

AA7075 Yaşlandırılmasında Farklı Ön Gerinmelerin Mekanik Özelliklere Etkilerinin İncelenmesi

Investigation of Effects of Different Pre-straining on Mechanical Properties of AA7075 Aging

Süleyman KILIÇ¹ , İlyas KACAR² , Fahrettin ÖZTÜRK^{3,4} , Mevlüt ŞAHİN⁵ , Oğuz ERDEM¹ 

¹Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü

²Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü

³Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü

⁴TUSAS – Türk Havacılık ve Uzay Sanayii AŞ

⁵Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu

Öz

Bu çalışmada havacılık sanayinde yaygın kullanıma sahip 7075 alüminyum alaşımının yaşlandırılmasında farklı ön gerinmelerin alaşımın mekanik özelliklerine etkileri incelenmiştir. Çalışmadaki temel amaç farklı oranlarda ön şekillendirilmiş yapısal parçaların boya fırınlanması esnasındaki mekanik ve mikroyapı özelliklerinin değişiminin belirlenmesidir. Boya fırınlama işlemlerinde genellikle 120-200 °C sıcaklıkları kullanılmaktadır. Bu kapsamda çalışmamızda yaşlandırma sıcaklıkları 120, 160 ve 200 °C olarak seçilmiştir. Numunelere farklı ön gerinmeler uygulanarak ön gerinmenin yaşlandırmadaki etkisi detaylı olarak incelenmiştir. İncelemeler sonucunda ön gerinmenin artmasıyla, 200 °C yaşlandırma sıcaklığında akma mukavemeti ve geri esneme düşerken, altındaki yaşlandırma sıcaklıklarında artmaktadır. Bunun sebebi ise mikroyapıdaki MgZn₂ katı çökeltilerinin hacimsel miktarıdır.

Anahtar Kelimeler: Ön gerinme, MgZn₂ katı çökeltileri, AA 7075, mekanik özellikler, XRD, boya fırınlama.

Abstract

In this study, effects of different pre-straining on mechanical properties of AA7075 aging are investigated. The alloy has been widely used in aerospace industry. The purpose of this study is to determine changes in mechanical and microstructural properties of different level pre-deformed structural parts during the paint baking process. The paint baking process is generally performed between 120 and 200 °C. In this concept, aging temperatures of 120, 160 and 200 °C are selected. Different pre-straining is applied on samples to investigate the effects of pre-straining on the aging in detail. Although yield strength and springback are decreased at 200 °C aging with increasing the pre-straining, they are increased below aging temperatures of 200 °C. The reason is that the increase in volume of MgZn₂ solid precipitates in the microstructure.

Keywords: Pre-straining, MgZn₂ precipitates, AA 7075, mechanical properties, XRD, paint baking.

I. GİRİŞ

7XXX serisi alüminyum alaşımları sahip oldukları mükemmel mekanik özellikleri nedeniyle havacılık ve uzay sanayinde yoğunlukla tercih edilmektedir [1]. Al-Zn-Mg-Cu alaşımı olarak ta bilinen 7XXX seri alüminyum alaşımlarında ikincil faz olarak η (MgZn₂), T (Al₂Mg₃Zn₃), S (Al₂CuMg) fazları bulunmaktadır [2-6]. Bu alaşım serisinde faz dönüşümleri;

- Aşırı doymamış katı solüsyon → GP bölgeleri → η' → η

olarak veya

- Aşırı doymamış katı çözelti → GP bölgeleri → T' → T

olarak gerçekleşmektedir [1]. η' fazı yarı dengeli bir faz, η fazı ise dengeli olmayan faz olarak tanımlanmaktadır [7]. Yüksek sıcaklıklarda yaşlandırma işleminde yüksek Zn:Mg oranlarında hegzagonal η' fazı oluşurken, düşük Zn:Mg oranlarında T ($Al_2Mg_3Zn_3$) fazı oluşabilmektedir.

7XXX seri alüminyum alaşımları yüksek yaşlandırılabilir kabiliyeti göstermektedirler [8, 9]. Yaşlandırma sıcaklığına ve süresine bağlı olarak değişen yapay yaşlandırma işleminde, malzemenin kullanılacağı yerde, en uygun yaşlandırma parametrelerini tespit edebilmek için pekçok çalışma yapılmıştır [10-14]. Çalışmalardaki temel husus içyapıdaki fazların farklı yaşlandırma sıcaklık ve sürelerinde değişiklik göstermesidir [15]. 7075 serisi alüminyum alaşımında içyapı Al ve $MgZn_2$ fazlarından oluşmaktadır [16, 17]. Yapay yaşlandırma işleminde ilk olarak GP bölge içerisinde çekirdeklenmelerin başlaması için 107-120 °C yaşlandırma sıcaklıkları olması gerekmektedir. İkinci aşama ise 160-170 °C'de $MgZn_2$ çökeltilerinin oluşmaya başlamasıdır. Bu çökelti parçacıklarının oluşumu T6 temperine göre mukavemetin yaklaşık %15 düşmesine neden olmaktadır [18]. Yaşlandırma süresi arttıkça, çökeltiler büyüyerek dislokasyon hareketlerini engellemeye başlayarak mukavemetin artışına sebep olurlar. Ancak çökelti boyutunun kritik bir değeri aşması halinde ise artık taneler aşırı kabalaştığı için dislokasyon hareketleri kolaylaşmakta ve mukavemetin düşmesine neden olmaktadır. η' fazı mukavemeti artırırken [12, 19-21], η fazı ise düşürmektedir [20, 22, 23]. Yaşlandırma sıcaklığının artması ise akma mukavemetini düşüren bir etkiye sahiptir [24].

7075-T6 alüminyum alaşımında farklı çözeltiye alma sıcaklıkları (420, 450, 480, 510, 530 °C) ve farklı yaşlandırma sıcaklıklarında (107, 121, 165 °C) yapay yaşlandırma uygulanmış ve mukavemet değerleriyle sertlik değerleri arasında bir uyum olduğu gösterilmiştir [25]. Farklı sıcaklıklarda çözeltiye alma işlemleri uygulanıp yapay yaşlandırma uygulanan malzemede $MgZn_2$ fazı belirlenmiştir [26]. Dolayısıyla yaşlandırmadaki etken parametrelerden biriside numunelerin soğuma hızıdır. Çünkü hızlı soğutma yapılırsa, Mg ve Zn atomlarının çözünmeleri için yeterli zaman olmadığından $MgZn_2$ fazı oluşmamaktadır [4, 26]. Yapılan bir araştırmada 150°C yaşlandırma sıcaklığında sonra $MgZn_2$ fazlarının görülmeye başlandığı ve sıcaklık yükseldikçe fazların oranlarının arttığı gösterilmiştir. Ancak 150 °C'den sonra önemli oranda mukavemet kaybı olmuştur. Sebebi ise GP, η' ve η faz dönüşümleridir [23]. 190 °C'nin üstünde η' fazı azalmaya başlamaktadır [12]. 145, 165 ve 185 °C sıcaklıklarında η' fazı çoğunlukla olmak üzere yapıda η fazı da mevcuttur [27]

Bilindiği üzere otomotiv endüstrisinde malzemeler şekillendirildikten sonra 170-200 °C sıcaklıklar arasında boya fırınlama işlemine tabi tutulmaktadır [28]. Bu nedenle bu sıcaklık değerleri otomotiv sacları için her zaman dikkat çekici olmaktadır. GP-I fazının fırınlama sertleşmesine katkıda bulunduğu görülmektedir [29]. 6111 seri alüminyum alaşımlarında %2 ve %5 ön gerinme uygulanan numunelere 150 ve 170 °C sıcaklıklarda 20 ve 30 dakika boyunca fırınlama yapıldığında yüksek ön gerinme halinde daha yüksek akma mukavemeti elde edildiği görülmektedir.

Bunun nedeni ise ön gerinmenin artması halinde pekleşmenin de artmasından dolayıdır [30]. 7075 alüminyum alaşımına %8 ön gerinme uygulanıp 140 °C sıcaklıklarda farklı sürelerde yaşlandırma işlemi yapıldığında ön gerinmenin çökeltme sertleşmesinde önemli bir katkısı olduğu görülmektedir [31]. Mg-Zn-Y alaşımı, %3-5 ön gerinme işlemiyle 150 °C yaşlandırma sıcaklığında farklı sürelerde yaşlandırmaya tabi tutulmuş ve ön gerinmenin artmasıyla mukavemet ve sertlik değerleri de artmıştır [32]. Malzemelerin içyapı özelliklerinin incelenmesinde X ışını kırınımı (XRD) pik profili analizi, Geçirimli Elektron Mikroskobu (TEM) incelemelerinin güçlü bir alternatifidir [33]. Bütün malzemelerin mekanik ve fiziksel özellikleri içyapıları ile doğrudan ilişkilidir. Bu yüzden Rietveld analizinin kullanımı gittikçe yaygınlaşmaktadır. Bu yöntem bir eğri uydurma yöntemi olup, eğri altındaki alanların pik değerlerin ölçülmesi gerektiğinde başvuru bir yöntemdir. İleriki bölümlerde kullanım şekli anlatılacaktır.

Bu çalışmada, AA 7075 sac numunelerine farklı ön gerinmelerle şekillendirilmiş numunelere farklı yaşlandırma sıcaklıkları uygulayarak mekanik özelliklerinin değişimi incelenmiştir. 30 dakika süresince farklı yaşlandırma sıcaklıklarında, farklı ön gerinmelerin mekanik özelliklere etkileri tespit edilmiştir.

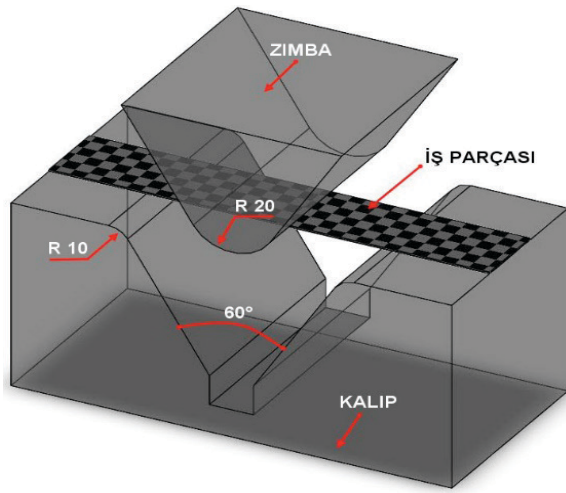
II. MALZEME VE YÖNTEM

2 mm kalınlığında 7075-T6 malzemesine, %2, 4 ve 6 ön gerinmeler uygulanmıştır. Ön gerinme (ön deformasyon), şekil değiştirme kontrollü olarak yapılan bir çekme deney cihazında gerçekleştirilmiştir. Müteakip başlıklarda çekme deneyine ilişkin bilgiler detaylıca verilmiştir. Daha sonra ön gerinme uygulanmayan ve uygulanan numuneler 500 °C sıcaklıkta 2 saat süreyle çözeltiye alınmıştır. Süre bitiminde en fazla 10 saniye içerisinde oda sıcaklığındaki suda soğutma işlemi gerçekleştirilmiştir. Ardından numunelere 30 dakika boyunca 120, 160 ve 200 °C sıcaklıklarında yapay yaşlandırma işlemi uygulanmıştır. Yapay yaşlandırması tamamlanmış olan numunelere 25 mm/dak deformasyon hızında çekme ve eğme deneyleri yapılmıştır. Mikroyapı incelemesi için XRD ve optik mikroskop kullanılmıştır. Kullanılan malzemenin kimyasal bileşimi Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. 7075 alüminyum alaşımının kimyasal bileşimi

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Ti+Zr
0,07	0,12	1,5	0,02	2,6	0,18	5,8	0,05	0,08

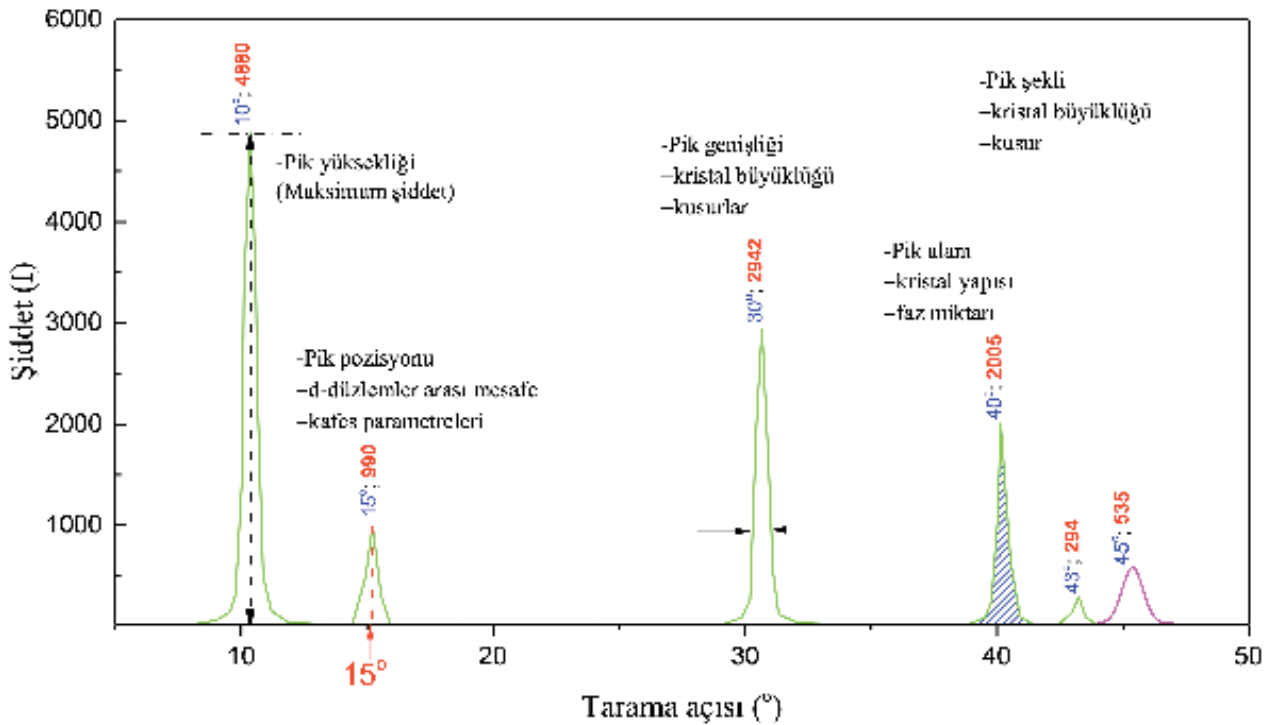
Deney numuneleri ASTM-E8 standardına göre hadde yönünde su jetiyle kesilerek hazırlanmıştır. Geri esneme deneyinde 60° V kalıp kullanılmıştır (Şekil 1). Çekme ve eğme deneyleri Shimadzu Autograph 100kN çekme cihazında üçer tekrarlı olarak yapılmıştır. Numunelerde meydana gelen uzamalar video tipi ekstansometre ile, geri esneme miktarı ise görüntü işleme teknikleri kullanılarak ölçülmüştür.



Şekil 1. 60° V kalıpta eğme deney düzeneği

Malzemelerin özellikleri, kimyasal bileşimlerine ve iç yapıyı oluşturan fazlara göre değişiklik göstermektedir. Fazlar, malzemelerin sünek veya kırılğan olması gibi birçok özelliğe belirleyici olmaktadır. Malzemelerde yer alan fazları kolaylıkla belirleyebilmek için XRD yöntemi tercih edilmektedir. X ışınları, malzemelerin atomik ve moleküler

yapısının incelenmesinde ve sınıflandırılmasında yaygın olarak tercih edilmektedir. Son zamanlarda Rietveld yöntemiyle malzemelere ait birçok bilgi XRD grafiklerinden elde edilmektedir [34-39]. Rietveld yönteminin temeli ise bir takım matematiksel modeller kullanarak eğri uydurma prensibine dayanmaktadır. Her ne kadar, grafiklere bakıldığında noktalarlar arası çizgilere aldanarak, mevcut bir eğrinin varlığından bahsetmek kolay gibi gözükse de esasen grafiğin sadece noktalar kümesi olduğunu unutmamak gerekir. Böylesi noktalardan oluşan kümenin en uygun fonksiyon ile modellenerek istenen işlemlerin (altta kalan alan, uzunluk, yarı genişlik, ortalama değer vs...) yapılabilmesi mümkün olacaktır. Rietveld yöntemi de eğri uydurmak ve bu eğriyle ilgili geometrik işlemleri yaparak, böylesi işlemleri mümkün kılmaktadır. Rietveld yöntemi kullanarak analiz yapan ücretsiz lisansa sahip bazı programlar şunlardır; MAUD (Material Analysis Using Diffraction) [40], Profex (Rietveld Refinement) [41] ve FullProf Suite (Structure Profile Refinement) [42]. Bu çalışmada MAUD ve Profex programlarından faydalanılmıştır. Şekil 2’de ideal bir XRD grafiği verilmiştir. Kafes parametreleri, kristal yapı, faz oranları, kristal yapı kusurları, kalıntı gerilmeler ve düzlemler arası mesafe vb. bilgiler bu grafikten rahatlıkla elde edilebilmektedir.



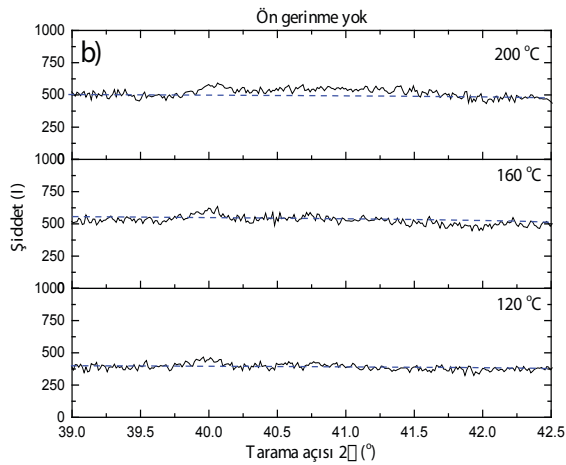
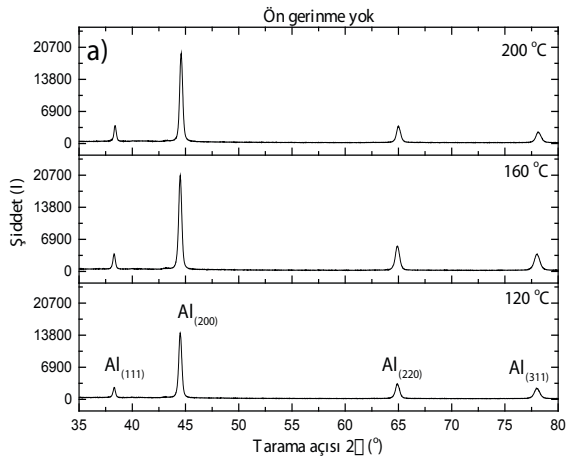
Şekil 2. İdeal bir XRD grafiği ve piklerden bilgilerin elde edilmesi [43]

III. BULGULAR ve TARTIŞMA

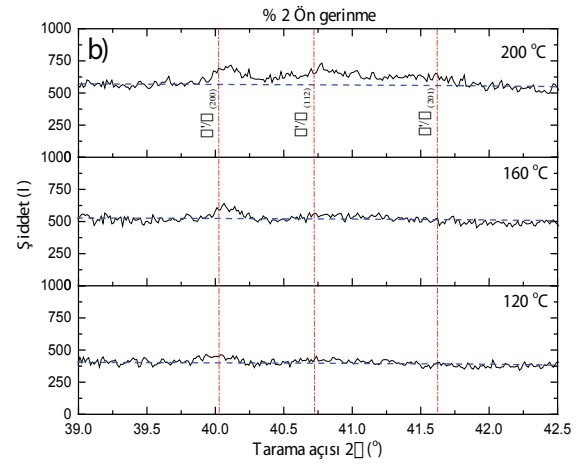
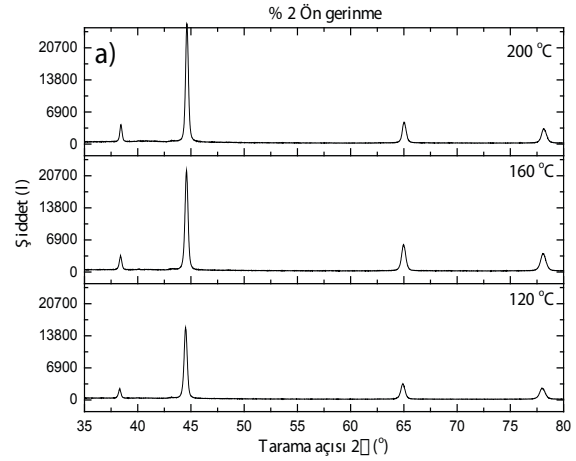
3.1 XRD Analizleri

Şekil 3’de PANalytical marka XRD cihazı ile 35 dereceden 80 dereceye kadar 0,05 derece/dk hızla tarama yapılarak elde edilen XRD grafiği verilmiştir. XRD analizinde Cu K α ışınımı yapan bakır anotlu XRD tüpü kullanılmıştır. Yapılan Rietveld analizine göre yapı Al ve MgZn₂ fazlarından oluşmaktadır. Burada piklerin altında kalan alan fazların oranlarını vermektedir. Piklerin sağa veya sola doğru kaymaları ise oluşan iç gerilmeleri ifade etmektedir.

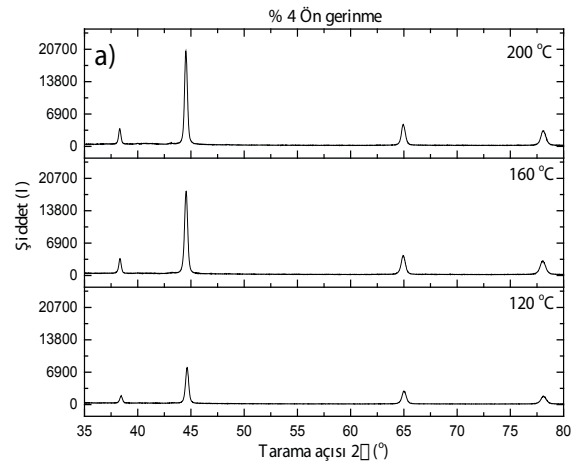
Yaşlandırma sürelerinin artmasıyla beraber yapıda MgZn₂ oluşumu artmaktadır [23, 27]. 120 ve 160 °C yaşlandırma sıcaklıklarında 30 dakika süresi MgZn₂ fazlarının oluşması için yeterli olmamışken, MgZn₂ fazı 200 °C sıcaklıkta oluşmaya başlamıştır. Aynı zamanda ön gerinmenin artmasıyla MgZn₂ fazının hacim oranı arttığı görülmektedir (Şekil 3-6). Faz hacmindeki artış, piklerin altlarında kalan alanların büyümesiyle anlaşılmaktadır. Alan ne kadar büyük ise, fazın miktarı da o kadar fazladır.

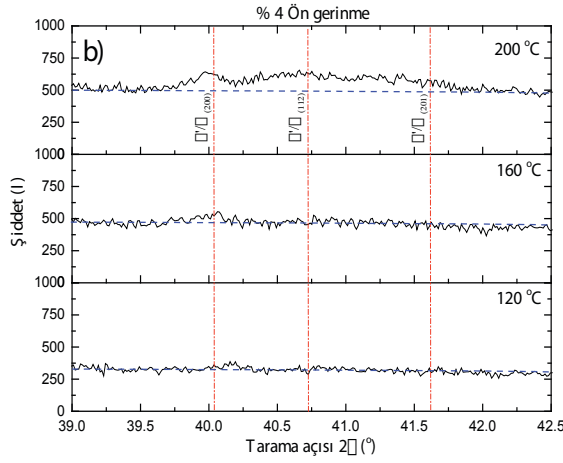


Şekil 3. a) 7075 alüminyum alaşımın farklı sıcaklıklarda 30 dakika yaşlandırma işlemi (Ön gerinme yok), b) yakınlaştırılmış görüntü

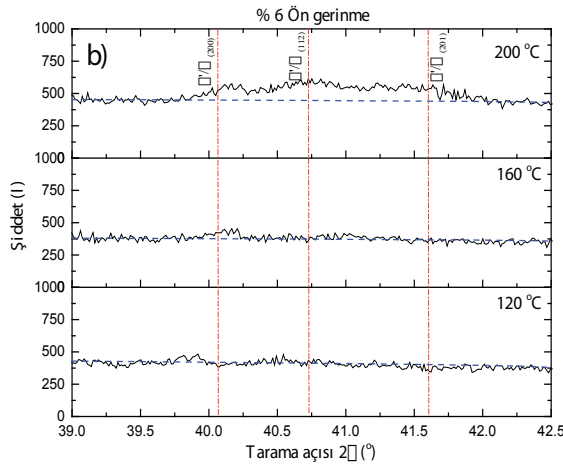
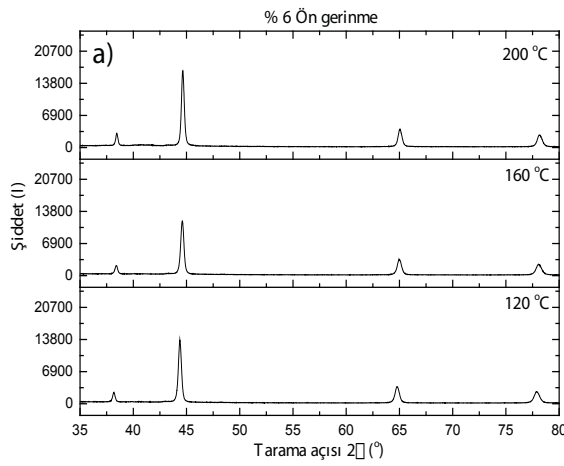


Şekil 4. a) 7075 alüminyum alaşımın farklı sıcaklıklarda 30 dakika yaşlandırma işlemi (%2 ön gerinme), b) yakınlaştırılmış görüntü



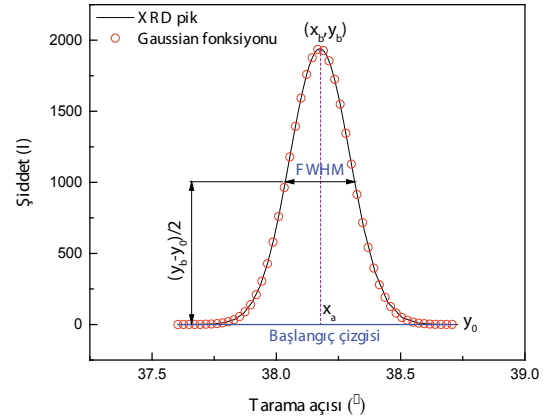


Şekil 5. a) 7075 alüminyum alaşımın farklı sıcaklıklarda 30 dakika yaşlandırma işlemi (%4 ön gerinme), b) yakınlaştırılmış görüntü



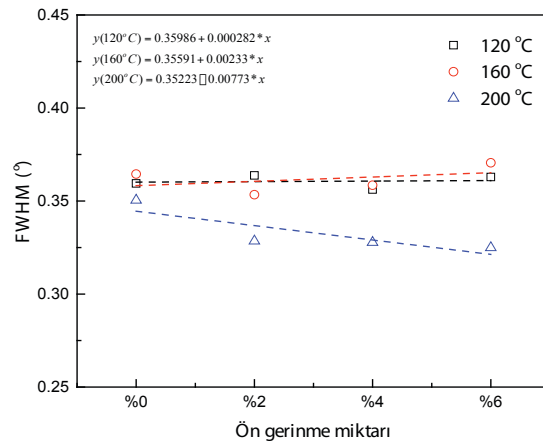
Şekil 6. a) 7075 alüminyum alaşımın farklı sıcaklıklarda 30 dakika yaşlandırma işlemi (%6 ön gerinme), b) yakınlaştırılmış görüntü

XRD grafiklerinden malzemelere ait birçok özellik elde edilmektedir. Malzeme deformasyona maruz kaldığında iç yapısı ve dolayısıyla da XRD grafiği değişmektedir. Örneğin malzemeye bir ön gerinme uygulandığı zaman XRD pikleri sağa veya sola doğru kaymaktadır. Bu *kayma* malzemede iç gerilmelerin oluştuğunu ifade etmektedir. Grafikteki piklerden maksimum yükseklikte olanının, *genişliği* de malzemenin mukavemetiyle ilişkilidir. XRD pikleriyle ön gerinmelerin etkisi araştırıldığında, pik genişliğinin artmasıyla mukavemet, toplam uzama ve sertlik değerlerinin de arttığı görülmektedir [44]. Ayrıca FWHM (Full width at half maximum – bir maksimum pikin yüksekliğinin yarı değerindeki genişliğinin tam değeri) değeri büyük olunca sertlik yüksek çıkmaktadır [45]. XRD grafiklerinin incelemesinde genellikle Rietveld analizi kullanılmaktadır. Rietveld yönteminde ise Gauss, Gaussian, lorentz, Voigt vb... denklemler ile eğri uydurma yapılmaktadır [43]. Bu eğri uydurma sonucu pik genişliğinin hesaplanmasını Şekil 7 göstermektedir.



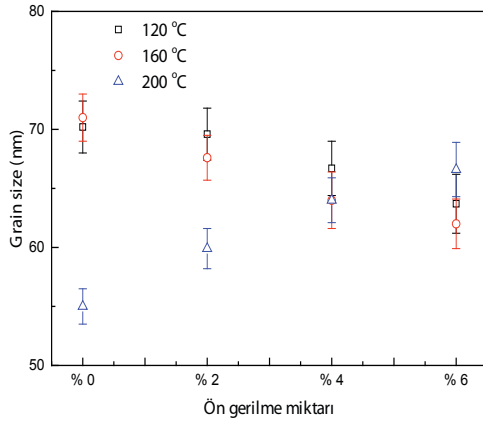
Şekil 7. Rietveld analiziyle pik genişliği bulma (FWHM)

Şekil 8 incelendiğinde, pik genişliğinin değişimi görülebilir. Ön gerinmenin artmasıyla beraber 120 ve 160 °C yaşlandırma sıcaklıklarında pik genişlikleri artmaktadır. 200 °C yaşlandırma sıcaklığında ise pik genişlikleri azalmaktadır.



Şekil 8. Sıcaklık ve ön gerinmeye göre pik genişliğinin değişimi

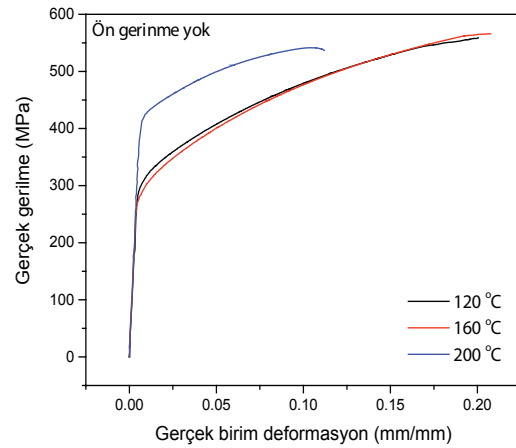
Ön gerinme oranına göre tane büyüklüğünün değişimi de Şekil 9'da gösterilmiştir. Şekil üzerindeki noktalar Profex programı yardımıyla XRD grafiğinden elde edilmiştir. Bunun temeli ise Scherrer denkleminde dayanmaktadır [46]. Literatürde birçok çalışmada XRD ve TEM yardımıyla elde edilen değerler karşılaştırılarak kullanılmaktadır [47-50]. 120 ve 160 °C yaşlandırma sıcaklığında ön gerinme ile taneler ufak kalırken, 200 °C yaşlandırma sıcaklığında ön gerinme ile taneler kabalaşmaktadır.



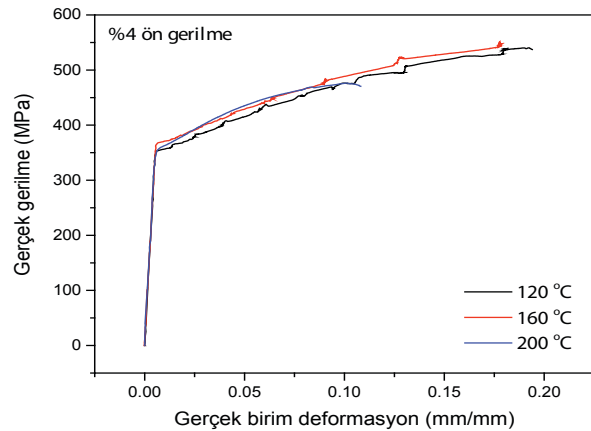
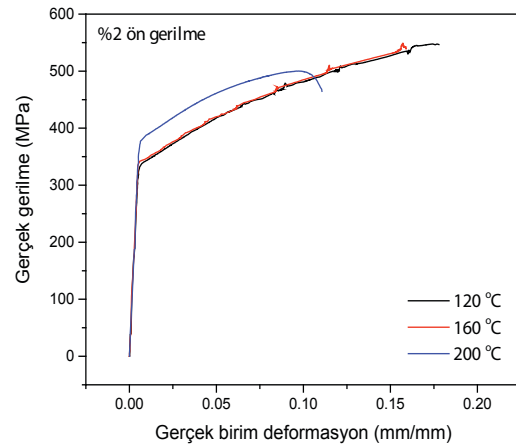
Şekil 9. Tane büyüklüğünün ön gerinmeye göre değişimi

3.2 Çekme Deneyleri

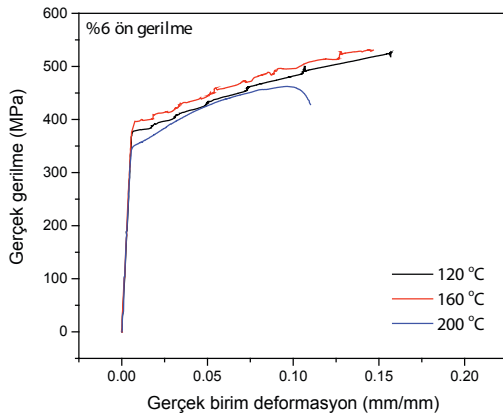
Farklı ön gerinmeler uygulanmış numunelerin, 30 dakika yaşlandırma süresinde farklı sıcaklıklarda yaşlandırma işlemi uygulanmasına müteakip, elde edilen yaşlandırılmış numunelere, 25 mm/dak deformasyon hızında çekme deneyleri uygulanmış ve sonuçları Şekil 10-13' de verilmiştir. Ön gerinme uygulanmayan numunelerde 120 ve 160 °C yaşlandırma sıcaklıklarında sonuçlar hemen hemen aynıdır. 200 °C yaşlandırma sıcaklığında ise mukavemet artmış, birim deformasyon değeri düşmüştür. Farklı ön gerinme uygulanan numunelerin tamamında ise 120 ve 160 °C yaşlandırma sıcaklıklarında Portevin Le Chatelier etkisi görülürken 200 °C yaşlandırma sıcaklığında ise bu etki ortadan kalkmaktadır. Çünkü bu sıcaklıklarda artık dislokasyon hareketleri bir kararlı duruma ulaşmaktadırlar. Portevin Le Chatelier etkisi olarak adlandırılan durum, plastik deformasyon eğrisinde sürekli bütün eğri boyunca dalgalanma olması halidir. Sebebi, dislokasyon hareketinin ilerleme-durdurulma-ilerleme şeklinde dinamik bir davranış halinde olmasıdır. Bu durum, artan sıcaklıklarda kendisini gösterir zira akma mukavemeti azalır. Böylece dislokasyonların serbest hareketi kolaylaşır. Dislokasyon tam ilerliyorken, yapı atomları bu dislokasyonun önüne geçmekte, hareketini kısıtlamakta ve nihayetinde de mukavemette bir artış meydana gelmektedir.



Şekil 10. Ön gerinme uygulanmamış numunelerin farklı sıcaklıklardaki gerilme birim deformasyon eğrisi

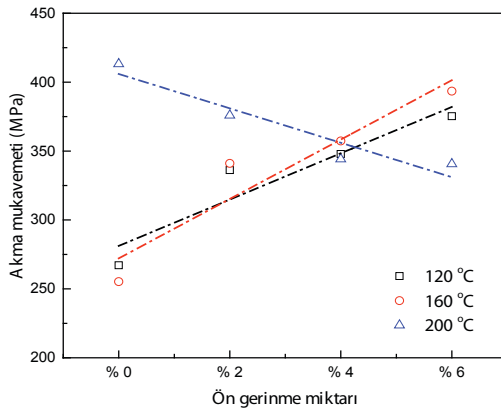


Şekil 12. %4 Ön gerinme uygulanmış numunelerin farklı sıcaklıklardaki gerilme birim deformasyon eğrisi

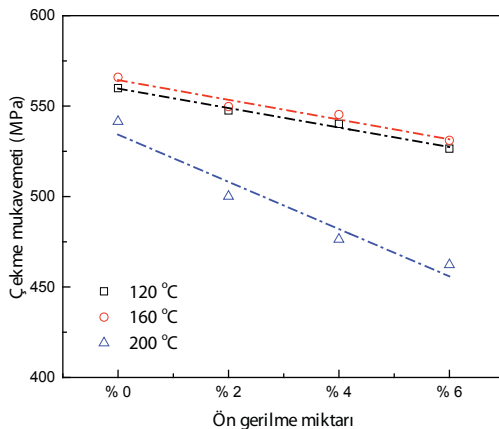


Şekil 13. %6 Ön gerilme uygulanmış numunelerin farklı sıcaklıklardaki gerilme birim deformasyon eğrisi

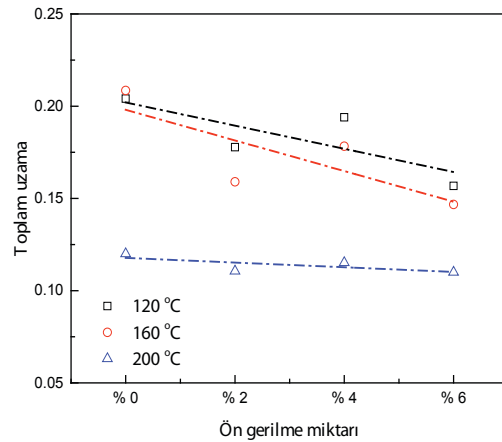
120 ve 160 °C yaşlandırma sıcaklıklarında ön gerilmenin artmasıyla akma mukavemeti artarken, çekme mukavemeti ve toplam uzama miktarı düşmektedir. 200 °C yaşlandırma sıcaklığında ise ön gerilmenin artmasıyla akma ve çekme mukavemeti düşerken, toplam uzama miktarında bir değişiklik meydana gelmemiştir (Şekil 14-16).



Şekil 14. Farklı sıcaklıklarda farklı ön gerilme miktarlarının akma mukavemetine etkisi



Şekil 15. Farklı sıcaklıklarda farklı ön gerilme miktarlarının çekme mukavemetine etkisi

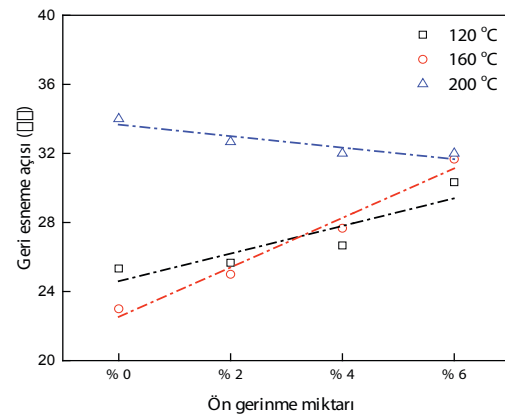


Şekil 16. Farklı sıcaklıklarda farklı ön gerilme miktarlarının toplam uzamaya etkisi

3.3 Geri Esneme Deneyleri

Geri esneme deneylerinde de çekme deneylerinde olduğu gibi 25 mm/dak deformasyon hızı kullanılmıştır. Zımba bükme işlemini için ilerleme yapmış ancak sac üzerinde herhangi bir ezme işlemi yapılmamıştır. Zımba, mesafe kontrollü olarak hareket ettirilmiştir. Bükme işlemi bittikten sonra otomatik olarak tekrar eski konumuna gelmektedir. 120 ve 160 °C'lerde yaşlandırılan numunelere uygulanan bükme neticesinde, ön gerilmenin artmasıyla beraber geri esneme miktarının da arttığı gözlemlenmiştir. Ancak 200 °C'de yaşlandırılmış numuneler üzerine yapılan deneylerde geri esneme düşmektedir (Şekil 17). Literatürde de benzer şekilde artan yaşlandırma sıcaklığıyla geri esnemenin azaldığı belirtilmiştir [51].

Geri esneme miktarını etkileyen parametrelerden bir diğeri akma mukavemetidir. Şekil 14'de görüldüğü gibi akma mukavemetinin artması geri esnemeyi artırmaktadır. Zira ön gerilme miktarı arttıkça, akma mukavemeti artmaktadır. Bu durum 200 °C ye kadar olan sıcaklıklarda geçerlidir. 200 °C den sonrasında ise tersi durum oluşmaktadır.



Şekil 17. Farklı yaşlandırma sıcaklık ve sürelerinin geri esnemeye etkisi

IV.SONUÇLAR

Bu çalışmada havacılık ve uzay sanayinde yoğunlukla tercih edilen 7075 serisi alüminyum alaşımında yaşlandırma işleminde ön gerinmenin mekanik özelliklere etkisi araştırılmıştır. Özellikle otomotiv sektöründe şekillendirilmiş parçalar boyama işleminden sonra 120-200 °C sıcaklıkları arasında farklı sürelerde (10-30 dk.) fırınlama işlemine tabi tutulmaktadır. Böylece yaşlandırılabilen bir malzeme kullanıldığı zaman, fırınlama işleminde hiçbir işlem yapmadan mukavemet değerlerinde bir artış olacaktır. Bu kapsamda bu çalışmada da yaşlandırma sıcaklığı olarak 120, 160 ve 200 °C olarak tercih edilmiştir. Yaşlandırma süresi ise 30 dakika seçilmiştir. Numunelere farklı ön gerinmeler uygulayarak, ön gerinmenin yaşlandırmadaki etkisi detaylı olarak incelenmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda 120 ve 160 °C yaşlandırma sıcaklıklarında MgZn₂ çökeltisi yokken ön gerinme uygulanmasıyla da oluşmamıştır. 200 °C sıcaklığında ise 30 dakika yaşlandırma süresinde MgZn₂ çökeltisi oluşmaya başlamış ve ön gerinmenin artmasıyla beraber hacim olarak MgZn₂ fazında artış görülmüştür. MgZn₂ çökeltisinin oluşmasından sonra, sıcaklığa bağlı olarak yapıda yumuşama meydana gelmektedir. Ön gerinmenin artmasıyla 120 ve 160 °C yaşlandırma sıcaklıklarında pekleşmenin etkisiyle akma mukavemeti artarken, 200 °C yaşlandırma sıcaklığında MgZn₂ çökeltisi nedeniyle akma mukavemeti düşmeye başlamıştır. Çekme mukavemeti de aynı şekilde bütün yaşlandırma sıcaklıklarında düşerken toplam uzama miktarı ise 200 °C yaşlandırma sıcaklığında neredeyse hiç değişmemiştir. Geri esneme sonuçlarına baktığımız zaman ise akma mukavemetiyle benzer özellikleri göstermektedir. 120 ve 160 °C yaşlandırma sıcaklıklarında Portevin-Le Chatelier etkisi görülmüş, 200 °C yaşlandırma sıcaklığında ise beklenildiği üzere bu etki ortadan kaybolmuştur.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Ahi Evran Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'nce desteklenmiştir. Proje Numarası: **MMF.A3.17.001**. ("This work was supported by the Ahi Evran University Scientific Research Projects Coordination Unit. Project Number: **MMF.A3.17.001**.") Desteklerinden dolayı Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKLAR

- [1] Vasudevan, A. K., ve Doherty, R. D. (1989). Aluminum Alloys—Contemporary Research and Applications: Contemporary Research and Applications (Vol. 31). England: Elsevier
- [2] Mondal, C., ve Mukhopadhyay, A. K. (2005). On the nature of T(Al₂Mg₃Zn₃) and S(Al₂CuMg) phases present in as-cast

- and annealed 7055 aluminum alloy. *Materials Science and Engineering: A*, 391(1), 367-376.
- [3] Lalpour, A., Soltanipour, A., ve Farmanesh, K. (2015, 11,12 November 2015). *Effect of Friction Stir Processing on the Microstructure and Superplasticity of 7075 Aluminum Alloy*. Paper presented at the 5th International Biennial Conference on Ultrafine Grained and Nanostructured Materials (UFG-NSM15) Tehran, Iran.
- [4] Fan, X.-G., Jiang, D.-M., Meng, Q.-C., Zhang, B.-Y., ve Tao, W. (2006). Evolution of eutectic structures in Al-Zn-Mg-Cu alloys during heat treatment. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 16(3), 577-581.
- [5] Lim, S. T., Eun, I. S., ve Nam, S. W. (2003). Control of equilibrium phases (M, T, S) in the modified aluminum alloy 7175 for thick forging applications. *Materials Transactions*, 44(1), 181-187.
- [6] Binesh, B., ve Aghaie-Khafri, M. (2016). Phase evolution and mechanical behavior of the semi-solid SIMA processed 7075 aluminum alloy. *Metals*, 6(3), 42.
- [7] Ozyurek, D., Yilmaz, R., ve Kibar, E. (2012). The effects of retrogression parameters in RRA treatment on tensile strength of 7075 aluminium alloys. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 27(1), 193-203.
- [8] Polmear, I. (1996). Recent developments in light alloys. *Materials Transactions, JIM*, 37(1), 12-31.
- [9] Hunsicker, H. (1976). Development of Al-Zn-Mg-CU alloys for aircraft. *Philosophical Transactions for the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*, 359-376.
- [10] Emani, S., Benedyk, J., Nash, P., ve Chen, D. (2009). Double aging and thermomechanical heat treatment of AA7075 aluminum alloy extrusions. *Journal of Materials Science*, 44(23), 6384-6391.
- [11] Karaaslan, A., Kaya, I., ve Atapek, H. (2007). Effect of aging temperature and of retrogression treatment time on the microstructure and mechanical properties of alloy AA 7075. *Metal Science and Heat Treatment*, 49(9), 443-447.
- [12] Park, J., ve Ardell, A. (1983). Microstructures of the commercial 7075 Al alloy in the T651 and T7 tempers. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 14(10), 1957-1965.
- [13] Tash, M. M., ve Alkahtani, S. (2015). Aging and Mechanical Behavior of Be-Treated 7075 Aluminum Alloys. *Aging*, 1, 7395.
- [14] Joshi, A., Shastry, C., ve Levy, M. (1981). Effect of heat treatment on solute concentration at grain boundaries in 7075 aluminum alloy. *Metallurgical Transactions A*, 12(6), 1081-1088.
- [15] Viana, F., Pinto, A. M. P., Santos, H. M. C., ve Lopes, A. B. (1999). Retrogression and re-ageing of 7075 aluminium alloy: microstructural characterization. *Journal of Materials Processing Technology*, 92-93, 54-59.

- [16] Pastor, A., ve Svoboda, H. G. (2013). Time-evolution of heat affected zone (HAZ) of friction stir welds of AA7075-T651. *Journal of Materials Physics and Chemistry*, 1(4), 58-64.
- [17] Oskouei, R. H., Barati, M. R., ve Ibrahim, R. N. (2016). Surface characterizations of fretting fatigue damage in aluminum alloy 7075-T6 clamped joints: the beneficial role of Ni-P coatings. *Materials*, 9(3), 141.
- [18] Fontana, M. G., ve Stactile, W. (1970). Corrosion Science and Technology. *Plenum Press, London, 1*, 149.
- [19] Park, J. K., ve Ardell, A. J. (1989). Correlation between microstructure and calorimetric behavior of aluminum alloy 7075 and Al • Zn • Mg alloys in various tempers. *Materials Science and Engineering: A*, 114(Supplement C), 197-203.
- [20] Chen, J., Zhen, L., Yang, S., Shao, W., ve Dai, S. (2009). Investigation of precipitation behavior and related hardening in AA 7055 aluminum alloy. *Materials Science and Engineering: A*, 500(1), 34-42.
- [21] Gülerüz, K., ve Kaçar, R. (2011). *Deformasyon Yaşlanmasının AA7075 Alüminyum Alaşımının Mekanik Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi*. Paper presented at the 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11).
- [22] Porter, D. A., Easterling, K. E., ve Sherif, M. (2009). *Phase Transformations in Metals and Alloys*, (Revised Reprint). USA: CRC press
- [23] Panigrahi, S. K., ve Jayaganthan, R. (2011). Effect of Annealing on Thermal Stability, Precipitate Evolution, and Mechanical Properties of Cryorolled Al 7075 Alloy. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 42(10), 3208-3217.
- [24] Polmear, I., ve Couper, M. (1988). Design and development of an experimental wrought aluminum alloy for use at elevated temperatures. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 19(4), 1027-1035.
- [25] Clark, R., Coughran, B., Traina, I., Hernandez, A., Scheck, T., Etuk, C., Peters, J., Lee, E. W., Ogren, J., ve Es-Said, O. S. (2005). On the correlation of mechanical and physical properties of 7075-T6 Al alloy. *Engineering Failure Analysis*, 12(4), 520-526.
- [26] 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.
- [27] Mahathaninwong, N., Plookphol, T., Wannasin, J., ve Wisutmethangoon, S. (2012). T6 heat treatment of rheocasting 7075 Al alloy. *Materials Science and Engineering: A*, 532(Supplement C), 91-99.
- [28] Kilic, S., Ozturk, F., Sigirtmac, T., ve Tekin, G. (2015). Effects of Pre-strain and Temperature on Bake Hardening of TWIP900CR Steel. *Journal of Iron and Steel Research, International*, 22(4), 361-365.
- [29] Cao, L., Rometsch, P. A., ve Couper, M. J. (2013). Effect of pre-ageing and natural ageing on the paint bake response of alloy AA6181A. *Materials Science and Engineering: A*, 571(Supplement C), 77-82.
- [30] Li, S.-S., Chen, J.-S., Chen, J., Xia, C., ve Zeng, D. (2015). Influence of Pre-strain on the Mechanical Properties of A6111-T4P Sheet with Bake Hardening. *Acta Metallurgica Sinica (English Letters)*, 28(6), 678-683.
- [31] Kaçar, R., ve Gülerüz, K. (2015). Effect of Quenching Rate and Pre-strain on the Strain Ageing Behaviors of 7075 Aluminum Alloys. *Materials Research*, 18, 328-333.
- [32] Rosalie, J. M., Somekawa, H., Singh, A., ve Mukai, T. (2013). Effect of precipitation on strength and ductility in a Mg-Zn-Y alloy. *Journal of Alloys and Compounds*, 550(Supplement C), 114-123.
- [33] Ungár, T. (2004). Microstructural parameters from X-ray diffraction peak broadening. *Scripta Materialia*, 51(8), 777-781.
- [34] Moumeni, H., Alleg, S., Djebbari, C., Bentayeb, F. Z., ve Grenèche, J. M. (2004). Synthesis and characterisation of nanostructured FeCo alloys. *Journal of Materials Science*, 39(16), 5441-5443.
- [35] Mehdaoui, S., Benslim, N., Aissaoui, O., Benabdeslem, M., Bechiri, L., Otmani, A., Portier, X., ve Nouet, G. (2009). Study of the properties of CuInSe2 materials prepared from nanoparticle powder. *Materials Characterization*, 60(5), 451-455.
- [36] Benslim, N., Mehdaoui, S., Aissaoui, O., Benabdeslem, M., Bouasla, A., Bechiri, L., Otmani, A., ve Portier, X. (2010). XRD and TEM characterizations of the mechanically alloyed CuIn0.5Ga0.5Se2 powders. *Journal of Alloys and Compounds*, 489(2), 437-440.
- [37] Dini, G., Najafzadeh, A., Monir-Vaghefi, S., ve Ueji, R. (2010). Grain size effect on the martensite formation in a high-manganese TWIP steel by the Rietveld method. *Journal of Materials Science & Technology*, 26(2), 181-186.
- [38] Karpikhin, A. E., Fedotov, A. Y., Komlev, V. S., Barinov, S. M., Sirotinkin, V. P., Gordeev, A. S., ve Shamrai, V. F. (2016). Structure of hydroxyapatite powders prepared through dicalcium phosphate dihydrate hydrolysis. *Inorganic Materials*, 52(2), 170-175.
- [39] Heiba, Z. K., Mohamed, M. B., ve Wahba, A. M. (2016). Effect of Mo substitution on structural and magnetic properties of Zinc ferrite nanoparticles. *Journal of Molecular Structure*, 1108, 347-351.
- [40] <http://maud.radiographema.eu/>. (January 2017).
- [41] <http://profex.doebelin.org/>. (January 2017).
- [42] <https://www.ill.eu/sites/fullprof/>. (January 2017).
- [43] Kilic, S., ve Ozturk, F. (2016, 26-28 October). *Evaluation of Mathematical Models Performances in XRD Analysis for Determination of Volumetric Ratios of Phases*. Paper presented at the 1st International Mediterranean Science and Engineering Congress (IMSEC), Adana, Turkey.
- [44] Bouras, M., Boumaiza, A., Ji, V., ve Rouag, N. (2012). XRD peak broadening characterization of deformed microstructures and heterogeneous behavior of carbon steel. *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, 61(Supplement C), 51-56.

- [45] Fu, P., Chu, R., Xu, Z., Ding, G., ve Jiang, C. (2018). Relation of hardness with FWHM and residual stress of GCr15 steel after shot peening. *Applied Surface Science*, 431(Supplement C), 165-169.
- [46] Scherrer, P. (1918). Estimation of the size and internal structure of colloidal particles by means of röntgen. *Nachr. Ges. Wiss. Göttingen*, 2, 96-100.
- [47] Prabhu, Y. T., Rao, K. V., Kumar, V. S. S., ve Kumari, B. S. (2014). X-ray analysis by Williamson-Hall and size-strain plot methods of ZnO nanoparticles with fuel variation. *World Journal of Nano Science and Engineering*, 4(01), 21.
- [48] Khorsand Zak, A., Abd. Majid, W. H., Abrishami, M. E., ve Yousefi, R. (2011). X-ray analysis of ZnO nanoparticles by Williamson-Hall and size-strain plot methods. *Solid State Sciences*, 13(1), 251-256.
- [49] Mote, V., Purushotham, Y., ve Dole, B. (2012). Williamson-Hall analysis in estimation of lattice strain in nanometer-sized ZnO particles. *Journal of Theoretical and Applied Physics*, 6(1), 6.
- [50] Zhao, Y., ve Zhang, J. (2008). Microstrain and grain-size analysis from diffraction peak width and graphical derivation of high-pressure thermomechanics. *Journal of applied Crystallography*, 41(6), 1095-1108.
- [51] Arabi Jeshvaghani, R., Emami, M., Shahverdi, H. R., ve Hadavi, S. M. M. (2011). Effects of time and temperature on the creep forming of 7075 aluminum alloy: Springback and mechanical properties. *Materials Science and Engineering: A*, 528(29-30), 8795-8799.