



# SIVI BASINCI İLE SAC ŞEKİLLENDİRME (HYDROFORMING) SİSTEMİNİN TASARIMI, İMALATI VE DENENMESİ

Fatih ALKAN  
Ferah ÇOĞUN  
Faruk ELALDI

## ÖZET

Günümüzde endüstriyel ve araştırma amaçlı uygulamalarda doğrudan hidrolik sıvı basıncı kullanılarak şekillendirme çalışmalarına nadir olarak rastlanmaktadır. Bu alanda bilgi, alt yapı, tecrübenin oluşmamış olması, yüksek basınç ihtiyacı ve sızdırmazlık problemleri bu çalışmaların yaygın olmamasının temel sebepleridir. Bu yüzden yapılacak teorik ve deneysel çalışmaların alana önemli katkı yapacağı açıktır.

Bu çalışmada sıvı basıncı ile şekillendirme sisteminin tasarlanması, imal edilmesi, çelik, alüminyum ve bakır sac malzemelerinin bu sistemle şekillendirilmesi hedeflenmiştir. Şekillendirme kalıbının SOLIDWORKS ile oluşturulan katı modeli sonlu elemanlar yöntemi ile (DYNAFORM v5.5 yazılımı ile) analiz edilerek gerilme ve gerinme karakteristikleri teorik olarak incelenmiştir. Elde edilen veriler nihai kalıp tasarımında kullanılmış, hidrolik şekillendirme için gerekli hidrolik sistem bileşenlerinin hesaplamaları ve seçimi yapılmıştır. Tasarlanan kalıp imal edilmiş, hidrolik sistem bileşenleri biraraya getirilerek hidrolik güç sistemi oluşturulmuştur. Kullanılacak sistemin çok yüksek basınçlara ihtiyaç duymaması için ince saclar kullanılmış ve analizler sonucunda 250 barlık bir dişli pompa seçilmiştir. DYNAFORM v5.5 yazılımı kullanılarak yapılan teorik sac şekillendirme analizlerinden elde edilen şekillendirme basıncı ve pot çemberi baskı kuvveti değerleri sistemin ön denemelerinde kullanılmıştır. Alüminyum (AA1050), paslanmaz çelik (SS304) ve tavlı bakır için sıvı basıncı ile şekillendirme deneyleri başarıyla tamamlanmıştır. Teorik ve deneysel sonuçların birbirleriyle tutarlı olduğu görülmüş, çalışmada sonuçlar karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** sıvı basıncı ile şekillendirme, sac malzeme, kalıp tasarımı, gerilme-gerinme analizi, sonlu elemanlar analizi, hidrolik sistem.

## ABSTRACT

The industrial and research works on application of direct use of hydroforming process in sheet metal forming are quite rare. Basic reasons for less information, expertise and research facilities in the area are due to high pressure requirements and sealing problems in the field. It is obvious that the theoretical and experimental studies conducted will contribute greatly to the hydroforming field.

The purpose of the study is to design and manufacture a hydroforming system, including dies and hydraulic power system, and to form steel, aluminum and copper sheet materials by using the system. The solid die model created with SOLIDWORKS is analyzed theoretically using finite element method (DYNAFORM software) to obtain stress and strain characteristics of the model. The information gathered from the finite element analysis was used as the basis for design of the hydroforming die, and calculation and selection of the hydraulic system components. Later, the die was manufactured and hydraulic system components were assembled. Thin sheets are selected intentionally for reducing the hydroforming pressure during experiments and 250 bar hydraulic gear pump is found suitable for the pressure requirements. The DYNAFORM v5.5 software analysis results were used to set the



necessary blank holder forces and hydraulic pressures. Aluminum (AA1050), annealed copper and stainless steel (SS304) sheets were formed by the experimental system. Numerical analyses for different sheet metals were made and experimental data obtained for aluminum (AA1050), annealed copper and stainless steel (SS304) were found compatible with the numerical analysis results. The results are introduced comparatively in the paper.

**Key Words:** hydroforming, sheet metal, die design, stress-strain analysis, finite element analysis, hydraulic system

## 1. GİRİŞ

Hidrolik sıvı basıncı ile şekillendirme (SBŞ) son 20 yıldır üzerinde çalışmaların ve araştırmaların yapıldığı bir yöntemdir. SBŞ, hidrolik sıvı basıncı kullanarak alüminyum, ince çelik boru veya sac malzemelerin şekillendirilmesidir. Günümüzde bu şekillendirme yöntemi birçok alanda tercih edilmektedir [1]. Bunda en büyük etken bu yöntem ile kompleks parçalara şekil verilmesinin kolaylığıdır. Bu yöntem geniş ve dar çaplı borulara eğim verilmesinde de kullanılmaktadır. Bu sayede, diğer işlemlerden (kaynak vs.) oluşacak hatalar yok edilmiş olur. SBŞ' de kullanılan malzemeler plastik olarak şekil değiştirmektedir. Bu yöntem birçok uygulama alanında kullanılmaktaysa da en yaygın kullanım alanı otomotiv endüstrisidir [2]. Araba kaporta sacları, şase malzemeleri ve süspansiyon parçaları bu yöntemle üretilmektedir.

SBŞ'nin diğer şekillendirme yöntemlerine göre avantajları aşağıda sıralanmıştır:

- Tek taraflı kalıp kullanıldığından kalıp işleme ve işçilik masrafları düşüktür.
- Zımba imalatına ve zımbanın kalıba alıştırilmasına gerek yoktur.
- Parçalar daha hafif, ucuz, dayanıklı, rijit, kaliteli ürünlerdir.
- Ara işlem sayısı azdır.
- Hurda miktarı düşüktür.
- Parçalar iyi yüzey kalitesine, düşük geri yaylanmaya ve düşük kalıcı gerilmelere sahiptir.
- Üretilen parçalar karmaşık şekillerde olabilir.
- Homojen basınç uygulamasından dolayı noktasal aşırı yüklerin malzeme ve tane yapısı üzerindeki olumsuz etkileri azdır.

SBŞ'nin diğer şekillendirme yöntemlerine göre kısıtlamaları ise; uzun işlem süresi, çok iyi parlatılmış kalıp yüzey gereksinimi, yüksek şekillendirme basınç gereksinimi (özellikle kalın saclar için), hidrolik sızdırmazlık problemleri, işlem ve kalıp tasarımı hakkında bilgi ve tecrübenin kısıtlılığıdır.

SBŞ, sac hidrolik şekillendirme, tüp hidrolik şekillendirme ve kabuk hidrolik şekillendirme olarak üç gruba ayrılmış olup, bu çalışmada sac hidrolik şekillendirme üzerine eğilinmiştir. Projenin amacı, sac hidrolik şekillendirme alanında teorik ve deneysel çalışmaların gerçekleştirilmesi ve elde edilen verilerle literatüre katkıda bulunulmasıdır. Bu amaç doğrultusunda bir SBŞ sistemin tasarlanması ve imal edilmesi hedeflenmiştir. Bu sistem kullanılarak paslanmaz çelik, alüminyum ve bakır sac malzemelerin şekillendirilmesi ve şekillendirme sırasında meydana gelen gerilme, gerinme, malzeme incilmesi, yırtılma ve kırılma oluşumları incelenmesi amaçlanmıştır.

## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR VE SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

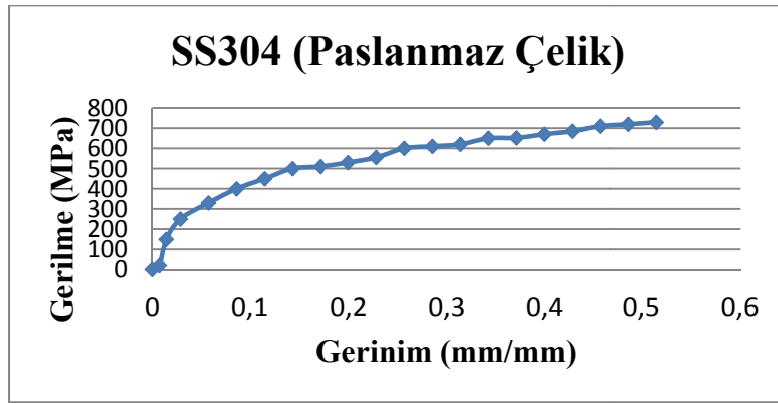
### 2.1. Çekme Deneyi

Kullanılacak sac malzemelerin şekillendirme sırasındaki deformasyon davranışlarını tespit edebilmek için çekme deneyleri yapılmıştır. Çekme deneyleri 60 ton kapasiteli Dartec çekme-basma test cihazında yapılmış, numuneler TS 138 EN 10002-1 standartına uygun olarak ölçülandırılmış ve

numuneler lazer ve su jeti ile kesilmiştir. Çekme numune alanı 0.4 mm kalınlığındaki SS304 çelik için 5 mm<sup>2</sup>, 0.8 mm kalınlığındaki AA1050-0 için 10 mm<sup>2</sup>, 0.5 mm kalınlığındaki tavlı bakır için 6.25 mm<sup>2</sup>dir. Çekme testlerinden elde edilen veriler ile numunelerin mukavemet çarpanı (K), gerinim sertleşmesi (n) [3], akma dayanımı ( $\sigma_y$ ), kopma dayanımı, Young modülü (E) ve maksimum uzama miktarları hesaplanmıştır. Elde edilen veriler ile gerilme ( $\sigma$ ) ve gerinim ( $\epsilon$ ) grafikleri oluşturulmuştur (Tablo 1). Örnek olarak SS304 çeliğinin gerilme-gerinim grafiği Şekil 1'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Sac Malzemelerin Çekme Testinden Elde Edilen Mekanik Özellikleri

	SS304	AA1050-0	Tavlı Bakır
$\sigma_y$ (MPa)	336	57	90
$\sigma_{UTS}$ (MPa)	733	96	244
K (MPa)	1071	164	282
n	0.53	0.35	0.5
E (GPa)	200	79	60
Uzama (%)	52	33	28



(a)

**Şekil 1.** SS304'ün Çekme Testinden Elde Edilen Örnek Gerilme-Gerinme Davranışı

## 2.2. Çalışmada Kullanılan Kalıp Ve Sac Malzemeleri

SBŞ deneyleri için 0.4 mm kalınlığında SS304 paslanmaz çelik, 0.8 mm kalınlığında AA1050 alüminyum ve 0.5 mm kalınlığında tavlı bakır kullanılmıştır. Çelik numune kalınlığının 0.4 mm seçilmesinin amacı deneyler esnasında gerekli hidrolik basıncın düşük olması ve daha küçük bir hidrolik üniteyle çalışmanın sürdürülebilmesidir. Sac şekillendirme deneyleri sırasında alüminyum malzemede yaygın görülen yırtılma problemlerini azaltabilmek için menevişlenmiş alüminyum kullanılmıştır.

SBŞ kalıbı tasarlanmış ve üretilmiştir (Şekil 2). Kolay işlenebilirliği, yüksek mukavemet özellikleri ve düşük maliyetinden dolayı kalıp malzemesi olarak AISI 1040 çeliği seçilmiştir.

### 2.3. Hidrolik Ünite, Kalıp ve Sac Boyutları Hesaplamaları

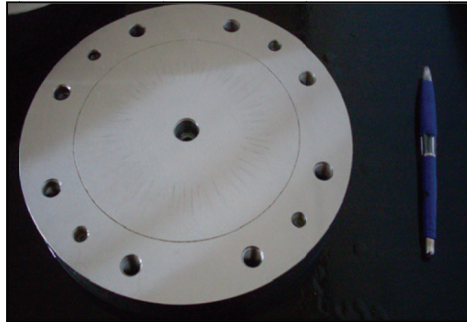
Prototip için gerekli hidrolik akış debisi ve motor gücü 0.34 lt/dak ve 0.12 kW [4] olarak hesaplanmıştır. Farklı güçteki motorlar arasında fiyat farkının az olması ve hidrolik güç ünitesinin ilerde farklı amaçlar için de kullanılabilmesi amacıyla 1,5 kW'lık motor seçilmiştir.

Deneylerde kullanılacak üç sac malzeme arasında çelik sac malzeme en yüksek dayanım özelliklerine sahip olduğundan sistemde gerekli en yüksek şekillendirme basıncının bulunmasında bu malzeme esas alınmıştır. Bu basınç değeri kalıp tasarımında ve hidrolik güç ünitesinin karakteristiklerinin tespitinde kullanılmıştır. 104 mm çapındaki çelik sac numunelerin şekillendirilebilmesi için 4.8 ton kuvvet hesaplanmıştır [5]. Kalıp boyut kısıtlamalarından dolayı (Şekil 2b), numune çapları 125 mm ve 130 mm olarak alınmıştır. 130 mm çaptaki çelik sacları şekillendirme basıncı için gerekli basınç 192 bar olarak hesaplanmıştır. Hidrolik güç ünitesi için 250 bar'lık dişli pompa seçilmiştir.

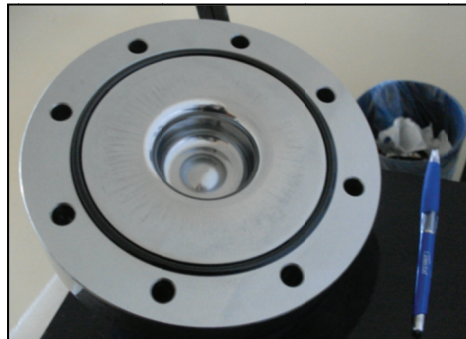
Kalıp dış çapı kalın duvarlı silindirde basınç hesaplama yaklaşımı kullanılarak 86 mm olarak hesaplanmıştır. Ancak, deneylerde kullanılacak sacların çapları göz önüne alınarak kalıp dış çapı 218 mm olarak alınmıştır. Deneyler sırasında uygulanacak yorma tipi hidrolik basınç ve üst kalıbın işlenmesi kolaylığı açılarından üst kalıp boşluğu dibi ile kalıp altı arasındaki mesafe 10 mm alınmıştır.

Alt ve üst kalıbı birleştirmek için sekiz adet civata kullanılmıştır (Şekil 2c). Civatalar kalıp içersinde oluşacak hidrolik basınçtan ve saca uygulanacak pot baskı kuvvetinden dolayı oluşacak çekme yüklerinin toplamını karşılayacaktır. Hesaplamalar sonucunda oluşacak çekme gerilmelerine dayanabilecek civataların çapları 8 mm olarak hesaplanmakla birlikte, çok sayıda yapılacak deneylerde kalıbı açma kapama sırasında dişlerde oluşacak deformasyonlar ve yorma yüklerine dayanabilmesi M12 civatalar kullanılmıştır.

Deney sırasında hidrolik sıvının sac ile kalıp arasından sızmasını önlemek için üst kalıp üzerine açılan yuvaya o-ring yerleştirilmiştir (Şekil 2b).



(a)



(b)

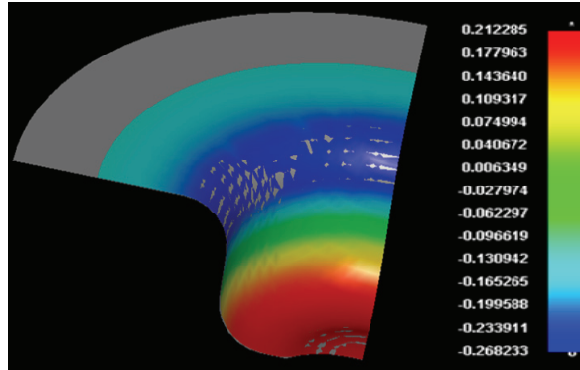


(c)

Şekil 2. Tasarlanan ve Üretilen (a) alt kalıp, (b) üst kalıp, (c) kapalı kalıp seti.

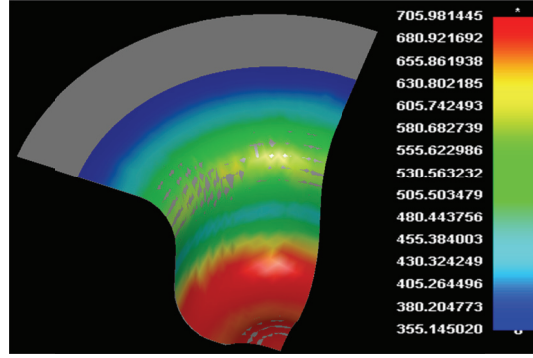
#### 2.4. Sac Metaller İçin Sonlu Elemanlar Analizi (Dynaform)

SOLIDWORKS programı kullanılarak alt kalıp, üst kalıp ve sac numunelerin 3 boyutlu katı modelleri oluşturulmuştur. Katı modeller DYNAFORM sonlu elemanlar analizi yazılımına (LS-DYNA çözücülü) aktarılmıştır. Daha önce sacların mekanik özellikleri kullanılarak hesaplanan hidrolik kuvvetler DYNAFORM v5.5 programına girilerek sac metal şekillendirme analizleri yapılmıştır. Analizler, üç sac malzeme için başarılı şekillendirme sonuçları elde edilene kadar parametreler değiştirilerek tekrarlanmıştır. SS304 için sonlu elemanlar analizi (SEA) sonuçları Şekil 3'te verilmiştir. Şekilde negatif gerinimler ve kalınlaşma flanş bölgesinde görülmektedir. Kalıp duvarının üst bölgesinde negatif gerinimler, alt bölgesinde ise pozitif gerinimler oluşmuştur. Kalıp dibinde ise büyük pozitif gerinimler (yaklaşık 0,21 mm/mm) görülmüştür. Alüminyum sacla yapılan deneylerde özellikle bu bölgelerde yırtılma görülmüştür. Şekillendirme sırasında oluşan gerinim değerleri saclarda sünmenin kaçınılmaz olduğunu göstermiştir. Deneylerde farklı pot basma kuvvetleri uygulanarak sünme etkisi azaltılmaya çalışılmıştır. Pot basma kuvveti azaltıldığında sünme etkisi azalmakla beraber flanş bölgesindeki kırışıklıklar artmıştır.



Şekil 3. SS304 SEA Gerinim Dağılımı (Sac Çapı 130mm, hidrolik basınç 240 bar, pot baskı kuvveti 12000 N).

SS304 çeliği için kalıp dip bölgesinde Von Mises gerilme değerleri 705 MPa değerine ulaşmaktadır (Şekil 4). SS304 için çekme testlerinden elde edilen akma dayanımı 336 MPa ve kopma gerilmesi 733 MPa bulunmuştu. SEA analizlerinden elde edilen verilerle çekme testlerinden elde edilen veriler karşılaştırıldığında sacların plastik şekillendirme bölgesinde şekillendiği görülmüştür. Yapılan deneyler sonucunda başarılı şekillendirmeler gerçekleştirilmiştir. En düşük gerinim ve Von Mises gerilme değerlerinin flanş bölgesinde olduğu görülmüştür. Sacın flanş bölgesindeki Von Mises gerilmeleri, akma gerilmesi değerlerinden yüksek çıkmıştır.



Şekil 4. SS304 SEA Von Mises Gerilme Dağılımı

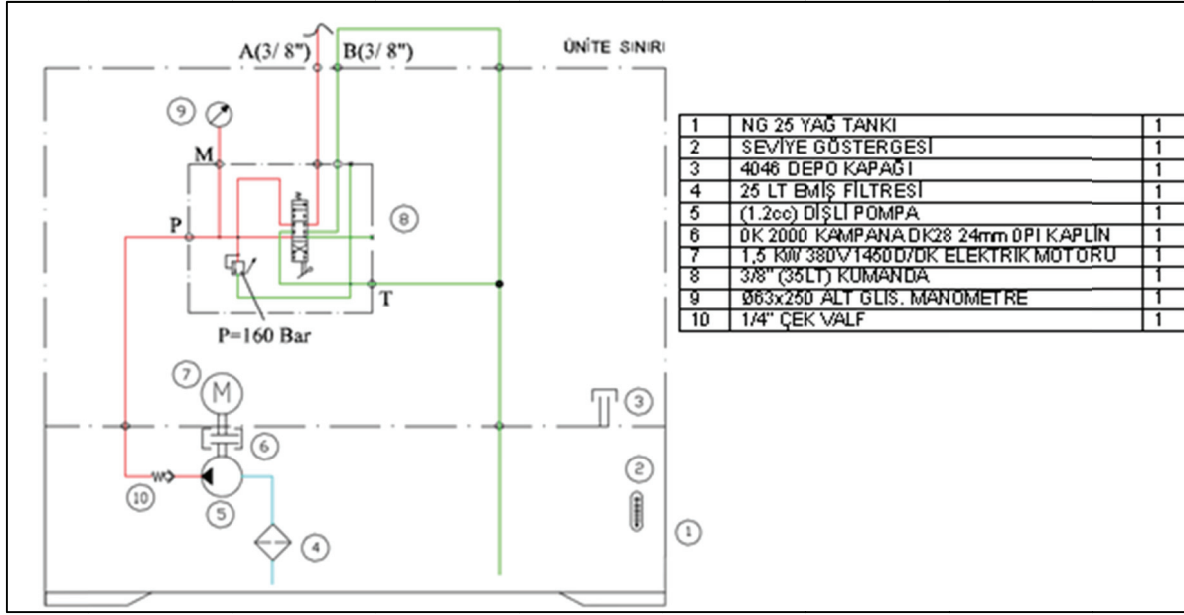
SE analizleri tavlı bakır ve AA1050 için tekrarlanmıştır. Elde edilen veriler hidrolik basınç ayarlamalarında kullanılmıştır.

## 2.5. Sistem Şasesinin ve SBŞ Kalıbının İmali

Kalıp ve sac boyutları DYNAFORM analizlerinden elde edilen verilere göre revize edildikten sonra imal edilmiştir. Alt ve üst kalıplar 220 mm çapındaki aynı silindirik kütükten (1040Ç) imal edilmiştir. Üst ve alt kalıp dış çapları tornalama işlemi sonrasında 218 mm olmuştur. Kalıpların alt ve üst düz yüzeyleri taşlanmıştır. Üst kalıp, kalıp kavitesini sağlamak amacıyla CNC tezgâh ile tornalanmıştır.(Şekil 2.b). Kalıp yüzeylerindeki çizilme ve aşınmaları önlemek için kalıpların yüzeyleri 62 HRC'ye sertleştirilmiştir. Sertleştirilmiş kalıp yüzeyleri ile sac arasındaki sürtünmeyi minimuma indirebilmek için parlatma işlemi uygulanmıştır. Sistem şasesi 50x50 mm standart kare profillerinden imal edilmiştir. Alt kalıp, şasi üzerine kaynaklanmış olan 5 mm'lik çelik sac üzerine monte edilmiştir. Sistem bütünü Şekil 5a'da, kullanılan hidrolik sistem komponentleri şemasal olarak Şekil 5b'de görülmektedir.



(a)



(b)

Şekil 5. a) Hidrolik ünite, kalıplar ve sistem şasesini içeren deney sistemi,  
b) hidrolik sistem şeması

## 2.6. SBŞ Sistemi Kullanılarak Şekillendirilen Saclar

125 mm ve 130 mm çaplı SS304, AA1050 ve bakır taslaklar tasarlanan ve imal edilen sistem kullanılarak şekillendirilmiştir. Şekillendirilmiş saclar Şekil 6'da verilmiştir. SS304'de hafif kırışıklık oluşumu açıkça görülmektedir (Şekil 6a). Çelik saclar 190 barda başarıyla şekillendirilmiştir. Daha iyi kalıp dibi detayları elde edebilmek için çelik saclar maksimum pompa basıncı olan 240 bar etki ettirilmiştir. Çelik sacları şekillendirme denemelerinde, hiç bir sacın yırtılmadığı görülmüştür.

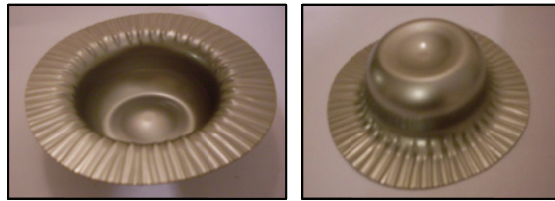
Deneylerde alüminyum saclar genelde kalıp dip bölgesinden yırtılmıştır. Bu sorunu çözmek için pot basma kuvveti %20 azaltılmıştır. Alüminyum taslaklarda yapılan kalınlık ölçümleri sonucunda kalınlığın bölgeden bölgeye değiştiği görülmüştür. Bunun sonucu olarak şekillendirme sırasında homojen olmayan flanş bölgesi basınçları ve ondulasyonlar oluşmuştur (Şekil 6b).

Bakır saclar şekillendirme deneylerinde başarılı sonuçlar vermiştir (Şekil 6c). Deneylerde kullanılan pot basma kuvveti ve hidrolik basıncın SEA ile uyumluluk gösterdiği görülmüştür.

Deney sonuçlarına genel olarak bakıldığında, SEA sonuçlarıyla uyumlu oldukları görülmüştür. Tüm yapılan deneylerde, sayısal analizler ile deneysel gerinim değerleri arasında tespit edilen en yüksek sapmanın %29 olduğu görülmüştür (Tablo 2).

**Tablo 2.** Deneysel ve SEA Gerinim Değerlerinin Karşılaştırılması

BAKIR (125mm)					BAKIR (130mm)				
	DENEY	SEA	FARK (ε) %	Maksimum Sapma %		DENEY	SEA	FARK (ε) %	Maksimum Sapma %
	ε	ε				ε	ε		
1-flanş	-0,157	-0,189	-20	-20	1	-0,136	-0,165	-21	-21
2-flanş	-0,241	-0,264	-10	-20	2	-0,2	-0,227	-14	-21
3-duvar	-0,183	-0,154	16	22	3	-0,105	-0,13	-24	-24
4-duvar	0,115	0,09	22	22	4	0,13	0,14	-8	-24
5-taban	0,133	0,158	-19	-19	5	0,173	0,21	-21	-22
6-taban	0,197	0,172	13	-19	6	0,185	0,225	-22	-22
SS304 (125mm)					SS304 (130mm)				
	DENEY	SEA	FARK (ε) %	Maksimum Sapma %		DENEY	SEA	FARK (ε) %	Maksimum Sapma %
	ε	ε				ε	ε		
1	-0,17	-0,199	-17	-27	1	-0,188	-0,175	7	-29
2	-0,216	-0,274	-27	-27	2	-0,185	-0,239	-29	-29
3	-0,13	-0,156	-20	-20	3	-0,175	-0,133	24	24
4	0,096	0,086	10	-20	4	0,1	0,123	-23	24
5	0,117	0,144	-23	-23	5	0,16	0,193	-21	-21
6	0,159	0,165	-4	-23	6	0,18	0,207	-15	-21
AA1050 (125mm)					AA1050 130mm yırtıldığı için karşılaştırma yapılamamıştır.				
	DENEY	SEA	FARK (ε) %	Maksimum Sapma %					
	ε	ε							
1	-0,144	-0,132	8	-25					
2	-0,151	-0,189	-25	-25					
3	-0,121	-0,144	-19	-19					
4	0,136	0,144	-6	-19					
5	0,245	0,311	-27	-28					
6	0,268	0,344	-28	-28					

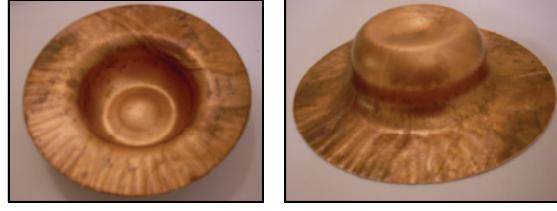


(a)



(b)





(c)

**Şekil 6.** Şekillendirilmiş saclar (a) SS304, (b) AA1050-0, (c) bakır

## SONUÇ

Çalışmada sıvı basıncı ile sac şekillendirme (SBŞ) kalıbının tasarımı, imalatı ve denenmesi hedeflenmiş olup, bu hedefler doğrultusunda kalıbın mukavemet analizleri için ANSYS yazılımı ve sac şekillendirmenin simülasyonu için DYNAFORM yazılımı kullanılmıştır. Teorik analizler sonucunda şekillendirme için SS304 çelik sac (0.4 mm kalınlık), AA1050 alüminyum sac (0.8 mm kalınlık) ve tavlı bakır sac (0.5 mm kalınlık) kullanılması uygun bulunmuştur. Tedarik edilen sacların gerçek mukavemet ve deformasyon özelliklerinin saptanması için hazırlanan standart numunelerle çekme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Belirlenen kalıp boyutları için yapılan ANSYS analizi sonucunda projedeki hidrolik basınç koşullarında kalıp mukavemetinin yeterli olduğu görülmüştür.

DYNAFORM sac analizlerinde gerilme ve gerinim değerleri elde edilmiş, sacda çatlak ve yırtılma oluşumları incelenmiştir. Bu oluşumların meydana gelmemesi için kalıp giriş kavis yarıçapı, dip yuvarlanma yarıçapı ve kalıp çapı değiştirilerek analizler tekrarlanmıştır. Sac malzemelerin çekme deneyinden elde edilen gerçek mukavemet ve plastik deformasyon bölgesi sabitleri kullanılarak DYNAFORM sac şekillendirme analizleri tekrar edilmiştir.

Yapılan deneysel çalışma sonucunda, 125 mm ve 130 mm çapındaki 0.4 mm kalınlığındaki çelik sacların 240 bar, 0.8 mm kalınlığındaki alüminyum sacların 70 bar, 0.5 mm kalınlığındaki bakır sacların 120 bar basınçlarda şekillendirilebileceği deneysel olarak gösterilmiştir. Teorik olarak bulunan basınç değerlerinin deneysel verilerle uyumlu olduğu görülmüştür.

Yapılan ANSYS ve DYNAFORM analiz sonuçları kullanılarak maksimum 250 bar dişli pompa, motor, hidrolik tank, vanalar, filtreler ve diğer bağlantı elemanları piyasadan sağlanarak hidrolik güç ünitesi oluşturulmuştur. Numuneler genelde başarılı bir şekilde şekillendirilmiş olup, yapılan sayısal analizler ile deneysel testler karşılaştırıldığında gerinimlerde maksimum %29 sapma olduğu görülmüştür.

SBŞ (Hydroforming) sac şekillendirme yönteminde kalıp ve şekillendirilecek malzemenin önce modellenmesinin ve SEA'nın yapılmasının maliyet ve ürün kalitesi açısından önemli avantaj sağlayacağı açıktır.

## TEŞEKKÜR

Projenin desteklenmesinde katkıda bulunan TÜBİTAK-BİDEB'e yazarlar teşekkürü borç bilirlir.



## KAYNAKLAR

- [1] Karaağaç, İ., Özdemir, A., Sıvı Basıncı ile Sac Şekillendirme (SBŞ) Yönteminin Derin Çekilebilirlik Üzerine Etkilerinin İncelenmesi, 5.Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), Karabük, 2009.
- [2] Şahin, S., Hidrolik Şekillendirme Yönteminin Esasları ve Sınıflandırılması, Mühendis ve Makine, 45, 533, 35-39, 2004.
- [3] Çengel, Y. A., Cimbala, J. M., "Fluid Mechanics: Fundamentals and Applications", McGraw-Hill, New York, 2006.
- [4] Metal Forming Handbook/Schuler-Berlin, Springer Verlag, 1998.
- [5] Mishra, S. K., Sharvari, G. Desai, Pant, P., Narasimhan, K., Samajdar, I., "Improved predictability of forming limit curves through microstructural inputs", 59-67, Springer, 2009.

## ÖZGEÇMİŞ

### Fatih ALKAN

1988 yılı Ankara doğumludur. 2011 yılında Başkent Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir.

### Ferah ÇOĞUN

1990 yılı Riyad doğumludur. 2011 yılında Başkent Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünü birincilikle bitirmiştir. 2011 yılında ODTÜ Makine Mühendisliğinde yüksek lisans çalışmasını sürdürmektedir.

### Faruk ELALDI

1983 yılında Boğaziçi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliğini bitirmiştir. Boğaziçi Üniversitesinden 1986 yılında Yüksek Mühendis, ODTÜ'den 1992 yılında Doktora ünvanını almıştır. Halen Başkent Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümünde öğretim üyesi/bölüm başkanı olarak (Prof.Dr) görev yapmaktadır. Malzeme, mukavemet ve üretim yöntemleri alanlarında çalışmaktadır.