

## Sac ve Levhalar için Serbest Deformasyon Makinası

Seran KILIÇ ÖNEN<sup>1</sup>, Ahmet ASLANDAĞ<sup>2\*</sup>

<sup>1,2</sup>Kasso Mühendislik San ve Tic. A.Ş.

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0001-8879-0454>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0003-3277-1929>

\*Sorumlu yazar: ahmetaslandag@kasso.com.tr

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 09.12.2021

Kabul tarihi: 17.01.2022

Online Yayınlanma: 23.02.2022

#### Anahtar Kelimeler:

Sac levha

Sac levha şekillendirme

Germe ile şekillendirme

Uniform şekillendirme

### ÖZET

Plastik şekillendirmede oldukça zor olan üç boyutlu form ve şekillerin elde edilmesinde, şeklin kontrolü ile birlikte deformasyonun sağlanabilmesi ancak olağanüstü şekillenme hareketleriyle mümkün olabilmekte ve 3 boyutlu görünümde elde edilebilmektedir. Sac levhayı çok küçük deformasyonlarla şekillendirmek ve derin ayrıntılarını görünür hale getirmek için Ar – Ge çalışmaları yapılarak teknolojik geliştirme sağlanabilmektedir. Deformasyondaki zorluklar sebebiyle, bu güne kadar karmaşık şekillerin ayrıntılı olarak elde edilmesi ancak iki eksenli şekillendirmelerle mümkün olabilmektedir. Halen metal şekillendirme, sektörünün önemli bir problemi olarak çözüm beklemektedir. Serbest deformasyon tekniğiyle üç boyutlu bir şeklin plastik şekil verme yöntemiyle mümkün hale getirilmesi amaçlanmış, malzemenin akışı kontrol edilerek ve estetik açıdan üç boyutlu akışlardan oluşan ürünlerin elde edilebilmesi için yeni bir plastik şekillendirme makinasının tasarımı yapılmıştır. Makine erkek şekillendirme kalıbı kullanarak, artırılmış ek form yöntemiyle seri üretime uygun serbest şekillerin elde edilmesini sağlayacaktır.

## Free Deformation Machine For Sheets

### Research Article

#### Article History:

Received: 09.12.2021

Accepted: 17.01.2022

Published online: 23.02.2022

#### Keywords:

Sheet metal

Sheet metal forming

Shaping by stretching

Uniform shaping

### ABSTRACT

In obtaining three-dimensional forms and shapes, which are very difficult in plastic shaping, deformation can only be achieved with the control of the shape, but it is possible with extraordinary shaping movements and 3-dimensional views can be obtained. Technological development can be achieved by conducting R & D studies to shape the sheet metal with very small deformations and to make the deep details visible. Due to the difficulties in deformation, it has been possible to obtain complex shapes in detail until now only with biaxial shaping. It is still waiting for a solution as an important problem of the metal forming industry. With the free deformation technique, it was aimed to make a three-dimensional shape possible with the plastic forming method, and a new plastic forming machine was designed in order to control the flow of the material and to obtain products consisting of three-dimensional flows aesthetically. The machine will ensure that free shapes suitable for mass production are obtained with the increased additional form method by using a male forming mold.

**To Cite:** Önen SK., Aslandağ A. Sac ve Levhalar için Serbest Deformasyon Makinası. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(Özel sayı): 227-233.

## Giriş

Plastik deformasyonla geometrik bir şekle sahip ürünün elde edilmesi için, dört yüzeyle, parametrik yüzeyde bütünsel veya yerel olarak uygulanmış, üç değişkenli matematiksel bir fonksiyona dayandırılmış ve tasarımdaki etkileri için sezgisel bir değerlendirme yapılmıştır (Rivers ve James, 2007). Serbest biçimli deformasyon algoritmasıyla, grafik işleme için uygun algoritmanın kullanarak, bir dakikadan daha kısa bir zamanda manyetik rezonansın görüntülerinin kayıtları elde edilebilmiş ve klasik bir uygulama ile kritik uygulamalarda veya büyük veri kümelerinin işlenmesinde önemli bir fayda sağlanmıştır (Lamousin ve Waggenpack, 1994). Rijit olmayan yüzeylerin izlenmesi problemi ele alınmış ve genel bir veriye dayalı ağ deformasyon çerçevesi oluşturulmuştur. Daha az varsayımla, yüzey ve dolayısıyla büyük deformasyonları etkin bir şekilde ele alıp çoğu serbest biçimli yüzeylere kolayca genelleme yapılmış ve referans yüzeyi temel yüzeye bölünmüştür. Gürültülü ortamlar için yüzey üzerinde doğal uyum alanlarındaki kısıtlamalar azaltılmıştır. Büyük deformasyonlara ve hızlı hareketlere maruz kalan, muhtemelen bağlantılı olmayan bileşenlerle açık ve kapalı yüzeyler üzerinde deneyler yapmış, nicel ve nitel değerlendirmeler gerçekleştirilmiştir (Pernot ve ark., 2005).

Elastikiyet teorisi, kauçuk, kumaş, kâğıt ve esnek metaller gibi deforme olabilen malzemeleri tanımlar. Rijit olmayan eğrilerin, yüzeylerin ve katıların davranışını zamanın bir fonksiyonu olarak modelleyen diferansiyel denklemler oluşturmak için esneklik teorisini kullanılmıştır. Elastik olarak deforme olabilen modeller mevcut olup çeşitli simülasyon modelleriyle elde edilmektedir. Uygulanan kuvvetlere, kısıtlamalara, şekil geometrisine ve mevcut zorluklara doğal çözümler getirilebilmiştir. Modeller temelde dinamikdir ve gerçekçi animasyon, temeldeki diferansiyel denklemlerin sayısal olarak çözülmesiyle oluşturulabilmiştir. Böylece şeklin tanımı ve hareketin tanımı birleştirilerek elde edilmiştir (Leon ve Veron, 1997). Serbest biçimli deformasyon güçlü bir modelleme aracıdır, ancak karmaşık deformasyonlar altında bir nesnenin şeklini kontrol etmek genellikle çok zordur.

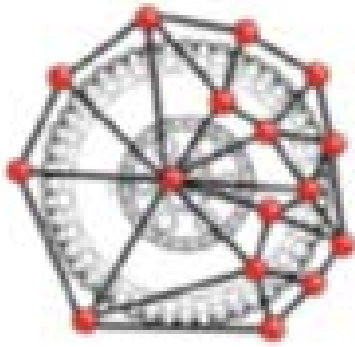
Çoğu konvansiyonel sistemde Serbest Şekillendirme Deformasyonu ( DŞD ) ile ara yüz, basitçe matematik temelde doğrudan temsil edilebilmektedir. Şekillendirme operatörleri, kontrol noktalarına müdahale ederek deformasyonları yönetirler. Şekli tam olarak kontrol etmedeki zorluk, büyük ölçüde kontrol noktalarının şekillendirilen malzemeyi tam olarak temsil etmemesinden kaynaklanmaktadır. Deforme olan malzemenin kontrol noktalarını tam olarak takip edemez. İlâveten, kullanıcıya sunulan serbestlik derecesi sayısı çok fazla olabilir. Kullanıcının, nesneyi doğrudan manipüle ederek bir malzemenin serbest biçimli deformasyonunu kontrol etmesine olanak tanıyan, deformasyonunu daha iyi kontrol eden ve daha sezgisel bir ara yüze oluşturan bir yöntem elde edilmiştir (Cui ve Feng, 2015). Gerçek zamanlı veya büyük ölçekli çevrimdışı simülasyonlar için hacimsel, büyük deformasyon dinamiklerinin tasarıma uygun bir şekilde elde edilmesini sağlayan bir teknik mevcuttur. Bu teknikte şekil eşleştirme, kafes yapısı içinde deforme olabilen şekillerin eşleştirmesinin önceden belirlenmiş geometriye sahip normal bir eşleştirme yapılmıştır. Kafes köşeleri, bölge genişliği yoluyla akma miktarı ile belirtilen etkili mekanik sertlik ile yerel kafes bölgelerindeki katı şekil eşleştirme operatörlerinin yetenek ve marifetiyle başarılabilmektedir (Kenwright, 2015). Bilgisayar tabanlı

geometrik modellemenin ortaya çıkışından bu yana tasarımcılar, heykeltıraşların kil ile yaptığı çalışmaları büyük bir çoğunluğunu kolaca benzerlik sağlayan modelleme ve deformasyon araçları geliştirdiler (Hsu ve Hughes, 1992)

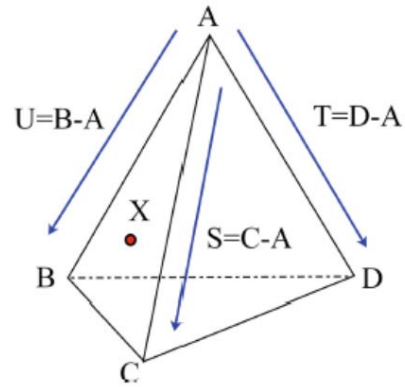
Mevcut serbest şekillendirme deformasyonlarının rasyonel olarak bir makine marifetiyle sağlanması amaçlanmıştır. Makine sahip olduğu esneklik ve kontrol sayesinde serbest şekillendirme formunu oluşturma tekniğini seri üretime uygulayabilecek ve küresel ölçekteki şekil kombinasyonlarını oluşturabilecektir.

### Deformasyonun Ağı

Geometrik şeklin elde edilmesi öncesi grafik olarak şekillendirme mekanizması deformasyon gereken alanlarda kontrol noktaları oluşturulmalıdır. Kontrol noktalarının sayısı, hassas ayrıntı gerektiren alanlara göre belirlenip, şekil alacak yüzey üzerinde doğrusal olmayan bir şekilde kontrol edilebilir bir hacimde belirlenir. Kontrol noktaları dört yüzlü bir hacimin içinde üçgenler olarak bir grafik ağı oluşturulacak şekilde yerleştirilebilir. Dört yüzlü hacimi oluşturan kafesin köşeleri ve üçgeni oluşturan noktalar deformasyon başlangıcı olacaktır. Deformasyon köşeden köşeye doğru ilerleyerek matematik bir fonksiyon oluşturmalıdır. Şekil 1 de dört yüzlü köşelerine yerleştirilen üçgenleri ve kontrol noktalarını göstermektedir. Şekil 1: Dört yüzlü, üçü her köşede veya tepe noktasında bulunan dört üçgen yüzden oluşan çokyüzlüdür. Altı kenarı ve dört köşesi vardır ve geometrik bir bölgenin basit, belirsiz olmayan bir temsilini sağlar (Kenwright, 2015).



Şekil 1. Dört yüzlü hacim için kontrol noktaları  
(Kenwright, 2015)



Şekil 2. Yüzeydeki bir noktanın tanımı  
(Kenwright, 2015)

Geometrik formu tanımlayan fonksiyonun elde edilebilmesi için oluşturulacak algoritma adımları; orijinal şekile, ince ayrıntı gerektiren alanlara daha fazla kontrol noktası ekleyerek, kontrol noktalarını dört yüzlü hacimler halinde üçgenlerle belirleme ve bu belirlenen algoritmayı kullanarak grafik köşeler ve bunlarla ilişkili dört yüzlüler için ağırlıkları formülle belirlenir (Kenwright, 2015):

$$\begin{aligned} U &= B - A \\ S &= C - A \\ T &= D - A \end{aligned} \quad (1)$$

Burada A, B, C, D dört yüzünün köşelerini, U, S ve T de üçgen kenarlarındaki deformasyonları göstermektedir.

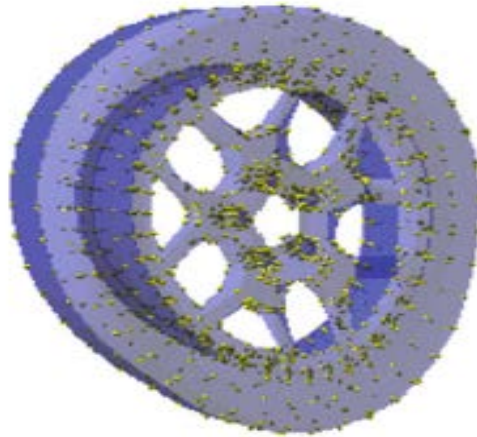
SŞD kavramı tipik olarak tek biçimli bir ızgara olarak temsil edilir. Şekil 2'de gösterildiği gibi dört yüzlü ( ABCD ) dört köşesini ve ( X ) içindeki noktanın belirlenmesi (Kenwright, 2015);

$$X(s,t,u) = A + sS + tT + uU \quad (2)$$

denklemleriyle tanımlanır. Bir dörtyüzlü hücre için enterpolasyon fonksiyonu lineerdir ve kafes uzayı ( 2 ) eşitliği ile tanımlanmıştır. A, yerel koordinat sisteminin orijini ve S, T ve U, SŞD dörtyüzlüsünün kenarları boyunca uzanır. Kafesin herhangi bir iç noktası için  $0 < s < 1, 0 < t < 1$  ve  $0 < u < 1$ . s, t ve u'yu dörtyüzlü köşe noktalarından biri olarak A kümesiyle ( 3 ) eşitliğinden hesaplanabilir. (Ben Kenwright,2015).

$$\begin{aligned} s &= \frac{T \cdot U \cdot (X - A)}{T \cdot U \cdot S} \\ t &= \frac{S \cdot U \cdot (X - A)}{S \cdot U \cdot T} \\ u &= \frac{S \cdot T \cdot (X - A)}{S \cdot T \cdot U} \\ X &= A + s \cdot S + t \cdot T + u \cdot U \end{aligned} \quad (3)$$

Burada s, t ve u, dört yüzlü içindeki nokta için skaler ağırlıklardır. Skaler ağırlıklar başlangıçta (yani herhangi bir deformasyon meydana gelmeden önce) hesaplanır. Kontrol noktaları (dörtyüzlünün köşeleri) hareket ettikçe, biçimlendirilme yeniden hesaplanır. Şekil 3. Simülasyon - Grafiksiz ağı 12270 köşeleri, 23 kontrol noktası, 27 dörtyüzlünün; orijinal meshi, kontrol noktalarının yerleştirilmesi, dörtyüzlü kontrol noktaları, dörtyüzlü grafik köşeler belirlenerek, deformasyon oluşturulmuş ve bir otomobil jantındaki uygulaması gösterilmiştir.



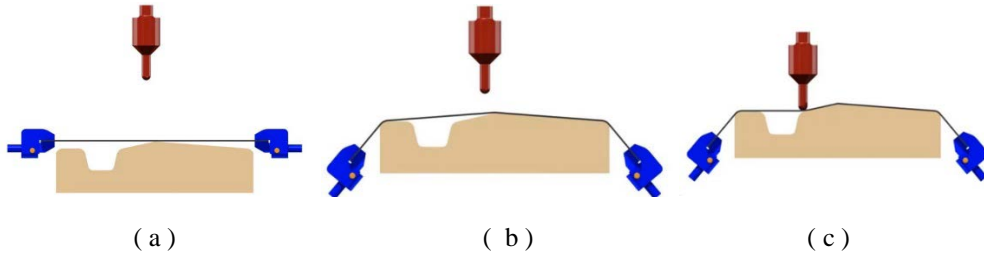
Şekil 3. Yerleştirilmiş kontrol noktaları (George ve Borouchaki, 1998)

Dört yüzlü hücrelerin çoklu seviyelerin hiyerarşisi ve komşu hücrelerin öncelikle ağırlıklı olarak şekillenmesini önlemek için küresel bağlamda formüller geliştirilebilir.

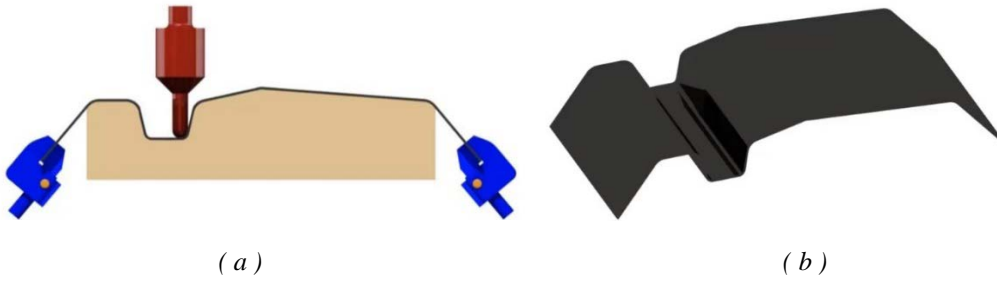
## Serbest Şekillendirme Makinesi

Saç malzemeyi kuvvet etkisiyle dörtyüzlü yapısı oluşturmak için üç koordinat ekseninde aynı anda veya ardışık olarak artırılmış gerilme oluşturacak makine KASSO Mühendislik tarafından tasarlanmıştır. Tasarımda kuvvetin uygulanması, hareketin sağlanması ve formun oluşturulması hidrolik sistemle sağlanmaktadır. Hareketlerin önceliği, sıralaması ve kontrolü PC kontrolle sağlanmaktadır. Makine 3000 x 6000 mm boyutlarındaki saç malzemelere dörtyüzlü şekil verebilecek mekanik, kinematik ve aerodinamik şekilleri seri olarak üretebilecektir.

Tübitak destekli prototipin çalışma prensibini anlatan görseller aşağıda Şekil 4 de verilmiştir. Derin şekilli deformasyon ve şekillendirilecek ürün Şekil 5 de görülmektedir.

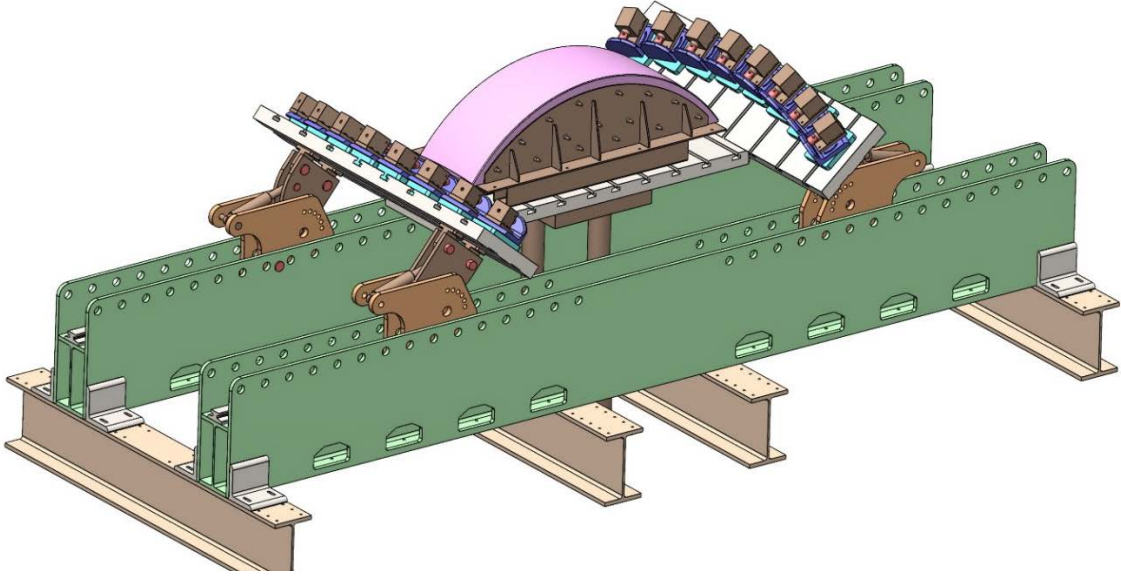


Şekil 4. Şekillendirme adımları. a- Yerleştirme, b- Gerdirme, c- Kuvvet uygulama



Şekil 5. a- Deformasyon ve b- Ürün

Serbest form deformasyonu yapacak makineye ait anal taslak aşağıda Şekil 6 da verilmiştir.



**Şekil 6:** Serbest form deformasyonu makinası

### **Sonuç ve Tartışma**

Sonuç olarak, sac, plastik ve tekstil esaslı malzemelerde deformasyonlar oluşturmak için çok çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Doğrusal olmayan şekiller tek, iki ve üç eksenli makinalarla elde edilip sektör ihtiyaçları karşılanmaktadır. Yeni tasarımlar sayesinde çok farklı şekilli ürünler üretilmektedir. Makinaların tasarımında; ürüne verilecek şekil, mekanik, kinematik, aerodinamik özellikler ile hareketlerin otomasyonu, seri üretime uygunluk her geçen gün önem kazanmaktadır.

- i. Dört yüzlü hücrelerin oluşturulması, oluşan geometrik şeklin ideal hale getirilmesi,
- ii. Kenwright (2015) tarafından geliştirilen yazılımla dörtyüzlü yapısının bilgisayar yazılımı ve kontrolüyle gerçekleştirilmesi,
- iii. Ürüne yönelik ve seri üretime uygun makinalara zamanın ruhuna uygun gereksinim duyulması,
- iv. Bu gereksinim karşılamak için, doğrusal olmayan serbest biçimli bir deformasyon dağılımı mekanik olarak da elde edilmesi mümkün olabileceği,
- v. Kontrol noktaları, onu gerektiren alanlarda ek ayrıntı düzeyine odaklanmak için şekil yüzeyine gerdirme yapılarak dağıtılması mümkün hale getirileceği,
- vi. Otomatik olarak küçültülmüş bir poli dış bükey gövde oluşturmak ve grafik köşelerin dağılımına göre kontrol noktaları yerleştirmek, buna izin veren alanlarda da daha aerodinamik şekiller elde edilebileceği

### **Sonuç**

Yassı levhalarda germe yöntemiyle şekillendirme amaçlanan bu makina ile istenilen dış bükey yüzeyler bu yöntemle verilebilmektedir. Bununla birlikte arttırımlı şekil verme yöntemi ile ise iç bükey yüzeylerde kalan yüzeylerin şekillendirmesini sağlamaktadır.

## **Teşekkür**

“3210120” proje numaralı “Metal Levhalara Freeform Plastik Şekil Vermek Amacıyla Sadece Erkek Form Kalibi Kullanarak Arttırılmış Ek Form Yöntemli Makine Tasarımı Ve İmalatı” başlıklı projede verilen Ar-Ge desteği için TÜBİTAK Teknoloji ve Yenilik Destek Programları Başkanlığı’na teşekkür ediyoruz.

## **Çıkar Çatışması Beyanı**

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

## **Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti**

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

\* Bu çalışma, 24-26 Kasım 2021 tarihlerinde çevrimiçi olarak gerçekleştirilen International Conference on Engineering, Natural and Applied Sciences (ICENAS’21) konferansında özet bildiri olarak sunulmuştur.

## **Kaynaklar**

- Cui Y., Feng J. GPU-based smooth free-form deformation with sharp feature awareness. *Mathematics Computer Science*. doi:10.1016/j.cagd.2015.03.002 Corpus ID: 19577162.
- George OL., Borouchaki H. *Delaunary triangulation and mech.* Hermes, Paris, 1998
- Hsu WM., Hughes J., Kaufman H. Direct manipulation of free-form deformations. *Proceedings of the 19th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques 1992*; doi:10.1145/133994.134036 Corpus ID: 8864124.
- Kenwright B. Free-form tetrahedron deformation. *Computer Science 2015*; doi:10.1007/978-3-319-27863-6\_74 Corpus ID: 993068.
- Lamousin HJ., Waggenspack NN. NURBS-based free-form deformations. *IEEE Computer Graphics and Applications 1994*; 14(6): 59-65.
- Leon JC., Veron P. Semiglobal deformation and correction of free form surfaces using a mechanical alternative. *The Visual Computer 1997*; 13: 109-126.
- Pernot JP., Guillet S., Léon JC., Falcidieno B., Giannini F. Shape tuning in fully free-form deformation features. *J. Comput. Inf. Sci. Eng. 2005*; 5(2): 95-103.
- Rivers AR., James DL. Fast lattice shape matching for robust real-time deformation, *ACM Transactions on Graphics 2007*; 26(3): 82.