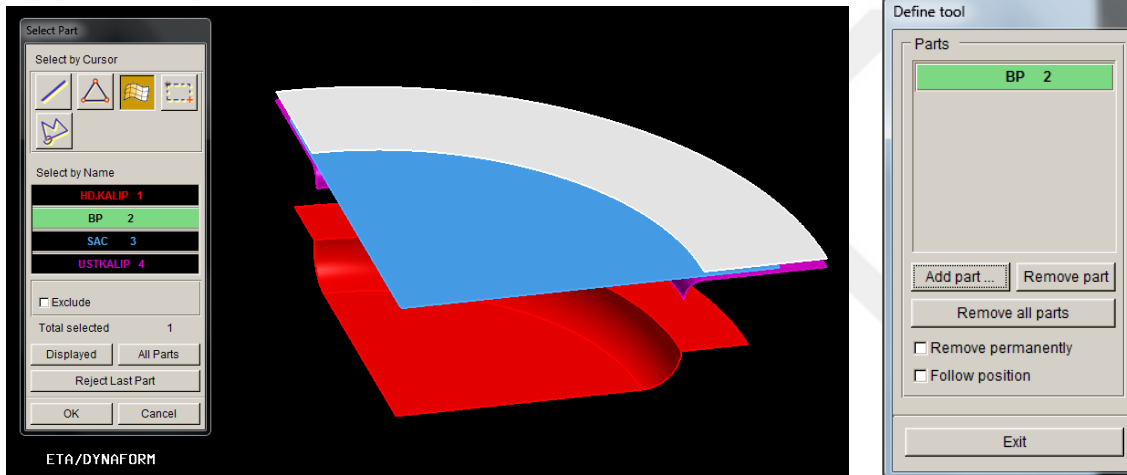
Şekil 3.33. a) Yüzey mesh araç çubuğu ve b) Yüzey mesh tanımlama menüsü

Üst kalıp ve baskı plakası geometri tanımlama ve mesh işlemi de hareketli dişi kalıp mesh oluşturma işleminde olduğu gibi aynı yol izlenerek *Surface Mesh* menüsünde *In Original Part* sekmesi tıklanır ve *Max Size* bölümüne 15 değeri verilir. Ayrıca seçilen malzeme ile tanımlanan geometrinin renk değişimi kontrol edilmelidir. Üst kalıp ve baskı plakası malzeme seçme ve seçilen malzemelerin tanımlanmasını gösteren sonuçlar Şekil 3.34' de gösterilmiştir.



(a)

(b)

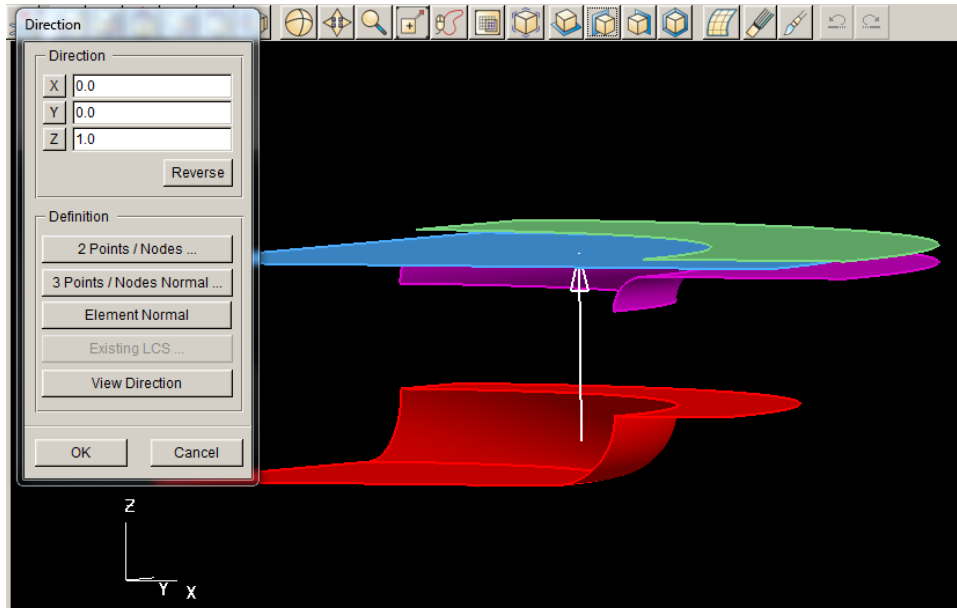


(c)

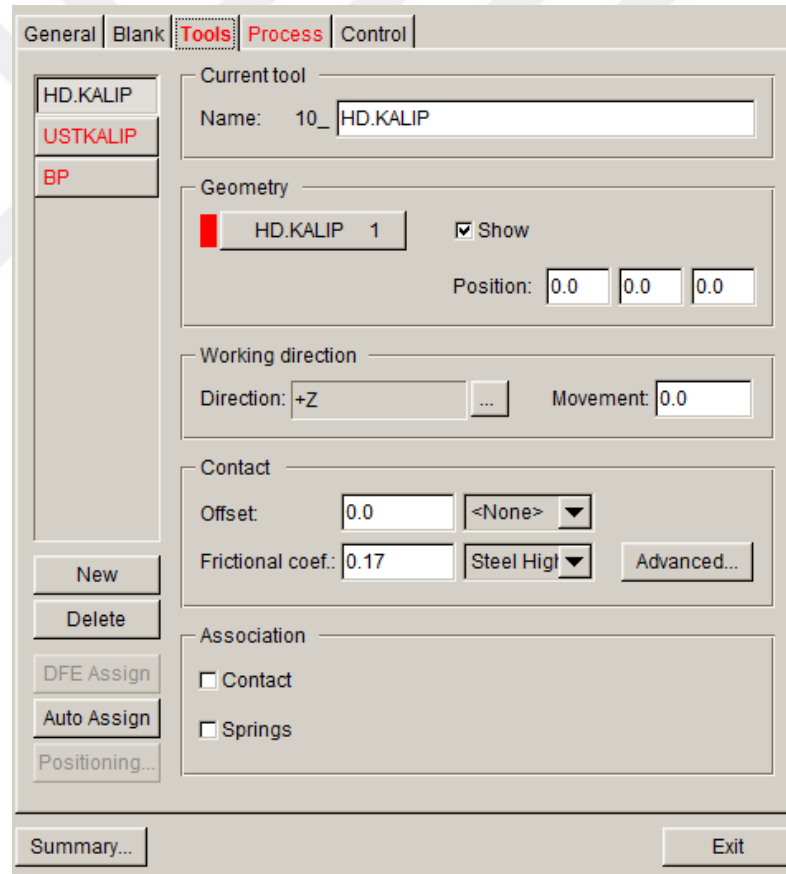
(d)

Şekil 3.34. a) Üst kalıp seçme, b) Bileşen seçiminin tamamlanmasını gösteren menü, c) Baskı plakası seçme ve d) Bileşen seçiminin tamamlanmasını gösteren menü

Hareketli dişi kalıp proses boyunca $+z$ yönünde hareket edecek ve üst kalıpla temas ettiği anda sabit konuma gelecektir. Bu yüzden hareketli dişi kalıbın *Working Direction* kısmına yazılımda *Tools* menüsünde *Direction* seçeneğine tıklanır ve $+z$ yönü *Direction* menüsünde tanımlanır. *Contact* kısmında *Offset* seçeneğinde bir düzenleme yapılmayacağı için *None* seçilir. Sürtünme katsayısı ise *Frictional Coefficient* kısmından *Steel High* tıklanarak sürtünme katsayısı değeri tanımlanır. Buradaki sürtünme katsayısı hareketli dişi kalıp ile sac malzeme arasındaki sürtünme katsayısıdır (Şekil 3.35).



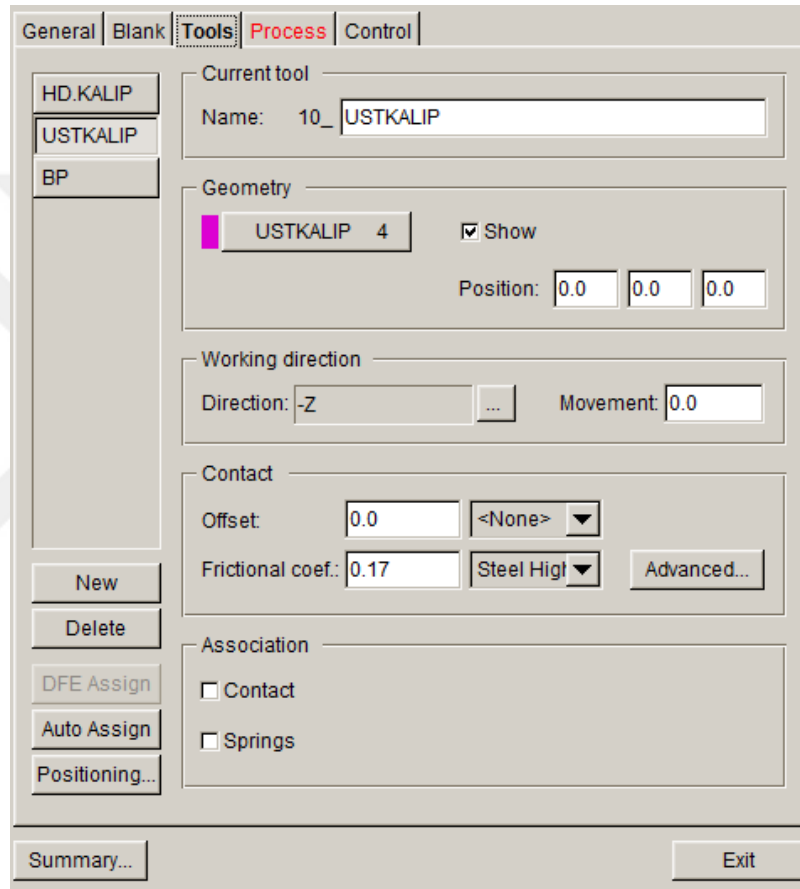
(a)



(b)

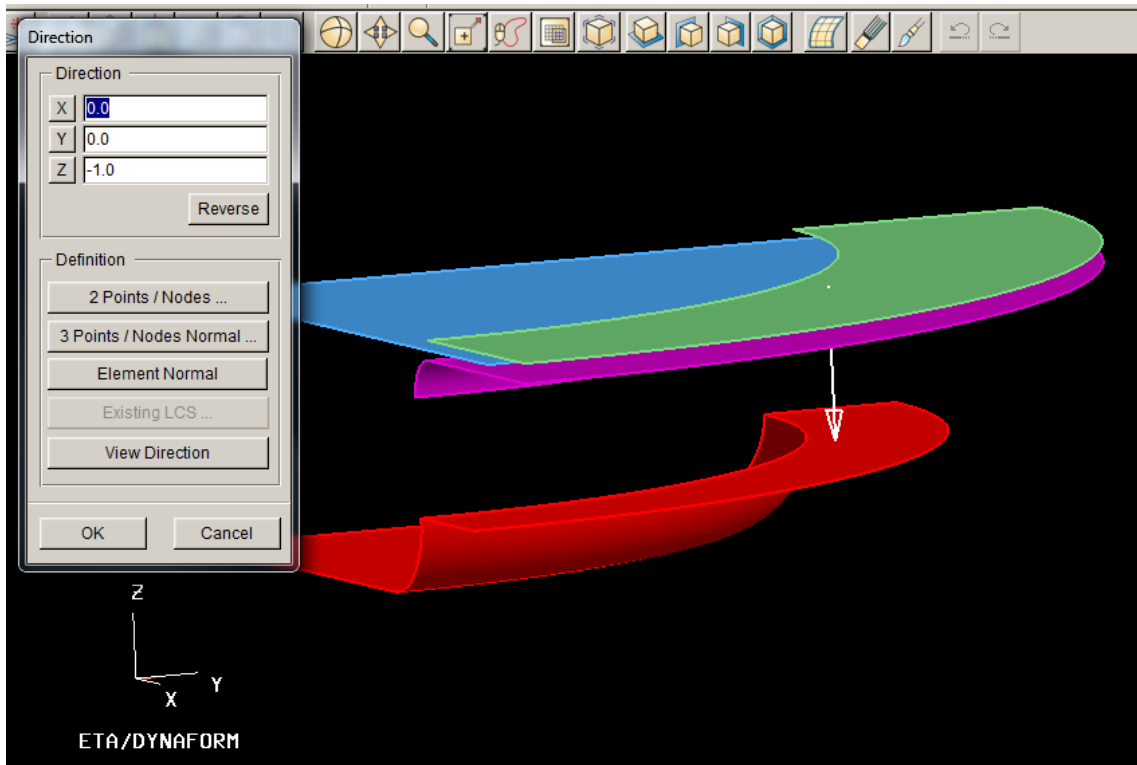
Şekil 3.35. a) Hareketli dişi kalıbın hareket yönü ve b) Hareketli dişi kalıp bileşen parametreleri

Üst kalıp proses boyunca sabit duracaktır ancak yazılım her bir bileşen için bir yön tayini istemektedir. Bu yüzden bir yön tayini tanımlanmıştır ancak proses kısmında sabit konumu vereceğimiz için proses boyunca sabit kalacaktır. *Working Direction* kısmından *Direction* sekmesi tıklanarak *Direction* menüsünden $-z$ yönü tanımlanmıştır. *Contact* bölümünde *Offset* kısmında bu tanımlama yapılmayacağı için *None* konumuna getirilir. *Frictional Coefficient* kısmı ise *Steel High* seçilerek üst kalıp ile sac malzeme arasındaki sürtünme katsayısı tanımlanır (Şekil 3.36).

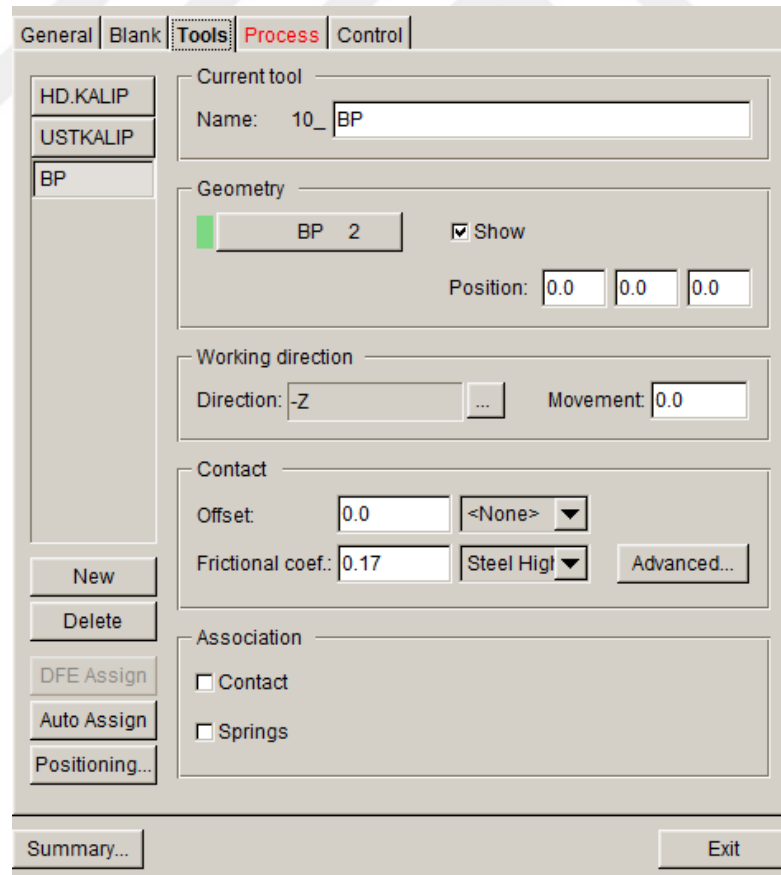


Şekil 3.36. Üst kalıp bileşen parametreleri

Baskı plakası proses esnasında sac malzemeye kuvvet uygulayıp bir baskı oluşturacağından dolayı hareket yönü $-z$ yönü olacak şekilde *Working Direction* kısmından *Direction* menüsünden tanımlanır. *Contact* kısmından *Offset* seçeneğinde düzenleme yapılmayacağı için *None* konumuna getirilir. *Frictional Coefficient* kısmı *Steel High* seçilerek baskı plakası-sac malzeme arasındaki sürtünme katsayısı tanımlanır (Şekil 3.37).



(a)



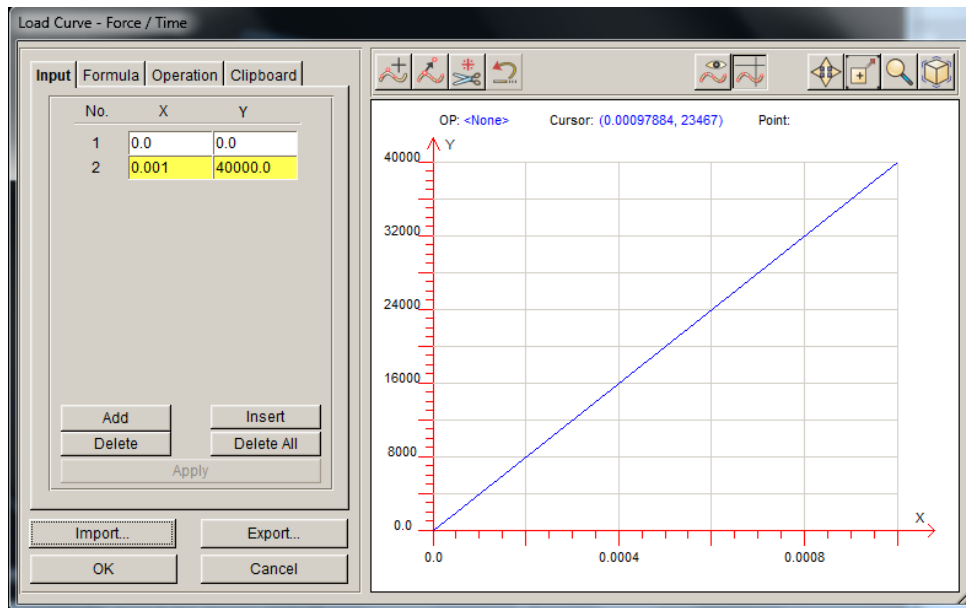
(b)

Şekil 3.37. a) Baskı plakası çalışma yönü ve b) Baskı plakası bileşen parametreleri

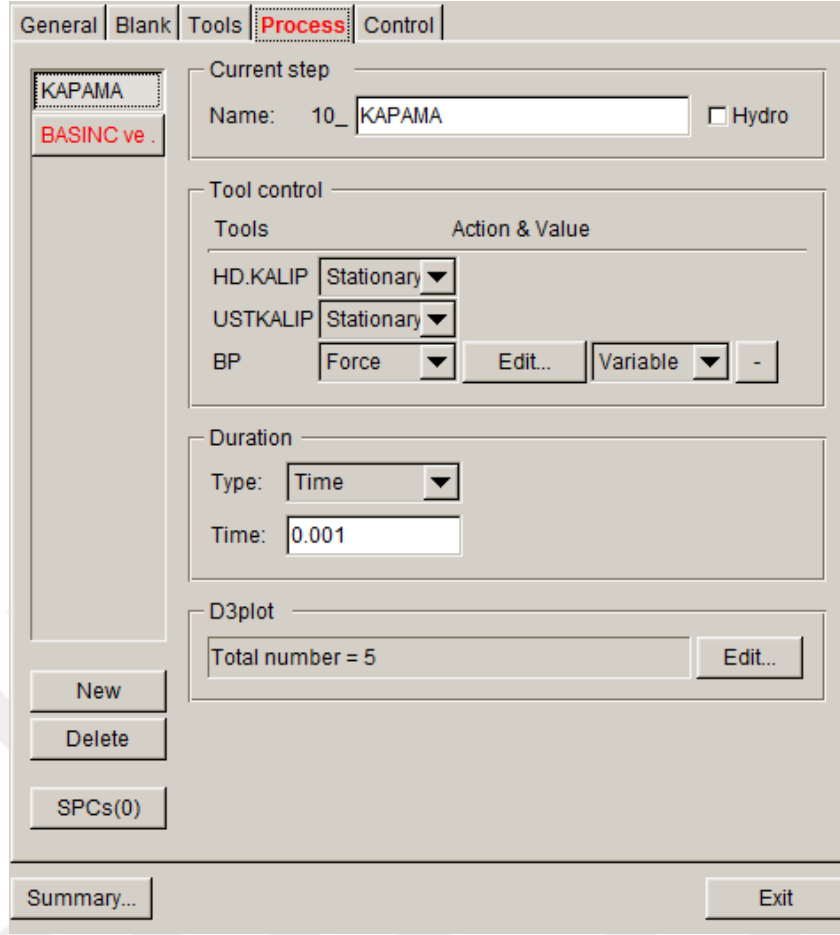
3.2.7. Proses parametrelerinin girilmesi

Hareketli dişi kalıpla sac hidroşekillendirme metodu kapama, basınç ve hareket olmak üzere 3 aşamadan oluşmaktadır ancak basınç ve hareket aşamaları eş zamanlı gerçekleştiğinden dolayı 2 aşamada modellenecektir. Burada kapama ve basınç aşamaları ve parametreleri sabit dişi kalıpla sac hidroşekillendirme aşamalarıyla aynı olup, hareketli dişi kalıbın zamana göre hareketi modellenmiştir.

Kapama aşamasında üst kalıp ve hareketli dişi kalıp sabit durmaktadır. Burada sabit dişi kalıpla hidroşekillendirme prosesin de olduğu gibi baskı plakası 0,001 sn de 40000 N'luk bir kuvvet uygular. Üst kalıp ve hareketli dişi kalıp bu aşamada hareketsiz olduğu için *Process* menüsünden *Tool Control* bölmesinden hareketli dişi kalıp ve üst kalıp *Stationary* olarak tanımlanır. Baskı plakası da bu bölmeden *Force* tanımlanır ve *Variable* ve *Edit* yolu izlenerek *Load Curve –Force/Time* menüsü açılır. *Load Curve – Force/Time* menüsünde 2 tane *Add* bölümü eklenir ve başlangıç değeri olarak belli bir kuvvet tanımlanmaz sıfır değeri verilir ve ikinci zaman dilimi olan 0,001 saniyede 40000 N'luk baskı plakası kuvveti uygulanır. *Apply*, “OK” yolu izlenerek zaman-kuvvet eğrisi tanımlanır. Kapama prosesi toplam 0,001 sn de gerçekleştiği için *Process* menüsünde *Duration* bölümünde *Type* sekmesi *Time* konumuna getirilir ve burada açılan *Time* sekmesine 0,001 yazılır (Şekil 3.38).



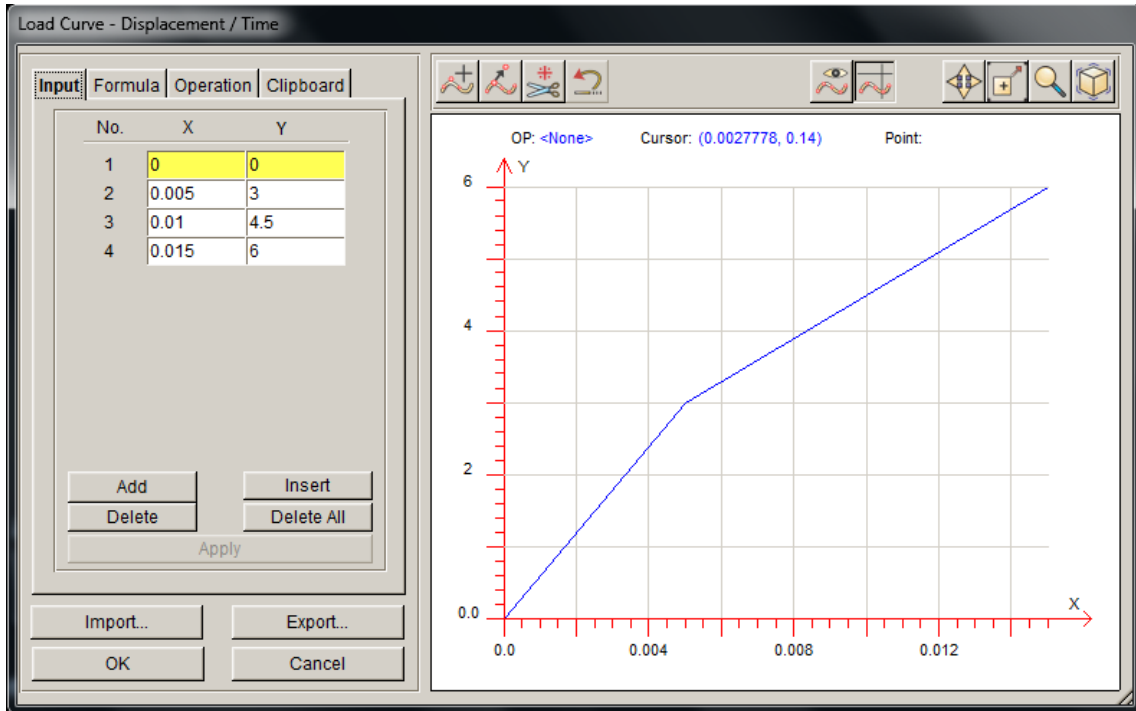
(a)



(b)

Şekil 3.38. a) Zaman-kuvvet eğrisinin tanımlanması ve b) Kapama prosesinin tanımlanması

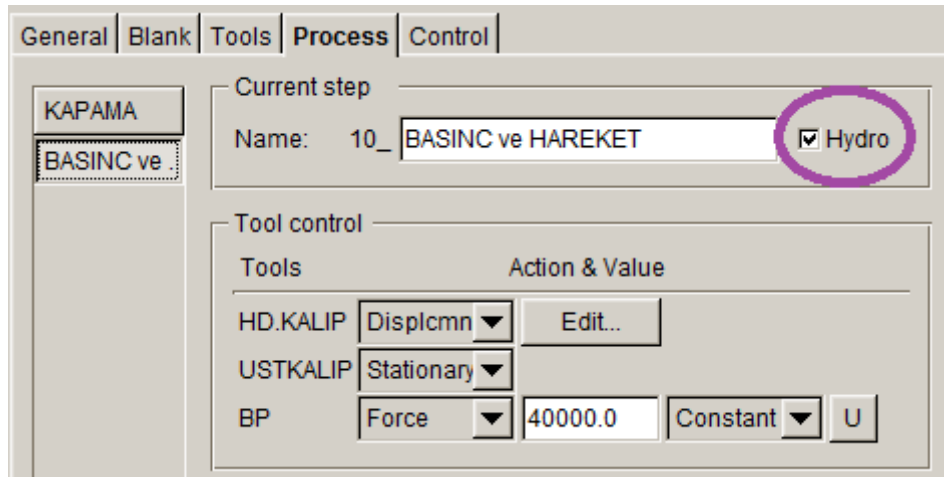
Basınç ve hareket eş zamanlı gerçekleştiğinden dolayı aynı zaman dilimi içerisinde modellenir. Bir başka ifadeyle şekillendirme işleminde basınç uygulama süresi 0,05 olduğu için toplam proses süresi 0,05 saniyedir ve bu zaman dilimi içerisinde hareketli dişi kalıp daha kısa süre içerisinde üst kalıba erişerek sabit konuma gelecek ve istenen geometrideki sac malzemenin formunu bozmadan şekillenmesini sağlayacaktır. İlk öncelikle hareketli dişi kalıbın zamana bağlı değişimi *Process* ana menüsünden *Tool control* bölümünden 'HD.KALIP' sekmesi *Displacement* konumuna getirilir. Yan kısımda açılan *Edit* sekmesi tıklanır ve *Load Curve- Displacement/Time* menüsünden eklenecek zaman aralığı kadar sekme *Add* tıklanarak tanımlanır. Burada 0, 0,005, 0,01, 0,015 saniyelerine karşılık sırasıyla 0, 3, 4,5, 6 mm değerleri tanımlanarak *Apply* sekmesi tıklanarak uygulanır ve 'OK' seçilerek hareketli dişi kalıbın zamana bağlı yer değiştirme eğrisi tanımlanır (Şekil 3.39).



Şekil 3.39. Hareketli dişi kalıbın zamana bağlı yer değiştirme eğrisi

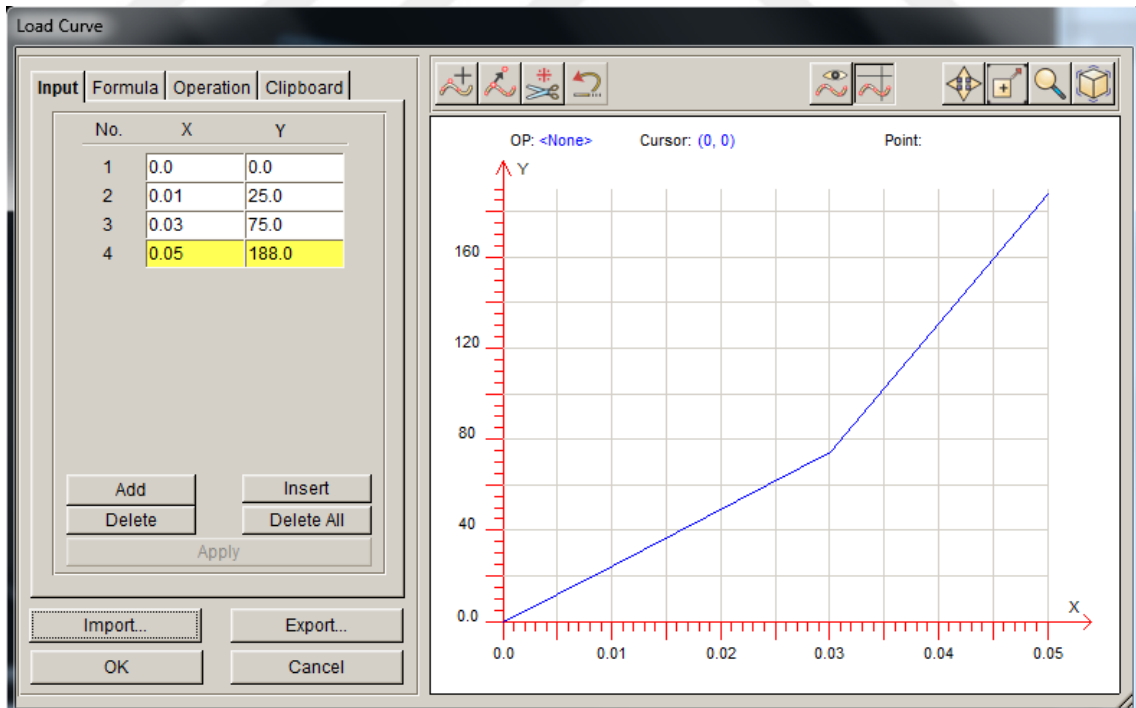
Burada tanımlanan zamanlar ve hareketli dişli kalıbın yer değiştirme mesafeleri bazı kriterler göz önüne alınarak verilmiştir. İlk öncelikle hareketli dişi kalıbın üst kalıba mesafesi 6 mm olduğu için hareket mesafesi nihai değeri 6 mm verilmiştir. Bu zaman aralıkları ise; sabit dişi kalıpla sac hidroşekillendirme prosesinde sac malzemenin alt kalıba erişme süresine nazaran hareketli dişi kalıpla sac hidroşekillendirme prosesinde malzemenin bir miktar daha akmasına izin verilerek sac malzemenin hareketli dişi kalıba erişme süresi biraz daha fazla olacak şekilde (hareketli dişi kalıba temas etmeden önce daha fazla şişirilmesine olanak sağlayacak şekilde) tanımlanmıştır. Nihai süre ise sac malzemenin geometrisini değiştirmeyecek ve hareketli dişi kalıbın sağladığı avantajları minimuma indirmeyecek şekilde deneme yanılma yöntemiyle belirlenmiştir.

Basınç ve hareket aşamasında üst kalıp hareketsiz durmaktadır. Üst kalıbın bu hareketini tanımlamak için *Process* menüsünde *Tool control* bölümünde konumu *Stationary* olarak seçilir. Baskı plakası kuvveti 40000 N kuvvetinde şişirme esnasında sac malzemeye sabit bir kuvvetle baskı uygulayacağı için baskı plakası *Tool control* bölümünde konumu *Force* yapılarak kuvvet büyüklüğü tanımlanır ve yanındaki sekme *Constant* durumuna getirilir. Ayrıca hidroşekillendirme işlemi bu aşamada gerçekleşeceği için *Current step* bölümünden *Hydro* sekmesi seçilmelidir (Şekil 3.40).




Şekil 3.40. Hydro sekmesi, üst kalıp ve baskı plakası durumlarının tanımlanması

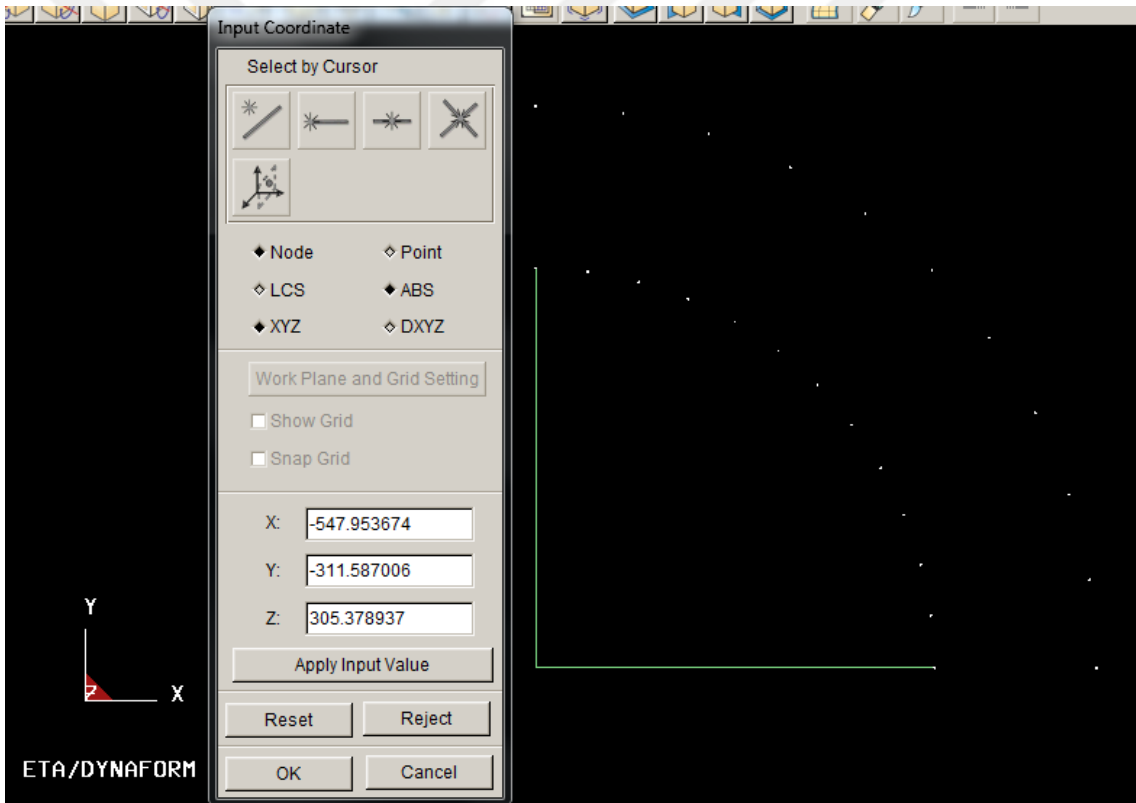
Basınç tanımlama da ise sabit dişi kalıpla sac hidroşekillendirme prosesiyle aynı zaman dilimlerinde aynı basınç değerleri uygulanacaktır. Çünkü burada hareketli dişi kalıbın etkileri incelenecektir. Yükleme eğrisi benzer şekilde Şekil 3.41' deki gibi uygulanmıştır.



Şekil 3.41. Zaman-basınç eğrisi


Basınç bölgesi de sabit dişi kalıp sac hidroşekillendirme prosesinde tanımladığımız gibi aynı yol izlenerek yapılır. Öncelikle *Sheet Forming* menüsü *Exit*

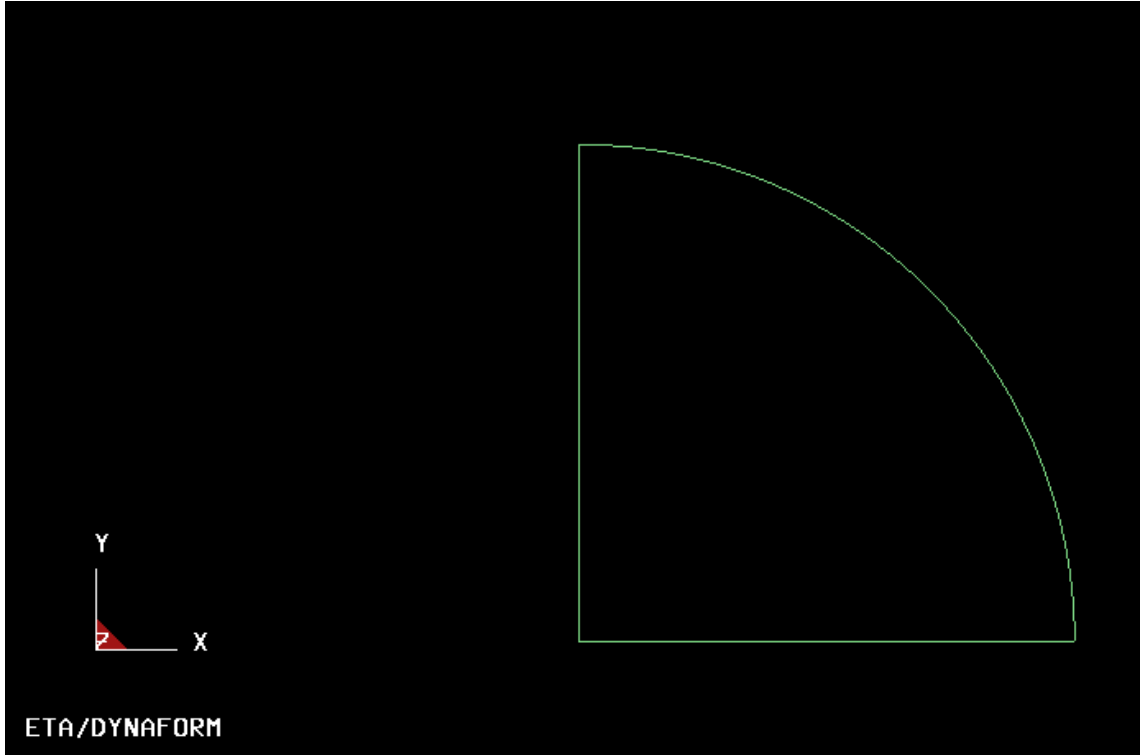
tıklanarak kapatılır. Ana menüden sadece baskı plakası bileşeni açık tutularak araç çubuğunda  simgesi tıklanarak üstten bakış oluşturulur. Yalnızca *Nodes* sekmesi aktif hale getirilerek düğüm noktalarının görüntülenmesi sağlanır. Ana menüden sırasıyla *UserSetup*, *Preprocess* yolu izlenerek *Preprocess* menüsü açılır. Buradan *Line* menüsünden *Create* araç çubuğu seçilir. Çizilecek çizgilerin koordinatının tanımlandığı *Input Coordinate* menüsü açılır. Burada baskı plakası iç çeyrek çemberinin uç kısımlarındaki düğüm noktaları seçildiği zaman x ve y koordinatları negatif çıkmıştır. Çizilecek çizgiler düğüm noktasına göre zıt yönde olduğu için ikisinde de programın belirlediği değerden 32 çıkartılarak *Input Coordinate* kısımlarına yazılır ve x ve y koordinatları için ayrı ayrı “OK” tıklanarak x ve y düzlemlerinde basınç alanı kenar kısımlarının çizimleri tamamlanır (Şekil 3.42).



Şekil 3.42. Koordinat tanımlama

Basınç alanının nihai geometrisi için baskı plakası iç çeyrek çemberin çizgisi elde edilecektir. Her bileşen yüzey olarak modellendiği için baskı plakası bileşeninin yüzey sınırları elde edilip basınç bölgesi dışındaki çizgiler temizlenir. *Preprocess* menüsünden *Surf* sekmesi tıklanır ve *Boundry Line* araç çubuğu seçilir. *Boundry Line* menüsü açıldıktan sonra *Select Surfaces* sekmesi tıklanır ve baskı plakası bölgesinin

sınırladığı bölge içinde herhangi bir yer tıklanarak “OK” seçilir ve *Boundry Line* menüsü tekrar otomatik açılır. Buradan sırasıyla *Apply* ve *Close* sekmeleri tıklanarak baskı plakası sınır çizgileri oluşturulur. Burada basınç alanı bölgesini sınırlamayan diğer çizgiler *Preprocess* menüsünden *Line* kısmına tekrar dönülerek  araç çubuğu seçilir ve basınç bölgesinin dışındaki çizgiler belirtilir ve “OK” tıklanarak basınç bölgesi alanının çizimi tamamlanır (Şekil 3.43).

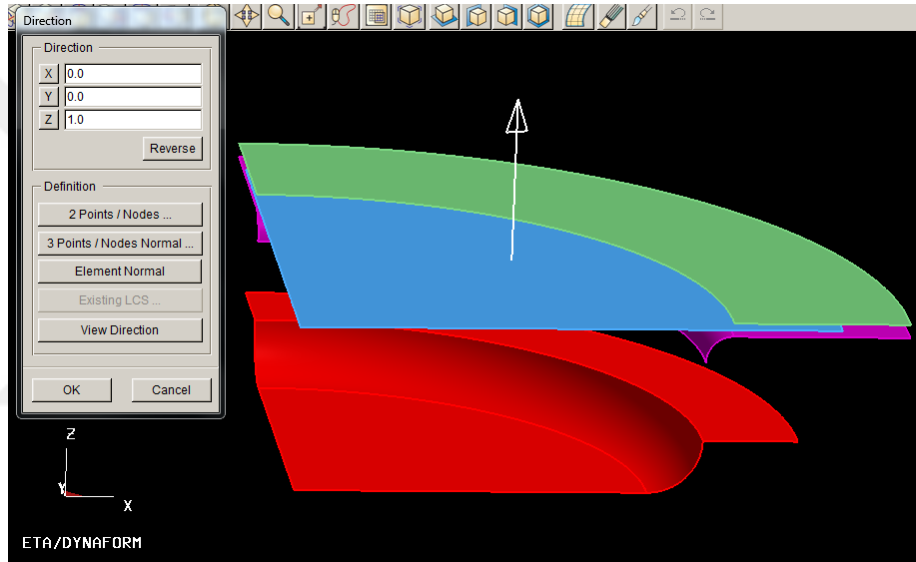


Şekil 3.43. Basınç alanının geometrisi

Basınç geometrisini tanıtmak için ana menüden *AutoSetup*, *Sheet Forming*, *Process* yolu izlenerek *basınç ve hareket* proses menüsü yeniden açılır. Buradan *Hydro Mech* bölümünden *Mask* kısmının *Entire* sekmesi seçilir. *Mask* menüsü görüntüldükten sonra *Loop* bölümünden *Lines* seçilir ve tanımladığımız basınç geometrisi tanımlanır ve *Select Line* menüsü “OK” tıklanarak basınç bölgesi tanımlanır. Tekrar *Mask* menüsüne gidilerek *Direction* kısmından *Projecting Direction* sekmesinden basınç gelme yönü z ekseninde tanımlanır (Şekil 3.44).



(a)



(b)

Şekil 3.44. a) Basınç alanı seçimi ve sınırları ve b) Basınç gelme yönünün tanıtılması

Basınç ve hareket prosesi eş zamanlı gerçekleştiğinden dolayı toplam basınç süresi 0,05 saniye olarak tanımlanır. Bunun için *Duration* bölümünde ki *Type* kısmı *Time* olarak seçilir ve açılan *Time* bölümüne 0,05 olarak tanımlanır. Proses görüntüleme adımları *D3Plot* bölümünden *Edit* sekmesi tıklanarak *States* bölümü *Total number* seçilir sabit dişi kalıpla sac hidroşekillendirme prosesinde tanımladığımız gibi 50 değeri verilerek basınç ve hareket prosesinin tüm parametreleri tanıtılır (Şekil 3.45).

General | Blank | Tools | **Process** | Control

KAPAMA
BASINC ve ...

Current step
Name: 10_ BASINC ve HAREKET Hydro

Tool control

Tools	Action & Value
HD.KALIP	Displcmn Edit...
USTKALIP	Stationary Edit...
BP	Force 40000.0 Constant U

Hydro mech
Pressure: Variable P Above Mask: Partial

Duration
Type: Time
Time: 0.05

D3plot
Total number = 50 Edit...

New
Delete
SPCs(0)
Summary... Exit

Şekil 3.45. Basınç ve hareket prosesinin tanımlanması

3.3. 30 mm Derinliğinde Modellenen Parça

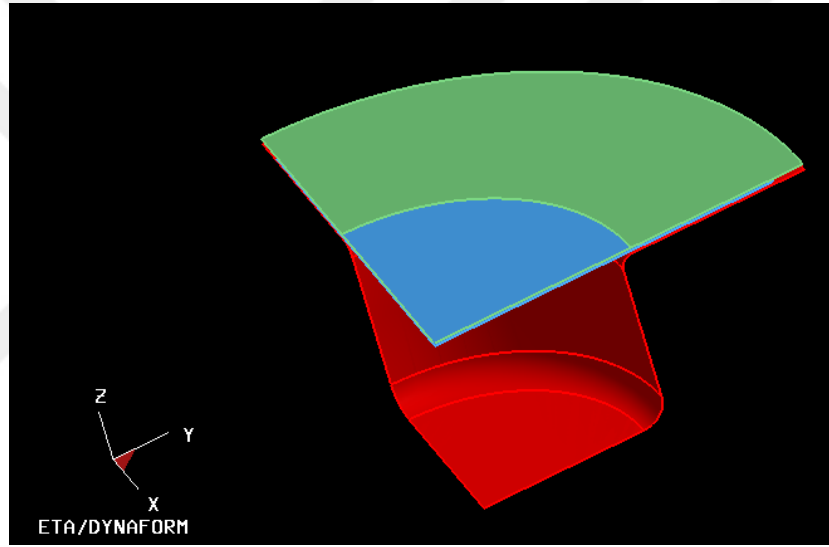
Alt kalıbın derinliği bazı karşılaştırmaları yapmak için 6mm' den 30mm'ye yükseltilerek yeniden sabit ve hareketli dışı kalıpta modellenmiştir. Burada hem büyük ilkel çapın hem de küçük ilkel çapın etkisini görmek için 110 ve 103 mm ilkel çapa sahip sac malzemelerin analizi yapılmıştır. 110 mm çaplı sac malzeme 30 mm yüksekliğe şekillendirildiği zaman flanş bölgesinde belirli bir miktarda sac malzeme kalmıştır ve bu yüzden flanş bölgesinde çok az malzeme kalacak şekilde 103 mm ilkel çapa sahip sac malzemenin analizi yapılmıştır.

Sabit dışı kalıpla sac hidroşekillendirme prosesinde bazı parametreler Çizelge 3.1' de verilmiştir.

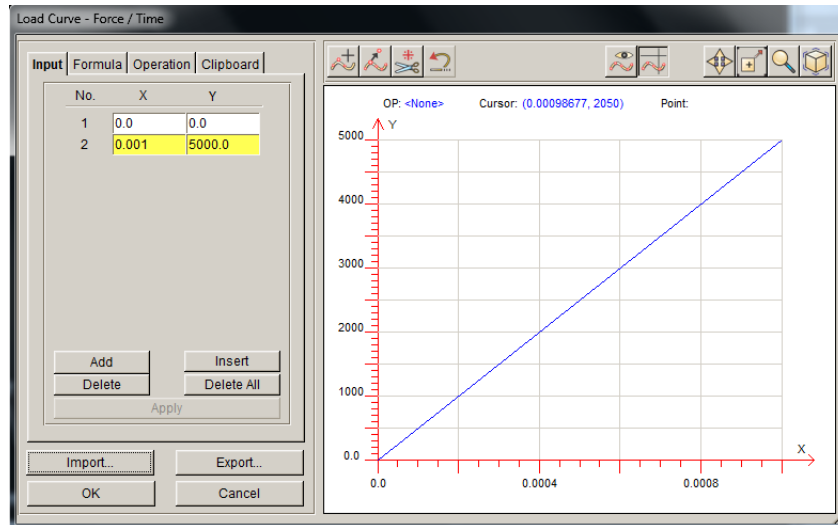
Çizelge 3.1. Sabit dişi kalıpla sac hidroşekillendirme prosesinde bazı parametreler

Baskı Plakası–Sac Sürtünme Katsayısı	0.02
Alt Kalıp–Sac Sürtünme Katsayısı	0.02
Baskı Plakası Kuvveti (N)	5000
Mesh Boyutu (mm)	1
Eleman Formülasyonu	BELYTSCHKO-TSAY
İntegrasyon Sayısı	5
Sac Kalınlığı (mm)	1
Malzeme	SS304
Sac Malzemenin Çapı (mm)	110

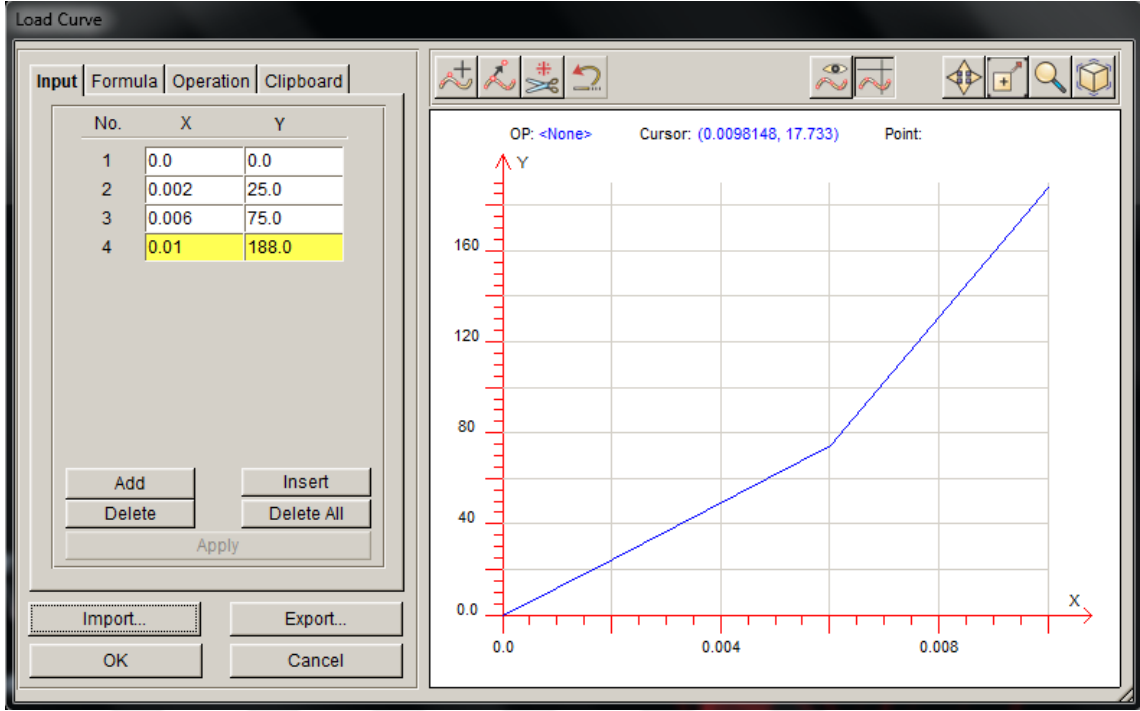
Çeyrek modeli oluşturulan sabit dişi kalıpla sac hidroşekillendirme prosesinin BP Kuvveti ve zamana bağlı basınç eğrisi Şekil 3.46’de ki gibi tanımlanmıştır.



(a)



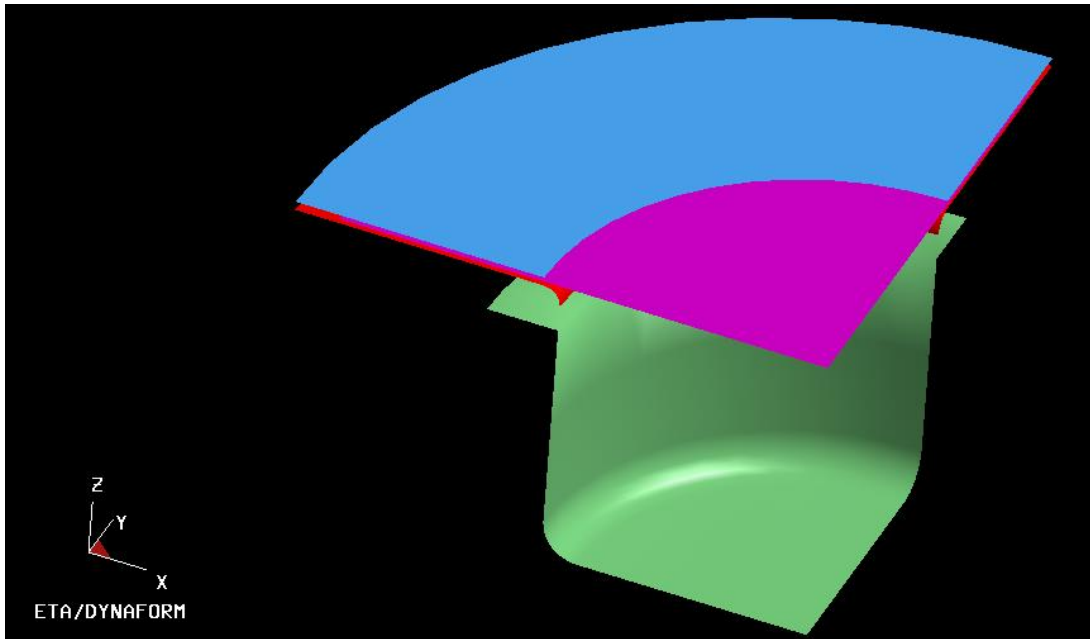
(b)



(c)

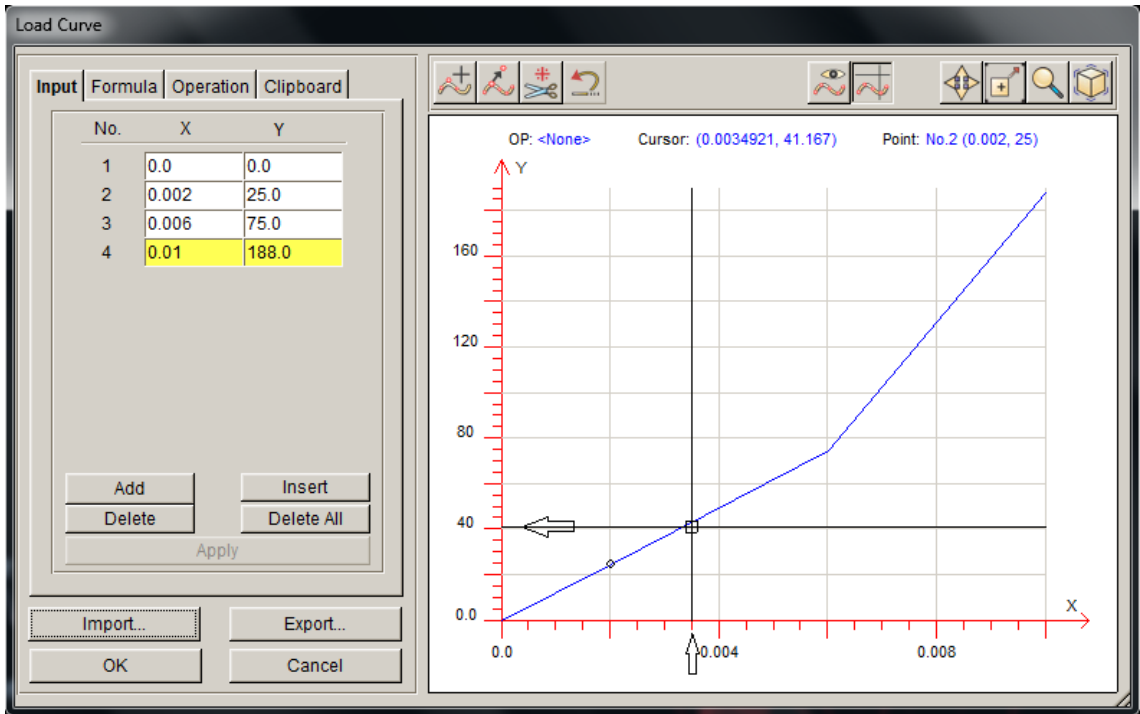
Şekil 3.46. a) Modeli oluşturulan çeyrek model, b) BP Kuvveti ve c) Zamana bağlı basınç eğrisi

Parametre açısından hareketli dişi kalıpla sac hidroşekillendirme prosesin de, sabit dişi kalıpla sac hidroşekillendirme prosesinden farklı olarak hareketli dişi kalıp ile sac arasında 0.02 sürtünme katsayısı tanımlanmıştır. Burada da çeyrek model oluşturulmuştur (Şekil 3.47).



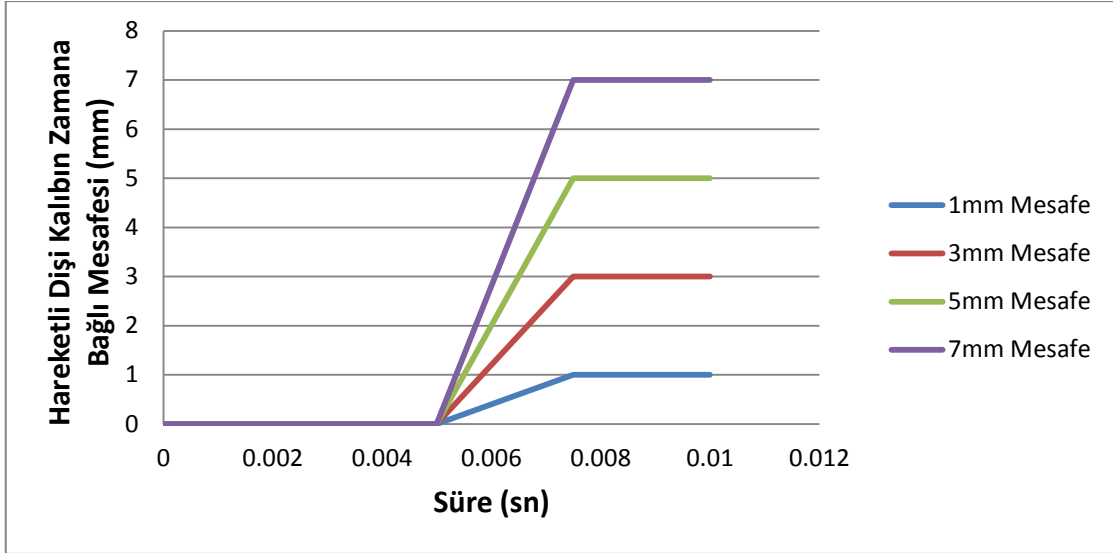
Şekil 3.47. Hareketli dişi kalıpla sac hidroşekillendirme çeyrek modeli

Hareketli dişi kalıpla sac hidroşekillendirme prosesin de basınç zaman eğrisi 0.01 saniye olacak şekilde tanımlanmıştır. Burada ilk önce sabit dişi kalıpla sac hidroşekillendirme prosesin de yaklaşık 0.004 saniyede sac malzemenin alt kalıba eriştiği gözlemlenmiştir. Toplam proseste 0.001 saniye kapama süresi olduğu için 0.003 saniyede sac malzemenin üzerine yaklaşık 40 MPa büyüklüğünde bir basınç, sabit dişi kalıpla sac hidroşekillendirme prosesinin zamana bağlı basınç eğrisinden belirlenmiştir (Şekil 3.48).

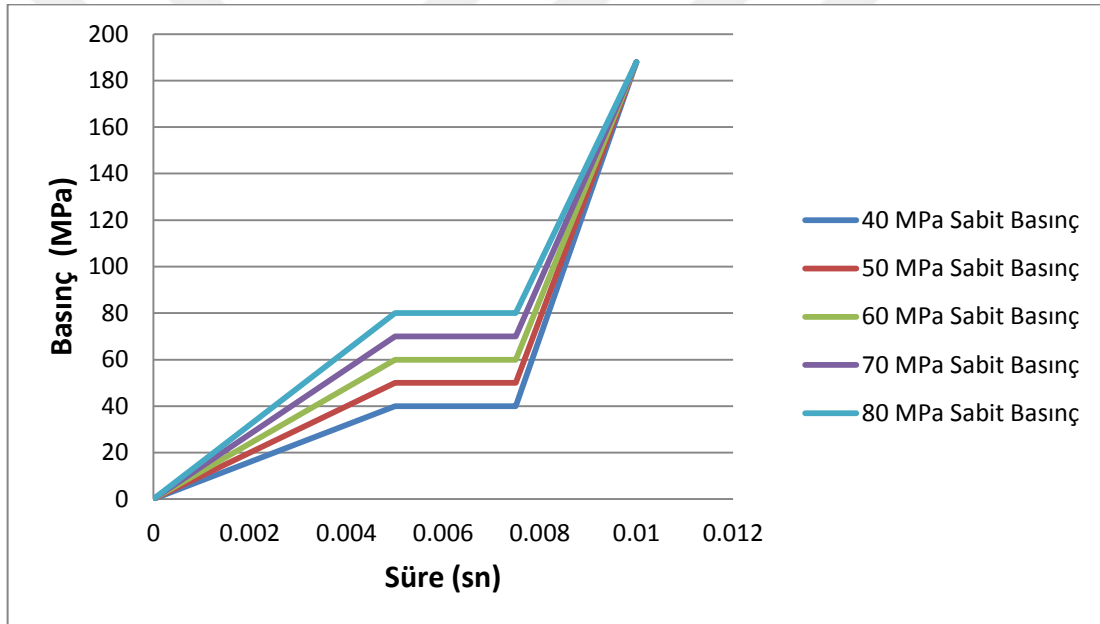


Şekil 3.48. Sac malzemenin alt kalıba temas ettiği andaki basınçın belirlenmesi

Bu yüzden hareketli dişi kalıp üst kalıba sırasıyla 1; 3; 5; 7mm mesafede konumlandırılmış ve sırasıyla 40 MPa basınçtan başlayarak 50;60;70;80 MPa basınç değerleri uygulanmıştır. Burada ki yöntemde ise belirli zaman aralıklarında sabit basınçta hareketli dişi kalıba hareket verilmiştir ve hareketli dişi kalıbın etkileri derin parçada incelenmiştir. Proseslerde zamana bağlı hareketli dişi kalıbın mesafesi ve zamana bağlı basınç eğrisi Şekil 3.49'daki gibi uygulanmıştır.



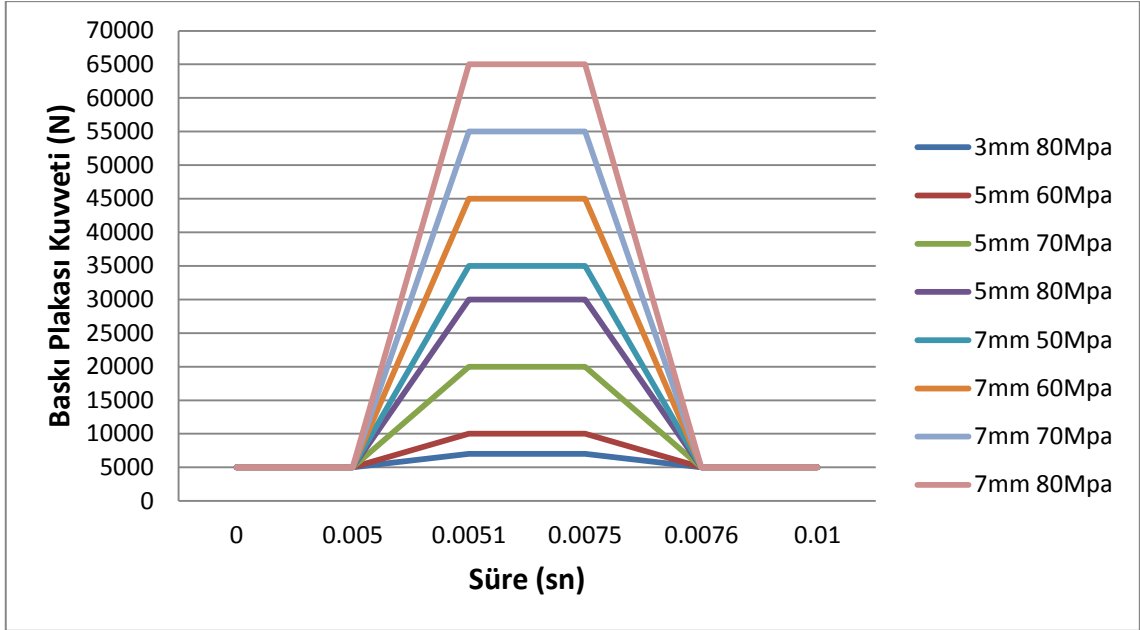
(a)



(b)

Şekil 3.49. a) Hareketli dişi kalıbın zamana bağlı mesafeleri ve b) Proseslerde zamana bağlı uygulanan sabit basınç eğrileri

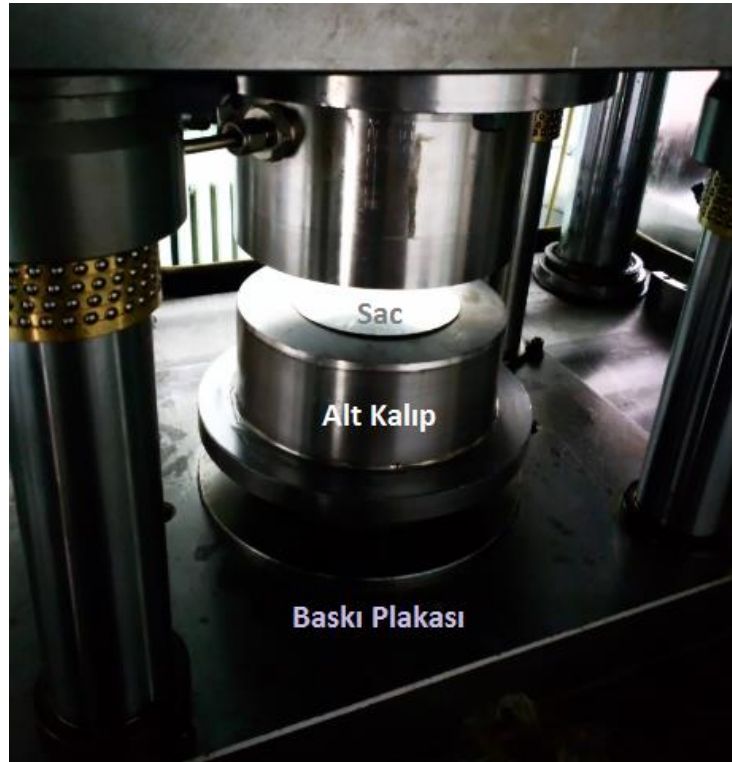
Bazı prosesler de fazla şişme meydana geldiğinden proses sonunda baskı plakasında yukarı doğru hareket etme eylemi gözlemlenmiştir ve bu hatayı azaltmak için sabit basınçta kalıp hareketi başlangıcından itibaren kapanmasına kadar baskı plakası kuvvetleri artırılarak Şekil 3.50' de ki gibi uygulanmıştır. Burada uygulanan baskı plakası kuvvetleri, sac malzeme kalıp içerisine parçanın son şeklini almasına yakın miktarda çekildikten sonra sabit basınçta uygulandığı için proseslerin sonunda oluşan incelme değerlerinde farklılık oluşturmamaktadır.



Şekil 3.50. Bazı prosesler de uygulanan zamana bağlı baskı plakası kuvvetleri

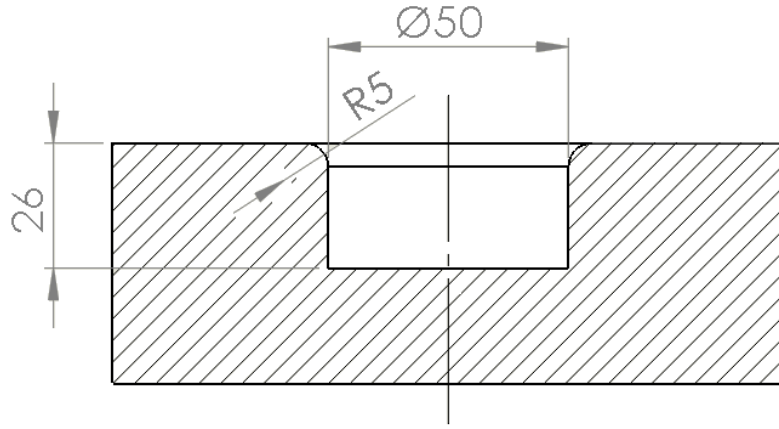
3.4. Deneyle ve Sac Malzemelerin Sonlu Elemanlar Metodunun Oluşturulması

Deneyle Konya Teknik Üniversitesi'nde hidroşekillendirme laboratuvarında bulunan hidroşekillendirme presinde yapılmıştır (Şekil 3.51).



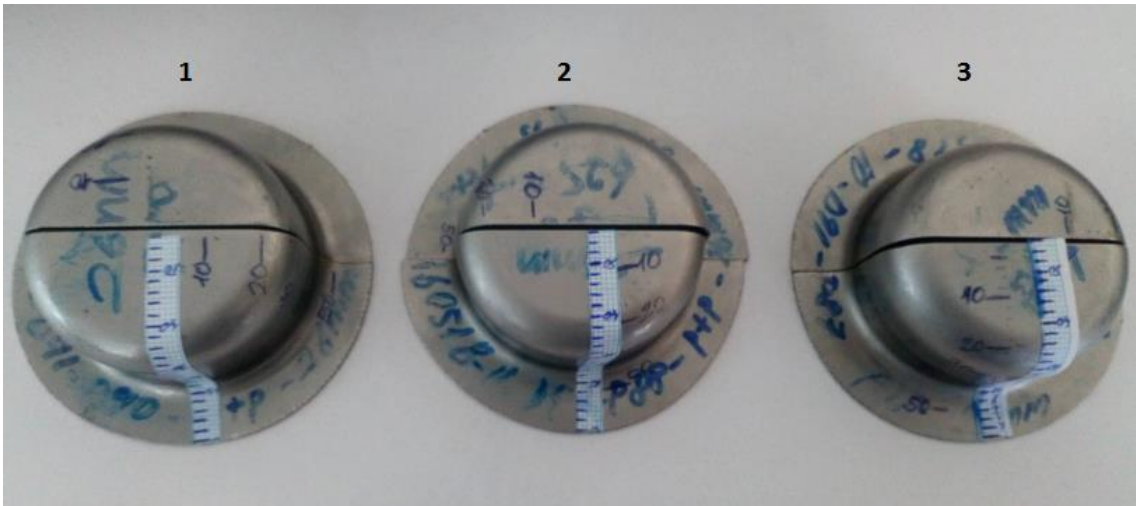
Şekil 3.51. Hidroşekillendirme presi

Deneyde kullanılan alt kalıbın kesit özellikleri mm cinsinden Şekil 3.52’ de gösterilmiştir.



Şekil 3.52. Alt kalıp kesit geometrisi

Deneyler de 1 mm kalınlığa sahip, 91 mm çapında 3 adet SS304 paslanmaz çelik kullanılmıştır (Şekil 3.53). Burada numunelerde ve alt kalıpta yağlayıcı olarak parafin ve poşet kullanılmıştır. Burada sac malzeme alt kalıba merkezlendikten sonra baskı plakası kapanmıştır. Belirli bir baskı plakası kuvvetine erişildikten sonra sac malzemeye basınç uygulanarak şekillendirilmiştir.



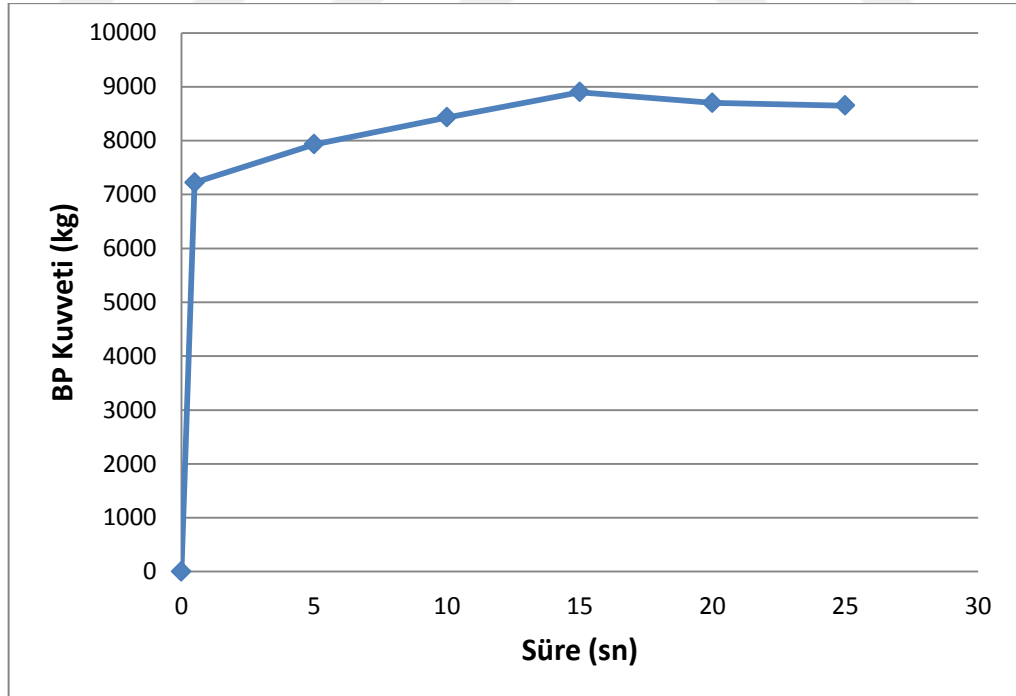
Şekil 3.53. Deneyde kullanılan numuneler

Deneyler parçalarda kalınlık dağılımını sonlu elemanlar modeliyle karşılaştırmak için yapılmıştır. Burada malzemenin kalınlıklarını ölçmek için NOVA-TG900 markalı kalınlık ölçme aleti kullanılmıştır (Şekil 3.54.)

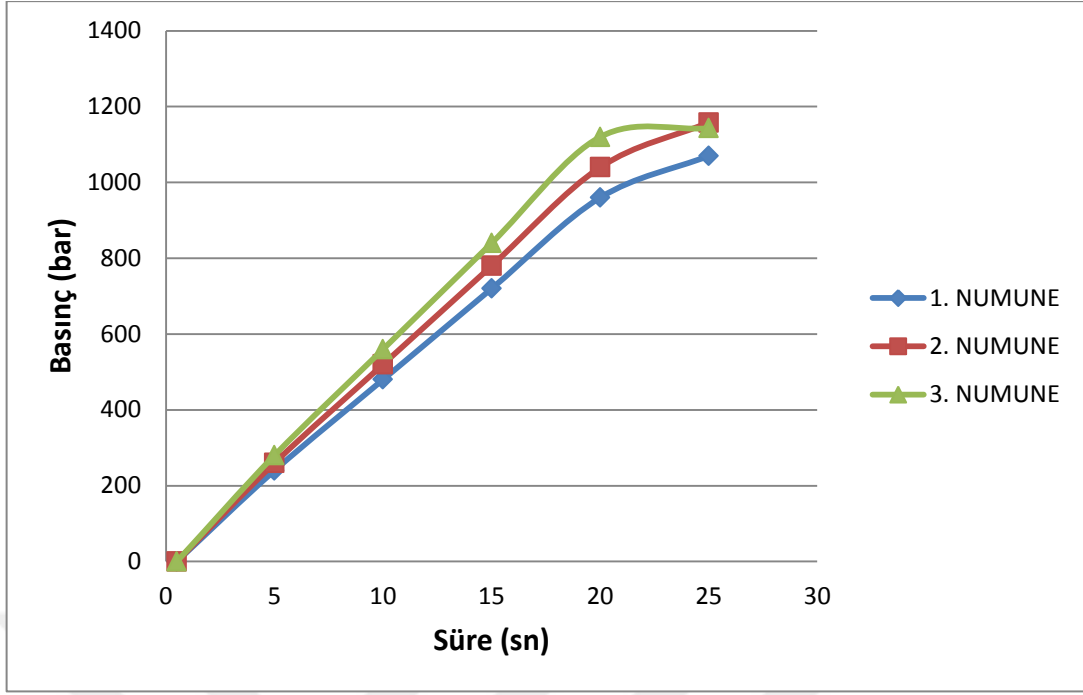


Şekil 3.54. NOVA-TG900 markalı kalınlık ölçme aleti

Deneylerde aynı numunelere aynı zaman aralıklarında aynı baskı plakası kuvvetleri uygulanmış ve aynı zaman dilimlerinde farklı basınçlar uygulanmıştır. Şekil 3.55’de deneylere ait parametreler verilmiştir.



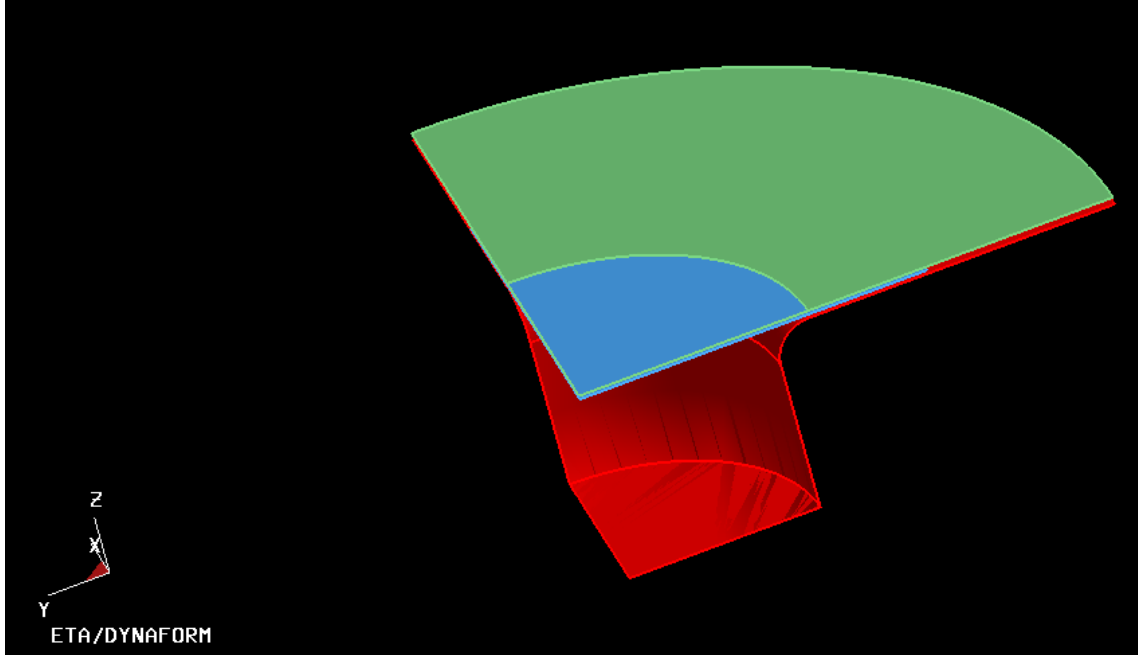
(a)



(b)

Şekil 3.55. a) Numunelere uygulanan zamana bağlı BP kuvvetleri ve b) Numunelere uygulanan zamana bağlı basınç eğrileri

Bu kısımda da prosesler sonlu elemanlar metodun da çeyrek olarak modellenmiştir (Şekil 3.56).



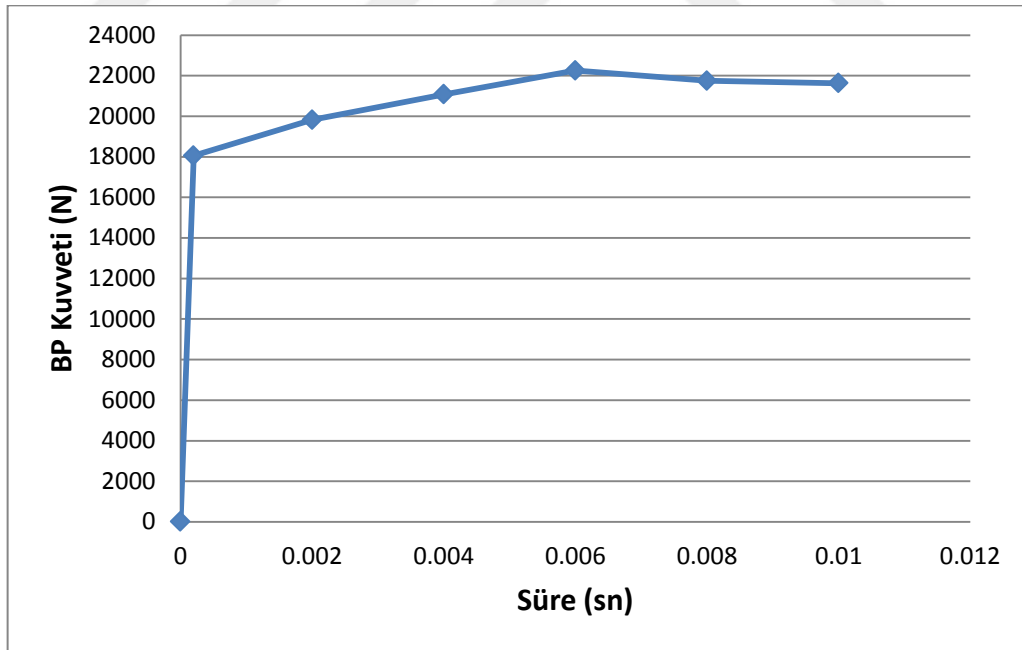
Şekil 3.56. Deneylere ait sonlu elemanlar modeli

Deney numunelerine ait bazı parametreler Çizelge 3.2’ de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Numunelere ait bazı parametreler

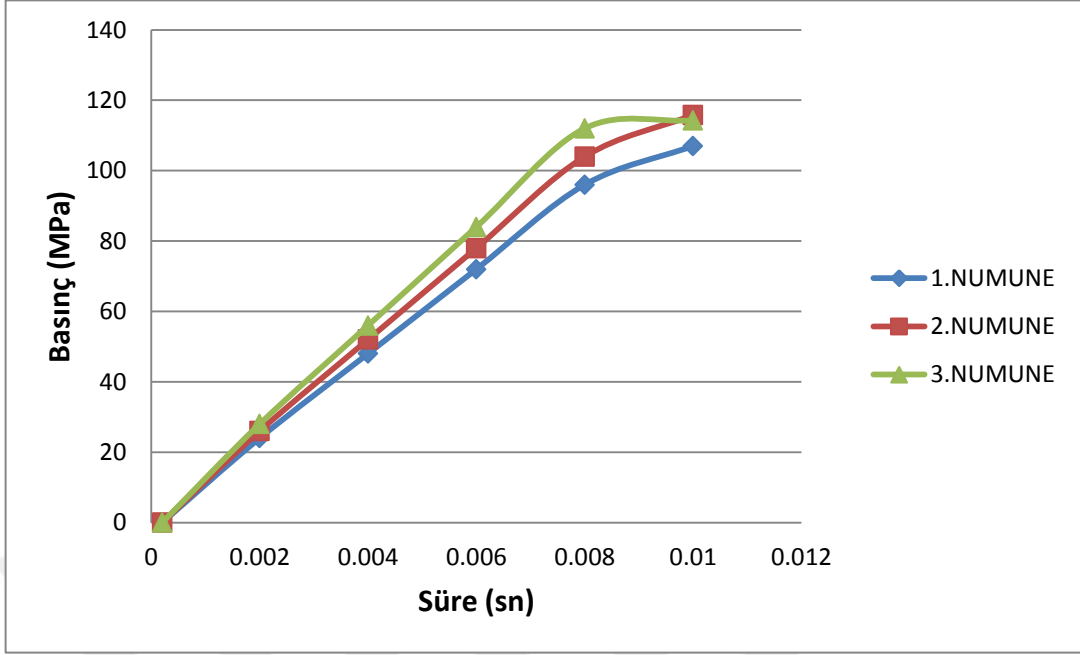
Baskı Plakası–Sac Sürtünme Katsayısı (Parafin ve poşet)	0.05
Alt Kalıp–Sac Sürtünme Katsayısı (Parafin ve poşet)	0.05
Mesh Boyutu (mm)	1
Eleman Formülasyonu	BELYTSCHKO-TSAY
İntegrasyon Sayısı	5
Sac Kalınlığı (mm)	1
Malzeme	SS304
Sac Malzemenin Çapı (mm)	91

Deney süresi her numunede 25 saniyede yapılmıştır. Sonlu elemanlar yazılımında bu süre her proseste 0.01 saniyeye eşit olarak modellenmiştir. Deneyde numunelere BP kuvveti “kg” olarak uygulanmıştır. Sonlu elemanlar yazılımında bu birim “N” olacak şekilde hesaplanmış ve çeyrek model oluşturduğumuz için bu kuvvetler 4’e bölünerek Şekil 3.57’ deki gibi uygulanmıştır.



Şekil 3.57. Numunelere uygulanan zamana bağlı baskı plakası kuvvetleri

3 numuneye aynı zaman dilimlerinde farklı basınçlar uygulanmıştır ve deneyde “bar” olarak uygulanan bu basınçlar sonlu elemanlar metodunda “MPa” olacak şekilde hesaplanmış ve Şekil 3.58’ deki gibi uygulanmıştır.



Şekil 3.58. Numunelere uygulanan basınçların zamana göre dağılımı

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

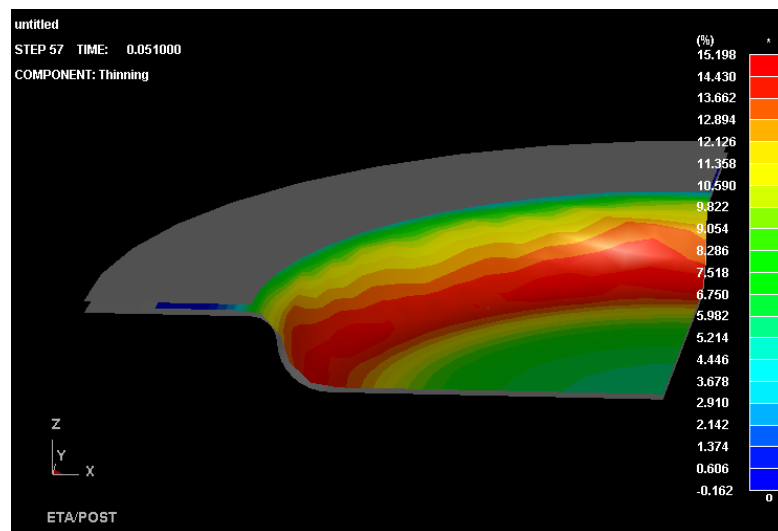
Bu tez çalışmasında ilgili parçanın yapılan analizler sonunda, 188 MPa civarı basınçta tam olarak kalıbın şeklini aldığı belirlenmiştir. Ayrıca baskı plakası kuvveti için parçada proseslerin etkisini belirgin şekilde belirlemek amacıyla yırtılmadan fazlaca incelme değeri oluşturacak baskı plakası kuvveti olarak da 40000 N belirlenmiştir. 40000 N baskı plakası kuvveti, 188 MPa basınç etkisinde olan 1 mm kalınlığında ve 80 mm ilkel çaplı SS304 sac malzemenin sabit dişi kalıpla ve hareketli dişi kalıpla sac hidroşekillendirme prosesleri sonlu elemanlar yazılımında modellenmiş ve hareketli dişi kalıp kullanmanın avantajları belirlenmiştir.

Kalıp çapı aynı kalması koşuluyla derin bir şekilde de modellenmiş ve modellenen sac malzemenin çapı da düşürülerek sonuçları incelenmiştir. Ayrıca sabit dişi kalıpta deneyler yapılmış ve sonlu elemanlar metodunda da modellenerek sac malzemenin kalınlık dağılımları incelenmiştir.

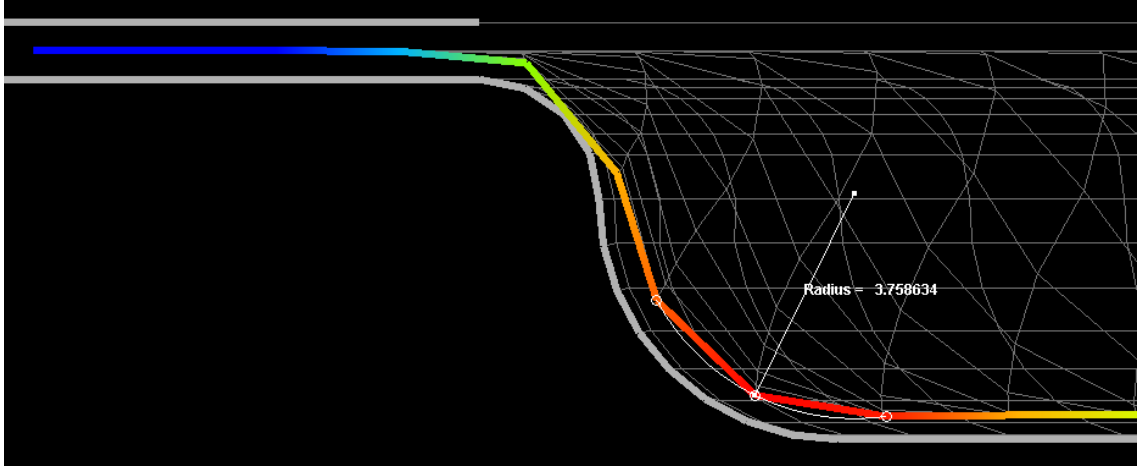
4.1. Sabit Dişi Kalıpla Sac Hidroşekillendirme Prosesi Sonuçları

Mesh boyutu sırasıyla 2; 1.5; 1; 0.5 ve 0.25 mm olarak uygulanmıştır ve maksimum incelme ve radyüs değişimleri incelenerek en uygun eleman boyutu belirlenmiştir.

Mesh boyutu 2 mm için maksimum incelme yaklaşık %15.2 civarında oluşmuş ve düzgün bir radyüs elde edilememiştir (Şekil 4.1).



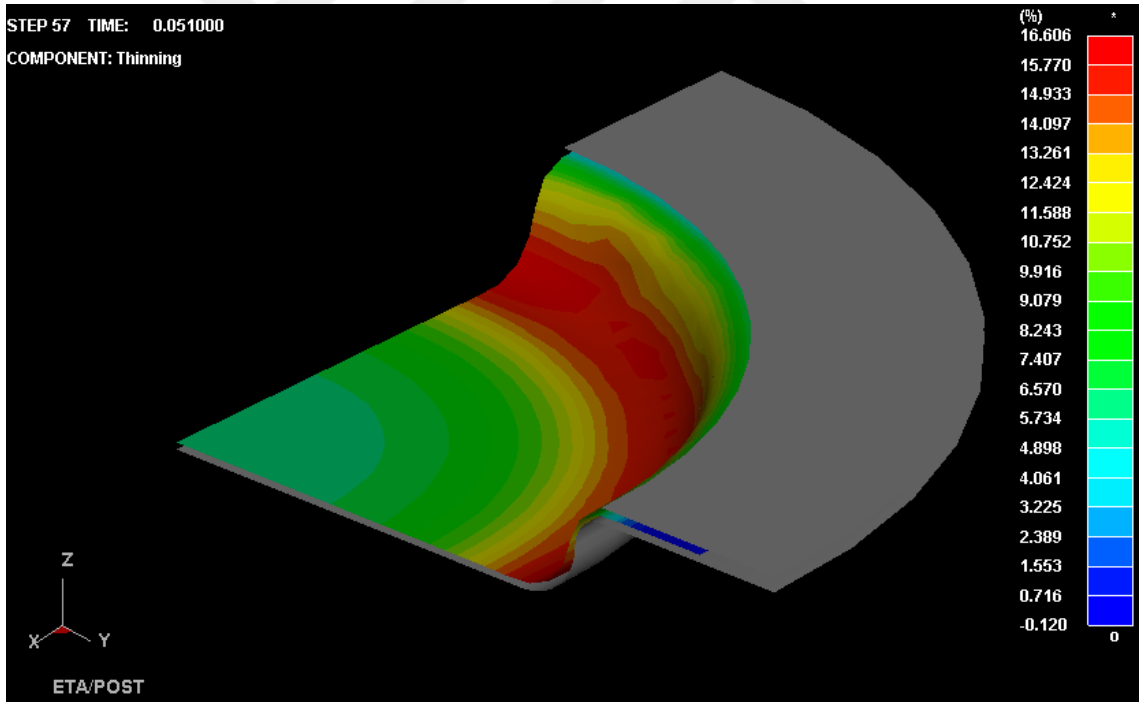
(a)



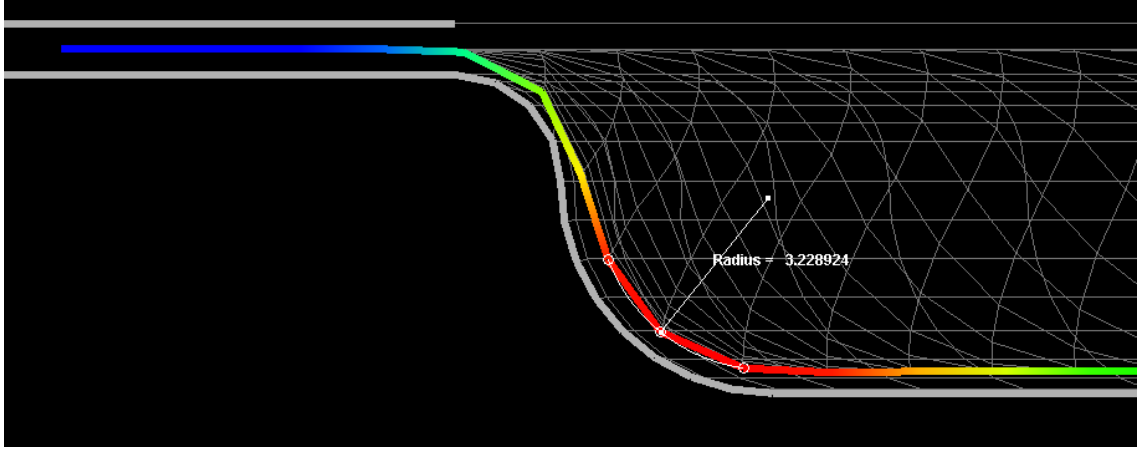
(b)

Şekil 4.1. a) Şekillenme sonucu oluşan incelme oranları ve b) Sac malzemede ölçülen radyüs

Mesh boyutu 1.5 mm için maksimum incelme yaklaşık %16.6 civarında oluşmuş ve burada da düzgün bir radyüs elde edilememiştir (Şekil 4.2).



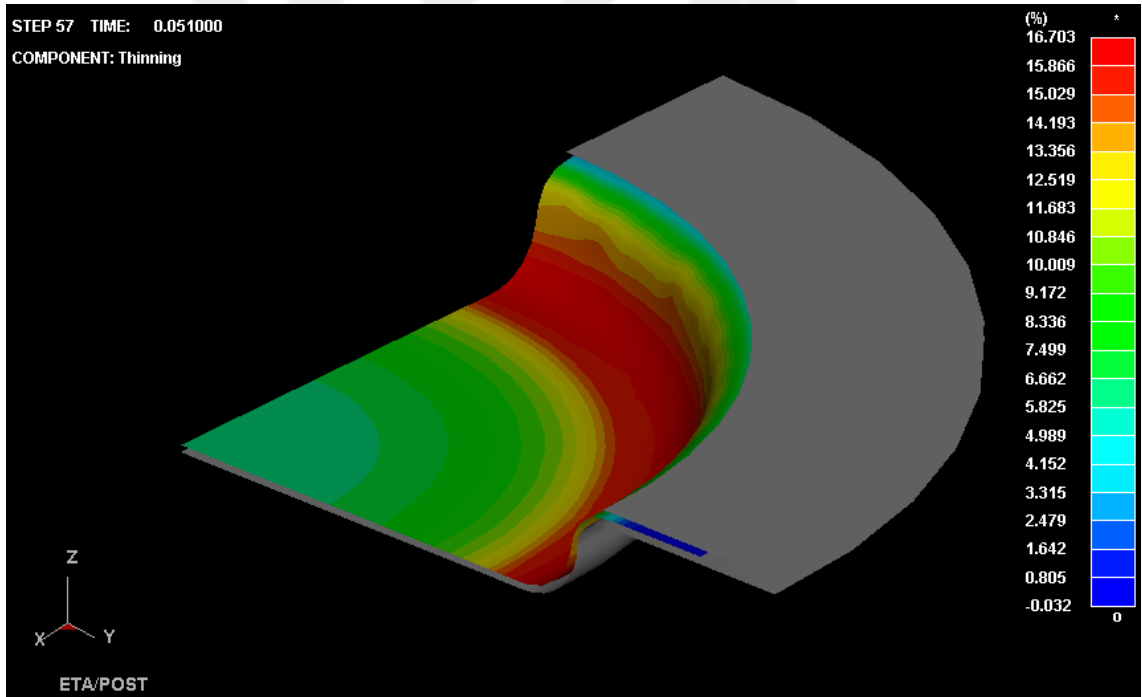
(a)



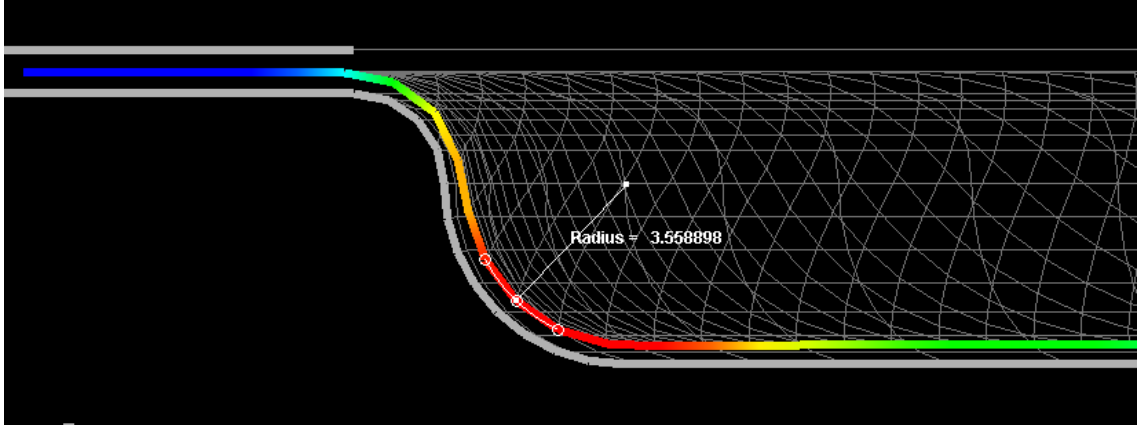
(b)

Şekil 4.2. a) Şekillenme sonucu oluşan incelme oranları ve b) Sac malzemede ölçülen radyüs

Mesh boyutu 1 mm için maksimum incelme yaklaşık %16.7 civarında oluşmuş ve burada sac radyüsü yaklaşık 3.56 mm olarak yazılımdan ölçülmüştür (Şekil 4.3).



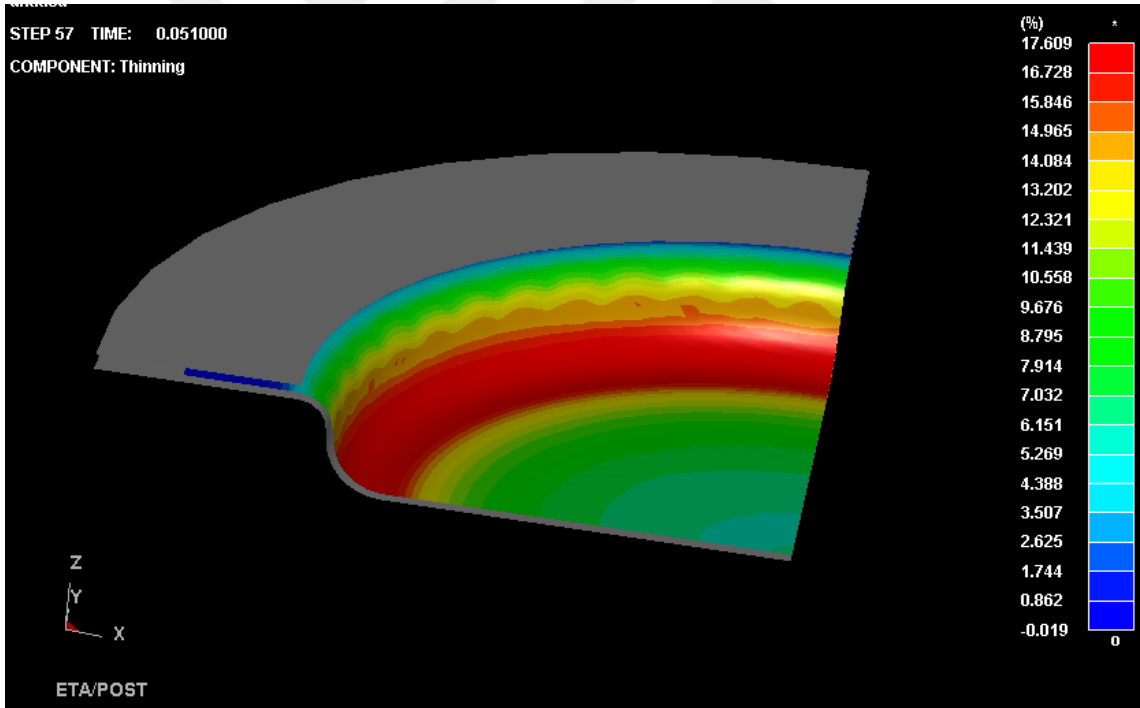
(a)



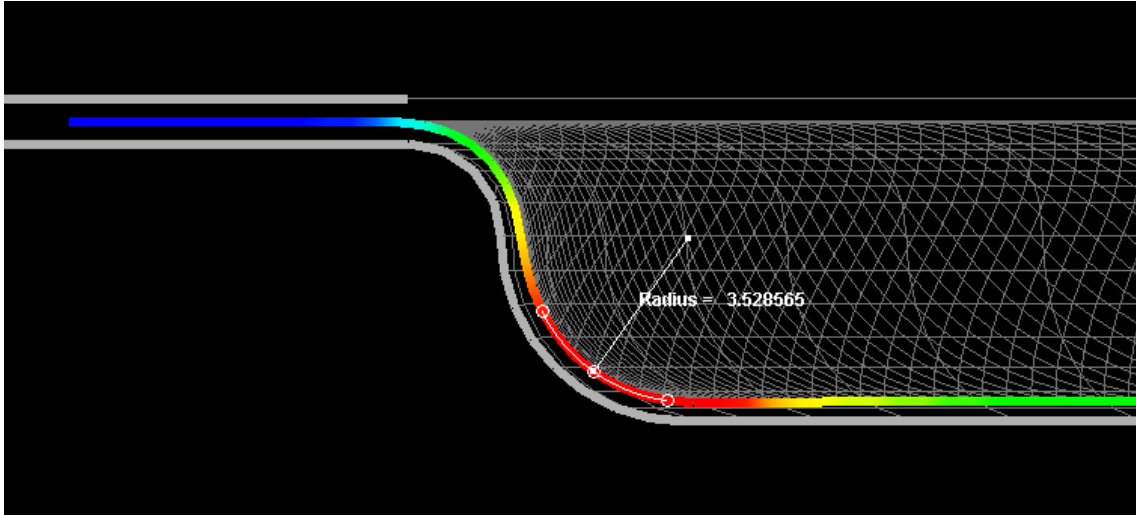
(b)

Şekil 4.3. a) Şekillenme sonucu oluşan incelleme oranları ve b) Sac malzemede ölçülen radyüs

Mesh boyutu 0.5 mm için maksimum incelleme yaklaşık %17.6 civarında oluşmuş ve burada sac radyüsü yaklaşık 3.53 mm olarak yazılımdan ölçülmüştür (Şekil 4.4).



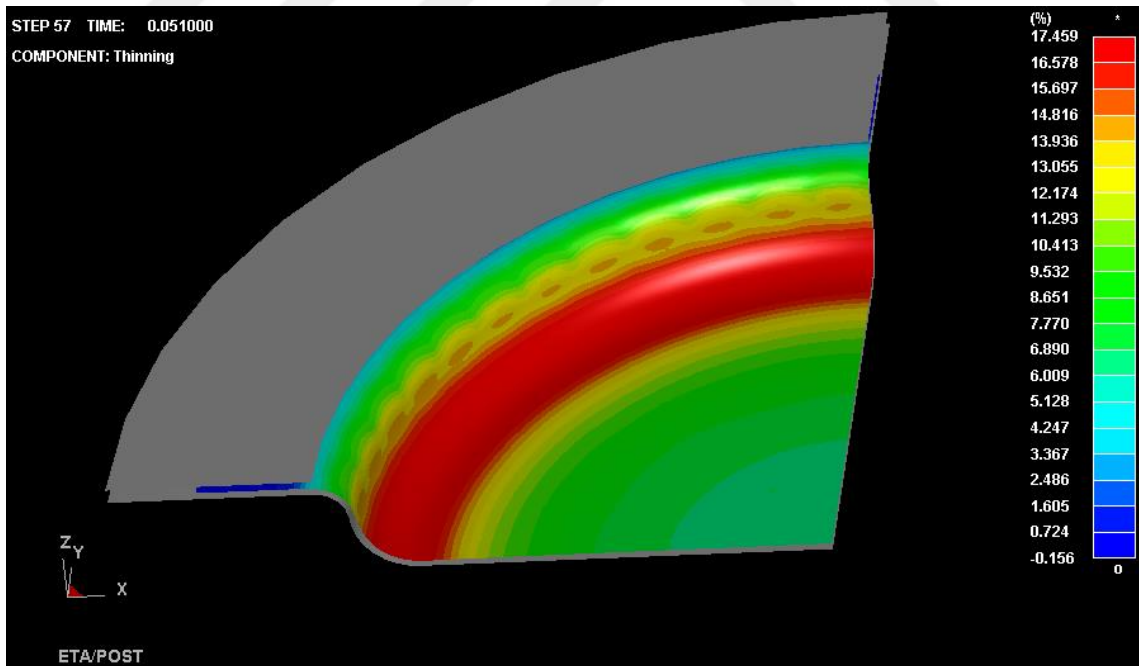
(a)



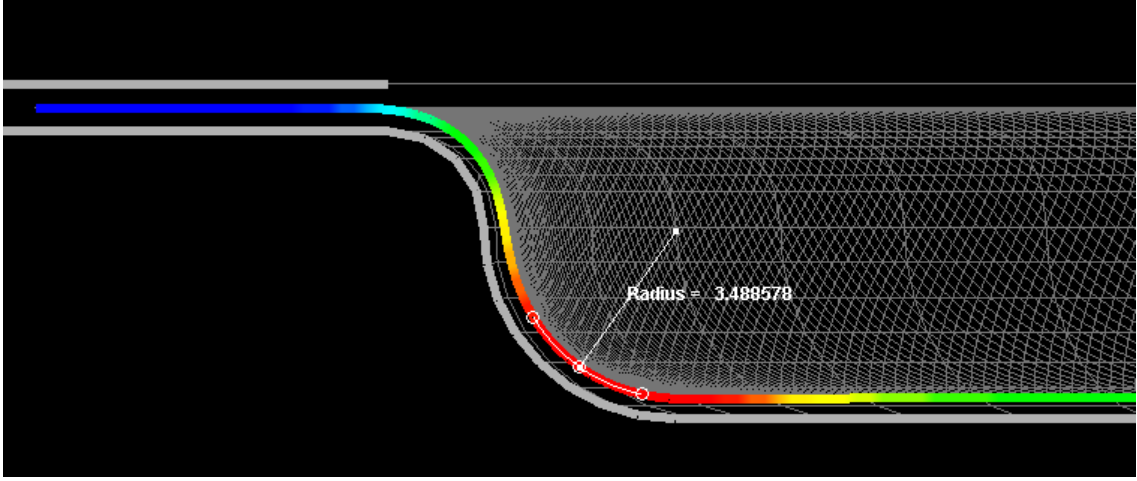
(b)

Şekil 4.4. a) Şekillenme sonucu oluşan incelme oranları ve b) Sac malzemede ölçülen radyüs

Mesh boyutu 0.25 mm için maksimum incelme yaklaşık %17.5 civarında oluşmuş ve burada sac radyüsü yaklaşık 3.49 mm olarak yazılımdan ölçülmüştür (Şekil 4.5).



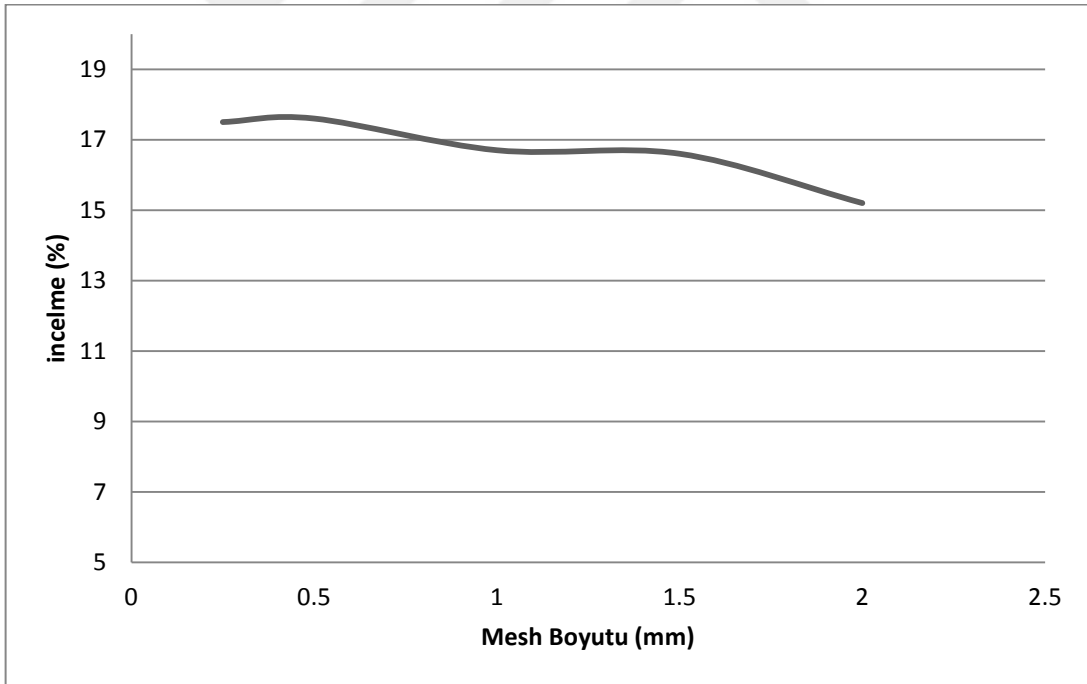
(a)



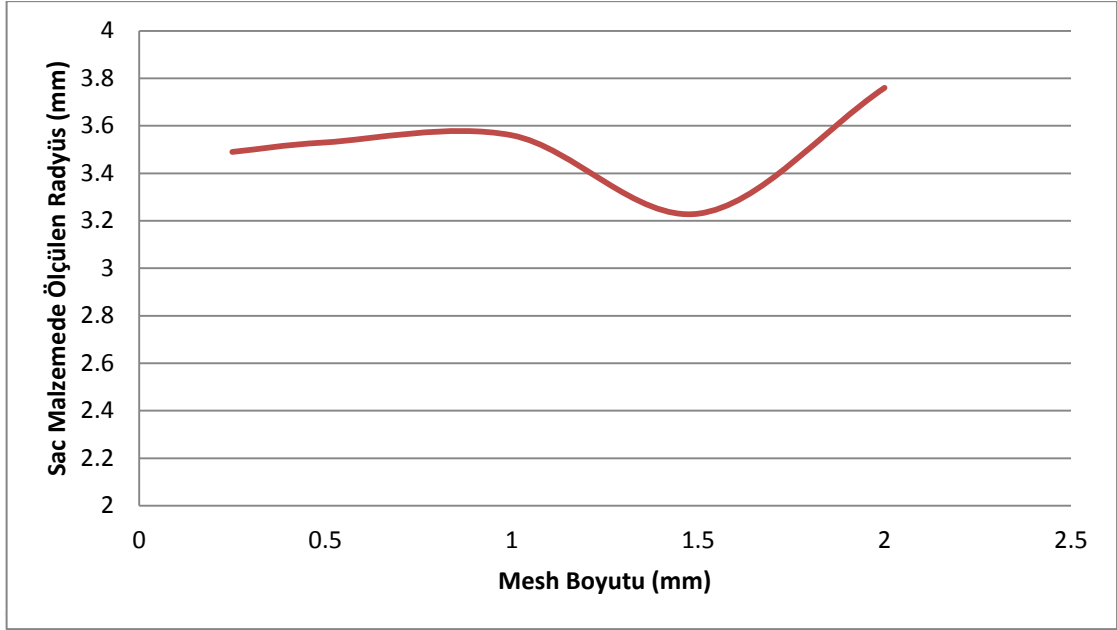
(b)

Şekil 4.5. a) Şekillenme sonucu oluşan incelme oranları ve b) Sac malzemede ölçülen radyüs

Yapılan analizlerin sonucunda eleman boyutuna göre % incelme ve sac malzemede ölçülen radyüs değerleri Şekil 4.6'da verilmiştir.



(a)

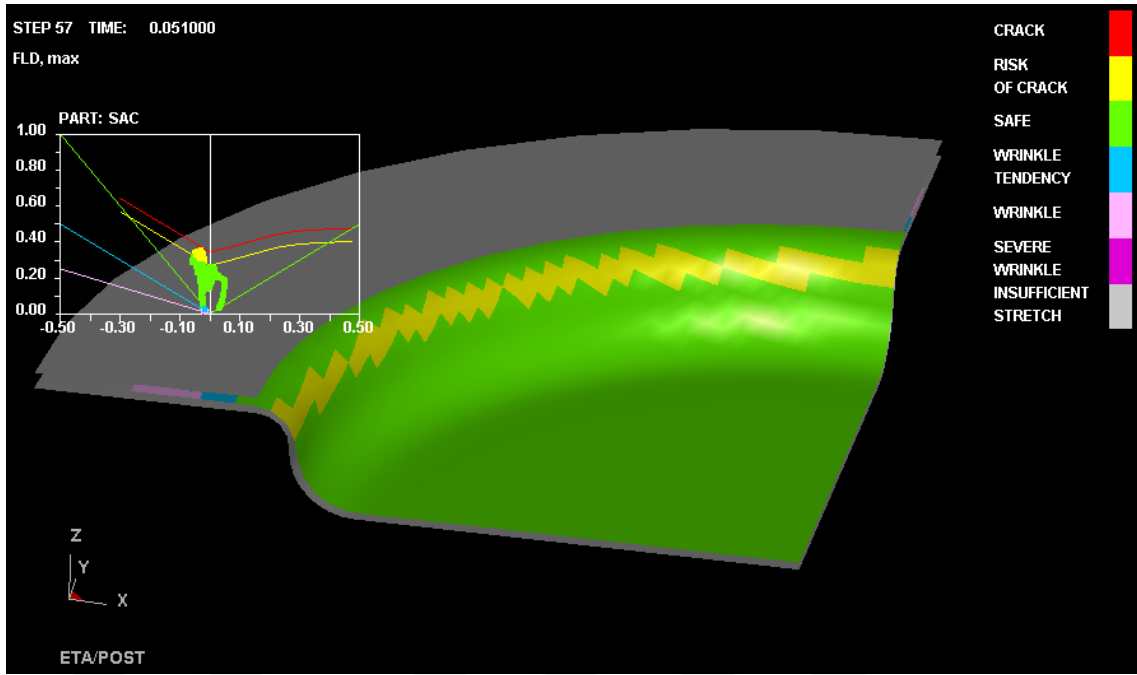


(b)

Şekil 4.6. a) Mesh boyutuna bağlı %incelme değişimi ve b) Mesh boyutuna bağlı sac malzemede ölçülen radyüs

Burada 1.5 ve 2 mm eleman boyutu ile modellenen proseslerde düzgün bir radyüs elde edilememiştir. Alt kalıp radyüsü 4mm olduğu için sac malzeme radyüsü 4mm den küçük ölçülmüştür (Sac malzeme *shell* olarak modellendiği için). En fazla fark ise 0.25 mm mesh boyutunda 3.49 mm ve 1 mm mesh boyutunda 3.56 mm'lik radyüs ölçümleri elde edilmiştir ve bu da genelde yaklaşık $(3.56-3.49)/(3.56) \cong 0.02$ lik çok küçük bir fark oluşmuştur. İncelme değerlerinde ise; 0.25 mm mesh boyutunda de %17.5 iken 1mm mesh boyutunda %16.7 oluşmuştur. İncelme deki bu genel değişim ise $(17.5-16.7)/(17.5) \cong 0.05$ lik kabul edilebilir bir değişim gözlemlenmiştir ve ayrıca çözüm süresi 0.025 mm mesh boyutunda 1 mm mesh boyutuna göre yaklaşık 15 kat artmıştır. Bu sebeplerden dolayı en uygun mesh boyutu 1 mm olarak belirlenmiştir.

Parça üzerinde oluşan birim şekil değiştirmeler, çelik malzemeye ait şekillendirme sınır eğrisi ile değerlendirilmiştir (Şekil 4.7). Bu proseste sac malzemede şekillenme sonucunda alt kalıbın 2 mm lik üst köşe radyüs bölgelerinde yoğun olarak yırtılma riski olan bölgeler oluştuğu gözlenmiştir. Ayrıca malzemede herhangi bir buruşma bölgeleri oluşmamıştır.

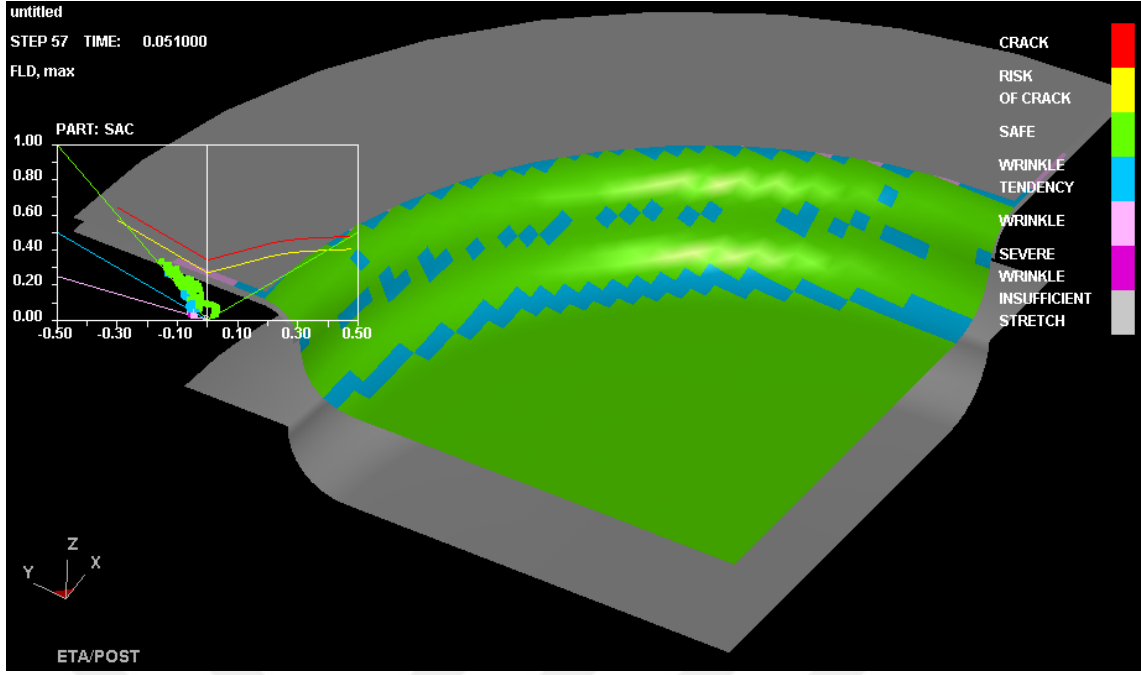


Şekil 4.7. Sabit dişi kalıpla sac hidroşekillendirme prosesinde şekillendirilen sac malzemenin şekillendirme sınır eğrisinde değerlendirilmesi

Bu diyagramda; kırmızı bölgeler yırtılmayı, sarı bölgeler yırtılma eğiliminde olan bölgeleri, yeşil bölgeler güvenli olan bölgeleri, mavi bölgeler buruşma eğiliminde olan bölgeleri, açık pembe bölgeler buruşma olan bölgeleri, koyu pembe bölgeler aşırı oluşan buruşma bölgelerini, gri bölgeler yetersiz germe oluşan bölgeleri göstermektedir.

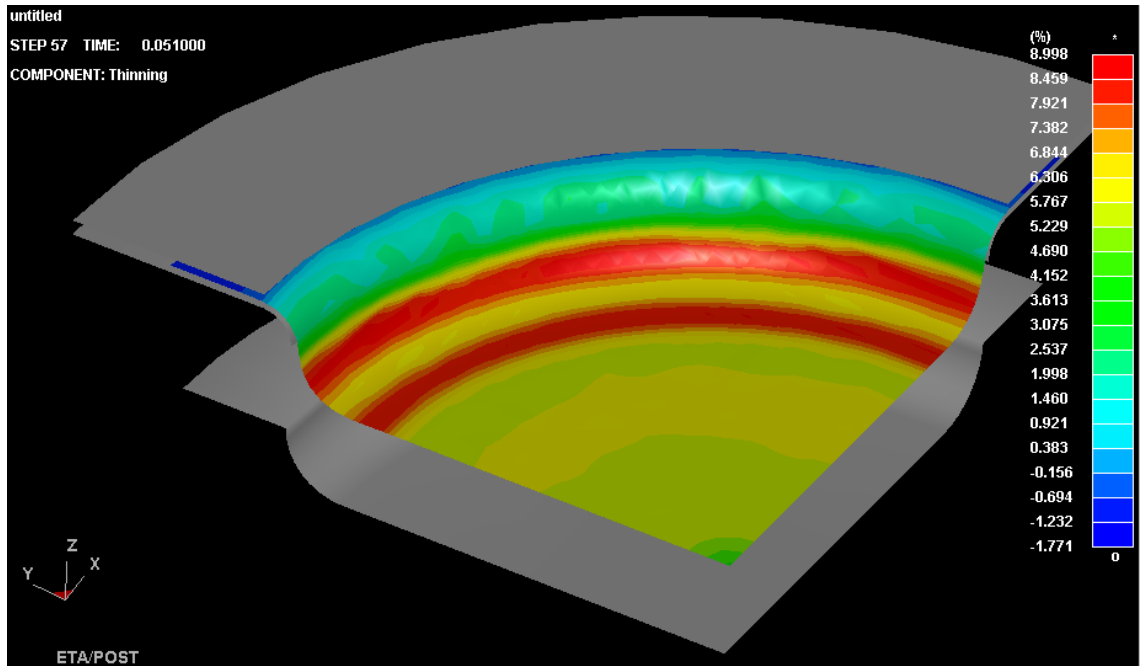
4.2. Hareketli Dişi Kalıpla Sac Hidroşekillendirme Prosesi Sonuçları

Sabit kalıpla dişi hidroşekillendirme prosesiyle analizi gerçekleştirilen parçanın, hareketli kalıpla sac hidroşekillendirme prosesiyle de analizi gerçekleştirilmiştir. Her iki proste de aynı proses parametreleri kullanılmıştır. Hareketli kalıpla sac hidroşekillendirme prosesinde sac malzemedeki herhangi bir yırtılma riski olan bölge meydana gelmemiş ve sabit dişi kalıpla sac hidroşekillendirme yönteminde şekillendirilen sac malzemedeki daha mukavemetli bir yapı elde edilmiştir. Sabit dişi kalıpla sac hidroşekillendirme prosesinde sac malzeme yırtılma eğiliminde oluşan bölgeler hareketli kalıpla yapılan proses analizinde buruşma eğiliminde olan bölgelere dönüşmüştür. Ancak sac malzemedeki buruşma meydana gelmemiştir (Şekil 4.8).



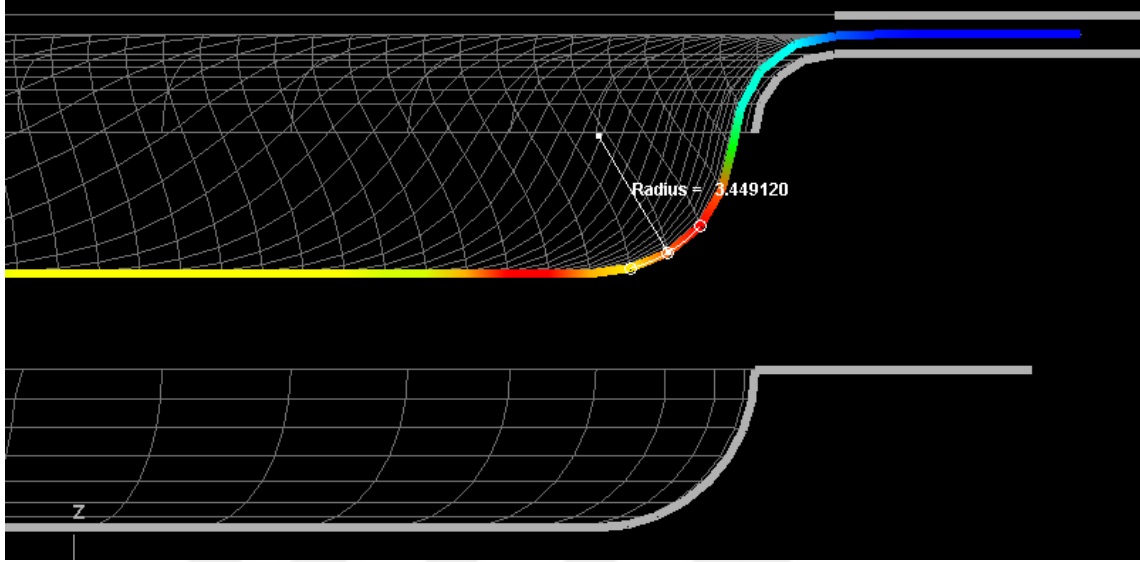
Şekil 4.8. a) Hareketli dişi kalıpla sac hidroşekillendirme prosesinde şekillendirilen sac malzemenin sınır şekillendirme diyagramı

Hareketli dişi kalıpla sac hidroşekillendirme prosesinin analizi sonunda sac parçada maksimum yaklaşık %9 incelme meydana gelmiştir. Sabit dişi kalıpla sac hidroşekillendirme prosesine göre sac parçada yaklaşık maksimum %17 incelme oluşmuştur. Bu durumda parçada oluşan incelme %8 azalmıştır (Şekil 4.9).



Şekil 4.9. Sac malzemenin şekillendirme sonucu oluşan incelme oranları

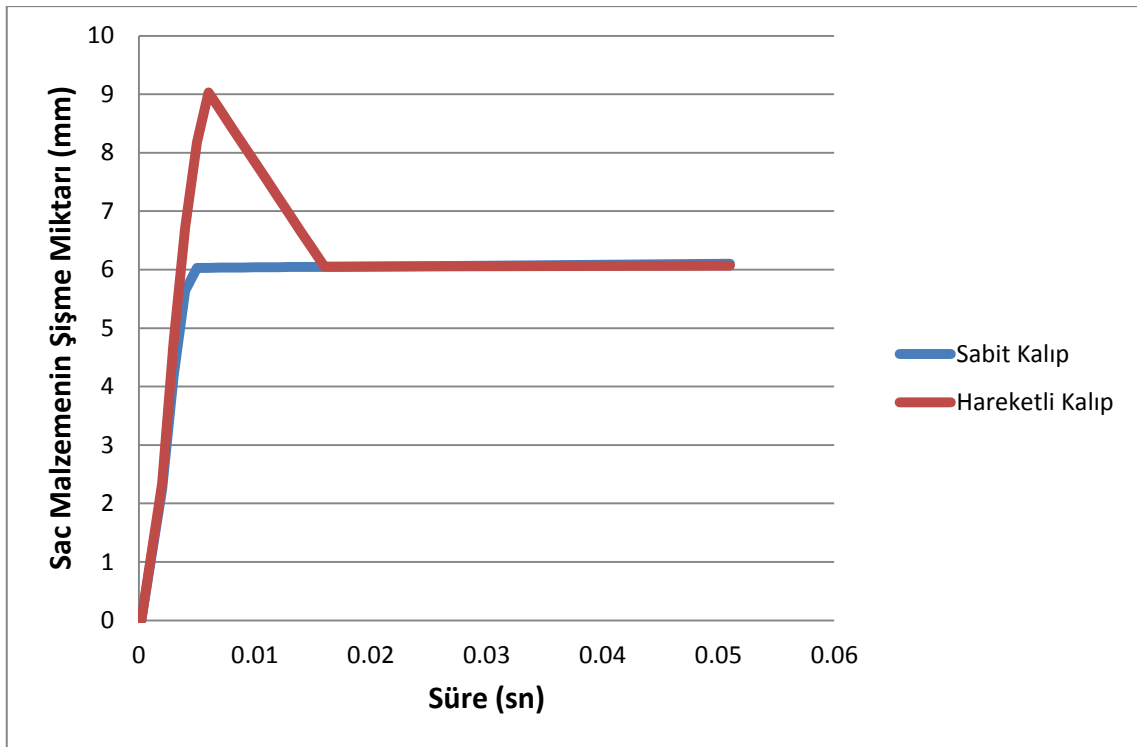
Bu proste de Şekillenme sonunda hareketli dişi kalıbın 4 mm radyüs bölgesindeki sac malzeme radyüsü yaklaşık 3,45 mm olarak yazılımdan ölçülmüştür (Şekil 4.10). Dolayısıyla parçanın kalıbın Şeklini aldığı söylenebilir.



Şekil 4.10. Sac parçada ölçülen radyüs

4.3. Proseslerde Zamana Bağlı Şişme Miktarları

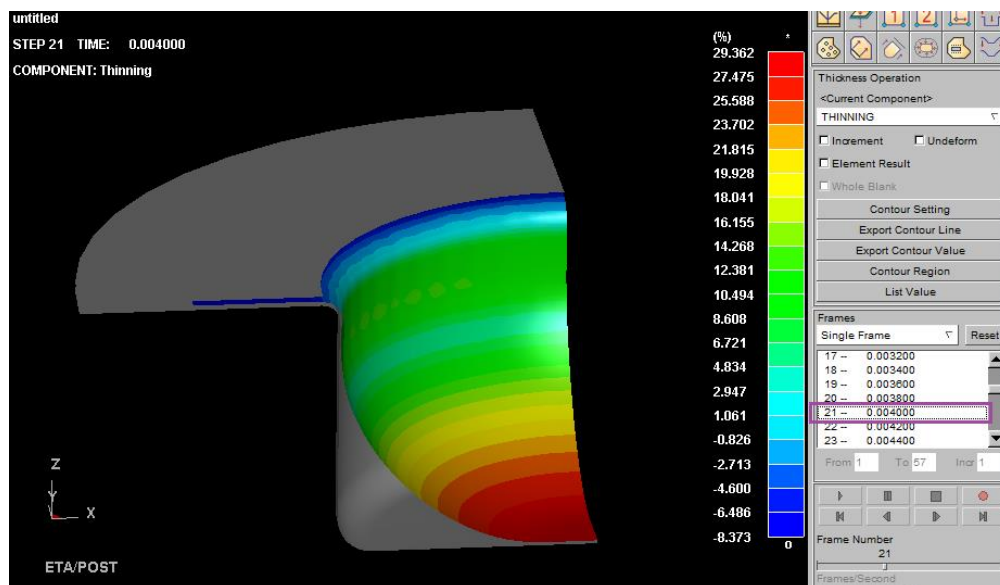
Hareketli dişi kalıpla sac hidroşekillendirme prosesinde sac malzemenin sabit dişi kalıpla sac hidroşekillendirme prosesine nazaran sac malzemenin daha fazla akmasına olanak sağlandığını (daha fazla ŐiŐirilmesi) belirtmiştik. 40000 N baskı plakası kuvveti ve 188 MPa basınç altında yapılan sabit dişi kalıpla sac hidroşekillendirme prosesin de sac malzeme 0.005 sn de dişi kalıba ulaşmıştır. Hareketli dişi kalıpla sac hidroşekillendirme prosesinde ise 0.006 sn de hareketli dişi kalıba ulaŐarak yaklaşık 9 mm Şişme gözlemlenmiştir ve hareketli dişi kalıp 0.016 sn de kapanmıştır. Hareketli dişi kalıbın sac malzemeye temas süresi hareket halinde iken toplamda 0.01 saniyedir ve sac malzeme 0.051 toplam proses süresince ŐiŐmeye devam ederek kalıp formunu almıştır (Şekil 4.11).



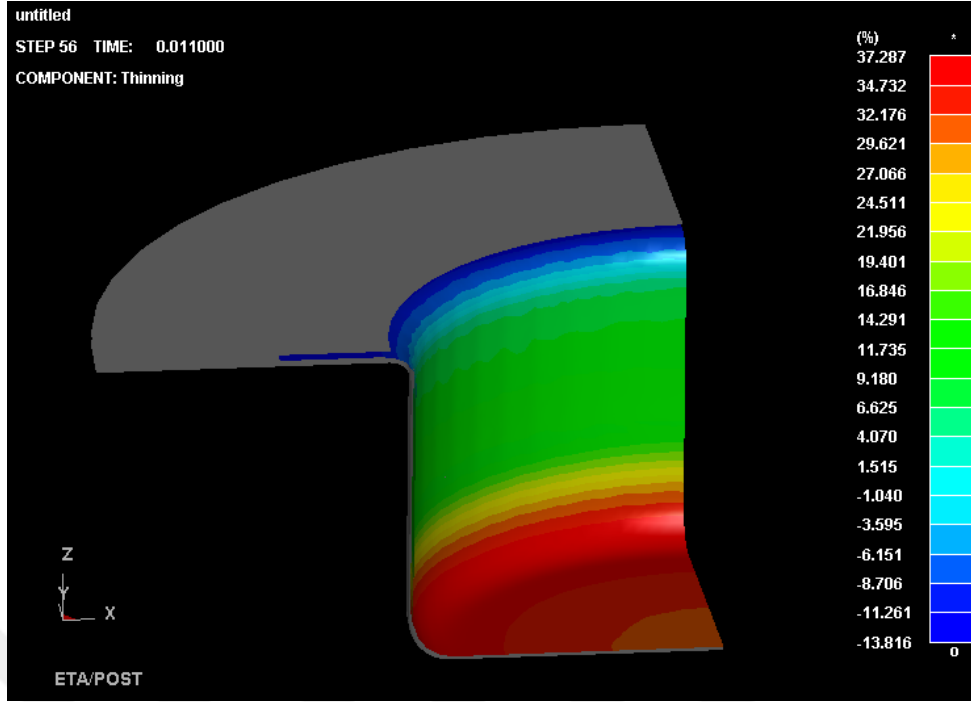
Şekil 4.11. Hareketli ve sabit kalıpla hidroşekillendirme proseslerinin zamana bağlı şişme grafiği

4.4. 30 mm Derinliğinde Modellenen Parçanın Sonuçları

30 mm derinliğinde modellenen sabit dişi kalıpla sac hidroşekillendirme prosesin de sac malzeme yaklaşık 0.004 saniyede alt kalıba ulaşmıştır ve yaklaşık %37.3 incelme oluşmuştur (Şekil 4.12).



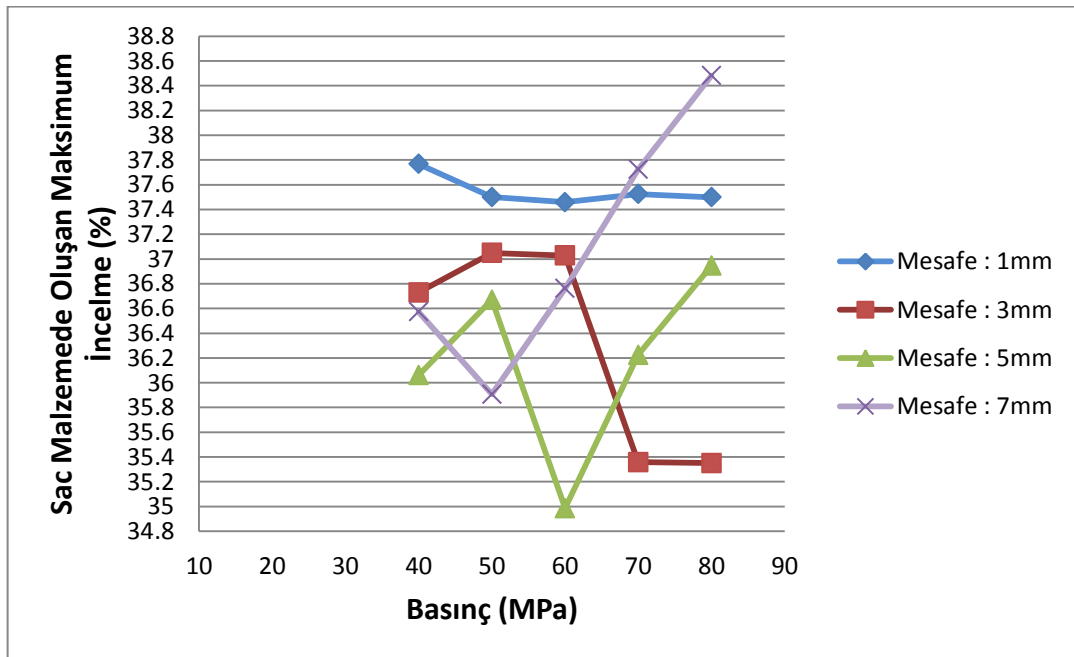
(a)



(b)

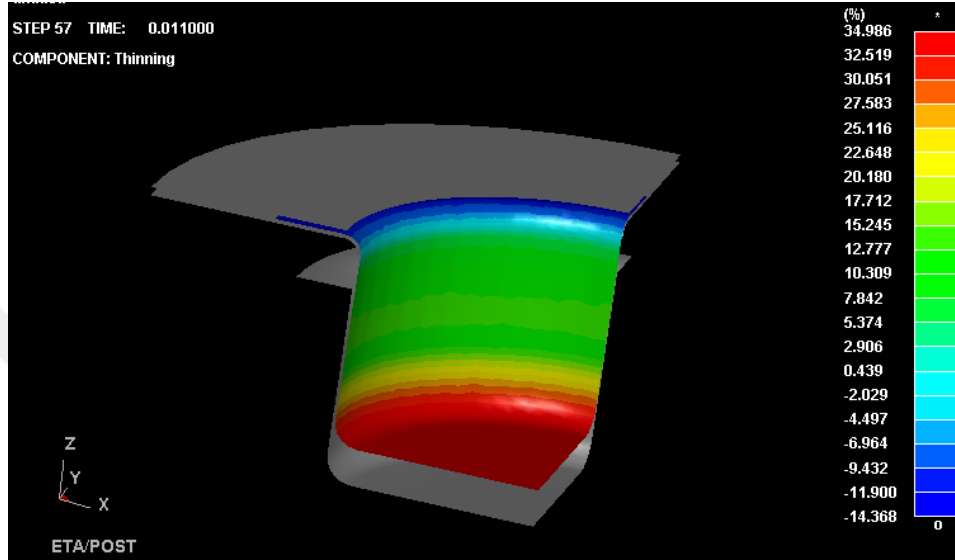
Şekil 4.12. a) Sac malzemenin alt kalıba erişme süresi ve b) Proses sonucunda oluşan incelme oranları

Hareketli dişi kalıp üst kalıba sırasıyla 1; 3; 5 ve 7mm mesafede konumlandırılarak bu mesafelerde sırasıyla 40; 50; 60; 70 ve 80 MPa değerlerinde sabit basınçlar uygulanarak analizleri yapılan proseslerin sonuçları Şekil 4.13' te verilmiştir.



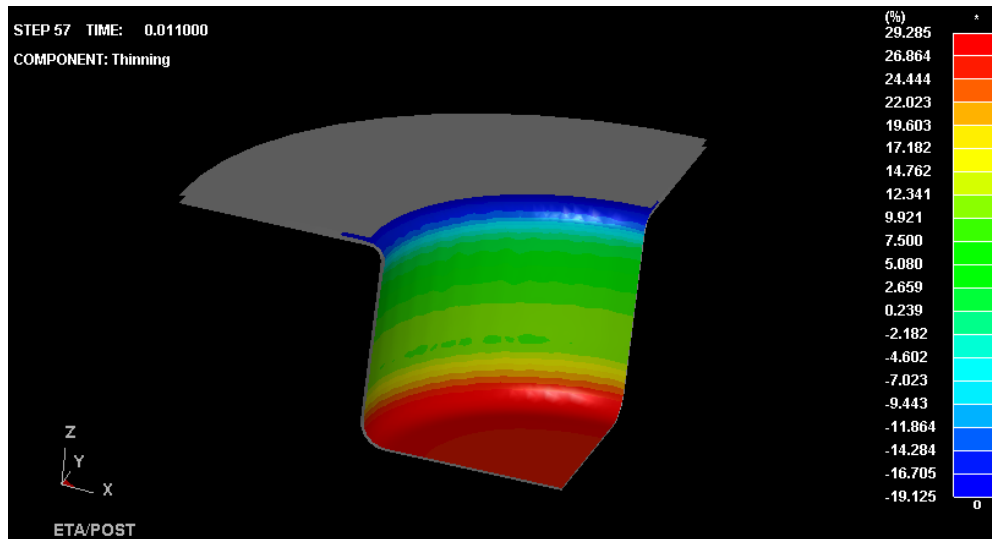
Şekil 4.13. Sabit basınç ve farklı mesafelerde konumlu hareketli dişi kalıpla sac hidroşekillendirme analizlerinin sonuçları

Yapılan analizlerde hareketli dişi kalıbın üst kalıba mesafesi 5 mm iken ve 60 MPa sabit basınç altında yaklaşık %35 incelme oluşmuştur (Şekil 4.14). Sabit dişi kalıpla sac hidroşekillendirme prosesinde yaklaşık %37.3 incelme oluşmuştur. Böylelikle modellenen derin parçada sabit dişi kalıpla sac hidroşekillendirme prosesine göre yaklaşık %2.3 incelme azalmıştır.



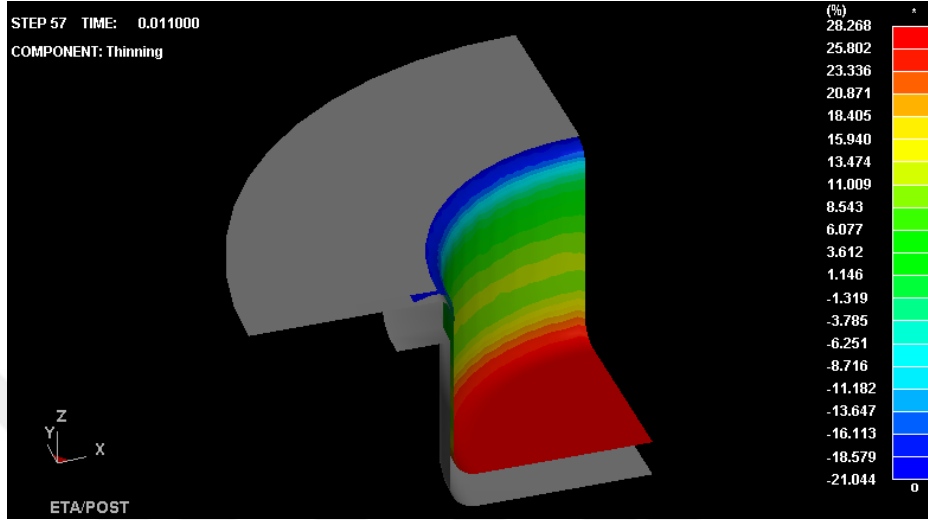
Şekil 4.14. Hareketli dişi kalıp prosesinde optimum elde edilen incelme oranları

30 mm derinliğinde modellenen parçada sac malzemenin çapı 110 mm'den 103 mm'ye düşürülerek sabit dişi kalıpta modellenmiş ve yaklaşık maksimum incelme yaklaşık %29.3 civarında oluşmuştur (Şekil 4.15).



Şekil 4.15. Sabit dişi kalıpta 103 mm çaplı sac malzemenin incelme oranları

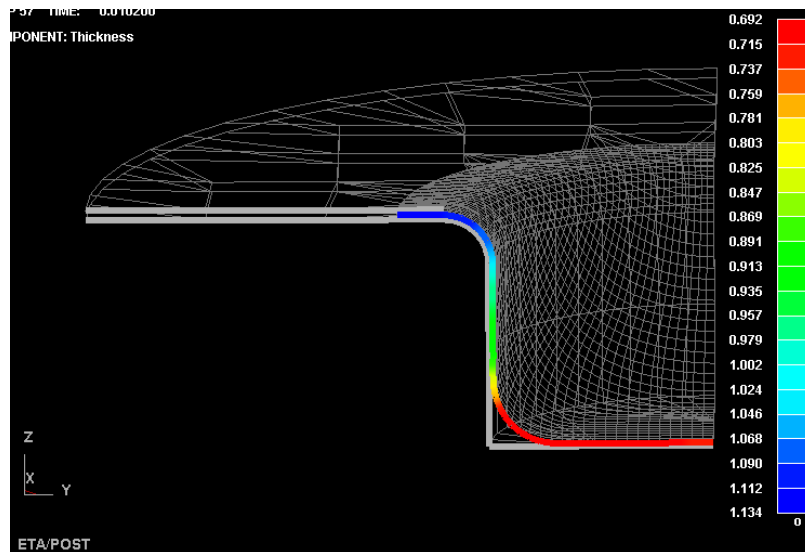
5 mm 60 MPa altında yapılan hareketli dişi kalıpla sac hidroşekillendirme prosesinin parametreleri 103 mm çaplı malzemeye uygulanmış ve %28.3 civarında oluşmuştur. Böylelikle 103 mm çaplı sac malzemede incelme yaklaşık %1 azalmıştır (Şekil 4.16).



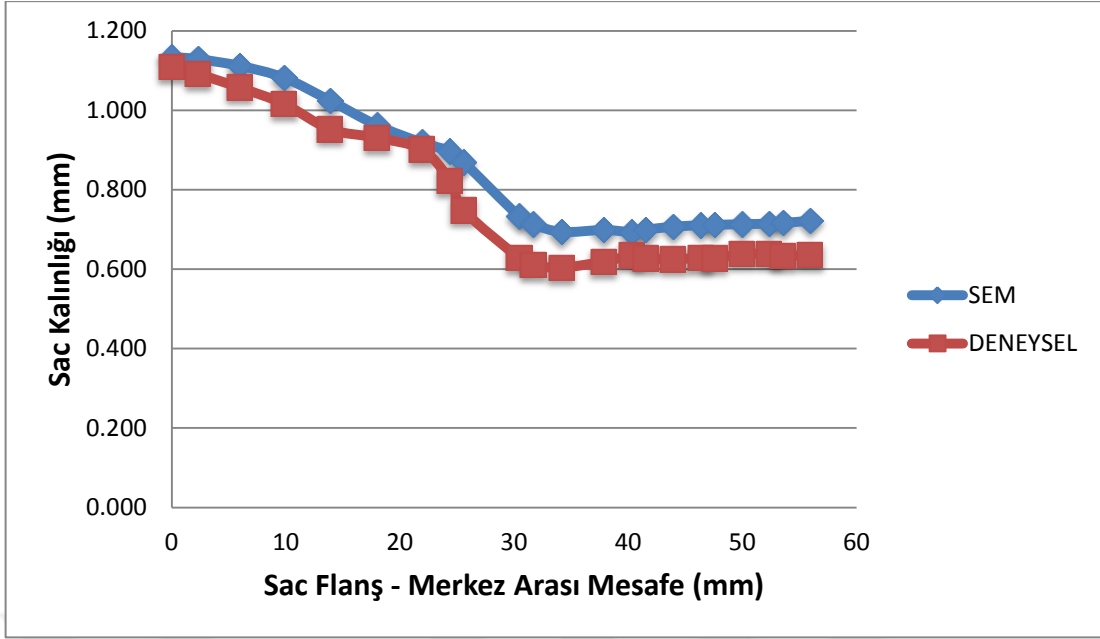
Şekil 4.16. Hareketli dişi kalıpta 103 mm çaplı sac malzemenin incelme oranları

4.5. Deneysel ve SEM Analizlerinin Sonuçları

1. Numunede oluşan kalınlık değerleri ve sonlu elemanlar metodu ile karşılaştırılması Şekil 4.17’de verilmiştir. Buradaki deneysel ve sonlu elemanlar analizi arasındaki hata maksimum %14 civarında oluşmuştur.



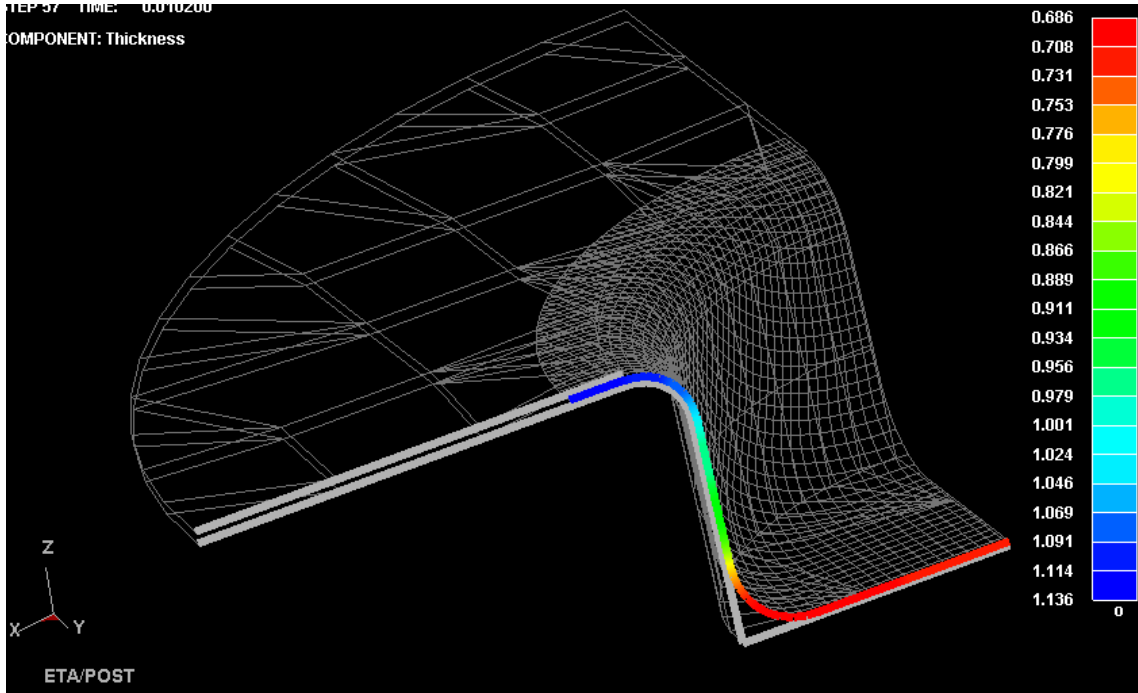
(a)



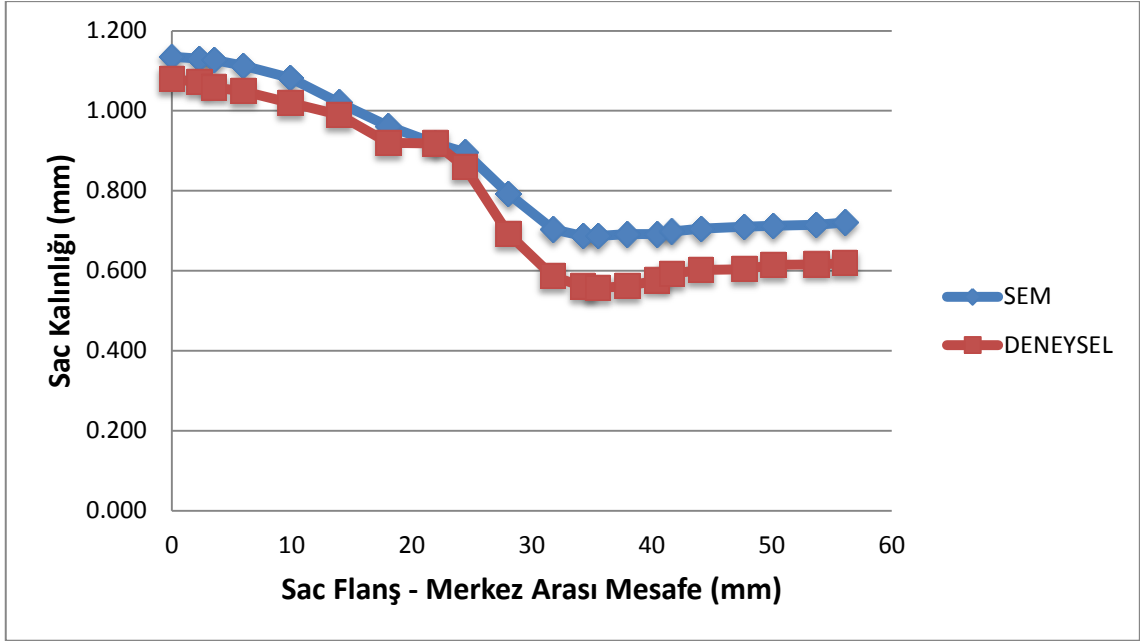
(b)

Şekil 4.17. a) Sonlu elemanlar analizinde oluşan kalınlık miktarları ve b) Kalınlık dağılımları

2. Numunede oluşan kalınlık değerleri ve sonlu elemanlar metodu ile karşılaştırılması Şekil 4.18’de verilmiştir. Buradaki deneysel ve sonlu elemanlar analizi arasındaki hata maksimum %19 civarında oluşmuştur.



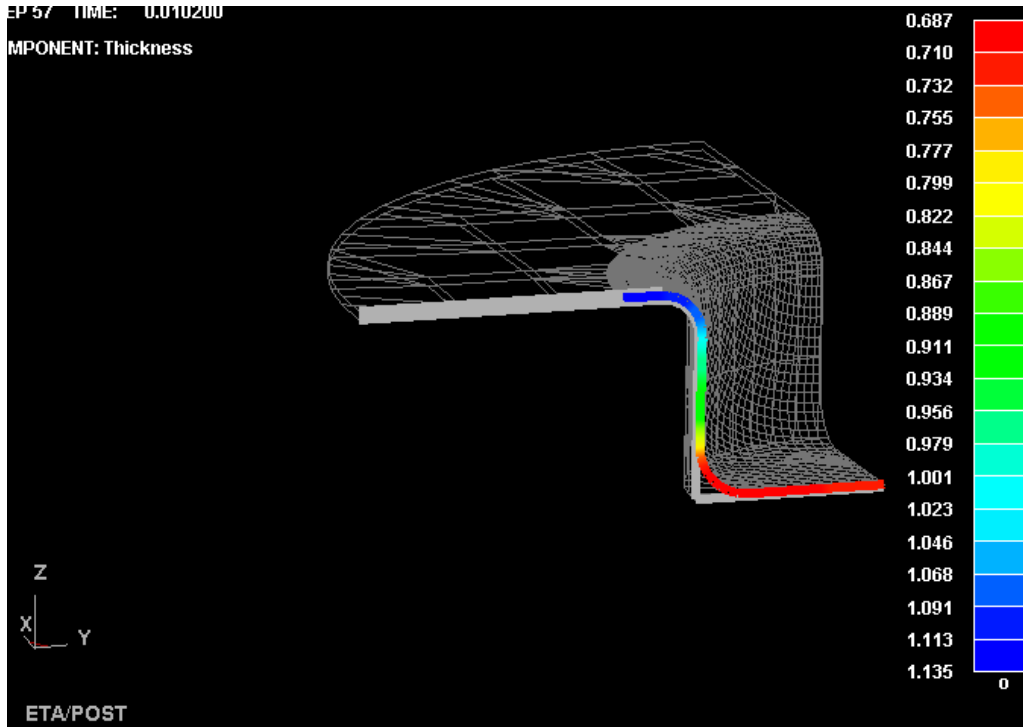
(a)



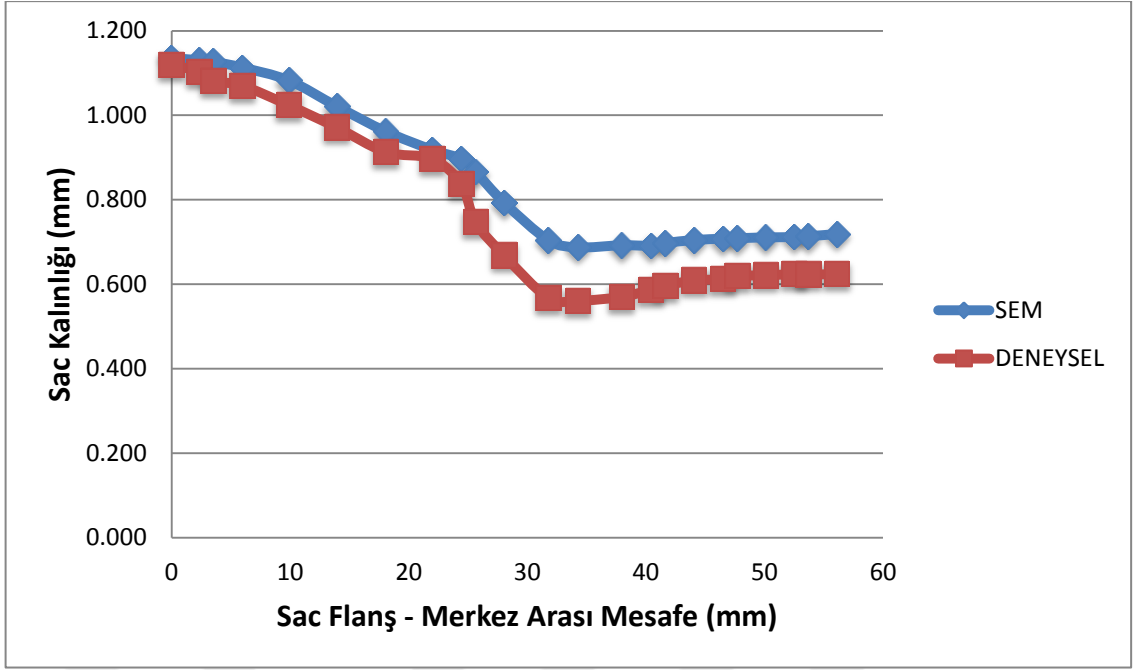
(b)

Şekil 4.18. a) Sonlu elemanlar analizinde oluşan kalınlık miktarları ve b) Kalınlık dağılımları

3. Numunede oluşan kalınlık değerleri ve sonlu elemanlar metodu ile karşılaştırılması Şekil 4.19'de verilmiştir. Buradaki deneysel ve sonlu elemanlar analizi arasındaki hata maksimum %19 civarında oluşmuştur.



(a)



(b)

Şekil 4.19. a) Sonlu elemanlar analizinde oluşan kalınlık miktarları ve b) Kalınlık dağılımları

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu çalışmada, dişi kalıpla sac hidroşekillendirme prosesinde hareketli dişi kalıp kullanılarak sac metal parçaların şekillendirilebilirliği ve sabit kalıpla sac hidroşekillendirmeye göre avantajları sonlu elemanlar analizi ile nümerik olarak araştırılmıştır. Silindirik bir parçadaki maksimum incelme hem sabit kalıpla hem de hareketli kalıpla sac hidroşekillendirme prosesi ile analiz sonucunda incelenmiştir.

Yapılan çalışma sonunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- 6 mm derinlikte ve 80 mm çapta modellenen sabit kalıpla sac hidroşekillendirme prosesi ile gerçekleştirilen analizler sonunda, parçada yaklaşık maksimum %17 civarında incelme olurken, hareketli dişi kalıpla analiz sonucunda aynı şekli alan parçada %9 civarında maksimum incelme oluşmuştur. Hareketli kalıpla sac hidroşekillendirme prosesinde yaklaşık %8 civarında daha az incelme olduğu görülmüştür. Burada ise $\frac{8}{17} \cong \%47$ oranında bir iyileştirme yapılmıştır.
- Analizi yapılan derinliği 6 mm ve 80 mm çapta olan parçadaki birim şekil değiştirmeler incelendiğinde ve şekillendirme sınır eğrisinde değerlendirildiğinde, sabit kalıpla hidroşekillendirme prosesi ile analiz edilen parçada yırtılma riski oluşurken, hareketli kalıpla yapılan analizlerde yırtılma riski gözlenmemiştir.
- 30 mm derinlikte, 110 mm çapta modellenen sabit kalıpla sac hidroşekillendirme prosesi ile gerçekleştirilen analizler sonunda, parçada yaklaşık maksimum %37.3 civarında incelme olurken, hareketli dişi kalıpla analiz sonucunda aynı şekli alan parçada %35 civarında maksimum incelme oluşmuştur. Hareketli kalıpla sac hidroşekillendirme prosesinde yaklaşık %2.3 civarında daha az incelme olduğu görülmüştür. Burada ise $\frac{2.3}{37.3} \cong \%6$ oranında bir iyileştirme yapılmıştır.
- 30 mm derinlikte, 103 mm çapta modellenen sabit kalıpla sac hidroşekillendirme prosesi ile gerçekleştirilen analizler sonunda, parçada yaklaşık maksimum %29.3 civarında incelme olurken, hareketli dişi kalıpla analiz sonucunda aynı şekli alan parçada %28.3 civarında

maksimum incelme oluşmuştur. Hareketli kalıpla sac hidroşekillendirme prosesinde yaklaşık %1 civarında daha az incelme olduğu görülmüştür. Burada ise $\frac{1}{29.3} \cong \%3$ oranında bir iyileştirme yapılmıştır.

- Hareketli kalıpla sac hidroşekillendirme prosesinde maksimum % incelme değerinin sabit kalıpla olana göre daha az olması; hareketli kalıpla sac hidroşekillendirme prosesinde, şekillendirme prosesi sırasında, dişi kalıpla sac arasındaki sürtünmenin sabit kalıpla olana göre daha kısa sürede gerçekleşmesiyle açıklanabilir. Hareketli dişi kalıpla sac hidroşekillendirme prosesinde sac ile dişi kalıp arasında sürtünmenin daha kısa süreli olması, parçanın incelmeye karşı direncini artırmaktadır.
- Deneylerin doğrulanması amacıyla sabit dişi kalıpla sac hidroşekillendirme prosesi ile üretilen test numunelerindeki kalınlık dağılımları ve analiz sonuçları arasında maksimum %19 fark oluşmuştur. Bu fark analizlerin güvenilirliği için yeterlidir.

5.2. Öneriler

- Hareketli kalıpla sac hidroşekillendirme prosesinin gerçekleştirilerek, sabit kalıpla şekillendirmeye göre etkisi deneysel olarak ortaya konulabilir.
- Sabit ve hareketli kalıplarla sac arasında farklı sürtünme koşullarında ve farklı geometrili parçalar için de benzer çalışmaların yapılması gereklidir.
- Farklı malzemeler içinde hareketli ve sabit kalıpla hidroşekillendirme prosesinin malzemeye göre değişimi araştırılabilir.
- Hareketli dişi kalıbın ilerlemesi sırasında basıncın değişken olarak uygulanmasıyla ortaya çıkan sonuçlar incelenebilir.

KAYNAKLAR

- Abedrabbo, N., Zampaloni, M.A., Pourboghrat, F., 2005, Wrinkling control in aluminum sheet hydroforming, *International Journal of Mechanical Sciences* 47, 333-358.
- Altan T. 2006, Processes for hydroforming sheet metal. *Stamping Journal*: 400-418.
- Choi, H., Koç, M., Ni, J., 2007, Determination of optimal loading profiles in warm hydroforming of lightweight materials, *Journal of materials processing technology*, 190, 230-242.
- Dachang, K., Yu, C., Yongchao, X., 2005, Hydromechanical deep drawing of superalloy cups, *Journal of Materials Processing Technology*, 166, 243–246.
- Gather, U., Homberg, W., Kleiner, M., Klimmek, Ch., Kuhnt, S., 2002, Parameter design for sheet metal hydroforming processes, in *Proceedings of the 7th International Conference on the Technology of Plasticity ICTP*, Yokohama, Japan, 1003-1008.
- Groche, P., Metz, C., 2006, Investigation of active-elastic blank holder systems for high-pressure forming of metal sheets, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 46, 1271-1275.
- Hatipoglu H. A., 2007, Experimental and numerical investigation of sheet metal hydroforming (flexforming) process, Master Thesis, *Middle East Technical University* .
- Kandil, A., 2003, An experimental study of hydroforming deep drawing. *Journal of Materials Processing Technology*, 134, 70-80.
- Khandeparkar, T. Liewald, M., 2008, Hydromechanical deep drawing of cups with stepped geometries, *Journal of Materials Processing Technology*, 202, 2008, 246-254.
- Kleiner, M., Krux, R., Homberg, W., 2004, Analysis of Residual Stresses in High-Pressure Sheet Metal Forming, *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, Volume 28, Issue 1, 211-214.
- Koç M. ve Cora, Ö.N., 2008, Introduction and state of the art of hydroforming, Hydroforming for advanced manufacturing, Koç M., *Woodhead Publishing Ltd.*, Cambridge England, 1-29.
- Koç M. ve Taylan A., 2001, An overall review of the tube hydroforming (THF) technology, *Journal of Materials Processing Technology*, 108, 384-393.
- Lang, L., Danckert, J., Nielsen, K.B., 2004, Investigation into the effect of pre-bulging during hydromechanical deep drawing with uniform pressure onto the blank, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 44, 649-657.

- Lang, L.H., Wang, Z.R., Kang, D.C., Yuan, S.J., Zhang, S.H., Danckert, J., Nielsen, K.B., 2007, Hydroforming Highlights: Sheet Hydroforming and Tube Hydroforming, *J. Mater. Process. Technol.*, 151, 165-177.
- Maker, B. N. ve Zhu, X., 2000, Input parameters for metal forming simulation using Is-dyna, *Livermore Software Technology Corporation*, vol. 4, pp. 43-46 .
- Nakagawa, T., Nakamura, K., Amino, H., 1997, "Various applications of hydraulic counter-pressure deep drawing", *Journal of Materials Processing Technology*, 160, 71.
- Önder, E., Tekkaya, A.E., 2008, Numerical simulation of various cross sectional workpieces using conventional deep drawing and hydroforming technologies, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 48, 532-542.
- Palumbo, G., Pinto, S., Sorgente, D., Tricarico, L., 2004a, Analysis of hydroformed complex shape parts using a ductile fracture criterion, *AIP Conf. Proc.*, 712, 1875-1880.
- Palumbo, G., Pinto, S., Tricarico, L., 2004b, Numerical/experimental analysis of the sheet hydro forming process using cylindrical, square and compound shaped cavities, *Journal of Materials Processing Technology*, 155-156, 1435-1442.
- Qin, Y., Balendra, R., 2004, Design considerations for hydromechanical deep drawing of sheet components with concave features, *Journal of Materials Processing Technology*, 145, 163-170
- Siegert K., Haeussermann M., Losch B., 2001, *Hydroforming of tubes, extrusions, and sheet* [online], *Stuttgart, University of Stuttgart*, <https://www.thefabricator.com/article/hydroforming/hydroforming-of-tubes-extrusions-and-sheet> [Ziyaret Tarihi: 7 Ocak 2018].
- Singh, H., 2003, "Fundamentals of hydroforming", *Society of Manufacturing Engineers*, 29-35 .
- Şahin, S., 2004, Hidrolik Şekillendirme yönteminin esasları ve sınıflandırılması, *Mühendis ve Makine*, 45, 35-39 .
- Şanay, B., 2010, Prediction of plastic instability and forming limits in sheet metal forming, *The Graduate School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University, Ankara*, 2-3.
- Topçu, M., Tasgetiren, S., 1998, Mühendisler için sonlu elemanlar metodu, *PAÜ Mühendislik Fakültesi*, Denizli, 1-2 .
- Verma, R.K., Chandra, S., 2006, An improved model for predicting limiting drawing ratio, *Journal of Materials Processing Technology*, 172, 218-224.

- Wu, J., Balendra, R., Qin, Y., 2004, A study on the forming limits of the hydromechanical deep drawing of compounds with stepped geometries, *Journal of Materials Processing Technology*, 145, 2004, 242-246
- Zampaloni, M.A., Abedrabbo, N., Pourboghraat, F., 2003, Experimental and Numerical Study of Stamp Hydroforming of Sheet Metals, *International Journal of Material Sciences*, 45, 1815-1848 .
- Zhang S.H., 1999, Developments in hydroforming, *Journals of Materials Processing Technology*, 91, 226-244.
- Zhang S.H., Jensen M.R., Nielsen K.B., Danckert J., Lang L.H., Kang D.C., 2003. Effect of anisotropy and prebulging on hydromechanical deep drawing of mild steel cups. *J. Mat. Proc. Tech.* 142, 544-550.
- Zhang S.H., Nielsen K.B., Danckert J., Kang D.C., Lang L.H., 2000, "Finite element analysis of the hydromechanical deep-drawing process of tapered rectangular boxes", *Journal of Material Processing Technology*, 102, 1.
- Zhang S.H., Wang Z.R., Xu Y., Wang Z.T., Zhou L.X., 2004, Recent developments in sheet hydroforming technology, *Journal of Materials Processing Technology*, 151, 237-241.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Mustafa Samet ANKARALI
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Mut 22/08/1988
Telefon : 0553 089 59 70
Faks :
e-mail : samet_ankarali@hotmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Özel Karaman Başarı Fen Lisesi/Merkez/KARAMAN	2006
Üniversite	: Atatürk Üniversitesi/Yakutiye/ERZURUM	2012
Yüksek Lisans	: Necmettin Erbakan Üniversitesi/Meram/KONYA	

UZMANLIK ALANLARI

Metal Şekillendirme
 Sac Hidroşekillendirme
 Sonlu Elemanlar Metodu

SEMİNER ve EĞİTİMLER

TS EN ISO 9001 Kalite Yönetim Sistemi Temel Eğitimi, Hidrokon Ltd. Şti., 2011
 Temel Hidrolik Eğitimi, Makine Mühendisleri Odası Konya Şubesi, 2015
 “Advanced Level English” İleri Seviye Genel İngilizce Eğitimi, 2016
 Dış Ticaret Uzmanlığı Eğitimi, Selçuk Üniversitesi – Sürekli Eğitim Merkezi, 2017
 BİLMÖK, Yeditepe Üniversitesi, 2018

PROJELER

Fotovoltaik Sistem Tasarımı
 Teleskopik Asansör Tasarımı
 “Savonius” Tipi Rüzgar Türbini Tasarımı
 “Railgun” Elektromanyetik Fırlatma Sistemi Tasarımı

YABANCI DİLLER

İngilizce (Yökdil: 82.5)