



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Ferritik Paslanmaz Çeliğin Malzeme Yapısal Denklem Parametrelerinin Belirlenmesi ve Doğrulanması

Mehmet Erdi KORKMAZ^{a,*}

^a *Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Karabük Üniversitesi, Karabük, TÜRKİYE*

* *Sorumlu yazarın e-posta adresi: merdikorkmaz@karabuk.edu.tr*

ÖZET

Paslanmaz çelikler; özellikle ferritik olanlar, yüksek korozyon direnci, yüksek ve düşük sıcaklık dayanımı, mekanik mukavemet ve uzun süre dayanıklılık sebebiyle ısıya dayanıklı cihazlar, ev aletleri ve inşaat malzemelerinde kullanılmaktadır. Bu çalışmada, AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin malzeme yapısal denklem parametrelerinin (Johnson-Cook-JC), geyç uzunluğu değişimine bağlı olarak belirlenmesi ve istatistiksel olarak doğrulanması amaçlanmıştır. Yedi farklı geyç uzunluğu (0,5, 1, 2, 5, 10, 20, 50 mm) ile çekme numuneleri hazırlandıktan sonra, numuneler aynı deformasyon hızında (2 mm / sn) gerilme testlerine tabi tutulmuştur. Burada, gerinim hızına bağlı olarak akma gerilmesinin değişimi incelenmiştir, çünkü deformasyon hızı sabit tutulmuştur ve geyç uzunluğu değiştirilmiştir. Aynı cihaz üzerinde yarı statik ve dinamik çekme testleri yapılmıştır. Malzemeler ayrıca, yüksek sıcaklıklarda akma gerilmelerinin değişimini gözlemlemek için referans gerinim hızında farklı sıcaklıklarda çekme deneylerine tabi tutulmuştur. Aynı sıcaklıkta, gerinim hızının 0,2'den 0,4 s⁻¹'e artırılması ile akma gerilmesi değerinin yaklaşık %5 arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca, aynı çekme hızında fırın sıcaklığının 300 °C'den 600 °C'ye çıkarılmasıyla akma gerilmesinin %27 azaldığı belirlenmiştir. Bu testler sonucunda malzemenin JC parametreleri belirlenmiştir ve son olarak bu parametreler istatistiksel olarak kanıtlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: AISI 430, Geyç uzunluğu, Çekme testi, Johnson-Cook

Determination and Verification of Material Constitutive Equation Parameters of Ferritic Stainless Steel

ABSTRACT

Stainless steels; especially ferritic ones are used in heat resistant devices, home appliances, construction materials due to their high corrosion resistance, high and low temperature availability, mechanical strength and long-time durability. In this study, it was aimed to identify the material constitutive equation parameters (Johnson Cook-JC) of the AISI 430 ferritic stainless steel depending on the gage length variation and to verify the parameters statistically. After preparing tensile samples with seven different gage lengths (0.5, 1, 2, 5, 10, 20, 50 mm), the samples were subjected to tensile tests at the same deformation speed (2 mm/sec). Here, the

variation of the yield stress depending on the strain rate was investigated because the deformation speed was kept constant and the gage length was changed. Both quasi-static and dynamic tensile tests were conducted on the same setup. The materials were also subjected to tensile tests at different temperatures on reference strain rate to observe the change of the yield stresses at elevated temperatures. At the same temperature, when the strain rate was increased from 0.2 to 0.4 s⁻¹, the yield stress was found to increase by about 5%. Furthermore, it was determined that the yield stress decreased by 27% by increasing the furnace temperature from 300 ° C to 600 ° C at the same tensile speed. As a result of these tests, the JC parameters of the material were determined and finally, the validity of these parameters was proved statistically.

Keywords: AISI 430, Gage length, Tensile test, Johnson-Cook

I. GİRİŞ

Paslanmaz çelikler petrokimyasal, kimyasal, gıda depolama tankları, basınçlı kaplar, mutfak gereçleri, kara ve deniz araçları üretimi gibi çok yönlü endüstriyel uygulamalarda kullanılmaktadır [1-4]. Paslanmaz çeliklerin oksitlenme direnci, artan krom içeriği (en az% 12) nedeniyle yüksek sıcaklıklarda artmaktadır [5-7]. Ferritik paslanmaz çelikler, östenitik paslanmaz çeliklere göre daha ucuz, kolay şekillendirilmiş ve atmosferik korozyona karşı daha yüksek dirençli olduğundan [8,9], otomotiv egzoz sistemlerinde [7], mimari, iç ve dış dekorasyon, mutfak gereçleri ve gıda endüstrisinde büyük bir uygulama alanına sahiptir [10].

Bazı malzemelerin plastik olarak deforme olduklarından daha fazla sertliğe sahip oldukları bilinmektedir. Gerilme sertleşmesi olarak adlandırılan bu durum, deformasyon miktarına bağlı olarak malzeme içindeki çıkıkların sayısında bir artışa neden olur [11]. “n” ile gösterilen gerilme sertleşme katsayısı, bir malzemenin deformasyonu nedeniyle nasıl sertleştiğini ifade etmek için kullanılır. Bu katsayının daha yüksek olması, malzemenin yüksek gerilme sertleştirme kapasitesine sahip olduğu ve bu nedenle sünek olduğu anlamına gelir [12]. Bunun tersine, bazı materyaller deformasyon hızına bağlı olarak sertleşme oranını artırmaktadır. Bu, farklı özelliklere sahip iki gerilme testinin bu özelliğe sahip bir malzemeye uygulandığı zaman, farklı gerilme-gerinim eğrilerinin elde edildiği anlamına gelir [13,14]. Tersine, yüksek hızda çekme testi için numunenin eğrisi, diğerine göre yukarı doğru kaymaktadır ve malzemenin güçlendirildiği anlaşılmaktadır [14].

Özellikle plastik deformasyon süreçleri üzerine yapılan incelemelerin karmaşık olması ve zaman kayıpları [15] nedeniyle, plastik deformasyon süreçlerinin sonlu elemanlar (FE) modellenmesi alternatif bir çözüm yöntemi olarak geliştirilmiştir [16-22]. Böylece deformasyon durumu ve süreçleri ayarlanarak, deney maliyetleri belli oranda düşürülebilir [15]. Bu bağlamda, FE modelleri mühendislik tasarımları ve plastik deformasyon süreçlerinin incelenmesinde çok önemli bir araç haline gelmiştir.

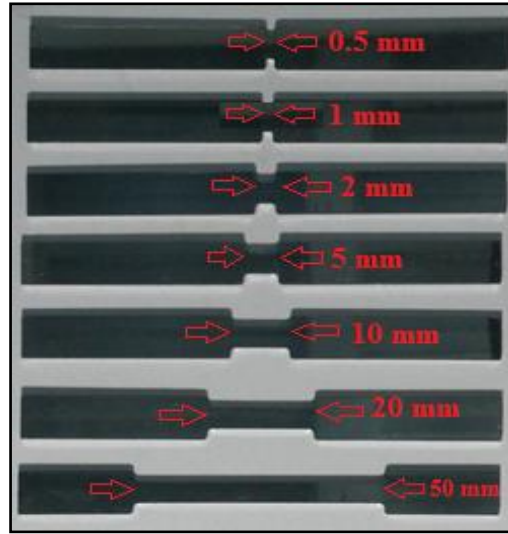
Sonlu elemanlar yöntemine bağlı olarak, üretim süreci sonunda elde edilen deney sonuçları (stres, yüzey kalitesi, vb.), bilgisayar yazılımından elde edilen simülasyon sonucuna çok uygun olmalıdır. Bu bağlamda, simülasyon paketinde malzemenin düzgün bir şekilde modellenmesi çok önemlidir. Yüksek gerinim hızı ve sıcaklık aralıklarında yüksek gerilme davranışlarını temsil eden birkaç yapısal malzeme modeli bulunmaktadır [23]. Bu modellerden, Cowper Symonds, Steinberg Guinan, ve Johnson-Cook modelinin çeşitli FE paketleri için sıklıkla kullanıldığının altı çizilmiştir [24]. JC

parametrelerinin tanımlanması konusunda gerçekleştirilen birkaç çalışma yapılmıştır [24-30]. Araştırmacılar, JC malzeme modellerinin diğer modellerden daha yüksek hassasiyete sahip olduğunu vurgulamışlardır. Ayrıca, çekme ya da basma testinin ne oranda yararlı olacağını, kullanım alanlarına bağlı olduklarını belirtmişlerdir. Bu bilgiler ışığında, AISI 430 çeliğinin herhangi bir yapısal modelinin bulunmadığı ve bu malzemelerin torna, delme, derin çekme, çarpma testi gibi herhangi bir plastik deformasyon süreci için bir FE simülasyonu olmadığı görülmüştür. Bu bağlamda, bu çalışmanın amacı, AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğinin Johnson-Cook (JC) malzeme parametrelerinin belirlenmesi ve istatistiksel olarak kanıtlanmasıdır.

II. MALZEME ve METOT

A. NUMUNELERİN HAZIRLANMASI VE ÇEKME TESTLERİ

Bu çalışmada, Yaşar Makine Tic. Ltd. Şti tarafından sağlanan herhangi bir ısıl işlem uygulanmamış ve 240 HB sertliğine sahip AISI 430 metal levhalar kullanılmıştır. Çekme numuneleri, 1 mm kalınlığında 5 mm'lik geyç kalınlığı ve 0,5, 1, 2, 5, 10, 20, 50 mm'lik geyç uzunluklarına sahip köpek kemiği benzeri (dog-bone) şeklinde hazırlanmıştır (Şekil 1). Çekme testi numuneleri lazerle kesilerek işlenmiştir. AISI 430 çeliğinin mekanik ve fiziksel özellikleri ile kimyasal bileşimleri sırasıyla Tablo 1 ve 2'de verilmiştir.



Şekil 1. Farklı geyç uzunluklarda çekme numuneleri

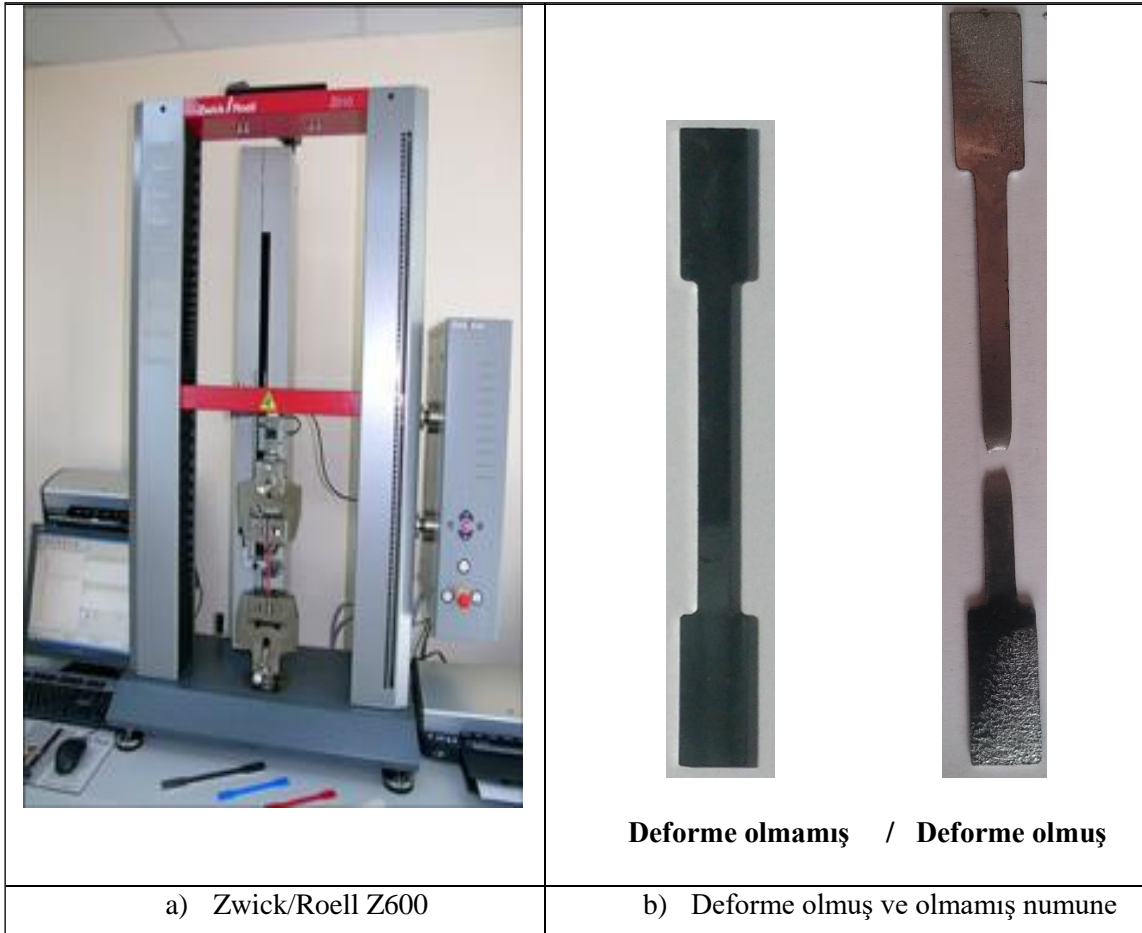
Tablo 1. AISI 430 çeliğinin mekanik ve fiziksel özellikleri

Malzeme	E (GPa)	T _m (°C)	α (10 ⁻⁶ /°C)	k (W/m°C)	ν	ρ (kg/m ³)	c _p (J/kg°C)
AISI 430	200	1425	10,4	26,1	0,3	7800	460

Tablo 2. AISI 430 çeliğinin kimyasal içeriği

C	P	S	Si	Fe	Mn	Cr	Fe
0.12	<0,04	<0,03	<1	0,8	<1	16	Kalan

Tablo 1’de AISI 430 çeliğine ait gösterilen E, T_m, α, k, ν, ρ ve c_p sırasıyla elastik modül, erime sıcaklığı, ısıl direnç, ısıl iletkenlik, poisson oranı, yoğunluk ve özgül ısı kapasitesini göstermektedir. AISI 430’un JC parametrelerini belirlemek için yapılan deneyler 2 adımdan oluşur. Birinci bölümde, 4, 2, 1, 0,4, 0,2, 0,1 ve 0,04 s⁻¹ gibi farklı gerinim hızlarında statik ve dinamik testler yapılmıştır. Bu adım için kullanılan çekme numunesi, testten önce ve sonra Şekil 2b’de gösterilmektedir. İkinci aşama, yüksek sıcaklık çekme testlerinden oluşmaktadır. Karabük Üniversitesi Demir Çelik Enstitüsü’nde bulunan Zwick / Roell Z600 Ünsersal Test Makinesi (Şekil 2a) üzerinde hem statik, hem dinamik hem de yüksek sıcaklık testleri yapılmıştır.



Şekil 2. Yarı-statik, dinamik ve yüksek sıcaklık a) test cihazı ve b) numunesi

B. JOHNSON-COOK PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

AISI 430 paslanmaz çeliğin plastik deformasyon davranışının Johnson-Cook modeli [31] tarafından tanımlandığı göz önüne alınmıştır. Bu malzeme modeli, özellikle metallerin yüksek deformasyon

hızının modellenmesi için uygundur. Genellikle adyabatik geçici dinamik analizlerde kullanılır. JC modelinde akma gerilmesinin (σ_0) aşağıdaki biçimde olduğu varsayılmaktadır:

$$\sigma^0 = (A + B(\varepsilon^p)^n) \left(1 + C \ln \left(\frac{\dot{\varepsilon}^p}{\dot{\varepsilon}_0} \right) \right) (1 - (\hat{T})^m) \quad (1)$$

ve

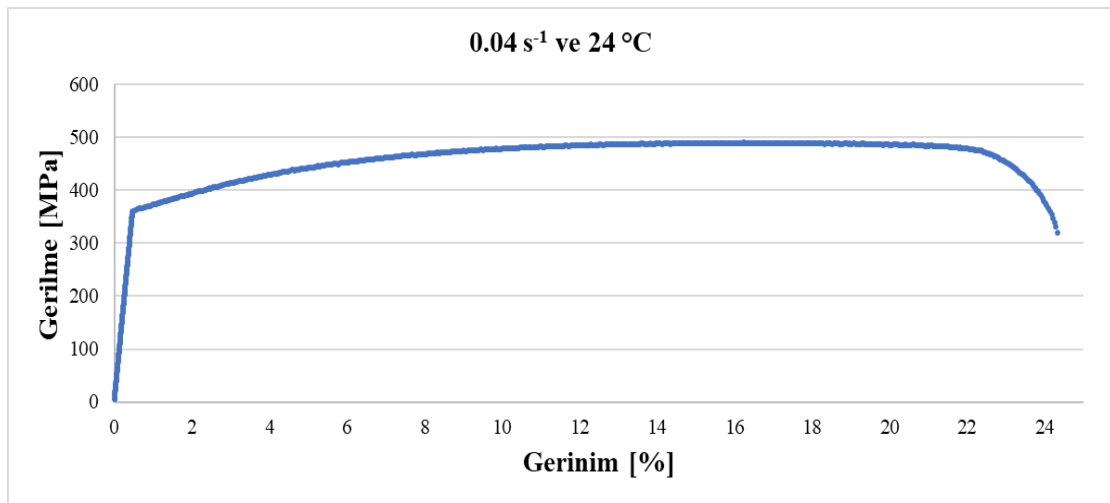
$$\hat{T} = \begin{cases} 0 & \text{for } T < T_r \\ \frac{T-T_r}{T_m-T_r} & \text{for } T_r \leq T \leq T_m \\ 1 & \text{for } T > T_m \end{cases} \quad (2)$$

Eşitlik 1'de A , B , C , n ve m olan mekanik testler yardımıyla elde edilen malzeme parametreleri sırasıyla oda sıcaklığında akma gerilmesi, gerinim sertleşmesi, gerinim hızı sabiti, gerinim sertleşme sabiti ve ısıl yumuşama sabitidir. Diğer parametreler ε^p , $\dot{\varepsilon}^p$, $\dot{\varepsilon}_0$, T_r , T_m ve T , sırasıyla eşdeğer plastik gerinim, plastik gerinme oranı, referans gerinim oranı, oda sıcaklığı, erime sıcaklığı ve referans sıcaklığıdır. Ayrıca, $\dot{\varepsilon}_0$ ve C genellikle referans sıcaklığında ve/veya altında ölçülen değerlerdir.

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

A. “A, B VE n” NİN TANIMLANMASI

J-C malzeme modellerinde A , referans gerinim oranında akma dayanımını belirtir. Şekil 3, referans gerinim hızında ($0,04 \text{ s}^{-1}$) gerçekleştirilen testlere dayanarak A sabitinin test kurulumunun veri sisteminden 359 MPa olarak okunduğunu göstermektedir.



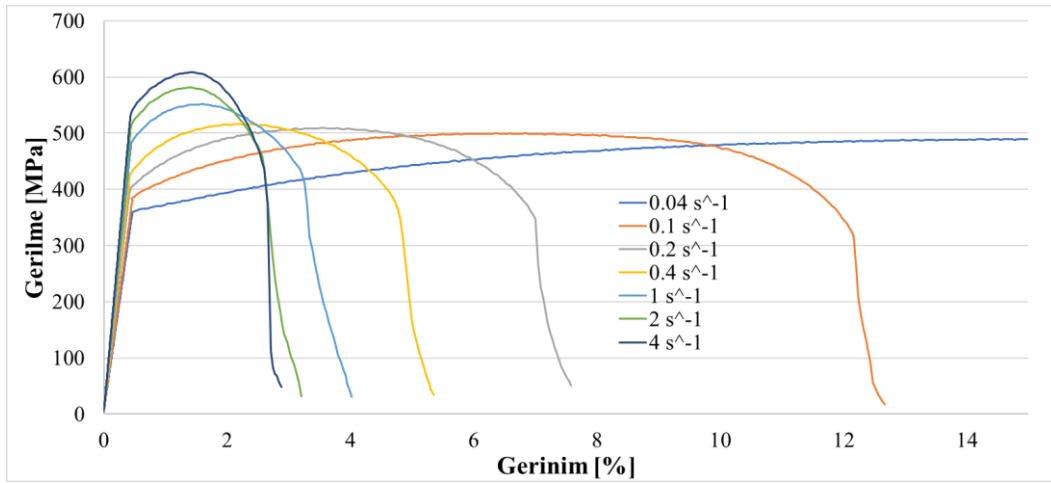
Şekil 3. Referans gerinim hızı ve oda sıcaklığındaki çekme testi

B ve n sabitleri, her gerinim değerindeki akma gerilmesi değerlerindeki artışa göre hesaplanır. Bu ifade, sadece akma gerilmesi ile maksimum gerilme arasındaki bölgede geçerlidir. Şekil 9'a göre, veri toplama sisteminden % 5, % 10 ve % 15 gerinimlerde gerilme değerleri sırasıyla 443, 479 ve 489 MPa olarak okunmuştur. Bu ortalama gerilme-gerinim değerlerine ve Eşitlik 3'e göre, sabitler B ve n sırasıyla 327 MPa ve 0.454 olarak hesaplanmıştır.

$$\sigma^0 = (A + B(\varepsilon^p)^n) \quad (3)$$

B. "C" NİN TANIMLANMASI

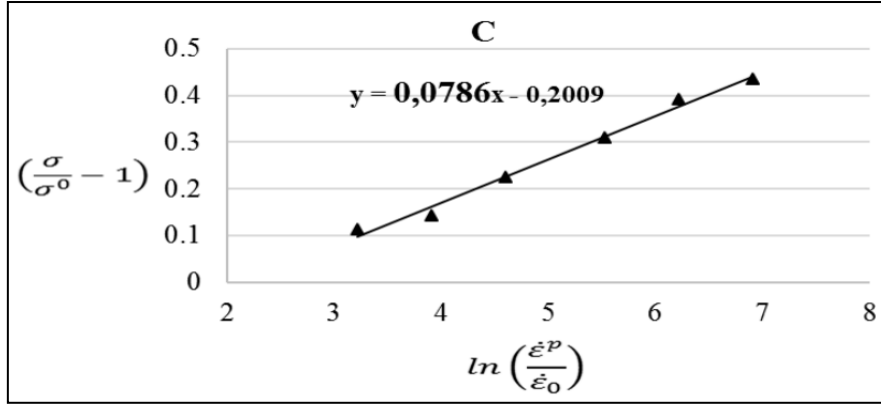
JC malzeme modellerinde C, gerilme oranı sabitini gösterir. Oda sıcaklığında yapılan çekme testlerinde akma mukavemeti değerlerinin, gerinim hızının artmasıyla arttığı saptanmıştır [14,23]. Gerinim hızı değerlerinde meydana gelen değişiklikler genellikle deformasyon hızlarına (mm / s) bağlıdır. Ancak, bu çalışmada diğer çalışmalardan farklı olarak, aynı deformasyon hızında (2 mm / s) farklı geyç uzunlukları ile farklı gerinim hızları elde edilmiştir. Şekil 4'te, gerinim hızının artırılmasıyla akma gerilmesi değerlerindeki değişiklik, diğer bir deyişle, aynı deformasyon hızında geyç uzunluğunun azaltılmasıyla gösterilmiştir.



Şekil 4. Farklı gerinim hızlarında akma gerilmesinin değişimi

Şekil 4'e göre, akma gerilmesi değerleri, 0,04, 0,1, 0,2 ve 0,4 s⁻¹ gerinim hızı değerlerinde sırasıyla 359, 375, 395 ve 413 MPa olarak okunmuştur. Dinamik gerilme hızı değerlerinde (1, 2 ve 4 s⁻¹), akma gerilmesi değerleri sırasıyla 465, 500 ve 530 MPa'a yükselmiştir. C sabiti, Eşitlik 4'e göre oluşturulan Şekil 5'teki grafiğin eğiminden 0,0786 olarak hesaplanmıştır.

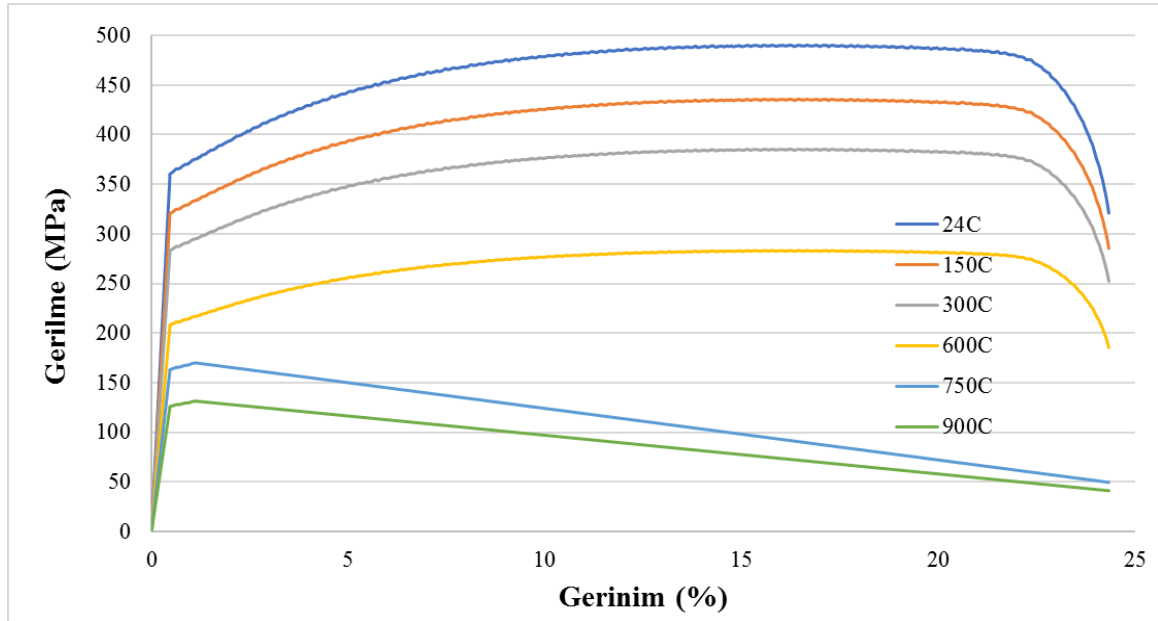
$$\sigma = \sigma^0 \left(1 + C \ln \left(\frac{\dot{\varepsilon}^p}{\dot{\varepsilon}_0} \right) \right) \quad (4)$$



Şekil 5. "C" parametresi için logaritmik ilişki

C. "m" NİN TANIMLANMASI

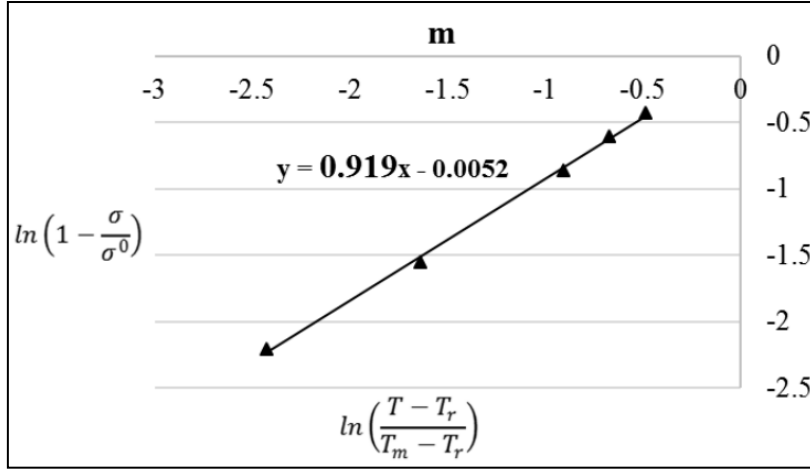
"m" parametresi, JC malzeme modelindeki sıcaklık sabitini gösterir. 0,04 s⁻¹'de gerçekleştirilen gerilme testlerinde, test sıcaklığının artmasıyla akma gerilmeleri beklendiği üzere azalmıştır [32-34]. Test cihazının maksimum sıcaklık noktası 1000 °C olduğundan, sıcaklık sabitini belirlerken 900 °C'den daha düşük sıcaklıklar kullanılmıştır. Test sıcaklığının artmasıyla akma gerilmesindeki değişim, Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6. Farklı sıcaklıklarda akma gerilmesinin değişimi

Şekil 6'ya göre, 24, 150, 300, 600, 750 ve 900 °C test sıcaklıklarında, test cihazının veri toplama sisteminden akma gerilimi değerleri sırasıyla 360, 320, 283, 208, 163 ve 126 MPa olarak okunmuştur. "m" değeri, Eşitlik 5'e göre oluşturulan Şekil 7'deki grafiğin eğiminden 0,919 olarak hesaplanmıştır.

$$\sigma = \sigma^0 \left(1 - \left(\frac{T - T_r}{T_m - T_r}\right)^m\right) \quad (5)$$



Şekil 7. “m” parametresi için logaritmik ilişki

Yarı statik, dinamik ve yüksek sıcaklık testlerine dayanarak, AISI 430 çeliğinin JC malzeme parametreleri Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3. AISI 430 çeliğinin JC parametreleri

Malzeme	A (MPa)	B (MPa)	n	C	m	$\dot{\epsilon}_0$ (s ⁻¹)
AISI 430	359	327	0,454	0,0786	0,919	0,04

D. JOHNSON-COOK PARAMETRELERİNİN DOĞRULANMASI

Bu çalışmanın son aşamasında, belirlenen Johnson-Cook parametrelerinin uygunluğunu göstermek amacıyla, modellerin güvenilirliği çeşitli hata kontrol yöntemleri [35] ile değerlendirilmiştir.

Johnson-Cook parametreleri belli sapma (e) değeri ile belirlendiğinden, bu sapma değeri toplamının ortalamasının en aza indirilmesi gereklidir. Bu en aza indirilmek istenen değer hata kareler ortalaması (mean squared error, MSE) aynı zamanda model performansını da belirleyen bir kriterdir.

$$MSE = \frac{1}{p} \sum_i e_i^2 = \frac{1}{p} \sum_i (t_i - o_i)^2 \quad (6)$$

$$RMS = \sqrt{MSE} = \sqrt{\frac{1}{p} \sum_i e_i^2} = \sqrt{\frac{1}{p} \sum_i (t_i - o_i)^2} \quad (7)$$

$$R^2 = 1 - \left(\frac{\sum_i (t_i - o_i)^2}{\sum_i o_i^2} \right) \quad (8)$$

$$\%Hata = \frac{|t_i - o_i|}{t_i} \times 100 \quad (9)$$

$$MAPE = \frac{1}{p} \sum_i \frac{|t_i - o_i|}{t_i} \times 100 \quad (10)$$

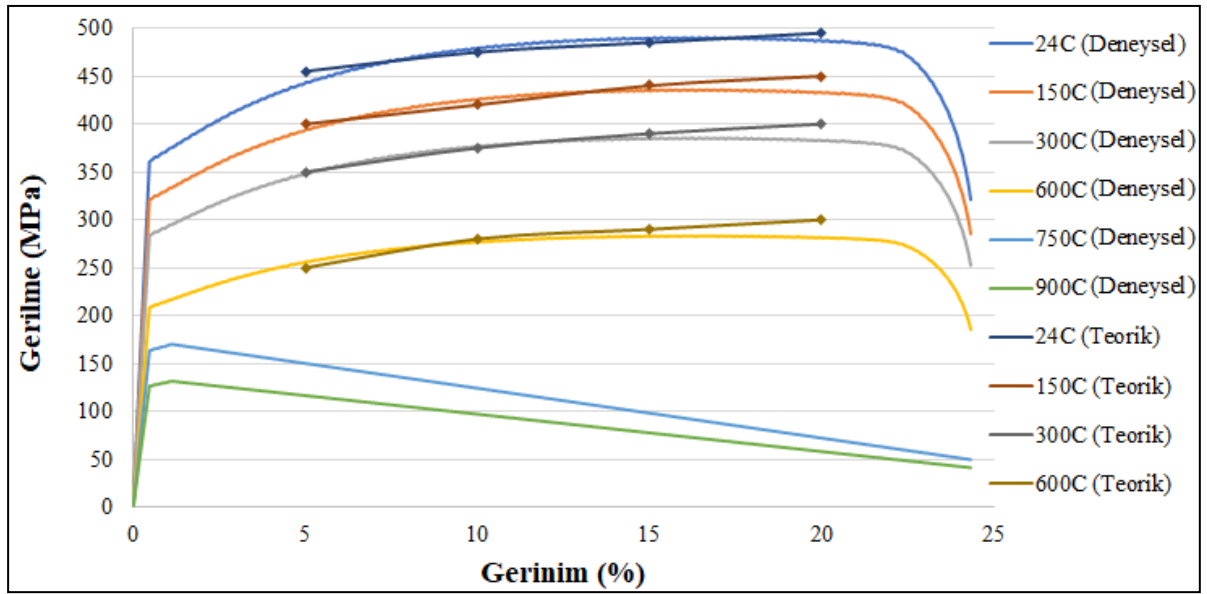
Eş. 6 – Eş. 10’da p , t_i , o_i ve e_i ; sırasıyla deney miktarını, deney sonucunda elde edilen çıktı değişkeni değeri, model sonucunda bulunan çıktı katmanı değeri ve sapma miktarını gösterir. % Hata tüm deneyler için hesaplanır ve bunlardan en fazla olan maksimum yüzde sapmayı verir. % Hatalar toplamının deney sayısına oranı ortalama mutlak yüzde hata (*MAPE*) değerlerini verir. Eş. 7’deki RMS’nin sifira yaklaşması elde edilen modelin başarısını belirten bir ölçüt olarak kullanılmaktadır. Eş. 8’deki R^2 deney ve model arasındaki uyumu göstermektedir. R^2 değerinin 1’e yaklaşması elde edilen modelin başarısını göstermektedir. Eş. 10’da en küçük MAPE değeri modelin uygulanabilirlik başarısını göstermektedir.

Tablo 4’te, Johnson-Cook model parametrelerinin, gerçek sonuçlara uygunluğunda kullanılan hata kareler ortalaması karekökü (*RMS*), belirlilik katsayıları (R^2), ve ortalama mutlak yüzde hata (\pm % *MAPE*) değerleri verilmiştir.

Tablo 4. Johnson-Cook parametreleri için hata kontrol tablosu

	RMS	R^2	MAPE
Johnson-Cook parametreleri	0,419355	0,987962	5,748174

Belirlene Johnson-Cook model parametrelerinin deneysel ve teorik sonuçlarının karşılaştırılması Şekil 8’de verilmiştir.



Şekil 8. Johnson-Cook parametreleri için teorik ve deneysel gerilme-gerinim grafiği

Şekil 8 ve Tablo 4, belirlenen Johnson-Cook model parametrelerinin %5,74’lik bir sapma ile yüksek doğrulukta kanıtlandığını göstermektedir.

IV. SONUÇ

Sonlu elemanlar analiz yazılımında, işleme, derin çekme ve dövme vb. gibi plastik deformasyon süreçlerini simüle etmek için iş parçası malzemesinin (Cowper Symonds, Steinberg Guinan, Johnson-

Cook) malzeme yapısal denklemi bulunmalıdır. Literatürde, herhangi bir plastik deformasyon işlemi için sonlu elemanlar analizi genellikle yazılımda hazır halde var olan malzeme tipi kullanılarak geliştirilmiştir. Bu çalışmanın amacı, kara ve deniz taşıtlarının üretiminde yaygın olarak kullanılan bir malzemenin Johnson-Cook parametrelerini belirlemek ve kanıtlamaktır. Bu nedenle, bu çalışmada AISI 430 ferritik paslanmaz çeliklerin JC parametreleri belirlenmiştir. Literatürde, referans gerinim hızı olarak genellikle 1 s^{-1} kullanılmasına rağmen, bu çalışmada $0,04 \text{ s}^{-1}$ kullanılmıştır. Küçük gerilme oranı değerlerinin kullanımı, deneylerin çok uzun sürmesine neden olmakta, ancak daha kesin sonuçlar vermektedir. Bu malzeme ayrıca $900 \text{ }^\circ \text{C}$ sıcaklığa kadar iyi bir gerilme-gerilme eğrisi vermiştir. Bu, malzemenin dayanımı yüksek sıcaklıklarda koruduğunu ve bu malzemenin yüksek sıcaklık gerektiren teknolojilerde rahatlıkla kullanılabileceğini göstermektedir. Bu işlemlerden sonra, belirlenmiş JC parametreleri istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Son olarak, deneysel ve teorik sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, belirlenen JC model parametreleri %5,74 sapma ile yüksek doğrulukla kanıtlanmış ve bu modelin uygulanabilir olduğu, gelecekteki araştırmalarda rahatlıkla kullanılabilmesi vurgulanmıştır. Bir sonraki çalışma olarak, AISI 430 çeliğinin JC parametreleri kullanılarak, herhangi bir plastik deformasyon işlemlerinin, özellikle torna, freze, derin çekme, balistik veya çarpışma testlerinin sonlu eleman modelini simüle etmek mümkün olabilir.

V. KAYNAKLAR

- [1] J. Ožbolt, F. Oršanić, G. Balabanić ve M. Kušter, "Modeling damage in concrete caused by corrosion of reinforcement: Coupled 3D FE model", *Int. J. Fracture.*, vol. 178, pp. 233–244, 2012.
- [2] N. Kahraman, A. Durgutlu ve B. Gülenç, "Investigation of the Effect of Hydrogen Addition to Argon Shielding Gas on Weld Zone Morphology of TIG Welded 316L Stainless Steel", *J. Polytechnic.*, pp. 223–228, 2004.
- [3] Y. Hu, C.B. Yang, L.H. Teh ve Y.B. Yang, "Reduction factors for stainless steel bolts at elevated temperatures", *J. Constr. Steel. Res.*, vol. 148, pp. 198–205, 2018.
- [4] Y. Bu ve L. Gardner, "Local stability of laser-welded stainless steel I-sections in bending", *J. Constr. Steel. Res.*, vol. 148, pp. 49–64, 2018.
- [5] C.C. Silva, J.P. Farias, H.C. Miranda, R.F. Guimarães, J.W.A. Menezes ve M.A.M. Neto, "Microstructural characterization of the HAZ in AISI 444 ferritic stainless steel welds", *Mater. Charact.*, vol. 59, pp. 528–533, 2008.
- [6] M. E. Korkmaz, T. Meral ve M. Günay, "AISI 420 Martenzitik Paslanmaz Çeliğin Delinebilirliğinin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Analizi", *Gazi Müh. Bil. Der.*, c. 4, s. 3, ss. 223–229, 2018.
- [7] L. Wang, C. Song, F. Sun, L. Li ve Q. Zhai, "Microstructure and mechanical properties of 12 wt.% Cr ferritic stainless steel with Ti and Nb dual stabilization", *Mater. Design.*, vol. 30, pp. 49–56, 2009.
- [8] R. Kaçar ve S. Gündüz, "Increasing the strength of AISI 430 ferritic stainless steel by static strain ageing", *Kovove Mater.*, vol. 47, pp. 185-191, 2009.

- [9] A. Lakshminarayanan, K. Shanmugam, V. Balasubramanian, “Effect of Autogenous Arc Welding Processes on Tensile and Impact Properties of Ferritic Stainless Steel Joints”, *J. Iron. Steel. Res. Int.*, vol. 16, pp. 62–16, 2009.
- [10] K. Shanmugam, A.K. Lakshminarayanan ve V. Balasubramanian, “Effect of weld metal properties on fatigue crack growth behaviour of gas tungsten arc welded AISI 409M grade ferritic stainless steel joints”, *Int. J. Pres. Ves. Pip.*, vol. 86, pp. 517–524, 2009.
- [11] B. Song ve B. Sanborn, “Relationship of compressive stress-strain response of engineering materials obtained at constant engineering and true strain rates”, *Int. J. Impact Eng.*, vol. 119, pp. 40–44, 2018.
- [12] Q. Luan, T.B. Britton ve T.S. Jun, “Strain rate sensitivity in commercial pure titanium: The competition between slip and deformation twinning.”, *Mat. Sci. Eng. A.*, vol. 734, pp. 385–397, 2018.
- [13] M. Yaghoobi ve G.Z. Voyiadjis, “The effects of temperature and strain rate in fcc and bcc metals during extreme deformation rates”, *Acta Mater.*, vol. 151, pp. 1–10, 2018.
- [14] M.E. Korkmaz, P. Verleysen ve M. Günay, “Identification of Constitutive Model Parameters for Nimonic 80A Superalloy.”, *T. Indian. I. Metals.*, vol. 71, i. 12, pp. 2945-2952, 2018.
- [15] T. Kıvak, “Optimization of surface roughness and flank wear using the Taguchi method in milling of Hadfield steel with PVD and CVD coated inserts”, *Measurement*, vol. 50, pp. 19–28, 2014.
- [16] W. Jomaa, O. Mechri, J. Lévesque, V. Songmene, P. Bocher ve A. Gakwaya, “Finite element simulation and analysis of serrated chip formation during high-speed machining of AA7075–T651 alloy”, *J. Manuf. Process.*, vol. 26, pp. 446–458, 2017.
- [17] X. Teng, D. Huo, W. Chen, E. Wong, L. Zheng ve I. Shyha, “Finite element modelling on cutting mechanism of nano Mg/SiC metal matrix composites considering cutting edge radius”, *J. Manuf. Process.*, vol. 32, pp. 116–126, 2018.
- [18] J. Yang, X. Wang ve M. Kang, “Finite element simulation of surface roughness in diamond turning of spherical surfaces”, *J. Manuf. Process.* vol. 31, pp. 768–775, 2018.
- [19] Y. Hu, L. Shen, S. Nie, B. Yang ve W. Sha, “FE simulation and experimental tests of high-strength structural bolts under tension”, *J. Constr. Steel. Res.* vol. 126, pp. 174–186, 2016.
- [20] M. Chen, S. Fan, Y. Tao, S. Li ve M. Liu, “Design of the distortional buckling capacity of stainless steel lipped C-section columns”, *J. Constr. Steel. Res.* vol. 147, pp. 116–131, 2018.
- [21] M.E. Korkmaz ve M. Günay, “Finite Element Modelling of Cutting Forces and Power Consumption in Turning of AISI 420 Martensitic Stainless Steel”, *Arab. J. Sci. Eng.*, vol. 43, i. 9, pp. 4863-4870, 2018.
- [22] M. Günay, M.E. Korkmaz ve N. Yaşar, “Finite element modeling of tool stresses on ceramic tools in hard turning” *Mechanika*, vol. 23, i. 3, pp. 432-440, 2017.

- [23] A. Dorogoy ve D. Rittel, “Determination of the johnson-cook material parameters using the SCS specimen”, *Exper. Mech.*, vol. 49, pp. 881–885, 2009.
- [24] R.J. Immanuel ve S.K. Panigrahi, “Deformation behavior of ultrafine grained A356 material processed by cryorolling and development of Johnson–Cook model”, *Mat. Sci. Eng. A.*, vol. 712, pp. 747–756, 2018.
- [25] M. Akbari, S. Buhl, C. Leinenbach ve K. Wegener, ” A new value for Johnson Cook damage limit criterion in machining with large negative rake angle as basis for understanding of grinding”, *J. Mater. Process. Tech.*, vol. 234, pp. 58–71, 2016.
- [26] D.I. Lalwani, N.K. Mehta ve P.K. Jain, “Extension of Oxley’s predictive machining theory for Johnson and Cook flow stress model”, *J. Mater. Process. Tech.*, vol. 209, pp. 5305–5312, 2009.
- [27] S. Gupta, S. Abotula ve A. Shukla, “Determination of Johnson–Cook Parameters for Cast Aluminum Alloys”, *J. Eng. Mater.-T ASME.*, vol. 136, i. 3, 2014.
- [28] A. Shrot ve M. Bäker, “Determination of Johnson – Cook parameters from machining simulations”, *Comp. Mater. Sci.*, vol. 52, pp. 298–304, 2012.
- [29] A. Banerjee, S. Dhar, S. Acharyya, D. Datta ve N. Nayak, “Determination of Johnson cook material and failure model constants and numerical modelling of Charpy impact test of armour steel”, *Mat. Sci. Eng. A.*, vol. 640, pp. 200–209, 2015.
- [30] F. Kara, K. Aslantas and A. Çiçek, “Prediction of cutting temperature in orthogonal machining of AISI 316L using artificial neural network”, *Appl. Soft Comput.*, vol. 38, pp. 64-74, 2016.
- [31] J.M. Kollman, A. Merdes, L. Mourey ve D.A. Agard, “Microtubule nucleation by γ -tubulin complexes”, *Nat. Rev. Mol. Cell. Bio.*, vol. 12, pp. 709–721, 2011.
- [32] G. Quan, J. Pan ve X. Wang, “Prediction of the Hot Compressive Deformation Behavior for Superalloy Nimonic 80A by BP-ANN Model”, *App. Sci.*, vol. 6, pp. 66, 2016.
- [33] D. Samantaray, S. Mandal ve A.K. Bhaduri, “A comparative study on Johnson Cook, modified Zerilli-Armstrong and Arrhenius-type constitutive models to predict elevated temperature flow behaviour in modified 9Cr-1Mo steel”, *Comp. Mater. Sci.*, vol. 47, pp. 568–576, 2009.
- [34] J. Calvo, J.M. Cabrera, M.P. Guerrero-Mata, M. De La Garza ve J.F. Puigjaner, “Characterization of the hot deformation behaviour of nimonic 80A and 263 Ni-based superalloys”, *Proceedings of the 10th International Conference on Technology of Plasticity*, Aachen, Almanyaa, 2011, pp. 892–896.
- [35] F. Kara, K. Aslantas and A. Çiçek, “ANN and multiple regression method-based modelling of cutting forces in orthogonal machining of AISI 316L stainless steel”, *Neural Comput & Applic*, vol. 26, i. 1, pp. 237-250, 2015.