

**T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**OTOMOBİLLERDE KULLANILAN ÖN SÜSPANSİYON  
SİSTEMLERİNDEN AL(6082) SALINCAK TASARIMI,  
ANALİZİ VE ISIL İŞLEM UYGULAMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Feyza EMANETCİ**

**Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ**  
**Enstitü Bilim Dalı : MAKİNE TASARIM VE İMALAT**  
**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Vahdet UÇAR**

**Haziran 2019**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OTOMOBİLLERDE KULLANILAN ÖN SÜSPANSİYON  
SİSTEMLERİNDEN AL(6082) SALINCAK TASARIMI,  
ANALİZİ VE ISIL İŞLEM UYGULANMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Feyza EMANETCİ

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ  
Enstitü Bilim Dalı : MAKİNE TASARIM VE İMALAT

Bu tez 11/062019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı

Üye

Üye

*Prof. Dr. Vahdet UGAR*  
*Prof. Dr. S. Can Kuvinc*  
*Doç. Dr. Murat PAROL*

## **BEYAN**

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Feyza EMANETCİ

07.05.2019

## TEŞEKKÜR

Bu tezin deneysel çalışma süreci Teknorot Otomotiv rnleri firması tarafından desteklenerek oluşturulmuştur. Numune hazırlamaktan test sürecine kadar fabrikanın labovatuvar imknlerini kullanmama olanak veren Teknorot yönetici ve çalışanlarına ve özellikle bu süreç boyunca yardımını esirgemeyen Teknorot Arge Proje Müdürü Fatih ağırankaya, Dvmehane Sorumlusu Tayfun Gönül ve İleri Mühendislik Sorumlusu Ali Murtaza Rutci'ye teşekkür ederim.

Deneysel yöntemlerin uygulamasında ve değerlendirilmesinde bilgi ve yardımlarını esirgemeyen Sakarya niversitesi akademisyenlerinden Prof. Dr. Sakin Zeytin'e teşekkür ederim. Benden bilgilerini ve tecrübelerini eksik etmeyen, baştan sona kadar her aşamada yönlendiren çok değerli tez hocam Prof. Dr.Vahdet Uçar'a en kalbi duygularıyla teşekkürlerimi sunarım. Son olarak tez çalışmam boyunca beni maddi manevi destekleyen aileme sonsuz teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR .....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ .....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	vi
TABLolar LİSTESİ .....	ix
ÖZET .....	xi
SUMMARY .....	xii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2.	
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	3
2.1. Süspansiyon Sistemi.....	3
2.1.1. Süspansiyon sisteminin görevleri.....	4
2.1.2. Süspansiyon sistemi çeşitleri .....	5
2.1.2.1. Sabit süspansiyon donanımı.....	5
2.1.2.2. Serbest (bağımsız) süspansiyon donanımı .....	6
2.1.2.3. Havalı süspansiyon donanımı.....	11
2.1.2.4. Aktif süspansiyon donanımı.....	12
2.2. Ön Düzen Geometrisi ve Tekerlek Açıları.....	15
2.2.1. Kamber açısı .....	16
2.2.2. King-pim açısı.....	17
2.2.3. Toe Açıları (toe in ve toe out).....	17
2.2.4. Kaster açısı.....	20
2.3. Süspansiyon Sistemi Elemanı ‘Salıncak’.....	22

2.4. Alüminyumun Genel Özellikleri ve Uygulama Alanları.....	23
2.5. Alüminyum Alaşımları.....	27
2.5.1. Dövme alüminyum alaşımları.....	27
2.5.2. Alüminyum alaşımları 6xxx serisi.....	29
2.6. Isıl İşlem.....	31
2.6.1. Alüminyumun alaşımlarında ısıl işlem.....	31
2.6.1.1. Çözeltiye alma işlemi.....	34
2.6.1.2. Su verme işlemi.....	35
2.6.1.3. Yaşlandırma işlemi.....	36
BÖLÜM 3.	
MATERYAL VE YÖNTEM.....	39
3.1. Salıncağın Aşamaları.....	39
BÖLÜM 4.	
DENEYSEL ÇALIŞMA.....	44
4.1. Salıncak Prototiplerinin Tasarım ve İmalatı.....	44
4.2. Prototiplerin Isıl İşlem Çalışması.....	49
4.2.1. Prototiplere T4 ısıl işlem çalışması.....	52
4.2.2. Prototiplere T6 ısıl işlem çalışması .....	52
4.2.3. Deneysel çalışmada uygulanan testler ve analizler.....	54
4.2.3.1. Spektral analiz.....	54
4.2.3.2. Çekme testi.....	55
4.2.3.3. Sertlik ölçümü.....	57
4.2.3.4. Mikroyapı analizleri.....	58
BÖLÜM 5.	
ARAŞTIRMA BULGULARI.....	62
5.1. Çekme Testi Verileri .....	62
5.2. Sertlik Ölçümleri.....	65
5.3. Optik Mikrografi Verileri .....	66
5.4. SEM Verileri .....	80

BÖLÜM 6.

TARTIŞMA VE SONUÇ .....	86
KAYNAKLAR .....	87
ÖZGEÇMİŞ.....	90

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

Al	: Alümiyum
°C	: Santigrat
Cu	: Bakır
cm	: Santimetre
D	: Numune çapı
E	: Elastisite modülü
F	: Kuvvet
Fe	: Demir
Mg	: Magnezyum
mm	: Milimetre
Mn	: Mangan
MPa	: Megapascal
NaOH	: Sodyum hidroksit
Si	: Silisyum
Zn	: Çinko



## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Süspansiyon sisteminin araç üzerinde gösterimi .....	4
Şekil 2.2. Süspansiyon sistemi sayesinde kontrol edilebilen hareketler .....	4
Şekil 2.3. Aracın engebeli yoldaki hareketi .....	5
Şekil 2.4. Sabit süspansiyon sistemi .....	6
Şekil 2.5. Serbest süspansiyon sistemi .....	7
Şekil 2.6. MacPherson süspansiyon sisteminin yapısı .....	8
Şekil 2.7. Çift salıncaklı süspansiyon sistemi elemanları .....	9
Şekil 2.8. Çok kademeli süspansiyon .....	10
Şekil 2.9. Havalı süspansiyon sistemi .....	11
Şekil 2.10. Aktif süspansiyon sistemi elemanları .....	12
Şekil 2.11. EKÜ anahtarları ve göstergesi .....	13
Şekil 2.12. Ön düzen elemanları .....	15
Şekil 2.13. Pozitif ve negatif kamber açıları .....	16
Şekil 2.14. King-pim açıları .....	17
Şekil 2.15. Toe-in ve Toe-out durumları .....	18
Şekil 2.16. Taşıtın sola viraj alırken tekerlek pozisyonları .....	19
Şekil 2.17. Bağlantı kolunun taşıta paralel bağlanması .....	19
Şekil 2.18. Bağlantı kolunun taşıta açılı bağlanması .....	20
Şekil 2.19. Kaster açısı, yapısal kaster ve kaster açıklığı .....	21
Şekil 2.20. Süspansiyon sisteminde salıncak .....	22
Şekil 2.21. Dövme Alüminyum alaşımlarının kodlama sistemi .....	27
Şekil 2.22. Isıl işleme uygunluk durumlarına göre dövme alüminyum alaşımlarının gruplanması .....	32
Şekil 2.23. Isıl işlem süreçleri [23] .....	33
Şekil 2.24. Çözeltiliye alma [23] .....	34
Şekil 2.25. Çekirdeklenmeyle oluşan heterojen yapı [23] .....	35

Şekil 2.26. Aşırı doymuş katı çözelti [23].....	35
Şekil 2.27. Yaşlandırma işleminde birinci kademe .....	37
Şekil 2.28. Yaşlandırma işlemi ikinci kademe .....	38
Şekil 2.29. Yaşlandırma işlemi son kademe yapı değişimi .....	38
Şekil 3.1. Dövme alüminyum parçalarının üretim akış şeması.....	40
Şekil 3.2. 2500 tonluk maxi pres makinesi .....	41
Şekil 3.3. Rekvalls makinesi .....	42
Şekil 3.4. 6 eksenli robot.....	42
Şekil 3.5. T4 ısıtma işlem fırını.....	43
Şekil 3.6. T6 ısıtma işlem fırını.....	43
Şekil 4.1 Salıncak kolu parçasının tasarım modellemesi [25] .....	44
Şekil 4.2. Salıncak prototipinin üretim aşamaları [25] .....	45
Şekil 4.3. Rekvalls işlemi.....	45
Şekil 4.4. Bükme operasyonu ve analizi [25] .....	46
Şekil 4.5. Bükülmüş parça [25].....	46
Şekil 4.6. Dövme işlemlerinde kullanılan kalıplar [25] .....	47
Şekil 4.7. Dövme analizleri ve parçanın nihai şekli [25] .....	47
Şekil 4.8. Teknorot Al 6082 alaşımının kimyasal kompozisyonu.....	53
Şekil 4.9. DIN 50125:2009-07 standardına uygun A tipi test numunesi teknik resmi	54
Şekil 4.10. Instron 3382 Çekme Basma Test Cihazı .....	54
Şekil 4.11. Hazırlanan bir çekme numunesi ve test sonrasında kopmuş hali.....	55
Şekil 4.12. DIGIROCK-RB Dijital Rockwell & Brinell Sertlik Ölçme Cihazı.....	55
Şekil 4.13. Kesme cihazı ve abrasiv aşındırıcılı kesme disk çeşitleri.....	57
Şekil 4.14. Taşlama ve parlatma makinesi .....	58
Şekil 4.15. Parlatmada kullanılan yağlayıcılar ve parlatma işlemi .....	58
4.16. Optik Mikroskop .....	60
Şekil 5.1. 160° de 4 saat süreyle ısıtma işlem görmüş dövülmüş numunenin SEM görüntüsü(1) .....	79
Şekil 5.2. 160° de 4 saat süreyle ısıtma işlem görmüş dövülmüş numunenin SEM görüntüsü(2) .....	80
Şekil 5.3. 180° de 6 saat süreyle ısıtma işlem görmüş dövülmüş numunenin SEM görüntüsü(1) .....	81

Şekil 5.4. 180° de 6 saat süreyle ısıtılmış dövülmüş numunenin SEM görüntüsü(2) .....	82
Şekil 5.5. 190° de 8 saat süreyle ısıtılmış dövülmüş numunenin SEM görüntüsü(1) .....	83
Şekil 5.6. 190° de 8 saat süreyle ısıtılmış dövülmüş numunenin SEM görüntüsü(2) .....	83

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Saf Alüminumun fiziksel özellikleri .....	24
Tablo 2.2. Al 6082 alaşımının kimyasal kompozisyon yüzdeleri [13].....	30
Tablo 2.3. Isıl işlem kodlamaları [21] .....	32
Tablo 4.1. Isıl işlem prosesinin uygulama yöntemi.....	50
Tablo 4.2. Prototiplere uygulanan ısıl işlemler .....	52
Tablo 4.3. Brinell Sertlik ölçüm yöntemi.....	56
Tablo 4.4. Yüzey hazırlamada kullanılan malzeme ve yöntemler .....	59
Tablo 5.1. Farklı sıcaklık ve sürelerde uygulanan T6 yaşlandırma numunelerinin çekme gerilmesi değerleri.....	62
Tablo 5.2. Sadece T4 ısıl işlemi uygulanan numunelerin çekme gerilme değerleri...	62
Tablo 5.3. Farklı sıcaklık ve sürelerde uygulanan T6 yaşlandırma numunelerinin akma gerilmesi değerleri .....	63
Tablo 5.4. Sadece T4 ısıl işlemi uygulanan numunelerin akma gerilme değerleri ....	63
Tablo 5.5. Farklı sıcaklık ve sürelerde uygulanan T6 yaşlandırma numunelerinin kopma uzaması değerleri .....	63
Tablo 5.6. Sadece T4 ısıl işlemi uygulanan numunelerin kopma uzaması değerleri .	64
Tablo 5.7. Farklı sıcaklık ve sürelerde uygulanan T6 yaşlandırma numunelerinin Brinell sertlik değerleri.....	64
Tablo 5.8. Sadece T4 ısıl işlemi uygulanan numunelerin Brinell sertlik değerleri ....	65
Tablo 5.9. T4 ısıl işlemi sonrası 10x, 50x ve 100x optik mikrografi görüntüleri .....	66
Tablo 5.10. 160° 4 saat T6 ısıl işlemi sonrası 10x, 50x ve 100x optik mikrografi görüntüleri .....	67
Tablo 5.11. 170° 4 saat T6 ısıl işlem sonrası 10x, 50x ve 100x optik mikrografi görüntüleri .....	68
Tablo 5.12. 180° 4 saat T6 ısıl işlem sonrası 10x, 50x ve 100x optik mikrografi görüntüleri .....	69

Tablo 5.13. 190° 4 saat T6 ısıtım işlemi sonrası 10x, 50x ve 100x optik mikroskop görüntüleri .....	70
Tablo 5.14. 160° 6 saat T6 ısıtım işlemi sonrası 10x, 50x ve 100x optik mikroskop görüntüleri .....	71
Tablo 5.15. 170° 6 saat T6 ısıtım işlemi sonrası 10x, 50x ve 100x optik mikroskop görüntüleri .....	72
Tablo 5.16. 180° 6 saat T6 ısıtım işlemi sonrası 10x, 50x ve 100x optik mikroskop görüntüleri .....	73
Tablo 5.17. 190° 6 saat T6 ısıtım işlemi sonrası 10x, 50x ve 100x optik mikroskop görüntüleri .....	74
Tablo 5.18. 160° 8 saat T6 ısıtım işlemi sonrası 10x, 50x ve 100x optik mikroskop görüntüleri .....	75
Tablo 5.19. 170° 8 saat T6 ısıtım işlemi sonrası 10x, 50x ve 100x optik mikroskop görüntüleri .....	76
Tablo 5.20. 180° 8 saat T6 ısıtım işlemi sonrası 10x, 50x ve 100x optik mikroskop görüntüleri .....	77
Tablo 5.21. 190° 8 saat T6 ısıtım işlemi sonrası 10x, 50x ve 100x optik mikroskop görüntüleri .....	78
Tablo 5.22. 160°'de 4 saat ısıtım işlemi görmüş numunenin SEM görüntülerindeki analiz noktalarının kimyasal içeriği .....	81
Tablo 5.23. 180°'de 6 saat ısıtım işlemi görmüş numunenin SEM görüntülerindeki analiz noktalarının kimyasal içeriği .....	82
Tablo 5.24. 190°'de 8 saat ısıtım işlemi görmüş numunenin SEM görüntülerindeki analiz noktalarının kimyasal içeriği .....	84

## ÖZET

Anahtar kelimeler: Salıncak, 6082 dövme alüminyum alaşımı, ısıl işlem, yapay yaşlandırma

Süspansiyon sistemi elemanları araçlarda özellikle konfor, yol tutuşu ve sürüş güvenliği bakımından önemli görevi olan bileşenlerdir. Günümüzde yaygın olarak kullanılan serbest süspansiyon sistemlerinin en kritik elemanlarından birisi salıncaklardır. Salıncaklar süspansiyon sistemi modeline göre tasarımı açısından çeşitlilik gösterdikleri gibi imal edildikleri malzeme ve yöntemlerine göre de farklı tasarımda salıncaklar piyasada mevcuttur. Bu tez çalışmasında üzerinde çalışılan salıncak Alüminyum 6082 alaşımından dövme yöntemiyle imal edilmiştir.

Araçların sürüş güvenliğinin artırılması, yol tutuş özelliklerinin geliştirilmesi ve daha konforlu hale getirilebilmesinin yolu süspansiyon sistemlerinin optimize edilmesinden geçmektedir. Bu tez kapsamında sistemin ‘salıncak’ elemanı üzerinde çalışma yapılmıştır. 6082 dövme Alüminyum alaşımlarının ısıl işleme uygunlukları ve bu sayede mekanik özellikleri ve mikroyapı özellikleri iyileştirilebilmesi üzerinden yola çıkılmıştır. T6 Yaşlandırma ısıl işlemi için belirlenen 4 farklı sıcaklık dereceleri (160°, 170°, 180° ve 190°) ve 3 farklı sürede (4,6 ve 8 saat) çalışmalar yapılarak süreç optimize edilmiştir.

# **AL (6082) WISHBONE DESIGN, ANALYSIS AND HEAT TREATMENT APPLICATION FROM FRONT SUSPENSION SYSTEMS USED IN CAR**

## **SUMMARY**

Keywords: Wishbone, 6082 forged aluminium alloy, heat treatment, artificial aging

Suspension system components are important components in vehicles, especially in terms of comfort, road-holding ability and driving safety. One of the most critical elements of free suspension systems that are widely used today is the wishbones. Wishbones are different in terms of design according to the suspension system model and they are available in different designs according to the materials and methods they are manufactured. In this thesis, the wishbone made of aluminum 6082 alloy is produced by forging method. The way to improve driving safety, improve road-holding ability and make it more comfortable is to optimize the suspension systems.

In this thesis, the wishbone element of the system has been studied. 6082 Forging Aluminum alloys are suitable for heat treatment compatibility and thus mechanical properties and microstructure properties can be improved. T6 process has been optimized for 4 different temperatures (160 °, 170 °, 180 ° and 190 °) and 3 different times (4,6 and 8 hours) determined for artificial agingheat.

## **BÖLÜM 1. GİRİŞ**

Bir taşıt süspansiyonunun iyi bir yol tutuş ve sürüş performansı olması, virajlarda direksiyon kontrolünü sağlayabilmesi ve hareketi boyunca taşıta etkiyen kuvvetleri absorbe etmesi gerekmektedir. Günümüzde mevcut pazar ihtiyaçlarına karşılık veren çeşitli süspansiyon sistemleri mevcuttur. En lüks otomobil markalarında kullanılan aktif süspansiyon sistemlerinden pasif süspansiyon sisteminin en eski modeli olan sabit akslı sistemlere kadar geniş yelpazeye sahip tüm bu süspansiyon çeşitlerinin kullanım alanları mevcuttur [1].

Pasif süspansiyon sistemine dahil olan Serbest süspansiyon sistemi günümüzde yaygın olarak kullanılmakta olan süspansiyon sistemidir ve bu sistemin bileşenlerinden olan salıncak tekerin kaster ve kamber açısını sağlaması için taşıyıcı ile araç gövdesi arasında bağlantı görevi yapmaktadır. Salıncaklar döküm, dövme veya sac şekillendirme yöntemleriyle üretilmektedir. Bu tez çalışmasında dövme alüminyumdan imal edilmiş salıncak üzerine çalışmalar yapılmıştır.

Giriş bölümünden hemen sonra tezin içeriğiyle bağlantılı konularda kaynak araştırması yapılmıştır. Süspansiyon sistemlerinden, görevlerinden, çeşitlerinden bahsedilerek salıncak sisteminin içinde yer aldığı sistem genel olarak incelenmiştir. Ardından malzeme bilgisiyle devam edilmiştir. Alüminyum ve alaşımlarının hafifliği ve birçok özelliğiyle otomobil sektöründe ve birçok sektörde öne çıkmaları yanında mekanik özelliklerinin de ısı ile iyileştirilebilir olması (ısı ileme uygun serileri için) özellikle belirtilerek; hem tez çalışmasında neden alüminyum salıncak üzerine inceleme yapıldığı hem de neden ısı ileme üzerine deneysel çalışma yapıldığı açıklanmak istenmiştir.



Tezin üçüncü bölümünde izlenen yol kullanılan yöntemler tarif edilmiştir. Dövme alüminyum salıncağın yarı mamül halden nihai hale gelene kadar uygulanan prosesleri özetlenmiştir. Bu proseslerden biri olan ısıtma işlem sürecini optimize etmek için belirlenen parametreler doğrultusunda deneysel çalışmalar yapılmıştır.

Çalışmanın dördüncü bölümünde yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen veriler doğrultusunda farklı parametrelerde ısıtma işlem görmüş salıncak prototiplerinin mekanik özellikleri ve mikroyapıları incelenmiştir.

Tezin son bölümünde ise yapılan testler ve mikroyapı analizlerinin sonuçları değerlendirilerek firmanın yaşlandırma prosesi optimize edilmiştir. Mevcut sistemde 180° de 8 saat yapılan yaşlandırma işleminin 170° ve 6 saat süreyle uygulamaya düşürülmesi uygun görülmüştür çünkü yapılan deney sonuçlarında sıcaklığın düşürülmesi ve sürenin azaltılması sonucu istenen mukavemet değerlerinin rahatlıkla karşılandığı tespit edilmiştir.

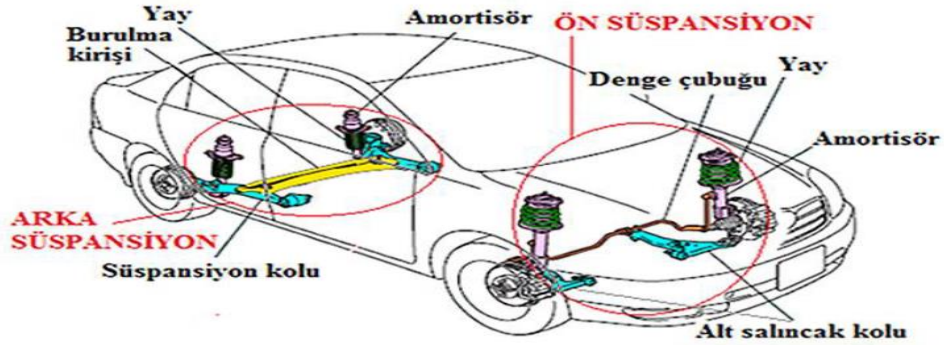
## **BÖLÜM 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI**

### **2.1. Süspansiyon Sistemi**

Otomobilin yol tutuş yetenekleri sürüş güvenliğinin sağlanmasındaki en önemli faktördür. Otomobilin yerle bağlantısı ve yol tutuşu birçok parçanın birlikte çalışmasıyla sağlanır, süspansiyon sistemi de bunlardan biridir. Süspansiyon sistemi otomobilin ağırlığını taşımakla birlikte lastiklerin yola tutunmasında sağlamalıdır. Otomobilin yol tutuşu hayati önem taşır; çünkü aracın güvenliği, dengesi ve sürüş konforu bu sistemin sağlıklı çalışmasına bağlıdır.

Süspansiyon sistemi yay, burç, amortisör, çubuk, bağlantı ve kollardan oluşan; yolun yapısından kaynaklanan titreşimleri absorbe ederek sürüş konforu ve güveni sağlayan bir sistemdir. Süspansiyon sistemi Şekil 2.1.'de gösterildiği üzere araç şasesi ve tekerlekler arasında yer alır ve gövdeyi akslar üzerinde tutan elemandır [2].

Eğer süspansiyon sistemi olmasaydı aks direkt gövdeye bağlansaydı sürüş sırasında yoldaki tüm engebe ve pürüzlerden kaynaklanacak olan titreşim ve darbeler araca aktarılırdı. Bu da sürüş sırasında konforu, güvenliği ve yüksek sürate ulaşabilmeyi olumsuz etkileyen bir durum olurdu. Günümüzde araçların yüksek hızlarda bile konforlu sürüş sağlaması süspansiyon sisteminin işlevselliğinin sonucudur [1].

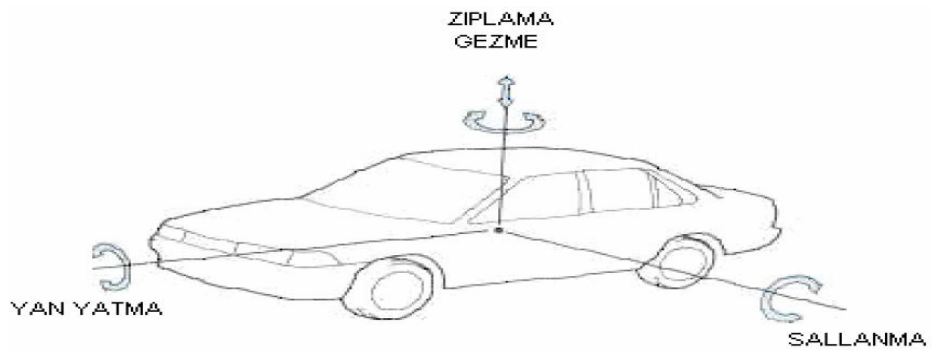


Şekil 2.1. Süspansiyon sisteminin araç üzerinde gösterimi [2]

### 2.1.1. Süspansiyon sisteminin görevleri

Süspansiyon sisteminin mantığı; araç üzerine etkiyen kuvvetleri minimal düzeyde tutmak düz hareketinde de viraj alırken de yol ile lastik arasında teması kaybetmemektir. Süspansiyon sisteminin görevlerinden bahsederseniz;

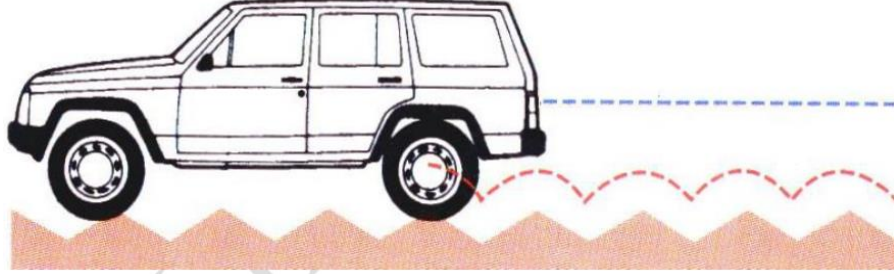
Yolun bozucu etkisi ve aracın maruz kaldığı diğer kuvvetler süspansiyon sistemi sayesinde kontrol altına alınır: Seyir halindeki bir araç yoldan ve havadan birçok kuvvete maruz kalmaktadır. Bu kuvvetler Şekil 2.2.'de görüldüğü gibi araçta bazı yalpalamalara neden olur. Bunlar süspansiyon sistemi sayesinde kontrol altına alınır.



Şekil 2.2. Süspansiyon sistemi sayesinde kontrol edilebilen hareketler [2]

Ayrıca süspansiyon sistemi Şekil 2.3.'de görüldüğü gibi yol yüzeyindeki engebelerin

oluşturduğu darbelerden de süspansiyon sistemi sayesinde izole edilir. Şekil 2.3.'te engebeli yolda aracın tekerleri kırmızı kesikli hat üstünde hareket ederken, araç gövdesi süspansiyon sistemi sayesinde mavi hat üzerinde hareket eder.



Şekil 2.3. Aracın engebeli yoldaki hareketi [2]

- Aracın hızlanma ve yavaşlama sırasında yol tutuşunun sağlanması: süspansiyon sistemi burada dikey kuvvetlere maruz kalan tekerleğin şekil değiştirmesi ile ilgili çalışır. Şekil değişimini minimize etmek aracın yol tutuşunu iyileştirecek; daha iyi çekiş, fren ve dönme özellikleri sağlayacaktır [2].
- Ve son olarak süspansiyonun yüksek frekanslı titreşimleri sönmleme görevi vardır. Süspansiyon sistemi elemanı olan yaylar aracın statik ağırlığını taşıırken damperler de istenmeyen kuvvetlerin oluşturduğu enerjiyi absorbe eder. Bu sayede araçta meydana gelebilecek gürültü, yorulma gibi istenmeyen durumlara karşı dayanım sağlanmış olacaktır [2].

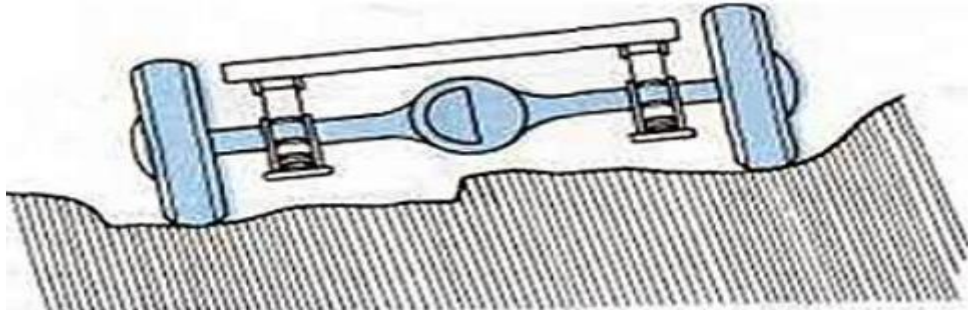
### 2.1.2. Süspansiyon sistemi çeşitleri

Süspansiyon sistemleri genellikle yapılarına göre 2'ye ayrılır.

#### 2.1.2.1. Sabit (katı) süspansiyon sistemi

Sabit akslı ön süspansiyon sistemlerinin geçmişi otomobillerin ilk üretildiği yıllara dayanmaktadır. Günümüzde de dayanıklı olması sebebiyle ağır yük taşıtlarında hala bu sistem kullanılmaktadır. Şekil 2.4.'te gösterildiği gibi sistemde sağ ve sol tekerlekler birbirlerine bir aks veya aks kovanı ile bir bütün olarak bağlanır; bu

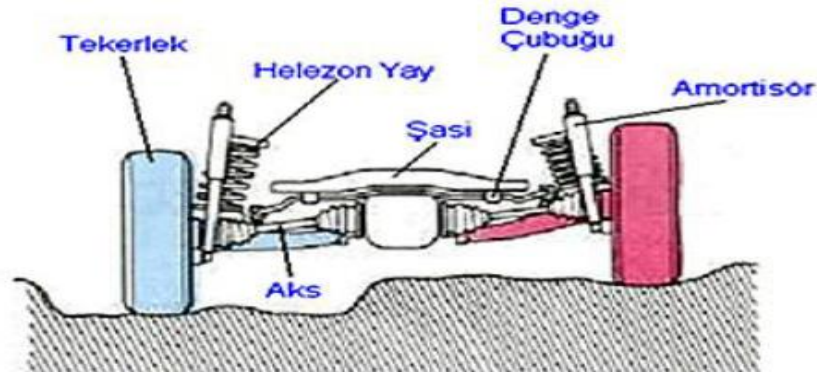
yüzden rijit akslı süspansiyon sistemi olarak da isimlendirilir. Tekerlekler birbirine yaylar üzerinden gövde veya şasiye tutturulmuş tek bir aks bağlıdır bu yüzden tekerleklerin hareketi birbirini etkiler ve yol darbelerini birlikte karşılarlar. Sabit akslı sistemin dezavantajı ise sürüş konforundaki eksikliklerdir. Yoldaki engebeler, tekerleğin tümseğe çarpması veya çukura düşmesi gibi durumlara sebebiyet verirken meydana gelen kuvvet karşı taraftaki tekerleğe aks üzerinden doğrudan iletileceği için sürüş konforunu olumsuz etkilemektedir. Buna rağmen, bu sistem hala birçok taşıtta arka süspansiyon sistemi olarak kullanılmaktadır [3].



Şekil 2.4. Sabit süspansiyon sistemi [3]

#### 2.1.2.2. Serbest(bağımsız) süspansiyon sistemi

Serbest süspansiyonlarda sağ ve sol tekerlekler doğrudan birbirine bağlı değildir. Her bir tekerlek, ayrı ayrı yaylarla araç gövdesine bağlanır bu sayede sağ ve sol tekerleklerin dikey ve yanal hareketleri birbirinden bağımsız olarak gerçekleşir. Tekerleklerin birbirinden bağımsız olarak hareket etmeleri sebebiyle bu tip süspansiyon sistemlerine serbest yani bağımsız süspansiyon denir. Bağımsız süspansiyon sistemlerinde uygun geometri ile salıncaklı sistem bağlantılı olduğu tekerleğe uygun hareket imkanı sağlar. Sabit süspansiyon sistemine göre parçaları fazla ve daha karmaşıktır [4]. Şekil 2.5.'te sistemin en genel parçaları gösterilmiştir. Her bir tekerlek ayrı bir sistemle kontrol edilmektedir bu sayede yol üzerindeki engebelere rağmen konforlu sürüş sağlanabilmektedir. Ayrıca, diğer tekerleğin hareketi farklı da olsa, aracın dengesinin korunması sağlanmaktadır. Tüm bunlar aracın sürüş ve yol tutuş kalitesini iyileştirmekte, lastiklerin de ömrünü uzatmaktadır.



Şekil 2.5. Serbest süspansiyon sistemi [4]

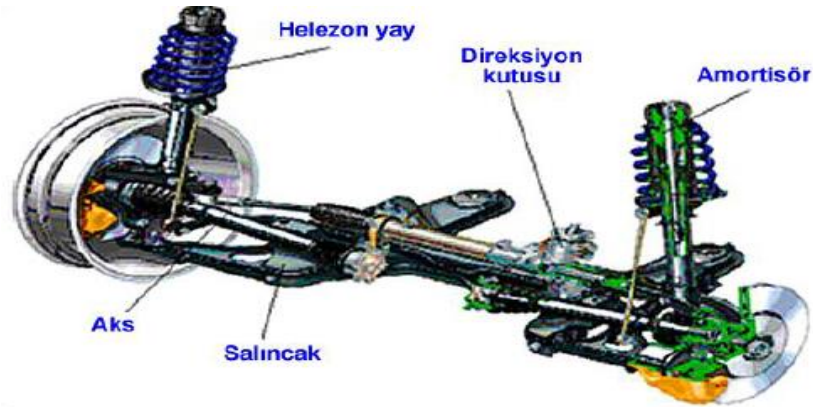
Serbest süspansiyon sistemlerinin farklı modelleri günümüz otomobillerinde kullanılmaktadır. Serbest süspansiyon sistemleri, bağlantı türlerine göre yapısal farklılıklar göstermektedir ve buna göre isimlendirilmiştir. En yaygın olarak kullanılan bağımsız süspansiyon sistemleri MacPherson (Gergi çubuklu) tipi süspansiyon sistemi ve Double Wishbone (Çift salıncaklı) süspansiyon sistemidir. Ayrıca farklı tasarımlarda olabilen Çok kademeli (Multi-link) süspansiyon sistemleri de serbest süspansiyon sistemlerinde karşımıza çıkmaktadır [4].

#### 2.1.2.2.1. MacPherson tipi serbest süspansiyon sistemi

MacPherson tipi süspansiyon sistemi, önden çekişli araçlarda günümüz yolcu taşıtlarında ön süspansiyon sistemi olarak yaygın olarak kullanılmaktadır. Earles S. MacPherson tarafından 1949 yılında Ford şirketinde geliştirilmiştir, adını tasarımcısından almaktadır. Ayrıca gergi çubuklu tip süspansiyon sistemi olarak da adlandırılmaktadır. Sadeliği (az parçaya sahip olması, hafif ve basit bir sistem olması) ve düşük maliyetli bir sistemdir [5].

MacPherson süspansiyon sistemi ile aracın gövdesi arasında yay ve amortisör bağlantısı vardır. Mc Pherson tipi sistemde yay, dingilde amortisör ile iç içe konumlandırılmıştır ve direksiyon mafsalı da amortisör aracılığı ile şasiye bağlanmıştır. Direksiyon kolunun alt ucu ise üçgen bir yapıya bağlıdır bu şekilde

uzun bir yay kolu meydana getirmektedir. Alt salıncak ise burçlar vasıtasıyla şasiye bağlanmıştır [5]. Şekil 2.6.'da bu sistem gösterilmiştir.



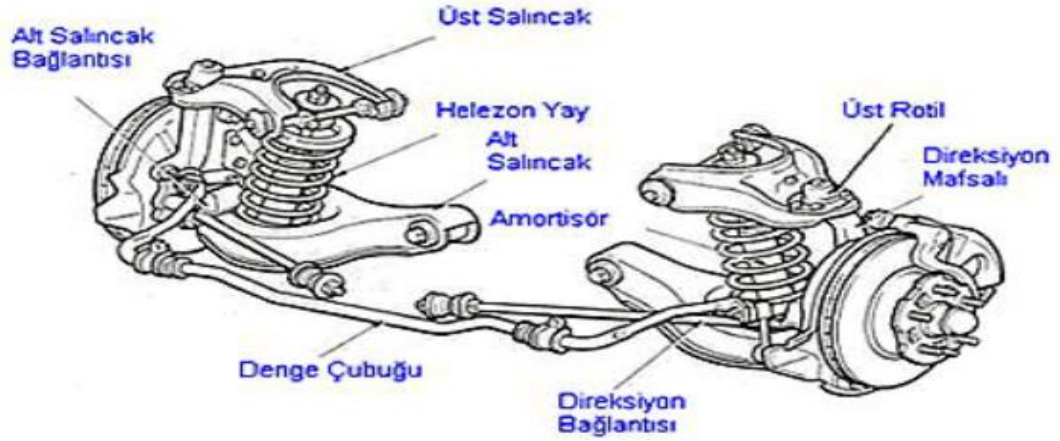
Şekil 2.6. MacPherson süspansiyon sisteminin yapısı [5]

Tekerleklere hareketleri aks tarafından, alt salıncak ile amortisör arasından kolay bir şekilde verilebilmektedir. Amortisörler lastiklerden gelen dikey yüklere maruz kalır. Lastiklerden iletilen birçok yol darbesi, iç içe konumlanan yay- amortisör sayesinde sönümlenmektedir [6].

Bu süspansiyon sistemi tipinin bağlantı noktaları arasındaki mesafe fazla olduğundan imalat ve montaj hataları gibi etkenler ön düzen ayarını kolay kolay etkileyemezler. Bu yüzden genellikle toe-in ayarı hariç başka bir ayara ihtiyaç duyulmaz. Sistem az yer kaplar ve hafiftir.

#### 2.1.2.2.2. Çift salıncaklı süspansiyon

Konfor, günümüzde araçlarda git gide önemi artan bir özellik olmaktadır. Bu süspansiyon sistemi, yolcuların konforunu odak noktası olarak tasarlanmıştır. Çift salıncaklı süspansiyon sistemi günümüzde yüksek sınıf taşıtlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Taşıt modelinden bağımsız olarak, çift salıncaklı süspansiyon sisteminin ana parçalarını, alt salıncak, üst salıncak, döner pim, yay, damper ve tekerlek olarak sayılabilir. Direksiyon sistemi süspansiyon sistemini etkilediği için, ikisibirlikte düşünülmelidir. Direksiyon sistemi de temel olarak kramayer, bağlantı çubuğu ve direksiyon kolu olarak sıralanabilir. Şekil 2.7.'de sistem gösterilmektedir [5].



Şekil 2.7. Çift salıncaklı süspansiyon sistemi elemanları [6]

Bu süspansiyon çeşidinde tekerlekler aracın gövdesine alt ve üst kollar sayesinde bağlanmıştır. Süspansiyonun geometrisi alt ve üst kolların uzunluk ve montaj açılarına bağlıdır. Bu süspansiyon sisteminde salıncaklar tekerleklerin aşağı-yukarı hareketlerini dengelemesi için farklı uzunlukta tasarlanmaktadır. Örneğin, ön tekerlekler bir tümseğe çarptığında, tekerlekler yukarıya doğru ani hareket yaparlar; böyle hareketlerin dengelenmesi için üst salıncaklar alt salıncaklardan daha kısa tasarlanmaktadır. Bu şekilde bir sarsıntının salıncakta sebep olacağı kavis üst salıncakta daha kısa olacaktır. Bu sayede tekerleklerin yan hareketi önlenir ve tekerlek lastiklerinin de sürünerek aşınması da azaltılmış olur [5, 6].

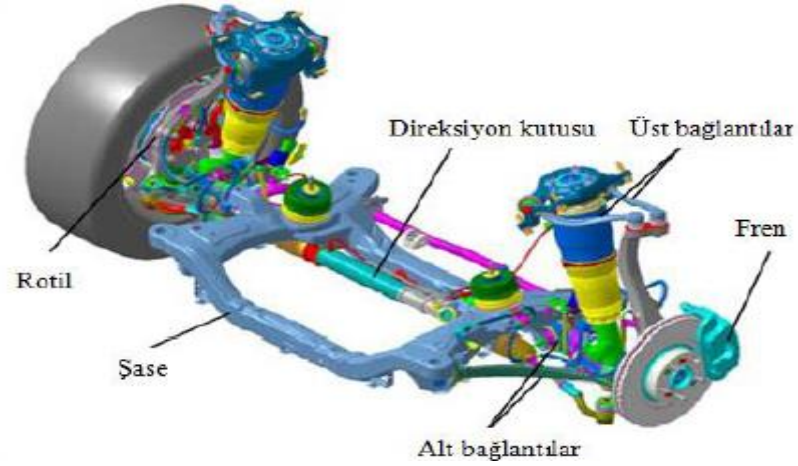
Bu süspansiyon modeli, hafiflik, istenmeyen paralel tekerlek etkisinin önüne geçilmesi konusunda başarılı sağlam bir sistemdir. Çok iyi sürüş konforu ve dengesi sağlar. Bu da, sistemin her iki kenarında yer alan enine salıncaklar sayesinde sağlanmaktadır çünkü kolların tasarımı hareket serbestliğini de arttırmaktadır [6].

### 2.1.2.2.3. Çok kademeli süspansiyon sistemi

Çok kademeli süspansiyon sistemi, en az iki yan koldan, bir veya daha fazla da uzunlaşmasına kol barındıran taşıt süspansiyon modelidir. Bu süspansiyon modelinin kesin olarak belirlenmiş tek bir tipi olmadığı için yapısını tarif etmek çok doğru olmayabilir. Çok farklı tasarımlar ve geometrilerde olması mümkündür. Örneğin



BMW'nin geliştirdiği çok kademeli süspansiyon sisteminin tasarımı "Z" harfine benzemektedir bu yüzden "Z askılı" süspansiyon modeli denilmiştir. Audi'nin A4 modelinde süspansiyon sisteminde dört adet kontrol kolu mevcuttur ve adına "Quadralink" süspansiyon modeli denilmiştir [6].



Şekil 2.8. Çok kademeli süspansiyon [6]

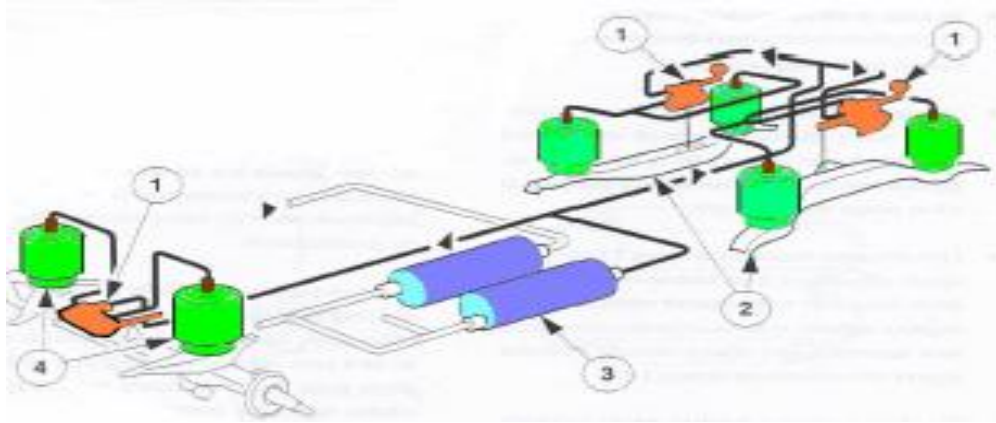
Şekil 2.8.'de gösterilen süspansiyon sistemi Hyundai'nin Genesis modeli için geliştirdiği modeldir. Sistem iki alt bağlantı, iki üst bağlantı ve bir adet rot kolundan oluşmaktadır. Bu sistem de çok kademeli süspansiyon sınıfına dahil olmaktadır.

Çok kademeli süspansiyonun temel çalışma prensibi, çift salıncaklı süspansiyon sistemiyle aynıdır ancak sabit alt ve üst salıncaklar yerine, salıncığın her bir kolu ayrı bir parça olarak sayılır. Bunlarda dingilin alt ve üstüne bağlanarak salıncak şekli oluşturur. Sürüş sırasında dingil dönerken, süspansiyon kollarında oluşan tork yardımıyla süspansiyon geometrisi değişir. Sağlayan karmaşık pivot sistemleri vardır. Farklı bağlantı kolları, sayıları, parça konumları vb. özellikleri olan çok kademeli süspansiyon sistemleri mevcuttur ancak genel mantığı hepsinde aynıdır.

Çok kademeli süspansiyon sistemi kullanıcılar için hem iyi bir sürüş hem de iyi bir yol tutuşunu bir arada sunabilme fırsatını vermektedir. Bu sistem ile taşıtlar daha esnek olabilmekte farklı yol şartlarına ve bundan kaynaklanacak farklı ön düzen açlarına kolay adapte olabilmektedir. Diğer tiplere nispeten pahalı ve karmaşık bir sistemdir. Bu sebeple daha çok orta ve üst sınıf araçlarda tercih edilmektedir.

### 2.1.2.3. Havalı (pnömatik) süspansiyon donanımı

Havalı süspansiyon sistemleri ağır yük kamyonlarında, otobüs ve lüks binek otomobillerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Havalı yay basınçlı havayla dolu bir silindirdir ve havanın sıkıştırıldığında yay gibi esnemesi özelliği kullanılarak geliştirilmiştir. Yayın buradaki etkisi yaylı körüklere hava basılması ve geri emilmesi ile sağlanmaktadır. Körüklere hava yükü bağlantılı olarak ayarlanarak seviye kontrol valfleri tarafından gönderilip boşaltılmaktadır. Bu sayede araç sürüş konforu hem ağır hem de hafif yüklü durumdayken dengeli tutulmaktadır.



Şekil 2.9. Havalı süspansiyon sistemi [6]

Şekil 1.10.'da gösterilen sistemde numaralandırılmış elemanlar sırasıyla havalı yay valfi, aks desteği, basınçlı hava haznesi ve körüklerdir.

Aracın yüksekliği, hava basınç ayarı sayesinde yük durumu değişse bile sabit tutulur. Tabii bunları sağlamak, hava basıncını kontrol altında tutmak için kontrol mekanizması, havayı sıkıştırmak için kompresör, havalı yaylar gibi elemanlar gerektiğinden sistem biraz karışık ve maliyetlidir [6].

### 2.1.2.4. Aktif (elektronik kontrollü) süspansiyon donanımı

Aktif süspansiyon sisteminin ilk örnekleri, 1960 yıllarında Citroen firmasının tasarladığı hidropnömatik kumandalı süspansiyon sistemidir. Sonrasında 1980

yıllarında Toyota'nın algılayıcılarla desteklediği aktif süspansiyon sistemi takibinde gelmektedir. Yine bu yıllarda önde gelen firmalardan olan Lotus tarafından tasarlanıp 90'lı yılların başında Williams tarafından geliştirilen tamamen aktif hidrolik kumandalı elektronik kontrollü sistem de Formula 1 araçlarında çok iyi sonuçlar vermiştir.

Aktif süspansiyon sistemi, ayarlanabilir titreşim sönümleyici sistemlerle birlikte tasarlanan kumanda edilebilen bir araç süspansiyonudur. Sistem yol durumuna ve sürüş şartlarına göre otomatik olarak devreye girerek süspansiyon sistemine müdahale ederek sürüş konforu sağlar. Şekil 2.10.'da aktif süspansiyon sistemi ve elemanları gösterilmektedir.

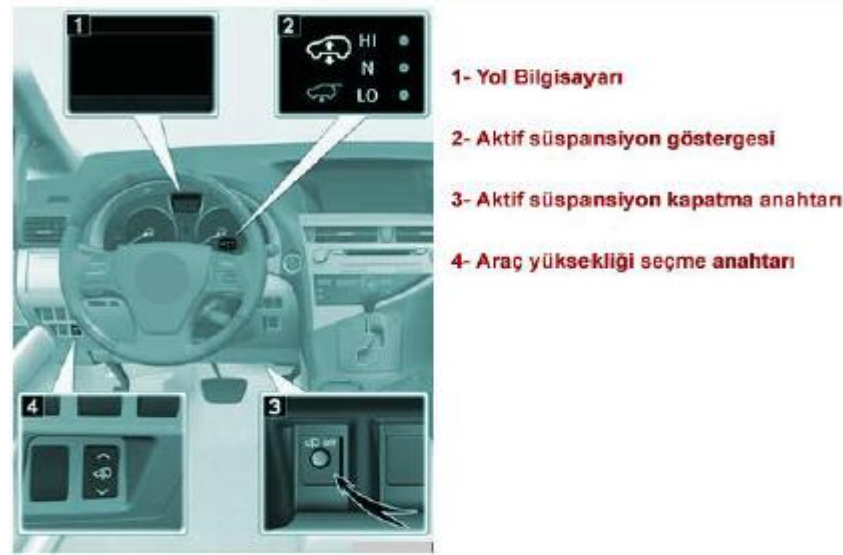


Şekil 2.10. Aktif süspansiyon sistemi elemanları [7]

Sistemde etkili olan basıncın, sistemdeki hava veya hidrolik hacminin değişimi ile de seviye ayarı yapılabilmektedir. Sistem, ihtiyaçları karşılamak için süspansiyon sistemini bir bilgisayar tarafından kontrol eder. Araç yüksekliği otomatik seviye ayarı sayesinde araç yüküne bağlı olmaksızın daima aynı kalır. Aktif sönümleme sistemi sayesinde de araç konforlu bir şekilde yayanır.

Sensörlerden alınan sinyaller ECU (Elektronik Kontrol Ünitesi) tarafından değerlendirilir ve buna göre süspansiyon kuvveti ve yay hareketi ayarlanır. ECU ile

çökme, yana yatma, dalma, yüksek hız, kötü yol, sallanma ve zıplama, araç seviye, otomatik yükseklik ve kontak anahtarı kapalı kontrolleri yapılabilmektedir. Şekil 2.11.'de sistem göstergeleri verilmiştir.



Şekil 2.11. EKÜ anahtarları ve göstergesi [7]

Aktif süspansiyonlarda harekette herhangi bir kısıtlanma olmaz, istenilen yönde kuvvet uygulanabilir. Lastikler ve aks mafsalları daha az aşınır. İstenilen araç yüksekliği otomatik veya manuel ayarlamalarla sağlanabilir örneğin arazilerde yükseltilmiş sürüş durumuna getirirken otobanda yüksek hızlarda hava direncini azaltmak için alçaltılmış duruma getirilebilir.

Aktif kontrollü sistemlerin, pasif süspansiyon sistemlerinden farkı, tekerlek ile şasi arasına monte edilen kumandalardır. Bu kontrol sistemleriyle hem sürüş konforu artırılmış hem de aracın yol tutuşu güçlendirilmiş olmaktadır. Artı olarak süspansiyon sisteminin aşınma problemi azaltılarak ömrü uzatılabilmektedir. Bu artışların yanında kullanılan hidrolik sistemin pahalı olması, araca ekstra bir ağırlık katması, motordan ekstra güç çekmesi ve nispeten karmaşık olması dezavantajı olarak söylenebilir. Bu dezavantajlar yeni bir sistem olan, aktif süspansiyon sisteminden nispeten daha düşük maliyetli fakat konfor ve yol tutuşu bakımından

aktif sisteme yakın yarı aktif süspansiyon sisteminin geliştirilmesine sebebiyet vermiştir [7].

Yarı aktif süspansiyon sistemleri endüstride henüz yaygınlaşmış bir sistem değildir ancak aktif ve pasif sistemlerin arasında performans veya maliyet bakımından avantajlı bir seçenek oluşturmuştur. Yarı aktif süspansiyon sistemleri kontrol noktaları ile farklı performans gösterebilirken yol tutuşu ve konfor özellikleri açısından aktif ve pasif süspansiyon sistemlerinin ortasında bir konuma sahiptir. Aktif süspansiyona göre daha düşük maliyet ve enerji tüketimli iken pasif süspansiyonlara göre de konfor ve yol tutuşu bakımından performans avantajı sunması bu sistemin ticari boyutunu öne çıkarmaktadır [7].

Yarı aktif süspansiyon sistemi aktif sistemdeki gibi EKÜ (Elektronik Kontrol Ünitesi)'ne sahiptir ve bu sayede EKÜ'den gelen sinyallerle dinamik davranışını değiştirebilme özelliği mevcuttur. Pasif süspansiyon sistemlerinde genel olarak yol davranışına verilecek tepki yay ve sönümleyicilerle yani sabit değerleri olan bileşenlerle verilmektedir. Yarı aktif süspansiyonlarda ise MR ve elektromanyetik sönümleyiciler, hidropnömatik ve MR yaylar kullanılması sistem parametrelerinin değişken olması sağlamaktadır. Özellikle MR (Manyetoreolojik sıvılı) sönümleyiciler yarı aktif süspansiyon sistemi için en yaygın tecih edilen bileşenlerdir çünkü sönüm katsayısını değiştirebilme özellikleri ile çok iyi titreşim kontrolü sağlamaktadırlar.

Yarı aktif ve aktif süspansiyon sistemleri günümüzde pahalı birer teknoloji olmalarına rağmen bazı araçlar üstünde kullanım alanları mevcuttur. Örneğin; Mercedes-Benz firmasının CL ve S modelleride süspansiyon sistemi olarak kullanılan ABC (Active Body Control) sistemi aktif süspansiyon sistemidir. Yarı aktif süspansiyon sistemine ticari uygulama alanı bulmuş bir örnek vermek gerekirse de Delphi markasının geliştirmiş olduğu MagneRide sistemlerini söyleyebiliriz.

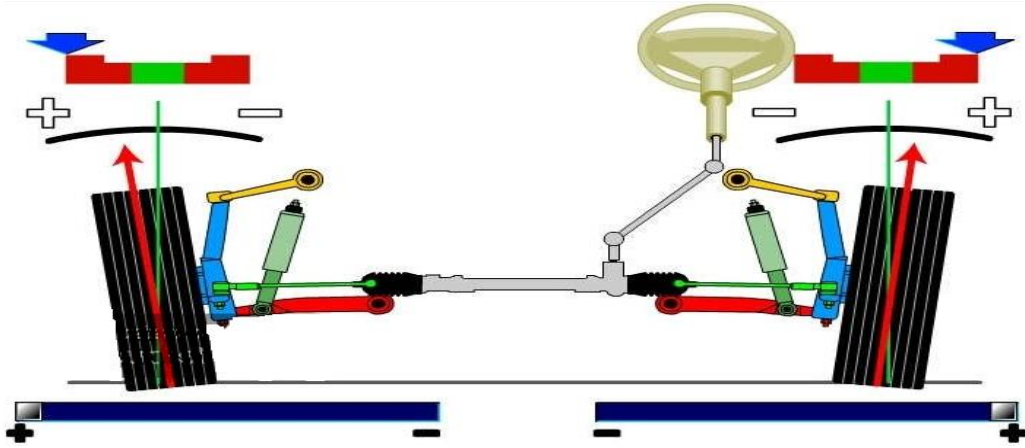
Genel olarak aktif süspansiyon sistemlerinde ortak olarak hidrolik teknolojisi kullanılmakta; yarı aktif sistemlerde ise MR sıvılı sönümleyiciler ile servo valf içeren

sönümleyiciler kullanılmaktadır. Bu sistemlerin yüksek maliyetiyle birlikte güvenlik ve konfor açısından sağladığı avantajlar da yok sayılamayak derecede fazladır. Bu nedenle ileride kullanımının yaygınlaşması olasıdır [7].

## 2.2. Ön Düzen Geometrisi Ve Tekerlek Açıları

Sürüş sırasında aracın hareketini yoldan tekerleğe geçen kuvvetler etkilemektedir. Bu yüzden ön düzen geometrisi büyük önem taşımaktadır. Tekerleklerin, süspansiyon ve direksiyon sistemi parçalarının birbiriyle yolla ve sürüş yönüyle olan açısal ilişkileri ön düzen geometrisini olarak tanımlanmaktadır. Bu parçalar gövdeyle birleştirildikten sonra açı ve boyutlarının ayarlanması da ön düzen ayarıdır.

Taşıtın süspansiyon ve direksiyon sistemi ile bağlantısını gösteren ön düzen elemanları Şekil 2.12.'de görülmektedir. İdeal bir ön düzen geometrisi ile taşıtlar düzgün ve emniyetli hareket ve manevra yeteneğine, iyi yol tutuşuna, kararlı ve kolay kontrol edilebilen direksiyona sahip olur. Ayrıca lastik aşınması minimize edilmiş ve yakıt tasarrufu da sağlanmış olur.



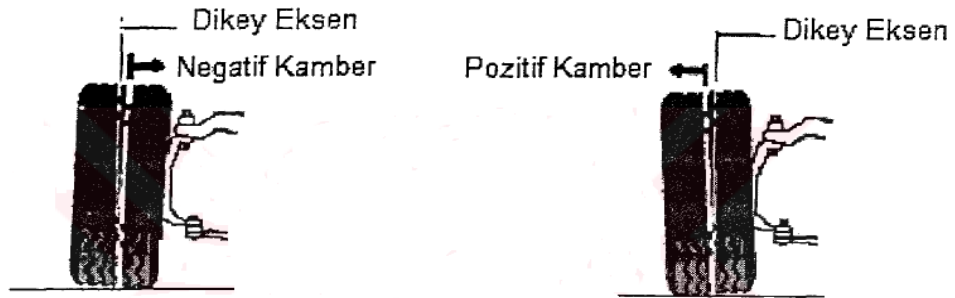
Şekil 2.12. Ön düzen elemanları

Aracın hareketi esnasında tekerleğin yolla temas bölgesinde ve direksiyon sisteminde oluşan istenmeyen kuvvetler; kamber açısı, toe-in açısı, kayma açısı, kaster açısı gibi birçok faktöre bağlıdır.

Bu sebeple süspansiyon sistemi tasarımı yapılırken ön düzen açıları büyük önem taşımaktadır. Ön düzen açıları sayesinde taşıt yükü, tekerlek ve süspansiyon elemanlarına uygun şekilde dağılarak hareket esnasında iyi yol tutuşu ve kararlılık sağlanır. Bu açılara ayrı başlıklar halinde değinilecektir.

### 2.2.1. Kamber açısı

Taşıt tekerleklerine önden bakıldığında tekerlek ekseninin dikey eksenle yaptığı açı kamber açısı olarak tanımlanır. Tekerleğin üst kısmının eğimi dışa doğru ise pozitif kamber, içe doğru ise negatif kamber olarak tanımlanır (Şekil 2.13.).



Şekil 2.13. Pozitif ve negatif kamber açıları [8]

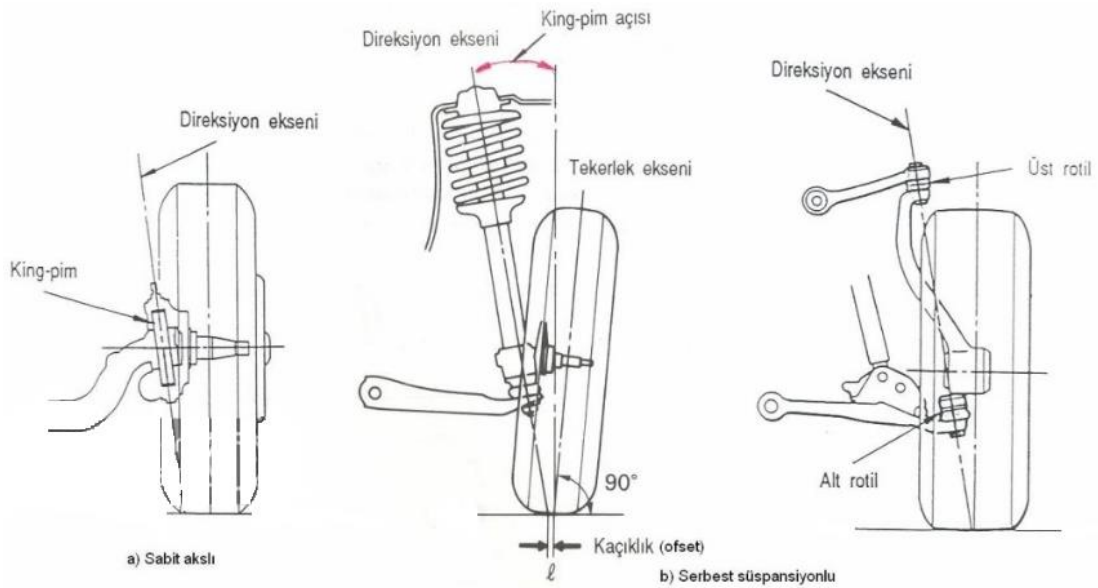
Kamber açıları genelde pozitif verilir çünkü araç statik konumdayken bile ağırlığından dolayı taşıtta bir miktar negative kamber oluşmaktadır. Araç hareketi sırasında ise kamber açısı değişmeye yönelimlidir bu da hareket esnasında tekerlek kenarlarında aşınmaya ve dolayısıyla tekerlek ömrünü azaltmaya yol açar [8].

Pozitif kamber açısı, lastiğin yere temas noktası ile yük ekseninin yola temas noktasını aynı hizaya getirerek, oluşan momenti azaltır. Bu bize direksiyon kolaylığı sağlar. Ancak bu açının fazla olması tekerleğin dıştan aşınmasına sebep olur; negatif kamber açısının fazla olması ise içten aşınmasına sebep olur, iyi bir ön düzen geometrisi tasarımında araçta oluşabilecek yanall kuvvetleri karşılamak adına

kamber açısı az miktarda değişebilmeli ve bunun da minimumda tutulması sağlanmalıdır. Ayrıca kamber açısının iki tekerlek arasında eşit olması gerekmektedir aksi halde taşıt pozitif kamber açısı nerede fazla ise oraya doğru çekme yapar. İki taraf arasındaki açı 0,5 dereceyi geçmemelidir [8].

### 2.2.2. King-pim (dingil pimi) açısı

Dingil piminin üst kısmının taşıtın dik eksenine doğru eğimine king-pim açısı denilmektedir. Şekil 2.14.'te sabit süspansiyon sisteminde (a) ve serbest süspansiyonlu sistemlerde (b) bu açı gösterilmiştir. King-pim açısı sayesinde, aracın tekerleklerine gelen yük dengelenerek pim veya rotül bağlantı parçaları üzerindeki etkisi azaltılır [8].



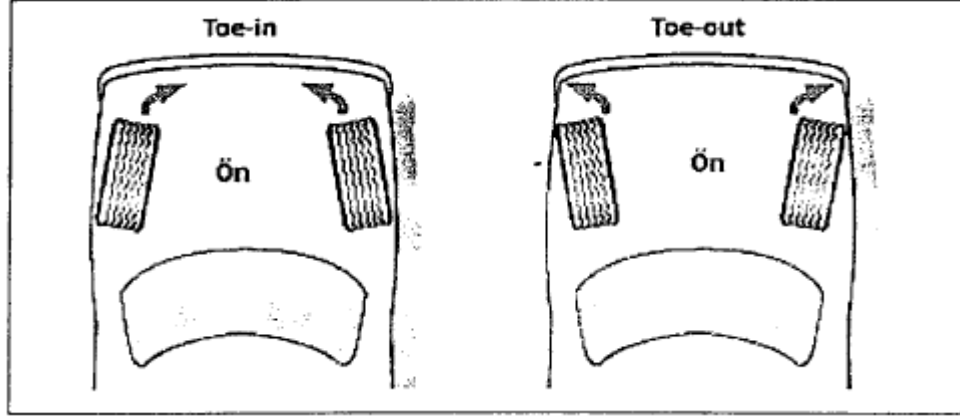
Şekil 2.14. King-pim açıları [8]

### 2.2.3. Toe açıları (toe in ve toe out)

Toe açıları aracın tekerleklerine üstten bakıldığında görülen, tekerleklerin ön kısmının arka kısmına göre farklı mesafede olması durumlarıdır. Eğer ön taraf arkaya göre kapalı ise toe-in, açık ise toe-out olarak tanımlanır. Açıdan ziyade daha çok tekerlek jantlarının arka ve önündeki açıklık mesafesi olarak söylenebilir mm



cinsinden ifade edilmektedir. Şekil 2.15.'te açıklık kapanıklık durumu gösterilmektedir [8].

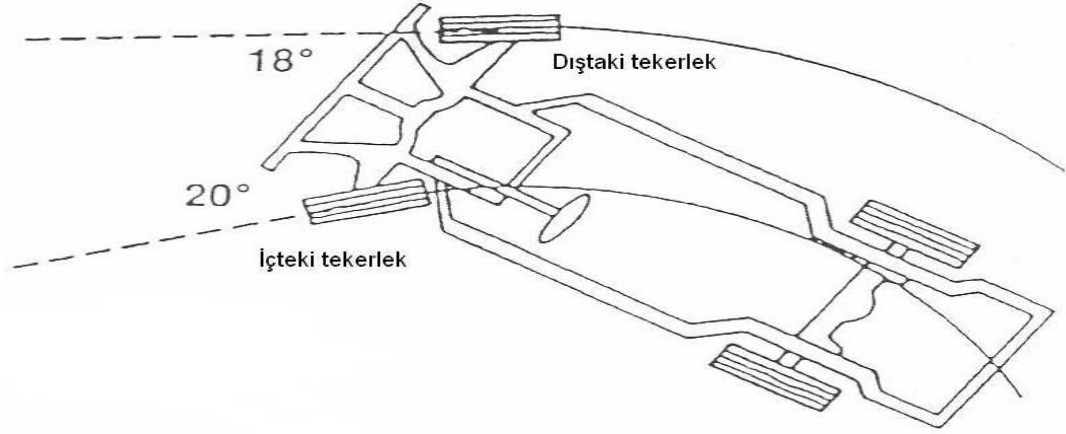


Şekil 2.15. Toe-in ve Toe-out durumları [8]

Önden çekişli araçlarda tekerlekler yükün etkisiyle daha çok içe doğru kapanmaya arkadan itişli araçlarda ise dışa doğru açılmaya, zorlanır. Bu sebepten dolayı önden çekişli araçlarda ön tekerleklere toe-out ayarı, arkadan çekişli araçlarda ise toe-in ayarı verilir [8].

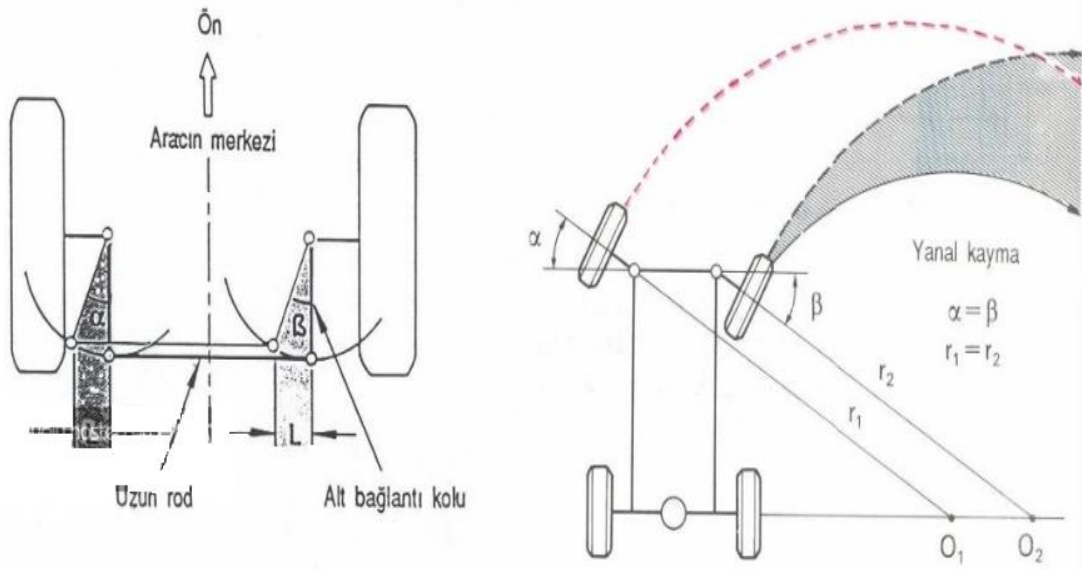
Araç tekerleklerine gerekenden fazla toe-in veya toe-out verilmesi tekerleklerde yuvarlanma direncinin artmasına neden olur. Bu da tekerleğin eşit olmayan biçimde anormal aşınmasına sebebiyet verir. Toe değeri araç tekerleğinde kullanılan lastik çeşidine göre bile değişkenlik gösterir çünkü lastiklerin de yanal kuvvetlere karşı dirençleri farklılık göstermektedir [8].

Taşıtların dönemeçlerdeki davranışları da toe açısından etkilenmektedir. Dönüş sırasında iç tekerleğin dış tekerleğe göre daha büyük bir açı tarayarak dönmesine dönüşte toe-out denir. Şekil 2.16.'da taşıt sola doğru viraj alırken dıştaki tekerleğin taradığı dairenin daha büyük yarıçaplı ( $r_1$ ), içteki tekerleğin ise daha küçük yarı çaplı ( $r_2$ ) daire tarayarak dönüş yaptığı gösterilmektedir [8].

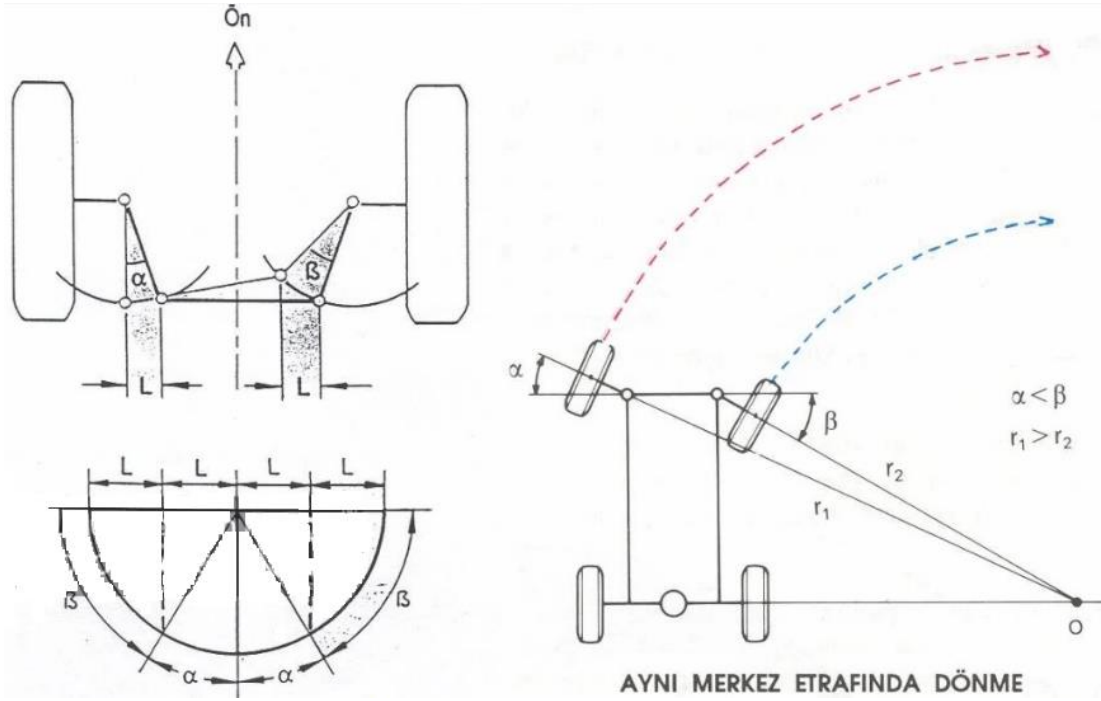


Şekil 2.16. Taşıtın sola viraj alırken tekerlek pozisyonları

Deve boynu olarak bilinen ve viraj esnasında içteki ve dıştaki tekerleklerin farklı oranlarda dönmesini sağlayan bağlantı elemanlarının rotlara dik değil de belli bir açıyla bağlanmasıdır. Şekil 2.17.'de bağlantı kolunun paralel bağlanması halinde tekerleklerde meydana gelen kayma sürtünmesi gösterilmektedir. İç ve dış tekerlekler aynı açıda döndüğü için bu sürtünme meydana gelir ve bu da aracın manevra kabiliyetini düşürür [8].



Şekil 2.17. Bağlantı kolunun taşıta paralel bağlanması [8]



Şekil 2.18. Bağlantı kolunun taşıta açılı bağlanması [8]

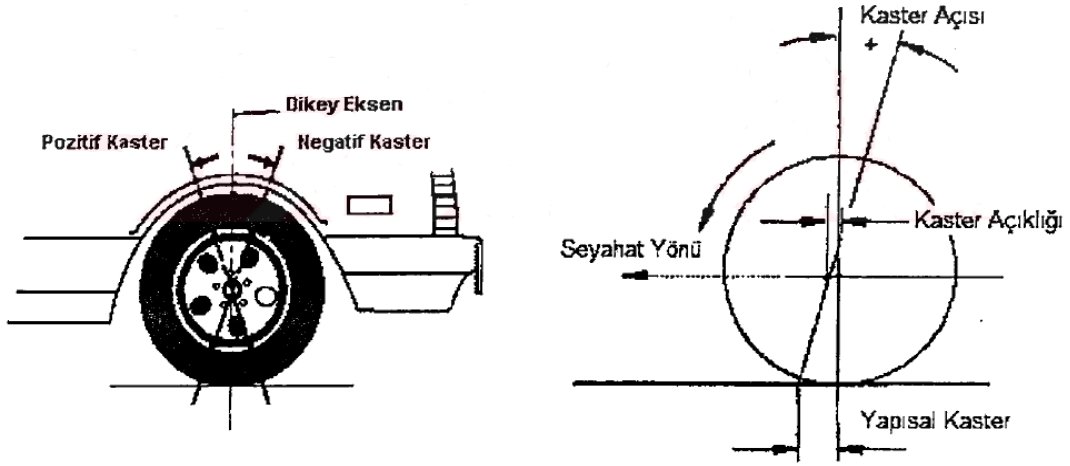
Şekil 2.18.'de ise bağlantı kollarının belirli bir açı ile bağlanmıştır. Bu sayede iç tekerlek daha büyük açıyla, dış tekerleğin ise daha küçük açıyla dönmesi sağlanmıştır. Çünkü bağlantı kolu, yatay eksene doğru yaklaşırken daha büyük bir açı, düşey eksene yaklaşırken ise daha küçük bir açı yapar. Böylelikle de taşıtın manevra kabiliyeti artar ve de tekerlek lastiklerinin aşınması engellenmiş olur [8].

#### 2.2.4. Kaster açısı

Taşıta yandan bakıldığında tekerleğin saptığı eksen ile tekerlek merkezinin düşey ekseni arasında oluşan açı kaster açısı olarak tanımlanmaktadır. Eğer açı arkaya doğru ise pozitif kaster, öne doğruysa negatif kaster açısı olarak isimlendirilir. Bu açı genellikle 0-5° arasında seyretmektedir [8].

Kaster açısı tekerlekte yapısal kaster ve kaster açıklığı faktörlerini oluşturmaktadır. Bunlar Şekil 2.19.'da gösterilmektedir. Yapısal kaster tekerin yere değdiği nokta ile tekerlek ekseninin düşey uzantısı arasındaki paralel mesafedir ve dönüşlerden sonra direksiyon serbest bırakıldığında taşıtın tekrar doğrusal yörüngeye geçmesini sağlar.

Kaster açıklığı ise tekerleğin saptığı eksen ile tekerlek merkezinin taşıt eksenine olan mesafedir [8].



Şekil 2.19. Kaster açısı, yapısal kaster ve kaster açıklığı [8]

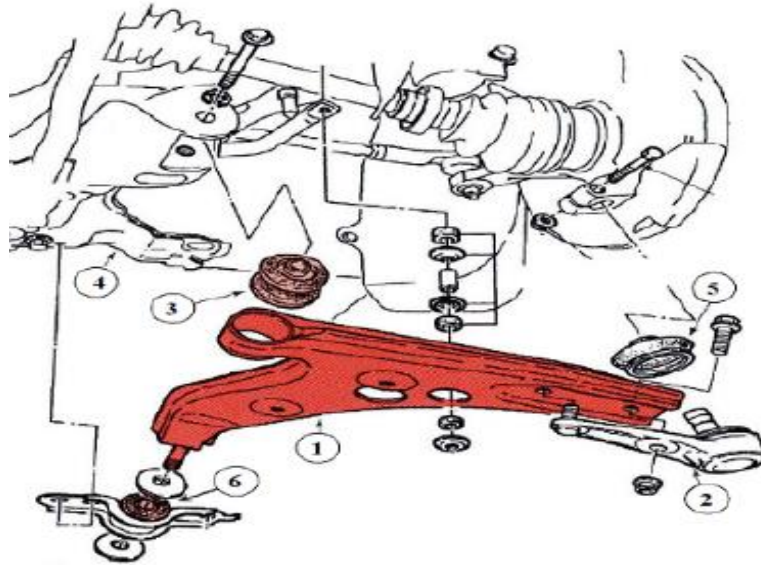
Kaster açısının temel amacı taşıta hareket kararlılığı katmaktır. Bu sayede kaster açısı verilmiş (pozitif veya negatif) taşıt tekerleklerinde, yolun durumundan dolayı sapma oluştuğunda, tekerlekler tekrar eski konumuna geri gelir. ayrıca virajlı yollarda taşıt virajı geçtikten sonra direksiyonun kolayca toplanabilmesini ve böylece tekerleklerin tekrar düz hale gelmesini sağlar. Kasterin yol darbesi etkisi ve titreşimlere neden olur. Buna karşılık yol kararlılığı artar [8].

Hepsinde olduğu gibi bu açının da araç için optimum değeri vardır fazla olması veya az olması istenmeyen sonuçlar doğurur. Gereğinden fazla kaster açısı yüksek hızlarda direksiyon kararlılığı sağlar ancak normal hızlarda kaster açısı direksiyonu zorlaştırır, aşırı yol darbesine ve titreşimlere sebep olur. Aksi halde yani açının az olması durumunda ise düşük hızlarda direksiyon kolaylığı sağlanmasına rağmen yüksek hızlarda direksiyon hakimiyeti azalır ve taşıt gezme hareketi yapar [8].

### 2.3. Süspansiyon Sistemi Elemanı ‘Salıncak’

Salıncak kolları süspansiyon sisteminin bir elemanıdır ve aks taşıyıcısı, denge çubuğu, yay, amorsitör ve direksiyon sistemi elemanları ile birlikte ön süspansiyon sistemini oluşturur. Salıncakların görevi tekerlekleri düzgün konumda tutmaya çalışmaktır bunu yaparken tekerleklerin aşağı-yukarı hareketine izin verir ancak istenmeyen kuvvetlerin etkisini sınırlar. Ön süspansiyon sistemi için en kritik elemandır. Aracın süspansiyon sistemi çeşidine ve tasarım ihtiyaçlarına göre farklı sayıda salıncak kullanılmaktadır [4].

Her salıncak bağlantı yerlerine kauçuk malzemeden yapılmış burçlar ile yataklanır ve tekerleklerin yoldan aldıkları darbeler burçlarla desteklenen bu bağlantı noktalarında sönümlenir. Şekil 2.20.’de salıncak yapısı ve süspansiyon sistemiyle bağlantısı gösterilmiştir [4].



Şekil 2.20.Süspansiyon sisteminde salıncak [4]

Süspansiyon sistemi aracın her türlü yol durumuna kendini adapte edebilmesi sağlar salıncaklarda bu sistemin bir parçası olarak her tekerleğin bağımsız olarak esnemesinde rol oynar. Bu sayede taşıtın yol üzerindeki hareket kararlılığı desteklenir [4].

Bir aracın tasarımı sırasında göz önünde bulundurulması gereken faktörlerden biri araç elemanlarının kendilerine düşen görevlerini sağlayabilmek için gereken mukavemet değerlerine sahip olmalarıdır. Süspansiyon sistemi içerisinde görevi olan salıncak parçasının da bulunduğu yerde (tekerleklerle şasi arasında) maruz kalacağı çeşitli zorlanmaları (eğilme, burulma vb.) karşılayacak mukavemet özelliklerine sahip olması gerekmektedir.

Salıncaklar hedef otomobiller ve pazarlara göre farklı türde malzemedен ve farklı üretim yöntemleri kullanılarak geliştirilmektedir. Örneğin bazı markalar preslenmiş sac malzemelerden salıncak üretimi yaparken bazı lüks otomobil markaları dövme alüminyum malzemeyi tercih etmektedir.

Tezimde TEKNOROT firmasının ürettiği Mercedes süspansiyon parçası olan dövme alüminyum salıncak üzerine çalışmalar yapılmıştır.

#### **2.4. Alüminyumun Genel özellikleri ve Uygulama Alanları**

Alüminyum elementler içerisinde yeryüzünde en çok bulunan üçüncü elementtir. Metaller içerisinde kıyaslanırsa da diğer metallerden daha fazladır ve bileşikler halinde bulunur; yer kabuğunun % 8 ini oluşturur. Bileşikler halinde bulunması alüminyumun elde edilmesini geciktirmiştir çünkü alüminyumun doğada bulunma şekli olan alüminyum oksitler çok kararlı bileşiklerdir. Bu bileşiğin indirgenmesini sağlayacak teknoloji de 19.yy'da geliştirildiğinden metal olarak alüminyum 19.yy' ın ilk yarısında ancak elde edilebilmiştir [9].

Alüminyum, demir çelikten sonra günümüzde yaygın olarak kullanılan ikinci metalidir. Geçmiş on binlerce yıl öncesine dayanan bakır, demir, gibi metallere kıyasla çok yeni olan alüminyumun endüstriyel çapta üretimine daha 100 yılı aşkın bir süre önce başlanmıştır. Bu kadar kısa süreye rağmen çok geniş alanlarda kullanımı yaygınlaşmıştır. Alüminyumdan ekstrüzyonla profil boru, çubuk gibi ürünler, döküm ürünler, levha, folyo gibi yassı ürünler, ayrıca iletkenler üretilebilmektedir ve günlük hayatımızın her sahasında kullanılmaktadır [10].

Alüminyum elementi periyodik tablodaki yeri III A metaller grubudur. Alüminyum atomunun çekirdeğinde 13 proton, 14 nötronu ve etrafında 13 elektronu vardır. Gümüş renge sahiptir. Hafiftir ve manyetik ve yanıcı değildir ayrıca iyi dövülebilirlik özelliği vardır. Saf alüminyum ile ilgili bazı özellikler Tablo 2.1.' de verilmiştir [11].

Tablo 2.1. Saf Alüminyumun fiziksel özellikleri [11]

Kaynama noktası	2467 ° C
Yoğunluk	2,69 g/ cm <sup>3</sup>
Ergime noktası	660,25 ° C
Özgül ısı	0,9 J/Gk
Buhar basıncı	2,42 E-06 Pa
Elektriksel iletkenlik	0,377×10 <sup>6</sup> Pa
Isısal iletkenlik	2.37 W/cmK
Hacimsel elastisite modülü	76 GPa
Rijitlik modülü	26 GPa
Young modülü	70 GPa
Füzyon entalpisi	10,67 kJ/mole
Buharlaşma entalpisi	293,7 kJ/mole
Molar hacim	9,99 cm <sup>3</sup> /mole
Optik yansımaya	%71

Alüminyum metalinin mühendislik uygulamalarında kullanımını sağlayan çok önemli özellikleri vardır. Alüminyum yumuşak ve demirden yaklaşık üç kat daha hafiftir. Diğer metallerin yapısına ilave edilmesi ile alaşımlandırıldığı zaman, yoğunluğunun çok az artmasına karşılık mekanik dayanımında önemli oranlarda artışlar meydana gelmektedir [12].

Alüminyum metalinin hafif olmasından bahsetmiştik bunu desteklemek gerekirse, demirin özgül ağırlığı 7.87 gr/cm<sup>3</sup>, çinkonun özgül ağırlığı 7.14 gr/cm<sup>3</sup> ve bakırın özgül ağırlığı 8.93 gr/cm<sup>3</sup> iken alüminyumun özgül ağırlığı 2.69 gr/cm<sup>3</sup>' dür. Bu özelliği sayesinde dayanımdan ödün verilmeden aynı zamanda hafif tasarım ihtiyaçlarının öne çıktığı otomotiv, uçak, gemicilik gibi endüstrilerde alüminyumun

önemi ve yeri her geçen gün artmaktadır. Örneğin, hafif malzemelerden tasarlanmış taşıt, düşük kütleyle sahip olacağından daha az enerji tüketir bize yakıt tasarrufu sağlar ayrıca hareket kabiliyeti de bundan olumlu etkilenir daha iyi manevra yeteneğine sahip olur [11].

Alüminyum, otomotiv ve uzay sanayisinde araç üretiminde tercih edilen en önemli malzemelerden biridir. Alüminyum, ulaşım sektöründe taşıt araçlarının üretiminde kullanılan en önemli malzemelerden birisidir. Otomotiv ve uzay sanayinde alüminyum tercih edilen bir malzemedir. Hatta alüminyum kaporta veya tamamen alüminyum olan otomobiller üretme çalışmaları devam etmektedir. Orta büyüklükteki bir otomobilin ağırlığının %35'ini oluşturan kaporta üzerinde araştırmalar yapılarak üretimler gerçekleştirilmektedir. Audi-Alcoa işbirliği ile üretilen kaporta ve yapısal elemanların tümü alüminyumdan yapılmış olan prototip bir otomobilde % 47 oranında bir ağırlık tasarrufu sağlanmıştır. Her 2 kg çelik yerine 1 kg alüminyum kullanılarak yapılan çok daha hafif gövde sayesinde fren, süspansiyon ve motor aksamı gibi diğer elemanlarda da ağırlık tasarrufu sağlanabilmiş, bu sayede Audi 5000 model otomobilinde 370 kg çelik yerini 149 kg alüminyuma bırakmıştır. Alüminyum kullanımı ile 221 kg hafifleyen bu otomobilde sağlanan yakıt tasarrufu ile 150 bin km'de 3 bin 500 lt daha az benzin tüketilmiştir [13].

Alüminyumun diğer metallerle alaşımlandırılabilen ve bu sayede mekanik özellikleri değiştirilip, geliştirilebilmektedir. Böylece farklı sektörlerin değişen ihtiyaçlarına cevap verebilecek farklı alüminyum alaşımlı malzemeler üretilmektedir. Yüksek mukavemet sağlayabilmesi bununla birlikte hafif olması birçok alanda tercih edilmesi sebebidir [11].

Alüminyum metalinin özellikleri içerisinde göze çarpan bir özelliği de korozyon dayanımının yüksek olmasıdır ve bu yüzeyinde doğal olarak oluşan oksit tabakası sayesinde. Korozyon dayanımının yüksek olması malzeme ömrünü uzatır ve bakım maliyetini azaltır. Bu özelliği ile de inşaat, gemcilik ve kimya sanayi gibi sektörler için tercih sebebidir. Gıda sektöründe yiyeceklerin ve içeceklerin ürettiği



birçok sıvı ve gazı dayanaklı olması onları koruması nedeni ile tercih edilir. Ayrıca gıda sektörü, ilaç sektörü gibi alanlarda ambalaj malzemesi olarak kullanılabilir [11, 12].

Alüminyumun bir diğer önemli özelliği ise elektrik iletkenliğinin iyi olmasıdır. Elektrik iletkenliği denildiğinde akla gelen metal bakır olsa da alüminyumun yoğunluğu düşük olması sayesinde birim kütleye düşen iletkenliği daha yüksektir yani aynı elektrik direncine sahip bakır ve alüminyum tel ele alındığında alüminyum tel daha hafiftir. Enerji iletim hatlarında kullanılan telleri düşünürsek bu büyük bir avantajdır. (Su, 1988). Alüminyum bu özelliği nedeniyle de elektrik mühendisliği uygulamalarında geniş sahası vardır. Yüksek torklu elektrik motorları, ısı değiştirici cihazları, yüksek voltajlı iletim kabloları, elektrikli ısıtıcılar, otomobil radyatörleri vb. yerlerde alüminyum alaşımları kullanılmaktadır [12].

Alüminyum elektromanyetik ışınlar karşı yansıtıcı olma özelliği sayesinde ışık, radyo dalgaları ve kızılötesi ışınım karşı koruyucu olarak kullanılabilir. Alüminyum sahip olduğu üstün yansıtma özelliği ile birçok farklı alanda özellikle dekoratif uygulamalarda yerini almaktadır [11].

Alüminyum üretim metodları için de kullanışlı bir malzemedir; farklı döküm yöntemleri ile karmaşık parçalar dahi kolaylıkla dökülebilir. Ayrıca levha, folyo, profil ve karmaşık kesitli birçok malzeme alüminyumdan imal edilebilir. Alüminyum malzemeler tüm kaynak ve yapıştırma tekniklerine uygundur. Alüminyum parçalar kesilebilir ve kısa süreli proses olmak kaydıyla işlenebilir [11].

Toparlamak gerekirse alüminyum malzemeler sahip olduğu yüksek mukavemet, süneklik, korozyon, aşınma direnci, elektriksel ve termal iletkenlik özelliklerinden ve kolay işlenebilir yapısından dolayı birçok sahada tercih edilmektedir ve kullanımı teknolojik gelişmelerle birlikte daha da yaygınlaşmaya devam etmektedir.

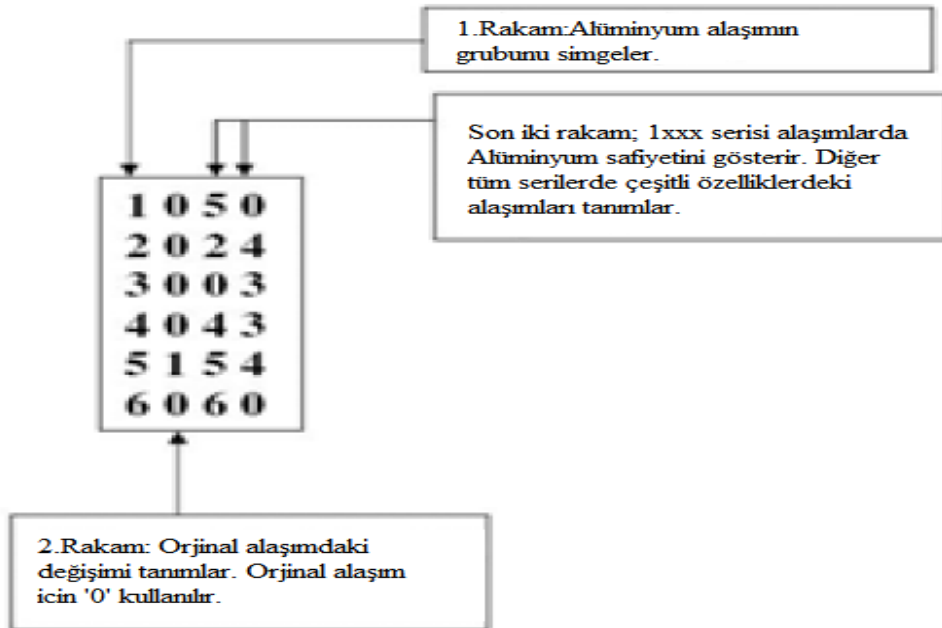
## 2.5. Alüminyum Alaşımaları

Alüminyum alaşımaları içerilerinde bulundukları alaşım elementlerine bağlı olarak farklı fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikler taşımaktadır. Alüminyumda bulunan en yaygın alaşım elementleri bakır, silisyum, magnezyum, mangan ve çinkodur. Bu elementlerin alaşım içerisindeki oranları alaşımın sınıfına göre değişmektedir [15].

Plastik şekil verme yöntemine göre alüminyum alaşımaları dövme alüminyum alaşımaları ve döküm alüminyum alaşımaları olmak üzere iki temel gruba ayrılır [16].

### 2.5.1. Dövme alüminyum alaşımaları

Amerikan Standartlar Birliğince (ASA) belirlenen bir simgeleme sistemi ile dövme alüminyum alaşımaları sınıflandırılmıştır ve yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu simgeleme sistemi dört basamaktan oluşmakta ve her alaşım içeriğindeki temel elemente göre ait olduğu sınıfı gösteren ilk rakamla başlar. Örneğin; temel alaşım elementi bakır olan bir alüminyum alaşımı ait olduğu sınıfın ilk rakamı olan '2' ile başlar, 2xxx şeklinde genellenir. Şekil 2.21.'de simgeleme sistemi ve ilgili örnek gösterilmektedir [17].



Şekil 2.21. Dövme Alüminyum alaşımalarının kodlama sistemi [17]

Bu sınıflandırma sistemine göre alüminyum alaşımlarının gruplarını şu şekilde sıralayabiliriz:

1XXX serisi: 1XXX serisi saf alüminyumunu ifade eder ve minimum % 99 alüminyum içerir. İkinci basamak orijinal alaşımın değişimini tanımlar orijinal olması için 0 yazar. Son iki basamağı alüminyumun saflığını gösterir (% 99 Al değerinden sonraki kısmı). Örneğin; 1050 alaşımı % 99,50 oranında saf alüminyum içermekte, 1100 alaşımı ise % 99,0 oranında içermektedir. Bu seri genellikle elektrik ve kimya endüstrisinde kullanılmaktadır [18].

2XXX serisi: Temel alaşım elementi bakırdır, bakırdan sonra en çok magnezyum elementi içermektedir bu yüzden Al-Cu-Mg alaşımı diye de bahsedilmektedir. Bu alaşım serisi çökeltme sertleşmesi görülen alaşımlardır ve bu seriden olan 2017 alaşımı literatürde ilk çökeltme sertleşmesi yapılan alaşımdır. 2xxx serisi yüksek mukavemet isteyen sektörler için uygundur [19].

3XXX serisi: Temel alaşım elementi mangandır. Mangan dayanımı arttırmaktadır ayrıca serinin korozyon direnci ve işlenebilirliği yüksektir. Borularda, sıvı tanklarında ve çatı kaplamaları gibi mimari uygulamalarda kullanılmaktadır [19].

4XXX serisi: Temel alaşım elementi silisyumdur. İçeriğindeki silisyum elementi alüminyumun ergime noktasını düşürerek kaynak ve lehimleme kabiliyetini geliştirmektedir. Bu sayede termal genişleme katsayısı düşük ayrıca aşınma direnci ve korozyon dayanımı yüksek alüminyum alaşımlarıdır. Döküm teknolojisinde karmaşık şekillerde, yaygın olarak kaynaklı yapılarda, levha üretiminde kullanılmaktadır [18, 19].

5XXX serisi: Temel alaşım elementi magnezyumdur. Bu serideki alaşımların dayanımı magnezyum miktarına bağlıdır, magnezyum skalasındaki artış sertlik ve mukavemeti artırır ancak sünekliğini azaltır. Denizel korozyona karşı dayanımı yüksek olduğundan, gemi iskeletleri ve denizcilik uygulamalarında kullanılmaktadır [18].

6XXX serisi: Temel alaşım elementleri magnezyum ve silisyumdur. Őekillendirilme kabiliyeti yüksek olan bu seri özellikle ekstrüzyon ile üretilen parçalar için hem de otomotiv sektöründe dövülerek üretilen parçaların imalatında sıklıkla kullanılmaktadır. 6xxx grubu içerisindeki 6082 alaşımı dövmeye ve ısıl işleme en uygun alüminyum alaşımıdır. Grubundaki en yüksek dayanım ve korozyon direncine sahip olması yanında işlenebilirliği, Őekillendirilebilirliđi ve kaynak yapılabilirliği yönünden de diğerlerinden ön plana çıkmaktadır [20].

Tezimde konu aldığım salıncağın malzemesinin 6082 alüminyum alaşımı olması dolayısıyla bu malzemeye ileride daha geniş olarak değineceğim.

7XXX serisi: Temel alaşım elementi çinkodur, çinkodan sonra magnezyum, krom ve zirkonyum ilave alaşım elementleridir. 7XXX serisi, alüminyum alaşımlarının en yüksek mukavemet dayanımına sahip olan grubudur. Bu sayede yüksek dayanım gerektiren sahalarda örneğin uçak parçaları yapımında malzeme olarak kullanılmaktadır [19].

8XXX serisi: Temel alaşım elementi lityum olup, kalay ilavesi de yapılabilir. Tokluk ve yorulma dayanımı yüksek olan bu seri özellikle uçak ve uzay yapılarında kullanılmaya başlanmıştır ancak diğer alüminyum alaşımlarına göre yüksek üretim maliyetleri vardır [18].

### **2.5.2. Alüminyum alaşımları 6xxx serisi**

6XXX serisi alaşımların temel kompozisyonuna bakıldığında alaşım elementlerinden silisyumun oranı % 0.2-1.2 arasında, magnezyumun oranı ise % 0,35-0,9 arasında değişmektedir. 6XXX serisi alüminyum alaşımlarındaki en önemli empürite elementi olan demir için bazı standartlarda alt ve üst sınırlar belirlenmiş bazılarında ise sadece üst sınır verilmiştir. Yine empürite elementlerinden titanyum ile çinkonun miktarları ise genel olarak % 0.1-0.2' nin altında olması istenilmekte az da olsa bazı standartlarda diğer empürite elementleri içinde sayılarak % 0,15'lik kısma dahil edilmişlerdir. Bir başka empürite elementleri olan bakır ve kromun içeriğinin de %

0.05-0.25' ten az olması istenmektedir. Manganez oranının ise , % 0.1-0.6 arasında değiştiği kabul edilmiştir [11]. Tablo 2.2.'de 6082 alaşımının kimyasal kompozisyonu yzde olarak verilmiştir.

Tablo 2.2.Al 6082 alaşımının kimyasal kompozisyon yzdeleri [14]

EN AW 6082	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
Kimyasal analiz aralığı	0.2-1.2	$\leq 0.5$	$\leq 0.05$	0.1-0.6	0,35-0,9	$\leq 0.25$	$\leq 0.2$	$\leq 0.1$	kalan

6XXX serisi alaşımların element kompozisyonlarının yzde oranlarına g3re farklı 3zellikleri 3n plana 3ıkar bu da kullanım alanlarını 3eşitlendirir.

Magnezyum ve silisyum yzdesi fazla olan alaşımların dayanımı fazla olacağından mukavemetin 3nemli olduğu uygulamalarda kullanılacaktır. Magnezyum i3eriği ile birlikte bir miktar daha fazla silisyum i3eren alaşımların ekstrzyon kabiliyeti daha gelişmiş olur. Magnezyum i3eriği 3n plana 3ıkan alaşımlarda ise anodizasyon kabiliyeti gelişmektedir [11].

6xxx serisi (Al-Mg-Si) alaşımlarının ana bileşenleri olan magnezyum ve silisyum yapıda Mg<sub>2</sub>Si metaller arası bileşiğini oluşturur. Demir, manganez ve krom gibi emp3rite elementler d3zenleyici olarak bulunur. Bazen korozyon direncini d3ř3rmeden az oranlarda 3inko veya bakır ilavesi mukavemeti arttırır. İşlenebilirliği arttırmak i3in kurşun veya bizmut ilavesi m3mk3nken tane boyutunu kontrol etmek de zirkonyum veya titanyum ilavesi ile m3mk3n olabilmektedir. Alaşımda bakır, krom, 3inko, mangan, titanyum, demir, bor gibi emp3rite elementler 3ok az oranlarda bulduklarından kafes parametresi 3zerinde fark edilebilir etkileri yoktur. Kafes parametresi magnezyum ve silisyum oranları 3zerinden kontrol edilmektedir. Alaşımların 3oğunda Mg ve Si dışındaki elementler toplamda %1'den az olduğundan bir3ok 3zellikler saf al3minyumun değerlerindedir [21].

## 2.6. Isıl İşlem

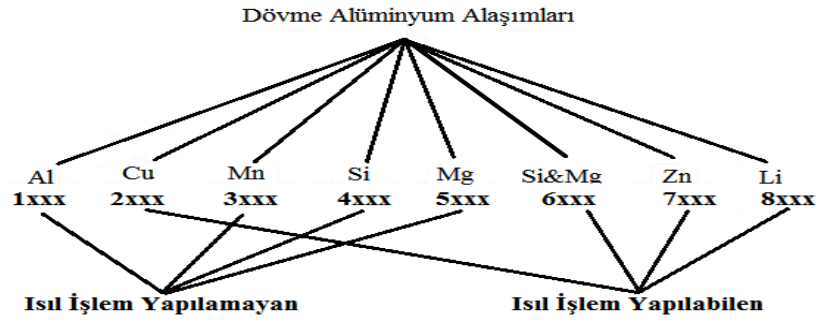
Mühendislikte tasarımın önemi bilinmektedir bununla birlikte tasarım kadar önemli olan bir kriterden bahsederseniz o da malzeme seçimidir. Tasarımın imalatında kullanılacak malzemenin gerçek çalışma koşulları ve imalat yöntemi (maruz kalacağı gerilmeler, sürtünme, aşınma korozif bir ortamda çalışıp çalışmayacağı; döküm, dövme, ekstrüzyon hangi metodun kullanılacağı vb.) göz önünde bulundurularak seçim yapılması önem arz etmektedir. Bu koşullar değerlendirildikten sonra piyasada ihtiyaca cevap verebilecek nitelikte (yoğunluğu, mukavemeti, sertliği, mikro ve makro özellikleri vb. uygun) malzemelerin ekonomik olup olmadığına bakılır. En önemli kriterleri dikkate alıp diğer özellikleri sonradan yapılan müdahalelerle iyileştirilerek daha uygun veya daha ekonomik malzeme seçimleri de yapılabilmektedir.

Mekanik özellikler hem imalat sırasında hem de sonrasında kullanım alanının gerektirdiği değerleri karşılamak için çeşitli işlemlerle değiştirilebilmektedir. Bu değişim malzeme cinsine ve kimyasal bileşenlerine uygun yöntemlerle gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemlerden biri de ısıl işlemdir. Metal ve metal alaşımlarının mekanik özelliklerini istenilen yönde değiştirmek amacıyla uygulanan bir veya birden fazla uygulanabilen ısıtma, soğutma gibi işlemlere 'ısıl işlemler' denilmektedir.

### 2.6.1. Alüminyum alaşımlarında ısıl işlem

Endüstriyel olarak daha yüksek dayanıma sahip olmak için alüminyum malzemeler daha çok alaşım halinde kullanılmaktadır. Alüminyum alaşımları içerisindeki alaşım elementlerinin çeşidine ve oranlarına göre farklı mekanik özellikler göstermektedir. Alüminyum alaşımlarının geniş kullanım alanlarına sahip olduklarından ve her geçen gün daha da yaygınlaştığından bahsetmiştik. Kullanılacakları sektörün ihtiyaçları doğrultusunda alüminyum alaşımlarına ısıl işlem uygulanarak dayanımları daha yüksek seviyelere ulaştırılabilir [22].

Dövme alüminyum alaşımlarını ısıtıl işlem uygulanabilirlik özelliğine göre ayırırsak 1XXX, 3XXX, 4XXX ve 5XXX serisi dövme alüminyum alaşımları ısıtıl işlem uygulanamayan; 2XXX, 6XXX, 7XXX ve 8XXX serisi alaşımlar ise ısıtıl işlem uygulanabilen alaşımlardır. Isıtıl işleme uygun olmayan seriler sadece şekil değıştirme yolu ile sertleştirilebilirler. Şekil 2.23.'te ısıtıl işleme uygunluklarına göre dövme alüminyum alaşımlar sınıflandırılmıştır.



Şekil 2.22. Isıtıl işleme uygunluk durumlarına göre dövme alüminyum alaşımlarının gruplanması [22]

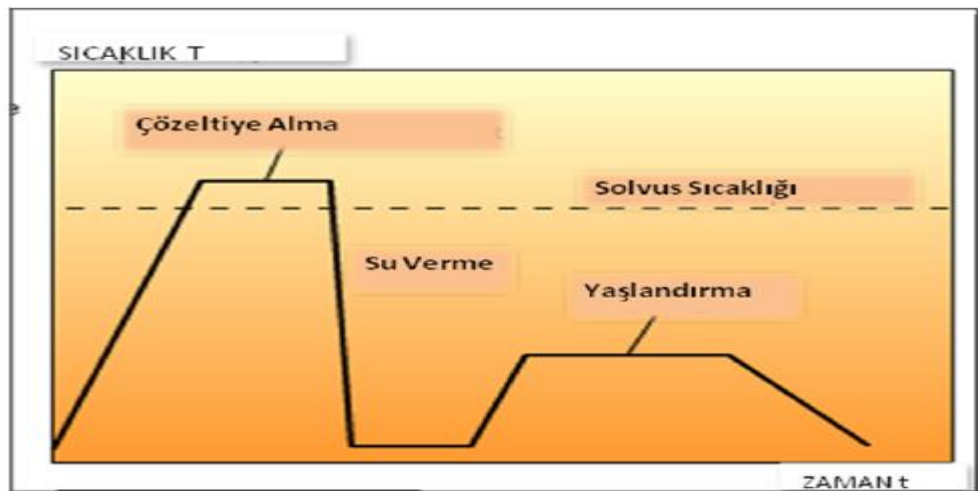
Tablo 2.3. Isıtıl işlem kodlamaları [22]

Temper	Temper kodu	Açıklama
W		Çözeltiye alınmış
T		Yaşlandırma işlemini göstermektedir
	T1	Sıcak şekillendirme sonrası soğumuş ve doğal olarak yaşlanmış
	T2	Sıcak şekillendirme sonrası soğumuş, soğuk deformasyon uygulanmış, doğal olarak yaşlanmış
	T3	Çözeltiye alınmış, soğuk işlenmiş ve doğal yaşlandırma uygulanmış
	T4	Çözeltiye alınmış ve doğal yaşlanmış
	T5	Sıcak şekillendirme sonrası soğumuş ve yapay yaşlandırılmış
	T6	Çözeltiye alınmış ve yapay yaşlanmış
	T7	Çözeltiye alınmış ve stabilize edilmiş (aşırı yaşlanmış)
	T8	Çözeltiye alınmış, soğuk işlenmiş, yapay yaşlandırılmış
	T9	Çözeltiye alınmış, yapay yaşlandırılmış ve soğuk işlem uygulanmış
T10	Sıcak şekillendirme sonrası soğumuş, soğuk işlem uygulanmış, yapay yaşlanmış	

Isıl işlem temel olarak üç kademededir. Bunlar basamaklar sırasıyla; çözeltiye alma, su verme ve yaşlandırma. Yaşlandırma işlemi mekanik özelliklerin iyileşmesi için temel aşama olmakla birlikte doğal ve yapay yaşlandırma mevcuttur. Alüminyum alaşımlarda doğal yaşlandırmanın mekanik özelliklerine etkisi yeterli gelmediği için genellikle yapay yaşlandırma tercih edilmektedir. Alüminyum alaşımlarında ısıl işlem proseslerinin kodlamaları ve açıklamaları Tablo 2.3.'te verilmiştir [22].

Isıl işleme tabi tutulan alüminyum alaşımlarında dayanım artışı çökeltme sertleşmesi mekanizmasıyla sağlanmaktadır. Çökeltme sertleşmesinin temel mantığı ortamda bulunan en az iki farklı yapının birinin bir diğeri içerisinde çözünmesi ve ardından sıcaklığın düşürülmesiyle çökmesi olayıdır.

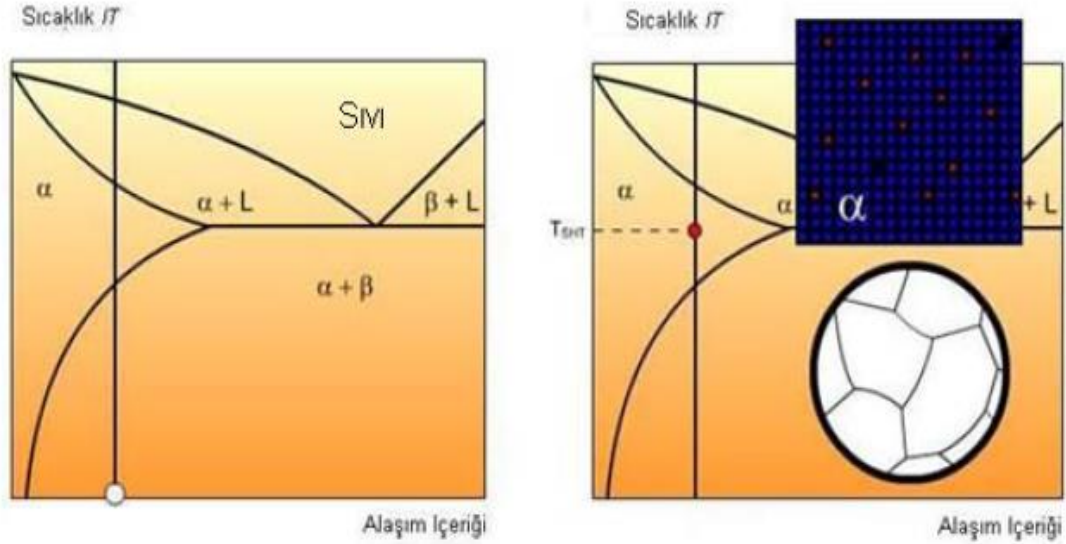
6xxx serisi ticari Al alaşımları istenen mukavemet değerlerine ulaşabilmeleri için genellikle T6 prosesine tabi tutulmaktadır. Al-Si-Mg alaşımları sırasıyla 510-540 °C'de çözeltiye alınır sonra yine yüksek sıcaklıkta su verme işlemine ardından 150-200 °C'de yapay yaşlandırma işlemine tabi tutulmaktadır. Çözeltiye alındığında Mg ve Si çözünerek çözelti içerisinde homojen çökelti fazı oluştururlar; yaşlandırma işlemi sonunda ise alüminyum dendritleri içerisinde Mg<sub>2</sub>Si çökelmeleri oluşmuş olur [23]. Şekil 2.24.'te ısıl işlem süreçleri görülmektedir.



Şekil 2.23. Isıl işlem süreçleri [24]



### 2.6.1.1. Çözeltiye alma işlemi



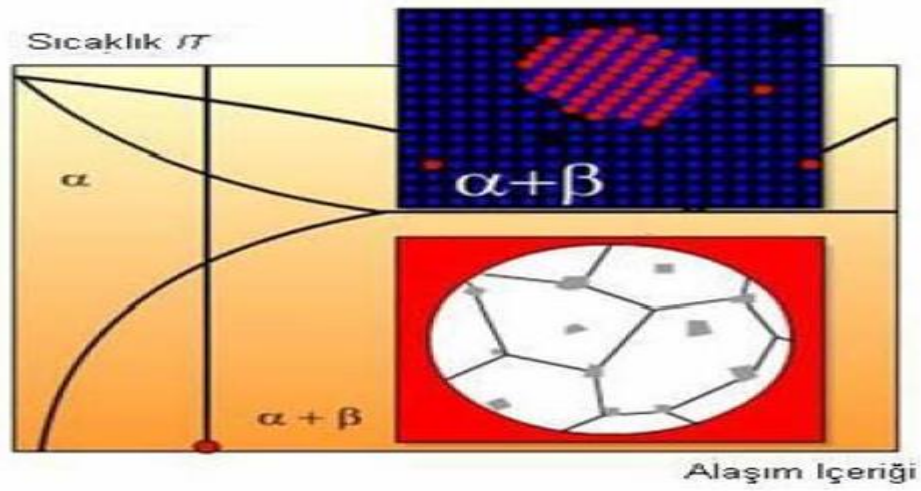
Şekil 2.24. Çözeltiye alma [24]

Çözeltiye alma işleminin temel amacı, tek fazlı katı çözelti elde edebilmektir. İlk sıcaklıkta fazlar ( $\alpha$  ve  $\beta$ ) denge halinde değildir. Alaşım solvüs eğrisinin üzerindeki sıcaklığı çıkarılır ve bu sıcaklıkta ergime noktası daha düşük olan  $\beta$  fazı,  $\alpha$  fazı içerisinde tamamen çözününceye kadar işleme devam edilir [24]. Yapının tümü tamamen  $\alpha$  fazı içerisinde çözüldükten sonra tek faz halinde ani olarak soğutulur. Çözeltiye alma sıcaklığı belirlenirken alaşımın ergimesine sebep olmayacak sıcaklık derecesi seçilmelidir. Alüminyumun ergime sıcaklığı 560 °C civarında seyrettiğinden çözeltiye alma işlemi sıcaklığı 525 – 545 °C arasında olmalıdır. Bu sıcaklık Şekil 2.25.'te  $T_{SHT}$  ile belirtilmiştir.  $T_{SHT}$  sıcaklığında tüm fazlar katı çözültide tek bir faz haline gelmektedir [24].

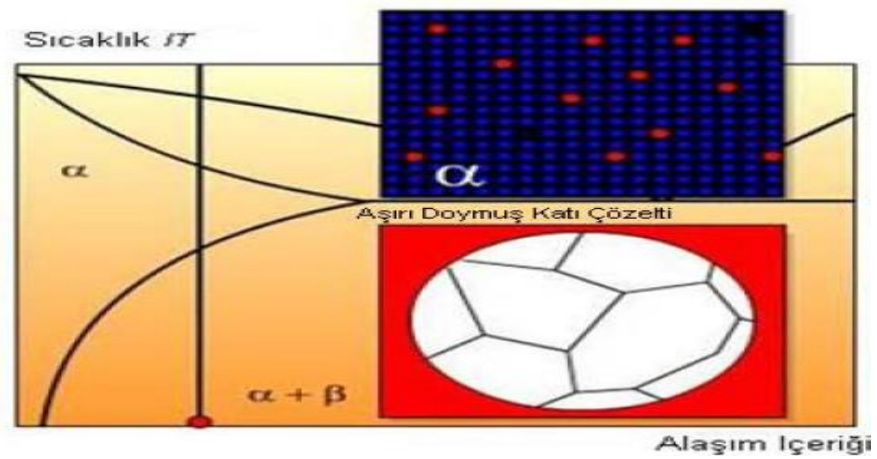
Çözeltiye alma sıcaklığı ve süresini etkileyen faktörler; malzemenin mikroyapısı, parçanın kalınlığı, fırın kapasitesi gibi etkenlerdir. Örneğin; ince levhalar için süre dakikalar ile ifade edilirken kesit kalınlığı arttıkça süre saatler ile ifade edilmektedir [24].

### 2.6.1.2. Su verme işlemi

Çözeltiye alma işlemiyle alaşım elementleri alüminyum içerisinde tek faz haline getirilmişti. Su verme işlemiyle de bu tek fazlı yapı aşırı doymuş alüminyum çözeltisi halinde çözeltiye alma sıcaklığından ani bir şekilde soğutulmaktadır. Hızlı bir şekilde soğutulmayan kendinden soğutulmaya bırakılan çözeltiler çekirdeklenecek  $\alpha+\beta$  fazı şeklinde heterojen olarak çökeler (Şekil 2.26.). Ancak hızlı şekilde soğutulursa  $\alpha$  fazı içerisinde çözünen  $\beta$  fazı çökmeye fırsat bulamaz ve doymuş tek fazlı yapı oluşmuş olur. Bu haliyle  $\alpha$  faz yapısı aşırı doymuş olarak nitelenir (Şekil 2.27.) [24].



Şekil 2.25. Çekirdeklenmeyle oluşan heterojen yapı [24]



Şekil 2.26. Aşırı doymuş katı çözelti [24]

Su verme işlemi adını aldığı şekilde çoğunlukla su ile gerçekleşmektedir. Ayrıca suyun yanında su-glikol karışımı, suyla çözünebilen polimerik yağlar vb. de kullanılabilir.

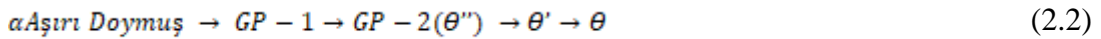
### 2.6.1.3. Yaşlandırma işlemi

$\beta$  fazı, aşırı doymuş katı çözelti içerisinde çözünmüş olarak bulunmaktadır. Sıcaklık ve zaman faktörleriyle denklem 2.1.'de gösterildiği gibi  $\beta$  fazı kararlı bir faz olarak çökler.



Bu çökmenin gerçekleşmesi için, önce  $\beta$  fazının çekirdeklenmesi ve ardından difüzyon ile büyümesi gerekmektedir. Su verme işleminden sonra alaşım oda sıcaklığında tutulursa, difüzyon hızı çok yavaş olacağından  $\beta$  fazı genellikle oluşmaz veya oluşması çok uzun süre alır. Bu yüzden belirli bir sıcaklıkta bu çökme gerçekleştirilir. Çökme olayı, oda sıcaklığında meydana geliyorsa “doğal yaşlanma işlemi”; oda sıcaklığından daha yüksek bir sıcaklıkta alaşımın difüzyon hızını arttırarak gerçekleşiyorsa “yapay yaşlandırma” olarak adlandırılır [22].

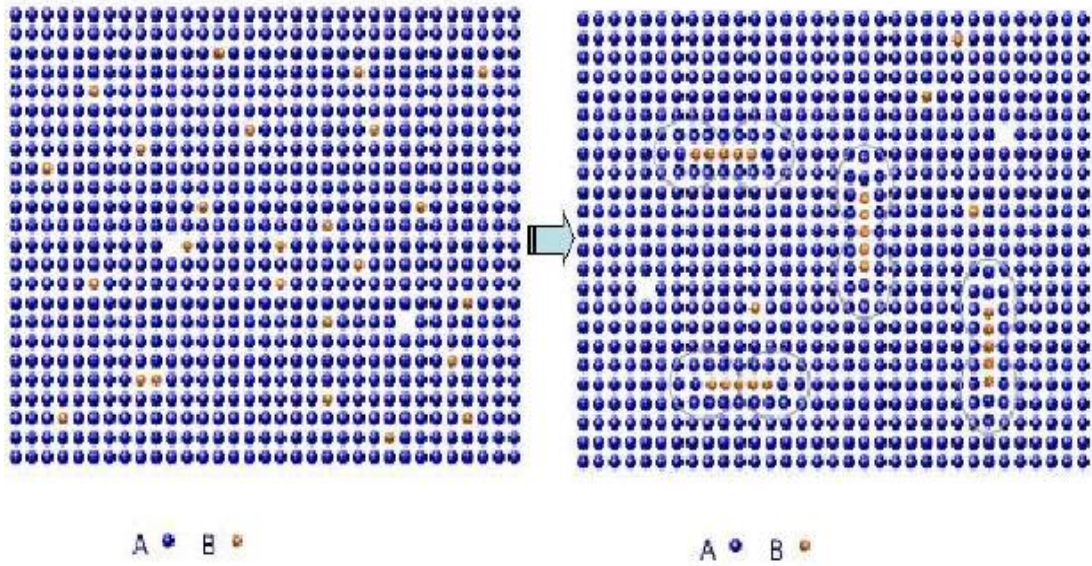
Çökelti mekanizmasının anlaşılabilmesi için GP bölgelerinden bahsetmek gereklidir. GP bölgeleri, 1938’de Guinier ve Preston isimli iki araştırmacı tarafından bulunmuş ve isimlerinin baş harfleri ile adlandırılmıştır. Kompleks olan alüminyum alaşımlarının tepkimelerinde yer alan çökme reaksiyonları ve GP bölgeleri teorik olarak, denklem 2.2.’deki gibi ifade edilebilir;



Bu dönüşüm denklemine göre, yaşlanma sırasında aşırı doymuş katı çözeltinin çökelti fazına dönüşüm aşamaları;

Çekirdek  $\rightarrow$  Ara Çökelti  $\rightarrow$  Kararlı Çökelti şeklinde özetlenebilir [25].

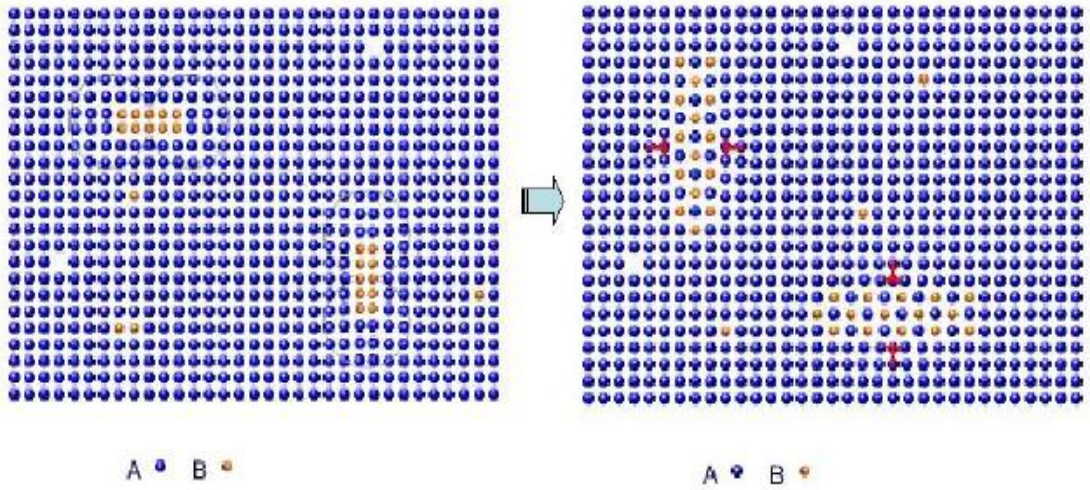
Aşırı doymuş yapı, başlangıçtaki denge haline dönmeye meyillidir. Şekil 2.28.'de görülen soldaki yapı, çözeltiliye alınıp peşinden su verilen alaşımın yapısını göstermektedir. A ile gösterilen Al içerisinde aşırı doymuş B fazı, Mg-Si katı çözeltilisini temsil etmektedir. Şekil 2.28.'de sağda görülen yapı ise; yaşlandırma işlemi esnasında gerçekleşen difüzyon ile B atomlarının, A fazı içerisinde belirli düzlemler üzerinde bölgesel yoğunluklar oluşturmasıdır. Bu konsantrasyon bölgeleri GP (Guinier - Preston) bölgeleri olarak isimlendirilir [25].



Şekil 2.27. Yaşlandırma işleminde birinci kademe [25]

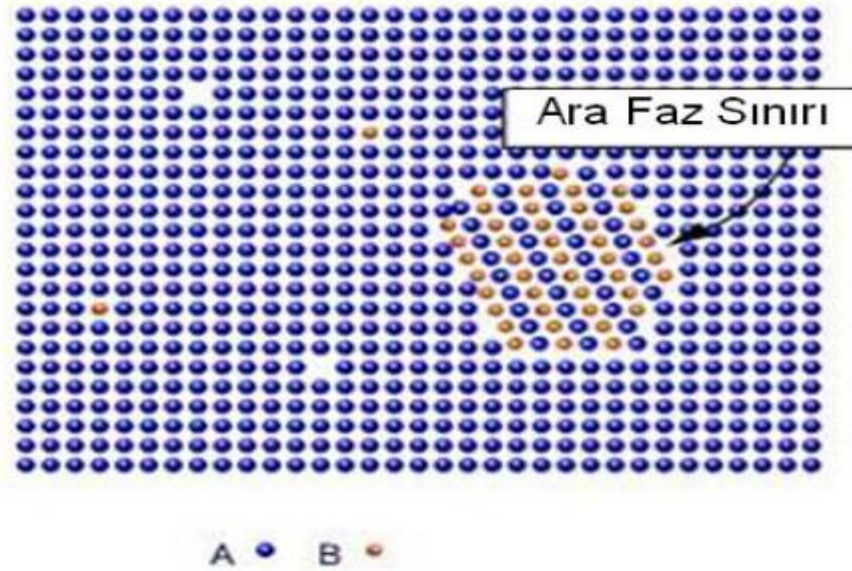
Oluşan GP bölgeleri daha sonra kararlı bir ara faz meydana getirmek için, çekirdeklenmeye başlarlar. Bu GP düzlemi etrafındaki A atomları oluşan bu kararlı ara fazın ilerlemesi ve yer etmesi için bozulur ve bu birleşme işleminden meydana gelen kuvvetin etkisiyle deformasyona maruz kalır. Bunun sonucunda bir yapışma baskısı oluşur (Şekil 2.29. sol tarafta 2. ara kademe) [25].

Çökeltiler büyüdükçe, bağdaşımdan kaynaklanan sıkışma gerinim meydana getirir bu gerininin (coherency strain) bir kısmı, ara yüzde oluşan dislokasyonlar tarafından giderilir (Şekil 2.29. sağ taraf 3. ara kademe).



Şekil 2.28. Yaşlandırma işlemi ikinci kademe [25]

Yaşlandırma işleminin yeterli yapılması sonucunda son kademe olan denge fazı oluşur. Denge fazı, ana matristen (A atomları) farklı bir kristal yapıya sahip olup ana faz içerisinde yapışık değildir. Böylece bağdaşım büyümesinden kaynaklanan sıkışma yok edilmiştir. Artık, matris ve çökelti arasında yeni bir ara faz sınırı meydana gelmiştir (Şekil 2.30.) [25].



Şekil 2.29. Yaşlandırma işlemi son kademe yapı değişimi [25]

## **BÖLÜM 3. MATERYAL VE YÖNTEM**

Tez çalışması süresince izlenen adımlar, incelenen parametreler, bu incelemelerde kullanılan yöntemler aşağıda özetlenmiştir.

Tez kapsamında izlenen yol;

- Süspansiyon sistemi elemanı olan salıncağın yarı mamul halden nihai ürün haline gelene kadar geçirdiği evrelerin araştırılması
- Dövme alüminyum alaşımlarına uygulanan ısı işleme prosesinin optimizasyonu ile ilgili parametrelerin belirlenmesi
- Belirlenen parametreler doğrultusunda salıncak prototiplerinin Al 6082 alaşımından imal edilmesi
- Prototiplere deneysel çalışmaların yapılması
- Çalışmaların sonucunda prototiplerin mekanik ve mikroyapı özelliklerinin karşılaştırılması
- Sonuçların değerlendirilmesi ve kazanımların hesaplanması

Deneysel çalışmalar için prototiplere uygulanan testler ve yapılan analizler;

- Spektral analiz (Teknorot bünyesinde)
- Sertlik ölçümü (Teknorot bünyesinde)
- Çekme testi (Teknorot bünyesinde)
- Mikroyapı analizi (Teknorot ve SAÜ bünyesinde)

### **3.1. Salıncağın Üretim Aşamaları**

Salıncaklar şasi ile tekerlek arasındaki bağlantıyı sağlayan; sac, döküm ve dövme olarak üretilen süspansiyon parçalarıdır. Tez çalışmasında dövme alüminyum

salıncak konu alındığı için, aşağıdaki iş akış şemasında dövme alüminyum parçaların üretim aşamaları gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Dövme alüminyum parçaların üretim akış şeması

Alüminyumdan dövmeyle üretilen parçalarda kullanılan yarı mamul genellikle ekstrüde edilmiş içi dolu profillerdir. Yarı mamulün çap ve boy ölçülerini dövülecek parça formu belirlemektedir. Boyutlarına göre ayrılan profiller parça geometrisine göre kesilerek ön ısıtma fırınlarında dövme sıcaklığına getirilmektedir. Ön ısıtma fırınından çıkarken dövme sıcaklığına ulaşan profiller, parça geometrisine göre gerekiyorsa rekvals (gererek haddeleme) işleminden geçirilmektedir. Ardından yine parçaya göre belirlenen preslerde kapalı kalıpta çapaklı dövme yapılmaktadır. Bu aşamada kalıp tasarımı önem taşımaktadır çünkü sıcak dövme yapıldığından sonrasında malzemenin çekmesini tolere edecek hacim fazlalığı payı bırakılmalıdır. Böylece dövme sırasında malzeme tüm kalıbı doldururken fazlası çapak eşliğinden dışarı atılır. Çapak kesme aşamasından sonra da şeklini alan parça ısıtma sürecine hazır hale gelmektedir. Isıtma sürecinde parça belirli süre ve sıcaklıkta önce çözeltiye alınır (T4) sonra su verilerek ani soğutulur ve nihai olarak yaşlandırma prosesine (T6) yine belirli süre ve sıcaklıkta tabi tutulur. Mekanik özellikleri ve mikro yapısı itibariyle hazır hale gelmiş olan parçanın taşlaması, kumlaması

yapılmakta sonrasında kullanılacağı yerdeki bağlantı durumuna göre bağlantı deliği, havşa operasyonu gibi işlemleri yapılarak süreç tamamlanmış oluyor.

Teknorot otomotiv dövme hane parkuru 2500 ton Maxi pres, 500 ton Eksantrik pres, 250 ton Eksantrik Pres, otomatik yüklemeli fırın ve Rekvalls makinesinden oluşmaktadır. Bu sayede salıncak ve rotilli kolların dövme prosesini kendi bünyesinde yapabilmektedir. Rekvalls makinesindeki operasyonlarda standardı sağlamak için robot kullanılmaktadır. Ve üretim prosesi sürecinde dövme prosesini takiben Alüminyum parçalara uygulanan kumlama ve ısıl işlem prosesleri için kumlama makinesi ve ısıl işlem fırınları mevcuttur. Böylece dövme hane de biyet halden finiş prosesine kadar işlemler sırayla gerçekleşebilmektedir.



Şekil 3.2. 2500 tonluk maxi pres makinesi





Şekil 3.3. Reivals makinesi



Şekil 3.4. 6 eksenli robot



Şekil 3.5. T4 ısıt işlem fırını



Şekil 3.6. T6 ısıt işlem fırını

## BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMA

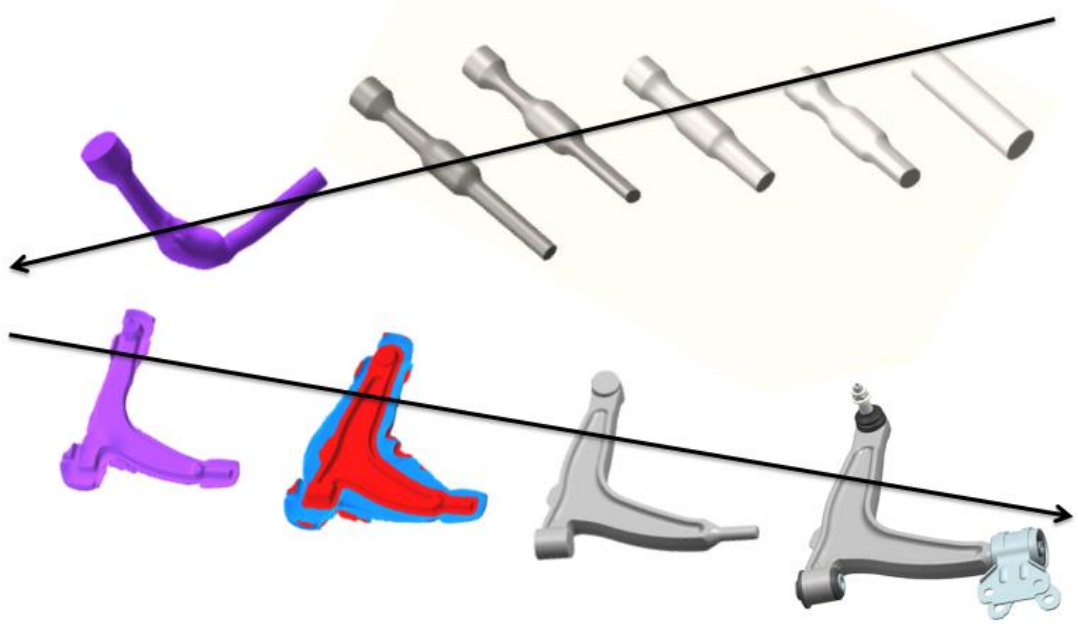
### 4.1. Salıncak Prototiplerinin Tasarımı ve İmalatı

Deneysel çalışma yapacağım salıncak modeli belirlenmiş olup önceden Teknorotta tasarımı yapılmıştır.



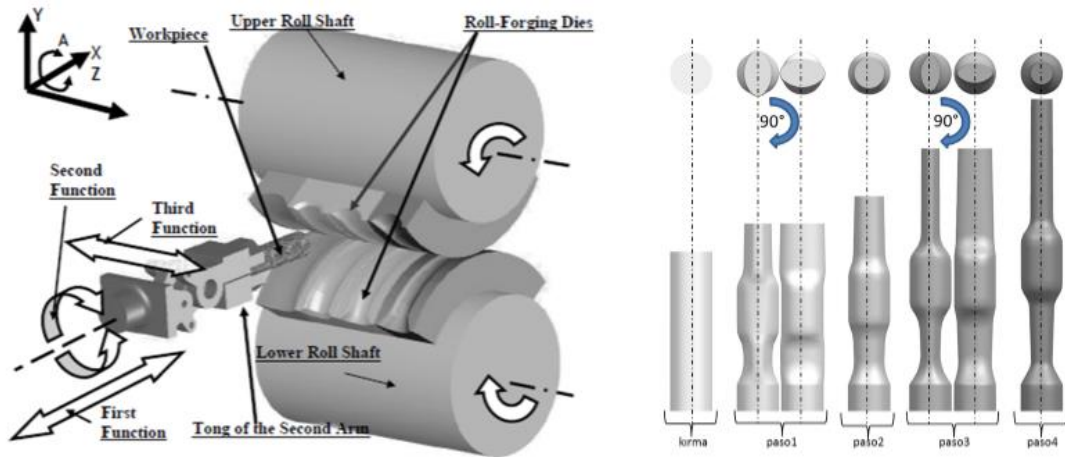
Şekil 4.1 Salıncak kolu parçasının tasarım modellemesi [26]

Şekilde 4.1.'de tasarımı görülen parça aracın ön süspansiyon sistemide kullanılan Alüminyum bir salıncaktır. Opel markasının Vectra modelinde kullanılan bu salıncak Al 6082 alaşım malzemesinden dövmeyle üretilmektedir. Şekil 4.2.'de bu aşamalar gösterilmektedir.



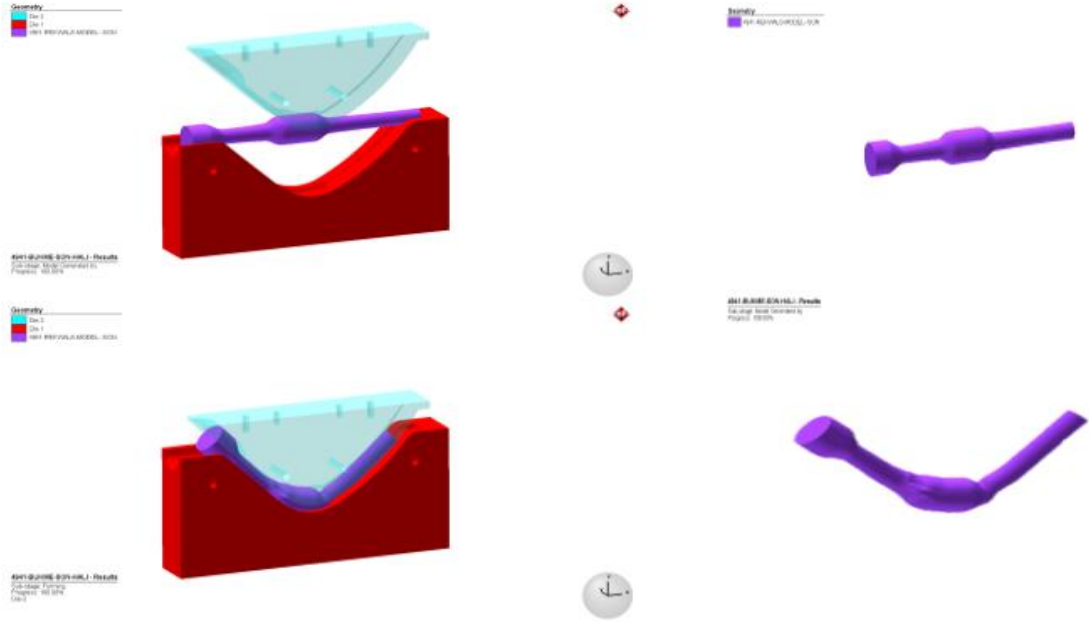
Şekil 4.2. Salıncak prototipinin üretim aşamaları [26]

Üretim prosesini özetlersek, ilk olarak biyetler kesilmektedir ardından Şekil 4.3.'de görüldüğü gibi rekvals denilen yöntemle gererek haddelenmekte 4 paso da kırılıp şekillendirilmektedir.



Şekil 4.3. Rekvals işlemi [26]

Sonrasında bükme operasyonu uygulanıyor. Bükme Şekil 4.4.'te bükme analizlerinde gösterilen bükme kalıbına alınan parça burada bükülüyor. Parçanın bükülmüş hali de Şekil 4.5.'te gösterilmektedir.

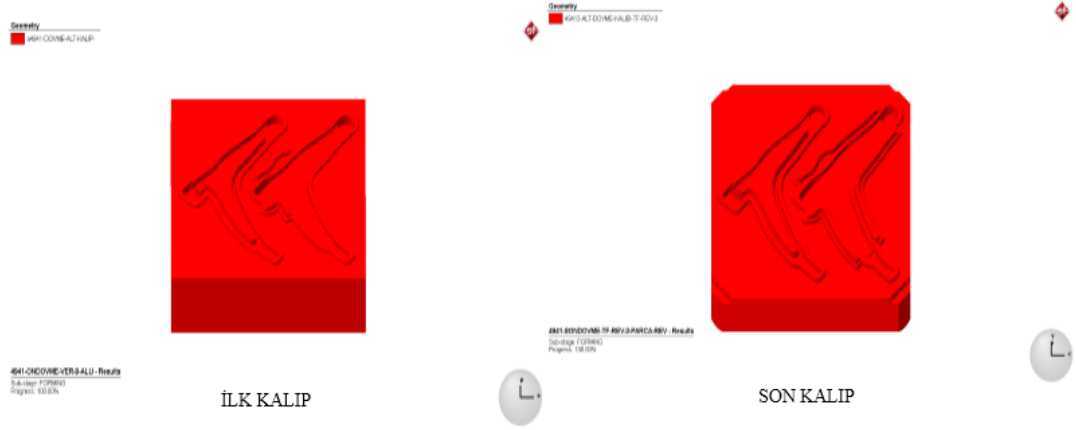


Şekil 4.4. Bükme operasyonu ve analizi [26]



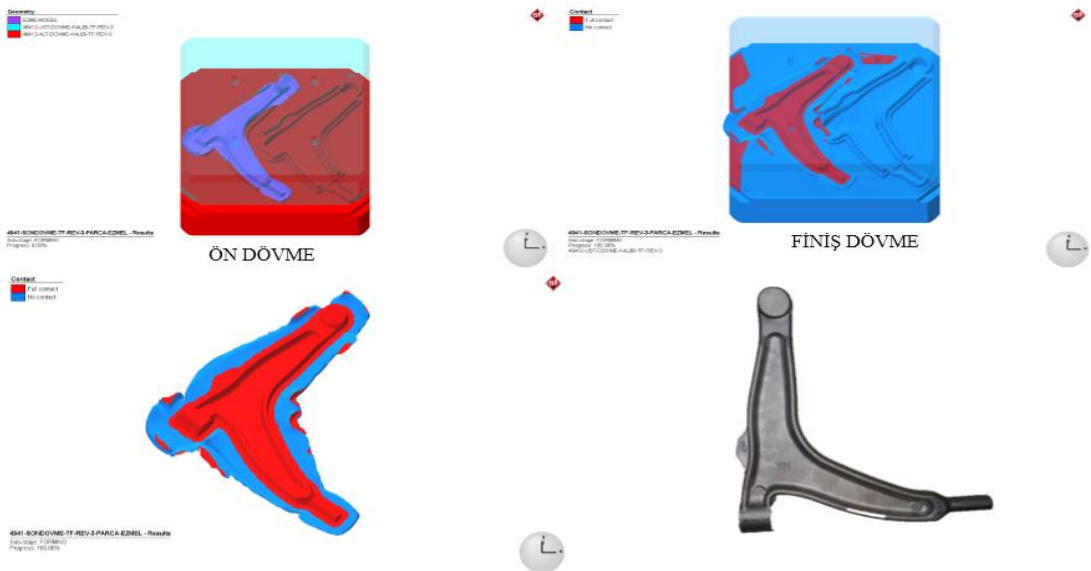
Şekil 4.5. Bükülmüş parça [26]

Ardından gelen dövme prosesine geçilmektedir. Dövme işlemi kapalı kalıplarda yapılmakta olup iki aşamada ve dolayısıyla iki ayrı kalıpta gerçekleşmektedir. Şekil 4.6.'da ön dövme ve finiş dövme işlemleri için tasarlanan kalıplar dövme analizi görsellerinde verilmiştir.



Şekil 4.6. Dövme işlemlerinde kullanılan kalıplar [26]

Şekil 4.7.'de dövme analizleri görselinde ön dövme ve finiş dövme kalıpları ve parçanın nihai hali gösterilmektedir.



Şekil 4.7. Dövme analizleri ve parçanın nihai şekli [26]

Üretim akışına göre şekillenen parça ısıtma işlemi için hazır hale gelmiştir. Buraya kadar akışı takip edip burdan sonrasında ısıtma işlemi prosesini optimize etmek için deneysel çalışmalar yapılmıştır. Deneysel çalışmalar için toplamda 26 tane salıncak prototipi bahsettiğim aşamalara göre imal edilmiştir.

#### 4.2. Salıncak Prototiplerinin Isıtma İşlem Çalışması

Alüminyum alaşımlarının mukavemetinin artırılması için dövme işleminden sonra ısıtma işlemi sürecine alınmaktadır. Söz konusu ısıtma işlemleri üç aşamadan oluşmaktadır:

- Çözeltiye alma (fazların çözülerek tek fazlı yapı oluşturması)
- Su verme ( hızlı soğutulularak aşırı doymuş yapının oluşturulması)
- Yaşlanma (çökeltme sertleşmesinin sağlanması)

Bu mekanizmalar literatür aşamasında detaylı olarak incelenmiştir. Isıtma işlemi sırasında çözeltiye alma, su verme ve yaşlandırma sıcaklık ve süreleri prosesi doğrudan etkileyen parametrelerdir. Literatürde 6082 Al alaşımlarının çözeltiye alınma sıcaklıklarının 510-540 °C aralığında; yaşlandırma sıcaklıklarının ise 150-200 °C aralığında olduğu görülmektedir[22]. Fabrika bünyesinde yapılmakta olan ısıtma işlemi proseslerinde çözeltiye alma 540 °C ve 2,5 saat süreyle; yaşlandırma işlemi ise 180° sıcaklıkta 8 saat süreyle uygulanmaktadır.

Braun' un (2006) çalışmasında, AA6082 alaşımının mekanik özellikleri ile korozyon ve termal özelliklerini araştırmak için (3-100 saat arasında, 191 ° C kadar) yaşlandırma işlemi uygulanmıştır. Yaşlandırma sonucunda alaşımın mekanik özelliklerinin arttığı rapor edilmiştir. Yapılan çalışmalarda, alüminyum alaşımlarının yaşlandırma işlemlerinde alaşımda bulunan Mg ve Si' nin etkisiyle mikro yapıda Mg<sub>2</sub>Si intermetalik fazların oluştuğu rapor edilmiştir. Bu fazların oluşması ile alaşımın korozyon direnci ve dayanımını artırdığı belirtilmiştir.

AKYÜZ Birol ve ŞENAYSOY Safa'nın Alüminyum alaşımlarında yaşlandırma işleminin mekanik özelliklere ve işlenebilirliğe etkisini araştırdıkları çalışmada ise

AA6082 ve AA6013 alüminyum alaşımı numuneler kullanılmıştır. Numuneler 530° C’de ısıtma işlemi fırınında (8 saat) çözeltiye (solüsyona) alma işleminden sonra sıcak suya atılmış (70° C’de) daha sonra ısıtma işlemi fırınında (180° C’de) farklı sürelerde (1, 3, 6, 9, 12 ve 24 saat) bekletilerek suni yaşlandırma işlemi yapılmıştır. Yaşlandırma işlemi sonunda her iki alaşımın mekanik özelliklerinde artış gözlenmiştir. Yaşlandırma süresinin artmasına bağlı olarak alaşımların işlenmesi sırasında oluşan kesme kuvvetlerinde artış görülmüştür. Alüminyum alaşımlarında 6 saat yaşlandırma işlemi sonunda yüksek mekanik özellikler elde edilmiştir. Ancak 6 saat yaşlandırma süresinden sonraki 9, 12 ve 24 saat süreli yaşlandırma işlemlerinde mekanik özellikler ve işlenebilirlik özelliklerinde kayda değer bir artış gözlemlenmemiştir.

Literatürdeki bu ve benzer çalışmalar Alüminyum alaşımlarının mekanik özelliklerini belirleyen ısıtma işlemi prosesleri içinde en etkili kademenin yaşlandırma prosesi olduğunu göstermektedir. Yaşlandırma prosesi içinde de sıcaklık dereceleri ve uygulama sürelerinin mekanik değerlerle doğrudan bağlantılı olduğu anlaşılmaktadır. Buradan yola çıkarak yaşlandırma prosesi için parametreler belirlenmiştir. Bu çalışmada bu sıcaklık ve süre olmak üzere iki parametre üzerinde farklı değerlerde çalışmalar yapılmıştır. Literatürde Al 6082 alaşımı için uygun görülen değerlere bağlı olarak ve ayrıca gerçek uygulamalardaki tecrübelerle dayanarak 4 farklı sıcaklık değeri (160°, 170°, 180° ve 190°) ve 3 farklı süre (4, 6 ve 8 saat) belirlenmiştir.

Ayrıca dövme prosesinin malzemenin mekanik ve mikroyapı özelliklerine katkısını görebilmek adına aynı çalışmalar parçanın yarı mamül hali üzerine yapılmıştır. Tablo 4.1.’de ısıtma işlemi prosesinin prototiplere nasıl uygulanacağı ve hangi testlerle inceleneceği özetlenmiştir.



Tablo 4.1. Isıl işlem prosesinin uygulama yöntemi

GELEN PROTOTİPLER	AA 6082 Dövülmüş Salıncaklar ve ham malzemeden kesilen prototipler			
T4 ÇÖZELTİYE ALMA	530°C / 2,5 Saat  13 ham malzeme  13 dövülmüş ürün			
ÖLÇÜMLER	Sertlik ölçümü, Çekme testi ve Mikroyapı Analizi			
T6 YAŞLANDIRMA SICAKLIĞI	160°  3 ham malzeme  3 dövülmüş ürün	170°  3 ham malzeme  3 dövülmüş ürün	180°  3 ham malzeme  3 dövülmüş ürün	190°  3 ham malzeme  3 dövülmüş ürün
T6 YAŞLANDIRMA SÜRESİ	4-6-8 Saat			
ÖLÇÜMLER	Sertlik ölçümü, Çekme testi ve Mikroyapı Analizi			
TOPLAM NUMUNE SAYISI	26			

#### 4.2.1. Prototiplere T4 ısıtım işlem çalışması

Proses için Teknorot dövmehanesindeki San-Yung Electric Heat markasının 6021B-T4 model ısıtım işlem makinası kullanılmıştır.

Dövülmüş salıncak prototipleri ve işlem görmemiş yarı mamul haldeki biyetlerden kesilen prototipler (kısaca ham malzeme olarak bahsettim); ilk olarak 530°C sıcaklıkta 2,5 Saat süreyle çözeltiye alınmaktadır. Çözeltiye alma prosesi 26 numunenin tamamına uygulanacağı için hep birlikte sepete yerleştirilerek tek seferde işleme alınmıştır. İşlem sonrasında prototiplere su verilerek soğutulmuştur. Dövülmüş salıncak prototiplerinden ve dövme işlemi uygulanmamış prototiplerinden 1'er adet alınarak T4 ısıtım işleminin etkilerini görmek adına uygulanacak testler için ayrılmıştır. Geriye kalan 24 prototibe T6 ısıtım işlem prosesiyle çalışmaya devam edilmiştir.

#### 4.2.2. Prototiplere T6 ısıtım işlem çalışması

Proses için Teknorot dövmehanesindeki San-Yung Electric Heat markasının 6021B-T6 model ısıtım işlem makinası kullanılmıştır.

Su verme işleminden sonra yaşlandırma prosesine geçilmektedir. Yaşlandırma prosesinde sıcaklık ve süre olmak üzere iki parametre ele alınmıştır. Prototipler belirlenen 4 farklı sıcaklıkta (160°, 170°, 180° ve 190°) ve üç farklı süreyle (4, 6 ve 8 saat) ısıtım işlem fırınına alınmıştır.

Farklı parametrelerle uygulanan bu yaşlandırma işlemi için 12 adet dövülmüş salıncak prototipi ve dövme işlemi uygulanmamış 12 adet prototip kendi içinde 4'e ayrılmıştır. Bu durumda her bir yaşlandırma sıcaklık değeri için 3 adet dövülmüş prototip, 3 adet yarı mamül prototipi olmak üzere 6 prototip yaşlandırılmıştır. Bu aynı sıcaklık değerinde yaşlandırılan 6 prototipinde 3 farklı süre uygulamaları vardır. Örneğin 160° sıcaklık değerinde 3 dövülmüş salıncak prototipinden biri 4 saat, biri 6 saat ve bir diğeri 8 saat süreyle yaşlandırılmıştır. Aynı şekilde 3 yarı mamül prototipi

de bu şekilde farklı sürelerde yaşlandırılmıştır. Bu sistemle 4 farklı sıcaklık derecesinde 3 farklı ısıtma işlemi süresiyle uygulama tamamlanmıştır. Tablo 4.2.'de her bir numunenin ısıtma işlemi uygulaması ayrı ayrı gösterilmiştir.

Tablo 4.2. Prototiplere uygulanan ısıtma işlemleri

Numune no	Malzeme	Gördüğü işlem	Isıtma İşlem 1 (T4 )	Isıtma İşlem 2 (T6)
1	Al 6082	Kesilmiş Kütük	530°C'de 2,5 sa	yok
2	Al 6082	Kesilmiş Kütük	530°C'de 2,5 sa	160°C'de 4sa
3	Al 6082	Kesilmiş Kütük	530°C'de 2,5 sa	160°C'de 6sa
4	Al 6082	Kesilmiş Kütük	530°C'de 2,5 sa	160°C'de 8sa
5	Al 6082	Kesilmiş Kütük	530°C'de 2,5 sa	170°C'de 4sa
6	Al 6082	Kesilmiş Kütük	530°C'de 2,5 sa	170°C'de 6sa
7	Al 6082	Kesilmiş Kütük	530°C'de 2,5 sa	170°C'de 8sa
8	Al 6082	Kesilmiş Kütük	530°C'de 2,5 sa	180°C'de 4sa
9	Al 6082	Kesilmiş Kütük	530°C'de 2,5 sa	180°C'de 6sa
10	Al 6082	Kesilmiş Kütük	530°C'de 2,5 sa	180°C'de 8sa
11	Al 6082	Kesilmiş Kütük	530°C'de 2,5 sa	190°C'de 4sa
12	Al 6082	Kesilmiş Kütük	530°C'de 2,5 sa	190°C'de 6sa
13	Al 6082	Kesilmiş Kütük	530°C'de 2,5 sa	190°C'de 8sa
14	Al 6082	Dövülmüş Ürün	530°C'de 2,5 sa	yok
15	Al 6082	Dövülmüş Ürün	530°C'de 2,5 sa	160°C'de 4sa
16	Al 6082	Dövülmüş Ürün	530°C'de 2,5 sa	160°C'de 6sa
17	Al 6082	Dövülmüş Ürün	530°C'de 2,5 sa	160°C'de 8sa
18	Al 6082	Dövülmüş Ürün	530°C'de 2,5 sa	170°C'de 4sa
19	Al 6082	Dövülmüş Ürün	530°C'de 2,5 sa	170°C'de 6sa
20	Al 6082	Dövülmüş Ürün	530°C'de 2,5 sa	170°C'de 8sa
21	Al 6082	Dövülmüş Ürün	530°C'de 2,5 sa	180°C'de 4sa
22	Al 6082	Dövülmüş Ürün	530°C'de 2,5 sa	180°C'de 6sa
23	Al 6082	Dövülmüş Ürün	530°C'de 2,5 sa	180°C'de 8sa
24	Al 6082	Dövülmüş Ürün	530°C'de 2,5 sa	190°C'de 4sa
25	Al 6082	Dövülmüş Ürün	530°C'de 2,5 sa	190°C'de 6sa
26	Al 6082	Dövülmüş Ürün	530°C'de 2,5 sa	190°C'de 8sa

### 4.2.3. Deneysel çalışmada uygulanan testler ve analizler

Prototiplere Spektral Analiz, Çekme Testi, Sertlik ölçümü ve Mikroyapı incelemeleri yapılmıştır.

#### 4.2.3.1. Spektral analiz

Prototip üretiminde kullanılacak olan alüminyum 6082 alaşımı biyetlerden kesilen profiller deneysel çalışmada kullanılmadan önce Teknorot Ar-ge laboratuvarında bulunan Spectromaxx marka Spektrometre ile incelenmiştir. Analizde numune Argon gazıyla yakılarak içerisinde bulunan element kompozisyonları yüzde olarak ölçülmektedir. Sonuçlar Tablo 4.3.'de belirtilmiştir.

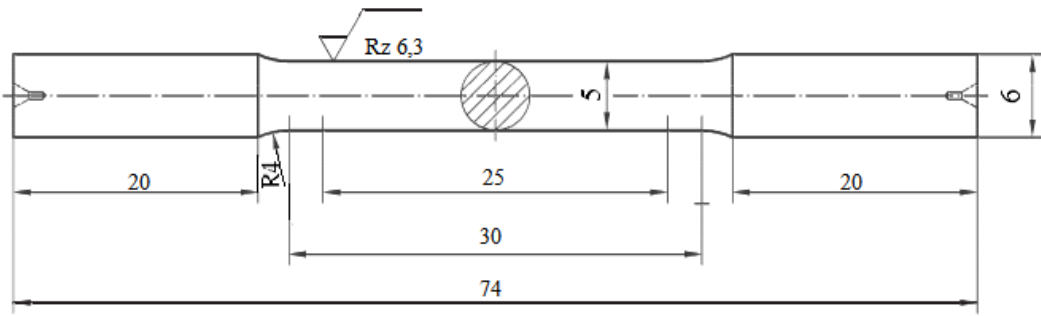
		TEKNOROT:							
Product Code:		Quality: 6082							
Product Name:		Producer:							
Operator: feyza emanetci		Elements: Concentration							
No	Si %	Fe %	Cu %	Mn %	Mg %	Cr %	Ni %	Zn %	
1	1.10	0.222	0.038	0.60	1.06	0.232	<0.0010	0.056	
No	Ti %	Ag %	B %	Be %	Bi %	Ca %	Cd %	Co %	
1	0.017	<0.0001	0.0038	<0.0001	0.012	0.0025	<0.0001	<0.0010	
No	Li %	Na %	P %	Pb %	Sn %	Sr %	V %	Zr %	
1	<0.0002	0.0006	<0.0010	0.017	0.032	0.0011	0.013	<0.0003	
No	Al %	Bg %							
1	<96.6	<96.6							

Şekil 4.8. Teknorot Al 6082 alaşımının kimyasal kompozisyonu

#### 4.2.3.2. Çekme testi

Çekme testi, malzemelerin mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla bir deney parçasının, genellikle kopuncaya kadar gerilmesini kapsar. Aksi belirtilmedikçe deney 10° C ile 35° C arasında bir sıcaklıkta yapılır. Deney parçalarının şekil ve boyutları, bu parçaların alındığı metalik mamulün şekil ve boyutlarına bağlıdır. Deney parçaları genellikle mamulden alınmış bir numuneden tezgahta işlenerek elde edilir. Deney parçalarının kesitleri daire, kare, dikdörtgen, halka veya özel durumlarda başka şekillerde olabilir.

Her bir örnekten 3' er adet çıkarılan çekme çubukları ile yapılan çekme testinin ortalama değerleri kaydedilmiştir. Çekme testi uygulamaları için 26 prototipten çekme testi numuneleri hazırlanmıştır. Çekme testi numuneleri DIN 50125:2009-07 standardında Şekil de gösterilen teknik resime uygun olarak belirtilen boyutlarda hazırlanmıştır. İlk olarak prototiplerden kesilen parça, tornada gereken çap ölçüsünden bir miktar büyük çap ölçüsüne (8 mm çapa kadar işlenmiştir) gelene kadar işlenmiş ve CNC makinesine bağlanabilmesi için puntlama yapılmıştır. CNC makinesinde teknik resim ölçülerine göre program yazılmış ve 2 pasoda nihai şekle numune işlenmiştir.



Şekil 4.9. DIN 50125:2009-07 standardına uygun A tipi test numunesi teknik resmi

26 numune de bu şekilde işlendikten sonra Teknorot AR-GE Laboratuvarında bulunan Instron 3382 Çekme ve Basma Test cihazında deneyler yapılmıştır (Şekil 4.10.).



Şekil 4.10. Instron 3382 Çekme Basma Test Cihazı

Şekil 4.11.'de hazırlanan numunlerden birinin görseli ve test sonrası kopması mevcuttur.



Şekil 4.11. Hazırlanan bir çekme numunesi ve test sonrasında kopmuş hali

#### 4.2.3.3. Sertlik ölçümü

Teknorot bünyesinde Giriş kalite bölümünde bulunan Şekil 4.12.'de fotoğrafı verilen BMS marka DIGIROCK-RB Dijital Rockwell & Brinell Sertlik Ölçme Cihazında sertlik ölçümleri yapılmıştır.



Şekil 4.12. DIGIROCK-RB Dijital Rockwell & Brinell Sertlik Ölçme Cihazı

Brinell Sertlik Ölçme metodu EN 6506-1, ASTM E10 standardında yapılmaktadır. Brinell ölçüm metodu, malzeme kalınlığına, cinsine ve uygulanan yükü bağlantılı olarak seçilen çeşitli çaplardaki bilya izlerinin, cihaz üzerindeki optik sistemle ölçülmesine esasına dayanmaktadır.

Testlere başlamadan önce master yardımıyla önce cihazın kalibrasyonu yapılmıştır. Ölçüm sonucu sertliği bilinen masterla kıyaslanarak sapma miktarı ölçüm sonuçlarına yansıtılarak kayda alınmıştır. Ölçüm için numune malzemesine uygun olan program seçilerek o programa uygun uç takılıp, uygun yük ayarlanıp cihaz ölçümler gerçekleştirilmiştir. Al malzemesi ve numunelerin kalınlığına göre belirlenen yük ve uygun olan bilya ucu Tablo 1 de gösterilmektedir.

Tablo 4.3.Brinell Sertlik ölçüm yöntemi

ALÜMİNYUM	PROGRAM	HB1
	YÜK	62,5 kg
	BİLYA UÇ ÇAPI	2,5 mm
	SERTLİK (BRİNELL)	90-110 HB

Her numuneye 5 farklı noktada ölçüm yapıp bu 5 ölçümün ortalaması alınarak sertlik değeri kaydedilmiştir.

#### 4.2.3.4. Mikroyapı analizleri

Malzemelerin mekanik, kimyasal, fiziksel tüm özellikleri iç yapılarıyla doğrudan ilişkilidir. Bu yüzden mikroyapı ve fazları değiştirilerek malzemeye istenen özellikler kazandırılabilir. Isıl işlem prosesinde farklı parametrelerle yaşlandırma işlemi uygulanarak malzemenin mikroyapı ve fazları değiştirilmiştir. Bu değişimi görmek, mevcut fazları incelemek, miktar ve dağılımlarını belirleyebilmek tane şekil ve boyutlarını saptayabilmek için iki çeşit cihaz kullanılmıştır.

Bunlar;

- Optik mikroskop
- Elektron mikroskobu

Genel olarak, küçük ölçekli malzeme karakterizasyonu için kullanılan cihaz optik mikroskoptur ancak inceleme derinliği arttıkça, optik mikroskobun yerine ayırma gücü ve odak derinliği çok daha yüksek olan elektron mikroskopları kullanılmalıdır.

Mikroyapı analizleri için öncelikle prototiplerden numune alınması gerekmektedir. Metalografik incelemeler için numune çıkarma işleminde genellikle su sirkülasyonlu abrasiv diskli kesme makineleri kullanılmaktadır.

Teknorot Ar-ge laboratuvarında bulunan Buehler marka Abrasimet 250 model Abrasive Cutter cihazı kesme için kullanılmıştır (Şekil 4.13.). Bu makinelerde çeşitli boyutta kesilecek malzemeye göre kesme diski seçilmektedir. Kesme diskleri çeşitli aşındırıcıların uygun bir bağlayıcı ile preslenmesi sonucu elde edilmektedir; eldeki numunelere uygun olarak SiC elmas aşındırıcılı kesme diski kullanılarak numunelere alınmıştır.



Şekil 4.13. Kesme cihazı ve abrasiv aşındırıcılı kesme disk çeşitleri



Numunelerin mikrograf görüntüsü alınabilmesi için öncelikle yüzeylerinin hazırlanması gerekmektedir. Teknorot Ar-ge laboratuvarında bulunan Buehler MetaServ 250 Grinder-Polisher taşlama ve parlatma makinesi yüzey hazırlanması için kullanılmıştır (Şekil 4.13.).



Şekil 4.14. Taşlama ve parlatma makinesi

Yüzey taşlama işlemi için sırasıyla P600, P1200 ve P2500' lük Metkon marka SiC taşlama diskleri kullanılmıştır. Parlatma işlemi için ise önce Metkon Diapat-M 3 $\mu$  ve son olarak Metkon Col-K (NC) parlatma diskleri kullanılmıştır. Ayrıca taşlama işlemi su ile yapılırken parlatma işleminde yağlayıcı olarak özel sıvılar kullanılmaktadır. Şekil 4.14.'te yağlayıcılar ve parlatma işlemi gösterilmektedir.



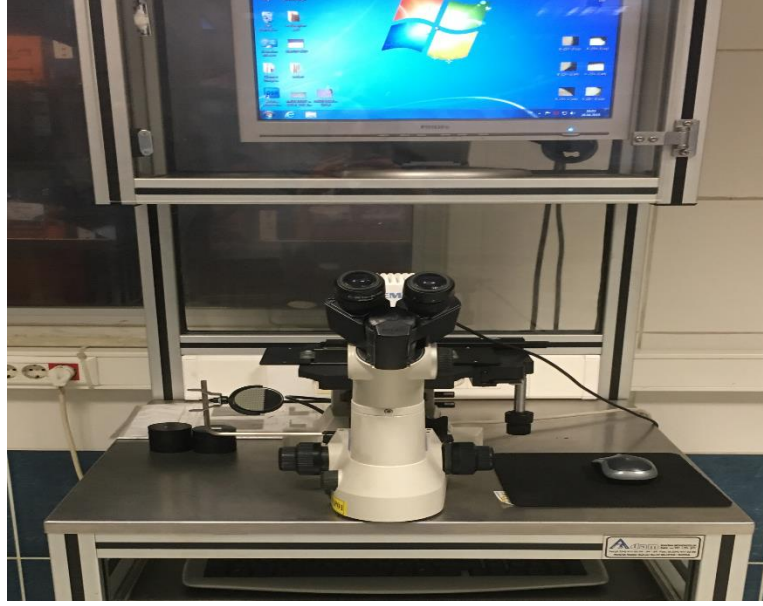
Şekil 4.15. Parlatmada kullanılan yağlayıcılar ve parlatma işlemi

Aşağıdaki Tablo da yüzey hazırlama işlemi sırasıyla aşama aşama verilmiştir.

Tablo 4.4. Yüzey hazırlamada kullanılan malzeme ve yöntemler

Yüzey Hazırlama Aşamaları	Kullanılan Disk	Aşındırıcı	Yağlayıcı	Uygulama Baskıları(N)	Uygulama Süreleri(dk)	Disk Hızı (rpm) Ve Yönü
Taşlama Kademe 1	Metkon P600	600 grit SiC	Su	20 N	1 dk	150 Saat yönü tersi
Taşlama Kademe 2	Metkon P1200	1200 grit SiC	Su	25 N	2 dk	200 Saat yönü Tersisi
Taşlama Final	Metkon P2500	2500 grit SiC	Su	25 N	2 dk	200 Saat yönü Tersisi
Parlatma Kademe 1	Fedo-3	Diapat-M 3 $\mu$	Diapat Water-based lubricant	25 N	4 dk	150 Saat yönü Tersisi
Parlatma Final	Collo	Col-K(NC)	Colloidal Silica	15 N	2 dk	150 Saat yönü

Mikrograf görüntüleri için hazırlanan numuneler ilk olarak Teknorot Ar-ge laboratuvarında bulunan Nikon Eclipse Optik Mikroskopu ile incelenmiştir (Şekil 4.15.). Numunelerin hem parlatılmış haliyle hem de dağlanmış haliyle 4 farklı zoom oranında (2.5x, 10x, 50x ve 100x) görüntüleri alınmıştır. Dağlama işlemi numunenin 100g sıcak su içerisine (50-60°C), 2,5 gr NaOH katılarak elde edilen çözelti içerisinde 4-5 sn süreyle bekletilmesi ile gerçekleştirilmektedir.



4.16. Optik Mikroskop

SEM görüntüleri için Sakarya Üniversitesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Laboratuvarında bulunan Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM: Scanning Electron Microscopy) ile numuneler incelenmiştir (Şekil 4.17.).

Optik mikroskop görüntülerinde tane sınırları içerisindeki elementlerin kimyasal bileşiminin ne olduğunu bilinmiyordu. SEM ise sadece yüzeyin şekli hakkında fikir vermekle kalmaz; aynı zamanda, malzemenin yüzeye yakın bölgelerinin kimyasal içeriği hakkında da bilgi verir. SEM ile belirli analiz noktaları seçilerek bu noktalarda kimyasal içeriklerin verileri yüzde olarak alınmıştır. 26 numunenin tamamından SEM görüntüleri alınmamıştır. Belirlenen birkaç numune incelenmiştir.

## **BÖLÜM 5. ARAŞTIRMA BULGULARI**

### **5.1. Çekme Testi Verileri**

Her bir farklı ısıl işlem parametrelerindeki prototip için 3'er adet çekme testi numunesi hazırlanmıştır ve bu 3 numunenin ortalama değeri sonuç olarak kaydedilmiştir. Toplamda 26 tane prototipten 78 tane numune çıkartılıp test edilmiştir. Deney sonuçlarında bulunan Akma Dayanımı, Çekme Dayanımı, Kopma Uzaması değerleri ayrı ayrı tablolarda derlenmiştir.

Tablo 5.1. ve 5.2.'de numunelerin çekme testleri sonucunda elde edilen çekme dayanımı değerleri verilmiştir. Tablo değerlerine bakıldığında dövülmüş prototiplerden elde edilen numunelerin Çekme gerilme değerlerinin, dövülmemiş prototiplerden hazırlanan numunelere göre daha yüksek olduğu açıktır. Isıl işlem parametrelerine göre numuneler değerlendirildiğinde ise 170° sıcaklığa kadar kayda değer çekilde çekme dayanımı yükselişi gözükürken 180° ve 190°'lere çıkıldığında çekme dayanımında yukarı yönlü bir değişim gözlenmemiş aksine 180° sıcaklıktan sonra azalamaya başlamıştır. T6 parametrelerinden süreyi ele alırsak genel olarak prosesin uygulama süresi arttıkça çekme dayanım özelliği artmaktadır.

Tablo 5.1.Farklı sıcaklık ve sürelerde uygulanan T6 yaşlandırma numunelerinin Çekme gerilmesi değerleri

ÇEKME GERİLMESİ [MPa]								
T6	160°C Ham madde	160°C Dövülmüş ürün	170°C Ham madde	170°C Dövülmüş ürün	180°C Ham madde	180°C Dövülmüş ürün	190°C Ham madde	190°C Dövülmüş ürün
4 Saat	337,74	396,37	332,91	417,83	376,84	395,88	325,37	341,91
6 Saat	426,19	389,9	384,33	475,44	384,19	401,19	344,18	372,97
8 Saat	315,02	441,40	390,32	456,23	416,75	400,4	363,66	336,14

Tablo 5.2.'de yalnızca T4 ısıtma işlemi prosesine tabi tutulan prototip numuneleri görülmektedir. T4 numunelerinin verileri T6 işlemi görmüş prototip numunelerinden düşüktür Salıncak parçası gibi kritik bir konumda çalışan bir parça için yeterli mukavemet sağlamamaktadır. Ayrıca sonuçlar dayanımı etkileyen en önemli ısıtma işleminin yaşlandırma süreci olduğunu kanıtlamaktadır.

Tablo 5.2. Sadece T4 ısıtma işlemi uygulanan numunelerin Çekme gerilme değerleri

ÇEKME GERİLMESİ [MPa]		
	Ham madde	Dövülmüş ürün
T4 (530°C/2,5 Saat)	296,83	310,00

Tablo 5.3. ve 5.4.'de numunelerin çekme testleri sonucunda elde edilen akma gerilmesi değerleri Mpa biriminden verilmiştir. Değerler incelendiğinde sonuçların çekme dayanımı sonuçlarına paralel olduğu görülmektedir.

Tablo 5.3. Farklı sıcaklık ve sürelerde uygulanan T6 yaşlandırma numunelerinin Akma gerilmesi değerleri

AKMA GERİLMESİ [MPa]								
T6	160°C Ham madde	160°C Dövülmüş ürün	170°C Ham madde	170°C Dövülmüş ürün	180°C Ham madde	180°C Dövülmüş ürün	190°C Ham madde	190°C Dövülmüş ürün
4 Saat	201,40	208,52	215,68	236,67	230,37	233,38	231,92	234,05
6 Saat	208,15	235,42	222,95	249,63	233,23	246,32	230,04	233,62
8 Saat	229,67	225,10	235,88	250,56	206,85	247,44	230,60	250,01

Tablo 5.4. Sadece T4 ısıtma işlemi uygulanan numunelerin Akma gerilme değerleri

AKMA GERİLMESİ [MPa]		
T4 (530°C/2,5 Saat)	Ham madde	Dövülmüş ürün
	159,30	197,63

Tablo 5.5. ve 5.6.'da numunelerin çekme testleri sonucunda elde edilen kopma uzama değerleri verilmiştir. Verilerden malzemenin dövülme prosesinin kopma uzama değeriyle doğru orantılı olarak artarken ısıtma işlem sıcaklığının artırılmasının kopma uzama değeriyle ters orantılı olarak ilişkilendiği çıkartılmıştır.

Tablo 5.5. Farklı sıcaklık ve sürelerde uygulanan T6 yaşlandırma numunelerinin Kopma uzaması değerleri

KOPMA UZAMASI (A) [MPa]								
T6	160°C Ham madde	160°C Dövülmüş ürün	170°C Ham madde	170°C Dövülmüş ürün	180°C Ham madde	180°C Dövülmüş ürün	190°C Ham madde	190°C Dövülmüş ürün
4 Saat	19,54	21,33	19,99	17,41	18,65	18,43	18,22	17,61
6 Saat	22,59	24,52	19,87	18,98	20,97	19,03	17,09	17,50
8 Saat	21,33	20,01	19,90	18,52	20,94	19,74	19,09	17,09

Tablo 5.6. Sadece T4 ısıt işlemleri uygulanan numunelerin Kopma uzaması değerleri

KOPMA UZAMASI (A) [MPa]		
	Ham madde	Dövülmüş ürün
T4 (530°C/2,5 Saat)	22,76	27,38

Çekme testi verileri genel olarak değerlendirildiğinde 170° 6 saat süreyle yapılan uygulamadan sonraki saat ve derecelerin kayda değer bir mukavemet sağlamadığına ve T4 ısıt işleminin gereken mukavemeti sağlamadığına karar verilmiştir.

## 5.2. Sertlik Ölçümü Verileri

Dövme alüminyum alaşımlarının T6 ısıt işlem sonucu kabul gören sertlik değeri 90-110 HB arasında değişmektedir. Yapılan Brinell sertlik ölçümü verileri bu değer skalasıyla karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Tablo 5.7.'de ölçüm çıktıları verilmiştir.

Veriler incelendiğinde T4 ve T6 ısıt işlemi için dövme prosesinin sertliği arttırdığı bellidir. T6 prosesinde sıcaklık faktörünün etkisi incelendiğinde ise 160°'den 170°'ye çıkılması sertliği artırırken 180°'de stabil kalmış 190°'ye çıkılması ise aksine sertliği olumsuz yönde etkilemiştir.

Tablo 5.7.Farklı sıcaklık ve sürelerde uygulanan T6 yaşlandırma numunelerinin Brinell sertlik değerleri

BRİNELL SERTLİĞİ (HB)								
T6	160°C Ham madde	160°C Dövülmüş ürün	170°C Ham madde	170°C Dövülmüş ürün	180°C Ham madde	180°C Dövülmüş ürün	190°C Ham madde	190°C Dövülmüş ürün
4 Saat	80	80	103	106	106	106	100	93
6 Saat	84	96	103	106	106	106	98	93
8 Saat	90	96	105	106	106	106	93	93

Tablo 5.8.Sadece T4 ısıt işlemleri uygulanan numunelerin Brinell sertlik değerleri

BRİNELL SERTLİĞİ (HB)		
	Ham madde	Dövülmüş ürün
T4 (530°C/2,5 Saat)	75	76

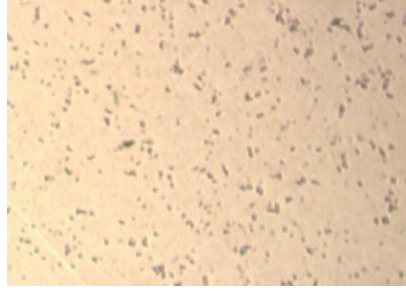
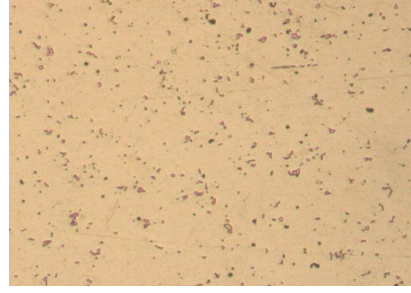
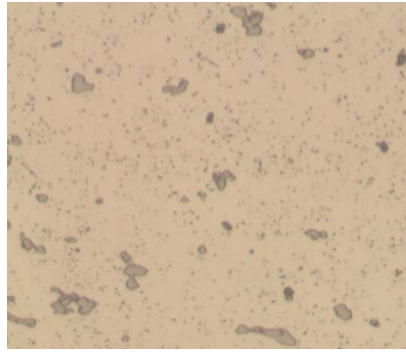
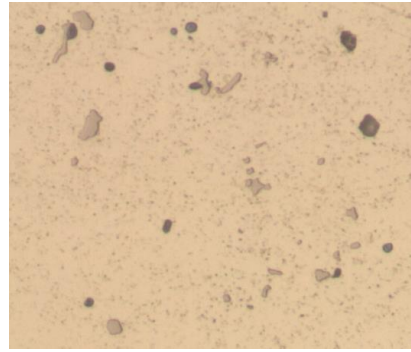
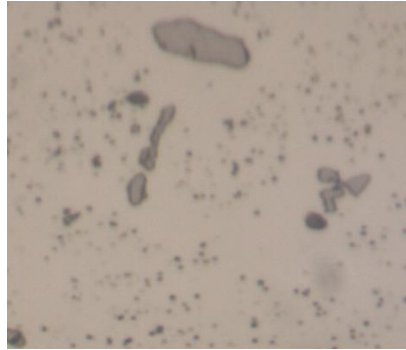
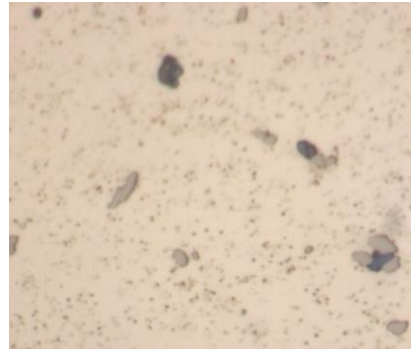
Sertlik verilerini bir bütün olarak değerlendirdiğimizde 170°, 180° ve 190°'lerdeki tüm sertlik değerlerinin uygun ve yeterli olduğu görülmektedir. Ancak gereksiz zaman ve ısı kaybı yaşamamak aksine ekonomik açıdan kazanç sağlamak için ve çekme testi sonuçlarıyla da örtüşmesi açısından 170° 6 saat'lik uygulama diğerlerinden öne çıkmıştır.

### 5.3. Optik Mikrograf Verileri

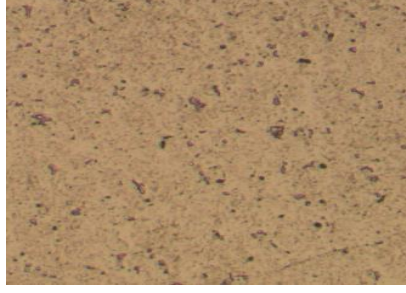
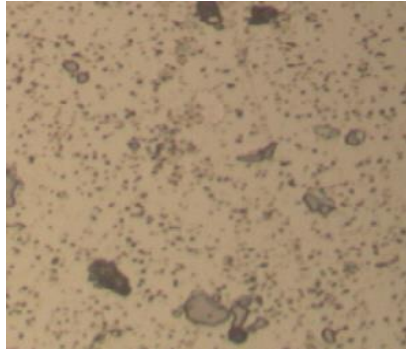
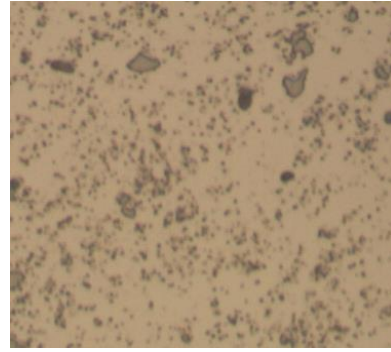
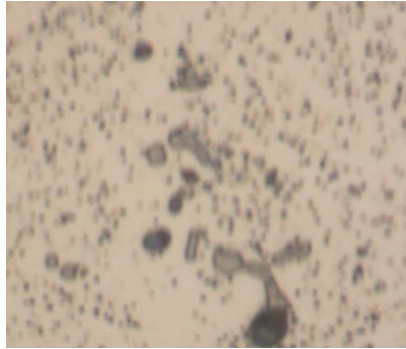
Dövülmüş salıncak prototiplerden alınan numunelerin ve işlenmeden yarı mamul halde ısıt işleme alınan prototiplerden alınan numunelerin optik mikrografi görüntüleri ısıt işlem uygulamalarına göre tablo haline getirilerek sunulmuştur (Tablo 5.9., 5.10., 5.11., 5.12., 5.13., 5.14., 5.15., 5.16., 5.17., 5.18., 5.19., 5.20., 5.21. ve 5.22.). Tablolarda dövülmüş prototiplerden alınan numuneler sol sütun boyunca, dövülmemiş yarı mamul halde ısıt işlem uygulanmış prototiplerden alınan numune ise sağ sütun boyunca verilmiştir. Satırlar ise sırasıyla 10x, 50x ve 100x zoom görüntülerini teşkil etmedir.



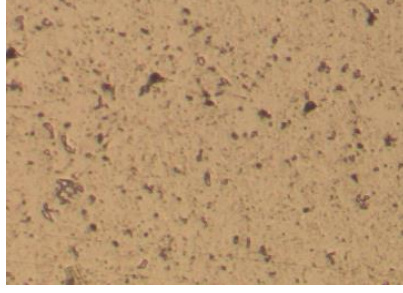
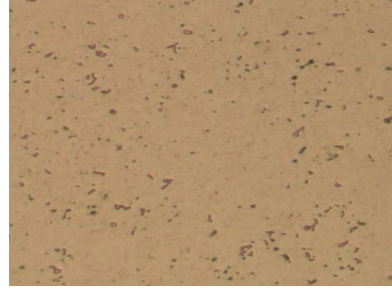
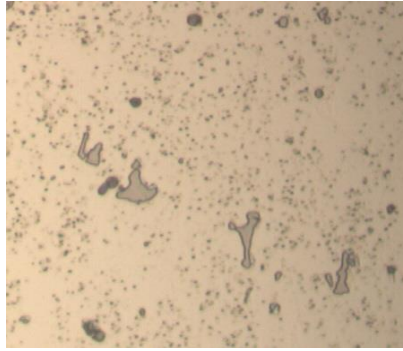
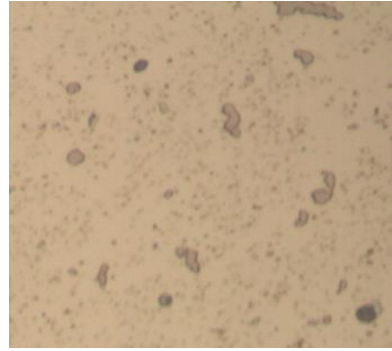
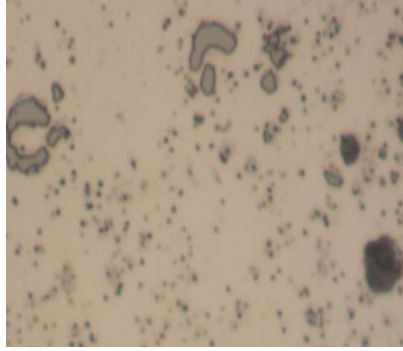
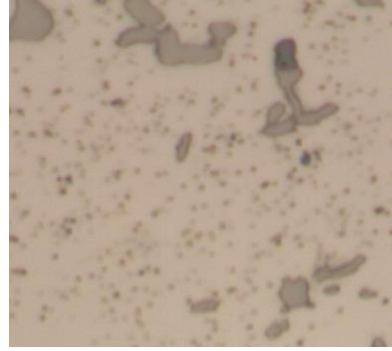
Tablo 5.10. T4 ısıtıl işleminin sonrası 10x, 50x ve 100x optik mikroskop görüntüleri

*10x mikroskop görüntüsü (dövülmüş numune)**10x mikroskop görüntüsü (işlenmemiş numune)**50x mikroskop görüntüsü (dövülmüş numune)**50x mikroskop görüntüsü (işlenmemiş numune)**100x mikroskop görüntüsü (dövülmüş numune)**100x mikroskop görüntüsü (işlenmemiş numune)*

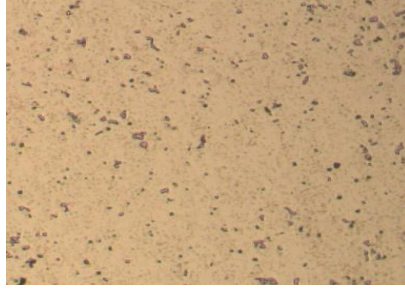
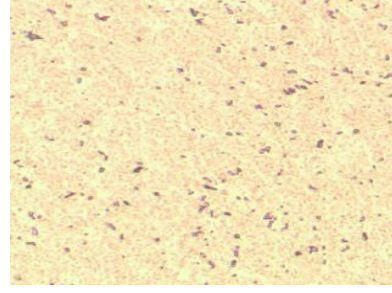
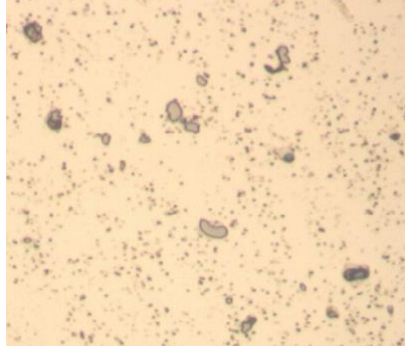
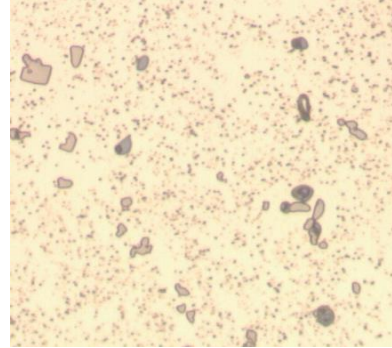
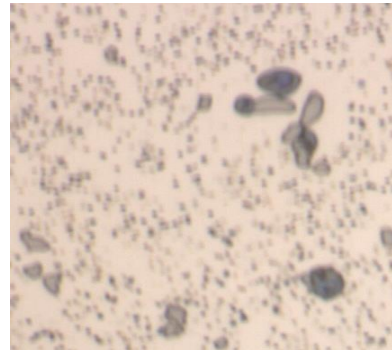
Tablo 5.11. 160° 4 saat T6 ısıt işlemleri sonrası 10x, 50x ve 100x optik mikroskopi görüntüleri

*10x mikroskopi (dövülmüş numune)**10x mikroskopi (işlenmemiş numune)**50x mikroskopi (dövülmüş numune)**50x mikroskopi (işlenmemiş numune)**100x mikroskopi (dövülmüş numune)**100x mikroskopi (işlenmemiş numune)*

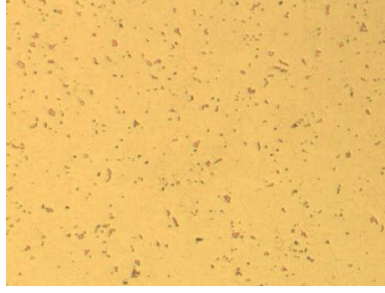
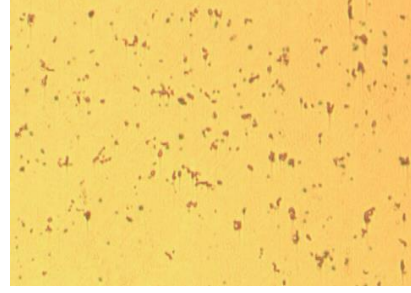
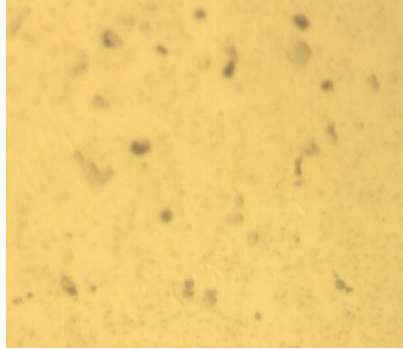
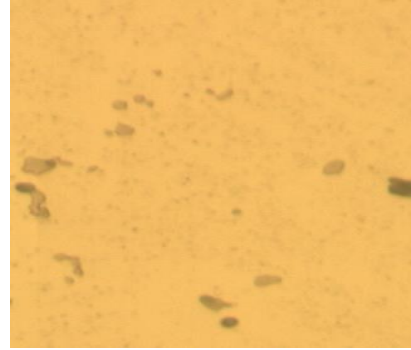
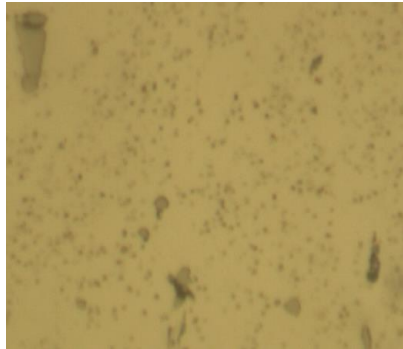
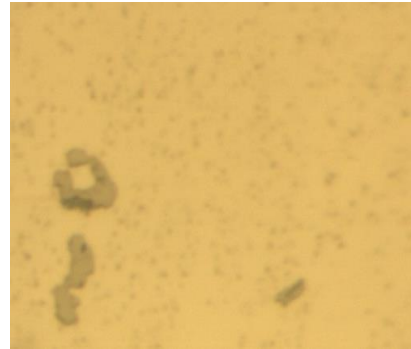
Tablo 5.12.170° 4 saat T6 ısıtım işlem sonrası 10x, 50x ve 100x optik mikroskopi görüntüleri

*10x mikroskopi (dövülmüş numune)**10x mikroskopi (işlenmemiş numune)**50x mikroskopi (dövülmüş numune)**50x mikroskopi (işlenmemiş numune)**100x mikroskopi (dövülmüş numune)**100x mikroskopi (işlenmemiş numune)*

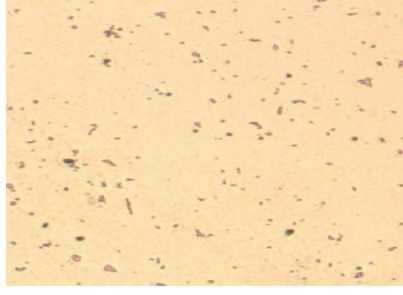
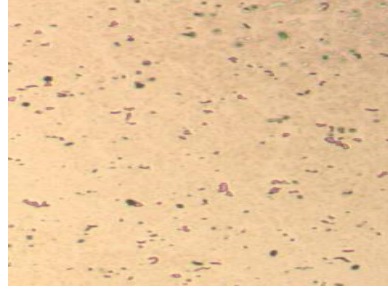
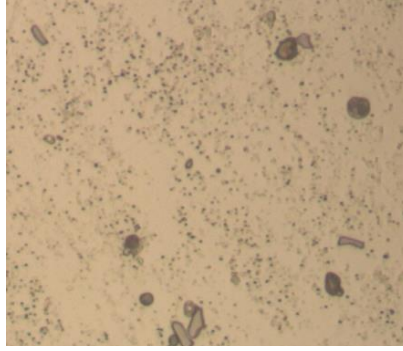
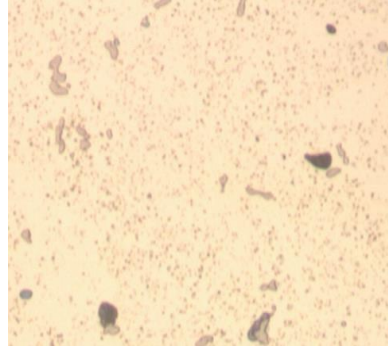
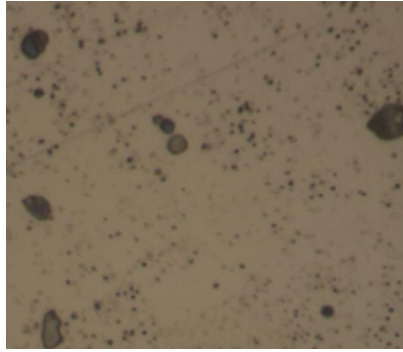
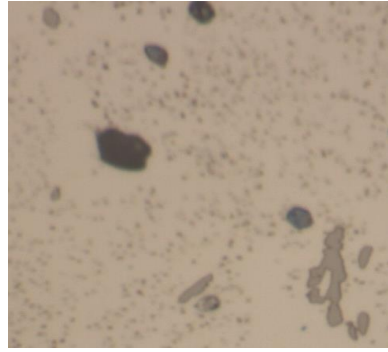
Tablo 5.13. 180° 4 saat T6 ısıl işlem sonrası 10x, 50x ve 100x optik mikrosafı görüntüleri

*10x mikrosafı(dövülmüş numune)**10x mikrosafı(işlenmemiş numune)**50x mikrosafı(dövülmüş numune)**50x mikrosafı(işlenmemiş numune)**100x mikrosafı(dövülmüş numune)**100x mikrosafı(işlenmemiş numune)*

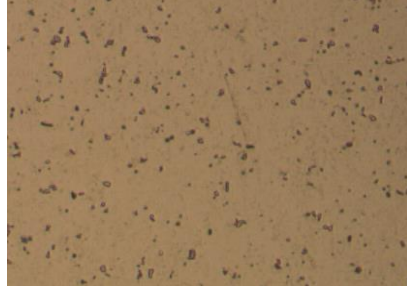
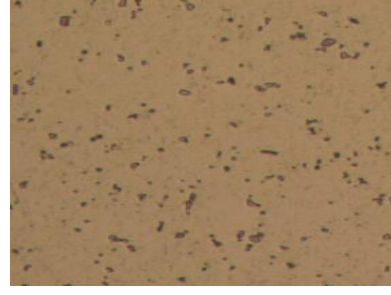
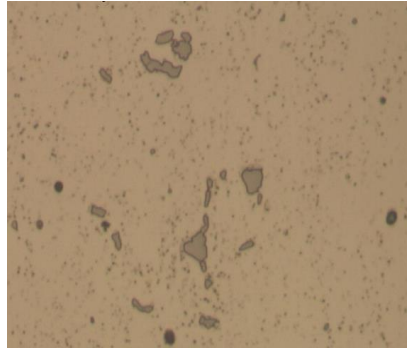
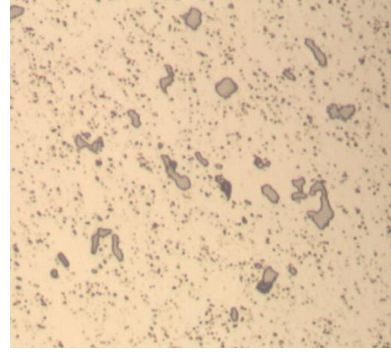
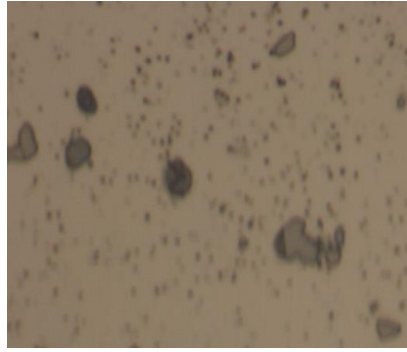
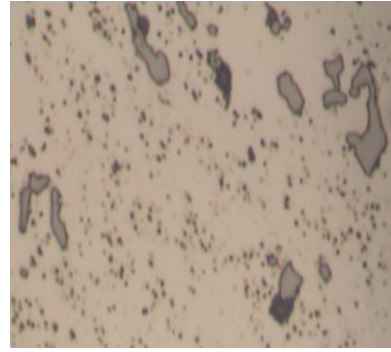
Tablo 5.14. 190° 4 saat T6 ısıl işlem sonrası 10x, 50x ve 100x optik mikrosafı görüntüleri

*10x mikrosafı (dövülmüş numune)**10x mikrosafı (işlenmemiş numune)**50x mikrosafı (dövülmüş numune)**50x mikrosafı (işlenmemiş numune)**100x mikrosafı (dövülmüş numune)**100x mikrosafı (işlenmemiş numune)*

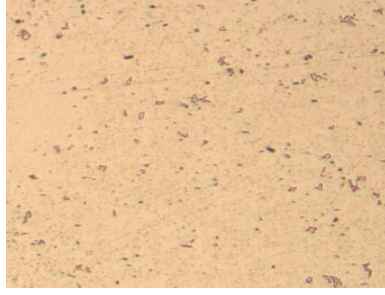
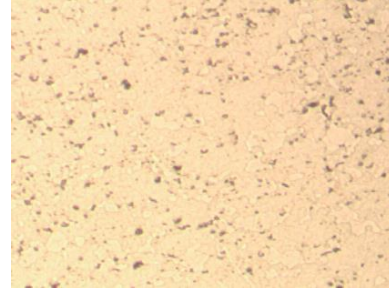
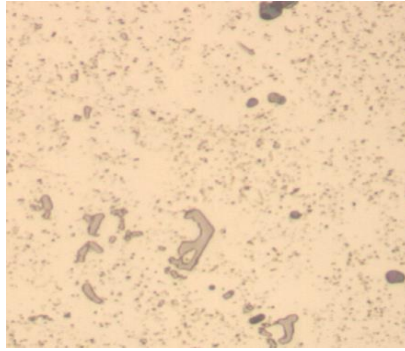
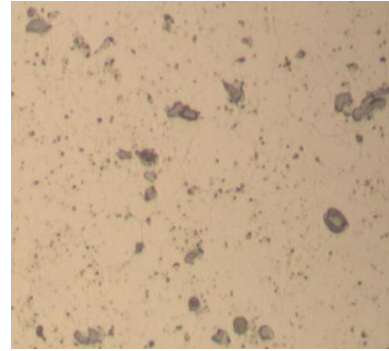
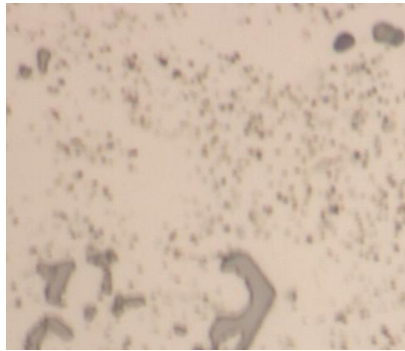
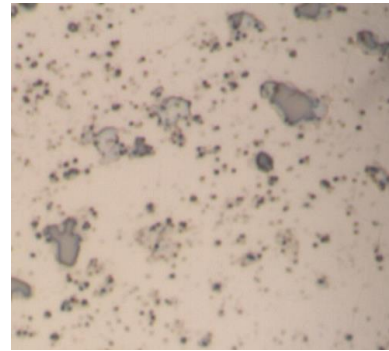
Tablo 5.15. 160° 6 saat T6 ısıl işlem sonrası 10x, 50x ve 100x optik mikrosafı görüntüleri

*10x mikrosafı(dövülmüş numune)**10x mikrosafı(işlenmemiş numune)**50x mikrosafı(dövülmüş numune)**50x mikrosafı(işlenmemiş numune)**100x mikrosafı(dövülmüş numune)**100x mikrosafı(işlenmemiş numune)*

Tablo 5.16. 170° 6 saat T6 ısıt işlem 10x, 50x ve 100x optik mikrosafı görüntüleri

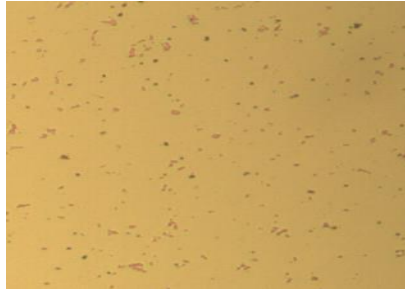
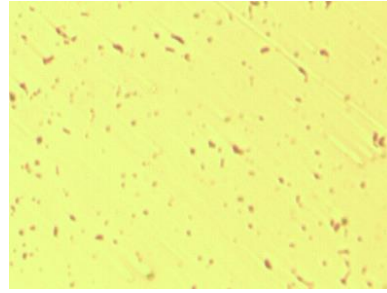
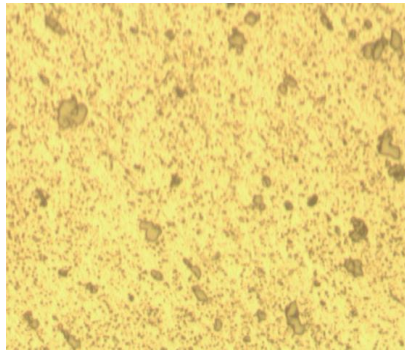
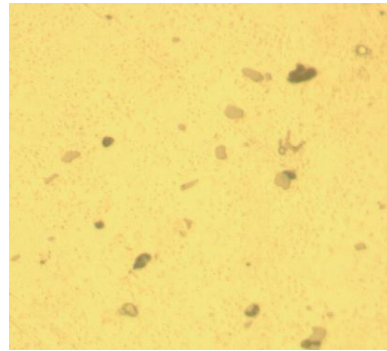
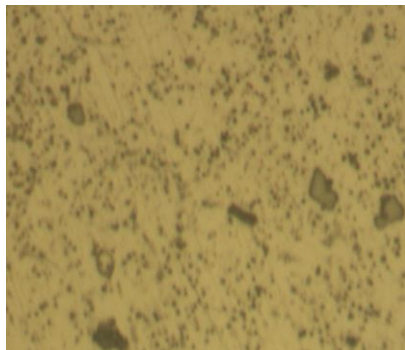
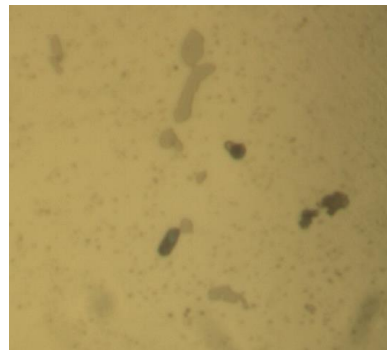
*10x mikrosaf(dövülmüş numune)**10x mikrosaf(işlenmemiş numune)**50x mikrosaf(dövülmüş numune)**50x mikrosaf(işlenmemiş numune)**100x mikrosaf(dövülmüş numune)**100x mikrosaf(işlenmemiş numune)*

Tablo 5.17.180° 6 saat T6 ısıtım işlem sonrası 10x, 50x ve 100x optik mikroskopi görüntüleri

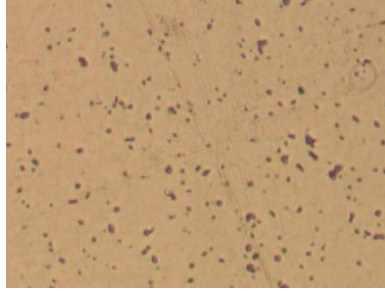
*10x mikroskop (dövülmüş numune)**10x mikroskop (işlenmemiş numune)**50x mikroskop (dövülmüş numune)**50x mikroskop (işlenmemiş numune)**100x mikroskop (dövülmüş numune)**100x mikroskop (işlenmemiş numune)*



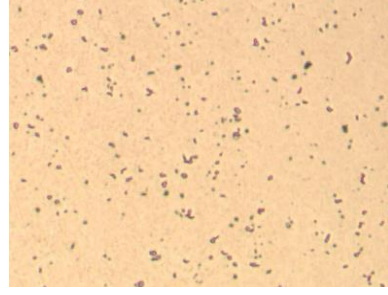
Tablo 5.18.190° 6 saat T6 ısıtım işlem sonrası 10x, 50x ve 100x optik mikroskopi görüntüleri

*10x mikroskop (dövülmüş numune)**10x mikroskop (işlenmemiş numune)**50x mikroskop (dövülmüş numune)**50x mikroskop (işlenmemiş numune)**100x mikroskop (dövülmüş numune)**100x mikroskop (işlenmemiş numune)*

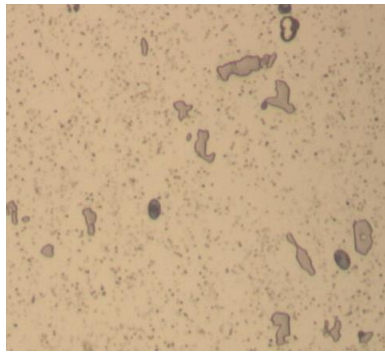
Tablo 5.19.160° 8 saat T6 ısıt işleminin sonrası 10x, 50x ve 100x optik mikroskop görüntüleri



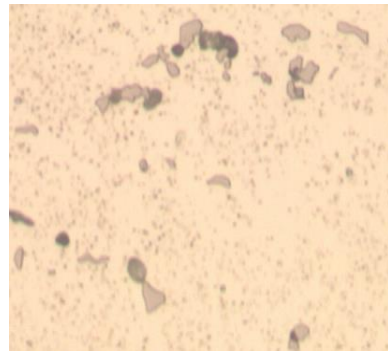
10x mikroskop (dövülmüş numune)



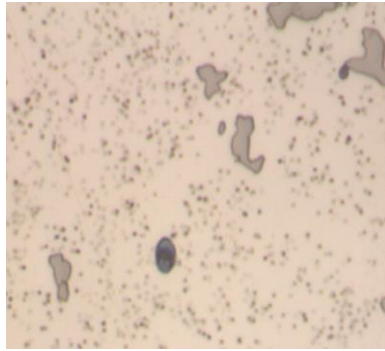
10x mikroskop (işlenmemiş numune)



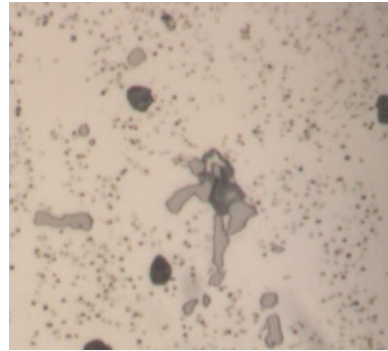
50x mikroskop (dövülmüş numune)



50x mikroskop (işlenmemiş numune)

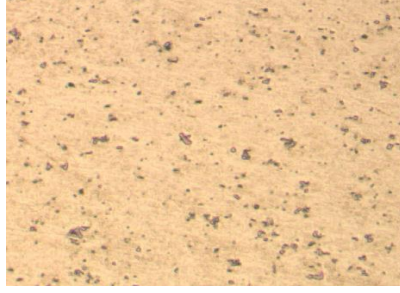


100x mikroskop (dövülmüş numune)

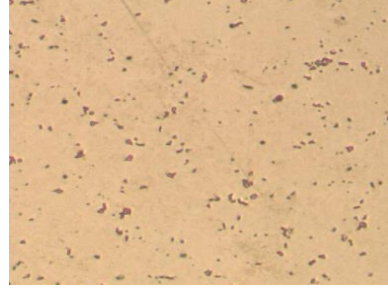


100x mikroskop (işlenmemiş numune)

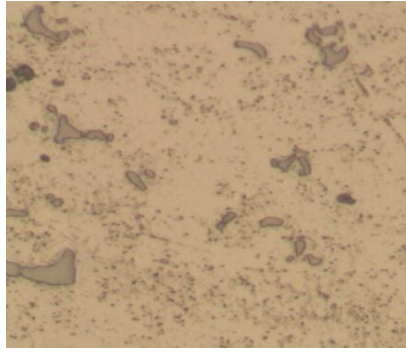
Tablo 5.20. 170° 8 saat T6 ısıt işlemleri sonrası 10x, 50x ve 100x optik mikroskopi görüntüleri



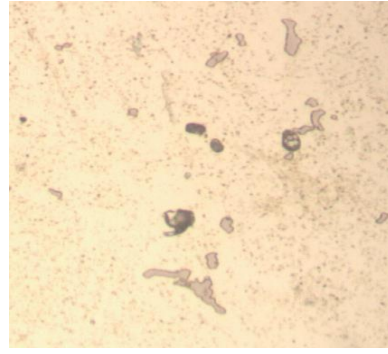
10x mikroskop (dövülmüş numune)



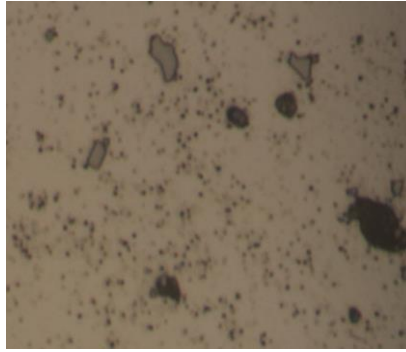
10x mikroskop (işlenmemiş numune)



50x mikroskop (dövülmüş numune)



50x mikroskop (işlenmemiş numune)

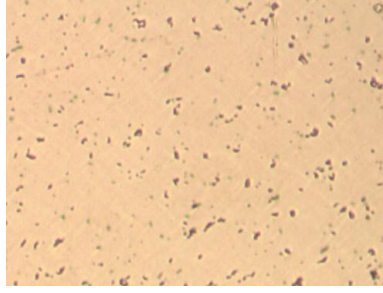
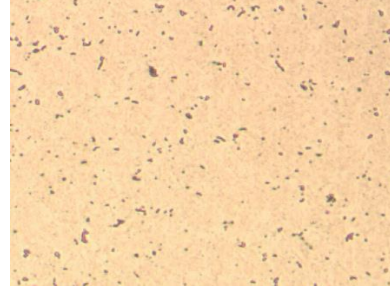
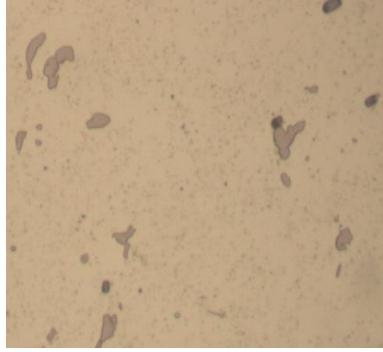
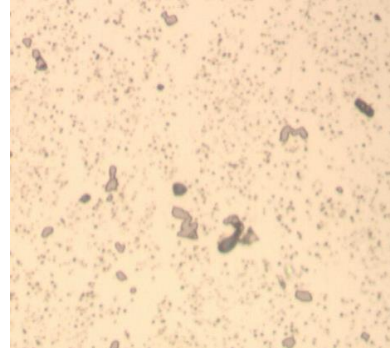
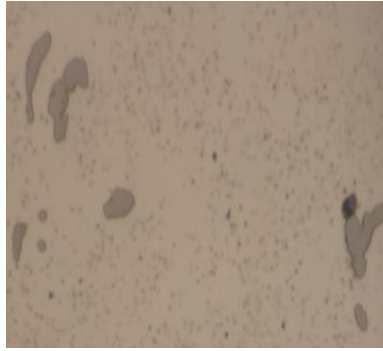
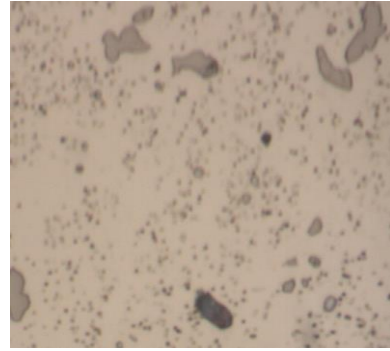


100x mikroskop (dövülmüş numune)

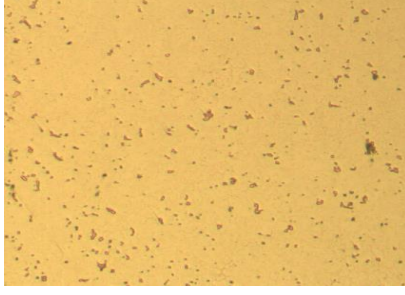
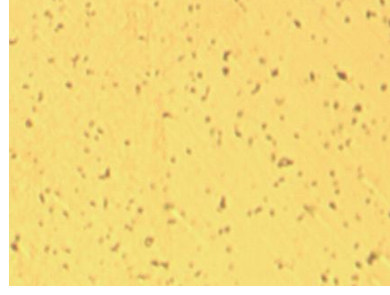
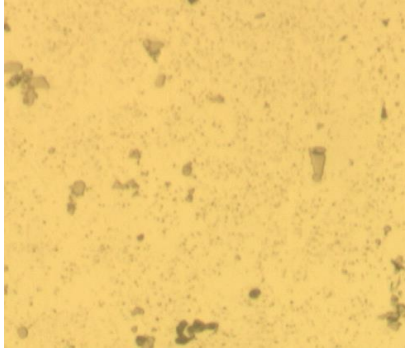
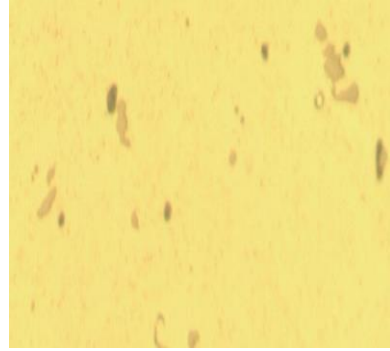
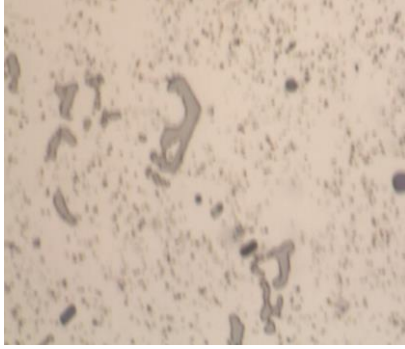


100x mikroskop (işlenmemiş numune)

Tablo 5.21. 180° 8 saat T6 ısıt işleminin sonrası 10x, 50x ve 100x optik mikroskop görüntüleri

*10x mikroskop (dövülmüş numune)**10x mikroskop (işlenmemiş numune)**50x mikroskop (dövülmüş numune)**50x mikroskop (işlenmemiş numune)**100x mikroskop (dövülmüş numune)**100x mikroskop (işlenmemiş numune)*

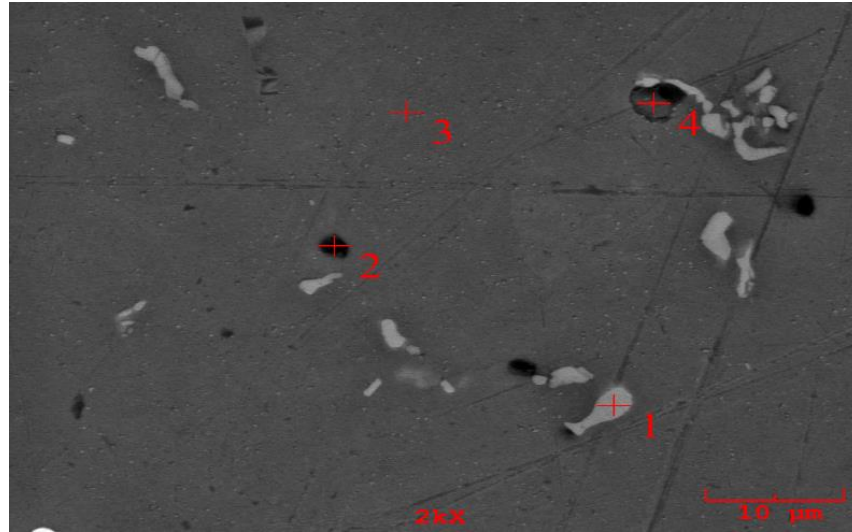
Tablo 5.22. 190° 8 saat T6 ısıl işleminin sonrası 10x, 50x ve 100x optik mikroskop görüntüleri

*10x mikroskop (dövülmüş numune)**10x mikroskop (işlenmemiş numune)**50x mikroskop (dövülmüş numune)**50x mikroskop (işlenmemiş numune)**100x mikroskop (dövülmüş numune)**100x mikroskop (işlenmemiş numune)*

Numuneler aynı firmadan alınan aynı alaşım serisi malzemeden olduğu için optik mikroskop görüntüleri benzerlik göstermektedir. Numuneler tane sınırları görülebilmesi için sulu NaOH çözeltisiyle dağlanarak görüntü alınmıştır. Tane sınırlarını böylelikle görebildik ancak bu sınırların içerisindeki fazlar, kimyasal olarak içerdiği element veya bileşiklerin ne olduğu optik mikroskop görüntüleriyle belirlenmemektedir. Bunun için bir sonraki başlıkta SEM verileri verilmiştir.

#### 5.4. SEM Verileri

SEM verileri için 26 numune incelemesi imkanının mevcut olmaması ve içeriklerin benzer olması sebebiyle belirli numuneler SEM ile incelenmiştir. 160°'de 4 saat süreyle yaşlandırılmış numunedan 2 görüntü alınmış bu görüntüler üzerinde farklı fazların olduğu gözükken farklı renk ve sınırlarda analiz noktaları belirlenmiştir. Bu analiz noktaları Şekil 5.1. ve 5.2.'de görüntü üzerinde kırmızı rankle numaralandırılmış halde görülmektedir.



Şekil 5.1. 160° de 4 saat süreyle ısıtılmış dövülmüş numunenin SEM görüntüsü(1)



Şekil 5.2. 160° de 4 saat süreyle ısıtılmış dövülmüş numunenin SEM görüntüsü(2)

Tablo 5.22.'de ise iki görüntüdeki analiz noktalarının kimyasal içerikleri yüzde olarak sırayla verilmiştir. Örneğin, tabloda 1.1 diye belirtilen analiz noktası 1. Görüntüdeki 1 numaralı analiz noktasını göstermektedir.

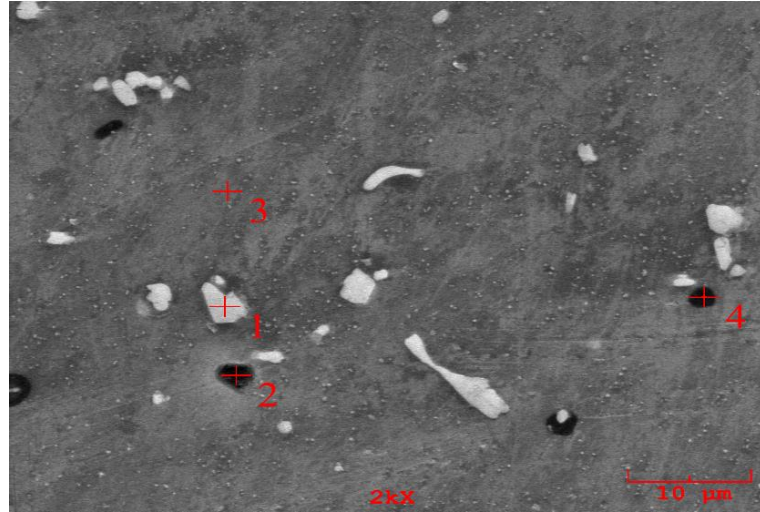
6082 Al alaşımı malzemesinde temel element olan Al dışındaki diğer elementlerin kayda değer miktarları o noktadaki fazları belirleyici unsurdur. Örneğin; 1.1 ve 2.1 numaralı analiz noktasında kimyasal içerik Al dışında bariz miktarlarda Si, Mn ve Fe içeriğidir ayrıca Cr miktarı da alaşım geneline göre yüksek orandadır.

Görüntüde çık gri olarak görünen bu faz Si, Mn, Fe ve Cr bileşiğidir. Görüntülerde siyah olarak gözüken yerler boşluk içeren noktalardır çünkü 1.2 veya 2.3 analiz noktalarının Tablo 5.22.'deki kimyasal içeriğine bakıldığında ciddi oranlarda O elementi görülmektedir. Bu faz dağılama işleminden kaynaklanan partikül düşmesi olabilir.

Tablo 5.23. 160°de 4 saat ısıtılmış numunenin SEM görüntülerindeki analiz noktalarının kimyasal içeriği

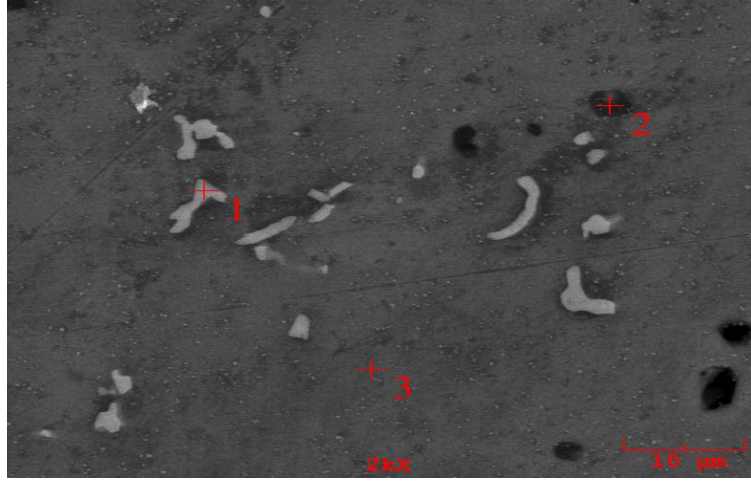
Analiz noktaları	Element Yüzdeleri (%)						
	Al	Mg	Si	Cr	Mn	Fe	O
1.1	67.87	0.20	10.41	2.95	9.19	9.37	-
1.2	52.68	14.80	19.53	0.02	0.16	0.12	12.70
1.3	97.42	1.00	0.73	0.40	0.45	0	-
1.4	96.30	0.83	1.66	0.19	0.88	0.16	-
2.1	71.13	0.63	9.10	2.12	10.07	6.95	-
2.2	97.67	0.95	0.80	0.20	0.29	0.09	-
2.3	86.90	2.61	3.35	0.14	0.43	1.07	5.50

180°de 6 saat süreyle yaşlandırılmış numuneden alınmış 2 görüntü ve analiz noktaları Şekil 5.3 ve 5.4.'de verilmiştir.



Şekil 5.3. 180° de 6 saat süreyle ısıtılmış dövülmüş numunenin SEM görüntüsü(1)





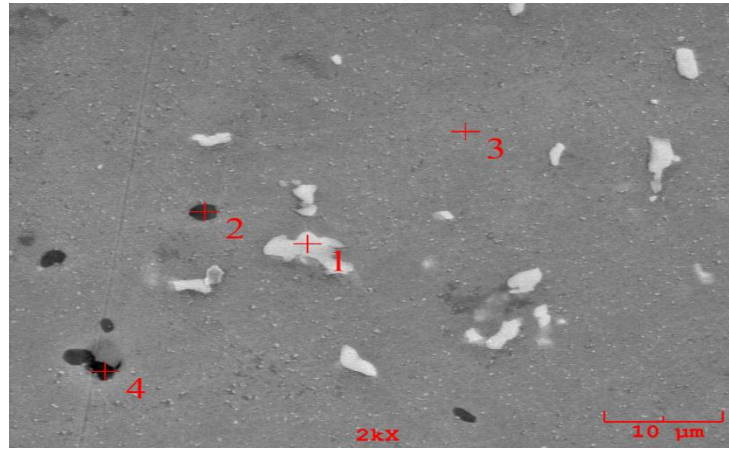
Şekil 5.4. 180° de 6 saat süreyle ısıtılmış dövülmüş numunenin SEM görüntüsü(2)

Tablo 5.24. 180° de 6 saat ısıtılmış numunenin SEM görüntülerindeki analiz noktalarının kimyasal içeriği

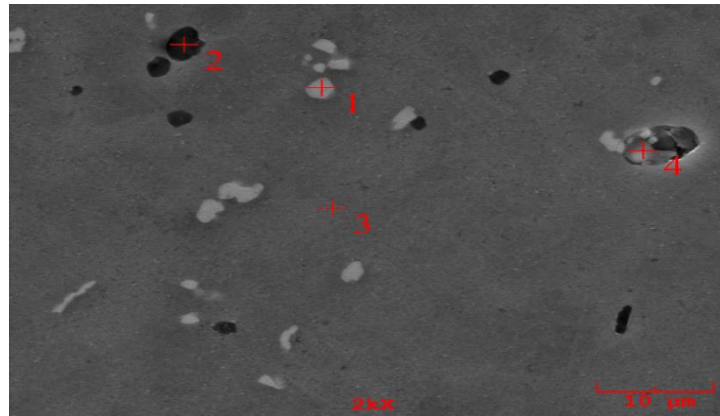
Analiz noktaları	Element Yüzdeleri (%)						
	Al	Mg	Si	Cr	Mn	Fe	O
1.1	72.46	0.54	8.75	1.30	7.69	9.24	-
1.2	89.68	0.75	2.9	0.04	0.50	0.45	5.67
1.3	98.34	0.65	0.4	0.27	0.09	0.24	-
1.4	86.51	6.28	4.64	0.39	1.17	1.00	-
2.1	80.30	0.64	6.00	0.70	5.9	6.46	-
2.2	47.37	25.08	22.15	0.29	0.90	0.18	4.02
2.3	98.03	1.00	0.33	0.00	0.53	0.12	-

Yine görüntülerde aynı renkte gözükten fazların Tablo 5.23.'teki element içerikleri benzerlik göstermektedir. Şekil 5.3.'teki 1.3 analiz noktası temel renk üzerinde belirlenen bir noktadır ve içeriğine bakıldığında 6082 Al alaşımı kopmozisyonu içeriğiyle örtüşen değerleri yansıtmaktadır. Yani bu nokta numunenin genel yapısını göstermekte, o noktada oluşmuş farklı bir faz bulunmamaktadır.

Ve son olarak 190°'de 8 saat süreyle yaşlandırılmış numuneden alınmış 2 görüntü ve analiz noktaları Şekil 5.5. ve 5.6.'de verilmiştir.



Şekil 5.5. 190°'de 8 saat süreyle ısıtılmış işlem görmüş dövülmüş numunenin SEM görüntüsü(1)



Şekil 5.6. 190°'de 8 saat süreyle ısıtılmış işlem görmüş dövülmüş numunenin SEM görüntüsü(2)

Tablo 5.25. 190°de 8 saat ısıtılmış numunenin SEM görüntülerindeki analiz noktalarının kimyasal içeriği

Analiz noktaları	Element Yüzdeleri (%)						
	Al	Mg	Si	Cr	Mn	Fe	O
1.1	73.656	0.390	8.549	1.243	6.453	9.709	-
1.2	55.928	20.866	17.721	0.137	0.385	0.036	9.61
1.3	97.185	0.726	0.896	0.362	0.716	0.116	-
1.4	96.470	1.127	1.909	0.220	0.135	1.139	-
2.1	89.657	0.754	3.462	0.632	2.729	2.766	-
2.2	84.369	5.178	5.267	0.332	0.076	0.070	4.708
2.3	98.349	0.745	0.250	0.304	0.338	0.014	-
2.4	84.090	0.888	6.252	0.317	0.597	0.107	7.748

Tablo 5.24. incelendiğinde buradaki değerlerinde diğer proseslerdeki görüntülerin çıktılarındaki değerlerle benzerlik gösterdiği, aynı fazları taşıdığı görülmüştür.

## BÖLÜM 6. TARTIŞMA VE SONUÇ

Deneysel çalışmaları değerlendirmek için yapılan test ve analizlere bakıldığında; 170° sıcaklıkta ve 6 saat süreli uygulanan yaşlandırma prosesi numunelerinin çekme gerilmesi, akma gerilmesi, kopma uzaması ve sertlik değerleri süspansiyon parçası olan salıncak kolu için en uygun değerleri vermektedir. Ayrıca belirtmek isterim ki bu yaşlandırma sıcaklık ve süresi literatürde Alüminyum alaşımlarının yaşlandırma prosesi için belirlenmiş olan sıcaklık derecesi ve süresi aralığı içerisinde değerlerdir. Bu tez çalışması salıncak tasarımından üretimine kadar olan aşamaları incelemiştir. Isıl işlem süreci farklı parametrelerde denenerek optimize edilmiş, mukavemet ve mikroyapı özelliklerinden ödün verilmeden süreci daha düşük sıcaklık ve sürede yapmanın uygun ve yeterli olduğunu göstermiştir. Bu sayede enerji ve zamandan kazanç sağlanmıştır.

Teknorot Otomotiv A.Ş.'nin yıllık üretim hacmi göz önünde alınarak yapılan hesaplamada optimize edilen ısıl işlem uygulamasıyla TL'lik enerji tasarrufu sağlanabileceği belirlenmiştir. Herhangi bir maliyet ödemediği sızır yatırımla kazanç ele edilmiştir.

Firmada aylık üretilen salıncak sayısı 10000 (Firmanın güncel verilerine göre) adettir. Bir ısıl işlem uygulamasında fırına ortalama 250 numune alındığı düşünüldüğünde 40 kez bu çevrim gerçekleşmektedir.

Yaşlandırma işlemi için kullanılan T6 ısıl işlem fırını saatte 180°'de 55 kW, 170° ise 52 kW enerji harcamaktadır. Mevcut proseste 180°'de 8 saatte bir çevrim için 440 kW enerji harcanırken; tez çıktılarına göre önerdiğimiz 170° 6 saatlik uygulamayla bir çevrimde 312 kW enerji harcanmaktadır. Tek bir çevrimde 128 kW'lık bir kazanç (yaklaşık yüzde 41 enerji tasarrufu); ayda 40 çevrimde ise 5120 kW kazançta denk

gelmektedir. Sanayi için güncel elektrik ücreti 1 kWh için 0,4030 TL'dir. Bu durumda aylık 2063,36 TL, yıllık 61440 TL tutarında maliyet kazancı sağlanmıştır.

## KAYNAKLAR

- [1] Birch, T., "Automotive suspension and steering system", CENGAGE Delmar Learning; 3 edition, (1998).
- [2] A.R. Yıldız, Salıncak Kolunun Optimizasyonu ve Yorulma Analizi, Otekon'02, Otomotiv Teknolojileri Kongresi, Bursa, (2002).
- [3] Halderman, J. D., Mitchell, Jr. C. D., "Automotive Steering, Suspension and Alignment", *Prentice Hall, Upper Saddle River*; New Jersey, Columbus, Ohio, 152 (2004).
- [4] Crouse, W. H., Anglin, D.L., "Automotive Brakes, Suspension and Steering", *Macmillan/McGrawHill*, New York, 112-133 (1992).
- [5] Tanahashi, Haruhiko, et al. Toyota electronic modulated air suspension for the 1986 Soarer. No. 870541. SAE Technical Paper, 1987.
- [6] Hrovat, Davor. "Survey of advanced suspension developments and related optimal control applications." *Automatica* Vol 33 Issue 10 (1997): 1781-1817.
- [7] Yue, C., T. Butsuen, and J. K. Hedrick. "Alternative control laws for automotive active suspensions." *American Control Conference*, 1988. IEEE, 1988.
- [8] Boyalı A.(2001).Yol taşıtları ön süspansiyon sistemlerinin bilgisayar destekli analizi ve optimizasyonu. Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [9] Emekli, M.E., Sankaranarayanan, V., Güvenç, B.A., Güvenç, L., Öztürk, E.S., Ersolmaz, S.S., Eyol, I.E. and Sinal, M., 2007.Transient active body control of a Ford Transit Connect using Semi-active suspensions, SAE 2007 Commercial Vehicle Engineering Congress and Exhibition, Rosemont, USA, October 12-15.
- [10] WEISBACH, 1967, Werkstoffkunde und Werkstoffprüfung, Malzeme bilgisi ve muayenesi, çeviri Anık, S., Anık, E.S., 215-217, İstanbul.
- [11] Turbalıoğlu, K., 2008, 6063 Alüminyum alaşımının düşey sürekli döküm yönteminde üretim parametrelerinin geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 5.

- [12] Car, E., 2011, Alüminyum üretim süreçleri, *TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası*, İstanbul, 2-15.
- [13] Su, Ş., 1988, 2XXX grubu alaşımlarda katı eriyiğe alma sıcaklık ve süresinin yaslanma sonrası özelliklere etkileri, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.
- [14] Davis, J.R., 1993, ASM specialty handbook, aluminum and aluminum alloys, ASM International, United States of America, 23, 59-86, 248-327, 649-690.
- [15] Prof.Dr.Ayşegül AKDOĞAN EKER.,2008,*Al ve Alaşımları ders notları*,1-16.
- [16] Erdoğan, M., 2001, Mühendislik alaşımlarının yapı ve özellikleri, *Nobel Yayın Dağıtım*, Ankara, 378.
- [17] William, F.S., 2001, Malzeme bilimi ve mühendisliği, çeviri Kınıkoğlu, N.G., *Literatür*, İstanbul.
- [18] Altenpohl, D., 1998, Aluminum: Technology, applications and environment, the aluminum association and the minerals, metals materials, Washington.
- [19] Öz, Ö, 2007, Yaşlandırma ısıtıl işleminin AA 7075 malzemeli dikdörtgen plağın burkulma yükü üzerine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Zonguldak, 54.
- [20] Zvinys, J., Kandrotaitė Janutiene, R., Meskys, J., Juzenas, K., 2012, Investigation of thermo mechanical effect on structure and properties of aluminium alloy 6082, *Machines, Technologies, Materials : International Virtual Journal For Science, Technics And Innovations For The Industry*, 9, 3-6, Lithuania.
- [21] Mondolfo, L.F. 1976, Aluminium alloys: structure and properties, Butterworths London. Dusaugy E., JIM 37, 452; 39, 484; 41, 438;42, 437.
- [22] Geçkinli, L. F. (2002). *Alüminyum ve alaşımlarının ısıtıl işlemi*, 2.ısıtıl işlem sempozyumu, İstanbul, TÜRKİYE, Şubat 07 – 08.
- [23] The American Society for Testing and Materials (ASTM). B618-B108, ASTM B108.
- [24] European aluminium association and the university of liverpool partnership program, (n.d). <http://aluminium.matter.org.uk>., Erişim Tarihi: 05/04/2019.
- [25] Askeland, D. R. , (1990). *The science and engineering of metaterials*, 2. Edition, İstanbul, Chapman&Hall s.423.

[26] Rutci A., Sayısal Simulasyon Destekli Alüminyum Salıncak Kolunun Sıcak Dövme Proses ve Kalıp Tasarımı, BIAS Kullanıcılar Konferansı, 2017.



## **ÖZGEÇMİŞ**

Feyza EMANETCİ, 1992 yılında İstanbul-Fatih'te doğdu. 2014 yılında Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliğinden mezun oldu. Sakarya Üniversitesi Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalında Makine Tasarım Bilim Dalında yüksek ihtisasa başladı. 2014 yılında MKS Mermer Kesme ve Silme Mak. San. Ve Tic. A.Ş.'de Ar-Ge Mühendisi olarak işe başladı, Düzce Teknorot Otomotiv firmasında tez çalışmasını deneysel olarak yaptı.