Uluslararası İleri Doğa Bilimleri ve Mühendislik Araştırmaları Dergisi
Sayı 10, S. 61-64, 10, 2026
© Telif hakkı IJANSER'e aittir
Araştırma Makalesi

IJANSER
https://as-proceeding.com/index.php/ijanser
ISSN: 2980-0811

International Journal of Advanced Natural Sciences and Engineering Researches
Volume 10, pp. 61-64, 10, 2026
Copyright © 2026 IJANSER
Research Article

EN AW 6082 Alüminyum Alaşımında Yapay Yaşlandırma Sıcaklığı ve Süresinin Sertliğe Etkisi

Muhammed Abdullah ÖZEL[1*] ve Mustafa ACARER[1]

[1]*Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye*

[*]*(muhammedabdullahozel@gmail.com) Sorumlu yazarın e-posta adresi*

(Received: 25 September 2026, Accepted: 03 October 2026)

(9th International Conference on Innovative Academic Studies ICIAS 2026, September 25-26, 2026)

ATIF/REFERENCE: Özel, M. A. & Acarer, M. (2026). EN AW 6082 Alüminyum Alaşımında Yapay Yaşlandırma Sıcaklığı ve Süresinin Sertliğe Etkisi. International Journal of Advanced Natural Sciences and Engineering Researches, 10(10), 61-64.

Özet – EN AW 6082 alüminyum alaşımı, T6 ısıl işlemiyle ulaşılan yüksek dayanımı nedeniyle otomotiv süspansiyon parçalarının üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu alaşımlarda yapay yaşlandırma sıcaklığı ve süresi, hem ulaşılan sertliği hem de endüstriyel fırın çevrim süresini doğrudan belirlemektedir. Bu çalışmada, Mg/Si oranı yaklaşık 0,68 olan ve Mg_2Si stokiyometrisine göre fazla Si içeren bir EN AW 6082 bileşiminde (A1) yapay yaşlandırma sıcaklığı ve süresinin sertlik üzerindeki etkisi incelenmiştir. Ekstrüzyon profillerinden hazırlanan disk numuneler 540 °C'de 1 saat çözeltiye alınıp 7–10 saniye içinde suda soğutulmuş, ardından 170, 180, 190 ve 200 °C'de 1, 2, 4 ve 6 saat yaşlandırılmıştır. Toplam 16 koşulda, her numuneden üç iz alınarak HBW 2,5/62,5 yöntemiyle Brinell sertliği ölçülmüştür. Isıl işlemsiz durumda yaklaşık 50 HB olan sertlik, en yüksek 113,1 HB değerine 180 °C / 4 sa koşulunda ulaşmış ve yaklaşık %126 artış göstermiştir. Yaşlandırma sıcaklığı arttıkça tepe sertliğe ulaşma süresi kısalmıştır (180 °C'de 4 sa, 190 °C'de 2 sa, 200 °C'de 1 sa); tepe sertlik ise 113,1 HB'den 110,8 HB'ye hafifçe azalmıştır. 190 ve 200 °C'de 1–2 saat içinde 110 HB'nin üzerine çıkılmış, 170 °C'de ise sertlik incelenen en uzun sürede hâlâ artmaktadır. Tepe noktasından sonra sertlikte belirgin bir düşüş (aşırı yaşlanma) 180, 190 ve 200 °C'de gözlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, fazla Si içeren bu bileşim için yüksek sertlik ile kısa fırın süresi arasında bir denge kurulması gerektiğini ortaya koymakta ve endüstriyel T6 işlem penceresinin seçimine yönelik temel veri sunmaktadır. Çalışma, farklı Mg/Si oranlarını kapsayan daha geniş bir araştırmanın ilk aşamasıdır.

Anahtar Kelimeler – EN AW 6082, Al-Mg-Si alaşımı, T6 ısıl işlemi, yapay yaşlandırma, Brinell sertliği, aşırı yaşlanma

I. GİRİŞ

Al-Mg-Si (6xxx) serisi alüminyum alaşımları; düşük yoğunluk, iyi şekillendirilebilirlik, korozyon direnci ve ısıl işlemle artırılabilen dayanımları nedeniyle otomotiv süspansiyon parçaları başta olmak üzere yapısal uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır [1], [2]. Bu seride EN AW 6082, yüksek Si ve Mn içeriğiyle en yüksek dayanımlı alaşımlardan biridir [1].

Bu alaşımların dayanımı T6 ısıl işlemiyle elde edilir: çözeltiye alma, hızlı soğutma (su verme) ve yapay yaşlandırma [3]. Yaşlandırma sırasında aşırı doymuş katı çözeltiden sırasıyla atom kümeleri, GP bölgeleri, β″ ve β′ çökeltileri ve son olarak denge fazı β (Mg_2Si) oluşur [4] - [7]. En yüksek sertlik ince ve yoğun β″ çökeltileriyle elde edilir; süre ya da sıcaklık aşıldığında çökeltiler irileşir ve sertlik düşer (aşırı yaşlanma) [1]. Bu nedenle yaşlandırma sıcaklığı ile süresinin birlikte seçilmesi, endüstriyel ısıl işlem

penceresinin belirlenmesinde belirleyicidir. Ayrıca alaşımın Mg/Si oranı, özellikle stokiyometriye göre fazla Si içeren bileşimlerde, çökelme davranışını etkilemektedir [8].

Bu çalışmada, Si fazlası içeren bir EN AW 6082 bileşimi (A1) için dört yaşlandırma sıcaklığı (170, 180, 190 ve 200 °C) ve dört yaşlandırma süresinin (1, 2, 4 ve 6 sa) Brinell sertliği üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışma, farklı Mg/Si oranlarını kapsayan daha geniş bir araştırmanın ilk aşamasıdır.

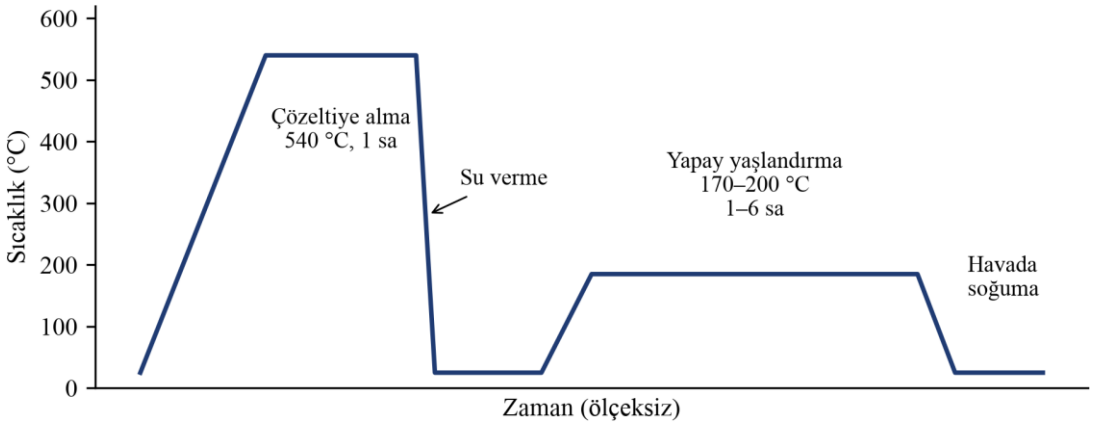
II. MATERYAL VE YÖNTEM

A. Malzeme

Çalışmada ekstrüzyonla üretilmiş EN AW 6082 alüminyum alaşımı (lot L-2410) kullanılmıştır [9]. Alaşımın Mg/Si oranı (ağırlıkça) yaklaşık 0,68 olup Mg_2Si stokiyometrisine (≈1,73) göre fazla Si içermektedir. Kimyasal bileşimin ayrıntılı analizi çalışmanın sonraki aşamasında verilecektir.

B. Isıl İşlem

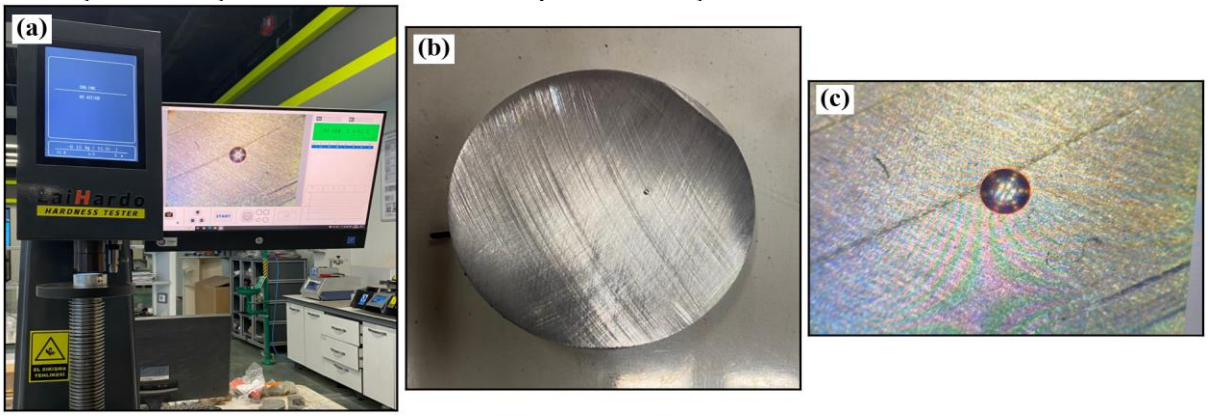
Profillerden kesilen numuneler elektrikli fırında 540 °C'de 1 sa çözeltiye alınmış ve 7–10 s içinde 21–24 °C'deki suya daldırılarak soğutulmuştur. Su verme ile yaşlandırma arasında numuneler oda sıcaklığında 18–28 dk bekletilmiştir. Ardından numuneler 170, 180, 190 ve 200 °C'de 1, 2, 4 ve 6 sa yapay yaşlandırılmış ve havada soğutulmuştur. Böylece toplam 16 yaşlandırma koşulu incelenmiştir. Uygulanan ısıl işlem çevrimi Şekil 1'de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 1. Uygulanan T6 ısıl işlem çevriminin şeması

C. Sertlik Ölçümü

Sertlik ölçümleri ASTM E10 standardına uygun olarak yarı otomatik Brinell sertlik cihazında (LaiHardo LH-ZBB-3000) 2,5 mm çaplı bilye, 62,5 kgf yük ve 5 s bekleme süresiyle (HBW 2,5/62,5) yapılmıştır [10]. İz çapları cihazın kamera ve görüntü analiz yazılımıyla ölçülmüştür (Şekil 2). Her numunede üç iz alınmış; ortalama ve standart sapma verilmiştir.



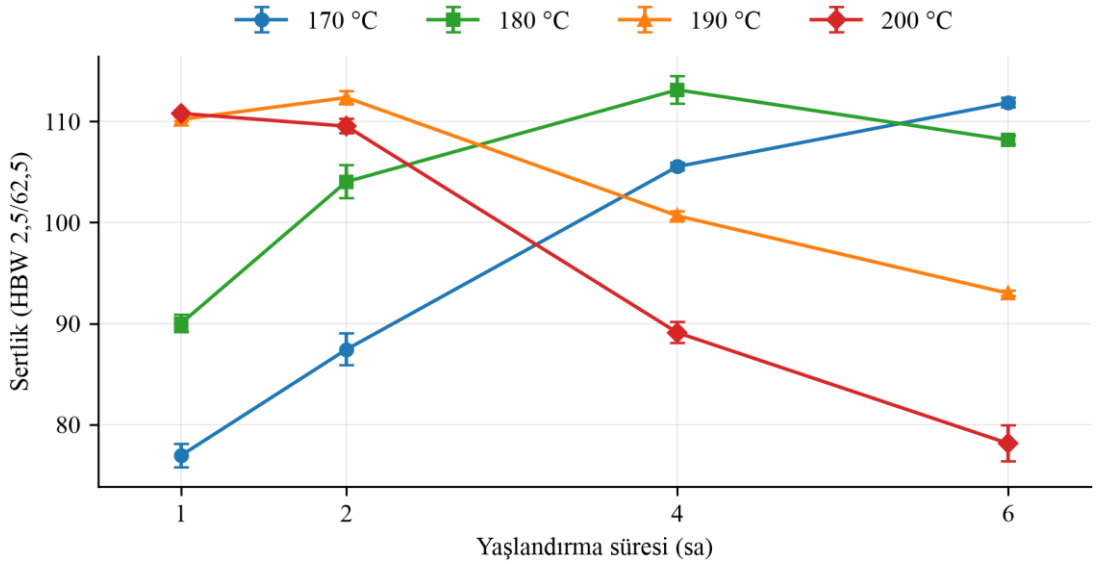
Şekil 2. Sertlik ölçümü: (a) yarı otomatik Brinell sertlik cihazı, (b) iz alınmış disk numune, (c) iz çapının görüntü analiziyle ölçümü

III. BULGULAR

Isıl işlemsiz başlangıç durumunda alaşımın sertliği yaklaşık 50 HB'dir. Yaşlandırma koşullarına göre elde edilen sertlik değerleri Tablo 1'de, sertliğin yaşlandırma süresiyle değişimi ise Şekil 3'te verilmiştir.

Tablo 1. Yaşlandırma koşullarına göre Brinell sertliği (HB, ortalama ± standart sapma)

Süre (sa)	170 °C	180 °C	190 °C	200 °C
1	76,9 ± 1,2	90,0 ± 0,9	110,2 ± 0,2	110,8 ± 0,2
2	87,4 ± 1,6	104,0 ± 1,6	112,4 ± 0,7	109,5 ± 0,7
4	105,5 ± 0,4	113,1 ± 1,4	100,7 ± 0,4	89,1 ± 1,0
6	111,9 ± 0,5	108,2 ± 0,5	93,0 ± 0,3	78,1 ± 1,8



Şekil 3. Farklı sıcaklıklarda sertliğin yaşlandırma süresiyle değişimi

Her sıcaklıkta incelenen süreler içinde ulaşılan en yüksek sertlik şöyledir: 170 °C'de 6 saatte 111,9 HB (sertlik incelenen en uzun sürede hâlâ artmaktadır); 180 °C'de 4 saatte 113,1 HB; 190 °C'de 2 saatte 112,4 HB; 200 °C'de 1 saatte 110,8 HB. Yaşlandırma sıcaklığı arttıkça tepe sertliğe ulaşma süresi kısalmıştır (180 °C'de 4 sa, 190 °C'de 2 sa, 200 °C'de 1 sa); tepe sertlik ise 113,1 HB'den 110,8 HB'ye hafifçe azalmıştır. En yüksek sertlik 113,1 HB ile 180 °C / 4 sa koşulunda elde edilmiş olup bu değer ısıl işlemsiz başlangıç durumuna göre yaklaşık %126 artışa karşılık gelmektedir. Tepe noktasından sonra sertlikte belirgin bir düşüş (aşırı yaşlanma) 180, 190 ve 200 °C'de gözlenmiştir.

IV. TARTIŞMA

Yaşlandırma sıcaklığının artması difüzyonu hızlandırdığından sertleştirici β″ çökeltileri daha kısa sürede oluşmakta, dolayısıyla tepe sertliğe daha erken ulaşılmaktadır. Buna karşılık yüksek sıcaklıkta çekirdeklenme yoğunluğu azaldığından ve çökeltiler daha hızlı irileştiğinden tepe sertlik düşmekte ve aşırı yaşlanma daha erken başlamaktadır [1], [3]. Literatürde düşük yaşlandırma sıcaklığında daha yüksek sertlik elde edilebildiği, ancak gerekli sürenin uzadığı bildirilmektedir [1], [3]; bu çalışmada da 170 °C'de sertlik 6 saatin sonunda hâlâ artmaktadır. Bu durum, endüstriyel uygulamada sertlik hedefi ile fırın süresi arasında bir denge kurulmasını gerektirmektedir.

İncelenen A1 bileşimi Mg_2Si stokiyometrisine göre fazla Si içermektedir. Fazla Si'nin β″ çökeltilerinin oluşumunu destekleyerek yaşlanma sertleşmesini artırdığı bildirilmiştir [8]. Bu durum, incelenen bileşimde 190 ve 200 °C'de ilk bir saat içinde 110 HB'nin üzerine çıkılmasıyla uyumlu olabilir. Sertlikteki değişimi sağlayan çökeltiler nanometre boyutunda olduğundan, çökelti yapısının elektron mikroskobu ile incelenmesi çalışmanın sonraki aşamasında ele alınacaktır [4], [5].

V. SONUÇLAR

Si fazlası içeren EN AW 6082 (A1) alaşımında dört sıcaklık ve dört sürede yapay yaşlandırmanın etkisi incelenmiş ve şu sonuçlar elde edilmiştir:

• En yüksek sertlik 113,1 HB ile 180 °C / 4 sa koşulunda elde edilmiştir.

• Yaşlandırma sıcaklığı arttıkça tepe sertliğe ulaşma süresi kısalmıştır (180 °C'de 4 sa, 190 °C'de 2 sa, 200 °C'de 1 sa); tepe sertlik ise 113,1 HB'den 110,8 HB'ye hafifçe azalmıştır.

• Tepe noktasından sonra sertlikte belirgin bir düşüş (aşırı yaşlanma) 180, 190 ve 200 °C'de gözlenmiştir.

Farklı Mg/Si oranlarına sahip bileşimlerin incelenmesi çalışmanın sonraki aşamasında ele alınacaktır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma birinci yazar Muhammed Abdullah ÖZEL'in Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Malzeme Anabilim Dalı Yüksek Lisans tez çalışmasından çıkarılmıştır. Bu çalışma AYD Otomotiv Ar-Ge Merkezi olanaklarıyla gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalardaki katkıları için Malzeme ve Metalurji Laboratuvarı çalışanlarına teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

[1] Polmear, I., StJohn, D., Nie, J. F., & Qian, M. (2017). Light Alloys: Metallurgy of the Light Metals (5th ed.). Butterworth-Heinemann.

[2] Miller, W. S., Zhuang, L., Bottema, J., Wittebrood, A. J., De Smet, P., Haszler, A., & Vieregge, A. (2000). Recent development in aluminium alloys for the automotive industry. Materials Science and Engineering: A, 280(1), 37-49.

[3] ASM International. (1991). ASM Handbook, Vol. 4: Heat Treating. ASM International.

[4] Edwards, G. A., Stiller, K., Dunlop, G. L., & Couper, M. J. (1998). The precipitation sequence in Al–Mg–Si alloys. Acta Materialia, 46(11), 3893-3904.

[5] Andersen, S. J., Zandbergen, H. W., Jansen, J., Træholt, C., Tundal, U., & Reiso, O. (1998). The crystal structure of the β″ phase in Al–Mg–Si alloys. Acta Materialia, 46(9), 3283-3298.

[6] Marioara, C. D., Andersen, S. J., Jansen, J., & Zandbergen, H. W. (2001). Atomic model for GP-zones in a 6082 Al–Mg–Si system. Acta Materialia, 49(2), 321-328.

[7] Murayama, M., & Hono, K. (1999). Pre-precipitate clusters and precipitation processes in Al–Mg–Si alloys. Acta Materialia, 47(5), 1537-1548.

[8] Gupta, A. K., Lloyd, D. J., & Court, S. A. (2001). Precipitation hardening in Al–Mg–Si alloys with and without excess Si. Materials Science and Engineering: A, 316(1-2), 11-17.

[9] EN 573-3. (2019). Aluminium and aluminium alloys - Chemical composition and form of wrought products - Part 3: Chemical composition and form of products. CEN.

[10] ASTM E10-18. (2018). Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials. ASTM International.