

## AA7075 ALÜMİNYUM ALAŞIMINDA ÇÖZME TAVI SICAKLIĞININ YAŞLANMA DAVRANIŞINA ETKİSİ

*Hakan AYDIN* \*  
*Oğuz TUNÇEL* \*

Alınma: 04.02.2019 ; düzeltme: 13.03.2019 ; kabul: 26.03.2019

**Öz:** Bu çalışmada, AA7075 alüminyum alaşımında çözme tavlama sıcaklığının yaşlanma davranışına etkisi incelenmiştir. Çözme tavlama sıcaklıkları olarak 440°C, 460°C, 480°C, 500°C, 520°C, 540°C ve 560°C seçilmiştir. Çözme tavlama sıcaklığında bekleme süresi 2,5 saat olarak belirlenmiştir. Çözme tavlama takiben tüm numuneler buzlu suda soğutulmuşlardır. Sonrasında, tüm numuneler 180°C'de yaşlandırılmıştır. Sertlik ölçümlerinde 1 kg yüklemeye uygulanarak Vickers sertlik ölçme cihazı kullanılmıştır.  $T \leq 520^\circ\text{C}$  sıcaklıklarından su verme ile elde edilen aşırı doymuş katı eriyiğin sertliği ( $\sim 100 \text{ HV}_1$ ) çözme tavlama sıcaklığı ile değişmezken,  $T > 520^\circ\text{C}$  sıcaklıklarından su verme ile elde edilen aşırı doymuş katı eriyiğin sertliği ise çözme tavlama sıcaklık artışı ile düşmektedir.  $T \leq 500^\circ\text{C}$  çözme tavlama sıcaklıklarına sahip numunelerde yaşlandırma ile edilen maksimum sertlik değeri çözme tavlama sıcaklık artışı ile artmaktadır.  $500^\circ\text{C}$  sıcaklığındaki çözme tavlama tabii tutulan numunede  $180^\circ\text{C}$  yaşlandırma sıcaklığında 1 saatlik yaşlandırma süresinde en yüksek sertlik değeri ( $177.6 \text{ HV}_1$ ) elde edilmiştir. Oldukça kısa bir sürede elde edilen bu sertlik değeri, ticari olarak temin edilen AA7075-T6 alaşımının sertlik değerinin de üzerindedir. Diğer taraftan,  $T > 500^\circ\text{C}$  çözme tavlama sıcaklıklarında ise yaşlandırma ile edilen maksimum sertlik değeri çözme tavlama sıcaklık artışı ile düşmektedir. Ayrıca, genel itibarıyla, çözme tavlama sıcaklık artışı ile aşırı doymuş katı eriyik yapısından yaşlandırma ile sağlanan sertleşme yüzdesi artmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** AA7075 Alüminyum alaşımı; Çözme Tavlama, Yaşlandırma, Sertlik

### The Effect of Solution Treatment Temperature on Aging Behavior of AA7075 Aluminum Alloy

**Abstract:** In this study, the effect of the solution treatment temperature on the aging behavior of the aluminum alloy AA7075 was investigated. Solution treatment temperatures were selected as 440°C, 460°C, 480°C, 500°C, 520°C, 540°C and 560°C. The waiting time at the solution treatment was determined as 2,5 hours. Following solution treatment, all samples were cooled in ice water. Then, all samples were aged at 180°C. Vickers hardness tester was used for microhardness measurements with 1 kg loading. The hardness of the excess saturated solid solution ( $\sim 100 \text{ HV}_1$ ) obtained by quenching from  $T \leq 520^\circ\text{C}$  solution treatment temperatures does not change with the temperature, while at the solution treatment temperatures  $T > 520^\circ\text{C}$ , the hardness of the excess saturated solid solution decreases with temperature rise. The maximum hardness value which obtained with aging at  $T \leq 500^\circ\text{C}$  treatment solution temperatures increases with temperature rise. The highest hardness value ( $177.6 \text{ HV}_1$ ) was obtained by 1 hour aging at a temperature of  $180^\circ\text{C}$  in the sample which was subjected to the solution treatment at  $500^\circ\text{C}$ . This hardness obtained in a relatively short time is also above the hardness value of the commercially purchased AA7075-T6 alloy. Otherwise, the maximum hardness value which obtained with aging at  $T > 500^\circ\text{C}$  treatment solution temperatures decreases with temperature rise. Also, the percentage

\* Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 16059, Görükle-Bursa, Türkiye  
İletişim Yazarı: Oğuz Tunçel (otuncel@uludag.edu.tr)

of hardening with aging, from the excess saturated solid solution structure increase with increasing treated solution temperature generally.

**Keywords:** AA7075 Aluminum Alloy; Aging; Solution Treatment; Hardness

## 1. GİRİŞ

Alüminyumun düşük yoğunluk, yüksek korozyon direnci ve kolay işlenebilirlik gibi üstünlüklerinden dolayı makina, taşıt ve yapı endüstrisinde geniş oranda yararlanılması, ancak dayanım özelliklerinin alaşımlama yoluyla iyileştirilmesinden sonra gerçekleşebilmiştir. Yani, alüminyum alaşımlarının teknolojide kullanım alanlarının genişlemesi sertlik ve mukavemetlerinin artırılmasına bağlıdır (Demirci ve diğ., 2002; Hirsch, 2014; Dursun ve Soutis, 2014; Polmear ve diğ., 2017). Alüminyum alaşımlarında mukavemetin, çökeltme sertleşmesiyle artırılabilmesinin bulunması, alüminyum alaşımlarının geliştirilmesinde çok büyük rol oynamıştır (Hirsch, 2014; Dursun ve Soutis, 2014; Polmear ve diğ., 2017; Pogatschar ve diğ., 2014; Polmear ve diğ., 2004; Bargel ve diğ., 1980; Polmear ve diğ., 1981). Mukavemet/yoğunluk oranının yüksek olması gereken taşıt tekniği, uzay ve özellikle uçak sanayiindeki özgün konstrüksiyonlar, yaşlandırılabilir (çökeltme sertleştirilmesi uygulanabilir) alüminyum alaşımları olmadan düşünülemez. Yaşlandırma işlemi uygulanmadan alüminyum alaşımlarının konstrüksiyon malzemesi olarak kullanımı da mümkün değildir.

Alüminyum alaşımlarının mukavemetlerinin artırılmasında, ısıtma işlemleriyle yapı içinde ikincil fazların oluşumunun sağlanması başvurulan en önemli yöntemdir (yaşlandırma sertleştirilmesi veya çökeltme sertleştirilmesi). Çökeltme sertleştirilmesi işlemi, kullanım sıcaklığında, katı halde, termodinamik denge halinde en az iki fazlı yapıdayken, hızlı soğutma suretiyle denge yapısı fazlarının oluşumuna fırsat verilmeyerek, tek fazlı metastabil yapıya dönüştürülebilen alaşımlara uygulanabilir. Teknik kullanımda bu işlemin anlam kazanabilmesi için, söz konusu alaşımların metastabil yapısından (aşırı doymuş katı eriyik) çökeltilecek ikincil fazların yüksek sertlik ve mukavemette olması gerekir. Teknik kullanımda uygulama alanı bulan böyle çökeltmeler, genellikle, belirtilen özelliklere sahip intermetalik faz partikülleridir (Demirci ve diğ., 2002; Isadare ve diğ., 2013; Fooladfar ve diğ., 2010; Esmailian ve diğ., 2015; Siddiqui, 1992; Reis ve diğ., 2012; Zhang ve diğ., 2016; Demirci, 2004; Demirci, 2005). Belirtilen bu intermetalik faz dönüşümleri sadece malzeme analizlerine değil, önemli ölçüde kullanılan yarı mamullere uygulanan ön işlemlere (deformasyon oranı ve dislokasyon yoğunluğu, tane büyüklüğü, tekstür ve iç gerilmelere) bağlıdır. Ancak, yapı içerisinde oluşabilecek bu ikincil intermetalik fazlar, beklenen sertleşme mertebelerine doğrudan ulaştıramazlar. Amaçlanan yaşlandırma sertleşmesi, esas itibarıyla bu süreç içerisinde yapıda bir dizi metastabil ara fazların oluşmasıyla sağlanır. Söz konusu bu ara fazlar alüminyum matriks kafesiyle bağdaşan (koherent) çökelti bölgeleridir. Alaşım elementlerinin difüzyonla zenginleştiği, ana faz içerisindeki bu bölgecikler, homojen dağılımlı çekirdek oluşumunun ve bunun sonucu olarak da parçacıklar arası mesafenin çok küçük boyutta sağlanması ile ( $D < 100 \text{ \AA}$ ) büyük oranda mukavemet ve sertlik artışına götürürler (Demirci, 2004; Demirci, 2005). Teknik bir yaşlandırılabilir alüminyum alaşımı mamul veya yarı mamul parçadan, teknolojik kullanım açısından beklenen özelliğin eldesi için optimum yaşlandırma parametrelerinin (zaman-sıcaklık) tespitine ihtiyaç vardır (Demirci, 2005). Bu tespit için de en kolay, ekonomik ve amaca uygun takip edilecek malzeme özelliği sertliktir.

Alüminyum alaşımlarının savunma sanayi ve havacılık sanayindeki kullanımında özellikle yaşlandırılabilir 7075 alüminyum alaşımı üstün mekanik özellikleri ile ön plana çıkmaktadır. Bu alaşımların kullanım yerleri arasında, uçak bağlantı parçaları, dişliler ve şaftlar, sigorta parçaları, sayaç milleri ve dişliler, füze parçaları, ayar valf parçaları, sonsuz dişliler, anahtarlar, bisiklet şasileri, tüm arazi aracı (ATV) zincir dişlileri vs. gösterilebilir. Ayrıca, 7075 alüminyum alaşımı kalıp sanayinde de yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (otomotiv iç trim kalıpları, plastik

enjeksiyon kalıpları gibi). 7075 T6 alüminyum alaşımının yaşlandırılması ile ilgili yapılan literatür çalışmaları araştırılmış ve sonuçlar şöyle özetlenmiştir. Güleryüz ve Kaçar (2011) AA7075 alaşımını 480°C’de çözeltiyeye alıp suda soğuttuktan sonra %8 ön deforme edip 140°C’de farklı sürelerde yaşlandırma işlemine tabi tutmuşlardır. Bu çalışmalarında, 140°C’de 12 saat yaşlandırma zamanına kadar maksimum çekme, akma dayanımı ve sertlikte artış, yüzde uzamada ise azalma tespit etmişlerdir. Baydoğan ve diğ. (2004) 0.85 mm kalınlığındaki 7075-T6 alüminyum alaşımı saclara 220°C’de 15 saniye-60 dakika arasında retrogresyon uyguladıktan sonra 120°C’de 24 saat yeniden yaşlandırma uygulayıp mekanik özelliklerdeki değişimleri incelemişlerdir. En yüksek sertlik değerine temel malzeme sertlik değerinin %7 fazlası olarak 220°C’de 30 saniye retrogresyon ve sonrasında yeniden yaşlandırma uygulanarak ulaşılmıştır. Fakat çekme mukavemeti değeri yaklaşık olarak %5 oranında azalmıştır. Tash ve Alkahtani (2014) Al-Mg-Zn (7075) alaşımının ön yaşlandırma ve yaşlandırma parametrelerinin (zaman ve sıcaklık) mekanik özellikler üzerine etkilerini incelemişlerdir. Çalışmalarında en iyi mekanik özelliklere (~ 480 MPa çekme mukavemeti) 465°C’de 8 saat çözme tavı sonrası 65°C’de 24 saat ön yaşlandırma ve devamında 130°C’de 24 saat yaşlandırma uygulayarak ulaşılmıştır. Ayrıca, çözme tavı sonrasında (380 MPa) oda sıcaklığında 192 saat yaşlandırdıkları numunelerde (400 MPa) çekme mukavemetinde oldukça düşük bir artış tespit etmişlerdir. Clark Jr ve diğ. (2005) 7075 T6 alüminyum alaşımında termal proses parametrelerinin fiziksel ve mekanik özelliklere olan etkilerini çalışmışlardır. Çalışmalarında çözme tavı sıcaklıklarını, soğutma ortamını (hava, su) ve devamında yaşlandırma süre ve sıcaklıklarını değiştirmişlerdir. Optimum sonuçlara 480°C’de 1 saat çözme tavını takiben suda soğutma sonrasında 24 saat 121°C’de yaşlandırma programında ulaşılmıştır. Yapılacak bu deneysel çalışma kapsamında ise, AA7075 alüminyum alaşımının çözme tavı sıcaklığına bağlı olarak 180°C yaşlandırma sıcaklığındaki yaşlanma davranışı incelenmiştir.

## 2. MATERYAL VE METOT

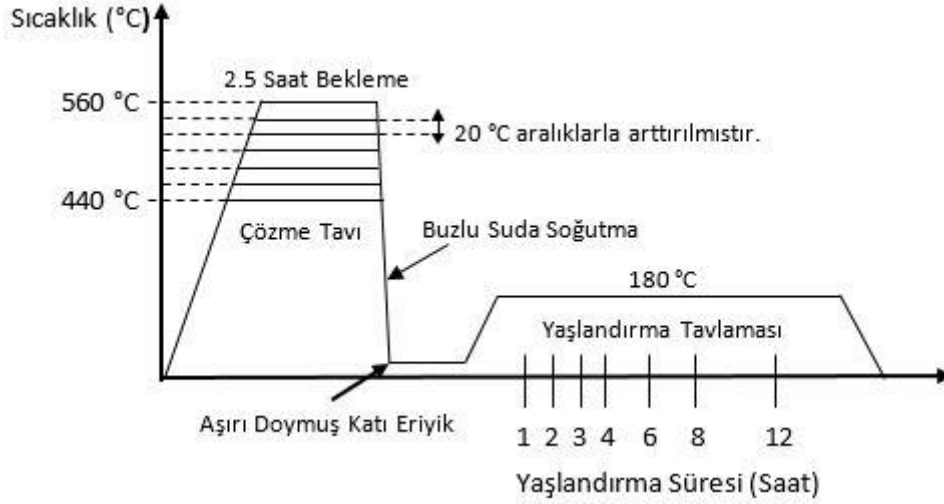
Ticari olarak temin edilen AA7075-T6 alüminyum alaşımının kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri sırasıyla Tablo 1 ve Tablo 2’de verilmektedir. Numuneler 30 mm x 40 mm x 28 mm ölçülerde kesilerek deneyler için uygun hale getirilmiştir. Deneysel çalışmalarda AA7075-T6 alüminyum alaşımına farklı çözme tavı ve sonrasında 180°C’de yaşlandırma işlemi uygulanmıştır. Bu amaçla yapılan deneylerde çözme tavı sıcaklıkları; 440°C, 460°C, 480°C, 500°C, 520°C, 540°C ve 560°C olarak seçilmiştir. Çözme tavı, belirtilen sıcaklıklarda fırında 2,5 saat bekletilerek gerçekleştirilmiştir. Çözme tavını takiben fırından çıkartılan tüm numuneler yaklaşık olarak 0°C’de buzlu suda soğutulmuşlardır. Malzemelerin fırından çıkarılıp suya atılınca kadar geçen sürenin 5 s’yi geçmemesine hassasiyet gösterilmiştir. Buzlu suya atılarak elde edilen aşırı doymuş katı eriyik numunelere devamında 180°C’de sırasıyla 1, 2, 3, 4, 6, 8 ve 12 saat bekletilerek suni yaşlandırma işlemi uygulanmıştır. Yaşlandırma işlemi prosedürü kapsamında gerçekleştirilen çözme tavı ve yaşlandırma tavlama işlemleri sıcaklık ve zaman kontrollü ısı işlem fırınında (Protherm marka) gerçekleştirilmiştir. Her bir deney grubuna yönelik yaşlandırma deneyi için 3 farklı numune kullanılmıştır. Bu numuneler ilk olarak fırında bulunan raflara birbirlerine temas etmeyecek şekilde yerleştirilmiş ve numunelerin grubuna uygun olacak şekilde Şekil 1’de belirtilen prosedürler uygulanmıştır. Aşırı doymuş ve 180°C’de farklı sürelerde suni olarak yaşlandırılan numunelere Vickers mikrosertlik deneyleri uygulanmıştır. Vickers (HV<sub>1</sub>) sertlik testleri Metkon mikrosertlik sertlik cihazı kullanılarak 1 kilogram yük 15 s uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Sertlik sonuçları 10 adet ölçümün aritmetik ortalaması alınarak belirlenmiştir.

**Tablo 1. Çalışmada kullanılan AA7075-T6 alüminyum alaşımının kimyasal bileşimi (% ağırlıkça)**

Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Si	Fe	Ti+Zr	Al
1,2-2,0	0,3	2,1-2,9	0,18-0,28	5,1-6,1	0,4	0,5	0,25	Geriye Kalan

**Tablo 2. Çalışmada kullanılan AA7075-T6 alüminyum alaşımının mekanik özellikleri**

Çekme Mukavemeti (MPa)	Akma Mukavemeti (MPa)	Yüzde Uzama	Sertlik (HV <sub>1</sub> )
560	485	8.9	174



**Şekil 1:**  
Deneylerde uygulanan yaşlandırma prosesleri

### 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

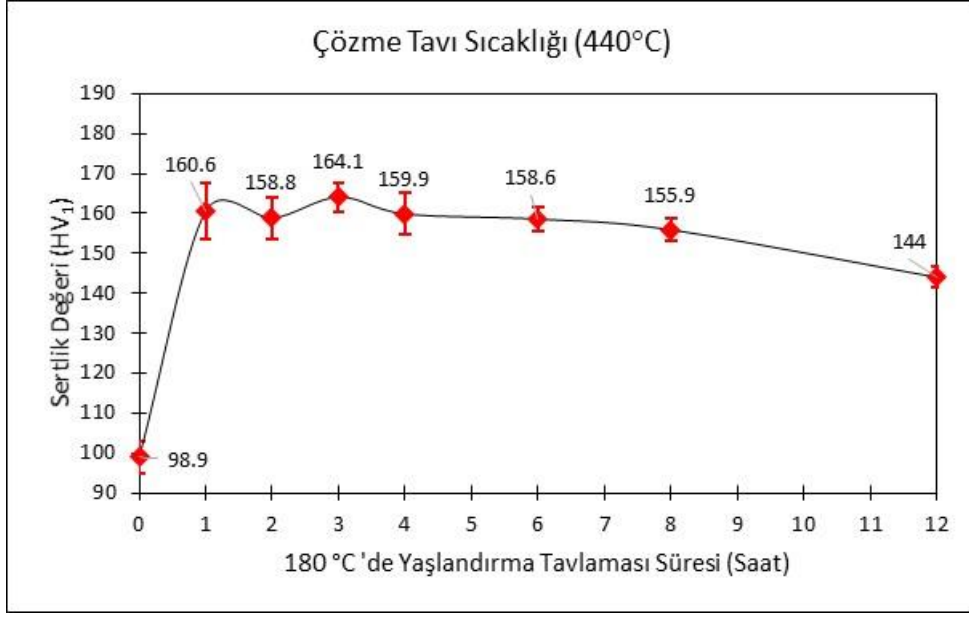
AA7075 Al-alaşımında çözme tavı sıcaklığının yaşlanma davranışı üzerindeki etkisi Tablo 3 ve Şekil 2-8'de verilmiştir. 440°C, 460°C, 480°C, 500°C ve 520°C sıcaklıklarında yapılan çözme tavlardan sonra buzlu suda su verilmesi sonucunda oluşan aşırı doymuş katı eriyiklerin sertlikleri 100 HV<sub>1</sub> civarındadır (Şekil 2-6). Diğer taraftan, 540°C ve 560°C sıcaklarında uygulanan çözme tavlardan sonra buzlu suda su verilmesi sonucunda oluşan aşırı doymuş katı eriyiklerin sertlikleri ise sırasıyla 90 HV<sub>1</sub> ve 80 HV<sub>1</sub> civarındadır (Şekil 7 ve 8). T ≤ 520°C çözme tavı sıcaklıklarından su verme ile elde edilen aşırı doymuş katı eriyik yapılarının sertlikleri sıcaklıkla hemen hemen değişmezken, T > 520°C üzerindeki çözme tavı sıcaklıklarından su verme ile elde edilen aşırı doymuş katı eriyiklerin sertlikleri ise sıcaklık artışı ile düşmektedir. Çözme tavı esnasında yüksek sıcaklıklarda meydana gelen tane sınırı göçü ile ortaya çıkan tane irileşmesi bu sertlik düşüşünün ana kaynağı olarak gösterilebilir. Özellikle 560°C sıcaklığında uygulanan çözme tavı bu hususu net olarak ortaya koymaktadır: Bu sıcaklıkta çözme tavı uygulanmış aşırı doymuş katı eriyiğin sertlik değeri düşük sıcaklıklarda çözme tavı uygulanmış

aşırı doymuş katı eriyiklerin sertlik değerlerinden yaklaşık olarak %20 daha düşük kalmıştır. 7075 Al-alaşımında oluşabilecek çökelti partiküllerinin yapı içerisinde tamamıyla çözünmüş halde bulunduğu aşırı doymuş katı eriyik yapının sertlik değerini esas itibariyle Hall-Petch bağıntısına izafeten tane büyüklüğünün belirler (Hall,1954): Tane büyüklüğü arttıkça birim alana düşen tane sınırı (plastik deformasyon esnasında dislokasyonlara engel teşkil eden) miktarının azalmasıyla sertlik ve mukavemet azalacaktır. Ayrıca, yüksek sıcaklıklarda tane sınırlarında meydana gelebilecek muhtemel sıvılaşmalarda ortaya çıkabilen alaşım elementi mikrosegregasyonlarının da bu sertlik düşüşünde bir etkisinin olacağı açıktır.

Farklı çözme tavı sıcaklıklarına sahip aşırı doymuş katı eriyik yapılarının 180°C’de yaşlanma tavlama tabii tutulması sonucunda, ulaşılabilecek maksimum sertlik değerlerinin 153,1 HV<sub>1</sub> ile 177,6 HV<sub>1</sub> arasında değiştiği görülmektedir (Şekil 9). Genel itibariyle bu maksimum sertlik değerlerine 180°C tavlama sıcaklığında 1-2 saat içerisinde ulaşılmıştır. Bu 1-2 saatlik süre içerisinde, nispeten yüksek yaşlandırma sıcaklığına (180°C) istinaden alaşım elementi atomlarının daha yüksek yoğunlukta bulunduğu birkaç atomlar arası mesafe mertebesindeki koherent GPI zonlarının (Guiner-Preston-Zonen) oluşumu (S''-Al<sub>2</sub>CuMg ve η'-MgZn<sub>2</sub> cinsinden sertleştirici fazları) teknik anlamda mümkün değildir (Demirci, 2004; Demirci, 2005; Haider ve diğ., 2013). GPI zonlarının ayrışan alaşım elementi atomlarının katı eriyik içerisindeki çok küçük bir bölgede -kristal sistemini değiştirmeksizin- toplanarak konsantrasyonu artırmasıyla oluşturulan bir farklılıktan ibaret olması, bu hususunda ancak oldukça düşük yaşlandırma sıcaklıklarında (doğal yaşlandırma şartlarında) ortaya çıkabilmesine olanak tanıyabilir. Bu yaşlandırma sıcaklığı (180°C), bu saatler arasında genel itibariyle alaşım komponenti atomlarının yer aldığı ayrışma bölgelerinin kafes yapıları ana fazınki ile artık tam uyum göstermeyip yeni bir faz kristali oluşumuna geçişi başlatır. Artık tam koherent olmayan, her kristal düzleminin ana yapının ilgili düzlemleriyle uyum içinde olmadığı, bu küçük bölgeler yarı koherent ayrışmayı ifade eden "GPII zonları" ile tarif edilir. Bu anlamda, mevcut numunelerde 180°C yaşlandırma sıcaklığında 1-2 saat süresi içerisinde yarı koherent S'-Al<sub>2</sub>CuMg ve η'-MgZn<sub>2</sub> sertleştirici çökelti fazları ortaya çıkmıştır denilebilir. Oluşan bu yarı koherent fazlara istinaden aşırı doymuş katı eriyik yapıların sertlikleri 180°C yaşlandırma sıcaklığında 1-2 saat süresi içerisinde önemli ölçüde artmıştır.

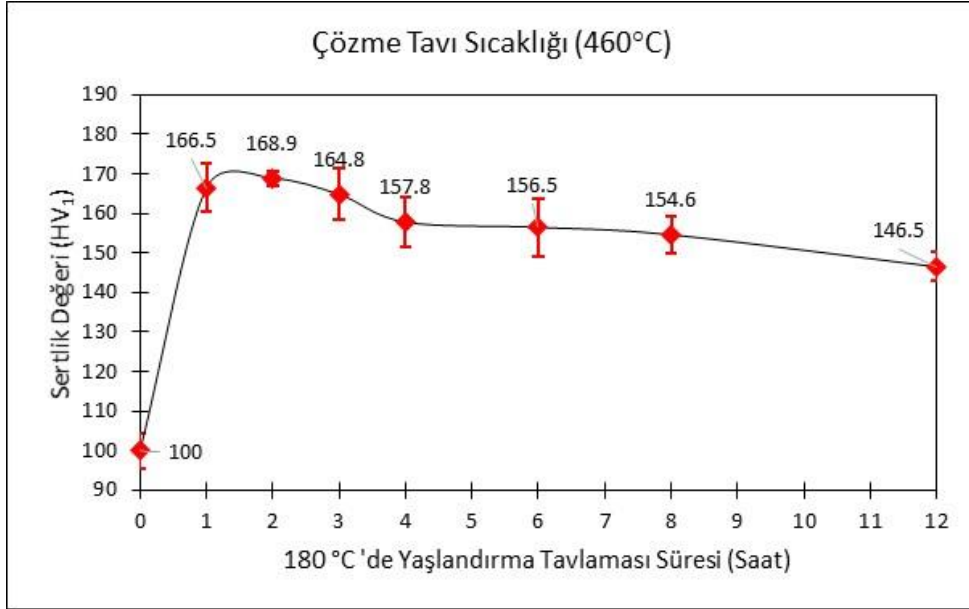
**Tablo 3. AA7075-T6 alüminyum alaşımına farklı sıcaklıklarda uygulanan çözme tavı ve 180 °C’de farklı yaşlandırma tavlama sürelerinde oluşan sertlik değerleri ve standart sapmalar**

Yaşlandırma Süresi (Saat)	Çözme Tavı Sıcaklığı													
	440°C		460°C		480°C		500°C		520°C		540°C		560°C	
	Sertlik (HV <sub>1</sub> )	Standart Sapma	Sertlik (HV <sub>1</sub> )	Standart Sapma	Sertlik (HV <sub>1</sub> )	Standart Sapma	Sertlik (HV <sub>1</sub> )	Standart Sapma	Sertlik (HV <sub>1</sub> )	Standart Sapma	Sertlik (HV <sub>1</sub> )	Standart Sapma	Sertlik (HV <sub>1</sub> )	Standart Sapma
0	98,9	3,93	100	4,46	100,4	1,6	101,8	3,88	101,6	3,06	90,3	3,76	80,2	4,26
1	160,6	7,02	166,5	6,1	172,3	4,76	177,6	4,76	170,2	6,33	170,2	4,89	149,9	7,94
2	158,8	5,38	168,9	1,79	170,7	3,08	174,2	5,31	171,3	7,6	171,2	3,83	153,1	6,86
3	164,1	3,67	164,8	6,44	170,1	4,44	168,6	5,93	169,6	5,93	169,7	4,93	150,9	6,48
4	159,9	5,26	157,8	6,16	169,7	2,28	167,4	4,05	163,4	4,09	167,2	4,53	152,7	6,77
6	158,6	2,89	156,5	7,33	162,5	4,88	162,1	6,22	162,5	2,49	164,2	8,46	147,5	7,65
8	155,9	2,72	154,6	4,7	152,6	6,41	157,9	5,08	158,8	3,6	159	7,96	145,9	4,71
12	144	2,6	146,5	3,62	146,2	3,4	149,8	4,15	152,8	2,21	151,5	4,75	144,1	5



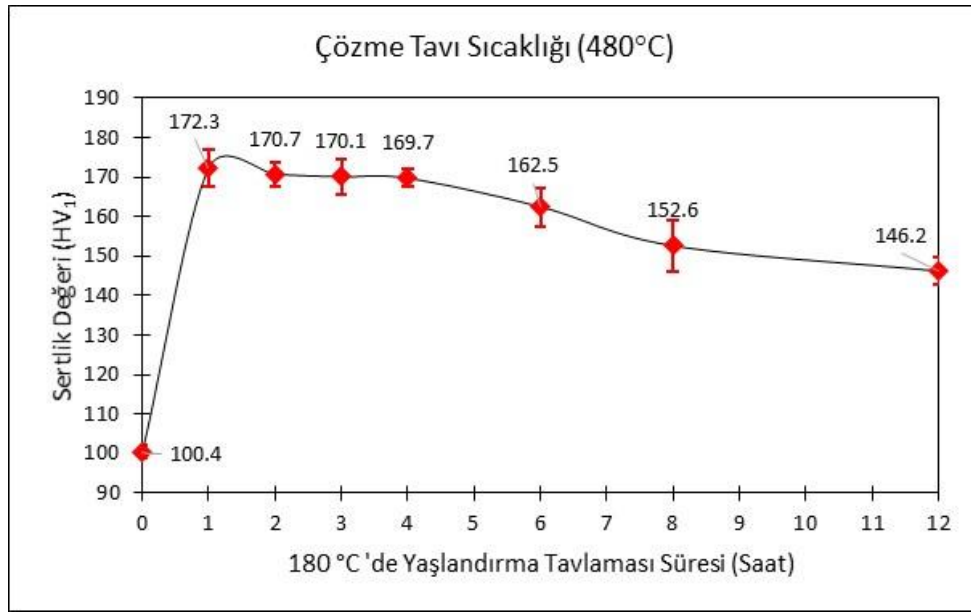
**Şekil 2:**

440°C'de çözme tavlı uygulanan AA7075-T6 alüminyum alaşımının 180°C'de yaşlanma davranışı

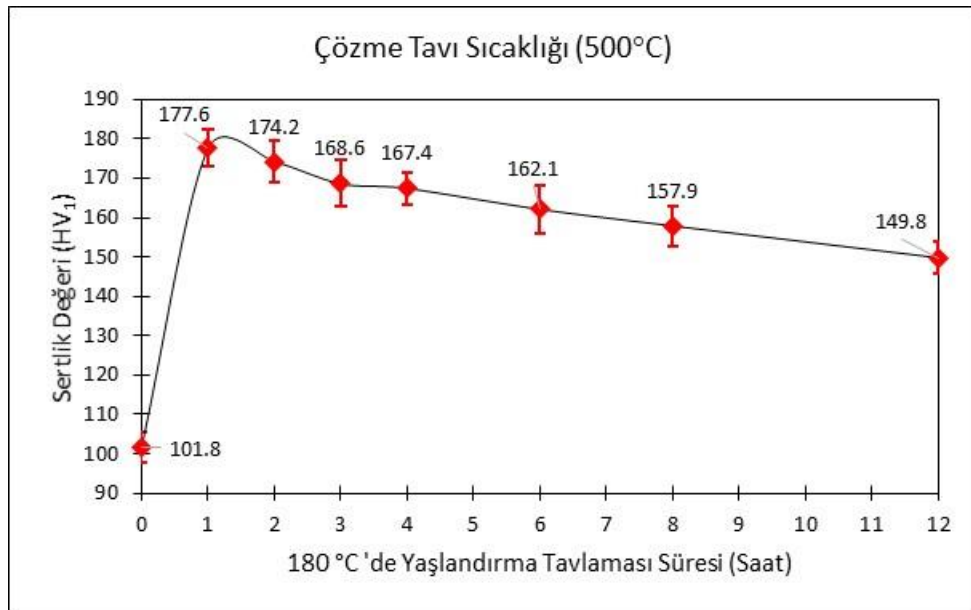


**Şekil 3:**

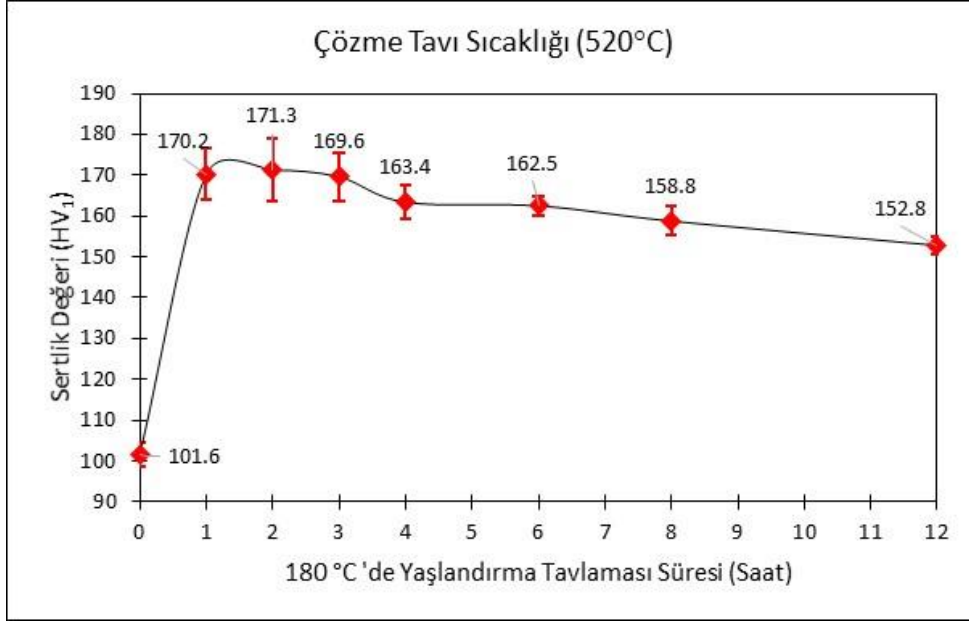
460°C'de çözme tavlı uygulanan AA7075-T6 alüminyum alaşımının 180°C'de yaşlanma davranışı



**Şekil 4:**  
480°C'de çözme tavlama uygulanan AA7075-T6 alüminyum alaşımının 180°C'de yaşlandırma davranışı

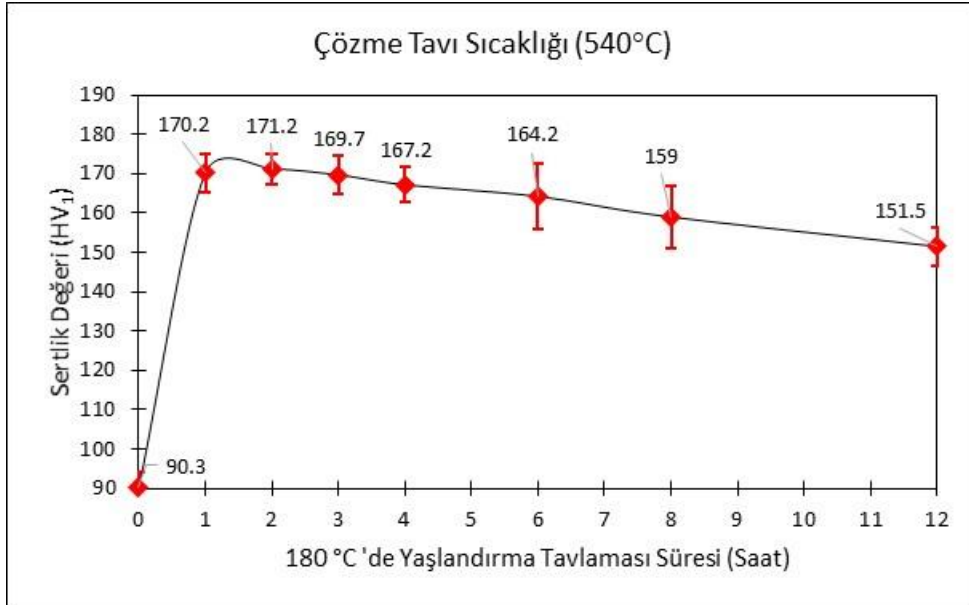


**Şekil 5:**  
500°C'de çözme tavlama uygulanan AA7075-T6 alüminyum alaşımının 180°C'de yaşlandırma davranışı



**Şekil 6:**

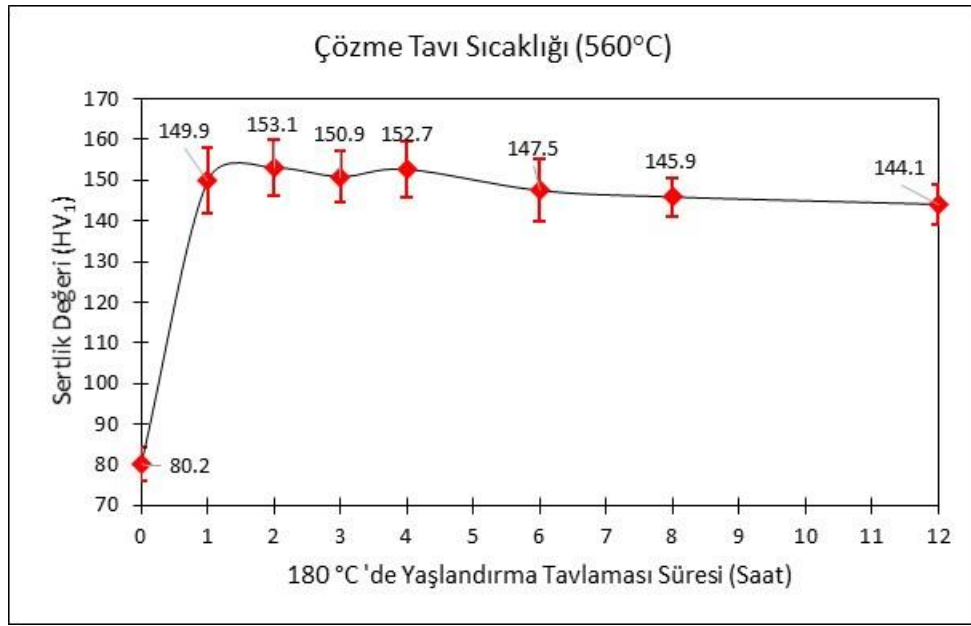
520°C'de çözme tavlama uygulanan AA7075-T6 alüminyum alaşımının 180°C'de yaşlanma davranışı



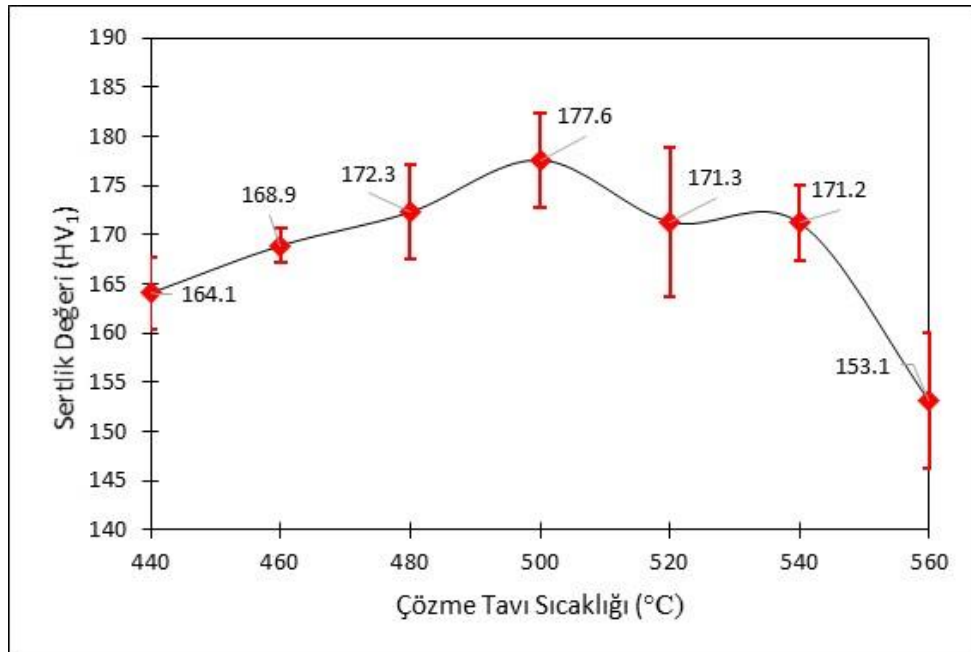
**Şekil 7:**

540°C'de çözme tavlama uygulanan AA7075-T6 alüminyum alaşımının 180°C'de yaşlanma davranışı



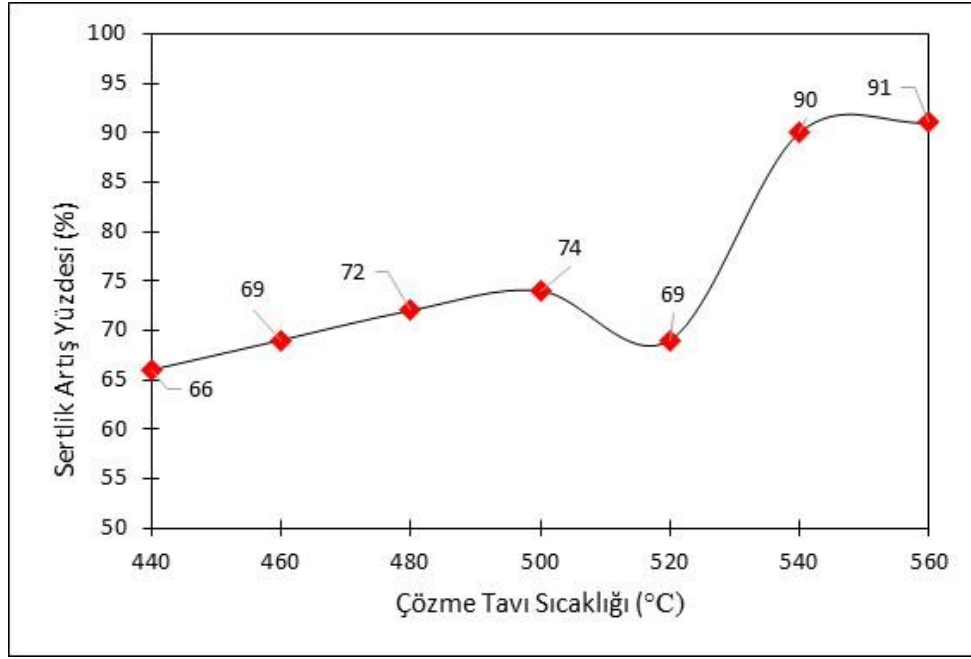


**Şekil 8:**  
560°C'de çözme tavlama uygulanan AA7075-T6 alüminyum alaşımının 180°C'de yaşlandırma davranışı



**Şekil 9:**  
Farklı çözme tavlama sıcaklıklarında yaşlandırma elde edilen maksimum sertlik değerleri

$T \leq 500^{\circ}\text{C}$  çözme tavı sıcaklıklarında yaşlandırma ile edilen maksimum sertlik değeri çözme tavı sıcaklık artışı ile artmaktadır (Şekil 9). Tüm numuneler içerisinde en yüksek sertlik değeri ( $177,6 \text{ HV}_1$ )  $500^{\circ}\text{C}$  sıcaklıkta çözme tavına tabi tutulan numunede elde edilmiştir. 1 saat gibi oldukça kısa bir sürede elde edilen bu sertlik değeri ticari olarak temin edilen AA7075 alüminyum alaşımının sertlik değerinin de üzerindedir.  $440^{\circ}\text{C}$  çözme tavı sıcaklığına sahip numunede yaşlandırma ile edilen sertlik değerlerinin nispeten daha düşük değerlerde kalmasında iki husus ön plana çıkmaktadır. Birinci husus, mevcut çözme tavı sıcaklığı yetersiz kalıp sertleşmeyi sağlayan çökelti partiküllerinin yeterince çözünmemiş olabilmesidir ki, bunun da yaşlandırma ile elde edilebilecek maksimum sertliği düşüreceği açıktır. İkinci husus ise bu çözme tavı sıcaklığında aşırı doymuş katı eriyik yapının daha küçük taneli bir yapıya sahip olmasıdır. Bu ikinci husus, ilk bakışta Hall-Petch bağıntısına ters düşüyor gibi görünmektedir. Ancak, aşırı doymuş katı eriyik yapının daha küçük taneli yapıya sahip olması daha fazla tane sınırı anlamına gelmektedir ki, enerjisi yüksek tane sınırlarının daha fazla olması yarı koherent  $S'-\text{Al}_2\text{CuMg}$  ve  $\eta'-\text{MgZn}_2$  çökelti fazlarının bu bölgeleri tercih ederek nispeten daha fazla (daha hızlı) irileşmesine sebep olacaktır. Bu çökelti fazlarının tercihen tane sınırlarında çökmesi ve nispeten bu bölgelerde irileşmesi, yaşlandırma elde edilen maksimum sertliğinin nispeten daha düşük olmasına yol açacaktır. Çalışmadaki numunelerin aşırı doymuş katı eriyik yapısına ait sertlik değerlerinin yaşlandırma ile ulaşılan maksimum sertliğe artış yüzdeleri bu ikinci hususu destekler niteliktedir (Şekil 10):  $440^{\circ}\text{C}$  çözme tavı sıcaklığına sahip numunedeki aşırı doymuş katı eriyik yapısının sertliği ( $98,9 \text{ HV}_1$ ) yaşlanma ile maksimum sertliğe ( $164,1 \text{ HV}_1$ ) artış miktarı ( $\sim\%66$ ) daha düşük değerde kalırken,  $540^{\circ}\text{C}$  ve  $560^{\circ}\text{C}$  çözme tavı sıcaklıklarına sahip numunelerdeki bu artış miktarları ( $\%90$ 'ın üzerinde) daha yüksek değerlerdedir. Bu anlamda, elde edilen maksimum sertlik değerlerinden,  $500^{\circ}\text{C}$  çözme tavının, aşırı doymuş katı eriyik yapının tane büyüklüğü ve çökelti partiküllerinin çözünmesi açısından optimum sonucu verdiği anlaşılmaktadır. Diğer taraftan,  $500^{\circ}\text{C}$  çözme tavının üzerindeki sıcaklıklarda ise tane irileşmesi etkin hale gelmekte ve artan sıcaklıkla yaşlandırma ile elde edilebilecek maksimum sertlik değerleri de düşmektedir (Şekil 9). Nitekim, maksimum sertlik değerleri karşılaştırıldığında,  $560^{\circ}\text{C}$  çözme tavı sıcaklığına sahip numunede en düşük sertlik değeri ( $153,1 \text{ HV}_1$ ) elde edilmiştir (Şekil 9).

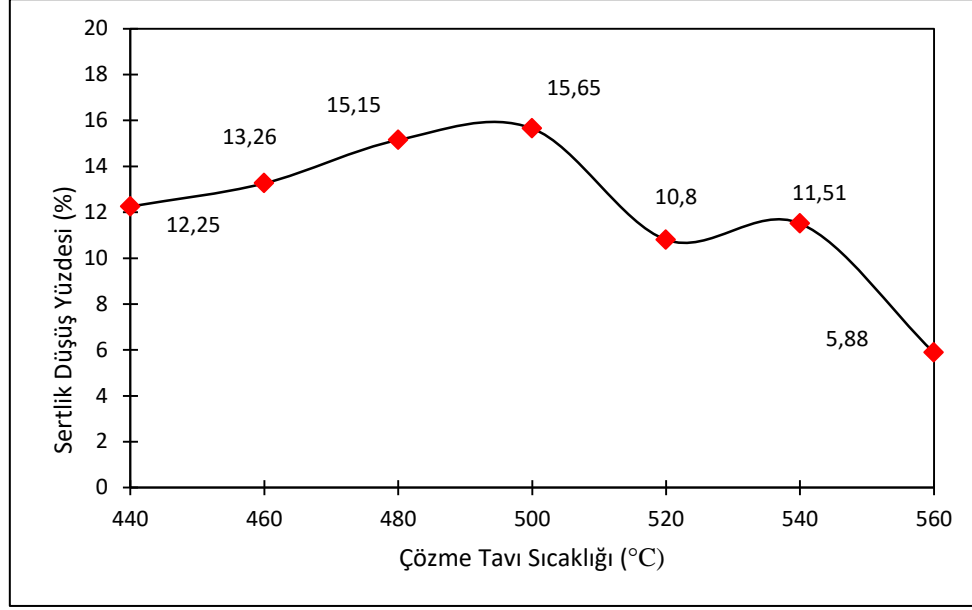


**Şekil 10:**

*Farklı çözme tava sıcaklıklarına sahip numunelerde aşırı doymuş katı eriyik yapının sertliğinden yaşlandırma ile ulaşılan maksimum sertliğe artış miktarı [%]*

Genel itibariyle, 180°C yaşlandırma sıcaklığında 1-2 saat sonunda oluşmuş olan çökelti partiküllerinin hiçbir kafes düzlemi ana faz kristal sisteminin ilgili kafes düzlemiyle uyumlu değildir. Bu bakımdan ayrışma bölgeleri S-Al<sub>2</sub>CuMg ve η- MgZn<sub>2</sub> sertleştirici çökelti fazları, tane sınırlarına sahip olmuştur (inkoherent çökeltme). Diğer bir ifade ile, yüksek sıcaklıklardaki yaşlanma süreci sonunda, matriks içerisinde çökelen parçacıklar inkoherent ayrışma gösterir ve ana fazdan tane sınırlarına benzer şekilde ayrılmış olurlar. Böylece, tane büyüklüğü ve taneler arası mesafesi büyümüş inkoherent ara yüzeye sahip S-Al<sub>2</sub>CuMg ve η- MgZn<sub>2</sub> fazlarının oluşumuyla ölçülebilir sertlik düşüşü meydana gelmiştir (aşırı yaşlanma). Yani, ayrışma, faz parçacıklarının büyümesi, sayılarının azalması ve partiküller arası ortalama mesafenin büyümesi pahasına o derece artar ki artık sertleştirici partiküllerin etkili dislokasyonları engelleme etkileri nispeten azalmış ve sertlik artışlarına katkıları o nispetle düşmüş olur. 180°C yaşlandırma sıcaklığında çökeltme süreci açısından termodinamik dengeye ulaşıldığı kabul edilen 12 saatlik yaşlandırma sonunda numunelerin sertlik değerleri 144 HV<sub>1</sub> ile 152,8 HV<sub>1</sub> arasında değiştiği görülmektedir. 560°C çözme tava sıcaklığına sahip numune haricinde, artan çözme tava sıcaklığı ile 12 saat sonundaki aşırı yaşlanma sonrası sertlik değerleri az da olsa bir artış içerisindedir ve aşırı yaşlanma sonucunda numunelerin 12 saat sonundaki maksimum sertliklerindeki kayıp yaklaşık olarak %10-%15 arasında değişmektedir (Şekil 2-8 ve 11). Ancak, 560°C çözme tava sıcaklığına sahip numunede 12 saat sonundaki aşırı yaşlanma sonrası sertlik kaybının sadece %5,88 olması oldukça dikkat çekicidir. Bu durum, bu numunede yüksek çözme tava sıcaklığına istinaden tane sınırı sıvılaştırmalarının meydana gelmiş olması ile ilişkilidir (Demirci, 2004; Demirci, 2005). Tane sınırlarında meydana gelen bu sıvılaştırma tane sınırlarında etkin alaşım elementi mikrosegregasyonuna sebep olur. Bu da, bu numunede yaşlanma sıcaklığında tane sınırlarında farklı çökelti fazlarının (farklı stokiometrik değerlerdeki AlCuMg, AlMgZn, AlCuFe, AlCu ve MgZn fazları) ortaya çıkmasına neden olur. Tane sınırlarında ortaya çıkabilecek bu fazlar 12 saat sonundaki aşırı yaşlanma sonrası sertlik kaybının daha düşük değerlerde kalmasına yol açabilir. Ayrıca, tane sınırı sıvılaştırmadan kaynaklı etkin alaşım elementi mikrosegregasyonu

çökeltme sertleşmesinde etkin sertleştirici çökelti fazlarının (S-Al<sub>2</sub>CuMg ve η- MgZn<sub>2</sub>) tane sınırlarında daha yoğun olmasına yol açacaktır. Bu da, yüksek enerji bölgeleri olan tane sınırlarında nispeten daha fazla çökelen bu fazların yaşlandırılmadaki tane içi çökeltme esaslı sertlik artışına katkısının nispeten daha az olması anlamına gelir. Nitekim, bu numunede yaşlandırma ile edilen maksimum sertlik değerinin diğer numunelere nazaran oldukça düşük değerde kalması bu çıkarımı destekler niteliktedir (Şekil 8,9).



**Şekil 11:**

*Farklı çözme tavı sıcaklıklarına sahip numunelerde aşırı yaşlanma ile ortaya çıkan sertlik kaybı (12 saat sonunda)*

#### 4. SONUÇ

Bu çalışmada, AA7075 alüminyum alaşımının çözme tavı sıcaklığına bağlı olarak 180°C yaşlandırma sıcaklığındaki yaşlanma davranışı incelenmiştir. Bu çalışma kapsamında yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1.  $T \leq 520^{\circ}\text{C}$  çözme tavı sıcaklıklarından su verme ile elde edilen aşırı doymuş katı eriyik yapının sertliği ( $\sim 100 \text{ HV}_1$ ) sıcaklıkla hemen hemen değişmezken,  $T > 520^{\circ}\text{C}$  üzerindeki çözme tavı sıcaklıklarından su verme ile elde edilen aşırı doymuş katı eriyik yapının sertliği ise sıcaklık artışı ile düşmektedir.
2. AA7075 Al-alaşımının 180°C sıcaklığında yaşlandırılması sonucunda ulaşılabilecek maksimum sertlik değeri 177,6  $\text{HV}_1$ 'dir. Bu sertlik değerine bu sıcaklıkta 1 saatlik süre sonunda ulaşılabilir. Oldukça kısa bir sürede elde edilen bu sertlik değeri ticari olarak temin edilen AA7075 alüminyum alaşımının sertlik değerinin de üzerindedir.
3.  $T \leq 500^{\circ}\text{C}$  çözme tavı sıcaklıklarında yaşlandırma ile edilen maksimum sertlik değeri çözme tavı sıcaklık artışı ile artmaktadır.  $T > 500^{\circ}\text{C}$  çözme tavı sıcaklıklarında ise yaşlandırma ile edilen maksimum sertlik değeri çözme tavı sıcaklık artışı ile düşmektedir.
4. Genel itibariyle, çözme tavı sıcaklığı artışı ile aşırı doymuş katı eriyik yapısından yaşlandırma ile sağlanan sertleşmedeki artış yüzdesi artmaktadır. AA7075 Al-alaşımı için 500°C çözme tavı sıcaklığı yaşlandırma sertleşmesi için optimum sonucu vermektedir.

## KAYNAKLAR

1. Bargel, H. J. ve Schulze G. (1980) Werkstoffkunde, *VDI-Verlag GmbH Düsseldorf*, 147-155.
2. Baydoğan, M., Çimenoglu, H. and Kayalı, E.S. (2004) RRA işleminin 7075 alaşımının mekanik özelliklerine etkisi. *İTÜ Dergisi*, 108–16.
3. Clark, R., Coughran, B., Traina, I., Hernandez, A., Scheck, T. ve Etuk, C. (2005) On the correlation of mechanical and physical properties of 7075-T6 Al alloy, *Engineering Failure Analysis*, 12, 520–6. doi:10.1016/j.engfailanal.2004.09.005
4. Demirci, A.H. (2004) Malzeme Bilgisi ve Malzeme Muayenesi, *Alfa Yayınevi*.
5. Demirci, A.H. (2005) Mühendislik Malzemeleri, *Alfa Yayınevi*.
6. Demirci A.H., Yiğit K. ve Aydın H. (2002) Effect of intermetallic phase particles implanted before ageing in Al-Cu-Mg alloys on wear behaviour, *6th International Symposium INSYCONT'02 New Achievements in Tribology*, 273-279.
7. Dursun, T. ve Soutis, C. (2014) Recent developments in advanced aircraft aluminium alloys, *Materials & Design*, 56, 862-871. doi:10.1016/j.matdes.2013.12.002
8. Esmailian M., Shakouri M., Mottahedi A. ve Shabestari S.G., (2015) Effect of T6 and re-aging heat treatment on mechanical properties of 7055 aluminum alloy, *International Journal of Chemical, Molecular, Nuclear, Materials and Metallurgical Engineering*, 9-11, 1230-1233.
9. Fooladfar H., Hashemi B.ve Younesi M. (2010) The effect of the surface treating and high-temperature aging on the strength and SCC susceptibility of 7075 aluminum alloy, *Journal of Materials Engineering and Performance*, 19(6), 852-859. doi:10.1007/s11665-009-9562-z
10. Gülerüz, K. ve Kaçar, R. (2011) Deformasyon yaşlanmasının AA7075 alüminyum alaşımının mekanik özelliklerine etkisinin incelenmesi, 6<sup>th</sup> International Advanced Technologies Symposium (IATS'11) 147–152.
11. Hall, E.O (1954) Variation of hardness of metals with grain size, *Nature*, 173 948-949.
12. Haider, T. N. ve Kahtan S. M. (2013) Retrogression and re-aging of aluminum alloys (AA 7075) containing nickel, *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures*, Vol. 8, No. 4, 1621 – 1632.
13. Hirsch, J. (2014) Recent development in aluminium for automotive applications, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 24, 1995-2002. doi:10.1016/S1003-6326(14)63305-7
14. Isadare A.D., Aremo B., Adeoye M.O., Olawale O.J. ve Shittu M.D. (2013) Effect of heat treatment on some mechanical properties of 7075 aluminium alloy, *Materials Research*, 16(1), 190-194. doi: 10.1590/S1516-14392012005000167
15. Pogatscher S., Antrekowitsch H., Werinos M., Moszner F., Gerstl S.S.A., Francis M.F., Curtin W.A., Löffler J.F. ve Uggowitz P.J. (2014) Diffusion on demand to control precipitation aging: application to Al-Mg-Si alloys, *Physical Review Letters*, 112(12). doi:225701. 10.1103/PhysRevLett.112.225701
16. Polmear I., StJohn D., Nie J.-F. ve Qian M. (2017) Light alloys, *Elsevier Ltd*.
17. Polmear I.J. (2004) Aluminium alloys – A century of age hardening, *Proceedings of the 9th International Conference on Aluminium Alloys*.

18. Polmear I.J. (1981) Light Alloys, *Edward Arnold Ltd.*, London.
19. Reis D.A.P., Couto A.A., Domingues Jr. N.I., Hirschmann A.C.O., Zepka S. ve Moura Neto C. (2012) Effect of artificial aging on the mechanical properties of an aerospace aluminum alloy 2024, *Defect and Diffusion Forum*, 326-328,193-198. doi: 10.4028/www.scientific.net/DDF.326-328.193
20. Siddiqui R.A. (1992) Ageing characteristics of 2024 aluminium alloy, *Proceedings of the Twenty-Ninth International Matador Conference*. Palgrave, London.
21. Tash M.M. ve Alkahtani, S. (2014) Aging and mechanical behavior of be-treated 7075 aluminum alloys. *International Journal of Chemical, Molecular, Nuclear, Materials, and Metallurgical Engineering*,8(3), 252–6.
22. Zhang F., Levine L.E., Allen A.J., Campbell C.E., Creuziger A.A., Kazantseva N. ve Ilavsky J. (2016) In situ structural characterization of ageing kinetics in aluminum alloy 2024 across angstrom-to-micrometer length scales, *Acta Materialia*,111, 385-398. doi:10.1016/j.actamat.2016.03.058