



T.C.
YALOVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**HAVACILIK VE UZAY ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN ALÜMİNYUM
ALAŞIMLARININ ISIL İŞLEM POLİMERLERİNDE SU VERİLMESİ VE
SU VERME PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Ebru (BİÇER) TÜRKOĞLU
165101017**

Polimer Mühendisliği Anabilim Dalı Adı

Polimer Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi İdris KARAGÖZ

OCAK 2020



T.C.
YALOVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**HAVACILIK VE UZAY ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN ALÜMİNYUM
ALAŞIMLARININ ISIL İŞLEM POLİMERLERİNDE SU VERİLMESİ VE
SU VERME PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Ebru (BİÇER) TÜRKOĞLU
165101017**

Polimer Mühendisliği Anabilim Dalı Adı

Polimer Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi İdris KARAGÖZ

OCAK 2020

YALOVA Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 165101017 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Ebru (BİÇER) TÜRKÖĞLU** ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**HAVACILIK VE UZAY ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ ISIL İŞLEM POLİMERLERİNDE SU VERİLMESİ VE SU VERME PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde sunmuş ve oy birliği ile başarılı bulunmuştur.

İmza / Kanaati
(Kabul/Red)

Tez Danışmanı : **Dr. Öğr. Üyesi İdris KARAGÖZ**
Yalova Üniversitesi

 **Kabul**

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Hamit ERDEMİ**
Yalova Üniversitesi

 **Kabul**

Dr. Öğr. Üyesi İlyas KARTAL
Marmara Üniversitesi

 **Kabul**

Teslim Tarihi : 20 Aralık 2019
Savunma Tarihi : 16 Ocak 2020

ÖNSÖZ

İlk önce beni bugünlere kadar getiren aileme maddi ve manevi desteklerinden ötürü minnet ve şükranlarımı sunarım.

Yüksek lisans tez hazırlama dönemi boyunca bu çalışmanın fikir sahibi olan, zor anlarımda her zaman destek ve tecrübesini esirgemeyen, her daim göstermiş olduğu sabır ve emeklerinden dolayı çok değerli danışman hocam Sayın Dr. İdris KARAGÖZ'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamda yer alan mekanik testlerin yapılmasında, tüm yardımlarından dolayı İmkosan firmasının ortaklarından İnan GEÇMEN'e teşekkür ederim.

Çalışmamda yer alan deney numunelerinin hazırlanmasında, tüm yardımlarından dolayı HCD Metal İmalat Sanayi Ve Limited Şirket A.Ş çalışanları ve ortaklarından Taner ERMİŞ'e teşekkür ederim.

Çalışmamda yer alan SEM görüntülerinin çekilmesinde tüm yardımlarından dolayı Sayın Özgür CEYLAN'a çok teşekkür ederim.

2018/YL/0016 Nolu YL B Tipi proje ile tez çalışmasına verdikleri destek için Yalova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne çok teşekkür ederim.

Dünyanın en güzel hislerinden biri olan ve hayatımın her aşamasında ilham kaynağım olan, çok kıymetli küçük kız kardeşim Hivanur BİÇER'e yaşatmış olduğu sevgi ve saygısından ötürü çok teşekkür ederim.

Son olarak hayatımın her aşamasında bana destek olan güvenimi ve inancımı artıran, sonsuz sevgisini hep yanımda hissettiğim, benimle en güzel ve en sıkıntılı anlarımı paylaşan değerli eşim Bayram TÜRKOĞLU'na çok teşekkür ederim.

Aralık 2019

Ebru (BİÇER) TÜRKOĞLU
Polimer Mühendisi



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
	No
KISALTMALAR	IX
ÇİZELGE LİSTESİ.....	XI
ŞEKİL LİSTESİ.....	XIII
ÖZET.....	XIX
ABSTRACT.....	XXI
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı.....	1
1.2 Literatür Araştırması	2
2. ISIL İŞLEM VE SOĞUTMA ORTAMLARI	7
2.1 Isıl İşlem.....	7
2.2 Sertleştirme	10
2.3 Suda Soğutma	11
2.4 Yağda Soğutma	12
2.5 Su ve Yağ Karışımıyla Hazırlanan Soğutma Ortamı	13
2.6 Isıl İşlem Polimerlerinde Soğutma.....	14
2.7 Havada Soğutma	15
2.8 Tuz Banyosunda Soğutma	15
3. ALÜMİNYUM VE ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI	19
3.1 Alüminyum	19
3.2 Alüminyum Standartları ve Sınıflandırmalar.....	19
3.3 İşlem Gösterilişleri ve Temel İşlemlerin Açıklanması.....	22
3.4 Alaşım Elementlerinin Al Özelliklerine Etkileri.....	23
3.5 Al ve Al Alaşımlarının Isıl İşlemi	24



3.5.1 Çözeltiye Alma İşlemi.....	27
3.5.2 Su Verme İşlemi.....	27
3.5.3 Yaşlandırma İşlemi	29
3.6 Havacılık Uygulamalarında Kullanılan Alüminyum Alaşımları	32
4. MATERYAL VE METHOD	37
4.1 Çalışmada KullanılanMalzemeler.....	37
4.1.1 2024 Serisi Alüminyum Alaşımı.....	39
4.1.2 7075 Serisi Alüminyum Alaşımları	41
4.1.3 AA6082 Serisi Alüminyum Alaşımları.....	41
4.1.4 Aquatensid Serisi Isıl İşlem Polimeri.....	42
4.2 Test Numunelerinin Hazırlanması	46
4.3 Isıl İşlem (Çökeltme Sertleştirilmesi) Uygulanması	49
4.4 Mekanik Testlerin Uygulanması	57
4.5 Mikrosertlik İncelemeleri.....	60
4.6 Mikroyapı İncelemeleri	61
4.7 Çarpılma Ölçümleri.....	62
5. BULGULAR VE TARTIŞMA	63
5.1 Çekme Test Sonuçları	63
5.2 Üç Nokta Eğme Test Sonuçları.....	67
5.3 Darbe Test Sonuçları.....	68
5.4 Çarpılma Miktarı Ölçüm Sonuçları.....	69
5.5 Mikroyapı İnceleme Sonuçları.....	71
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	77
KAYNAKLAR	81
EKLER.....	85
ÖZGEÇMİŞ	91



KISALTMALAR

α	: Çok fazlı alüminyum alaşımlarında bulunan birincil faz
θ	: Al-Cu alaşımlarında bulunan ikincil faz (CuAl ₂)
A	: Kopma uzaması [%]
η	: Viskozite [Pa.s]
PEG	: Polietilenglikol
Al	: Alüminyum
Ms	: Martensik Dönüşüm Sıcaklığı
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
Mg	: Magnezyum
Si	: Silisyum
NaCl	: Sodyum Klorür
Mpa	: Stress Korozyon Çatlağı
L	: Litre



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa No

Çizelge 3.1 Al ve Al alaşımlarının TSE tarafından sınıflandırılmasına örnek.....	20
Çizelge 3.2 Al ve Al alaşımların harf ve temel işlemlerin gösterimi...	22
Çizelge 3.3a Al ve Al alaşımlarının temel işlemlerine ait alt bölümler.	22
Çizelge 3.3b Al ve Al alaşımlarının temel işlemlerine ait alt bölümler.	23
Çizelge 3.4 Al alaşımlarının yaşlandırma uygunluğu.....	25
Çizelge 4.1 Çalışmada kullanılan parametreler.....	39
Çizelge 4.2 AA2024 alaşımının kimyasal bileşimi.....	40
Çizelge 4.3 AA2024 serisi alüminyum alaşımının mekanik özellikleri	40
Çizelge 4.4 AA7075 alaşımının kimyasal bileşimi.....	41
Çizelge 4.5 AA7075 serisi alüminyum alaşımının mekanik özellikleri	41
Çizelge 4.6 AA6082 alaşımının kimyasal bileşimi.....	42
Çizelge 4.7 AA6082 serisi alüminyum alaşımının mekanik özellikleri	42
Çizelge 4.8 Aquatensid E serisi polimerin kimyasal içeriği.....	45
Çizelge 4.9 Aquatensid E serisi polimerin fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	46
Çizelge 4.10 Su verme ortamlarının bileşimi.....	53
Çizelge 5.1 Çekme test sonuçları.....	63
Çizelge 5.2 Darbe test sonuçları.....	68
Çizelge 5.3 Çarpılma test sonuçları.....	69



ŞEKİL LİSTESİ	Sayfa No
Şekil 1.1 Soğuma evrelerinin sıcaklık-zaman grafiği.....	2
Şekil 1.2 Soğutma ortamında gerçekleşen soğuma evreleri, a) Buhar örtüsü oluşumu, b) Buhar taşıma evresi, c) Sıvı soğuma aşaması.....	3
Şekil 2.1 Isıl işlemde uygulanan proseslerin genel şeması.....	8
Şekil 2.2 Isıl işlem polimerlerinde soğutma işlemi, a) Sulu PAG çözeltilisinde su verilme esnasında gerçekleşen olaylar b) zamana bağlı olarak sulu PAG çözeltilisinde gerçekleşen olayların fotoğraflanması.....	9
Şekil 2.3 Saf su ve tuzlu suyun soğutma kapasitelerinin araştırılması..	11
Şekil 2.4 60 °C yağ sıcaklığında %5 karbonlu bir çeliğin sertleştirilmesi a) Sakin yağda soğutma, b) Hareketli yağda soğutma.....	12
Şekil 2.5 Su, yağ ve su-yag karışımının soğutma kapasitesinin karşılaştırılması.....	13
Şekil 2.6 Farklı oranlarda ısıl işlem polimeri katılmış soğutma ortamlarında Ø70 mm çapındaki bir çubukta meydana gelen soğuma eğrileri.....	14
Şekil 2.7 Farklı oranlarda Mn içeren çeliklerin havada sertleşebilirliğinin karşılaştırılması.....	15
Şekil 2.8 Paslanmaz çelik çubukların martemperlenmesinde banyo sıcaklığının soğuma hızına etkisi.....	16
Şekil 3.1 Al alaşımlarına uygulanan ısıl işlem prosesinin şematik gösterimi.....	26
Şekil 3.2 Çözeltiye alma işleminin şematik gösterimi.....	27
Şekil 3.3 Su verme işleminde tek faz oluşumunun şematik gösterimi...	28
Şekil 3.4 Yavaş soğuma sonrası oluşan heterojen çekirdeklenme oluşumunun şematik gösterimi.....	28
Şekil 3.5 Aşırı doymuş çözeltiler.....	29
Şekil 3.6 Yaşlandırma işleminde ilk kademe değişiminin şematik gösterimi.....	31
Şekil 3.7 Yaşlandırma işleminde ikinci kademe değişiminin şematik gösterimi.....	31



Şekil 3.8 Yaşlandırma işleminde son kademe değişiminin şematik gösterimi.....	32
Şekil 3.9 Alüminyum alaşımının yıllara göre verim gücü ve gelişimi.	33
Şekil 3.10 Bazı alüminyum alaşım ve türleri.....	35
Şekil 4.1 Deneyleerde kullanılan numune görselleri.....	38
Şekil 4.2 PAG'ün organik şeması.....	43
Şekil 4.3 Deneyleer kullanılan ısııl işleem polimeri Aquatensid E serisi görseli.....	44
Şekil 4.4 Test numunelerinin üretimine ait fotoğraflar.....	48
Şekil 4.5 Test numunelerine ait teknik resimler.....	49
Şekil 4.6 Malzemelerin ısııl işleem prosesinin (çökelme sertleştirme) şematik gösterimi.....	50
Şekil 4.7 Malzemelerin ısııl işleem fırınına sepet içerisinde yerleştirilmesi.....	50
Şekil 4.8 Malzemelerin çözeltiliye alma sıcaklığı ve fırın kontrol paneli.....	51
Şekil 4.9 Isıl işleem öncesi suyun ilk sıcaklık kontrolü.....	51
Şekil 4.10 %5'lik polimer çözeltilisinin su verme öncesi sıcaklık kontrolü.....	52
Şekil 4.11 %10'luk polimer çözeltilisinin su verme öncesi sıcaklık kontrolü.....	52
Şekil 4.12 %15'lik polimer çözeltilisinin su verme öncesi sıcaklık kontrolü.....	53
Şekil 4.13 %5'lik, %10'luk ve %15'lik karışımların su verme işleem öncesi sıcaklık kontrolü.....	54
Şekil 4.14 Isıl işleem fırınından numunelerin alınması.....	55
Şekil 4.15 Numunelerin sırayla %5-%10-%15'lik oranlarda hazırlanan su verme banyolarına daldırılması.....	56
Şekil 4.16 Refraktometre cihazı.....	57
Şekil 4.17 Mekanik testlerin uygulanmasına ait fotoğraflar.....	59
Şekil 4.18 Çentik açma cihazına ait resimler.....	59
Şekil 4.19 Geçer geçmez masterla darbe numuneleri çentik kontrolü...	60
Şekil 4.20 Vicker sertlik ölçüm cihazı.....	60
Şekil 4.21 SEM cihazına ait resimler.....	61
Şekil 4.22 Ölçüm pleyti ve mitutoya kompretöre ait resim.....	61



Şekil 5.1 AA7075 alaşımında ısıl işlem polimer oranı ve çekme mukavemeti arasındaki ilişki.....	64
Şekil 5.2 AA2024 alaşımında ısıl işlem polimer oranı ve çekme mukavemeti arasındaki ilişki.....	65
Şekil 5.3 AA6082 alaşımında ısıl işlem polimer oranı ve çekme mukavemeti arasındaki ilişki.....	65
Şekil 5.4 AA2024, AA6082, AA7075 alaşımında ısıl işlem polimer oranı ve çekme mukavemeti arasındaki ilişkinin karşılaştırılması.....	66
Şekil 5.5 AA2024, AA6082, AA7075 alaşımlarının eğme testlerinde kırılma gerçekleşen test numunelerinin görüntüsü.....	67
Şekil 5.6 AA6082 alaşımında ısıl işlem polimer oranı ve darbe mukavemeti arasındaki ilişki.....	68
Şekil 5.7 AA7075 alaşımında ısıl işlem polimer oranı ve çarpılma miktarı arasındaki ilişki.....	70
Şekil 5.8 AA2024 alaşımında ısıl işlem polimer oranı ve çarpılma miktarı arasındaki ilişki.....	70
Şekil 5.9 AA6082 alaşımında ısıl işlem polimer oranı ve çarpılma miktarı arasındaki ilişki.....	71
Şekil 5.10 AA2024, AA6082, AA7075 alaşımında ısıl işlem polimer oranı ve çarpılma miktarı arasındaki ilişkinin karşılaştırılması.....	71
Şekil 5.11 Isıl işlem uygulanmamış referans numunelere ait SEM fotoğrafları.....	72
Şekil 5.12 Isıl işlem uygulanmış polimer eklenmemiş numunelere ait SEM fotoğrafları.....	73
Şekil 5.13 Isıl işlem uygulanmış %5 polimerli numunelere ait SEM fotoğrafları.....	74
Şekil 5.14 Isıl işlem uygulanmış %10 polimerli numunelere ait SEM fotoğrafları.....	75
Şekil 5.15 Isıl işlem uygulanmış %15 polimerli numunelere ait SEM fotoğrafları.....	76



HAVACILIK VE UZAY ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ ISIL İŞLEM POLİMERLERİNDE SU VERİLMESİ VE SU VERME PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU

ÖZET

Isıl işlem polimerlerinin farklı konsantrasyonlarda kullanımı ile malzemenin mukavemet ve mikroyapı özelliklerinde meydana gelen değişimlerin incelenmesiyle ilgili çalışmalar devam etmektedir. Bu çalışmada; su soğutma ortamında, %5, %10 ve %15 oranlarında Petrofer firmasının Aquatensied E Serisi ısıl işlem polimerleriyle hazırlanan soğutma ortamında havacılık ve uzay sanayinde kullanılan Al alaşımlarının su verme sertleştirmesinde minimum çarpılma ve yüksek mekanik özelliklerin elde edilmesi hedeflenmektedir. Çalışmada havacılık sanayinde yaygın kullanılan AA2024, AA6082 ve AA7075 alaşımları oda sıcaklığından 480 °C ye kademeli bir şekilde ısıtılmış ve bu sıcaklıkta 60 dakika çözeltiye alma işlemi uygulanmıştır. Sonrasında soğutma ortamına alınan malzemelere, 120 °C’ de 6 saat süreyle yapay yaşlandırma işlemi uygulanmıştır. Yaşlandırma işleminden sonra su verme ortamının malzemeler üzerindeki etkisinin belirlenmesi amacıyla, numunelere çekme, eğme ve çentik darbe testleri yapılarak mekanik özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Çentik darbe testi numunelerinin kırık yüzeyinden numuneler üzerinde mikroyapı incelemeleri gerçekleştirilmiştir ve malzemelerdeki çarpılma miktarları ölçülmüştür. Soğutma ortamının su verme sonrası analizi yapılmış ve ısıl işlem polimerinin bozulma oranı belirlenmeye çalışılmıştır. Genel anlamda en iyi çekme mukavemet değerleri, ısıl işlem polimerinin %10 olduğu çözeltilerde elde edilmiştir. AA7075 ve AA6082 alaşımlarında çekme mukavemet değerleri su soğutma ortamındakine yakın, AA2024 alaşımlı ısıl işlem polimerlerinde ise daha yüksek çekme mukavemet değerleri gözlemlenmiştir. AA6082 alaşımı ise diğer alaşımlara göre içerisindeki polimer karışım oranı arttıkça daha fazla uzama ve mukavemet sağlamış olup, en uygun ve en ideal sonuçları %10’luk polimer karışımında elde etmiştir.

Anahtar Kelimeler: Isıl işlem polimerleri, Havacılıkta kullanılan alüminyum alaşımları, Su verme sertleştirmesi, AA7075, AA2024, AA6082



WATER DELIVERY IN HEAT TREATMENT POLYMERS OF THE ALUMINUM ALLOYS USED IN AVIATION AND SPACE INDUSTRY AND OPTIMIZATION OF WATER DELIVERY PARAMETERS

ABSTRACT

Studies on the use of heat treatment polymers in different concentrations and the changes in the strength and microstructure properties of the material continue. In this study; It is aimed to obtain minimum distortion and high mechanical properties in the quench hardening of Al alloys which are prepared with Aquatensied E Series heat treatment polymers of 5%, 10% and 15% in water cooling medium and used in aerospace industry in cooling medium. In this study, AA2024, AA6082 and AA7075 alloys commonly used in aerospace industry were heated gradually from room temperature to 480 °C and solution treated process was applied to solution for 60 minutes in this temperature rate. Subsequently, artificial aging process was applied for materials which were in cooling process for 6 hours at 120 °C. In order to determine the effect of quenching process on materials after aging process; mechanical properties were tried to be determined by tensile, bending and notch impact tests. Microstructure examinations were carried out on the samples from the broken surface of the notch impact test samples and the distortion amounts in the materials were measured. After quenching of the cooling medium, the decomposition rate of the heat treatment polymer was determined. In general, the best tensile strength values were obtained in solutions where the heat treatment polymer was 10%. The tensile strength values of AA7075 and AA6082 alloys were close to those of the water cooling environment and higher tensile strength values of AA2024 alloyed heat treatment polymers were observed. The AA6082 alloy, on the other hand, provided more elongation and strength as the polymer mixture ratio increased, and obtained the most appropriate and ideal results in 10% polymer mixture.

Keywords: Heat treatment Polymers, Aluminum alloys used in aviation, Quenching hardening, AA7075, AA2024, AA6082



1. GİRİŞ

Isıl işlem polimerleri alüminyum (Al) ve alüminyum alaşımlarının sertleştirilmesinde 35 yıldan beridir kullanılmaktadır. Malzemelere su verme sırasında minimum çarpılma işlem sırasında duman ve yangın riski oluşturmaması gibi nedenlerle ısı işlem polimerlerinin kullanımı son yıllarda giderek artmaktadır.

Al alaşımlarının endüstriyel olarak yoğun kullanıldığı havacılık, uzay sanayi, otomotiv endüstrisi gibi sektörlerde malzemelerin mekanik özelliklerinin geliştirilmesi ve daha yüksek performans beklentisi nedeniyle Al alaşımlarının ısı işlemine özel bir önem verilmektedir. Günümüzde bu konuda araştırmacılar tarafından ısı işlem koşullarının geliştirilmesi, ısı işlem parametrelerinin optimizasyonu vb. konularda çalışmalar yapılmaktadır. Sektörde faaliyet gösteren pekçok firma tarafından da kullanım amacına uygun olarak yeni ısı işlem polimerlerinin geliştirilmesine çalışılmaktadır.

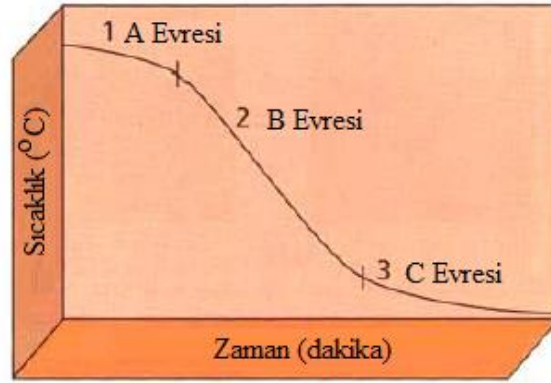
1.1 Tezin Amacı

Isıl işlem polimerlerinin farklı konsantrasyonlar da kullanımı ile malzemenin mukavemet ve mikroyapı özelliklerinde meydana gelen değişimlerin incelenmesiyle ilgili çalışmalar devam etmektedir. Bu çalışmada farklı oran ve bileşimlerde ısı işlem polimerleriyle hazırlanan soğutma ortamında havacılık ve uzay sanayinde kullanılan Al alaşımlarının su verme sertleştirmesinde minimum çarpılma ve yüksek mekanik özelliklerin elde edilmesi hedeflenmektedir. 2XXX, 5XXX ve 7XXX serisinden seçilecek alaşımlara çözeltiliye alma, su verme ve yaşlandırma işlemleri uygulanacaktır. Mikroyapı ve mekanik özelliklerde en iyi sonuçların elde edilmesi için su verme parametrelerinin optimizasyonuna çalışılacaktır.

Su verme sonrası numuneler üzerinde mikroyapı incelemeleri, mekanik testler ve sertlik ölçümleri gerçekleştirilecektir. Isıl işlem polimerlerinin kullanımında en iyi sonuçlar ile su ve polimer karışım oranlarının belirlenmesine çalışılacaktır. Soğutma ortamının su verme sonrası analizi yapılarak, ısı işlem polimerinin bozulma oranı analiz edilecek ısı işlem polimerlerinden oluşturulan banyoların daha uzun süre kullanılabilmesi için uygun şartlar belirlenmeye çalışılacaktır.

1.2 Literatür Araştırması

Isıl işlem polimerleri kullanılarak su verilen parçanın soğuması Şekil 1.1’ de gösterildiği gibi A, B, C evresi adı verilen üç farklı evre de gerçekleşmektedir [1]. Şekil 1.1’ de görüldüğü gibi bu evreler zamanla sıcaklıktaki azalmaya bağlı olarak oluşmaktadır.

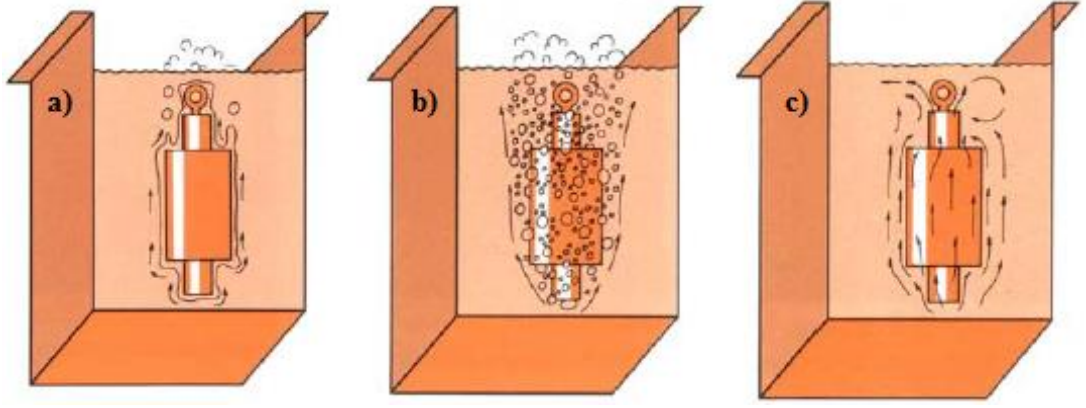


Şekil 1.1 Soğuma evrelerinin sıcaklık-zaman grafiği

Şekil 1.2’ de soğuma evrelerinde gerçekleşen olaylar grafiksel olarak gösterilmiştir. Şekil 1.2 a’ da gösterilen “a” evresi buhar örtüsü veya buhar filmi evresi olarak adlandırılır. Başlangıçta malzemenin sıcaklığı çok yüksek olduğundan, su verme ortamı (polimer + su) buharlaşarak malzemenin üzerinde ince bir buhar filmi oluşturur ve bu film bütün malzemeyi kaplar [1]. Oluşan buhar filminin ısı geçirgenliği veya ısı iletimi iyi olmadığından bu evrede nispeten düşük soğuma hızları elde edilir.

Malzeme buhar filminin kararlı olmadığı bir sıcaklığa kadar soğutulduğunda şekil 1.2 b’ de gösterilen “b” evresi başlar. B evresi buhar taşıma evresi olarak adlandırılır. Su verme ortamı ile metal yüzeyi ıslanır ve ani kaynama meydana gelir. En hızlı soğuma bu evrede gerçekleşir.

Malzeme yüzey sıcaklığı su verme sıvısının kaynama noktasına kadar düştüğünde Şekil 1.3 c’ de gösterilen “c” evresi başlar. Sıvı soğuma aşamasını gösteren bu evre de buhar oluşmaz ve soğuma işlemi ısı iletimi ve taşınımı ile gerçekleştirilir. Ancak soğuma hızı bu evrede en düşük değerdedir.



Şekil 1.2 Soğutma ortamında gerçekleşen soğuma evreleri, a) Buhar örtüsü oluşumu, b) Buhar taşıma evresi, c) Sıvı soğuma aşaması

Salman ve ark. havacılık endüstrisinde yapısal ürünlerin üretiminde kullanılan 7075-T6 Al alaşımının özelliklerinin iyileştirilmesi üzerine yaptıkları bir çalışmada soğutma ortamında %30 polietilen glikol (PAG) çözeltisi ve su kullanılmıştır. Isıl işlem öncesi duruma göre malzemenin PAG çözeltisinde soğutulduğunda %50, suda soğutulduğunda %30 darbe mukavemeti artış elde etmişlerdir. Soğutma ortamına %0,1 boron eklediklerinde termal kararlılığın arttığı araştırmacılar tarafından ifade edilmiştir [2].

Hasırcı, ısıl işlem şartlarının ötektik AlSi döküm alaşımının abrasif aşınma davranışına etkisini incelemiştir. 610 °C sıcaklıkta dökülmüş malzemelere farklı koşullarda ısıl işlem uygulanmıştır. Araştırmacı tarafından ısıl işlem sonrası meydana gelen fazların şekil ve boyutlarının küçüldüğü, buna bağlı olarak mekanik özelliklerin iyileştiği ve aşınma direncinin azaldığı ifade edilmiştir [3].

Gülyüz&Kaçar, tarafından yapılan çalışmada T6 ısıl işlem yöntemini kullanarak deformasyon yaşanmasının AA7075 alüminyum alaşımının mekanik özelliklerine etkisini incelemiştir. Bu yaşlandırma işlemi için, 480 °C sıcaklıkta solüsyona alıp suda soğuttuktan sonra % 8 öndeforme edilerek 140 °C farklı zaman aralıklarında yaşlandırma işlemine maruz bırakılmıştır. 7075 AL alaşımları içeriğinde Al-Zn-Mg-Cu bulundurduğu için farklı ısıl işlem ortamları sayesinde mekanik özellikleri güçlendirilerek, ticari olarak kullanım sağlamıştır [4].

Kobasko ve ark., çevre açısından tehlikeli petrol yağlarının olası olumsuzluklarının ortadan kaldırılmasını sağlayan, yangın riskini azaltan otomotiv parçalarının üretiminde ve proses tasarımcılarına ciddi avantajlar sağlayan yoğun su verme işlemi üzerinde bir çalışma yürütmüşlerdir. Bu yöntem sayesinde, su verme işlemi sonrası oluşan çatlamların azalması, komponent tasarımında daha ucuz çelik kullanıma olanak sağlanması, malzemenin yorulma ve darbe mukavemeti gibi özelliklerinde ciddi oranda iyileşme görülmüştür [5].

Croucher, farklı bir ısıl işlem polimer türü olan Polialkilen glikol kullanarak su verme ortamının, yüksek dayanıma sahip Al alaşımlarının kalınlıklardaki farklılıkları üzerine etkisini incelemiştir. Glikolün daha çok sıcak dövme (özellikle sıcak veya kaynar su verme işlemine tabi tutulanlarda) dövme ürünlerinin fizibilitesinin ve elde edilen sonuçların yararlı olduğu kanaatine varılmıştır. Çalışmanın asıl amacı ise temel su verme yöntemlerini gözden geçirmek ve polialkilen glikollerin kullanımıyla kalın kesit dövme işlemiyle su vermenin teknik olarak mümkün olduğu, sıcak suda daha tutarlı bir ürün sağlandığını göstermiştir [6].

Momoh ve ark., polimerik malzemelerin su verme ortamları üzerindeki etkisini incelemiştir. Su verme işleminde PEG (Polietilen glikol) tercih edilerek, orta karbonlu düşük alaşımlı çeliklerin mekanik ve mikroyapısal değerlendirmeleri yapılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda da sertliğin, polimer miktarının azalmasıyla ve su verme ortamındaki su konsantrasyonunun artmasıyla arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca, darbe direnci ile polimer konsantrasyonu arasında ters bir orantı olduğu da görülmüştür [7]. Mohmmmed, CuO nanoparçacıklarının bazı karbon (C) çeliği özelliklerinde PAG su çözeltisinin su verme ortamına etkisini inceleyerek araştırmacı çalışmalar yürütmüştür. Bu çalışmada çeliğin soğutulması için beş farklı soğutma ortamı kullanılmıştır. Bu ortamlar; su %5 ve %10 PAG su çözeltisi ve %1 CuO nanopartiküllerinin ilavesiyle %5 ve %10 PAG çözeltisi şeklindedir. Ayrıca, yapılan araştırma sonuçlarına göre soğuma eğrileri, su verme ve su vermenin orta C çelikleri için gerilmelerindeki etkisi, CuO eklenmesiyle su verme ortamındaki özelliklerinin kuvvetli bir şekilde geliştiğini, çatlamları azalttığını, istenen mekanik özelliklerinde sağlandığı tespit edilmiştir. Deneysel sonuçlara göre %1' lik PAG su çözeltisi ile %1 CuO nanoparçalarının su vermesinin en iyi mekanik özellikleri gösteren ve en iyi kombinasyon olduğu görülmüştür [8].

Onan&Ünal, tarafından yapılan çalışmada polimer sentezleyicilerinin, soğutma hızını en aza indirebilme özelliği sayesinde malzemedeki bozulma ve çatlamları azaltmaktadır. Bu sebeple araştırmacılar bu konu üzerinde birtakım incelemeler yapmıştır. Çalışmalarında, hava ve PAG' ın 1.2379 ve 1.2080 takım çeliklerinin soğutma üzerindeki etkilerini farklı konsantrasyonlardaki PAG' ları kullanarak (%10, %20, %30) araştırmışlardır. Bu incelemeler sonucunda PAG yüzdesindeki artışla soğutma süresinin arttığı, M_0 ve V' ye sahip 1.2080 takım çeliği, 1.2379' den daha yüksek karbür miktarına sahip olduğu ifade edilmiştir [9].

Elbashbeshy ve ark., yeni bir soğutma ortamı olan nanoakışkanlarla Cu, Ag, Al_2O_3 partikülleriyle birlikte suyla bu malzemeler kullanılarak dış kuvvetlerin varlığıyla da sürekli hareket halindeki silindirin ısı transfer karakteristiklerini ve mekanik özelliklere etkisini incelenmiştir. Ayrıca, zamana bağlı sınır tabaka denklemleri ve benzerlik transformasyonu kullanılarak differansiyel denklemlere dönüştürülmüş ve bu denklemlerin sayısal olarak çözülmesini mümkün kılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, soğutma ortamı olarak nanoakışkan kullanımı sertliği arttırmıştır, bu artışta %10-40 arasında su bazlı akışkan içerisinde nanoparçacık olarak Al_2O_3 kullanılmasının etkili olduğu görülmüştür [10].

Chen ve ark., farklı su verme ortamlarında farklı prob geometrisindeki malzemelerin soğutma hızı eğrileri üzerindeki etkisini incelemiştir. Bu çalışma için su, yağ ve sulu polimer (%14 PAG-su) olmak üzere üç farklı ortamda inceleme yapabilmek adına ISO Inconel 600 alaşımlı prob ve düz bir prob (Boyut: 120 mm x 120 mm x 20 mm, faz dönüşümsüz CrNi-çelik) tercih etmişlerdir. Çalışma sonucun da su ve yağın soğutma eğrilerinin neredeyse aynı olduğunu fakat sulu polimer su vermede ise farklı 2 soğutma eğrisi olduğu görülmüştür. Bunun nedeni ise farklı geometrik şekle sahip 2 prob türünün kullanılması ve bu durumda ters çözünürlüğe katkı da bulunmasıdır. Bu çalışma sayesinde, sulu polimerde su verme sırasında ters çözünürlük özelliğini göstermek için prob geometrik şekline dikkat edilmesi gerektiği öğrenilmiştir [11].

Abdulazeez ve ark., tarafından Al-Si-Mg alaşımlarının hazırlanmasını, polimer çözeltisi ve suyun su verme ortamlarında % 3.5 NaCl de korozyon direnci, yüzey pürüzlülüğü ve mikroyapı gibi özelliklerin bu alaşımlar üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Ayrıca bor ve titanyum elementlerinin bu alaşımlara eklenmesiyle polimer çözeltisinde su verme de korozyon direncinin arttığı ve yüzeyde yumuşaların iyileştiğini tespit etmişlerdir. Polimer çözeltinin, su verme ortamında malzemenin mikroyapısındaki şekil, boyut vs. özelliklerin de homojen bir dağılım sergilediğı görölmüştür [12].

Kobasko, PAG polimerinin çarpılmayı en aza indiren, makine bileşenleri ve aletlerinin sertleştirmesi sırasında çatlak oluşumunu engellemek için ideal bir homojen soğutma ortamı sağladığını öne sürmüştür. İdeal bir soğutma ortamına ragmen zaman zaman sertleştirme prosesi sırasında çarpılmalar oluşabilmektedir. PAG çözeltisinde sertleştirme prosesi sırasında meydana gelen büyük çarpılmanın nedenini açıklamış ve problemin nasıl çözülebileceğı hakkında bilgi öne sürmüştür. Bunun ise martensit dönüşümünün ilk başladığı bölgesel bir alan oluşturan soğuk su akışı ile çözülebildiğini gözlemlemiştir [13].

Al-Murshdy ve ark., yapmış oldukları çalışmada % 35 PAG içinde su verme ve ekstra alaşımlar kullanarak % 3.5 NaCl çözeltisinde termal yaşlandırma sertleştirme davranışı, termal stabilite, korozyon direnci gibi 6061-T6 alüminyum alaşımlarının özelliklerinin iyileştirilmesi üzerinde durmuşlardır ayrıca yapay yaşlandırmanın özelliklere etkisini gözlemlemişlerdir [14].

2. ISIL İŞLEM VE SOĞUTMA ORTAMLARI

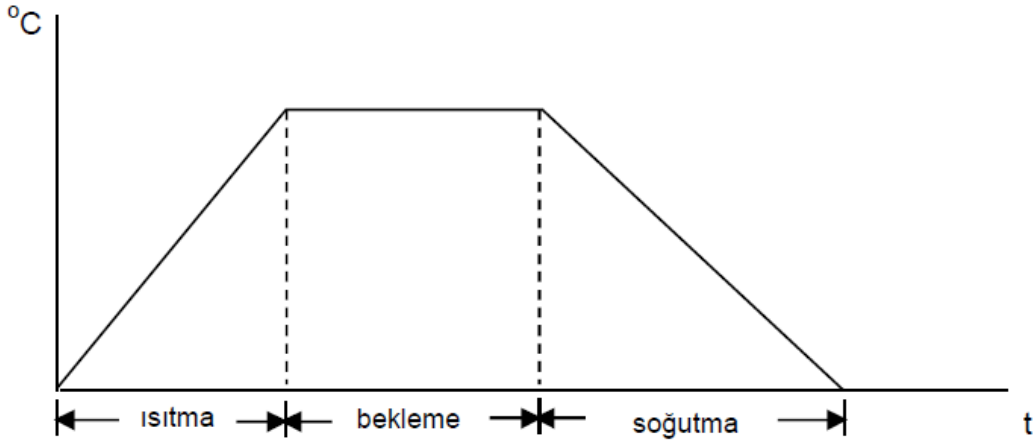
2.1 Isıl İşlem

Metallurjik bir işlem türü olan ısıl işlem; metallerin sertlik ve mukavemet gibi mekanik özelliklerini geliştirmek amacıyla uygulanan işlemlerin genel adıdır. Diğer bir ifadeyle, metal ve alaşımlara istenilen özellikleri kazandırmak amacıyla katı halde uygulanan kontrollü ısıtma ve soğutma işlemleri olarak tanımlanır. Uygun bir ısıl işlem için kontrollü ve hassas şekilde uygulanması çok önemlidir.

Isıl işlemde uygulanan prosesin genel şeması Şekil 2.1' de verilmiştir. Isıtma, malzemelerin gerekli sıcaklığa kadar ısıtılması ve istenilen yapısal değişikliklere ulaşmaya kadar bu sıcaklıkta bekletilmesidir. Isıtma sıcaklığı yeterli seviyede homojen bir yapı elde edilmesine olanak sağlayacak ancak tane büyümesine imkan vermeyecek düzeyde olmalıdır. Isıl işlem sırasında sıcaklıkla birlikte oluşan enerji faz dönüşümünde harcanır ve işlem sırasındaki bekleme süresi bu nedenle çok önemlidir. Bekleme süresi kısa olursa faz dönüşümü gerçekleşmez. Bekleme süresi uzun olursa, kristal yapıda tane büyümesi gerçekleşecek ve büyük taneler malzemenin sertlik ve çekme dayanımı gibi mekanik özelliklerini düşürecektir. Bu nedenle bekleme süresinin optimum süre de gerçekleşmesi oldukça önemlidir. İdeal bekleme süresi yaklaşık olarak 1 saat/mm' dir. Malzemede ısıtma ortamında gerekli yapısal dönüşüm sağlanacak kadar bekletildikten sonra, istenilen özellikler doğrultusunda uygun ortamda soğutma yapılır. Soğutma hızına ve soğutma ortamına bağlı olarak malzemenin özelliklerini belirleyen yapısal dönüşümler olur. Sertlik ve mikroyapı gibi istenilen özelliklerin elde edilmesi, ısıtma ve soğutma ortamının doğru seçilmesine bağlıdır. Parça da meydana gelecek çarpılmaların ve çatlamların önlenmesi daha yavaş bir soğutma hızının seçilmesini gerektirmektedir. Ancak bu defa da yavaş soğumaya bağlı olarak istenilen sertlik ve mikroyapı elde edilemeyecektir. İstenilen sertlik değerinin ve diğer özelliklerin elde edilmesi, 1- Soğutma hızı, 2- Soğutma ortamı, 3- Tavlama zamanı, 4- Karbon içeriği, 5- Ürün geometrisi ve ölçüleri' ne bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

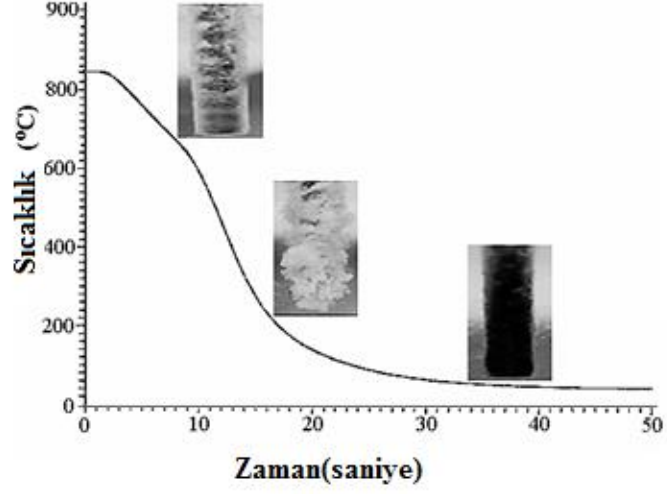
Su verme sertleştirmesinde kullanılan soğutma ortamları, 1- İş parçasıyla reaksiyona giren, 2- İş parçasını ısıtma ve soğutma amaçlı kullanılan ortamlar olarak iki gruba ayrılır. İş parçasıyla reaksiyona giren ortamlar sementasyon işleminde olduğu gibi katı, sıvı ve gaz halinde olabilir. Genellikle ısı transferi amacıyla kullanılan ve iş

parçasını soğutmak amacıyla kullanılan soğutma ortamları ise sıvılardan oluşmaktadır.

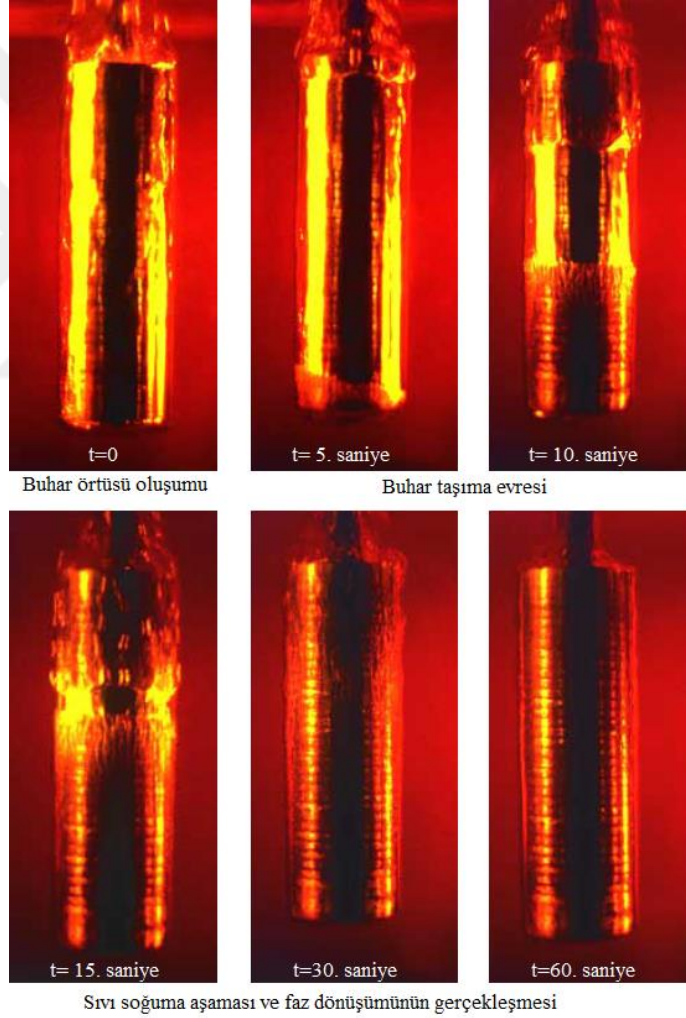


Şekil 2.1 Isıl işleminde uygulanan prosesin genel şeması

En sık kullanılan soğutma ortamı yağlardır. Yağların sahip olduğu soğutma karakteristiği ve soğutma hızı, özellikle alaşımli çeliklerin soğutma ortamı için uygundur. Yağ ve su soğutma ortamları kıyaslandığında, buhar aşaması yağda daha uzun, kaynama aşaması ise daha kısa olarak gerçekleşmektedir. Suyu oranla yağ soğutma ortamında, çarpılma ve şekilsel bozukluklar daha az olarak gerçekleşmektedir. En ucuz soğutma ortamı sudur. Su soğutma ortamının da, soğutmanın ilk aşamasında oluşan buhar kılıfı nedeniyle homojen bir soğuma gerçekleşmemekte ve malzemede farklı gerilmelere sebep olmaktadır. Ancak sağlık ve güvenlik sorunlarına yol açmaması su soğutmanın en büyük avantajıdır. Soğutma hızı sıcaklığa bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Soğutma hızının değişken olması çatlama ve çarpılma riskini yükseltir. Parçanın soğutma hızını düzenlemek için soğutma hızı su ve yağ arasında yer alan Polivinilalkol, Polialkalinglikol vb. gibi ısı işlem polimerleri kullanılmaktadır. Bu polimerler sayesinde malzemede bozulmalar en aza iner ve iyi derece boyutsal kararlılık sağlar. Şekil 2.2’ de gösterildiği gibi oda sıcaklığında çözünen ısı işlem polimerleri 74 °C’ nin üzerinde polimer film şeklinde numune yüzeyine çökerek malzemenin soğuma hızını düzenlemektedirler [15,16,17].



a)



b)

Şekil 2.2 Isıl işlem polimerlerinde soğutma işlemi, a) Sulu PAG çözeltisinde su verilme esnasında gerçekleşen olaylar b) Zamana bağlı olarak sulu PAG çözeltisinde gerçekleşen olayların fotoğraflanması [18].

Çeliklerin karbon miktarı, alaşımli çeliklerde alaşım elementinin miktarı ve türü malzemelerin ısıtılma sonrası sertliğini etkilemektedir. İzotermal dönüşüm diyagramlarına göre martensitik bir yapı elde etmek için çok hızlı bir soğutma gerekmektedir. Düşük ve orta karbonlu çeliklerde suda soğutma, hızlı soğutma amacıyla uygulanan bir yöntemdir. Yüksek karbonlu ve alaşımli çelikler için soğutma ortamı olarak genellikle yağ kullanılmaktadır. Bazı alaşım türleri içinse havada soğutma ortamı uygun olmaktadır. Farklı soğutma hızlarına sahip ortamlarda, aynı kimyasal içeriğe sahip malzemeler için farklı sertlik değerleri elde edilmektedir. Metal ve alaşımlara uygulanan ısıtılma işlemleri genellikle üç grupta incelenir. Bunlar, 1- Tavlama, 2- Temperleme (Meneviş, gerilim giderme veya ıslah etme vb.), 3- Sertleştirme işlemi olarak sınıflandırılabilir.

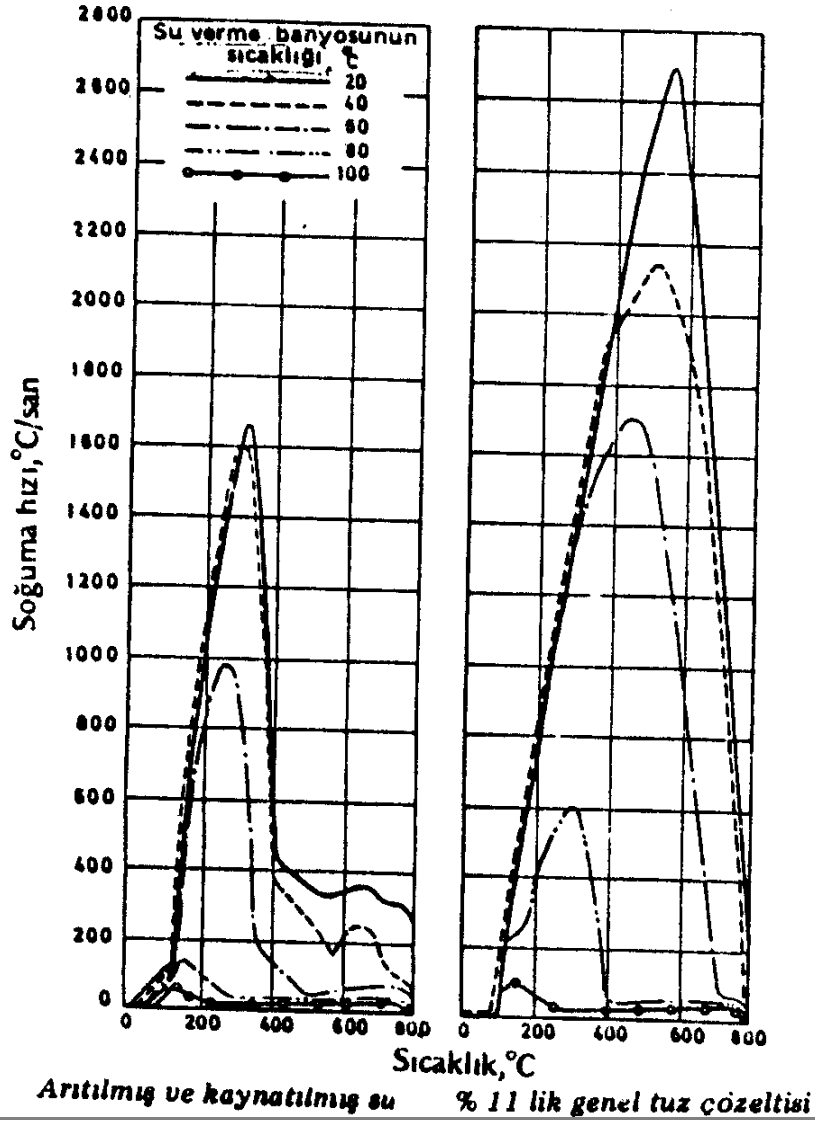
2.2 Sertleştirme

Sertleştirme, kritik bir sıcaklıkta veya üzerinde bir çelik veya alaşımların ısıtılması ve daha sonra uygun bir soğutma ortamında soğutma işleminin yapılması olarak açıklanabilir. Sertleştirme işlemi için ısıtılma ortamı olarak; 1- Tuz banyosu fırınları, 2-Gaz veya yağla ateşlenen mufl fırınları, 3- Elektrikle ısıtılan fırınlar, 4-Kontrollü atmosferler, 5- Vakum sertleştirme kullanılmaktadır [19].

Isıtılma sürecinde karbürizasyon ve dekarbürizasyon önlenmelidir [19]. Bu nedenle malzemeler koruyucu gaz altında ya da tuz banyosunda sertleştirme sıcaklığına ısıtılırlar. Ostenitleştirme sıcaklığı olarak bilinen bu sıcaklıkta, yeterli homojenlikte ostenit oluşumu meydana gelene ya da yapıdaki karbürler yeteri kadar çözülene kadar beklenmelidir. Isıtılma sonrası, martensit oluşumu için gerekli üst kritik soğutma hızını aşacak şekilde ani soğutma yapılır. Soğutma hızının, ostenitin kısmen ya da perlit ve ara kademe beynit oluşumuna imkan vermeyecek uygun bir soğutma ortamıyla sağlanması gerekmektedir [20]. Soğutma ortamı olarak su, yağ, su ve yağ karışımı, özel ilaveler içeren su (ısıtılma işlem polimerleri), hava, tuz banyoları kullanılmaktadır [19].

2.3 Suda Soğutma

Su sertleştirme işlemi için kullanılan en eski soğutma ortamıdır. Ancak en fazla soğutucu etkisi 300 °C olan saf su uygun bir soğutma ortamı değildir. Bu sıcaklık pek çok çelik türü için martensit dönüşümün başlama sıcaklığıdır. Su içerisine %10 tuz veya soda ilavesi suyun soğutma kapasitesini artırarak, ısı çıkarma kapasitesini 500 °C' ye çıkartır. Su sıcaklığında soğutma kapasitesi üzerinde etkili olmaktadır. Şekil 2.3' te su sıcaklığının 60 °C üzerine çıkması durumunda, soğutma kapasitesinde meydana gelen hızlı düşmeyi göstermektedir. Su sıcaklığı 20-40 °C aralığında soğutma işleminden en iyi sonuç elde edilmektedir.

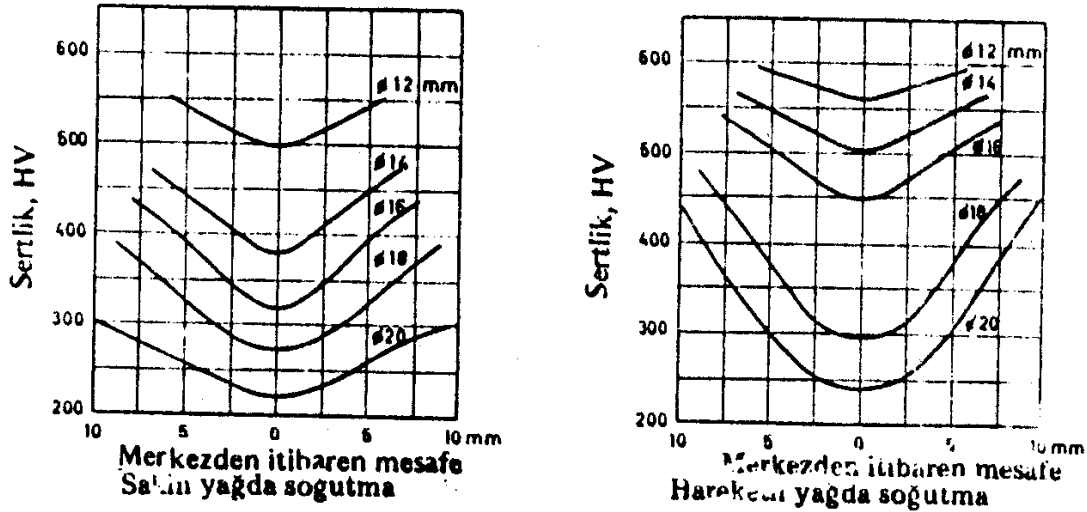


Şekil 2.3 Saf su ve tuzlu suyun soğutma kapasitelerinin karşılaştırılması [19].

Su soğutma ortamının en önemli özelliği, martensit dönüşüm sıcaklık aralığında soğutma hızının çok yüksek olmasıdır. Bu sıcaklık aralığında çelikte faz dönüşümünü ve termal gerilmeler meydana gelmektedir. Bu durum çelikte çatlak oluşma tehlikesini arttırmaktadır. Çatlak oluşumu 200-400 °C' ye kadar soğutulan çeliğin sudan alınarak aniden yağ banyosuna konulmasıyla azaltılabilir. Genellikle bu durum yağda sertleştirilen az alaşımlı çeliklerde sertleştirme derinliğinin artırılmasının basit bir yoludur [19].

2.4 Yağda Soğutma

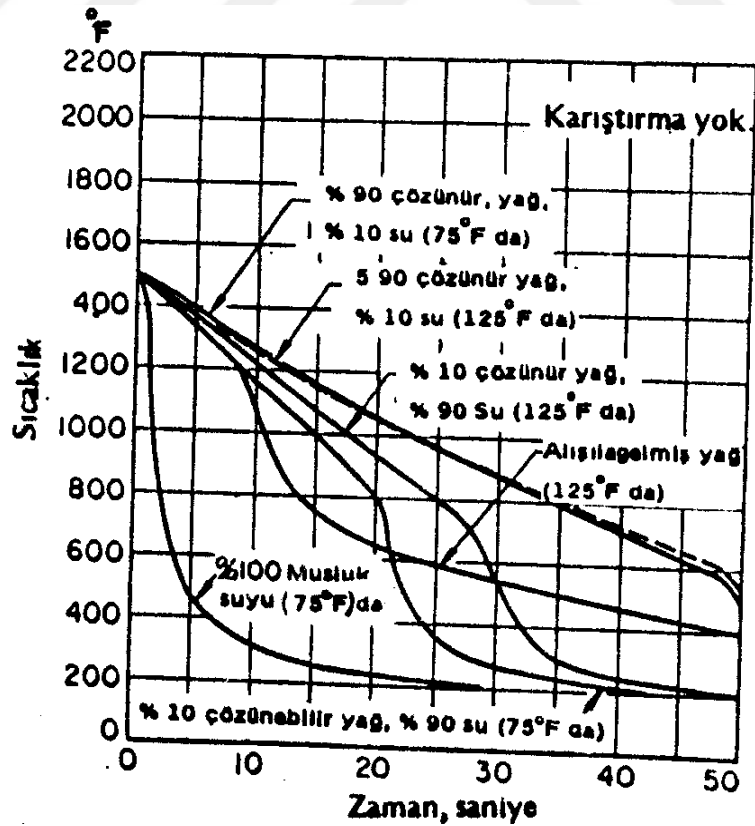
Su soğutma ortamına oranla yağda soğutma daha yavaş olarak gerçekleşmektedir. 600 °C' de en yüksek olan soğutma hızı, martensit oluşum bölgesinde ise oldukça düşüktür. Orta alaşımlı çelikler için kullanımı, yağın ısı kapasitesinin düşük olması nedeniyle ince kesitlerle sınırlandırılmıştır. Yağın soğutma kapasitesinin artırılmasının en güvenilir yolu, banyonun veya şarjın karıştırma hızının yüksek oranlarda artırılmasıdır. Yağın soğutma kapasitesini arttırmada kullanılan diğer bir yöntem ise, sıcaklığın 50-80 °C' ye çıkarılmasıdır. Bu işlemle yağın akıcılığı artacağı için, soğutma kapasiteside artmaktadır. Şekil 2.4' te soğutma esnasında yağın karıştırılmasının sertleştirme derinliğine etkisi gösterilmiştir.



Şekil 2.4 60 C yağ sıcaklığında %5 karbonlu bir çeliğin sertleştirilmesi, a) Sakin yağda soğutma, b) Hareketli yağda soğutma [19].

2.5 Su ve Yağ Karışımıyla Hazırlanan Soğutma Ortamı

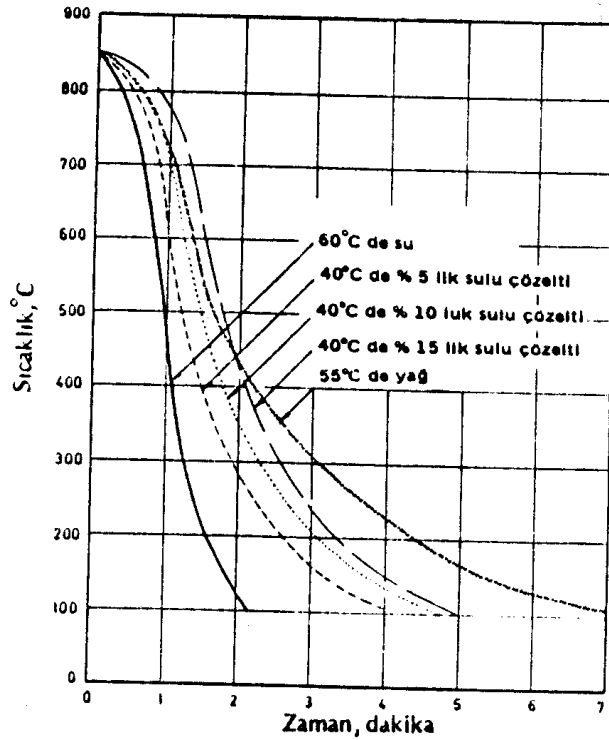
Su ve suda eriyen yağın farklı oranlarda karıştırılmasıyla, farklı soğutma kapasitesine ve yağa oranla daha düşük kaliteye sahip ortamlar elde etmek mümkündür. Bu tür ortamlarda 350 C civarında karışımın soğuma kapasitesi yağinkini geçmeye başlar. Martensit dönüşümü genel olarak bu sıcaklık civarında başladığı için bu durum bir olumsuzluk oluşturmaktadır. Ortamın soğutma kapasitesini arttırmak için yağ içerisine su ilavesi dikkatli bir şekilde yapılmalıdır. Aksi takdirde, merkezden önce yüzeyde gerçekleşen martensit oluşumu, yüzeydeki gerilmeleri arttıracak için çelikte çatlak oluşumu başlayacaktır. Ortama su ilavesinde, su ve yağ doğru bir şekilde emilsiyon haline getirilmezse, tankın dibinde toplanan su hızlı ısıtma sonucunda buharlaşarak patlamaya neden olacaktır. Bu durumu önlemek için, tercihen camdan yapılmış dar bir boru uç kısmı geçici olarak kapatılarak tankın dibine daldırılır. Tankın dibine daldırıldıktan sonra borunun uç kısmı açılarak su verme sıvısının borunun içerisinde yükselmesine izin verilir. Sonrasında boru tekrar kapatılarak dışarı alınır ve sıvı içeriği incelenir. Şekil 2.5’ te su, yağ ve su-y yağ karışımının soğutma kapasitesi karşılaştırılmıştır.



Şekil 2.5 Su, yağ ve su-y yağ karışımının soğutma kapasitesinin karşılaştırılması [19].

2.6 Isıl İşlem Polimerlerinde Soğutma

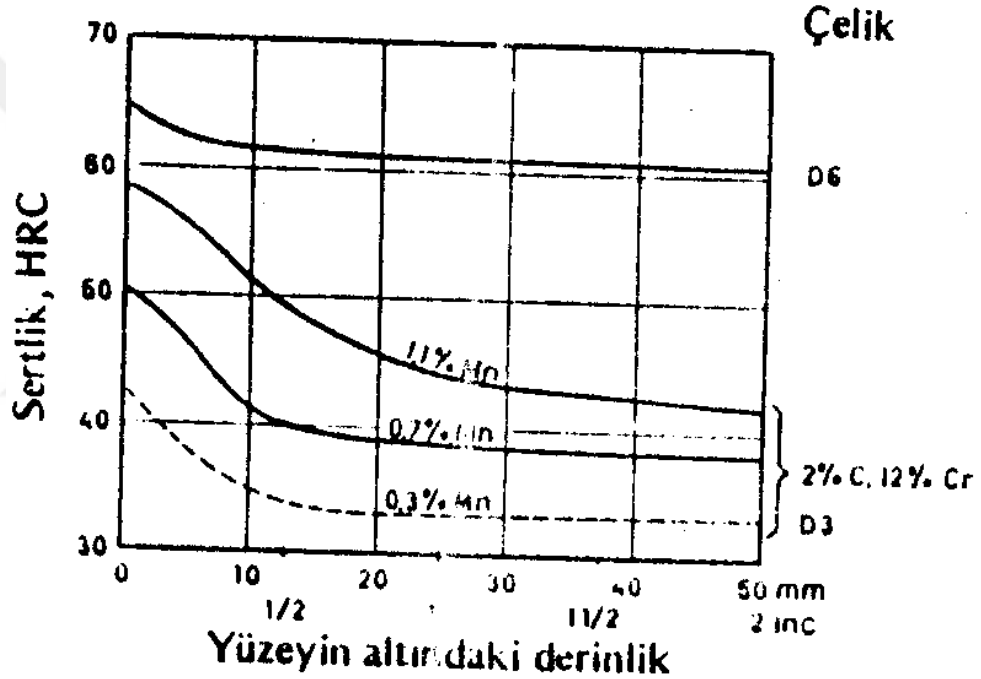
İdeal soğutma ortamı, çeliği martensit dönüşüm sıcaklığına (M_s) kadar hızlı soğutmalı ve sonrasında oda sıcaklığına ya da banyo sıcaklığına kadar oldukça yavaş bir şekilde soğutmalıdır. Suya ısıl işlem polimerleri olarak adlandırılan kimyasalların ilavesiyle, ideal soğutma ortamını sağlayan şartları elde etmek mümkündür. Isıl işlem polimerlerinin %2 oranında suya ilavesiyle, malzeme sertlik azalma sözü konusu olmaksızın çatlama riski ortadan kaldırılmaktadır. Isıl işlem polimerlerinin suya %15 oranında ilave edilmesiyle, yağ ortamında yapılan soğutmaya benzer bir soğutma ortamı elde edilmektedir. Isıl işlem polimerlerinin en önemli avantajlarından biri, yangın tehlikesini ortadan kaldırmasıdır. Isıl işlem polimerlerinin kullanıldığı su verme ortamlarında sakın banyoların sıcaklığının 30 C° nin, hareketli banyolarda ise 45 C° nin üzerine çıkmaması gerekmektedir. İşlem sırasında banyonun PH' sının $7,5$ ' den daha aşağı düşmemesi için, banyoyu nötr yapacak ilavelerin ortama eklenmesi gerekmektedir. Aksi takdirde malzemelerde korozyon sorunu ortaya çıkacaktır. Şekil 2.6' da farklı oranlarda ısıl işlem polimeri katılmış $\text{Ø}70$ mm çapındaki bir çubuğa ait soğuma eğrilerinin karşılaştırılması verilmiştir.



Şekil 2.6 Farklı oranlarda ısıl işlem polimeri katılmış soğutma ortamlarında $\text{Ø}70$ mm çapındaki bir çubukta meydana gelen soğuma eğrileri [19].

2.7 Havada Soğutma

İnce kesite sahip az alaşımlı ya da yüksek alaşımlı çelikler, basınçlı havada ya da sakin havada başarılı bir şekilde sertleştirilmektedir. Distorsiyonu ihmal edilebilir düzeye indirmesi, çeliğe soğutma sırasında doğrultma işleminin kolayca uygulanabilmesi hava ile soğutmanın avantajları arasında sayılabilir. Soğuma esnasında parça yüzeyinin oksitlenmesi ise hava ile soğutmanın dezavantajı sayılabilir. Hava ile soğutmada, parça sabit basınçlı bir hava akımına döndürüldüğünde düzenli bir şekilde soğumalıdır. Şekil 2.7’ de farklı oranlarda Mangan (Mn) içeren çeliklerin havada sertleşebilirliklerinin karşılaştırılması verilmiştir.

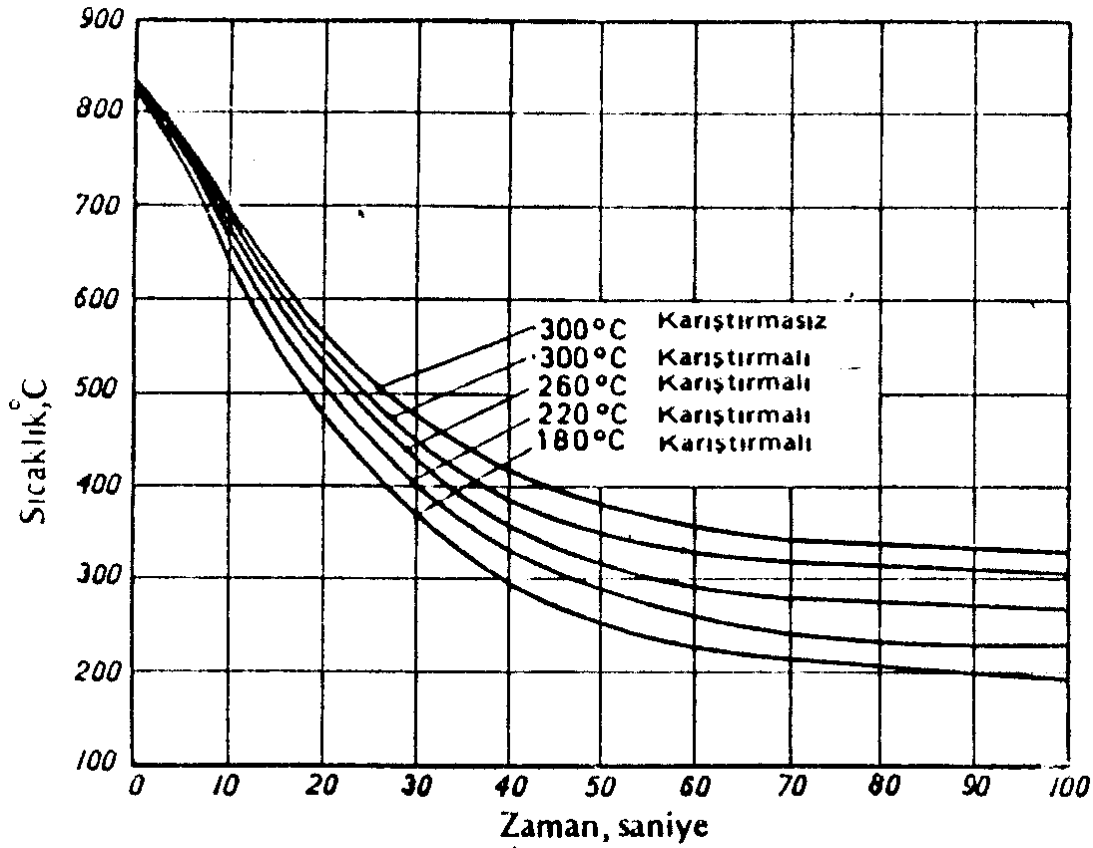


Şekil 2.7 Farklı oranlarda Mn içeren çeliklerin havada sertleşebilirliğinin karşılaştırılması [19].

2.8 Tuz Banyosunda Soğutma

Genellikle yarı yarıya sodium nitrat ve potasyum nitrat içeren tuz banyoları soğutma amacıyla yağın bir kullanım alanına sahiptir. Bir tuz banyosu, iyi bir sertleşebilirliğe sahip bir çelik için ideal bir su verme ortamıdır. Soğutulmak istenen parça her bir mm kalınlığı bağlı olarak, 2-4 dakika arasında tuz banyosunda tutulmalıdır. Tuz banyosunda, düşük sertleştirme sıcaklıkları ve ince kesitli parçalar daha kısa, yüksek sertleştirme sıcaklıkları ve ağır parçalar daha uzun sürelerde tutulmalıdır.

Kullanım sıcaklığı 160-500 °C olan tuz banyolarının 500-600 °C de kullanılan türleri de mevcuttur. 500 C' ye kadar olan tuz banyolarının soğutma kapasiteleri oldukça yüksektir ve çeliğin sıcaklığı düşükçe soğutma kapasitesi azalmaktadır. Banyoun sıcaklığı ne kadar düşükse, hareketliliği o oranda yüksektir. Yüksek hareketliliğe ve düşük sıcaklığa sahip banyoların soğutma kapasitesi daha iyidir. Şekil 2.8' de paslanmaa çelik çubukların martemperlemesinde, banyo sıcaklığının soğuma hızına etkisi gösterilmiştir. Tuz banyosunun kirlenmesi, banyonun soğuma etkisini azaltmaktadır. Kirli banyolar karıştırıldığında yabancı partiküller sıvı banyoda süspansiyon halinde kalırlar. Parçaya yapışma eğilimi gösteren bu partiküller, parçadan ısı iletimini de engellemektedir. Kirli banyolarda, empüritelerin dibе çökmesine izin verilmeli ve soğutulmak istenen parça temizlenmiş banyo kısmında hızlı bir şekilde hareket ettirilmelidir.



Şekil 2.8 Paslanmaz çelik çubukların martemperlenmesinde banyo sıcaklığının soğuma hızına etkisi [19].

Tuz banyosunun soğutma kapasitesi banyoya %0,3-0,5 oranında su ilavesiyle arttırılabilir. Bu oranlardaki su ilavesi banyonun soğutma kapasitesini iki katına çıkarabilir. Suyun buharlaşarak tuz banyosundan ayrılacağı göz önünde bulundurularak, belirli aralıklarla tuz banyosuna, sirkülasyon pompası ile oluşturulan girdap içerisinde su ilavesi yapılmalıdır. Bu şekilde su herhangi bir patlama tehlikesi olmaksızın tuz banyosunda erimektedir. Su ilavesi sonrası banyodaki mevcut su miktarı hidrometre ile ölçülerek banyonun yoğunluğu kontrol edilmelidir. Tuz banyosundaki su varlığı, şarjın tuz içerisinde aşağıya doğru indirilmesi sırasında çıkan buharın meydana getirdiği cız sesi ile anlaşılır. Buhar çıkışı banyo yüzeyinde bir karıştırma hareketide sağlamış olur. %10' dan fazla siyanür içeren bir siyanür banyosunda ısıtılmış olan parçalara, patlama tehlikesinden dolayı nitrit-nitrat' tan oluşan bir tuz banyosunda su verilmemelidir.

Çeliğin yüzeyindeki çok kalın bir kabuk tabakası, parçanın soğuma hızını azaltmaktadır. Benzer bir etkiyi, çeliğe tuz banyosunda yapışan tuzda göstermektedir. Dökme demir talaşı ile paketlenmiş bir halde ısıtılmış olan çelik parçaların yüzeylerindeki oksit tabakası soğuma hızını, kabuk tabakası yada tuz yapışmasına oranla oldukça az olarak etkilemektedir.



3. ALÜMİNYUM VE ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI

3.1 Alüminyum

Feldspat, kil, boksit gibi 250 değişik mineral halinde yer kabuğunun %8' ini oluşturan alüminyum (Al) günümüzde demir-çelikten sonra en çok üretilen ve kullanılan bir malzeme olmuştur. Bakır ve çeliğe oranla sahip olduğu düşük yoğunluk, yüksek iletkenlik, iyi korozyon direnci, kolay şekillendirilebilmesi (dövme, haddeleme, çekme, presleme vb), alüminyumun endüstriyel olarak önemini arttırmaktadır. Ana metali alüminyum olan ve hafif alaşımlar olarak da adlandırılan bu malzemeler zehirli değildir ve manyetik etkisi yoktur. Bu sebeple gıda ve ilaç sanayinde koruma maddesi olarak kullanılmaktadır. Hava şartlarına, birçok sıvı ve gazlara karşı dayanımı da yüksek olan Al malzemeler kıvılcım çıkarmazlar. Döküme elverişli olan bu alaşımlar Saf halde yumuşak ve düşük mekanik özelliklere sahip olan Al, alaşımlandırma işlemleri ile çelik özelliklerine sahip olabilmektedir [21, 22].

Al metali kesildiği zaman gümüş parlaklığındadır ve havada bekletildiğinde ise ince bir koruyucu oksit filmiyle kaplanır. Eloksal işlemi ile korozyon direnci artırılabilir ve istenilen tonda renklendirilebilir.

İlk zamanlarda mutfak ürünleri ve dekoratif eşyalar için kullanılırken, 2. Dünya Savaşı'ndan sonra alüminyum döküm endüstrisi yaygınlaşmaya başlamıştır. İnşaat, otomotiv, ulaşım, gıda ve kimya sanayinde yoğun olarak tüketilen Al, uzay ve havacılık alanındaki kullanımı ile tüm dünya da stratejik olarak önem kazanmıştır. Bunun yanı sıra toz halinde boya ve vernik yapımı ve alüminotermide kullanımı da bu metalin önemini arttırmaktadır.

3.2 Alüminyum Standartları ve Sınıflandırmalar

Al ve Al alaşımlarının standartlaştırılmasında, milli ve özel kuruluşlar tarafından kullanılan pek çok standart mevcuttur. Ülkemizde standartlaştırma işlemleri Türk Standartları Enstitüsü (TSE) tarafından yapılmaktadır. Ancak ülkemizde faaliyet gösteren Seydişehir Alüminyum Tesisleri' de "Etial = Eti Normu" adı altında özel bir standartlaştırma uygulamaktadır. Genel olarak alüminyum ve alaşımları:

- İşlem alaşımları
- Döküm alaşımları

- Toz metal

olmak üzere üç grupta incelenmektedir. Aşağıda verilen tablo 3.1’ de TSE tarafından yapılan bazı standartlara örnek verilmiştir.

Çizelge 3.1 Al ve Al alaşımlarının TSE tarafından sınıflandırılmasına örnek.

TSE Standart No	Standart Açıklaması
TS 709	Alüminyum levha, şerit, oluklu saclar
TS 128	Alüminyum külçeler
TS 1629	Talaşlı işlenenler
TS 2349	Alüminyum alaşımları, vb.

ABD kuruluşlarından The Aluminium Association işlem alaşımlarına 1XXX, 2XXX, 3XXX ... 8XXX gibi seri numaraları vermiş ve dünyada ASA gibi pek çok kurum ve kuruluşta bu sınıflandırmayı benimsemiştir.

Saf Al kolayca değerli alaşımlar haline getirilebilir. Alaşım katkı maddelerinin başlıca, bakır, magnezyum, silisyum, çinko ve mangandır. ASA ya da AA sınıflandırmasında sınıfların önemli özellikleri ve genel kullanım yerleri aşağıdaki gibidir:

1XXX Serisi: Saf ya da çok az alaşım elemanı bulunduran malzemeler olup, levha, folyo ve profil haline kolayca getirilebilir. Derin çekme işlemine de uygundur. Yoğun olarak elektrik ve kimya endüstrisinde kullanılmaktadır. Kullanım yerlerine EC grubu iletkenlerin yapımı, diğerleri fazla dayanım istemeyen korniş, kapı, pencere profili, folyo, mutfak eşyaları ve çeşitli eşyanın yapımı örnek olarak verilebilir.

2XXX Serisi: Bu serideki temel alaşım elementi bakırdır. Isıl işlem gerektirir. Sertleştirilen alaşımın çekme dayanımı artar, iyi işlenirler. Çekme dayanımı 490 MPa (490 N/mm²) yaklaşır. Korozyon direnci azdır, galvanik engellemeyi gerektirebilir. Başlıca otomotiv, vagon, uçak ve mühimmat sanayiinde yüksek dayanım ve hafifliğin gerekli olduğu yerlerde kullanılmaktadır.

3XXX Serisi: Ana alaşım elemanı %1-1.5 dolaylarında mangandır. Çok az miktarlarda demir ve silisyum da alaşımı karakterize eder. Orta dayanımlı, iyi işlenebilen alaşımlardır. Daha çok tanklar, toplama kapları, karavanlar yapımında ve diğer levha çalışmalarında kullanılırlar.

4XXX Serisi: Ana alaşım elemanı silisyumdur. Düşük ergime sıcaklığı, esneklik ve dekoratif görünüm bu serinin önemli özellikleridir. Lehim teli, mimari uygulamalar ve radyatör dilimleri başlıca kullanım yerleridir.

5XXX Serisi: Etkili alaşım elemanı magnezyumdur. Yüksek çekme dayanımı, sertlik, aşınma direnci, deniz atmosferine karşı korozyon direnci ve iyi kaynak edilebilirliği önemli özellikleridir. Soğuk şekillendirmeye uygun düşmez. Sertlik ve dayanım istenilen özel konsüüksiyonlar için kullanılmaktadır.

6XXX Serisi: Bu seriyi silisyum ve magnezyum beraberce karakterize eder. Orta derecede mekanik dayanım, iyi şekillendirilme. Isıl işleme yatkınlık ve korozyon direnci önemli özellikleri olup bu seri alaşımlar ilaç, kimya ve gıda sanayilerinde, ambalajlama ve makina parçaları (otomat parçaları gibi) imalatında kullanılmaktadır.

7XXX Serisi: Ana katkı maddesi olan çinko % 5 dolaylarında kullanılır ve alaşımlara çok yüksek çekme dayanımı verir. Tavan vinçleri, kamyon kasaları, vidalı makina parçaları, uçak, roket ve mühimmat sanayi parçaları başlıca kullanım yerleri olmaktadır.

8XXX Serisi: %2 dolaylarında alaşım katkı maddesi olan lityum seriye hafiflik, yüksek çekme ve akma dayanımı sağlar. Uzay ve havacılık sanayiinde kullanılmaktadır. Yüksek yorulma dayanımına sahiptirler [20, 23].

3.3 İşlem Gösterilişleri ve Temel İşlemlerin Açıklanması

Al ve Al alaşımlarına uygulanan işlemlere göre bir harfle gösterim yapılmaktadır. Çizelge 3,2' de harf ve temel işlemler, Çizelge 3,3' te ise bu temel işlemlere ait alt bölümler ve anlamları çizelge şeklinde verilmiştir.

Çizelge 3.2 Al ve Al alaşımları için harf ve temel işlemlerin gösterimi.

Harf	Temel İşlem
F	Üretildiği gibi
O	Tavlanmış – Yalnız işlem alaşımları
H	Gerilim – Sertleştirilmiş (soğuk işlenmiş)
W	Çözelti ısıt işlemleri uygulanmış – Doğal kaynaklar
T	F, O ve H dışındaki etkileri meydana getirmek için ısıt işlemleri görmüş

Çizelge 3.3a Al ve Al alaşımlarının temel işlemlerine ait alt bölümler.

Harf	Anlamı
EC	Elektrik iletimi işlerinde kullanılan alüminyum içindir. Saflık derecesi en az % 99.45 tir. Çok az bakır ve bor içerir. Safsızlıklar çok sıkı denetlenir.
O	Tavlanmış, yenilenmiş (yeniden kristalleşmiş) alaşımlar için kullanılır, en yumuşak durumu belirtir.
F	Alaşımın üretildiği durumda olduğunu belirler.
H	Yalnızca gerilim sertleştirilmesi ile sertleşebilen alaşımlara uygulanır.
H1	Gerilim sertleştirilmiş (soğuk işlenmiş) durumu belirtir. Bunu izleyen 1...8 rakamları gittikçe artan sertlik anlamı taşır
H2	Gerilim sertleştirilmiş ve kısmen yenileme süreci uygulanarak yumuşatılmış sertlik durumunun belirtilmesi gereken alaşımlar için bir ikinci rakam kullanılır. Örnek: H24 = yan sert.
H3	Magnezyumlu gerilim sertleştirilmiş alaşımlar.
W	Çözelti ısıt işlemleri, sonra doğal yaşlandırılmış.

Çizelge 3.3b Al ve Al alaşımlarının ısıt işlemlerine ait alt bölümler.

Harf	Anlamı
T1	Sıcak işlenmiş, soğutulup doğal yaşlandırılmış (döküm ve sıcak ekstrüzyon), esas itibariyle kararlı durum.
T2	Tavlanmış alaşım (yalnız dökümler).
T3	Çözelti ısıt işlemi sonunda soğuk işleme sertleştirilmiş, daha sonra yaşlandırma uygulanabilir.
T4	Isıt işlem sonu doğal yaşlandırılmış.
T5	Yalnızca yapay yaşlandırma, döküm ve sıcak ekstrüzyon sonucu yaşlanma olursa kullanılabilir.
T6	Çözelti ısıt işlemi ve yapay yaşlandırma uygulanmış.
T7	Çözelti ısıt işlemi, sonra kararlı duruma getirilmiş.
T8	Çözelti ısıt işlemi, soğuk işleme ve yapay yaşlandırılmış.
T9	Isıt işlem, yapay yaşlandırma ve soğuk işlenmiş alaşım.
T10	Birbirini izleyen kısmi çözündürme ısıt işlemi, yapay yaşlandırma ve soğuk işleme görmüş alaşımlardır.

3.4 Alaşım Elementlerinin Alüminyum Özelliklerine Etkileri

Bakır (Cu): Genel olarak ağırlıkça % 2-10 Cu içeren alüminyum-bakır alaşımları ve diğer katkılarla birlikte önemli bir Al alaşım türüdür. Hem dövme hem de dökme alüminyum-bakır alaşımları, çözelti ısıt işlemine ve daha sonra yaşlandırma işlemiyle sertlik ve mukavemette artışa, uzamada ise azalmaya neden olur. Elektrik ve ısı iletkenliğiyle birlikte, yorulma dayanımı ve korozyon direnci oldukça yüksektir.

Çinko (Zn): Diğer alaşım elementleriyle birlikte kullanıldığında işlenebilirliği, haddeleme ve çekme dayanımını arttırmaktadır. Suyla reaksiyona girerek eriyen türleri zehirlidir. % 3 çinkodan daha az oranda çinko kullanımında gözle görülür bir etki göstermezler. Fakat içerisindeki çinko miktarı arttıkça, alaşım sıcak çatlama ve soğuma çekmesi davranışında bulunur, korozyon önleyici olarak kullanılabilir.

Demir (Fe): Kullanım miktarına göre alaşımların bazılarında sertlik ve dayanımında arttıya neden olabilirken dökümlerin sıcak çatlama davranışını azaltır.

Nikel (Ni): Sıcaklığın yüksek olduğu noktalarda boyutsal kararlılık ve aşınma direncini arttırmaktadır.

Magnezyum (Mg): Uzay ve havacılık sanayisinde yaygın olarak kullanılan bir alaşım türüdür. Katı çözelti sertleştirme meydana getirir, dökümleri zordur ve yüksek aşınma direncine sahiptir. Al-Si alaşımlarının dayanımını arttırmayı, Mg₂Si alaşımını oluşturarak sağlamaktadır.

Mangan (Mn): Alaşımların tokluk ve süneklik özelliklerini arttırarak çekmeyi azaltır, demirle birlikte kullanılarak daha iyi dökülebilirliği sağlar.

Silisyum (Si): %13'den daha fazla silisyum kullanımı olursa alaşımların işlenmesinde zorluk meydana gelmektedir. Silisyum eklenmesiyle, korozyon direncinde ve akışkanlıkta artış gözlemlenirken sıcak çatlama eğilimini azaltır.

Krom (Cr): Tane yapısını küçültebilir ve korozyon direncini artırabilirler.

Fosfor (P): Bu element ötektik altı Al-Si alaşımlarında silisyum parka boyutunu büyütürken, ötektik üstü alaşımlarda ise küçültmektedir.

Titanyum (Ti): TiB₂ veya bor ile kullanıldığında tane küçültme etkisi yapar ve dayanımı arttırır.

Lityum (Li): Kırılma tokluğu sağlayan lityum aynı zaman da yüksek yorulma ve çatlak büyüme direnci sağlamaktadır.

3.5 Alüminyum ve Alüminyum Alaşımlarının Isıl İşlemi

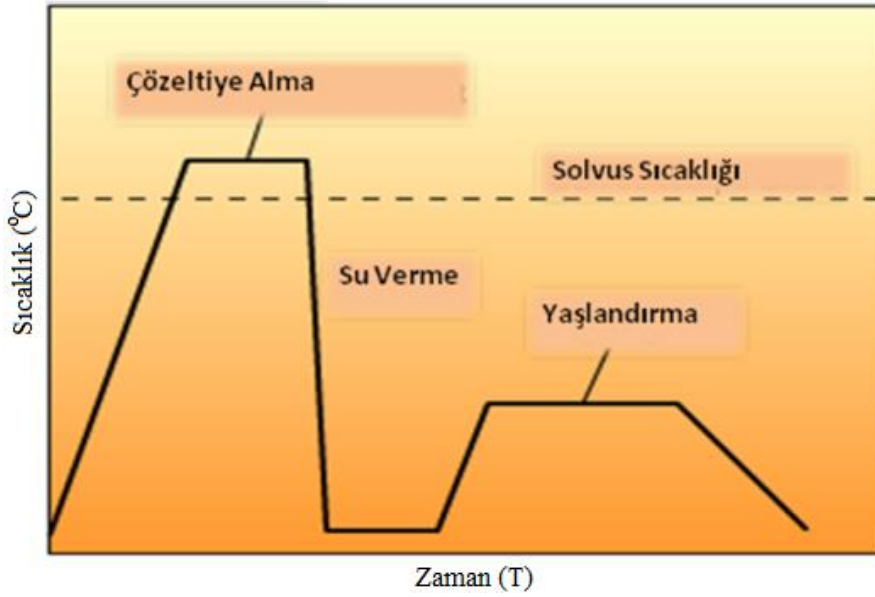
Alüminyum alaşımları dövme ve dökme yöntemi olmak üzere 2 yöntemle üretilmektedir. Dövme (işlem) yöntemi, kullanılacak malzemenin şekline göre alüminyumun moleküler yapısını biçimlendirir. Döküm alaşımlarına göre farklı mikroyapı ve morfolojiye sahiptir. Soğuk ve sıcak dövme şeklinde kendi içinde de ayrılmaktadır. Sıcak dövme, hassas parçalar için uygun olmayan daha az kuvvet gerektiren büyük ebatlı parçaların üretilmesini sağlarken, soğuk dövme yüksek kuvvet gerektiren orta ve küçük ölçekteki parçaların şekillendirilmesini sağlar. Soğuk dövme yöntemi ile üretilen parçaların yüzey pürüzlükleri sığağa göre çok daha iyidir [24]. Dövme ve döküm grubundaki alaşımlar, çökelme sertleştirmesine tepki verip vermediklerine bağlı olarak ısıl işlem yapılabilir veya yapılamayan alaşımlar olmak üzere iki alt gruba ayrılmaktadır [25]. Çizelge 3.4' te al alaşımlarının yaşlandırma işlemine uygunluğu gösterilmiştir.

Çizelge 3.4 Al alaşımlarının yaşlandırmaya uygunluğu [26]

Sınıflandırma	Temel Alaşım Elementi	Isıl İşlem
1XXX	Alaşımlandırılmamış alüminyum (%99 veya daha yüksek safiyet)	Olur
2XXX	Bakır	Olur
3XXX	Silis ile Magnezyum ve/veya Bakır	Bazıları olur
4XXX	Silisyum	Olmaz
5XXX	Magnezyum	Olmaz
6XXX	Kullanılmıyor	-
7XXX	Çinko	Olur
8XXX	Kalay (Tin)	Olur
9XXX	Kullanılmıyor	-

Isıl işlem görebilen alüminyum alaşımları çözeltiye alma ısıl işlemi ile en iyi mekanik özelliklere ulaşırlar. Çözeltiye alma ısıl işleminde temel amaç tek fazda katı çözelti oluşumunu sağlamaktır. Bu işlemde süre ve sıcaklık parçanın et kalınlığına, mikroyapıya ve fırının kapasitesine göre farklılık göstermektedir. Yaygın olarak bu işlem su ortamında yapılır ve oda sıcaklıklarında aşırı doymuş çözelti elde edilmesi sağlanır ardından da yaşlandırma ısıl işlemi uygulanır [26]. Isıl işlem yapılabilen alaşımlarda bu yaşlandırma işlemi sayesinde mukavemet ve mekanik özelliklerde artış sağlanırken, ısıl işlem yapılamayan alaşımlar da bu özellikler katı eriyik ve soğuk şekillendirmeyle kazanılır.

Al ve al alaşımlarına uygulanan ısıtma ve soğutma işlemleri sonucunda malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerinde değişimler meydana gelir. Isıtma ve soğutma alaşımların kimyasal yapılarına ve kazandırılmak istenilen nihai özelliklere göre farklılaşmaktadır. Al alaşımları için ısıl işlem uygulaması genellikle yaşlandırma işlemine göre değerlendirilmekte ve sadece mekanik özellikler için değil, elektriksel iletkenlik ve korozyon özelliklerini de ısıl işlem uygulamasında belirleyici bir rol oynamaktadır. Isıl işlem uygulamasında Şekil 3.1’ de gösterildiği gibi; çözeltiye alma, su verme ve çökeltme (yaşlandırma) işlemi olmak üzere temel olarak üç kademe mevcuttur.



Şekil 3.1 Al alaşımlarına uygulanan ısıl işlem prosesisin şematik gösterimi [26]

Mekanik özelliklerin iyileştirilmesi için temel kural, aşırı doymuş katı fazdan yaşlanma işlemi sonucunda yapıda çok ince çökelti fazının dağılımıdır. Çökelti fazının oluşumu, doğal olarak gerçekleştiğinde mekanik özellikler çok etkili bir değişim olmayacağı için, çökelti fazı yapay olarak elde edilmektedir.

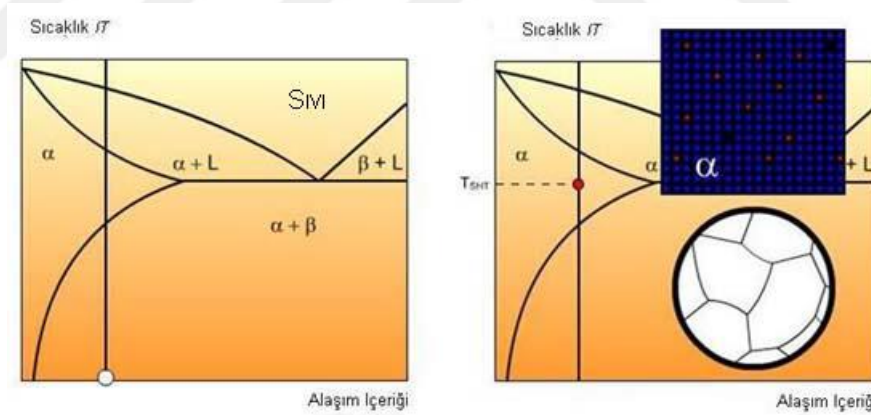
Alüminyum ısıl işlemine etki eden parametreler; çözeltiye alma sıcaklığı ve süresi, su verme hızı, yaşlandırma sıcaklığı ve süresidir. Al – Si – Mg alaşımları (6xx.x grubu) malzemede, arzu edilen mukavemet değerlerine ulaşmak için genellikle T6 ısıl işlemi uygulanır. Malzemeler T6 işleminde sırasıyla, belirli bir süre ötektik altı sıcaklık olan 545 °C’de çözeltiye alınır ve sonrasında yüksek sıcaklıkta su verme işlemi yapılır. Su verme işlemi sonrası 150-200 °C sıcaklıklarda katı çözelti içerisinde çökelti fazının oluşturulması için yapay yaşlandırmaya tabi tutulur. Çözeltiye almada, magnezyum ve bir miktar silisyum çözünerek homojen bir katı çözelti oluşturur. Yaşlandırma ise, magnezyum ve siliyum alüminyum dendritleri içerisinde Mg_2Si olarak çökmesine sebep olur [26].

Soğutma ortamı, çözeltiye alma sıcaklığı ve süresi, mikroyapı değişiklikleri üzerinde oldukça önemli bir etkiye sahiptir. Örneğin; sıvı metalin sodyum veya stronsiyumla modifikasyonu tanelerin küreselleşmesini ve büyüme kinetiklerini değiştirmektedir. Böylece, çözeltiye alma süreleri önemli oranda azaltılmaktadır. Benzer şekilde, sıvı metal içerisine tane inceltici olarak eklenen $TiAl_3$ partikülleri Mg_2Si fazının yaşlandırma sırasında çökme davranışını geciktirebilmektedir.

3.5.1 Çözeltiye Alma İşlemi

Bu işlemin amacı, tek fazlı katı çözelti elde etmektir. Yüksek sıcaklıkta çözünürlüğün artmasıyla birlikte yapıdaki bileşik ve çökeltileri tek faz içinde çözündürerek aşırı doymuş bu çözelti oluşacaktır [27]. Şekil 3.2 a' da görüldüğü gibi, ilk durumda β ve α fazı denge halinde değildir. Alaşım solvüs eğrisinin üzerindeki sıcaklığı çıkarılır ve bu sıcaklıkta β fazı, α fazı içerisinde tamamen çözününceye kadar işleme tabi tutulur [28]. Şekil 3.2 de gösterildiği gibi yapı tamamen α fazına dönüştükten sonra ani olarak bu sıcaklıktan soğutulur.

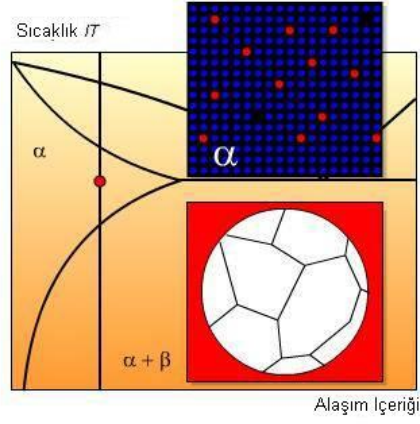
Alaşımın ergimesine sebep olmayacak şekilde, çözeltiye alma sıcaklığı seçilmelidir. Alüminyum ergime sıcaklığı $560\text{ }^{\circ}\text{C}$ civarındadır ve işlem sıcaklığı $525 - 545\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında bir sıcaklıkta olmalıdır. Bu sıcaklık Şekil 3.2 b' de TSHT ile ifade edilen ve bütün bileşenlerin katı çözeltide tek bir faz halinde bulunduğu sıcaklıktır. Elde edilmek istenen mikroyapıya, ısıl işlem uygulanan parçanın kalınlığına ve fırın şarjına göre, çözeltiye alma sıcaklığı ve süresi değişebilmektedir. Bu süre ince kesitli levhalar için dakika, kalın kesitli parçalar için saatler ile ifade edilmektedir.



Şekil 3.2 Çözeltiye alma işleminin şematik gösterimi [26]

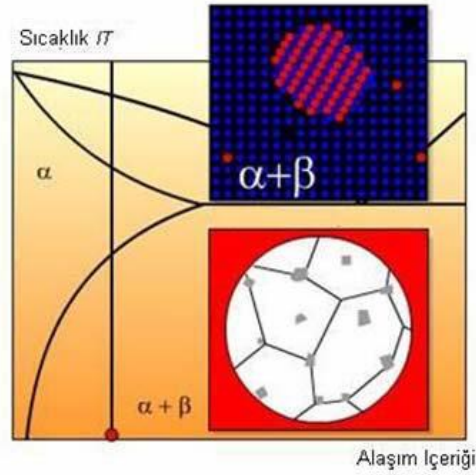
3.5.2 Su Verme İşlemi

Su verme işleminin amacı, Şekil 3.3' te görüldüğü gibi çözeltiye almada tek faz halinde alüminyum içerisindeki alaşımlandırma elementlerinden oluşan aşırı doymuş bir çözelti oluşturmaktır. Bu nedenle ısıl işlem uygulanan alaşım çözeltiye alma sıcaklığından hızlı bir şekilde soğutulur.



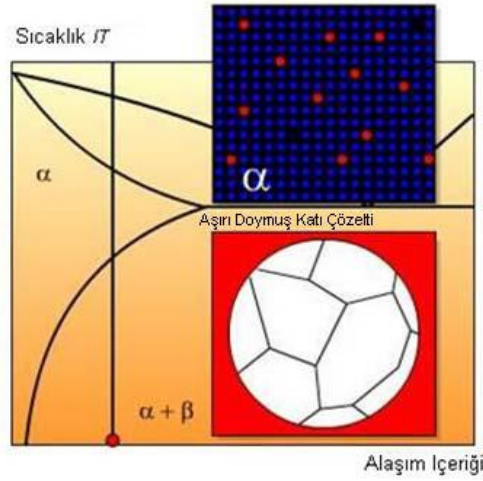
Şekil 3.3 Su verme işleminde tek faz oluşumunun şematik gösterimi [26]

Eğer alaşım yavaş soğuma olarak isimlendirilen kendiliğinden soğumaya bırakılırsa, β fazı çekirdeklenerek denge halinde bir $\alpha+\beta$ fazı oluşturmak için heterojen olarak Şekil 3.4' teki gibi çökerir.



Şekil 3.4 Yavaş soğuma sonrası oluşan heterojen çekirdeklenme oluşumunun şematik gösterimi [26]

Ani soğuma, α içerisinde β fazının çökmesine imkan vermez. Bu durumda α fazı artık denge halinden daha fazla katı (aşırı doymuş) içermektedir. Bununla birlikte su verme işlemi difüzyon süresini düşürerek, dengede olmayan ve denge durumundan daha fazla katı içeriren α faz yapısının “donmasını” sağlar. Şekil 3.5' te şematik olarak gösterilen bu durumdaki katı çözelti aşırı doymuş olarak adlandırılır.



Şekil 3.5 Aşırı doymuş çözeltiler [26]

Su verme işleminde genellikle su kullanılmaktadır. Ancak suyun yanı sıra, su verme ortamı olarak çeliklerin ısıl işlemindekine benzer şekilde glikol – su karışımları, suda çözülebilen polimerik yağlar veya madeni yağlar da su verme işleminde kullanılmaktadır. Al ve al alaşımlarının ısıl iletkenliğinin yüksek olmasınabağlı olarak, soğuma karakteristikleri ince ve kalın kısımlarda farklı olduğu için parçada deformasyonlar görülebilmektedir. Bu tür deformasyonların önlenmesi için, su verme ortamı ve su verme ortamının sıcaklığı doğru bir şekilde seçilmelidir. İhtiyaç halinde, ya su verme ortamı karıştırılarak ortam hareketli hale getirilmeli veya parça ortam içerisinde hareket ettirilmelidir.

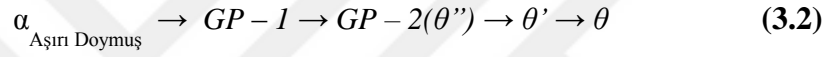
3.5.3 Yaşlandırma İşlemi

Aşırı doymuş katı çözelti içerisinde çözünmüş halde bulunan β fazı, sıcaklık ve zamana bağlı olarak aşağıda verilen denklemde gösterildiği gibi, kararlı bir faz olarak çöker.



Önce β fazının çekirdeklenmesi ve sonra difüzyon ile büyümesi, bu dönüşüm için gereklidir. Ani soğutmadan sonra alaşım oda sıcaklığında tutulursa, difüzyon hızı çok yavaş olduğundan β fazı genellikle oluşmaz veya çok uzun sürelerde oluşur [29]. Oda sıcaklığında eğer çökeltme meydana geliyorsa, yaşlanma işlemi “doğal”, alaşım oda sıcaklığından daha yüksek bir sıcaklığa, yayınma hızını arttırmak için tutuluyorsa “yapay” yaşlandırma olarak isimlendirilmektedir.

Çökelti fazı oluşumunun anlaşılabilmesi için, 1938’de Guinier ve Preston isimli iki araştırmacı tarafından keşfedilen ve isimlerinin baş harfleri ile adlandırılan GP bölgeleri incelenmelidir. Kompleks reaksiyonlar olan alüminyum alaşımlarındaki yer alan çökeltme reaksiyonları ve GP bölgeleri dönüşümleri teorik olarak, denklem 3.2’deki gibi ifade edilebilir.



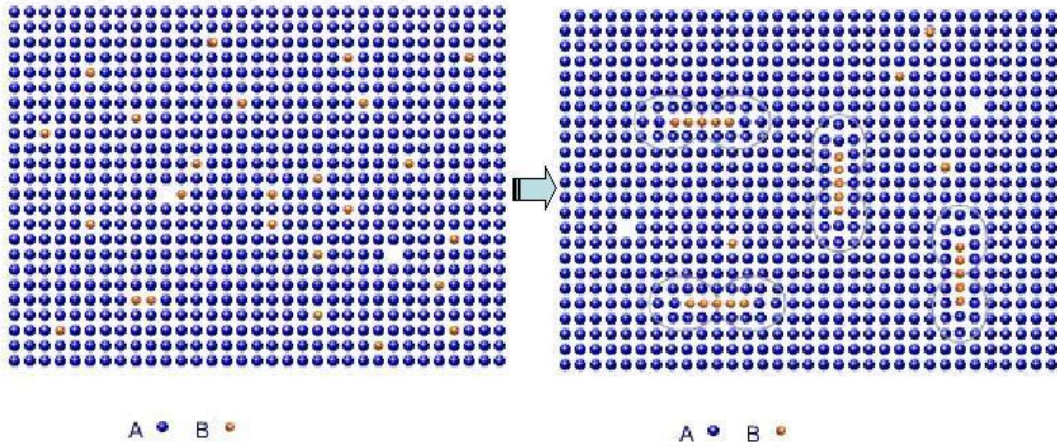
Bu formüle göre (3.2), yaşlanma sırasında aşırı doymuş katı çözeltilerden çökelti fazının oluşum aşamaları aşağıdaki gibi özetlenebilir.

Çekirdek \rightarrow Ara Çökelti \rightarrow Kararlı Çökelti

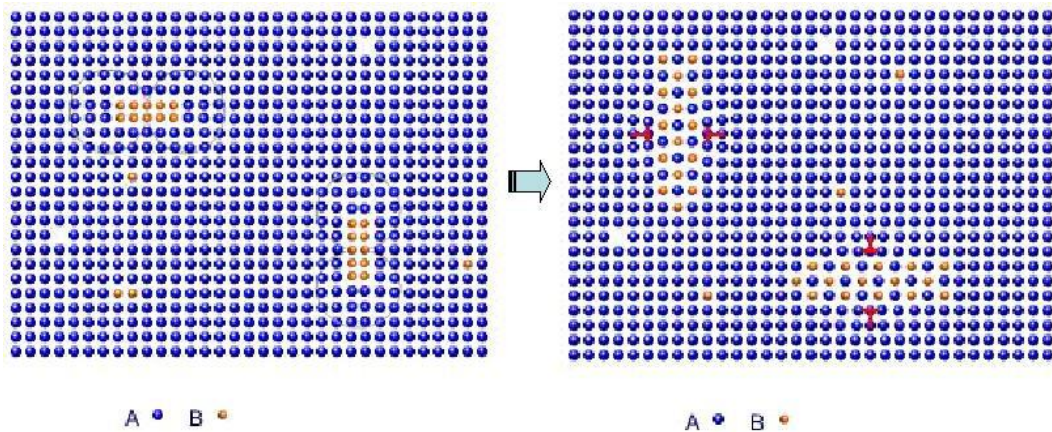
Temel olarak çökelti oluşumunun ara kademeleri, alaşımın bileşimine, su verme ve yaşlandırma koşullarına bağlıdır. Çözeltiye alma sonrası oluşan aşırı doymuş yapı, denge yapısına dönmeye eğilimlidir. Şekil 3.6 a’ nin sol tarafında, su verme sonucu A (Al) içerisinde aşırı doymuş B (Mg-Si) katı çözeltilisi fazını temsil eden yapı görülmektedir [28]. Yaşlandırma işleminde gerçekleşen difüzyona bağlı olarak B atomları, A latisi içerisindeki spesifik düzlemler üzerinde bölgesel konsantrasyonlar oluşturur (Şekil 3.6 a’ da sağ tarafta görülen yapı). Disk, küre veya çubuk şeklinde olan bu bölgeler GP (Guinier – Preston) bölgeleri olarak adlandırılır.

GP bölgeleri tutarlı bir ara faz oluşturmak için sonrasında, çekirdeklenme siteleri oluştururlar. Bu düzlemin etrafındaki A atomları oluşan bu ara fazın ilerlemesi ve yerleşmesi için bozularak bu birleşme işleminden doğan kuvvetin etkisiyle, deformasyona uğrar ve bir yapışma baskısı oluştururlar (Şekil 3.6 b' de sol tarafta 2. ara kademe). Çökelti büyüdükçe, büyümeden kaynaklanan sıkışmanın (coherency strain) bir kısmı, ara yüzdeki dislokasyon oluşumları tarafından giderilir (Şekil 3.6 b' de sağ tarafta 3. ara kademe).

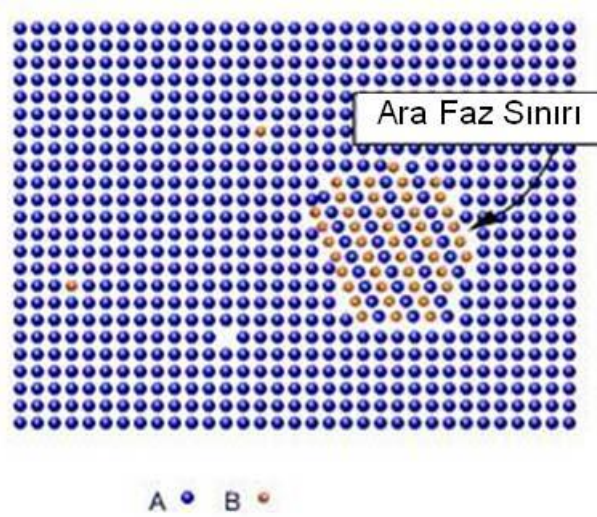
Yaşlandırma işleminin son kademesi denge aşamasıdır. Yeterli yaşlandırma işlemi sonucu en son aşama olarak denge fazı oluşur. Denge fazı, ana matristen (A atomları) farklı bir kristal yapısına sahip olup bu faz içerisinde yapışık değildir. Böylece büyümeden kaynaklanan sıkışma elimine edilmiştir. Ancak, matris ve çökelti arasında yeni bir ara faz sınırı vardır. (Şekil 3.6 c)



Şekil 3.6 Yaşlandırma işleminde ilk kademe değişiminin şematik gösterimini [26].



Şekil 3.7 Yaşlandırma işleminde ikinci kademe değişiminin şematik gösterimini [26].



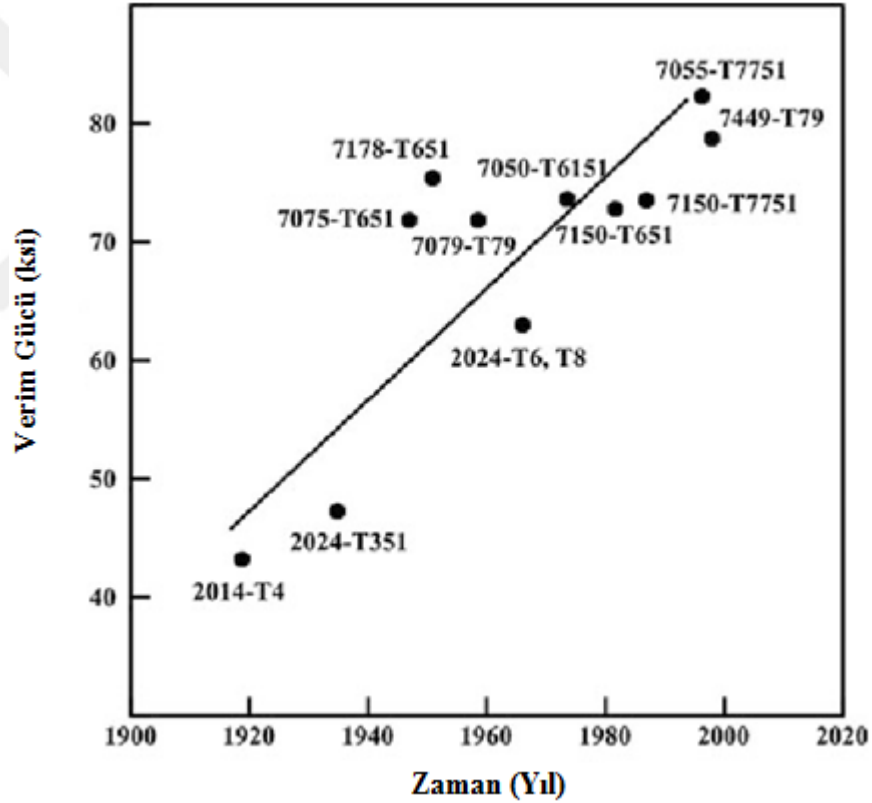
Şekil 3.8 Yaşlandırma işleminde son kademe değişiminin şematik gösterini [26].

3.6 Havacılık Uygulamalarında Kullanılan Alüminyum Alaşımları

Kompozit malzemelerin gelişim ve kullanımındaki artış havacılık sektöründe alüminyum kullanımını eskiye oranla azaltmaktadır. Örneğin, savaş uçaklarında kompozit malzeme kullanım oranı %40-50 arasında olsa da uçak gövdesi gibi yüksek mukavemet gerektiren yerlerde alüminyum alaşımlarının kullanımı oldukça fazladır. Uçak yapısına göre, kimi uçağın ağırlıkça %70 kadarını alüminyum oluşturabilmektedir. Havacılık uygulamalarında kullanılan bu alüminyumlar farklı oranlarda alüminyum alaşımlarıyla birlikte, roket ve füze sistemleri gibi uygulamalarda da kullanılırken, dış yapısal parçaların aerodinamik yüklerin etkisinde kalmasından dolayı yüksek mukavemet sağlayan ve ısı işlem yapılabilen seri alaşımlar kullanılmaktadır. Uçak ve helikopter konstrüksiyonlarında 2XXX, 7XXX, 8XXX serisi gibi ısı işleme tabi tutulmuş, sertleştirilmiş, çökeltilmiş, yaşlandırılmış, yüksek dayanımlı alaşımlı alüminyumlar kullanılmaktadır [30]. Alüminyum malzemenin oldukça yüksek dayanım seviyelerinde ısı işlem görebilmesi, maliyetinin düşük olması, hafif metal sınıfında bulunması gibi özellikleri kullanımının yaygınlaşmasında en büyük etkenlerdendir. Fakat, alüminyumun düşük elastik modüle sahip olması ve yüksek dayanımlı alaşımlarda korozyona yatkınlık gibi dezavantajları da mevcuttur. Bu dezavantajların yanı sıra alüminyumun havacılık uygulamalarına sağladığı avantajların daha ileri seviye de olması nedeniyle 1920 yılı itibarıyla alüminyum alaşımları uçakların ana gövde malzemeleri olmuştur. Şekil 3.7’de gösterildiği gibi alüminyum 1920’li yıllardan itibaren çeşitli gelişmelere

uğramıştır ve bu gelişmeler alüminyumun kimyasal bileşiminin, safsızlık kontrolü ve ısıl işlem etkilerinin iyi bir şekilde anlaşılıp kavranılmasıyla ortaya çıkmıştır. [23,31].

En eski hava-uzay Al alaşımlarından biri olan ve 280 Mpa akma dayanımına sahip Duralumin (AA2017) alaşımıdır. Yeni alaşım sistemlerinin geliştirilmesi ve belirli partikül sistemlerinin dahil edilmesiyle, çok aşamalı yaşlandırma sistemlerinin etkisiyle oluşmuş bir alaşım türüdür. Farklı alaşım elementleri oranlarıyla (T6) yapay yaşlandırma sonrası yapılan deneylerle AA2017'den daha iyi özelliklere sahip olan Al-Cu-Mg alaşımı AA2014'ün oluşmasına neden olmuştur. Bu alaşım optimum miktarlarda soğuk deformasyonla AA2017-T4'ten daha yüksek akma dayanımı sağlamış ve ardından doğal yaşlanmayla AA2014-T6'dan çok daha yüksek süneklik göstermiştir.



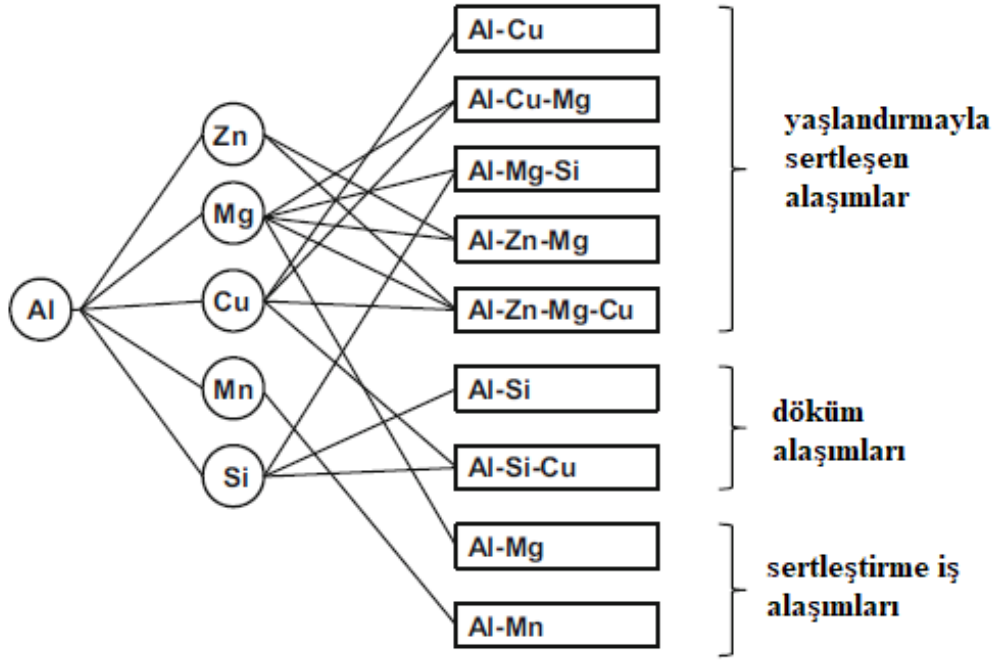
Şekil 3.9 Alüminyum alaşımının yıllara göre verim gücü ve gelişimi

Bazı araştırmacılar hem çinko hem de magnezyum içeren alüminyum alaşımlarının, tek tek eklenen alaşım elementlerinden herhangi birini içerenlere göre çok daha yüksek dayanımlar geliştirdiğini bulmuşlardır. Bu bulgular, 1940'ların başlarında Al-Zn-Mg-Cu alaşımlı AA7075'in gelişmesine olanak sağlamıştır. Daha yüksek mukavemetli bir alaşım olan AA7178 ise daha sonra geliştirilmiştir. Ancak düşük tokluk ihtiyacı nedeniyle, daha düşük Fe ve Si içeriğine sahip alaşımların ihtiyacına yol açmıştır; AA7050 ve AA7475 gibi. Uçak yapı ve ağırlıkça büyüdükçe, doğal olarak daha kalın kesitli uçak gövdesi bileşenleri kullanım ihtiyacı oluşmuştur. Bu yüzden, AA7075-T6 ve özellikle AA7079-T6 gibi yüksek mukavemetli 7XXX alaşımlarının kalın kesit ürünlerinin kısa enlemesine doğrultuda stres korozyon çatlağına (SCC) duyarlı olduğu tespit edilmiştir. 1960'ların başında AA7075 alaşımının SCC ve dökülme korozyonuna daha dayanıklı hale getirmek için ortalama T73 ve T76 temperleri geliştirilmiştir.

Daha sonra kırılma tokluğunu iyileştirmek için 7475 geliştirilmiştir. Ardından kalın kesitli ürünlerde yüksek mukavemet, SCC ve dökülme korozyonuna karşı iyi bir direnç, daha iyi kırılma tokluğu ve yorulma özellikleri elde edebilmek için 1970'lerde yeni nesil alaşımlardan olan AA7050-T7351 geliştirilmiştir. İlerinde AA7085'in gelişimi ise hala devam etmekte olup daha önce de belirtildiği gibi yüksek tokluktaki 2xxx alaşımları ve üçüncü nesil Al-Li alaşımları yer almaktadır.

Alüminyum alaşımlarının sınıflandırılması okelme sertleşmesine tepki verip vermemelerine bağlı olarak, ısıl işlemlili veya ısıl işlemsiz olarak ayrılmaktadır. Isıl işlem görebilen alaşımlar oda sıcaklığında azalan bir sıcaklıkta, katı çözünürlükte ve orta derecedeki yüksek sıcaklıklarda denge katı çözünürlüklerini aşan konsantrasyonlar da uygulanabilen elementler içerir. Bu gruptaki en önemli alaşım elementleri bakır, lityum, magnezyum ve çinkodur.

Çok sayıdaki diğer kompozisyonlar yerine, genellikle ürün geliştirmelerde çeşitli tavlama prosedürleriyle birlikte mekanik indirgeme yoluyla sertleştirilen işlere güvenirler. Bu alaşımlar ısıl işlem görmeyen alaşımlar olarak adlandırılır. Bazı döküm alaşımları esasen ısıl işlem görmezler. Çözelti veya okelme etkisinden etkilenmeden döküm halinde veya ısıl olarak değiştirilmiş koşullarda kullanılırlar. Şekil 3.10'da başlıca alüminyum alaşım tipleri hakkında genel bilgi vermektedir.



Şekil 3.10 Bazı alüminyum alaşım ve türleri [23].

Yurdakul ve ark. havacılık alanında yaygın olarak kullanılan alüminyum alaşımlarının kolay ve doğru şekilde seçilmesini sağlayan bir yöntem geliştirmişlerdir. Çeşitli yüksek mukavemetli alüminyum alaşımlarına ait bilgileri barındıran veri tabanına sahip bu yöntem Visual Basic dilinde yazılmış bilgisayar programı sayesinde oluşturulmuştur. Bu sayede talep edilen bilgiler doğrultusunda gerekli özellikleri belirleyip uygun olan alaşım türünü seçmektedir [24].

Araştırma sonuçlarına göre yüksek tokluk ve mukavemete sahip olan, aynı zamanda sertlik ve ısı işleme uygun olması nedeniyle Al-Cu alaşımlarını insansız hava araçlarındaki motor bloklarında kullanılabileceğini bildirmişlerdir. Al-Cu alaşımlarına eklenen gümüş (Ag) ile ekstra korozyon direnci ve mukavemet elde edilebileceğini belirtmişlerdir [32].

Araştırmacılar çalışmalarında özellikle uçak gövdelerinde, kanatlarında ayrıca otomotiv endüstrisinde kullanılan AA2024 alaşımının sürtünme karıştırma yöntemiyle malzeme üzerindeki etkisini incelemiştir. Alüminyum hafifliği, yüksek korozyon dayanımı ve işlenebilirlik gibi avantajlar sağlaması nedeniyle tercih edilmiştir. Sürtünme kaynak yönteminin daha gelişmiş hali olan bu yöntemle havacılıkta geniş uygulama imkanı sağlayan alüminyumun üstün özellikleri nedeniyle farklı geometrilere mekanik özellikleri araştırılmıştır [33].

Araştırmacılar çalışmalarında 7075 serisi alüminyum alaşımını kullanarak numuneye 480 °C’de 3 saat çözeltiyeye alma işlemi uygulayıp ardından oda sıcaklığındaki suyla soğutma işlemine tabi tutmuştur. Sonrasında 120 °C’de 24 saat şartlarında numuneye yaşlandırma işlemi yapılmıştır. Bu işlemler sonucunda malzemede meydana gelen sertlik, mikroyapı ve elektriksel iletkenlik gibi özellikler incelenmiştir. Yapılan sertlik testi sonuçlarına göre soğuma hızının yüksek olduğu yerlerde sertliğin arttığı, azaldığı yerlerde ise sertlikte de azalma olduğu yani doğru orantılı bir şekilde değişim olduğu görölmüştür. Elektriksel iletkenlik değişimi bakımından incelendiğinde, su verme işleminin yapılmaya başlandığı noktadan uzaklaştığı iletkenliğin arttığı tespit edilmiştir. Bu noktadan uzaklaştığı soğuma hızında meydana gelen değişimle birlikte çökelti dağılımı, boyut ve tane yapısındaki değişimlerin bu gibi farklılıklar üzerinde etkili olduğu görölmüştür. ökelti dağılımı bakımından mikroyapılar incelendiğinde ise su vermenin başladığı noktaya yakın uçlarda çökelti boyutlarının daha küçük ve yoğun olduğu gözlemlenmiştir [27].

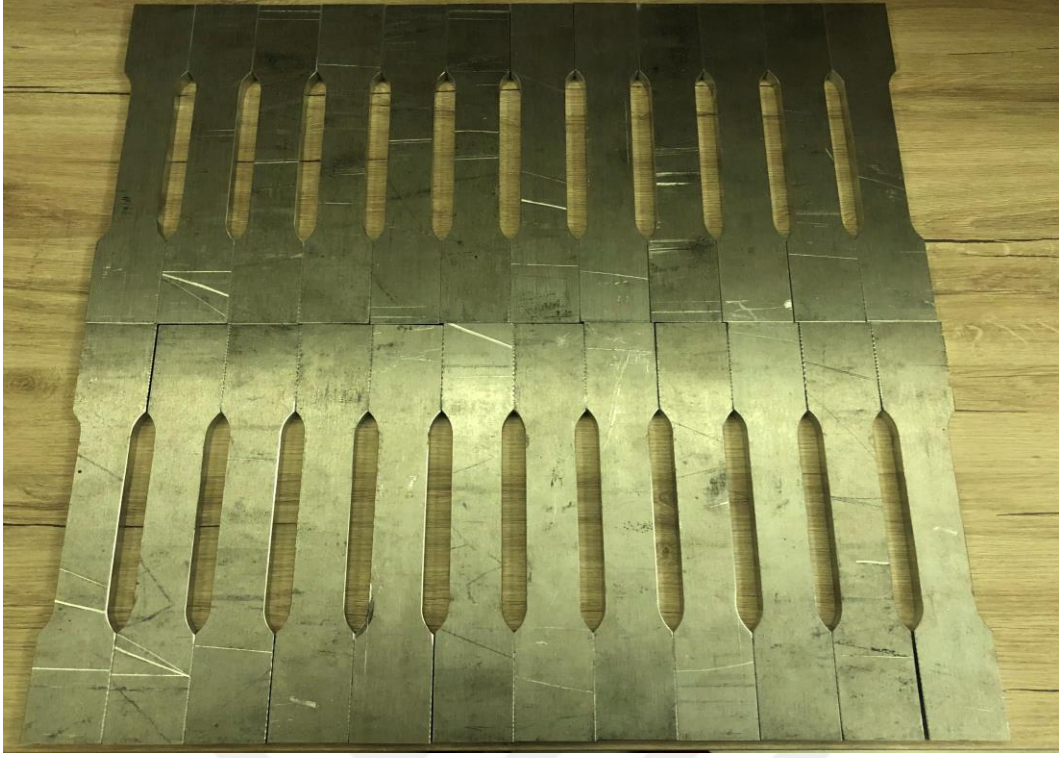
4. MATERYAL VE METOD

4.1 Çalışmada Kullanılan Malzemeler

Çalışmada AA2024, AA5083 ve AA7075 alüminyum alaşımları kullanılmıştır. Malzemeler Seykoç Alüminyum firmasından (İstanbul) temin edilmiştir. Isıl işlem polimeri olarak Petrofer firmasının (İstanbul) Aquatensid E serisi ısıl işlem polimeri kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan parametreler Çizelge 4.1’ de verilmiştir. Deneylede kullanılan numunelerin görselleri Şekil 4.1’ de gösterildiği gibidir. Şekil 4.1 a’ da AA7075 alaşıma ait çekme test numunesi, Şekil 4.1 b’ de AA2024 alaşımına ait çekme test numunesi, Şekil 4.1 c’ de ise AA2024 ve AA7075 alaşımlarının karşılaştırmalı görseli mevcuttur.



a) AA7075 alaşımına ait çekme test numuneleri



b) AA2024 alaşımına ait çekme test numuneleri



c) AA2024 ve AA7075 alaşımlarına ait çekme test numunelerinin boyutsal farkı

Şekil 4.1 Deneylerde kullanılan numune gorselleri

Çizelge 4.1 Çalışmada kullanılan parametreler

Deneş Kodu	Alaşım	Kalınlık (mm)	Su (%)	Aquatensid (%)
HtP001	AA7075	10	100	-
HtP002	AA7075	10	95	5
HtP003	AA7075	10	90	10
HtP004	AA7075	10	85	15
HtP005	AA2024	12	100	-
HtP006	AA2024	12	95	5
HtP007	AA2024	12	90	10
HtP008	AA2024	12	85	15
HtP009	AA6082	10	100	-
HtP010	AA6082	10	95	5
HtP011	AA6082	10	90	10
HtP012	AA6082	10	85	15
HtP013	AA6082	10	100	-
HtP014	AA6082	10	95	5
HtP015	AA6082	10	90	10
HtP016	AA6082	10	85	15

4.1.1 AA2024 Alaşımı

AA2024 Al alaşımının kimyasal bileşimi Çizelge 4.2’de, mekanik özellikleri ise Çizelge 4.3’te verilmiştir. Bu alaşımın uygulama alanları olarak vida, civata, somun, basınçlı ve farklı makine bileşenleri sıralanabilir.

Ayrıca, yüksek mukavemet ve iyi işlenebilirliğe ihtiyaç duyulan uygulamalar da kullanımı oldukça uygundur. 2024 serili alaşımın, yüksek yorulma dayanımına sahip olması serbest makine parçaları için avantaj oluşturmuştur. Genel olarak ürün şekilleri lama, rulo ve levhadır. Dış darbelere ve ortamlara karşı dayanımı az olduğundan dolayı sert kaplama gibi bazı koruma yöntemleri ile kullanılması önerilir.

Isıl işlem uygulanabilen 2024 kodlu alaşım; savunma ve havacılık sanayi, genel mühendislik uygulamaları, kamyon tekerlekleri, yapısal uygulamalar, askeri ekipman, yüksek sertlik ve işlenebilirlik gerektiren parçalarda, perçin ve otomotiv sanayisi gibi farklı uygulama alanlarında yaygın olarak kullanılır [34, 35]

Çizelge 4.2 AA2024 alaşımının kimyasal bileşimi

Fe	Si	Cu	Cr	Mn	Mg	Zn	Zi+Ti	Diğer	Al
0,5	0,5	3,8-4,9	0,1	0,3-0,9	1,2-1,8	0,25	0,15	0,15	Kalan

Çizelge 4.3 AA2024 serisi alüminyum alaşımının mekanik özellikleri

Temper	Akma Mukavemeti (MPa) min-max	Çekme Mukavemeti (MPa) min-max	Uzama (%50) min-max	Sertlik (brinel) min-max
0	75	185	20	55
T3	340	475	18	120
T6	230-300	310-395	10-12	110
T8	275-315	370-420	10-12	115

4.1.2 AA7075 Alaşımı

AA27075 Al alaşımının kimyasal bileşimi Çizelge 4.4' te mekanik özellikleri Çizelge 4.5' te verilmiştir. Bu alaşımın uygulama alanları, otomotiv ve havacılık sanayi, yüksek mukavemet gerektiren askeri ve uçak sanayisi, kauçuk ve plastik kalıplar gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Yüksek sertlikte ve yorulma dayanımı iyi olan bu alaşımlar dış ortamlarda koruyucuyla kullanılması gerekmektedir. Ürün şekilleri ise çubuk, levha, boru, lama ve profil çeşitleridir.

Çizelge 4.4 AA7075 alaşımının kimyasal bileşimi

Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Zi+Ti	Diğer	Al
0,5	0,5	1,2-2,0	0,3	2,1-2,9	5,1-6,1	0,18-0,28	0,25	0,15	Kalan

Çizelge 4.5 AA7075 serisi alüminyum alaşımlarının mekanik özellikleri

Temper	Akma Mukavemeti (MPa) min-max	Çekme Mukavemeti (MPa) min-max	Uzama (%50) min-max	Sertlik (brinel) min-max
0	105	225	17	60
T6	460-505	530-570	10	140-160
T7	435	505	12	140

4.1.3 AA6082 Alaşımı

AA6082 Al alaşımının kimyasal bileşimi Çizelge 4.6'da mekanik özellikleri Çizelge 4.7' de verilmiştir. Bu alaşımların kaynak olabilme yetenekleri yüksektir ve deniz suyuna karşı yüksek korozyon dayanımı sağlarlar. T4 ısıl işleminden sonra stabilize edilmiş formda soğuk şekillendirilebilme kabiliyeti iyidir. Fakat kaynak uygun olmayan bir biçimde yapılırsa kırılma sorunu oluşabilir.

Uygulama alanları kamyon korkulukları, köprüler, kimyasal cihazlar, kaynaklı tank treyler, iskele boruları, demiryolu vagonları, nükleer enerji, kule, yol inşaat yapılarında, askeri araç gövdesi gibi alanlarda kullanılır. Ürün şekilleri, lama-boru, levha, çubuk ve profil çeşitleri olarak sıralanabilir. [34].

Çizelge 4.6 AA6082 alaşımının kimyasal bileşimi

Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Diğer	Al
0,50	0,7-1,3	0,10	0,40-1,0	0,6-1,2	0,2	0,15	0,15	Kalan

Çizelge 4.7 AA6082 serisi alüminyum alaşımlarının mekanik özellikleri

Temper	Akma Mukavemeti (MPa) min-max	Çekme Mukavemeti (MPa) min-max	Uzama (%50) min-max	Sertlik (brinel) min-max
0	60	130	26	35
T1	70	260	24	70
T4	170	260	19	70
T5	250-275	290-325	19	70
T6	260-310	310-340	19	95

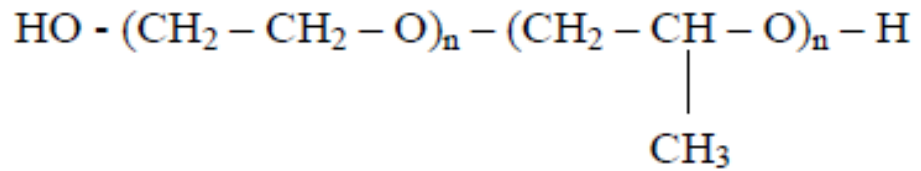
4.1.4 Aquatensid Serisi Isıl İşlem Polimeri

Su ile çeşitli oranlarda karıştırılarak (solüsyon) kullanılmaktadır. Konsantre ürün suya eklenebilir ya da tam tersi şekilde kullanılabilir. Kullanılan suyun sertliğinin önemi azdır.

Genellikle, daldırma, indüksiyon ve alevle sertleştirme yöntemlerinde tercih edilmektedir. Özellikle alüminyum parçaların ısıtılmasında minimum çarpılma ile oldukça başarılı sonuçlar elde edilmektedir. Duman oluşumu yağa göre çok daha azdır. Tipik uygulama yerleri aşağıdaki gibi listelenebilir:

1. Karbon ve düşük alaşımlı çeliklerin hızlı ve üniform bir şekilde soğutulması
2. Vida, somun, cıvata sertleştirmede
3. Pense, anahtar ve diğer takımların sertleştirilmesinde
4. Takımların kısmi sertleştirilmesinde
5. Semente edilmiş, karbonitrülenmiş ufak boyutlu zincir ve benzeri parçaların kontinü fırınlarda sertleştirilmesinde
6. Bağlantı elemanlarının sertleştirilmesinde
7. Krank mili, hadde merdanesi ve kılavuz kızaklarının indüksiyon ve alevle sertleştirilmesinde
8. Havacılık sektöründe kullanılan Al ve Al alaşımlarından oluşan sac ve profillerin ısıtılmasında

Günümüzde polialkilen glikol gibi hali hazırda kullanılan birçok ticari ısıtılma işlem polimeri vardır. Bu çalışmada da kullanılan ısıtılma işlem polimeri polialkilen glikol (PAG)'ün kimyasal yapısı, aşağıdaki Şekil 4.2'de gösterildiği gibidir.



Şekil 4.2 PAG'ün organik şeması

PAG polimerleri oda sıcaklığında tamamen suda çözünen yüksek moleküler ağırlığa sahip polimerlerdir. Bu sebeple metallerin su vermesinde yaygın olarak kullanılır. Polimer su verme, normal yağların kullanımına göre daha avantajlıdır. Malzemenin mekanik ve tribolojik özelliklerini yani kristal fazını geliştirir. PAG suda sıcaklığı arttıkça, ters çözünebilirliğe neden olabilir. Sıcaklık yükseldikçe PAG solüsyondan çöker ve parçanın yüzeyinde birikinti oluşur. Bu katmanda yalıtım etkisi yapar ve aynı zamanda yüzeyin tamamen ıslanmasını sağlar. Bu sebeple, buhar faz aşamasını

uzatmazlar. Sonuç olarak daha homojen bir su verme gerçekleşir. Bu malzeme sayesinde bozulma ve çatlama riski en aza indirilir. Parçanın sıcaklığı azaldıkça polimer sulu çözeltiye geri çözülür ve su verme banyosunun yoğunluğunu korur. PAG polimerinin kullanımıyla ısı transfer oranını düzenleyen 3 faktör aşağıda sıralandığı gibidir.

- Su verme konsantrasyonu
- Su verme sıcaklığı
- Su verme çalkalanması/dalgalanması

Polimer konsantrasyonu ve su verme oranı arasındaki ilişki şöyledir. Banyodaki sıcaklık arttıkça, parçanın yüzeyi üzerine biriken yalıtım tabakası oluşur. Banyodaki PAG yoğunluğu artınca, biriken yalıtım tabakası daha kalın olur. Sonuç olarak, ısı transferi daha büyük ölçüde kontrol edilebilecek ve önemli ölçüde yavaşlayacaktır. Fakat polimer yoğunluğu düşük olursa, bu yalıtım tabakası incelik ve soğutma oranı suyunkine yaklaşmış olur. Polimer degrades oldukça ve moleküler ağırlık azaldıkça su verme oranı artar. Isı transferini kontrol eden yalıtım tabakası etkili bir şekilde kaybolacaktır. Polimer bozunma derecesini belirlemek için doğrudan moleküler ağırlığa bağlı olan çözeltinin viskozitesi ölçülebilir. Viskozitenin zamanla düşmemesi için karıştırma işlemi uygulanabilir. Çalışmada kullanılan ticari adı Aquatensid E serisi olan PAG malzemenin görüntüsü Şekil 4.3'te gösterildiği gibidir.



Şekil 4.3 Deneyde kullanılan ısıtıl işlem polimeri Aquatensid E serisi

Petrofer Endüstriyel Yağlar Sanayi Tic.A.Ş firmasından temin edilen bu Aquatensid E serisi PAG ısıtma işlem polimeri geri dönüşümlü çözünebilirlik gösteren viskoz halde bir sıvıdır. Bu seriye ait sıvılar suyla seyreltilerek kullanılmalıdır. Çok iyi derecede soğutma özelliğine sahiptir. Yüksek ve orta sıcaklıklarda, yüksek konsantrasyonlarda bile su ve benzeri yüksek soğutma hızını korumakla beraber, düşük sıcaklıklarda yağ kadar yavaş bir soğutma hızı sağlayabilir. Sertleştirme işleminde düz karbon çelikler ve düşük alaşımlı çelikler hızlı bir şekilde soğutulmalıdırlar. Bundan dolayı soğutma ortamı oldukça kısa bir buhar fazına sahip olmalıdır ve %5 konsantrasyondan düşük Aquatensid E çözeltileri bu gereksinimi karşılayacak özellikleri göstermektedir. Karbürize edilmiş ve nitrülenmiş değişik şekillerdeki parçaları; açık tank veya sürekli fırınlarda %5-10'luk Aquatensid E çözeltilerinde sertleştirildiğinde çok iyi sertlik parametreleri elde edilmektedir.

Yüksek sertleştirilebilme kabiliyeti olan alaşımlı çelikler sade suda soğutulduğunda çatlayabilirler. Parçaları çarpılma ve çatlaklardan korumak amacıyla, Aquatensid E'nin %5-10'luk çözeltileri ideal sonuçlar vererek düşük sıcaklıklarda suyun soğutma hızını etkili bir şekilde azaltmak için kullanılır.

Kimyasal karakteri incelendiğinde polialkilen glikoller, karboksilik asit karışımı, alkanolaminler (ikincil olmayanlar), biositler, demirsiz ağır metal deaktivatörleri ve su içerirler. Kimyasal içeriği Çizelge 4.8'de belirtildiği gibidir.

Çizelge 4.8 Aquatensid E serisi polimerin kimyasal içeriği

Kimyasal İçeriği	Sağlığa Zararlı Katkılar (yutulduğunda)
Polialkilen glikoller	EINECS(231-555-9)
Karboksilik asit karışımı	Isim R-Değeri (Sodyum nitrit 8-25-50)
Alkanolaminler (ikincil olmayan)	Sembol (T, O, N)
Biositler	Konsantrasyon (1<2,5)
Demirsiz ağır metal deaktivatörleri	

Aquatensid E makine çeliklerinin tank soğutmalarında kullanılır. Örneğin, dövme sıcaklığında doğrudan sertleştirmelerde; sertleştirme sorunları ve küçük çarpılmalar, duman kirliliği ve alevlenme tehlikeleri tamamen ortadan kaldırılmıştır. Bu sebeple, soğutma yağlarıyla yer değiştirebilecek ve suyla karışabilen ideal bir soğutucudur.

Bu malzemenin fiziksel ve kimyasal özellikleri altta ve Çizelge 4.9’da sıralandığı gibidir:

- Rengi sarımtraktır.
- Fiziksel hali sıvıdır
- Koku: tipiktir.

Çizelge 4.9 Aquatensid E serisi polimerin fiziksel ve kimyasal özellikleri

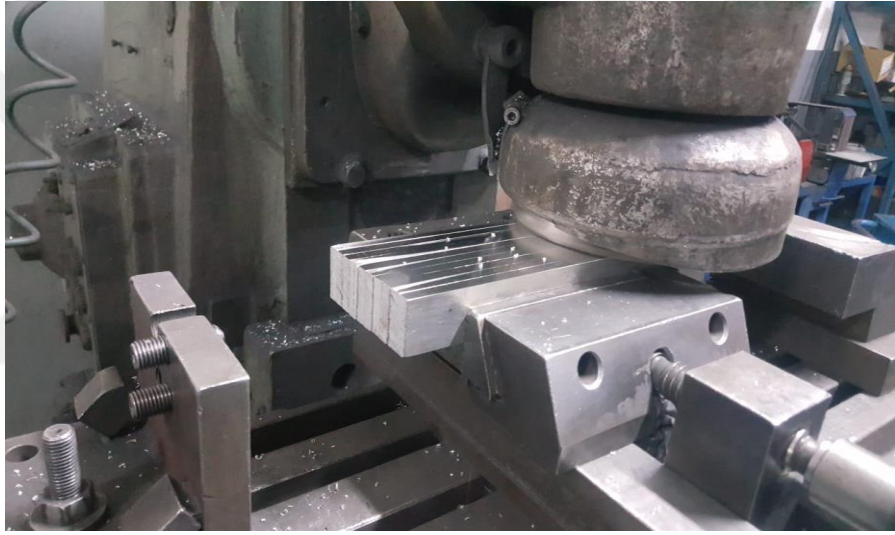
Fiziksel Değerler	Değer	Metod
Akma Noktası	≤ -25 °C	ISO3016
Kaynama Noktası	Yak. 100 °C	-
Alevlenme Noktası	Uygulanmıyor	EN22719
Viskozite (20°C’de)	Yak.230mm ² /s	DIN 51562/1
Özgül Ağırlık (20°C’de)	Yak.1080 g/cm ³	DIN51757
Patlama Sınırı	Yok Hacim%	-
Suda Çözünürlük	Çözünür	-
Ph Değeri 5% / 20°C’de	10.20	DIN 51369

4.2 Test Numunelerinin Hazırlanması

AA2024 alaşımı 12x300x1000 mm ve AA7075 alaşımı ise 10x300x1000 mm levha olarak temin edilmiştir. Levhalar Hamme marka testere tezgahında kesilerek, Evren marka frezede talaşlı imalat yöntemiyle şekillendirilmiştir. Şekillendirme işlemine ait fotoğraflar ve şekillendirme sonrası elde edilen numuneler Şekil 4.4’ te verilmiştir.



a) Levhaların testerede kesilmesi



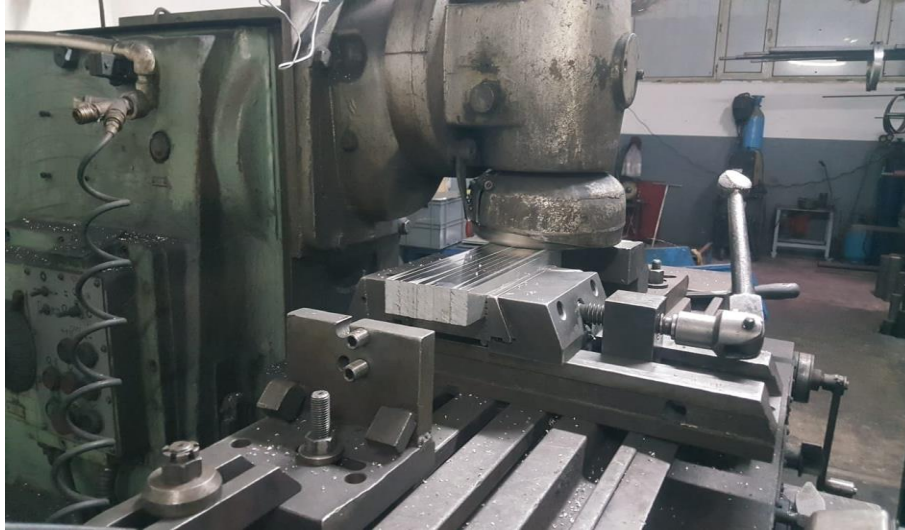
b) Kesilen levhaların ölçüye getirilmek için frezelenmesi



c) Çekme numune geometrisinin frezelenmesi



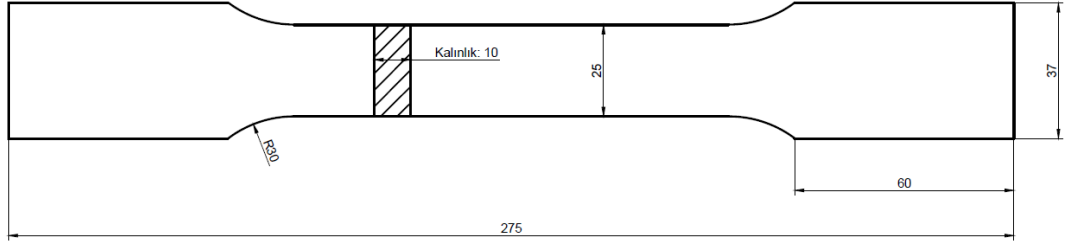
d) Çekme numunelerinin tutma kısımlarının işlenmesi



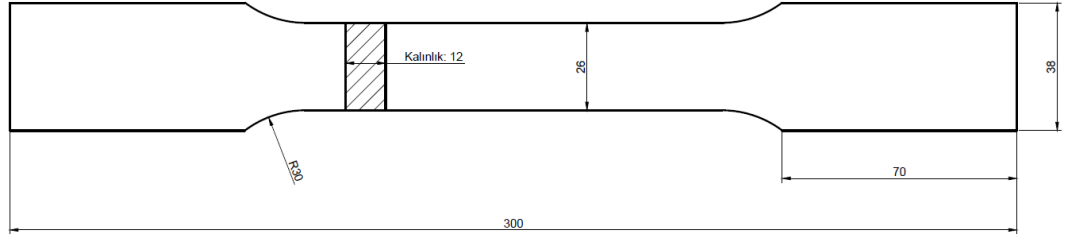
e) Darbe numunelerinin frezlenmesi

Şekil 4.4 Test numunelerinin üretimine ait fotoğraflar

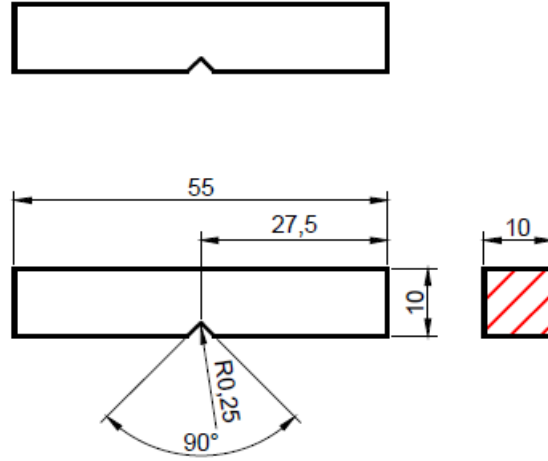
Numuneler aşağıdaki Şekil 4.5’ de verilen teknik resimlere göre üretilmiştir. Şekil 4.5 a’ da AA6082 ve AA7075 alaşıma ait çekme ve eğme test numunesi, Şekil 4.5 b’ de AA2024 alaşımına ait çekme ve eğme test numunesi, Şekil 4.5 c’ de ise AA7075 alaşımına ait darbe test numuneleri verilmiştir.



a) AA6082 ve AA7075 alaşımına ait çekme test numune ölçüleri



b) AA2024 alaşımına ait çekme test numune ölçüleri



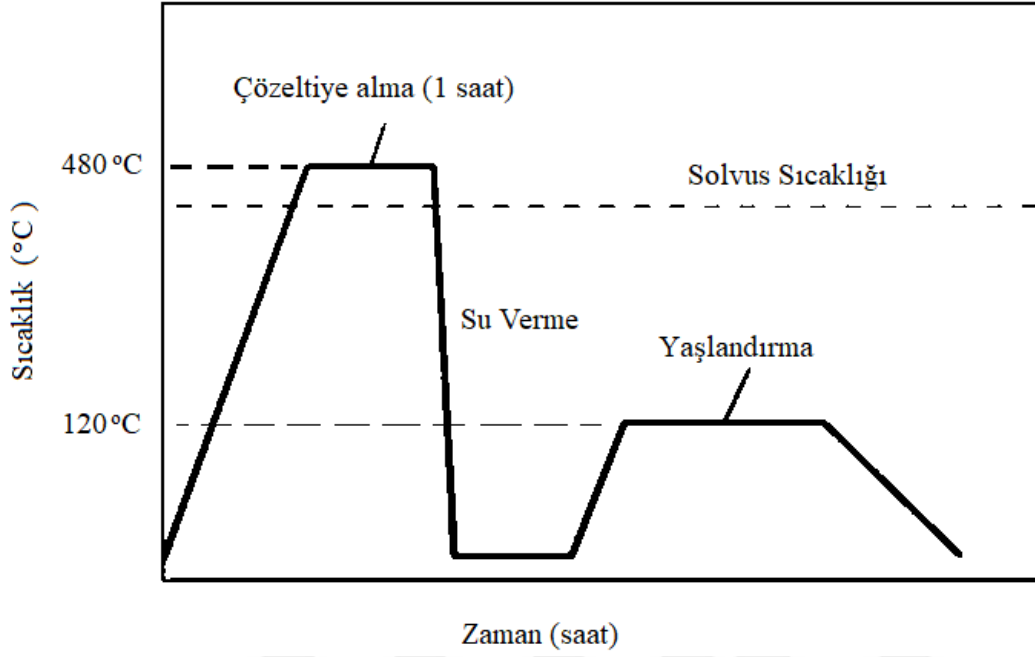
c) AA7075 alaşımına ait darbe test numune ölçüleri

Şekil 4.5 Test numunelerine ait teknik resimler

4.3 Isıl İşlem(Çökeltme Sertleştirilmesi) Uygulanması

Hazırlanan numuneler, Esse Isıl İşlem Makina Sanayi Ltd. Şti (Çorum) firmasında Elimno marka fırında oda sıcaklığından 480 °C' çözeltiye alma sıcaklığına kadar kademeli olarak ısıtılmıştır. Isıl işlem fırınına ait görseller Şekil 4.6' da verilmiştir. Çözeltiye alma sıcaklığında 60 dakika bekletilen numuneler soğutma ortamlarına alınarak sertleştirme işlemi yapılmıştır. Sonrasında numuneler yapay yaşlandırma amacıyla 120 °C' de 12 saat süreyle tutulmuştur. 12 saat sonunda fırından çıkarılan numuneler oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır. Şekil 4.7' de çözeltiye alma

işlemi için malzemelerin ısıtılma fırınına sepet içerisinde yerleştirilmesi gösterilmektedir.



Şekil 4.6 Malzemelerin ısıtılma prosesinin (çökeltme sertleşmesi) şematik gösterimi

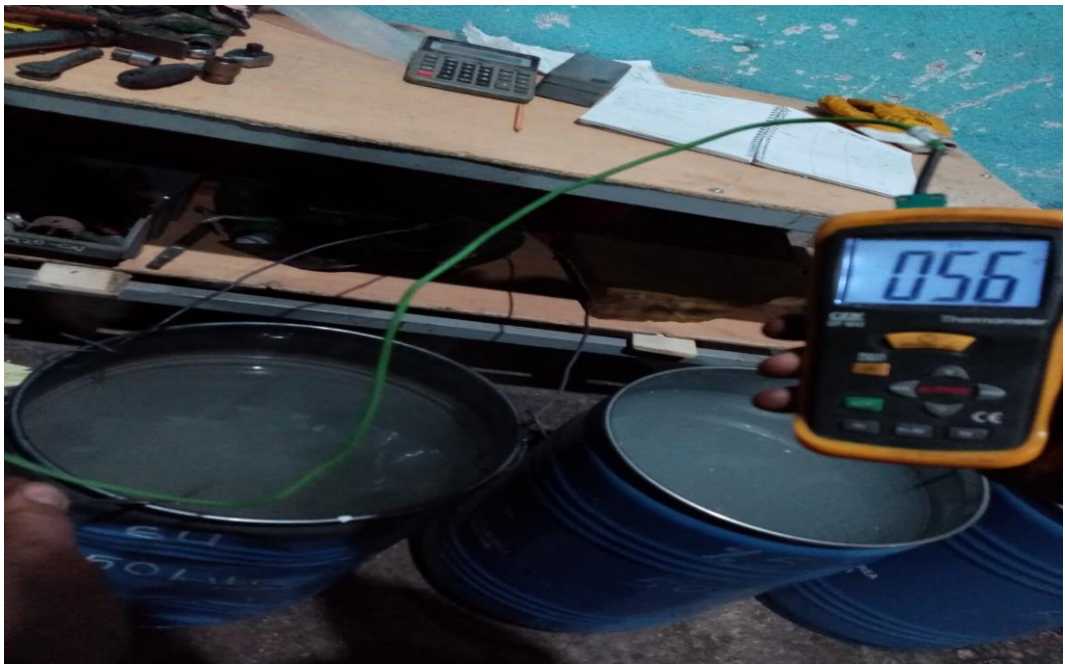


Şekil 4.7 Malzemelerin ısıtılma fırınına sepet içerisinde yerleştirilmesi



Şekil 4.8 Malzemelerin çözeltiye alma sıcaklığı ve fırın kontrol paneli

Isıl işlem polimeri ilave edilmiş karışımların ve ısıl işlem polimeri eklenmemiş suyun, su verme işlemi öncesi ve sonrası su sıcaklıkları thermocouple yardımıyla Şekilde 4.9'da gösterildiği gibi her bir karışım için ayrı ayrı ölçülmüştür. Şekilde 4.9'da suyun su sıcaklığının ölçümü gösterilmiştir.



Şekil 4.9 Isıl işlem öncesi suyun ilk sıcaklık kontrolü

Su verme işlemi için toplam çözelti miktarı 50 litre olan %5' lik, %10' luk ve %15' lik polimer çözeltisi içeren su verme ortamı hazırlanmıştır. Polimer çözeltili su verme ortamlarının görüntüsü sırasıyla, Şekil 4.10, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12' de verilmiştir.



Şekil 4.10 %5'lik polimer çözeltisinin su verme öncesi sıcaklık kontrolü



Şekil 4.11 %10'luk polimer çözeltisinin su verme öncesi sıcaklık kontrolü



Şekil 4.12 %15'lik polimer çözeltisinin su verme öncesi sıcaklık kontrolü

Su verme işlemine başlamadan önce, Çizelge 4.1'de verilen çalışma parametreleri kullanılarak ve toplam karışım miktarı 50 litre olan Çizelge 4.7' de verilen oranlarda polimer eklenerek çözeltilerin tümü hazırlanmıştır. Şekil 4.13' te ısıl işlem polimeri ilave edilmiş soğutma ortamlarının sıcaklık kontrollerine ait görsel verilmiştir.

Çizelge 4.10 Su verme ortamlarının bileşimi

Su verme ortamı	Toplam çözelti (su+polimer) miktarı (l)	Su miktarı (litre)	Isıl işlem polimer miktarı(litre)
Su	50	50	0
%5 Polimer Çözeltisi	50	47,5	2,5
%10 Polimer Çözeltisi	50	45	5
%15 Polimer Çözeltisi	50	42,5	7,5



a) %5'lik karışımın su verme öncesi ilk sıcaklığı



b) a) %10'luk karışımın su verme öncesi ilk sıcaklığı



c) %15'lik karışımın su verme öncesi ilk sıcaklığı

Şekil 4.13 %5'lik, %10'luk ve %15'lik karışımların su verme işlemi öncesi sıcaklık kontrolü

Su verme işlemine başlamadan önce Şekil 4.7’de gösterilen ısıtma fırınlarında bekletilen tüm numuneler Şekil 4.14’de gösterildiği gibi ısıtma fırınından alınır ve her bir karışım için hazırlanan numuneler Şekil 4.15’de gösterildiği gibi %0’lık, %5’lik, %10’luk ve %15’lik polimer karışımlarına daldırılır.



Şekil 4.14 Isıtma fırınından numunelerin alınması



a) Su ortamına numunelerin daldırılması



b) %5'lik polimer karışımına numunelerin daldırılması



c) %10'luk polimer karışımına numunelerin daldırılması



d) %15'lik polimer karışımına numunelerin daldırılması

Şekil 4.15 Numunelerin sırayla %5-%10-%15'lik oranlarda hazırlanan su verme banyolarına daldırılması

Su verme işlemi tamamlandıktan sonra tüm karışımlardaki ısıl işlem polimerinin konsantrasyonuna ait refrakto değerleri manuel olarak bir refraktometre cihazıyla ölçülmüştür. Şekilde 4.16' da cihaz görseli verilmiştir. Bu cihazlar kırılma indislerini basit bir şekilde ölçer ve su verme ortamında veya indüksiyon sertleştirme makinelerinde direkt olarak kontrol edilebilir. Bu cihazlar bir laboratuvar ortamı gerektirmeyen cihazlardır.



Şekil 4.16 Refraktometre cihazı

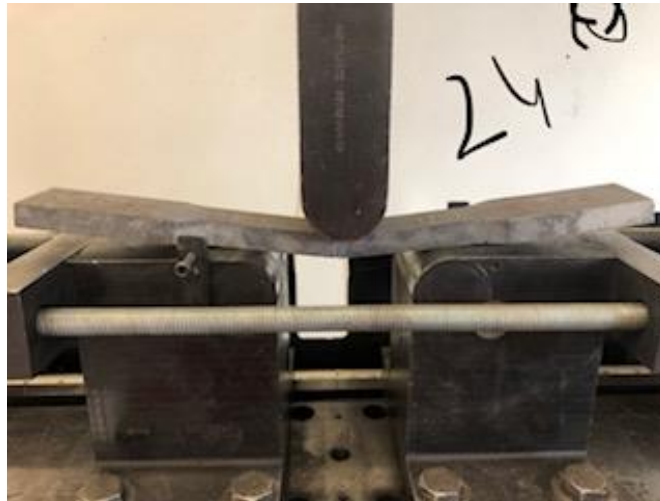
4.4 Mekanik Testlerin Uygulanması

Isıl işlem uygulanmış ve yapay yaşlandırılmış Şekil 4.5' te ölçüleri verilen çekme deney numunelerinin mekanik testleri İmkonsan firmasında (İstanbul) yapılmıştır. Malzemelerin çekme testleri, TS EN ISO 4136 standardına göre, oda sıcaklığında numuneler kopma noktasına kadar Instron 5989 L2711 serisi premium grade 600 kN EM üniversal test ekipmanı ile çekme işlemi gerçekleştirilmiştir. Her deney için ortalama 4 adet numune kullanılarak ortalamaları alınmıştır. Deneylerin tamamında çekme hızı 5 mm/dk olarak sabit tutulmuştur. Çekme değerlerinin belirlenmesinde numunelerin boy, uzunluk ve kalınlık değerleri hesaplamaları göz önünde bulundurulmuştur. Aynı cihaza bağlanan eğme aparatı ile TS EN ISO 5173 standardına uygun olarak eğme testleri yapılmıştır. Test numuneleri 64 mm arası açıklık olan iki destek arasına yerleştirilmiş ve 30 mm/dak. hızda eğmeye maruz bırakılmıştır.

Malzemelerin sünek ve gevrek davranışını belirlemek amacıyla Instron MPX serisi 300 joule pendulum impact test cihazında, TS EN ISO 9016 standardına göre Şekil 4.5' te gösterilen ölçülerdeki numunelere çentik darbe testi uygulanmıştır. Numuneler üzerine 2 mm çentik açılmış, oda sıcaklığında 150° - 5 J'luk çekiç açısı ve enerjisi kullanılmıştır. Testlerin uygulanmasına ait resimler Şekil 4.17' de verilmiştir.



a) Çekme testinin uygulanması



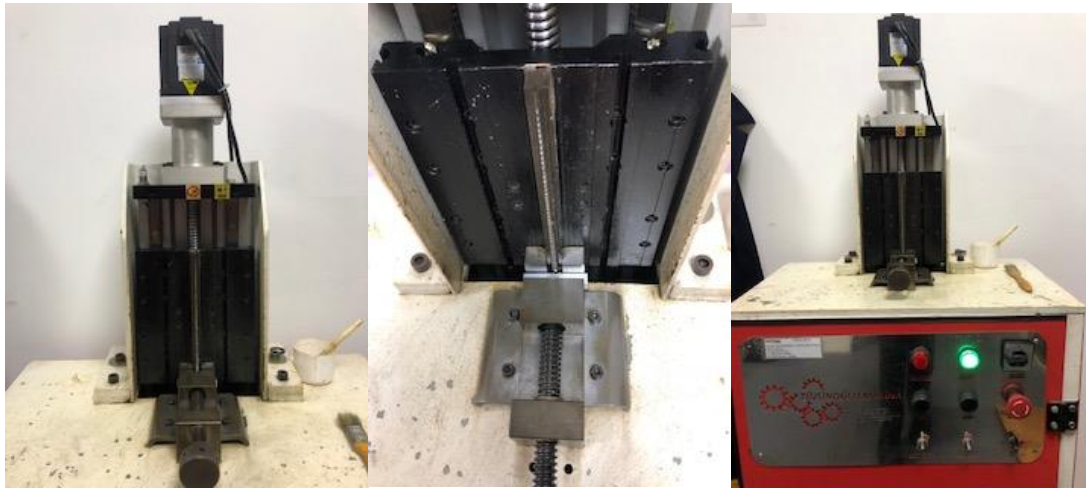
b) Eğme testinin uygulanması



c) Darbe testinin uygulanmasına ait resimler

Şekil 4.17 Mekanik testlerin uygulanmasına ait fotoğraflar

Darbe testi öncesi tüm numunelere Şekil 4.18’de görseli bulunan İMK 44 serili Tüzünoğlu Çentik açma cihazı ile 2 mm derinlikte çentik açılmıştır. Daha sonra tüm numuneler, Şekil 4.19’da gösterilen geçer geçmez master ile tek tek kontrol edilmiştir.



Şekil 4.18 Çentik açma cihazına ait resimler



Şekil 4.19 Geçer geçmez masterlarla darbe numuneleri çentik kontrolü

4.5 Mikrosertlik incelemeleri

Mikrosertlik, malzemelerin mikroskobik mesafelerdeki sertlik değişimlerinin test edilip ölçülmesine dayanan bir işlemdir. Mikrosertlik değeri numune üzerinde oluşan çentiğe göre belirlenir ve sertlik değeri birimi kgf/mm^2 dir. Testin temel prensibi malzeme yüzeyinden iç bölgelere kadar bir boşluk oluşturulup buna karşı malzemenin gösterdiği direncin ölçülmesidir. Uygulanması gereken yükün değeri test edilecek numuneye göre tercih edilmiş olup, EN 6507 standardına uygun olarak sertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.20' de kullanılan sertlik ölçüm cihazının görseli verilmiştir.

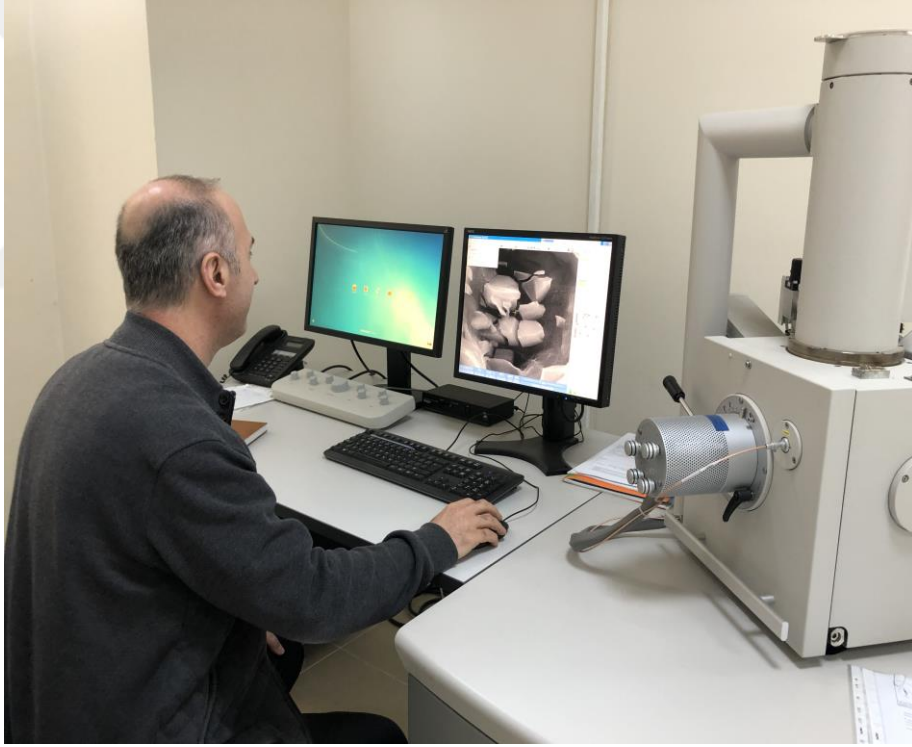


Şekil 4.20 Vicker Sertlik Ölçüm Cihazı

4.6 Mikroyapı İncelemeleri

4.6.1 Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

SEM, elektron kaynağından numune üzerine gönderilen elektronların numune ile etkileşmesinden sonra elde edilen algılayıcı sensörlerle işlenerek görüntünün oluşması şeklinde bir çalışma prensibine sahiptir. Bu yöntemle kırık yüzey görüntüsü, alüminyum alaşımı içerisindeki tane boyutu ve kırılma şekli açısından fikir edinilmesine yardımcı olur. Çalışmaya ait mikro yapı görüntülemelerinde Yalova Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında bulunan Inspect marka ve S50 model SEM cihazı kullanılmıştır. Mikro yapı incelemelerine ve cihaza ait fotoğraflar Şekil 4.21’ de verilmiştir.



Şekil 4.21 SEM cihazına ait resimler

4.7 Çarpılma lümleri

Farklı ortamlarda su verilen Al alaşımlarının çarpılma miktarları ± 0.001 hassasiyete sahip komparatör (Mitutoyo) kullanılarak ölçülmüştür. Numuneler düz bir zemin üzerine sahip markalama pleyti üzerinde kontrol edilmiştir. Numuneler üzerinde farklı noktalardan ölçümler yapılmış, ölçümlerin ortalamaları alınarak çarpılma miktarları belirlenmiştir. Ölçümde kullanılan pleyt ve kompratöre ait fotoğra Şekil 4.22' de verilmiştir.



Şekil 4.22 Ölçüm pleyti ve mitutoyo kompratöre ait resim

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

AA2024, AA7075 ve AA5083 alaşımlarının ısıt işlemleri başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Isıt işlem sonrası yaşlandırılmış numunelere uygulanan test sonuçları aşağıda ayrıntılı başlıklar şeklinde verilmiştir.

5.1 Çekme Test Sonuçları

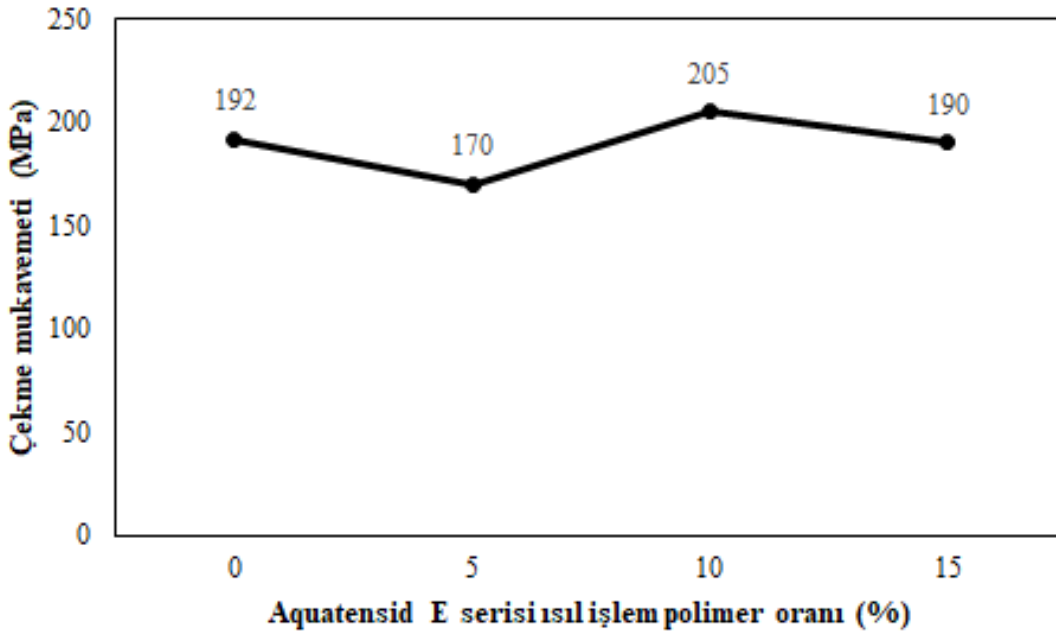
Çalışmada AA5083, AA7075 ve AA2024 alüminyum alaşımları kullanılmıştır ve sonuçları toplu olarak Çizelge 5.1’de verilmiştir. Bu değerler incelendiği zaman en yüksek çekme ve akma değerleri AA6082 alaşımından elde edilmiştir. AA6082 alaşımının yaşlandırma işlemine uygun bir alaşım olduğu literatürden bilinmektedir. Çekme test sonuçlarından elde edilen sonuçlar literatür ile uyumluluk göstermektedir. Çekme testi sonuçlarına göre AA7075 ve AA2024 alaşımlarındaki tüm numunelerde akma ve uzama görülmemiştir. Numuneler gevrek kopmuştur.

Çizelge 5.1 Çekme test sonuçları

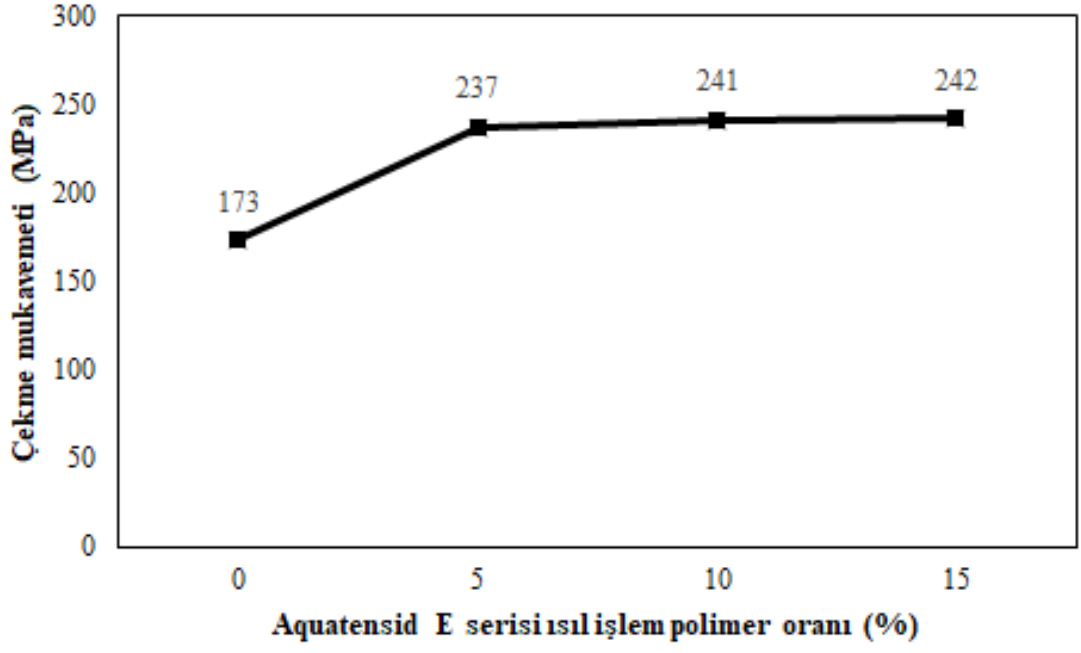
Deney Kodu	Alaşım	ϵ (%)	σ_m (MPa)	σ_a (%)	Akuatensid (%)
HtP001	AA7075	-	192	140	-
HtP002	AA7075	-	170	130	5
HtP003	AA7075	-	205	143	10
HtP004	AA7075	-	190	138	15
HtP005	AA2024	-	173	138	-
HtP006	AA2024	-	237	208	5
HtP007	AA2024	-	241	219	10
HtP008	AA2024	-	242	219	15
HtP005	AA6082	17,3	293	123	-
HtP006	AA6082	26,2	290	121	5
HtP007	AA6082	25,8	293	122	10
HtP008	AA6082	14,6	289	123	15

Genel anlamda en iyi çekme mukavemet değerleri, ısıtma işlem polimerinin %10 olduğu çözeltilerde elde edilmiştir. Üreticinin verdiği ısıtma işlem polimerlerinin çözelti şeklinde uygulamalardaki kullanım bilgileri ile bu çalışmadan elde edilen sonuçlar benzerlik göstermektedir. Malzeme kimyasal yapısının da çekme mukavemet değerleri üzerinde etkili olduğu görülmektedir. AA7075 ve AA6082 alaşımlarında çekme mukavemet değerleri su soğutma ortamındakine yakın, AA2024 alaşımında ısıtma işlem polimerlerinde ise daha yüksek çekme mukavemet değerleri gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar, ısıtma işlem polimerlerinin kullanımında suda yapılan soğutma işlemindekine benzer çekme mukavemet değerlerinin elde edileceğini, hatta malzemenin kimyasal bileşimine göre daha yüksek çekme mukavemet değerlerinin elde edilebileceğini bize göstermektedir.

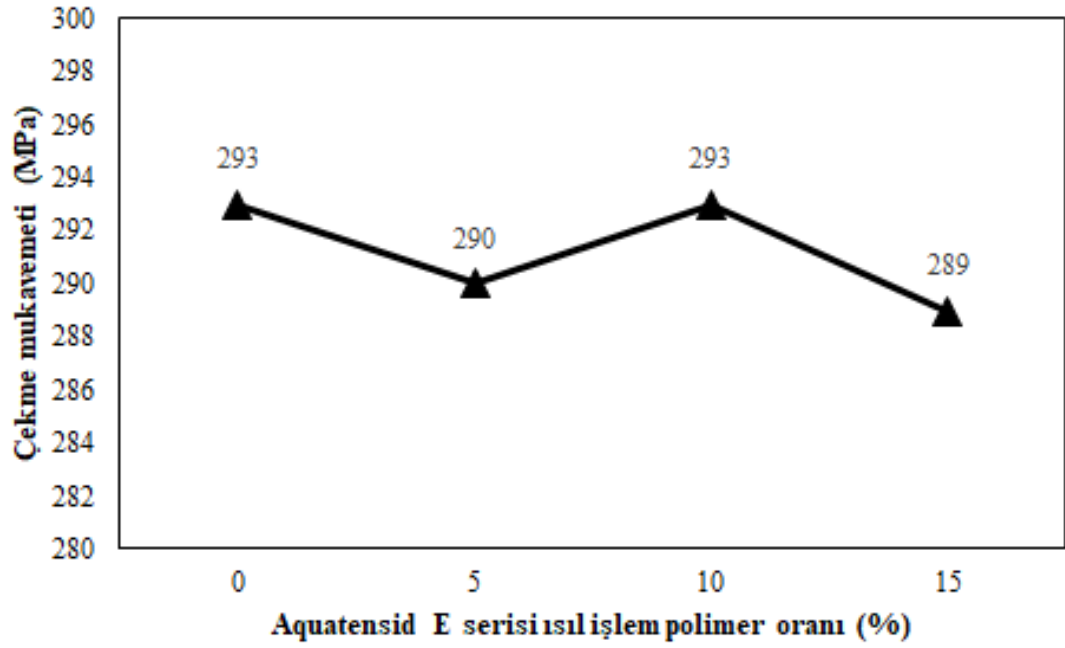
Isıtma işlem polimer miktarı ve çekme mukavemeti arasındaki ilişkiler, AA7075 için Şekil 5.1’ de, AA2024 için Şekil 5.2’ de, AA6082 için Şekil 5.3’ te ve tüm alüminyum alaşımlarının birbiriyle karşılaştırılması ise Şekil 5.4’ de grafiksel olarak verilmiştir. Grafiklerde en yüksek çekme mukavemet değerlerinin AA6082 alüminyum alaşımında elde edildiği belirgin bir şekilde görülmektedir.



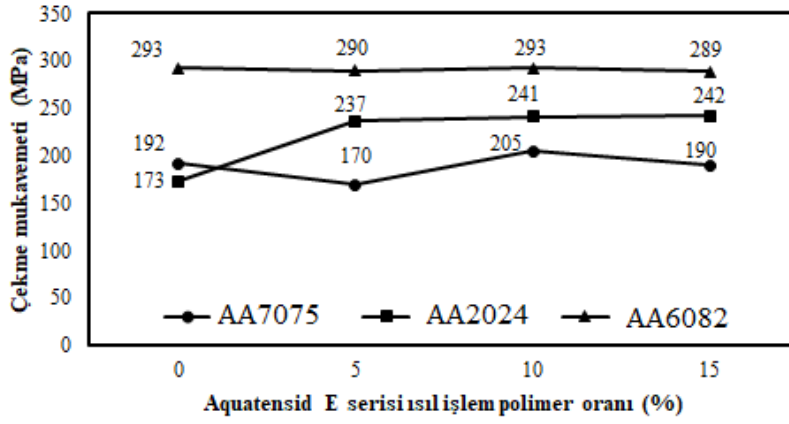
Şekil 5.1 AA7075 alaşımında ısıtma işlem polimer oranı ve çekme mukavemeti arasındaki ilişki



Şekil 5.2 AA2024 alaşımında ısıtıl işlem polimer oranı ve çekme mukavemeti arasındaki ilişki



Şekil 5.3 AA6082 alaşımında ısıtıl işlem polimer oranı ve çekme mukavemeti arasındaki ilişki



Şekil 5.4 AA2024, AA6082, AA7075 alaşımda ısı işleme polimer oranı ve çekme muavemeti arasındaki ilişkinin karşılaştırılması

AA2024 alaşımı için, erime sıcaklıklarının 502-638 °C, çekme mukavemet değerinin 228 MPa ve sertliğinin 120 HB, AA6082 alaşımı için, erime sıcaklıklarının 591-638 °C, çekme mukavemet değerinin 190 MPa ve sertliğinin 81 HB, AA7075 alaşımı için, erime sıcaklıklarının 477-635 °C, çekme mukavemet değerinin 503 MPa ve sertliğinin 150 HB olduğu literatürden bilinmektedir [38]. Bu çalışmada AA7075 ve AA2024 alaşımında, ısı işleme polimerinin etkisinin net olarak görülmesi için, erime sıcaklığına yakın sıcaklıklarda çözeltiye alma işlemi gerçekleştirilmiştir.

AA6082 alaşımı için çözeltiye alma koşulları uygun olduğu için, diğer alaşımlara göre daha iyi çekme test sonuçları elde edilmiştir. AA6082 için, yapay yaşlandırmada tutma süresinin arttırılmasıyla yapı içerisinde homojenizasyonun daha iyi sağlanacağı ve daha yüksek mukavemet değerlerinin elde edileceği düşünülmektedir.

AA2024 ve AA7075 alaşımlarında ise erime sıcaklığına çok yakın sıcaklıklarda ve çözeltiye alma sıcaklığının üstünde malzeme tutulduğu için, nispeten malzemede erime başlamış ve tane sınırlarında sıvı faz oluşarak malzemeleri kırılma hızlandırmıştır. Çekme testinde elde edilen, çekme mukavemet değerleri ve malzemenin uzama göstermeden kırılması bu durumu doğrulamaktadır.

AA2024 ve AA7075 alaşımları için, sıll işlem polimeri içerisinde su verme işlemi uygulandığında, su içerisinde yapılan su verme işlemine oranla çekme mukavemet değerinin yükseldiği görülmektedir. Bu durumun ısl işlem polimerlerinin daha dengeli bir soğutma ortamı sağlayarak malzemelerin kırılğanlığını azaltmasından kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Literatürde yapılan çalışmalarda da benzer sonuçların rapor edildiği görülmektedir [2,6,8,9,13].

5.2 Üç Nokta Eğme Test Sonuçları

Üç nokta eğme testinde kırık numunelere ait görseller Şekil 5.5' de verilmiştir. Üç nokta eğme testinde malzemelerin tamamı kırılmıştır. Kırılma yüzeylerinde çatlakların olduğu ve kırılmanın hızlı bir Şekilde gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Numunelerde 10 MPa sonrası akma gerçekleşmiş ve kırılma deney tamamlanmadan gerçekleştiği için eğme mukavemet değerleri belirlenememiştir.



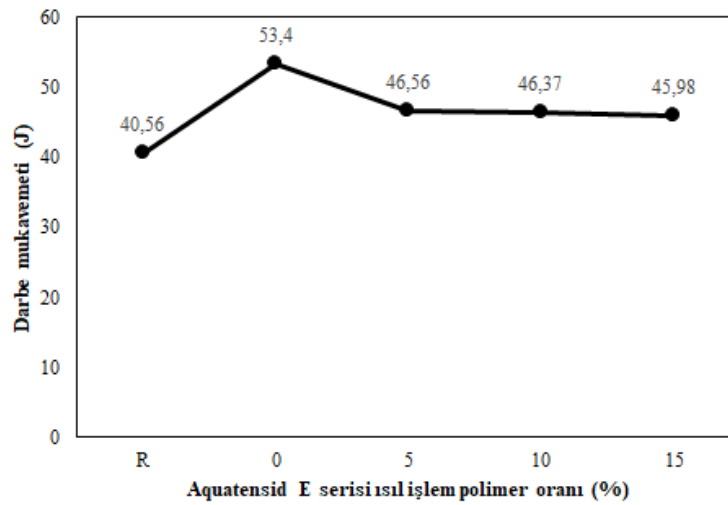
Şekil 5.5 AA2024, AA6082, AA7075 alaşımlarının eğme testlerinde kırılma gerçekleşen test numunelerinin görüntüsü

5.3 Darbe Test Sonuçları

AA6082 alaşımına uygulanan darbe test sonuçları Çizelge 5.2’ de, ısıtma işlemi polimer oranına göre darbe mukavemet değerlerinin karşılaştırılması ise Şekil 5.5’ de erilmiştir. En yüksek darbe mukavemeti 40,56 J olarak su soğutma ortamında elde edilmiştir. Soğutma ortamında ısıtma işlemi polimer oranı arttıkça darbe mukavemetinin düştüğü görülmektedir. Al alaşımlarının ısıtma işleminde, su verme ortamının darbe mukavemeti üzerinde etkili olduğu, darbe mukavemetinin önemli olduğu uygulamalarda göz önünde bulundurulması gereken bir parametre olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 5.2 Darbe test sonuçları

Deney Kodu	Alaşım	Darbe mukavemeti (J)	Su (%)	Aquatensid (%)
Referans (R)	AA6082	40,56	Isıtma işlemi uygulanmamış.	
HtP013	AA6082	53,40	100	-
HtP014	AA6082	46,56	95	5
HtP015	AA6082	46,37	90	10
HtP016	AA6082	45,98	85	15



Şekil 5.6 AA6082 alaşımında ısıtma işlemi polimer oranı ve darbe mukavemeti arasındaki ilişki

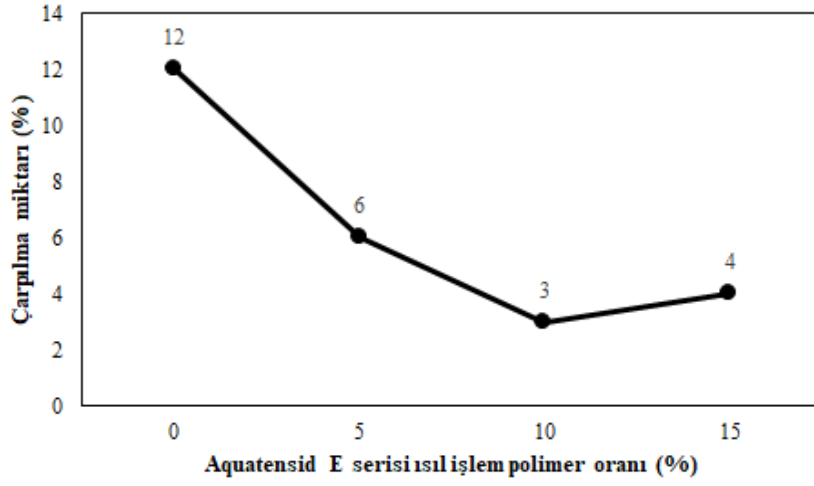
5.4 Çarpılma Miktarı Ölçüm Sonuçları

Çarpılma miktarı ölçümlerine ait sonuçlar izelge 5.3' te toplu olarak verilmiştir. Soğutma ortamında ısıt işlem polimerinin miktarı arttıkça malzemelerin çarpılma miktarının azaldığı gözlemlenmiştir.

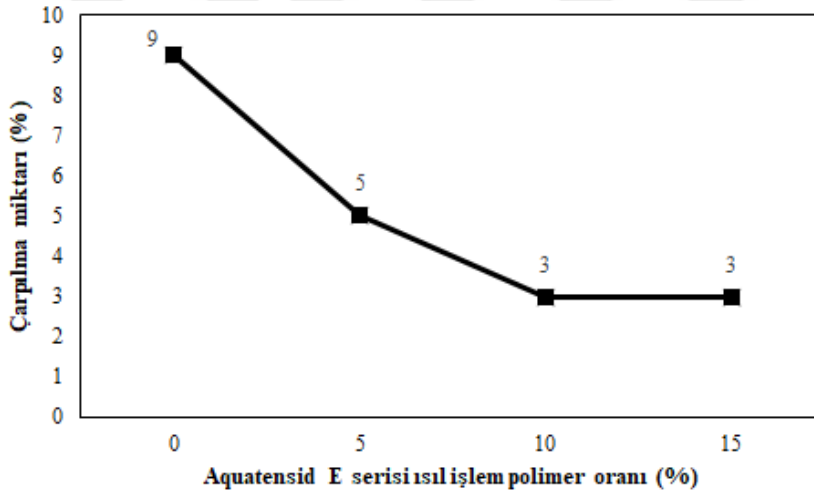
Isıt işlem polimer miktarı ve çarpılma miktarı arasındaki ilişkiler, AA7075 için Şekil 5.8' de, AA2024 için Şekil 5.9' da, AA6082 için Şekil 5.10' da ve tüm alüminyum alaşımlarının birbiriyle karşılaştırılması ise Şekil 5.11' de grafiksel olarak verilmiştir. Grafiklerde en az çarpılma değerlerinin AA6082 alüminyum alaşımında elde edildiği belirgin bir şekilde görülmektedir.

Çizelge 5.3 arpılma ölçüm sonuçları

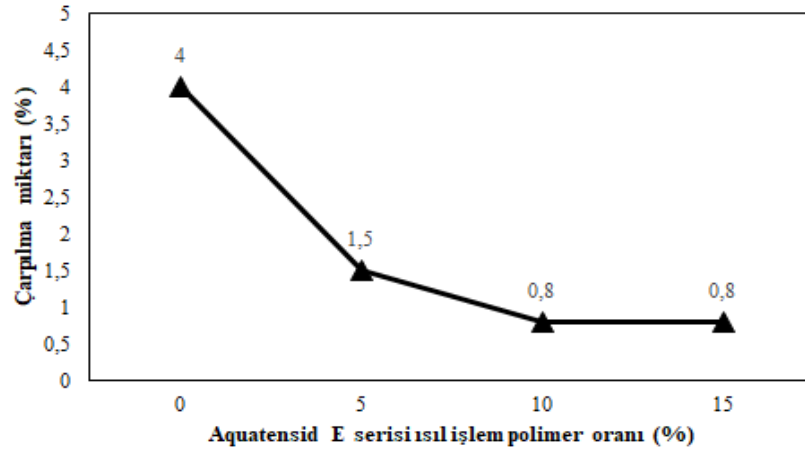
Deney Kodu	Alaşım	Kalınlık (mm)	E_t (MPa)	arpılma miktarı (%)	Aquatensid (%)
HtP001	AA7075	10	192	12	-
HtP002	AA7075	10	170	6	5
HtP003	AA7075	10	205	3	10
HtP004	AA7075	10	190	4	15
HtP005	AA2024	12	173	9	-
HtP006	AA2024	12	237	5	5
HtP007	AA2024	12	241	3	10
HtP008	AA2024	12	242	3	15
HtP005	AA6082	10	293	4	-
HtP006	AA6082	10	290	1,5	5
HtP007	AA6082	10	293	0,8	10
HtP008	AA6082	10	289	0,8	15



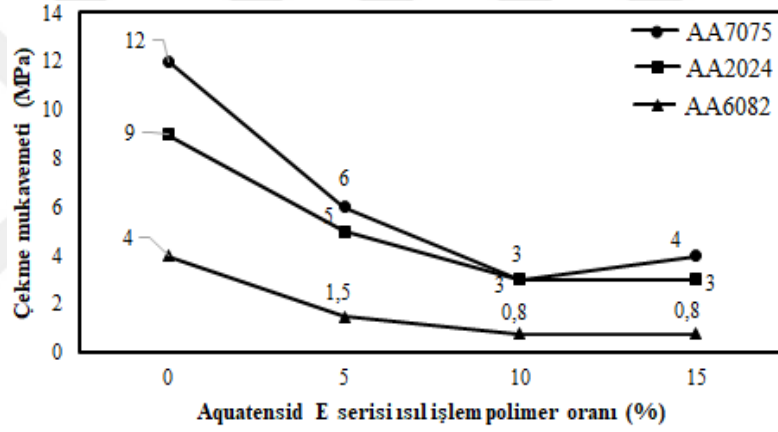
Şekil 5.7 AA7075 alaşımında ısıtılma polimer oranı ve çarpılma miktarı arasındaki ilişki



Şekil 5.8 AA2024 alaşımında ısıtılma polimer oranı ve çarpılma miktarı arasındaki ilişki



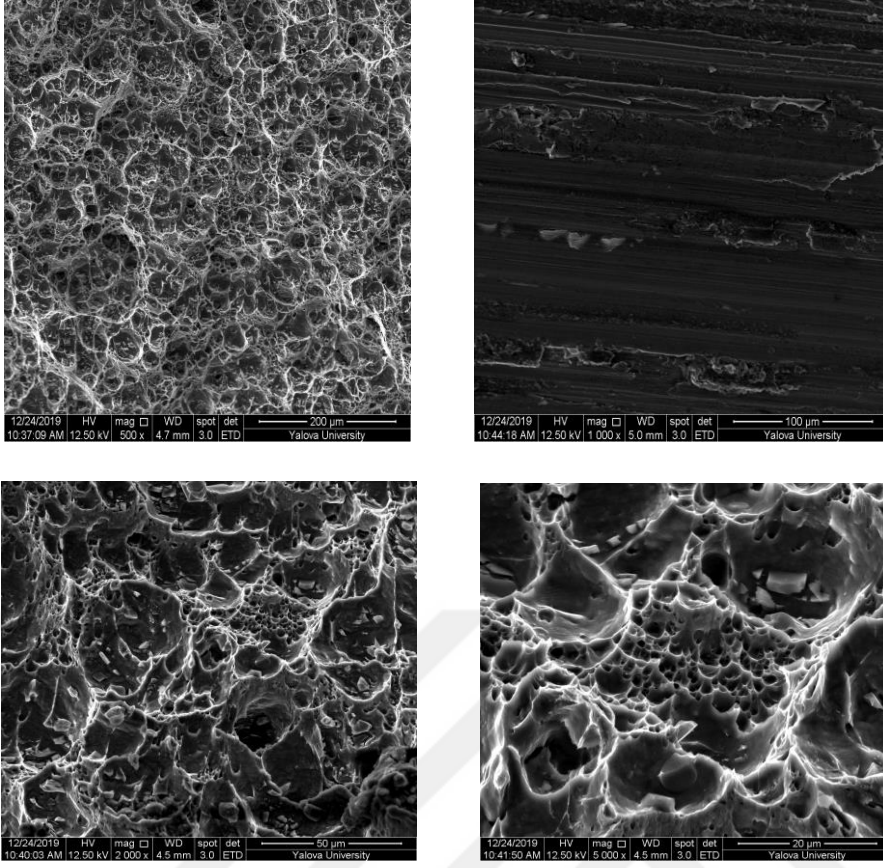
Şekil 5.9 AA6082 alaşımında ısıtılma polimer oranı ve çarpılma miktarı arasındaki ilişki



Şekil 5.10 AA2024, AA6082, AA7075 alaşımında ısıtılma polimer oranı ve çarpılma miktarı arasındaki ilişkinin karşılaştırılması

5.5 Mikroyapı İnceleme Sonuçları

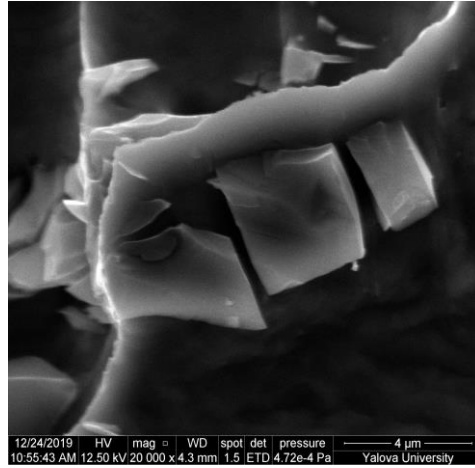
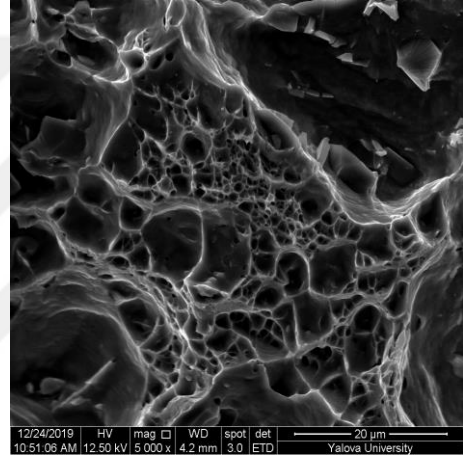
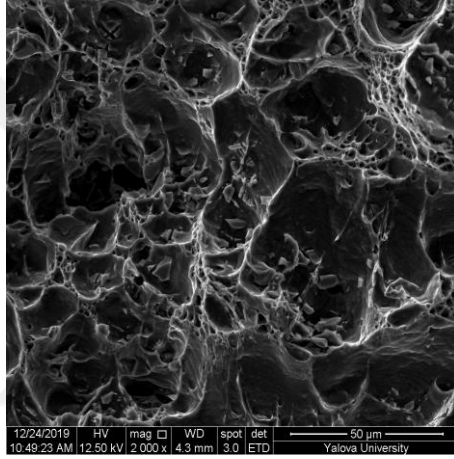
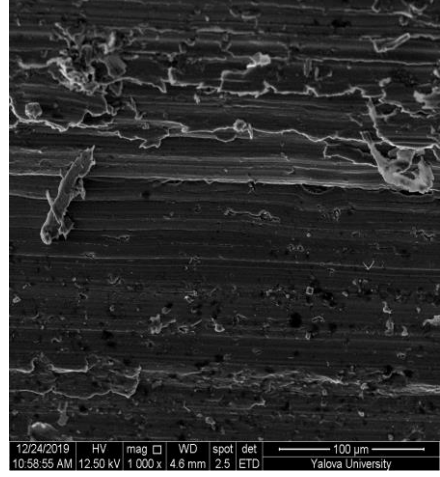
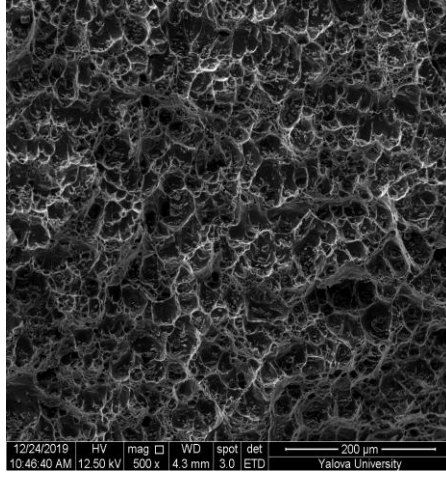
Çalışmalarda ısıtılma işlem uygulanmamış referans numunelere ait SEM fotoğrafları Şekil 5.11’de verilmiştir. Alüminyumun ısıtılma işlem öncesi klasik mikroyapısı gözükmemektedir. Yapının amorf bir yapıda olduğu yer yer süngerimsi boşlukları olduğu görülmektedir. Yapı içerisindeki partiküllerin farklı boyutlarda, keskin köşeli ve heterojen bir dağılımda olduğu görülmektedir.



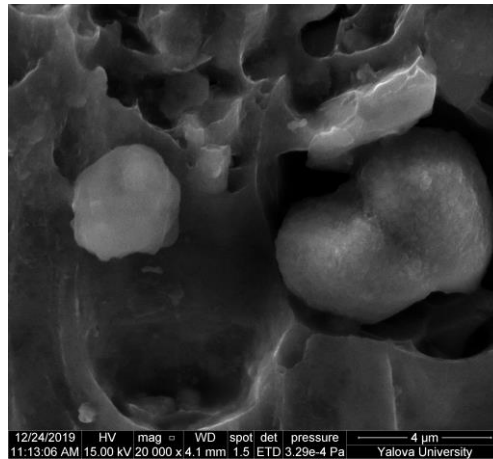
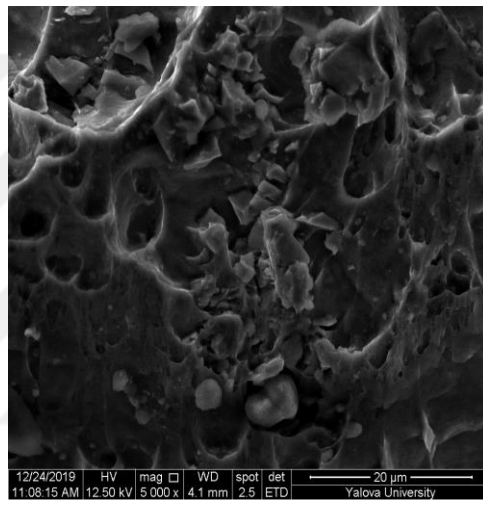
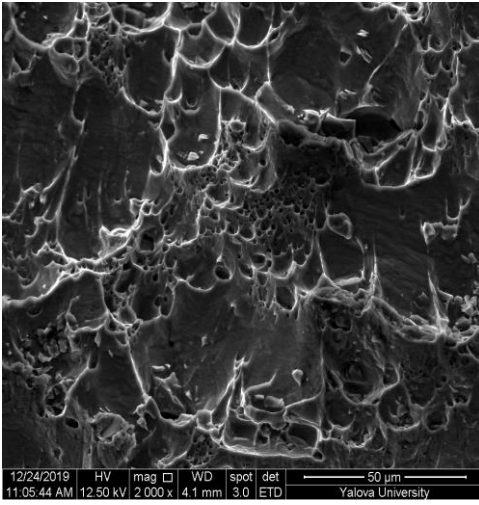
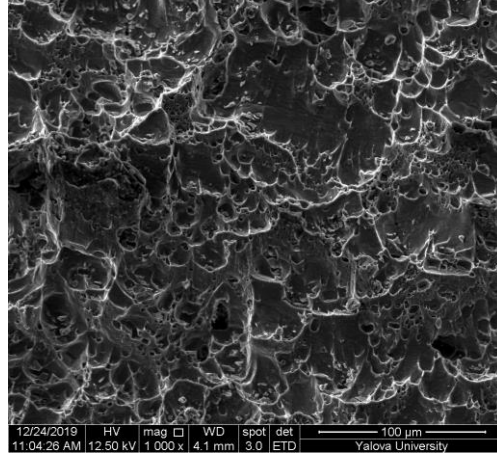
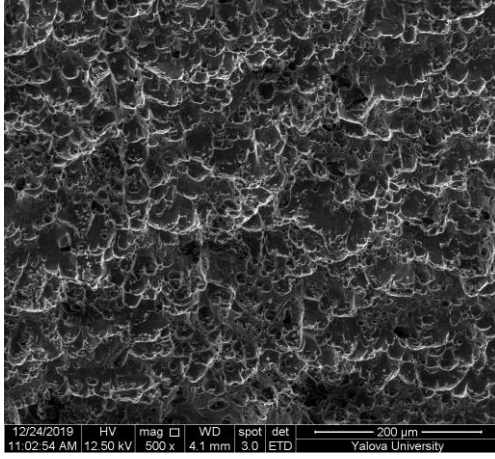
Şekil 5.11 Isıl işlem uygulanmamış referans numunelere ait SEM fotoğrafları sırasıyla a)x500, b)x1000 (çentik yüzeyi), c)x2000, d)x5000

Şekil 5.12' de suda sertleştirilmiş, Şekil 5.13' de %5 polimer çözeltisinde sertleştirilmiş, Şekil 5.14' te %10 polimer çözeltisinde sertleştirilmiş, Şekil 5.15' te %15 polimer çözeltisinde sertleştirilmiş numunelere ait SEM fotoğrafları verilmiştir.

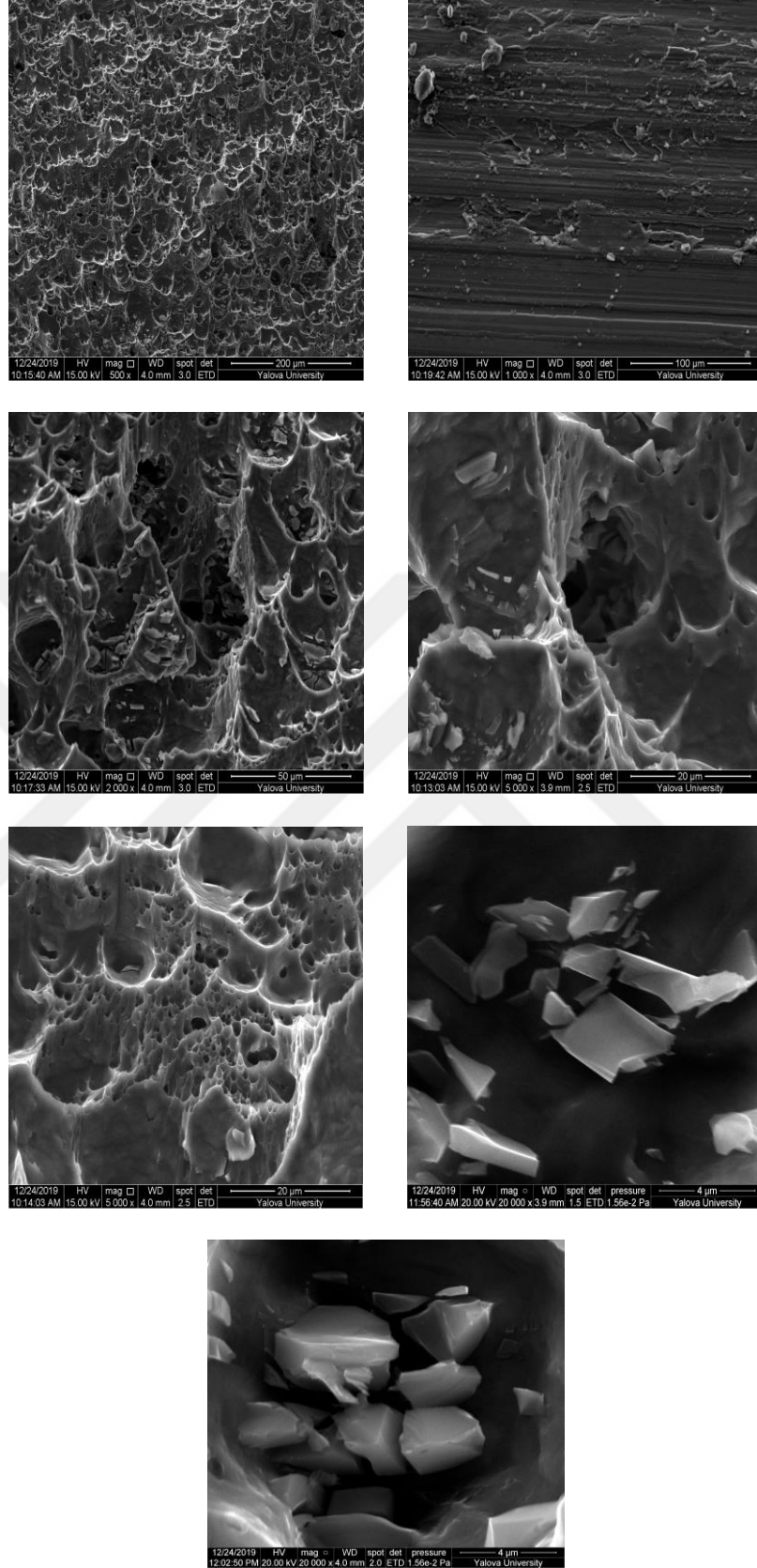
Çözeltiye alma işlemi sonrası, partiküllerin yapı içerisinde homojen bir dağılım sergilediği gözükmektedir. Suda sertleştirilen numunelerde, yapı içerisinde çözünmeyen partiküllerin çözünmeyen partiküllerinde keskin köşeli bir şekilde yapıda yer aldığı görülmektedir. Isıl işlem polimer miktarı arttıkça çöken partiküllerin küresel bir form aldığı ve çözünmeyen partiküllerin yapı içerisinde belirgin şekilde olduğu görülmektedir.



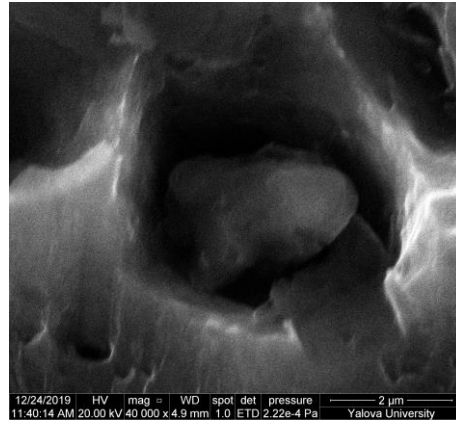
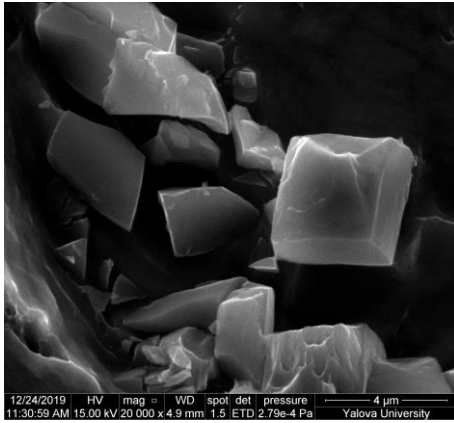
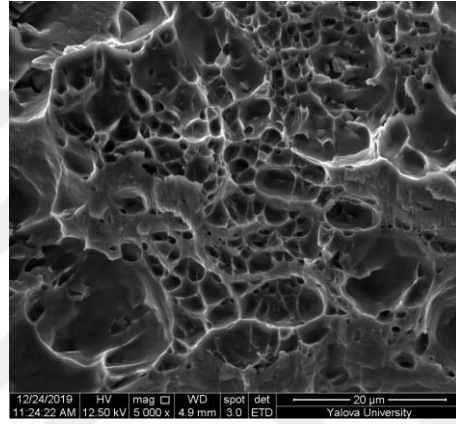
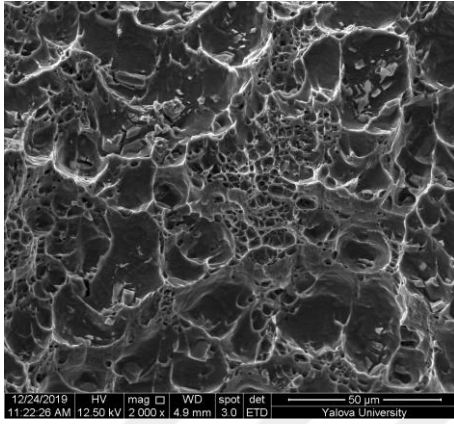
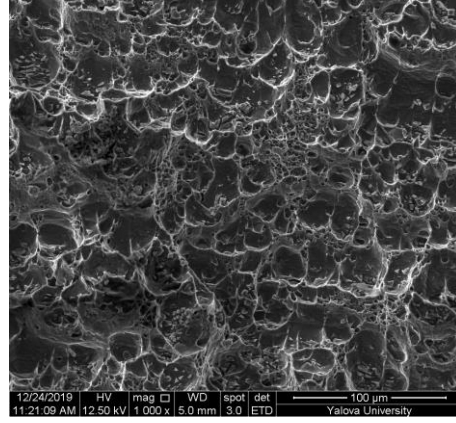
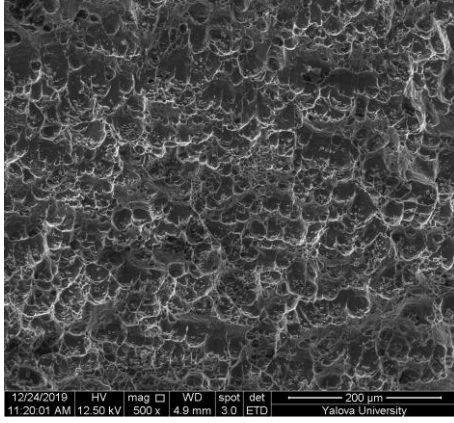
Şekil 5.12 Suda sertleştirilmiş numunelere ait SEM fotoğrafları sırasıyla a)x500, b)x1000(çentik yüzeyi), c)x2000, d)x5000, e)x20000



Şekil 5.13 %5 polimer çözeltisinde sertleştirilen numunelere ait SEM fotoğrafları sırasıyla a)x500, b)x1000, c)x2000, d)x5000, e)x20000



Şekil 5.14 %10 polimer çözeltisinde sertleştirilen numunelere ait SEM fotoğrafları sırasıyla a)x500, b)x1000(çentik yüzeyi), c)x2000, d)x5000, e)x5000, f)x20000, g)x2000



Şekil 5.15 %15 polimer çözeltisinde sertleştirilmiş numunelere ait SEM fotoğrafları sırasıyla a)x500, b)x1000, c)x2000, d)x5000, e)x20000, f)x40000

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışmada AA2024, AA6082 ve AA7075 alaşımları 480 °C' de bir saat süreyle çözeltiye alma sıcaklığında tutulmuş ve sonrasında su, %5, %10 ve %15 Aquatensid E serisi ısıtma işlem polimerinden oluşan çözelti içerisinde su verilmesi, su verme sonrası alaşımlara 120 °C' de 6 saat süreyle yapay yaşlandırma işlemi başarılı bir şekilde uygulanmıştır. Çalışmadan elde edilen genel sonuçlar aşağıdaki gibi listelenebilir:

- 1) Soğutma katsayıları (Su:1, PAG:0,8) farklı olmasına rağmen, ısıtma işlem polimerlerinde su verilen malzemelerin çekme mukavemet değerleri, su da sertleştirme işlemi uygulanan malzemelere yakın olarak elde edilmiştir. Erime sıcaklıklarına yakın sıcaklıklarda, çözeltiye alma sıcaklığında tutulan malzemelerde ise ısıtma işlem polimerlerinde yapılan sertleştirme işleminde ise daha yüksek mukavemet değerleri elde edilmiştir. Isıtma işlem polimerlerinin soğutma ve malzeme mekanik özellikleri üzerindeki etkinliği burada açık olarak tespit edilmiştir.
- 2) Çekme mukavemet değerleri açısından en iyi sonuçlar ısıtma işlem polimerinin %10 olduğu su verme ortamında elde edilmiştir. AA2024, AA6082, AA7075 alaşımlarından üretilmiş malzemelerin yaşlandırma işleminde su verme sertleştirme ortamı için kullanılacak ısıtma işlem polimerinin ideal oranı %10 olarak belirlenmiştir.
- 3) Uygun sıcaklıklarda çözeltiye alma işlemi gerçekleştirildiğinde, ısıtma işlem polimerlerinde yapılan su verme sertleştirmesinde meydana gelen çarpılmalar su soğutma ortamına göre minimum %62, maksimum %80 oranında azalmıştır. Erime sıcaklıklarına yakın sıcaklıklarda ise ortalama minimum %48, maksimum %74 oranında çarpılma miktarı azalmaktadır. Çarpılma miktarı üzerinde ısıtma işlem polimerlerinin etkisi net olarak gözlenmiştir. Çarpılma miktarı, su verme ortamında ısıtma işlem polimeri miktarı arttıkça azalmıştır. Isıtma işlem polimer miktarı %10 ve %15 arasında ise çok belirgin bir fark gözlemlenmemiştir. Çarpılma miktarının azaltılması için, su verme ortamına ilave edilecek ısıtma işlem polimeri için ideal oranı %10 olarak optimize edilmiştir.

- 4) En yüksek darbe mukavemet değeri, su soğutma ortamında elde edilmiştir. Isıl işlem polimer oranı arttıkça, çok belirgin bir fark oluşturmasa da darbe mukavemet değerinin düştüğü görülmüştür. Bu durumun soğuma hızına bağlı olarak oluşan mikroyapıdan kaynaklandığı düşünölmektedir.
- 5) Polimer çözeltilisinde soğutulan numunelerde çatlak oluşumu ve çarpılma miktarları azalmıştır.
- 6) Isıl işlem polimerlerinin gelecekte daha fazla uygulama alanı bulacağı, ilave katkı ve dolgularla malzeme özelliklerini geliştirecek yeni ortamların geliştirileceği düşünölmektedir. Bir sonraki çalışmada, farklı katkılarla zenginleştirilmiş yeni ısıl işlem polimerlerinin sentezlenmesi, ısıl işlem uygulamalarının gerçekteştirilmesi ve sonuçların bu çalışmadan elde edilen sonuçlarla karşılaştırılması yapılabilir.

Destekleyen Kişi ve Kurum Bilgisi.

Bu alışma Yalova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından 2018/YL/0016 nolu projeye desteklenmiştir. Vermiş oldukları destek için Yalova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne teşekkür ederiz.





KAYNAKLAR

- [1] Kakhki, M.E, Soltani, M.A, Amini K, Mirjalili, H.R, Rezaei R, Haghiri, T, Zamani, M.R, Application of Polymeric Quenchants in Heat Treatment of Steels, International Journal of ISSI, 6 (2009) 34-38.
- [2] Salman, M.S, Alsada, S.A.A, Al-Sultani, K.F, Improvement Properties of 7075-T6 Aluminum Alloy by Quenching in 30% Polyethylene Glycol and Addition 0.1 % B, Res. J. Material Sci., 1(6) (2013) 12-17.
- [3] Hasırcı H, Isıl İşlem Şartlarının Ötektik AlSi Döküm Alaşımının Abrasif Aşınma Davranışına Etkileri, Journal of Polytechnic, 18(1) (2015) 7-13.
- [4] Güteryüz K. ve Kaçar R, Deformasyon Yaşlanması AA7075 Alüminyum Alaşımının Mekanik Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi, International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), May 16-18 2011, Elazığ, Türkiye.
- [5] Kabosko N. I, Aronov M.A, Powell J.A, Canale L.C.F, Totten G.E, Improved Production of Automotive Parts by Intensive Quench Processing, The 2nd International Conference Heat Treatment and Surface Engineering in Automotive Applications, Riva Del Garda, June 20-22 (2005).
- [6] Croucher Tom, Effectively Quenching Thick Sections of High Strength Aluminum Alloys Using Polyalkylene Glycol Quenchants, Tom Croucher Metallurgical Services to the Heat Treating Industry, 2011.
- [7] Momoh I.M, Bamike B.J, Saliu A.M, Adeyemi O.A, Effects of Polyethylene Glycol on the Mechanical Properties of Medium Carbon Low Alloy Steel, Nigerian Journal of Technological Development, 12 (2) (2015), 61-64.
- [8] Mohmmmed J.H, Effect of Addition CuO Nanoparticle to Quenching Media on Properties of Medium Carbon Steel, Engineering and Technology Journal, 35(A) (2017) No. 9.

- [9] Ibashbeshy E.M.A, Emam T.G, Abdel-wahed M.S, Effect of heat treatment process with a new cooling medium (nanofluid) on the mechanical properties of an unsteady continuous moving cylinder, Journal of Mechanical Science and Technology 27 (12) (2013) 3843~3850.
- [10] Chen N, Zhang W, Gao C, Liao B, Pan J, The Effects of Probe Geometric Shape on the Cooling Rate Curves Obtained from Different Quenchants, Trans Tech Publications, Switzerland, 118 (2006), 227-232.
- [11] Al-Ugaily A.O.M, Al-Murshdy, J.M.S. Jassim, A.H.M, Effect of Quenching Media on Corrosion Resistance of Al-Si-Mg Alloy. Al-Qadisiya University, Journal of Science, 19 (1) (2014), 125-137.
- [12] N. Kobasko, Cooling Intensity of Inverse Solubility Polyalkylene Glykol Polymers and Some Results Of Investigations Focused On Minimizing Distortion of Metal Components, Physics and Engineering, Reports on research projects, DOI: 10.21303/2461-4262.2017.00294, 2017.
- [13] J.M.S. Al-Murshdy, H.S.R. Al-Garawi, The Effect of Heat Treatments, Polymer Quenching and Additions (Zr and Ag) on Mechanical Properties of (6061) Aluminum Alloy, The Iraqi Journal For Mechanical And Material Engineering, 14 (1) (2014), 153-173.
- [14] Kernow Oils- Yağ Çözümleri,
<https://www.kernow-oils.co.uk/shop-by-brand/houghton/quenching-fluids/houghton-aqua-quench-251-water-soluble-polymer-quenchant-54005/c-st-54005/>, 2019.
- [15] D.S. Mackenzie, Sizing Quench Tanks for Batch Immersion Quenching, Houghton International Inc, 172 (6), 2014, 42-44
- [16] G.E. Totten, L.D.C.F. Canale, Quenching Technology: A Selected Overview of the Current State-of-the-art, Materials Research, 8(4), 2015, 461-467.
- [17] Houghton On Quenching, Fluid Technology and Service Worldwide,
<https://www.houghtonintl.com/tr/products/aqua-quench%C2%AE-245-9>, 2019.

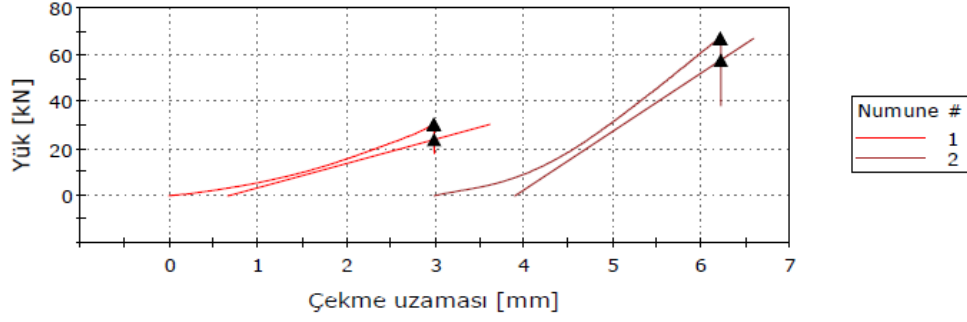
- [18] K.E. Thelning, Çelik ve Isıl İşlemi, Çeviri: Adnan Tekin, Flaş Matbaacılık, İstanbul, 1987.
- [19] M.A Topbaş, Çelik ve Isıl İşlem El Kitabı, Ekim Ofset, İstanbul, 1998.
- [20] H. Yaşar, Demir dışı metaller ve alaşımları, Makine Mühendisliği El Kitabı, Cilt I, Üretim ve Tasarım (2. Baskı) 2, 1994, 43-48.
- [21] Malzeme Bilimi.net.
<https://malzemebilimi.net/aluminyum-alaşımları>, 2019
- [22] P. Rambabu, N.E. Prasad, V.V Kutumbarao, R. J. H Wanhill, Aluminium Alloys for Aerospace Applications, Aerospace Materials and Material Technologies, Indian Institute of Metals Series DOI 10.1007/978-981-10-2134-3_2., 2017.
- [23] M. Yurdakul, O. Özbay, Y.T. İç, Havacılık Alanında Kullanılan Alüminyum Alaşımlarının Seçimi, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 17 (2), (2002), 1-23.
- [24] Tanya Aycan Başer, Alüminyum Alaşımları ve Otomotiv Endüstrisinde Kullanımı, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, 53 (635), (2013), 51-58.
- [25] Esin Demir., (2008): Alüminyum Alaşımlarda Isıl İşlem Etkilerinin İncelenmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İzmir.Fff
- [26] F.G. Koç, M. Çöl, T. Çeliker, Al-Zn-Mg-Cu Alaşımlarının Su Verme Hassasiyeti, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Kocaeli, Türkiye, 23 (8), (2017), 963-966.
- [27] D.R. Askeland, The science and engineering of metaterials, 2. Edition, İstanbul, Chapman&Hall s.423, 1990.
- [28] Geçkinli L.F., Alüminyum ve Alaşımlarının Isıl İşlemi, 2.Isıl İşlem Sempozyumu, İstanbul, Türkiye, Şubat 2002.
- [29] H. Özden, A. Eryavuz, Savunma Sanayinde, Uçak ve Havacılık Sektöründe Laser Kaynak Yöntemlerinin Değerlendirilmesi, Mühendis ve Makina, 57 (673) (2016), 54-63.

- [30] E. Özşahin, S. Tolun, Yüzey Kaplaması ve Destek Katman İlavesinin Alüminyum Levhaların Balistik Performansına Etkileri, Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi, Temmuz 2010, 4 (4), 41-50.
- [31] A. Özgür, Ö. Gürsoy, E. Erzi, D. Dışpınar, Havacılık Uygulamalarında Kullanılan Alüminyum Alaşımlarının Kalıp Dolu Kabilite ve Çekme Özelliklerinin İncelenmesi, Tüdöksad Akademi 10.Uluslararası Döküm Kongresi, İstanbul, Türkiye, 2018, 25-27.
- [32] A. Işık, İ. Ertürk, M. Önder, AA2024 Alüminyum Alaşımının Sürtünme Karıştırma Kaynağında Farklı Parametrelerin Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Ankara, Türkiye, 16 (2010), 139-147.
- [33] Seykoç Alüminyum.
<http://seykoc.com.tr/icerik/isil-islem-semboelleri>, 2019
- [34] M. Dilmeç, M. Tınkır, H. Arıkan, Al 2024 Alaşımının Çökelme Sertleşmesi İşlemi Koşullarının Şekillendirilebilirliğe Etkisinin İncelenmesi, Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 30 (1) (2015), 231-248.
- [35] Petrofer.
<http://petrofer.com.tr/>, 2019.
- [36] İmkosan.
<http://www.imkosan.com.tr/>, 2019
- [37] ASM Aerospace Specification Metals Inc.
<http://asm.matweb.com>, 2019

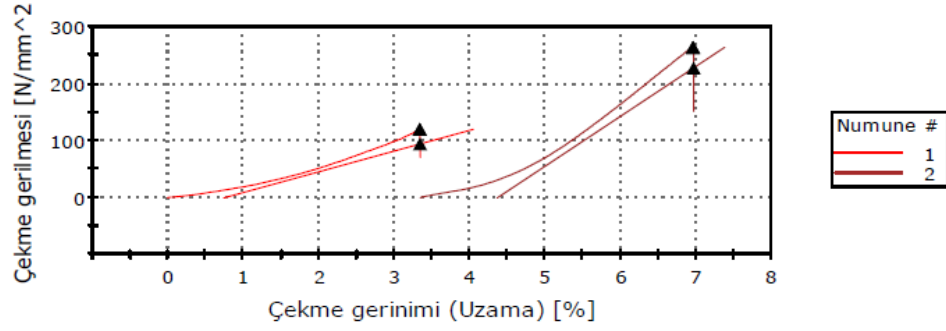
EKLER

EK-1 Çekme Testi Grafikleri

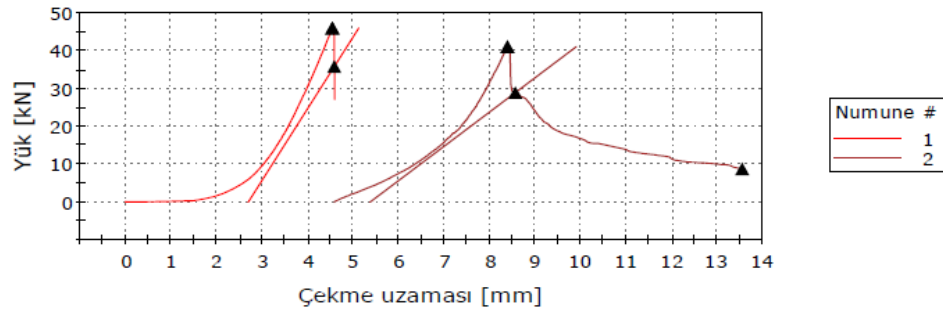
AL 7075 NO=0-1



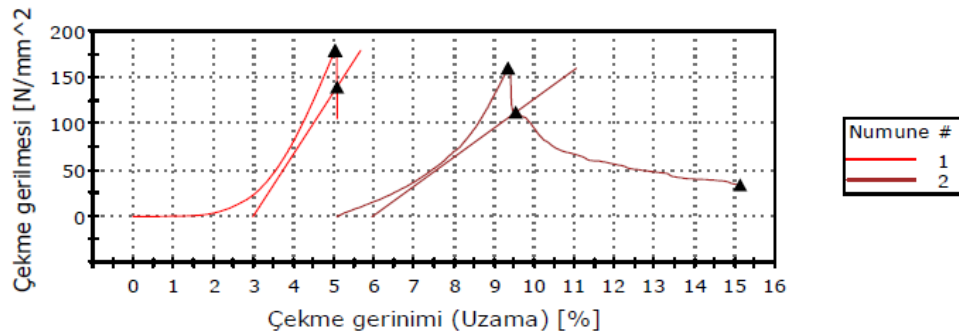
AL 7075 NO=0-1



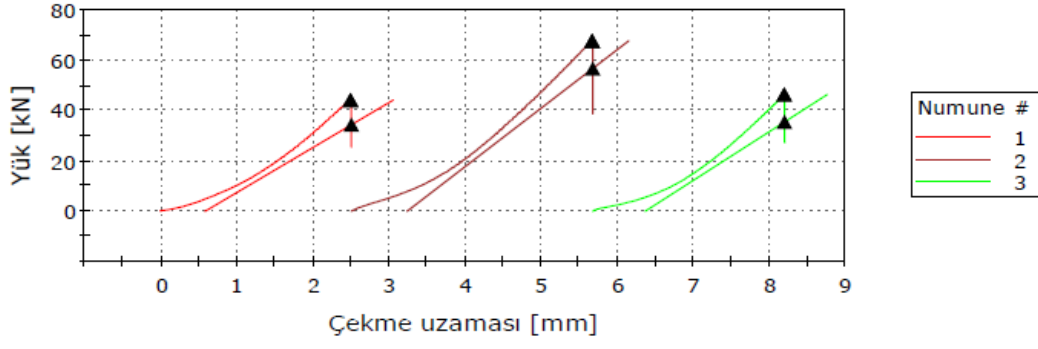
AL 7075 NO=1-4



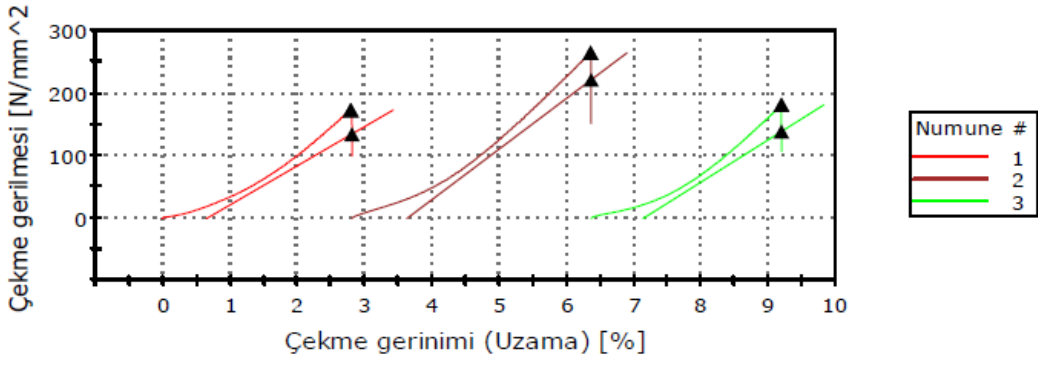
AL 7075 NO=1-4



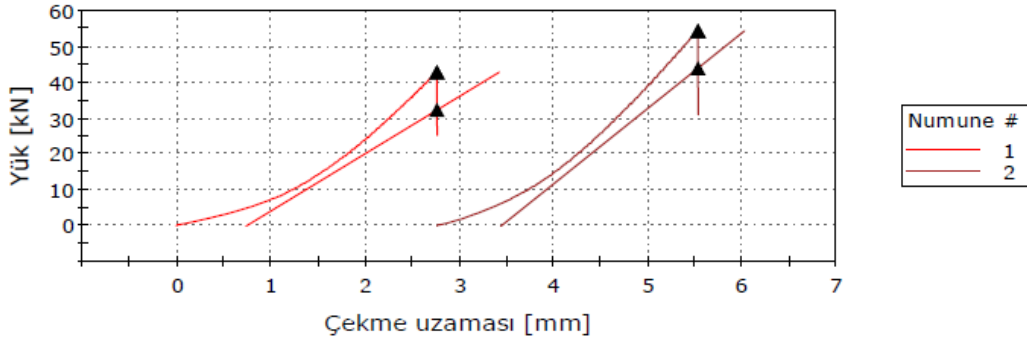
AL 7075 NO=2-3*2-4*2-5



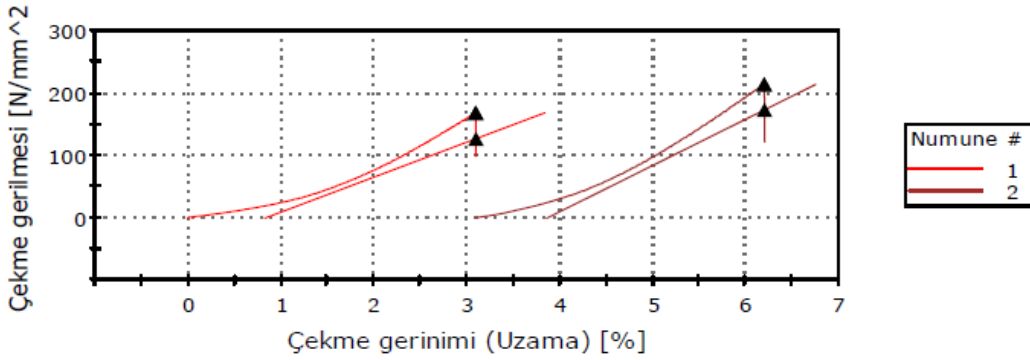
AL 7075 NO=2-3*2-4*2-5



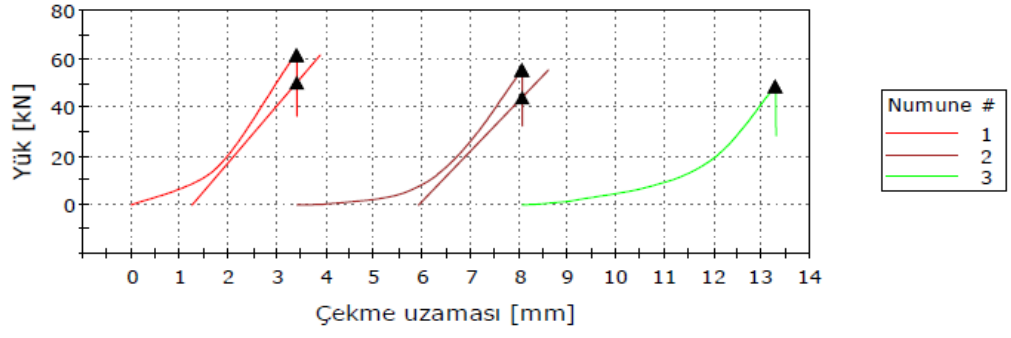
AL 7075 NO=3-1*3-2



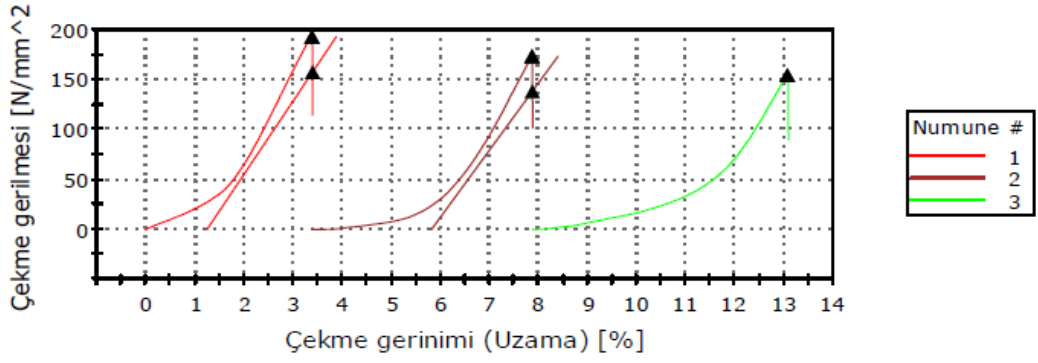
AL 7075 NO=3-1*3-2



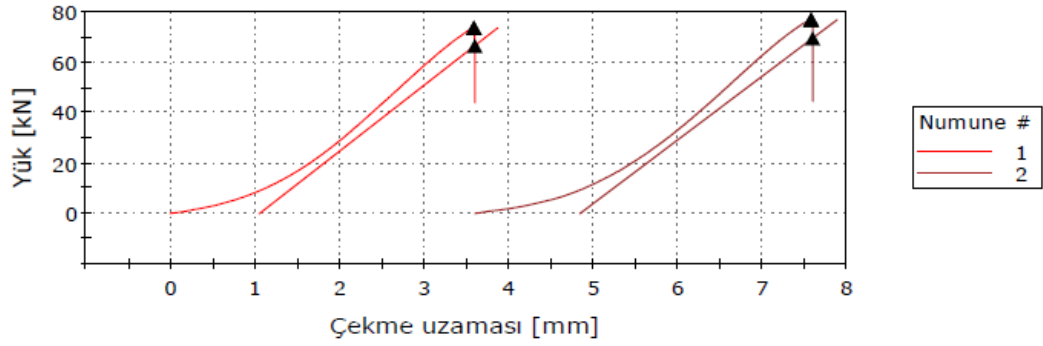
AL 2024 NO=0



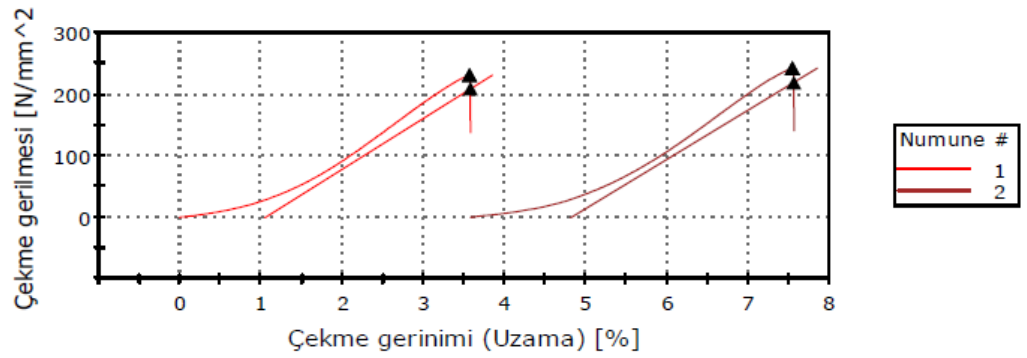
AL 2024 NO=0



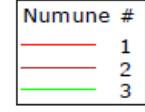
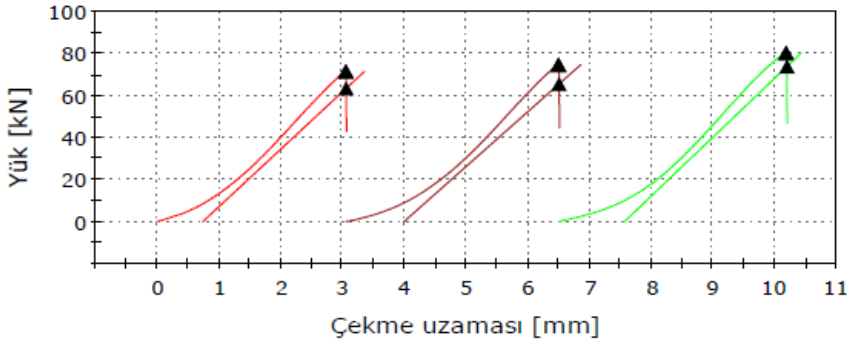
AL 2024 NO=1



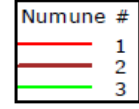
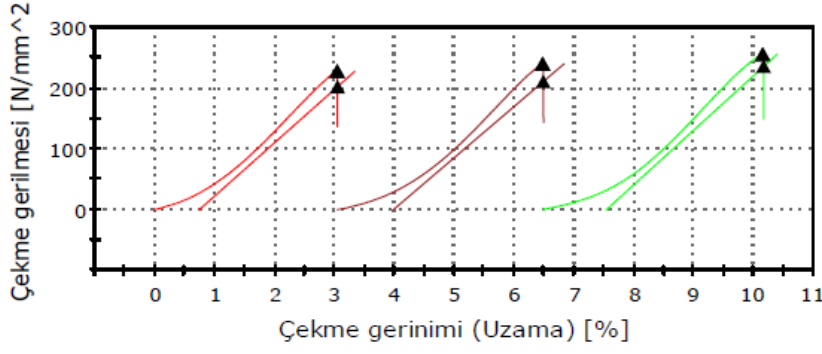
AL 2024 NO=1



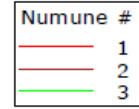
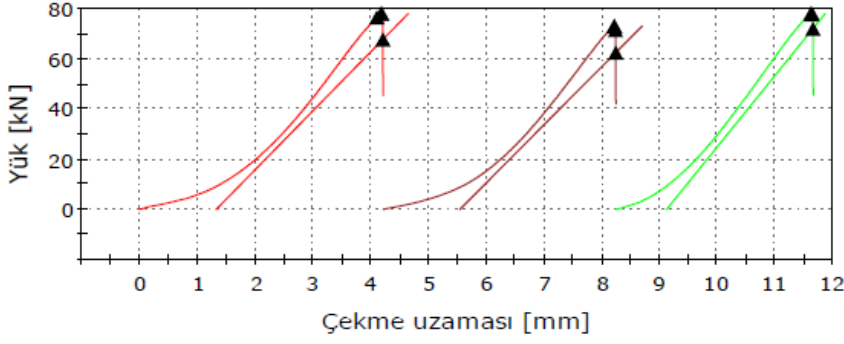
AL 2024 NO=2



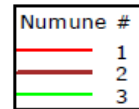
AL 2024 NO=2



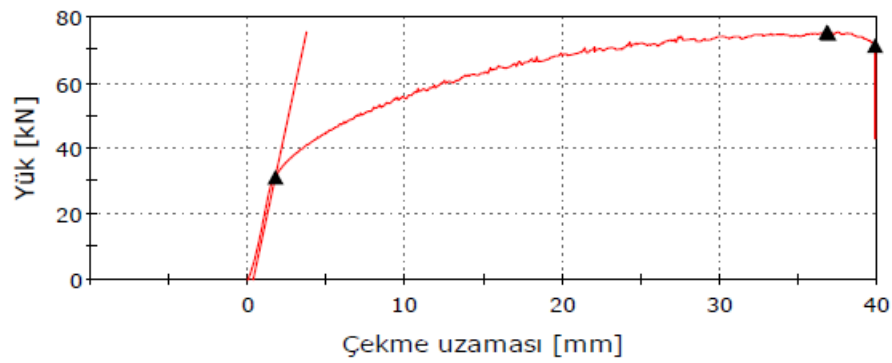
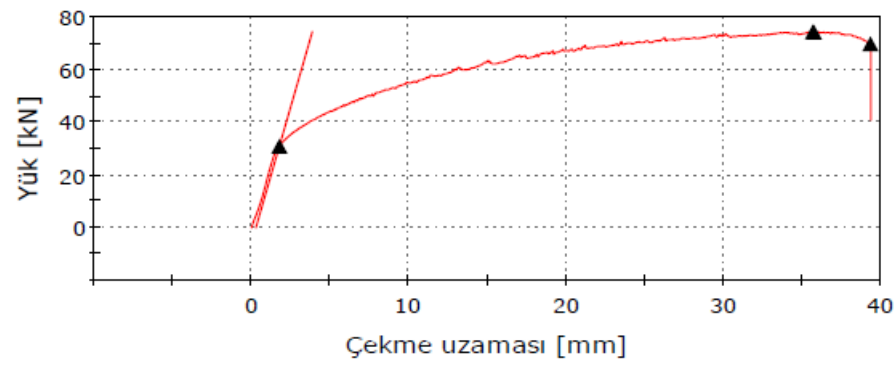
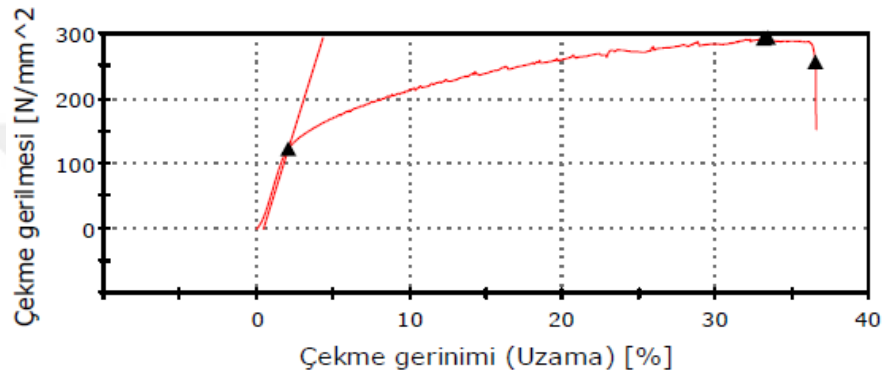
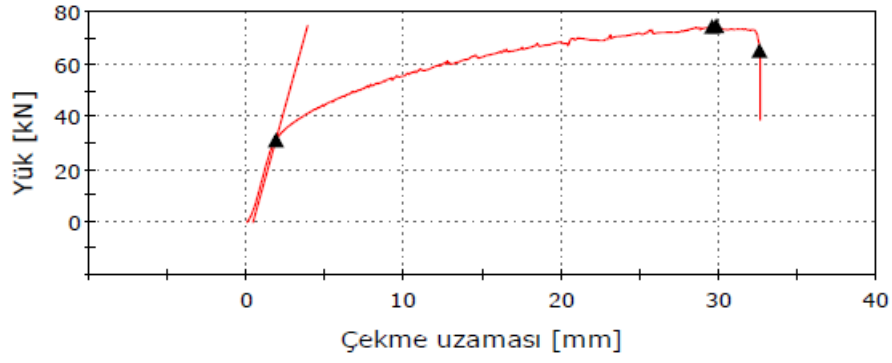
AL 2024 NO=3-1*3-2*3-3

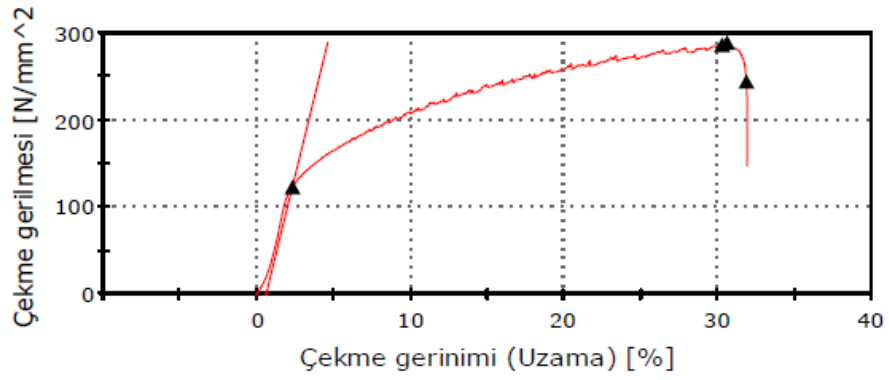
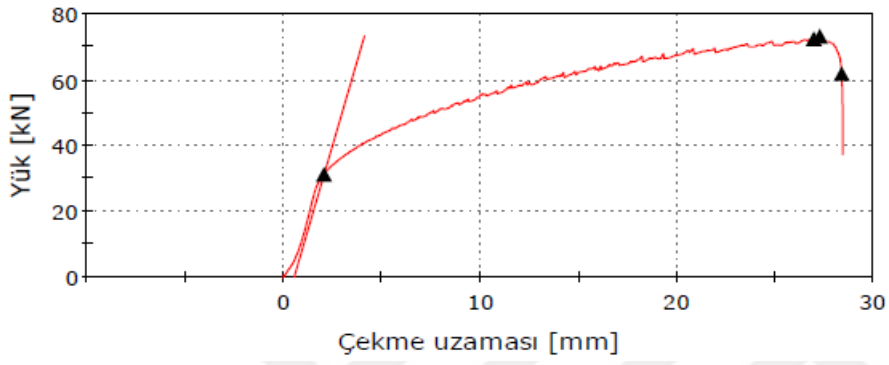
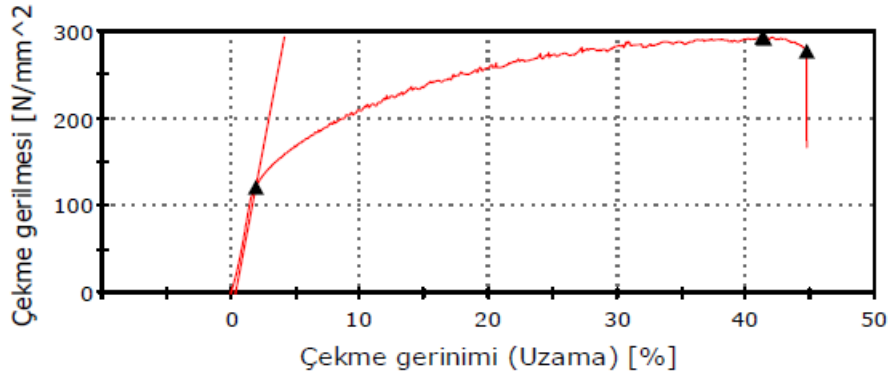


AL 2024 NO=3-1*3-2*3-3



AA6082 alaşımına ait çekme test grafikleri





ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Ebru (Biçer) Türkoğlu

Doğum Yeri ve Tarihi: Eminönü, 17 Ocak 1993

E-Posta: ebru.bicerr@hotmail.com

Lisans: Polimer Mühendisliği

Mesleki Deneyim ve Ödüller:

2016-2017 yılları arasında kalite kontrol stajını tamamlamış ve sonrasında kalite kontrol mühendisi olarak görevini sürdürmüştür.

2017 yılı itibariyle özel bir ambalaj firmasında Teknik Servis ve Geliştirme Mühendisi olarak görevine başlamıştır ve hala devam etmektedir.

Yayın ve Patent Listesi:

Biçer, E., Karagöz, İ. Su Verme Sertleştirilmesi Soğutma Ortamında Isıl İşlem Polimerlerinin Kullanımı, 2. Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Kongresi, Kocaeli, Nisan 2017.

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR

Biçer, E., Karagöz, İ. Su Verme Sertleştirilmesi Soğutma Ortamında Isıl İşlem Polimerlerinin Kullanımı, 2. Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Kongresi, Kocaeli, Nisan 2017.