

# MÜHENDİS VE MAKİNA

ENGINEER AND MACHINERY

ISSN 1300-3402

TEMmuz/JULY 2016 SAYI/NUMBER : 678



tmmob makina mühendisleri odası aylık yayın organı

[www.mmo.org.tr/muhendismakina](http://www.mmo.org.tr/muhendismakina)

## makale

44

**KAYNAK CIVATA VE SOMUNLARININ ÇEŞİTLERİ, ÜRETİMİ, YÖNTEMİ VE KULLANIM ALANLARI**  
VARIETIES, PRODUCTION, METHOD AND USAGE AREAS OF WELDING BOLT AND NUTS  
*Deniz ÇOBAN ÖZKAN, Bekir Sadık ÜNLÜ*

53

**TERMOPLASTİK PARÇA ÜRETİMİNDE MİKROHÜCRESEL KÖPÜK TEKNOLOJİSİNİN KULLANIMI**  
THE USE OF MICROCELLULAR FOAMING TECHNOLOGY IN THE PRODUCTION OF THERMOPLASTIC PARTS  
*Sami SAYER, Arzu YALÇIN MELİKOĞLU*

60

**TÜRKİYE'DE HAVACILIK ENDÜSTRİSİNDE BAKIM TEKNİSYENİ YETİŞTİRME PATİKASI**  
AIRCRAFT MAINTENANCE TECHNICIAN TRAINING PATH IN TURKISH AVIATION INDUSTRY  
*Tamer SARAÇYAKUPOĞLU*

65

**SOĞUK DÖVME KALIPLARINDA MEYDANA GELEN KIRILMA SEBEPLERİNİN NÜMERİK OLARAK İNCELENMESİ**  
NUMERICAL INVESTIGATION OF FAILURE EVOLUTION ON COLD FORGING DIES  
*Cenk KILIÇASLAN, Umut İNCE*

# KAYNAK CIVATA VE SOMUNLARININ ÇEŞİTLERİ, ÜRETİMİ, YÖNTEMİ VE KULLANIM ALANLARI

**Deniz Çoban Özkan\***

Arş. Gör.,

Celal Bayar Üniversitesi,

HFT Tek. Fak. Turgutlu, Manisa

deniz.coban@cbu.edu.tr

**Bekir Sadık Ünlü**

Doç. Dr.,

Celal Bayar Üniversitesi,

HFT Tek. Fak. Turgutlu, Manisa

bekir.unlu@cbu.edu.tr

## ÖZ

Otomotiv sektöründeki gelişmeler, üretimin otomasyon ağırlıklı ilerlemesi kaynak civata ve somunlarının kullanımını önemli hale getirmiştir. Montaj ve demontaj işlemlerinde sağladığı kolaylık, montaj süresini kısaltması, hatalı parça oranını azaltması kaynak civata ve somunlarının yaygınlaşmasını sağlamıştır. Soğuk şekillendirme yöntemi ile üretilen bu bağlantı elemanlarının üretim aşaması ve kullanımını yıllar içerisinde geliştirmiştir. Bu çalışmada, kaynak civata ve somunlarının üretimi, çeşitleri, kullanım alanları ve montajlarında kullanılan kaynak yöntemi incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kaynak civatası, kaynak somunu, bağlantı elemanları

# VARIETIES, PRODUCTION, METHOD AND USAGE AREAS OF WELDING BOLT AND NUTS

## ABSTRACT

Developments in the automotive industry and mostly the production of automotive progress have made use of welding bolts and nuts important. Using of welding bolts and nuts has become widespread because of convenience of their assembly and disassembly, shortness of assembly times, lower ratio of defective parts rate. Using and production of these parts by cold forming have developed in years. In this study, varieties, production, usage areas and welding method of welding bolts and nuts were examined.

**Keywords:** Welding bolt, welding nut, fasteners

\* İletişim Yazarı

Geliş tarihi : 27.10.2015

Kabul tarihi : 24.05.2016

Çoban, Özkan, D., Ünlü, B. S. 2016. "Kaynak Civata ve Somunlarının Çeşitleri, Üretimi, Yöntemi ve Kullanım Alanları," Mühendis ve Makina, cilt 57, sayı 678, s. 44-52.

## 1. GİRİŞ

Günlük hayatta kullandığımız birçok alet ve mobilyada, sanayide, otomotivde ve benzeri birçok alanda bağlantı elemanları kullanılır. Bağlantı elemanları sökülebilen (civata, perçin vb.) ve sökülemeyen (kaynak, lehim vb.) olarak ikiye ayrılırlar. Sökülebilen bağlantı elemanları içerisinde en çok kullanılanı civata ve somun bağlantılarıdır. Otomotiv sektöründeki gelişmeler, montaj işlemlerinin otomasyon ağırlıklı yapılması kaynak civata ve somunlarının gelişimini sağlamıştır. Kaynak civata ve somunlarından biri araç sacına projeksiyon kaynağı ile kaynatılır, bu sayede bağlantı elemanlarından biri sabit halde bulunurken diğerinin montajı kolaylaşır. Montaj işleminin dışında de-montaj işlemini de kolaylaştırırken, merkezleme kolaylıkla sağlanır, hatalı parça ihtimali azalır ve montaj süreleri kısalmır. Civata ve somun başta olmak üzere bağlantı elemanları ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Kaynak civata ve somunları ise daha yeni bir alanı oluşturmaktadır.

Kaynak civata ve somunları saca kaynağı için temas yüzeylerinde, eriyerek saca birleşecek çıkıntılı (meme) bulunur [1]. Sac levhalara somunların projeksiyon kaynağı, otomobil endüstrisinin üretim sürecinde yaygın biçimde kullanılır [2]. Bu parçalar montaj aşamasında büyük kolaylık sağlamaktadır. Büyük sac parçaların birbirlerine ve araç karoserisine montajında civata veya somunun sabit oluşu diğerinin montajını kolaylaştırmaktadır.

Kaynak somunları ile ilgili sayılı çalışma söz konusudur. Nielsen ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada, kare somunların sac metale projeksiyon kaynağı ile kaynatılmasının ilk kez 3 boyutlu simülasyonu sonlu elemanlar analizi yöntemi ile incelenir. [2]. Ringsberg ve arkadaşları yaptıkları çalışmada ise ince sac metale kaynatılan kaynak somununun yan bölgelerindeki gerilme tabanlı metal yorulmasını, bir otomobil karoserisinde yorulma tasarımı işlemiyle incelerler. Yaptıkları çalışmada birçok sayısal ve deneysel yöntemden yararlanılmıştır. Belirli kuvvetler altında yapılan yorulma deneyinde ters yönde yükleme yapılan kaynak somunları kullanılır. Bu sayede kaynak somununun yanında bulunan sac metal kısmında eğilmeli yorulma oluşur. Deney sonucu, somun geometrisi ve boyutlarının sac kalınlığı ve malzemesiyle kombinasyonunda birçok Fa-N eğrisi oluşur. Deneysel çalışmaların doğrusal elastik sonlu elemanlar yöntemleri ile devam ettirilmesi sonucu Fa-N eğrisi Wöhler eğrisine ( $\sigma$ -N) dönüştürülmüştür [3]. Skov-Hansen ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, kalıpların analizinde sonlu elemanlar modelini kullanmış ve diğer çalışmalardan farklı olarak yaptıkları çalışmaya ön gerilme koşulunu ve sıkı geçme analizini eklemişlerdir [4]. Ahn ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada ise aksel simetrik kalıp modellerinde kullanılan ekstrüzyon işleminde kullanılan kalıpların ömür tahmini ve hasar boyutlarının incelenmesi araştırılmıştır [5].

Fu ve arkadaşlarının çalışmasında da sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak, gerilme kaynaklı yorulma ömür tahminleri yapılmış, bu doğrultuda gerçeğe daha yakın sonuçlar elde edilmiştir [6]. Erbil ve İnce yaptıkları çalışmada, soğuk dövme işleminde simülasyon yönteminin kullanılmasının hem ürün kalitesini arttırdığını hem de ürün maliyetini azalttığını ve bunlara ek olarak da verimliliği yükselttiğini belirtmektedirler [7]. Ay ve Sakin yaptıkları çalışmada, civata bağlantılarının çalışma alanındaki şartlara bağlı olarak gelişen hataları ve bu hataların kaynaklarını örneklerle incelemiştir [8].

Derleme makale olarak yaptığımız bu teknik not çalışmasında, kaynak civata ve somunlarının üretimi, çeşitleri, kullanım alanları ve montajlarında kullanılan kaynak yöntemi açıklanmıştır.

## 2. KAYNAK CIVATA VE SOMUNLARI

Kaynak civata ve somunlarında ISO ve DIN standartları gibi genel standartların yanı sıra, otomotiv firmalarının kendileri için özel hazırladıkları standartlar da söz konusudur. Otomotiv firmaları kendi ihtiyaçları doğrultusunda tasarladıkları kaynak civata ve somunlarını belirli kodlar ile standartlaştırarak süreçte ortaya çıkabilecek parça hatalarını en aza indirmektedirler. Kaynak civata ve somunları yerine normal civata ve somunların kaynatılması işleminin uygulamaları da söz konusudur. Bu uygulamanın örnekleri Şekil 1'de verilmektedir. Bu durumlarda bağlantı parçasının zarar görmesi, ana parça üzerinde hasar oluşması gibi maddi hasara sebep olabilecek durumlar söz konusudur. Aynı zamanda böyle bir uygulamanın alacağı zaman ve yol açacağı maliyet kaynak somunlarının ve civatalarınkıne kıyasla çok daha yüksektir. Emniyet açısından da çok sakıncalıdır.

### 2.1 Kaynak Civata ve Somunlarının Çeşitleri

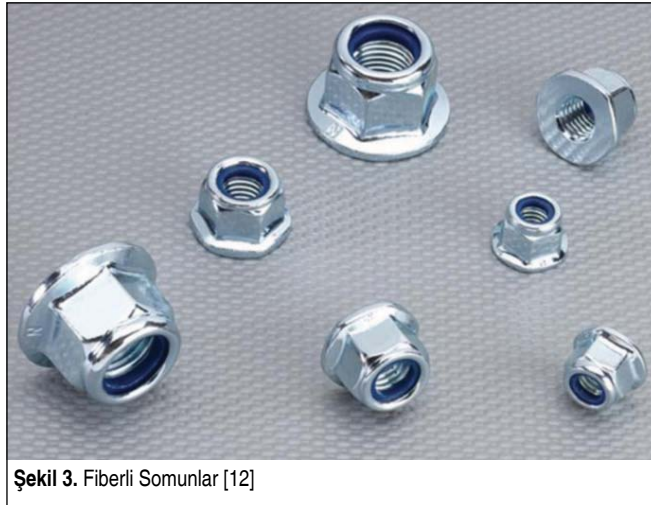
Kaynak civata ve somunlarının birçok çeşidi bulunmaktadır. Kafa tipi, kafa yüksekliği, flanşlı olup olmaması, somunlarda fiberli olup olmaması, civatalardaki civata boyu ve paso boyu gibi birçok civata ve somun çeşidi olmasının yanı sıra, kaynak civata ve somunlarında kaynak memesi tipi de çeşitlilik sağlamaktadır. Şekil 2'de kaynak civata ve somunlarına ait örnekler verilmiştir.



Şekil 1. Normal Bir Somunun Parçaya Kaynağı [9-11]



Şekil 2. Kaynak Cıvata ve Somunları [12]



Şekil 3. Fiberli Somunlar [12]

Şekil 3'te ise fiberli somunlara ait görsel verilmektedir. Fiberli somunların amacı somunun mekanik olarak kilitleyerek sökülmesini önlemektir. Kullanılacağı yere bağlı olarak farklı malzemelerden üretilmiş fiberler bulunmaktadır.

Şekil 2 ve 3'te örnekleri bulunan kaynak cıvata ve somunlarının genel çeşitleri şunlardır:

- Kare kaynak somunları
- Altı köşe kaynak somunları
- Flanşlı kaynak somunları
- Flanşlı fiberli kaynak somunları
- Sıkmalı flanşlı kaynak somunları
- Kesmeli kaynak somunları
- Piramit meme kaynak cıvataları
- Üç memeli kaynak cıvataları
- Ring kaynak cıvataları vb.

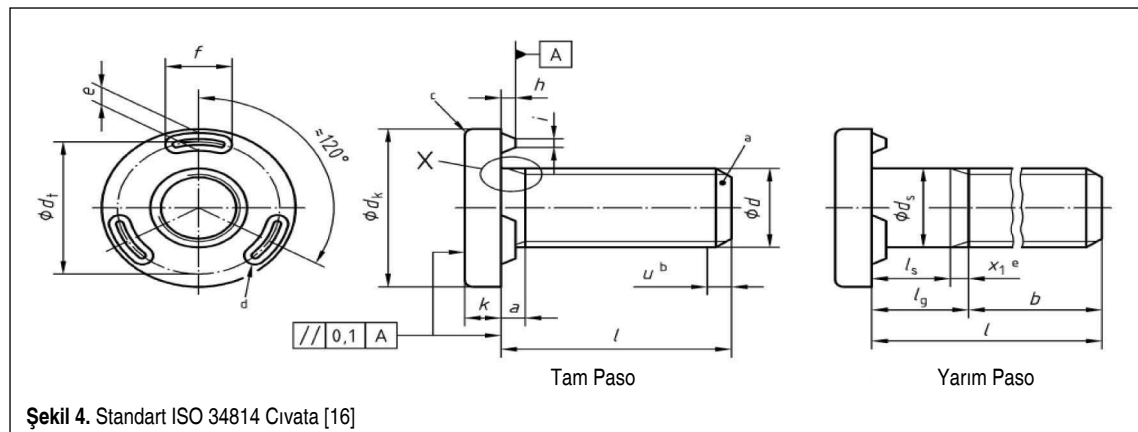
Otomotiv firmalarının kendilerine ait kaynak cıvata ve somun çeşitleri olmasının yanı sıra, en sık kullanılan kaynak cıvata ve somun çeşitleri ISO ve DIN standartlarında belirtilmektedir. Şekil 4'te, piramit kaynak memesi formuna sahip ISO 34814 Standardı'na uygun bir cıvatanın teknik resim örneği verilmiştir.

Şekil 5'te ise aynı kaynak memesi formuna sahip bir kaynak somunun görseli ve teknik resmi bulunmaktadır.

## 2.2 Kaynak Cıvata ve Somunlarının Üretimi

Genel olarak cıvata ve somunların üretimi soğuk şekillendirme, sıcak şekillendirme ve talaşlı imalat yöntemleri ile gerçekleştirilir. Fakat kaynak cıvata ve somunlarında istenen mekanik özellikler, kaynak memesi formları, yüzey ve tolerans hassasiyeti göz önüne alındığında, kaynak cıvata ve somunlarının üretimlerinde tercih edilen üretim metodu soğuk şekillendirme [12]. Ayrıca Şekil 6'da da görülebileceği gibi, soğuk şekillendirmede malzeme sürekliliği sağlanırken talaşlı imalatla sağlanamamaktadır.

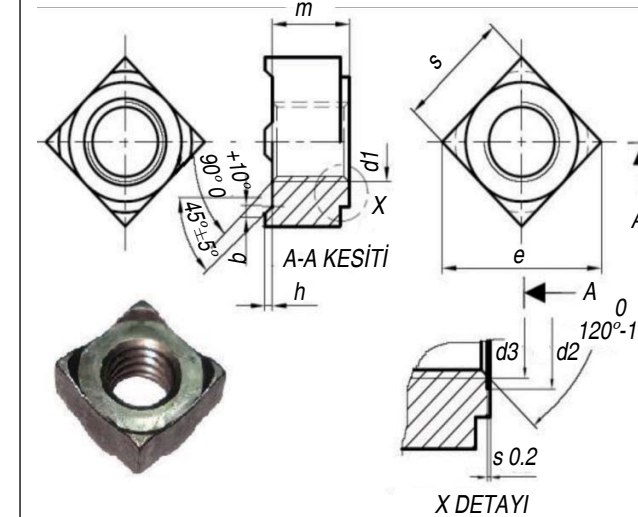
Malzeme soğuk şekillendirmede kullanılan yatay preslerde kolay şekillenebilmesi için öncelikle yüzey işlem havuzlarında işlem görür. Yüzey işlem havuzlarında yapılan bu işlem, malzeme kangallarının sıvı dolu havuzlara sırasıyla daldırıl-



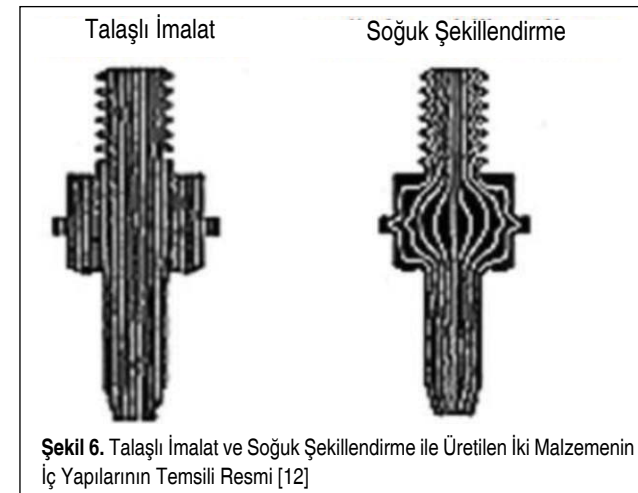
Şekil 4. Standart ISO 34814 Cıvata [16]



Şekil 7. Yüzey İşlem Havuzları [12]



Şekil 5. Kaynak Somunu Görsel ve Teknik Resmi [12, 17]



Şekil 6. Talaşlı İmalat ve Soğuk Şekillendirme ile Üretilen İki Malzemenin İç Yapılarının Temsili Resmi [12]

ması şeklinde gerçekleşir. Öncelikle yüzey temizleme, ardından ise fosfat kaplama işlemleri uygulanır. Bu işlem sayesinde malzemenin oksijen ile teması kesilerek paslanma önlenmiş



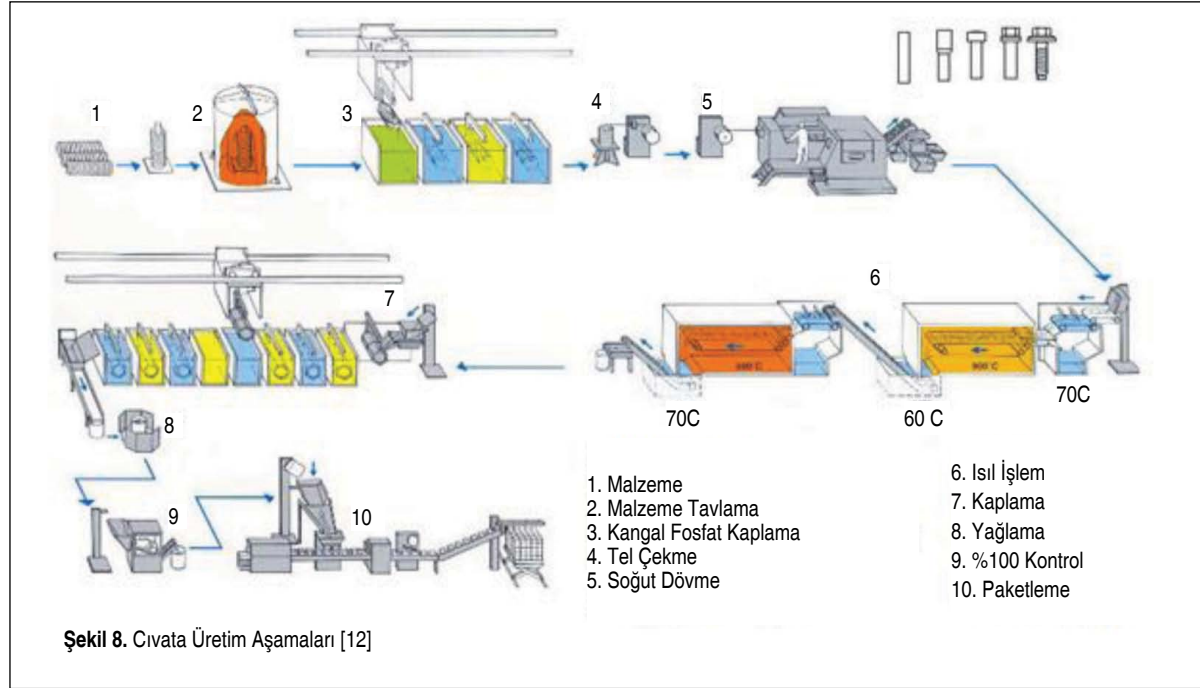
olur. Yüzey işlem havuzlarına ait görsel Şekil 7'de gösterilmiştir.

Soğuk şekillendirme, oda sıcaklığındaki malzemenin dişi ve erkek kalıplar arasında kuvvet altında istenilen forma sokulması işlemidir. Malzeme tek seferde belirli bir oranın üzerinde şekil değiştiremeyeceği için birden fazla istasyon yardımıyla kademeli olarak son şekline ulaşır (Şekil 8). Cıvata ve somun üretiminde izlenecek adımlar sırasıyla; malzeme seçimi, yüzey işlem, soğuk şekillendirme, ısıtma işlemi ve kaplamadır [12].

Soğuk dövme, dövülebilir malzemelerin normal ortam sıcaklığında kalıplar içinde kuvvet uygulanarak şekillendirilmesi yöntemidir [12].

Hammadde, soğuk şekillendirme ve ekstrüzyon için uygun, sıcak haddeleme ile üretilmiş, orta ve az karbonlu, az alaşım-lı, istenilen fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri sağlayan çeliklerdir. Dünya genelinde cıvata ve somun için kullanılan hammadde standartları DIN EN 10263 ve DIN EN 10269 şartnamelerinde verilmişlerdir. Cıvatalarda 4.8, 5.8, 6.8 somunlarda 8 kalite soğuk şekillendirme çıkışı elde edilirken (ısıtılmamış cıvatalar), cıvatalardaki 8.8, 10.8, 12.8 ve somunlardaki 10, 12 kaliteler soğuk şekillendirme çıkışı ısıtma işlemi ile elde edilmektedir (ısıtılmış cıvatalar). Isıtılmamış cıvatalar karbon oranı düşük hammaddelerden üretilirken, ısıtılmış cıvatalar orta karbon alaşım-lı hammaddelerden üretilirler. Hammadde seçiminde diğer faktörler ise hammadde çapı, hammadde sertliği, mikro yapı, çekme-basma testi değerleri ve spektral yapısıdır.

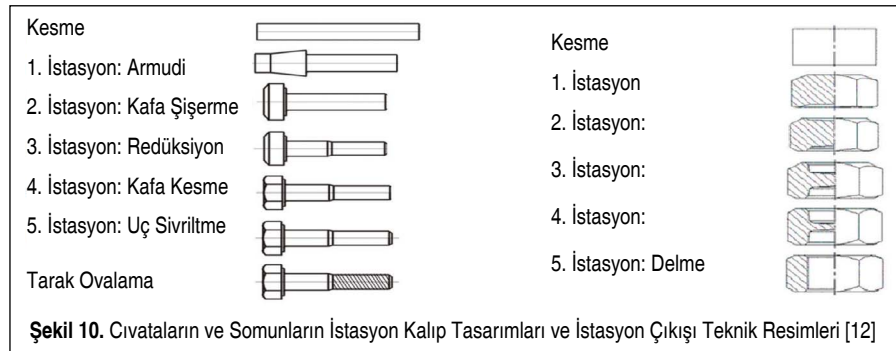
Soğuk dövme prosesinde kullanılan presler 2, 3, 4, 5 ve 6 istasyonlu mekanik preslerdir. Bu preslerde ürün istasyonlar arasında transfer mekanizması yardımıyla taşınarak şekillendirilmektedir. Ayrıca bağlantı elemanları üretimine yönelik olarak özel üretilmiş "boltmaker" olarak adlandırılan presler üzerinde bulunan pah kırma ve ovalama mekanizmaları sayesinde ürün üzerindeki pah ve dişi ovalama işlemleri yapılarak bitmiş ürün üretilmektedir [12].



Şekil 8. Cıvata Üretim Aşamaları [12]



Şekil 9. Kaynak Cıvata ve Somunu Üretiminde Kullanılan Soğuk Şekillendirme Makinesi [12]



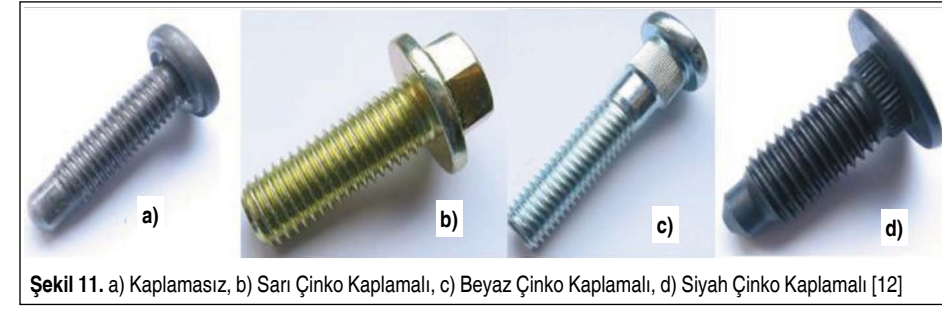
Şekil 10. Cıvataların ve Somunların İstasyon Kalıp Tasarımları ve İstasyon Çıkışı Teknik Resimleri [12]

Kaynak cıvata ve somunlarının üretimi genellikle yatay soğuk şekillendirme makineleri ile yapılır. Bu makinelerin istasyon sayıları farklılık göstermektedir, kaynak cıvata ve somunlarının üretiminde ise genellikle 3 istasyondan 6 istasyona kadar istasyona sahip soğuk şekillendirme makineleri tercih edilir. Şekil 9'da 5 istasyonlu bir soğuk şekillendirme makinesine ait resim bulunmaktadır.

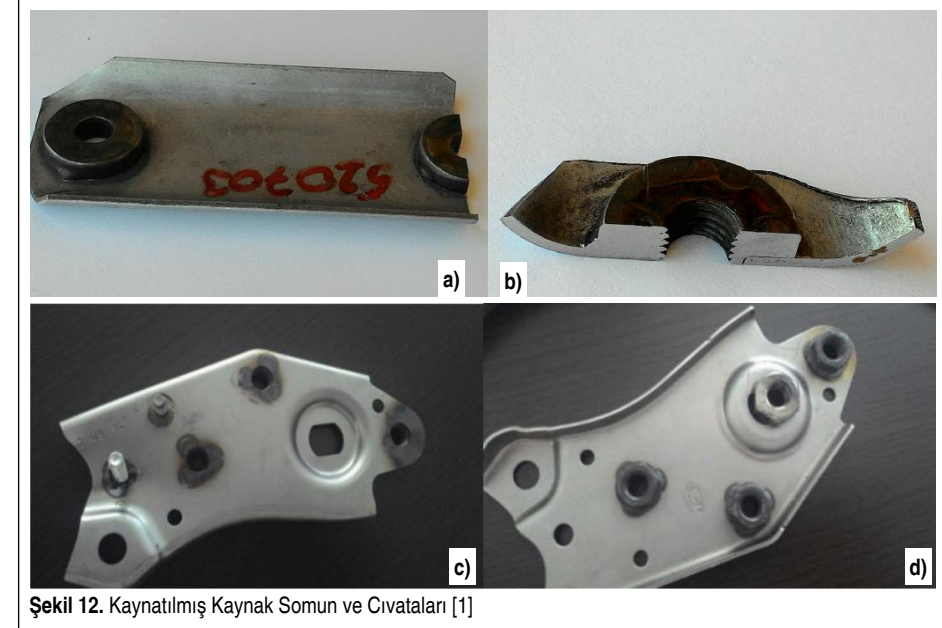
Soğuk şekillendirmede üretim prensibi başlangıçta makinaya giren hammadde ile sonda çıkan ürünün (fresi olan bazı parçalar hariç) hacimlerinin aynı olmasıdır. Standart cıvataya ait 5 ve standart somuna ait 4 istasyonlu istasyon çıkışı makine şekillendirilmesine ait teknik çizimler Şekil 10'da verilmiştir.

Soğuk şekillendirme sonrası cıvata ve somunlara iki farklı diş açma yöntemi uygulanır. Bunlar talaşlı üretimde kesme ve talaşsız üretimde ovalama yöntemleridir. Keserek vida açma yönteminde, yuvarlak çelik bir çubuğa vida formu vermek için çubuktan kesme yolu ile talaş çıkartarak, talaş uzaklaştırma yolu ile gerçekleştirilir. Ovalayarak diş açma yönteminde ise parça ezilerek vida şekli verilir [13, 14]. Ovalama işleminde malzeme koparılıp uzaklaştırılmak yerine sert kalıplar içerisinde alınarak, ezme işlemi ile (soğuk şekillendirme) cıvata ve vida diş formları elde edilir [15].

Her cıvata ve somun için ayrı makine seçimleri yapılır. Makine seçimi özellikle cıvata ve somunun metrik ölçüsüne, dolayısıyla malzeme çapına göre



Şekil 11. a) Kaplamasız, b) Sarı Çinko Kaplamalı, c) Beyaz Çinko Kaplamalı, d) Siyah Çinko Kaplamalı [12]



Şekil 12. Kaynatılmış Kaynak Somun ve Cıvataları [1]

yapılır. M4 bir cıvata ile M16 bir cıvatanın aynı makinede üretilmesi söz konusu değildir. Makine seçiminin yanı sıra, her cıvata ve somuna ait özel istasyon kalıpları üretilir.

Kaynak cıvata ve somunlarının bir kısmı da dâhil olmak üzere, genel olarak cıvata ve somunlarda kaplama işlemi uygulanır. Bu uygulamanın sebebi bağlantı elemanlarının emniyetli ömrünü uzatmak, yani korozyona karşı dayanımını arttırmaktır. Şekil 11'de kaynak cıvatalarında kaplama çeşitleri ile ilgili görseller bulunmaktadır.

Korozyon, metallerin ortamla teması sonucu, metal -ara yüzey- ortam üçlüsünün etkileşimi ile yüzeyde oluşan bozulmadır. Korozyondan korunma önlemlerinin temelinde de bu üç faktörün özelliklerini ve birbirleri ile ilişkilerini iyi bilmek ve gerekli değişiklikleri gerçekleştirmek yatar [18]. Metallerin ortama daha dayanıklı kılınması için, korozyon yapıcı etkenlerin kontrol altına alınması yanında, ara yüzeyi değişik malzemelerle kaplamak bu tür önlemlerin başında gelmektedir [19]. Sanayide elektrolitik çinko kaplama çeşitli banyolarla yapılmaktadır. Bunlar siyanürlü banyolar, alkali siyanürsüz banyolar ve asit klorür banyolardır. Her bir banyo ekonomik-

lik, işlem zamanı, dekoratif görünüm, yüzeye yapışma gibi faktörler dikkate alınarak değişik alanlarda kullanılmaktadır [20]. Cıvata ve somunlarda kullanılan 3 ana tip kaplama vardır. Bunlar çinko kaplamalar (beyaz, sarı, siyah vb. renkte), çinko alaşımli kaplamalar (çinko-nikel, çinko-demir vb.) ve lamelli kaplamalardır.

### 2.3 Kaynak Cıvata ve Somunlarının Kullanım Alanları

Kaynak cıvata ve somunlarının montajında projeksiyon kaynağı kullanılır. Farklı kaynaklarda kabartı kaynağı, kabartı nokta kaynağı olarak da geçmektedir. Projeksiyon kaynağı, yöntem olarak nokta direnç kaynağına benzer. Nokta direnç kaynağında, kaynatılacak sac malzemeler üst üste bindirilip elektrotlar arasında sıkıştırılır ve elektrik akımı geçirilir. Bu yöntemle elektrot başlıklarının boyut ve şekilleri, geçen akımı sınırlandırır; nokta kaynağında akım, kaynatılacak malzemelerin en az birinde bulunan kabartılarla sınırlıdır [21].

Kaynak cıvata ve somunlarının kaynağında projeksiyon kaynağı yöntemi kullanılır. Şekil 12a ve b'de kaynatılmış somunun kesiti verilmiştir. Bu kesit resminin sol bölümü kaynak memesine denk gelen kısımdır. Bu bölgede iki parçanın tam olarak birleştiği görülebilir. Sağ taraftaki kısım ile kaynak memelerinin arasında kalan kısım olduğu için iki parça rahatlıkla ayırta edilebilmektedir. Şekil 12c'de kaynak cıvatalarının, Şekil 12d'de ise kaynak somunlarının saca uygulanmış durumları verilmiştir.

Projeksiyon kaynağında kullanılan kaynak makinesi punta kaynak makinesi ile aynıdır; tek farklılık kullanılan elektrot tipidir. Projeksiyon kaynağında punta kaynağından farklı olarak parçalara eşit basınç uygulayabilmek için yukarıdaki şekilde de görebileceği gibi yassı elektrotlar kullanılır. Projeksiyon kaynağı ile birleştirilen kaynak cıvata ve somunları; otomotiv sanayinde, makine parçalarının imalatında, dişli saplamalarda, ev aletlerinin vida bağlantılarında, büro mobilyalarında, inşaat sektöründe takviyeli beton uygulamalarında kullanılan çelikten üretilmiş olan hasır üretimlerinde vb. kullanılmaktadır. Uygulamaya ait bazı kaynak cıvata ve somun örnekleri Şekil 13'te gösterilmiştir.



Şekil 13. Kaynak Cıvata ve Somun Çeşitleri [25-28]

### 3. PROJEKSİYON KAYNAĞI

Projeksiyon kaynağı kaynak bölgesi kabartıların bulunduğu bölgedir (Şekil 14). Bu kaynaktaki, birleştirilecek parçalar üst üste getirildiği zaman sadece kabartıların (kaynak cıvata ve somunlarında kaynak memeleri) bulunduğu kısımlarda iki parça arasında temas olur. Bu kaynak yönteminde prensip, kaynak makinasından uygulanan akımın kabartının bulunduğu bölgede yoğunlaşması ve kabartının hızla ısınmasıdır. Bu sayede ısınan kabartı ergiyerek çöker ve iki parça arasında ergimiş bölge oluşur, elektrik akımı kesilerek basınç uygulanmaya devam edildiğinde kaynak işlemi tamamlanır.

Şekil 14'te, projeksiyon kaynağı dirençleri ile birlikte verilmiştir. Kaynak sırasında oluşan ısı etkisi, kısmi dirençlerin toplamıyla ve akımın karesiyle orantılıdır. Kaynak çekirdeğinin oluşumunda sadece  $R_5$  ve  $R_6$  dirençleri gerekli ısı miktarını üretir. Kaynak yapılacak parçalar arasındaki temas direnci, kabartı formundan, baskı kuvvetinden ve parçaların yüzey durumundan etkilenir. Kaynağın başlangıcında  $R_5$  ve  $R_6$  malzeme dirençleri nispeten küçük olduğundan temas bölgesinde aşırı ısınmanın yol açtığı sıçramadan kaçınmak için, direncin temiz sac yüzeyi ve yüksek baskı kuvveti ile uygun sınırdaki tutulması gerekir [23].

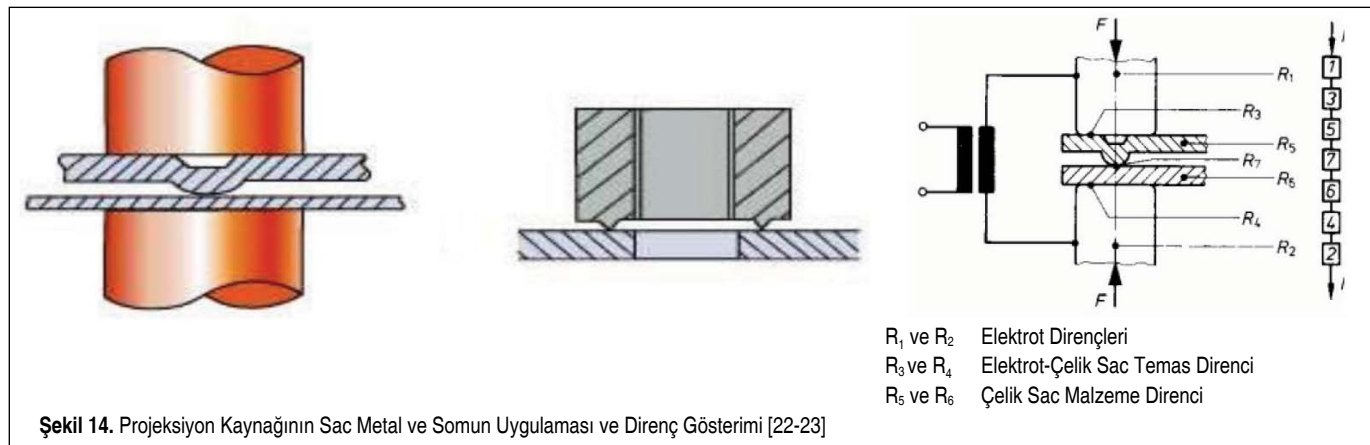
Bir projeksiyon kaynak işleminde uygun kaynak paramet-

releri çok önemlidir. Kaynak yapılacak sacın kalınlığı, malzemenin cinsi ve diğer değişkenler kaynak kalitesini etkilemektedir. Akım, kaynak süresi ve elektrot kuvveti bu kaynak yönteminde en önemli parametrelerdir. Kaynak yapılan kabartı, merceğe benzer bir kaynak çekirdeği oluşturur. Kaynak işlemine bağlı olarak bir ITAB (ısıtımın tesiri altındaki bölge) oluşur. Bu bölgede malzeme özellikleri değişmiş; fakat kaynak olmamıştır [23].

Projeksiyon kaynağı genel olarak seri üretimde kullanılan bir yöntemdir. Projeksiyon kaynağında kabartıya akım iletimi tek taraftan veya çift taraftan olabilir. Sac metallerdeki uygulamasında tek seferde bir adet kabartıyı kaynatabildiği gibi çoklu kabartıyı da kaynatabilmektedir.

Tahribatlı muayene ile bulunan ortalama nokta çapı çekirdek çapı olarak adlandırılır ve  $d_p$  ile gösterilir. Birleşme düzlemine dik olarak ölçülen ve kaynağın çekirdeğinin en yüksek kalınlığı ise çekirdek kalınlığı olarak adlandırılır. Elektrot kuvveti kabartıda bulunan ısı üretimi temas direnci yoluyla iletilir. Kaynak yapılacak kabartının yapısı, malzeme cinsi, malzeme kalınlığı, elektrot kalınlığı elektrot kuvvetini etkiler.

Kaynak akımı, kaynaklı bağlantının oluşumunda en önemli parametredir. Isı üretimi, kaynak akımının karesiyle orantılı olarak artar. Akım şiddeti olarak elektrik akımının efektif de-



Şekil 14. Projeksiyon Kaynağının Sac Metal ve Somun Uygulaması ve Direnç Gösterimi [22-23]

$R_1$  ve  $R_2$  Elektrot Dirençleri  
 $R_3$  ve  $R_4$  Elektrot-Çelik Sac Temas Direnci  
 $R_5$  ve  $R_6$  Çelik Sac Malzeme Direnci

ğeri geçerlidir. Kaynak akımının belirlenmesinde, kabartının şekli, parça kalınlığı, yüzey durumu ve aynı anda kaynak yapılacak kabartı sayısı göz önüne alınır. Gerekli dayanım değerine ulaşabilmek için, kaynak akımı, elektrot kuvvetine ve kaynak süresine bağlı olarak optimize edilir [23].

Yapılan testlerden biri ise somun genişletme testidir. Bu teste ait izlenecek adımlar şu şekildedir; Somun dişleri anma çapına kadar silinir. Mandrel, EN493 Standardı'na göre üretilir, sertliği 45 HRC'den düşük olmamalıdır. Mandrel'in silindirik kısmı somun deliğini geçene kadar eksenel yük uygulanır. Genişleme delik çapının yüzdesi olarak ölçülür. Dayanım sınıfı 4-12 arası somunlarda %6'dır. Dayanım sınıfı 4 ve 5 olan somunlarda %4 genişleme olmalıdır. Somun %4 veya %6 değerine ulaşmadan kırılırsa deneyi geçememiş olur [1].

Akım süresi periyot cinsinden ölçülen bir süredir ve kaynak akımının parçadan geçtiği süre olarak tanımlanmaktadır. Kaynak cıvata ve somunlarında uygulanan projeksiyon kaynağı işlemi standartlarca belirtilen akım ve basınç değerlerine göre gerçekleştirilir. Uygulanan akım ve basınç değeri kaynak cıvata veya somununa ait kaynak memesi hacmi ile doğru orantılıdır. Örnek olarak M12 kare kaynak somunun kaynak işlemi 20000 amper akım ve 5.5 bar basınç altında gerçekleştirilirken, M6 ölçüsündeki 3 adet nokta formunda kaynak memesine sahip somunda kaynak işlemi 13000 amper akım ve 3 bar basınçta gerçekleştirilmektedir.

### 4. KAYNAK CIVATA VE SOMUNLARININ KONTROLÜ

Üretilen Kaynak cıvatası ve somunlarının kontrol şartları standartlarda belirtilmektedir. Kısaca, ürünlerin kontrolünde izlenecek basamaklar aşağıdaki gibidir:

- Boyutsal ölçüler kontrol edilir (Çap, boy, kalınlık...).
- Diş kontrolleri masterlar yardımıyla yapılır.
- Sertlik değerleri ölçülür.
- Çekme deneyi yapılarak dayanım sınıfı kontrol edilir.
- Kaynak somun ve cıvatalarında kaynak test kontrolü yapılır.
- Yüzey kalite kontrolü yapılır (sertleştirme çatlakları vs.).
- Bağlantı elemanlarının nominal çapına, meme yüksekliklerine ve sac kalınlıklarına uygun kaynak zamanı, akım şiddeti ve basınç belirlenmelidir.
- Test numunesindeki kaynaklar ara verilmeden yapılmalıdır.
- Bağlantı elemanı saca düzgün kaynatılmalı, kaçık kaynatma olmamalıdır.
- Parça koparma testi yapılarak basma kuvveti istenilen değerlerle karşılaştırılmalıdır.

Kaynak somun ve cıvatalarında yapılan bu testler için başarı kriterleri şu şekilde açıklanmaktadır: Koparma testinde 4 kaynak memesi varsa, 4 memeden en az 3'ü; 3 kaynak memesi varsa, 3 memenin tamamı sac üzerinden parça koparmalıdır. Kopmaması durumunda, kaynak parametrelerinin tekrar ayarlanması gerekmektedir [1]. Somunda veya cıvata çatlak ve kaynak yanığı olmamalıdır. Sac ve cıvata metali birbirine bağlanmaya elverişli, kaynatılacak malzeme yüzeyleri temiz olmalıdır. Somun dişlerinde deformasyon ve çapak olmamalıdır. Kaynak yapıldıktan sonra masterla diş kontrolü yapılmalıdır.

### 5. SONUÇ

Yüksek lisans çalışmasının literatür tarama kısmındaki bilgiler doğrultusunda oluşturulan bu derleme makalede, kaynak cıvata ve somunların çeşitleri, üretim yöntemleri ve kullanım alanları açıklanmıştır. Kaynak cıvata ve somunları sağladıkları kolaylıklar sebebiyle otomotiv sektöründe yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Yapılan testler, bilgisayar destekli sayısal benzetim yöntemleri ve firmaların AR-GE çalışmaları sayesinde kaynak cıvata ve somunlarının üretimleri her geçen gün geliştirilmekte ve montajları hızlandırılmaktadır. Bu çalışmalar sayesinde, ilerleyen yıllarda kaynak cıvata ve somunlarının kullanım alanları genişleyerek bu parçalara duyulan ihtiyaç artacaktır.

### KAYNAKÇA

1. Norm Cıvata Firması. 2008. Bağlantı Elemanları Teknik Eğitim Kataloğu: Kaynak Somun ve Cıvataları (Bölüm 5), Norm Cıvata Sanayi ve Ticaret A.Ş., İzmir.
2. Nielsen, C. V., Zhang, W., Martins, P. A. F., Bay, N. 2004. "Numerical and Experimental Analysis of Resistance Projection Welding of Square Nuts to Sheets," 11th International Conference on Technology of Plasticity, 19-24 October 2014, Nagoya, Japonya, Procedia Engineering, vol. 81, p. 2141-2146.
3. Ringsberga, J. W., Orvegrenb, P. Henryssonb, H., Åkerströmc, G. 2008. "Sheet Metal Fatigue Near Nuts Welded to Thin Sheet Structures," International Journal of Fatigue, vol. 30 (5), p. 877-887.
4. Skov-Hansel, P., Bay, N., Gronbaek, J., Bronsted, P. 1999. Fatigue in Cold-Forging Dies: Tool Life Analysis," Journal of Materials Processing Technology, vol. 95, p. 40-48.
5. Ash, S. H., Kim, T. H., Kim, B. M., Choi, J. C. 1997. "A Study on the Prediction of Fatigue Life in Axisymmetric Extrusion Die," Journal of Materials Processing Technology, vol. 71, p. 343-349.
6. Fu, M. W., Yong, M. S., Muramatsu, T. 2008. "Die Fatigue Life Design and Assessment Via CAE Simulation," Int. J. Adv. Manuf. Technology, vol. 35, p. 843-851.

7. **Erbil, E., İnce, U.** 2010. "Sayısal Benzetim Yöntemiyle Soğuk Dövme Uygulamaları," Mühendis ve Makina, cilt 51 (611), s. 9-22.
8. **Ay, İ., Sakin, R.** 1995. "Cıvatalı Bağlantılarda Gözlenen Hatalar," Mühendis ve Makina, cilt 36 (431), s. 17-20.
9. [www.moke.com.au/in-the-garage/workshop-tools/81-make-a-flywheel-puller](http://www.moke.com.au/in-the-garage/workshop-tools/81-make-a-flywheel-puller), son erişim tarihi: 01.11.2015.
10. [www.thesamba.com/vw/forum/viewtopic.php=505353](http://www.thesamba.com/vw/forum/viewtopic.php=505353), son erişim tarihi: 01.11.2015.
11. [www.artsautomotive.com/publications/8-automotive/84-welding-subframe](http://www.artsautomotive.com/publications/8-automotive/84-welding-subframe), son erişim tarihi: 01.11.2015.
12. Norm Cıvata San. ve Tic. A.Ş. Eğitim Notları. 2015. [www.normcivata.com.tr](http://www.normcivata.com.tr), son erişim tarihi: 01.11.2015.
13. **Ay, İ., Demircioğlu, T. K.** 2005. "Kesme ve Ovalama Yolu ile Cıvata-Vida Dişi İmalat Yöntemlerinin Kıyaslanması," Makina Magazin, sayı 111, s. 64-67.
14. **Lalik, S., Yasar, M., Atav, F.** 1959. Tesviyecilik Meslek Teknolojisi (I), Maarif Vekaleti, İstanbul.
15. **Kumru, N., Demircioğlu, T. K., Ay, İ.** 2006. "Ovalama Yöntemi ile Cıvata ve Vida Dişi İmalatı Yapılan Malzemelerde Aranan Özellikler," Metal Dünyası, sayı 158, s. 110-112.
16. ISO 34814 Standardı. 2015.
17. DIN 928 Standardı. 2015.
18. 1981. Metallerin Korozyondan Korunması, Borusan Yayınları, İstanbul, s. 12-25.
19. **Hasçalık, A., Özek, C.** 2002. "Elektroliz Yöntemiyle Çinko Kaplama Parametrelerinin İncelenmesi," JESTECH (Engineering Science and Technology), vol. 1-2, p. 1-7.
20. **Geduld, H. H.** 1990. Surface Cleaning, Finishing and Coating, Metals Handbook, vol. 9 (5), Ohio.
21. Milli Eğitim Bakanlığı. 2006. Motorlu Araçlar Teknolojisi: Direnç Kaynağı ve Lehim, Milli Eğitim Bakanlığı Yayınları, Ankara.
22. <http://www.ansatt.hig.no/henningj/materialteknologi/Lettvektdesign/joining%20methods/joining-welding-resistance%20projection%20welding.htm>, son erişim tarihi: 01.11.2015.
23. **Anık, S., Vural, M.** 2007. "Alaşımsız Çeliklerin Kabartı (Projeksiyon) Kaynağı," Mühendis ve Makina, cilt 48 (573), s. 46- 51.
24. **Lindén, M. J.** 2010. "Optimization of Weld Nut Geometry by Simulation," Doctoral Dissertation, KTH (Kungliga Tekniska Högskolan), Stockholm.
25. [www.promsis.com](http://www.promsis.com), son erişim tarihi: 01.11.2015.
26. [www.forums.nasioc.com](http://www.forums.nasioc.com), son erişim tarihi: 01.11.2015.
27. [www.gasgoo.com](http://www.gasgoo.com), son erişim tarihi: 01.11.2015.
28. [www.gigafasteners.tw](http://www.gigafasteners.tw), son erişim tarihi: 01.11.2015.

<http://omys.mmo.org.tr/muhendismakina/>

TMMOB MAKİNA MÜHENDİSLERİ ODASI

**Mühendis ve Makina Dergisi**

Online Makale Yönetimi

[ANA SAYFA \(GİRİŞ SAYFASI\)](#) | [YAZAR](#) | [HAKEM](#) | [EDİTÖR](#)

» HOŞGELDİNİZ

**YAZAR GİRİŞİ**

e-Posta :

Şifre :

[Yeni Kullanıcı](#) | [Şifremi Unuttum](#)

MÜHENDİS VE MAKİNA DERGİSİ'ne makale gönderebilmek için sisteme kayıt olmanız gerekmektedir. Kayıt olabilmek için sol kısımda yer alan [\[Yeni Kullanıcı\]](#) bağlantısına tıklayınız.

Daha önce kayıt olduysanız, e-posta adresiniz ve şifrenizi girmeniz yeterlidir.

Şifrenizi hatırlamıyorsanız, şifrenizin e-posta adresinize gönderilebilmesi için [\[Şifremi Unuttum\]](#) bağlantısına tıklayınız.

Sistemle ilgili sorularınızı [yayin@mmo.org.tr](mailto:yayin@mmo.org.tr) e-posta adresine gönderebilirsiniz.

**makalelerinizi online sistem üzerinden ulaştırabilirsiniz**

# TERMOPLASTİK PARÇA ÜRETİMİNDE MİKROHÜCRESEL KÖPÜK TEKNOLOJİSİNİN KULLANIMI

**Sami Sayer**

*Doç. Dr.,*

*Ege Üniversitesi,*

*Ege Meslek Yüksekokulu,*

*Polimer Teknolojisi Bölümü, Bornova, İzmir*

*sami.sayer@ege.edu.tr*

**Arzu Yalçın Melikoğlu\***

*Ege Üniversitesi,*

*Fen Bilimleri Enstitüsü, Bornova, İzmir*

*arzuyalcin@gmail.com*

## ÖZ

Son yıllarda enjeksiyon kalıplama teknolojisindeki gelişmelerin, termoplastik parça üretiminde kapasite artışını hızlandırdığı ve yenilikçi ürün tasarımına katkı sağladığı görülmektedir. Özellikle enjeksiyon kalıplama teknolojileri arasında mikrohücresele köpük teknolojisi (MuCell), plastik parça kalitesinde iyileşme ve üretim maliyetlerinde sağlamış olduğu avantajların yanı sıra, tasarımda sağlamış olduğu serbestlik sayesinde otomotivden gıdaya, medikalden beyaz eşya sektörlerine kadar farklı alanlarda giderek yaygınlaşan yenilikçi bir üretim teknolojisidir. MuCell enjeksiyon yönteminde, süper kritik fazdaki gazların plastikleşme ünitesindeki eriyik haldeki termoplastik malzeme içine enjekte edilmesi ile gözenek oluşumu başlatılır. Mikrohücresele (1-100µm) boyutlarda oluşan gözeneklerin plastik parça içindeki dağılımı oldukça homojendir. MuCell enjeksiyon prosesi konvensiyonel enjeksiyon prosesi ile karşılaştırıldığında; MuCell teknolojisi ile üretilen plastik parçalarda, çarpılma ve çökme izlerinin tamamen ortadan kalktığı, düşük polimer viskozitesi sayesinde ince duvar kalınlığına sahip plastik parça üretimlerinin sorunsuz bir şekilde gerçekleştiği ve bunun sonucu olarak da parça ağırlığının azaldığı ve çevirim süresinin kısaldığı görülmektedir. Bu çalışmada, MuCell teknolojisinin tanıtımı ve endüstriyel alanda yapılan uygulama ve araştırma örneklerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Mikrohücresele köpük teknolojisi, MuCell, termoplastik parça üretimi

# THE USE OF MICROCELLULAR FOAMING TECHNOLOGY IN THE PRODUCTION OF THERMOPLASTIC PARTS

## ABSTRACT

In recent years it has been seen that developments in injection molding technology has increased in terms of capacity in the production of thermoplastic parts and has contributed to innovative product design. Microcellular foaming technology (MuCell), particularly with regard to injection molding, offers advantages in the quality improvement and production costs of plastic parts. It also offers freedom of design and therefore is an innovative production technology that is starting to be more widely used in various fields including the automotive, food, medical, and white goods sectors. In the MuCell injection method, pore formation is initiated by injecting the gases in the supercritical phase to the molten thermoplastic material in the plasticisation unit. The dispersion of microcellular (1-100 µm) pores in the plastic part is fairly homogenous. When the MuCell injection process is compared with the conventional injection process, it can be seen that, in the plastic parts produced with MuCell technology, there are no distortion and sink marks and due to low polymer viscosity, the production of plastic parts with thin walls can be carried out smoothly and, as a result, the weight of the parts is reduced and the cycle time is shortened. The objective of this study is to present MuCell technology, examine its application in the industrial field, and examine sample researches.

**Keywords:** Microcellular foaming technology, MuCell, production of thermoplastics part

\* İletişim Yazarı

Geliş tarihi : 03.06.2016

Kabul tarihi : 11.07.2016

Sayer, S., Yalçın Melikoğlu, A. 2016. "Termoplastik Parça Üretiminde Mikrohücresele Köpük Teknolojisinin Kullanımı," Mühendis ve Makina, cilt 57, sayı 678, s. 53-59.

## 1. GİRİŞ

Fiziksel köpük teknolojisi olan MuCell; Süper Kritik Akışkan (SCF) fazındaki CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> vb. gazların köpürtücü ajan olarak eriyik haldeki polimer içerisine enjekte edilmesi sonucu, plastik parça içerisinde mikrohüresel yapıda gözenek oluşumunun sağlanarak parçanın hafifletilmesi prensibine dayanır. MuCell teknolojisi ile fiziksel köpük oluşumu, Massachusetts Institute of Technology (MIT), Boston ABD’de 1980’li yıllarda yapılan araştırma geliştirme çalışmalarına dayanmaktadır [1, 2]. MuCell teknolojisinin endüstriyel uygulamaları ise ilk olarak Trexel firması tarafından hayata geçirilmiştir. MuCell uygulamaları; 90’lı yılların başında, otomobillerin ön far gövdesi ve hava yastığı kapakları gibi üst segment ürünlerdeki görsel parçaların tasarımında kullanılırken, zaman içinde proses ve ürün maliyetinde sağladığı avantaj nedeniyle kapı kilitleri, klima gövdesi gibi görsel olmayan mekanik parçalarda da kullanım alanı bulmuştur. MuCell uygulamalarına ait standartların geliştirilmesi ve endüstriyel entegrasyon çalışmalarının, hali hazırda IKV Uygulama ve Araştırma Merkezi (Aachen-Almanya) tarafından, sektör temsilcileriyle birlikte yürütüldüğü de bilinmektedir [3-6].

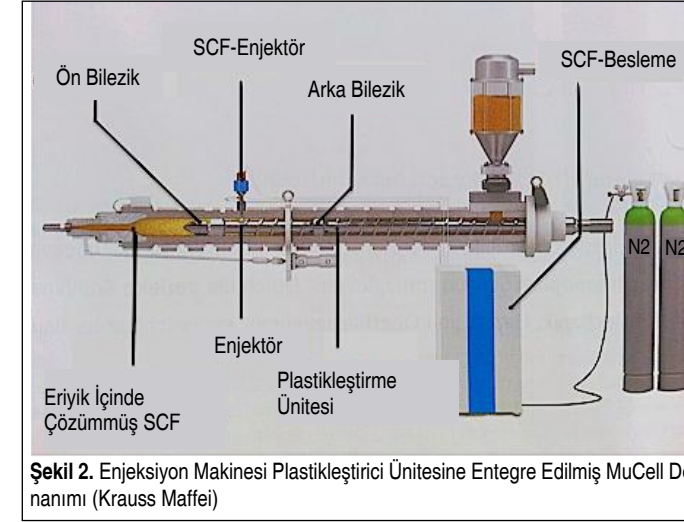
PP, PE, PS, PA vb. termoplastik esaslı malzemelerde gözenek oluşumu, kimyasal reaksiyon veya fiziksel tepkime sonucu gerçekleşmektedir. MuCell’i geleneksel köpük ile hafifletme yöntemlerinden ayıran en önemli özellik, oluşan gözenek yapısının mikro düzeyde, homojen ve kontrol edilebilir olmasıdır. Mikro düzeydeki bu hüresel gözeneklerin plastik parça içerisindeki çapları 1-100 µm olup, 1cm<sup>3</sup>deki hücre yoğunluğu ise 10<sup>9</sup>-10<sup>15</sup> cm<sup>3</sup> arasındadır [2]. MuCell’de parça kesitinde oluşan gözeneklerin çapları küçük ve homojen olmasına rağmen, kimyasal yöntemde oluşan köpüklenmede ise gözenek çaplarının büyük ve gözeneklerin homojen olarak dağılmadığı bildirilmiştir (Şekil 1) [5].

Ayrıca konvansiyonel enjeksiyon prosesinde, termoplastik parçada oluşabilecek çöktüğü gidermek amacıyla tutma ve ütleme basıncı uygulanırken, MuCell’de köpüklenme kalıp içi basıncın oluşumuna neden olduğundan, tutma ve ütleme basıncına olan gereksinim ortadan kalkmaktadır. Bunun sonucu olarak MuCell, konvansiyonel enjeksiyon yöntemine göre daha küçük kapama kuvvetine sahip enjeksiyon makinalarında üretim imkanı sağlar [5-9].

Termoplastik parça üreticilerinin MuCell teknolojisini mevcut üretim teknolojilerine entegre etmelerinin, maliyet avantajı, hammadde tasarrufu ve seri üretimde hızlı, kaliteli ürün gerçekleştirmeye olanak sağlayacağı, üreticilerin global pazarda rekabet şansını arttıracacağı düşünülmektedir. Bu çalışmada, MuCell teknolojisinin tanıtımı ve endüstrinin farklı alanlarında gerçekleştirilen MuCell teknolojisi ile üretilen termoplastik esaslı ürünlere ait uygulamaların sağlamış olduğu avantajlar tartışılarak, bu konuda ülkemizde de kullanım alanlarının yaratılmasına öncülük etmek amaçlanmıştır.

## 2. MUCELL PROSESİ

MuCell donanımı, konvansiyonel enjeksiyon makinalarına entegre edilebilmektedir; ancak polimer-gaz karışımının homojen bir şekilde sağlanabilmesi için mevcut enjeksiyon makinalarında karıştırma bölgesinin olması gerekmektedir. Ayrıca otomobil gösterge paneli gibi termoplastik esaslı büyük parçaların üretiminde akümülatöre ihtiyaç vardır. Çünkü akümülatör, parça hacmi yüksek olduğundan enjeksiyonun hızlı bir şekilde gerçekleştirilmesini, gözeneklerin homojen oluşmasını ve dağılmasını sağlar. MuCell teknolojisinde gerek düşük plastikleştirme kapasitesine, gerekse düşük enjeksiyon basıncına sahip küçük enjeksiyon kalıplama makineleri kullanılmaktadır [3, 11]. Şekil 2’de, enjeksiyon makina üreticilerinden Krauss Maffei tarafından geliştirilmiş olan MuCell donanımı yer almaktadır [11].



### 2.1 Kullanılan Gazlar

MuCell prosesinde, köpürtücü ajan olarak, genel olarak SCF fazında CO<sub>2</sub> ve N<sub>2</sub> gazları kullanılmaktadır. Sıvı ve gaz arasındaki fiziksel durum olarak tanımlanan SCF’de, gazın eriyik içindeki yayılımı (difüzyon) artarken, eriyik haldeki polimerde oluşan köpüklenme sayesinde viskozite azalmaktadır. Köpüklenme polimer eriyiğinin akışını hızlandırarak kalıp içerisinde almış olduğu yolun artmasını sağlar, çevrim süresini kısaltır ve plastik parça ağırlığını azaltır. CO<sub>2</sub> genel olarak eriyik içerisinde N<sub>2</sub>’ye nazaran daha yüksek çözünürlüğe sahiptir. Bu nedenle MuCell prosesinde, polimer eriyiğine N<sub>2</sub>’den daha yüksek oranda CO<sub>2</sub> ilave edilmektedir. Tablo 1’de, farklı erime akış hızına sahip polimerlerde CO<sub>2</sub> ve N<sub>2</sub> gazlarının çözünürlükleri yer almaktadır [2].

CO<sub>2</sub> ve N<sub>2</sub>’nin eriyik içerisindeki difüzyon katsayıları birbirine yakın olmasına rağmen (Tablo 2) CO<sub>2</sub> aynı konsantrasyonda N<sub>2</sub>’ye nazaran daha büyük gözenek çapı oluşumunu sağlar. Ancak N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>’ye göre daha fazla itici güç oluşturarak difüzyonu hızlandırır. Bu nedenle, eriyik içerisine bu gazlar birlikte beslenerek çekirdeklenme sağlanabildiği gibi, N<sub>2</sub> köpürtücü ajan olarak tek başına da kullanılabilir [2].

### 2.2 MuCell Proses Aşamaları

MuCell prosesi, Şekil 3’te görüldüğü gibi, gaz enjeksiyonu,

Tablo 1. Polimer İçerisinde CO<sub>2</sub> ve N<sub>2</sub> Gazlarına ait Tahmini Maksimum Çözünürlük (200 °C ve 276 bar)

Polimer	CO <sub>2</sub> (%)	N <sub>2</sub> (%)
PE	14	3
PP	11	4
PS	11	2
PMMA	13	1

Tablo 2. CO<sub>2</sub> ve N<sub>2</sub> için Tahmini Difüzyon Katsayısı (200 °C)

Polimer	CO <sub>2</sub> (cm <sup>2</sup> /s)	N <sub>2</sub> (cm <sup>2</sup> /s)
PS	1,3X10 <sup>-5</sup>	1,5X10 <sup>-5</sup>
PE	2,6X10 <sup>-6</sup>	8,8X10 <sup>-7</sup>
HDPE	2,4X10 <sup>-5</sup>	2,5X10 <sup>-5</sup>
LDPE	1,1X10 <sup>-4</sup>	1,5X10 <sup>-4</sup>
PTFE	7,0X10 <sup>-6</sup>	8,3X10 <sup>-6</sup>
PVC	3,8X10 <sup>-5</sup>	4,3X10 <sup>-5</sup>

çekirdeklenme, hücre büyümesi ve biçimlendirme olmak üzere dört temel aşamadan oluşur [2].

### Gaz Enjeksiyonu

SCF gazlar, tek fazlı bir çözelti meydana getirmek üzere enjektörler yardımıyla, belirli bir sıcaklıkta ve basınç altında enjeksiyon makinasının plastikleştirme ünitesine gönderilir.

### Çekirdeklenme

Enjeksiyon prosesi sırasında her bir gözeneği oluşturacak olan çekirdeklenme, plastikleştirme ünitesinde gerçekleşir. Plastik parça kesitinde oluşan homojen yapıdaki çok sayıda gözenek, kalıp içindeki basınç düşüşünü ve basıncın kalıp boşluğunda dengeli bir şekilde yayılmasını sağlar.

### Hücre Büyümesi

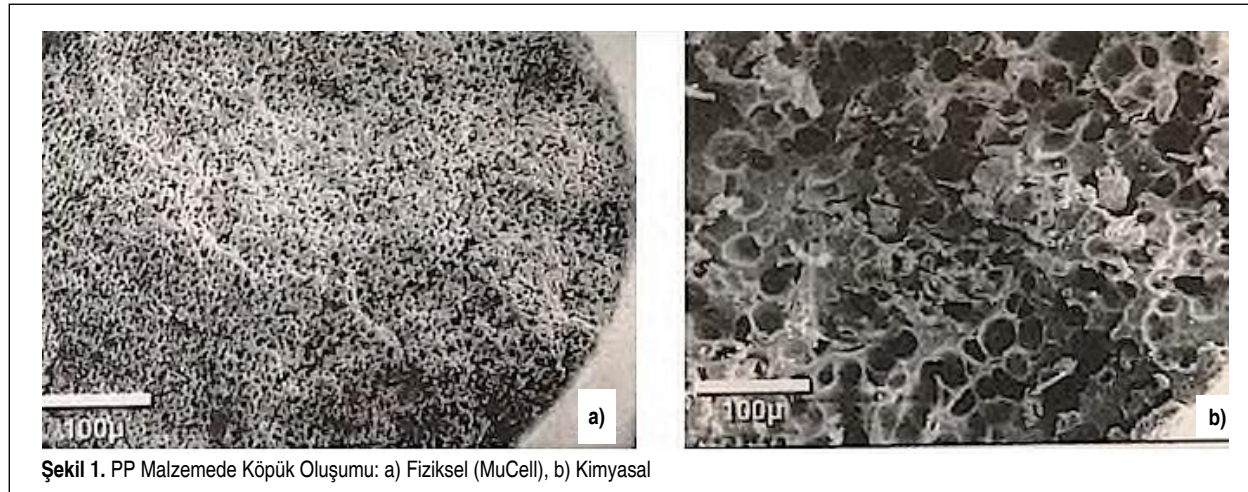
Hücre büyümesi proses sırasında kontrol edilir. MuCell donanımında; basınç, sıcaklık ve zaman parametreleri sensörler vasıtasıyla kontrol edilerek, eriyik içerisine gönderilecek olan gazın zamanlaması ve proses koşullarının belirlenmesine olanak sağlamaktadır. Isının ve basıncın kontrolünün sağlanmasında MuCell prosesi için özel olarak tasarlanmış, yazılımlarla desteklenmiş PLC kontrollü donanımlar kullanılmaktadır.

### Biçimlendirme

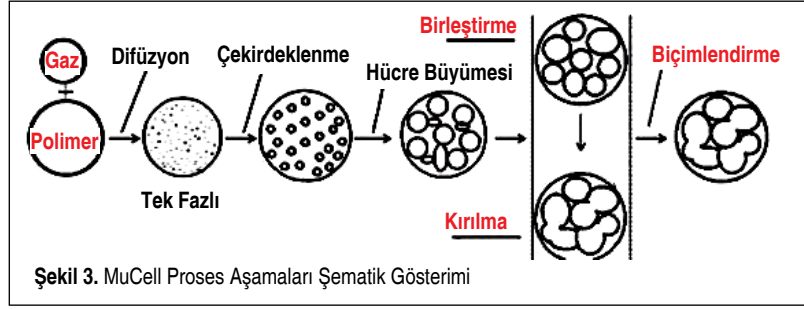
Kalıp boşluğunda gazla zenginleştirilmiş eriyik polimer katılır ve kalıbın şeklini alır. MuCell uygulamalarında, konvansiyonel enjeksiyon sistemi için tasarlanmış kalıplar, herhangi bir modifikasyona gerek duyulmadan kullanılabilir [2,10-15].

### 2.3 Gaz Enjeksiyonu

N<sub>2</sub> veya CO<sub>2</sub> gazları kritik fazda eriyik içerisine ilave edilerek belirli bir basınç ve sıcaklık değerindeki gaz plastikleştirme ünitesine beslenir. SCF oluşumunda basınç ve sıcaklık değerleri CO<sub>2</sub> için 71 bar ve 31°C üzerinde iken, N<sub>2</sub> gazında ise 34 bar ve sıcaklık değeri ise -147 °C’nin üzerindedir [3].







### 2.3.1 Tek-Fazlı Gaz/Polimer Çözeltisinin Üretilmesi

MuCell sürecinin gerçekleştirilebilmesi için plastikleştirme ünitesinde vida boy/çap (L/D) oranının 24-25 aralığında olması tavsiye edilmektedir. Tipik bir MuCell donanımı şu öğelerden oluşur:

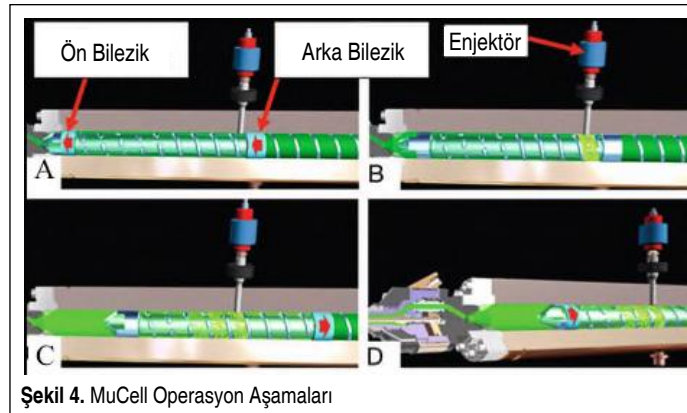
- Plastikleştirme bölgesi (besleme, sıkıştırma, dozajlama)
- Arka bilezik (Gazın yüklü eriyiğin plastikleştirme bölgesine geçmesini ve orada köpüklenmesini engeler.)
- Karıştırma bölgesi (SCF'nın homojenleştirilmesi için kullanılır.)
- Ön bilezik (Eriyik haldeki plastiğin vidaya geri girişini engeller.) (Şekil 4) [3].

Vida kovan arasına enjekte edilen köpürtücü ajan ( $CO_2$  veya  $N_2$ ), vida üzerindeki karıştırıcılar sayesinde gazın eriyik içinde çözünmesini ve difüzyonunu hızlandırır. Böylece, vidanın uç kısmına doğru gazın eriyik içindeki çözünürlüğü tamamlanmış olur. Vidanın dozajlama ünitesinde basınç yüksek olduğundan gözenek büyümesi engellenir.

Şekil 4'te verilen MuCell prosesine ait operasyon adımları aşağıda açıklanmaktadır.

**A-** Enjeksiyon sonrasında vida ön pozisyonda bulunmaktadır. Bu aşamada ön ve arka bilezikler kapalı konumda olup, dozajlama işlemi başlar. Vida içerisinde bulunan bileziklerin açılması ile polimerin vida içerisinde öne doğru akışı sağlanır.

**B-** Plastikleştirme bölgesinde basınç, enjektör basıncına ulaş-



Şekil 4. MuCell Operasyon Aşamaları

tığında, enjektör memesi açılarak eriyik haldeki polimer içerisine gaz enjekte edilir. Bu işlem eriyik basıncının proses basıncına ulaşmasına kadar devam eder.

**C-** Bir enjeksiyon basıncı için gerekli olan dozajlama miktarına (eriyik polimer-gazlar) ulaşıldığında, karıştırma bölgesi ve dozajlama bölgesi arasında basınç farkı oluşur. Bunun sonucu olarak arka bilezik, tersine oluşacak akışı engelleyecek şekilde ters yönde hareket ederek kapanır.

**D-** Enjeksiyon süresinin başlaması ile birlikte vida aksenal olarak ileri doğru hareket eder ve vidanın önündeki enjeksiyon basıncı doğrultusunda ön bilezik kapanarak, gaz ile zenginleştirilmiş eriyik kalıp boşluğuna enjekte edilir [3].

## 3. MUCELL TEKNOLOJİSİNİN AVANTAJI

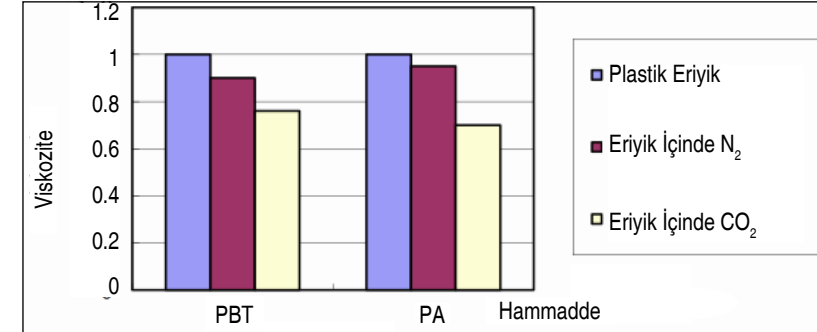
Konvensiyonel enjeksiyon yöntemine göre MuCell teknolojisinin termoplastik parça üretiminde sağladığı avantajlar dört ana başlıkta toplanmıştır:

- 1- Küçük enjeksiyon makine kullanımı ile yatırım ve enerji tüketiminde avantaj
- 2- Çevrim süresi kısa ve ürün kalitesi yüksek
- 3- Parça ağırlığında azalma ve hammadde tasarrufu
- 4- Plastik parça kesitinde dengeli basınç dağılımı ve minimum iç gerilim [1, 2, 9].

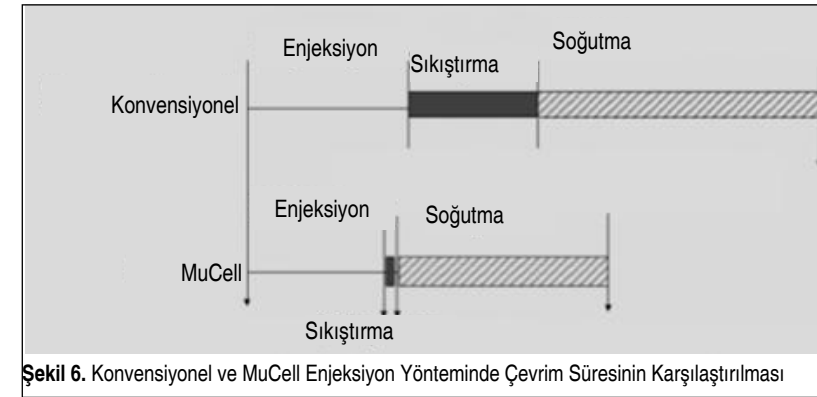
MuCell, geleneksel enjeksiyon makinasına göre termoplastik parça üretiminde çevrim süresini %20-50 oranında azaltır. Çevrim süresinin azalmasına etki eden temel nedenler sırasıyla şunlardır: 1) Gözenek içerisindeki gaz, enjeksiyon prosesinde artı bir basınç oluşturduğundan, konvensiyonel enjeksiyon yöntemindeki tutma ve ütüleme basıncının yerini alır. 2) Endotermik reaksiyon sonucu milyonlarca gözenek oluşur. Bu gözenekler büyüyerek soğutma süresini dolayısıyla çevrim süresini kısaltır. 3) Parça içinde oluşan gözenekler sayesinde parçanın ağırlığı azalır. 4) SCF fazındaki gazlar eriyik viskozitesini düşürerek kalıp boşluğunun daha hızlı ve daha kolay dolmasını sağlar. Bunların sonucu olarak MuCell yöntemi ile çevrim süresi kısalmaktadır [2].

Çevrim süresinin düşürülmesi işletmelere enerji verimliliği, maliyet avantajı ve üretim kapasitesinde artış sağlamaktadır. Ayrıca Şekil 6'da görüldüğü gibi, MuCell yönteminde sıkıştırmanın çevrim süresi içerisindeki payı konvensiyonel enjeksiyon yöntemine göre oldukça kısadır ve enjeksiyon yöntemine nazaran daha az hammadde kullanıldığı için soğutma süresi de kısalmaktadır [2].

MuCell teknolojisinde süperkritik akışkan, eriyik hammad-



Şekil 5. SCF'deki Gazların Eriyik Viskozitesi Üzerindeki Etkisi

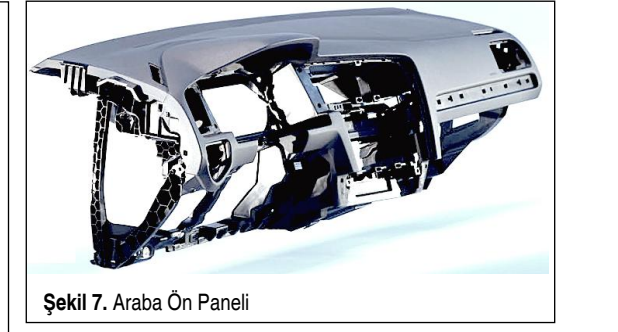


Şekil 6. Konvensiyonel ve MuCell Enjeksiyon Yönteminde Çevrim Süresinin Karşılaştırılması

denin viskozitesini düşürerek kalıbın daha düşük basınç altında doldurulmasını sağlar. Böylelikle, plastik enjeksiyon parametreleri çok fazla değiştirilmeden kalıplar hazırlanarak ince et kalınlığına sahip plastik parçaların üretimine olanak sağlanır [1, 2, 16-19].

## 4-TERMOPLASTİK PARÇA ÜRETİMİNDE MUCELL UYGULAMALARI

MuCell teknolojisinin plastik parça üretiminde sağladığı avantajlar bu teknolojinin farklı sektörlerde kullanımını giderek yaygınlaştırmaktadır. Şekil 7'de, cam elyaf takviyeli PP (Fibremod GE277A1, Borealis) malzemeden üretilen VW Golf 7 tipi aracın ön paneli MuCell teknolojisi kullanılarak üretilmiştir. Bu parçanın üretiminde Engel firmasının MuCell teknolojisinden faydalanılmıştır. Uygulama sonucu; parçada



Şekil 7. Araba Ön Paneli

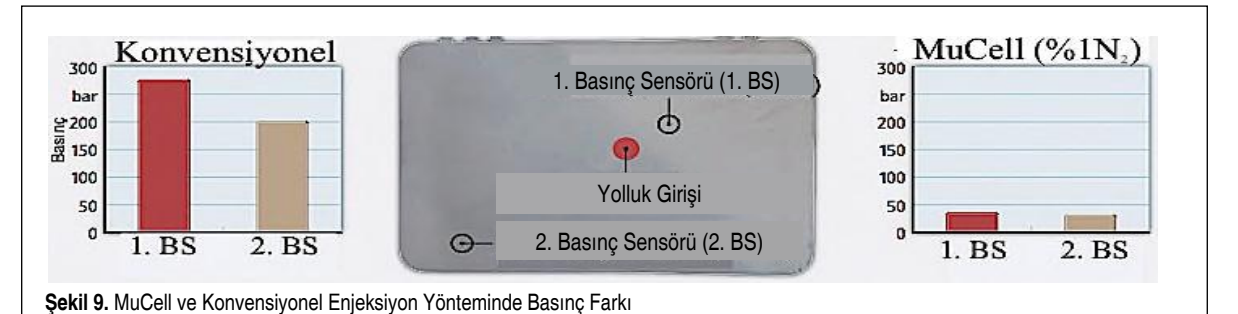


Şekil 8. Orta Konsol

sağlanan hafiflik, çevrim süresinde kısımla, tasarımda esneklik ve ürün kalitesinde sağlanan avantajın dışında, parçanın yapısındaki gözeneklerin motor bölgesinden gelen sesin soğutulmasına da ayrıca katkı sağladığı bildirilmektedir [3].

Mercedes-Benz, C-Klass otomobillerde kullanılan orta konsolu oluşturan görsel ve görsel olmayan parçalar Grammer AG, Amberg firması tarafından MuCell teknolojisi ile geliştirilmiştir (Şekil 8). Konsol grubunu oluşturan parçaların üretiminde PP-T20, PC+ABS, PA6-GF30 vb. farklı termoplastik hammaddeler kullanılmıştır. Bu parçalarda MuCell uygulaması sonucu malzeme ağırlığının azalmasıyla ciddi maliyet avantajı sağlandığı bildirilmiştir [20].

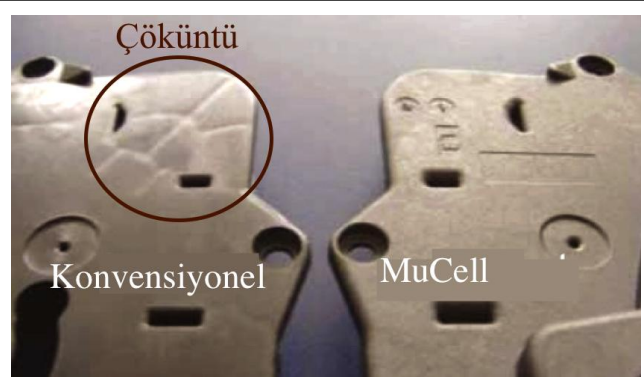
Konvensiyonel enjeksiyon yönteminde parça içerisinde oluşan basınç farkı iç gerilime ve böylelikle çarpımlara neden olarak dizüstü bilgisayar kapağı, televizyon çerçevesi vb.



Şekil 9. MuCell ve Konvensiyonel Enjeksiyon Yönteminde Basınç Farkı



Şekil 10. Çamaşır Makinası Ön Paneli



Şekil 11. Kapı Kilidi Gövdesi



Şekil 12. PA 66 Malzemeden Üretilen Kablo Bağı ve SEM Görüntüsü

düz parçaların üretimini zorlaştırmaktadır. Plastik parçalarda yolluk girişine yakın bölge ve yolluk girişine en uzak nokta parçanın iki zayıf noktasını oluşturmaktadır. Yolluk girişine

yakın olan yerde en son katılma işlemi gerçekleştiğinden, iç gerilim fazla olduğu, yolluk girişinden uzak nokta ise en son dolduğu için “weldingline” olarak tanımlanan birleşim çizgisi hatası oluşmaktadır. Bu hatayı proses sırasında ortadan kaldırmak için enjeksiyon basınçlarının yükseltilmesi gerekmektedir. Bu durumda, yolluk girişine yakın ve yolluk girişine uzak noktalarındaki enjeksiyon basınçlarında büyük farklılıklar oluşur. Şekil 9’da, PP hammaddeden konvensiyonel ve MuCell teknolojisi ile üretilen dizüstü bilgisayar kapaklarının yolluk girişine yakın ve uzak noktalarındaki kaviteasyon basıncı (BS) karşılaştırılmıştır. Konvensiyonel kalıplamada 270 bar mertebesinde olan kalıp içi basınç değerlerinin, MuCell uygulamasında 40 bar seviyesine kadar düştüğü Şekil 9’da görülmektedir [3].

Şekil 10’da, Miele firmasının çamaşır makinası ön panelinin üretiminde MuCell uygulamasına ait bir örnek yer almaktadır. Miele firması daha önce konvensiyonel olarak ürettiği parçayı MuCell teknolojisini kullanarak üretmeye başladıktan sonra, parçada %35’e varan hammadde tasarrufu sağladığını belirtmiştir. Ayrıca bu parçada MuCell’in sağladığı esnek tasarım sayesinde ince et kalınlığında parça üretimi gerçekleştirilmiştir [11].

MuCell teknolojisi termoplastik esaslı, görsel olmayan mekanik parçalarının üretiminde de kullanılmaktadır. Örneğin Şekil 11’de yer alan otomotiv sektöründe kullanılan plastik kapı kilidi gövdesinin üretiminde, konvensiyonel enjeksiyon prosesinde 650 bar olan kalıp içi basınç değerlerinin, MuCell prosesinde 120 bar seviyesine düştüğü bildirilmiştir. Ayrıca bu parçada MuCell prosesine geçişle; kapama kuvvetinde %50’ye varan düşüş, çevrim süresinde %25 azalma ve malzeme kullanımında %10 tasarruf sağlandığı belirtilmektedir [13].

MuCell teknolojisinin, 1,4 mm kalınlığında ve 250 mm uzunluğunda PA-66’den üretilen ince et kalınlığına sahip elektrik kablo bağlarında da kullanıldığı bilinmektedir. Şekil 12’de yer alan bu endüstriyel uygulamada; konvensiyonel enjeksiyon uygulamasına göre parça ağırlığında %10 malzeme tasarrufu, enjeksiyon basıncında ve kapama kuvvetlerinde ise %30’a varan iyileşme gerçekleşmiştir. MuCell sürecine ait SEM görüntüsü incelendiğinde, gözenek dağılımının homojen gözenek boyutunun ise birbirine yakın olduğu görülmektedir (Şekil 12) [5].

## 5. SONUÇ

MuCell teknolojisinin termoplastik parça üretiminde, tasarımda esneklik, hammadde kullanımında tasarruf, prosesinde verimlilik ve maliyet avantajı nedeniyle gelişmiş ülkelerde son 20 yılda endüstrinin farklı alanlarında uygulama alanı bulunduğu görülmektedir. Ülkemizde, havacılık sanayinden otomotive, ambalaj sanayinden beyaz eşya sektörüne kadar

geniş bir yelpazede kullanım alanı bulunan termoplastik esaslı malzemelerin üretiminde MuCell teknolojisinin kullanımının yaygınlaşmasının, işletmelerin global pazarda rekabet şansını arttıracakı düşünülmektedir. Bu nedenle, üniversite-sanayi işbirliği sağlanarak bilgi paylaşımının gerçekleşmesi, ülkemizde MuCell teknolojisinin tanıtımı, uzman personelin yetiştirilmesi ve endüstriyel uygulamaların yaygınlaşması açısından önemli olacaktır.

## KAYNAKÇA

1. Hyde, L. J., Kishbaugh, L. A. 2003. “The Mucell Injection Molding Process: A Strategic Cost Savings Technology for Electronic Connectors,” International Institute of Connector and Interconnection Technology, Inc. (IICIT), Annual Symposium, 18-19 September 2003, Orlando, USA.
2. Guanghong, Hu., Yue, W. 2012. “Microcellular Foam Injection Molding Process,” <http://www.intechopen.com/books/some-critical-issues-for-injection-molding>, son erişim tarihi: 24.05.2016.
3. Endlweber, R., Markut, R., Giessauf, J., Steinbichler, G. 2013. “Das MuCell-Schaumspritzgießen,” *Kunststoffe*, vol. 11, p. 36-40.
4. Suh, N. P. 2003. “Impact of Microcellular Plastics on Industrial Practice and Academic Research,” *Macromol Symposia*, 20 October 2003, Boston, USA.
5. Johannaber, F., Michaeli, W. 2002. *Handbuch Spritzgießen*, Carl Hanser Verlag, München, Wien.
6. Cha, S. V., Yoon, J. D. 2005. “The Relationship of Mold Temperatures and Swirl Marks on the Surface of Microcellular Plastics,” *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, vol. 44, p. 795-803.
7. Wentao, Z., Jian, Y., Jiasong, H. 2009. “Research Progresses in Preparation of Microcellular Polymers by Supercritical Fluid Technique,” *Chinese Polymer Bulletin*, no. 3, p. 1- 10.
8. Kisbaugh, L., Kolshorn, U. 2009. “Implementation of the MuCell Process in Commercial Applications,” [http://www.trexel.com/injection-molding-solutions/pdfs/RAPRA\\_May\\_2009\\_Advanced\\_Microcellular\\_Applications.pdf](http://www.trexel.com/injection-molding-solutions/pdfs/RAPRA_May_2009_Advanced_Microcellular_Applications.pdf), son erişim tarihi: 24.05.2016.
9. Çingir, A. O. 2015. “Baloncuk Kullanımı ile Daha İyi Plastik Enjeksiyon,” <http://www.makinatek.com.tr/arsiv/yazi/>
10. Sun, X., Kharbas, H., Peng, J., Turng, L. S. 2015. “A Novel Method of Producing Lightweight Microcellular Injection Molded Parts with Improved Ductility and Toughness,” *Polymer*, vol. 56, p. 102-110.
11. Bürkle, E., Wobbe, H. 2014. “Die Bessere Alternative zum Kompaktspritzgießen,” *Kunststoffe*, no. 2, p. 44-46.
12. Trexel. “MuCell Microcellular Injection Molding Processing Technology,” <http://www.cpm-toyo.com/Brochure/MuCell.pdf>, son erişim tarihi: 24.05.2016.
13. Pollman. 2014. “Physical Foaming of Thermoplastics at Pollmann International,” [http://www.pollmann.at/fileadmin/downloads/fertigung/en/Physikalisches\\_Schaumen\\_von\\_Thermoplasten\\_Pollmann\\_engl\\_2014.pdf](http://www.pollmann.at/fileadmin/downloads/fertigung/en/Physikalisches_Schaumen_von_Thermoplasten_Pollmann_engl_2014.pdf), son erişim tarihi: 24.05.2016.
14. Chien, R. D., Chen, H. L., Chen, S. C. 2008. “Using Thermally Insulated Polymer Film for Mold Temperature Control to Improve Surface Quality of Microcellular Injection Molded Parts,” *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol. 35, p. 991-994.
15. Hayashi, H., Mori, T., Okamoto, M., Yamasaki, S., Hayami, H. 2010. “Polyethylene Ionomer-Based Nano-Composite Foams Prepared by a Batch Process and Mucell Injection Molding,” *Materials Science and Engineering*, vol. 30, p. 62- 70.
16. Chen, S. C., Liao, W. H., Chien R. D. 2012. “Structure and Mechanical Properties of Polystyrene Foams Made Through Microcellular Injection Molding Via Control Mechanisms of Gas Counter Pressure and Mold Temperature,” *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol. 39, p. 1125-1131.
17. Altstädt, V., Mantey, A. 2010. *Thermoplast-Schaum-Spritzgießen*, Carl Hanser Verlag, München.
18. Kirschling, G. 2009. “Mikroschäume aus Polycarbonat Herstellung-Struktur-Eigenschaften,” *Doctoral Dissertation*, University of Kassel.
19. Habibi-Naini, S. 2004. “Neue Verfahren für das Thermoplastspritzgießen,” *Doctoral Dissertation*, RWTH Aachen.
20. Heitkamp, H. Betsche, M. 2014. “Mehr als nur Schaumblaschen,” *Kunststoffe*, no. 12, p. 25-29.

# TÜRKİYE’DE HAVACILIK ENDÜSTRİSİNDE BAKIM TEKNİSYENİ YETİŞTİRME PATİKASI

**Tamer Saraçyakupoğlu**

Dr.,  
Nurul Teknoloji A.Ş., Ankara  
tamer.saracyakupoglu@nurolteknoloji.com.tr

## ÖZ

Havacılık Bakım Endüstrisi'nde esas aktivite ve en önemli kısımlardan biri, doğrudan bakım, onarım ve revizyon yapan teknisyen çalışmalarına ilave olarak planlama, depolama ve kalite işlemlerinden de oluşmaktadır.

Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü (SHGM), Part / SHY-145 Onaylı Bakım Organizasyonu'nda çalışan personelin kriterini “SHY-66 Hava Aracı Bakım Personeli Yönetmeliği” ile düzenlemiştir.

Bu çalışmada, aday bakım personeli için eğitim, sertifikasyon basamakları ve belgelendirme aşamaları hakkında bilgi sunulacaktır.

Çalışmanın sonunda, kariyerini uçak teknisyeni olmak olarak belirleyen birinin mesleki yetiştirme ve gelişim patikasının ana hatlarıyla ortaya konduğu bir rehber doküman oluşturulması hedeflenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Sivil havacılık, teknisyen, mekanik, motor, aviyonik

# AIRCRAFT MAINTENANCE TECHNICIAN TRAINING PATH IN TURKISH AVIATION INDUSTRY

## ABSTRACT

One of the most important part and core activity in Aviation Maintenance Industry consist of the technician who perform direct maintenance, overhaul and repair activities on the aircraft in addition to planning, storage and quality activities. Directorate General of Civil Aviation (DGCA) regulates the criteria of staff who works for Part / SHY-145 Certified Maintenance Organisation using Part / SHY-66 Aircraft Maintenance Certifying Staff Regulation.

In this study, information about training, certification steps and registration procedure for the Candidate Maintenance Staff will be provided.

At the end of study, it is targeted to provide a guide-book which includes personnel improvement path for those who want to have career as Aircraft Maintenance Technician.

**Keywords:** Civil aviation, technician, mechanic, engine, avionics

Geliş tarihi : 09.06.2016  
Kabul tarihi : 11.07.2016

Saraçyakupoğlu, T. 2016. “Türkiye’de Havacılık Endüstrisinde Bakım Teknisyeni Yetiştirme Patikası,” Mühendis ve Makina, cilt 57, sayı 678, s. 60-64.

## 1. GİRİŞ

Havacılık Endüstrisi, üretim, bakım, operasyon ve uçuş hizmetleri vb. fonksiyonları ile küresel ve ulusal boyutta ciddi bir cazibe merkezi olmuştur.

Genel anlamda “havacılık,” insanlar tarafından üretilmiş hava araçları ile uçmak veya uçmak için gerekli olan mal ve hizmetlere yönelik (tasarım, üretim, satış sonrası hizmet gibi) faaliyetlerle uğraşmak şeklinde tanımlanmaktadır.

Satış sonrası hizmet kavramı “havacılıkta hava aracı bakım” kavramını da beraberinde getirmekte olup, bünyesinde kontrat yönetiminde, stok seviyesi malzeme tedarik ve depolanmasına kadar çok geniş bir yelpazedeki faaliyetleri ele almaktadır.

Bakım, bir sistemin kullanım ömrü boyunca bozulabilecek karakteristiklerini daha önceden belirlenmiş nitelik veya nicelik seviyesinde tutmak ya da bu seviyeye getirmek amacıyla yapılan işlerin tümü olarak tanımlanmaktadır [1].

Bakım kendi içerisinde, farklı kategorilerde önleyici bakım, planlı bakım, plansız bakım, üs bakım, hat bakım, bir defalık bakım vb. gibi alt gruplara ayrılır. Hepsi ayrı ayrı ele alındığında, ayrı bir bakım disiplini olan bu faaliyetler eğitilmiş ve nitelikli insan gücü ile yerine getirilmektedir.

Bu insan gücünün yetiştirilmesi, sürekli gelişime tabi tutulması ve belgelendirilmesi, eğitim süreçlerini içine alan, kalite fonksiyonları desteklenmiş çalışmaların bir bütünüdür.

Türkiye’de Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü (SHGM) tarafından yayımlanan Hava Aracı Bakım Personeli Lisans Yönetmeliği (SHY-66) gereğince bakım personelinin lisanslandırılması işlemi gerçekleştirilmektedir.

## 2. HAVACILIKTA LİSANS ZORUNLULUĞU OLAN MESLEKLER

Uluslararası Sivil Havacılık Anlaşması'nın halen yürürlükte olan Personel Lisansları ile ilgili ekine (ICAO8 Annex 1, Personnel Licensing) göre;

- Uçuş mürettebatı,
- Uçak bakım personeli,
- Hava trafik kontrolörleri,
- Uçuş hareket uzmanlığı (Dispatcherlar),
- İstasyon operatörleri,
- Meteoroloji personeli için lisans alma mecburiyeti vardır.

Lisans alma ve eğitim kavramlarının birbirinin içinde yer aldığı gerçeğinden yola çıkarak bakım personeli eğitim kaynaklarının ele alınması gerekmektedir.

Halen birçok ülkede havacılık sektöründe yer edinen ve yukarıdaki grupların dışında kalan meslek grupları içinde lisanslandırma çalışması yapıldığı bilinmektedir.

## 3. UÇAK BAKIM PERSONELİ KATEGORİZASYONU

Hava platformu bakım teknisyenliği; iyi bilgi, tecrübe, yabancı dil (İngilizce) ve azami derecede dikkat isteyen bir meslektir. Özellikle uçak üzerinde çalışılması sebebiyle daha çok kurallara uymayı zorunlu kılar.

Niteliği yüksek bir iş kolu olarak kabul edilen Hava Aracı Bakım Lisansı ana kategorileri A, B1, B2, C’dir.

Bunlar;

- Kategori A : Hat bakım mekanik teknisyeni,
- Kategori B1: Hava aracı bakım teknisyeni (Mekanik),
- Kategori B2: Hava aracı bakım teknisyeni (Aviyonik),
- Kategori C : Hava aracı üs bakım mühendisi veya teknisyenidir.

Hava Aracı Bakım Lisansı alt kategorileri ise;

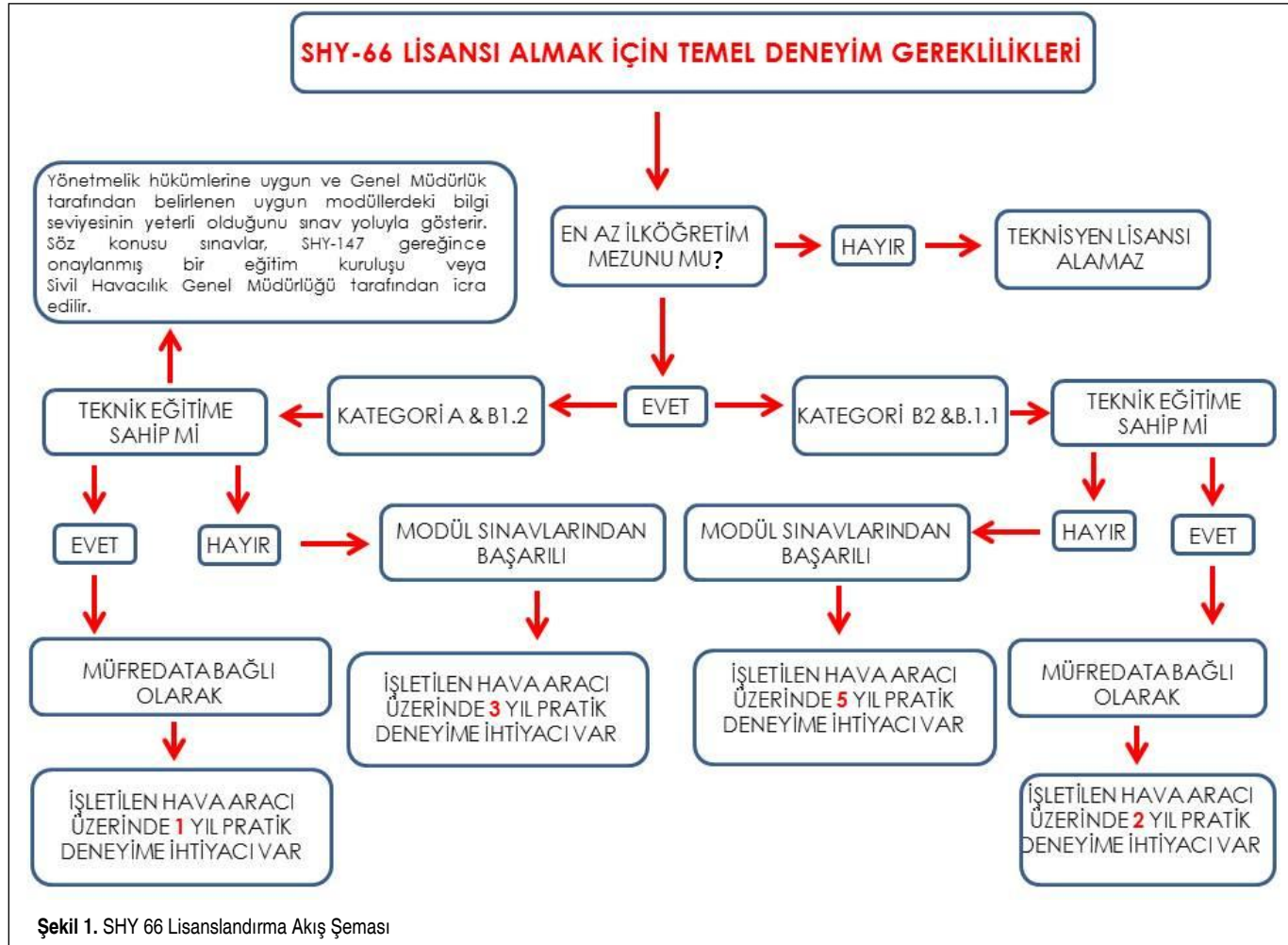
- Alt kategori A1: Türbin motorlu uçaklar,
- Alt kategori A2: Piston motorlu uçaklar,
- Alt kategori A3: Türbin motorlu helikopterler,
- Alt kategori A4: Piston motorlu helikopterler,
- Alt kategori B1.1: Türbin motorlu uçaklar,
- Alt kategori B1.2: Piston motorlu uçaklar,
- Alt kategori B1.3: Türbin motorlu helikopterler,
- Alt kategori B1.4: Piston motorlu helikopterler olarak kategorize edilirler [2].

Yukarıdaki yapı içerisinde kategorize edilen uçak teknisyenliğinin onaylayıcı personel olup, tecrübeyle birlikte daha üst noktalara ulaşabilmeleri ve dolayısıyla maddi olarak da daha iyi şartlara kavuşabilmeleri mesleğin avantajları olarak değerlendirilirken, mesleki risklere de değinmek gerekirse;

- Yüksekte çalışmak,
- Dar alanlarda çalışmak,
- Yüksek takatli motorlarda çalışmak,
- Yüksek seviyede gürültülü ortamda çalışmak,
- Uzun dönemde sağlığa etkisi tam olarak belirginleşmemiş bazı maddelerin bulunduğu ortamda çalışmak vb. riskleri barındırdığı gözlemlenmektedir.

## 4. BAKIM PERSONELİ EĞİTİMİ VE KAYNAKLARI

Emniyetin “olmazsa olmaz” ve “%99 başarının başarısızlık” olarak kabul edildiği havacılık sektöründe, bakım birimlerinin personel istihdamında sayıca ve niteliksel olarak kuruluşun ihtiyacına ve amacına “tam uyumlu” iş gücünü bünyelerinde tutmaları bir zorunluluktur.



Uluslararası standartlara uyum ve belgelendirmenin özel ve önemli bir yeri olan havacılık endüstrisinde işgücü oluşumu, havacılıkla ilgili meslekler, sanatlar veya işler için gerekli bilgi, beceri ve alışkanlıkların elde edilmesi amacıyla yapılan çalışmalarını kapsayan öğrenim programları ile gerçekleştirilmektedir. Kapsamı, niteliği ve uygulama zamanları arasında faz farkları olsa da bu programlar şunlardır:

- Kişilerin hayata atılmadan, iş ve meslek kollarında çalışmaya başlamadan önce okul veya okul niteliği taşıyan yerlerde, genel ve özel bilgiler bakımından yetişmelerini sağlamak amacıyla belli kanunlara göre düzenlenen (formel) Örgün Öğrenim Programları
- Örgün eğitim imkânlarından yararlanmamış olanlara, gittikleri okuldan erken ayrılanlara veya meslek dallarında daha yeterli duruma gelmek isteyenlere yönelik uygulanan Yaygın Öğrenim Programları
- Kurum/Şirket içi Öğrenim Programları
- Eğitim bu programların bir karması olan yöntemlerle gerçekleştirilmektedir [3].

Şekil 1'de ana hatlarıyla bir hava platformu bakım teknisyeni-nin izleyeceği patika yer almaktadır.

Temel Konu Modülleri dersleri ise aşağıda verilmiştir:

1. Matematik
2. Fizik
3. Temel Elektrik
4. Temel Elektronik
5. Dijital Teknikleri/Elektronik Alet Sistemleri
6. Malzeme ve Donanım
7. Bakım Uygulamaları
8. Temel Aerodinamik
9. İnsan Faktörleri
10. Havacılık Kanunları
11. Uçak Aerodinamiği, Yapıları ve Sistemleri
12. Helikopter Aerodinamiği, Yapıları ve Sistemleri
13. Hava Aracı Aerodinamiği, Yapıları ve Sistemleri
14. İtici (Propulsion)

**Tablo 1.** Kategori ve Alt Kategoriler Bazında Teorik Bilgi Eğitimleri [4]

Modül No	A veya B1		A veya B1		B2	B3
	Türbin Motorlu Uçaklar	Piston Motorlu Uçaklar	Türbin Motorlu Helikopterler	Piston Motorlu Helikopterler	Aviyonikler	Azami Kalkış Aralığı 2.000 kg ve Altında Olan Kabini Basıncılandırılmayan Piston Motorlu Uçaklar
1	x	x	x	x	x	x
2	x	x	x	x	x	x
3	x	x	x	x	x	x
4	x	x	x	x	x	x
5	x	x	x	x	x	x
6	x	x	x	x	x	x
7A	x	x	x	x	x	
7B						x
8	x	x	x	x	x	x
9A	x	x	x	x	x	
9B						x
10	x	x	x	x	x	x
11A	x					
11B		x				
11C						x
12			x	x		
13					x	
14					x	
15	x		x			
16		x		x		x
17A	x	x				
17B						x

15. Gaz Türbinli Motor
16. Pistonlu Motor
17. Pervane

Bu eğitimlere ilave olarak, SHY-145 Onaylı Bakım Kuruluşu olarak da eğitimler verilebilmektedir (Tablo 2).

Tablo 1'de, ihtisasa bağlı olarak bir hava platformu bakım teknisyeninin alması ve geçmesi gereken dersler gösterilmektedir.

### 5. SHY-147 HAVA ARACI BAKIM EĞİTİMİ KURULUŞLARI YÖNETMELİĞİ VE YAPISI

Hava Aracı Bakım Eğitimi Kuruluşları Yönetmeliği (SHY-147) ve Hava Aracı Bakım Eğitimi Kuruluşları Talimatı'nın (SHT-147) amacı, SHY-147 Onaylı Bakım Eğitimi ve Sınav Kuruluşu olmak için başvuruda bulunan kuruluşun hazırlayacağı Bakım Eğitim Kuruluşu Açıklamalar Dokümanı (BE-KAD) çerçevesinde;

- a. Hava aracı bakım teknisyeni lisansı alacak personele verilecek eğitimleri,
- b. Bakım Lisansı sahibi teknisyenlere verilecek hava aracı tip eğitimleri,
- c. Bu kapsamda zorunlu olan sınavları gerçekleştirmek üzere yetki talep eden kuruluşların yetkilendirilmeleri ile uymaları gereken usul ve esasları düzenlemektir.

SHY-147, yönetim teşkilatı Türkiye'de yerleşik olan hava aracı bakım eğitimi kuruluşlarını, ilgili yönetici personel ile geçerli lisans ve/veya sertifika sahibi olan ve bu eğitimleri alacak olan gerçek ve tüzel kişileri kapsamaktadır [3].

SHY-147 Onaylı Bakım Eğitimi ve Sınav Kuruluşu Hiyerarşik Yapısı THK Teknik A.Ş.'nin 2015 yılında SHGM'den "Tip Eğitimi Yetkisi" onay almak için başvuru sırasında hazırlanan hiyerarşik yapı aşağıdaki gibidir:

1. Genel Müdür
  - a. Eğitim Müdürü
    - 1) Eğitim Plan Program Şefi

Tablo 2. SHY – 145 Eğitimleri

SHY-145 EĞİTİMLERİ	
SIRA NO	EĞİTİMİN ADI
1	ŞİRKET PROSEDÜRLERİ (BKEK) EĞİTİMİ
2	İNSAN FAKTÖRÜ (BAŞLANGIÇ) EĞİTİMİ
3	İNSAN FAKTÖRÜ (TAZELEME) EĞİTİMİ
4	SHY - 145 YÖNETMELİĞİ EĞİTİMİ
5	TESELLÜM DEPOLAMA EĞİTİMİ
6	UÇAK UÇUŞ HATTI HANGAR EMNİYETİ VE TEDBİRLERİ EĞİTİMİ
7	FUEL TANK SAFETY (BAŞLANGIÇ) EĞİTİMİ
8	FUEL TANK SAFETY (TAZELEME) EĞİTİMİ
9	EWIS (BAŞLANGIÇ) EĞİTİMİ
10	EWIS (TAZELEME) EĞİTİMİ
11	ATA SPEC 300 EĞİTİMİ
12	SHY-M EĞİTİMİ
13	SHY-147/ SHY-66 (BAŞLANGIÇ) EĞİTİMİ
14	SHY-147/ SHY-66 (TAZELEME) EĞİTİMİ
15	FORM ONE DOLDURMA VE KULLANMA EĞİTİMİ
16	ELECTRO STATIC DISCHARGE (ESD) EĞİTİMİ
17	DANGEROUS GOODS AWARENESS COURSE (DGR) EĞİTİMİ
18	MATERIAL SAFETY DATA SHEETS (MSDS)
19	HIDDEN DAMAGE INSPECTION (HDI) EĞİTİMİ
20	UÇAK BAKIM GENEL ORYANTASYON EĞİTİMİ
21	UÇAK ÇEKME PARK ETME EMNİYETE ALMA EĞİTİMİ
22	UÇAK YIKAMA EĞİTİMİ
23	BOROSKOP EĞİTİMİ
24	YAKIT İKMAL BOŞALTMA EĞİTİMİ
25	SHY - M (TAZELEME) EĞİTİMİ

- 2) Eğitim Plan Program Lideri
- 3) Hava Aracı Tip Eğitim Şefi
  - a. Eğitmen
  - b. Eğitmen

- b. Eğitim Kalite Müdürü
  - 1) Eğitim Kalite Şefi
  - 2) Eğitim Kalite Denetçisi
- c. Sınav Müdürü / Sınav Sorumlusu
  - 1) Sınav Sorumlusu
  - 2) Sınav Sorumlusu

## 6. SONUÇ

Günümüzde birçok akademik kuruluş ve 145 Onaylı Bakım Kuruluşu'nda eğitimler verilmektedir.

Bu eğitimlerin bir kısmı halihazırda hava platformu bakım teknisyeni olmuş personel için, bir kısmı ise teknisyen olmak için verilen eğitimlerdir.

Daha iyi bakım, daha emniyetli uçuş demektir.

Daha iyi bakımın ve daha emniyetli uçuşun ise “üst limiti yoktur.”

İyi yetişmiş, motive edilmiş, kaynakları iyi kullanan personele donatılmış olan bakım kuruluşlarının rekabet gücü artmaktadır ve sektörde var olan yerlerini daha üst seviyelere çıkartmaktadır.

İyi yetişmiş insan gücünün patikası eğitimle şekillendirilmiştir. Bu çerçeveden bakıldığında, havacılığın bir emniyet mesleği olduğunu içselleştirmiş, yabancı dil ve bilgisayar tabanlı bakım yönetim sistemleri ile donatılmış bakım personelinin “daha emniyetli uçuş” için bir anahtar rol üstlendiği mutlak bir gerçektir. Hava aracı bakım kuruluşlarının faaliyetlerini yerine getirirken en önemli kaynak olan insan kaynağının bu gerçeğe göre şekillendirilmesi önem arz etmektedir.

## KAYNAKÇA

1. **Kara, N.** 2015. "Savunma ve Havacılık Alanında Aditif İmalat Teknolojisinin Bakım ve Tamir Amaçlı Kullanımı," Mühendis ve Makina, sayı 672, cilt 57, s. 50.
2. SHGM, <http://web.shgm.gov.tr/tr/s/174-bakim-ve-egitimleri-konulu-soru-cevap>, son erişim tarihi: 22.07.2016.
3. **Erel, C.** 2012. "Türkiye'de Havacılık Endüstrisine Yönelik Örgün Öğrenim Programlarının Değerlendirilmesi," MSI, sayı 76, s. 46.
4. SHGM. 2014. Hava Aracı Bakım Personeli Lisansı Talimatı (SHT-66), s.38.
5. Resmi Gazete. 2006. “Hava Aracı Bakım Eğitimi Kuruluşları Yönetmeliği (SHY-147),” <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2006/04/20060430-2.htm>, son erişim tarihi: 22.07.2016.

# SOĞUK DÖVME KALIPLARINDA MEYDANA GELEN KIRILMA SEBEPLERİNİN NÜMERİK OLARAK İNCELENMESİ

**Cenk Kılıçaslan\***

Dr.,  
Norm Cıvata San. ve Tic. A.Ş.,  
AR-GE Merkezi, A.O.S.B., Çiğli, İzmir  
cenk.kilicaslan@normcivata.com

**Umut İnce**

Norm Cıvata San. ve Tic. A.Ş.,  
AR-GE Merkezi, A.O.S.B., Çiğli, İzmir  
umut.ince@normcivata.com

## ÖZ

Soğuk dövme özellikle yüksek mukavemetli bağlantı elemanları üretiminde kullanılan plastik şekil verme yöntemlerinden biridir. Dövme işlemi oda sıcaklığında gerçekleştiğinden ılık ve sıcak dövmeye kıyasla çok daha yüksek dövme yükleri ortaya çıkmaktadır. Bu yükler soğuk dövme kalıplarının beklenenden daha düşük çevrimlerde kırılmasına yol açabilir. Bu çalışmada, orta karbonlu çelik alaşımı M8 cıvata üretiminde kullanılan ve düşük çevrimlerde kırılan sabit dövme kalıbı üzerinde oluşan gerilmeler sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak belirlenmiş ve kırılma nedenleri incelenmiştir. Soğuk dövme işlemi ile kalıp gerilme analizleri SIMUFACT FORMING sonlu elemanlar programında gerçekleştirilmiştir. Nümerik simülasyonlar dövme işlemi sırasında kalıp kırılmasına sebep olacak gerilmelerin oluşmadığını göstermiştir. Çekirdek üzerinde kırılma oluşmaması için çekirdek ve zarf arasındaki sıkı geçme değerinin 0,5% civarında olması gerektiği belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Soğuk dövme, kalıp analizi, simülasyon

# NUMERICAL INVESTIGATION OF FAILURE EVOLUTION ON COLD FORGING DIES

## ABSTRACT

Cold forging is one of the plastic deformation methods that is used to produce high strength fasteners. Higher forging forces occur during cold forging operations in contrast to warm or hot forging. These higher forces may cause failure of cold forging dies in low forging cycles. In this study, stress analysis of cold forging dies which failed in low forging cycles during production of medium carbon steel alloy M8 bolts was carried out and reasons of the failure evolution were determined. Numerical simulations of cold forging operation and die stress analysis were conducted by using finite element software SIMUFACT FORMING. Numerical simulations revealed that stresses occurred on the die during forging of the bolt were not high enough to cause any failure. It was also determined that interference fitting value should be close to %0.5 to prevent the fracture on the insert.

**Keywords:** Cold forging, die analysis, simulation

\* İletişim Yazarı

Geliş tarihi : 13.07.2016

Kabul tarihi : 22.07.2016

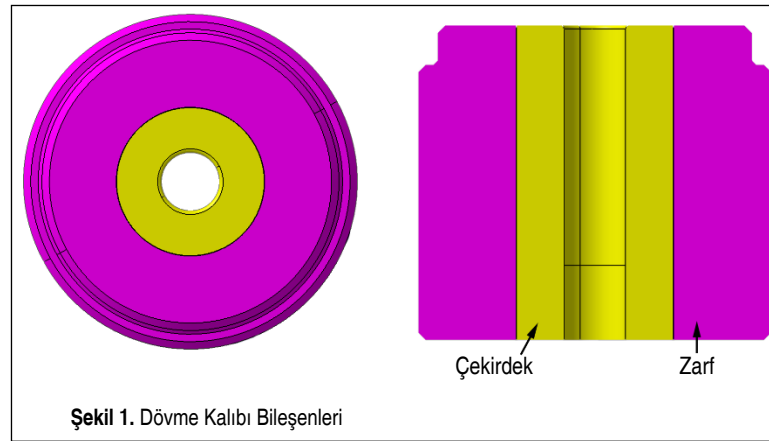
Kılıçaslan, C., İnce, U. 2016. "Soğuk Dövme Kalıplarında Meydana Gelen Kırılma Sebeplerinin Nümerik Olarak İncelenmesi," Mühendis ve Makina, cilt 57, sayı 678, s. 65-71.

## 1. GİRİŞ

Soğuk döme, dar geometrik toleranslar içerisinde yüksek mukavemetli makine parçası üretiminde kullanılan ve oldukça hızlı üretim olanağı sağlayan metal şekillendirme yöntemlerinden biridir. Döme teknolojisindeki ilerleme ile birlikte farklı metal alaşımlarından cıvata, somun, rotül ve dişli gibi mekanik bağlantı elemanları ya da makine parçaları üretilebilmektedir. Son 16 yılda metal şekillendirme alanında meydana gelen gelişmeler Jeswiet ve diğerlerinin [1] hazırlanmış olduğu çalışmada ayrıntılı olarak bulunabilir. Geleneksel döme işlemi uygulama sıcaklığına göre soğuk döme, ılık döme ve sıcak döme olarak üçe ayrılmaktadır. Soğuk döme işlemi iş parçası malzemesinin yeniden kristalleşme sıcaklığı altındaki sıcaklıklarda gerçekleştirilirken sıcak döme işlemi ise bu sıcaklığın üzerinde gerçekleştirilmektedir. Ilık döme işlemi ise soğuk ve sıcak döme sıcaklıkları arasında uygulanmaktadır. Soğuk ve sıcak döme işlemlerinin birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Sıcak döme işlemlerinde iş parçası malzemesi belirli bir sıcaklığa kadar ısıtılmak zorundadır ve bu durum ek enerji tüketimine neden olmaktadır. Ancak malzeme sıcaklığının artırılması ile plastik deformasyon için gerekli olan döme kuvveti önemli ölçüde azalmakta; ayrıca, dövülen malzemede elde edilen yüksek süneklik sebebiyle çatlak oluşum riski en aza indirilmektedir. Soğuk döme işlemlerinde daha yüksek döme kuvveti gerekmesine rağmen, plastik deformasyon gevrekleşmesi nedeniyle son ürünün mekanik özelliklerinden iyileşme görülmekte, net-shape-forming olarak adlandırılan dar toleranslarda herhangi bir ek işleme gerek kalmadan son ürün eldesi sağlanmaktadır. Soğuk döme işlemlerinde karşılaşılan en önemli problemlerden biri ise yüksek döme kuvvetleri ve ağır sürtünme koşullarından dolayı meydana gelen abrazyon sebebiyle döme kalıplarında düşük çevrim sayılarında meydana gelen hasar ve kırılmalar [2]. Soğuk döme uygulamalarında en çok karşılaşılan kalıp hasarları kalıp bileşenlerinde gerilme kaynaklı kırılmalar ile dinamik tekrarlı yükler altında meydana gelen yorulma kırılmalarıdır [3]. Servis süreleri boyunca kalıp yüzeyinde meydana gelen aşınmalar bu yüzeylerde mikro çatlakların oluşumuna sebebiyet vererek kalıbın ani olarak kırılmasına neden olmaktadır. Yorulma kırıkları döme işlemi sırasında en yüksek gerilmenin olduğu noktadan başlayarak oluşan gerilme topografyasına göre ilerleyen çatlaklardır ve göz ile tespit edilmesi oldukça zordur [4]. Bu nedenle, kalıplarda meydana gelen bu kırılma mekanizmalarının anlaşılması ve engellenmesi üretim maliyetlerinde yüksek oranlarda düşümlere sebep olacak ve firmaların piyasa rekabetini arttırmasında önemli rol oynayacaktır [5]. Metal şekillendirme ve döküm kalıplarında meydana gelen hasarlar hakkında genel bilgi Jhavar ve diğerlerinin [6] hazırlanmış olduğu derleme

makalede bulunabilir. Soğuk döme kalıpları basma dayanımı oldukça yüksek olan ve toz metalürjisi yöntemi ile üretilen wolfram karbür-kobalt (WC-Co) çekirdek ve yüksek çekme mukavemetine sahip H13 (X40CrMoV5) çelik zarftan üretilmektedir. Şekil 1'de gösterildiği gibi, çekirdek ve zarf bileşenleri sıkı geçme yöntemi ile bir araya getirilmektedir. Sıkı geçme oranları iş parçalarında yapılacak işleme göre %0,2-%0,7 arasında değişmektedir. Sıkı geçmedeki ana amaç, çekme gerilmelerine maruz kalan çekirdek üzerinde bu gerilmeleri yok edecek bir ön basma gerilmesi oluşturmaktır [7]. Bu şekilde, kalıp ömrünün oldukça arttırılması sağlanmaktadır. Konvansiyonel döme kalıplarında genellikle %0,2-%0,5 sıkı geçme oranları kullanılmaktadır. Daha yüksek sıkı geçme oranlarının elde edilmesi için Norm Cıvata AR-GE Merkezi'nde karbon fiber kompozit gibi farklı zarf malzemeleri üzerinde çalışmalar yürütülmektedir [8].

Literatürde kalıp analizi hakkında oldukça fazla çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmaların büyük bir çoğunluğu sıcak şekillendirme ya da sac metallere şekil verme işlemlerini içermektedir. Soğuk döme sırasında meydana gelen kalıp ömürlerini inceleyen çalışmaların neredeyse tümü sonlu elemanlar simülasyonları ile desteklenmiştir. Bu çalışmalardan önemli görülenlerden bazıları bu bölümde özetlenmiştir. Berns ve diğerleri [2] yapmış oldukları çalışmada, üç istasyonda dövülerek üretilen cıvatanın kalıbında meydana gelen gerilmeleri ABAQUS programı ile incelemişlerdir. Çalışmanın ilk kısmında, döme sırasında oluşan maksimum gerilmenin kalıbın radyus bölgesinde olduğu belirlenmiş, üretim denemelerinde ise tahmin edilen bu noktada kırılmanın olduğu gözlenmiştir. Daha sonra WC-Co çekirdek malzemenin mikro modeli oluşturularak nümerik olarak kalıp analizi yapılmıştır. Analizler sonucunda, kalıpta kırılmanın ilk olarak katı fazlarda (carbide) başladığı, daha sonra matris malzemesinde mikro kırılmalar ile çatlak oluşumunun tetiklendiği görülmüştür. Wagner ve diğerleri [5], soğuk döme kalıplarının yorulma ömürlerini arttırmak amacıyla redüksiyon kalıbında parlatma (sert bir bilya ile işleme), üst kalıp üzerinde lazer ile sertleştirme



Şekil 1. Döme Kalıbı Bileşenleri

ve panç üzerinde tekstür oluşturma gibi yöntemler denemiştir. Çalışmada, ilk önce bu kalıplar üzerinde meydana gelen kritik gerilme ve yorulma bölgeleri nümerik simülasyonlar ile belirlenmiş ve işlemler yalnızca bu yüzeyler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu kalıpların işlenen yüzeylerindeki artık gerilmelerde parlatma ile %600, lazer sertleştirme ile %450 artış sağlanmıştır. Lee ve diğerleri [7], hem altı köşe cıvata hem de dişli üretiminde kullanılan soğuk döme kalıplarında sıkı geçme oranının kalıplar üzerinde meydana gelen gerilme genlik değerlerini ve kalıp ömürlerini karşılaştırmışlardır. Altıköşe cıvata üretiminde kullanılan kalıpta %0,4, 0,55, 0,6, 0,75, 0,8, 1 ve 1,2 oranlarında sıkı geçme oranı kullanılarak döme işleminin sonlu elemanlar simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, kalıpta meydana gelen minimum gerilme genlik değeri %0,75 sıkı geçme oranında bulunmuştur. Asnafi [9] yapmış olduğu çalışmada, üç istasyonlu bir cıvatanın soğuk döme işlemi sırasında kafa şişirme kalıbında meydana gelen gerilmeleri ABAQUS programında gerçekleştirdiği nümerik analizler ile belirlemiştir. Çalışma sonunda, gerilme kaynaklı kırılmanın yaşanacağı en kritik yer olarak çekirdek radyusu bulunmuştur. Yapılan üretim denemelerinde kalıpların bu noktadan ani olarak kırılmadıkları belirlenmiş, kırılmanın yaklaşık 9080 adet cıvata basımından sonra iki noktadan oluştuğu görülmüştür. Bu nedenle, ana kırık nedeninin yorulma olduğu tahmin edilmiştir.

Bu çalışmada, orta karbonlu çelik alaşımından üretilen M8 cıvatanın sabit kalıbında düşük çevrimlerde meydana gelen kırılma durumu sonlu elemanlar simülasyonları kullanılarak incelenmiş ve hasar nedenleri irdelenmiştir. Çalışma kapsamında, cıvata döme işleminin her bir istasyonu modellenmiş, daha sonra kalıbın sıkı geçme ve sıkı geçme sonrasında

döme işlemi sırasındaki gerilme analizi gerçekleştirilmiştir. Sonlu elemanlar simülasyonları SIMUFACT FORMING paket programı ile oluşturulmuştur.

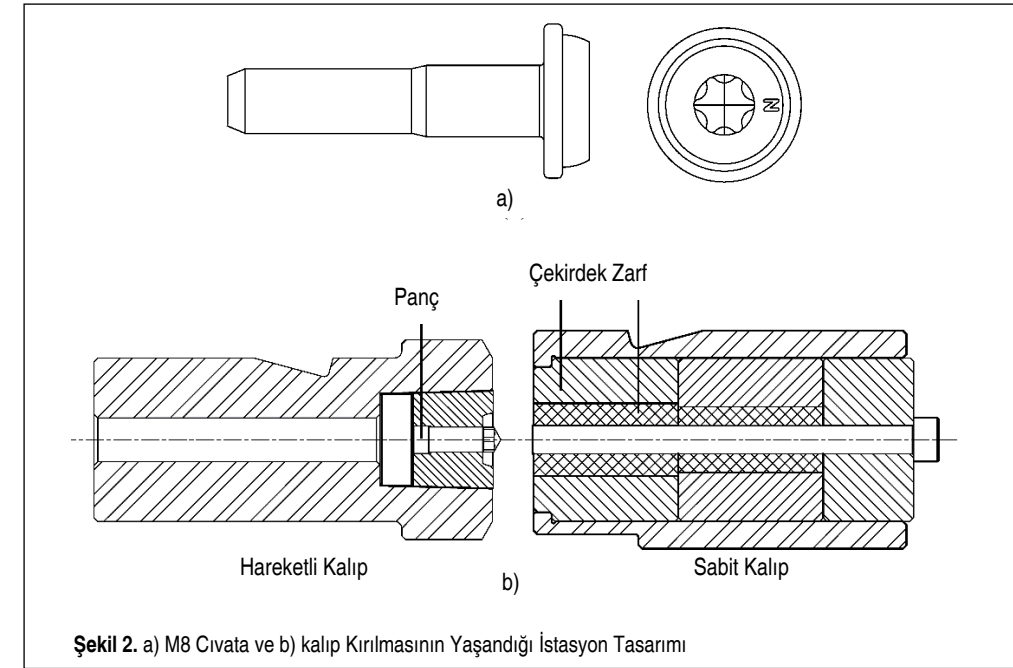
## 2. DÖME İŞLEMİ VE KALIP HASARI

Şekil 2a'da gösterilen M8 cıvata toplam 4 döme istasyonunda şekillendirilmektedir. Şekil 2b'de gösterilen döme istasyonunda, kafa hazırlığı yapılmış iş parçasına flanş ve soket boşluğu formu verilmektedir. Bir önceki istasyondan alınan yarı mamul parça, makine parmakları tarafından sabit kalıp, boşluğu üzerine konmaktadır. Bu sırada hareketli kalıp, iş parçasını sabit kalıp boşluğuna doğru bastırmakta ve malzemenin kalıp ve pançlara göre akmasını sağlayarak şekillendirmektedir. Bu işlem sırasında sabit kalıp üzerine yüksek döme kuvvetleri etki etmektedir. Bu yükler çekirdeğin kalıp boşluğu kısmında yüksek basma gerilmesi oluştururken çekirdeğin en dış çapında ise çekme gerilmesi oluşmasına sebep olmaktadır. Oluşan bu çekme gerilmesi çekirdeğe sıkı geçirilen zarfın yarattığı basma gerilmesi ile sıfırlanmaktadır.

İş parçalarına her bir istasyonda verilecek olan formlar tasarım ekipleri tarafından kalıp hasarı riski göz önüne alınarak tasarlanmasına rağmen, şekilde gösterilen sabit kalıpta kırılmalar gözlenmiştir. G55 çekirdek ve H13 çelik zarfa sahip hasarlı kalıplar Şekil 3'te gösterilmektedir. Kırılma yüzeyinde yorumla hasarlarında görülen kırılma çemberleri de tespit edilmiştir. Bu nedenle kalıplarda meydana gelen hasarın genlikli gerilmeyle oluştuğu söylenebilir.

## 3. SONLU ELEMANLAR MODELLERİ

Çalışmada kullanılan nümerik modeller SIMUFACT FOR-



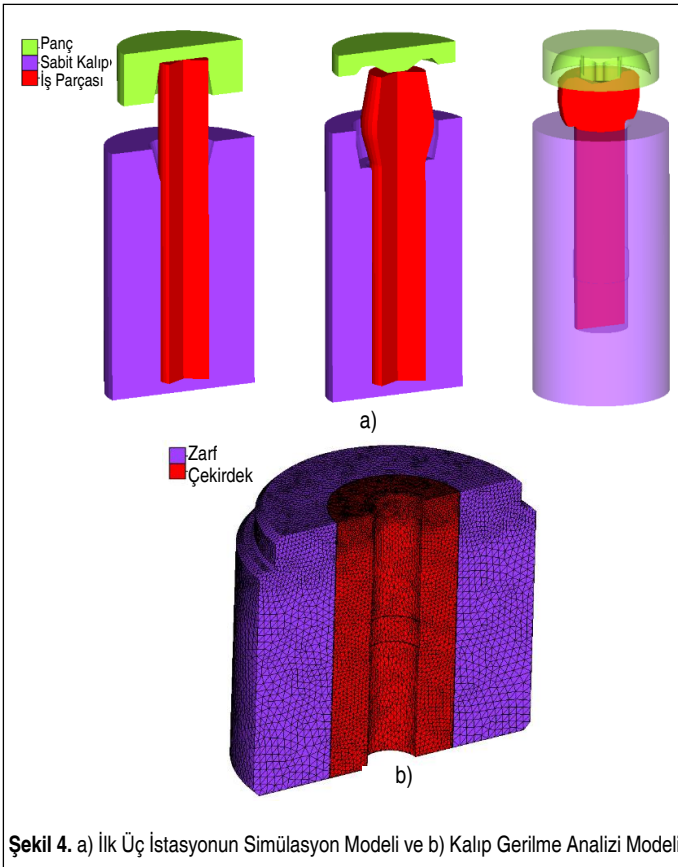
Şekil 2. a) M8 Cıvata ve b) kalıp Kırılmasının Yaşandığı İstasyon Tasarımı



Şekil 3. Hasarlı Sabit Kalıplar

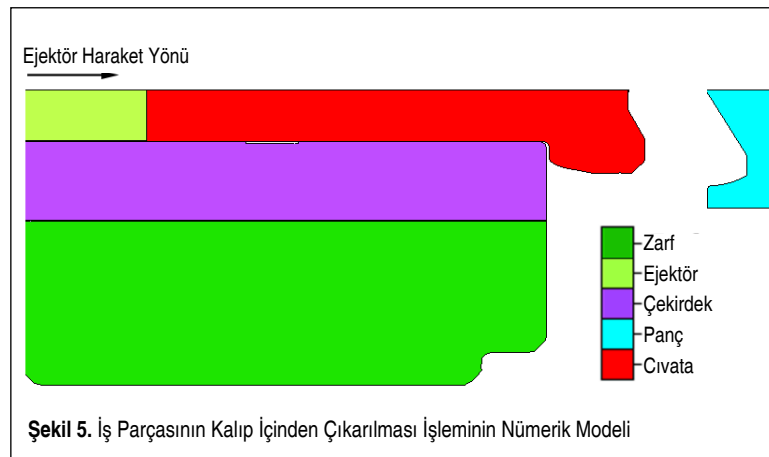
MING sonlu elemanlar yazılımı ile oluşturulmuştur. Simülasyonlar her bir istasyon için ayrı ayrı modellenmiş, istasyonda şekil verilen iş parçası bir sonraki istasyona aktarılarak işleme devam edilmiştir. İlk üç istasyona ait modeller Şekil 4a'da gösterilmiştir. Simülasyonlarda iş parçası plastik olarak hareketli ve sabit kalıplar ile panç rijit olarak modellenmiştir. 1 ve 2. istasyonlardaki iş parçaları aksimetrik olduğundan dolayı bu simülasyonlar 2B (İki boyutlu) olarak çözdürülmüştür. Soket kısmının verildiği 3. istasyon ise 3B olarak modellenmiştir. İki boyutlu modellerde quad elemanlar, 3B modellerde ise hex elemanlar kullanılmıştır. Plastik şekil verme analizlerinde iş parçası üzerinde doğru sayıda eleman kullanılması sonuçların doğruluğu açısından yüksek önem arz etmektedir. Yüksek sayıda eleman kullanılması şekillenmenin ve meydana gelen hasarların daha hassas görülmesini sağlamasına rağmen, problemin çözüm süresinin artmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, doğruluktan ödün vermeden uygun sayıda kullanılacak eleman sayısının belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla yapılan parametrik çalışmada, 2B simülasyonlar için minimum eleman boyutu 0,15 mm, 3B simülasyonda ise 0,4 mm olarak belirlenmiştir. Metal şekillendirme simülasyonlarında sonuçları etkileyen en önemli faktörlerden biri sürtünmenin doğru olarak modellenmesidir. Merkezimizde daha önce yapılan çalışma sonucuna göre, dövme işlemi sırasında meydana gelen sürtünme katsayısı sıcaklığa bağımlı olarak tanımlanmıştır [10]. Modellerde bu çalışmadan elde edilen veriler kullanılmıştır. Kalıp analizleri hem 2B hem de 3B gerçekleştirilmiştir. Üç boyutlu analizlerde karmaşık kalıp yüzeyinin modellenmesi amacıyla bu simülasyonlarda tetra elemanlar kullanılmıştır (Şekil 4b). Kalıbı oluşturan G55 ve H13 malzemeleri elastik olarak modellenmiştir. Hasarın tahmin edilmesinde, dövme sırasında kalıp yüzeyinde oluşan maksimum ve minimum asal gerilmeler incelenmiştir.

Dövme işlemlerinde iş parçası kalıp boşluğunu doldurduktan ve şekillenme işlemi tam olarak sonlandıktan sonra, sabit kalıp içerisinde bulunan ejektör iş



Şekil 4. a) İlk Üç İstasyonun Simülasyon Modeli ve b) Kalıp Gerilme Analizi Modeli

parçasını dövme yönüne ters olarak ittirerek kalıp içerisinden çıkarmaktadır. Bu işlem sırasında iş parçası ile kalıp arasında meydana gelen sürtünmeden dolayı kalıp yüzeyi üzerinde yüksek gerilmeler oluşabilir. Bu nedenle, dövme sırasında meydana gelen kalıp gerilmelerine ek olarak çıkarma işlemi sırasında da oluşan gerilmelerin tayini önemlidir. Bu amaçla, Şekil 5'te gösterildiği gibi, çıkarma işleminin de nümerik modeli oluşturulmuştur. Bu modelde ejektör kalıp içini tamamen doldurmuş olan iş parçasını dövme hızında çıkarmaktadır.

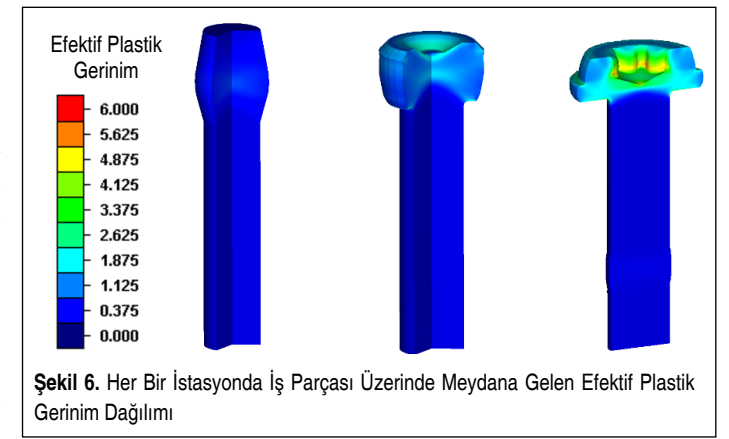


Şekil 5. İş Parçasının Kalıp İçinden Çıkarılması İşleminin Nümerik Modeli

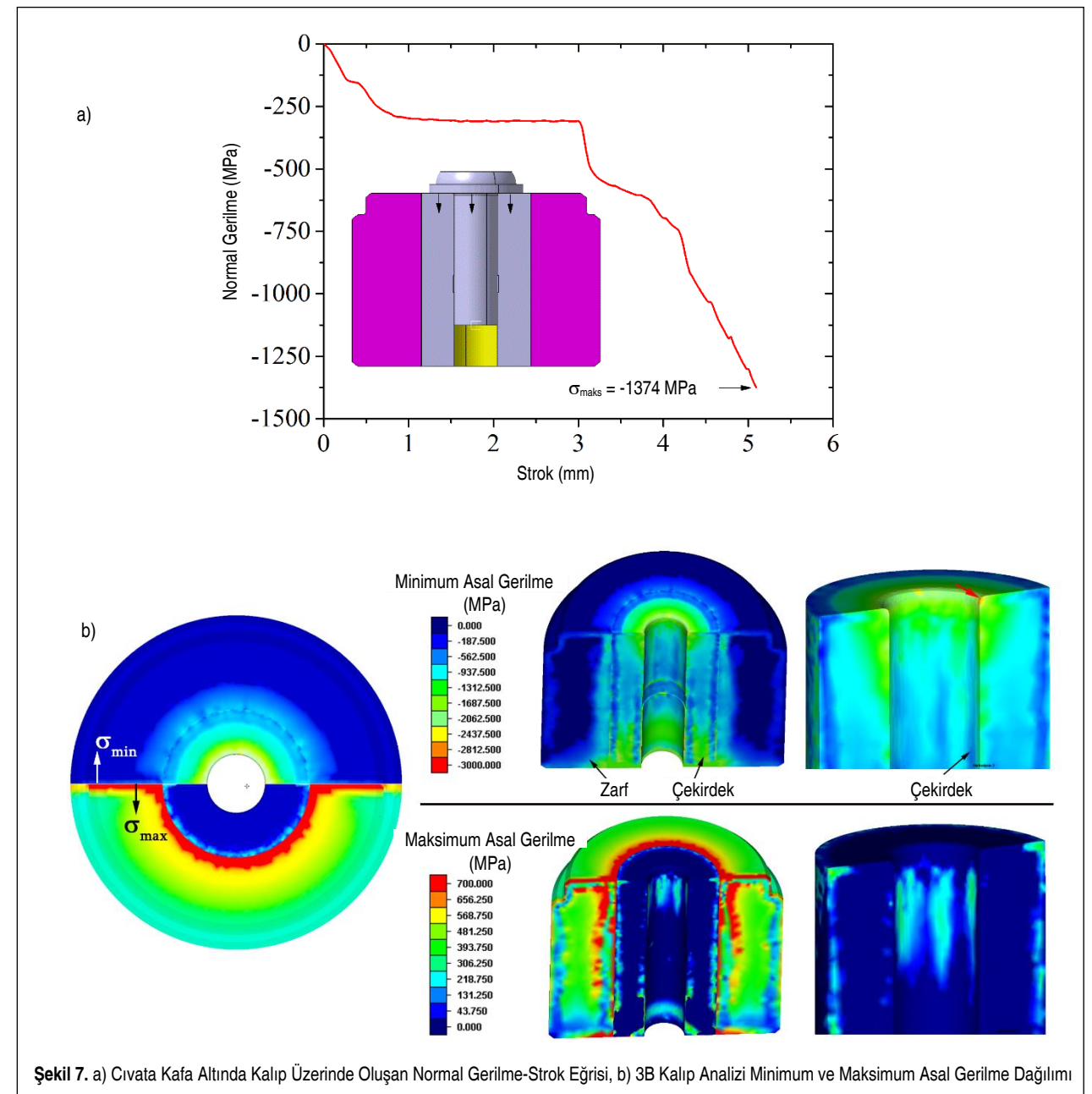
#### 4. SİMÜLASYON TAHMİNLERİ

Şekil 6'da, iş parçaları üzerinde meydana gelen efektif plastik gerinim dağılımları istasyonlara göre gösterilmektedir. Dövme gibi yüksek deformasyon içeren işlemlerde plastik gerinim değerleri 1'den yüksek olmaktadır. Yüksek plastik gerinim değerlerinin ana şekillenmenin gerçekleştiği kafa kısımlarında yoğunlaştığı görülmektedir. Ancak deformasyonun tüm kafa bölgesine olabildiğince homojen olarak dağıldığı, kalıp kırılmasına neden olacak şekilde belirli bölgelerde yoğunlaşmadığı görülmüştür.

Üç boyutlu gerilme analizine geçilmeden önce 3. istasyonda civata kafa altının çekirdek üzerinde meydana getirdiği nor-



Şekil 6. Her Bir İstasyonda İş Parçası Üzerinde Meydana Gelen Efektif Plastik Gerinim Dağılımı



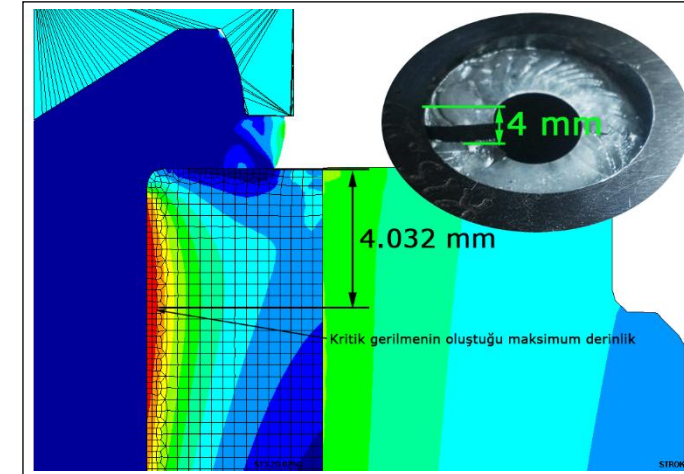
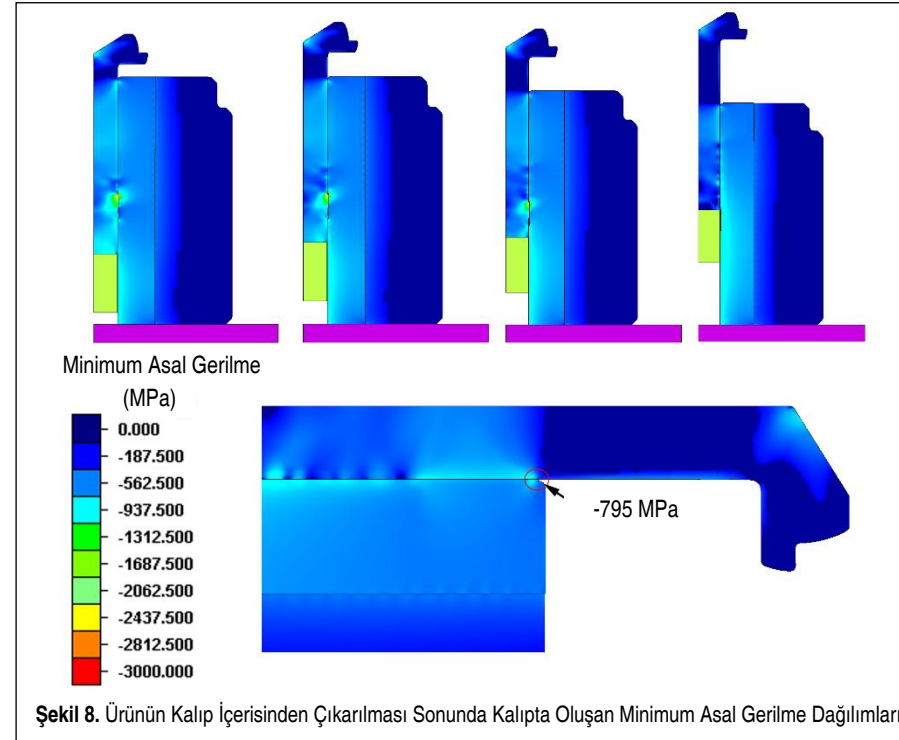
Şekil 7. a) Cıvata Kafa Altında Kalıp Üzerinde Oluşan Normal Gerilme-Strok Eğrisi, b) 3B Kalıp Analizi Minimum ve Maksimum Asal Gerilme Dağılımı



mal gerilme-strok eğrisi, simülasyondan alınan dövme kuvveti kullanılarak hesaplanmıştır. Mevcut analizlerde kalıpların hasara uğraması için şu kriterler kullanılmaktadır: i) çekirdek üzerinde minimum asal gerilme değeri 3000 MPa, maksimum asal gerilme değeri 700 MPa, ii) zarf üzerinde minimum asal gerilme değeri 2400 MPa, maksimum asal gerilme değeri 1380 MPa veya daha fazla olmasıdır. Şekil 7a'da gösterildiği gibi, işlem sonunda yaklaşık 1374 MPa basma gerilmesi oluşmuştur. Bu değer kırılmanın oluşması için oldukça düşüktür. Şekil 7b'de sabit kalıp üzerindeki minimum ve maksimum asal gerilme dağılımları gösterilmektedir. Burada zarf ve çekirdek arasında %0,5 sıkı geçme oranı kullanılmıştır. Çe-

kirdek üzerinde oluşan minimum asal gerilme değeri -2400 MPa'dır ve şekilde kırmızı ok ile gösterilen radyus üzerinde meydana gelmiştir. Maksimum asal gerilmeler çekirdek-te kafa altının hemen yakınında civata şaftının temas ettiği yüzeylerde meydana gelmiştir ve 300 MPa civarındadır. Elde edilen sonuçlara göre, M8 civatanın 3. istasyon sabit kalıbında kırılma beklenmemektedir.

Şekil 8'de, 3. istasyonda oluşan yarı mamul iş parçasının çıkarılması sırasında kalıpta oluşan minimum asal gerilme dağılımı gösterilmektedir. Şekilden görüleceği üzere, kalıp kırılmasının yaşandığı bölgede ölçülen en yüksek asal gerilme



değeri -795 MPa'dır. Bu durumda kalıpta herhangi bir hasar beklenmemektedir.

Çekirdek ile zarf arasındaki sıkı geçme değerinin dövme işlemi sırasında kalıpta oluşan gerilmelere olan etkisi Şekil 9'da gösterilmektedir. Burada sırasıyla 0,2% ve 0,5% sıkı geçme değeri kullanılmıştır. Minimum asal gerilme değerlerinde ve kalıpta oluşan maksimum değerlerde önemli bir değişim görülmemiştir (Şekil 9a). Kalıbın kırılma bölgesinde ise maksimum asal gerilme değerinin %0,2 sıkı geçme değerinde G55 malzemesinin çekme altındaki akma gerilmesini aştığı görülmüştür ve bu değer yaklaşık olarak 770 MPa civarındadır (Şekil 9b). Sıkı geçme değeri %0,5 olduğunda ise bu bölgede 198 MPa çekme gerilmesi oluşmaktadır. Bu öngörünün doğruluğunun sınanması amacıyla, %0,2 sıkı geçme değerinde oluşan maksimum asal gerilme noktası ile gerçek kalıpta kırılmanın başladığı noktanın kalıp yüzeyine olan uzaklığı karşılaştırılmıştır. Yapılan incelemede, kalıp kırılma başlangıç noktasının kalıp yüzeyinden yaklaşık 4 mm uzaklıkta olduğu belirlenmiştir. Şekil 10'da gösterildiği üzere, simülasyonda oluşan maksimum asal gerilme noktasının da yüzeyden yaklaşık 4,032 mm uzaklıkta olduğu belirlenmiştir. Simülasyon ile gerçek kırılma noktası tahmini çok iyi uyumaktadır.

## 5. SONUÇ

Bu makalede, orta karbonlu çelik alaşımından üretilen M8 civatanın sabit kalıbında meydana gelen kırılmanın sebepleri sonlu elemanlar simülasyonları kullanılarak incelenmiştir. Çalışma kapsamında, civataya dövme işleminin her bir istasyonu modellenmiş, daha sonra kalıbın sıkı geçme ve sıkı geçme sonrasında dövme işlemi sırasında gerilme analizi gerçekleştirilmiştir. Sonlu elemanlar simülasyonları SIMU-FACT FORMING paket programı ile oluşturulmuştur. Nümerik simülasyonlar M8 civatanın üretimi sırasında meydana gelen kalıp hasarının dövme işlemi ya da ürün ve kalıp tasarımı kaynaklı olmadığını göstermiştir. Kalıpta yaşanan kırılmanın

maksimum asal gerilme kaynaklı olduğu belirlenmiştir. Bu gerilme değerinin düşürülmesi amacıyla kalıpta kullanılan sıkı geçme değerinin artırılması gerekmektedir. Çalışma sonunda elde edilen kritik bir bilgi ise kalıp kırılma nedenlerinin doğru olarak anlaşılması ve çözümünde nümerik simülasyonlarından büyük fayda sağlanmasıdır. Özellikle kırılma nedenlerinin belirlenmesi için kalıplar üzerinde meydana gelen mekanik gerilme dağılımlarının incelenmesi gerekmektedir. Nümerik simülasyonlar mühendislere bu imkânı vererek problemlerin en kısa ve etkin şekilde çözülebilmesini sağlamaktadır. Bu nedenle, bu gibi programların üretim ile entegre olarak kullanımının sanayimizde yaygınlaştırılması gerekmektedir.

## KAYNAKÇA

1. Jeswiet, J., Geiger, M., Engel, U., Kleiner, M., Schikorra, M., Duffou, J., Neugebauer, R., Bariani, P., Bruschi, S. 2008. "Metal forming Progress since 2000," CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, vol. 1, no. 1, p. 2-17.
2. Berns, H., Melander, A., Weichert, D., Asnafi, N., Broeckmann, C., Groß-Weege, A. 1998. "A New Material for Cold Forging Tools," Computational Materials Science, vol. 11, no. 3, p. 166-180.
3. Skov-Hansen, P., Bay, N., Grønbaek, J., Brøndsted, P. 1999. "Fatigue in Cold-Forging Dies: Tool Life Analysis 1," Journal of Materials Processing Technology, vol. 95, no. 1-3, p. 40-48.
4. Cosenza, C., Fratini, L., Pasta, A., Micari, F. 2004. "Damage and Fracture Study of Cold Extrusion Dies," Engineering Fracture Mechanics, vol. 71, no. 7-8, p. 1021-1033.
5. Wagner, K., Putz, A., Engel, U. 2006. "Improvement of Tool Life in Cold Forging by Locally Optimized Surfaces," Journal of Materials Processing Technology, vol. 177, no. 1-3, p. 206-209.
6. Jhavar, S., Paul, C. P., Jain, N. K. 2013. "Causes of Failure and Repairing Options for Dies and Molds: A Review," Engineering Failure Analysis, vol. 34, p. 519-535.
7. Lee, H. C., Saroosh, M. A., Song, J. H., Im, Y. T. 2009. "The Effect of Shrink Fitting Ratios on Tool Life in Bolt Forming Processes," Journal of Materials Processing Technology, vol. 209, no. 8, p. 3766-3775.
8. Yurtdaş, S., U. İnce, C. Kılıçaslan, Yıldız, H. 2016. "A Case Study for Improving Tool Life In Cold Forging: Carbon Fiber Composite Reinforced Dies," Research on Engineering Structures & Materials, DOI:http://dx.doi.org/10.17515/resm2016.24me2902, son erişim tarihi:12.07.2016.
9. Asnafi, N. 1999. "On Tool Stresses in Cold Heading of Fasteners," Engineering Failure Analysis, vol. 6, no. 5, p. 321-335.
10. Ince, U., Güden, M. 2013. "An Iterative Numerical Method for Determination of Temperature-Dependent Friction Coefficients in Thermomechanical Model Analysis of Cold Bolt Forging," The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, vol. 68, no. 9, p. 2133-2144.

