

# 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

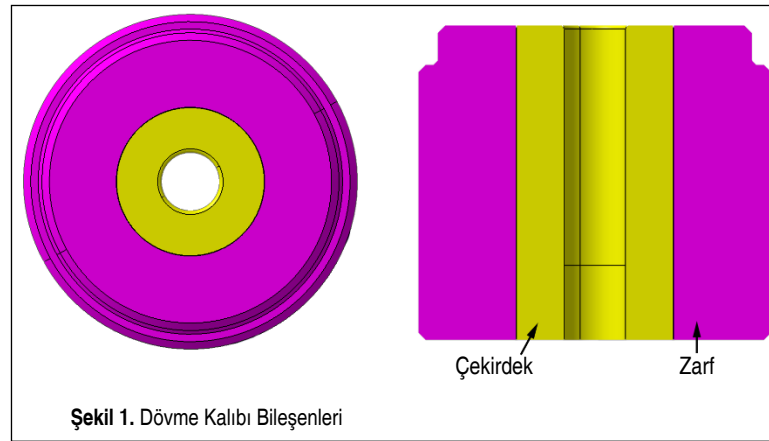
Kılıçaslan, C., İnce, U. 2016. "Soğuk Dövme Kalıplarında Meydana Gelen Kırılma Sebeplerinin Nümerik Olarak İncelenmesi," Mühendis ve Makina, cilt 57, sayı 678, s. 65-71.

## 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, cıvataya 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.

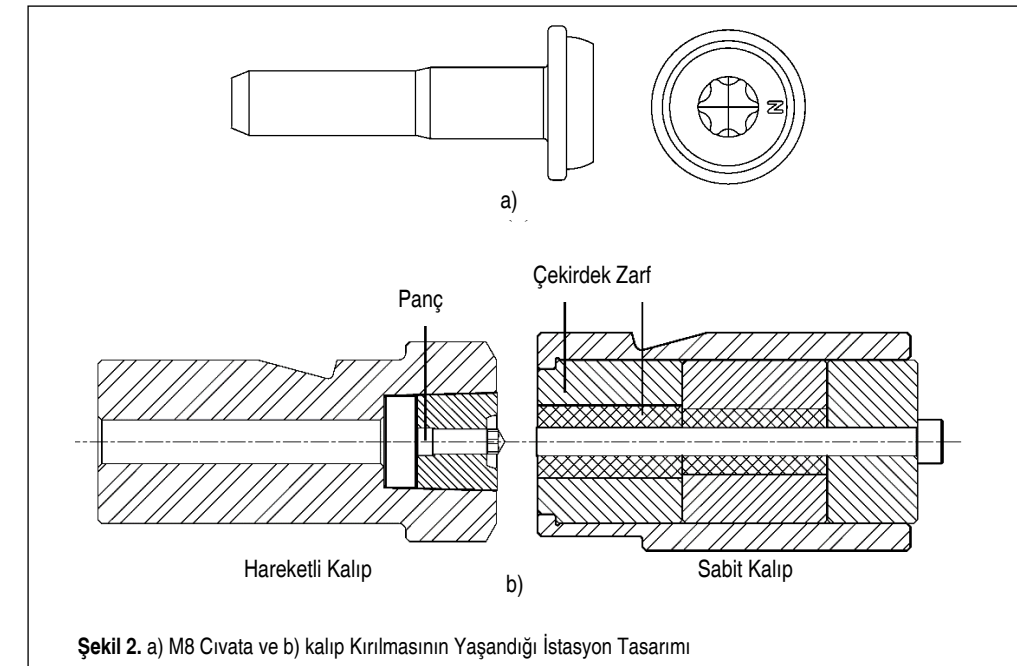
## 2. DÖME İŞLEMİ VE KALIP HASARI

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

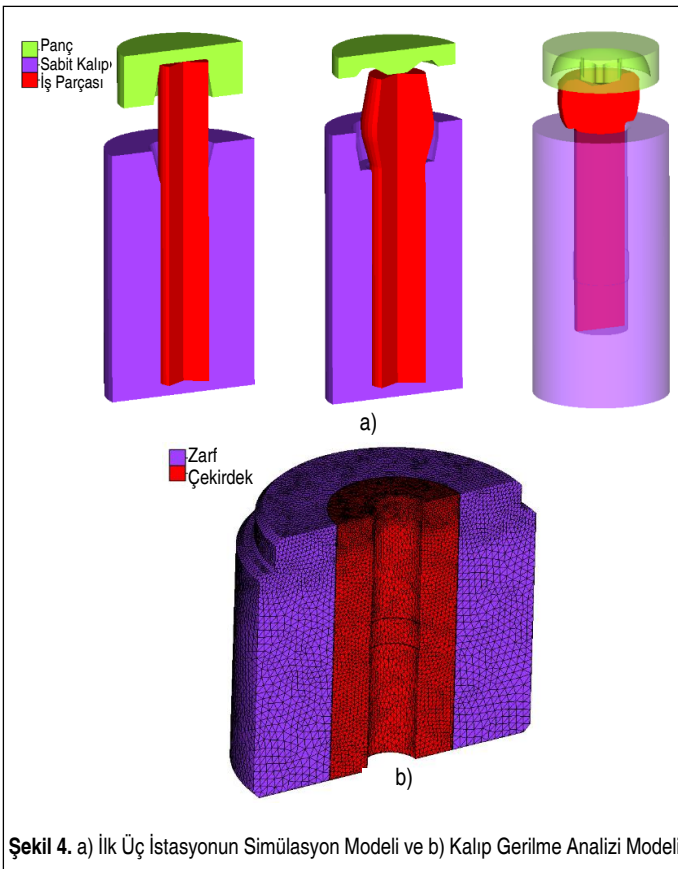




Şekil 3. Hasarlı Sabit Kalıplar

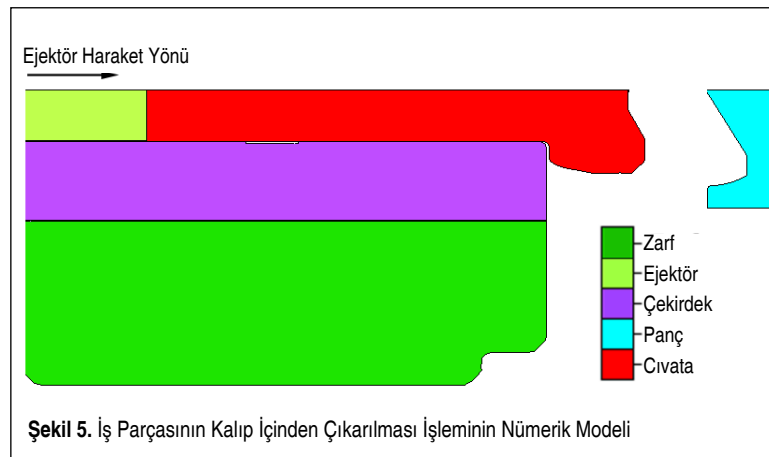
MING sonlu elemanlar yazılımı ile oluşturulmuştur. Simülasyonlar her bir istasyon için ayrı ayrı modellenmiş, istasyonda şekil verilen iş parçası bir sonraki istasyona aktarılarak işleme devam edilmiştir. İlk üç istasyona ait modeller Şekil 4a'da gösterilmiştir. Simülasyonlarda iş parçası plastik olarak 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.

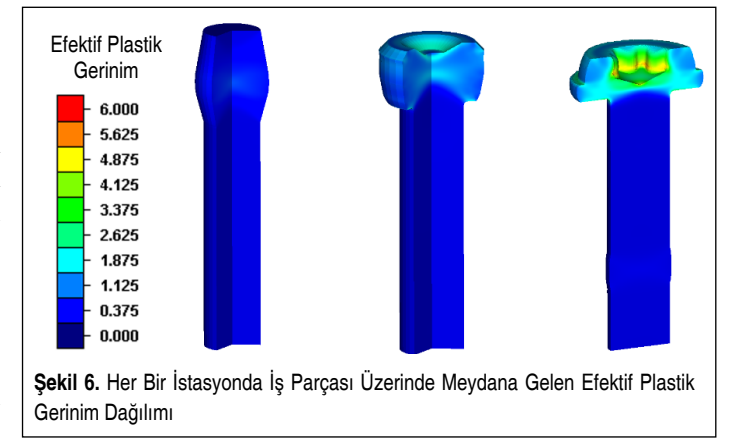


Şekil 5. İş Parçasının Kalıp İçinden Çıkarılması İşleminin Nümerik Modeli

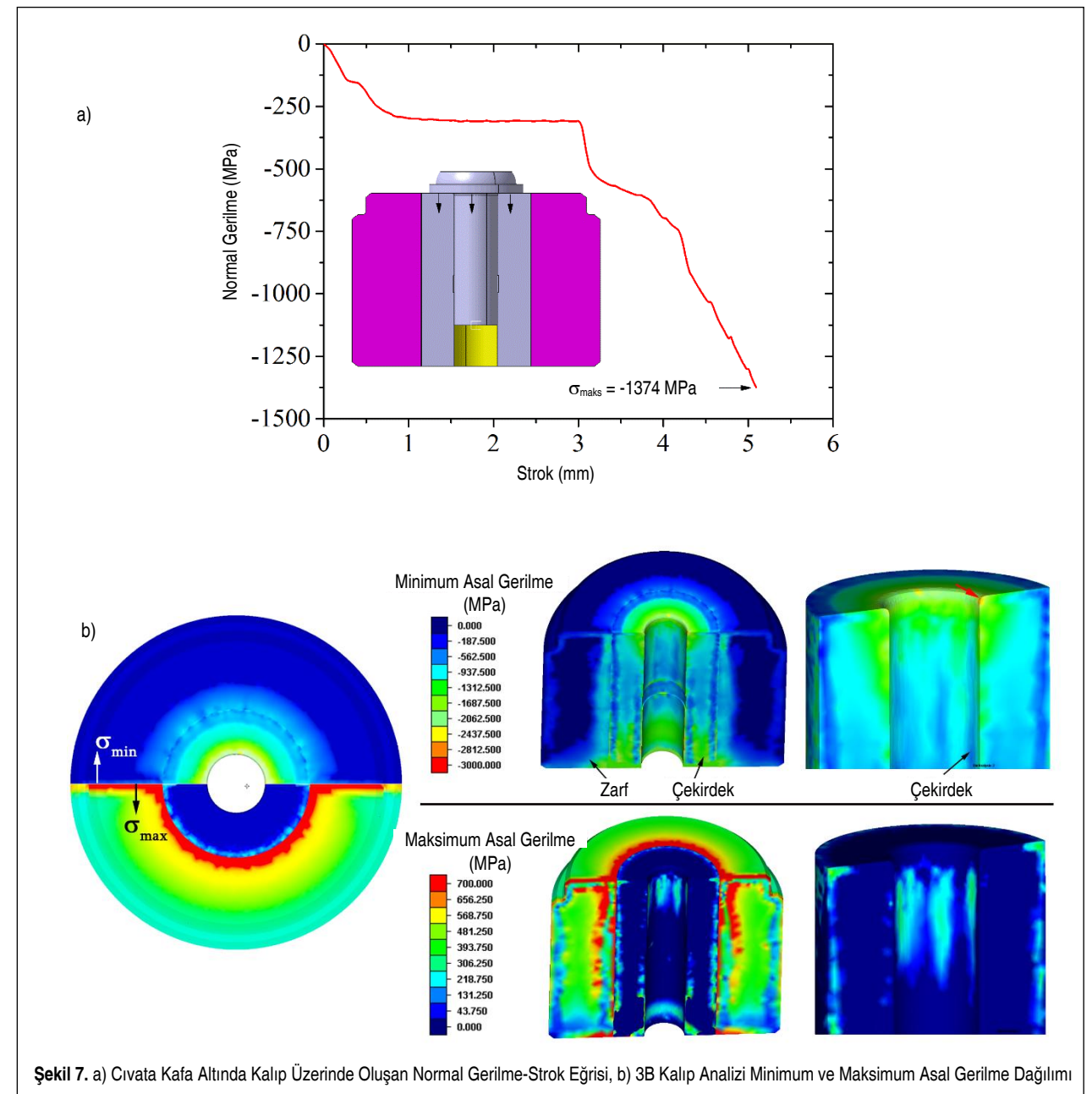
#### 4. SİMÜLASYON TAHMİNLERİ

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

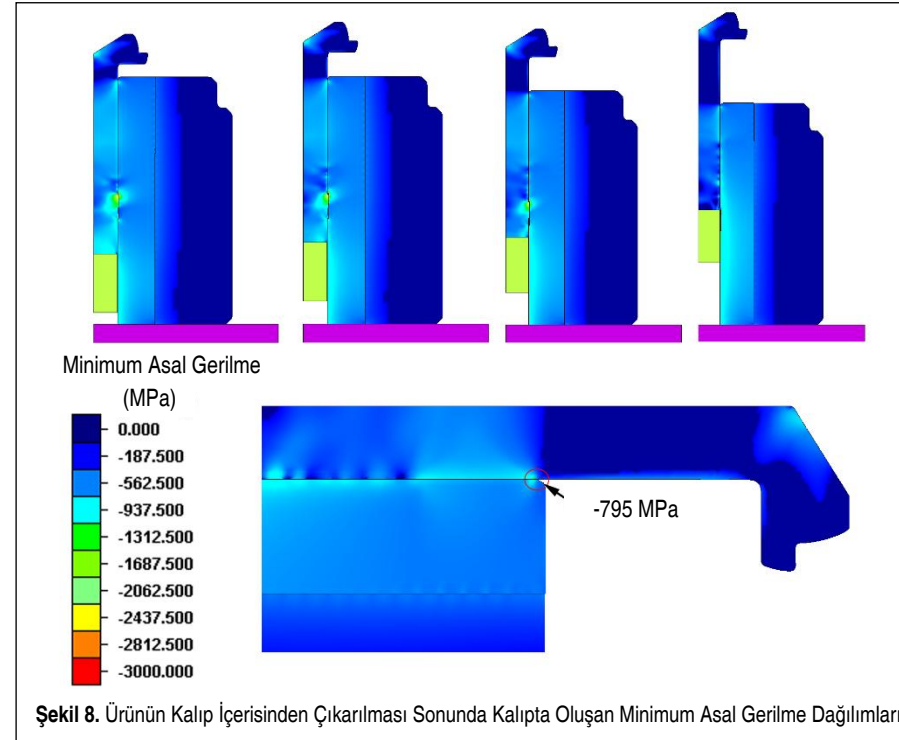


Şekil 7. a) Cıvata Kafa Altında Kalıp Üzerinde Oluşan Normal Gerilme-Strok Eğrisi, b) 3B Kalıp Analizi Minimum ve Maksimum Asal Gerilme Dağılımı

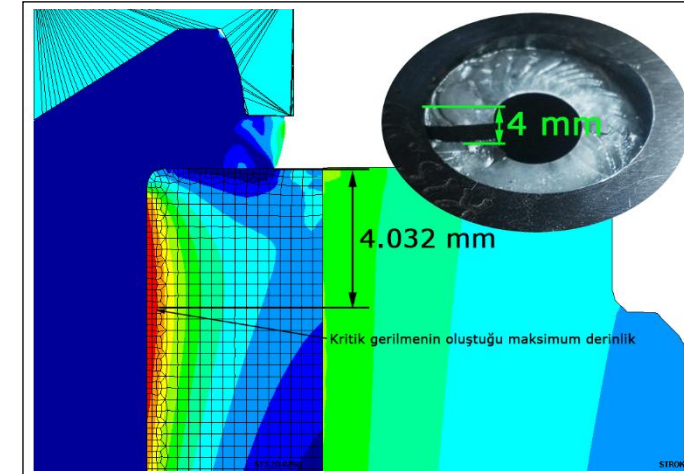
mal gerilme-strok eğrisi, simülasyondan alınan dövme kuvveti kullanılarak hesaplanmıştır. Mevcut analizlerde kalıpların hasara uğraması için şu kriterler kullanılmaktadır: i) çekirdek üzerinde minimum asal gerilme değeri 3000 MPa, maksimum asal gerilme değeri 700 MPa, ii) zarf üzerinde minimum asal gerilme 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



Şekil 8. Ürünün Kalıp İçerisinden Çıkarılması Sonunda Kalıpta Oluşan Minimum Asal Gerilme Dağılımları



Şekil 10. Kırılma Başlangıç Noktasının Kalıp Yüzeyinden Uzaklığı; Simülasyon Sonucu ile Hasarlı Kalıbın Karşılaştırılması

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.

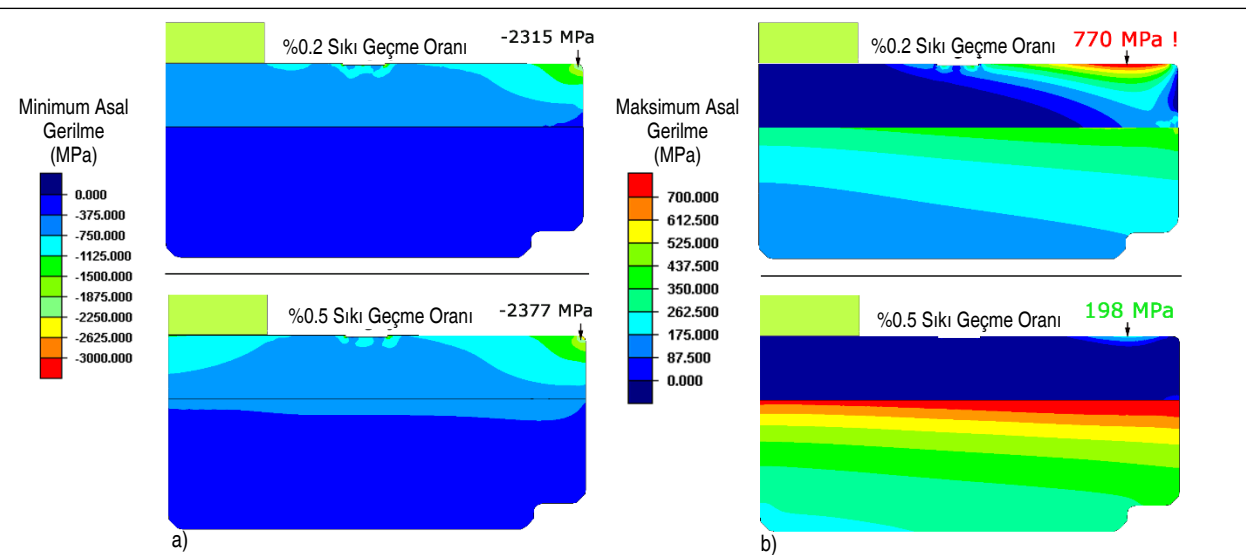
## 5. SONUÇ

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 paketi 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.



Şekil 9. %0,2 ve %0,5 Sıkı Geçme Değerlerinde Kalıplarda Oluşan a) Minimum ve b) Maksimum Asal Gerilme Dağılımları