

## AA 2024 Alüminyum Alaşımında Çökelme Sertleşmesinin Mekanik Özelliklere Etkisi

Şevki Yılmaz GÜVEN<sup>1</sup> Yunus Emre DELİKANLI<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Süleyman Demirel Üniversitesi Müh. Mim. Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü-  
Isparta

<sup>2</sup> Süleyman Demirel Üniversitesi Senirkent M.Y.O. Makine ve Metal Teknolojileri  
Bölümü-Isparta

**Özet:** Bu makalede, 2XXX serisinden alüminyum esaslı yaşlanabilir bir alaşım türü olan AA2024 alaşımı levha numunelere, 510 °C, 520 °C, 530 °C sıcaklıklarda solüsyona alma işlemi uygulanıp, devamında 190 °C’ de 4 ve 6 saat suni yaşlandırılmıştır. Numunelerin kendi aralarında ve ısıtma işlemi uygulanmamış malzemeye göre karşılaştırmaları yapılmış ve faz yapılarındaki değişikliklerin mekanik özelliklere etkisi incelenmiştir.

Çökelme sertleşmesi uygulanan numunelerin Brinell sertlikleri ölçülmüş ve çekme testi uygulanmıştır. Çözündürme bölgesinde, çözündürme sıcaklığının artması ile birlikte, yaşlandırma sonunda sertliğin ve mukavemetin arttığı gözlenmiştir. AA 2024 alaşımı için, en uygun ısıtma işlem parametreleri saptanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** AA 2024, çökelme sertleşmesi, yaşlanma, mekanik özellikler

## The Effect of Precipitation Hardening on Mechanical Properties of Aluminium Alloy AA2024

**Abstract:** In this paper, thermal procedure has been applied in the alloy AA 2024, which is a 2XXX series aluminum based ageable alloy, at 510 °C, 520 °C, 530 °C and afterwards the samples has been artificially aged at the temperature of 190°C for 4 and 6 hours among. Comparison of the samples each other and with the original material and the effect of the differences in their phase structure on mechanical features have been investigated.

Brinell hardness and drawing tests have been applied on the samples which have been applied precipitation hardening. In dissolving region, it has been observed that strength and hardness increases with the increasing of dissolving temperature at the end of aging. Optimum thermal procedure parameters have been established for the alloy AA2024.

**Keywords:** AA 2024, precipitation hardening, aging, mechanical properties

### 1.Giriş

Teknolojinin gelişmesiyle ve sahip olduğu teknik özellikler nedeniyle hafif metaller sınıfına giren ve global metal dünyasının en genç üyelerinden biri olan alüminyum, endüstrinin birçok alanında yaygın olarak kullanılmaktadır. Uygulamada, mukavemetinin ağırlığına oranı (spesifik mukavemet özelliği) çok büyük, yumuşak ve çeliğin üçte biri ağırlığında olan alüminyum; alaşım elementleri ilave edilerek alaşımlandırıldığında, mekanik özelliklerinin çelikle mukayese edilebilecek kadar artırılabilmesi, alüminyum; tıp, inşaat, gıda, otomotiv ve uzay sanayi gibi

endüstrinin çeşitli kollarında çok cazip hale getirmiştir (Geçkinli, 2002).

Isıl işlem, genel olarak mekanik özellikleri değiştirmek amacıyla metalik malzemelere uygulanan ısıtma ve soğutma işlemlerini kapsar. Bu amaçla alüminyum alaşımlarına tavlama, çözeltiye alma ve yaşlanma ısıl işlemleri uygulanmaktadır.

Yaşlanma ancak denge diyagramında solvüs eğrisi bulunan alaşımlarda ve sadece solvüs eğrisinin sınırladığı katı eriyik bileşimlerinde meydana gelebilir. Bu nedenle alüminyum alaşımlarının bazıları yaşlandırılabilir. Yaşlanabilir alüminyum alaşımlarından 2XXX ve 7XXX serisi alaşımların

ısıtım işlemi teknolojik açıdan önem taşır (Geçkinli, 2002).

Yaşlanma sertleşmesi, 1906 yılında Almanya'da Alfred Wilm tarafından keşfedilmiştir. Bu kişi, içinde % 2 Cu bulunan bir alüminyum alaşımını, aynen çeliklere uygulanan ısıtım işlemi ile sertleştirmeye çalıştı. Başlangıçta yumuşak olan numunenin ısıtım işleminden sonra oda sıcaklığında bekletilerek sertliğinin arttığını saptamıştır. Bu sonuçlar 1911 yılına kadar izah edilemedi (Su, 1988).

Dislokasyonların hareketlerini engelleyen her mekanizma, alaşımın sertliğini, akma dayanımını ve çekme dayanımını yükseltir. Yaşlanma ile sertleştirilen bir alaşımın yüksek mukavemeti, çökelen ikinci faz taneciklerinin dislokasyonlar ile etkileşimlerinden dolayı meydana gelmektedir. Sonuç olarak, uyumlu bir ikinci faz çökeltmesi, mukavemet artışını sağlayan mekanizmayı oluşturmaktadır

(<http://eyupyaylaci.com/malzemelerde-cokelme-sertlesmesi/>). Çökelen II. fazın türü, dağılımı, miktarı, ortalama çapı ve sayısı mukavemet değerini etkiler (Akdoğan, 2008). Çökelen II. faz tanecikleri yapı içinde ne kadar küçük, sık ve homojen olarak dağılmışlar ise, mukavemette o kadar yüksek olmaktadır.

Bu çalışma ile; AA 2024 alüminyum alaşımında çökeltme sertleşmesinin mekanik özelliklere etkisini incelemek, mevcut literatüre ve konu ile ilgili araştırma yapacak kişilere katkıda bulunulması amaçlanmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

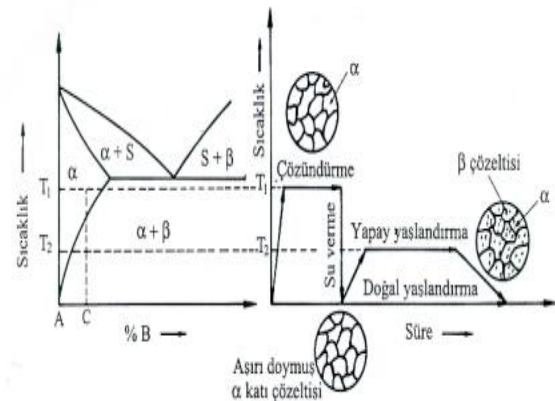
### 2.1 Çözeltiye Alma ve Yaşlanma Sertleşmesi

Mekanik özelliklerdeki gelişme için genel koşul; aşırı doymuş katı fazdan yaşlanma işlemi sonucu yapıda çok ince çökelti fazının dağılımıdır. Çökelti fazının oluşumu, doğal olabileceği gibi yapay olarak da gerçekleştirilebilir. Alüminyum alaşımlarına, yapay yaşlandırma ile daha yüksek mukavemet kazandırılır. Alüminyum alaşımlarının ısıtım işleminde başlıca parametreler; çözeltiye alma (solüsyona alma), su verme ve çökeltme işlemidir. Alüminyum alaşımlarında çözeltiye alma sıcaklığı tipik olarak 465-565 °C dir. Çözeltiye alma işleminde Al<sub>2</sub>Cu fazının tamamen çözünmesi için ısıtım yavaş yapılmalıdır. Buna karşılık ısıtım hızlı yapılırsa bu faz tamamen çözünmez. Bu yapıdaki alaşım, ötektik sıcaklığına veya üzerine ısıtıldığında matris ile Al<sub>2</sub>Cu fazının ara yüzeyinde ergime meydana gelecektir. Bu durumda alaşıma su verildiğinde yapıda ince ötektik rozetleri oluşur. Çözeltiye alma sıcaklığı normalden düşük tutulduğunda ikinci fazın tamamen çözünmesi mümkün olmayacak ve alaşım yumuşayacaktır .

Genellikle, çözeltiye alma süresi her 25 mm kalınlık için bir saat süre yeterli olmaktadır (Geçkinli, 2002).

Alaşımların sertlik ve mukavemeti, soğuk deformasyon veya uygun işlemlerle artırılabilir. Demir içermeyen alaşımların sertlik ve mukavemetini artırmak için uygulanan yöntemlerin başında yaşlanma veya çökeltme sertleşmesi işlemi gelir. Söz konusu ısıtım işlemi, kısmi katı çözünürlük gösteren yani solvüs eğrisi içeren ve katı çözünürlüğü, artan sıcaklıkla artan veya azalan sıcaklıkla azalan alaşım sistemlerine uygulanır. Bu sistem, sıvı durumda birbiri içerisinde her oranda, katı durumda ise kısmen çözünen metallerin oluşturduğu sistemdir. Söz konusu alaşım sistemlerine ait denge diyagramları ötektik nokta içerirler. Oda sıcaklığında ya da biraz daha yüksek sıcaklıklarda, sertliğin süreye bağlı olarak artmasına, metalbilimde “yaşlanma”; bunu gerçekleştiren ısıtım işlemine de “yaşlandırma” denir (Savaşkan, 1999).

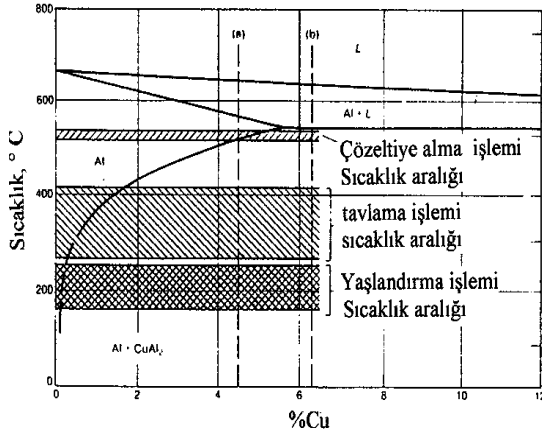
% 4 Cu bileşimli bir Al-Cu alaşımı T<sub>1</sub>(°C) sıcaklığına kadar ısıtılır ve alaşımdaki bütün fazların tek faz içerisinde çözünmeleri sağlanıncaya kadar bu sıcaklıkta bekletilmesi olan çözündürme (çözeltiye alma) işleminden sonra alaşım hızla soğutulursa (su verme) aşırı doymuş α çözeltisi oluşur (Şekil 1). Fakat aşırı doymuş katı çözeltinin kararlı hale gelebilmesi için yaşlanma işlemi uygulanır. Yaşlanma işlemi oda sıcaklığında veya oda sıcaklığı ile solvüs çizgisi arasındaki bir sıcaklıkta gerçekleştirilir. Oda sıcaklığında yapılan yaşlanmaya “doğal yaşlanma”, oda sıcaklığının üzerindeki sıcaklıklarda yapılan yaşlanmaya ise “yapay yaşlanma” denir. Yaşlanma sıcaklığı olarak, 115°-190° C sıcaklık aralığı verilmektedir (Geçkinli, 2002).



Şekil 1. Çözündürme ve yaşlanma aşamalarını içeren çökeltme sertleşmesi işlemini gösteren şematik diyagram ( Savaşkan, 1999)

Şekil 2.'deki diyagramda, çözeltiye alma, tavlama ve çökeltme işleminin yapıldığı sıcaklık aralıkları belirtilmiştir. Çözeltiye alma sıcaklık aralığı ötektik ergime sıcaklığının (548 °C) altındadır (Geçkinli, 2002; Yılmaz 2002)

Çökeltme işleminden sonra, taneler içerisinde yer alan II. faz tanecikleri genellikle matriksten daha sert oldukları için deformasyon esnasında dislokasyon hareketlerini kilitlemekte ve çökeltilerin etrafında dislokasyon halkaları



Şekil 2. Al-Cu denge diyagramda, çözeltiye alma tavlama ve çökeltme işleminin yapıldığı sıcaklık aralıkları belirtilmektedir. (Geçkinli, 2002; Yılmaz, 2002)

oluşmakta, böylece dislokasyon yoğunluğu artmaktadır. Dolayısı ile malzemede mukavemet ve sertliğin artmasının başlıca nedeni budur (Geçkinli, 2002; Tekin, 1984; Tayanç, 1998).

**Tablo 1. Deneylerde kullanılan malzemenin kimyasal analiz sonuçları (%)**

Fe	Si	Ti	Mn	Zn	Cu	Mg	Ni	Cr	V
0,21	0,09	0,012	0,51	0,11	4,56	1,28	0,007	0,011	0,013
B	Pb	Sn	Bi	Sb	Na	Be	Li	Ca	Zr
0	0,003	0,001	<0,0003	0,001	0,0054	0,00009	<0,0001	0,0028	0,0017
	P	Co	Sr	Cd	Ga	Ag	As	Al	
	<0,0005	<0,0004	<0,0001	0,001	0,0104	0,00019	0,0024	<b>93,174</b>	

## 2.2. Deneysel Çalışma

Deneylerde, homojenizasyona tabi tutulan ingotlardan haddelenmiş 1,25 mm kalınlığında, AA 2024 alüminyum levha kullanılmıştır. Malzemenin spektral analizi, Tablo 1.'de verilmiştir. Her bir Katı Eriyiğe Alma (KEA) sıcaklığı için 30 mm x 30 mm boyutlarında hazırlanan altışar adet çekme numuneleri, tav fırınına birbirleriyle temas etmeyecek şekilde yerleştirilmiştir. Numunelerin sıcaklığı 510 °C'ye ulaştıktan sonra 5 dakikalık tav süresinden sonra fırından çıkarılmış ve 15 °C sıcaklıktaki suda soğutulmuştur. Malzemelerin fırından çıkarılıp suya daldırılıncaya kadar geçen

sürenin 5 saniyeyi geçmemesine özen gösterilmiştir. Aynı işlemler, diğer numunelere de 520 °C ve 530 °C sıcaklıklarda uygulanmıştır. Parçalar, KEA işlemi sonrasında yaşlanma ısıl işlemine (yapay yaşlandırmaya) tabi tutuldu. Numunelere yaşlanma ısıl işlemi, 190 °C'de 4 ve 6 saat olarak iki farklı sürede uygulanmıştır. KEA ve yaşlandırma sıcaklık ve süreleri Tablo 2.'de verilmiştir. Amaç, daha sonra yapılacak yaşlandırma işleminden sonra katı eriyiğe alma (KEA) sıcaklık ve süresinin yaşlanmaya olan bağımlılığını ve katı eriyiğe alma sıcaklığının mekanik özellikler üzerine etkisini tespit etmek olarak özetlenebilir. Yaşlandırma işlemi süreye bağlı olarak tamamlandığında numuneler kalıba

alınarak, parlatılmış ve dağlanmış, mikroskopik incelemeye tabi tutularak fotoğrafları alınmıştır. Numuneler kalıba alınırken sıcaklığın mikroyapıyı değiştirebileceği düşünülerek sıcak kalıba alma (bakalit) işlemi uygulanmamıştır. Epoksi reçine kalıp malzemesi kullanılmıştır (soğuk kalıplama). Yüzey parlatma (zımparalama) işleminde, sırasıyla 80, 240, 320, 600, 800, 1200 numaralı zımpara

kağıtları kullanılmış ve 300 d/d hızdaki parlatma diskinde parlatılmıştır. Zımparalama işlemi bittikten sonra, kumaş yüzeye 3µm büyüklüğündeki abrasif elmas tanecikleri ve yağlayıcı madde karıştırılarak sürülmüş ve bu şekilde parlatma işlemi gerçekleştirilmiştir. Dağlayıcı olarak ise; % 1 HF, % 10 HCl, % 89 saf su çözeltisi kullanılmış ve numune yüzeyleri 2-4 saniye arasında dağlanmışır.

**Tablo 2. Katı çözeltiye alma sıcaklıkları ile yaşlandırma sıcaklığı ve süreleri**

Katı Çözeltiye Alma Sıcaklığı (°C)	Yaşlandırma Süresi (saat)	Yaşlandırma Sıcaklığı (°C)	Sembol
Orijinal numune	Uygulanmadı	Uygulanmadı	A
510	4	190	B <sub>1</sub>
	6		B <sub>2</sub>
520	4		C <sub>1</sub>
	6		C <sub>2</sub>
530	4		D <sub>1</sub>
	6		D <sub>2</sub>

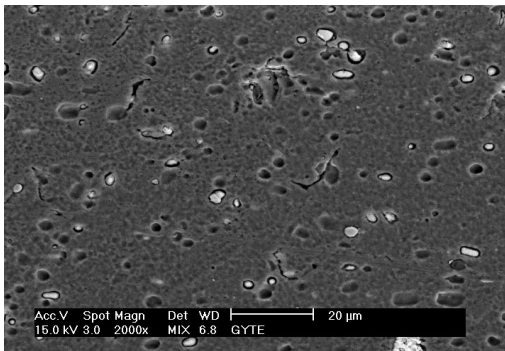
## 4. Bulgular

### 4.1. Mikro Yapı Fotoğrafları Değerlendirilmesi

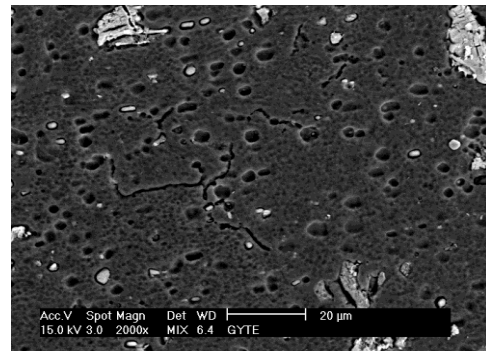
Isıl işleme tabi tutulan alüminyum alaşımının mikro yapı fotoğrafları alınarak KEA sıcaklığı ve yaşlandırma zamanına bağlı değişimleri incelenmiştir. İy yapı fotoğrafları levha numunelerden yaşlanma oluşumundan sonra çekilmiştir. Mikro yapılar incelendiğinde; Resim 1.'de A numunesinin (T<sub>0</sub>) katı eriyiğe alınmadığı için iç yapısında hiçbir çökeltmenin oluşmadığı görülmektedir. Resim 2. ve Resim 3.'de (B<sub>1</sub> ve B<sub>2</sub> numuneleri) 510 °C'de tavllanmış numunelerin iç yapı fotoğrafları verilmektedir. Burada, küçük partiküller halinde dağılmış fazlar Mg<sub>2</sub>Si, açık renkli çerçevesi bölgeler CuAl<sub>2</sub> fazıdır. Her iki yapıda da yaşlandırma süresi arttıkça çerçevesi bölgeler az da olsa büyümektedir. Resim 4. ve Resim 5.'de, (C<sub>1</sub> ve C<sub>2</sub> numuneleri) 520 °C'de

tavlanıp yapay yaşlanmaya tabi tutulan numunelerin iç yapı fotoğrafları verilmektedir. Bu numunelerde de aynı yapılar görülmektedir, ancak Resim 4.'deki CuAl<sub>2</sub> fazının, Resim 2. ve Resim 3.'e göre daha küçük boyutlarda olduğu görülmektedir. Sıcaklığın artmasıyla birlikte fazların çözünürlüğünün yükseldiği bu numunelerde

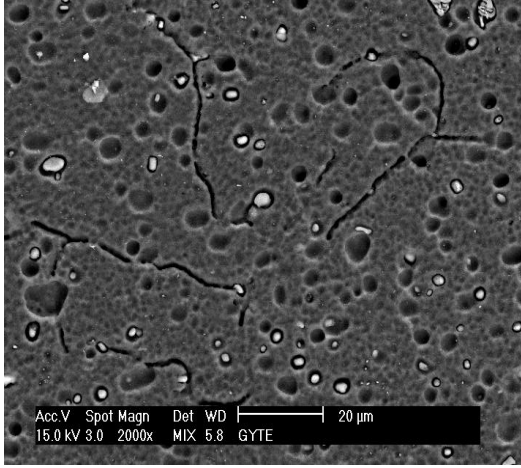
tanelerin önceki numunelere kıyasla daha büyük ve homojen bir dağılım sergilediği görülmektedir. Resim 5.'de yaşlandırma süresinin artmasıyla tane büyümesi olduğu görülmektedir. Resim 6. ve Resim 7'de (D<sub>1</sub> ve D<sub>2</sub> numuneleri) 530 °C'de tavlanylup yapay yaşlandırmaya tabi tutulan numunelerin iç yapı fotoğrafları verilmektedir. Burada ise artan KEA sıcaklığı etkisiyle birlikte AlCu<sub>2</sub> fazının yapı içerisinde tam olarak çözüldüğü ve nispeten daha homojen bir iç yapı görülmektedir.



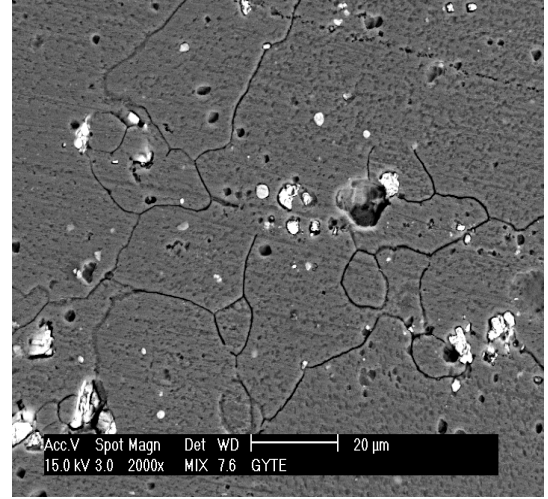
*Resim 1. Isıl işlem görmemiş A numunesinin mikroyapısı*



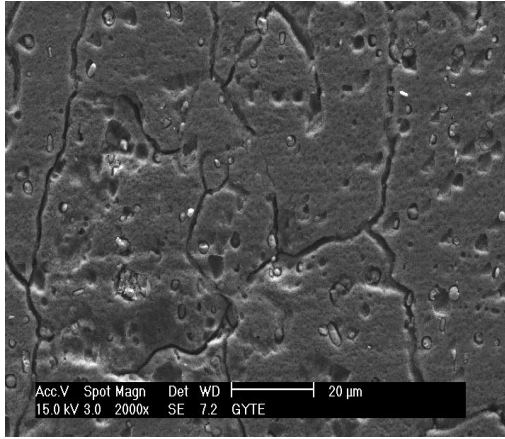
*Resim 2. 510 °C'de tavlanylup 190 °C'de 4 saat yaşlandırılmış B<sub>1</sub> numunesinin mikroyapısı*



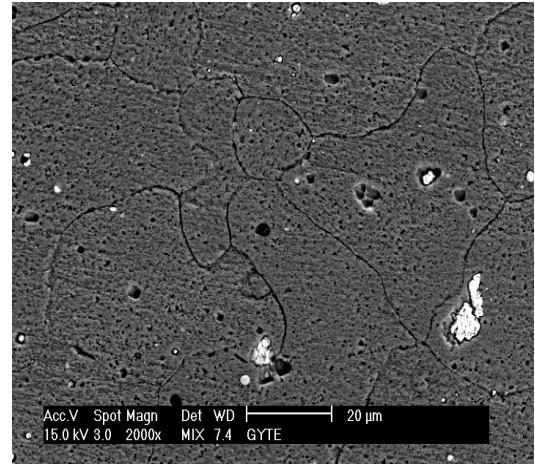
Resim 3. 510 °C'de tavlانیp 190 °C'de 6 saat yaşlandırılmış B<sub>2</sub> numunesinin mikroyapısı



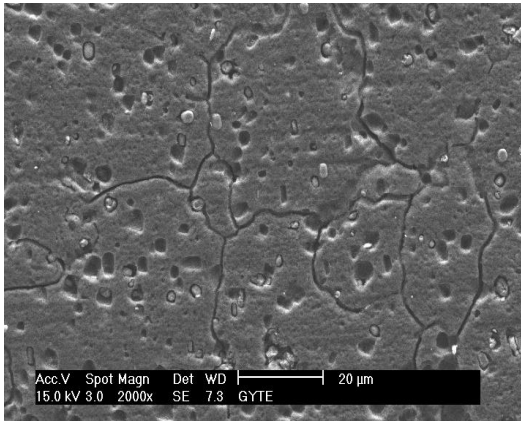
Resim 6. 530 °C'de tavlانیp 190 °C'de 4 saat yaşlandırılmış D<sub>1</sub> numunesinin mikroyapısı



Resim 4. 520 °C'de tavlانیp 190 °C'de 4 saat yaşlandırılmış C<sub>1</sub> numunesinin mikroyapısı



Resim 7. 530 °C'de tavlانیp 190 °C'de 6 saat yaşlandırılmış D<sub>2</sub> numunesinin mikroyapısı



Resim 5. 520 °C'de tavlانیp 190 °C'de 6 saat yaşlandırılmış C<sub>2</sub> numunesinin mikroyapısı

Tablo 3. Deney numuneleri sembollerine karşılık gelen HB sertlik değerleri

Sembol	Sertlik (HB)
A	53,8
B <sub>1</sub>	73,2
B <sub>2</sub>	79,6
C <sub>1</sub>	80,2
C <sub>2</sub>	110
D <sub>1</sub>	121
D <sub>2</sub>	128

#### 4.2. Sertlik Sonuçları ve Değerlendirilmesi

Deney sonunda elde edilen sertlik değerleri Tablo 3.'de verilmiştir. Tabloda A ile gösterilen değer, ısıtım işlem görmemiş ( $T_0$ ) numuneden elde edilen sertlik değeridir. Diğer değerlerle karşılaştırıldığında en düşük sertliğe orijinal numunenin (A) sahip olduğu görülmektedir.

kullanılmıştır. Deney sonuçları Tablo 4. ve Tablo 5.'de verilmiştir.

#### 4.3. Çekme Deneyi Sonuçları ve Değerlendirilmesi

510 °C, 520 °C ve 530 °C'de katı eriyiğe alınan alaşımın yaşlandırma sonu dayanım değerlerindeki değişimleri tespit etmek amacıyla çekme deneyi yapılmıştır. Böylece yaşlandırma ile çekme dayanımı ilişkisi ve % uzama ilişkisi incelenmiştir. Deneylerde her bir KEA sıcaklığı için ve yapay yaşlandırma süresi için 6'şar adet numune

Tablo 4. AA2024 için çekme deneyi sonuçları

AA2024 Al-Cu alaşımı için çekme dayanımı sonuçları (MPa)							
Numune No	$T_0$	510 °C'de tavllanmış		520 °C'de tavllanmış		530 °C'de tavllanmış	
		190 °C'de yapay yaşlanma		190 °C'de yapay yaşlanma		190 °C'de yapay yaşlanma	
		4saat (B <sub>1</sub> )	6saat (B <sub>2</sub> )	4saat (C <sub>1</sub> )	6saat (C <sub>2</sub> )	4saat (D <sub>1</sub> )	6saat (D <sub>2</sub> )
1	250	410	480	495	502	580	575
2	307	392	425	502	533	560	600
3	291	400	410	515	512	550	580
4	290	365	410	490	512	565	540
5	291	410	450	501	540	570	575
6	300	420	400	523	520	560	590
<b>Ortalama Değer</b>	<b>288,17</b>	<b>399,50</b>	<b>429,17</b>	<b>504,33</b>	<b>519,83</b>	<b>564,17</b>	<b>576,67</b>

Tablo 5. AA2024 için % uzama değerleri

AA2024 Al-Cu alaşımı için % uzama miktarları							
Numune No	$T_0$	510 °C'de tavllanmış		520 °C'de tavllanmış		530 °C'de tavllanmış	
		190 °C'de yapay yaşlanma		190 °C'de yapay yaşlanma		190 °C'de yapay yaşlanma	
		4saat (B <sub>1</sub> )	6saat (B <sub>2</sub> )	4saat (C <sub>1</sub> )	6saat (C <sub>2</sub> )	4saat (D <sub>1</sub> )	6saat (D <sub>2</sub> )
1	22,3	20,00	16,92	12,31	13,85	15,3	14,6
2	19,8	20,20	20,00	18,46	10,77	15,3	14,2
3	17,5	18,46	16,92	16,40	13,85	16,9	15,3
4	21,6	20,00	15,38	16,92	15,38	15,3	13,4
5	16,2	20,00	17,50	12,31	13,85	12,3	13,8
6	19,6	18,46	16,92	16,92	18,46	15,3	15,3
<b>Ortalama Değer</b>	<b>19,5</b>	<b>19,5</b>	<b>17,3</b>	<b>15,6</b>	<b>14,4</b>	<b>15,1</b>	<b>14,4</b>

#### 4.4. Sonuçların Gösterilmesi

Orijinal numune ve diğer deney parametrelerinde katı eriyiğe alınıp yapay yaşlandırma uygulanan yedi farklı numunenin deney sonuçlarından yola çıkılarak, orijinal numunenin 53,8 HB sertlik değeri ile diğer numuneler arasında en yumuşak olduğu, 288,17 MPa maksimum çekme dayanımıyla da en dayanıksız numune olduğu anlaşılmaktadır. KEA sıcaklığı ve

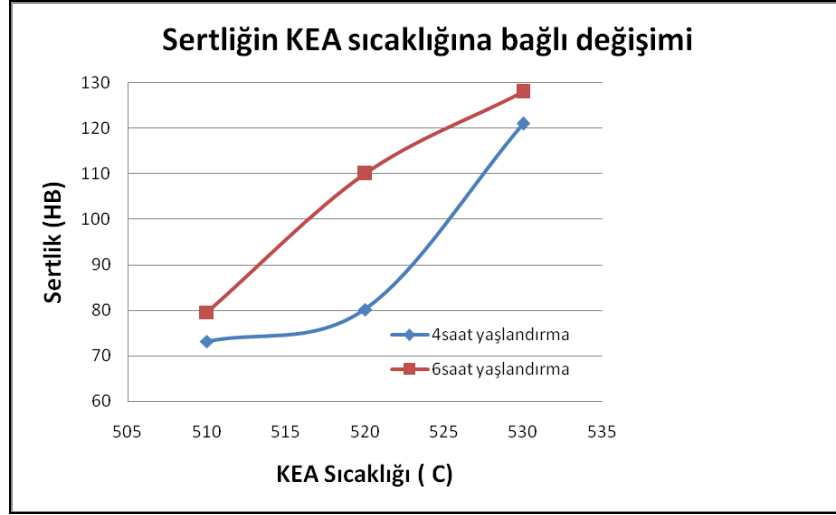
yapay yaşlandırma sürelerinin artmasıyla (A numunesinden D<sub>2</sub> numunesine doğru) malzemede sertlik artışının olduğu, dolayısıyla da % uzama miktarının azaldığı görülmektedir.

Yine aynı şekilde, D<sub>2</sub> numunesinin, 128 HB sertlik değeri ile diğer numuneler arasında en sert numune

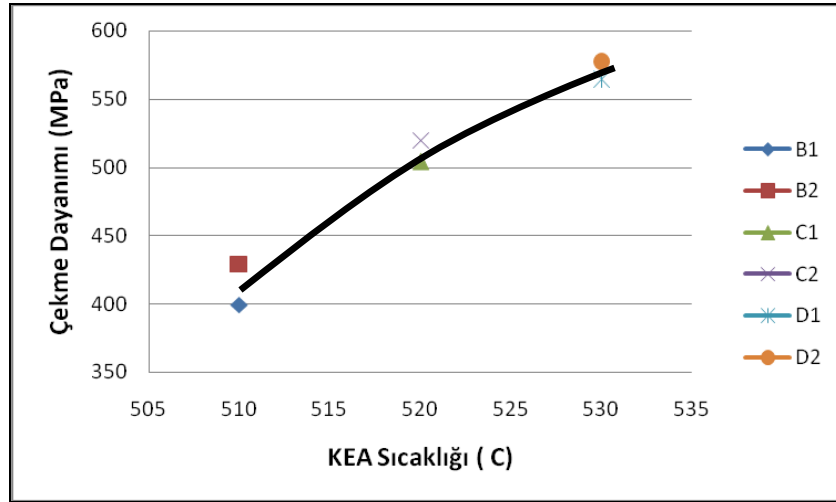
olduğu ve 576,67 MPa maksimum çekme dayanımı ile de en dayanıklı numune olduğu sonucuna ulaşılabilir.

Sertliğin KEA sıcaklığına göre değişimini Şekil 3.'te verilmiştir. Burada KEA sıcaklıklarına ulaşıldıktan

sonra yaşlandırma sürelerinin malzeme üzerine etkisi gösterilmiştir. Sertlik artışı, 6 saat yapay yaşlandırmaya maruz bırakılan numunelerde daha çok olmaktadır.



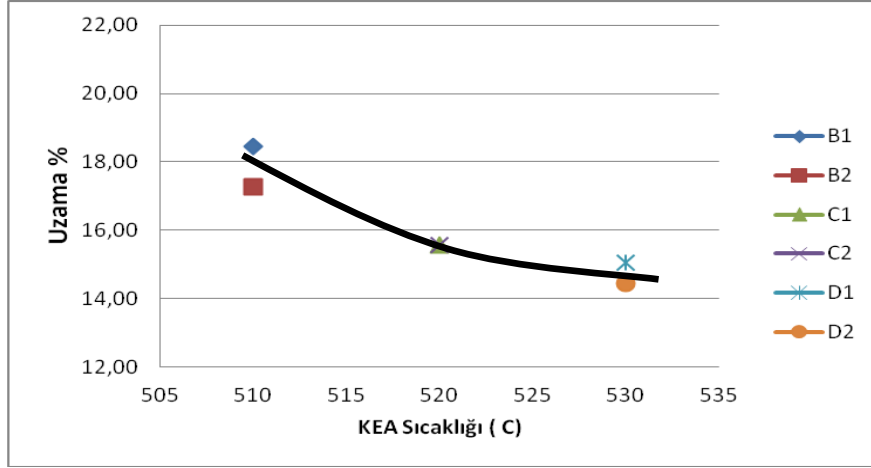
Şekil 3. AA2024 Alaşımında KEA Sıcaklığı – Sertlik İlişkisi



Şekil 4. Çekme dayanımının KEA sıcaklığına bağlı olarak değişimi

KEA sıcaklık değerlerinin çekme dayanımları üzerine etkisi de farklı farklı olmuştur. Her numunede dayanım artışı görülmüş fakat yüksek sıcaklıklarda KEA uygulanmış numunelerde bu artış daha büyük olmuştur. KEA sıcaklığının çekme dayanımı üzerine olan etkisi Şekil 4.'te verilmiştir. AA 2024 alaşımı levha malzemelere 510 °C, 520 °C ve 530 °C'de katı eriyiğe alıp, 190 °C'de 4 saat ila 6 saat yapay yaşlandırma işlemi uygulandığında

numunelerin çekme deneyi sonucunda, KEA sıcaklığı ile % uzama arasında ilişki Şekil 5.'de verilmiştir. KEA sıcaklığı ve yapay yaşlandırma süresine bağlı olarak maksimum uzama değerinin 510 °C'de KEA ve 190 °C'de 4 saat yapay yaşlandırma süresi sonunda elde edilmiştir. Bu değer ortalama % 20 olarak ölçülmüştür. Isıl işlem parametreleri arasındaki sıcaklık farkı az olduğu için % uzama miktarları arasındaki farklılık da küçük olup yaklaşık % 5 değişmektedir.



Şekil 5. KEA sıcaklığına bağlı olarak % uzama değerlerindeki değişim

Sertlik değerinin ve çekme dayanımının artması ile % uzama değerinin azalması birbirlerini teyit eden sonuçlar olarak ortaya çıkması; AA2024 alaşımının çökeltme sertleşmesi ile dayanımının artırılabilmesini ortaya koymuştur.

AA2024 alaşımının çökeltme sertleşmesi ile mekanik özelliklerinin artırılması, özellikle otomotiv sektöründe bazı tür çeliklerin yerine kullanılabilmesini göstermektedir. AA2024 alaşımının otomotiv parçalarında kaporta ve motor bloğunun çeşitli kısımlarında kullanılması, hem hafiflik hem de dayanım yönünden sanayiye kolaylık sağlayacaktır.

#### Tartışma ve Sonuç:

530 °C'de tavlama yapay yaşlandırmaya tabi tutulan numunelerde artan KEA sıcaklığı etkisiyle AlCu<sub>2</sub> fazının yapı içerisinde tam olarak çözüldüğü ve diğer tav sıcaklıklarına göre, nispeten daha homojen bir içyapı oluştuğu görülmektedir.

KEA sıcaklığı ve yapay yaşlandırma sürelerinin artmasıyla (A numunesinden D<sub>2</sub> numunesine doğru) malzemede sertlik artışının olduğu, dolayısıyla da % uzama miktarının azaldığı görülmektedir. 530 °C'de tavlama 190 °C'de 6 saat yaşlandırılmış D<sub>2</sub> numunesinin sertliği HB 128 sertlik değeri ile, diğer numuneler arasında sertliği en yüksek olan numune olduğu ve 576,67 MPa maksimum çekme dayanımı ile de en dayanıklı numune olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

AA 2024 alüminyum alaşımının, çökeltme sertleşmesi ile sertliğinin ve çekme dayanımının artırılabilmesi görülmüş ve bulunan sonuçlarında literatür bilgilerine uyumlu olduğu görülmüştür.

Teşekkür

Bu çalışmanın deneysel kısmında, laboratuvarları ile destek olan; ETİ Alüminyum A.Ş. Laboratuvar Müdürü Sayın Bader SAĞLAM'a ve metalografik incelemelerdeki yardımlarından dolayı Gebze İleri Teknoloji Enstitüsü Yapı İşleri Teknik Dairesi Başkanlığı Şube Müdürü Sayın Sami KORKMAZ'a ve laboratuvar çalışanlarına teşekkürlerimizi sunarız.

#### 5. Kaynaklar

- [1] Akdoğan, A., 2008, [http://www.yildiz.edu.tr/~akdogan/lessons/malzeme2/Aluminyum ve Aluminyum Alasimlari.pdf](http://www.yildiz.edu.tr/~akdogan/lessons/malzeme2/Aluminyum%20ve%20Aluminyum%20Alasimlari.pdf), (Erişim Tarihi: 26.03.2012)
- [2] Geçkinli A.E., 2002, Alüminyum Alaşımının Isıl İşlemi, 2. Isıl İşlem Sempozyumu CD'si, 07-08 Şubat, Maçka-İstanbul.
- [3] <http://eyupyaylaci.com/malzemelerde-cokelme-sertlesmesi/>, (Erişim Tarihi: 20.02.2011)
- [4] Savaşkan, T., 1999. Malzeme Bilgisi ve Muayenesi, Beta Basım A.Ş., Trabzon. 111-112
- [5] Su, Ş., 1988. 2XXX Grubu Alaşımında Katı Eriyiğe Alma Sıcaklık ve Süresinin Yaşlanma Sonrası Özelliklere Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya. 19 s.
- [6] Tayanç, M., Zeytin, G., 1998, Yaşlandırma Koşullarının 6063 Alaşımının Mekanik Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi, TMMOB Metalurji Müh. Odası, 1. Isıl İşlem Sempozyumu, İ.T.Ü., Maslak-İstanbul, 63
- [7] Tekin, E., 1984, Demirdışı Metaller ve Alaşımının Uygulamalı Optik Metalografisi, II.Baskı, SEGEM Yayın No: 101, Ankara, 397
- [8] Yılmaz, B., 2002. Alüminyum Alaşımında Faz Yapılarının Mekanik Özelliklere Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta. 23s.