

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TİCARİ ARAÇLARDA KULLANILAN YAPISAL ELEMANIN ALÇAK
BASINÇLI DÖKÜM YÖNTEMİYLE ALÜMİNYUM ALAŞIMINDAN
ÜRETİLEBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

Ramazan AYDIN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

İmal Usulleri Programı

Danışman

Prof. Dr. Anıl AKDOĞAN

Ocak, 2022

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TİCARİ ARAÇLARDA KULLANILAN YAPISAL ELEMANIN ALÇAK
BASINÇLI DÖKÜM YÖNTEMİYLE ALÜMİNYUM ALAŞIMINDAN
ÜRETİLEBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ**

Ramazan AYDIN tarafından hazırlanan tez çalışması 04.01.2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İmal Usulleri Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Anıl AKDOĞAN

Yıldız Teknik Üniversitesi

Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Anıl AKDOĞAN, Danışman

Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Bedri Onur KÜÇÜKYILDIRIM, Üye

Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Sedat BİNGÖL, Üye

Dicle Üniversitesi

Danışmanım Prof. Dr. Anıl AKDOĞAN sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Ticari Araçlarda Kullanılan Yapısal Elemanın Alçak Basıncılı Döküm Yöntemiyle Alüminyum Alaşımından Üretilebilirliğinin İncelenmesi başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Ramazan AYDIN

İmza



Aileme,

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmamda ve yüksek lisans eğitimim boyunca değerli görüş ve önerileriyle beni yönlendiren ve çalışmamın her aşamasında sürekli desteğini hiç esirgemeyen çok değerli danışman hocam Sn. Prof. Dr. Anıl AKDOĞAN'a,

Tez çalışmamı yapmama destek veren ve gerekli tüm olanakları sağlayan Türkiye'nin Otomobili Girişim Grubu Yöneticileri'ne, yaptıkları yorumlar ve analiz çalışmaları için Döktaş Dökümcülük Tic. ve San. A.Ş firma çalışanlarına,

Tüm hayatım boyunca sevgi, destek ve özverilerini esirgemeyen tüm aileme ve dostlarıma en içten dileklerimle teşekkür ederim.

Ramazan AYDIN

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ.....	viii
KISALTMA LİSTESİ.....	x
ŞEKİL LİSTESİ	xi
TABLO LİSTESİ	xiv
ÖZET	xv
ABSTRACT	xviii
1 GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.2 Tezin Amacı	11
1.3 Hipotez	11
2 TİCARİ ARAÇ KAVRAMI VE ÖN SÜSPANSİYON SİSTEMİ	12
2.1 Ticari Araç Kavramı.....	12
2.2 Ön Süspansiyon Sistemi ve Elemanları.....	13
2.3 Yaylanmayan Kütle Tanımı	16
2.4 Benchmark – Ticari Araçlarda Kullanılan Bazı Akson Örnekleri	17
3 DEMİR DÖKÜM AKSON TASARIMI VE DÖKÜM ANALİZLERİ.....	20
3.1 Dökme Demir Özellikleri.....	20
3.2 Kum Kalıba Döküm Yöntemi	25
3.3 Akson Tasarımı	27
3.4 Döküm Analizleri	30
3.4.1 Dolum Sıcaklığı ve Hızı.....	31
3.4.2 Hava Sıkışmaları ve Basınç	33
3.4.3 Katılma Yüzdesi.....	35

3.4.4	Hotspot FS Time ve Porozite.....	35
4	ALÜMİNYUM DÖKÜM AKSON TASARIMI VE DÖKÜM ANALİZLERİ	37
4.1	Alüminyum ve Özellikleri.....	37
4.2	Alçak Basıncılı Döküm Yöntemi.....	41
4.3	Isıl İşlem.....	44
4.4	Akson Tasarımı	45
4.5	Döküm Analizleri	55
4.5.1	Dolum Sıcaklığı ve Hızı.....	58
4.5.2	Hava Sıkışmaları ve Basıncı	60
4.5.3	Katılma Yüzdesi.....	62
4.5.4	Hotspot FS Time ve Porozite.....	63
5	SONLU ELEMANLAR ANALİZLERİ VE TASARIM DOĞRULAMA	65
5.1	Yapılacak Analiz ve Kabul Kriterlerinin Belirlenmesi	65
5.2	Tasarım Doğrulama Analizleri.....	68
5.2.1	Fren Kaliper Bağlantısı Rijitlik Analizi	69
5.2.2	Kamber ve Toe Esneklik Analizi.....	71
5.2.3	Dayanım ve Max Yük Analizi	74
5.2.4	Yorulma (Ömür) Analizi.....	80
6	SONUÇ VE ÖNERİLER	84
	KAYNAKÇA.....	87
	TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR	89

SİMGE LİSTESİ

Al	Alüminyum
Al ₂ O ₃	Alüminyum Oksit
C	Karbon
Ce	Seryum
Cu	Bakır
dk	Dakika
Fe	Demir
F _x	Kuvvet (X Eksen)
F _y	Kuvvet (Y Eksen)
F _z	Kuvvet (Z Eksen)
kN	Kilonewton
Li	Lityum
Max	Maximum
mbar	Milibar
Mn	Mangan
Mg	Magnezyum
mm	Milimetre
m/s	Metre/Saniye
M _x	Moment (X Eksen)
M _y	Moment (Y Eksen)
M _z	Moment (Z Eksen)
MPa	Megapascal

N	Newton
Nm	Newtonmetre
NaOH	Sodyum Oksit
Ni	Nikel
O ₂	Oksijen
Ti	Titanyum
TiC	Titanyum Karpit
Pb	Kurşun
S	Kükürt
Si	Silisyum
Sn	Kalay
sn	Saniye
Ti	Titanyum
Zn	Çinko

KISALTMA LİSTESİ

ADAMS	Automatic Dynamic Analysis of Mechanical Systems
CAD	Computer Aided Design
CGO	Center of Gravity
CATIA	Computer Aided Three Dimensional Interactive Application
DFMEA	Design Failure Modes and Effect Analysis
EN	European Norm
HB	Brinell Sertlik Birimi
OEM	Original Equipment Manufacturer
OP10	Operasyon 10
OP20	Operasyon 20
VW	Volkswagen

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Bir akson tasarımı [1]	2
Şekil 1.2 Viraj dönme esnasında ağırlık merkezi konumunun değişimi [1]	3
Şekil 1.3 Al 7075 T6 malzemede görülen max plastik deformasyon (0.326mm) [1].....	4
Şekil 1.4 a) Ön tekerlek grubu parçaları b) Sonlu elemanlar analizi için hazırlanmış akson modeli c) Sınır koşulları, kontak yüzeyleri [2]	5
Şekil 1.5 Her malzeme için analizlerde görülen maksimum stres seviyesi [2]	6
Şekil 1.6 a) Optimizasyon öncesi kesit b) Optimizasyon sonrası kesit c) Amortisör bağlantı bölgesi optimize edilmiş akson [2]	6
Şekil 1.7 Karıştırmalı döküm proses şeması [3]	8
Şekil 1.8 Gerinim ölçer takılmış akson [3]	8
Şekil 1.9 Yol datasından blok çevrim datası çıkarılması [3]	9
Şekil 1.10 Dizayn optimizasyon akış şeması [4]	10
Şekil 2.1 Hafif ve orta ticari araç örnekleri [6]	13
Şekil 2.2 McPherson ön süspansiyon sistemi ve elemanları [7].....	14
Şekil 2.3 Akson ve aksone bağlanan parçalar.....	16
Şekil 2.4 Yaylanmayan kütle tanımı [10].....	17
Şekil 2.5 Benchmark-1 akson detayları.....	18
Şekil 2.6 Benchmark-2 akson detayları.....	18
Şekil 2.7 Benchmark-3 akson detayları.....	19
Şekil 2.8 Benchmark-4 akson detayları.....	19
Şekil 3.1 Dökme demirin yapı bileşenleri [11].....	20
Şekil 3.2 Kum kalıba döküm kesit [13].....	25
Şekil 3.3 Kum kalıba döküm işlemi üretim aşamaları [13]	27
Şekil 3.4 Dökme demir akson perspektif görünüm (Ön)	29
Şekil 3.5 Dökme demir akson perspektif görünüm (Arka)	29
Şekil 3.6 Dökme demir akson kalıp besleyici ve yolluk konumları	31
Şekil 3.7 Dökme demir akson dolum sıcaklığı analizi	32
Şekil 3.8 Dökme demir akson dolum hızı analizi	33

Şekil 3.9 Dökme demir akson maksimum hava basıncı analizi.....	34
Şekil 3.10 Dökme demir akson dolum süresi analizi	34
Şekil 3.11 Dökme demir akson katılaşma analizi	35
Şekil 3.12 Dökme demir akson porozite analizi	36
Şekil 4.1 Bayer metodu ile alümina eldesi [14]	38
Şekil 4.2 Hall-Hereolt elektroliz metodu ile Al_2O_3 'den Al eldesi [14].....	39
Şekil 4.3 Alçak basınçlı döküm kalıp elemanları [16]	42
Şekil 4.4 Alçak basınçlı döküm proses aşamaları [17]	44
Şekil 4.5 Süspansiyon kritik bağlantı noktaları [18]	46
Şekil 4.6 Akson – Aks mili bağlantı arayüzü	47
Şekil 4.7 Akson – Fren kaliperi bağlantı arayüzü	47
Şekil 4.8 Akson – Amortisör bağlantı arayüzü.....	48
Şekil 4.9 Akson – Direksiyon kolu bağlantı arayüzü.....	49
Şekil 4.10 Alüminyum akson perspektif görünüm (Ön)	49
Şekil 4.11 Alüminyum akson perspektif görünüm (Arka)	50
Şekil 4.12 Brüt ve işlenmiş parça görselleri.....	51
Şekil 4.13 Akson üzerinde itici, filtre ve işleme dayama noktalarının gösterimi	52
Şekil 4.14 Alçak basınçlı döküm tezgahı elemanları (Akson)	53
Şekil 4.15 Alt ve üst kalıp görünümleri (Akson)	53
Şekil 4.16 Akson işleme operasyonları.....	54
Şekil 4.17 MAGMASOFT 5.4 programında analiz için gerekli tanımlamaların yapılması.....	56
Şekil 4.18 MAGMASOFT 5.4 programında malzeme seçimi.....	57
Şekil 4.19 MAGMASOFT 5.4 programında basınç parametrelerinin tanımlanması	58
Şekil 4.20 Alüminyum akson dolum sıcaklığı analizi	59
Şekil 4.21 Alüminyum akson dolum hızı analizi	59
Şekil 4.22 Alüminyum akson maksimum hava basıncı analizi.....	60
Şekil 4.23 Alüminyum akson dolum süresi analizi.....	61
Şekil 4.24 Alüminyum akson dolum yüzdesi analizi	62
Şekil 4.25 Alüminyum akson katılaşma analizi	63
Şekil 4.26 Alüminyum akson Hotspot FS time analizi.....	64

Şekil 5.1 Otomotivde global koordinat sistemi.....	66
Şekil 5.2 Fren kaliper rijitlik analizi sınır koşulları.....	70
Şekil 5.3 Alüminyum akson çevre parçalar sınır koşulları	71
Şekil 5.4 Kamber ve Toe esneklik analizi sınır koşulları	72
Şekil 5.5 Alüminyum akson statik rijitlik ve esneklik analizleri sınır koşullar.....	73
Şekil 5.6 Demir döküm akson dayanım analizi sınır koşulları	75
Şekil 5.7 Demir döküm akson dayanım analizi yük uygulama noktaları	75
Şekil 5.8 Frenleyerek çukura girme yük senaryosunda gerinim değeri.....	77
Şekil 5.9 Tümsekten geçme yük senaryosunda gerinim değeri	78
Şekil 5.10 Alüminyum akson dayanım analizi sınır koşulları	79
Şekil 5.11 Alüminyum akson dayanım analizi sonuçları	79
Şekil 5.12 Demir döküm aksonun yorulma analizinde hasar değerleri (Arka) ..	82
Şekil 5.13 Demir döküm aksonun yorulma analizinde hasar değerleri (Ön)	82
Şekil 5.14 Alüminyum akson yorulma analizi sınır koşulları.....	83

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1 Farklı malzemelerin analiz sonuçları [1]	4
Tablo 3.1 Dökme demir çeşitlerinin karşılaştırması [12]	22
Tablo 3.2 EN GJS 450-12 Dökme demir mekanik özellikleri.....	24
Tablo 3.3 EN GJS 450-12 Dökme demir kimyasal kompozisyon	24
Tablo 3.4 EN GJS 450-12 Dökme demir mikroyapı beklentileri	24
Tablo 3.5 Dökme demir akson tasarım detayları.....	30
Tablo 4.1 Alüminyum akson tasarım detayları.....	50
Tablo 5.1 Demir ve alüminyum aksonların yapısal sınır koşulları	67
Tablo 5.2 Statik ve dinamik analizlerin kabul kriterleri	68
Tablo 5.3 Fren Kaliper Rijitlik Analizi Sonuçları	71
Tablo 5.4 Kamber ve Toe esneklik analizi sonuçları.....	74
Tablo 5.5 Dayanım analizi yük ve moment değerleri (Tümsekten geçme)	76
Tablo 5.6 Dayanım analizi yük ve moment değerleri (Frenleyerek çukura girme)	77
Tablo 5.7 Demir döküm akson dayanım analizi sonuçları.....	78
Tablo 5.8 Alüminyum akson dayanım analizi yük senaryoları ve sonuçları.....	80
Tablo 5.9 Demir döküm akson yorulma analizi sonuçları	82
Tablo 5.10 Alüminyum akson yorulma analizi sonuçları.....	83

Ticari Araçlarda Kullanılan Yapısal Elemanın Alçak Basıncılı Döküm Yöntemiyle Alüminyum Alaşımından Üretilirliğinin İncelenmesi

Ramazan AYDIN

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Anıl AKDOĞAN

Otomotiv sektörünün günümüzde geldiği konumda özellikle ticari araçlar için faydalı yük olarak adlandırılan yük taşıma kapasitesi ve bu yük altında aracın yol tutuş, konfor, manevra kabiliyeti gibi sürüş dinamiklerinin rakip araçlara göre rekabetçi olması, ilgili marka ve modelin pazarda ticari olarak hayatına devam edebilmesi için çok büyük önem taşımaktadır. Bundan dolayı OEM (Original Equipment Manufacturer) olarak adlandırılan küresel üretim ve mühendislik faaliyetleri gösteren büyük otomotiv firmaları sürekli olarak aracın mevcut komponentlerinin tasarımlarını optimize ederek daha hafif ve aynı zamanda daha iyi sürüş dinamiklerine sahip bir araç geliştirmeye çalışırlar.

Bu çalışma kapsamında orta ticari olarak isimlendirilen grupta yer alan araçların ön süspansiyon sistemlerinde kullanılan akson'un (tekerlek taşıyıcı) konvansiyonel olarak dökme demir malzemeden kum kalıba döküm yöntemiyle üretilmektense, alçak basıncılı döküm yöntemiyle alüminyum alaşımından

üretilebilirliği ve sonrasında ise aynı araç yükleri altında kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Bu kapsamda belirtildiği üzere örnek parça olarak akson seçilmiştir. Bu parçanın seçilmesinin ana sebebi, yaylanmayan kütle olarak adlandırılan ve aracın gövdesi ile tekerlek grubu arasındaki yaylanabilen süspansiyon komponentleri arasında yer almayan parçalardan birisi olmasıdır. Alüminyumun daha hafif bir malzeme olmasından dolayı, yaylanmayan kütlenin toplam ağırlığı azaltılarak sürüş dinamiklerinin iyileştirilmesi ve aynı zamanda faydalı yük değerinin artırılması hedeflenmiştir.

Öncelikle aynı araç grubu için kullanılabilecek hem dökme demir hem de alüminyum malzemeden her iki farklı döküm yöntemine uygun olacak şekilde ayrı ayrı parça tasarımları yapılmıştır. Tasarımın döküm yöntemine uygun olduğunun teyidi için bilgisayar destekli analiz programları kullanılarak dolum ve katılaşma simülasyonları gerçekleştirilmiştir.

Elde edilen tasarım yapılan çeşitli döküm simülasyonları ile teyit edildikten sonra her iki tasarımın aynı araç yükleri altında yapısal olarak nasıl performans göstereceği yine bilgisayar destekli yapısal analiz programları yardımıyla incelenmiş ve yine aynı kabul kriterleri gözetilerek elde edilen değerler karşılaştırılmıştır. Bunun öncesinde parçaların seri imalat esnasında herhangi bir problem yaşanmadan aracın ömrü boyunca kullanılabilmesine olanak sağlayacak şekilde hangi yapısal analizlerin yapılması gerektiği ve bu analizlerde kullanılacak yük değerleri belirlenmiştir.

Gözlemler sonucunda; Alüminyum alaşımlarından tasarlanan aksonun demir döküme göre yaklaşık olarak parça seviyesinde 1.5 kg araç seviyesinde ise 3 kg'lık bir ağırlık avantajı gösterdiği ortaya çıkmıştır. Bu fark direk olarak aracın faydalı yük değerini artırarak müşteri memnuniyetinin ciddi bir oranda artmasını sağlayacaktır. Ayrıca daha hafif olan alüminyum tasarımın, yapısal analizler sonucunda malzeme özelliklerinden dolayı beklendiği üzere daha düşük bir performans göstermesine rağmen araç ve sistem seviyesi genel kabul kriterleri

içerisinde kaldığından demir döküm akson yerine kullanılabileceği yargısına varılmıştır.

Bu çalışma sayesinde sanal ortamda doğrulama yolu ile elde edilen bu bilgiler, ticari araçlarda alüminyum akson devreye almak adına yapılan çalışmalara; prototip kalıp üretimi ve parça/ sistem/ araç seviyesi fiziksel validasyon testleri öncesinde ön seri imalat onayı için rehber niteliğindedir.

Anahtar Kelimeler: Akson, döküm simülasyonları, alçak basınçlı alüminyum döküm, yapısal analizler, ağırlık azaltma



Investigation of Aluminium Alloy Structural Part Manufacturing Used for Commercial Vehicles by Low Pressure Die Casting Method

Ramazan AYDIN

Department of Mechanical Engineering

Master of Science Thesis

Advisor: Prof. Dr. Anıl AKDOĞAN

In the position where automotive industry is today; the useful load which also could be called as “payload” and vehicles dynamic behaviours like handling, comfort and maneuverability under this load has crucial impact for commercial vehicles especially in terms of maintaining the success in the related market share. That is the reason why big OEM’s who operates the global manufacturing and engineering activities, consistently chasing to optimize their existing components design from weight perspective for being more competitive with also having better vehicle dynamics features.

In this study it has been investigated for medium commercial vehicles that whether the front suspension knuckle (wheel carrier) which has been conventionally producing so far with an iron casting material and sand casting methode could be also producible with alumium alloy and low pressure die casting methode.

In this manner the reason for choosing the knuckle in this study as being a significant contributor component to vehicle unsprung mass. Unsprung mass can be defined as consisting of the some components which are not located between the vehicle body and wheel corner module.

Since aluminium is a lighter material than iron, it is aimed to improve the driving dynamics and increasing the payload simultaneously by reducing the total weight of unsprung mass.

First of all, separate part designs were made from both cast iron and aluminum in accordance with related casting methods which can be used for same vehicle group. In order to confirm that design is suitable for the related casting method, filling and solidification simulations were carried out using appropriate CAD programs. After the design was confirmed by various casting simulations, it was also examined that how the structural performance of both designs under the same loading conditions with again using the related CAD programs. For sure prior to this, the structural analyzes and related load values were determined which will be required to allow the parts to be used throughout the vehicle life.

As a result of the observations, It has been revealed that the knuckle designed from aluminum alloy has a weight advantage of approximately 1.5 kg part level and 3 kg at vehicle level compared to iron casting. This difference directly increases the useful load value of the vehicle which could be also led to have significant improvement at customer satisfaction. As a result, due to its material properties aluminum knuckle performed lower than iron in structural analyzes however it can be also seen that still remains within the system and vehicle level acceptance criterias.

The findings that have been obtained with this virtual validation study could be a comprehensive guide for the further aluminum knuckle implementation studies before having the prototype tooling production, physical component system and vehicle level design validation tests in short serial production phases.

Keywords: Steering knuckle, casting simulations, low pressure die casting, structural analysis, weight reduction



1.1 Literatür Özeti

Bu çalışma kapsamında konu ile ilgili olabileceği düşünülerek, fayda sağlayıp yol gösterebilecek yaklaşık otuzdan fazla akademik çalışma incelenmiştir. İnceleme sonucunda tez çalışmasına en yakın olabilecek beş adet çalışmanın detayları verilmiştir.

Literatürde, toplam araç yükünün ticari araçlara göre nispeten daha düşük olmasından dolayı binek araçlarda alüminyum akson kullanımına dair bazı çalışmalara rastlanmış olsa dahi ticari araçlarda alüminyum akson kullanımına yönelik herhangi bir çalışma veya araştırmaya rastlanılmamıştır.

Ayrıca direk olarak demir döküm bir aksonun yerine aynı veya farklı sınır şartları içerisinde alüminyum akson kullanımını içeren herhangi bir karşılaştırmalı rapor, akademik çalışmaya denk gelinmemiştir.

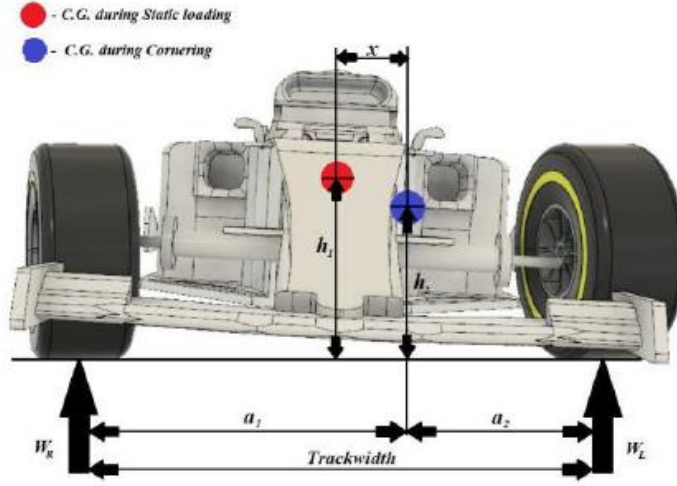
Yapılan literatür taramasında bu tezin konusu ile ilgili olabilecek direk bir çalışmaya rastlanmamasından dolayı bu çalışmanın sonraki yapılacak araştırma çalışmalarına rehber olarak ciddi katkıda bulunması beklenmektedir.

[1] çalışmasında; Düşük yoğunluklu farklı malzemeler kullanılarak, AUTO Desk Fusion programı yardımı ile yapılan akson tasarımlarının, aracın farklı dinamik koşulları altında (ivmelenme, frenleme, viraj alma, tümsekten geçme) gösterdiği performans yine AUTO Desk Nastran programı kullanılarak ve statik yapısal analizler yapılarak karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Farklı malzemeler olarak EN8 (Çelik), EN24 (Çelik), Al 2011 T3 (2000 serisi alüminyum, T3 ısıtıl işlemlili) ve Al 7075 T6 (7000 serisi alüminyum, T6 ısıtıl işlemlili) kullanılmıştır.



Şekil 1.1 Bir akson tasarımı [1]

Sonrasında her bir dinamik koşul için aracın ağırlık merkezinin ilgili yükleme koşullarına bağlı olarak ne kadar değişeceği hesaplanmıştır. İvmelenme esnasında araç ağırlık merkezinin mevcut konumuna göre boylamsal düzlemde %10 aracın gerisine, dikey düzlemde ise %5 daha aracın aşağısına doğru kaydığı gözlemlenmiştir. Frenleme esnasında ise doğal olarak tersine yönde bir kütle transferi gerçekleştiği belirtilmiştir. Aksona maksimum yükün geleceği dinamik koşul olan aracın tümsekten geçme senaryosunda ise salıncak kolu bağlantı bölgesine yaklaşık 2.5g, üst amortisör bağlantısının olduğu bölgeye ise yaklaşık 1.5g'lik bir kuvvet geleceği belirtilmiştir. Viraj dönme esnasında ise yük transferinin tekerleğin dışından içine doğru olacağı belirtilerek aksonun yaklaşık 1.2g'lik bir kuvvete maruz kalacağı söylenmiştir. Bu durumda da ağırlık merkezi konumunun aracın aldığı virajın yönüne göre mevcut konumundan yaklaşık %7 aracın döndüğü yöne doğru, aracın aşağısına doğru ise de yaklaşık %5 yer değiştireceği söylenmiştir.

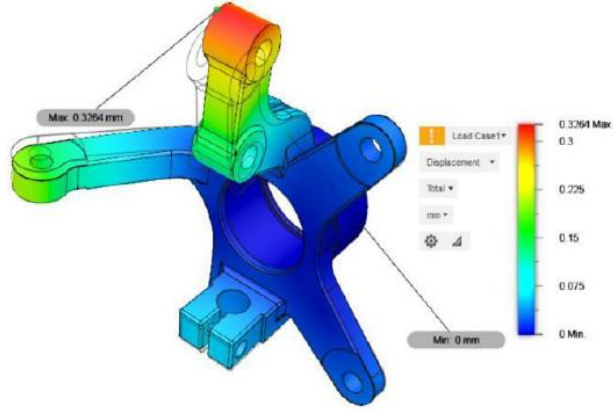


Şekil 1.2 Viraj dönme esnasında ağırlık merkezi konumunun değişimi [1]

Aksonun farklı eksenlerden gelen yükler altında yorulma sonucu kırılması veya bir problem yaşanmasının nadir meydana geleceği, daha çok statik olarak anlık gelen yüklerde en fazla zorlanacağı belirtilmiştir. Nastran programında yapılan analizlerle, üstte belirtilen dinamik koşullar altında gerçekleşen yük transferi sonucu en fazla yükün 5.7g olarak salıncak kolu ile bağlandığı bölgede olduğu gözlemlenmiştir.

Analiz sonuçlarında yükleme koşullarından gelen stres değerinin malzemeden bağımsız olarak her aksonda aynı şekilde var olduğu vurgulanmıştır fakat aynı stres değeri altında malzeme farkından dolayı gösterilen plastik deformasyon değerinin değiştiği belirtilmiştir. EN24 malzemenin akma değerinin yüksek olmasından dolayı en yüksek güvenlik çarpanına sahip olduğu fakat bunun optimum olmadığı, optimum olabilmesi için ağırlık ve geometrinin değişmesi gerektiği ifade edilmiştir. Aynı dayanım değerlerinde alüminyum alaşımlarının daha optimum olduğu vurgulanmıştır.

Bu çalışma ile çok eksenli yükler altında çalışan akson için birçok araştırmacı tarafından en iyi malzemenin Al 2011 T3 olacağı söylenmesine rağmen en iyi analiz sonuçlarının Al 7075 T6 ile alındığı ifade edilmiştir.



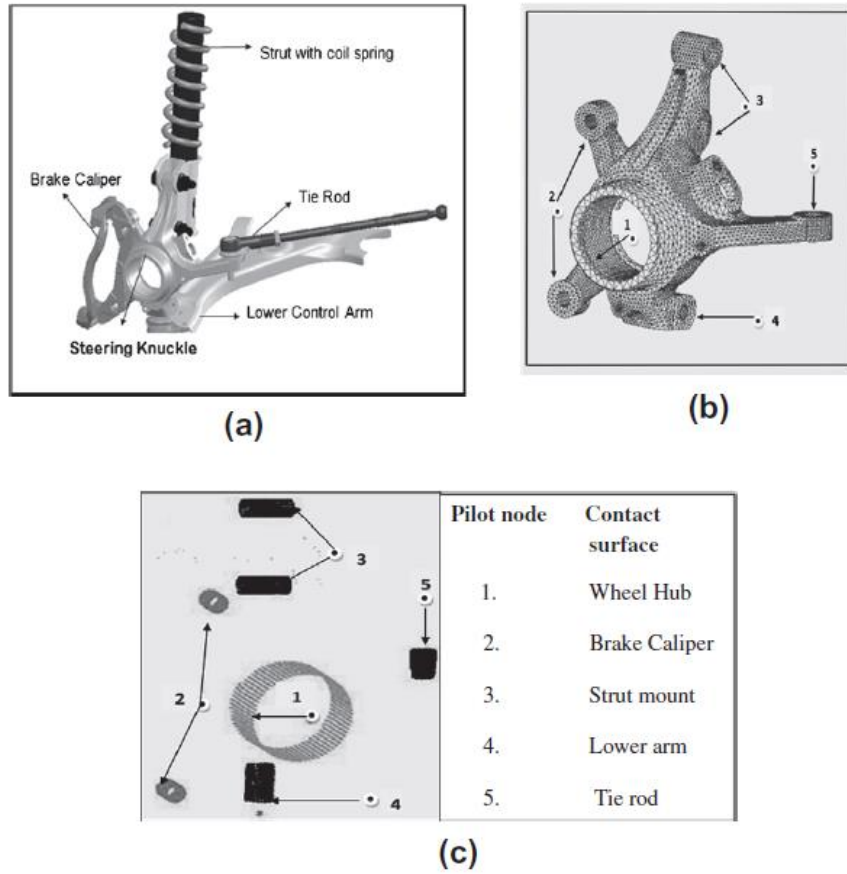
Şekil 1.3 Al 7075 T6 malzemede görülen max plastik deformasyon (0.326mm)
[1]

Tablo 1.1 Farklı malzemelerin analiz sonuçları [1]

Parametre	EN8	EN24	Al 2011 T3	Al 7075 T6
Maksimum Stres: Von-Misses (MPa)	186.6	182.6	182.6	182.6
Maksimum Deplasman (mm)	0.119	0.114	0.328	0.326
Güvenlik Çarpanı	2.47	3.73	1.98	2.74
Ağırlık (kg)	2.24	2.21	0.824	0.782

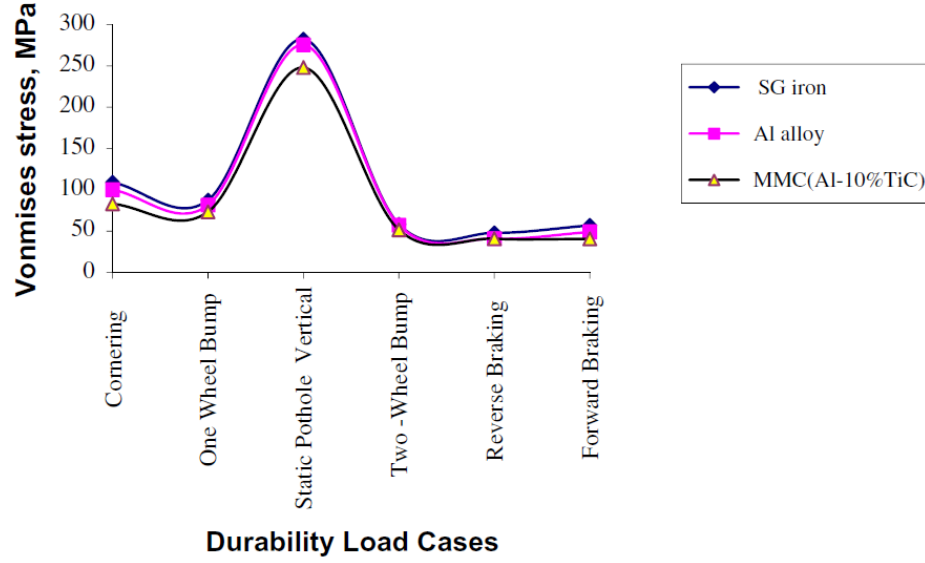
[2] çalışmasında; Konvansiyonel olarak sfereo döküm malzemeden elde edilen aksonun (Al 6061) alüminyum alaşımından ve bir metal matris kompoziti olan Al-10 wt.%10TiC malzemeleri ile döküldüğünde ortaya çıkan yapısal dayanımı birbirlerine göre incelemiştir. Buna göre daha hafif olan malzemelerden üretilen aksonun aynı araç yükleri altında kırılmadan veya herhangi bir hata göstermeden

alışıp çalışmayacağını ortaya koymaya çalışmıştır. Bunun için öncelikle Sakthi firmasından bir akson modeli elde etmiştir. Daha sonra bu modeli sonlu elemanlar analizinde kullanmak üzere 58783 parçaya ve 99046 noktaya bölerek analiz için hazır hale getirmiştir. Sonraki adımda sonlu elemanlar modelini tamamlamak üzere parçanın araçta çalışma halini simüle edecek şekilde sınır koşullarını, kontak yüzeyleri ve yüklerin uygulanacağı bölgeleri belirlemiştir. Analizde kullanılacak yk senaryoları, değerleri ve kabul kriterleri yine aynı firmadan temin edilmiştir.



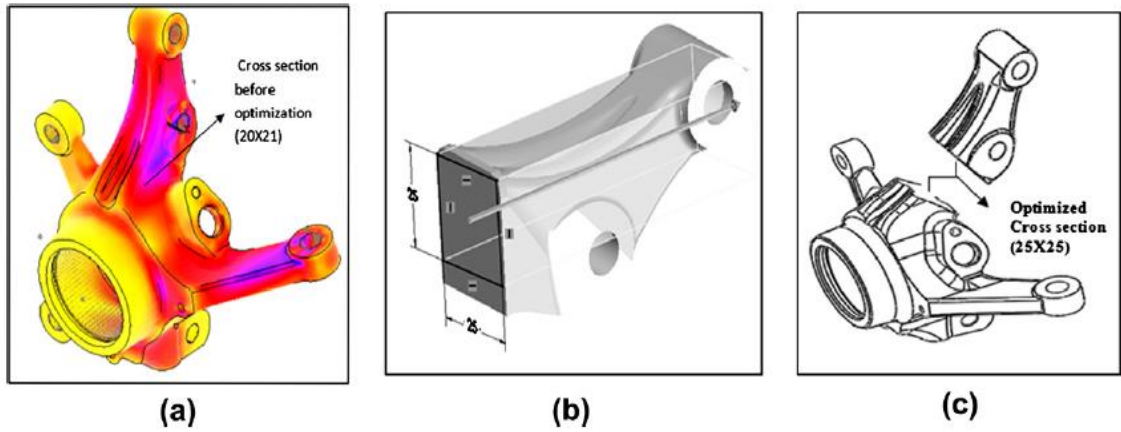
şekil 1.4 a) n tekerlek grubu parçaları b) Sonlu elemanlar analizi için hazırlanmış akson modeli c) Sınır koşulları, kontak yüzeyleri [2]

Yapılan yapısal analizler sonucunda aksonun en fazla yüke maruz kalan en kritik bölgesinin amortisör bağlantısının olduğu en az yükün geldiği bölgesi ise rulmanın bağlantı yüzeyi olduğu görülmüştür. Her üç farklı malzeme için de yapılan analizler sonucunda hangi yükleme koşulu altında ne kadarlık bir stres seviyesinin ortaya çıktığı gösterilmiştir.



Şekil 1.5 Her malzeme için analizlerde görülen maksimum stres seviyesi [2]

Ayrıca doğrusal olmayan analizlerden en kritik bölge olarak çıkan amortisör bölgesinin matematik modeli Matlab programı yardımıyla çıkarılarak o bölgenin tasarımı mümkün olduğunca optimize edilmiştir. Bu optimizasyon sonrasında tekrarlanan analizde ilgili bölgede daha önce 248MPa olan stres seviyesinin 219MPa değerine indiği gözlemlenmiştir.



Şekil 1.6 a) Optimizasyon öncesi kesit b) Optimizasyon sonrası kesit c) Amortisör bağlantı bölgesi optimize edilmiş aksion [2]

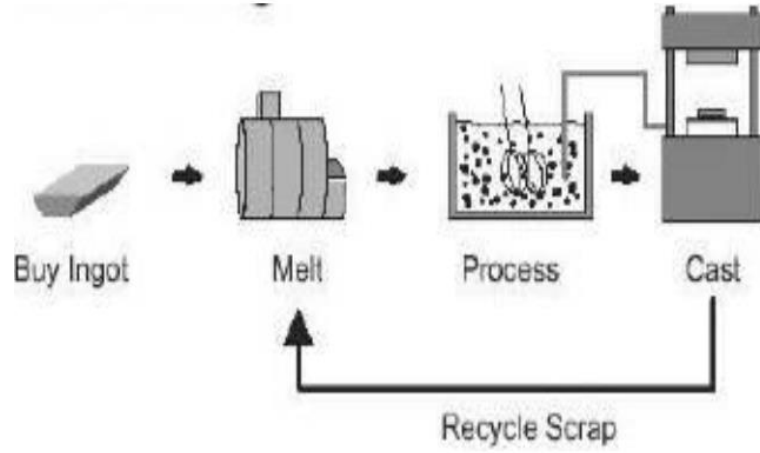
Sonrasında sonlu elemanlar analizini ve çıktılarını doğrulamak adına fiziksel bir test ortamı kurarak özellikle yorulma testi gerçekleştirilmiştir. Yapılan test sonucunda titanyum karbür ile metal matrisi oluşturan alüminyum alaşım

malzemeden elde edilen aksonun 1 milyon çevrimli yorulma testini başarıyla tamamladığı gözlemlenmiştir.

Fiziksel test sonucunda Al-10wt.%10TiC malzemenin konvansiyonel olan sfereo döküm malzeme yerine kullanılabileceği ve bu sayede parça seviyesinde yaklaşık %55 oranında ağırlık avantajı elde edilebileceği ifade edilmiştir. Ayrıca aksonun hafiflemesinden dolayı araçtaki toplam yaylanmayan kütle oranında yaklaşık %10 mertebelerinde bir iyileşme meydana geleceği vurgulanmıştır.

[3] çalışmasında; Yaylanmayan kütle olarak adlandırılan ve özellikle araç yüksek hızlarda iken yoldan gelen düzensizliklerin yarattığı dikey ivmelenme kuvvetleri ile yol tutuş ve sürüşü ciddi anlamda etkileyen bu kütleyle etki eden en önemli parçanın akson olduğunu vurgulamıştır. Bu yüzden akson parçasının çelik dövme veya döküm yerine daha hafif olması için alüminyum alaşımlarından dökülmesi gerektiğini belirtmiştir. Bu çalışmada konvansiyel kum kalıba döküm yerine karıştırımlı döküm olarak nitelendirilen döküm yöntemini kullanmıştır. Bu döküm yönteminde alaşım yarı katı olarak adlandırılan sıcaklıkta hazırlanır ve kalıp içerisine enjeksiyon alaşım bu sıcaklıkta iken yapılır. İdeal olarak karışımın %30-%65 arasında katı halde olması beklenir. Kalıp içerisine enjekte edilen alaşım ergimiş metale göre daha düşük akışkanlığa sahiptir. Bundan dolayı bu şekilde yapılan parçalarda daha az kendini çekme, daha az iç boşluk problemi görülür. Döküm işlemi ergime sıcaklığından daha düşük sıcaklıklarda yapıldığından dolayı kalıpların daha uzun ömürlü olacağı belirtilmiştir. Ayrıca homojen mikroyapı ve düşük hızlarda düzgün bir kalıp doldurma işlemi gerçekleştiğinden bu yöntem ile elde edilen parçaların mekanik özellikleri ve dolayısıyla dayanımları daha iyi mertebelerdedir.

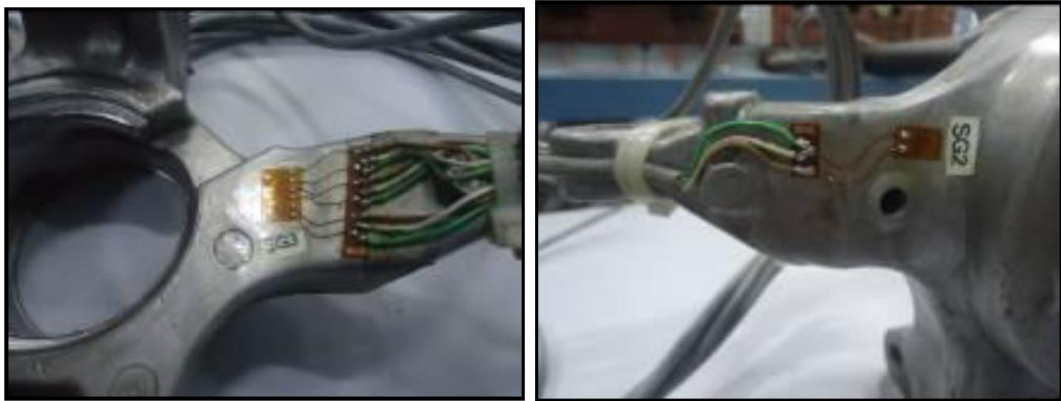
Dezavantajları olarak ise; prosesin konvansiyonel yönteme göre daha pahalı olması, istenilen yarı akışkan sıcaklıkta metal alaşımını hazırlamak ve o sıcaklıkta yapıyı döküm öncesi koruyabilmek sayılabilir.



Şekil 1.7 Karıştırırmalı döküm proses şeması [3]

Akson elde edildikten sonra bir fikstüre bağlanarak jenerik statik yükler uygulanarak (x ekseninde frenleme ve ivmelenmeden kaynaklı gelen 2g, y ekseninde viraj dönerken gelen 1g ve z ekseninde tümsek ve çukurdan geçerken yoldan gelen 3g) kritik bölgelerin nereler olduğu belirlenmiştir.

Sonrasında ilgili bölgelere gerinim ölçerler takılarak araç özel bir dayanıklılık pistinde koşturulmak suretiyle parça üzerinden data toplanır. Aracın ömrü boyunca alacağı toplam dayanım ve yorulma zararını simüle edeceği düşünülen özel bir dayanıklılık pistinden bu data toplanır. Bu pist aracın ömrü boyunca %65 şehir içi , %20 otoyol, % 10 çukur ve tümsekli, %5 ise engebeli yollarda koşması durumunda alacağı toplam zararı simüle edecek şekilde tasarlanır.

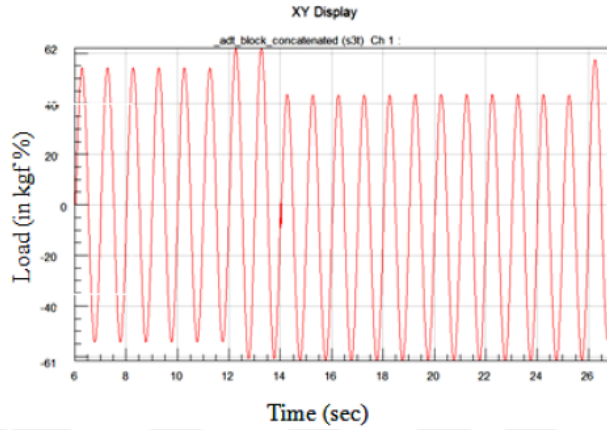


Şekil 1.8 Gerinim ölçer takılmış akson [3]

İlgili pistte aracın koşması sonucu akson üzerinden gerinim ölçerler vasıtasıyla toplanan data filtreleme çalışmasından geçirilerek rig testinde uygulanabilecek

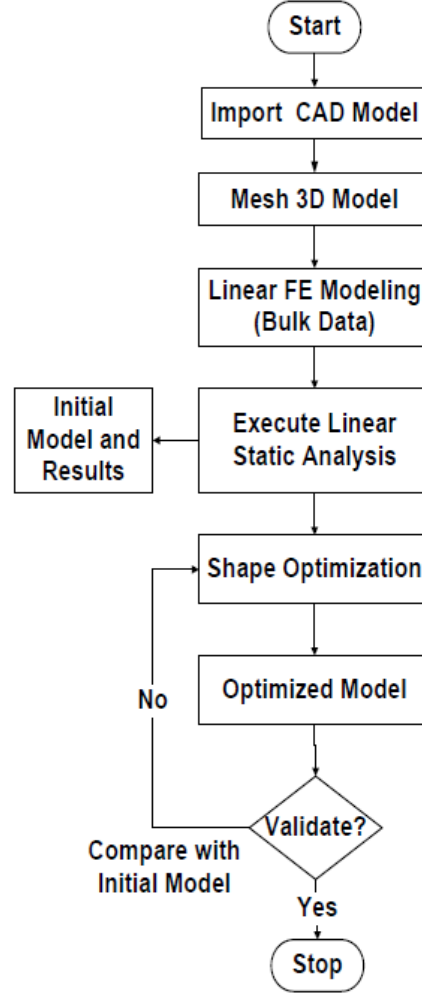
sinüs çevrimlerine çevrilir ve yine fiziksel test ortamında aynı zararı verebilecek şekilde çevrilen sinüs çevrim datasının kaç defa tekrar edileceği belirlenir.

Bu çalışmada toplanan data ile sanal ortamda parçanın ömrü boyunca maruz kalacağı yükler simule edilerek yorulma ömrünün ne kadar olacağı tahmin edilmiştir ardından yapılan fiziksel rig testinde ilgili korelasyonun %74,5 mertebelerinde olduğu görülmüştür



Şekil 1.9 Yol datasından blok çevrim datası çıkarılması [3]

[4] çalışmasında; Dizayn optimizasyonu yaparak akson parçasını hafifletmeyi amaçlamıştır. Bunu yaparken sonlu elemanlar modelleme ve analiz aracı olan Hyperworks programını kullanmıştır. Farklı optimize edilmiş dizayn alternatiflerini elde etmek için ise OptiStruct yazılımından faydalanmıştır. Aynı dayanım özelliklerini koruyacak şekilde bu yazılım sayesinde mevcuta göre %8.4 daha hafif bir optimize tasarım elde edilmiştir. Bu yapılırken parçanın malzemesinde ve mevcut paket alanı (sınır koşullarında) bir değişiklik olmayacağı varsayılmıştır. İlgili alanlarda da değişikliğin kabul edilmesi durumunda çok daha fazla ağırlık avantajı elde edilecek daha optimize tasarımlar yapılabileceğini ifade etmiştir.



Şekil 1.10 Dizayn optimizasyon akış şeması [4]

[5] çalışmasında; Aksonun araçta değişken zamanlı birçok yüke maruz kalmasından dolayı yorulma ömrünü çelik dövme, demir döküm ve alüminyum döküm gibi 3 farklı imalat yöntemiyle elde edilmesini gözeterek karşılaştırmalı olarak incelemiştir. Çalışmada dövme akson baz alınarak diğer yöntemlerle elde edilen sonuçlar bu referansa göre değerlendirilmiştir. Bu kapsamda 3 farklı yöntemle elde edilen parçalardan öncelikle çekme ve kopma değerlerini çıkarmak için numuneler çıkarılmış ve ilgili değerler elde edilmiştir. Yapılan parça seviyesi rig testleri sonucunda ise dövme parçanın alüminyum ve demir döküme göre 2 kat daha iyi yorulma dayanımına sahip olduğu gözlemlenmiştir.

1.2 Tezin Amacı

Bu tezin amacı günümüzde kullanılan orta ticari araçlarda yük taşıma kapasitesini artırmak ve yayılanmayan kütle miktarını azaltarak araç sürüş dinamiklerini iyileştirmek adına süspansiyon sisteminin en kritik parçalarından birisi olan aksonun konvansiyonel olarak dökme demir malzemeden kum kalıba döküm yöntemiyle üretilmektense, alüminyum alaşımlarından alçak basınçlı döküm yöntemiyle üretilirliği ve yerine kullanılabilirliğinin araştırılmasıdır. Bu kapsamda öncelikle aynı yükleme koşulları altında çalışabilecek ve aynı zamanda her iki farklı döküm yöntemine uygun olacak şekilde akson tasarımı yapılmıştır.

Yapılan tasarımın belirtilen döküm yöntemlerine uygun olduğu döküm analizleri ile valide edildikten sonra karşılaştırmalı olarak benzer yükleme koşullarında farklı malzemelerin yapısal olarak nasıl performans gösterdiği hem dayanım hem de yorulma analizleri incelenerek ortaya konulmuştur.

1.3 Hipotez

Orta ticari araçlarda konvansiyonel olarak dökme demirden kum kalıba döküm yöntemiyle elde edilen akson yerine daha hafif ve optimize olacak şekilde aynı parça alüminyum alaşımlarından alçak basınçlı döküm yöntemiyle elde edilerek aynı yükleme koşulları altında herhangi bir yapısal problem yaşanmadan kullanılabilir.

TİCARİ ARAÇ KAVRAMI VE ÖN SÜSPANSİYON SİSTEMİ

2.1 Ticari Araç Kavramı

Kısaca yük, eşya ve yolcu taşımak amacıyla özel olarak üretilen ve kullanılan araçlara “Ticari Araç” adı verilmektedir. Bu araçlar azami yüklü ağırlıklarına göre hafif, orta ve ağır olmak üzere sınıflandırılırlar. Ülkelerin standartlarına göre bu sınıflandırma değişiklik gösterebilmektedir.

Ülkemizde göz önünde bulundurulan sınıflandırmaya göre azami yüklü ağırlığı 3.5 tonu geçmeyen araçlar hafif ticari araç olarak adlandırılmaktadır. Bu grupta yer alan bazı marka modeller: Ford Transit Courier, VW Caddy, Fiat Fiorino, Peugeot Rifter, vb.

Azami yüklü ağırlığı 3.5 ton ve genellikle 5.5 ton arasında yer alan araçlar ise orta sınıf ticari araç olarak adlandırılmaktadır. Bu çalışmada değerlendirilen araç grubu da bu sınıfa girmektedir. Bazı örnekler: Ford Transit, VW Crafter, Mercedes Sprinter, Fiat Ducato, Peugeot Boxer

Daha yüksek azami yüklü ağırlıklara sahip otobüs, kamyon, çekici gibi araçlar ise ağır ticari araç olarak nitelendirilmektedir.

Orta sınıf ticari araçlar kullanım amacına uygun olacak şekilde kamyonet, minibüs olarak tanımlanabilir. Ticari araçların düşük yakıt sarfiyatına ve bakım maliyetlerine sahip olması pazarda rekabetçi bir konumda kalması açısından oldukça önem taşımaktadır. Günümüzde her gün artan yüksek müşteri memnuniyeti isteği doğrultusunda ticari araçların sürüş dinamikleri anlamında da iyi bir performans göstermesi gerekliliği kaçınılmaz bir gerçek olmuştur.

Ticari araçların otomobil olarak tabir edilen binek araçlardan bazı farklılıkları mevcuttur. [6]

- Ticari araçların muayene süreleri binek araçlardan farklı olarak 1 yıldır.
- Hız sınırları binek araçlara göre daha düşüktür.
- İzin verilen alkol promil miktarı sıfırdır.
- Köprü ve otoyol geçişlerinde ödenen ücret daha fazladır.
- Binek araçların girdiği her yola girme hakkı olmayabilir.
- Yıllık vergi miktarları binek araca göre daha düşüktür.



Şekil 2.1 Hafif ve orta ticari araç örnekleri [6]

2.2 Ön Süspansiyon Sistemi ve Elemanları

Motorlu araçlar için hayati derecede öneme sahip şasi sisteminin bir alt grubu olan süspansiyon sistemi, aracın gövdesi ve tekerlekler arasında yer alan amortisör, yay, viraj denge çubuğu, burç gibi yük altında hareket değişimi gösteren ve ilgili araç dinamiği isterlerine göre ayarlanabilen parçalardan meydana gelir. Aynı şekilde poyra, akson, salıncak kolu, travers ya da motor beşiği olarak adlandırılan parçalarda yine süspansiyon sisteminde yer alan yapısal diğer parçalardır.

Süspansiyon sisteminin temel görevi yoldan kaynaklanan titreşimleri sönmölemek, aynı zamanda lastiklerin sürekli yol ile temas halinde kalmasını sağlayarak güvenli bir sürüş sağlamaktır.

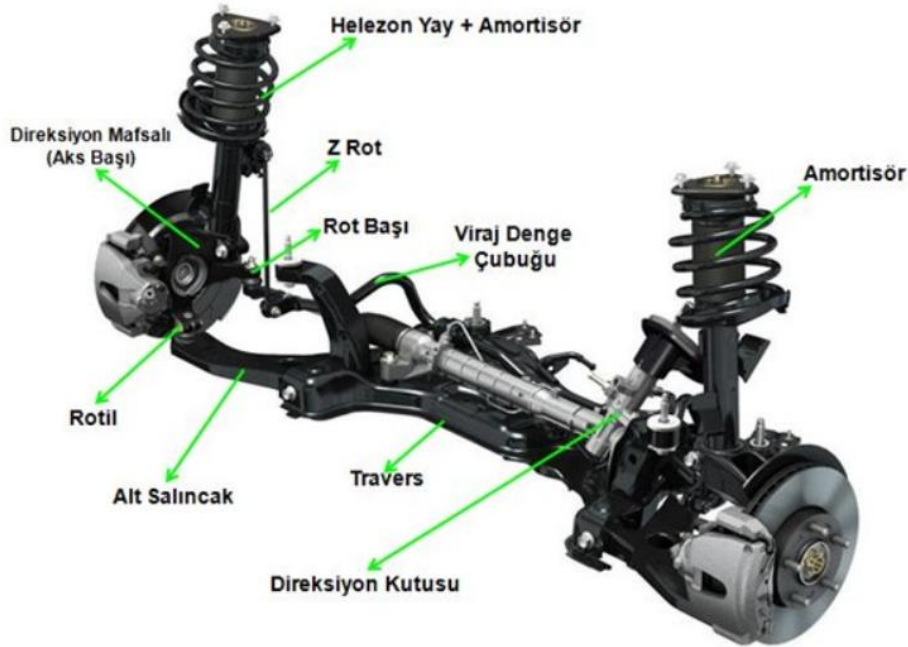
Bunların yanı sıra iyi bir sürüş dinamiği ve yol tutuş performansı sağlamak, viraj dönme esnasında direksiyon kontrolü sağlamak ve yoldan gelen yüksek frekansları absorbe ederek aracın kararlılığını sağlamak yine süspansiyon sisteminin görevleri arasındadır.

Süspansiyon sistemi temelde sabit (askı) ve serbest olmak üzere ikiye ayrılır. Bu farklılık sahip olunan askı sisteminden ileri gelmektedir.

Sabit süspansiyonda sağ ve sol tekerlekler birbirine rijit bir aks ile bağlıdır. Bu durumda araç yolda giderken sağ tekerin girdiği bir çukur veya üzerinden geçtiği bir tümsekten dolayı lastikten gelen sarsıntı bu aks vasıtasıyla sol teker üzerine aktarılır. Bu da aracın toplam konforuna negatif yönde bir etki yapar. Bu yüzden daha eski olan bu tip sabit sistemler yük taşıyan ve konforun daha arka planda olduğu ağır ticari araçlarda kullanılır.

Serbest süspansiyon sisteminde ise birbirinden bağımsız hareket eden sağ ve sol tekerlek vardır. Yani sağ veya sol tekerin yoldan aldığı bir darbe diğer tekerleğe aktarılmaz. Bu durum yüksek hareket kabiliyeti sağlayarak hem daha güvenli bir sürüş hem de yüksek konfor sunar.

Günümüzde artan müşteri talepleri doğrultusunda daha pahalı ve kompleks yapıda olan ama çok daha iyi seviyelerde konfor ve yol tutuş sunabilen elektrik kontrollü havalı süspansiyon sistemleri de mevcuttur.



Şekil 2.2 McPherson ön süspansiyon sistemi ve elemanları [7]

Süspansiyon sistemini oluşturan bazı parçaların görevleri kısaca aşağıdaki gibidir;

Yaylar: Tekerlek grubu harici aracın tüm yükünü taşıyan, yol tutuş ve konfor derecesini belirleyen ve McPherson ön süspansiyon sisteminde amortisör ile birlikte kullanılan parçalardır.

Amortisör: Aracın yol ile sürekli temasını sağlayan ve yoldan gelen ani yükleri sönümleyip konfor ve sürüş güvenliği sağlayan parçadır. Yine ön süspansiyon sisteminde aracın ağırlığını tek başına taşıyamadığından dolayı yay ile birlikte kullanılır.

Salıncak Kolu: Genellikle alüminyum dövme veya kaynaklı saclardan oluşan bu parçanın görevi araç gövdesine göre tekerlek grubunun süspansiyon hareketlerine izin vermek ve aynı zamanda dönüş esnasında gelen eksenel kuvvetleri karşılamaktır.

Burçlar: Salıncak kolunun travers ve dolayısıyla araç gövdesine bağlandığı bölgelerde temas ve dinamik hareketten kaynaklı aşınma ve bu aşınma esnasında ortaya çıkabilecek sesi engellemek adına kullanılan, aracın yol tutuş ve manevra kabiliyetini etkileyen kauçuk parçalardır.

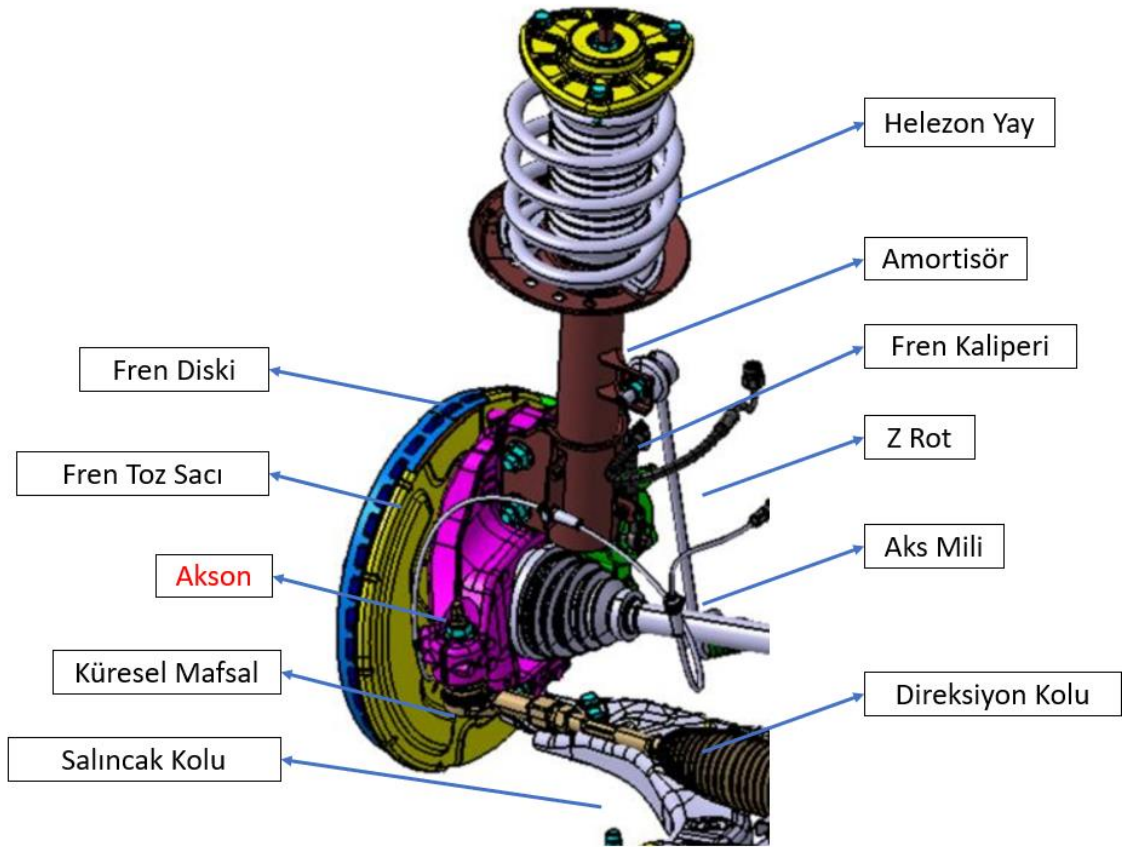
Viraj Denge Çubuğu: Aracın viraj dönme esnasında tekerleklerin yol ile temasta kalmasını sağlayarak güvenli bir dönüş yapılmasına olanak sağlar.

McPherson süspansiyon sisteminin en önemli yapısal parçası bu çalışmanın da konusu olan akson parçasıdır. Aksonlar süspansiyon sisteminde ana taşıyıcı parça olarak görev yapar. Direksiyon kolu, fren kaliperi, poyra, fren diski, salıncak kolu, fren toz sacı, fren ABS sensörü ve amortisör-yay grubu aksona bağlanan diğer parçalardır. Akson tüm bu parçalara doğrudan, lastik ve jantlara ise dolaylı olarak yataklık yapar. Araç gövdesinden gelen yükler amortisör-yay grubu vasıtasıyla akson üzerine akar. Yine benzer şekilde yoldan gelen anlık yüksek yükler de tekerlek vasıtasıyla aksona aktarılır. [8]

Bu parça binek, hafif ve orta ticari araçlarda genellikle döküm yöntemiyle üretilir. Daha yüksek yüke maruz kalınan ağır ticari araçlarda ise yüksek mukavemet ve dayanım gerekliliği sebebiyle çelik dövme yöntemiyle üretilir. Günümüzde daha

çok üst sınıf binek araçlarda alüminyum döküm ile elde edilir, daha yaygın olan üretim yöntemi ise fiyat avantajından dolayı demir dökümdür.

Akson aracın gövdesi ile tekerlek grubu arasında salınım hareketi yapan süspansiyon parçaları arasında yer almaz. Tekerlek grubunun direk içinde yer alan bir parça olduğundan dolayı bu parçada yapılan ağırlık optimizasyonu aracın yaylanmayan kütesini de düşüreceğinden daha iyi bir sürüş dinamiği elde edilmesini sağlar.



Şekil 2.3 Aksın ve aksa bağlı parçalar

2.3 Yaylanmayan Kütle Tanımı

Araçlarda yaylanan ve yaylanmayan olarak 2 farklı kütleden bahsetmek mümkündür.

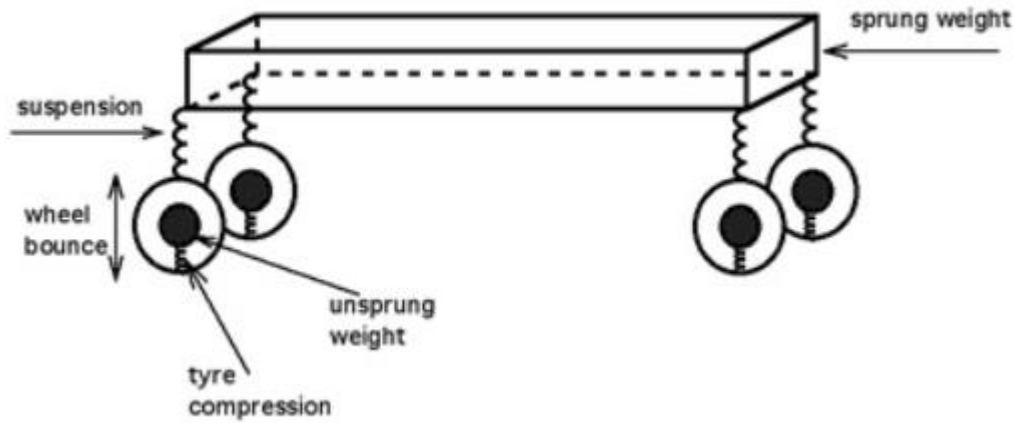
Yaylanan kütle, aracın gövdesi, motoru, güç aktarma organları gibi süspansiyon sisteminin taşıdığı yükler oluşturur. Yaylanmayan kütle denildiği zaman tekerlek grubunu oluşturan süspansiyon sisteminin desteklemediği parçalardan (tekerlek,

jant, fren diski, kaliper, poyra, akson) bahsedilir. Bununla birlikte aks, salıncak kolları, linkler, yay ve amortisör aracın dinamik hareketlerinde aktif olarak hareket ettiğinden yarı yaylanan parçalar olarak kabul edilir.

Sürüş konforunun yüksek olması için yaylanan kütlenin yaylanmayan kütleyle oranının yüksek olması gerekir. Bu durumda tekerlekler yolu çok daha iyi kavrayarak yol tutuşu artırır. Bu oranın yüksek olması için yaylanmayan kütlenin mümkün olduğu kadar düşük tutulması önemlidir.

Yaylanmayan kütlenin düşürülmesi ile birlikte yoldaki tümsek, bozukluk ve her türlü diğer parametrelerden kaynaklanan titreşim ve etkiler daha düşük yay ve amortisör hareketleri ile çok daha kısa sürede sönümlenir. Bu durumda ilgili parçaların bu hareketleri absorbe etmesi için harcadığı enerji ve dolayısıyla özellikle hidrolik sistem mantığında çalışan amortisörlerin ısınması daha az olur.

Yaylanmayan kütlenin azaltılmasının bir diğer olumlu etkisi de tekerlek grubunda yer alan parçaların atalet momentinin de azalmasıyla birlikte daha iyi bir ivmelenme ve frenleme performansı elde edilmesidir. Yani bu durum özellikle elektrikli araçlarda elektrik motorunun aracı hızlandırması için tekerlek grubunda yenmesi gereken atalet kuvvetlerinin düşmesi anlamına gelir.

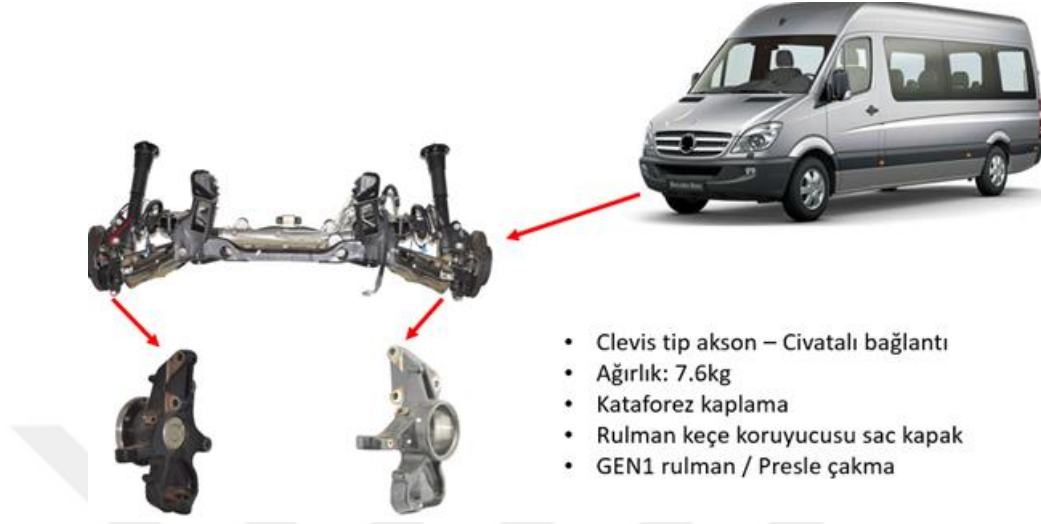


Şekil 2.4 Yaylanmayan kütle tanımı [10]

2.4 Benchmark – Ticari Araçlarda Kullanılan Bazı Akson Örnekleri

Orta sınıf ticari araçlarda yapılan benchmark çalışması kapsamında bazı araçlarda kullanılan akson tasarımı ve özellikleri aşağıda verilmiştir.

Benchmark-1 modelinde kullanılan aksonun konvansiyonel yöntem olan kum kalıba döküm yöntemiyle dökme demir malzemedan elde edilmiş olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 2.5 Benchmark-1 akson detayları

Benchmark-2 modelinde kullanılan aksonun yine konvansiyonel yöntem olan kum kalıba döküm yöntemiyle dökme demir malzemedan elde edilmiş olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 2.6 Benchmark-2 akson detayları

Benchmark-3 modelinde yine kullanılan aksonun konvansiyonel yöntem olan kum kalıba döküm yöntemiyle dökme demir malzemedan elde edilmiş olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 2.7 Benchmark-3 akson detayları

Benchmark-4 modelinde de üstteki araçlarla benzer döküm yöntemi ve malzeme kullanılmıştır.

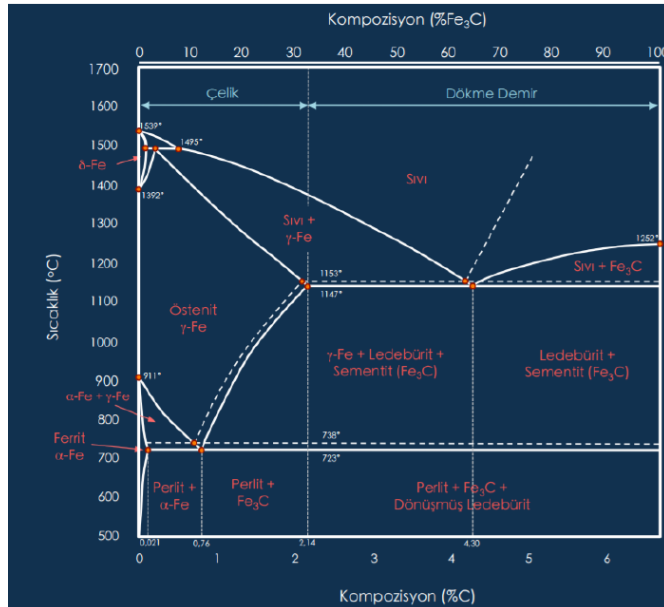


Şekil 2.8 Benchmark-4 akson detayları

DEMİR DÖKÜM AKSON TASARIMI VE DÖKÜM ANALİZLERİ

3.1 Dökme Demir Özellikleri

Yapısında %2.11 ile %6.67 oranında C bulunan Fe-C alaşımlarına dökme demir adı verilir. Endüstride kullanılan dökme demirler genellikle yapılarında %4 oranında C ve %3.5'a kadar Si içermesinden dolayı Fe-C-Si alaşımı olarak da tanımlanmaktadır. Bu alaşımlarda süneklik değeri düşük olduğundan şekillendirilebilirlik zayıftır ama öte yandan kolayca ergilitebilme ve karmaşık geometrili parçaların imalatında kullanıldığından döküm yöntemine oldukça uygundur ve bundan dolayıdır ki endüstride dökme demir olarak adlandırılmaktadırlar. Dökme demir malzeme çeliklerden daha düşük mukavemet özellikleri gösterir ama aynı zamanda daha ekonomiktir. Ayrıca uygun alaşımlandırma ve ısıt işlemlerde çok geniş bir mukavemet bandına sahip olmaları mümkündür.



- Sıvı faz
- Grafit
- Sementit
- Ferrit
- Perlit
- Steadit
- Ostenit
- Ledaburite

Şekil 3.1 Dökme demirin yapı bileşenleri [11]

Dökme demirlerin genel özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir; [11]

- Oldukça yüksek aşınma ve korozyon dayanımı
- Yüksek titreşim absorbe etme yeteneği
- Düşük ergime sıcaklığı (1150 °C - 1500 °C)
- Yüksek döküm ve kalıbın şeklini alma kabiliyeti
- Yüksek talaşlı imalat ile işlenebilme yeteneği
- Yüksek mukavemet/ağırlık oranı
- Isıl işleme yatkınlık
- Düşük ergitme ve döküm maliyeti
- Basma mukavemetinin yüksek olması

Dökme demirler sıvı metalin katılaşması esnasında bileşikte bulunan karbonun yapıdan ayrışarak oluşturduğu grafitin şekilsel yapısına göre sınıflandırılırlar. Bu şekilsel farklılıklara sebep olan etmenler başlıca; alaşımda bulunan C içeriği, katılaşma sırası ve sonrasındaki soğuma hızı ve döküm işleminden sonra uygulanan ısı işlemi olarak sıralanabilir. [11]

Lamel Grafitli (Gri) Dökme Demirler: Katılaşma sonunda karbonun katmanlı bir grafit yapısı oluşturduğu dökme demir çeşididir. Genellikle %2.5 ile %4 arasında C içerirler. Endüstride en çok kullanılan dökme demirlerdendir. Grafit-ferrit karışımında bir mikroyapıya sahip olduğunda düşük mukavemet özellikleri gösterirler. Yapıdaki C miktarı artırılarak mekanik özellikleri ve sertlik değerini artırmak mümkündür. Gri dökme demirlerin en önemli özellikleri çok yüksek titreşim sönümleme kapasitesine sahip olmaları ve yüksek mukavemet özellikleri göstermeleridir. Bu malzeme aynı zamanda oksijen ve kükürtün alaşım içerisinde diğer alaşımlara göre nispeten daha fazla olduğu bundan dolayı da yüksek ısıl iletkenlik sayesinde katılaşma esnasında çekintiden kaynaklı boşlukların görülmediği malzemedir.

Küresel Grafitli Dökme Demirler: Karbonun yuvarlak grafit küreleri şeklinde görüldüğü bu tez çalışmasının da konusu olan (EN GJS 450-12) dökme demir malzemedir. Grafit şeklinin lamel yerine küre şeklinde olması mukavemet özelliklerini ve sünekliği ciddi bir şekilde artırır. Grafitlerin lamel yerine küre şeklinde olması döküm öncesinde ergiyik metale Mg veya Ce aşılması ile olur.

Grafitler lamel şeklinde olduğu zaman parça herhangi bir şekilde gerilim yüklemesine maruz kalırsa çatlak oluşumu başlar ama grafitler yuvarlak olduğunda bu problem ortadan kalkmış olur. Ayrıca grafitlerin küresel olarak ayrışabilmesi için ergiyik metal içerisinde O_2 ve S değerinin belli bir değerin altında olması gerekmektedir.

Beyaz Dökme Demirler: Sıvı Fe ergiyiği içerisinde karbonun tamamen çözünmesi ve katılaşma esnasında ayrışamaması durumunda ortaya çıkan oldukça kırılgan bir yapıya sahip dökme demir çeşididir.

Temper Dökme Demirler: Beyaz dökme demirin ısıtılarak yapıda tamamen çözünmüş halde bulunan karbonun ayrılarak grafitte dönüşmesi ile elde edilen dökme demirdir. Bu yapı mikroskopta incelendiğinde karbonun bozuk küreler şeklinde belli bölgelerde kümelenmiş olduğu gözlemlenir.

Tablo 3.1 Dökme demir çeşitlerinin karşılaştırması [12]

Özellik	Gri Dökme Demir	Beyaz Dökme Demir	Küresel Grafitli Dökme Demir	Temper Dökme Demir
Mukavemet/Ağırlık Oranı	V	-	I	IV
Talaşlı İmalata Yatkınlık	I	-	II	II
Üretim Maliyeti	I	I	II	III
Korozyon Direnci	I	II	I	II
Dökülebilirlik	I	III	I	II
Titreşim Sönümlleme Kabiliyeti	I	IV	II	II
Aşınma Direnci	III	I	II	II

*V: En Kötü / I: En İyi

Küresel grafitli dökme demirlerde bazı alaşım elementlerinin malzemeye olan etkisi aşağıdaki gibi sıralanabilir. [11]

Karbon: Ergiyik içerisinde yüksek oranda olması iyi çekme dayanımı ve süneklik sağlar. Aynı zamanda Mg aşılması ile birlikte yapıda bulunacak küre sayısını artırarak mukavemeti artırır.

Silisyum: Grafit yapıcı bir özelliği olduğundan dolayı yapıdan C miktarının azalmasına ve böylece ferritik bir yapı elde edilmesini sağlar. Darbeye dayanıklılık konusunda olumlu katkı sağlar.

Magnezyum: Düşük miktarlarda kullanılması küreselleşmenin tam olarak oluşmasını sağlar.

Kükürt: Ergiyik içerisinde Mg-S bileşimini oluşturur. Mg-S grafit oluşumunu engelleyeceğinden S değerinin yapıda %0.03'den daha düşük olması gerekmektedir.

Bakır: Yapıya yaklaşık %1 oranında eklenmesi tamamıyla perlitik bir yapı elde edilmesini sağlar.

Vanadyum: Kuvvetli bir karbür yapıcı olmasından dolayı çekme dayanımı ve sünekliğin azalmasına yol açar.

Bu çalışma kapsamında tasarlanacak olan demir döküm akson malzemesi olarak benchmark çalışmalarında da benzer kullanımı görülen küresel grafitli dökme demir malzemesi olan EN GJS 450-12 kullanılmıştır.

Bu malzeme kullanılarak tasarlanan bir dökme demir aksondan beklenen mekanik özelliklerin, kimyasal kompozisyonun ve mikroyapının detayları aşağıdaki gibidir.

Tablo 3.2 EN GJS 450-12 Dökme demir mekanik özellikleri

Özellik	Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Dayanımı (MPa)	Uzama (%)	Çentik Darbe Dayanımı (J° ve C°)	Sertlik (HB)
EN GJS 450-12	450	310	Min 10	Min 70J°/ -30 C°	160-210

Tablo 3.3 EN GJS 450-12 Dökme demir kimyasal kompozisyon

Özellik	C (%)	Si (%)	Mn (%)	Mg (%)	P (%)	S (%)
EN GJS 450-12	3.2	1.8	0.1	0.025	0.05	0.035
	4.1	3.0	1.0	0.06	Max	Max

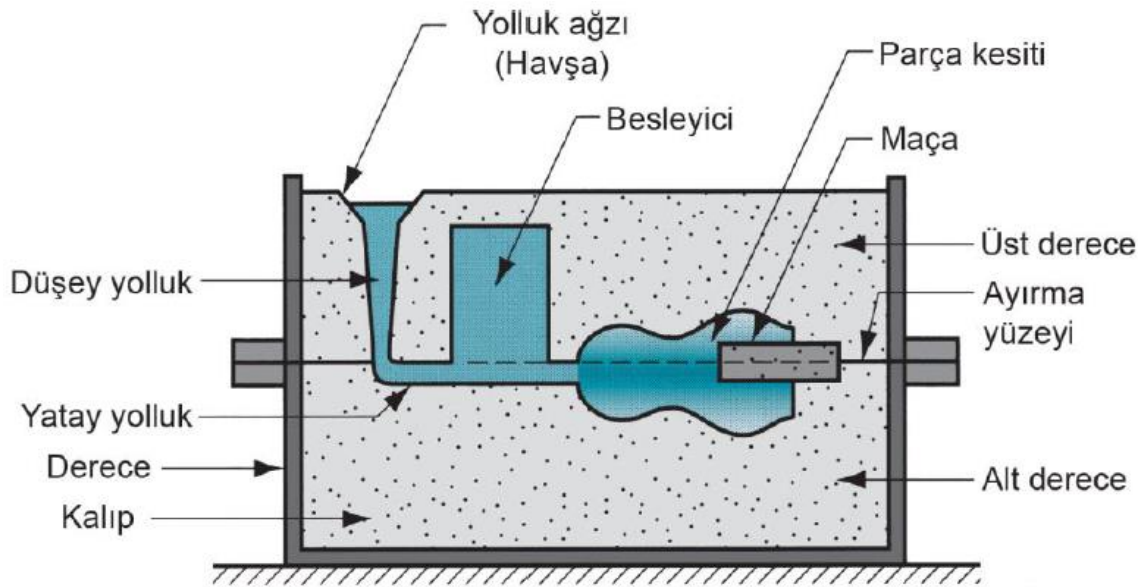
Tablo 3.4 EN GJS 450-12 Dökme demir mikroyapı beklentileri

Özellik	Grafit Formu	Nodül Sayısı (Nodül/mm2)	Grafit Dağılımı	Nodülarite Oranı	Perlit Oranı	Sementit Oranı
EN GJS 450-12	Tip 5-6 > %80 4-8 Nodül	Min 200 Nodül	Homojen	% 80 Min	%25 Max	%0

3.2 Kum Kalıba Döküm Yöntemi

Harcanan kalıp kullanılan döküm yöntemlerinden biri olan kum kalıba döküm yöntemi bilinen en eski ve aynı zamanda en yaygın kullanım alanına sahip yöntemdir. Bu döküm yönteminde kullanılacak ergiyik metal çeşidi, parça geometrisi ve boyutları, üretim miktarı oldukça geniştir.

Yöntem temelinde üretilmek istenen parçanın birebir ölçeğinde yapılan modelin bir kalıp içerisinde kum ile sıkıştırılarak elde edilen kalıp boşluğu içerisine ergiyik metalin yolluk adı verilen yapılar vasıtasıyla doldurularak sonrasında katılaşması ile parça eldesi mantığına dayanmaktadır.



Şekil 3.2 Kum kalıba döküm kesit [13]

Yolluk Sistemi: Ergiyik metalin kalıp içerisinde oluşturulan boşluğu doldurmasını sağlayan kanalların tümüne birden verilen isimdir. Bu kanallar parça geometrisine bağlı olarak yatay veya düşey olarak konumlandırılabilir.

Besleyici ve Çıkıcılar: Metal ergiyiğin kalıp boşluğunu doldurması esnasında kalıp içerisinde bulunan ve oluşan gazların kalıptan çıkmasını için açılan kanallara çıkıcı adı verilir. Ergiyik kalıp boşluğu içerisine dolarken içeride bulunan gazlar daha küçük bir hacim içerisine sıkışmaya zorlanır eğer çıkıcılar vasıtasıyla bu gazlar kalıp içerisinde uzaklaştırılmazsa istenmeyen döküm hataları gözlemlenebilir.

Aynı zamanda yine çıkıcılar vasıtasıyla ergiyiğin kalıp boşluğunu ne kadar doldurduğu döküm esnasında takip edilebilir.

Besleyiciler ise kalıp boşluğuna dolan ergiyik metalin soğuması ile birlikte katılaşması esnasında hacimlerinin küçülmesinden dolayı çöküntü adı verilen boşlukların oluşmaması için kalıp içerisine uygun yerlere konumlandırılan ve yerleştirildiği bölgede soğuma esnasında katılaşmayı geciktiren yapılardır.

Model Yapımı: Elde edilmek istenen parça boyutlarında, malzemeye, geometriye ve ergime sıcaklığına bağlı olarak bazı durumlarda ahşap bazı durumlarda ise metalden yapılan, tek veya çok parçalı olabilen sıvı ergiyiğin dolduracağı kalıp boşluğunu oluşturan yapılara model adı verilmektedir.

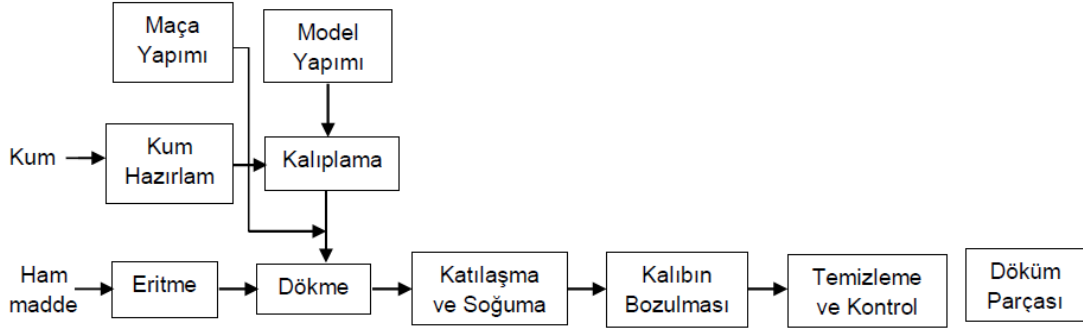
Model yapımı esnasında işleme payının bırakılması, çekme payının hesaba katılması, çıkma açıları (modelin konikliği) ve çarpılma payı gözönünde bulundurulması gereken en önemli parametrelerdir.

Kalıplama Kumı: Derece içerisinde modelin ilgili kalıp boşluğunu oluşturmaya olanak sağlayan bu kumlar genellikle silis, kil su ve diğer katkı maddelerinden meydana gelir. En yaygın kullanıma sahip olan yaş kum kalıplamadır. Kumlar (Silis) kalıplamanın ana yapısını oluştururken kil ve su, kum taneciklerinin bir arada durması için bağlayıcı bir görev üstlenir.

Döküm işleminin sorunsuz bir şekilde yapılabilmesi ve elde edilecek parçanın istenen kalite beklentilerini sağlayabilmesi için kalıplama kumunun mukavemet, gaz geçirme kabiliyeti, tekrar kullanılabilme, sıcaklığa dayanıklılık, ekonomik olma gibi parametrelerde üstün özelliklere sahip olması gerekmektedir.

Maça: Dökülecek parçanın geometrisinde bir boşluk veya delik çıkması gereken yerler varsa bunların elde edilebilmesi için kalıplanmış iç boşluğa ilgili geometri ve boyutlarda konulan ve döküm işlemi ile ergiyik metalin sıcaklığı ile eriyen genellikle özel bir kumdan yapılan parçalara maça adı verilir.

Maçalar aynı zamanda kalıbın ince kesitlerini güçlendirmek, kalıplama zorluğu yaşanan karmaşık geometrili bölgeleri elde etmek için de kullanılır. [13]



Şekil 3.3 Kum kalıba döküm işlemi üretim aşamaları [13]

3.3 Akson Tasarımı

Daha önce belirtildiği üzere akson, araç üzerindeki konumu ve fonksiyonu itibarıyla süspansiyon sisteminin en kritik yapısal parçalarından birisidir. Bu yüzden otomotiv sektöründe yeni bir proje veya parça geliştirmesi yapılırken izlenmesi gereken tüm ürün geliştirme aşamalarının başarılı bir şekilde uygulandığından, seri imalat esnasında bir problem yaşamamak adına emin olunması gerekir.

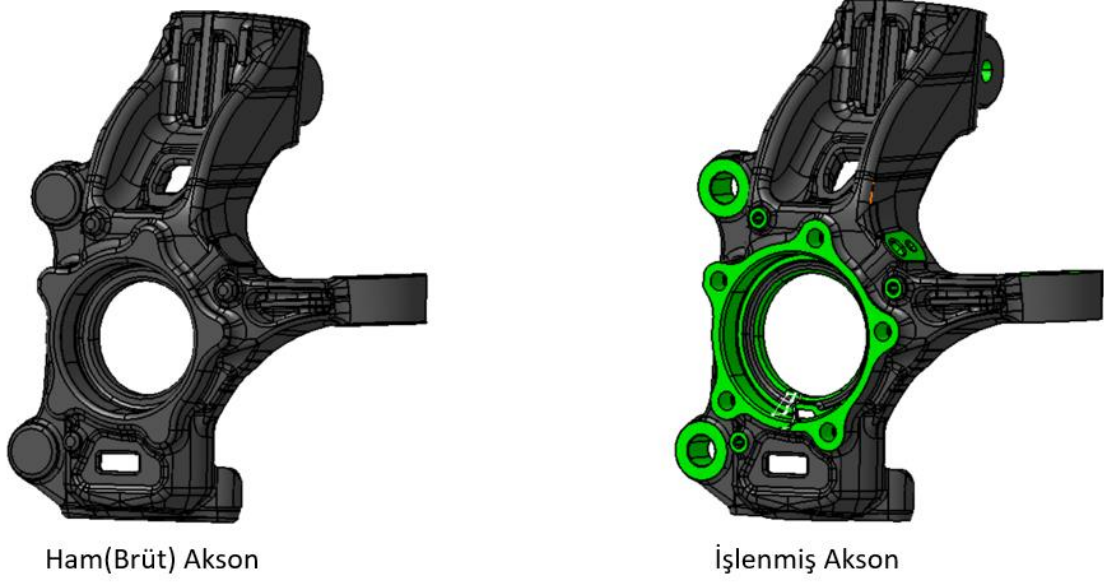
Bu süreçler sırasıyla kabaca sayılmak istenirse;

1. Müşteri klinik çalışmaları ile hangi segmentte nasıl bir araç (SUV, Sedan, HB vs.) ile pazara girileceğinin belirlenmesi,
2. İlgili segment belirlendikten sonra o segmentte halihazırda piyasada olan rakip araçların belirlenmesi,
3. Rakip araçlardan subjektif/objektif sürüş ve data toplama çalışmalarının yapılması,
4. Araç mühendisliği bünyesinde yer alan sürüş dinamiği, akustik ve ses yalıtımı, yapısal dayanım, korozyon, güvenlik gibi özelliklerde araç seviyesi hedeflerin belirlenmesi,
5. Belirlenen araç seviyesi hedeflerin önce şasi sistem seviyesine sonrasında ise komponent seviyesine (akson) indirgenmesi,
6. Aracın dinamik modelinin sanal ortamda kurulması ve süspansiyon kritik bağlantı noktalarının belirlenmesi

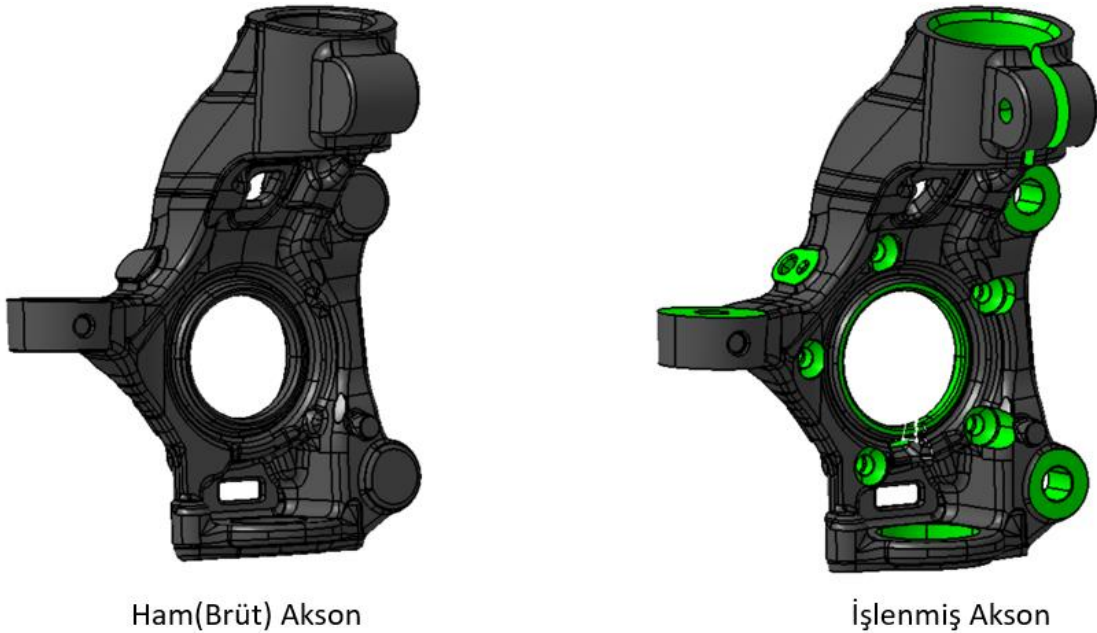
7. Bağlantı noktalarının belirlenmesinin ardından aksondan beklenen dayanım, rijitlik, korozyon hedeflerinin netleştirilmesi,
8. Aksonun tasarlanacağı paket sınır koşullarının belirlenmesi,
9. Akson tasarım kurallarına ve daha önceden belirlenen hedeflere uygun olarak tasarımın yapılması,
10. Yapılan tasarımın aksonu üretecek imalatçı tarafından kalıp ve proses fizibilitesi açısından ilgili üretim yöntemi dikkate alınarak incelenmesi,
11. İmalatçıdan gelen geri dönüşlere göre gerekiyorsa tasarımın güncellenmesi,
12. Üretim fizibilitesi tamamlanan tasarımın sonlu elemanlar analizlerine göre yapısal olarak doğrulanması,
13. Sonlu elemanlar ile doğrulanmış tasarıma ait prototip kalıbın imalatçıya yaptırılması,
14. Prototip kalıptan çıkan parçalarla komponent ve sistem seviyesi yapısal dayanım testlerinin tamamlanması,
15. Araç seviyesi yapısal, güvenlik, çarpışma, korozyon ve sürüş dinamiği testlerinin tamamlanması,
16. Testlerin başarılı bir şekilde tamamlanmasının ardından imalatçıya seri kalıp yaptırılması,
17. Seri kalıptan çıkan parçalarla imalatçının prosesini doğrulamak adına tüm komponent, sistem ve araç seviyesi testlerin tekrarlanması,
18. Aksonun teknik resminde yer alan kritik ölçülerinin hangi sıklıkla ve hangi ölçüm aleti ile nasıl ölçülmesi gerektiğinin belirlenmesi,
19. İmalatçı tarafından kritik ölçülerin yetenek çalışmasının tamamlanması,
20. Parçanın hem tasarım hem de proses uygunluğunun teyit edilmesi,
21. İmalatçının seri imalatla sorunsuz bir şekilde aksonu tedarik edeceğinin pilot çalışmasının kapasite ve paketleme perspektifinde yapılması,
22. Seri imalat devreye girişi.

Bu tez çalışmasında daha çok 6'dan 12'ye kadar olan adımların detaylarından bahsedilmiştir.

Kum kalıba döküm yöntemiyle, belirlenen paket alanına ve araç mühendisliğinin yapısal dayanım, çarpışma güvenliği, gürültü, yol tutuş ve konfor hedeflerine uygun olacak şekilde aşağıda farklı açılardan gösterilen akson tasarımı CATIA V5 tasarım oluşturma programı yardımıyla gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.4 Dökme demir akson perspektif görünüm (Ön)



Şekil 3.5 Dökme demir akson perspektif görünüm (Arka)

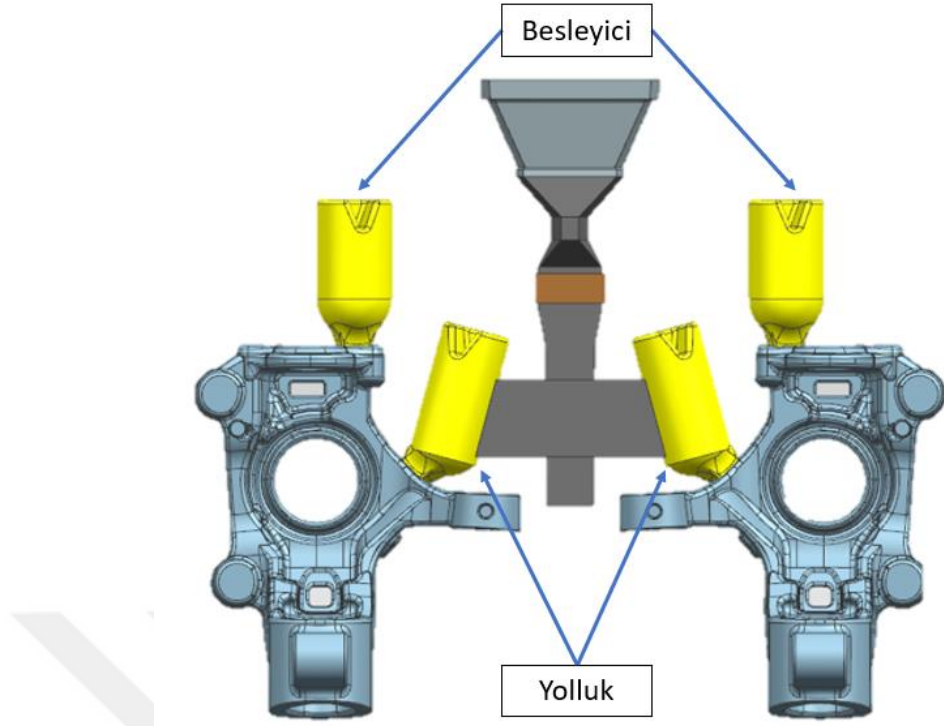
Tablo 3.5 Dökme demir akson tasarım detayları

Özellik	Malzeme	Ağırlık (Kg) İşlenmiş	Dizayn Tip	Rulman Bağlantısı	Kaplama
Demir Döküm Akson	EN GJS 450-12	6.03	Pinch (Amortis örün civata kuvveti ile tutulduğ u)	GEN3 (Civatalı Bağlantı)	CTL (Kataforez)

3.4 Döküm Analizleri

Akson tasarımı yapıldıktan sonra yapılan tasarımın ilgili döküm yöntemine uygun olup olmadığı kontrol etmek ve gerekiyorsa kalıp yapımı öncesinde tasarımı düzeltmek/optimize etmek için dolum ve katılma analizlerinin yapılması gerekmektedir. Bu tez çalışmasında ilgili simülasyon analizleri MAGMASOFT 5.4 yazılımı desteğiyle yapılmıştır. İlgili döküm analizlerinin nasıl yapıldığı ile ilgili genel bilgiler benzer şekilde yapıldığından dolayı alüminyum akson döküm analizleri kısmında detaylı şekilde verilecektir.

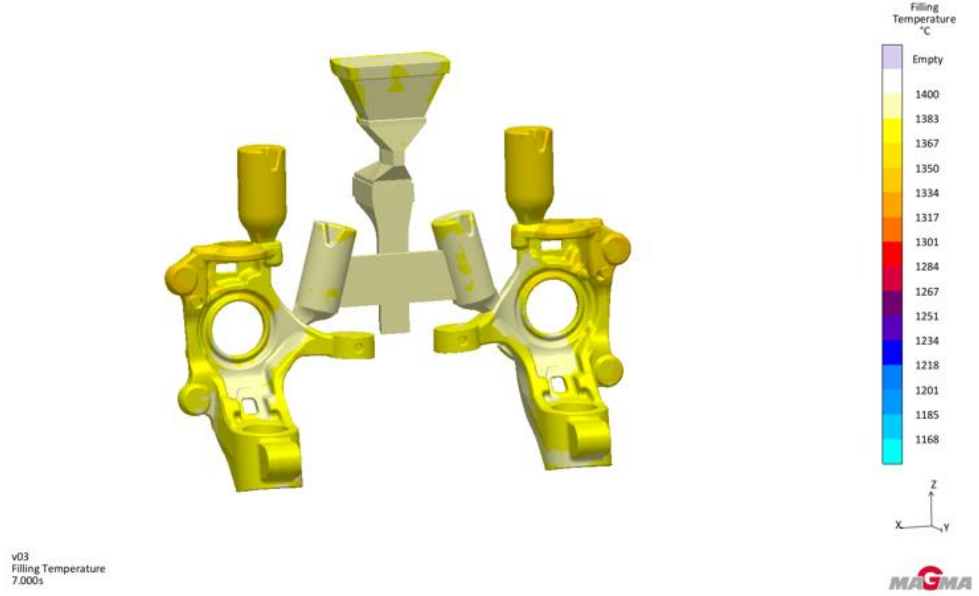
Sağ ve sol akson simetrik dizayna sahip olduğundan dolayı tek kalıptan aynı anda sağ ve sol parça elde edilecek şekilde kalıp tasarımı yapılmıştır. Aynı zamanda yolluk ve besleyicilerin konumları da en uygun dolum ve katılma sonuçlarını almak üzere belirlenmiştir. Yolluk konumu belirlendikten sonra besleyicilerin kalıbın hangi bölgelerine konulması gerektiğine parçanın en son katılma bölgelerini gösteren döküm analizi yapıldıktan sonra karar verilir.



Şekil 3.6 Dökme demir akson kalıp besleyici ve yolluk konumları

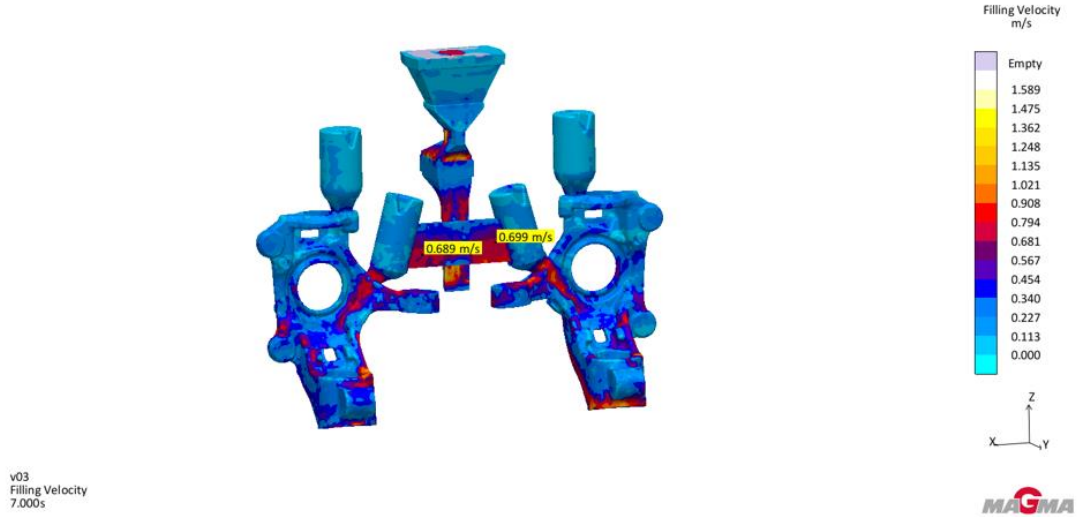
3.4.1 Dolum Sıcaklığı ve Hızı

Dolum sıcaklığı analizinde ergiyik madenin kalıp boşluğu içerisindeki ilerleyişi esnasındaki sıcaklık değişimleri incelenir. Bu değişimler genel olarak ilgili malzemenin ya da alaşımın katılaşma ve sıvılaşma sıcaklık referansları dikkate alınarak gözlemlenir. Yine bu noktada daha önce farklı tasarım ve malzemelerin analizi yapılarak elde edilmiş olan tecrübe ile dolum esnasında ergiyik madenin belli bir sıcaklık değerinin altına düşmemesi beklenir. Kalıp içerisinde istenmeyen derecede düşük sıcaklıklar soğuk birleşme gibi dolum problemlerine sebep olabilmektedir. İlgili kalıp boşluğu doldurma işleminin uygun bir şekilde gerçekleşebilmesi için ergiyik madenin katı-sıvı aralığı olan 1150 °C - 1200 °C 'nin altına mümkün olduğunca düşmemesi hedeflenir. Aşağıda detayları da görülebileceği üzere mevcut akson tasarımı ile yapılan dolum sıcaklığı analizinde dolum tamamlandığında sıcaklığın parçanın her bölgesinde homojen olarak dağıldığı ve soğuk birleşme riskinin olmadığı gözlemlenmiştir.



Şekil 3.7 Dökme demir akson dolum sıcaklığı analizi

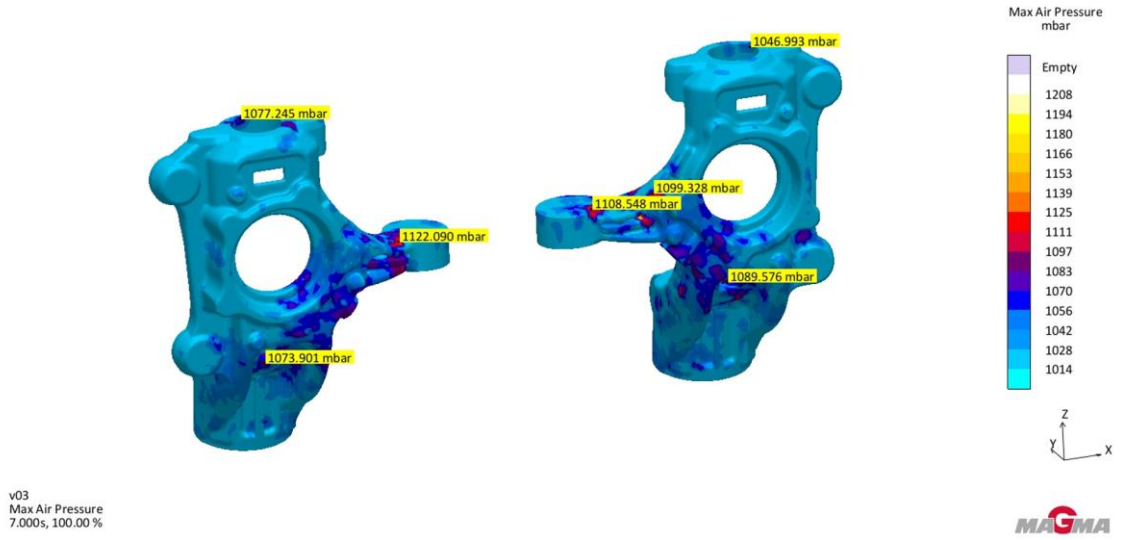
Dolum hızı analizinde ise yine dolum esnasında malzemenin kalıp boşluğu içerisinde ilerleyişi ve maksimum ergiyik akış hızları incelenir. Ergiyik madenin kalıp boşluğunu doldurma hızının belli bir değerin üstünde olması madenin çalkalanması, içerisine hava boşlukları hapsetmesi gibi riskler ortaya çıkarmaktadır. Bu durum, dökülmüş olan parçada istenmeyen, mukavemeti ciddi oranda azaltarak parça kalitesine olumsuz etki eden döküm boşluklarının oluşmasına sebep olabilir. Demir döküm malzemeye uygun olacak şekilde ilgili akson tasarımında görülen dolum hızının herhangi bir döküm boşluğu hatasına sebep olmayacak şekilde 0,7 m/s civarlarında olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 3.8 Dökme demir akson dolum hızı analizi

3.4.2 Hava Sıkışmaları ve Basınç

Hava sıkışmaları analizi ile ergiyik madenin kalıp boşluğu içerisindeki akışı esnasında hangi bölgelerde ne mertebelerde hava sıkışmalarının olduğu tespit edilir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda ergiyik madenin akışı optimize edilerek ilgili hava sıkışmalarının elimine edilmesi amaçlanır. Akışın optimize edilmesi ile de elimine olmayan hava sıkışmalarının kalıp boşluğu içerisinde sıkışmanın olduğu bölgelere konulan hava filtreleri ile kalıp dışına atılması hedeflenir. Dolum süresinin ideal aralıkta olması kalıp boşluğu içerisinde istenmeyen hava boşluklarının olmadığına göstergesidir. İlgili demir döküm akson tasarımının kalıp boşluğunu doldurma süresi ortalama 7 saniye civarındadır.



Şekil 3.9 Dökme demir akson maksimum hava basıncı analizi



Şekil 3.10 Dökme demir akson dolum süresi analizi

3.4.3 Katılaşma Yüzdesi

Bu analiz ile amaçlanan ergiyik madenin kalıp boşluğunu doldurduktan sonra soğuma biçiminin incelenmesi ve parçanın nasıl katılaştığına dair genel yönelim hakkında bilgi sahibi olunmasıdır. Burada dikkat edilmesi gereken en önemli nokta yolluğun en son katılan bölge olduğundan emin olunması olmalıdır ki katılaşma esnasında kalıp boşluğunun iç kısımlarının beslenmesinin sağlanması garanti altına alınmış olsun. Bu analiz ile gözlemlenen genel katılaşma yönelimi bilgisi ile tasarıma ihtiyaç duyulması halinde müdahale edilerek optimizasyon sağlanabilir. Örneğin geç soğuyan bölgeler parçanın kritik yük altında çalışan bölgeleri ise bu bölgelerde tasarım değişikliği yapılarak katılaşma kontrol altına alınabilir. İdeal ve homojen bir katılaşmanın olması parçada gözükebilecek çekinti riskini düşürecektir.

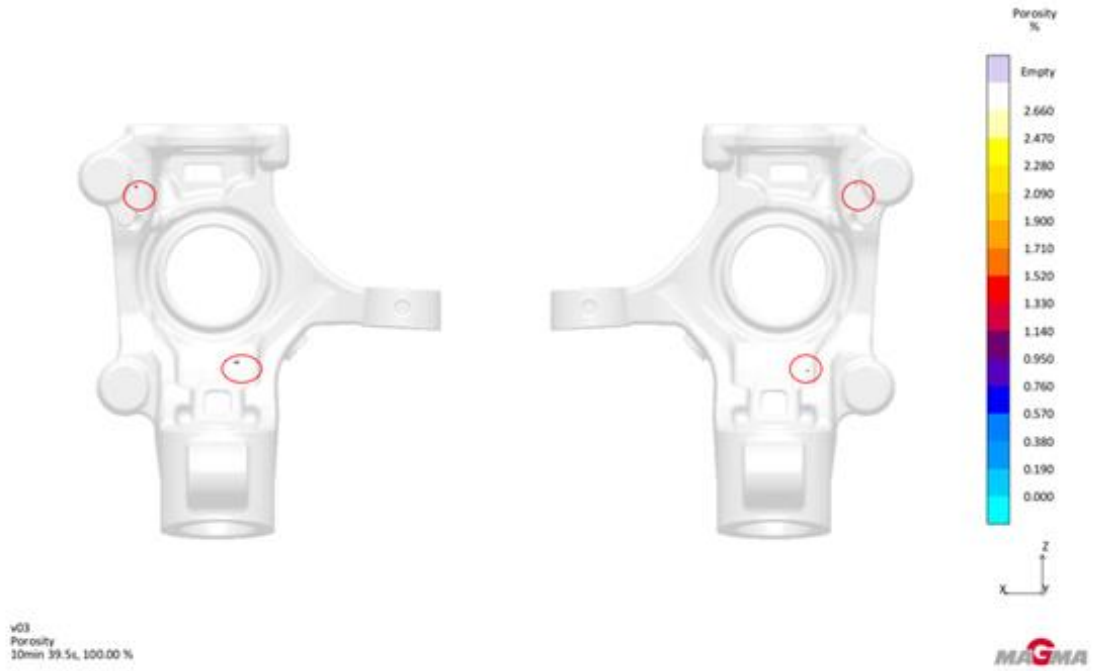


Şekil 3.11 Dökme demir akson katılaşma analizi

3.4.4 Hotspot FS Time ve Porozite

Bu analizler katılaşma analizinin bir çıktısı olarak yine MAGMASOFT 5.4 programı ile kolaylıkla elde edilmektedir. Genel itibarıyla parçada en geç katılan bölgeleri ve bu bölgelerin soğuması için ne kadarlık bir süreye ihtiyaç duyulduğunu gösteren sonuçların elde edilmesi sağlanır. Döküm parçalarda porozite, parçada

istenmeyen iç boşluklar olarak tanımlanır. Bu boşlukların döküm bir parçada olmaması veya kritik büyüklüklerin altında olması özellikle basma yükü altında çalışan parçaların dayanımı açısından oldukça önem arz etmektedir. Bu yüzden yapılan tasarımın porozite analizinde görülen iç boşlukların demir döküm kum kalıba döküm yönteminde %10'dan daha az olması istenir. Yapılan analiz sonucunda bu akson tasarımında birkaç noktada görülen porozite %3 olarak sıkıntı yaratmayacak mertebelerdedir.



Şekil 3.12 Dökme demir akson porozite analizi

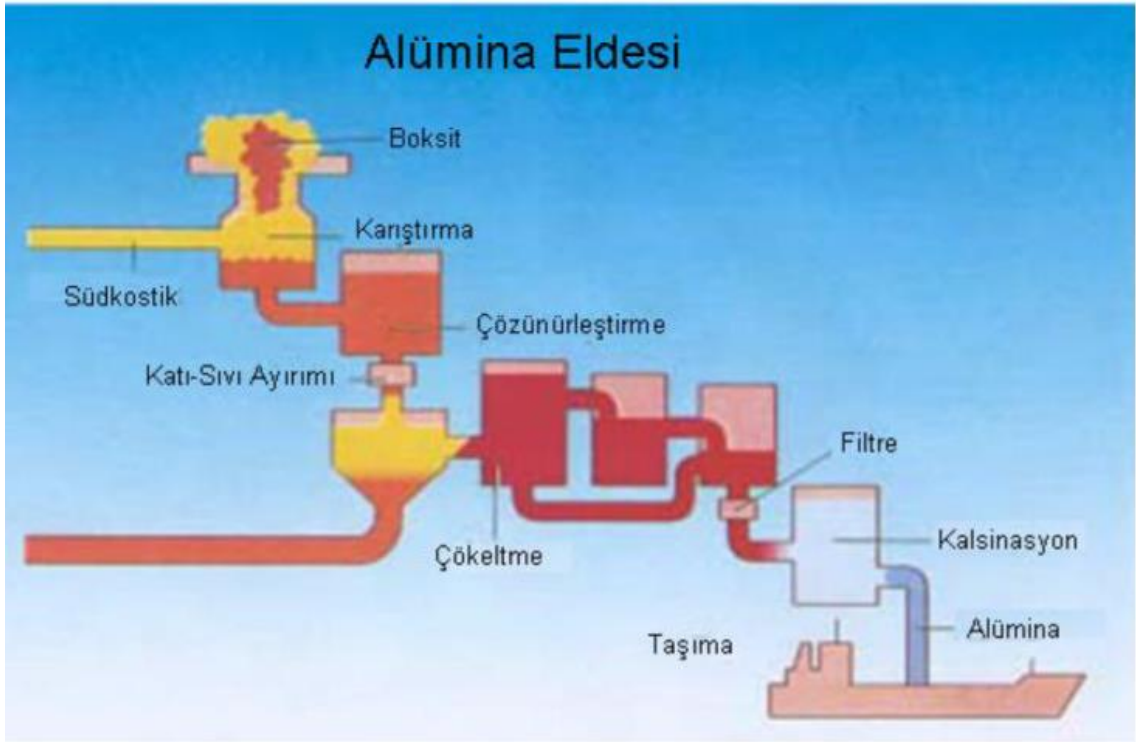
ALÜMİNYUM DÖKÜM AKSON TASARIMI VE DÖKÜM ANALİZLERİ

4.1 Alüminyum ve Özellikleri

Alüminyum doğada O ve Si'den sonra en fazla bulunan, gümüş renkte ve sünek özellik gösteren bir metaldir. Yıllık kullanımı tüm demir dışı metallerden daha fazla olan alüminyumun ilk defa endüstriyel olarak kullanımı, 1886 yılında ABD'de Charles Martin Hall ve Fransa'da Paul T. Herolt'un elektroliz yöntemi ile başlamış ve daha sonrasında ise 1892 yılında K.J.Bayer'in boksit madeninden kendi adını verdiği Bayer prosesini hayata geçirmesiyle yaygınlaşmıştır.

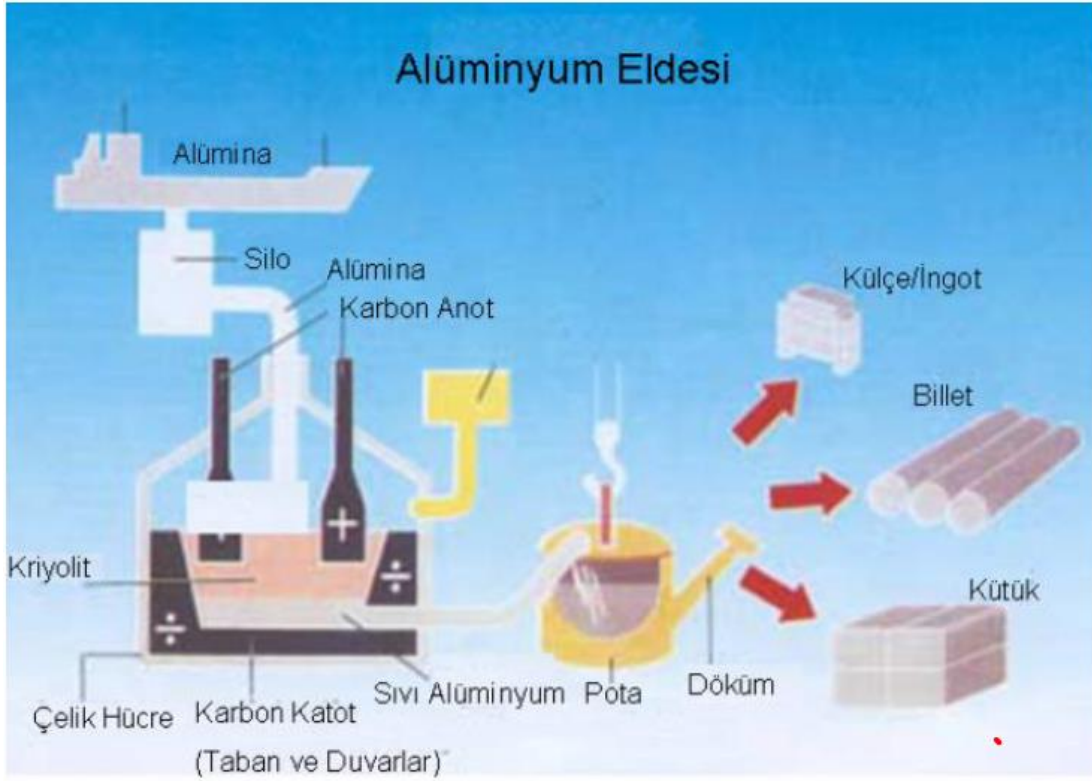
Alüminyum doğada saf halde bulunabilen bir element değildir, genellikle O ile veya Fe, Pb ve Sn gibi elementlerle yapmış olduğu bileşikler halinde bulunur. Alüminyum, demir çelikten sonra endüstride kullanılan ikinci en yaygın metaldir.

Alüminyum temelde 2 aşamadan oluşan bir prosesle elde edilir. Birinci aşamada boksit madeninden Bayer metodu ile Al_2O_3 olarakta bilinen alümina elde edilir. İkinci aşamada ise elektroliz yöntemi ile alüminadan sıvı alüminyum eldesi gerçekleştirilir. Boksit madeni yapısında genellikle %70 oranında Al_2O_3 , %10 civarında silika ve ilgili oranda diğer kompleks metalik bileşikler barındırır. İlk aşamada amaç boksit madeni içerisinde yer alan alüminayı ayrıştırıp elde etmektir. Bu işlem boksitin yüksek basınç ve ısı altında NaOH ile tepkimeye girmesi sonucu oluşur. Sodyum hidroksit etkisiyle oluşan sodyum alüminat su ile seyreltildiğinde çökmeye başlar ve bu esnada Al_2O_3 ve NaOH olarak ayrışma sağlanır, akabinde gerçekleştirilen kristalizasyon işlemi ile saf alümina elde edilir.



Şekil 4.1 Bayer metodu ile alümina eldesi [14]

Bu aşamadan sonra oksijen ile bileşik halde bulunan alüminyumun indirgenmesi ve elde edilebilmesi için Hall-Heroult prosesiyle elektroliz işleminin yapılması gerekmektedir. Alüminanın tuzlu bir çözelti içerisinde yüksek akım altında ve yaklaşık 960°C - 970°C sıcaklıkta elektroliz edilmesi ile alüminyum eldesi tamamlanmış olur.



Şekil 4.2 Hall-Hereolt elektroliz metodu ile Al_2O_3 'den Al eldesi [14]

Alüminyum eldesinden sonra ergitme işlemi gerçekleştirilir ve sıvı alüminyum kullanım alanına bağlı olarak istenen özellikleri sağlayacak şekilde çeşitli elementlerle alaşımlandırılarak dökülür. Sonrasında ise haddeleme, ekstrüzyon, parça seviyesi döküm gibi imalat yöntemleriyle yarı veya son mamul olacak şekilde endüstriye hizmet etmeye başlar. Alüminyumun boksit madeninin çıkarılmasından başlanarak yarı veya son ürün halinde endüstride kullanılması için gereken tüm proseslerde harcanan enerji azımsanmayacak ölçüde yüksektir. Enerji en fazla (%60-%70) elektroliz prosesi sırasında harcanır. Bu dezavantajı yanı sıra alüminyumun geri dönüştürülebilir bir malzeme olması bu olumsuz etkiyi bir nebze hafifletmektedir.

Alüminyumun en genel özellikleri arasında hafif olması, işlemeye karşı gösterdiği yatkınlık, dayanıklılık ve çok iyi korozyon direnci gösterilebilir. Üzerine uygulanan kuvveti, enerjiyi absorbe etme yeteneği ve yüksek ağırlık/mukavemet oranı alüminyumun otomotiv sektöründe kullanılan vazgeçilmez malzemeler arasına girmesine yol açmıştır. Alüminyumdan ekstrüzyon, döküm, dövme ve haddeleme

Üretim yöntemleri ile çeşitli yarı veya final ürünler oluşturulur. Ekstrüzyon yöntemi ile genellikle boru, profil, filmaın ve lama elde edilirken kokil, yüksek basınçlı, alçak basınçlı ve kum kalıba döküm yöntemleri ile başta otomotiv olmak üzere çeşitli sektörlere karmaşık geometrili parçaların üretimi yapılır. Yine dövme yöntemiyle yüksek mukavemet gerektiren salıncak kolları gibi otomotiv süspansiyon parçalarının üretimi yapılabilir. Sıcak ve soğuk haddeleme yöntemi ile ise plaka, folyo ve levha gibi ürünler elde edilir.

Alüminyum, birçok üstünlük sağlayan özelliği bünyesinde birlikte bulundurduğundan dolayı çok çeşitli sektörlerde kullanılmaktadır. Ambalaj ve gıda sektöründeki kullanımı, hafif, dayanıklı, geri dönüştürülebilir, yüksek ısı transferi, çok ince (folyo) haline gelebilme, iyi sızdırmazlık gibi özelliklerinden dolayı oldukça yaygındır.

Otomotiv sektörü de alüminyumun oldukça fazla kullanıldığı (yaklaşık olarak toplam kullanımın %25) bir alandır. Otomotiv’de bu denli kullanılmasının sebebi şüphesiz sahip olduğu yüksek ağırlık/mukavemet oranı ve korozyon direncidir.

İyi bir iletken olmasından dolayı elektrik/elektronik alanında, enerji nakil hatlarında da oldukça geniş kullanım alanına sahiptir. zerine sonradan uygulanabilecek renkli kaplama ile dekoratif güzel bir grnm vermesi sebebiyle inşaat sektöründe binaların çatı ve cephe kaplamalarında da kullanılır.

Görülüyor ki teknolojinin gelişmesi ile birlikte endüstride alüminyum kullanımı yüksek ağırlık/mukavemet oranı, daha verimli, geri dnlebilir, korozyon direnci yüksek, uzun ömürlü, daha ekonomik olma gibi avantajlara sahip olmasından dolayı çok daha fazla yaygınlaacaktır.

Saf halde bulunan alüminyumun içerisinde diğer elementlerin katılması ile alaşımlar meydana gelir. Bu alaşımların mekanik ve kimyasal özellikleri alüminyumun saf haline göre artık farklıdır. Si, Cu ve Mg alüminyum ile en fazla alaşım oluşturan elementlerdir. Elementlerin alaıma olan etkileri aşağıdaki gibi sıralanabilir; [15]

Cu: Dayanım ve sertliği artırır. Dklebilme ve ilenebilme özelliklerini iyileştirir.

Si: Akıcılığı artırır. Kristal inceltici özelliğinden dolayı mekanik özellikler ve ısıca karşı dayanımı yükseltir. İşlenmeye karşı negatif etkisi olur.

Mg: %33 oranında kullanıldığında ötektik bileşim verir. Hafif olmasından dolayı alaşımın özgül ağırlığını düşürür.

Ni: Korozyon dayanımını oldukça iyileştirir, parlak görünüm verir.

Zn: Dökülebilirliği ciddi oranda artırır.

Ti: Tane inceltici olarak görev yapar.

Alüminyum döküm alaşımları sektörde 4 harften oluşan bir gösterime sahiptir.

1XXX: Saf alüminyum

2XXX: Al-Cu alaşımı, ana alaşım elementi bakır.

3XXX: Al-Mn alaşımları, ana alaşım elementi mangan.

4XXX: Al-Si alaşımları, ana alaşım elementi silisyum.

5XXX: Al-Mg alaşımları, ana alaşım elementi magnezyum

6XXX: Al-Mg-Si alaşımları, ana alaşım elementi silisyum ve magnezyum

7XXX: Al-Zn alaşımları, ana alaşım elementi çinko

8XXX: Al-Li alaşımları, ana alaşım elementi lityum

Bu tez çalışmasına konu olan alüminyum alaşımı da 6XXX grubuna giren AlSi₇Mg olarak kullanılan alaşımdır. Bu alaşımın otomotivde oldukça yaygın bir kullanım alanı vardır. [14]

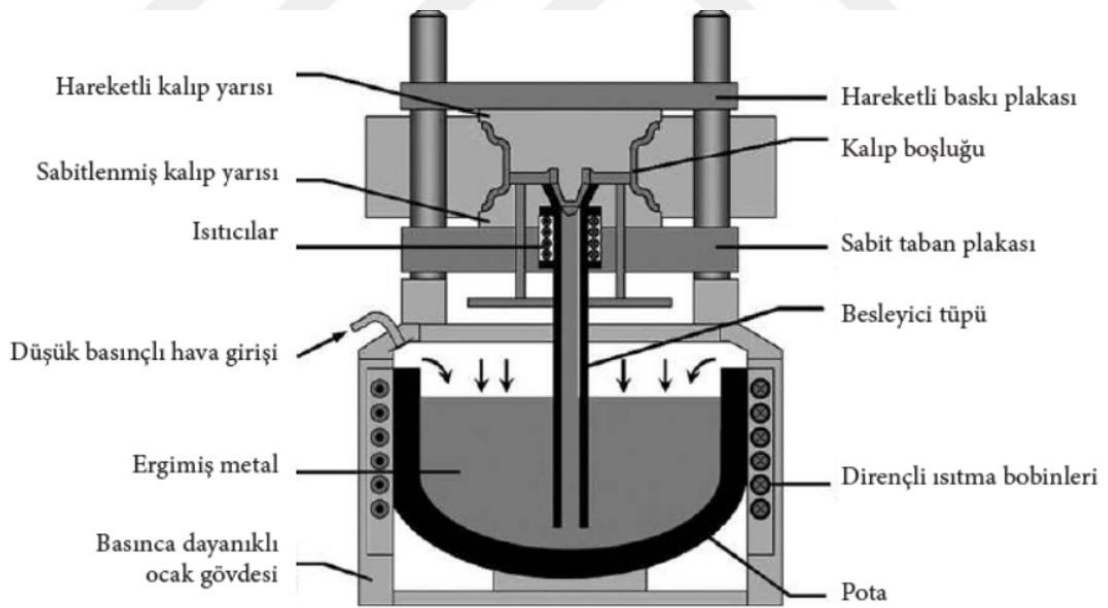
4.2 Alçak Basıncılı Döküm Yöntemi

Bu yöntemde kalıbın altında konumlanan, sıvı ergiyik metalin içinde bulunduğu hava kontrollü bir potada, sıvı metalin yüzeyine basınç uygulanır ve bu basınç ile yerçekiminin tersi yönünde hareket eden sıvı, metal boru yolluklarla kontrollü ve dengeli bir biçimde kalıp içerisine dolar. Sıvı metalin kalıbı doldurmasından sonra

basınç dengeli bir biçimde düşürülür ve en son yolluk katılaşacak şekilde proses tamamlanır.

Döküm kalıplarının yüzeyleri özel bir kaplama ile kaplanır. Bunun amacı kalıp içerisindeki sıvı metalin kontrollü bir şekilde katılaşmasını sağlamaktır. Ayrıca yine ergiyik metalin kalıp çeliği ile direk teması engellenerek kalıpların daha uzun ömürlü olması da amaçlanır. Kaplamanın aynı zamanda daha iyi bir yüzey kalitesi elde edilmesinde ve sıvı metalin kalıp içini doldururken dengeli bir biçimde kalıbın her tarafını eşit miktarda doldurmasında önemli rolü vardır. Kaplama çoğunlukla seramik kaplama şeklinde yapılır. Kabaca kalıp ömürleri 50,000-70,000 adet eldesine izin vermektedir.

Bu döküm yöntemi ile karmaşık geometrili parçalar yüksek kalite ile üretilebilir. Bu noktada kalıp tasarımı oldukça önemli bir etkiye sahiptir. Optimize edilmiş uygun bir kalıp tasarımı ve kalıbın beslendiği tek bir yolluk girişi ile besleyici kullanmaya gerek kalmadan %90 oranında verimlilikle döküm gerçekleştirilebilir. Dökülen parçaların yüzey kalitesi, boyutsal ölçü doğruluğu oldukça iyidir. [16]

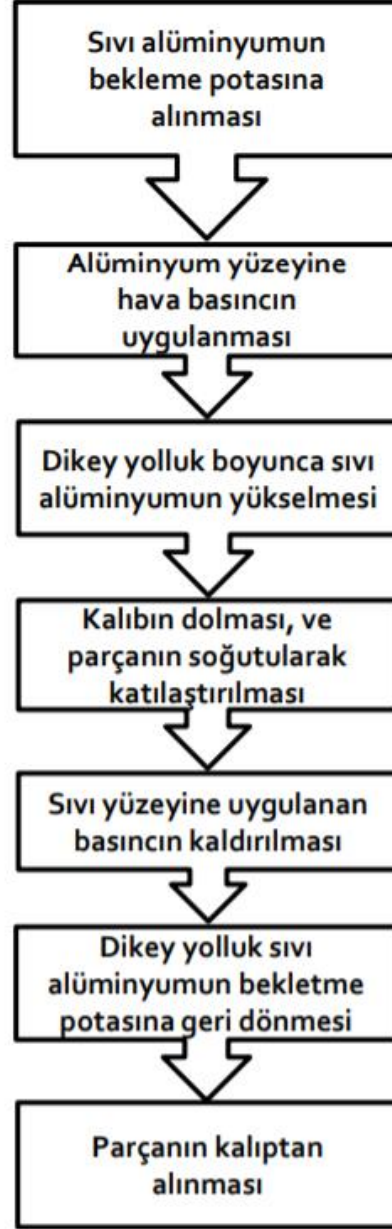


Şekil 4.3 Alçak basınçlı döküm kalıp elemanları [16]

Proses esnasında kullanılan basınç genellikle 0.05 MPa'nın altındadır. Kalıp içerisindeki boşluğa sıvı metalin dolması esnasında içeride bulunan havanın tahliye edilmesi için tasarımda uygun yerlere hava çıkış filtreleri konulur. Proses

tamamlandıktan sonra parçanın kalıptan kolay bir şekilde çıkarılmasını sağlamak için yine hareketli iticiler kullanılır. Eğer tasarım maça gerektiren bir tasarım ise bu kum maça veya kalıba entegre hareketli maça da olabilir. Hareketli maça tercih edilirse kalıp maliyeti artarken parça birim fiyatında avantaj elde etmek mümkündür. Kum maça her parça için harcanan bir yapıda olacağından kalıp maliyeti düşük kalmasına rağmen parça birim fiyatı bir miktar artacaktır. Bu yöntem ile döküm sonrasında suda ya da özel bir çözeltide eriyerek kaybolan kum maça kullanılarak içi boş ağırlık yönünden daha da optimize edilmiş döküm parçalar elde edilebilmektedir.

Bu yöntemin diğer döküm yöntemlerine göre en önemli avantajı özellikle kalın kesitli cidarlara sahip parçalarda yüksek döküm kalitesi elde edilmesi ve daha fazla çeşit element ile alaşım seçimine olanak sağlamasıdır. Dezavantajı ise prosesin diğer yöntemlere göre daha yavaş olmasıdır. Bundan dolayı yıllık adet isteri yüksek ve küçük geometriye sahip parçalar için uygun bir döküm yöntemi değildir. Ayrıca ilk yatırım maliyeti kalıpların biraz daha kompleks bir yapıda olmasından dolayı diğer yöntemlere göre daha yüksektir. Proses hızı kokil kalıba döküm yöntemine göre hızlı olmakla birlikte yüksek basınçlı döküme göre daha düşüktür.



Şekil 4.4 Alçak basınçlı döküm proses aşamaları [17]

4.3 Isıl İşlem

Isıl işlem genel anlamıyla bir metalin mekanik özelliklerini, mikroyapısını ve içerisinde yer alan kalıntı gerilme durumunu iyileştirmek amacıyla uygulanan ısıtma ve sonrasında yağ, su veya özel sıvılar ile temas ettirilerek soğutulması işlemidir. Saf alüminyumun dayanım değerleri alüminyum alaşımlarına göre daha düşüktür. Özellikle otomotiv’de yapısal olarak kullanılmak istenen alüminyum döküm bir parça için ilgili alaşımın mekanik özellikleri ısıl işlemsiz yeterli

olmamaktadır. Bundan dolayı ilgili parça döküldükten sonra ısıtılma tabi tutularak akma dayanımı, çekme dayanımı, sertlik, uzama vb. gibi mekanik özelliklerinde ciddi iyileşmeler elde edilmesi sağlanır.

Alüminyum alaşımlarına çeşitli ısıtılma işlemleri uygulanabilmektedir. Bunlar aşağıdaki şekilde sıralanabilir;

T1: Sıcak işlendikten sonra soğutulmuş ve doğal yaşlandırılmış

T2: Soğutulup soğuk işlendikten sonra doğal yaşlandırılmış

T3: Çözeltiye alındıktan sonra soğuk işlenmiş ve doğal yaşlandırılmış

T4: Çözeltiye alındıktan sonra doğal yaşlandırılmış

T5: Soğutulduktan sonra yapay yaşlandırılmış

T6: Çözeltiye alındıktan sonra yapay yaşlandırılmış

T7: Çözeltiye alındıktan sonra dengeli duruma getirilmiş

T8: Çözeltiye alındıktan sonra soğuk işlenmiş ve yapay yaşlandırılmış

T9: Çözeltiye alındıktan sonra yapay yaşlandırılmış ve soğuk işlenmiş

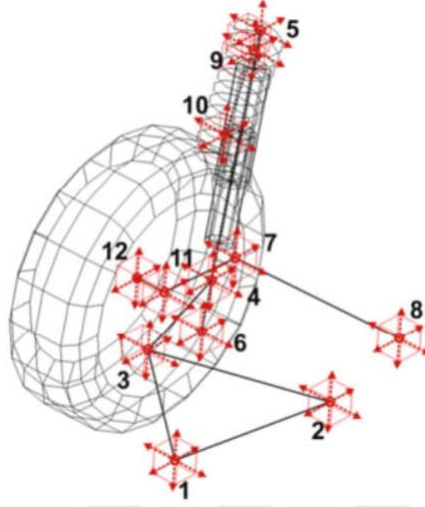
T10: Soğutulup soğuk işlendikten sonra yapay yaşlandırılmış

Bu tez çalışmasına konu olan AlSi₇Mg alüminyum alaşımından parça üretildikten sonra alaşımın içerdiği elementlere uygun olacak şekilde en iyi mekanik özelliklerin elde edildiği T6 ısıtılma işlemine tabi tutulmuştur. [14]

4.4 Akson Tasarımı

Daha önce sfereo demir döküm akson tasarımı bölümünde bahsedilen ürün geliştirme aşamalarının aynısı alüminyum akson tasarımı için de geçerlidir. Bu çalışmada demir döküm yerine alüminyum akson kullanılması incelendiğinden her iki tasarımın süspansiyon kritik bağlantı bölgelerine uyum sağlaması oldukça önemlidir. İdeal durumda tüm kritik bağlantı noktalarının her iki tasarım için de aracın dinamik performansı gözetilerek aynı olması beklenir fakat kompanse

edilebilecek değişiklikler aksona bağlanan çevre parçaların tasarımı değiştirilerek uygun hale getirilebilmektedir.



Şekil 4.5 Süspansiyon kritik bağlantı noktaları [18]

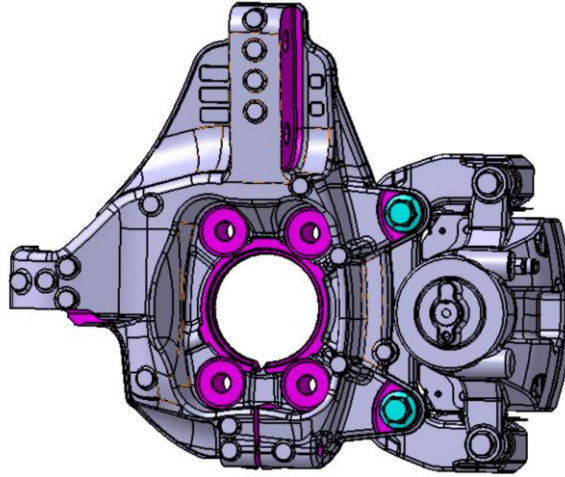
Akson tasarımı yapılırken dikkat edilmesi ve uyulması gereken dizayn kuralları vardır. Bu kurallar, parça geliştirme sırasında yapılan komponent, sistem ve araç seviyesi validasyon testlerinden elde edilen deneyimlerin yanı sıra satış sonrasında müşteriden gelen şikayetler ile uzun yıllar boyunca yapılan dökümantasyon çalışmaları ile ortaya çıkar. Bunlardan önemli sayılabilecek bazıları hakkında detaylar aşağıdaki gibi verilmiştir.

Akson-Poyra Arayüzü: Aksonun göbek kısmına giren ve tekerleklerin dönmesini sağlayan poyra rulman grubu için akson üzerinde dökümden gelen aks mili ve poyra arasındaki kalacak mesafenin 1.5mm'den fazla olmaması gerekmektedir. Daha fazla mesafe olması durumunda araç dinamik koşullar altında yolda ilerlerken bu boşluktan giren su, toz, çamur vb. gibi istenmeyen çevresel etkenler rulmanın keğesinden içeri girerek gresi kontamine eder ve rulmanın olması gerekenden çok daha erken kullanılamaz hale gelmesine yol açar.



Şekil 4.6 Akson – Aks mili bağlantı arayüzü

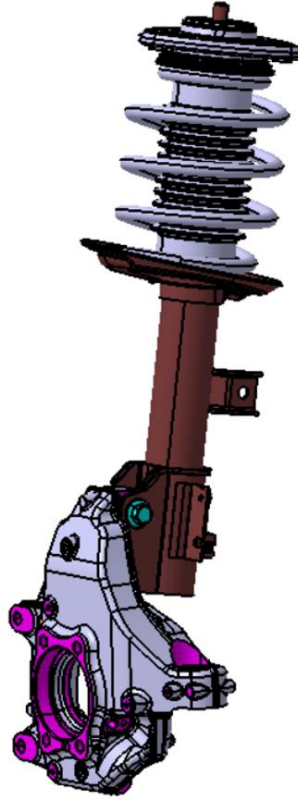
Akson-Fren Kaliperi Bağlantı Delik ve Konum Toleransı: Kaliperin aksona bağlandığı deliklerin diklik ve profil toleransı, kaliperden aksona aktarılan fren kuvvetlerinin ve kaliper bağlantı civatarına gelen kesme kuvvetinin dengeli olması açısından önemlidir. Genellikle diklik toleransının 0.15mm'den profil toleransının ise 0.4mm'den daha fazla olmaması gerekmektedir.



Şekil 4.7 Akson – Fren kaliperi bağlantı arayüzü

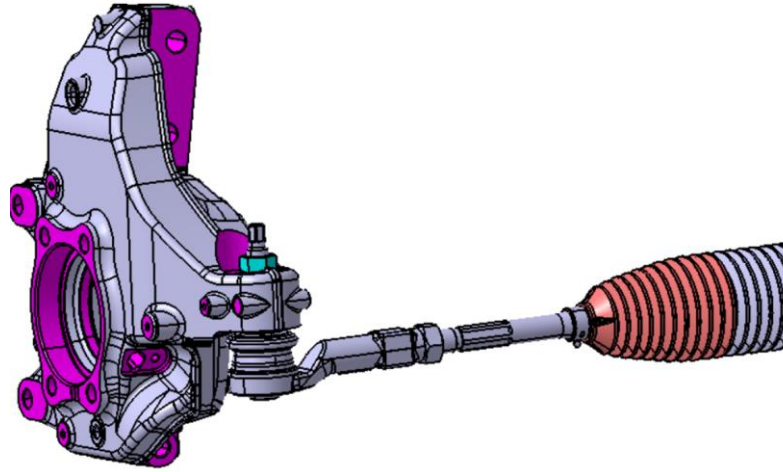
Akson-Amortisör Bağlantısı: Yine amortisörün aksona bağlandığı deliklerin konum ve diklik toleransları, amortisörden aksona özellikle aracın tümsekten veya

çukurdan geçerken gelen anlık yüksek yükleri iletmesi esnasında dengeli olması bakımından önemlidir. Konum toleransının 0.5 mm'den diklik toleransının ise 0.4mm'den daha fazla olmaması gerekmektedir.



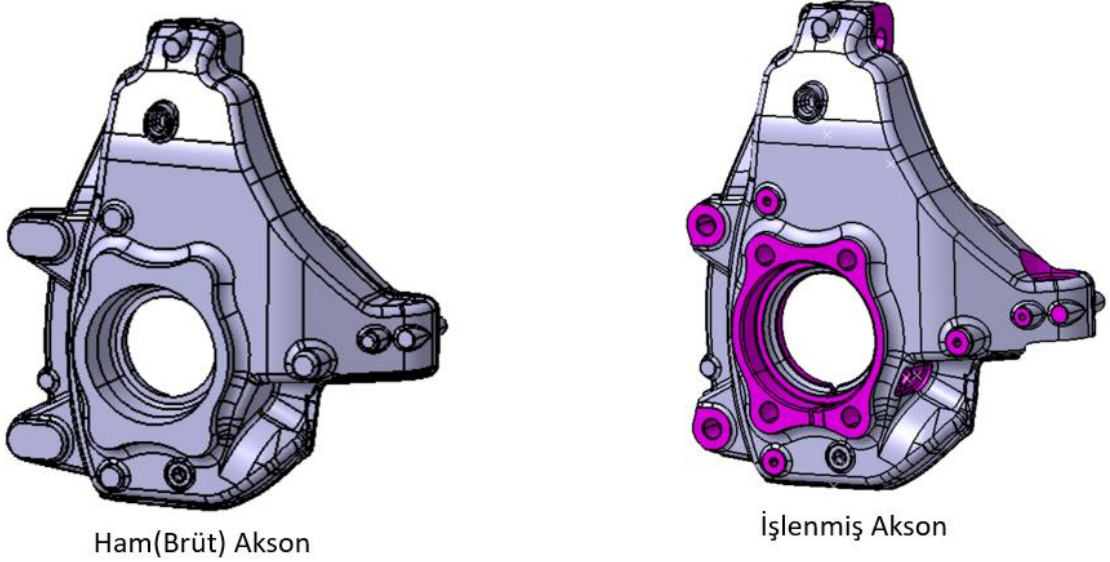
Şekil 4.8 Akson – Amortisör bağlantı arayüzü

Akson-Direksiyon Kolu Bağlantı Arayüzü: Direksiyon kolundan aksona gelen kuvvetlerin dengeli bir biçimde iletilmesi ve ilgili bağlantının sağlam bir şekilde arada boşluk kalmayacak şekilde yapılabilmesi için aksonun ilgili bölgesi konik bir şekilde işlenmektedir. Aksonda yapılacak konik işlemenin direksiyon kolunda yer alan konik dizayn şekli ve özellikleri ile uyumlu olması bağlantının sağlamlığı ve ilerleyen zamanlarda bir problem yaşanmaması adına oldukça kritiktir.

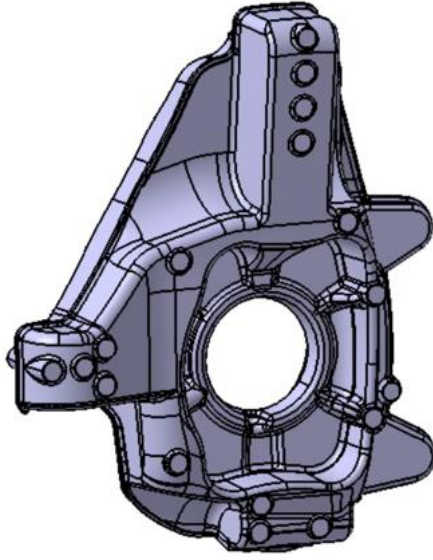


Şekil 4.9 Akson – Direksiyon kolu bağlantı arayüzü

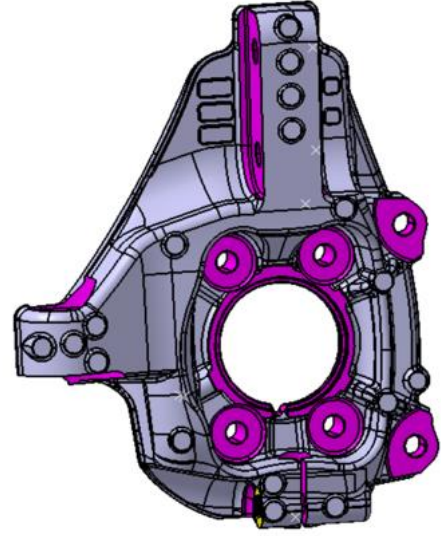
Yine demir döküm akson tasarımı yapılırken bahsedildiği gibi alüminyum aksonda da tasarıma başlanmadan önce araç seviyesi toplanan yol datasının akson seviyesine indirgenmesi ile parçadan beklenen mekanik özelliklerin ne olacağı kabaca belirlenir. Yukarıda bahsedilen dizayn kurallara gözönünde bulundurularak ilgili yükler altında çalışabilecek akson tasarımı alçak basınçlı döküm yöntemine uygun olacak şekilde gerçekleştirilir.



Şekil 4.10 Alüminyum akson perspektif görünüm (Ön)



Ham(Brüt) Akson



İşlenmiş Akson

Şekil 4.11 Alüminyum akson perspektif görünüm (Arka)

Tablo 4.1 Alüminyum akson tasarım detayları

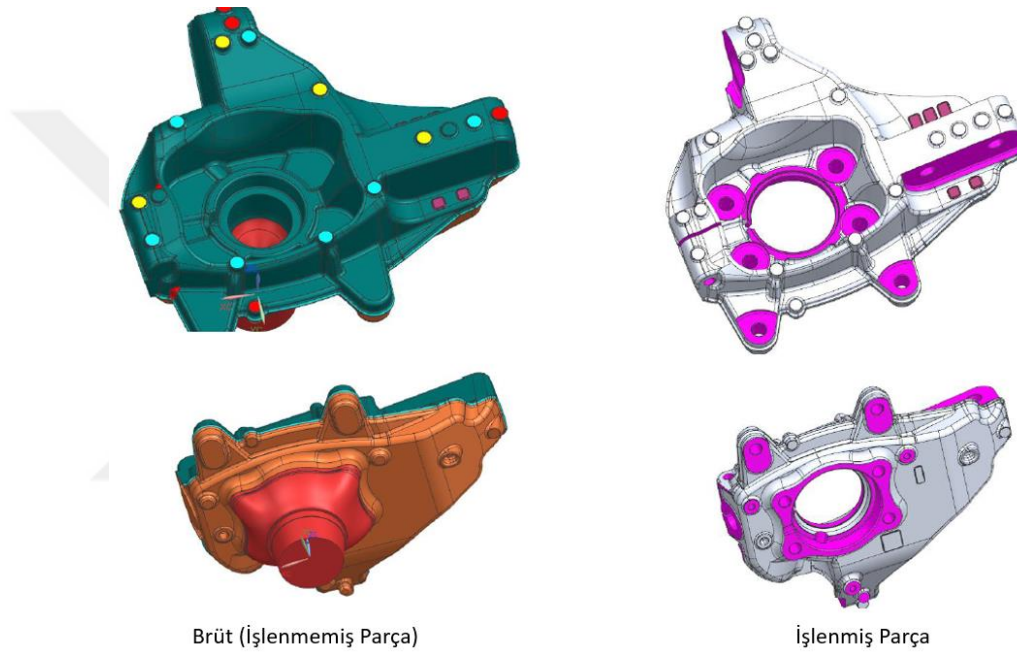
Özellik	Malzeme	Ağırlık (Kg) İşlenmiş	Dizayn Tip	Rulman Bağlantısı	Kaplama
Alüminyum Döküm Akson	AlSi ₇ Mg	4.53	Clevis (Amortis öre Civatalı Bağlantı)	GEN3 (Civatalı Bağlantı)	-

Parçanın kaba tasarımı elde edildikten sonra sırasıyla kalıp tasarımı ve tasarımın alçak basınçlı döküm yöntemine uygunluğunu gösteren döküm analizleri yapılır.

Yapılan simülasyonlar sonucunda tasarım gerekirse revize edilir gerekmiyorsa bir sonraki aşama olan işleme fikstürü tasarım aşamasına geçilir ve son olarak ısı

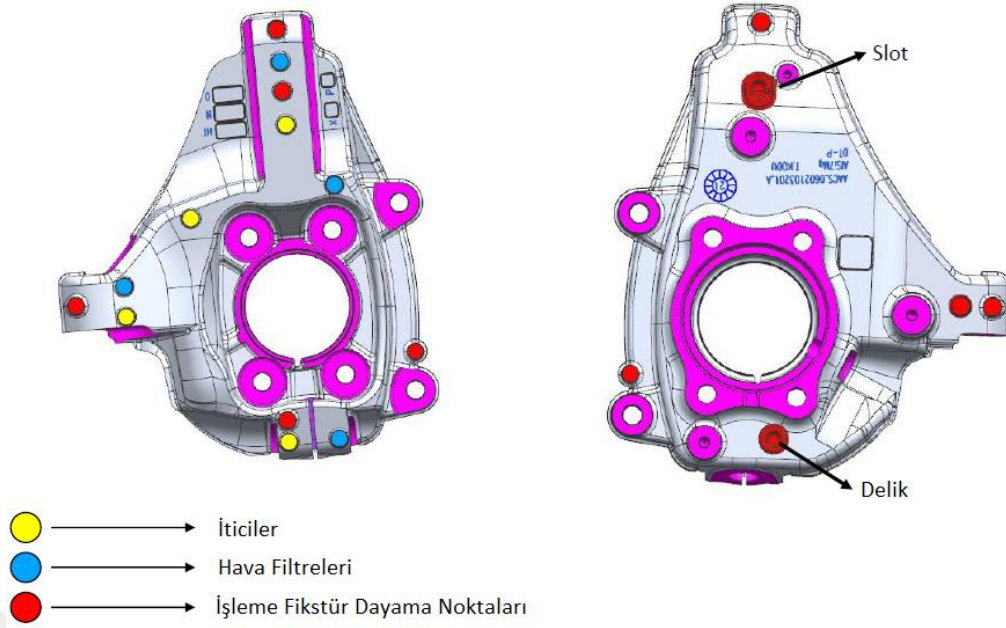
işlem tamamlanarak araca takılabilir duruma getirilir. Bu bölümde sırasıyla kalıp tasarımı yapılırken dikkat edilmesi gereken hususlara, işleme ve ısıl işlem detaylarına yer verilecektir. Döküm analizleri bir sonraki bölümde detaylıca işlenecektir.

Yapılan kaba tasarımda alçak basınçlı döküm yöntemine uygun olacak şekilde kalıp tasarımının nasıl olacağı, yolluk, besleyici ve filtre konumu, işleme dayama ve referans noktalarının belirlenmesi oldukça önemlidir.



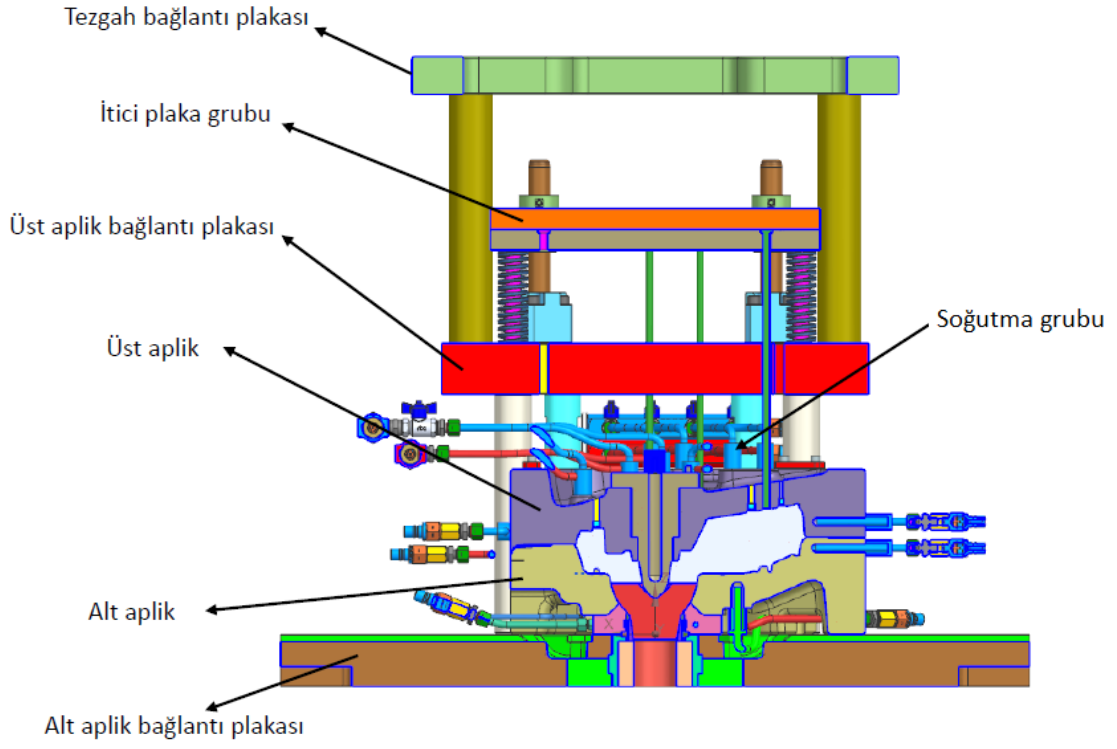
Şekil 4.12 Brüt ve işlenmiş parça görselleri

Parça üzerinde dökümden çıkacak şekilde en uygun konumlara iticiler, işleme esnasında merkezleme ve referans almak için kullanılacak slot, delik ve dayama noktaları ve ayrıca hava filtreleri yerleştirilir. İticiler proses tamamlandıktan sonra parçayı kalıptan ayırmaya yarar. Hava filtreleri ise sıvı metalin kalıp boşluğunu doldururken içeride bulunan havanın kalıp boşluğu dışarısına tahliye edilmesini sağlar.

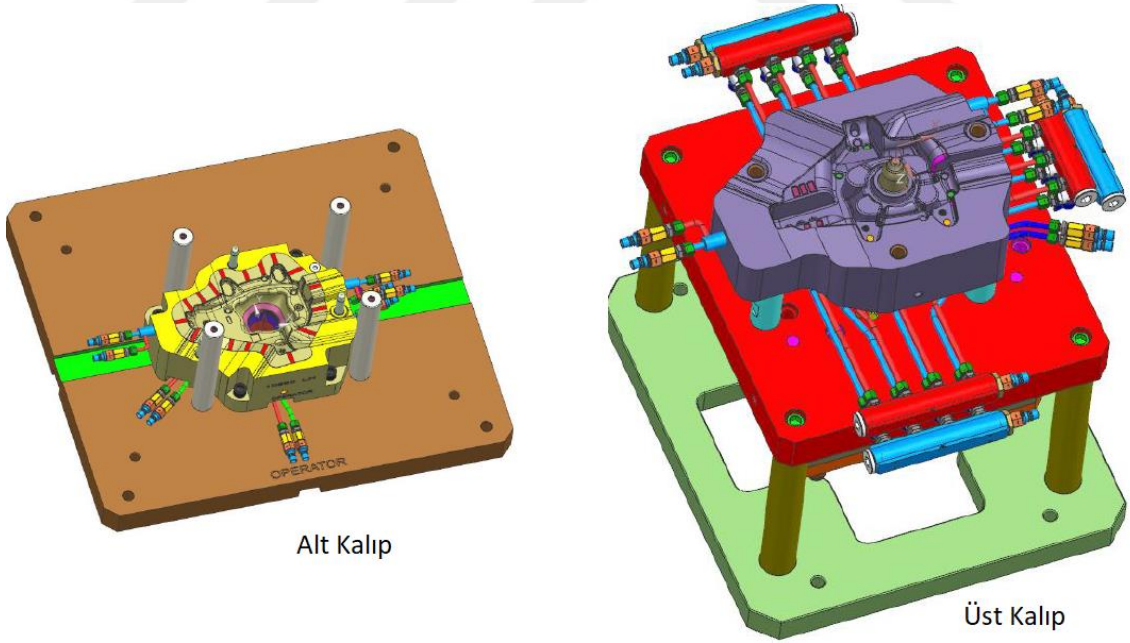


Şekil 4.13 Akson üzerinde itici, filtre ve işleme dayama noktalarının gösterimi

Akson için yapılan alçak basınçlı döküm kalıpları sırasıyla alt ve üst aplik denilen kalıplardan ve bunların tezgaha bağlantısını sağlayan yapısal bağlantı plakalarından, kalıbı soğutan borulardan oluşan soğutma grubundan, iticilerin yer aldığı bağlantı plakasından ve son olarak tezgahın bağlandığı plakadan meydana gelir. Bu tasarımda göbek kısmı en geç soğuyan bölge olarak tanımlanıp kalıp tasarımı ona göre yapılmıştır. Parça geometrisine bağlı olarak birden fazla yollukta olabilirdi. Bu tasarımda göbekte yer alan tek yolluk kalıbı doldurmak için yeterli olmuştur. Kalıbı soğutmak için yine parça tasarımına göre kalıpların arasına konumlandırılan boruların içerisinden kireçten arındırılmış yaklaşık 10°C’de soğuk su geçirilir. Parça üst yüzeyden katılaşmaya başladığı için soğutma borularının konumu buna göre ayarlanır. Bir parçanın prosesi yaklaşık olarak 5dk civarında sürmektedir.



Şekil 4.14 Alçak basınçlı döküm tezgahı elemanları (Akson)

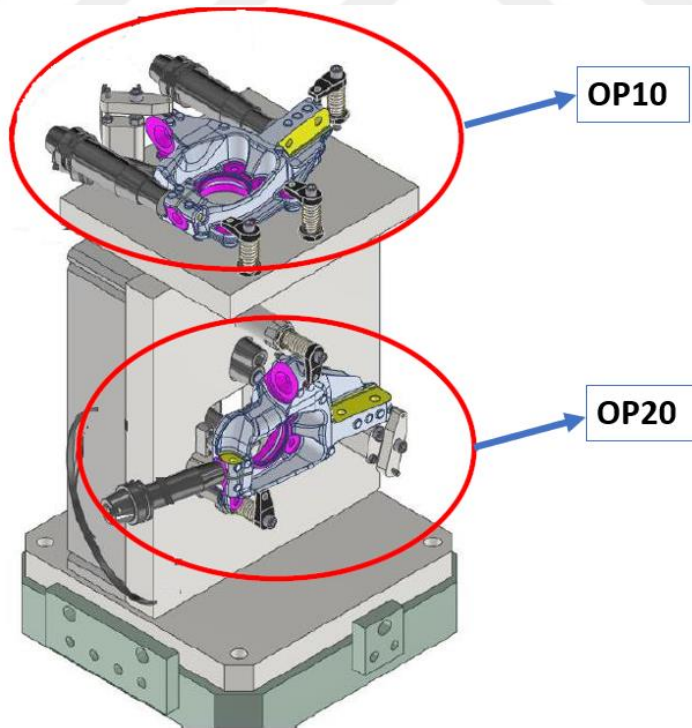


Şekil 4.15 Alt ve üst kalıp görünümleri (Akson)

Parçanın dökülmesinden sonra sıra işlemesine gelir. Yine geometriye bağlı olarak işleme fikstür tasarımları yapılarak olabilecek minimum operasyon sayısı ile işlemenin tamamlanması hedeflenir. İşleme fikstürlerinde parçanın sabitlenebilmesi için tasarımdan 2 eksenli hareketine izin veren delik ve 4 eksenli hareket serbestliği sağlayan slotlar verilir. Bu parçanın işlenmesi OP10 ve OP20 olmak üzere iki operasyonda tamamlanır. OP10 denilen ilk operasyonda parça direksiyon kolu, amortisör bağlantı ve rotül bölgesinden sabitlenerek ön ve arka yüzey işlemleri yapılır ve daha sonra matkapla rotülün girdiği delik ve yine direksiyon kolunun girdiği konik delik işlemleri yapılır.

OP20’de ise parça kaliper bağlantı deliklerinden sabitlenir. OP10’da işlenen direksiyon kolu yüzeyinden ve brüt olan amortisörden dayama yapılarak rotül bağlantı alt yan yüzeyler ve amortisör bağlantısı üst yan yüzeyler işlenir.

Parçanın alt ve üst yüzeyleri ile yan yüzeylerini işlemek için minimum OP10 ve OP20 olarak iki işleme operasyonu gerekmektedir. Bu aksunun işlenmesi yaklaşık olarak 2 operasyon dahil 25dk sürmektedir.



Şekil 4.16 Aksun işleme operasyonları

Parça döküldükten sonra işlemeye girmeden önce ısıtılma işleminin sırası gelir. Isıl işlem görmemiş bir alüminyum döküm akson yaklaşık olarak sırasıyla 90MPa akma dayanımı, 180MPa kopma dayanımı, %7 den fazla uzama ve 55HB sertliğe sahiptir. Oysa ki aksonun yapısal olarak araçta güvenli bir şekilde kullanılabilmesi için üzerine gelen yükler gözönünde bulundurulduğunda yaklaşık olarak 210MPa akma dayanımı, 280MPa kopma dayanımı, %4 uzama ve 80HB sertliğe sahip olması gerekir. Bunu sağlamak için de dökülen aksonlar T6 olarak adlandırılan (çözeltiye alma ve yapay yaşlandırma) ısıtılma işlemi tabii tutulurlar. İlgili ısıtılma işlemi yapılırken sırasıyla aşağıdaki gibi bir proses takip edilir;

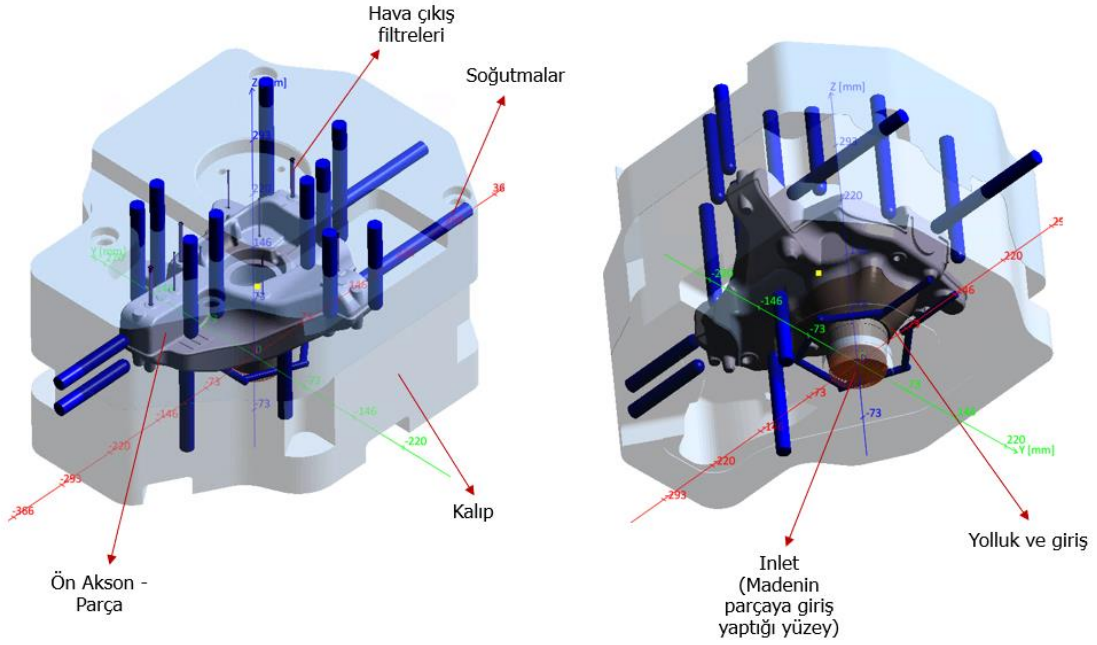
- 1- Brüt parça işlemeden önce fırına atılır ve yaklaşık 530°C' ye kadar ısıtılır. (Bu işlem yaklaşık olarak 5 saat sürer. Fırının ilgili sıcaklığa gelmesi yaklaşık olarak 1 saat sürmektedir, sonrasında parça, denge sıcaklığına gelen fırın içerisinde yaklaşık 4 saat kalır.)
- 2- 4 saat fırın içerisinde kalan parçalar 45°C - 50°C' lik suya girer. Tüm parçaların suyun içerisine daldırılması önemlidir. Suya tüm parçaların daldırılması optimum 10 sn'de gerçekleşmelidir.
- 3- Parçalar suyun içerisinde yaklaşık 7-8 dk kalır.
- 4- Yaşlandırma işlemi için sudan çıkarılan parçalar daha önce yaklaşık 1 saatte 170°C'ye getirilmiş olan başka bir fırının içerisine konulur ve burada yaklaşık 4 saat bekletilir.
- 5- Fırından çıkarılan parçalar atmosferik ortamda doğal soğumaya bırakılır.

4.5 Döküm Analizleri

Bu bölümde daha önce demir döküm akson için yapılan döküm simülasyon analizleri alüminyum alçak basınçlı döküm prosesi için tekrarlanmış olup yapılan tasarımın döküme uygunluğu incelenmiştir.

Daha önce de bahsedildiği üzere bu analizler MAGMASOFT 5.4 yazılımı yardımıyla yapılmıştır. Analizlere başlamadan önce programda izlenmesi gereken bazı adımlar vardır. Bunları kısaca sıralamak istersek;

- 1- Öncelikle döküm parçanın brüt (ham, işlenmemiş) cad datası program içerisine yüklenir,
- 2- Aynı şekilde kalıbı oluşturan alt ve üst aplık, soğutma boruları, yapısal bağlantı parçaları yine program içerisine yüklenir,
- 3- Program içerisine yüklenen cad dataların teker teker alt kalıp, üst kalıp, itici, yolluk, soğutma borusu vb. şekilde tanımlamaları yapılır,
- 4- Inlet komutu yardımıyla ergiyik madenin kalıba nereden giriş yaptığı tanımlanır, (Yolluk tanımı)
- 5- Soğutma boruları ve soğutucu akışkan tanımlanır,
- 6- Hava filtrelerin nerelere yerleştirildiği ve malzemesi tanımlanır,



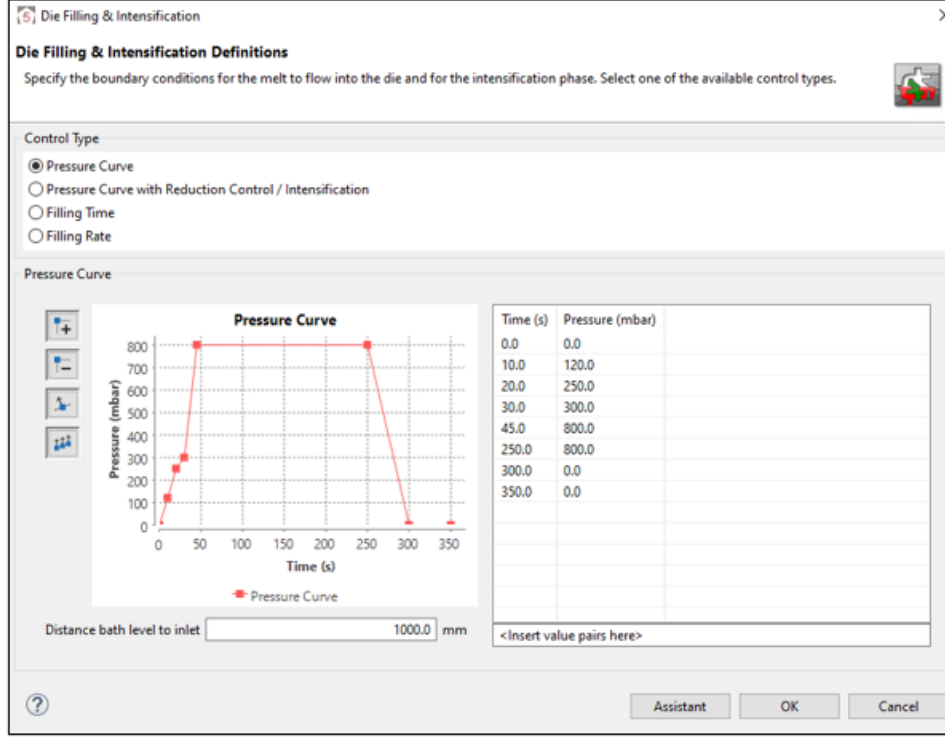
Şekil 4.17 MAGMASOFT 5.4 programında analiz için gerekli tanımlamaların yapılması

- 7- Tüm tanımlamalar yapıldıktan sonra meshleme adı verilen bütün cad dataları çok daha küçük parçalara bölme işlemi yapılır. Kalıbı oluşturan elemanlar daha kaba bir meshlemeye tabi tutulurken döküm parça çok daha detaylı ve küçük küp parçacıklardan oluşacak şekilde meshlenir,
- 8- Sonrasında programın otomatik küçük parçacıklara bölme komutu yardımıyla meshlenen parçaların mesh kalitesi kontrol edilir,
- 9- Bu işlem tamamlandıktan sonra malzeme girişleri yapılır, (AlSi₇Mg)

Material	Mat ID	Database/File name	Initial Temperature (°C)	Aluminum Composition		Feeding Effectivity (%)
> Cast Alloy		User/AlSi7Mg-Perm-Long	715.0	Cr (Chromium)	0.0 %	30.0
				Cu (Copper)	0.003 %	
				Fe (Iron)	0.102 %	
				H (Hydrogen)	0.0 ml/100g	
				Mg (Magnesium)	0.258 %	
				Mn (Manganese)	0.002 %	
				Na (Sodium)	0.0 %	
				Ni (Nickel)	0.002 %	
				P (Phosphorus)	0.0 %	
				Sb (Antimony)	0.0 %	
				Si (Silicon)	6.607 %	
				Sr (Strontium)	0.021 %	
				Ti (Titanium)	0.137 %	
				Zn (Zinc)	0.008 %	

Şekil 4.18 MAGMASOFT 5.4 programında malzeme seçimi

- 10- Ardından proses ile alakalı olan, ergiyik sıvı sıcaklığı, kalıp sıcaklığı, soğutma suyu sıcaklığı ve bunlar arasındaki ısı geçiş katsayıların tanımlanması yapılır,
- 11- Bu aşamaya gelene kadar yapılanları dolum süreci öncesinde yapılması gereken adımlar olarak nitelendirebiliriz,
- 12- Artık daha çok proses ile alakalı olan, eğer maça varsa kaçınıcı saniyede maçanın konulduğunu, kalıbın kaçınıcı saniyede kapandığı gibi parametrelerin modele girişi yapılır,
- 13- Dolumun başlaması için basınç girişi tanımı da yapılır, katılaşma başlayınca kalıbın açılması ve yan parametre olarak da soğutma suyunun prosesin hangi aşamasında girip çıkacağı tanımlanır,
- 14- Bu aşamadan sonra ilgili modelleme tamamlanmış olup çeşitli döküm analizleri gerçekleştirilebilir.

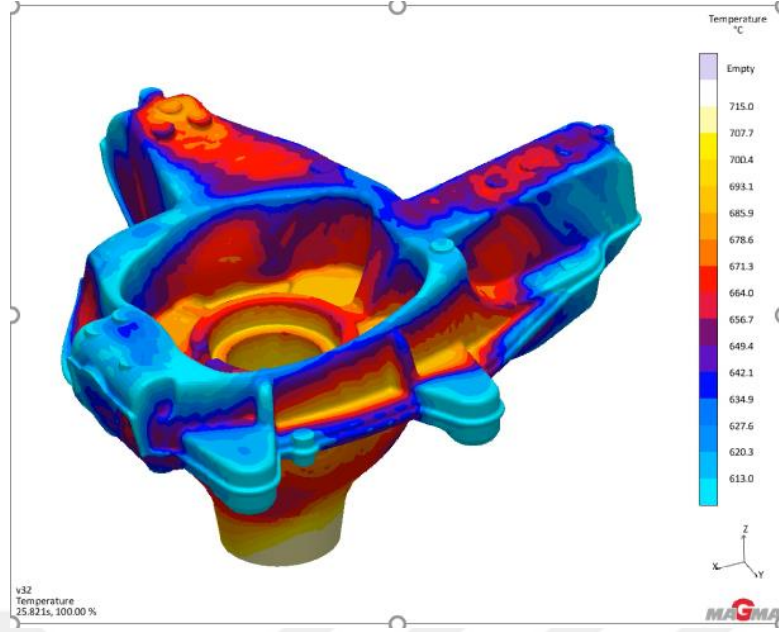


Şekil 4.19 MAGMASOFT 5.4 programında basınç parametrelerinin tanımlanması

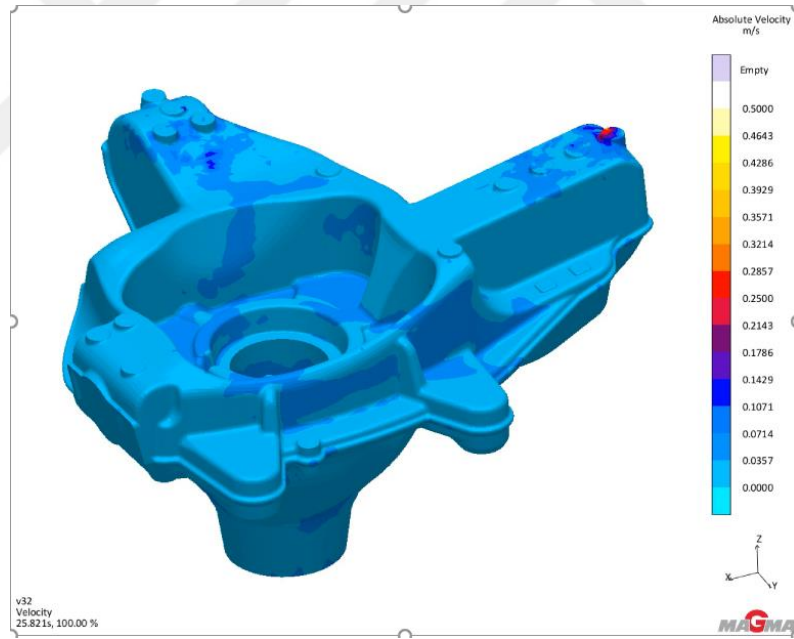
4.5.1 Dolum Sıcaklığı ve Hızı

Kalıp boşluğunu doldurmanın uygun bir şekilde gerçekleşebilmesi için madenin akış sırasında malzemenin katı-sıvı aralığı olan 613°C'nin altına mümkün olduğunca düşmemesi hedeflenmektedir. Ön akson dolumunda sadece en uç bölgelerde akışın tamamlanması ile birlikte sıcaklık bu değerler civarına düşmektedir. Dolum süreci sıcaklık değerleri açısından uygundur denilebilir.

Dolum esnasında madenin kalıp doldurma hızının türbülanslı bir akış olup daha sonra parçada porozite olarak ortaya çıkmaması için 0.5m/s 'nin altında olması hedeflenmektedir. İlgili analizde dolum hızları kontrol edildiğinde bu değer in üstüne çıkmadığı görülmektedir.



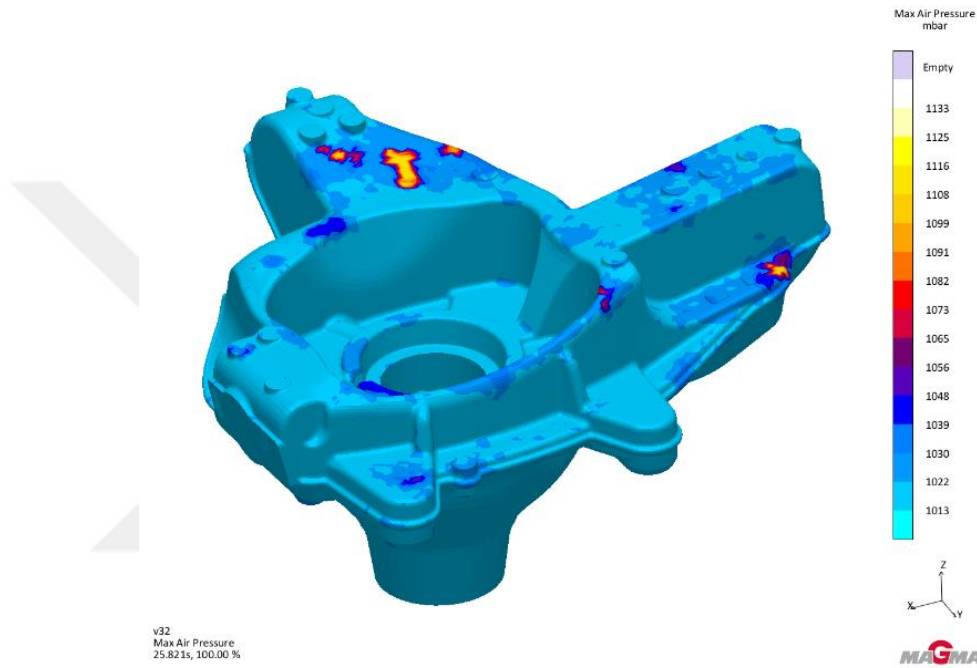
Şekil 4.20 Alüminyum akson dolum sıcaklığı analizi



Şekil 4.21 Alüminyum akson dolum hızı analizi

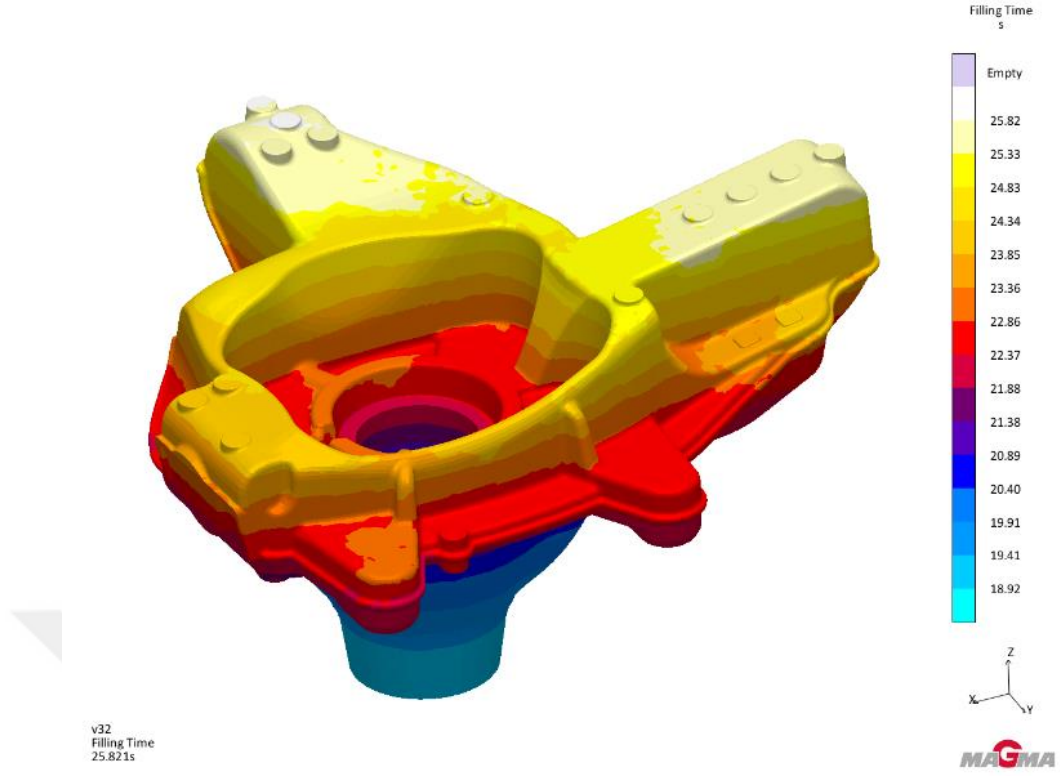
4.5.2 Hava Sıkışmaları ve Basınç

Dolum esnasında, parça üzerinde gözlemlenen maksimum hava basıncı 1113mbar mertebelerindedir. Bu değer de neredeyse açık hava atmosfer basıncına eşdeğerdir. Bu değerler kalıp üzerine yerleştirilen hava çıkış filtrelerinin en optimum konumlarda olduklarını dolayısıyla verimli bir şekilde çalıştığını, madenin kalıp boşluğunun doldururken içeride herhangi bir hava sıkışması olmadığını gösterir.



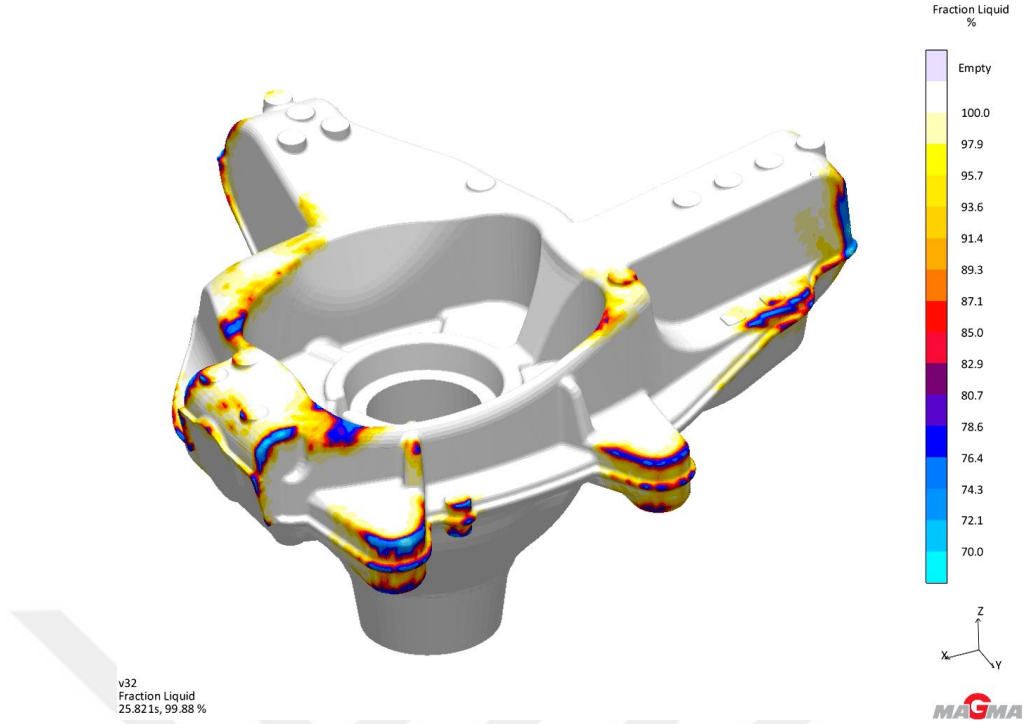
Şekil 4.22 Alüminyum akson maksimum hava basıncı analizi

Yine dolum süresi analizine bakıldığında ilgili skalada görülebileceği üzere çizgilerin parça üzerinde paralel olması dolumun parçanın her bölgesinde homojen olarak yükseldiğini göstermektedir. Dolum kalitesi açısından bu parçada alınan sonuçlar son derece iyi seviyededir. Ek olarak, bu sonuçlardan da görülebileceği üzere en geç dolan bölgeler hava sıkışma risklerin en yoğun görülebileceği bölgelerdir. Buna önlem olarak bu bölgelere kalıp üzerinde hava çıkış filtreleri eklenerek sıkışan hava kalıp dışına tahliye edilmiştir.



Şekil 4.23 Alüminyum akson dolum süresi analizi

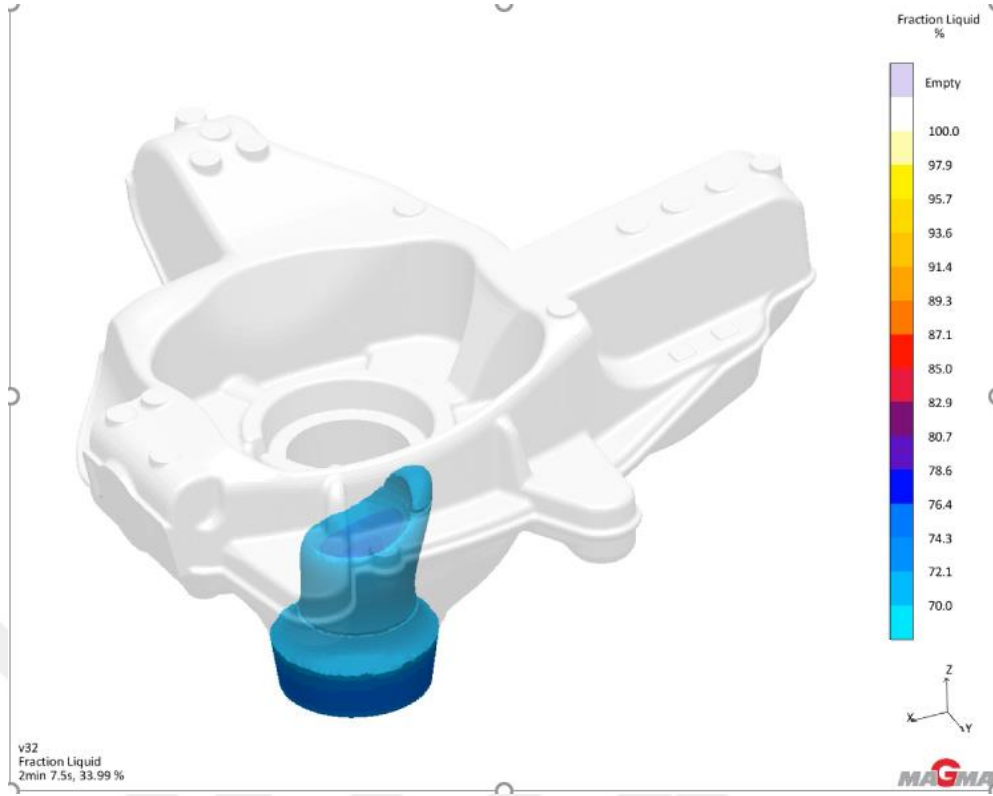
Dolum yüzdesi de önemli analizlerden bir tanesidir. Yapılan analiz sonucunda madenin kalıp boşluğunu %99.88 oranında doldurduğu gözlemlenmektedir. Oldukça iyi olan bu değer ile proses esnasında problem yaşanma ihtimali neredeyse yok denecek kadar azdır. Parçanın dolumu açısından herhangi bir risk yoktur denilebilir.



Şekil 4.24 Alüminyum akson dolum yüzdesi analizi

4.5.3 Katılaşma Yüzdesi

Alçak basınçlı döküm kalıbında ideal bir katılaşma analizinde parçanın en son katılaşan yerinin yolluk bölgesinin olması gerekir. Ayrıca yine katılaşma esnasında beslemenin sağlanabilmesi için kopma adı verilen bütünsel katılaşmadan ayrılan kısımların olmaması gerekmektedir. Yani katılaşmanın belli bir hızda tüm parça yüzeyinden homojen bir şekilde olması en ideal olanıdır. Bunu analizden görmek mümkündür. Ayrıca yolluğun en son katılaşmadığı durumlarda parçada çekinti olma ihtimali de yüksektir.

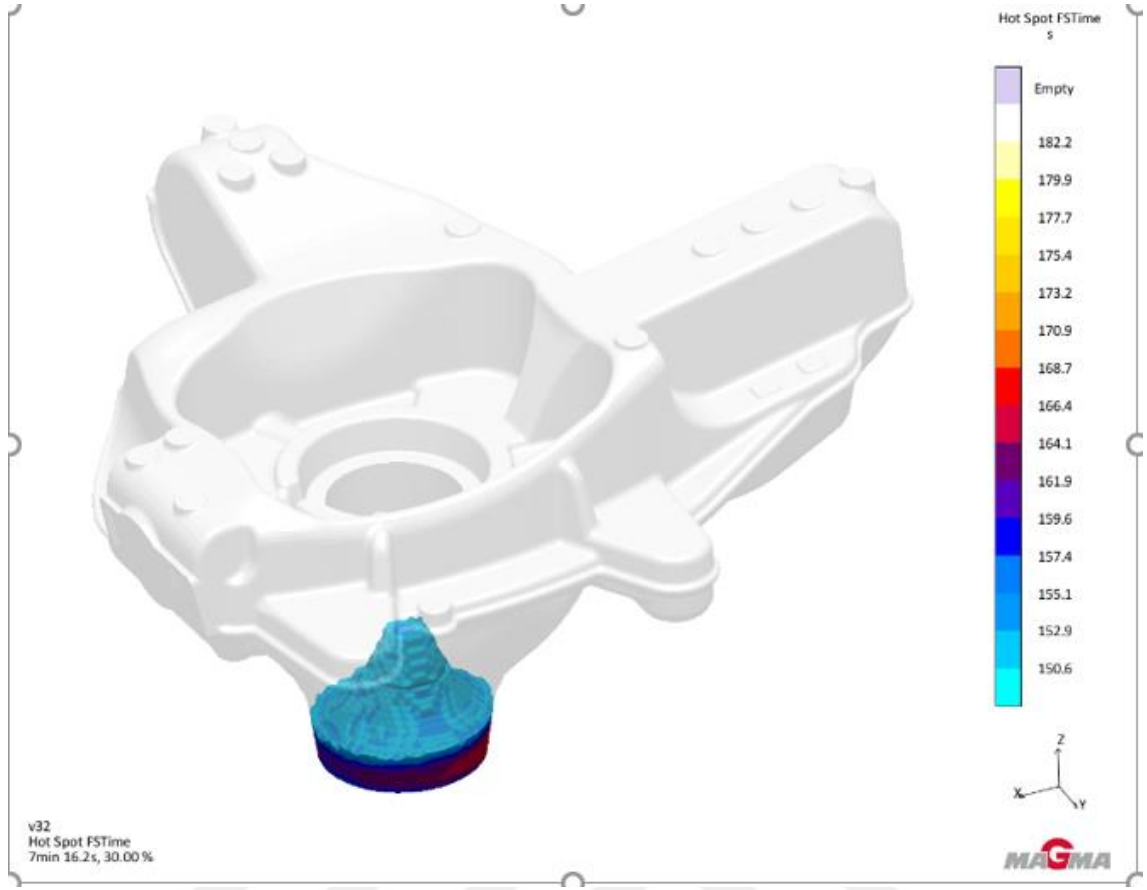


Şekil 4.25 Alüminyum akson katılaşma analizi

4.5.4 Hotspot FS Time ve Porozite

Benzer şekilde bu analizde de homojen bir katılaşma süreci ile yolluk kısmının en son katılaşıp katılaşmadığı kontrol edilir. Ayrıca parça tasarımında yer alan kalın kesitler geç katılaşmakta bundan dolayı da bu bölgelerde çekinti / porozite riskleri yüksek olmaktadır. Bu bölgelerin analiz esnasında daha dikkatli incelenmesi ve porozite riski olması durumunda tasarım değişikliğine gidilmelidir. Alüminyum aksonda bazı bölgelerde yapılan ufak tasarım değişiklikleri ile bu riskler elimine edilmiş olup parçada çekinti / porozite olmayacağı analiz yardımıyla görülmüştür.

Yeni tasarımda parça kalınlıkları daha optimum bir geometride olduğu için en son yolluğun katılaşması sağlanmış ve bu sayede parçanın içinde çekinti riski oluşmamıştır. Çekinti gösteren bölge yolluk içindedir. Bu bölge parçaya dahil olmadığı için kesilecek ve parça içinde çekinti/porozite kalmayacaktır.



Şekil 4.26 Alüminyum akson Hotspot FS time analizi

SONLU ELEMANLAR ANALİZLERİ VE TASARIM DOĞRULAMA

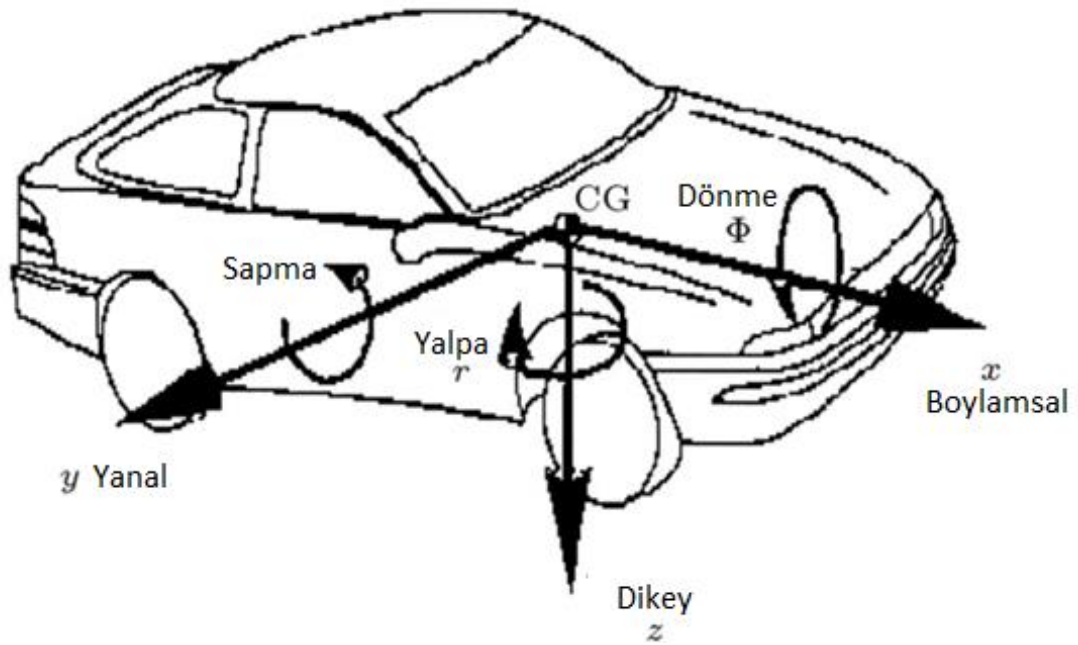
5.1 Yapılacak Analiz ve Kabul Kriterlerinin Belirlenmesi

Parça tasarımları yapıp ilgili simülasyon analizleri ile elde edilmek istenen üretim yöntemine uygunluk teyiti alındıktan sonra sıra yapılan tasarımı prototip veya seri kalıp fazından önce yapısal analizler ile doğrulamaya gelir. Bilgisayar destekli sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan bu analizler ile elde edilen sonuçlar ürün geliştirme aşamalarının en önemli çıktılarından olarak kabul edilir. Şöyle ki bu analizler sonucunda ilgili tasarımın prototip veya seri kalıbının yapılması kararı alınır. Otomotivde kullanılan birçok döküm parçada olduğu gibi akson parçasının da kalıbı oldukça maliyetlidir. Analiz sonuçlarını görmeden kalıp yapılması fiziksel olarak parça, sistem veya araç seviyesi yapılacak olan testler sırasında herhangi bir çatlak, kırık, hata, deformasyon meydana geldiği zaman yapılan kalıbın tekrar modifiye edilmesi veya ilgili tasarım değişikliği modifikasyon ile kurtarılamayacak derecede de yeni kalıp yapılmasına dolayısıyla yüksek maliyetlere sebep olur.

Bundan dolayı OEM'ler yeni bir araç modeli geliştirdiklerinde mevcut model üzerinden belirli bir parkurda aracı koşturarak yol datası (kuvvet ve moment) toplarlar. İlgili parkurda toplanan yol datası aracın tüm ömrünü simule edecek şekilde ayarlanır. Sonrasında tekerlek merkezinden toplanan bu yol dataları sistem ve parça seviyesine indirgenir. Bu çalışma özelinde aksona gelen yük değerleri belirlendikten sonra bilgisayar destekli sonlu elemanlar analizlerinde ilgili yük değerleri kullanılarak tasarımın analizi geçip geçmediği kontrol edilir. Akson, süspansiyon sisteminde birçok parçaya yataklık yapmasının yanı sıra tekerlek grubunu taşıyan, dinamik koşullarda yüksek kuvvetlere maruz kalan kritik bir parçadır. Hem statik hem de dinamik yüklere maruz kaldığından dolayı birçok yapısal analizin kalıp yapımı öncesinde tamamlanması elzemdir. Ayrıca

yapılan analizlerin doğruluk seviyesini kontrol etmek adına kalıp sürecinden sonra elde edilen fiziki parçalarla yapılan rig testlerinden alınan sonuçlar analiz sonuçları ile karşılaştırılarak yapılan analizlerin korelasyon seviyeleri belirlenir.

Analizler esnasında global koordinat sistemi gözönünde bulundurulmuştur. X ekseninde gelen kuvvetler boylamsal, Y ekseninde gelen kuvvetler yanal, Z ekseninde gelen kuvvetler ise dikey olarak adlandırılmıştır. Benzer şekilde X ekseninde gelen moment M_x (dönme), Y ekseninde gelen moment M_y (kafa atma) ve Z ekseninde gelen moment M_z (yalpalama) olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 5.1 Otomotivde global koordinat sistemi

Tablo 5.1 Demir ve alüminyum aksonların yapısal sınır koşulları

	Malzeme	Akma Mukavemeti (MPa)	Kopma Mukavemeti (MPa)	Elastisite Modülü (MPa)	Uzama Değeri (%)
Demir Döküm Akson	EN GJS 450-12	310	448	162000	12
Alüminyum Akson	AlSi ₇ Mg	234	288	72000	6

Daha önce bahsedildiği üzere sonlu elemanlar analizlerinde kullanılmak üzere öncesinde tekerlek merkezlerinden hem kuvvet hem de moment (X,Y,Z kuvvetleri ve M_x, M_y, M_z momentleri) olmak üzere özel bir pistte yol datası toplanır. Sonrasında bu kuvvet ve momentler CAE analizlerinde yük girdisi olarak kullanılarak tasarımın bu yükler altında yapısal kabul kriterleri içerisinde kalması hedeflenir.

Bu bağlamda hem demir hem de alüminyum akson tasarımlarının başarılı bir şekilde prototip kalıp sürecine devam edebilmeleri için gerekli olan kabul kriterleri hem statik hem de dinamik analizler için aşağıdaki şekilde belirlenmiştir.

Tablo 5.2 Statik ve dinamik analizlerin kabul kriterleri

Analiz Adı	Kabul Kriteri
Fren Kaliper Rijitlik Analizi	Üst Bağlantı Deliği: (> 22 kN/mm) Alt Bağlantı Deliği: (> 22 kN/mm)
Kamber ve Toe Esneklik Analizi	Kamber Rijitliği: (< 0.0454 deg/kN) Toe Rijitliği: (< 0.4 deg/kN)
Dayanım Analizi	Maksimum Plastik Deformasyon: ($< \%2.2$) Frenleyerek Çukura Girme Koşulu: ($< \%2.2$) Tümsekten Geçme Yük Koşulu: ($< \%2.2$)
Maksimum Yük Analizi	Maksimum Plastik Deformasyon: ($< \%1.1$) Kalıcı Plastik Deformasyon: (< 1.1 mm)
Yorulma Analizi	Ömür Değeri: (> 3)

5.2 Tasarım Doğrulama Analizleri

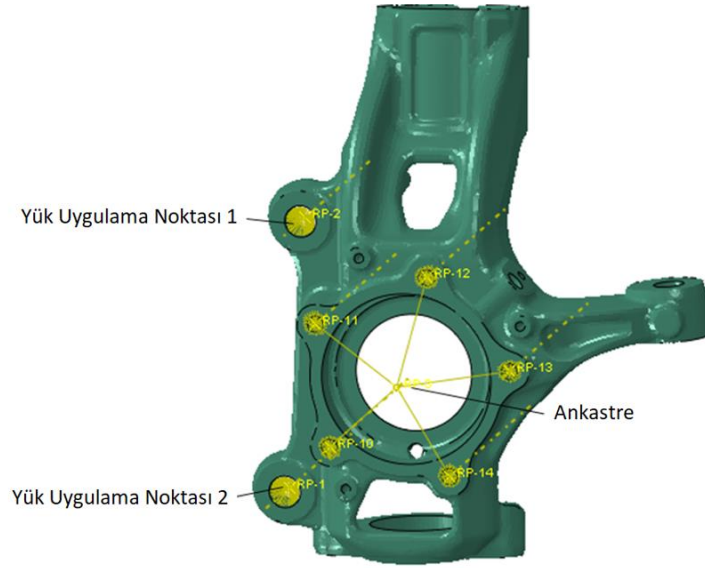
Bu kapsamda akson, statik olarak rijitlik, esneklik ve dayanım analizlerine maruz bırakılırken dinamik olarak ise yorulma (ömür) analizi yapılmıştır.

İlgili analizler için hem modelleme de hem de uygulama ve sonuçlar için ADAMS ve ABAQUS gibi bilgisayar destekli sonlu elemanlar analiz programları kullanılmıştır.

5.2.1 Fren Kaliper Bağlantısı Rijitlik Analizi

Fren kaliperi akson üzerine alt ve üst olmak üzere iki noktadan bağlantı sağlar. Özellikle bozuk yol şartlarında ve viraj dönerken aracın frenlemesi durumunda kaliperin bağlantı noktalarından akson üzerine kayda değer bir yük aktarımı olur. Bağlantı noktaların bu yük altında problemsiz bir şekilde çalışabilecek kadar dayanıklı olması gerekmektedir. Bu analiz sonucunda beklenen alt ve üst bağlantı noktalarının rijitliğinin zorlu yol koşullarında dahi herhangi bir çatlak, kırık ve deformasyon olmadan problemsiz bir şekilde çalışması için ilgili yol datasından belirlenmiş olan kabul kriterinin altında kalmasıdır.

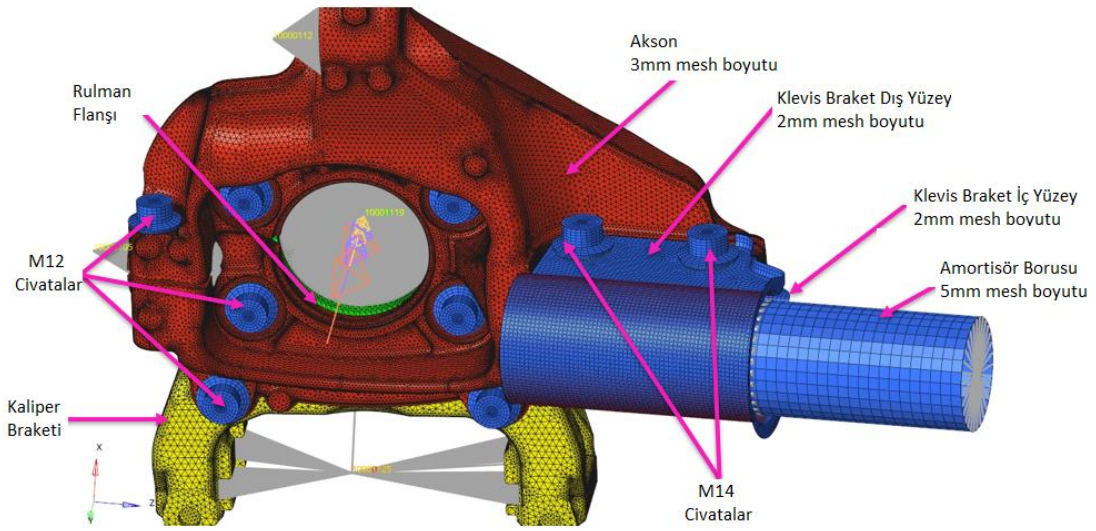
Demir döküm aksonun analizinde; öncelikle aksonun küçük parçalara bölünmesi (meshleme) işlemi tamamlanır. Sonrasında ise araç üzerinde yük gelme konumunu dikkate alınarak sınır koşulları tanımlanır. Bu analizde kritik nokta 9 olarak adlandırılan tekerlek merkezinden 6 serbestlik noktasından da (X, Y, Z kuvvetleri ve M_x, M_y, M_z momentleri) sabitlenerek kaliper bağlantı noktalarına y ekseninde (yanal olarak) 1kN mertebesinde yük uygulanarak ilgili bağlantı bölgelerinde meydana gelen açılar ölçülerek o bölgenin yük altında ne kadar esnediği ortaya çıkarılmıştır.



Şekil 5.2 Fren kaliper rijitlik analizi sınır koşulları

Analiz sonucunda üst ve alt bağlantı deliği için elde edilen rijitlik değerlerinin kabul kriterleri içinde kaldığı görülmüştür.

Alüminyum aksonun analizinde de; demir döküm akson analizinde olduğu gibi meshleme tamamlandıktan sonra benzer şekilde ilgili bağlantı bölgesinin yük altında ne kadar esnediği y ekseninde kuvvet uygulanarak tespit edilmiş ve bulunan değerin kabul kriteri içerisinde kalıp kalmadığı kontrol edilmiştir. Akson 3mm mesh boyutu ile küçük parçalara bölünürken hassasiyet ve kritiklik seviyesine göre çevre parçalardan amortisör borusu 5mm, sıkı geçmenin etkisini görebilmek adına clevis braketin bağlandığı bölgelerde 2mm boyutunda meshleme yapılmıştır. Benzer şekilde akson 6 serbestlik derecesinde de ankastre olacak şekilde sabitlenmiştir.



Şekil 5.3 Alüminyum akson çevre parçalar sınır koşulları

Tablo 5.3 Fren Kaliper Rijitlik Analizi Sonuçları

Lokasyon	Kabul Kriteri	Demir Döküm Akson Sonuçları	Alüminyum Döküm Akson Sonuçları
Üst Bağlantı Deliği	$> 20 \text{ kN/mm}$	136.45 kN/mm	135 kN/mm
Alt Bağlantı Deliği	$> 20 \text{ kN/mm}$	81.24 kN/mm	124 kN/mm

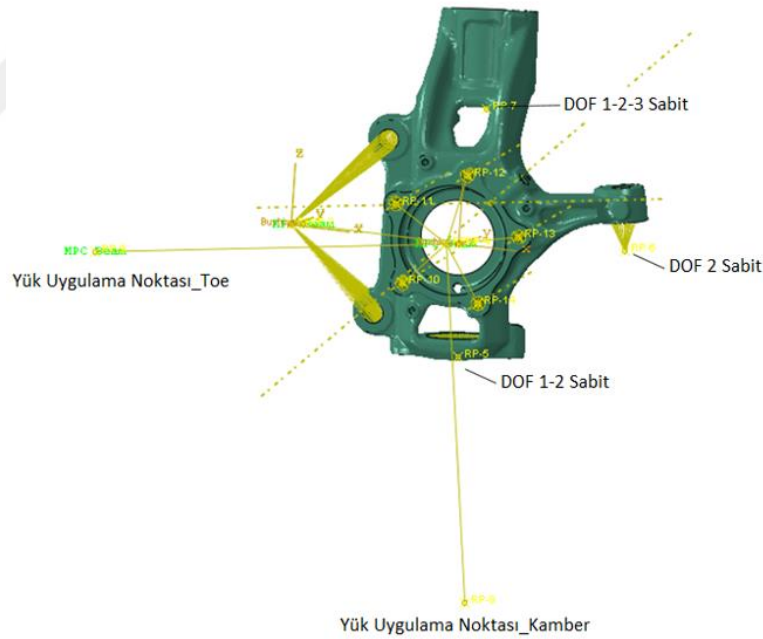
5.2.2 Kamber ve Toe Esneklik Analizi

Kamber ve Toe tekerlek açıları araç dinamiği açısından oldukça önemli parametrelerdir. Kamber açısı özellikle aracın güvenli bir şekilde viraj dönmesini sağlarken toe açısı ise aracın yolda düz bir şekilde ilerlemesi özellikle yük ve tahrik altında iken sağa ve sola çekmesini engeller. OEM'ler araç geliştirirken bu gibi parametrelerin belirli bir spek içerisinde kalmasını hedefler. Parça tasarımları ile bu açılar statik durumda garanti altına alınsa dahi önemli olan dinamik koşullarda yani araç yolda seyrederken de belirlenen spek içerisinde kalmasıdır.

Bu minvalde aksonun tasarımı tüm tekerlek grubunu taşıyan ve yataklık yapan parça olmasından mütevellit çok önemlidir. Şu anlama geliyor ki aksonun rijitliği dinamik koşullarda düz yolda seyretme, frenleme, viraj dönme, tümsek ve çukurdan geçme vb. sürüş koşullarından gelen yükler altında daha önce belirlenmiş olan kamber ve toe speklerinin dışına çıkarmayacak seviyede olmalıdır.

Bu analiz ile tekerleğin asfalta temas ettiği noktadan (kritik nokta 10) kuvvetler uygulanarak aksonun esnekliğinin yol datasından gelen spek içerisinde kalıp kalmadığı kontrol edilmiştir.

Demir döküm aksonun analizinde akson, amortisörün bağlandığı noktadan X,Y ve Z eksenlerinden, direksiyon kolunun bağlandığı noktadan Y ekseninde ve salıncak kolunun bağlandığı noktadan X ve Y eksenlerinden hareket etmeyecek şekilde sabitlenmiştir.



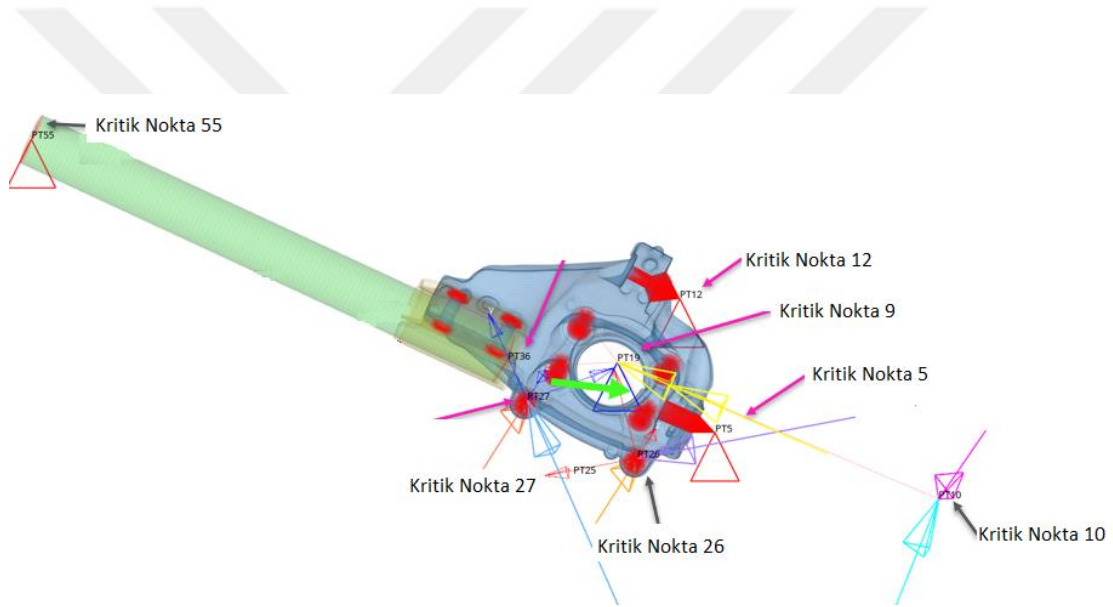
Şekil 5.4 Kamber ve Toe esneklik analizi sınır koşulları

Kamber esnekliği analizinde tekerleğin asfalta değdiği kritik nokta 10'dan 5kN olacak şekilde y ekseninden kuvvet uygulanmış ve aksonun ne kadar esnediği derece cinsinden ölçülmüştür. Aslından kritik nokta 10'dan uygulanan kuvvet

tekerlek merkezinde bir moment oluşturmıştır. Kritik nokta 10 ile tekerlek merkezi arasındaki düşey mesafe tekerleğin yarıçapı kadardır.

Toe esnekliği analizinde ise tekerlek merkezinden yarıçapı kadar uzaklıkta yine y ekseninden 2kN'lık bir yük verilerek benzer şekilde aksonun ne kadar esnediği kontrol edilmiştir.

Alüminyum aksonun analizinde de benzer şekilde kritik noktaların ilgili serbestlik dereceleri demir döküm aksonda olduğu gibi tanımlarak uygulanan yükler sonucunda aksonun ne kadar esnediği derece cinsinden ölçülerek daha sonra bu esneme açısının uygulanan kuvvete bölünmesi ile elde edilen rijitlik değeri kabul kriteri ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 5.5 Alüminyum akson statik rijitlik ve esneklik analizleri sınır koşullar

Tablo 5.4 Kamber ve Toe esneklik analizi sonuçları

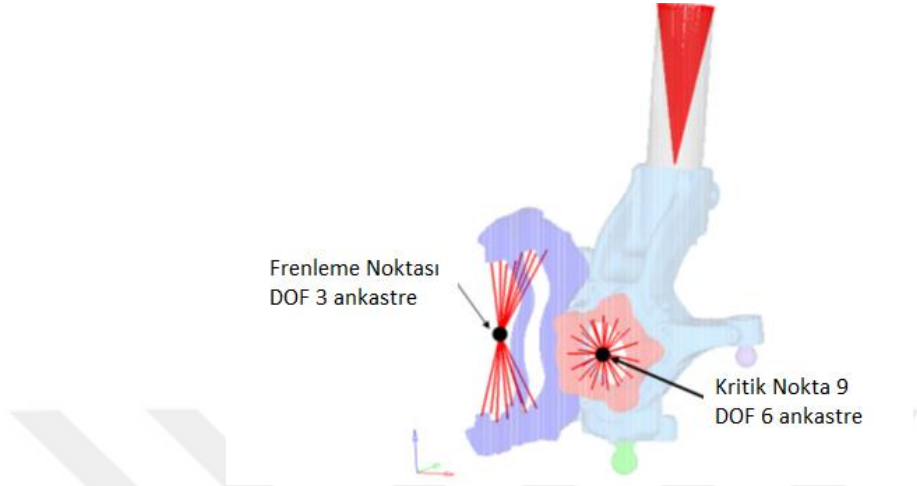
Analiz Adı	Kabul Kriteri	Demir Döküm Akson Sonuçları	Alüminyum Döküm Akson Sonuçları
Kamber Esneklik	$< 0.03 \text{ deg/kN.m}$	0.006 deg/kN.m	0.0452 deg/kN.m
Toe Esneklik	$< 0.4 \text{ deg/kN.m}$	0.123 deg/kN.m	0.11 deg/kN.m

5.2.3 Dayanım ve Max Yük Analizi

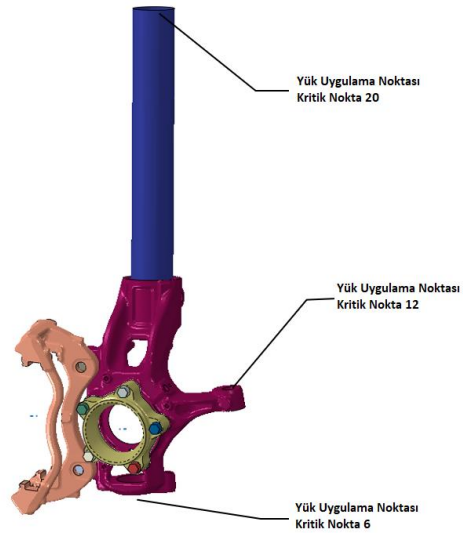
Tasarımı valide etmek için yapılan bir diğer önemli analiz ise dayanım analizleridir. Bu analizler ile daha önce bahsedilen, aracın ömrü boyunca gelebilecek farklı senaryoları simule edecek şekilde özel bir pistte toplanan kuvvet ve momentler bu sefer aksonun spesifik bir bölgesine uygulanmaktansa bütününe uygulanarak özellikle ani gelen şok yükler altında aksonda oluşan kuvvetlerin parçanın akma ve kopma mukavemetlerinin altında kalıp kalmadığı kontrol edilir. Özellikle yüksek hızda iken frenleyerek çukura girme ve tümsekten geçme senaryolarında aksona gelen ani yüksek yüklerde parçada meydana gelen plastik deformasyonun tanımlı kabul kriteri içerisinde kalması gerekmektedir. Bu analizde birçok yol senaryosu uygulanmakla birlikte en kritik ve aksona maksimum yük gelen senaryolar olan frenleyerek çukura düşme ve tümsekten geçme esnasında parçanın davranışı incelenmiştir.

Demir döküm aksonun analizinde; modelleme tamamlandıktan sonra aksona amortisör (kritik nokta 20), direksiyon bağlantı noktası (kritik nokta 12) ve salıncak kolu bağlantı noktası (kritik nokta 6)'dan yol datasından gelen kuvvetler uygulanır ve parçada meydana gelen gerinim değerinin kabul kriteri içerisinde kalması hedeflenir. Sınır koşulları tekerlek merkezinde tüm kuvvet ve moment

eksenlerinden ve ayrıca fren kaliper bağlantı noktalarından ankastre olacak şekilde tanımlandıktan sonra, yük belirtilen kritik noktalardan uygulanır.



Şekil 5.6 Demir döküm akson dayanım analizi sınır koşulları



Şekil 5.7 Demir döküm akson dayanım analizi yük uygulama noktaları

Araç seviyesi toplanan yol datasından indirgenerek bu analizde kullanılan yük senaryosuna göre kullanılan yük ve moment tablosu aşağıdaki gibidir.

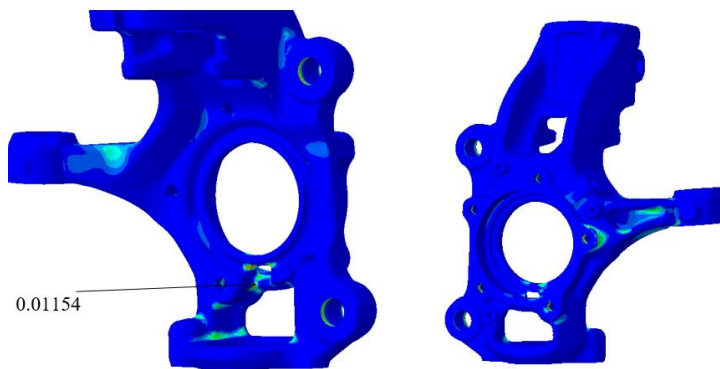
Tablo 5.5 Dayanım analizi yük ve moment değerleri (Tümsekten geçme)

Kritik Nokta	Lokasyon	F _x (N)	F _y (N)	F _z (N)	M _x (Nm)	M _y (Nm)	M _z (Nm)
P6	Salıncak kolu bağlantısı	4633.2	19594.3	-5101.8	0	0	0
P9	Tekerlek merkezi	- 2050.4	-1162.7	76741.5	0	0	0
P12	Direksiyon kolu bağlantısı	752.4	4093.1	-1125.3	0	0	0
P20	Amortisör bağlantısı	- 3346.2	- 22531.3	- 70130.5	5291755.7	121837	-295460

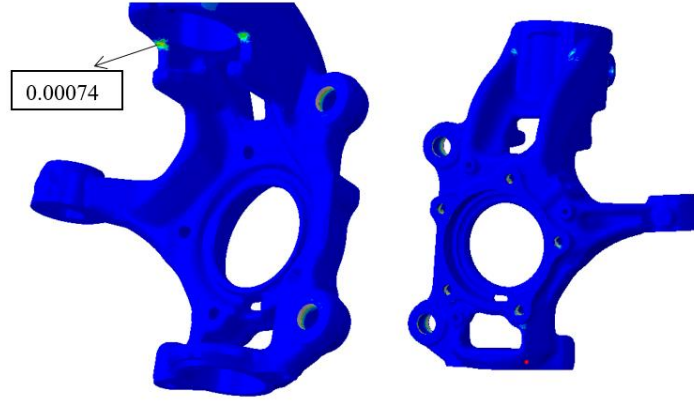
Tablo 5.6 Dayanım analizi yük ve moment değerleri (Frenleyerek çukura girme)

Kritik Nokta	Lokasyon	Fx (N)	Fy (N)	Fz (N)	Mx(Nm)	My(Nm)	Mz(Nm)
P6	Salıncak kolu bağlantısı	- 44695.2	31754.8	697.4	0	0	0
P9	Tekerlek merkezi	54734.9	- 1323.3	9988	0	0	0
P12	Direksiyon kolu bağlantısı	-2880.9	- 30797.8	-240.9	0	0	0
P20	Amortisör bağlantısı	-7154.4	364.1	- 10060.6	- 123995.11	- 3892827	723425

Analiz sonucunda her iki yükleme senaryosuna göre de parçada görülen gerinim değerlerinin kabul kriteri içinde kaldığı gözlemlenmiştir.



Şekil 5.8 Frenleyerek çukura girme yük senaryosunda gerinim değeri

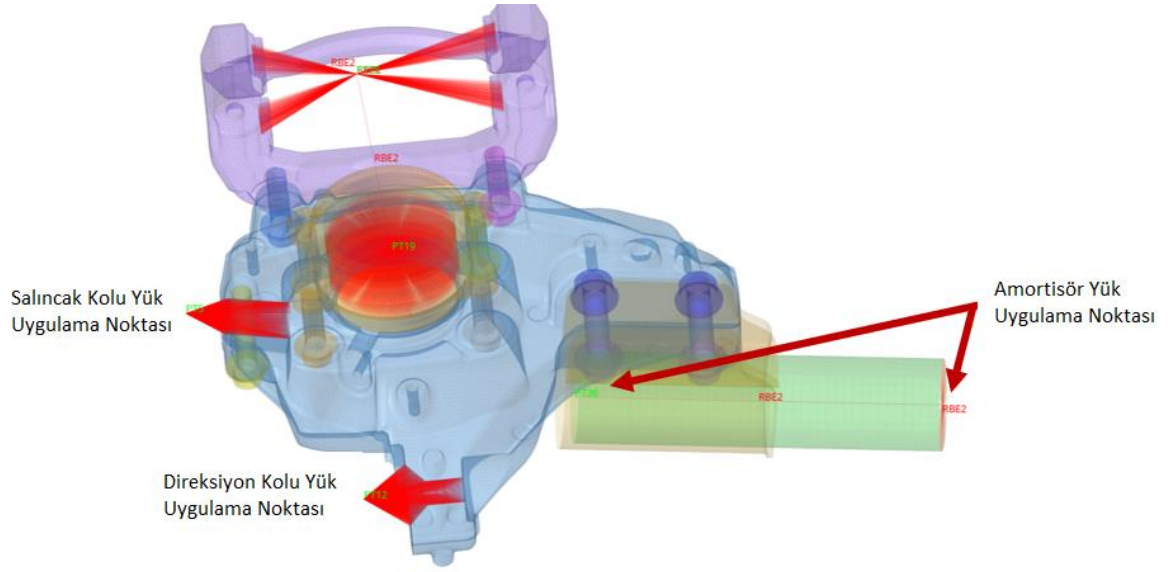


Şekil 5.9 Tümsekten geçme yük senaryosunda gerinim değeri

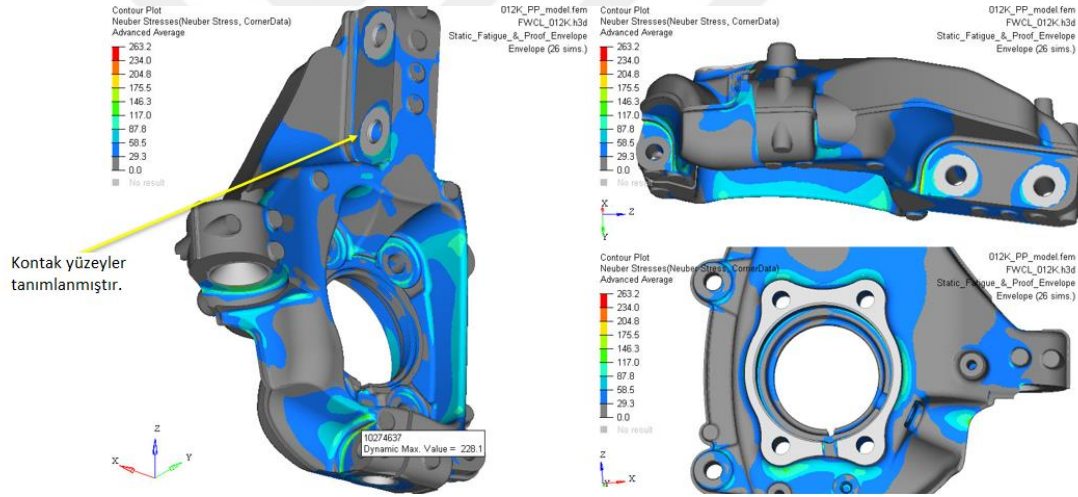
Tablo 5.7 Demir döküm akson dayanım analizi sonuçları

Lokasyon	Kabul Kriteri	Demir Döküm Akson Sonuçları
Frenleyerek Çukura Girme	< 0.02	0.01154
Tümsekten Geçme	< 0.02	0.00074

Alüminyum akson analizinde ise benzer şekilde modelleme ve sınır koşulları tanımlandıktan sonra aynı yük senaryolarında görülen stres değerlerinin parçanın akma mukavemeti değerinin altında kaldığı gözlemlenmiştir.



Şekil 5.10 Alüminyum akson dayanım analizi sınır koşulları



Şekil 5.11 Alüminyum akson dayanım analizi sonuçları

Tablo 5.8 Alüminyum akson dayanım analizi yük senaryoları ve sonuçları

Yük Senaryosu	Kabul Kriteri (MPa)	Analiz Sonucu (MPa)	Sonuç
Frenleme	234	104.2	Geçti
Geriye Frenleme	234	51	Geçti
Hızlanma	234	60.8	Geçti
Geriye Hızlanma	234	41.9	Geçti
Sağa Viraj Dönme	234	201.8	Geçti
Sola Viraj Dönme	234	51.4	Geçti
İleri Tümseğe Vurma	234	84.9	Geçti
Geri Tümseğe Vurma	234	84.5	Geçti
Maksimum Tümseğe Vurma	234	115.1	Geçti
Maksimum Çukura Düşme	234	39.8	Geçti
Maksimum Frenleyerek Tümseğe Vurma	234	80.4	Geçti
Frenleyerek Çukura Girme	234	231.8	Geçti

5.2.4 Yorulma (Ömür) Analizi

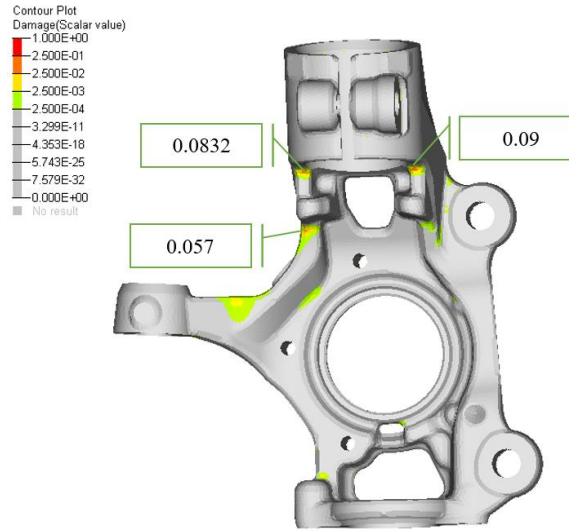
Aracın dinamik yol şartlarında yorulma dayanımını ve göstereceği performansı analiz etmek adına daha önce içerisinde tümsek, çukur, viraj, arnavut kaldırımı, rezonans, geniş merdiven, inişli çıkışlı yol vb. olmak üzere farklı parkurların olduğu özel bir test parkurunda tekerlek merkezinden kuvvet ve moment toplandığı belirtilmişti. Bu parkurda aracın hangi yol koşulundan kaç defa geçtiği

belirlidir. Daha öncesinde aracın matematik modelinin ADAMS programında kurulduğundan bahsedilmişti. Özel test parkurunda tekerlek merkezinden toplanan kuvvet ve moment değerleri bu programa girilerek ilgili yol koşullarında aksonun taşıyıcı kritik noktalarında ne kadarlık yük oluşturduğu belirlenir.

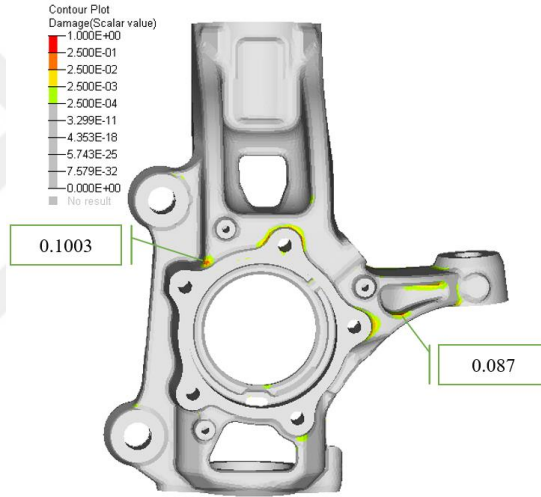
Daha sonra ise yorulma analizinin yapılması için akson benzer şekilde modellenir. Yorulma analizinde ki sınır koşulları ve yük uygulama noktaları dayanım analizinde olduğu gibidir, dayanım analizinden farklı olarak toplanan yol datası akson üzerindeki ilgili kritik noktalara yorulma datası olarak verilir ve bu uzun süreli yükler altında parçanın nasıl performans gösterdiği kontrol edilir.

Analiz öncelikle statik olarak yapılır ve programa öncesinde malzemeye ait mekanik özellikler (elastite modülü, özkütle, poisson oranı vs.) ve yorulma eğrisi girilir. Sonrasında ADAMS modeli yardımıyla farklı yol koşullarından her bir kritik taşıyıcı nokta için elde edilen yük ve moment bilgileri girilir. Bir sonraki adım olarak analiz çalıştırılarak parça üzerinde oluşan gerilme değerleri belirlenir.

Asıl dinamik yorulma analizine başlamadan önce her bir yol koşulunun tekrarlanma sayısı yine programa girdi olarak verilir. Statik analiz ile elde edilen gerilme değerinin tekrar sayısı ile oluşan toplam etki parça üzerinde meydana gelebilecek toplam yorulma gerilme değerini oluşturur. Ortaya çıkan toplam yorulma değeri malzemenin yorulma eğrisi ve mekanik özellikleri ile karşılaştırılarak parçanın ilgili test parkurunu kaç defa tamamlayabileceği ortaya çıkarılır.



Şekil 5.12 Demir döküm aksonun yorulma analizinde hasar değerleri (Arka)



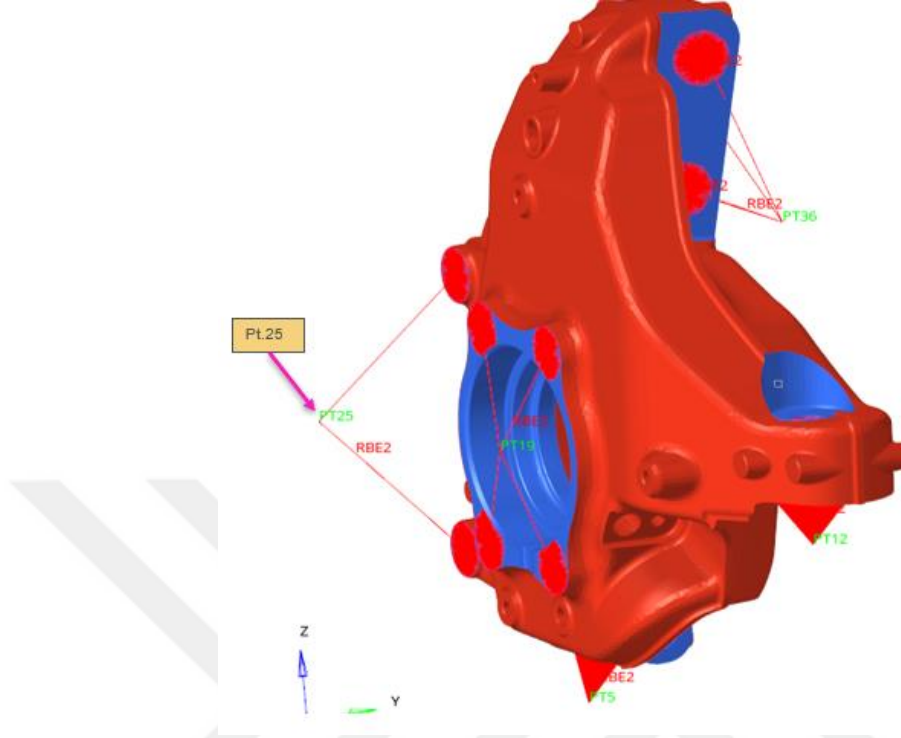
Şekil 5.13 Demir döküm aksonun yorulma analizinde hasar değerleri (Ön)

Analiz sonucunda beklenen ömürden yüksek bir değer elde edilmiştir.

Tablo 5.9 Demir döküm akson yorulma analizi sonuçları

Analiz Adı	Kabul Kriteri	Sonuç
Minimum Ömür	>4	9.97

Alüminyum döküm akson analizinde de benzer şekilde sınır koşulları ve yük uygulama noktaları tanımlandıktan sonra analiz koşulmuştur.



Şekil 5.14 Alüminyum akson yorulma analizi sınır koşulları

Tablo 5.10 Alüminyum akson yorulma analizi sonuçları

Analiz Adı	Kabul Kriteri	Sonuç
Minimum Ömür	>3	2.98

Bu çalışmada orta ticari olarak adlandırılan yük ve yolcu taşımacılığında kullanılan araçların ön süspansiyon sisteminde kullanılan ve tekerlek grubunu taşıma görevini icra eden akson parçasının konvansiyonel olarak dökme demir ve kum kalıba döküm yöntemi yerine alüminyum bir tasarımla ve alçak basınçlı döküm yöntemiyle üretilbilirliği ve sonrasında kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Alüminyuma geçişin en büyük avantajı olarak aracın toplam ağırlığı azalacağı için faydalı yük olarak adlandırılan özellikle ticari araçlarda çok ehemmiyeti olan aracın yük taşıma kapasitesinin artması gösterilebilir. Bu durum müşteri memnuniyetinin ciddi oranda artmasına sebep olmaktadır. Bunun yanında aksonun aynı şekilde süspansiyon sisteminde yaylanmayan kütle olarak adlandırılan parça grubunda yer almasından mütevellit ağırlığının azalması ile birlikte aracın toplam yaylanmayan kütle ağırlığında bir azalma meydana gelir. Bu durum aynı zamanda aracın yol tutuş, viraj alma kabiliyeti ve konfor gibi sürüş dinamiklerini olumlu yönde etkiler.

Yapılan çalışmada demir döküm akson 6.05kg iken alüminyum tasarım 4.53kg civarındadır. Parça başına yaklaşık olarak 1.52kg ağırlık azaltma yapılmıştır. Araçta iki adet kullanılmasından dolayı araç seviyesinde toplam ağırlık kazancı 3.04kg olmuştur. Benzer şekilde bu ağırlık aracın yaylanmayan kütesinden de azaldığından bu kazancın araç dinamiği açısından ne kadarlık bir iyileşme sağladığını tespit etmek adına tasarımlara ait prototip kalıptan parçalar yaptırılıp aynı test aracı üzerinde araç dinamiği uzmanı olan değerlendiriciler ile subjektif testler yapılarak tespit edilebilir. Bu tamamen ayrı bir çalışma konusu olarak ele alınabilir.

Aynı zamanda günümüzde çok daha fazla önem kazanan elektrikli araçlar için aracın toplam ağırlığının azalması ile birlikte aracın menzili de artmaktadır.

Kabaca yapılan hesaplamalara göre aracın toplam ağırlığında 3 kg'lık bir azalma 500km'lik menzile sahip bir elektrikli aracın toplam menzilin 0.3km daha artırmaktadır. Rekabetin oldukça yüksek olduğu otomotiv sektöründe bu kazanç azımsanmayacak bir değer olarak kabul edilebilir.

Alüminyuma geçişin dezavantajı olarak ise de parça birim maliyetlerinden bahsedilebilir. Alüminyum demire göre daha pahalı olduğundan dolayı bu geçişin mali anlamda olumsuz bir etkisi olabilir. Kabaca yapılan hesaplamalarda akson için değerlendirme yapıldığında %15 civarında daha maliyetli olacağı söylenebilir.

Akson bir güvenlik parçası olmasından dolayı tasarım yapılırken parçanın tasarımı konusunda uzman kişilerin, yılların getirdiği know-how ve test sonuçlarına göre şekillendirmiş olduğu belli dizayn kuralları gözetilmiştir. Aksonun global otomotiv dünyasında DFMEA olarak adlandırılan ve yapılan dizaynı kontrol etmek için spesifik olarak oluşturulmuş bu dökümanda yer alan tüm hata modlarını elimine edecek bir tasarıma sahip olduğu ispat edilmelidir. Ayrıca parçaların 1'den 10'a kadar önem derecesine (10:En önemli ve kritik) göre sıralandığı bu dökümanda aksonun puanı 9-10 olarak geçmektedir.

Optimum bir tasarıma sahip olunduktan sonra sıra yapılan tasarımların üretilmek istenen üretim yöntemine uygun olup olmadığını kontrol etmeye gelir. Bu çalışmada her iki tasarım için de MAGMASOFT 5.4 programı yardımıyla sırasıyla dolum ve katılma analizleri yapılmıştır. Bu analizler ile prototip ve seri imalat öncesinde dizayn ve procesten kaynaklı olabilecek ciddi problemler önceden tespit edilerek kalıp fazına geçmeden önce gerekiyorsa dizayn değişiklikleri yapılarak aksiyon alınması hedeflenir.

Hem dökme demir kum kalıba döküm hem de alüminyum alçak basınçlı döküm yöntemlerine uygun iki tasarıma sahip olduktan sonra bu tasarımların birbiri yerine kullanılabilirliğinin araştırılması için yine kalıp fazına geçilmeden önce yapısal analizler tamamlanmış olup her iki tasarımın ilgili araç yükleri altında nasıl performans göstereceği incelenmiştir. Hem statik olarak esneklik, dayanım ve rijitlik hem de dinamik olarak yorulma analizleri yapılmıştır. İlgili analiz yükleri bünyesinde farklı yol koşulları barındıran özel pistlerden test araçları ile tekerlek

merkezinden toplanan kuvvet ve momentlerin araç seviyesinden komponent seviyesine indirgenmesi ile elde edilir. Bu yükler kullanılarak yapılan analiz sonuçlarında hem demir döküm hem de alüminyum aksonun dayanım ve yorulma analizlerinde kabul kriterleri içerisinde kaldığı gözlemlenmiştir.

Günümüzde sonlu elemanlar analizleri ve proses simülasyonlarının gerçeğe yakınsaması, yeni gelişmelerle oldukça gelişmiş olsa dahi henüz daha gerçek hayat ile analizler arasında %100 bir korelasyon seviyesi yakalanmış değildir. Sonuç olarak alüminyum akson demir döküm akson kadar mukavim bir yapı göstermemiş olsa da ön inceleme sonuçları gösteriyor ki hafif ve orta ticari araçlar için kullanılabilir düzeyde olabilir. Yine de prototip kalıp fazına geçmeden önce, fiziki olarak komponent, sistem ve araç seviyesi testler ile yapılan tasarım ve malzemenin dizayn doğrulama planına uygun olarak testlere tabi tutulması ve bu testleri başarılı bir şekilde geçmesi gerekmektedir.

- [1] S. H. Abdullah, M. M. Ullah, O. Sharief “Design and multi-axial load analysis of automobile steering knuckle”, International Journal of Innovative Science and Research Technology, vol. 3, issue 6, 2018.
- [2] S. Vijayarangan, N. Rajamanickam, V. Sivananth “Evaluation of metal matrix to replace spheroidal graphite iron for a critical component, steering knuckle”, 2012
- [3] S. Gawda KG, A. S. Ghai, S. Polisetti, S. Tiwari, Ashok B “Fatigue life prediction and durability test of passenger car rheocast aluminium steering knuckle”, International Conference Fatigue Durability India, Vellore Institute of Technology, India, 2015
- [4] W. M. Wan Muhamad, E. Sujatmika, H. Hamid, F. Tarlochan “Modeling , simulation and optimization analysis on steering knuckle component for purpose of weight reduction”, UniKL Malaysia France Institute, Selangor Malaysia, 2012
- [5] M. Zoroufi, A. Fatemi “Fatigue life comparisons of competing manufacturing process: A study of steering knuckle”, The University of Toledo, 2004
- [6] Ticari Araç Nedir ?, <http://trafikkanunu.com/ticari-arac-nedir/>, [Online; accessed 15-October-2020]
- [7] Süspansiyon Sistemleri Nedir ?, Nasıl Çalışır?, Görevleri Nedir ?, <https://muhendisbilir.com/suspansiyon-sistemleri-nedir-nasil-calisir-gorevleri-nedir/>, [Online; accessed 05-November-2020]
- [8] Süspansiyon Nedir ?, Nasıl Çalışır?, <https://www.sekizsilindir.com/2016/12/suspansiyon-nedir-nasl-calsr.html>, [Online; accessed 05-November-2020]
- [9] What Are The Differences Between Sprung and Unsprung Weight ?, <https://www.machinedesign.com/mechanical-motion-systems/springs/article/21832024/what-are-the-differences-between-sprung-and-unsprung-weight> [Online; accessed 12-November-2020]
- [10] Unsprung Mass , https://www.wikiwand.com/en/Unsprung_mass, Online ; accessed 15-November-2020]
- [11] S. Öztürk, “Dökme Demirler”, KTÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, pp. 9-10, pp23-27
- [12] Dökme Demirler , <https://cdn.bartın.edu.tr/metalurji/d7ee7cd9-f063-4669-8e1c-393503ed6ffb/14.-hafta-dokum-teknolojisi.pdf>, pp.13
- [13] Döküm Yöntemleri, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, pp.1-9

- [14] M. Kalaoğlu, “Bir Ağır Ticari Araca Ait Ön Süspansiyon Braketinin Alüminyum Döküm Yöntemine Uygun Olarak Yeniden Tasarlanması” Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2017
- [15] Alüminyum Alaşımları ve Özellikleri , www.demircelik.com.tr/-1-8748-aluminyum-alasimlari-tanitilmasi-ve-ozellikleri.html, [Online; accessed 20-December-2020]
- [16] Basınçlı Döküm, <https://metaldunyasi.com.tr/tr/guncel/108/basincli-dokum.html>, [Online; accessed 13-January-2021]
- [17] Ö. Topçuoğlu, Ö. Çe, U. Aybarç, M. Keskiç “Alçak basınç döküm prosesinde kullanılan kalıp kalıplama malzemesinin metal akışkanlığına etkisi”, Tüdoksad, 7. Uluslararası Ankiros Döküm Kongresi, 2014, pp.3
- [18] Front Suspension – Geometry Hardpoints, <https://www.eng-tips.com/viewthread.cfm?qid=392730>



TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Uluslararası Konferans Bildirileri

1. Aydın, R. , Akdoğan A. , Vanlı A. S. , Durakbasa N. M. “Castability of Steering Knuckle From Aluminium Alloys By Low Pressure Die Casting Replacing Sand Casting of Cast Iron”, Technical University of Cluj-Napoca, IC-QIEM&ICNcT 2021 Joint Conference, ACTA TECHNICA NAPOCENSIS, Series: Applied Mathematics, Mechanics and Engineering, Vol.64, Issue Special IV, December, 2021

