



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

*Araştırma Makalesi*

## Sac Metal Malzemelerin Ilık Derin Çekme Yöntemiyle Şekillendirme Prosesinde Malzeme Karakterizasyonu

Nuri ŞEN<sup>a,\*</sup>, Naci KURGAN<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Karabük Üniversitesi, Karabük, TÜRKİYE

<sup>b</sup> Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun, TÜRKİYE

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: nurisen@egm.gov.tr

### ÖZET

Sac malzemelerin ılık derin çekme yöntemiyle şekillendirmesinde malzeme karakterizasyonu önemli bir aşamadır. Bu çalışmada; 1,2 mm ve 1,5 mm sac kalınlıklarında HC300LA (Erdemir 7128) ve HC420LA (Erdemir 7140) sac malzemelerinin ılık derin çekme yöntemiyle şekillendirme öncesi malzeme karakterizasyonu yapılmıştır. Şekillendirme hız hassasiyeti ve şekillendirme sıcaklık aralığının belirlenmesi ılık derin çekme ile şekillendirme prosesinin anahtar parametreleridir. İlk aşamada, sac malzemeler için hangi sıcaklık aralığında çekme testlerinin gerçekleştirileceği dilatometre testi sonucunda belirlenmiştir. Test sonucunda ılık şekillendirmede sıcaklık aralığı 150 °C ile 300 °C arasında belirlenmiştir. Sonraki aşamada, sac malzemelerin şekillendirme hız hassasiyetinin tespiti için oda sıcaklığı (RT), 150 °C ve 300 °C sıcaklıklarda 0,1 s<sup>-1</sup>, 0,01 s<sup>-1</sup> ve 0,00208 s<sup>-1</sup> deformasyon hızlarında çekme testleri yapılmıştır. Çekme testleri sonucunda, HC300LA malzemesine ait gerilim-uzama diyagramlarında hıza ve yöne bağlı olarak, dikkate alınacak düzeyde bir farklılık tespit edilmemiştir. Ancak, HC420LA malzemeye ait gerilim-uzama diyagramında hıza ve yöne bağlı olarak yaklaşık 20 MPa fark tespit edilmiştir. Son aşamada da sertlik ölçümü, mikro yapı incelemesi ve Şekillendirme Sınır Diyagramı (FLD) testleri yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Ilık derin çekme, HC300LA, HC420LA

## Material Characterization in Warm Deep Drawing Process of Sheet Metal Materials

### ABSTRACT

The material characterization is an important step in warm deep drawing process. In this study, material characterization of HC300LA and HC420LA sheet material were done before forming with warm deep drawing. Strain rate sensitive and forming temperature range are key parameters in warm deep drawing process. In first step, temperature range of the tensile test are determined. As a result of Dilatometer testing, warm forming temperature range were determined as 150 °C to 300 °C. In the next stage, to determine rate sensitive of sheet material, the tensile test were performed at 0.1 s<sup>-1</sup>, 0.01 s<sup>-1</sup> and 0,00208 s<sup>-1</sup> deformation rate and at room, 150 °C and 300 °C temperatures. As a result of tensile test, depending on the rate and direction in the stress-strain diagram of HC300LA material, differences were not observed. However, depending on the rate and direction in the stress-strain diagram of HC420LA material, 20 MPa difference was observed. In the last stage, hardness measurement, microstructure analysis and Forming Limit Diagram (FLD) tests were conducted.

**Keywords:** Warm deep drawing, HC300LA, HC420LA

## I. GİRİŞ

**D**ERİN çekme yöntemi, başta otomotiv sektörü olmak üzere imalat sektörünün birçok alanında sac malzemelerin şekillendirilmesinde kullanılmaktadır. Sac malzemelerin pres altında şekillendirilmesi işlemlerinde; yırtılma, bölgesel aşırı incelmeler, geri esneme, kulaklanma, kırışma gibi istenmeyen oluşumların yanı sıra, kalıplardaki aşınmalara bağlı olarak biçim ve ölçü sapmaları ortaya çıkmaktadır. Bu kusurlar, şekillendirilen ürünün kalitesini düşürmekte, sac malzemenin şekillendirilmesini zorlaştırmaktadır. Bu kusurların şekillendirilmiş ürün üzerinden giderilmesi maliyeti arttırmaktadır. Kalıplama faktörlerinin kalıp imalatından önce doğru tahmin edilerek, henüz tasarım aşamasında iken gereken önlemlerin alınması ve imalat sürecinin kontrol edilebilmesi bu alanlarda faaliyet gösteren firmaların ürün kalitesi ve rekabet gücü açısından kaçınılmaz olmaktadır. Bu faktörlerin yanı sıra, malzeme ile ilgili faktörlerin de göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bazı faktörler malzeme karakterizasyon testleri ile belirlenmektedir. Malzeme karakterizasyon testleri ile deney düzeneğinin hazırlanması aşamasında kullanılacak veriler elde edilmektedir. Aynı zamanda bu elde edilen veriler sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak analiz çalışmaları yapılacaksa bu çalışmalarda da kullanılabilir. Elde edilen bu veriler vasıtasıyla; şekillendirmede kullanılacak pres tezgahının büyüklüğü, kalıp ekipmanlarında kullanılacak malzeme özellikleri, baskı plakası kuvvetinin hesaplanması, sıcak şekillendirme için ısıtıcı, yağlayıcı, sıcaklık ölçer ve diğer ekipmanların seçimi mümkün olmaktadır.

Farklı tipteki sac malzemelerin ılık şekillendirme yöntemi ile derin çekilebilirliği üzerine çok sayıda deneysel çalışma bulunmaktadır. Kotkunda ve diğ. Ti-6Al-4V alaşım sacının şekillendirilebilirliğini oda sıcaklığından 400 C'ye kadar değişen sıcaklıklarda incelemiştir [1]. Kumar vd. geleneksel alüminyum malzemelerden daha büyük dayanıma sahip olan 7000 serisi alüminyum malzemelerin ılık şekillendirilebilirliğini araştırmışlardır [2]. Sert alüminyum malzemelerden olan AA7075 ve AA5754-O sac malzemelerin de ılık şekillendirilebilirliği farklı çalışmalarda araştırılmıştır [3,4]. Paslanmaz çelik sac malzemeler yüksek korozyon dayanımı, yüksek mekanik dayanım ve kaliteli yüzey görüntüsünden dolayı endüstride çok sayıda sektörde kullanılmaktadır. Ancak bu sac malzemelerin de oda sıcaklıklarında şekillendirilebilirlikleri diğer yüksek gerilimli sac malzemeler gibi sınırlıdır. ASS 304 sac malzemelerin de ılık şekillendirme yöntemiyle şekillendirilebilirlikleri araştırılmıştır [5-7]. Otomotiv uygulamalarında alüminyum ve yumuşak çelikler gibi yaygın kullanılan malzemelerin yerine magnezyum alaşımlarının kullanımları giderek artmaktadır. Ancak, magnezyum alaşımlarının da oda şartlarında şekillendirilebilirlikleri sınırlıdır. Bu nedenle ılık şekillendirme yöntemleriyle Magnezyum alaşımlarının da şekillendirilebilirlikleri çok sayıda araştırılmıştır [8-10].

Ilık şekillendirme yöntemi, yüksek gerilimli sacların şekillendirilmesi için yenilikçi bir şekillendirme yöntemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Ilık şekillendirme çalışmalarında, oda sıcaklıklarında şekillendirilebilirlikleri sınırlı olan Alüminyum 7XXX ve Alüminyum 5XXX serileri, Paslanmaz çelik ve Magnezyum alaşımları gibi sac malzemelerin şekillendirilebilirlikleri araştırılmıştır. Ilık şekillendirme yöntemiyle bu sac malzemelerin şekillendirme oranlarının kayda değer bir oranda arttığı gözlemlenmiş ve bu tür şekillendirilemeyen sac malzemeler için bu yöntemin ideal bir şekillendirme yöntemi olduğu tespit edilmiştir.

Konu ile ilgili literatür incelendiğinde, otomotiv endüstrisinde yoğun bir şekilde kullanılan ve oda sıcaklığında şekillendirilmesi sınırlı olan yüksek gerilimli HC300LA ve HC420LA sac malzemelerin ılık şekillendirme ile derin çekilebilirliğinin araştırılmadığı tespit edilmiştir. Deneysel çalışmalar için kullanılacak malzeme karakterizasyon verilerinin olmayışı önemli bir eksiklik olarak

değerlendirilmektedir. Bu çalışmada, malzeme karakterizasyon testleri ile HC300LA ve HC420LA sac malzemelerinin karakterizasyonu amaçlanmıştır.

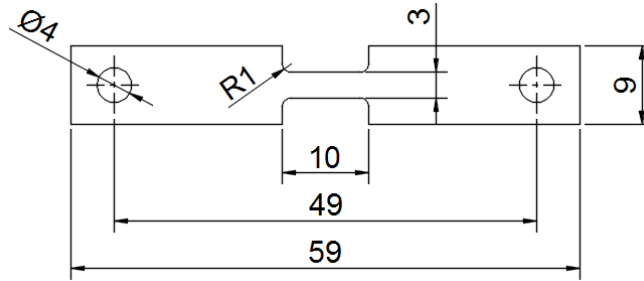
## II. YÖNTEM

Otomotiv endüstrisinde kullanılan ve soğuk şekillendirmeye uygun, yüksek akma dayanımlı, soğuk haddelenmiş çeliklerden HC300LA ve HC420LA kalite çeliği sac malzemelerin ılık derin çekme yöntemiyle şekillendirme prosesi öncesi malzeme karakteristiklerinin belirlenmesi için yapılan testler açıklanmıştır. Bu testler; soğuk ve sıcak çekme, şekillendirme öncesi ve sonrası sertlik ölçme testleri, şekillendirme sınır diyagramı ve mikro yapı incelemesinden oluşmaktadır. Çekme testlerinde kullanılacak test malzemeleri, tel erozyon tezgâhında kesilerek hazırlanmıştır. FLD testi için de test numuneleri su jeti ile kesilerek hazırlanmıştır.

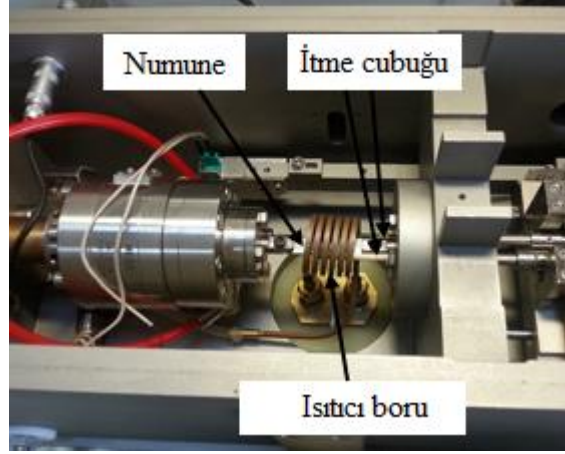
### *A. ÇEKME TESTİ*

Çekme testi, malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi ve mekanik davranışlarına göre sınıflandırılması amacıyla yapılmaktadır. Çekme deneyi sonucunda elde edilen veriler mühendislik hesaplamalarında doğrudan kullanılmaktadır [11]. Bu çalışmada, çekme testi soğuk çekme ve sıcak çekme olmak üzere iki farklı ortamda yapılmıştır. Çekme testi numunelerinin ölçüleri Şekil 1’de verilmiştir.

Test malzemesinin mekanik özelliklerini ve optimum şekillendirme sıcaklık aralığının tespiti için, Şekil 2’de üstten görünüşü verilen Bähr DIL805A/D dilatometre test cihazı ile  $0,1 \text{ s}^{-1}$ ,  $0,01 \text{ s}^{-1}$  ve  $0,00208 \text{ s}^{-1}$  deformasyon hızlarında sac malzemenin RT, 150 ve 300 °C sıcaklıklarda çekme testleri yapılmıştır.



*Şekil 1. Çekme testi numunesi*



*Şekil 2. Dilatometre cihazında çekme işlemi*

### *B. SERTLİK ÖLÇÜM TESTİ*

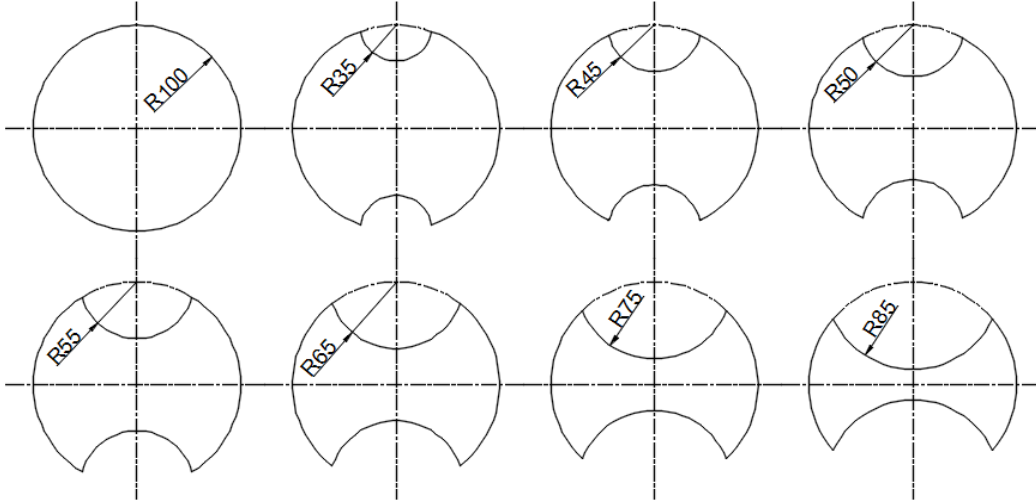
Malzemelerin dislokasyon hareketine veya plastik deformasyona karşı gösterdikleri direnç, sertlik olarak ifade edilmektedir [11]. Vickers sertlik deneyi, piramit biçiminde ve tabanı kare olan bir batıcı uç kullanılarak, malzeme yüzeyine belirli bir yük altında belirli bir süre batırılması ile oluşan izin köşegen uzunluklarının ölçülmesi ile yapılmaktadır [11]. Bu çalışmada da sac malzemelerin deneysel çalışma öncesi ve sonrasında sertlikleri ölçülmüştür. Sertlik ölçümü, ılık derin çekme testleri sonucunda sıcaklığın etkisiyle malzeme sertliğinde herhangi bir kayıp olup olmadığı kontrol etmek için yapılmıştır. Sertlik ölçüm işlemi deneysel çalışma öncesi test parçalarının üst yüzeyinden ölçülerek yapılmıştır. Deneysel çalışma sonrası sertlik ölçümü için ise test parçaları tel erozyon tezgâhında kesilerek Şekil 3’de görüldüğü gibi Bakalit malzemeye gömülmüştür. Tel erozyon tezgâhında hazırlanan numunelerde oluşması muhtemel sertleşmenin giderilmesi ve Optik Mikroskop (OM) görüntülerinin alınması için bakalite gömülmüş numuneler 120, 350, 500, 800 ve 1200 numaralı zımparalarla temizlenmiştir. Parlatma işlemi 6, 3 ve 1  $\mu\text{m}$ 'lik keçelerle çizikler giderilerek ölçümler gerçekleştirilmiştir. Sertlik ölçümleri, incelmenin daha fazla olduğu zımba kavis bölgesi ve duvarlarından yapılmıştır. Ölçümler, Emcotest marka sertlik ölçüm cihazında yapılmıştır.



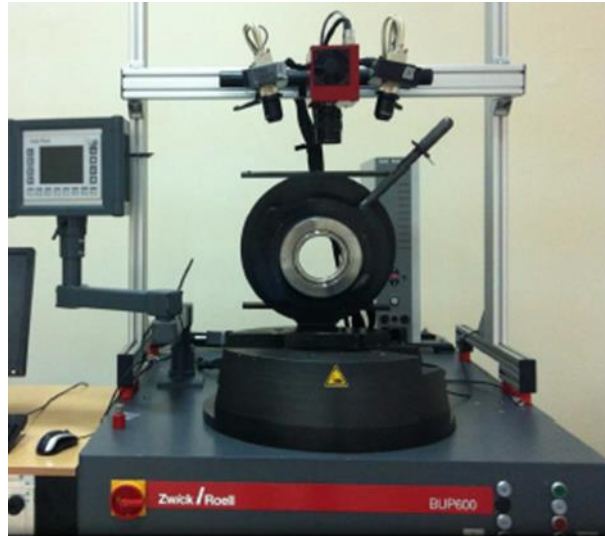
*Şekil 3. Sertlik ölçümü için bakalite gömülmüş test numuneleri*

### C. ŞEKİLLENDİRME SINIR DİYAGRAMI

Şekillendirme sınır diyagramı (FLD), metallerin şekillendirilebilirliğini değerlendirmede ve şekil verme esnasında ortaya çıkan problemlerin analizi ve çözümlerinde çok yaygın kullanılmaktadır. Malzemenin farklı şekil değiştirme durumlarında şekillendirilebilirlik sınırlarını büyük (major) ve küçük (minor) birim şekil değiştirme (strain) oranları cinsinden ifade eden diyagram “Şekillendirme Sınır Diyagramı” olarak adlandırılmaktadır. Bu diyagram, basit çekme deneyinden başlayarak, düzlem birim şekil değiştirme ve iki eksenli çekme durumlarının hepsini ihtiva etmektedir [12]. Hazırlanan FLD testi numuneleri Şekil 4’de gösterilmektedir. FLD testleri Şekil 5 ’de gösterilen BUP600 test cihazında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4. Şekillendirme sınır diyagramı test numunelerinin boyutları

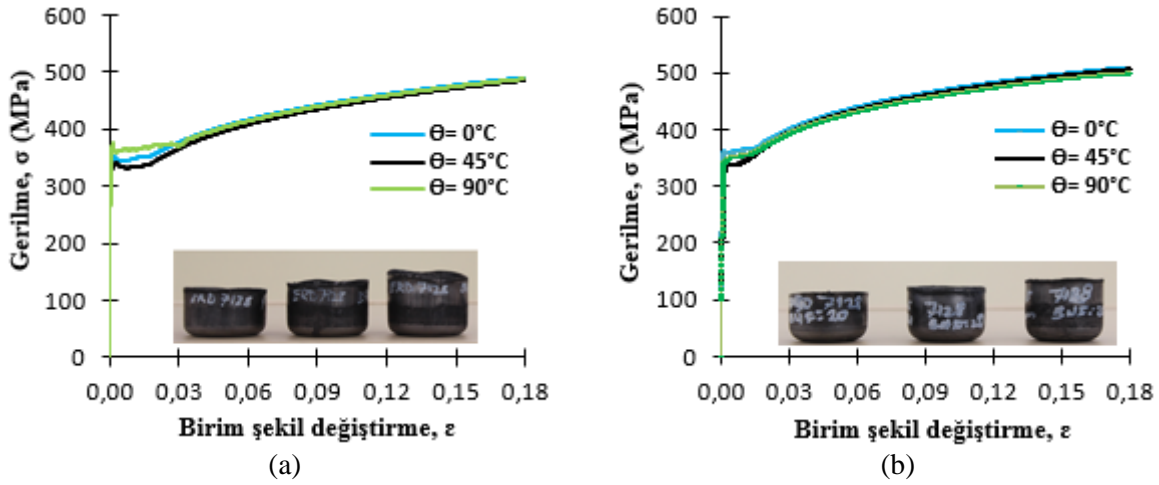


Şekil 5. Şekillendirme sınır diyagramı testi cihazı (BUP600)

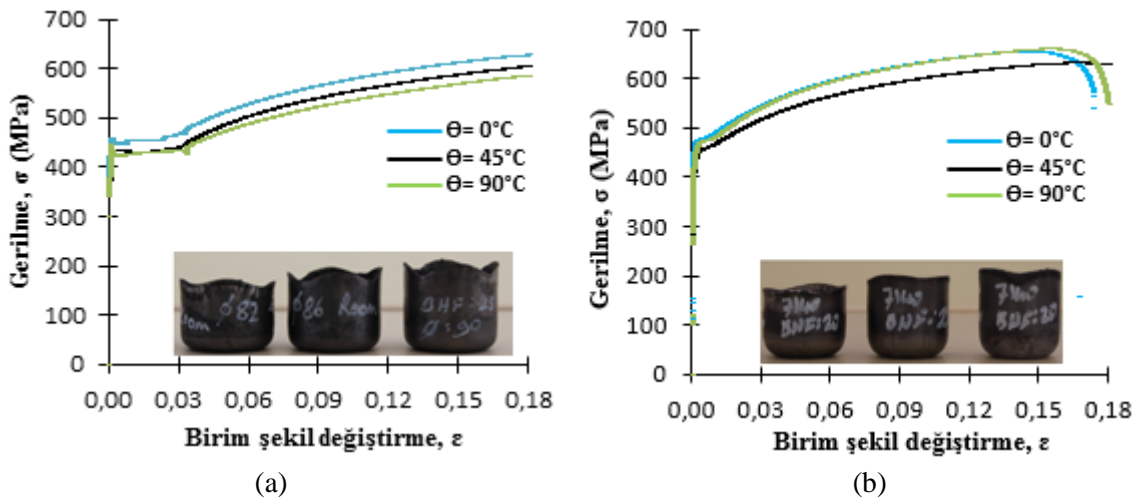
### III. BULGULAR ve TARTIŞMA

Hadde yönüne bağlı farklı özellik gösteren malzemelerin derin çekilme işlemi sonucunda, silindirik kapların dış kenarlarında kulak adı verilen eğrilikler meydana gelmektedir. Bu kulakların sayısı ve eğriliklerin yüksekliği şekillendirilen malzemede hadde yönüne bağlılığın miktarı hakkında bilgi vermektedir. Deneysel çalışma öncesi deney numunesinin şekillendirilmesinde hız hassasiyetinin tespiti için yapılan çekme testleri sonucunda elde edilen Gerilme-Birim uzama grafikleri aşağıda verilmiştir.

Silindirik derin çekme işlemlerinde hadde yönü, gerilmeyi ve uzama miktarını etkileyen önemli bir parametredir. Çekme testlerinde  $0^\circ$  hadde yönünde gerilme değeri en yüksek çıkarken,  $90^\circ$  hadde yönünde ise gerilme değeri en düşük çıkmaktadır. Uzama miktarı da  $0^\circ$  hadde yönünde daha fazla olmaktadır. Aynı zamanda hadde yönü silindirik derin çekme işlemlerinde şekillendirilen numunelerde kulaklanmaya sebep olmaktadır.  $0^\circ$  hadde yönünde kulak yüksekliği maksimum olmaktadır.



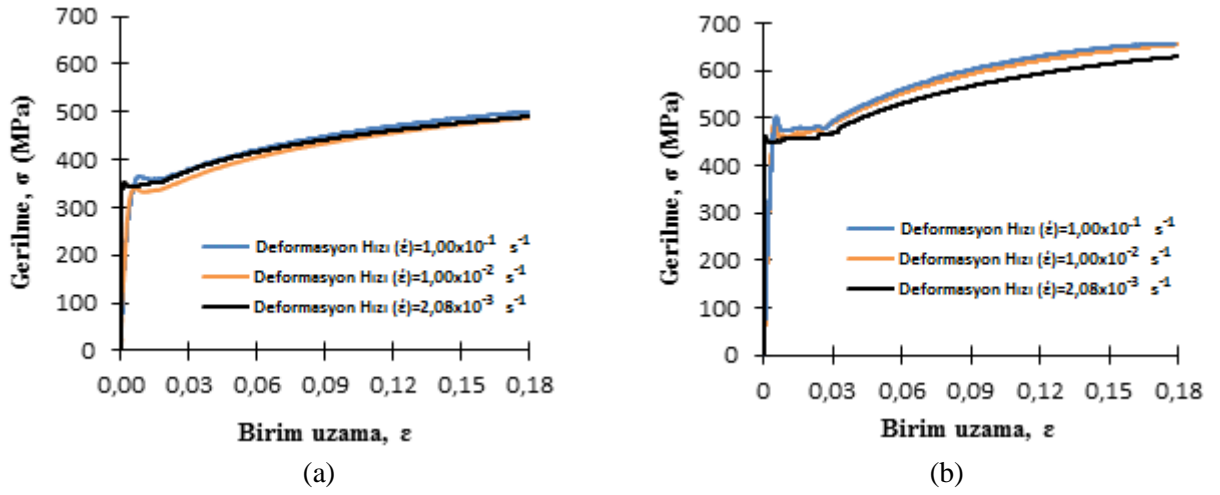
Şekil 6. HC300LA sacının yöne bağlı karakteristiğinin belirlenmesi için, hadde yönüne göre  $0^\circ$ ,  $45^\circ$  ve  $90^\circ$  doğrultulardaki çekme test sonuçları. a)  $t=1,2$  mm b)  $t=1,5$  mm



Şekil 7. HC420LA sacının yöne bağlı karakteristiğinin belirlenmesi için, hadde yönüne göre  $0^\circ$ ,  $45^\circ$  ve  $90^\circ$  doğrultulardaki çekme test sonuçları. a)  $t=1,2$  mm b)  $t=1,5$  mm

Soğuk derin çekme işlemi ve çekme testi sonuçlarına göre, Şekil 6'daki grafiklerden de görüleceği gibi HC300LA kalite çeliğinde her iki kalınlık içinde kulak oluşumu gözlemlenmemiştir. Ancak Şekil 7'deki grafikler incelendiğinde HC420LA kalite çeliğinde  $t=1,2$  mm kalınlıktaki kulak oluşumu,  $t=1,5$  mm kalınlıktaki kulak oluşumuna göre daha belirgindir. Bu durum, HC420LA malzemesinin anizotropik yapısından kaynaklanmaktadır. Derin çekme işlemi sonrası parçalar üzerinde kulak oluşumunun gözlemlenmemesi, deneysel çalışma öncesi  $0^\circ$ ,  $45^\circ$  ve  $90^\circ$  hadde yönlerinde yapılan çekme testinde gerilim-uzama grafiklerinde gerilimlerin üst üste çıkması ile de gözlemlenmektedir.

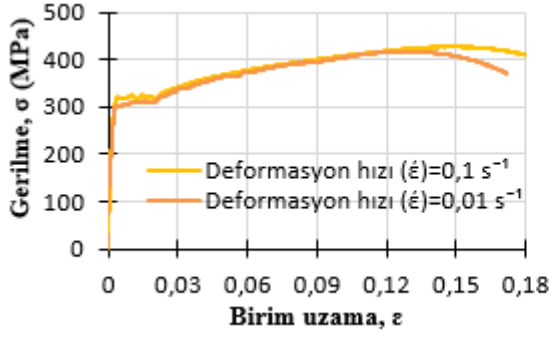
RT koşullarında,  $0,1 \text{ s}^{-1}$ ,  $0,01 \text{ s}^{-1}$  ve  $0,00208 \text{ s}^{-1}$  deformasyon hızlarında yapılan çekme testlerinde, HC300LA malzemenin uzama hızına bağlı olarak akma özelliklerindeki değişimin az olduğu gözlemlenmiştir. Fakat HC420LA malzemenin uzama hızına bağlı olarak akma özelliklerindeki değişimin HC300LA malzemeye göre fark olduğu Şekil 8'deki grafiklerden de gözlemlenmektedir.



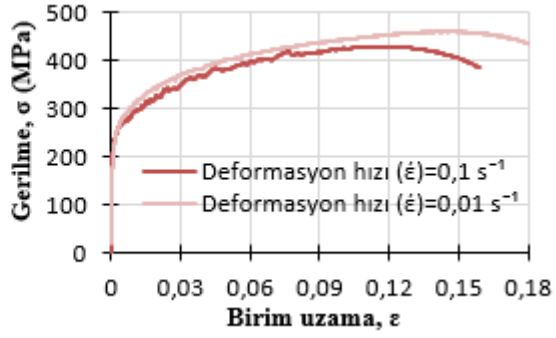
**Şekil 8.** Malzemenin oda sıcaklığında yapılmış, farklı uzama hızlarındaki akma eğrileri. **a)** HC300LA,  $t=1,2$  mm  
**b)** HC420LA,  $t=1,2$  mm

İlk derin çekme deneylerinde sac malzemenin hıza bağlılığını ve şekillendirme sıcaklık aralığının tespiti için  $150 \text{ }^\circ\text{C}$  ve  $300 \text{ }^\circ\text{C}$  sıcaklıklarda,  $0,1 \text{ s}^{-1}$  ve  $0,01 \text{ s}^{-1}$  deformasyon hızlarında çekme testleri yapılmıştır. Testler sonucunda elde edilen Gerilme-Birim uzama grafikleri Şekil 9 ve Şekil 10'da verilmiştir.



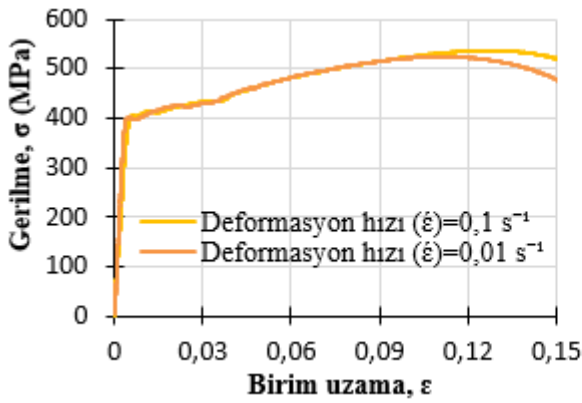


(a)

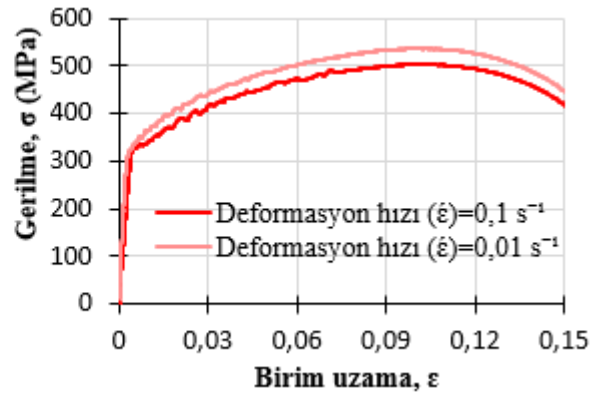


(b)

Şekil 9. HC300LA,  $t=1,2$  mm için, malzemenin farklı uzama hızlarında ve farklı sıcaklıklarda akma eğrileri  
a) 150 °C b) 300 °C



(a)



(b)

Şekil 10. HC420LA,  $t=1,2$  mm için, malzemenin farklı uzama hızlarında ve farklı sıcaklıklarda akma eğrileri  
a) 150 °C b) 300 °C

150 °C sıcaklıklarda,  $0,1 \text{ s}^{-1}$  ve  $0,01 \text{ s}^{-1}$  deformasyon hızlarında yapılan çekme testlerinden elde edilen Şekil 9 (a) ve Şekil 10 (a) grafikleri incelendiğinde, her iki malzeme türünde de grafikler üst üste çakışmıştır. Bu durum, 150 °C sıcaklıklarda şekillendirmelerde HC300LA sac malzemedeki hızla bağlı bir hassasiyetin olmadığını gözlemlenmiştir.

300 °C sıcaklıklarda,  $0,1 \text{ s}^{-1}$  ve  $0,01 \text{ s}^{-1}$  deformasyon hızlarında yapılan çekme testlerinden elde edilen Şekil 9 (b) ve Şekil 10 (b) grafikleri incelendiğinde, HC300LA sac malzemedeki kayda değer bir hız hassasiyeti gözlemlenmezken, HC420LA sac malzeme grafiklerinde ise yaklaşık 20 MPa gerilim farkı gözlemlenmiştir.

Ayrıca, Şekil 9 (b) ve Şekil 10 (b) grafiklerinde, 300 °C sıcaklıklarda gerçekleştirilen çekme testlerinde hem HC300LA sac malzeme hem de HC420LA sac malzeme türü için Dinamik Deformasyon Yaşlanması (Dynamic Strain Aging - DSA) bir sonucu olarak yük dalgalanmaları gözlemlenmiştir. Gözlemlenen DSA, 300 °C ve üzeri sıcaklıklarda bu malzemelerin kırılma yapıya dönüştüğünü ve şekillendirilebilirliğinin düştüğünü göstermektedir.

HC300LA ve HC420LA sac malzemelerinin şekillendirme öncesi ve sonrası sertlik ölçümleri yapılmıştır. Şekillenmemiş sac malzemelerin sertlik ölçümleri Tablo 1'de, Şekillenmiş sac malzemelerin sertlik ölçümleri Tablo 2'de verilmiştir.



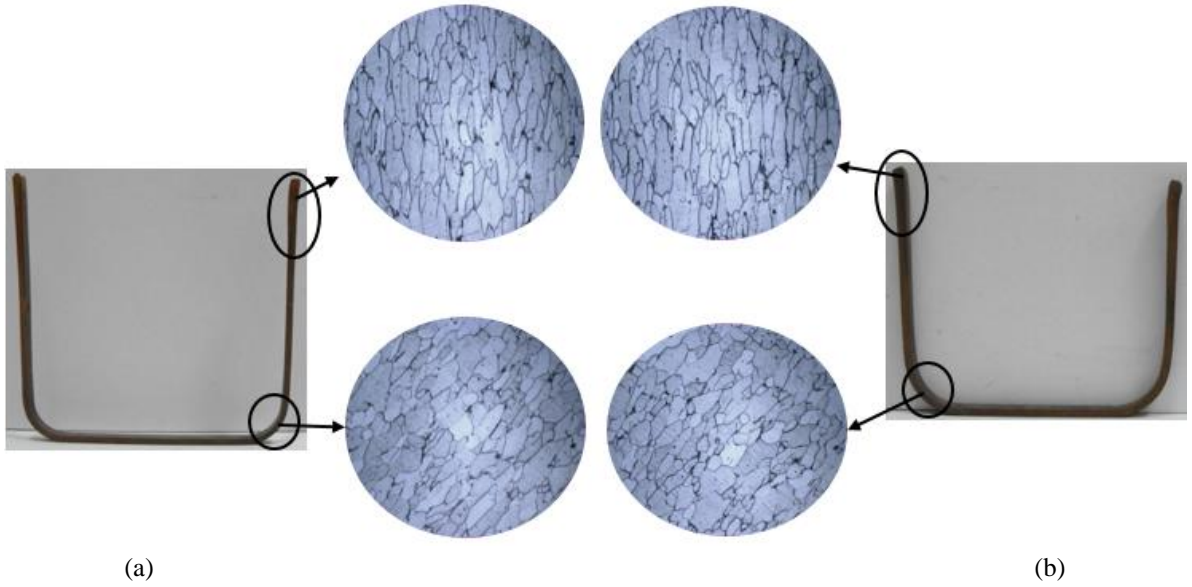
**Tablo 1.** İlk şekillendirme işlemi öncesi sertlik ölçümleri (RT)

Ölçüm Cinsi	HC300LA		HC420LA	
	t=1,2 mm	t=1,5 mm	t=1,2 mm	t=1,5 mm
HV10	140	145	180	185

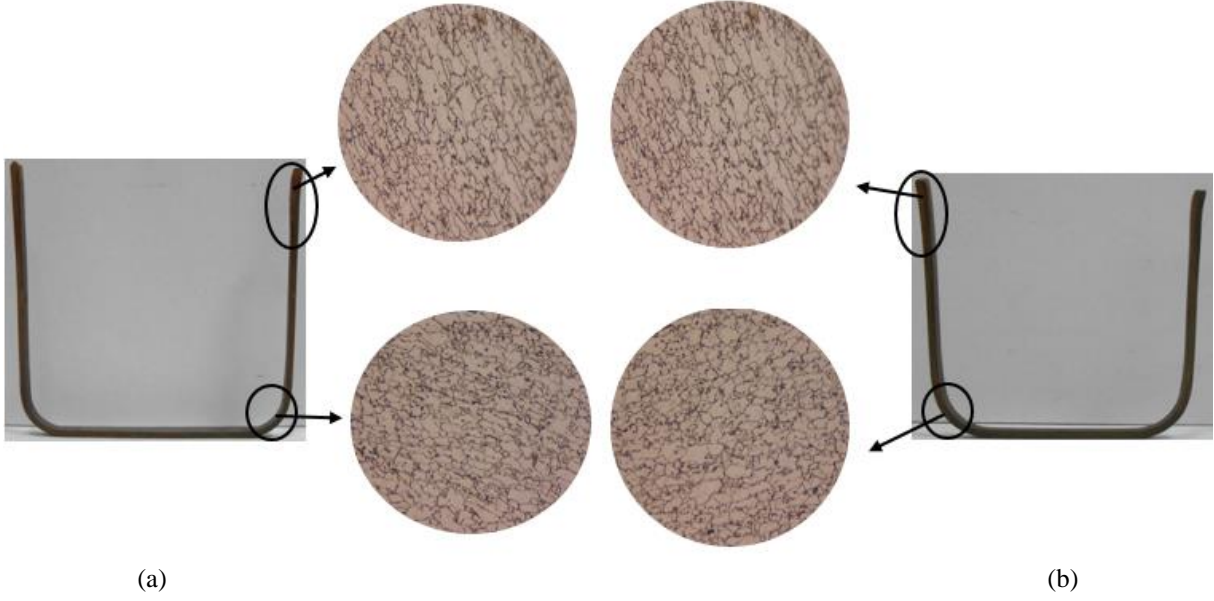
**Tablo 2.** İlk şekillendirme işlemi sonrası sertlik ölçümleri (150° C ve 300° C)

Ölçüm Cinsi	HC300LA		HC420LA	
	t=1,2 mm	t=1,5 mm	t=1,2 mm	t=1,5 mm
HV10	145	143	183	182

Sertlik ölçüm tabloları incelendiğinde, ılık şekillendirme prosesinde malzeme sertliğinde bir değişim olmadığı gözlemlenmiştir. Ilık şekillendirme proseslerinde şekillendirilmiş malzemenin mikro yapısındaki değişimlerinin de incelenmesi gerekmektedir. Ilık derin çekme yöntemiyle yapılan şekillendirme işlemleri sonucunda; malzemelerin, duvar ve kavis bölgelerindeki mikroyapılar incelenmiştir. Her iki malzeme türü için iç yapıda değişiklik gözlenmemiş olup, sadece tane uzaması ve yönlenebilirliği gözlemlenmiştir. Malzemelerin mikro yapısında, sıcaklıkla birlikte tane büyümesi gözlemlenmemiştir. Tane büyümesinin gözlemlenmesi durumunda, malzeme sertliğinde bir düşüş olmaktadır. Mikro yapıdaki bu gözlem ile sertlik ölçümü birbirini doğrulamaktadır. HC300LA sac malzeme için mikroyapı incelemesi Şekil 11’de, HC420LA için de Şekil 12’de verilmiştir.

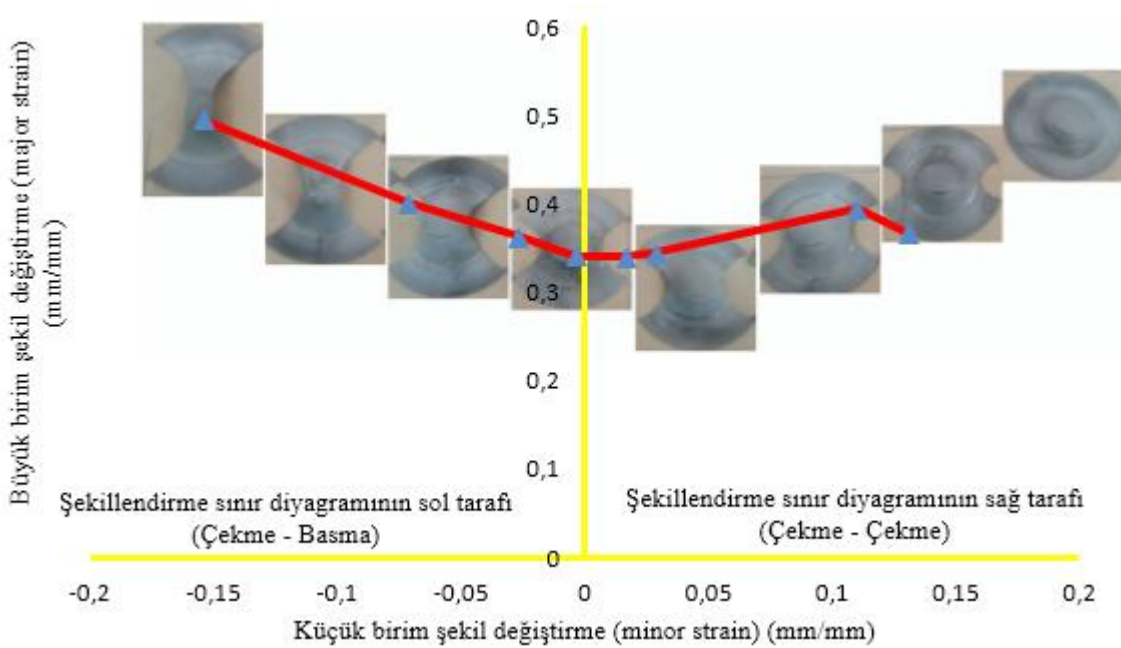


**Şekil 11.** HC300LA sac malzemenin ılık şekillendirme sonrası sertlik ölçümleri ve mikro yapı incelemesi  
a) t=1,2 mm b) t=1,5 mm



**Şekil 12.** HC420LA sac malzemenin ılık şekillendirme sonrası sertlik ölçümleri ve mikro yapı incelemesi  
**a) t=1,2 mm b) t=1,5 mm**

FLD diyagramında eğrinin altında kalan bölge güvenli bölgeyi, üstte kalan alan bölge de şekillendirmede başarısız olunan bölgeyi ifade etmektedir. İki eksenli çekme – basma bölgesinde, sac malzemenin yırtılmadan önce büyük uzamanın 0,5 mm/mm şekillendirilebildiği gözlemlenmiştir. Tek eksenli çekme bölgesinde de sac malzemenin yaklaşık 0,35 mm/mm şekillendirilebildiği tespit edilmiştir. İki eksenli çekme-çekme bölgesinde ise sac malzemenin 0,3-0,4 mm/mm aralıklarında şekillenebildiği gözlemlenmiştir.



**Şekil 13.** Şekillendirme sınır diyagramı grafiği

## IV. SONUÇ

HC300LA ve HC420LA sac malzemelerin ılık şekillendirme yöntemiyle şekillendirme öncesi yapılması gereken testler ve adımları belirlenmiştir.

1. ılık şekillendirme prosesinde, ilk aşamada malzemenin hız hassasiyetini ve hangi sıcaklık aralığında şekillendirileceğinin belirlenmesi gerekmektedir.
2. HC300LA sac malzemesi için hem RT hem de 150 °C ve 300 °C sıcaklıklarda hız hassasiyeti gözlemlenmemiştir.
3. HC420LA sac malzeme için hem 150 °C ve 300 °C sıcaklıklarda yaklaşık 20 MPa gerilim farklılığı gözlemlenmiştir.
4. HC300LA ve HC420LA sac malzemelerinin en büyük ılık şekillendirme sıcaklık aralığı 300 °C olarak tespit edilmiştir. Her iki malzeme türü için 300 °C sıcaklıklarda DSA gözlemlenmektedir.
5. HC300LA ve HC420LA sac malzemeleri için 300 °C'ye kadar olan sıcaklıklarda malzeme sertliğinde bir değişim gözlemlenmemiştir.
6. Her iki malzeme türü için de malzeme mikro yapısında tane uzamaları ve tane yönelmeleri gözlemlenmiş olup tane büyümesi gözlemlenmemiştir.
7. Sıcaklık artışı ile birlikte çekme oranında HC300LA için şekillendirme oranı maksimum % 21,96 ve HC420LA için şekillendirme oranı maksimum % 20,45 elde edilmiştir.

**TEŞEKKÜR:** Bu çalışmada, Atılım Üniversitesi Metal Şekillendirme ve Mükemmeliyet Merkezi (MŞMM) ve personeline katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

Ayrıca bu çalışmayı, KBÜ-BAP-13/2-Dr-017 kodlu proje ile destekleyen Karabük Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Proje Koordinatörlüğü'ne teşekkür ederiz.

## V. KAYNAKLAR

- [1] N. Kotkunde, A. D. Deole, A. Kumar, S. Kumar *Mater. Des.* **63** (2014) 336–344.
- [2] M. Kumar, N. Sotirov, C. M. Chimani *J. Mater. Process. Tech.* **214(8)** (2014) 1769–1776.
- [3] W. Hui, L. U. O. Ying-bing, P. Friedman, C. Ming-he, G. A. O. Lin *Trans. Nonferrous Met. Soc. China* **22(1)** (2012) 1–7.
- [4] G. Palumbo, L. Tricarico *J. Mater. Process. Technol.* **184** (2007) 115–123.
- [5] H. J. Bong, F. Barlat, D. C. Ahn, H. Y. Kim, M. G. Lee *Int. J. Mech. Sci.* **75** (2013) 94–109.
- [6] J. Lade, B. N. Banoth, A. K. Gupta, S. K. Singh *J. Iron Steel Res. Int.* **21** (2014) 1147–1151.

- [7] H. Takuda, K. Mori, T. Masachika, E. Yamazaki, Y. Watanabe *J. Mater. Process. Technol.* **144** (2003) 242–248.
- [8] D. Ghaffari Tari, M. J. Worswick, S. Winkler *J. Mater. Process. Technol.* **213(8)** (2013) 1337–1347.
- [9] M. Ghosh, A. Miroux, R. J. Werkhoven, P. J. Bolt, L. A. I. Kestens *J. Mater. Process. Technol.* **214(4)** (2014) 756–766.
- [10] L. M. Ren, S. H. Zhang, G. Palumbo, D. Sorgente, L. Tricarico *Mater. Sci. Eng. A* **499** (2009) 40–44.
- [11] T. Savaşkan, *Malzeme Bilgisi ve Muayenesi*, Celepler Matbaacılık, (2012).
- [12] E. Uysal, F. Öztürk, *Örnek Bir Uygulama Ğle Yüksek Mukavemetli Çeliklerde çekilendirme Sınır Diyagramlarının Elde Edilmesi*, **2. Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi**, (2010).