




## Sac Metal Şekillendirmede Mukavemet Arttırma ve Sonlu Elemanlar Analizlerinin Dinamik Testler ile Karşılaştırılması

Ahmet İlhan<sup>1</sup>, Erdinç İlhan<sup>2</sup>, Faruk Varol<sup>3</sup>, Yusuf S. Aslanlar<sup>4</sup>, Hakkı T. Sezan<sup>1</sup>, Salim Aslanlar<sup>5</sup>


<sup>1</sup>Atasan Metal San. Tic. Ltd. Şti. ahmet.ilhan@atasan.com, 

<sup>2</sup>Sakarya Üniversitesi, SMYO, eilhan@sakarya.edu.tr, 

<sup>3</sup>Sakarya Üniversitesi, KMYO, fvarol@sakarya.edu.tr, 

<sup>4</sup>Yıldız Kalıp Sanayi ve Ticaret A.Ş. yusuf.aslanlar@yildizkalip.com, 

<sup>1</sup>Atasan Metal San. Tic. Ltd. Şti. hakkı.sezan@atasan.com, 

<sup>5</sup>Sakarya Üniversitesi, Teknoloji Fak. Metalurji ve Malz. Müh. aslanlar@sakarya.edu.tr, 

Araştırma Makalesi

Geliş Tarihi: 17.04.2018

Kabul Tarihi: 27.07.2018

## Comparison of Sheet Metal Forming Strength Increase and Finite Element Analysis With Dynamic Tests

Ahmet İlhan<sup>1</sup>, Erdinç İlhan<sup>2</sup>, Faruk Varol<sup>3</sup>, Yusuf S. Aslanlar<sup>4</sup>, Hakkı T. Sezan<sup>1</sup>, Salim Aslanlar<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Atasan Metal San. Tic. Ltd. Şti. I ahmet.ilhan@atasan.com

<sup>2</sup>Sakarya University, SMYO, eilhan@sakarya.edu.tr

<sup>3</sup>Sakarya University, KMYO, fvarol@sakarya.edu.tr

<sup>4</sup>Yıldız Mold Industry and Trade Inc. yusuf.aslanlar@yildizkalip.com

<sup>1</sup>Atasan Metal San. Tic. Ltd. Şti. I hakkı.sezan@atasan.com

<sup>5</sup> Sakarya University, Faculty of Technology Metallurgy and Materials. Eng. aslanlar@sakarya.edu.tr

### Öz

Bu çalışmada, beyaz eşya sanayide yatay eksenindeki kapakların açılıp kapanmasını ve istenen seviyelerde dengede durmalarını sağlayan yaylı bir menteşe mekanizması ele alınmıştır. Menteşenin montajlanacak olduğu ürünün geometrik sınırları, çalışma şartları ve çalışma aralıkları tanımlıdır. Menteşeyi oluşturan her bir parça için detaylı çizimler "SolidWorks" yazılımı yardımı ile yapılmış, 3d model oluşturulmuştur. Çalışma esnasında menteşe mekanizması açma kapama ömür test cihazı ile test edilmiş ve deformasyona uğrayan parçalar belirlenmiştir. Deformasyona uğrayan parçaların sonlu elemanlar analizleri "SolidWorks Simulation" ile yapılmış, test sonuçlarının analiz verileri örtüştüğü gözlenmiştir. Deformasyona uğrayan parça üzerinde geometrik iyileştirme yapılarak sonlu elemanlar analizleri ile yapılan iyileştirmenin sayısal karşılığı değerlendirilmiş, alınan sonuçlar laboratuvar testleri ile karşılaştırılmalı olarak incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Ürün Geliştirme, Sac Metal Şekillendirme, Sonlu Elemanlar Analizi, Menteşe Mekanizması, Ömür Çevrim Testi.

### Abstract

In this study, a hinge mechanism was devised to allow the horizontal axis of the white goods industry to open and close the covers and to keep the desired levels in balance. The geometric limits, operating conditions and operating ranges of the product to which the hinge will be mounted are defined. Detailed drawings for each part making up the hinge were made with the help of "SolidWorks" software, 3d model was created. During the operation, the hinge mechanism was tested with the opening and closing life tester and the parts subjected to deformation were identified. The parts that underwent the deformation were analyzed with "SolidWorks Simulation" and the test results were compared with the analysis data. The geometric improvement on the part subjected to the deformation was evaluated and the numerical equivalence of the improvement with the finite element analysis was evaluated and the results were compared with the laboratory tests.

**Keywords:** Product Development, Sheet Metal Forming, Finite Element Analysis, Hinge Mechanism, Life Cycle Test

\*1 Sorumlu yazar: Atasan Metal San. Tic. Ltd. Şti., ahmet.ilhan@atasan.com

Doi: 10.21541/apjes.416007

## 1. GİRİŞ

Sac metal şekillendirme yöntemleri ile üretilen ürünlerin endüstrinin birçok alanında yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir [1] - [7]. Gerek statik gerekse de dinamik yüklere dayanımları yüksek olacak şekilde tasarlanan bu yapılar, çeşitli imalat usulleri uygulanarak üretilmektedir. Yüksek mukavemet gerektiren yapılarda statik ve dinamik kuvvetler göz önünde bulundurulduğunda, akma - çekme mukavemet değerleri ve diğer mekanik özellikleri yüksek hammadde kullanımı ön görülebilir. Ancak, imalat usullerinde yüksek mukavemetteki malzemelere şekil vermek daha maliyetli ve zordur [7] - [10]. Bu sebeple parça geometrisindeki iyileştirmelerle yük taşıma kabiliyetini artırmak alternatif bir çözüm yaklaşımı olarak karşımıza çıkmaktadır.

Parça geometrisinde yapılan değişiklikler ile parçanın yük taşıma kabiliyetinin hangi oranda arttığı, sayısal ve deneysel metotlar ile değerlendirilebilmektedir [10]-[11]. Yapılan bu

çalışmada da sac metal şekillendirme teknikleri ile üretilmiş olan yatay kapakların açılmasında kullanılan mekanik bir menteşe tasarımının, sonlu elemanlar analiz programı ile belirli miktarda yük altındaki stres dağılımı incelenmiştir. Geometrik değişiklikler ile parçanın yük taşıma kabiliyetinin hangi oranda artırılabilceği değerlendirilmiş, analiz sonuçları deneysel yaklaşımlarla doğrulanmıştır [12]-[16].

## 2. MATERYAL

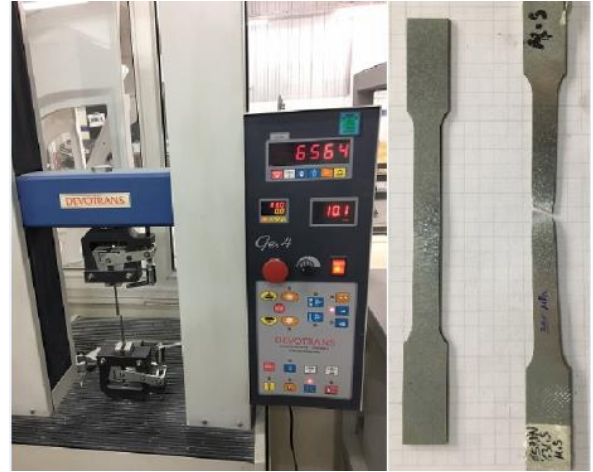
Söz konusu mekanizmada (Şekil 1) 1,50 mm Dx-51 sac hammadde kullanılmaktadır. Deney ve analiz sonuçlarının doğru karşılaştırılması için uygulanacak olan sac malzemeden numuneler alınarak çekme deneyi yapılmıştır (Şekil 2) ve malzemenin Akma - Çekme mukavemet değerleri tanımlanmıştır. Tablo 1'de tedarik edilen sac malzemenin sertifikasındaki kimyasal değerleri bulunmaktadır.

**Tablo 1.** Sac malzemenin kimyasal değerleri

Malzeme Kalitesi	Alaşım Elementeleri %									
	C	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	Al	N
Dx-51	0,05	0,2	0,02	0,016	0,026	0,011	0,021	0,003	0,057	0,005
	Mekanik Özellikler									
	Akma Mukavemeti			Çekme Mukavemeti			Uzama Katsayısı			
	203 Mpa			350 Mpa			%31,5			



**Şekil 1.** Menteşe mekanizması

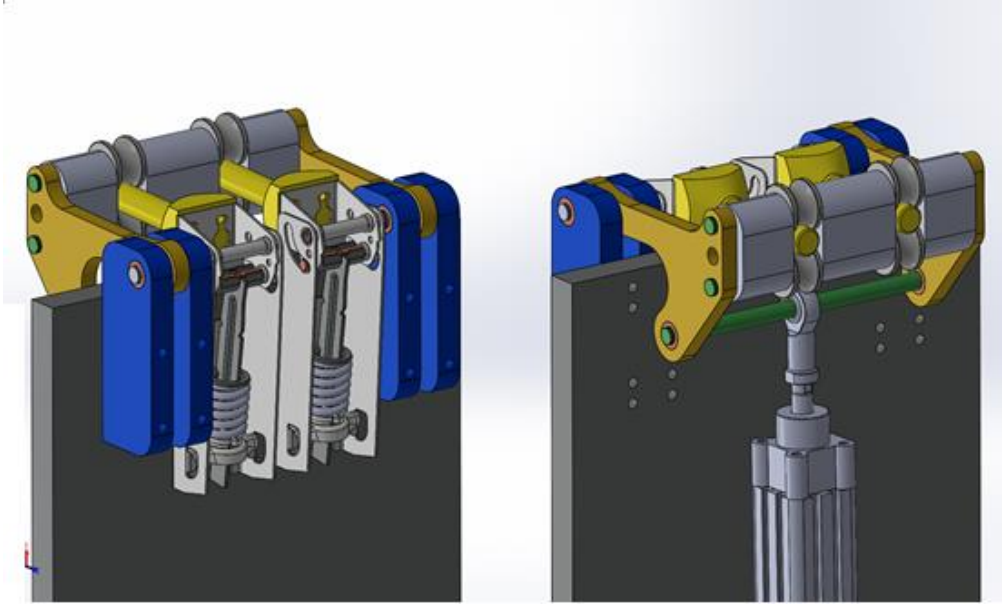


**Şekil 2.** Çekme deneyi numuneleri (TS EN ISO 6892) (12,5 x 1,5 mm) ve çekme deneyi

## 3. TEST CİHAZI VE TEST ŞARTLARI

Mekanizma için özel olarak geliştirilen test cihazı pnömatik tahrikli ve PLC kontrollü olarak, menteşe mekanizması için geçerli 250.000 açma-kapama çevrimi boyunca, 0° den 79°'ye kadar mekanik açma kapatma işlemini gerçekleştirmektedir (Şekil 3). Test süresince her bir açma-

kapama hareketinde mekanizma içerisinde bulunan 1.500 N mertebesindeki yay kuvveti, mekanizma iç kısmında irtibatla olduğu parçalarda gerilim oluşumuna neden olmaktadır. Ürünün geometrik şekline göre tasarlanan test cihazı aynı anda 16 adet mekanizmayı test edebilmektedir (Şekil 4) ve test sonuçlarının geçerliliğini arttırmaktadır.



Şekil 3. Menteşe mekanizması test cihazı tasarımı



Şekil 4. Menteşe mekanizması test cihazı

#### 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE ANALİZ

##### 4.1. Menteşe Modelinin Test Cihazında Test Edilmesi

Test cihazına montajlanan 16 adet menteşenin mekanik olarak 250.000 çevrim süresince açılıp kapanması için test cihazı ayarlanmıştır. Her bir açma-kapatma çevrim süresi 6

sn. olarak belirlenmiştir (Test süresi yaklaşık 15 gün). Test edilen menteşelerdeki yay kuvveti 1500 N dur. 250.000 açma-kapama adedine kadar planlanan test sürecinde, her 20.000 açma-kapama periyodunda kontrol noktaları oluşturulmuş ve bu katsayılar da menteşe üzerinde oluşan deformasyonlar incelenmiştir. 140.000 açma-kapama sonunda yapılan incelemelerde yay dayama parçalarında çatlaklar ve deformasyonlar olduğu tespit edilmiştir (Şekil 5).



Şekil 5. Test sonucu olumsuz olan menteşe mekanizması

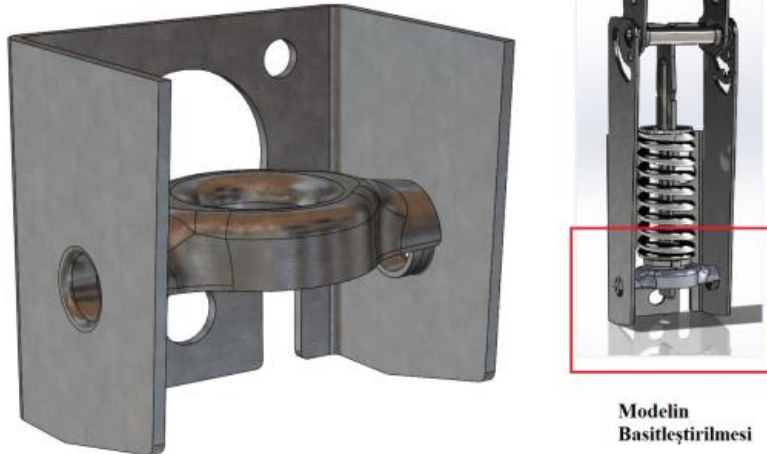
Deforme olan parçaların yük taşıma kabiliyetlerinin artırılması gerektiği test sonuçlarına göre değerlendirilmiş olup, bir sonraki adımda sonlu elemanlar analiz yöntemi ile

parça geometrisindeki değişikliklerin yük taşıma kabiliyetine etkisinin incelenmesi planlanmıştır.

#### 4.2. Menteşe Modelinin Sonlu Elemanlar Analiz Yöntemi İle Simüle Edilmesi

Analizi yapılacak olan modelin geometrisi karmaşıktır ve analiz sonuçlarına etkisi olmayan detaylar içermektedir. Mekanizma içinde birden çok parça birbiri ile etkileşim altındadır ve bu parçaların birçoğu analiz konusu değildir. Tüm bu detaylar ve analiz ile ilgili olmayan parçalarla analizi gerçekleştirmek, analiz süresini uzatacağından ve sonuçlarının doğruluk oranını düşüreceğinden, model üzerinde basitleştirme ve sadeleştirme uygulanmıştır.

Mekanizma içindeki geliştirilmek istenen bölüm ayrıca ele alınarak basit bir benzetim yapmak mümkün olmaktadır. Bu çalışmada mekanizmanın testler sırasında yeterli dayanımı sağlamayan yük taşıyıcı kısmı ele alınarak analiz için basit bir model oluşturulmuştur. Oluşturulan basit modelin sonlu elemanlar analiz yöntemi mantığı çerçevesinde, matematiksel mesh benzetimi oluşturulmuştur (Şekil 6).

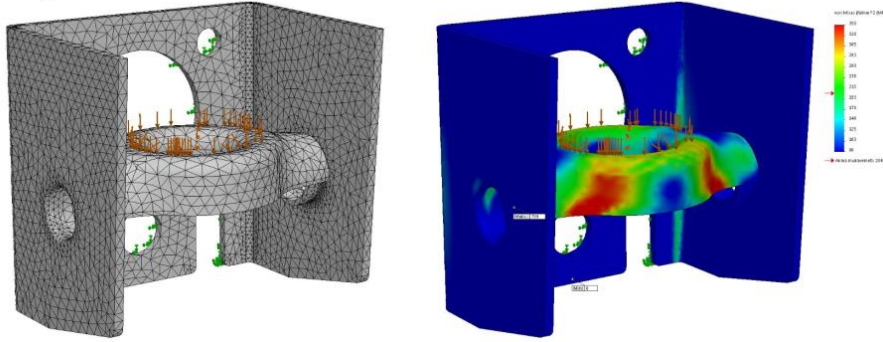


Şekil 6. Analizi yapılacak modelin basitleştirilmesi

Matematiksel mesh modeli oluşturulan ve sonlu elemanlar analiz yöntemi ile SolidWorks Simulation yazılımında tanımlamaları oluşturulan yapının statik yük çözümü yapılmıştır. Mekanizma parçaları üzerinde oluşan von Mises stress (stes kuvvetleri bileşkesi) dağılımını incelediğimizde, 1500 N yay baskı kuvvetine maruz kalan kısımlarda max.

430 Mpa stress gerilmeleri olduğu gözlemlenmektedir. Yer değiştirme analizi sonuçlarını incelediğimizde yay baskı kuvveti altında kalan yapının max. 0,59 mm esnediği anlaşılmaktadır. Dinamik laboratuvar testleri sırasında esneme ve gerilim miktarlarındaki artış malzemenin yorulmasına ve çatlamasına sebebiyet verebilmektedir.



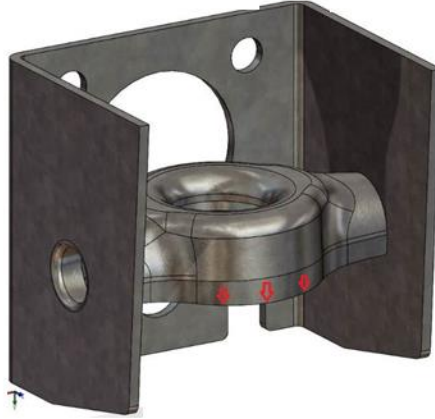


Şekil 7. Sonlu elemanlar analizi “mesh” oluşturulması ve stres dağılımı (max. 430 Mpa)

Sonlu elemanlar analiz sonuçları değerlendirildiğinde, akma mukavemetinin üzerinde gerilmelerin olduğu yapı elemanlarının bölgeleri ile dinamik testlerde çatlayan kısımları örtüştüğü tespit edilmiştir (Şekil 7).

#### 4.3. Alternatif Modelin oluşturulması ve Sonlu Elemanlar Analiz Yöntemi İle Simüle Edilmesi

Sac malzemenin kalınlığını ve mukavemet değerlerini arttırmadan geometrik tasarım formları ile optimizasyon yapılarak kullanım yerine en uygun yapı geliştirilmesi hedeflenmiştir. Testler ve analizlerin sonucunda; mekanizma içindeki yay baskısı altındaki parçanın geometrisini, atalet momenti yönünde uzatılmasının parçanın yük taşıma kabiliyetinin, tekrarlı kuvvetler altında dayanımının artacağı ön görülmüştür.



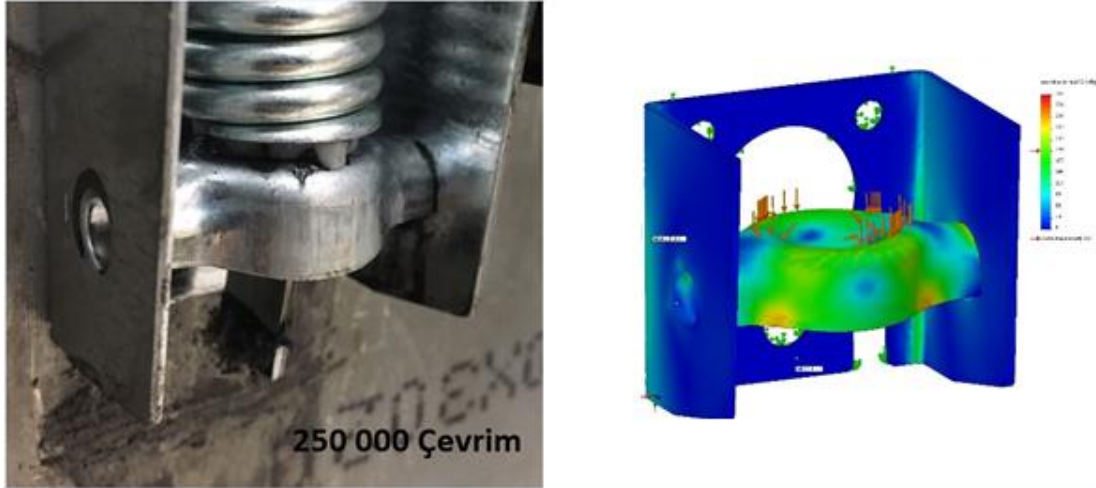
Şekil 8. Alternatif tasarımla hacmin ve yüzeyin arttırılması

Bu yönde oluşturulan alternatif tasarım üzerinde etek boylarında 3 mm uzama, toplam hacimde 466 mm<sup>3</sup> artış ile parça revize edilmiştir. Revize tasarıma göre 3D model (Şekil 8) oluşturularak mesh ve analiz işlemi tekrarlanmıştır (Şekil 9).

Analiz sonuçlarını incelediğimizde yay baskı kuvveti altında olan yapının statik gerilim değerleri; 430 Mpa seviyelerinden 294 Mpa seviyesine gerileyerek stresin önemli ölçüde dağıtıldığı görülmektedir. Ayrıca yer değiştirme ve esneme miktarı max.0,55 mm ye gerilemiştir (Şekil 9).

#### 4.4. Alternatif Menteşe Modelinin Test Cihazında Test Edilmesi ve Analiz Sonuçlarının Laboratuvar Testleri İle Karşılaştırılması

Alternatif model üzerinde daha önce belirlenen şartlarda yapılan laboratuvar testleri neticesinde, 250.000 çevrim sonunda parça üzerinde herhangi bir çatlama ile deformasyon gözlenmemiştir (Şekil 10). Analiz sonuçlarında görülen gerilim miktarındaki azalmanın, deneysel çalışmada da mekanizma ömründeki artış ve parçanın bütünlüğünü koruması ile doğrulanması sağlanmıştır.



Şekil 9. Alternatif tasarımla yüzeyinin ve hacmin arttırılmış modelin "mesh" işlemi ve analizi (max. 294 Mpa stress)



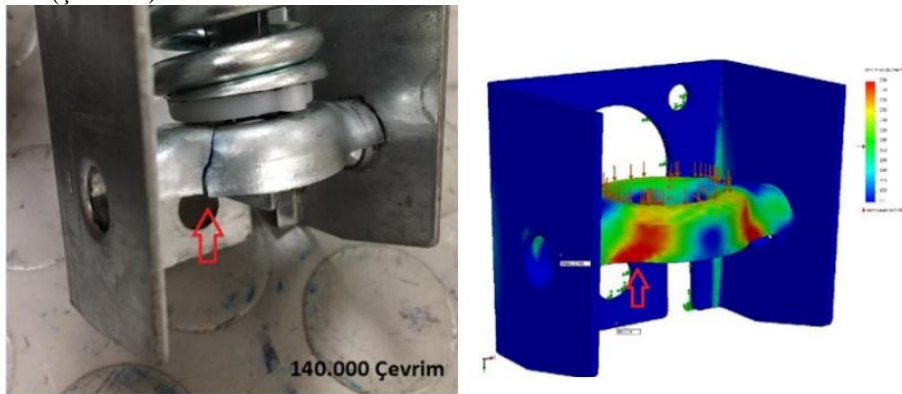
Şekil 10. Alternatif tasarımla ile 1,5 mm standart sacdan üretilmiş modelin dinamik laboratuvar testi (250 000 çevrim)

#### 4.5. Mevcut Model ve Alternatif Modelinin Sayısal ve Deneysel Bulgularının Karşılaştırılması

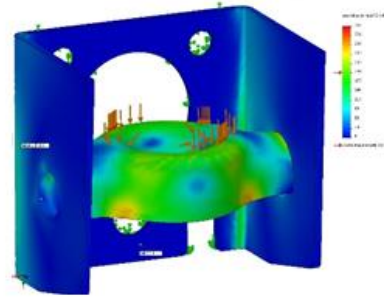
Karşılaştırma yapılacak olan tasarımlar;

A: 1,5 mm standart sac ile üretilen ilk model tasarımının dinamik laboratuvar testi (Şekil 11).

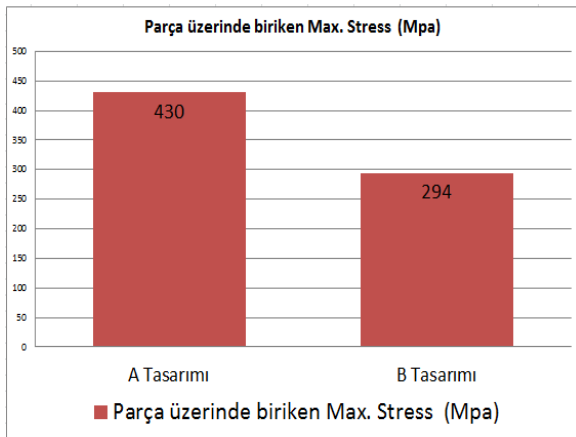
B: Alternatif tasarımla geometrinin yük taşıyan yüzeylerinin ve hacminin arttırılması ile 1,5 mm standart sacdan üretilmiş modelin dinamik laboratuvar testi (Şekil 12).



Şekil 11. (A) 1,5 mm standart sac ile üretilen ilk model tasarımının dinamik laboratuvar testi (140 000 çevrim)

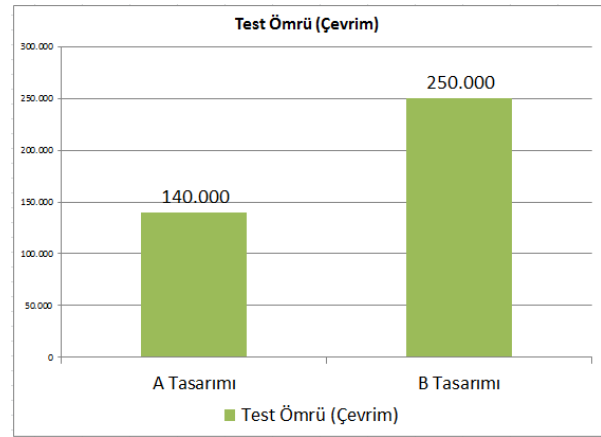


Şekil 12. (B) Alternatif tasarımla geometrinin yük taşıyan hacminin ve yüzeylerinin artırılması ile 1,5 mm standart sacdan üretilmiş modelin dinamik laboratuvar testi (250 000 çevrim)

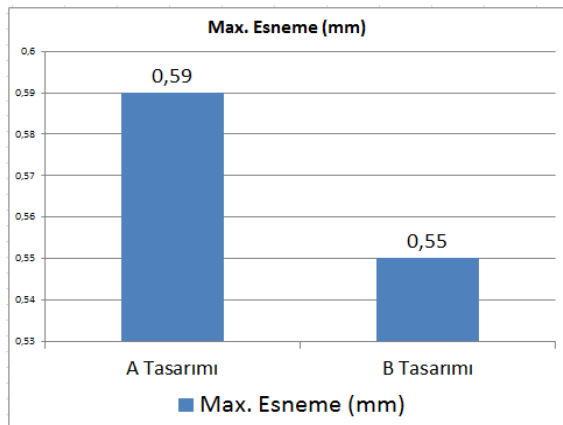


Şekil 13. Sonlu elemanlar analizinde A ve B modellerinin karşılaştırmalı stres analizi

arasında yaklaşık %50 civarında statik stres miktarında azalma ve test ömründe iyileşme sağlanmıştır.



Şekil 15. A ve B modellerinin karşılaştırmalı dinamik laboratuvar testi



Şekil 14. Sonlu elemanlar analizinde A ve B modellerinin karşılaştırmalı Max. Esneme analizi

Geometrik formda yapılan geliştirmeler ile parçanın dayanımında istenen değerler sağlamıştır. Şekil 13, Şekil 14 ve Şekil 15’de görüldüğü üzere (A) tasarımı ve (B) tasarımları

## 5. SONUÇ

Yapılan teorik ve deneysel çalışmalar neticesinde, sac metal şekillendirmede mukavemet artırıcı parametrelerin optimizasyonu ile maliyet arışı olmadan ürünlerden beklenen dayanım seviyelerine ulaşmanın mümkün olduğu görülmüştür. Geliştirilmesi düşünülen ürünün geometrik formundaki yapılan değişiklikler sonucunda, yük taşıyan yapı elemanlarının üzerinde oluşan stres ve yer değiştirmeler azaltılabilmektedir. Buna bağlı olarak tekrarlı yükler altındaki dayanımı ve kullanım ömrü artmaktadır.

- Analiz ve deneysel çalışmalar sonucu, ürün yorulma ömrünün uzun olması için parça üzerinde biriken stres gerilim seviyesi ve yer değiştirme miktarı az olması gerekmektedir.
- Parçanın atalet momentini artırıcı yönde hacminin 466 mm<sup>3</sup> artırılmasıyla, 1500N yük altındaki maksimum stres miktarını 430 Mpa seviyelerinden 294 Mpa seviyelerine azaltılması; max. esneme

miktarı 0,59 mm seviyesinden 0,55 mm seviyesine düşürülmesi sağlanmıştır.

- Çalışma ömrü 140.000 çevrim seviyelerinden 250.000 çevrim seviyelerine ulaşmıştır ve %56 iyileşme sağlanmıştır.

#### KAYNAKÇA

- [1] Türkiye Demir Ve Demirdışı Metaller Meclisi Raporu, TOBB Yayın No: 2017/300, ISBN: 978-605-137-634-9, (2016).
- [2] Chenot, J.L., Massoni,E., “Finite element modelling and control of new metal forming processes”, International Journal of Machine Tools and Manufacture, 46 (11):1194-1200, (2006).
- [3] Fırat,M., Kaftanoğlu,B., Eser,O., “Sheet metal forming analyses with an emphasis on the springback deformation”, Journal of Materials Processing Technology, 196 (1-3): 135-148, (2008).
- [4] Tizca,M.,“ Numerical modelling and simulation in sheet metal forming”, Journal of Materials Processing Technology, 151 (1-3): 58-62, (2004).
- [5] Gantar,G., Pelelnjak.T., Kuzman.K.,“ Optimization of sheet metal forming processes by the use of numerical simulations”, Journal of Materials Processing Technology, 130-131: 54-59, (2002).
- [6] Palaniswamy, H., Ngaile, Gracious., Altan, T.,“ Finite element simulation of magnesium alloy sheet forming at elevated temperatures”, Journal of Materials Processing Technology ,146 (1): 52-60, (2004).
- [7] Onur Ç.,” Sac Metal Şekillendirme İşlemlerinde Pres Hızı Ve Malzemenin Şekillendirmeye Etkilerinin Deneysel Ve Teorik Olarak İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Eğitimi, (2013).
- [8] Anıl H.,” Sac Bükmede Geri Yaylanmanın Sonlu Eleman Yöntemi İle İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Hitit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı, (2016).
- [9] Prof. Dr. Demirkol M.,” Plastik Şekil Verme Teknolojisi”, Ders Notları, İTÜ Makina Mühendisliği Bölümü, (2010).
- [10] Groover, Mikell P.,” Fundamentals of modern manufacturing: materials, processes and systems, 4th ed.”,Lehigh University, ISBN 978-0470-467002, (2010).
- [11] Topçu, M., Taşgetiren, S., Mühendisler İçin Sonlu Elemanlar Metodu. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Ders Kitapları Yayın 007, Mühendislik Fakültesi Matbaası, Denizli 33-40, (1998).
- [12] Aswin Srikanth S., Bharanidaran R., Design and Development of Compliant Mechanisms Using Parameterization Technique, Materials Today: Proceedings, vol: 4 (8) pp: 7388-7396, (2017).
- [13] Woo S., O’Neal D., Pecht M., Design of a hinge kit system in a Kimchi refrigerator receiving repetitive stresses, Engineering Failure Analysis, vol: 16 (5) pp: 1655-1665, (2009).
- [14] Liao K., Cian Y., Lin W., Fatigue life assessment of an innovative laptop hinge, Materials & Design, vol: 30 (5) pp: 1497-1502, (2009).
- [15] Stanzl-Tschegg S., Very high cycle fatigue measuring techniques, International Journal of Fatigue, vol: 60 pp: 2-17, (2014).
- [16] Chang K., Project S1 Solid Modeling with SolidWorks, Product Design Modeling Using CAD/CAE, Publisher: Elsevier, pp: 323-367, (2014)