

## FARKLI ISIL İŞLEM KOŞULLARINDAKİ 2024 ALUMİNYUM ALAŞIMLARININ KOROZYON SONRASI MEKANİK ÖZELLİKLERİNDEKİ KAYBIN BELİRLENMESİ

Hakan AYDIN\*

Ali BAYRAM\*

**Özet:** Bu çalışmada, 510 °C sıcaklığında 2,5 saat bekleme süresinde katı eriyiğe alınan 2024 Al alaşımlarına W, T4, T6 (100°C-10h), T6 (190°C-10h) ve O ısıl işlem koşulları uygulanmıştır. Üretilen alaşım gruplarının iç yapılarını belirlemek üzere ışık mikroskobu ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır. Çekme deneyi için hazırlanan numuneler atmosfere açık koşullarda ve oda sıcaklığında %3,5'lük NaCl çözeltisi içerisinde statik daldırma korozyon deneylerine tabi tutulmuşlardır. Korozyon süresi olarak 2 ay alınmıştır. Numunelere korozyon öncesi ve sonrası çekme deneyleri uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak korozyon sonrası mukavemette ve uzama oranında meydana gelen kayıplar tespit edilmiştir. En düşük kayıp T4 koşulundaki numunelerde meydana gelirken, en yüksek kayıbın ise W koşulundaki numunelerde olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** 2024 Alüminyum alaşımı, yaşlandırma, korozyon, çekme özellikleri.

### Determination of Loss in Mechanical Properties of 2024 Aluminum Alloys in Different Heat-Treated-State after Corrosion

**Abstract:** In this study, the solution treatment of all 2024 Al-alloys was conducted at 510°C for 2,5 hour. Then, the solution heat-treated 2024 Al-alloys were subjected to the various heat treatments which are W, T4, T6 (100°C-10h), T6 (190°C-10h) and O temper conditions. The microstructure of the alloys *were examined by optical and scanning electron microscopy (SEM)*. Static immersion corrosion tests for the tensile samples were carried out in a 3.5 wt. % NaCl solution for 2 months, open to air, at room temperature. The tensile tests of the specimens were carried out before and after corrosion. The results obtained were compared and the losses occurring in the strength and elongation after corrosion were determined. The minimum loss was observed in T4 heat treatment while the maximum loss was occurred in W heat treatment.

**Key Words:** 2024 Aluminum alloy, ageing, corrosion, tensile properties.

## 1. GİRİŞ

Alüminyum alaşımları, düşük yoğunluk ve yüksek mekanik özelliklerinden dolayı otomotiv, havacılık ve savunma sanayi gibi birçok önemli üretim alanında kullanımları hızla artmaktadır (Mad-dox, 2003). Duralümin olarak da bilinen 2024 Al-alaşımı, alüminyum alaşımları arasında en sert, elastisite modülü ve mukavemet değerleri en yüksek olanlarından biridir. Spesifik mukavemet (akma gerilmesi/yoğunluk) ve spesifik elastisite modülünün (elastisite modülü/yoğunluk) önemli olduğu yerlerde, otomotiv sanayinde, vagon yapımında, mühimmat sanayinde, uçak gövde ve kanatlarında, ortopedik taban, perçin ve çekici tekerlekleri yapımında yaygın olarak kullanılmaktadır (Meriç, 1989, Sanders ve diğ., 1983, <http://www.aluminium.matter.org.uk>, 2006). 2024 Al-alaşımına ısıl işlem uygulanarak mekanik özellikleri önemli ölçüde artırılabilir (çökeltme sertleşmesi) (Demirci, 2003, Demirci, 2004). 2024 Al-alaşımının çeşitli ısıl işlemler sonucundaki mekanik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Bu alaşımın iyi olan fiziksel ve mekanik özelliklerine karşılık korozyona karşı olan dayanımı zayıf kalmaktadır (Güleç ve Aran, 1987, Demirci, 2003, Demirci, 2004, Aydın, 2002). Isıl işlem koşullarına bağlı olarak alaşımın genel özellikleri de Şekil 1'de vermiştir.

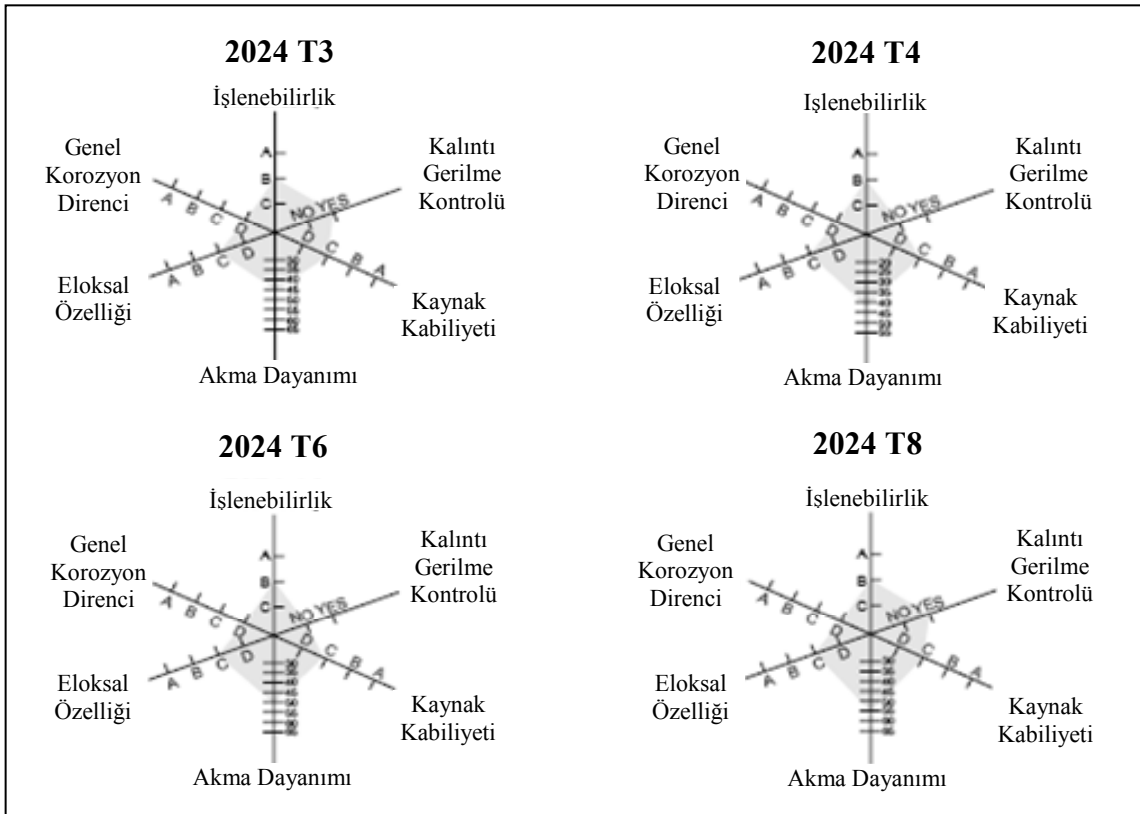
\* Uludağ Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 16059, Görükle, BURSA.

Hava aracı parçalarına büyük hasarlar veren korozyon, havacılık alanında çok önemli bir olgudur. Hava araçlarında görülen malzeme hasarlarının büyük bir kısmı korozyonla ilgilidir. Günümüzde kullanılan hava araçlarının gövde yapılarının büyük bir kısmı alüminyum alaşımları kullanılarak imal edilmektedir (Rooy, 1995).

**Tablo I. 2024 Al-alaşımının çeşitli ısıl işlem koşullarındaki mekanik özellikleri.**

(<http://www.aluminium.matter.org.uk>, 2006)

Isıl İşlem Koşulu	$R_{p0.2}$ (Akma Dayanımı) [N/mm <sup>2</sup> ]	$R_m$ (Çekme Dayanımı) [N/mm <sup>2</sup> ]	A (Kopma Uzaması) [%]	Sertlik HB	Sertlik HV
O	75	185	20	55	60
T3	340	475	18	120	125
T4	330	460	20	120	125
T6	345	427	5	125	130
T8	450	485	6	130	140



*Şekil 1:*

*Farklı ısıl işlem koşullarındaki 2024 Al-alaşımının özelliklerine genel bakış.*  
([http://www.alcoa.com/gcfc/catalog/pdf/alcoa\\_alloy\\_2024.pdf](http://www.alcoa.com/gcfc/catalog/pdf/alcoa_alloy_2024.pdf), 2007)

Alüminyumun saflık derecesi azaldıkça korozyon mukavemeti düşer. Yabancı elemanlar, korozyon mukavemetini azaltmaktadır (Chong ve diğ. 2003, Anonim, ODTÜ kaynak merkezi). Karışık kristal ne kadar safsa korozyon direnci o kadar iyidir. İntermetalik fazlar, korozyon direncini azaltmaktadır. Bu fazlar karışık kristalden daha düşük bir potansiyel farkına sahipse ve fazlar birbirlerine bağlı değilse çözünürler, yani, korozyon meydana gelir. Eğer bu fazların potansiyel farkı ana yapıdan daha yüksek ise, karışık kristal yani ana yapı çözünür. Bu çözünüm, birbirine bağlı çökeltiler mevcut değilse bile devam eder (Craig ve Anderson, 1995, Guillaumin ve Mankowski, 1999).

Bu çalışmada, 2024 Al-alaşımı, otomotiv, havacılık ve savunma sanayinde kullanımının çok geniş olması ve çökeltme sertleşmesi uygulanarak mekanik özelliklerinin önemli ölçüde iyileştirilebi-

len sınırlı sayıda alışımlardan biri olmasından dolayı deney malzemesi olarak seçilmiştir. Deneylerde kullanılan 2024 Al-alışımlarının farklı standartlardaki karşılığı ve kimyasal kompozisyonu sırasıyla Tablo II (Aydın, 2008) ve Tablo III'de verilmiştir. Ancak, alışımların genel olarak korozyona karşı dayanımının zayıf olduğu bilinmektedir. Bu nedenle, bu alışımların çökelme sertleşmesiyle arttırılan mekanik özelliklerinin korozyon sonrasında nasıl değiştiğinin tespitini yapmak üzere alışımlar çeşitli ısı işlemlere tabi tutulmuştur. Alışıma uygulanan ısı işlemler şu şekilde sıralanabilir; W, T4, T6 (100°C-10h), T6 (190°C-10h) ve O koşulu. Oluşturulan bu numune gruplarına korozyon öncesi ve sonrası çekme deneyleri uygulanmıştır. Korozyon sonrası çekme deneylerinden elde edilen sonuçları değerlendirebilmek ve aralarında ilişki kurabilmek için korozyon öncesi çeşitli ısı işlem uygulanan numunelerin iç yapıları (ışık mikroskobu ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak) ve mikrosertlik değerleri de incelenmiştir. Korozyon öncesi ve sonrası çekme değerleri karşılaştırılarak, korozyon sonrası meydana gelen kayıplar belirlenmiştir.

**Tablo II. 2024 Al-alışımlarının farklı standartlardaki karşılıkları.**

Malzeme	Türkiye	Etibank	ABD	Almanya	Fransa	İtalya	ISO	İngiltere
2024	TSE	ETINORM	SAE/AISI	DIN	AFNOR			BS
	AlCuMg2	ETIAL24	AA2024	AlMgCu2	A-U4G1	P-AlCu4.5MgMn	AlCu4Mg1	L97

**Tablo III. Deneylerde kullanılan 2024 Al-alışımlarının kimyasal kompozisyonu (%Ağ.).**

Malzeme	Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Cr
2024	0,40	0,41	4,50	0,50	1,50	0,20	0,12	0,07

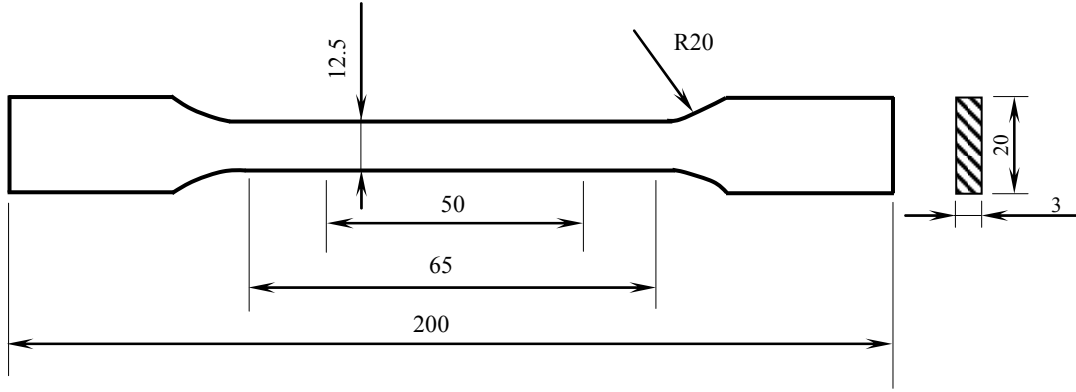
## 2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2024 Al-alışımları öncelikle 510 °C sıcaklığında, 2,5 saat bekleme süresinde katı eriyiğe alınmıştır. Katı eriyiğe alınan numuneler fırından hızlı bir şekilde alınıp yaklaşık 0 °C sıcaklığındaki buzlu suya atılmıştır. Böylece, oda sıcaklığında W-koşulu aşırı doymuş katı eriyik eldesi sağlanmıştır. T4 koşulu, aşırı doymuş katı eriyiğin oda sıcaklığında birkaç yıl süreyle bekletilmesi sonucunda elde edilmiştir (doğal yaşlanma). T6 koşullarına ise, aşırı doymuş katı eriyiğin 100 °C ve 190 °C sıcaklıklarında 10'ar saat süreyle bekletilmesi sonucunda ulaşılmıştır (yapay yaşlandırma). Son olarak O koşulu, 510 °C sıcaklığında, 2,5 saat sonunda katı eriyiğe alınan alışımların oda sıcaklığına havada soğutulması ile elde edilmiştir.

Isıl işlemler sonucunda numunelerin mekanik özelliklerinde meydana gelen değişimleri belirlemek için numuneler üzerinde mikrosertlik ölçümleri de yapılmıştır. Ölçümler, Reichert Stiefelmaier marka Vickers mikro-sertlik ölçüm cihazında 10-15 s süreyle 50 g'lık yükleme altında yapılmıştır. Numuneleri sertlik değerleri, 5 sertlik ölçüm sonucunun ortalaması alınarak belirlenmiştir.

Çekme deneyi sonuçlarının karşılaştırılabilir olması için deneylerde kullanılan numunelerin belli ölçü ve özelliklerde olması gerekir. Bu yüzden çekme deneylerinde kullanılan tüm numuneler TS 138 EN 10002-1'e uygun olarak hazırlanmıştır (Şekil 2) (Türk Standardı, 2004). Çekme deneyi için hazırlanan ölçülerdeki numuneler, atmosfere açık koşullarda ve oda sıcaklığında ağırlıkça %3,5'lük NaCl çözeltisi içerisine daldırılmışlardır. Çözeltiye periyodik olarak mekanik karıştırma işlemi de uygulanmıştır. Tüm numuneler için korozyon süresi 2 ay olarak alınmıştır. Korozyon öncesi ve sonrasındaki çekme deneyleri, Zwick-Z050 marka universal çekme test cihazında oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Her koşuldaki numune için 4 adet çekme örneği test edilmiş olup deney sonuçları olarak ortalamalar alınmıştır. Deneylerin tamamında çene hızı 10 mm/dak olarak belirlenmiştir.

Çeşitli ısı işlemlere tabi tutulan 2024 Al-alışımları, iç yapılarının belirlenmesi içinse metalografik numune hazırlama işlemlerine tabi tutulmuşlardır. Hazırlanan numunelerin dağlama işlemi için 10 s süreyle Keller reaktifi (190 ml saf su, 5 ml nitrik asit(HNO<sub>3</sub>), 3 ml hidroklorik asit(HCl) ve 2 ml hidroflik asit(HF)) kullanılmıştır.



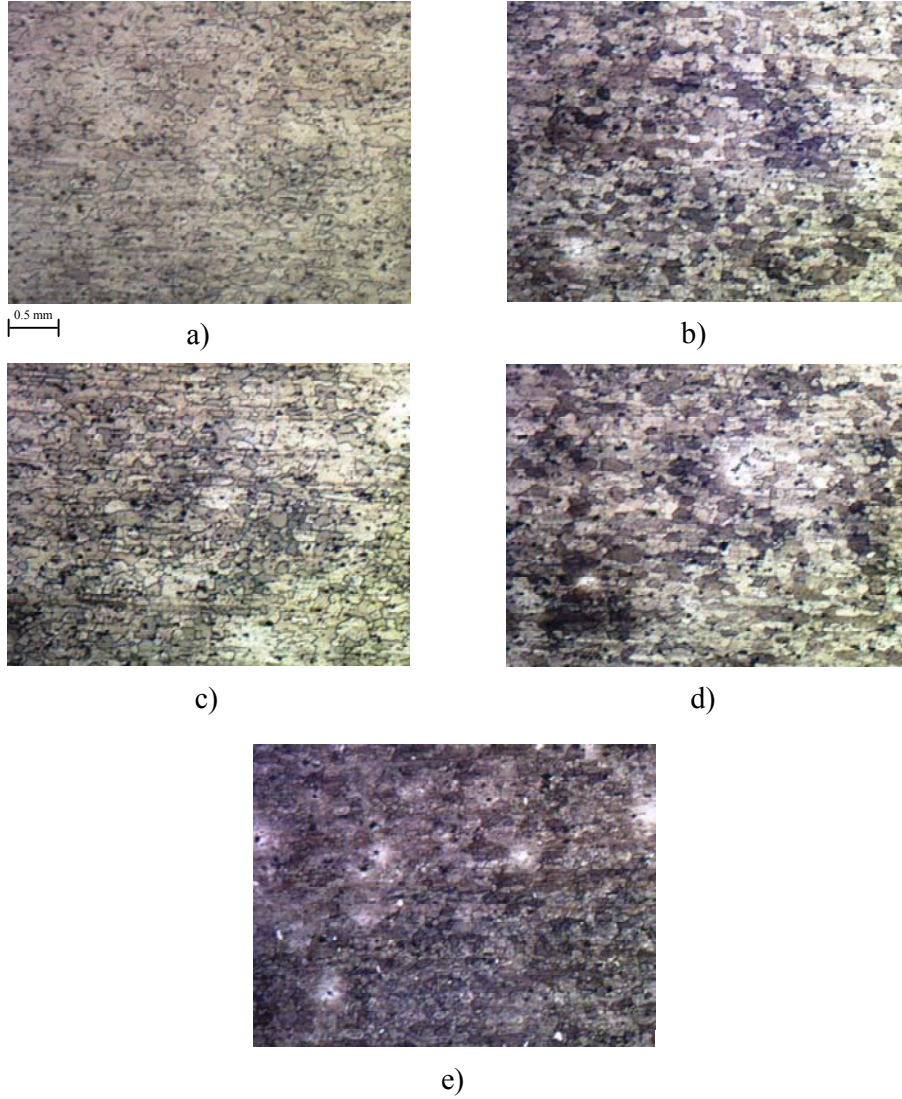
Şekil 2:  
Çekme deneyi numunelerinin boyutları (ölçü boyu 50 mm).

### 3. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

#### 3.1. İç Yapılar

Farklı ısıl işlem koşullarındaki 2024 Al-alışımlarının içyapıları Şekil 3 ve 4'de verilmiştir. Şekil 3'de ışık mikroskobu görüntülerinde, numunelerin tane yapıları açık bir şekilde görülmektedir. Farklı numunelerin tanelerindeki kontrast farklılıkları, farklı ısıl işlem koşullarını bariz bir şekilde ortaya koymaktadır. Aşırı doymuş katı eriyik halindeki W numunesinde çökeltmenin çok az (veya hiç olmaması) meydana gelmesinden dolayı tanelerdeki kararlı (koyulaşma) daha azdır. Yaşlanmanın ilerlemesi aşamasında çökelti partiküllerinin oluşumu ve artması ile tanelerin kararlı (dağlayıcının çökelti partikülleri ile etkileşimleri) daha da artmıştır. Katı eriyiğe alma sıcaklığından havada soğutulan iri çökelti partiküllerine sahip O koşulundaki numunede ise bu durum çok daha belirgindir (Şekil 3.e). Yaşlandırma sonucu tane içerisinde oluşturulan çökelti partikülleri ile  $\alpha$ -Al matriks yapısı arasında meydana gelen potansiyel farkından dolayı bu taneler dağlanmaya çok daha hassas hale gelmişlerdir (Aydın, 2008).

Şekil 4'deki SEM görüntülerinde ise, numuneler içerisindeki çökelmeler kısmen de olsa görülmektedir. T4, T6 (100°C-10h) ve T6 (190°C-10h) numunelerinde meydana gelen çökelmeler, daha ziyade tane içlerinde çok ince dağılmış yarı-kararlı sert ve gevrek S ( $Al_2CuMg$ ) fazı şeklinde olduğu bilinmektedir. Söz konusu ikincil S fazı, esasen çökeltme sertleşmesini meydana getiren fazdır. Soğutma esnasında kontrol dışı olduğu düşünülen kararlı iri  $\Omega$  ( $Al_2Cu$ ) fazları da içyapı içerisinde mevcut olabilir (Demirci, 2004, Genevois ve diğ., 2005, Davis, 1993, Liu ve diğ., 2000). T6 (100°C-10h) numunesinde ölçülen sertlik ve mukavemet değerlerinin (Tablo IV ve Tablo V) diğer yaşlandırılan numunelerden daha düşük değerlerde kalması, bu numunede yaşlandırma sıcaklık ve süresinin çökeltme sertleşmesi için yetersiz olduğunu göstermektedir. Katı eriyiğe alma sıcaklığından havada soğutulan O numunesinin içyapısı ise yaşlandırılan numunelerden çok farklıdır, çökelmeler daha ziyade tane sınırlarında kararlı  $\Omega$  ( $Al_2Cu$ ) fazı şeklindedir (Şekil 4.e).



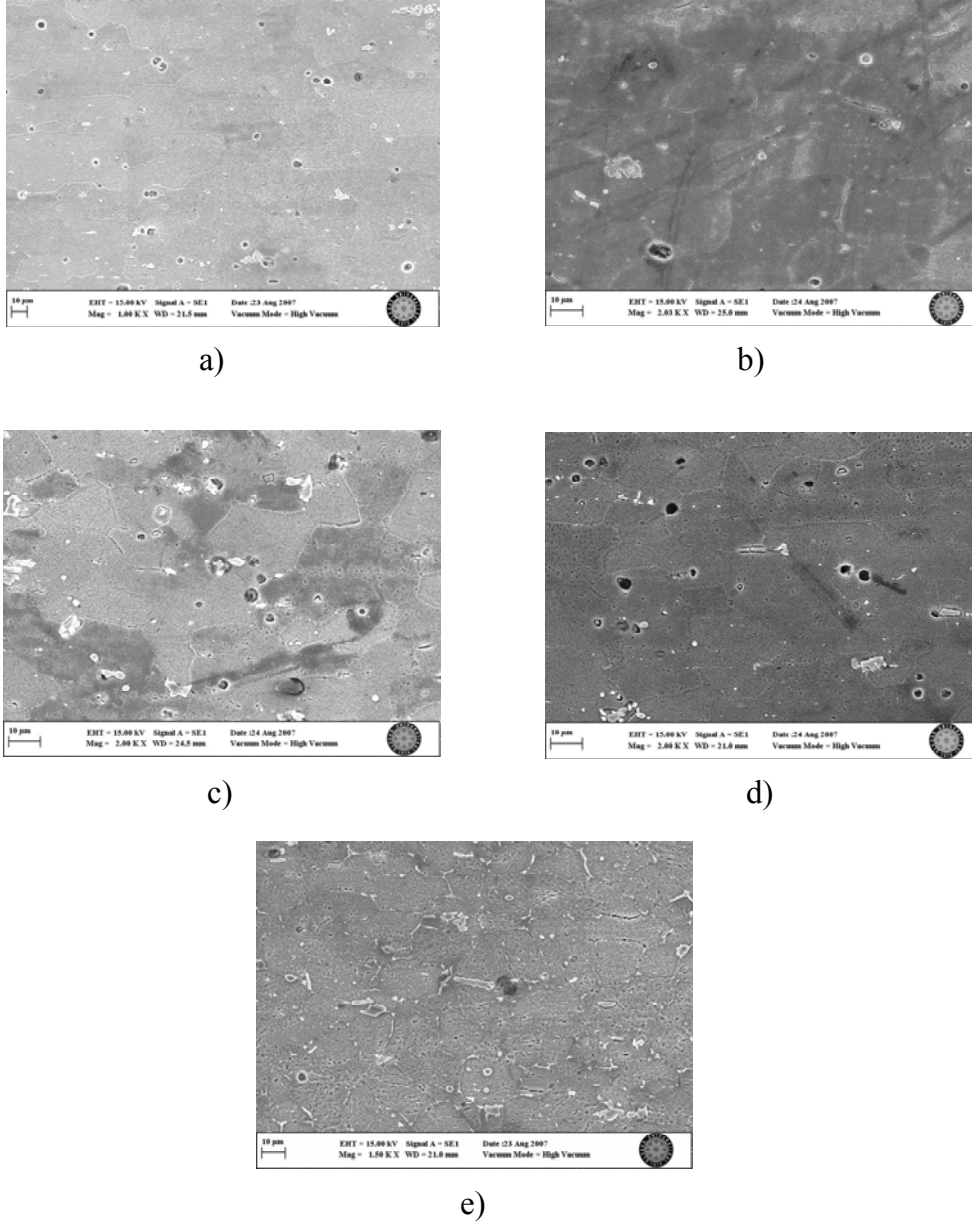
Şekil 3:

Farklı ısıtma işlem koşullarındaki 2024-Al alaşımlarının ışık mikroskobu görüntüleri (x50).  
a) W, b) T4, c) T6 (100°C-10h), d) T6 (190°C-10h), e) O

### 3.2. Sertlik

Farklı ısıtma işlem koşullarına sahip 2024 Al-alaşımlarının sertlik değerleri Tablo IV’de görülmektedir. Numunelerin sertlik değerleri çökeltme sertleşmesinin bu alaşımlardaki etkinliğini açık bir şekilde ortaya koymaktadır.

Katı eriyiğe alma sıcaklığından havada soğutulan O numunesinde, kontrolsüz çökeltme sonucu ikincil faz partiküllerinin irileşmesi ve tane sınırlarında kararlı  $\Omega$  ( $Al_2Cu$ ) fazlarının oluşması neticesinde, diğer numunelere nazaran önemli bir sertlik düşüşü meydana gelmiştir (Tablo IV). W numunesinden kontrollü bir çökeltme ile oluşturulmuş T4, T6 (100°C-10h) ve T6 (190°C-10h) numunelerindeki sertlik artışları ise açık bir şekilde görülmektedir (Tablo IV). Bu numunelerdeki sertlik artışları, yaşlandırma sıcaklık ve sürelerine bağlı olarak oluşturulan ince dağılımlı ve homojen dağılımlı yarı-kararlı S ( $Al_2CuMg$ ) fazından kaynaklanmaktadır. En yüksek sertlik değeri, yapay olarak yaşlandırılan T6 (190°C-10h) numunesinde elde edilmiştir (125,6 HV). Aşırı doymuş katı eriyik halindeki kararsız W numunesinin sertlik değerinin ise O numunesine göre oldukça yüksek olması, hızlı soğumadan kaynaklanan oda sıcaklığında zorunlu olarak eritilmiş Cu ve Mg atomları sonucu katı eriyik sertleşmesi ve su verme esnasındaki kontrolsüz soğuma ve oda sıcaklığında numunelerin bir süre beklemesinden dolayı doğal yaşlanmadan kaynaklanan çökelti partiküllerinden ileri gelmiştir.



Şekil 4:

Farklı ısıtım işlem koşullarındaki 2024-Al alaşımlarının SEM görüntüleri.  
a) W, b) T4, c) T6 (100°C-10h) (Aydın ve diğ., 2009), d) T6 (190°C-10h), e) O

Tablo IV. Farklı ısıtım işlem koşullarına sahip 2024 Al-alaşımlarının sertlik değerleri.

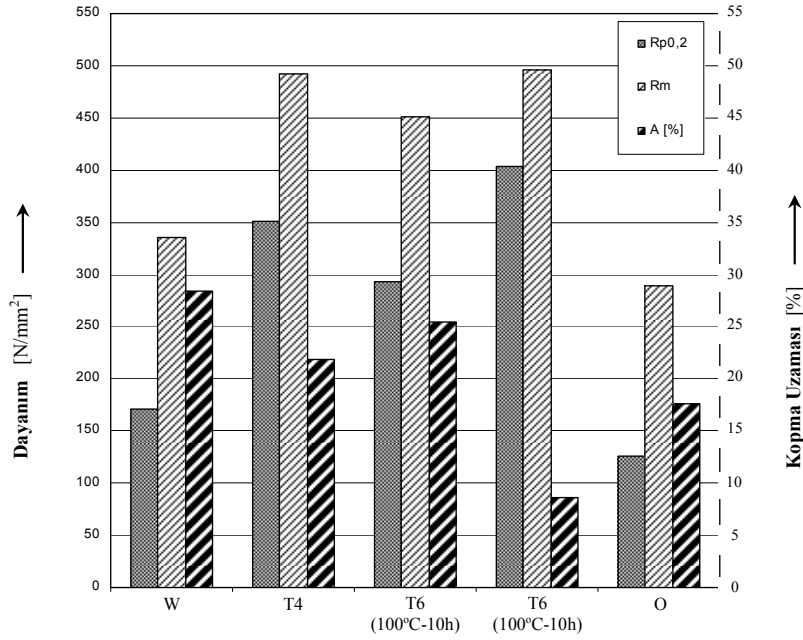
Numune	W	T4	T6 (100°C-10h)	T6 (100°C-10h)	O
Sertlik [HV 0,05]	83,6	115,3	101,4	125,6	64,9

### 3.3. Çekme Deneyi Sonuçları

Farklı ısıtım işlem koşullarına sahip 2024 Al-alaşımlarının çekme değerleri Tablo V ve Şekil 5’de verilmiştir.

**Tablo V. Farklı ısı işlem koşullarına sahip 2024 Al-alaşımlarının çekme değerleri.  
(Aydın ve diğ., 2009)**

Numune Koşulları	$R_{p0,2}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$R_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]	A [%]
W	171	336	28,4
T4	351	492	21,9
T6 (100°C-10h)	293	451	25,5
T6 (190°C-10h)	403	496	8,6
O	126	289	17,6



Şekil 5:

*Farklı ısı işlem koşullarındaki 2024-Al alaşımlarının Çekme Özelliklerinin Karşılaştırılması.  
(Aydın ve diğ., 2009).*

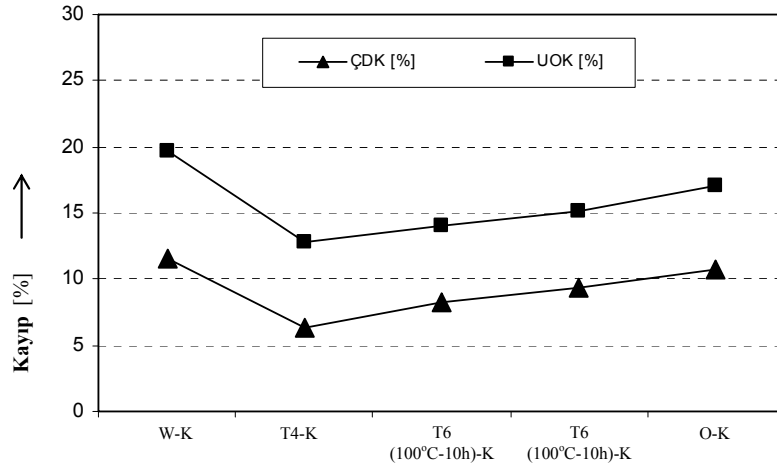
Katı eriyiğe alma sıcaklığından havada yavaş soğutulmuş O numunesinde, kontrolsüz çökme ile ikincil faz partiküllerinin irileşmesi (kaba  $\Omega$  ( $Al_2Cu$ ) çökeltileri) ve daha ziyade tane sınırlarında oluşması neticesinde diğer numunelere nazaran önemli bir mukavemet kaybı meydana gelmiştir. Aşırı doymuş katı eriyik halindeki W numunesinden kontrollü çökme ile üretilmiş T4, T6 (100°C-10h) ve T6 (190°C-10h) numunelerinde ise elde edilen mukavemet artışları Şekil 5’de açık bir şekilde görülmektedir. En yüksek mukavemet değerleri T6 (190°C-10h) numunesinde elde edilirken uzama oranında da beklendiği üzere önemli bir düşüş gözlenmiştir (Şekil 5). Çeşitli literatürlerde de belirtildiği üzere 2024 Al-alaşımı için 180-190°C yaşlandırma sıcaklıklarında 10-12 saat süreyle optimum özellikler elde edilebilmektedir (Demirci 2003, 2004, Atik ve diğ., 2001). Daha düşük sıcaklıkta yapılan yaşlandırma işleminde ise etkin bir çökmenin tamamıyla meydana gelmediği T6 (100°C-10h) numunesinden görülebilmektedir ve numunenin uzama oranı da bu durumu teyit eder niteliktedir. T4 ve T6 (100°C-10h) numunelerinde düşük sıcaklıklardan dolayı optimum çökme yakalanamamıştır. Ancak, daha uzun sürelerde bu numunelerin mukavemet değerlerinde bir miktar artışın meydana gelebileceği ve bir miktar da uzama oranında kaybın olabileceği öngörülebilir (Demirci 2004). T4 ve T6 (100°C-10h) numunelerindeki uzama oranlarının T6 (190°C-10h) numunesine göre oldukça yüksek olması, T4 ve T6 (100°C-10h) numunelerindeki düşük sıcaklıklar sonucu çok daha ince dağılımlı çökeltilerin oluşumundan kaynaklanmaktadır. İlerleyen zamanlarda ise bu ince dağılımlı çökeltiler bu numunelerin mukavemet değerlerini daha yüksek değerlere çekerken, uzama oranlarında da bir miktar düşüşe neden olacaktır. W numunesinin oda sıcaklığında içyapısının halen esas itibarıyla  $\alpha$ -Al şeklinde korunmuş olması da, bu numunedeki yüksek uzama oranını açıklamaktadır (Şekil 5).

### 3.4. Numunelerin Korozyon Sonrası Çekme Deneyi Sonuçları

Korozyona tabi tutulan farklı ısıl işlem koşullarına sahip 2024 Al-alaşımlarının çekme deneyi sonuçları ve korozyon sonrası bu numunelerin mukavemetlerinde ve uzama oranlarında meydana gelen kayıpları Tablo VI'da verilmiştir. Numunelerin korozyon sonrasındaki mukavemet ve uzama oranlarındaki kayıpları da karşılaştırmalı olarak Şekil 6'da görülmektedir.

**Tablo VI.**  
**Farklı ısıl işlem koşullarına sahip 2024 Al-alaşımlarının korozyon sonrası çekme değerleri ve meydana gelen kayıplar (K:Korozyon)**

Numune	$R_{p0,2}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$R_{p0,2}$ Değerindeki Kayıp [%]	$R_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$R_m$ Değerindeki Kayıp [%]	A [%]	A Değerindeki Kayıp [%]
W-K	152	11,1	297	11,6	22,8	19,7
T4-K	328	6,6	461	6,3	19,1	12,8
T6(100°C-10h)-K	268	8,5	414	8,2	21,9	14,1
T6(190°C-10h)-K	367	8,9	450	9,3	7,5	15,1
O-K	113	10,3	258	10,7	14,6	17



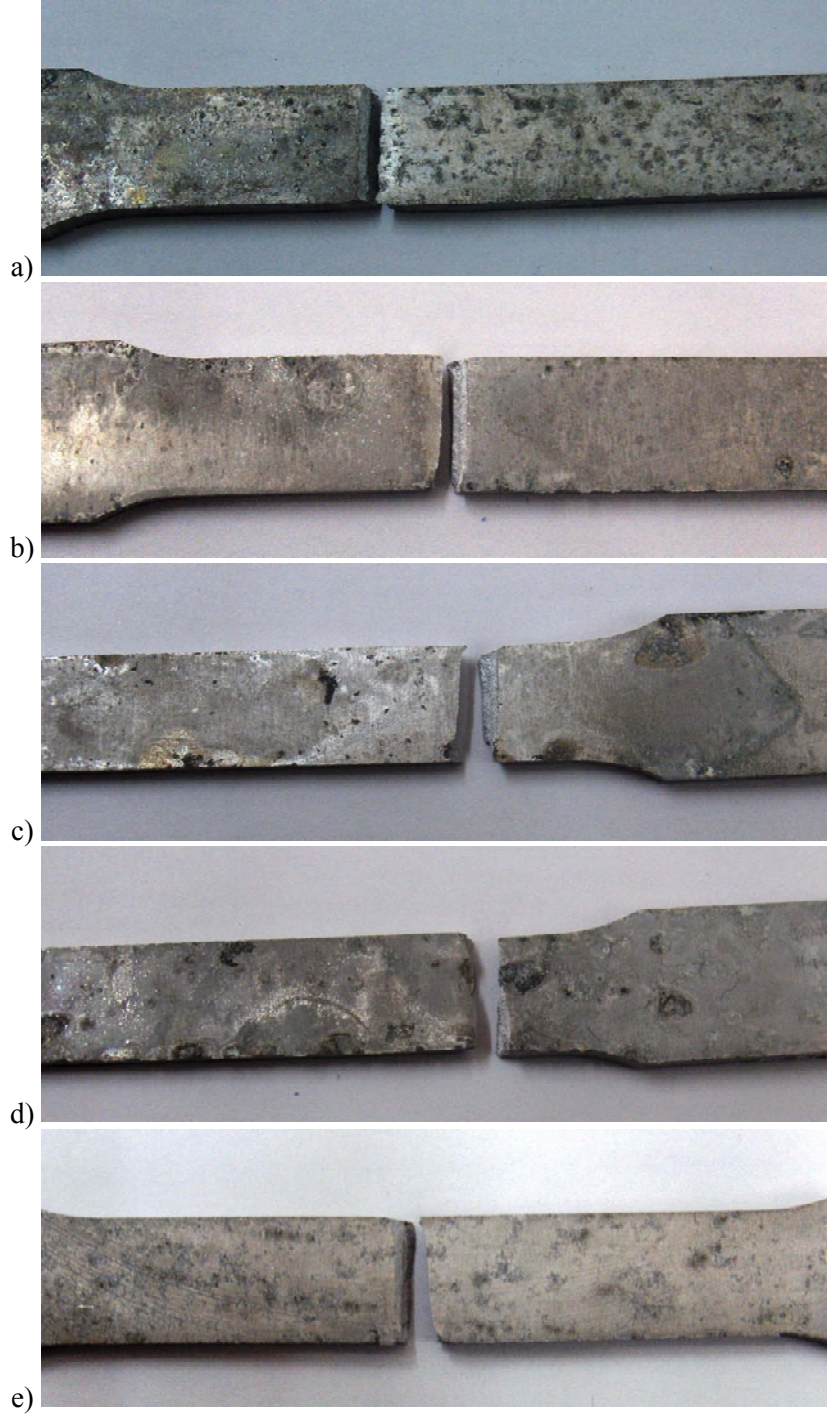
Şekil 6:

Farklı ısıl işlem koşullarındaki 2024 Al-alaşımlarının korozyon sonrası mukavemet ve uzama oranı kayıplarının karşılaştırılması.  
(ÇDK: Çekme Dayanımı Kaybı; UOK: Uzama Oranı Kaybı).

Tüm numunelerde korozyon sonrasında aynı numune için meydana gelen akma ve çekme dayanımlarındaki kayıplar birbirlerine yakın değerler olup paralellik içerisindedir (Tablo VI). Bu sebepten Şekil 6'da akma dayanımı kaybına yer verilmeyip sadece çekme dayanımı kaybı gösterilmiştir.

Aşırı doymuş katı eriyik halindeki W numunesinde korozyon sonrası meydana gelen kayıplar diğer numunelere nazaran daha fazladır. Bu numunenin yüzey bölgesinin de korozyondan daha fazla etkilendiği açıkça görülmektedir (Şekil 7). Korozyon sonrası sözkonusu numunede meydana gelen mukavemet ve uzama oranındaki yüksek kayıp, bu numunenin suverme sonucunda oda sıcaklığında  $\alpha$ -Al ana yapısı içerisine Cu ve Mg atomlarının zorunlu olarak hapsedilmesi sonucunda iç enerjisindeki artış ile ilişkilendirilebilir. Doğal olarak yaşlandırılmış T4 numunesinde korozyon sonrası meydana gelen kayıplar ise diğer numunelere nazaran nispeten biraz daha düşük değerlerde kalmıştır. Yapay olarak yaşlandırılan numuneler içerisinde daha yüksek sıcaklıkta yaşlandırılan ve bu suretle diğerine T6 (100°C-10h) göre daha iri çökelti partiküllerine sahip olan T6 (190°C-10h) numunesinde korozyon sonucu meydana gelen kayıp T4 ve T6 (100°C-10h) numunelerine göre biraz daha fazladır. Katı eriyiğe alma sıcaklığından havada soğutulan O-koşulu numunesinde ise korozyon sonrası mukavemet ve uzama oranlarındaki önemli sayılabilecek kayıplar, tane sınırlarında oluşan kaba  $\Omega$  ( $Al_2Cu$ ) çökelti partiküllerinden kaynaklanmıştır (tane sınırlarında korozyonun teşviki). Bu numunede daha ziyade tane sınırlarında bulunan kaba çökelti partikülleri, tane sınırlarında ana yapı ile önemli bir potansiyel farkı yaratarak tane sınırlarındaki korozyonu hızlandırıp bu bölgelerin zayıflamasına yol açtığı düşünülmektedir.





Şekil 7:

*Farklı ısıtım koşullarındaki 2024 Al-alaşımlarında korozyon sonrası mukavemet kaybına sebebiyet veren pitting oluşumları.*

*a) W, b) T4, c) T6 (100°C-10h), d) T6 (190°C-10h), e) O*

#### 4. SONUÇ

Çökeltme sertleşmesi gösteren 2024 Al-alaşımlarının korozyon hassasiyetleri yaşlandırma sonucu içyapıda oluşturulan ikincil faz partikülleri ile yakından ilişkilidir. Çökeltme miktarının artması ile çökelti partikülleri ve bakırı azaltılmış ana yapı arasındaki potansiyel farkının yükselmesi nispetinde partiküller etrafında pitting bölgelerinin oluşumu neticesinde korozyon sonrası çekme özelliklerindeki kayıplar da artmaktadır. Korozyon sonucu çekme özelliklerindeki en az kayıp doğal olarak yaş-

landırılmış numunede elde edilmiştir. Yapay olarak ve daha yüksek sıcaklıklarda yaşlandırılan numunelerde ise daha düşük sıcaklıklarda yaşlandırılanlara göre korozyon sonrası daha yüksek çekme özellikleri kaybı görülmüştür. Ancak, istisnai bir durum olarak korozyon sonrası mukavemet ve uzama oranındaki en yüksek kayıp, içerisinde en az çökelti partikülleri ihtiva eden aşırı doymuş katı eriyik numunesinde meydana gelmiştir. Bu durumun, özellikle uçak sanayinde kullanılan aşırı doymuş katı eriyik halinde üretilen perçinlerde dikkate alınması gerekebilir.

## KAYNAKLAR

1. Atik, E., Meriç, C. ve Şahan, A. (2001) TIG kaynak yöntemiyle birleştirilmiş 2024 alüminyum alaşımının kaynak bölgesinin çökeltme sertleşmesi bakımından incelenmesi. *DEÜ Mühendislik Fakültesi, Fen ve Mühendislik Dergisi*, 3(3), 75-83.
2. Aydın, H. (2002) İntermetalik faz aşılama yöntemiyle Al-Cu-Mg alaşımında aşınma dayanımının iyileştirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, U.Ü. Fen Bilimleri Enst., Bursa.
3. Aydın, H. (2008) Sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilmiş yaşlandırılabilir alüminyum alaşımlarının mekanik özelliklerinin ve korozyon davranışlarının incelenmesi, *Doktora Tezi*, U.Ü. Fen Bilimleri Enst., Bursa.
4. Aydın, H., Bayram, A., Uğuz, A., Akay, S.K. (2009) Tensile properties of friction stir welded joints of 2024 aluminum alloys in different heat-treated state. *Materials and Design*, 30(6), 2211-2221.
5. Chong, P. H., Liu, Z., Skeldon P. ve Thompson, G.E. (2003) Corrosion behavior of laser surface melted 2014 aluminium alloy in T6 and T451 tempers, *The Journal Of Corrosion Science And Engineering*, 6, 12.
6. Craig, D.B. ve Anderson, D.S. (1995) *Handbook of Corrosion Data*, A.S.M International, 16-18.
7. Davis, J.R. (1993) *Aluminium and Aluminium Alloys*, ASM Specially Handbook, ASM International, Materials Park, OH., 579-664.
8. Demirci, A. H. (2003) *Malzeme Bilgisi ve Malzeme Muayenesi*, Alfa, İstanbul.
9. Demirci, A. H. (2004) *Mühendislik Malzemeleri*, Aktüel Yayınevi, İstanbul.
10. Genevois, C., Deschamps, A., Denquin, A. ve Doisneau-cottignies, B. (2005) Quantitative investigation of precipitation and mechanical behaviour for AA2024 friction stir welds. *Acta Materialia*, 53, 2447-2458.
11. Guillaumin, V., Mankowski, G. (1999) Localized corrosion of 2024 T351 aluminium alloy in chloride media. *Corrosion Science*, 41, 421-438.
12. Güleç, Ş. ve Aran, A. (1987) *Malzeme Bilgisi (Çeviri)*, Cilt 2, Gebze MBEAE Matbaası. (Bargel, H.J. ve Schulze, G. (1980). *Werkstoffkunde*, VDI-Verlag GmbH Duesseldorf).
13. <http://www.aluminium.matter.org.uk>, Erişim Tarihi: 10.02.2006. Konu: *Aluminium Alloys*.
14. [http://www.alcoa.com/gcftp/catalog/pdf/alcoa\\_alloy\\_2024.pdf](http://www.alcoa.com/gcftp/catalog/pdf/alcoa_alloy_2024.pdf), Erişim Tarihi: 17.08.2007. Konu: *Alloy 2024*.
15. Liu, Y., Thompson, G.E., Skeldon, P., Smith, C.J.E., Shimizu, K. (2000) *2nd International Symposium on Aluminium Surface Science and Technology Proceedings (ASST 2000)*, 479-484.
16. Maddox, S.J. (2003) Review of fatigue assessment procedures for welded aluminium structures, *Int. J. Fatigue*, 25(12), 1359-1378.
17. Meriç, C. (1989) Physical and mechanical properties of AlCu4LiXMg1 alloy which cast under and without vacuum. *Doktora Tezi*, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
18. Sanders, R.E., Sanders, T.H. ve Staley, IT. (1983) Relationships between microstructure, conductivity and mechanical properties of alloy 2024-T4. *Aluminium*, 59, 13-17.
19. Rooy, E.L. (1995) Properties and selection non ferrous alloys and special-purpose materials. *Introduction to Aluminum and Aluminum Alloys*, Vol. 2, A.S.M Handbook, American Society For Metals, Ohio.
20. Türk Standardı (2004) *Metalik Malzemeler – Çekme Deneyi - Bölüm 1: Ortam Sıcaklığında Deney Metodu*. TS 138 EN 10002-1.