

ULUSLARARASI 3B YAZICI TEKNOLOJİLERİ
VE DİJİTAL ENDÜSTRİ DERGİSİ

INTERNATIONAL JOURNAL OF 3D PRINTING
TECHNOLOGIES AND DIGITAL INDUSTRY

ISSN:2602-3350 (Online)

URL: <https://dergipark.org.tr/ij3dptdi>

ALÜMİNYUM 6066 ALAŞIMININ SUNİ YAŞLANDIRMA İŞLEMİNİN UZMAN SİSTEM DESTEKLİ İNCELENMESİ

EXPERT SYSTEM ASSISTED INVESTIGATION OF THE ARTIFICIAL AGING PROCESS OF ALUMINUM 6066 ALLOY

Yazarlar (Authors): Mehmet Yüksel^{ID}*, Eymen Akdeniz^{ID}, Ümit Çelik^{ID} Mustafa Bozdemir^{ID}

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Yüksel M., Akdeniz E., Çelik Ü., Bozdemir M., "Alüminyum 6066 Alaşımının Suni Yaşlandırma İşleminin Uzman Sistem Destekli İncelenmesi" *Int. J. of 3D Printing Tech. Dig. Ind.*, 6(3): 521-529, (2022).

DOI: 10.46519/ij3dptdi.1160659

Araştırma Makale/ Research Article

Erişim Linki: (To link to this article): <https://dergipark.org.tr/en/pub/ij3dptdi/archive>

ALÜMİNYUM 6066 ALAŞIMININ SUNİ YAŞLANDIRMA İŞLEMİNİN UZMAN SİSTEM DESTEKLİ İNCELENMESİ

Mehmet Yüksel^a , Eymen Akdeniz^a , Ümit Çelik^a , Mustafa Bozdemir^b 

^aSinerji Silah ve Mühimmat A.Ş. Kırıkkale/TÜRKİYE

^bKırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, TÜRKİYE

* Sorumlu Yazar: myuksel1994@hotmail.com

(Received: 11.08.2022; Revised: 22.08.2022; Accepted: 28.12.2022)

ÖZ

Günümüzde alüminyum malzemesi hafifliği ve işlenebilirliği gibi ana etkenler dâhilinde havacılık ve savunma sanayisi başta olmak üzere kritik alanlarda kullanılmaktadır. Bulunduğu seri özelliklerine göre ısıtma işlem uygulanabilirliğinden dolayı malzemenin mukavemet değerini artırma çalışmaları yapılmaktadır. Bu çalışmada ise Al 6066 alaşımının T6 ısıtma işlem operasyonu altında farklı suni yaşlandırma süre ve sıcaklık değerlerinde sertlik değerleri ölçülmüş ve en uygun durum ele alınmıştır. Sıcaklık değeri olarak 160, 180, 200 ve 220 °C, süre olarak ise 2.45, 3.15, 3.45, 4.15 ve 4.45 saat kombinasyonları uygulanmıştır. Elde edilen deneysel sonuçlar geliştirilen bir uzman sistem programı içerisindeki veri tabanına yüklenmiştir. Bu sayede verilerin kullanımı, paylaşımı ve ara sonuç değerlerinin belirlenmesi yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Isıtma işlemi, suni yaşlandırma, Alüminyum 6066, Uzman sistem

EXPERT SYSTEM ASSISTED INVESTIGATION OF THE ARTIFICIAL AGING PROCESS OF ALUMINUM 6066 ALLOY

ABSTRACT

Nowadays, aluminum material is used in critical areas of manufacturing in terms of aviation and defense industries due to main properties such as lightness and machinability. Due to the heat treatment applicability according to the series properties, studies are carried out to increase the hardness value of aluminum material. In this study, hardness values of Al 6066 alloy under T6 heat treatment operation were measured at different artificial ageing time and temperature values and the most suitable situation was discussed. Combinations of 160, 180, 200, and 220°C as temperature and 2.45, 3.15, 3.45, 4.15 and 4.45 hours as time were applied. The experimental results obtained were uploaded to the database in an expert system program. In this way, the use and sharing of the data and the determination of the intermediate result values were made.

Keywords: Heat treatment, artificial ageing, Aluminum 6066, expert system

1.GİRİŞ

Alüminyum yeryüzünde rezerv olarak en çok bulunan 3. elementtir. Alüminyum alaşımları şu an üretim ve tüketim hacmi olarak çelik alaşımlarından sonra Dünya’da en çok kullanılan metal alaşımıdır. Saf halde bulunan alüminyum oldukça kırılgan bir malzemedir. Alaşım haline geldiğinde ve ısıtma işlemleri

uygulandığında alaşımın akma ve çekme dayanım değerleri yükselmektedir [1]. Alüminyum alaşımları diğer alaşım metallerinden 2-3 kat daha hafiftir. Diğer metallerle göre daha hafif olması, korozyona dayanıklılığı ve kullanıldığı yerdeki gerekli mukavemet değerlerini karşılaması sebebi ile ulaşım sektöründe çok önemli bir yere

gelmiştir. Otomobillerde şasi, motor bloğunda; uçakların ve helikopterlerin motor aksamalarında, uzay araçlarında ve birçok ulaşım aracında çok önemli parçalarında alüminyum kullanımı gittikçe artmaktadır [2]. Bununla beraber alüminyumun mekanik özelliklerinin çeliğe yaklaşması ve çelikten daha hafif olması sebebiyle savunma sanayisinde kullanımı sürekli artmaktadır.

6xxx T6'yı elde etmek için bazı prosesler uygulanmaktadır. Bu prosesler sırasıyla çözeltiye alma, su verme, yaşlandırma işlemleridir. İş parçamız oldukça yüksek sıcaklığa atılır, önceden belirlenen zaman süresince çözeltinin içerisinde kalır, süre dolduğunda hemen su verme işlemine geçilir, soğuyunca iş parçası çıkarılır. Bu adımdan sonra iş parçaları yaşlandırma işlemine tabi tutulmaktadır [3]. Bütün bu işlemlerin sonucunda parçamız eskisine oranla daha mukavim bir hal almaktadır.

Yaşlandırma işlemi iki çeşittir; doğal yaşlandırma ve suni (yapay) yaşlandırma. Doğal yaşlandırma işleminde su verme işlemi bittikten sonra iş parçası oda koşullarında (25°C) belirlenen süre zarfında herhangi bir işlem uygulanmadan bekletilmesidir [4]. Suni yaşlandırma işleminde ise su verme işlemi bittikten sonra iş parçası 115-190 °C sıcaklığındaki fırınlarda 5-50 saat arası bekletilmesidir [3].

Alphonse vd. [5], AA 2219 malzeme üzerinde solüsyonun sıcaklığını, zamanını, yaşlandırma sürecinin sıcaklığını, zamanını değiştirerek dövme alüminyum malzemesi için çekme mukavemetini ve uzama miktarlarını incelemişlerdir. Sonuç olarak ise çözeltiye alma ve yaşlandırma sıcaklığı arttıkça çekme mukavemetinin arttığını belirlemişlerdir.

7xxx malzemesinin kaynak işlemi ile birlikte T6 ısıtım işlemi sonucunda elde edilen tanecik büyüme hızlarının araştırılması ve çekme kuvvetinin test sonuçları Lezeack vd. [6] tarafından detaylıca incelenmiş ve operasyon olarak 470°C'de 30 dakika boyunca solüsyona alınmıştır, sonrasında ise 120°C'de 24 saat yaşlandırma işlemine bırakılmıştır.

Taramalı elektron mikroskopu aracılığı ile alüminyum 7050 malzemesinin farklı solüsyona alma, yaşlandırma ve kriyojenik

işlemleri ile kombinasyonları Weng vd. [7] tarafından çalışılmış, düşük sıcaklıktaki termal iletkenliğin etkisine bakılmıştır.

Alüminyum 7075 malzemesinin 480°C'de 90 dakika solüsyona alma ve takiben 180°C'de 8 saat yaşlandırma işlemi ile beraber termal iletkenliği, termal genişleme ve sertlik değerleri Padap vd. [8] tarafından incelenmiş ve malzemeyi tek yönlü sıkıştırma işlemi sonucunda değerler arasında farklar bulunmuştur.

Nandana vd. [9], 7010 alüminyum malzeme için 490°C'de 6 saat bekletme, su verme, 120°C'de 24 saat yaşlandırma işlemini T6 seviyesi için gerçekleştirmiş ve malzemede gerileme özelliği için 200°C'de 20 dakika bekletmişlerdir. Daha sonrasında ise yeniden yaşlandırma için 120°C'de 24 saat bekletme prosesini tamamlamışlardır. Optik mikro grafik verilerine ve kırılma büyüme hızlarına bakarak, yeniden yaşlandırma işleminin, T6 işleminden daha faydalı olduğu izlenmiştir.

ADC12 malzemesinin en iyi mekanik özelliklerinin hangi koşullarda oluştuğunu anlamak için Canyook vd. [10], 2, 4, 6, 8, 10 ve 12 saatlerde sabit 520°C altında solüsyona almışlardır ve daha sonra su verme işlemi ile birlikte 170°C'de 6,8 ve 10 saat farklı suni yaşlandırma zamanlarında tutmuşlardır. Sonuç olarak ise 170°C'de 6 saat suni yaşlandırma işleminin en iyi sonucu verdiği anlaşılmıştır.

Alüminyum 7075 malzemesinin farklı ısıtım işlem prosedürleri altında en iyi elektrik iletkenliği ve korozyon dayanıklılığı Pankade vd. [11] tarafından çalışılmıştır. Önce saf 7075 malzemesini T6 seviyesine getirilmiş, 200°C'de 2 saat boyunca malzeme gerileme metodu yapılmış ve 120°C ve 24 saat boyunca yeniden yaşlandırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Ek olarak ise 7075-T6 malzemesine 163°C'de yeniden yaşlandırma yapılarak sonuçlara bakılmıştır ve en iyi değerler bu proses sonucunda çıkmıştır.

Yan vd. [12], 7055 alüminyum malzemesinin önce saf halinde sonra ise T6 ısıtım işlemi sonucunda optik mikro yapısını, elektron mikroskopu ile inceleyerek tanecikler arasında yer değiştirme hareketlerini incelemiştir. Sonuç olarak, tanecikler arasındaki mesafe

deformasyon sıcaklığı ile birlikte yükseliş göstermiştir.

Çoklu ısıtım işlem uygulaması yapılarak alüminyum 7049 malzemesinin özellikleri ve mikro yapısı Ranganatha vd. [13] tarafından araştırılmıştır. Bu çalışma ile birlikte, T6, T73 ve yeniden yaşlandırma metodu a rasında önemli farklar bulunmuştur.

Taramalı elektron mikroskobu ile incelenen alüminyum 7085 malzemesinin farklı ısıtım işlem uygulamaları arasında stres korozyon farklılıkları Chen vd. [14] tarafından çalışılmıştır. Netice olarak ise, T6 ısıtım işleminin en düşük, T74 işleminin ise en yüksek sonuç verdiği gözlenmiştir.

Bu çalışmada, 6066 alüminyum alaşımında T6 ısıtım işlemini elde etmek için, çözeltiye alma işleminde süre ve sıcaklığı sabit tutup, suni yaşlandırma işleminde süre ve sıcaklık değerlerini değiştirip malzemenin sertliğinin değişimi incelenmektedir.

2.MATERYAL METOT

2.1. Deney Düzenegi

Alüminyum malzemeler kendi aralarında kimyasal, fiziksel ve mekanik özelliklerine bağlı olarak ayrılırlar. İçerdikleri oranlara göre, kullanıcı tarafından uygun yerlerde gerekli malzemeyi kullanma işi gerçekleştirilmektedir. Çizelge 1’de Alüminyum 6066 alaşımının içeriğinde bulunan kimyasal oranlar verilmiştir. Ayırteten ölçümlerin alındığı numune görüntüsü ise Şekil 1’de gösterilmiştir. Numunenin boyu 50, dış çapı ise 45 mm’dir.



Şekil 1. Kullanılan numune örneği.

Çizelge 1. Alaşımın kimyasal oranları [15].

Element	Değer(%)
Si	0.9-1.8
Mg	0.8-1.4
Cu	0.7-1.2
Mn	0.6-1.1
Fe	0.5-maks
Cr	0.4-maks
Zn	0.25-maks
Ti	0.2-maks
Al	Geriyeye kalan

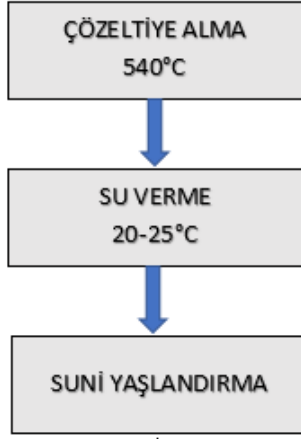
Çizelge 1’de görüldüğü üzere Al elementinden hariç, en fazla kimyasal içeriğe sahip olan Silisyum (Si) ve Magnezyum (Mg) elementleridir. Sırasıyla 0.9-1.8 ve 0.8-1.4 değer aralığındadırlar.

Malzemenin kimyasal özelliklerinin yanı sıra fiziksel ve mekanik parametreleri malzemenin hangi durumlar altında kullanılıp, planlanan işlem için uygunluğuna karar vermede önemli bir yere sahiptir. Çizelge 2’de Alüminyum 6066 alaşımının mekanik ve fiziksel özellikleri verilmiştir.

Çizelge 2. Alüminyum 6066 alaşımının mekanik ve fiziksel özellik değerleri [15].

Özellik	Değer
Akma Dayanımı	125-310 MPa
Çekme Gerilimi	195-345 MPa
Uzama	8-16%
Brinell Sertliği (HB)	100
Elastisite Modülü	68-69 GPa
Yoğunluk	2.72 g/cm ³
Isıl İletkenlik	146-155 W/(m · °C)
Elektriksel Direnç	0.043-0.048 Ω · mm ² /μ
Ergime Sıcaklığı	560-645 °C

Bu çalışmada kullanılan Al 6066 alaşımının mukavemet artırımı için uygulanan ısıtım işlem operasyonu 3 evreden oluşmaktadır. İlk önce 540°C’de numuneleri çözeltiye alma işlemi uygulanır. Çözeltiye alma işlemi gerçekleştirildikten sonra 20-25°C değerindeki su ile su verme işlemi yapılır. T6 seviyesine ulaşabilmek için suni yaşlandırma metodu farklı derecelerde ve farklı fırınlama süreleri için operasyon oluşturulur. Organizasyon şeması Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. T6 Isıl işlem organizasyon şeması.

Organizasyon şeması verilen ısıl işlem operasyonunda dikkat edilmesi gereken bazı hususlar bulunmaktadır. Numuneler çözeltiliye alındıktan sonra su verme işlemi gerçekleştirilir bu noktada en önemli durum ise kullanılan suyun sıcaklığının 20 ile 25°C arasında olmasıdır. Suyun sıcaklığı numuneler daldırıldıktan sonra artm a eğilimi gösterecektir, bu nedenle bu sıcaklık derecesinin istenilenden uzaklaşması durumunda suyun her seferinde değiştirilmesi gerekmektedir.

Çözeltiliye alma ve su verme işlemleri bittikten sonra T6 ısıl işlem seviyesine ulaşabilmek için son operasyon adımı olarak suni yaşlandırma kalmaktadır. Bu noktada belli bir süre ve sıcaklık tüm malzemeler için geçerli değildir. Alüminyum malzemelerinin kendi aralarında bu noktada farklılıkları olduğundan dolayı bu yayında kullanılan Al 6066 için en yüksek sertlik değerinin yakalandığı noktaya kadar farklı sıcaklıklarda ve sürelerde yaşlandırma işlemi operasyonu dikkatli bir şekilde gerçekleştirilir.

Isıl işlem fırının sıcaklığını kontrol altına alıp, devamlılığını sağlamak için sıcaklık sensörü olan termokupl'dan faydalanılır. Sıcaklık değeri ısıl işlemi kontrol eden tekniker tarafından sürekli izlenip, doğru bir şekilde operasyonun yapılması sağlanır. Şekil 3'de ısıl işlem uygulanan fırının fotoğrafı gösterilmektedir.



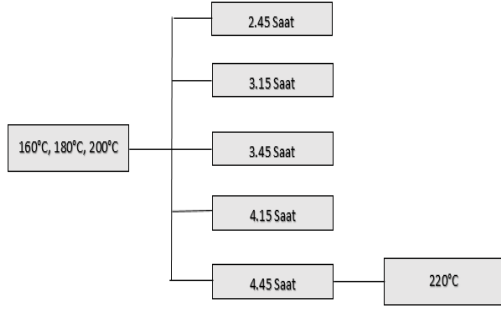
Şekil 3. Isıl işlem operasyonlarının yapıldığı fırın

Bu yayının temel amacı Al 6066 alaşımının T6 ısıl işleminden sonra elde edilecek sertlik değerlerini karşılaştırıp, en iyi suni yaşlandırma sıcaklık ve zaman kombinasyonlarında literatüre yenilik katmaktır. Bu sebepten dolayı, suni yaşlandırma işlemleri gerçekleştirildikten sonra numuneler sırasıyla sertlik ölçüm cihazında, hem tabandan hem de cidar kalınlık bölgesinden Rockwell 30T sertlik ölçüm değerine göre ölçülür. Ölçüm için Mitutoyo 810-203 D Wizhard makine kullanılmakta, cihazın fotoğrafı Şekil 4'de gösterilmiştir.



Şekil 4. Sertlik ölçüm işlemlerinin yapıldığı cihaz.

T6 ısıl işlem operasyonunda çözeltiliye alma ve su verme işleminde her hangi bir değişiklik söz konusu değildir fakat suni yaşlandırma aşamasında öncelikle sıcaklık olarak 4 ayrı durumda ve bekletilme durumu 5 ayrı zaman diliminde incelenmiştir. Isıl işlem sıcaklık ve bekleme süresi organizasyon süresi Şekil 5'de verilmiştir.

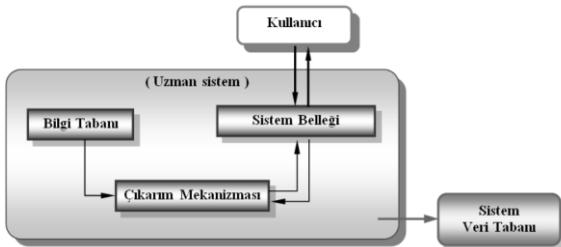


Şekil 5. Isıl işlem sıcaklık ve bekleme süresi organizasyon şeması.

Şekil 5’de görüldüğü üzere 160, 180, 200°C’de 5 ayrı zaman diliminde (2.45, 3.15, 3.45, 4.15 ve 4.45 saat) ısıl işlemler yapılmıştır. Çıkan sonuçlara göre 220°C’de ise sadece 4.45 saat suni yaşlandırma işlemi görmüştür. Her bir sıcaklık ve yaşlandırma işleminde 5 farklı numune kullanılıp sertlik değerlerinin ortalaması ele alınmıştır. Isıl işlem sertlik değerleri Bulgular ve Tartışma bölümünde detaylıca açıklanmıştır.

2.2. Uzman Sistem Programı

Uzman sistemler, bilgi tabanlı sistemler olup, problemleri daha geniş bir perspektifte inceleyip, çözümünde insan zekâsını taklit etmeyi hedefleyen yapay zekânın bir uygulama alanıdır. Geleneksel programlar ile uzman sistemlerde algoritma ve çıkarım mekanizmaları yer değiştirmiştir. Şekil 6’da uzman sistem karar verme mekanizmasına ait işlem yapısı görülmektedir. İlgili bilgiler çıkarım mekanizması aracılığıyla, bilgi tabanı ve veri tabanı kayıtlarını değerlendirir. Bilgi tabanı ve veri tabanı kılavuzunda yapılan değerlendirme ile sertlik değerinin kaç olduğu çıkarım mekanizması tarafından karar verilir.



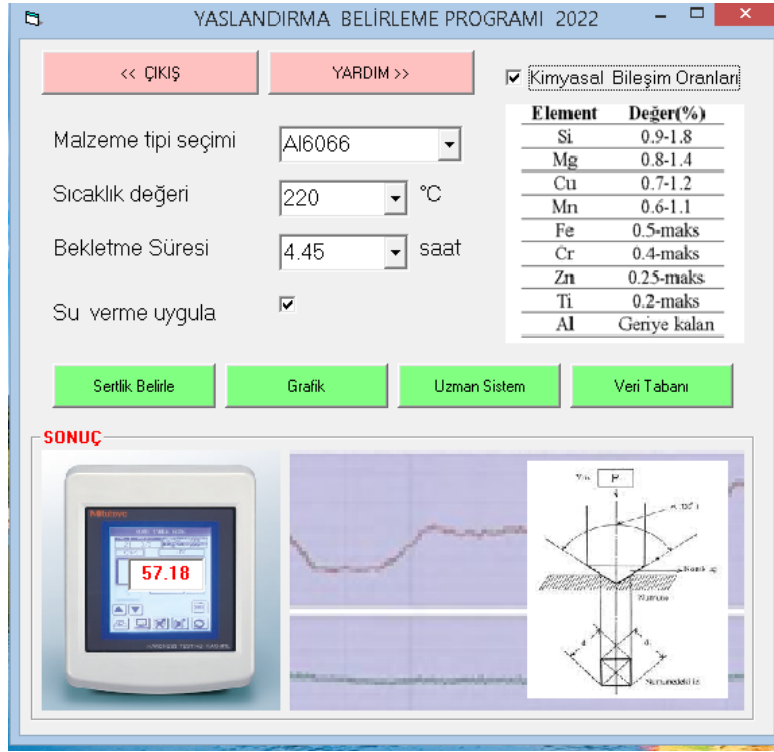
Şekil 6. Uzman sistemin yapısı.

Genel olarak uzman sistemlerde bulunması gereken üç ana modül; bilgi tabanı, sonuç çıkarım mekanizması ve kullanıcı ara yüzüdür. Bilgi Tabanı, uzmanlardan, yayınlanmış veya yayınlanmamış kaynaklardan, kitaplardan ve diğer literatürden elde edilen bilginin bulunduğu, saklandığı ve kullanılması gerektiğinde kolaylıkla erişilebilen bir yapıdır. Bilgi tabanı kurallar, gerçekler, şebekeler ve çerçevelerden oluşur. Sistem yapısı aynı kalmak koşuluyla konu kapsamı genişletilmek istenildiğinde kolayca güncelleştirilebilmeli ve eklemeler yapılabilir.

Çıkarım mekanizması, bilgi tabanındaki kuralları, gerçekleri ve diğer tüm bilgileri kullanarak hem ileriye hem de geriye doğru zincirleme metodu ile sonuca varabilen mekanizmadır. Kullanıcı ara yüzü, uzman sistemi kullanan ve onunla sürekli etkileşimde bulunan önemli bir bileşendir. Çalışmada yapılan yaşlandırma deneylerinin sonuçlarının daha etkili ve hızlı kullanılmasını sağlamak için uzman sistem tabanlı bir program kullanılmıştır. Uzman sistem içerisinde kullanılan bilgi tabanı içerisinde deneysel sonuçlar işlenmiştir. Karar verme aşamasında çıkarım mekanizması deney ortamı bilgilerini değerlendirerek sonucu bulmaktadır.

Yaşlandırma programında kullanılan sistem veri tabanı bilgilerinin düzenlenmesi amacıyla, veri tabanı listeleme ve veri tabanı editörleri eklenmiştir. Bu editörler yardımıyla sisteme yeni kural bilgileri kaydedilebilir ve değişiklikler yapılabilir. Her farklı malzeme türüne ait yapılan yaşlandırma deneyleri zaman içerisinde hazırlanacak detaylı kural bilgileri sisteme kaydedilerek, programın veri tabanının geliştirilmesi sağlanacaktır.

Şekil 7’de malzeme tipi, sıcaklık değeri, bekleme süresi, su verme işlemi gibi deney ortamı bilgilerinin seçimi yapıldığı program ara yüzü görülmektedir. Deneyler sırasında elde edilen tüm bilgilerin programa öğretilmesi sonrasında sonuçlar çok kısa sürede bulunabilmektedir.



Şekil 7. Program ara yüzü.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

İlk olarak 160°C’de 5 ayrı saatte suni yaşlandırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Aşağıdaki Çizelge 3’de görüldüğü üzere sertlik değerleri her saat aralığında birbirine yakın olarak bulunmuştur.

Çizelge 3. 160°C Isıl işlem sertlik değerleri.

Isıl İşlem Saati	(Taban) Rockwell 30T	(Yan) Sertlik Rockwell 30T
160°C-2.45 Saat	45,22	49,14
160°C-3.15 Saat	47,16	47,22
160°C-3.45 Saat	50,64	50,98
160°C-4.15 Saat	47,94	48,38
160°C-4.45 Saat	44,46	49,58

160°C’deki sertlik değerleri referans alınıp sıcaklık 180°C’ye çıkarıldığında ise Al 6066 alaşımı için 180 °C’de maksimum sertlik değerleri bulunamamıştır, yaşlandırma süresi 4.45 saate çıktığında sertlik değerinin artması bunun en önemli göstergesidir. Çizelge 4 ‘de değerler gösterilmiştir.

Çizelge 4. 180°C Isıl işlem sertlik değerleri.

Isıl İşlem Saati	Sertlik (Taban) Rockwell 30T	Sertlik (Yan) Rockwell 30T
180°C-2.45	45,82	46,58
180°C-3.15	53,4	53,42
180°C-3.45	52,24	55,92
180°C-4.15	58,98	56,7
180°C-4.45	58,08	64,32

160 ve 180°C’deki sonuçlar ele alındıktan sonra 200°C’de suni yaşlandırma operasyonuna geçilmiştir ve değerler her zaman aralıklarında malzemenin hem taban hem de cidar kalınlıklarında çok yakın bulunmuştur. Değerler Çizelge 5’de verilmiştir.

Çizelge 5. 200°C Isıl işlem sertlik değerleri.

Isıl İşlem Saati	Sertlik (Taban) Rockwell 30T	Sertlik (Yan) Rockwell 30T
200°C-2.45	61,9	62,14
200°C-3.15	60,72	61,1
200°C-3.45	62,86	62,1
200°C-4.15	62,32	61,14
200°C-4.45	61,42	62,12

Elde edilen bulgular ışığında suni yaşlandırma işlemi 220°C’ye çıkarılıp 4.45 saat

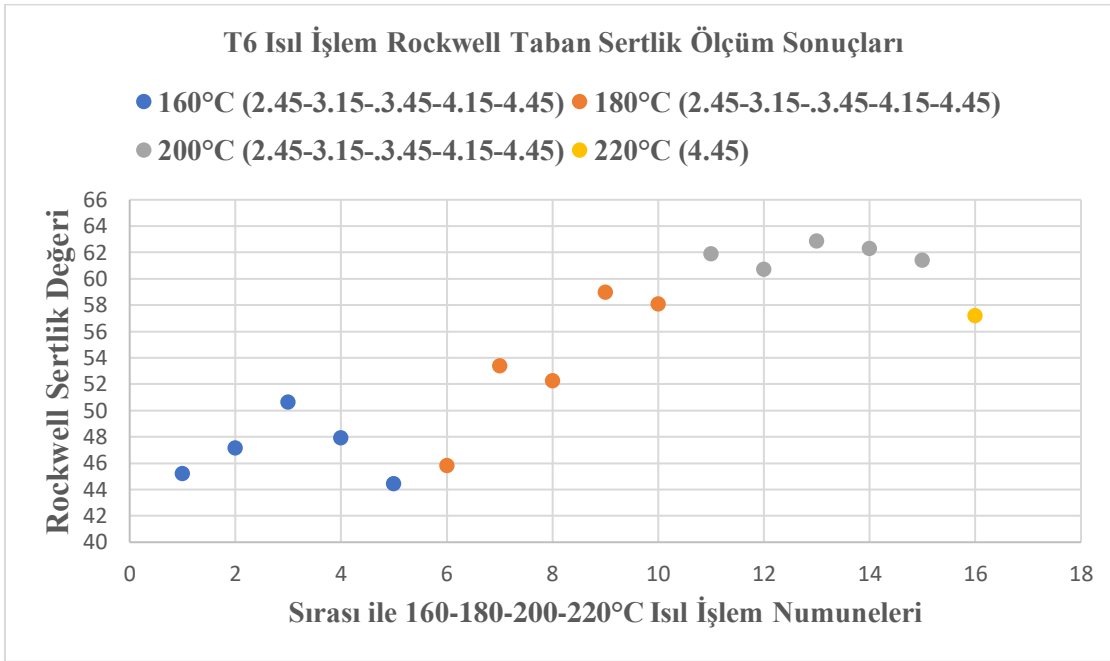
bekletilmiştir. Tek zaman diliminin yapma amacı ise eğer sertlik değeri 200°C'den daha düşük çıkması durumunda geri kalan sürelerde suni yaşlandırma işleminin ekonomik ve zaman bakımından kazancını sağlamaktır. Bu yüzden yapılan denemede elde edilen sonuç sırasıyla taban ve cidar kalınlığından 57,18 ve 57,74 Rockwell bulunmuştur. Sonuçlar Çizelge 6'de gösterilmiştir.

Çizelge 6. 220°C Isıl işlem sertlik değerleri

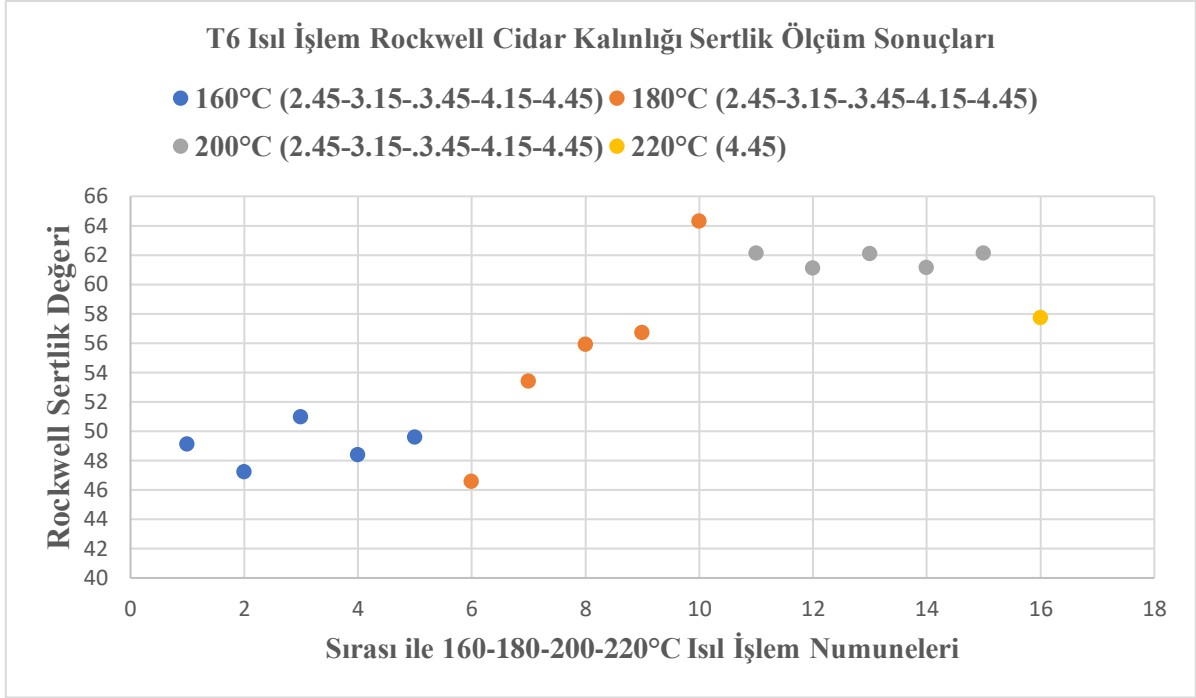
Isıl İşlem Saati	Sertlik (Taban) Rockwell 30T	Sertlik (Yan) Rockwell 30T
220°C-4.45	57,18	57,74

Çözeltiliye alma ve su verme işlemi tüm numuneler için aynı tutulup, sadece suni yaşlandırma sıcaklık değeri ve zaman ile ilgili farklı durumlar incelenmiştir. Bu amaç kapsamında, 160, 180, 200 ve 220°C sıcaklık dilimleri ve 2.45, 3.15, 3.45, 4.15, 4.45 saat aralıkları ile Al 6066 alaşımının T6 ısıl işlem düzeyinde hangi noktada maksimum sertlik değerini verdiği grafik ve çizelgelerle açıklanmıştır.

T6 Isıl işlem Rockwell taban ve cidar kalınlık sertlik ölçüm sonuçları Şekil 8 ve 9'da verilmiştir.



Şekil 8. T6 Isıl işlem Rockwell taban sertlik ölçüm sonuçları.



Şekil 9. T6 Isıl işlem Rockwell cidar kalınlık sertlik ölçüm sonuçları.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada Alüminyum 6066 alaşımının suni yaşlandırma operasyonunda farklı sıcaklıklarda fırınlanarak sertlik değerleri değişimi izlenilmiş ve en uygun yöntem için denemeler yapılmıştır. Elde edilen verilerin etkin kullanımı için bir uzaman sistem yazılımı geliştirilmiştir. Deneysel yapılan çalışmalarla;

- 160°C suni yaşlandırmasında 5 farklı zaman diliminde de değerler birbirine yakın olarak elde edilmiştir. Sertlik durumları ise daha yüksek sıcaklıkta suni yaşlandırmayı gerektirdiğini gösterdiğinden 180°C'ye çıkarılmıştır.

- 180°C'ye çıkarılan fırında ölçülen numunelerde ise 2.45 saat haricinde diğer sürelerde bekletilen numunelerin sertlik değerleri daha yüksek ve birbirine yakın olduğu izlenmiştir.

- 180°C'deki sertlik değerleri 160°C'ye göre artmış olsa bile optimize durumu anlamak için suni yaşlandırma sıcaklığı 200°C'ye çıkarılıp, aynı zaman dilimlerinde sertlikler ölçülmüştür. 5 farklı zaman diliminde elde sonuçlar hem tabanda hem de cidar kalınlık bölgesinde çok yakın bulunmuştur.

- Elde edilen bulgular ışığında, enerji tasarrufu sağlamak maksadı ile suni yaşlandırma operasyon sıcaklığını 220°C'ye çıkarıp, sadece 4.45 saat'de fırınlama işlemi yapılmıştır. 2 bölgeden ölçülen sonuçlara göre sertlik 57,18 ve 57,74 çıkmıştır. Bu sonuçlar suni yaşlandırma işleminde 220 °C'de tüm saat aralıklarında fırınlama işleminin yapılmasının gerekli olmayacağını göstermiştir.

- Elde edilen deneysel veri sonuçları Visual Basic programı kullanılarak hazırlanan uzman sistem veri tabanında tanımlanmıştır. Hazırlanan program sayesinde deney sonuçları daha hızlı değerlendirilebilmektedir. Yapılan deneysel yaşlandırma ve sertlik ölçme işlemine ait grafik sonuçları ve ara değerler programla kullanıcı dostu görsel verilere dönüştürülebilmektedir.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, katkılarından dolayı Sinerji Silah ve Mühimmat A.Ş'ye teşekkürü bir borç bilir.

KAYNAKLAR

Akdı S. ve Demirpolat H., "Alüminyum işlem şımlarında T651 ısıl işlemi uygulamaları ve ilerinin araştırılması", 9.Uluslararası Alüminyum Sempozyumu, Sayfa 1-6, İstanbul, 19.

2. TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası, "Alüminyum Raporu", TMMOB 24.Dönem Çalışma Raporu, Ankara, 1980.
3. Demir M., "Alüminyum 7075 dövme alaşımlarının dökülebilmesi ve T6 yaşlandırma ısıl işlemi ile mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi", Yüksek Lisans tezi, Sakarya Uyg.Bil. Üniv., Sakarya, 2020.
4. Erdoğan M., Erçetin A.ve Güneş İ., "Investigation of the corrosion resistance of natural aged AA 6013 Aluminum alloy", Uluslararası Demir Çelik Sempozyumu, Sayfa 582, Karabük, 2015.
5. Alphonse M., Raja B., Vivek M., Raj S., Darshan S. ve Bharmal P., "Effect of heat treatment on mechanical properties of forged aluminium alloy AA2219", Materials Today: Proceedings, Vol. 44, Pages 3811-3815, 2021.
6. Lezaack M. ve Simar A., "Avoiding abnormal grain growth in thick 7XXX aluminium alloy friction stir welds during T6 post heat treatments", Materials Science & Engineering A, Vol. 807, 2021.
7. Weng Z., Xu X., Yang B., Gu K., Chen L and Wang J., "Cryogenic thermal conductivity of 7050 aluminum alloy subjected to different heat treatments", Cryogenics, Vol. 116, 2021.
8. Padap K., Yadav A., Kumar P. and Kumar N., "Effect of aging heat treatment and uniaxial compression on thermal behavior of 7075 aluminum alloy", Materials Today: Proceedings, Vol. 33, Issue 8, pp. 5442-5447, 2020.
9. Nandana S., Bhat U. and Manjunatha M., "Influence of retrogression and re-ageing heat treatment on the fatigue crack growth behavior of 7010 aluminum alloy", Procedia Structural Integrity, Volume 14, Pages 314-321, 2019.
10. Canyook R., Utakrut R., Wongnichakorn C., Fakpan K. and Kongiang S., "The effects of heat treatment on microstructure and mechanical properties of rheocasting ADC12 aluminum alloy", Materials Today: Proceedings, Vol. 5, Issue 3, Pages 9476-9482, 2018.
11. Pankade B., Khedekar S. and Gogte L., "The Influence of heat treatments on electrical conductivity and corrosion performance of AA 7075-T6 Aluminium alloy", Procedia Manufacturing, Vol. 20, Pages 53-58, 2018.
12. Yan L., Shen J., Li Z. and Li J., "Effect of deformation temperature on microstructure and mechanical properties of 7055 aluminum alloy after heat treatment", Transactions of Nonferrous Metals Society of China, Vol. 23, Issue. 3, Pages 625-630, 2013.
13. Ranganatha R., Kumar A., Nandi V., Bhat R.ve Muralidhara B., "Multi-stage heat treatment of aluminum alloy AA7049", Transactions of Nonferrous Metals Society of China, Vol. 23, Issue. 6, Pages 1570-1575, 2013.
14. Chen S., Chen K., Dong P., Ye S. and Huang L., "Effect of heat treatment on stress corrosion cracking, fracture toughness and strength of 7085 aluminum alloy", Transactions of Nonferrous Metals Society of China, Vol. 24, Issue 7, Pages 2320-2325, 2014.
15. Tan E., "The effect of hot-deformation on mechanical properties and age hardening characteristics of Al-Mg-Si based wrought aluminum alloys", Yüksek Lisans tezi, Ortadoğu Teknik Üniv., Ankara, 2006.