

Sac levhaların plastik tampon yardımıyla form verilmesi ve proses parametrelerinin Taguchi yaklaşımı ile optimizasyonu

Süleyman KILIÇ¹ , Seran KILIÇ ÖNEN² , Ahmet ASLANDAĞ³ , Samet KOCA⁴ ,
Ömer SAVAŞ^{5*} 

¹ Kasso Mühendislik San ve Tic. A.Ş., İstanbul, Turkey, suleymankilic@kasso.com.tr

² Kasso Mühendislik San ve Tic. A.Ş., İstanbul, Turkey, serankilic@kasso.com.tr

³ Kasso Mühendislik San ve Tic. A.Ş., İstanbul, Turkey, ahmetaslandag@kasso.com.tr

⁴ Kasso Mühendislik San ve Tic. A.Ş., İstanbul, Turkey, sametkoca@kasso.com.tr

⁵ Gemi İnşaatı ve Denizcilik Fakültesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Turkey, osavas@yildiz.edu.tr

ÖZ

Endüstriyel uygulamalarda, estetik görünüm ve mekanik özellikleri artırmak amacı ile sac levhalar üzerine çeşitli ölçülerdeki desenlerin basıldığı görülmektedir. Sac levhalar üzerine desenlerin basılmasında sac-metal şekillendirme tekniği yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Ancak desenlerin basılması sırasında uygun bir yöntem seçilmediğinde ve proses parametreleri optimize edilmediği takdirde, sac levhaların üzerine desenlerin istenilen ölçü ve kalitede (sac yüzeylerinde aşınma, çizilme gibi deformasyonlar) basılmadığı görülmektedir. Bu durum müşteri memnuniyetin olumsuz yönde etkilemektedir. Sac levhalar üzerinde ortaya çıkan deformasyon hatalarının ortadan kaldırılması amacı ile plastik tampon zımbaların kullanıldığı görülmektedir. Anca p tampon zımba kullanılarak sac levhalar üzerine desenlerin istenilen ölçülerde basılması için zımba basıncı, plastik tampon sertliği, plastik tampon kalınlığı gibi proses parametrelerinin hepsinin birden optimize edilmesi gereklidir. Yapılan bu çalışmada, endüstride yaygın olarak kullanılan Alüminyum ve Dkp çelik levhaların üzerine, plastik tampon kullanılarak çeşitli şekillerdeki desenlerin basılması ve desenlerinin istenilen ölçülerde basılması için proses parametrelerinin optimizasyonu üzerinedir.

Çalışma sonunda sac levhalarının üzerine desenlerin basılmasında en etkili faktörün zımba basıncı olduğu ve onu sırasıyla tampon zımba kalınlığı, desen açısı ve malzeme cinsi faktörlerinin izlediği görülmüştür. Buna karşın plastik tampon zımba sertliğinin ve malzeme kalınlığına anlamlı bir etkiye sahip olmadığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte çalışma sonunda Taguchi yaklaşımı kullanılarak desenlerin istenilen ölçüde basılması için lineer bir denklem ortaya konulmuştur.

Anahtar kelimeler: Plastik tampon, sac levha, sac metal şekillendirme, taguchi metodu

* Sorumlu yazar e-posta: osavas@yildiz.edu.tr

Forming of sheet metal with rubber pad and optimization of process parameters using Taguchi approach

ABSTRACT

In industrial applications, it is seen that shapes of various sizes are created on sheet metal sheets in order to increase aesthetic appearance and mechanical properties. Sheet metal forming technique is a widely used method for creating patterns on sheet metal. However, if a suitable method is not chosen during the creation of the shapes and the process parameters are not optimized, it is seen that the patterns on the sheet metal plates are not formed in the desired size and quality (deformations such as abrasion, scratching on the sheet surfaces). This situation affects customer satisfaction negatively. It is seen that rubber pad punches are used in order to eliminate the deformation errors that occur on the sheet metal plates. However, it is necessary to optimize all process parameters such as punch pressure, rubber pad hardness, rubber pad thickness in order to create patterns on sheet metal sheets in desired sizes using rubber pad punches. In this study, it is on the optimization of the process parameters to create patterns in various shapes using rubber pads on Aluminum and dkp steel plates, which are widely used in the industry, and to create the patterns in desired dimensions.

At the end of the study, it was seen that the most effective factor in forming the patterns on the sheet metal plates was the punch pressure, followed by the pad punch thickness, the pattern angle and the material type, respectively. On the other hand, it was determined that the rubber pad punch hardness and material thickness did not have a significant effect. However, at the end of the study, a linear equation was put forward for the formation of the patterns to the desired extent by using the Taguchi approach.

Keywords: Rubber pad, sheet metal, sheet metal forming, taguchi method

1 Giriş

Sac levhaların üzerine çeşitli figür ve desenlerin basılması endüstride çok geniş bir kullanım alanına sahiptir. İstenilen figürü sac levhalara üzerinde oluşturulması için proses parametrelerinin optimize edilmesi önemlidir. Genellikle sac levhalara üzerine figürler ve desenler, desen kalıbı ile zımba arasında belirli bir basınç altında sıkıştırılarak elde edilmektedir (Trzepieciński, 2020).

Sac metal şekillendirme yöntemlerinden biri olan plastik tampon şekillendirme yöntemi, sac parçalarının bir plastik zımba ile bir kalıp arasında preslendiği çok yönlü bir sac metal şekillendirme yöntemidir (Trzepieciński, 2020), (Afteni, Costin, Iabob, Păunoiu, & Virgil, 2018), (Kumar, Yadav, & Bhu, 2014). Sac parçaya, kauçuğun zarar vermemesi, basıncın iş parçasına üniforma uygulanması ve takım maliyetin düşük olması plastik tampon şekillendirmenin faydaları arasında yer almaktadır (Trzepieciński, 2020).

S. Thiruvarudchelvan (Thiruvarudchelvan, 2002) metal şekillendirmede esnek takımların potansiyel rolü üzerine çalışmıştır. Sac küllüklerin ve tabakların sürekli ve yarı sürekli şekillendirme işlemlerinde, tüp şişirme, farklı şekillerdeki kapların derin çekme işlemleri gibi çok çeşitli alanlarda esnek takımlarının kullanıldığı ve geniş bir kullanım potansiyeline sahip olduğunu rapor etmiştir.

L. Belhassen (Belhassen, Koubaa, Wali, & Dammak, 2019) ve arkadaşları alüminyum AA1050-H14 sac metali esnek bir zımba yardımıyla şişirerek şekillendirmişlerdir. Zımba olarak iki farklı sertlikte (50 ve 70 Shore A) poliüretan, silikon ve doğal kauçuk malzemeler kullanmışlardır. Poliüretan kauçuk, serbest genleşmede levhaları şişirmek için en uygun esnek zımba olduğunu rapor etmişlerdir. Poliüretan kauçuk, doğal ve silikon kauçuğa göre parçanın kırılmasını geciktirmiş ve şişirme kabiliyetini

artırmıştır. Esnek zımbaların sertliğinin artırılması, sac levhaların şekillendirilebilirliğini iyileştirmiştir.

F. Quadrini (Quadrini, Santo, & Squeo, 2010) ve arkadaşları ince alüminyum levhaların esnek (Silikon Kauçuk (SR) ve Stiren Bütadien Kauçuk (SBR)) ve yarı sert (poliamid 66, PA) polimerik malzemeler kullanılarak şekillendirilmesi üzerine çalışmışlardır. Çalışmada silindirik kap ve düz nervür şeklinde iki farklı desen, ince alüminyum sacların üzerine, polimerik malzemelerden üretilen zımba ve desen kalıbı arasında sıkıştırılarak basılmıştır. Çalışmada esnek şekillendirme için yumuşak malzemeler kullanılabilir olduğu ancak düşük dayanıklılıkları nedeniyle süreci ayarlamasının zor olduğu rapor edilmiştir. Buruşma veya yırtılmayı önlemek için uygun bir proses tasarımı gerektiği belirtilmiştir. Çalışmada en uygun prosesin tasarımının, farklı sertlikteki polimer malzemelerin kombinasyonu ile sağlanabileceğini belirtilmiştir.

K. M. Younis (Younis, Aljarjary, & Shukur, 2019) ve arkadaşları plastik tampon ile sac şekillendirme sırasında şekillendirme yükünü etkileyen parametrelerin sayısal ve deneysel olarak incelemiştir. Çalışmada 0,5 mm kalınlığında düşük karbonlu çelik levhalar, (50, 60 ve 70) Shore A sertlik ve (40 ve 80 mm) kalınlıkta poliüretandan yapılmış plastik tamponlar kullanılarak şekillendirilmiştir. Sayısal ve deneysel sonuçlar, şekillendirme yükünün kauçuk tampon sertliği arttıkça arttığını, tampon kalınlığı arttıkça azaldığını göstermiştir.

A. Niknejad (Niknejad, Rezaee, & Asl, 2015) ve arkadaşları malzeme tipi ve sac kalınlığının ve Teflon-petin kalınlığının şekillendirme işlemi üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Deneyler, Teflon kalınlığı arttığında, belirli bir boşluğun şekillendirilmesi için gerekli olan enerji miktarını artırdığını göstermiştir.

M. ŞEN (Şen, & Ekşi 2017) ve arkadaşı otomotiv ve havacılık sektöründe kullanılan alüminyum sac malzemesinin yeni bir yöntem olan plastik enjeksiyon kalıplama ile şekillendirilmesi üzerine etki eden proses parametrelerini Taguchi yaklaşımı ile incelemiştir. Sacların şekillendirilmesinde, ergiydik sıcaklığı, enjeksiyon basıncı ve hızı kontrol faktörleri ele alınmıştır. Sac levhaların incelenmesi üzerinde en etkili parametreler sırasıyla; enjeksiyon basıncı %59,84, ergiydik sıcaklığı %23,46 ve enjeksiyon hızı %10,75 oranında olduğu gözlemlenmiştir.

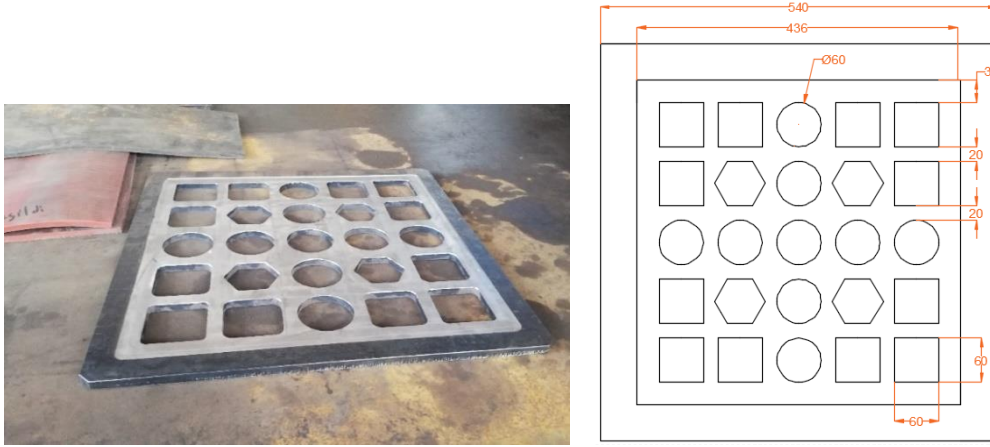
Yapılan önceki çalışmalarda plastik tamponla sac levhaların başarılı bir şekilde şekillendirildiği görülmektedir. Ancak çalışmalarda, kauçuk sertliği, kauçuk kalınlığı, basınç vb. faktörlerin ayrı ayrı ele alındığı görülmektedir. Ancak desenlerin sac levhalar üzerine istenildiği kalite ve özellikte basılması için bu faktörlerinin hepsinin birden ele alarak prosesin optimize edilmesi gereklidir. Bu çalışmada birçok araştırmacının etkin bir şekilde kullandığı Taguchi deney yöntemi kullanılarak çok sayıda proses parametresi az sayıda deneyle, proses optimizasyonuna gidilmiş ve proses üzerine etki eden faktörler ve onların etkinlik dereceleri ortaya konulmuştur (Öner, & Savaş, 2022), (Savaş, & Başar, 2019). Bu çalışmada sac levhalar üzerine desenlerin basılmasında proses parametreleri olarak zımba basıncı, sac malzeme cinsi ve kalınlığı, plastik tampon malzeme kalınlığı ve sertliği, desen pah açısı faktörleri iki seviyeli olarak seçilmiştir. (Öner, & Savaş, 2022)

2 Materyal ve Metot

Desenlerin sac levhalar üzerine basılmasında 2022-GE-687707 Evrak, 2022/014826 Başvuru numarası ile patent başvuranında bulunan bir sac metal şekillendirme yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemle göre çalışmada levhalar üzerine desenlerin basılması için önce desen kalıbı, sac levha ve kauçuk malzeme sırasıyla üst üste konulmuş ve ardından belirli bir hızda dönen silindirik iki tambur arasından

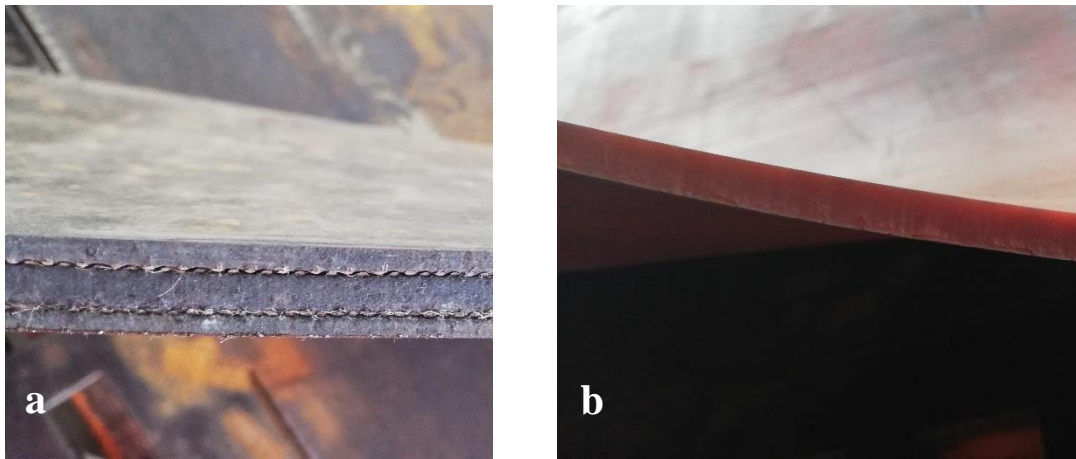
geçirilmiştir. Çalışmada desenler, 1 ve 1,5 mm kalınlıkta ve 45x45 ebatlarında ki alüminyum (A11050) ve dkp çelik levhalar üzerine basılmıştır.

Levhalar üzerine desenlerin oluşturulması amacı ile 10 mm kalınlığa sahip çelik levhadan imal edilmiş desen kalıpları kullanılmıştır. Desen kalıbı toplamda 25 adet yuvarlak, altıgen ve kare şekilleri basacak şekilde tasarlanmıştır. Şekil 1’de desen kalıbı görüntüsü ve ölçüleri görülmektedir. Desen pah açısının şekillendirmeye olan etkisi görmek amacı ile desen kalıbı üzerindeki şekillerin köşeleri 0 ve 2 mm pah açısı ile kırılmıştır. Bu şekilde desenlerin basılması amacı ile iki farklı desen kalıbı imal edilmiştir.



Şekil 1: Desen kalıpları

Sac levhalar üzerine desenlerin basılmasında, sac levhaların yüzeylerinde ezilme, yırtılma, buruşa, vb. benzeri deformasyon hatalarının önüne geçmek amacıyla, sac levhalara üzerine yük, çeşitlik kalınlıklardaki plastik tampon malzemeler kullanılarak uygulanmıştır. Bu şekilde plastik tampon malzemeler, çelik levhalara yükün aktarılması için zımba görevini üstlenmiştir. Çalışmada plastik tampon zımba olarak Şekil 2a ve 2b’de görüntüsü verilen 10 mm kalınlığındaki 65 shore ve 48 shore sertlik değerine sahip SBR kauçuk malzemeler kullanılmıştır.



Şekil 2: Şekillendirmede kullanılan a) 65 shore ve b) 48 shore sertlik değerine sahip kauçuk malzemeler

Tampon zımba yüksekliğinin etkisini görmek amacı ile 10 mm ve 20 mm kalınlıkta kauçuk malzemeler kullanılmıştır. Yapılan çalışmalarda, 20 mm kauçuk yüksekliği, 10 mm’lik kauçuk malzemelerin ikisi

üst üste konularak elde edilmiştir. Tablo 1’de yapılan deneysel çalışmalar için belirlenen 6 faktör ve seviye değerleri verilmiştir.

Tablo 1: Faktör ve Seviyeleri

Faktörler	Kolon	Seviye 1	Seviye 2
Malzeme cinsi	A	Alüminyum	Çelik (dkp)
Malzeme kalınlığı	B	1 mm	1,5 mm
Basınç	C	100 bar	150 bar
Kauçuk kalınlığı	D	10 mm	20 mm
Kauçuk sertliği	E	65 shore	48 shore
Desene açısı	F	0 derece	2 derece

Taguchi yaklaşımına göre Tablo 1’de verilene faktör ve seviyeleri dikkate alındığında L8 ortogonal serisinin kullanılması daha uygun olduğu görülmüştür. L8 ortogonal serisine göre 8 adet deney reçetesi belirlenmiştir. Tablo 2’de belirlenen deney reçeteleri görülmektedir. Tüm bu 6 faktör 2 seviyeleri olarak ele alındığında 64 adet deneme yapılması gerekirken Taguchi yaklaşımı ile 8’e düşürülmüştür. Bu şekilde deneysel olarak ortaya çıkacak hata oranı düşürülmüş ve deney maliyeti yaklaşık 8 kat azaltılmıştır.

Tablo 2’de verilen deney reçetelerine göre 8 adet farklı deney şartlarında desenler sac levhalar üzerine basılmıştır. Bu şekilde desen kalıbında oyularak oluşturulmuş şekiller, sac levhalar üzerine kabartılar oluşturularak basılmıştır. Levhalar üzerinde elde edilen şekillerin kabartı yükseklikleri mikrometre yardımıyla ölçülmüş ve her bir deney reçetesi için ortalama desen yüksekliği belirlenmiştir. Bu sayede deformasyon miktarı göreceli olarak tespit edilmiştir. Yapılan çalışmada sac levhalar üzerinde oluşturulan desenlerin derinliği olabildiğince yüksek olması istenmektedir. Bu nedenle en yüksek desen derinliğini veren proses parametresi optimum şartları göstermektedir. Bu bağlamda Taguchi yaklaşımı ile lineer bir regresyon denklemi elde edilerek farklı desen derinliği elde etmek için proses şartlarının ne olması gerektiğinde ortaya konulabilecektir. Her bir deney reçetesi neticesinde elde edilen deformasyon derinlikleri kullanılarak ‘En Yüksek En İyidir’ kalite karakteristiği denklemi (Denklem 1) kullanılarak sinyal/gürültü (S/N) oranı hesaplanmıştır (Lochneri, & Matar, 1990), (Ross, 1988).

$$S/N = -10 \log\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2}\right) \quad (1)$$

y_i : performans karakteristiğinin, i : gözlem değeri, n : denemede test sayısı ve y : gözlem değerlerinin ortalaması.

Taguchi yaklaşımına göre S/N oranları kullanılarak ANOVA tablosu hazırlanmış ve faktörlerin kabartı derinliği üzerine etkileri ortaya konulmuştur. Yine S/N oranlarının ortalamaları kullanılarak ‘faktör yanıt grafiği’ çizilerek en yüksek kabartı derinliğini veren proses şartları ortaya konulmuştur. Son olarak alüminyum (A11050) ve dkp çelik sac levhaları için ayrı ayrı, farklı şartlarda desen basılmış sac levhaların, kabartı derinliğini veren bir Lineer regresyon denklemi elde edilmiştir.

3 Araştırma Sonuçları

Desen basılmış sac levhaların görüntüsü Şekil 3’de verilmiştir. Şekilde levhaların hiçbirinde buruşma, ezilme, delin ve yırtılma gözlemlenmemiştir. Sac levhaların hepsinde düzgün yüzeyler başarılı bir şekilde elde edilmiştir.



Şekil 3: Desen basılmış sac levha görüntüsü

Tablo 2, L8 ortogonal serisine göre belirlenen 8 reçeteleri ve deney reçeteleri sonucunda elde edilen ortalama kabartı derinliği sonuçları ve hesaplanan S/N oranı değerlerini göstermektedir. Tabloda en yüksek kabartı derinliğinin 2 nolu deney reçetesinde ortalama 4,11 mm olarak, en düşük kabartı derinliğinin ise 8 nolu deney reçetesinde ortalama 2,615 mm olarak tespit edilmiştir.

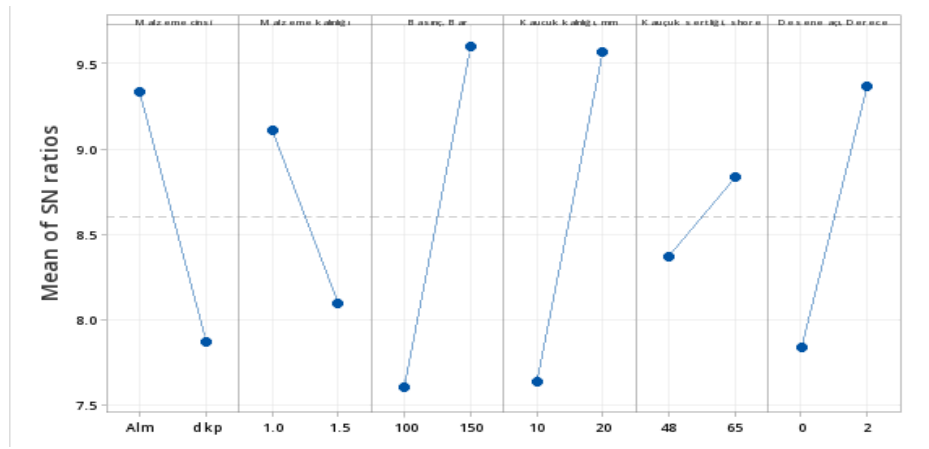
Tablo 2: Deney reçeteleri, ortalama deformasyon derinliği ve S/N oranları

No	Malzeme cinsi	Malzeme kalınlığı, mm	Basınç, Bar	Kauçuk kalınlığı, mm	Kauçuk sertliği, shore	Desene pah açısı, Derece	Kabartı derinliği, mm	S/N
1	Alüminyum	1,0	100	10	65	0	2,315	7,2880
2	Alüminyum	1,0	150	20	48	2	4,110	12,2749
3	Alüminyum	1,5	100	10	48	2	2,425	7,4595
4	Alüminyum	1,5	150	20	65	0	3,350	10,3147
5	Dkp çelik	1,0	100	20	65	2	2,950	9,3963
6	Dkp çelik	1,0	150	10	48	0	2,380	7,4798
7	Dkp çelik	1,5	100	20	48	0	2,065	6,2855
8	Dkp çelik	1,5	150	10	65	2	2,615	8,3490

ANOVA Tablosunda deformasyon üzerine malzeme cinsi, zımba basınç, zımba yüksekliği ve desen açısı faktörlerinin anlamlı bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir (Tablo 3). Malzeme kalınlığı ve kauçuk sertliğinin ise deformasyon üzerine önemli bir etkiye sahip olmadığını göstermektedir. Deformasyon üzerine Malzeme cinsinin %16, malzeme kalınlığının %8, zımba basıncının %30, Kauçuk zımba kalınlığının %28, kauçuk zımba sertliğinin %2, desen açısının ise %17 oranında etkiye sahip olduğu görülmektedir.

Tablo 3: Varyans istatistik yöntemi (ANOVA) analiz tablosu

Faktörler	DF	Kareler Toplamı SS	Etki oranı	Karaler Ortalaması SS	F-Değeri	P-Değeri
Malzeme cinsi	1	4,2436	15,85%	4,24365	165,60	0,049
Malzeme kalınlığı	1	2,0304	7,58%	2,03043	79,23	0,071
Basınç, Bar	1	7,9781	29,80%	7,97810	311,33	0,036
Kauçuk kalınlığı, mm	1	7,4018	27,64%	7,40180	288,84	0,037
Kauçuk sertliği, shore	1	0,4271	1,59%	0,42707	16,67	0,153
Desene açısı, derece	1	4,6691	17,44%	4,66914	182,20	0,047
Hata	1	0,0256	0,10%	0,02563		
Toplam	7	26,7758	100,00%			

**Şekil 4:** Faktör yanıt grafiği

Çalışmaya ait ‘faktör yanıt grafiği’ Şekil 4’da verilmiştir. Grafikte en yüksek S/N oranını veren faktör seviyeleri optimum deney reçetesini göstermektedir. Buna göre; optimum deney reçetesi A1B1C2D2E2F2 olarak belirlenmiştir. Bu sonuç en yüksek kabartı derinliği, 1 mm kalınlığında (B1) alüminyum levhanın (A1) 150 bar basınç altında (C2) 20 mm kalınlıkta (D2) 65 shore sertlik değerine sahip (E1) kauçuk malzemenin kullanılarak pahı kırılmış desen kalıbı (F2) altında deforme etmesi neticesinde elde edilebileceğini göstermektedir.

Regresyon Denklemi (Malzeme cinsi)

Alüminyum levha için kabartı derinliğe

$$= 0,6910 - 0,6500 \text{ Malzeme kalınlığı} + 0,01350 \text{ Basınç, Bar} + 0,06850 \text{ Kauçuk kalınlığı, mm} + 0,003676 \text{ Kauçuk sertliği, shore} + 0,2487 \text{ Desene açısı, Derece}$$

Dkp çelik levha için kabartı derinliğe

$$= 0,1435 - 0,6500 \text{ Malzeme kalınlığı} + 0,01350 \text{ Basınç, Bar} + 0,06850 \text{ Kauçuk kalınlığı, mm} + 0,003676 \text{ Kauçuk sertliği, shore} + 0,2487 \text{ Desene açısı, Derece}$$

Alüminyum ve dkp çelik levhalar için kabartı derinliğinin veren regresyon denklemini aşağıda verilmiştir. Bu çalışmada en yüksek kabartı derinliği A1B1C2D2E2F2 proses şartlarında elde edileceğini göstermektedir. Bu şartlar göz önüne alınarak yapılacak bir deformasyon işlemi sonucunda regresyon

denkleminde göre kabartı derinliği ortalama 4.17 mm olması gerektiğini göstermektedir. Tablo 4’de örnek olarak deformasyon şartları ve bu şartlara göre hesaplanan kabartı derinlik değerleri verilmiştir.

Tablo 4: Deney şartları ve regresyon denklemini yardımıyla hesaplanan deformasyon derinliği yüksekliği

Malzeme cinsi	Malzeme kalınlığı	Basınç, Bar	Kauçuk kalınlığı, mm	Kauçuk sertliği, shore	Desene açısı, Derece	Kabartı derinliği
Alm.	1	150	20	65	2	4,17
dkp	1	150	20	65	2	3,62
dkp	1,5	100	10	48	0	1,38
Alm.	1,5	100	10	48	0	1,93
Alm.	1,5	150	10	65	0	2,67

Çalışmalar sonucunda Şekil 4’de görüldüğü gibi alüminyum levhalarda kabartı derinliğinin dkp çelik levhalara göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun muhtemel nedeni alüminyum levhaların, çelik levhalara göre akmak mukavemetinin daha düşük, sünekliğinin ise daha yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Şekil 4’de levha kalınlığının artması ile deformasyon derinliğinin azaldığı görülmektedir. Bunun muhtemel nedeni kalın kesitli parçaların deforme edilmesi için daha yüksek yüke ihtiyaç duyulmasından kaynaklanmaktadır. Bu sonuç 1,5 mm kalınlığa sahip sac levhalarının daha fazla deforme olması için istenile yük değerine ulaşamadığını göstermektedir.

Şekilde zımba basınının artmasıyla birlikte kabartı derinliğinin arttığı görülmektedir. Deformasyon işleminin doğal bir sonucu olarak, artan yükte levhaların daha fazla deforme olmasına yol açmıştır. Şekillendirilen levhalarda ezilme, buruşma ve delinme olmaması uygulanan yükün kritik yük miktarının altında kaldığını göstermektedir.

Şekilde zımba yüksekliğinin artmasıyla kabartı derinliğinin arttığı görülmektedir. Esnek tampon zımbalar ile şekillendirme operasyonunda, artan yükte birlikte esnek zımbanın sertliği artmakta, zımbanın sertliği sac levhayı deforme edecek değere ulaştığında, sac levha şekil almaya başlamaktadır. Bu çalışmada da zımba yüksekliğinin fazla olması, sac levhaları deforme etmek için gerekli sertlik değerine daha düşük yüklerde ulaşmasına olanak sağlayarak deformasyon miktarını artmasına neden olmuştur (Belhassen, Koubaa, Waliv, & Dammak, 2019), (Younis, Aljarjary, & Shukur, 2019). Şekil 4’de esnek zımba sertliğinin artmasıyla kabartı yüksekliğinin arttığı görülmektedir. Bunun muhtemel nedeni, yukarıda belirtildiği gibi yüksek sertlik değerine sahip zımbaların kullanılması ile sac levhaları şekillendirmek için gerekli sertlik değerine daha düşük yüklerde ulaşmasına olanak sağlamış ve buda sacların da fazla deforme olmasına neden olmuştur (Quadrini, Santo, & Squeo, 2010), (Younis, Aljarjary, & Shukur, 2019), (Jin, Jeong, & Kang, 2014). Şekil 4’de desen açısının artmasıyla birlikte kabartı derinliği artmıştır. Bunun muhtemel nedeni desen açısının artması sac levhaların desen kalıbı üzerinde ki boşluklara akmasını kolaylaştırarak şekil alma kabiliyetini artırmıştır.

4 Genel Sonuçlar

Yapılan çalışmada elde ettiğimiz sonuçların özeti aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

1. Deforme edilmiş sac levhaların kabartı derinliği üzerine en etkili faktörün, desen açısı, Kauçuk kalınlığı, Basınç ve Malzeme cinsi faktörlerinin olduğu tespit edilmiştir. Desen açısı, kauçuk kalınlığı ve Basınç arttıkça deformasyon derinliğinin arttığı tespit edilmiştir. Alüminyum levhaların şekil alma kabiliyetinin dkp çeliğine göre daha yüksek olduğu görülmüştür.

2. Kauçuk sertliğinin ve malzeme kalınlığının deformasyon derinli üzerine önemli bir etkiye sahip olmadığı tespit edilmiştir. Ama buna rağmen kauçuk malzemenin sertliğinin yüksek olması sac levhaların deformasyon kabiliyeti artırdığı tespit edilmiştir.
3. En yüksek deformasyon derinliği, 1 mm kalınlığındaki (B1) alüminyum levhanın (A1) 150 bar basınç altında (C2) 20 mm kalınlıkta (D2) 65 shore sertlik değerine sahip (E1) kauçuk tampon malzemenin kullanılarak pahı kırılmış desen kalıbı (F2) altında deforme etmesi neticesinde elde edilebileceği tespit edilmiştir.
4. Deformasyon derinliğini tahmin eden bir regresyon denklemi elde edilmiş ve denkleme göre en yüksek deformasyon derinliği A1B1C2D2E2F2 proses şartlarında 4,17 mm olabileceği belirlenmiştir.

5 Beyanlar

5.1 Çıkar Çatışması

Bu araştırmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

5.2 Yazarların Katkıları

Ömer SAVAŞ: Makale için fikir veya hipotez geliştirilmesi. Sonuçların yorumlanması, makalenin yazılması, gözden geçirilmesi, sonuçlara ulaşmak için materyal ve yöntemleri planlamak, deneylerin sorumluluğunu almak, verileri düzenlemek ve raporlama.

Süleyman KILIÇ: Makale için fikir ve hipotez geliştirmek, deney düzeneğinin hazırlanması ve kalibrasyonu.

Seran KILIÇ ÖNEN: Sonuçların açıklanması ve sunulması için sorumluluk almak, araştırma sırasında literatür taraması.

Ahmet ASLANDAĞ: Literatür taraması, yayının yazılması ve gözden geçirilmesi

Samet KOCA: Deneysel tasarım ve deneylerin yapılması, sonuçların toplanması

5.3 Finansman Beyanı

Araştırmada herhangi bir finansman desteği bulunmamaktadır.

Kaynaklar

Afteni, C., Costin, G., Iacob, I., Păunoiu, V., & Virgil, T. (2018). A REVIEW ON SHEET METAL RUBBER-PAD FORMING Department of Manufacturing Engineering , “ Dunărea de Jos ” University of Galați , România Department of Mechanical Engineering , “ Dunărea de Jos ” University of Galați , România, (August), 1–6.

Belhassen, L., Koubaa, S., Wali, M., & Dammak, F. (2019). Experimental and numerical investigation of flexible bulging process of aluminum AA1050-H14 sheet metal with soft tools. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 103(9–12), 4837–4846. doi:10.1007/s00170-019-04066-6

Jin, C. K., Jeong, M. G., & Kang, C. G. (2014). Effect of rubber forming process parameters on micro-patterning of thin metallic plates. *Procedia Engineering*, 81(May), 1439–1444. doi:10.1016/j.proeng.2014.10.170

Kumar, A., Kumar, S., Yadav, D. R., & Bhu, I. I. T. (2014). Review of Rubber Based Sheet Hydro-Forming

Processes, (Aimtdr), 1–5.

- Niknejad, A., Rezaee, N., & Asl, F. J. (2015). Experimental investigation of Teflon-pad forming on circular metal blanks using a concave die. *Journal of Manufacturing Processes*, 20, 282–290. doi:10.1016/j.jmapro.2015.07.001
- Öner, İ. K. (2022). Investigation of Wear Behavior of AlB2/Al Composite Materials Produced by Centrifugal Casting Method, *Journal of Marine and Engineering Technology (JOINMET)*, 2(1), 40–49.
- Quadrini, F., Santo, L., & Squeo, E. A. (2010). Flexible Forming of Thin Aluminum Alloy Sheets. *International Journal of Modern Manufacturing Technologies*, II(1), 79.
- R.H. Lochner and J.E. Matar. (1990). *Designing For Quality: An Introduction to the Best of Taguchi and Western Methods of Statistical Experimental Design*. Netherlands: Springer.
- Ross, P. J. (1988). *Taguchi techniques for quality engineering, loss function, orthogonal experiments, parameter and tolerance design*. New York: USA: McGraw Hill Professional.
- Savaş, Ö., and Başer, M. S. (2019). Investigation of Abrasive Wear Behaviour of Functional Grade Al3Ti Reinforced Aluminium Matrix Composites by Taguchi Approach, *Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2(2), 193-200.
- Şen, M., And Ekşi Altan, M. (2017). Plastik Enjeksiyon Kalıplama Yöntemi ile Sac Metallerin Şekillendirilebilirliğinin İncelenmesi. *Marmara Fen Bilimleri Dergisi*, 39–47. doi:10.7240/marufbd.290913
- Thiruvarduchelvan, S. (2002). The potential role of flexible tools in metal forming. *Journal of Materials Processing Technology*, 122(2–3), 293–300. doi:10.1016/S0924-0136(02)00077-8
- Trzepieciński, T. (2020). Recent developments and trends in sheet metal forming. *Metals*, 10(6), 1–53. doi:10.3390/met10060779
- Younis, K. M., Aljarjary, A. I., & Shukur, J. J. (2019). Numerical and experimental investigation of parameters affect the forming load during rubber pad sheet metal forming. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 518(3). doi:10.1088/1757-899X/518/3/032049



© 2020 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).