

FARKLI ALÜMİNYUM ALAŞIMLARINDA BBC2000, BBC2003, BBC2005 VE BBC2008 AKMA KRİTERLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Süleyman KILIÇ¹ (ORCID: 0000-0002-1681-9403) *
Serkan TOROS² (ORCID: 0000-0003-0438-2862)

¹ Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik -Mimarlık Fakültesi, Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Kırşehir, Türkiye

² Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Niğde, Türkiye

Geliş / Received: 22.12.2018
Kabul / Accepted: 29.03.2019

ÖZ

Sonlu elemanlar analiz programlarında malzemenin elastik ve plastik davranışı doğru tanımlanırsa, sonuçların hata payı düşmektedir. Başarılı analiz sonuçları elde etmek için önemli parametrelerden birisi ise akma kriteri seçimidir. Literatürde geliştirilmiş birçok akma kriteri mevcut iken bazıları sonlu elemanlar analiz programlarına dahil edilmektedir. Bazı analiz programlarında bu kriterler tanımlıyken (model parametre değerleri girilerek), bazılarında da programa kod yazarak ilave edilmektedir. Bu çalışmada BBC2000, BBC2003, BBC2005, BBC2008 akma kriterlerinin iki farklı alüminyum alaşımındaki model tahminleri karşılaştırılmıştır. Aynı zamanda BBC2008 akma kriterinde parametre sayısının etkisi de incelenmiştir. Daha fazla parametrelili modelin deney sonuçlarını daha iyi tahmin ettiği görülmüştür.

Anahtar kelimeler: BBC2000, BBC2003, BBC2005, BBC2008, AA7003, AA6063.

COMPARISON OF BBC2000, BBC2003, BBC2005 AND BBC2008 YIELD CRITERIA IN DIFFERENT ALUMINUM ALLOYS

ABSTRACT

If the elastic and plastic behavior of the material is correctly defined in the finite element analysis programs, the margin of error reduces. One of the important parameters to obtain successful analysis results is the yield criterion choice. While there are many yield criteria developed in the literature, some of them are included in finite element analysis programs. In some analysis programs while these criteria are defined (by entering the model parameter values) and some are added by writing code to the program. In this study, model estimates of BBC2000, BBC2003, BBC2005, BBC2008 yield criteria are compared in two different aluminum alloys. At the same time, the effect of the parameters number on the BBC2008 yield criterion is examined. It is seen that the more parameters model predicts better the experimental results.

Keywords: BBC2000, BBC2003, BBC2005, BBC2008, AA7003, AA6063.

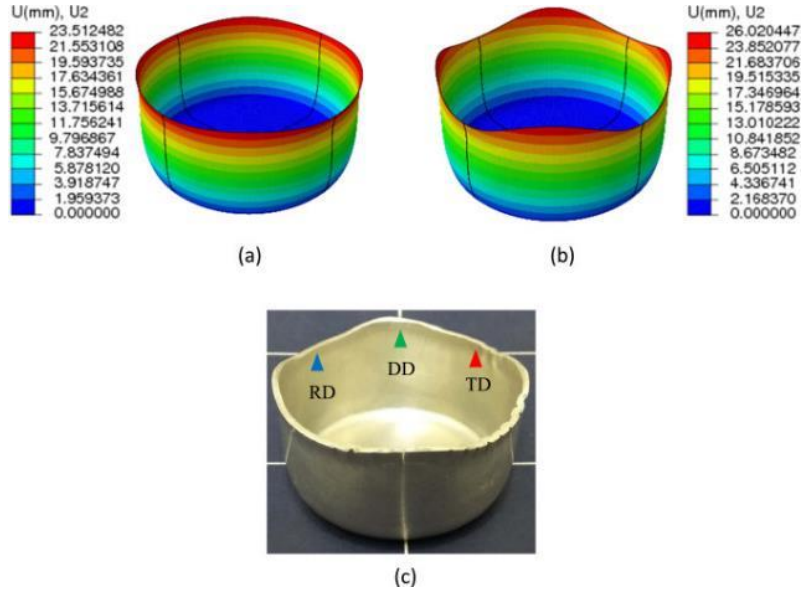
1. GİRİŞ

Sac metal şekillendirme simülasyonlarında akma kriteri, pekleşme modeli, deformasyon hızı gibi parametreler tahminler üzerinde oldukça etkilidir. Analiz programlarında da analiz yapılırken bu parametreler kullanıcıdan istenmektedir. Analiz işlemlerine başlamadan önce farklı modeller malzeme için uygulanarak akma mukavemeti ve anizotropinin açılı ile değişimlerinin ve akma yüzeyleri tahminlerinin incelenmesi gerekmektedir. Aksi halde

*Corresponding author / Sorumlu yazar. Tel.:0386 280 3812; e-mail / e-posta: suleymankilic@ahievran.edu.tr

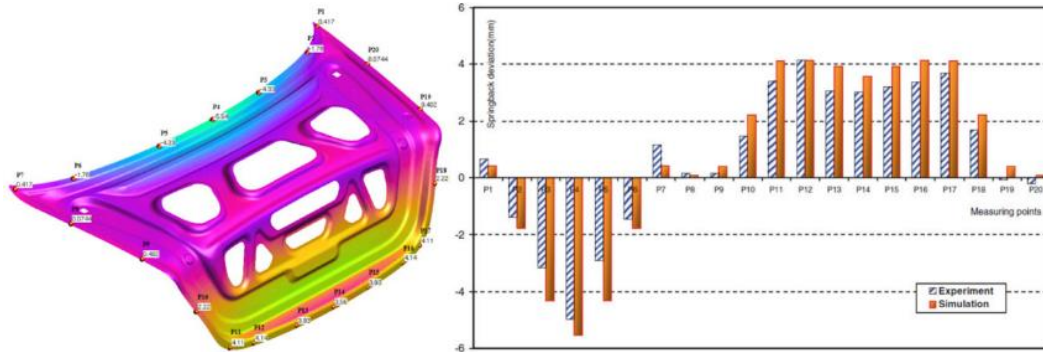
S. KILIÇ, S. TOROS

seçilen yanlış bir model ile fazladan zaman ve maliyet kaybı yaşanmaktadır. Analizlerde uygun parametreler seçilmediği takdirde sonuçların hata miktarının çok fazla olduğu söylenmektedir [1-4]. Literatürde de geliştirilmiş birçok model yer almaktadır ve bunlar deneysel sonuçlarla karşılaştırılmaktadır. Butuc ve arkadaşları [5], 5XXX seri alüminyum alaşımında Yld96 ve BBC2000 akma kriterlerinin performanslarını incelemişlerdir. Yld96 akma kriterinin, BBC2000 akma kriterine göre daha başarılı akma mukavemeti ve anizotropi tahmini yaptığı gösterilmiştir. Banabic ve Wagner [6], farklı alüminyum alaşımlarında (3103, 5005, 5182, 6181) farklı akma kriterlerinin (BBC2000, Hill48, Hill90, Barlat91) performanslarını incelemişlerdir. Modeller içinde en az hata payıyla tahmini BBC2000 modelinin yaptığı gösterilmiştir. Banabic ve arkadaşlarının [7] başka bir çalışmasında BBC2000, Yld2000 ve CB2001 akma kriterlerinin performansı incelenmiştir. Akma mukavemeti tahmininde BBC2000 modeli, diğerlerine göre başarısız tahmin yaparken, anizotropi tahminlerinin üç model içinde başarılı olduğu gösterilmiştir. BBC2000 modelinin hata oranının diğerlerinden yüksek olduğu görülmüştür. Izadpanah ve arkadaşları [8] tarafından yapılan bir çalışmada, 3105 seri alüminyum alaşımında derin çekme işlemi yapılarak, Hill48 ve BBC2003 akma kriterlerinin tahmin performansı incelenmiştir. BBC2003 modelinin Hill48 akma kriterine göre daha iyi sonuçlar verdiği gösterilmiştir (Şekil 1). Toros yaptığı çalışmada 304L paslanmaz çeliğinde şekillendirme sınır diyagramının belirlenmesinde BBC ailesinden farklı modellerin etkisini incelemiştir [9].



Şekil 1. Derin çekme işleminde model seçiminin etkisi, a) Hill48, b) BBC2003, c) Deneysel [8].

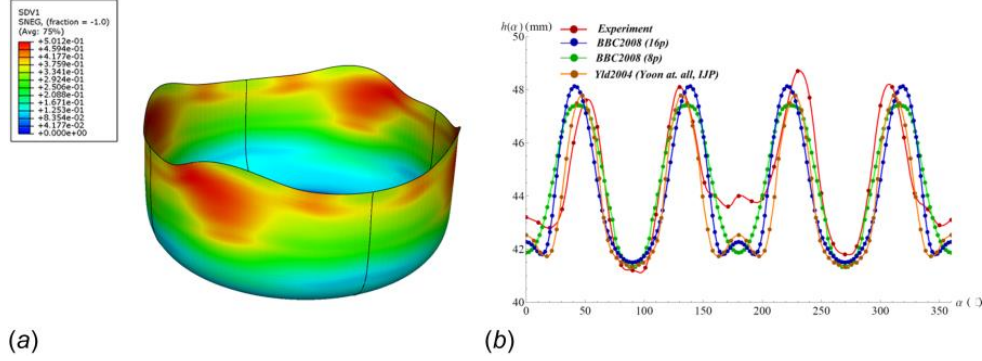
Akma kriterlerinin geri esnemedeki etkisi üzerine yapılan bir çalışmada, Hill48, Barlat89 ve BBC2005 akma kriterleri farklı malzemeler için incelenmiştir ve BBC2005 akma kriterinin deneysel sonuçlarla benzer tahminler yaptığı görülmüştür [10]. Başka bir çalışmada da BBC2005 akma kriteri kullanılarak bir otomobilin bagaj kapağının geri esneme analizi yapılmış ve sonuçların deneysel sonuçlara yakın olduğu gösterilmiştir [11].



Şekil 2. Bagaj kapağı geri esneme analizi [11].

FARKLI ALÜMİNYUM ALAŞIMLARINDA BBC2000, BBC2003, BBC2005 VE BBC2008 AKMA KRİTERLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

2090-T3 alüminyum alaşımında BBC2008 ve Yld2004 akma kriterlerinin derin çekmedeki tahminleri incelenen bir çalışmada, BBC2008-16P ve Yld2004 akma kriterlerinin tahminlerinin başarılı olduğu görülmüştür (Şekil 3).



Şekil 3. BBC2008 ve Yld2004 akma kriterlerin ile derin çekme analizi [12].

Bu çalışma kapsamında, literatürde yaygın olarak kullanılan BBC2000, BBC2003, BBC2005 ve BBC2008 akma kriterlerinin farklı alüminyum alaşımlarında tahmin performansları araştırılmıştır. BBC2008 modelinde iki farklı parametre kullanımının tahminler üzerindeki etkisi incelenmiştir.

2. MALZEME VE YÖNTEM

Bu çalışma kapsamında, 7003-T6 ve 6063-T6 [13] alüminyum alaşımlarında BBC2000, BBC2003, BBC2005 ve BBC2008 akma kriterleri kullanılarak akma yüzeyleri, akma mukavemeti ve anizotropinin farklı yönlerdeki değişimleri incelenmiştir. Tablo 1’ de incelenen malzemelere ait mekanik özellikler verilmiştir [13].

Tablo 1. AA7003-T6 ve AA6063-T6 alüminyum alaşımlarının mekanik özellikleri [13].

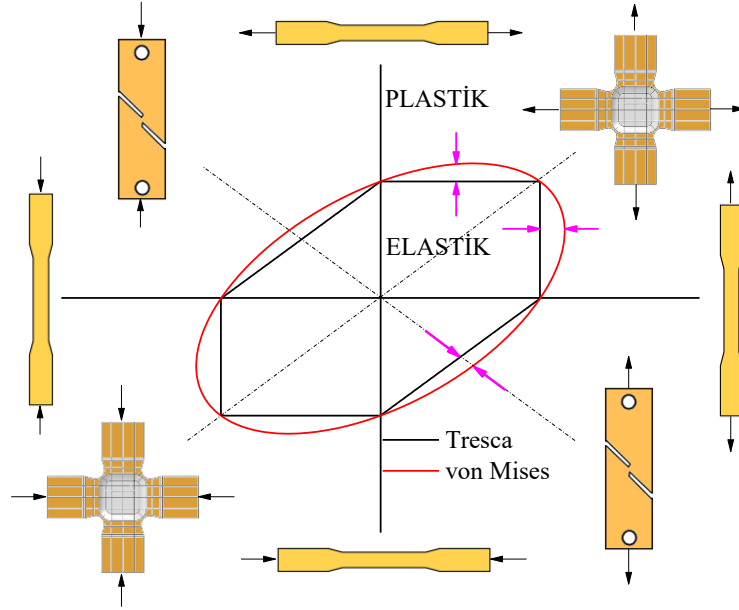
Parametre	AA7003-T6	AA6063-T6
σ_0/σ_0	1,000	1,000
σ_{15}/σ_0	0,970	0,917
σ_{30}/σ_0	0,980	0,923
σ_{45}/σ_0	0,840	0,990
σ_{60}/σ_0	0,863	0,983
σ_{75}/σ_0	0,967	1,027
σ_{90}/σ_0	1,037	0,957
σ_b/σ_0	1,000 (kabul)	1,000 (kabul)
r_0	0,270	0,567
r_{15}	0,427	0,333
r_{30}	1,017	0,227
r_{45}	2,073	0,340
r_{60}	1,780	0,707
r_{75}	1,310	1,227
r_{90}	1,283	2,857
r_b	0,570	0,480
k	4	4

2.1. Akma kriterleri

Farklı doğrultudaki kuvvetlerin etkisiyle oluşan gerilemelerin altındaki malzemenin akma davranışını ifade eden matematiksel modeller bulunmaktadır. Bu matematiksel modellere akma kriterleri denilmektedir. Akma kriterlerinde, malzemenin akma gerilmesi akma kriterinin eşdeğer gerilmesinden büyük olduğu durumlarda, akmanın başlayacağı ifade edilir. Geliştirilen bütün akma kriterlerinde de eşdeğer gerilme farklı olarak tanımlandığı için her kriterin tahmini farklı olmaktadır. Her kriter, çeşitli yönlerde uygulanan kuvvetler neticesinde oluşan gerilmelerin malzemeyi elastik olarak mı yoksa plastik olarak mı şekilleneceğini kendisine

S. KILIÇ, S. TOROS

göre tahmin eder. Şekil 4.'de de şematik olarak bir akma yüzeyi verilmiştir. Akma yüzeyinin çeşitli noktaları farklı yüklenme durumlarını ifade etmektedir.



Şekil 4. Şematik bir akma yüzeyi ve noktaların ifadeleri.

Akma kriterlerinde, akma mukavemeti ve anizotropi tahminleri aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır [14]. Tek eksenli yük durumunda gerilme tensörleri σ_{11} , σ_{22} ve σ_{12} aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir. θ ; malzemenin hadde yönüne göre açısını ifade etmektedir.

$$\sigma_{11} = Y_{\theta} \cos^2 \theta, \sigma_{22} = Y_{\theta} \sin^2 \theta, \sigma_{12} = \sigma_{21} = Y_{\theta} \cos \theta \sin \theta \quad (1)$$

2 numaralı eşitlikte ise hadde yönüne bağlı olarak eşdeğer gerilme ifadesi verilmiştir.

$$\bar{\sigma}_{\theta} = Y_{\theta} F_{\theta} \quad (2)$$

2 numaralı denklemdeki F_{θ} ; tek eksenli gerilme altındaki eşdeğer gerilmenin özel bir fonksiyonudur. Genel olarak akma fonksiyonu ise 3 numaralı eşitlikteki gibidir. Bu denklemde $\Phi(\bar{\sigma}, Y)$; akma fonksiyonunu, $Y(h)$ ise akma mukavemetini ifade etmektedir.

$$\Phi(\bar{\sigma}, Y) = \bar{\sigma} - Y(h) = 0 \quad (3)$$

Akma mukavemetini açıya bağlı olarak değişimi 4 numaralı denklem ile ifade edilir. $Y(h) = \sigma_0$ hadde yönündeki akma mukavemetidir. F_{θ} fonksiyonu her akma kriterine göre değişmektedir.

$$Y_{\theta} = Y(h)/F_{\theta} \quad (4)$$

Benzer şekilde, sac malzemeler için plastik anizotropi değişimleri de elde edilebilir. r_{θ} genişliğe bağlı olarak plastik birim deformasyon oranlarının değişimidir ve 5 numaralı denklemle ifade edilmektedir. 6 numaralı denklem hacim sabitliği durumunu ifade etmektedir.

$$r_{\theta} = \dot{\epsilon}_{\theta+90} / \dot{\epsilon}_{33} \quad (5)$$

$$\dot{\epsilon}_1 + \dot{\epsilon}_2 + \dot{\epsilon}_3 = 0 \quad (6)$$

6 numaralı denklem diğer bir ifadeyle yazılacak olursa;

$$\dot{\epsilon}_{\theta} = \dot{\epsilon}_{11} \cos^2 \theta + \dot{\epsilon}_{22} \sin^2 \theta + \dot{\epsilon}_{12} \cos \theta \sin \theta, \quad \dot{\epsilon}_{33} = -(\dot{\epsilon}_{11} + \dot{\epsilon}_{22}) \quad (7)$$

FARKLI ALÜMİNYUM ALAŞIMLARINDA BBC2000, BBC2003, BBC2005 VE BBC2008 AKMA KRİTERLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

7 numaralı denklem 5 numaralı denklemde yerine yazılarak, anizotropinin açısı ile değişimi elde edilir.

$$r_{\theta} = \frac{\dot{\epsilon}_{11}\cos^2\theta + \dot{\epsilon}_{22}\cos^2\theta + \dot{\epsilon}_{12}\cos\theta\sin\theta}{\dot{\epsilon}_{11} + \dot{\epsilon}_{22}} - 1 \quad (8)$$

8 numaralı denklem gerilme bileşenleri cinsinden yazılırsa:

$$r_{\theta} = \frac{(\sigma_{11}\frac{\partial\bar{\sigma}}{\partial\sigma_{11}} + \sigma_{22}\frac{\partial\bar{\sigma}}{\partial\sigma_{22}} + \sigma_{12}\frac{\partial\bar{\sigma}}{\partial\sigma_{12}})_{\theta}}{(\sigma_{11}\frac{\partial\bar{\sigma}}{\partial\sigma_{11}} + \sigma_{22}\frac{\partial\bar{\sigma}}{\partial\sigma_{22}})_{\theta}} - 1 \quad (9)$$

Bu denklem Euler dönüşümü kullanılarak aşağıdaki denklemle ifade edilebilir.

$$r_{\theta} = \frac{\bar{\sigma}_{\theta}}{Y_{\theta}(\frac{\partial\bar{\sigma}}{\partial\sigma_{11}} + \frac{\partial\bar{\sigma}}{\partial\sigma_{22}})_{\theta}} - 1 \quad (10)$$

2.2 BBC2000 akma kriteri

BBC akma kriterleri ailesi literatürde yaygın olarak kullanılmaktadır. Banabic ve arkadaşları [15] tarafından geliştirilen ilk model BBC2000 akma kriteridir. Malzemeye ait 0, 45 ve 90 derecedeki akma ve anizotropi parametreleri ile tahmin yapmaktadır. En genel haliyle eşdeğer gerilme ifadesi 11 numaralı denklemle ifade edilmektedir.

$$\bar{\sigma} = [a(b\tau + c\psi)^{2k} + a(b\tau - c\psi)^{2k} + (1 - a)(2c\psi)^{2k}]^{1/2k} \quad (11)$$

Denklemde yer alan a , b , c , k malzeme parametreleridir. k üsteli malzemenin kristal yapısına göre değişmektedir (Hacim merkezli kübik yapıda 3, yüzey merkezli kübik yapıda 4 olarak kullanılmaktadır). τ ve ψ 12 ve 13 numaralı denklemler yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$\tau = M\sigma_{11} + N\sigma_{22} \quad (12)$$

$$\psi = \sqrt{(P\sigma_{11} + Q\sigma_{22})^2 + R\sigma_{12}^2} \quad (13)$$

2.3 BBC2003 akma kriteri

Banabic ve arkadaşları [16] tarafından geliştirilen diğer akma kriteri de BBC2003 akma kriteridir. En genel haliyle eşdeğer gerilme ifadesi 14 numaralı denklemle ifade edilmektedir.

$$\bar{\sigma} = [a(\tau + \psi)^{2k} + a(\tau - \psi)^{2k} + (1 - a)(2\Lambda)^{2k}]^{1/2k} \quad (14)$$

Denklemde yer alan a malzeme parametresidir. τ , ψ ve Λ değerleri ise 15-17 numaralı denklemler yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$\tau = \frac{\sigma_{11} + M\sigma_{22}}{2} \quad (15)$$

$$\psi = \sqrt{(\frac{N\sigma_{11} - P\sigma_{22}}{2})^2 + Q^2\sigma_{12}\sigma_{21}} \quad (16)$$

$$\Lambda = \sqrt{(\frac{R\sigma_{11} - S\sigma_{22}}{2})^2 + T^2\sigma_{12}\sigma_{21}} \quad (17)$$

2.4 BBC2005 akma kriteri

Banabic ve arkadaşları [17] tarafından geliştirilen bir diğer modelde BBC2005 akma kriteridir. İlave parametreler eklenerek modelin daha iyi tahmin yapması sağlanmıştır. En genel haliyle eşdeğer gerilme ifadesi 18 numaralı denklemde vermiştir.

$$\bar{\sigma} = [a(\Lambda + \Gamma)^{2k} + a(\Lambda - \Gamma)^{2k} + b(\Lambda + \psi)^{2k} + b(\Lambda - \psi)^{2k}]^{1/2k} \quad (18)$$

S. KILIÇ, S. TOROS

Denklemdaki (Γ , Λ ve ψ) parametreler, 19-21 numaralı denklemler yardımıyla elde edilmektedir. L , M , N , P , Q , R malzeme parametreleridir.

$$\Gamma = L\sigma_{11} + M\sigma_{22} \tag{19}$$

$$\Lambda = \sqrt{(N\sigma_{11} - P\sigma_{22})^2 + \sigma_{12}\sigma_{21}} \tag{20}$$

$$\psi = \sqrt{(Q\sigma_{11} - R\sigma_{22})^2 + \sigma_{12}\sigma_{21}} \tag{21}$$

2.5 BBC2008 akma kriteri

Banabic ve arkadaşları [18] tarafından geliştirilen bir diğer modeldir. Eşdeğer gerilme ifadesi 22 numaralı eşitlikle ifade edilmektedir.

$$\frac{\bar{\sigma}^{2k}}{w-1} = \sum_{i=1}^s \left\{ w^{i-1} \{ [L^i + M^i]^{2k} + [L^i - M^i]^{2k} \} + w^{s-i} \{ [M^i + N^i]^{2k} + [M^i - N^i]^{2k} \} \right\} \tag{22}$$

$k, s \in N, w = (3/2)^{1/s} > 1$

L^i, M^i ve N^i 23-25 numaralı eşitlikler yardımıyla hesaplanmaktadır. Bu modelde s parametresinin 1 olması durumunda 6 malzeme parametresiyle ($\sigma_0, \sigma_{45}, \sigma_{90}, r_0, r_{45}, r_{90}$) tahmin yapmaktır.

$$L^i = \ell_1^i \sigma_{11} + \ell_2^i \sigma_{22} \tag{23}$$

$$M^i = \sqrt{[m_1^i \sigma_{11} - m_2^i \sigma_{22}]^2 + [m_3^i (\sigma_{12} + \sigma_{21})]^2} \tag{24}$$

$$N^i = \sqrt{[n_1^i \sigma_{11} - n_2^i \sigma_{22}]^2 + [n_3^i (\sigma_{12} + \sigma_{21})]^2} \tag{25}$$

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

BBC2000, BBC2003, BBC2005 akma kriterlerinde, doğrusal olmayan 8 bilinmeyenli 8 denklem elde edilmektedir. BBC2008 akma kriterinde ise s parametresi 1 olduğunda 8, 2 olduğunda 16 parametrelilik hale dönüşmektedir. Bu çalışmada, s değeri için 1 ve 2 değerleri kullanılarak tahminler elde edilmiştir. Bu denklemler 26 numaralı eşitlik yardımıyla optimizasyon yöntemleri kullanılarak çözülmektedir.

$$\bar{\sigma}(\text{parametre}) = \sum_{i=0}^k \left(\frac{\sigma_i^{\text{tahmin}} - \sigma_i^{\text{deneysel}}}{\sigma_i^{\text{deneysel}}} \right) + \sum_{i=0}^k \left(\frac{r_i^{\text{tahmin}} - r_i^{\text{deneysel}}}{r_i^{\text{deneysel}}} \right) = \text{Minimum} \tag{26}$$

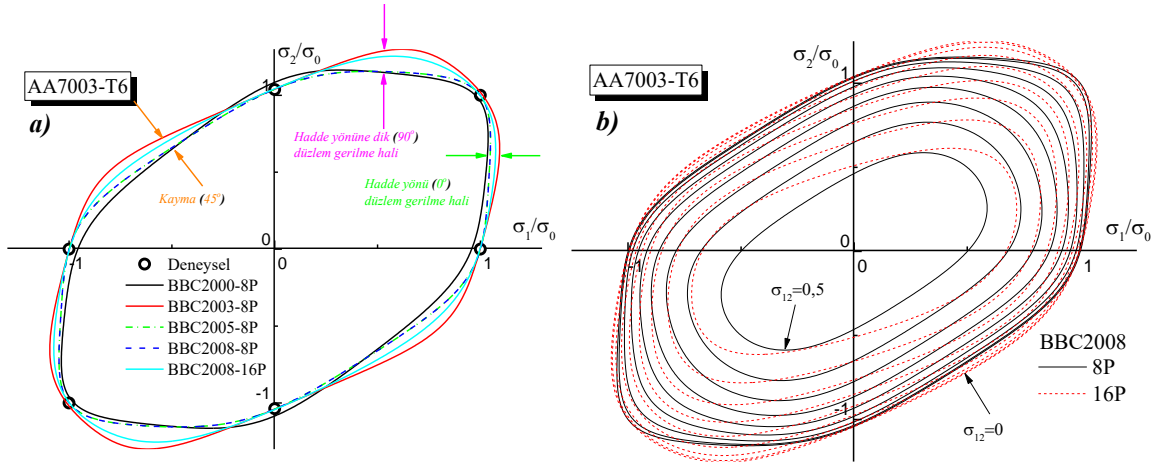
Tablo 2. Elde edilen Model katsayıları

Model	Malzeme	Katsayılar							
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>M</i>	<i>N</i>	<i>P</i>	<i>Q</i>	<i>R</i>
BBC2000	AA7003-T6	0,5706	0,4919	1,1885	1,2167	0,8114	0,4077	-0,405	1,097
	AA6063-T6	0,5031	0,606	0,8319	1,0724	0,6224	0,6329	-0,6305	1,1936
BBC2003	AA7003-T6	<i>a</i>	<i>M</i>	<i>N</i>	<i>P</i>	<i>Q</i>	<i>R</i>	<i>S</i>	<i>T</i>
	AA6063-T6	0,0018	1,6646	3,3964	2,562	-0,8842	0,4961	-0,4737	1,2074
BBC2005	AA7003-T6	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>L</i>	<i>M</i>	<i>N</i>	<i>P</i>	<i>Q</i>	<i>R</i>
	AA6063-T6	3,7508	2,4945	0,4428	0,3335	0,3881	0,3728	0,3144	0,4448
BBC2008 (s=1)	AA7003-T6	0,5697	0,429	0,4992	0,4796	0,6428	0,3596	0,52	0,5795
	AA6063-T6	0,5825	0,4144	0,4618	0,432	0,5694	0,4735	0,6899	0,3239
BBC2008 (s=2)	AA7003-T6	ℓ_1^1	ℓ_2^1	m_1^1	m_2^1	m_3^1	n_1^1	n_2^1	n_3^1
		-0,3508	0,7299	0,0408	0,1031	-0,6955	0,3652	-0,1134	0,2298
		ℓ_1^2	ℓ_2^2	m_1^2	m_2^2	m_3^2	n_1^2	n_2^2	n_3^2
	AA6063-T6	0,0001	0,5988	0,2071	0,2341	0,738	0,9066	0,5581	0,6733
		ℓ_1^1	ℓ_2^1	m_1^1	m_2^1	m_3^1	n_1^1	n_2^1	n_3^1
		0,0001	1,0086	0,0001	0,0086	-0,633	0,0869	-0,2023	0,0739
ℓ_1^2	ℓ_2^2	m_1^2	m_2^2	m_3^2	n_1^2	n_2^2	n_3^2		
0,0001	0,5982	0,3748	0,1026	0,9894	0,8348	0,3194	-	0,3467	

FARKLI ALÜMİNYUM ALAŞIMLARINDA BBC2000, BBC2003, BBC2005 VE BBC2008 AKMA KRİTERLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

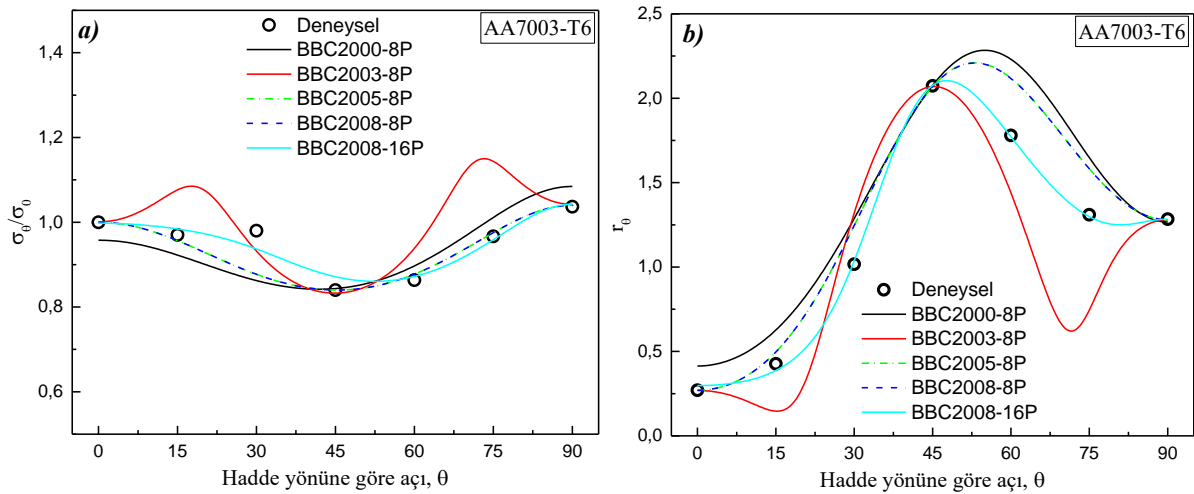
Bu çalışma kapsamında iki farklı durum deneyerek tahminler üzerindeki etkisi incelenmiştir. Durum 1 ile ifade edilen normal 8 ($\sigma_0, \sigma_{45}, \sigma_{90}, \sigma_b, r_0, r_{45}, r_{90}, r_b$) denklemli çözümü, durum 2 ile ifade edilen ise ($\sigma_{15}, \sigma_{30}, \sigma_{60}, \sigma_{75}$ ve $r_{15}, r_{30}, r_{60}, r_{75}$ deneysel değerleri de modele eklenerek) 16 denklemli çözümü ifade etmektedir. Tablo 2.'de her iki durum için yapılan çözümler sonrası elde edilen katsayılar verilmiştir.

7003-T6 alüminyum alaşımında farklı akma kriterlerinin akma yüzeyi tahminleri Şekil 5.a'da verilmiştir. Uygulanan bütün akma kriterleri birbirinden farklı sonuçlar vermiştir. BBC2000 hariç, diğerlerinden elde edilen tahminlerin deneysel değerlerle uyum içerisinde olduğu görülmektedir. Farklılıkların özellikle kayma düzleminde ve düzlem gerilme durumlarında ortaya çıktığı görülmektedir. BBC2005 ile BBC2008-8P kriterleri aynı akma yüzeyi tahminlerini ortaya koymuştur. BBC2008 akma kriteri kullanılarak elde edilen akma yüzeylerinin, farklı kayma gerilmeleri altındaki şekil değişimi Şekil 5.b'de gösterilmiştir. Farklı parametre sayılarında akma yüzeylerinin değiştiği de görülmüştür.



Şekil 5. a) Farklı akma kriterlerinin AA7003-T6 alaşımı için akma yüzeyleri tahminleri, b) BBC2008 kriterinde farklı kayma gerilmelerinin etkisi

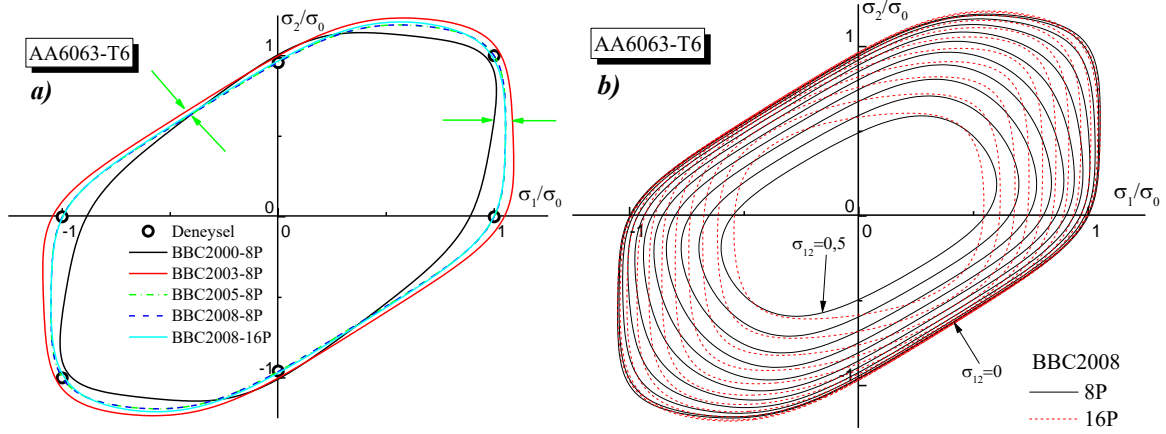
Şekil 6.a'da ise akma mukavemetinin açıyla değişim tahminleri görülmektedir. BBC2000 ve BBC2003 modellerinin tahminlerinin diğerlerine göre başarısız olduğu görülmektedir. BBC2005-8P ile BBC2008-8P modelleri aynı sonuçları tahmin etmişlerdir. Bütün değerler bakımından en yakın sonuç ise BBC2008-16P ile elde edilmiştir. Şekil 6.b'de ise anizotropi değişimleri verilmiştir. BBC2008-16P modelinden elde edilen tahminlerin deneysel sonuçlarla tam olarak uyduğu görülmüştür.



Şekil 6. AA7003-T6 alaşımının Yld2000 akma kriteri ile tahmin edilen a) Akma mukavemetinin açı ile değişimi, b) Anizotropi'nin açı ile değişimi

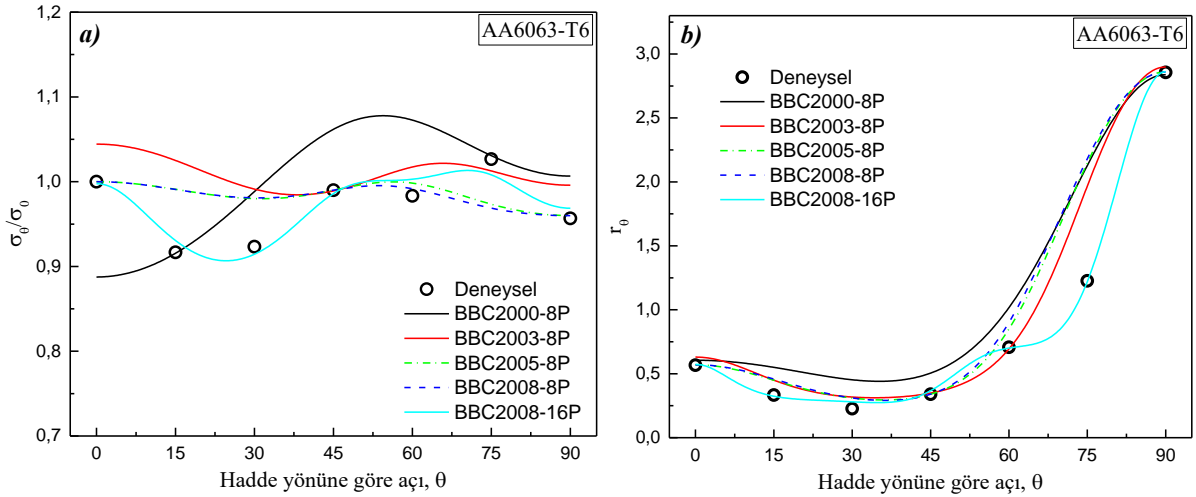
S. KILIÇ, S. TOROS

Şekil 7.'de, 6063-T6 alüminyum alaşımına ait farklı kriterlerin tahmin ettiği akma yüzeyleri verilmiştir. BBC2000 ve BBC2003 akma kriterlerinin akma yüzey tahminleri deneysel değerlerden geçmemektedir. 7003 alüminyum alaşımında olduğu gibi bu alaşımda da BBC2005 ve BBC2008-8P modelleri aynı akma yüzeyini tahmin etmişlerdir. BBC2008 akma kriterinde farklı kayma gerilmesi altındaki akma yüzeyi değişimleri de Şekil 7.b'de gösterilmektedir. Parametre sayısına bağlı olarak yine akma yüzeyi değişmektedir.



Şekil 7. Farklı akma kriterlerinin AA6063-T6 alaşımı için akma yüzeyleri tahminleri, b) BBC2008 kriterinde farklı kayma gerilmelerinin etkisi

Şekil 8.a'da akma mukavemetinin açı ile değişim tahminleri verilmiştir. BBC2000 ve BBC2003 akma kriterlerinin başarısız tahminler yaptığı görülmüştür. Bu alaşımda da BBC2005 ile BBC2008-8P yaklaşık aynı değerleri tahmin etmişlerdir. En başarılı sonucu yine BBC2008-16P modeli vermiştir. Şekil 8.b'deki anizotropi değişimlerine baktığımız zaman da BBC2008-16P kriterinin en başarılı tahmini yaptığı görülmüştür.



Şekil 8. AA6063-T6 alaşımının Yld2000 akma kriteri ile tahmin edilen a) Akma mukavemetinin açıya değişimi, b) Anizotropi'nin açı ile değişimi

4. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında BBC2000-8P, BBC2003-8P, BBC2005-8P, BBC2008-8P ve BBC2008-16P akma kriterlerinin farklı seri alüminyum alaşımlarındaki tahmin performansları incelenmiştir. Bilindiği gibi her akma kriteri her malzeme için doğru sonuç vermemektedir. Bu nedenle malzemelere şekillendirme işlemi uygulanmadan önce en uygun akma kriterinin seçilmesi önem arz etmektedir. Yapılan incelemelerde BBC2000 ve BBC2003 akma kriterlerinin tahminlerinin her iki malzeme için çok kötü olduğu görülmüştür. BBC2005-8P

FARKLI ALÜMİNYUM ALAŞIMLARINDA BBC2000, BBC2003, BBC2005 VE BBC2008 AKMA KRİTERLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

ve BBC2008-8P modelleri ise her iki alışımda da benzer tahminler yapmışlardır. Parametre sayısının az olduğu durumlarda ($\sigma_0, \sigma_{45}, \sigma_{90}, \sigma_b, r_0, r_{45}, r_{90}, r_b$) ara değerler ($\sigma_{15}, \sigma_{30}, \sigma_{60}, \sigma_{75}$ ve $r_{15}, r_{30}, r_{60}, r_{75}$) kötü tahmin edilebilmektedir. BBC2008-16P modeli, ara değerlerde deneysel verileri kullandığı için daha iyi sonuçlar vermiştir. Bu nedenle sonlu elemanlar analizlerinde başarılı sonuçlar elde etmek için daha fazla parametrenin kullanıldığı modeller tercih edilmelidir.

KAYNAKLAR

- [1] OZTURK, F., TOROS, S., KILIC, S., Effects of anisotropic yield functions on prediction of forming limit diagrams of DP600 advanced high strength steel, in: Ishikawa, T., Mori, K.I. (Eds.) 11th International Conference on Technology of Plasticity, ICTP2014 (pp. 760-765), 2014.
- [2] KILIÇ, S., ÖZTÜRK, F., "Comparison of performances of commercial TWIP900 and DP600 advanced high strength steels in automotive industry", Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 31, 567-578, 2016.
- [3] KILIC, S., OZTURK, F., SIGIRTMAC, T., TEKIN, G., "Effects of Pre-strain and Temperature on Bake Hardening of TWIP900CR Steel", Journal of Iron and Steel Research, International, 22, 361-365, 2015.
- [4] KILIÇ, S., KACAR, İ., ÖZTÜRK, F., TOROS, S., "EFFECT OF DIFFERENT OPTIMIZATION METHODS ON THE ESTIMATIONS OF YLD2000 YIELD CRITERION COEFFICIENTS", Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, (Kabul edildi), 2018.
- [5] BUTUC, M.C., BANABIC, D., BARATA DA ROCHA, A., GRACIO, J.J., FERREIRA DUARTE, J., JURCO, P., COMSA, D.S., "The performance of Yld96 and BBC2000 yield functions in forming limit prediction", Journal of Materials Processing Technology, 125-126, 281-286, 2002.
- [6] BANABIC, D., WAGNER, S., "Anisotropic behaviour of aluminium alloys sheets", ALUMINIUM DUSSELDORF THEN ISERNHAGEN, 78, 926-929, 2002.
- [7] BANABIC, D., CAZACU, O., BARLAT, F., COMSA, D.-S., WAGNER, S., SIEGERT, K., "Recent anisotropic yield criteria for sheet metals", Proceedings of the Romanian Academy: Mathematics, physics, technical sciences, information science, 3, 91, 2002.
- [8] IZADPANA, S., GHADERI, S.H., GERDOOEL, M., "Material parameters identification procedure for BBC2003 yield criterion and earing prediction in deep drawing", International Journal of Mechanical Sciences, 115-116, 552-563, 2016.
- [9] TOROS, S., "304L PASLANMAZ ÇELİĞİN ŞEKİLLENDİRME SINIR DİYAGRAMININ BELİRLENMESİNDE ANİZOTROPİ BELİRLEME METODUNUN ETKİSİ", Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 6, 737-751, 2017.
- [10] EGGERTSEN, P.A., MATTIASSON, K., "On constitutive modeling for springback analysis", International Journal of Mechanical Sciences, 52, 804-818, 2010.
- [11] BANABIC, D., COMSA, D.-S., BBC2005 Yield Criterion Used in the Numerical Simulation of Sheet Metal Forming Processes, in: 60 Excellent Inventions in Metal Forming (pp. 49-54), Springer, 2015.
- [12] BANABIC, D., "Advances in Plastic Anisotropy and Forming Limits in Sheet Metal Forming", Journal of Manufacturing Science and Engineering, 138, 090801-090801-090809, 2016.
- [13] ACHANIC, D., HOPPERSTAD, O.S., LADEMO, O.G., "Behaviour of extruded aluminium alloys under proportional and non-proportional strain paths", Journal of Materials Processing Technology, 209, 4750-4764, 2009.
- [14] BANABIC, D., COMSA, D.-S., GAWAD, J., Plastic Behaviour of Sheet Metals, in: Multiscale Modelling in Sheet Metal Forming (pp. 1-46), Springer, 2016.
- [15] BANABIC, D., KUWABARA, T., BALAN, T., COMSA, D.S., JULEAN, D., "Non-quadratic yield criterion for orthotropic sheet metals under plane-stress conditions", International Journal of Mechanical Sciences, 45, 797-811, 2003.
- [16] BANABIC, D., ARETZ, H., COMSA, D., PARAIANU, L., "An improved analytical description of orthotropy in metallic sheets", International Journal of Plasticity, 21, 493-512, 2005.
- [17] BANABIC, D., COMSA, D.S., SESTER, M., SELIG, M., KUBLI, W., MATTIASSON, K., SIGVANT, M., "Influence of constitutive equations on the accuracy of prediction in sheet metal forming simulation", Numisheet, 37-42. 2008.
- [18] COMSA, D.-S., BANABIC, D., "Plane-stress yield criterion for highly-anisotropic sheet metals", Proceedings of the 7th International Conference and Workshop on Numerical Simulation of 3D Sheet Metal Forming Processes, NUMISHEET, 43-48. 2008.