

**AA7075 ALAŞIMININ T6 ISIL İŞLEMİNDE  
YAŞLANDIRMA SÜRESİNİN AŞINMA DAVRANIŞI  
ÜZERİNE ETKİSİ**

*"UMAS 2017'de sunulmuş ve genişletilmiş bildiridir."*

İjlal Şimşek<sup>1</sup>, Musa Yıldırım<sup>2</sup>, Dursun Özyürek<sup>2</sup>, Tansel Tunçay<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Karabük Üniversitesi, TOBB Teknik Bilimler MYO, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, 78050, Karabük, Türkiye.

<sup>2</sup>Karabük Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, 78050, Karabük, Türkiye.  
ijlalispir@karabuk.edu.tr

**Özet-** Bu çalışmada, beş farklı sürede yaşlandırılan AA7075 alaşımında, yaşlandırma süresinin, çökelti mukavemetlenmesi üzerindeki mikro yapısal değişimler ve bu mikro yapısal değişimlerin alaşımın aşınma performansı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışma kapsamında, ticari olarak temin edilen AA7075 alaşımı 485 °C sıcaklıkta 2 saat solüsyona alındıktan sonra hızlı soğutulan ve 1 saat doğal yaşlandırılan alaşımlar 120 °C'de beş farklı sürede (15, 20, 25, 30 ve 35 saat) yapay yaşlandırılmıştır. Sertlik ölçümleri sertlik ölçüm cihazında 3 N yük uygulanarak Vickers olarak ölçülmüştür. Yaşlandırılan alaşımların mikro yapı incelemelerinde taramalı elektron mikroskobu kullanılmıştır. Aşınma testleri pin-on-disk tipi cihazında 1,5 ms<sup>-1</sup> kayma hızı, üç farklı yük (15, 30 ve 50 N) ve dört farklı (500, 1000, 1500 ve 2000 m) kayma mesafesi kullanılarak yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda, en yüksek sertlik değerinin 25 saat yaşlandırılan numunelerde elde edilirken, yaşlandırma süresi 30 ve 35 saate arttırıldığında, sertlikte belirgin bir azalmanın meydana geldiği gözlenmiştir. Ağırlık kaybı sonuçlarında, en düşük ağırlık kaybı 25 saat yaşlandırılan numunelerde elde edilirken, en yüksek ağırlık kaybı 15 saat yaşlandırılan numunelerde elde edilmiştir. Aşınma yüzeyi incelemelerinde, hem abrasif hem de adhesif aşınma mekanizmalarının oluştuğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler-** AA7075 alaşımı, yaşlandırma, aşınma davranışı.

**THE EFFECT OF AGEING TIME ON WEAR BEHAVIOURS  
OF AA7075 ALLOY IN T6 HEAT TREATMENT**

**Abstract-** In this study, the effect of ageing time on the micro structural changing of precipitate hardening and effect of these changing on wear performance was investigated. In the study, AA7075 alloy was artificially aged at 120 °C for five different times (15, 20, 25, 30 and 35 hours) after solution treated at 485 °C for 2 hours and quenched. Hardness measurements were carried out as Vickers under 3 N loads. Microstructural examinations were done by scanning electron microscope. Wear tests were performed by pin-on-disc type wear device with 1.5 ms<sup>-1</sup> sliding speed and four different sliding distance (500, 1000, 1500 and 2000 m) under three different load (15, 30 and 50 N). As

a result of the study, the highest hardness values were measured aged for 25 hours. The hardness values were decreased by increasing ageing times. The lowest weight loss were obtained from aged 25 hours samples and the highest weight loss were measured aged for 15 hours. It was determined from worn surfaces that, both abrasive and adhesive wear mechanism were occurred.

**Key Words-** AA7075 alloy, ageing, wear behaviour.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Havacılık sektöründe kullanımları her geçen gün artmakta olan 7XXX serisi alüminyum alaşımları yüksek dayanımları nedeniyle cazip malzemeler olma özelliğini muhafaza etmektedir. Son yıllarda bu alaşımların dayanım ve diğer özelliklerini (örneğin korozyon) daha da geliştirmek için farklı prosesler kullanılarak yapılan çalışmalarda büyük artışlar olduğu görülmektedir [1-3]. Al-Zn-Mg-Cu alaşımlarında dayanımı geliştirmek için en fazla tercih edilen yöntem yaşlanma ısıl işlemidir. Farklı ısıl işlem prosesleri ile 7xxx serisi alaşımların dayanımı önemli oranda arttırılabilmektedir [4-8]. 7xxx serisi alüminyum alaşımları T6 şartlarında yüksek dayanım sağlarken, gerilim korozyonuna karşı oldukça duyarlı hale gelmektedir. Bu nedenle hem mekanik özellikleri hem de korozyon hassasiyetini optimum şartlarda dengelemek amacıyla T6 ısıl işlemi sonrasında 7xxx serisi alaşımlara retrograsyon ve yeniden yaşlandırma işlemleri uygulanmaktadır [9,10]. Çeşitli yaşlandırma aşamalarından geçirilerek en yüksek dayanım (T6 temper) veya gerilme korozyon direnci (T73 temper) gibi özellikler kazandırılmak amaçlanır. Her iki yöntemde de çözültüye alma işlemi yapılmalıdır. Bu işlemin amacı yapı içerisindeki alaşım elementlerinin tamamıyla tek fazlı bir bölgede çözünerek katı çözültü oluşturmaları ve sonra çökeltmeyle sertleşme sağlamaktır. Sonra hızlı bir şekilde yeteri kadar su verilerek soğutulur ve oda sıcaklığında aşırı doymuş bir katı çözültü elde edilir. Bu uygulama çökeltme sertleştirilmesi için değişmez aşamalardan biridir. Daha sonra çökelti oluşumunu sağlamak için belirli sıcaklıklarda ve sürelerde yaşlandırma ısıl işlemleri (doğal ya da yapay) uygulanır. Böylece yapıda oluşturulan ikinci faz çökeltiler sayesinde mukavemet değerleri arttırılmaktadır. Bu çalışmada, beş farklı sürede yaşlandırılan AA7075 alaşımında, yaşlandırma süresinin çökelti mukavemetlenmesi üzerinde sağladığı mikro yapısal değişimler ve bu mikro yapısal değişimlerin alaşımın aşınma performansı üzerindeki etkisinin incelenmesi hedeflenmiştir.

## 2. YÖNTEM (METHOD)

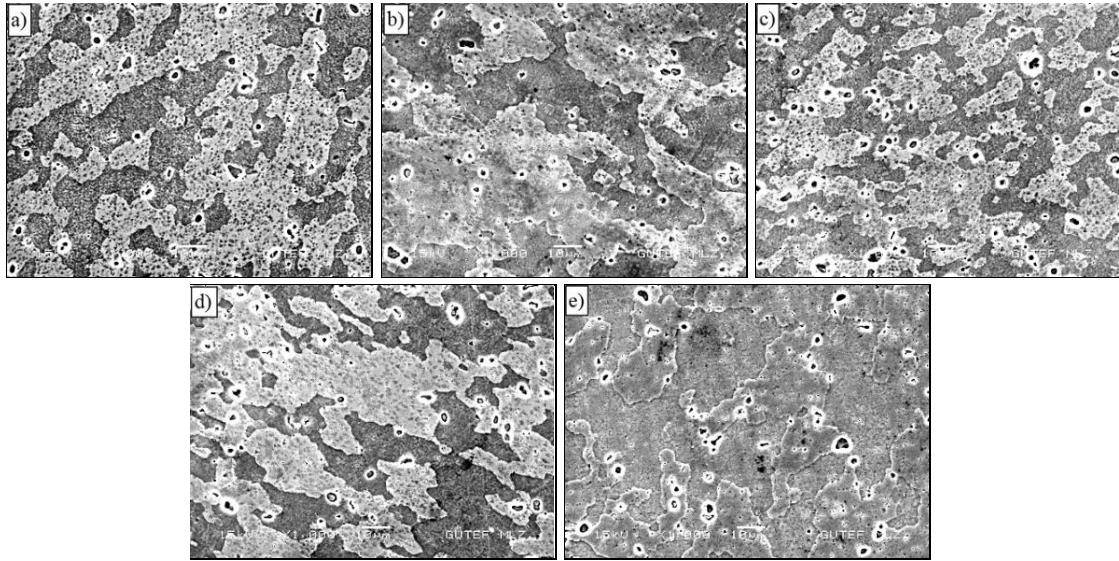
Bu çalışmada, beş farklı sürede yaşlandırılan AA7075 alaşımlarının aşınma performansları incelenmiştir. Deneysel çalışmalarda Alkor Döküm Alaşımları ve Makine San. Tic. Ltd. Şti. firmasından temin edilen alaşımın kimyasal bileşimi, Tablo 1’de verilmiştir. Aşınma testleri için Ø10x7 mm ölçülerinde hazırlanan numunelere T6 (yapay yaşlandırma) ısıl işlemi uygulanmıştır. 485 °C sıcaklıkta 2 saat solüsyona alındıktan sonra hızlı soğutulan ve 1 saat de doğal yaşlandırılan alaşımlar 120 °C’de beş farklı sürede (15, 20, 25, 30 ve 35 saat) yapay yaşlandırılmıştır. Yaşlandırılan alaşımlar sertlik ölçümleri ve mikro yapı incelemeleri yapılarak karakterize edilmiştir. Sertlik değerleri, AFFRI SYSTEM sertlik ölçüm cihazında elde edilen beş ölçümün ortalaması alınarak belirlenmiştir. Standart metalografik işlemler ile hazırlanan numuneler 2 ml HF, 3 ml HCl, 20 ml HNO<sub>3</sub>, 175 ml H<sub>2</sub>O (Keller’s) solüsyonunda 10 sn dağlanmıştır. Alaşımların mikro yapıları ve aşınma testleri sonrasında elde edilen aşınma yüzeyi görüntüleri, “JEOL JSM-6060” tarama elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmiştir. Aşınma testlerinde standart pin-on-disk tipi deney ünitesi kullanılmıştır. Testler, ASTM: G99-05 standardına göre yapılmıştır. Aşınma testlerinde parametre olarak üç farklı yük (15, 30 ve 50 N), dört farklı kayma mesafesi (500, 1000, 1500 ve 2000 metre) ve 1,5 ms<sup>-1</sup> kayma hızı kullanılmıştır. Aşınma deneylerine başlamadan önce her numune ve disk yüzeyi aseton ile temizlenmiştir. Aşınma testlerinden sonra disk yeniden taşlanarak, yeni test için hazır hale getirilmiştir.

Tablo1. Deneysel çalışmalarda kullanılan AA7075 alaşımının kimyasal bileşimi (Chemical composition of AA7075 alloy used in the experiments (wt.%))

Element	Zn	Mg	Cu	Fe	Cr	Si	Mn	Ti	Al
% Oranı	5,16	2,19	1,30	0,28	0,19	0,17	0,15	0,009	Kalan

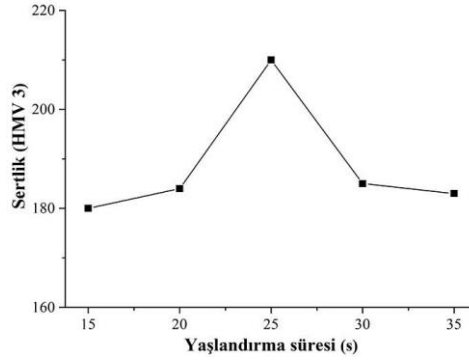
### 3. BULGULAR (FINDINGS)

Şekil 1’de 120 °C sıcaklıkta beş farklı sürede yaşlandırılan AA7075 alaşımlarının mikro yapı taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri verilmektedir.



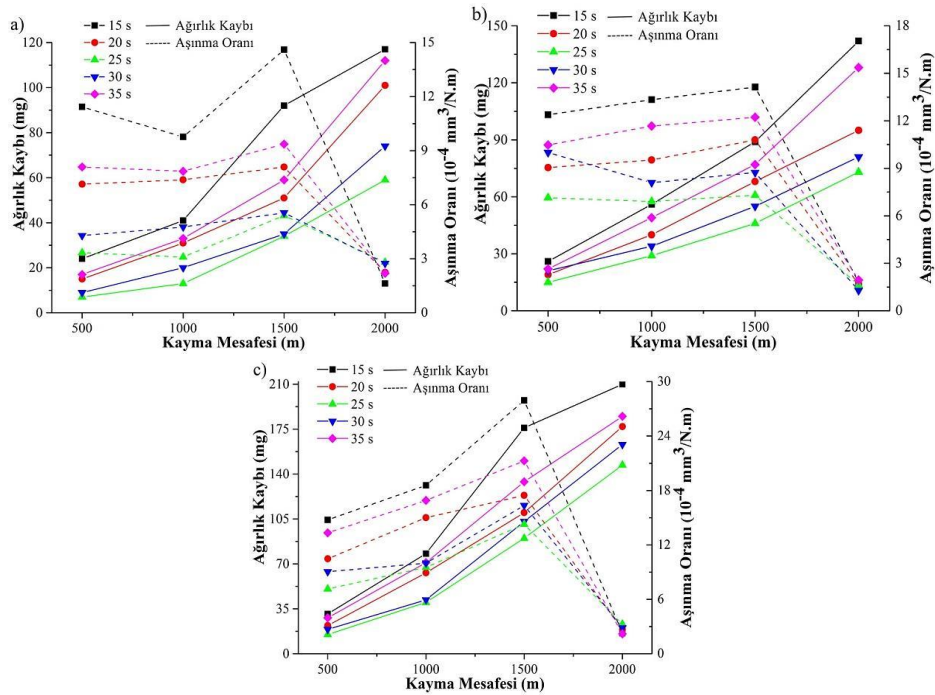
Şekil 1. 120 °C sıcaklıkta farklı sürelerde yaşlandırılan AA7075 alaşımının mikro yapı SEM görüntüleri; 15 saat (a), 20 saat (b), 25 saat (c), 30 saat (d) ve 35 saat (e) (SEM images of the AA7075 alloy aged at different time periods at 120 °C: 15 h (a), 20 h (b), 25 h (c), 30 h (d) and 35 h (e))

Şekil 1’de SEM görüntüleri incelendiğinde, AA7075 alaşımının bilinen mikro yapısal özelliklerine karşılık, yaşlandırma ısıl işlemi ile yapıda oluşması beklenen  $\eta$  fazı ( $MgZn_2$ ) çökeltileri net olarak görülmemektedir. Bu çökeltilerin görülememesinin nedeni, nano boyutlarda olmasından kaynaklanmaktadır. Yaşlandırma ısıl işlemi ile yapıda oluşturulan ikinci faz çökeltilerin görüntülenebilmesi için geçirgen elektron mikroskobu (TEM) ile mikro yapı incelemelerinin yapılması gerektiği düşünülmektedir. Bu alaşımın yaşlandırılması üzerine daha önce yapılan bir çalışmada, yaşlandırma ısıl işlemi sonucunda  $MgZn_2$  fazının yapıda oluştuğu belirtilmektedir [11]. Şekil 2’de 120 °C sıcaklıkta ve farklı sürelerde yaşlandırılan AA7075 alaşımının sertlik değişimleri verilmektedir.



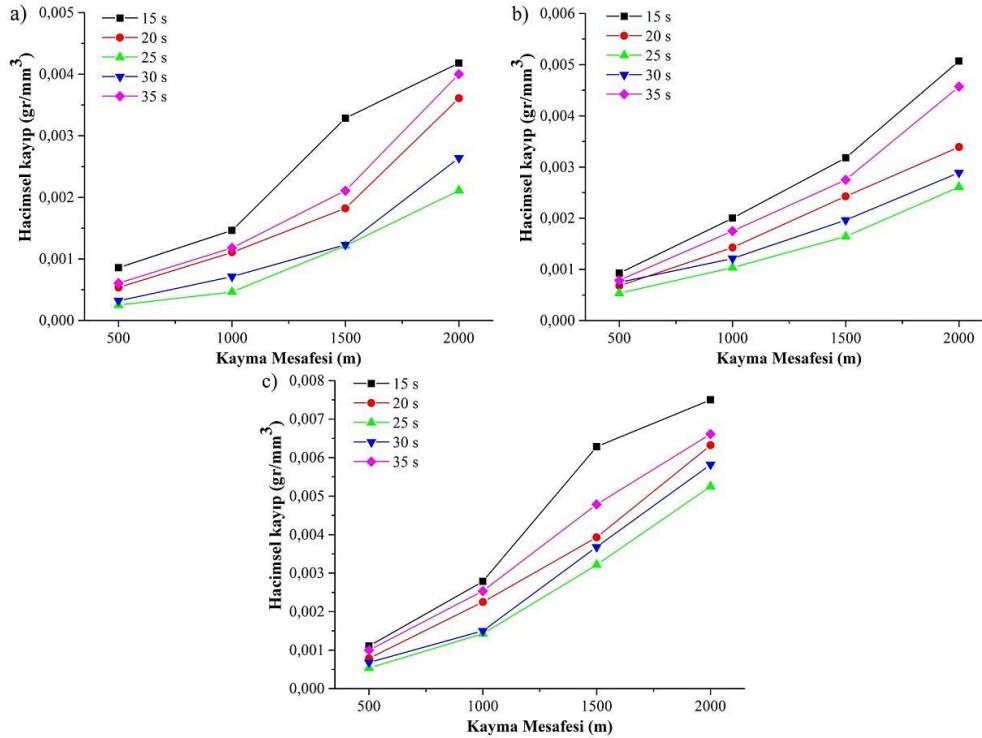
**Şekil 2.** Farklı sürelerde yaşlandırılan AA7075 alaşımının sertlik değişimleri (Hardness variation of the AA7075 alloy aged at different time periods)

Şekil 2’de verilen sertlik sonuçlarında sırasıyla 15 saat yaşlandırılan numunelerde 180 HV, 20 saat yaşlandırılan numunelerde 184 HV, 25 saat yaşlandırılan numunelerde 210 HV, 30 saat yaşlandırılan numunelerde 185 HV ve 35 saat yaşlandırılan numunelerde 183 HV sertlik elde edilmiştir. En yüksek sertlik değerinin 25 saat yaşlandırılan numunelerde elde edildiği verilen grafikten net olarak görülebilmektedir. Alaşımların sertliğindeki bu artışın nedeni, Orowan mekanizması ile açıklanabilir. Küçük boyutlu çökeltilerin hacim oran arttıkça, yaşlandırılan alaşımın dayanımı artmakta ve daha yüksek sertlik değerleri elde edilmektedir. Ayrıca bu durum, yapıda yaşlandırma ile oluşturulan çökeltilerin homojen dağılımının dislokasyon hareketini zorlaştırmasıyla da açıklanabilir. Bu çalışmada elde edilen sertlik sonuçları incelendiğinde, yaşlandırma süresi 30 ve 35 saate arttırıldığında, sertlikte belirgin bir azalmanın meydana geldiği de görülmektedir. Sertlik değerlerindeki bu azalma, yapı içerisinde oluşturulan çökelti boyutlarının artmasından (aşırı yaşlanma) kaynaklanmaktadır. Daha önce yapılan bazı çalışmalarda, bu çalışmada elde edilen sonuçları desteklemektedir [12]. Şekil 3’de 120 °C sıcaklıkta ve farklı sürelerde yaşlandırılan AA7075 alaşımının ağırlık kaybı ve aşınma oranı sonuçları verilmektedir.



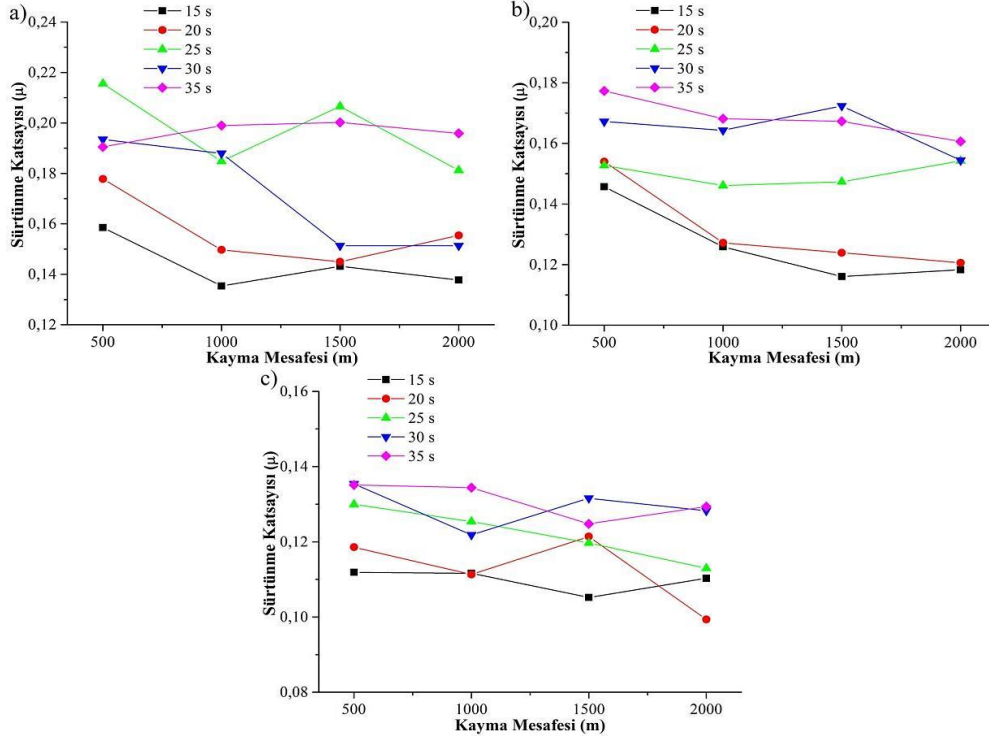
**Şekil 3.** Farklı sürelerde yaşlandırılan AA7075 alaşımının farklı yüklerdeki aşınma ağırlık kaybı ve aşınma oranları; 15 N (a), 30 N (b) ve 50 N (c) (Weight losses and wear rates of AA7075 alloy aged at different time periods under different loads: 15 N (a), 30 N (b) ve 50 N (c)).

Şekil 3’de verilen ağırlık kaybı sonuçlarına göre yaşlandırma süresinin alaşımın aşınma dayanımına etkisi görülmektedir. Elde edilen ağırlık kaybı sonuçları, Şekil 2’de verilen sertlik sonuçları ile desteklenmektedir. En düşük ağırlık kaybı 25 saat yaşlandırılan numunelerde (en yüksek sertlik değerine sahip olan numuneler) elde edilirken, en yüksek ağırlık kaybı 15 saat yaşlandırılan numunelerde (en düşük sertlik değerine sahip olan numuneler) elde edilmiştir. Yine Şekil 3’de yaşlandırma süresinin bir fonksiyonu olarak, AA7075 alaşımının aşınma oranlarında meydana gelen değişim verilmektedir. Verilen grafiklerden de anlaşıldığı gibi, başlangıçta kayma mesafesindeki artışa bağlı olarak aşınma oranı azalma eğilimi sergilerken, özellikle 1000-1500 m mesafe aralığında belirgin bir artış göstermektedir. Bu durumu iki şekilde analiz etmek mümkündür. Birincisi, kayma işlemi sırasında disk/numune yüzeyinden kopan mikro talaşların tribolojik sistemden ayrılmasına bağlanmaktadır. Bu nedenle, aşınma oranında artışlar meydana gelmektedir. İkincisi ise, kayma mesafesi arttıkça disk/numune temas yüzeylerinde meydana gelen sıcaklık artışı ile numune yüzeyinde kararlı oksit tabakasının oluşmasıdır. Oluşan oksit tabakası, altındaki metal yüzeyi koruyarak metal-metal temasını engeller ve bu nedenle de bir katı yağlayıcı görevi üstlenir [13]. Şekil 4’de 120 °C sıcaklıkta ve farklı sürelerde yaşlandırılan AA7075 alaşımının hacimsel kayıp sonuçları verilmektedir.



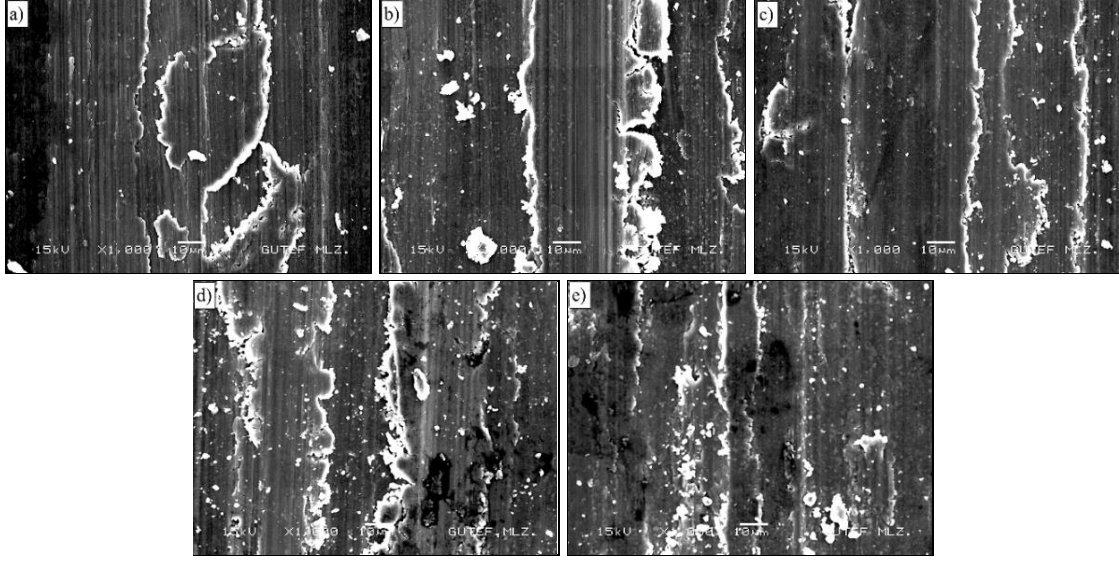
Şekil 4. Farklı sürelerde yaşlandırılan AA7075 alaşımının farklı yüklerdeki hacimsel kayıpları; 15 N (a), 30 N (b) ve 50 N (c) (Volumetric losses of AA7075 alloy aged at different time periods under different loads: 15 N (a), 30 N (b) ve 50 N (c))

Hacimsel kayıp grafiğinden de görüldüğü gibi, ağırlık kaybı sonuçları ile numunelerde kaydedilen hacimsel kayıp miktarı, birbirleri ile birebir örtüşmektedir. Bu sonuçlar aynı zamanda genel aşınma testi sonuçlarının güvenilirliğini de teyit eder niteliktedir. Şekil 5’de 120 °C sıcaklıkta ve farklı sürelerde yaşlandırılan AA7075 alaşımının sürtünme katsayıları verilmektedir.



**Şekil 5.** Farklı sürelerde yaşlandırılan AA7075 alaşımının farklı yüklerdeki sürtünme katsayıları; 15 N (a), 30 N (b) ve 50 N (c) (Friction coefficient of AA7075 alloy aged at different time periods under different loads: 15 N (a), 30 N (b) ve 50 N (c))

Grafiklerden de anlaşılacağı gibi, farklı yükler altında test edilen numunelerin sürtünme katsayılarında (başlangıç ve bitiş arasında) dalgalanmalar meydana gelmektedir. Bununla beraber, kayma mesafesi arttıkça, sürtünme katsayısında çok az miktarda da olsa azalmalar meydana gelmektedir. Bu durumun aşınma testleri sırasında, numune ve çelik disk temas yüzeyinde meydana gelen sıcaklık etkisi ile olduğu söylenebilir. Kayma mesafesindeki artışla beraber, sürtünme sırasında numune yüzeyinde bir oksit film tabakası oluşumuna neden olmaktadır. Kuru kayma şartlarında AA7075 alaşımının aşınma davranışı ve sürtünme katsayısındaki değişimi belirleyen en önemli faktör, temas yüzeyinde meydana gelen oksit tabakasıdır. Oluşan oksit tabakası, altındaki metal yüzeyi koruyarak metal-metal temasını engeller ve bu nedenle de bir katı yağlayıcı görevi üstlenir. Numune ve çelik karşılık disk arasındaki adhezyon, oksit tabakası ile çelik disk arasındakinden daha yüksektir. Bu nedenle de sürtünme katsayısında kısmi de olsa azalma olmaktadır. Şekil 6'da 120 °C sıcaklıkta ve farklı sürelerde yaşlandırılan AA7075 alaşımının aşınma yüzeyi SEM görüntüleri verilmektedir.



**Şekil 6.** Farklı sürelerde yaşlandırılan AA7075 alaşımının aşınma yüzeyi SEM görüntüleri; 15 saat (a), 20 saat (b), 25 saat (c), 30 saat (d) ve 35 saat (e) (SEM images of the worn surface of AA7075 alloy aged at different time periods: 15 h (a), 20 h (b), 25 h (c), 30 h (d) and 35 h (e))

Şekil 6’da verilen aşınma yüzeyi görüntülerinden de anlaşılacağı gibi, kayma mesafesindeki artışa bağlı olarak numune yüzeylerinde aşırı plastik deformasyon oluşmaktadır. Aşınma yüzeylerinde meydana gelen sürekli çizikler ve yorulmadan kaynaklanan mikro çatlaklar, hem abrasif hem de adhesif aşınma mekanizmalarını işaret etmektedir. Bu aşınma mekanizmalarının birlikte görülmesi, testler sırasında numune yüzeyinde meydana gelen yüksek mikro kesme gerilimlerinden kaynaklanmaktadır [14].

#### 4. SONUÇ VE TARTIŞMA (CONCLUSION AND DISCUSSION)

Bu çalışmada, havacılık sektöründe yaygın olarak kullanılan AA7075 alaşımı 120 °C sıcaklıkta ve farklı sürelerde yaşlandırılarak, yaşlandırma süresinin aşınma performansına etkileri incelenmiştir. Yapılan çalışmalardan sonra elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Mikro yapı incelemelerinde, AA7075 alaşımının bilinen mikro yapısal özelliklerine karşılık, yaşlandırma ısı işlemi ile yapıda oluşması beklenen η fazı (MgZn<sub>2</sub>) çökeltileri net olarak belirlenmemiştir.
- Farklı sürelerde yaşlandırılan AA7075 alaşımlarında en yüksek sertlik değerinin 25 saat yaşlandırılan numunelerde elde edilirken, yaşlandırma süresi 30 ve 35 saate arttırıldığında, sertlikte belirgin bir azalmanın meydana geldiği gözlenmiştir.
- Ağırlık kaybı sonuçlarında, en düşük ağırlık kaybı 25 saat yaşlandırılan numunelerde (en yüksek sertlik değerine sahip olan numuneler) elde edilirken, en yüksek ağırlık kaybı 15 saat yaşlandırılan numunelerde (en düşük sertlik değerine sahip olan numuneler) elde edilmiştir.
- AA7075 alaşımının aşınma yüzeyi SEM görüntülerinde, kayma mesafesindeki artışa bağlı olarak numune yüzeylerinde aşırı plastik deformasyon olduğu gözlenmiştir. Aşınma yüzeylerinde meydana gelen sürekli çizikler ve yorulmadan kaynaklanan mikro çatlaklar, hem abrasif hem de adhesif aşınma mekanizmalarının oluştuğunu göstermektedir.

## 5. KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1]. Wang, Z. X., Zhang, Y. A., Zhu, B. H., Liu, H. W., Wang, F., and Xiong, B. G., (2006). Tensile and high-cycle fatigue properties of spray formed Al10.8Zn2.9Mg1.9Cu alloys after two-stage aging treatment, *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*, 16, 808-812.
- [2]. Aydın, H., Bayram, A., Yıldırım, M. T., and Yigit, K., (2010). Influence of welding parameters on the fatigue behaviours of friction stir welds of 3003-O aluminium alloys, *Materials Science (Medziagotyra)*, 16(4), 311-319.
- [3]. Oskouei, R. H., and Ibrahim, R. N., (2011). The effect of typical flight temperatures on the fatigue behaviour of Al 7075-T6 clamped plates, *Mater. Sci. and Eng. A*, 528, 1527-1533.
- [4]. Cavaliere, P., Panella, F., (2008). Effect of tool position on the fatigue properties of dissimilar 2024-7075 sheets joined by friction stir welding, *J. Mater. Proces. Techn.*, 206, 249-255.
- [5]. Li, J.F., Peng, Z.W., Li, C.X., Jia, Z.G., Chen, W.J., Zheng, Z.Q., (2008). Mechanical properties, corrosion behaviors and microstructures of 7075 aluminium alloy with various aging treatments, *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*, 18, 755-762.
- [6]. De, P. S., Mishra, R. S., and Smith C. B., (2009). Effect of microstructure on fatigue life and fracture morphology in an aluminum alloy, *Scripta Materialia*, 60, 500-503.
- [7]. Xue, Y., El-Kadiri, H., Horstemeyer, M. F., Jordon, J. B., and Weiland, H., (2007). Micromechanisms of multistage fatigue crack growth in a high-strength aluminum alloy, *Acta Materialia*, 55, 1975-1984.
- [8]. Al-Rubaie, K. S., Barroso, E. K. L., and Godefroid, L. B., (2008). Statistical modelling of fatigue crack growth rate in pre-strained 7475-T7351 aluminum alloy, *Mater. Sci. and Eng. A*, 486, 585-595.
- [9] Winkler, S. L., Flower, H. M., (2004). Stress corrosion cracking of cast 7XXX aluminium fibre reinforced composites, *Corrosion Science*, 46, 903-915.
- [10] Baydoğan, M., Cimenoglu, H., Kayalı, E. S., (2004). A study on sliding wear of A 7075 aluminum alloy, *Wear*, 257, 852-861.
- [11]. Kalyon, A., Özyürek, D., (2017). Investigation of the effect of different heat treatments on wear behavior of AA7075 alloy, *Acta Physica Polonia A*, 131(1), 150-152.
- [12]. Yıldırım, M., Özyürek, D., Gürü, M., (2016). The effects of precipitate size on the hardness and wear behaviors of aged 7075 aluminum alloys produced by powder metallurgy route, *Arabian Jour. Sci. Eng.*, 41(11), 4273-4281.
- [13]. Sağlam, I., Özyürek, D. and Çetinkaya, K., (2011). Effect of ageing treatment on wear properties and electrical conductivity of Cu-Cr-Zr alloy, *Bullet. Mater. Sci.*, 34(7), 1465-1470.
- [14]. Özyürek, D., Çiftci, İ., Tuncay, T., (2013). The effect of aging and sliding speed on wear behaviour of Cu-Cr-Zr alloy, *Materials Testing*, 55(6), 468-471.