

**ŞASE YORULMA PARÇALARINDAN OLAN MOTOR  
BEŞİĞİNİN ALÜMİNYUM EKSTRÜZYON METODU İLE  
TASARIMI VE KAYNAK EDİLMESİNİN İNCELENMESİ**

**Dilek ŞENGÜL NİŞANCI**



T.C.  
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ŞASE YORULMA PARÇALARINDAN OLAN MOTOR BEŞİĞİNİN  
ALÜMİNYUM EKSTRÜZYON METODU İLE TASARIMI VE KAYNAK  
EDİLMESİNİN İNCELENMESİ**

**Dilek ŞENGÜL NİŞANCI**

0000-0002-6698-057X

Prof. Dr. Fatih KARPAT

(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2021

## TEZ ONAYI

Dilek ŞENGÜL NİŞANCI tarafından hazırlanan “ŞASE YORULMA PARÇALARINDAN OLAN MOTOR BEŐİŐİNİN ALÜMİNYUM EKSTRÜZYON METODU İLE TASARIMI VE KAYNAK EDİLMESİNİN İNCELENMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliğı ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliğı Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** : Prof. Dr. Fatih KARPAT

**U.Ü**  
**Başkan** : Prof. Dr. Fatih KARPAT İmza  
0000-0001-8474-7328  
Uludağ Üniversitesi,  
Mühendislik Fakültesi,  
Konstrüksiyon ve İmalat Anabilim Dalı

**BTÜ**  
**Üye** : Doç.Dr.Nurullah ARSLANOĞLU İmza  
0000-0003-4970-4490  
Uludağ Üniversitesi,  
Mühendislik Fakültesi,  
Termodinamik Anabilim Dalı

**Üye** : Dr. Öğr. Üyesi Celalettin Yüce İmza  
0000-0003-1387-907X  
Bursa Teknik Üniversitesi,  
Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi,  
Mekatronik Mühendisliğı Anabilim Dalı

**Yukarıdaki sonucu onaylarım**

**Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN**  
**Enstitü Müdürü**  
.././....

**TEZ YAYINLANMA  
FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI**

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezin/raporun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kâğıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma izni Bursa Uludağ Üniversitesi'ne aittir. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet hakları ile tezin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları tarafımıza ait olacaktır. Tezde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alınarak kullandığını ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederiz.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayınlanan “**Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge**” kapsamında, yönerge tarafından belirtilen kısıtlamalar olmadığı takdirde tezin YÖK Ulusal Tez Merkezi / B.U.Ü. Kütüphanesi Açık Erişim Sistemi ve üye olunan diğer veri tabanlarının (Proquest veri tabanı gibi) erişimine açılması uygundur.

Danışman Adı-Soyadı  
Tarih

Prof. Dr. Fatih KARPAT

Öğrencinin Adı-Soyadı  
Tarih

Dilek ŞENGÜL NİŞANCI

İmza

Bu bölüme kişinin kendi el yazısı ile okudum anladım  
yazmalı ve imzalanmalıdır.

İmza

Bu bölüme kişinin kendi el yazısı ile okudum  
anladım yazmalı ve imzalanmalıdır.

**U.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;**

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

**beyan ederim.**

**07/06/2021**

**Dilek ŞENGÜL NİŞANCI**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### ŞASE YORULMA PARÇALARINDAN OLAN MOTOR BEŞİĞİNİN ALÜMİNYUM EKSTRÜZYON METODU İLE TASARIMI VE KAYNAK EDİLMESİNİN İNCELENMESİ

**Dilek ŞENGÜL NİŞANCI**

Bursa Uludağ Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Prof. Dr. Fatih KARPAT

Alüminyum, 1824 yılında Danimarkalı profesör, fizikçi ve kimyager Hans Christian Ørsted tarafından ortaya çıkarıldığından beri giderek popülerliğini arttırmış kimyasal elementtir. Günümüzde ise ağırlıklı olarak otomotiv, inşaat, savunma sanayi gibi sanayilerde kullanılmasının yanı sıra, farklı tüm sanayi dallarında da birçok avantajlı yönünden dolayı dikkat çeken bir malzeme olduğu bilinmektedir. Alüminyum malzemesi endüstri kullanımına uygun olup, tedariki oldukça kolay, geri dönüştürülmesi yüksek şekillendirilmeye elverişli ve çevreci bir malzemedir.

Geliştirilmiş yüksek mukavemetli çeliklerin rakip malzemeleri arasında yer alan alüminyumun birçok üretim metodu bulunmaktadır. Alüminyumun sıkça kullanıldığı üretim metotlarından da biri olan ekstrüzyon prosesi sayesinde alüminyum alaşımlarının kolayca ekstrüzyon ile üretilmesi ve ısıtma işlemleriyle mukavemetinin artırılabilmesi sağlanabilmektedir. Bu çalışmada, Almanya merkezli araç üreticisi bir firmanın, M2 sınıfına yönelik ürettiği elektrikli taşıtında prototip seviyesinde kullanılması için geliştirilmiş alüminyum motor beşiğinin, ekstrüzyon üretim yöntemiyle imal edilmesi ve doğrulanması adına AR-GE süreçleri aktarılmıştır. Mevcut çelik motor beşiğinin montaj yerlerinin ve paket hacminin sabit tutularak CATIA programı ile 3D modellenmesi, HyperWorks yazılımı ile statik analizinin yapılarak tasarımının dondurulması, ekstrüzyon ile üretildikten sonra ise CMT Robotu ile kaynaklanmadan önce kupon bazlı kaynak çalışmaları yapılmıştır. Tez sonunda ise çelik motor beşiğinin alüminyum ekstrüzyon yöntemiyle geliştirilmesiyle % 43,76 ağırlık kazancı sağlanmıştır. Tüm bunların yanı sıra müşteri mühendislik isterlerini sağlayan bir motor beşiği elde edilmiştir. Tez, 1501 Sanayi Ar-Ge Projeleri Destekleme Programınca 3181441 Proje Numarası altında TÜBİTAK tarafından 2019-2020 yıllarında desteklenmiş ve başarıyla tamamlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Alüminyum, Ekstrüzyon, Motor Beşiği, Tasarım, Ürün Geliştirme, Ağırlık Kazancı, CMT Kaynağı

**2021, ix + 113 sayfa.**

## ABSTRACT

MSc Thesis

DEVELOPMENT OF THE ENGINE CRADLE DESIGN, ONE OF THE CHASSIS  
FATIGUES PARTS, WITH ALUMINUM EXTRUSION METHOD AND  
INVESTIGATION OF WELDABILITY

**Dilek ŞENGÜL NİŞANCI**

Bursa Uludağ University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Mechanical Engineering

**Supervisor:** Prof. Dr. Fatih KARPAT

In 1824 by Danish professor, physicist, and chemist Hans Christian Ørsted was discovered aluminum which is a chemical element since that day aluminum has grown in popularity. Today, all manufacturer and market accepts and aspects that the aluminum have many advantage so result of that as well as mainly sectors used aluminum to as critical construction solutions such as automotive, construction, and even aviation industry Aluminum material is a chemical element which suitable for industrial use also has easy accessibility to supply, highly recyclable rate skills, and most of all environmentally friendly material when considering today's global warming situation.

The aluminum material can produce many production methods, besides aluminum is a very competitive material, hence aluminum is preferable as much as to advanced high-strength steels. Ability to the extrusion process, which is one of the selected production methods to aluminum, aluminum alloys can be easily produced by extrusion progress. After the extrusion step, the heat treatment process can be increased the strength value. In this study, In this thesis, R&D activities were be presented/shared knowledge the electric vehicle for one of the Germany-based vehicle manufacturer company for the M2 class steel engine cradle about converting to new aluminum extrusion design. At the end of the development workflow, the new extruded aluminum engine cradle prototype was evaluated/performed by vehicle manufacturing company. The new aluminum design of the engine cradle's 3D modeling was created on the CATIA platform considering the first mounting locations and package volume of the target steel engine cradle. After that static analysis ran to the aluminum design with HyperWorks software, and coupon-based welding studies applied through using to CMT Robot. As a result, 43.76 % weight reduction was achieved. All, customer engineering and requirements were also provided. The thesis was funded and successfully completed in 2019-2020 under the Project Number 3181441 by the TÜBİTAK 1501 Industrial R&D Projects Support Program.

**Key words:** Aluminium, Aluminum, Extrusion, Engine Cradle, Subframe, Design, Development, Weight Reduction, CMT Welding

**2021, ix + 113 pages.**

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitiminin başından itibaren ve tez çalışmam sürecinde, değerli fikir ve görüşleriyle beni aydınlatan, bana yön veren, sabırla bu süreci yöneten değerli danışman hocam Prof. Dr. Fatih Karpat'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmasına konu olan ve yürütücülüğü yaptığım bu çalışma, Sanayi Ar-Ge Projeleri Destekleme Programı adı altında 1501 çağrısına yönelik, 3181441 Proje Numarası altında 01.02.2019-31.05.2020 tarihleri altında desteklenmiş ve başarıyla kapatılmıştır. Tez süresince deneysel ve sayısal çalışmalarında imkân ve destek veren başta Yeşilova Holding Yönetimine, sonrasında ise mühendislik çalışmalarımı harika bir ekip olarak iş birliği içinde yürüttüğümüz Yeşilova Holding Ar-Ge Merkezi çatısı altındaki çalışma arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım. Yine aynı tez çatısı altında beraber çalışma şansı elde ettiğim değerli akademisyenler Prof. Dr. Ali Rıza Yıldız'a ve Dr. Öğr. Üyesi Celalettin Yüce'ye bana ve teze olan katkılarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmayı, tüm zorlukları benimle göğüsleyen hayatımın her anında maddi ve manevi bana destek olan biricik eşime ve biricik anneme adıyorum.

Dilek ŞENGÜL NİŞANCI  
07/06/2021



## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
1.GİRİŞ.....	1
1.1.Ekstrüzyon Üretim Yöntemi.....	5
1.2.Motor Beşiği Parçasının Tanımı.....	8
1.3.M2 Sınıfı Araç Tanımı.....	11
2.KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	12
2.1.Ekstrüzyon Parça Tasarım Kuralları.....	14
2.2.Motor Beşiği Literatür Araştırması.....	22
2.2.1.Motor Beşiği Yük Durumları.....	23
2.2.2.Motor Beşiği Patent Araştırması.....	36
3.MATERYAL ve YÖNTEM.....	39
3.1.Ürün Geliştirme Süreci.....	41
3.1.1.Konsept Tasarım Çalışmaları.....	43
3.1.2.Motor Beşiği Statik Analizi.....	44
3.2.Kaynak Çalışmaları.....	51
3.2.1.CMT Kaynağı.....	51
3.2.2.Kupon Bazlı Kaynak Çalışmalar.....	53
3.2.3.Kaynaktan Etkilenen Bölge (HAZ Bölgesi).....	56
4.BULGULAR (BULGULAR ve TARTIŞMA).....	59
4.1.Ürün Geliştirme Süreci Sonuçları.....	59
4.1.1.Tasarım Çalışmaları Sonuçları.....	59
4.1.2.Motor Beşiği Statik Analizi Sonuçları.....	67
4.1.3.Malzeme Alternatiflerinin Oluşturulması ve Malzeme Seçimi.....	84
4.2.Kaynak Çalışma Sonuçları.....	93
4.2.1.Kupon Bazlı Kaynak Çalışmaların Sonuçları.....	93
4.2.2.Kaynaktan Etkilenen Bölge (HAZ Bölgesi) ve Benchmark Parçasının Test Sonuçları.....	95
4.3.Nihai Tasarım ve Prototipin Üretimi.....	102
5.SONUÇ.....	106
KAYNAKLAR.....	108
EKLER.....	112
ÖZGEÇMİŞ.....	113

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
A	Akım (A)
Al	Alüminyum
Bi	Bizmut
CO <sub>2</sub>	Karbondioksit
Cu	Bakır
E	Elastiklik Modülü (N/m <sup>2</sup> )
F	Kuvvet (N)
H	Boy (mm)
M	Moment (Nm)
Mg	Magnezyum
Mn	Mangan /Manganez
Pb	Kurşun
R <sub>m</sub>	Akma Mukavemeti (MPa)
Si	Silisyum
Sn	Kalay
t	Et kalınlığı (mm)
V	Vanadyum
Z	Mesafe (mm)

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
AB	Avrupa Birliği
BIW	Beyaz Gövde
CAE	Bilgisayar Destekli Mühendislik
CMT	Soğuk Metal Transferi
DIN	Alman Standartlar Enstitüsü
FEA	Sonlu Elemanlar Analizi
FEM	Sonlu Elemanlar Metodu
FSW	Sürtünme Karıştırma Kaynağı
HAZ / ITAB	Isıdan Etkilenen Bölge
LC	Yük Koşulu
MIG / MAG	Gaz Metal Ark Kaynağı / Korumalı Metal Ark Kaynağı
OEM	Orijinal Ürün Üreticisi
TS	Türk Standardı

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. 2025 yılında otomotiv sektöründeki malzemelerin kullanım oranı grafiği .....	1
Şekil 1.2. 2025 yılında otomotiv sektöründeki malzemelerin kullanım oranı tablosu .....	2
Şekil 1.3. CO <sub>2</sub> emisyon değerlerinin yakalanabilmesi için hafifletme çalışması yapmaya karar veren üreticinin ağırlık ve emisyon ilişkisi görseli .....	3
Şekil 1.4. Yaklaşık bir aracın ağırlık paydaları görseli .....	3
Şekil 1.5. Alüminyum ekstrüzyon üretim metot görseli .....	5
Şekil 1.6. Direkt ekstrüzyon üretim metot görseli .....	6
Şekil 1.7. Endirekt ekstrüzyon üretim metot görseli .....	7
Şekil 1.8. Hidrostatik ekstrüzyon üretim metot görseli .....	7
Şekil 1.9. Darbeli ekstrüzyon üretim metot görseli .....	8
Şekil 1.10. Örnek bir motor beşiği ve alt parçaları görseli .....	9
Şekil 1.11. Motor beşiğinin araçtaki yeri görseli .....	9
Şekil 1.12. Motor beşiği parçasının araçta yakın çalıştığı parçaların detaylı görseli .....	10
Şekil 1.13. Sağ araç sınıf tanımları görseli .....	11
Şekil 2.1. Alüminyum ekstrüzyon konseyi gereğince ekstrüzyon tasarım önerileri .....	15
Şekil 2.2. Alüminyum ekstrüzyon konseyine göre ekstrüzyon tasarım .....	16
Şekil 2.3. Alüminyum ekstrüzyon konseyine göre delik yerlerinde tasarım önerileri .....	16
Şekil 2.4. Çelik sac ile ekstrüzyon tasarımı yapılan tavan rayın tasarım görselleri .....	18
Şekil 2.5. Eğilmeye maruz kalan sacın görseli .....	19
Şekil 2.6. Alüminyum-çelik arasındaki boy ve kalınlık etkisinin grafiği .....	20
Şekil 2.7. Alüminyum ve çelikten eşit rijitlik kirişler elde etmek için kalınlık ve kesit yükseklik oranları .....	21
Şekil 2.8. EcoCAR2 aracı ve araca ait motor beşiği görseli .....	24
Şekil 2.9. US 2015/0298741 A1 isimli patent görseli .....	36
Şekil 2.10. US6408515B1 isimli patent görseli .....	37
Şekil 2.11. US20100264637A1 isimli patent görseli .....	38
Şekil 3.1. Mevcut çelik konstrüksiyona sahip motor beşiği ve motor görseli .....	42
Şekil 3.2. Motor beşiği tasarımının parametrelerinin atanması .....	42
Şekil 3.3. Motor beşiğinin motor datasına olan uzaklığı .....	43
Şekil 3.4. Araç üreticisi firmadan gelen mevcut çelik konstrüksiyona sahip motor beşiği görseli .....	44
Şekil 3.5. Yük uygulama noktaları (kırmızı noktalar) .....	45
Şekil 3.6. Fronius marka TransPuls Synergic 4000 CMT kaynak cihazı .....	53
Şekil 3.7. Kupon bazlı kaynak denemelerinin yapıldığı üretim hattı görseli .....	54
Şekil 3.8. Kupon bazlı kaynak çalışmalarının sonrasında bindirme kaynağı yapılmış örnek numunenin görseli .....	54
Şekil 3.9. Kupon bazlı kaynak çalışmalarının sonrasında alın kaynağı yapılmış örnek numunenin görseli .....	54
Şekil 3.10. Kaynaktan etkilenen bölge .....	57
Şekil 3.11. Kaynaktan etkilenen bölgenin kaynak merkez uzaklığının kaynak sertlik değişim ile ilişki diyagramı .....	58
Şekil 3.12. DIN 50 114 standardına uygun olacak A80 ebatlarındaki çekme testi görseli .....	58
Şekil 4.1. Alüminyum ekstrüzyon yöntemiyle tasarlanmış ilk motor beşiği (Rev.01) ...	59

Şekil 4.2. Sol Rev.01 motor beşiği tasarımının sağdaki Rev.02 tasarımı olarak geliştirilmesi.....	59
Şekil 4.3. Daire kesitli ön yatay üye parça (sol) Rev.02’de köşe kesitli olarak geliştirme görseli (sağ).....	60
Şekil 4.4. Bir önceki tasarımdan (sol) daha az maliyetli üretim sürecine ihtiyaç duyulan yatay üye parçaları (sağ) .....	61
Şekil 4.5. Ana profilin kesit yapısı ve bağlantı burç yuvası geometrisi değiştirilmiş tasarım (sağ).....	61
Şekil 4.6. Rev.03 tasarımı .....	62
Şekil 4.7. Feder yapısı değiştirilmiş ana profil kesit görünüşü kıyaslaması .....	62
Şekil 4.8. Ön yatay üye parçasının kesiti dik yatay kesitten (sol) dik kesite getirilme görseli (sağ).....	63
Şekil 4.9. Rev.04 tasarımı .....	63
Şekil 4.10. Şanzıman alt destek braketinin çapraz iki profil olacak şekilde yatay üyeler şeklinde tasarlanma görseli .....	64
Şekil 4.11. Üretilbilirlik açısından ana bağlantı braketlerinde yapılan kesit değişikliği görseli.....	64
Şekil 4.12. Rev.05 tasarımı .....	65
Şekil 4.13. Yatay üye profil parçasının yerinin değiştirilme görseli .....	65
Şekil 4.14. Arka Salıncak Kolu Braket kesit değişimi.....	66
Şekil 4.15. Şanzıman Üst Destek Braketi parçasına cıvata deliği kesitinde ekstra kalınlık sağlanma görseli.....	66
Şekil 4.16. Rev.05 tasarımının 13.yük koşulu olan fren ve viraj yüklerine göre analiz sonuç görseli .....	67
Şekil 4.17. Rev.05 tasarımının maksimum yer değiştirme oluşan parça kırmızı ile gösterildiği görsel.....	68
Şekil 4.18. Rev.06 tasarımı .....	68
Şekil 4.19. Kalınlığı arttırılan ve kapatılan arka salıncak kolu braketi.....	69
Şekil 4.20. Rev.07 tasarımı .....	69
Şekil 4.21. Rev.06’nın 13.yük koşulu olan fren ve viraj yüklerine göre analiz sonucu .	70
Şekil 4.22. Ana profillere yapılan tasarım revizyonu .....	70
Şekil 4.23. Rev.06’nın 13.yük koşulu olan fren ve viraj yüklerine göre analiz sonucu- 2 .....	71
Şekil 4.24. Arka salıncak kolu braketlerine yapılan tasarım revizyonu.....	71
Şekil 4.25. Direksiyon desteği yatay üye profiline yapılan tasarım revizyonu.....	72
Şekil 4.26. Rev.08 tasarımı .....	72
Şekil 4.27. Şanzıman alt destek braketine yapılan tasarım revizyonu .....	73
Şekil 4.28. Ön salıncak kolu braketine yapılan tasarım revizyonu .....	73
Şekil 4.29. Rev.09 tasarımı .....	74
Şekil 4.30. Rev.09 tasarımı revizyonu detay görseli.....	74
Şekil 4.31. Rev.10 tasarımı .....	75
Şekil 4.32. Ana profillere yapılan tasarım revizyonu .....	75
Şekil 4.33. Ana profillere yapılan tasarım revizyonun detayları .....	76
Şekil 4.34. Rev.11 tasarımı .....	76
Şekil 4.35. Rev.10’in 13.yük koşulu olan fren ve viraj yüklerine göre analiz sonucu ...	77
Şekil 4.36. Stabilizatör bağlantı parçalarına yapılan tasarım revizyonu.....	77
Şekil 4.37. Rev.10’in 13.yük koşulu olan fren ve viraj yüklerine göre analiz sonucu- 278	
Şekil 4.38. Rev.10’in 13.yük koşulu olan fren ve viraj yüklerine göre analiz sonucu- 378	

Şekil 4.39. Ana braketlere yapılan tasarım revizyonu .....	78
Şekil 4.40. Yatay üyelere yapılan tasarım revizyonu.....	79
Şekil 4.41. Rev.12 tasarımı .....	80
Şekil 4.42. Ana braketlere yapılan tasarım revizyonu .....	80
Şekil 4.43. Rev.12 tasarımın ait parça isimleri ve parçaların güncel tasarımı ile araç bağlantı noktalarının görseli.....	81
Şekil 4.44. 2. yük durumu dikey çarpışma yük koşullarına göre analiz sonucu.....	82
Şekil 4.45. 3. yük durumu diyagonal aks yüklemesi yük koşullarına göre analiz sonucu .....	82
Şekil 4.46. 7. yük durumu fren yük koşullarına göre analiz sonucu.....	83
Şekil 4.47. 9. yük durumu yan çarpışma yük koşullarına göre analiz sonucu .....	83
Şekil 4.48. 13. yük durumu fren ve dönüş yük koşullarına göre analiz sonucu.....	84
Şekil 4.49. Motor beşiği ana profilinin malzeme alternatiflerine göre duvar kalınlıkları .....	88
Şekil 4.50. Motor beşiği alt parçalarının analiz sonuçlarına göre yapılan malzeme önerileri .....	89
Şekil 4.51. Motor beşiği alt parçalarının statik analiz sonucu lokal tasarım iyileştirme çalışmaları .....	90
Şekil 4.52. Motor beşiğin alt parçalarının EN AW 6060-T6 olarak değerlendirilmesi ..	90
Şekil 4.53. Motor beşiğin alt parçalarının EN AW 6060-T6 olarak değerlendirilmesi- 2 .....	91
Şekil 4.54. Motor beşiği benchmarking parçası üzerinden alınan 1.ve 2. numunelerin parça üzerindeki yeri görseli .....	96
Şekil 4.55. Motor beşiği benchmarking parçası üzerinden alınan 1. Numunelerin çekme testi sonuçları .....	96
Şekil 4.56. Motor beşiği benchmarking parçası üzerinden alınan 2. Numunelerin çekme testi sonuçları .....	98
Şekil 4.57. Motor beşiği benchmarking parçası üzerinden alınan 3. numunelerin parça üzerindeki yeri görseli.....	99
Şekil 4.58. Motor beşiği benchmarking parçası üzerinden alınan 3. Numunelerin çekme testi sonuçları .....	100
Şekil 4.59. Motor beşiğinin kaynaktan etkilenen bölgenin tanımlanması .....	101
Şekil 4.60. Motor Beşiğinin Kaynaktan Etkilenen Bölgenin Tanımlanması Sonucu Tekrarlanmış Statik Analiz Sonuçları .....	101
Şekil 4.61. Çelik ile alüminyum motor beşiklerinin kıyaslama görseli .....	102
Şekil 4.62. Alüminyum ekstrüzyondan geliştirilmiş motor beşiğinin alt parçaları görseli .....	103

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

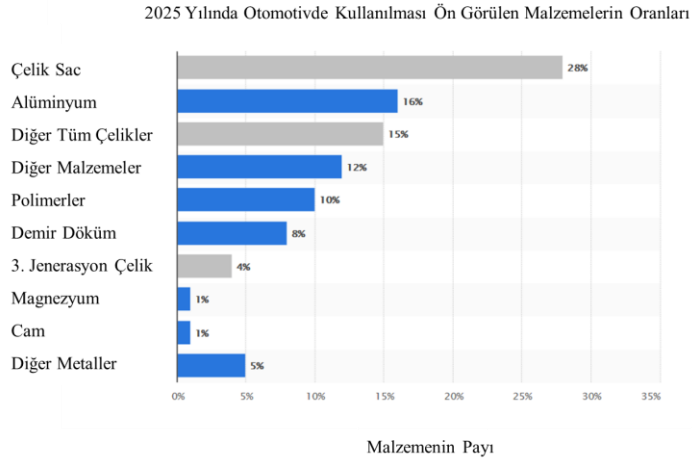
Çizelge 2.1. Literatür araştırmasında bulunan teze göre iki teker çarpma yük durumu..	25
Çizelge 2.2. Literatür araştırmasında bulunan teze göre tek teker çarpma yük durumu.	26
Çizelge 2.3. Literatür araştırmasında bulunan teze göre burulma, sıçrama ve sekme yük durumu .....	27
Çizelge 2.4. Literatür araştırmasında bulunan teze göre ileri doğru fren yük durumu ...	28
Çizelge 2.5. Literatür araştırmasında bulunan teze göre geriye doğru frenleme yük durumu .....	29
Çizelge 2.6. Literatür araştırmasında bulunan teze göre viraj alma yük durumları .....	30
Çizelge 2.7. Literatür araştırmasında bulunan teze göre ileri doğru hızlanma yük durumu .....	31
Çizelge 2.8. Literatür araştırmasında bulunan teze göre geriye doğru hızlanma yük durumu .....	32
Çizelge 2.9. Literatür araştırmasında bulunan teze göre maksimum tork yük durumu .	33
Çizelge 2.10. Literatür araştırmasında bulunan teze göre geri çarpma yük durumu .....	34
Çizelge 2.11. Literatür araştırmasında bulunan teze göre ileri yönlü darba yük durumu .....	35
Çizelge 3.1. Araç üreticisi firma tarafından paylaşılan dikey sarsma yükleme bilgisi ...	46
Çizelge 3.2. Araç üreticisi firma tarafından paylaşılan diyagonal eksen yükleme bilgisi .....	47
Çizelge 3.3. Araç üreticisi firma tarafından paylaşılan frenleme yükleme bilgisi .....	48
Çizelge 3.4. Araç üreticisi firma tarafından paylaşılan yanal sarsma yükleme bilgisi ...	49
Çizelge 3.5. Araç üreticisi firma tarafından fren ve viraj yükleme bilgisi .....	50
Çizelge 3.6. Torç açısının etkisini görmek için yapılan CMT kaynak prosesindeki parametreler (Bindirme geometrisi) .....	55
Çizelge 3.7. Torç açısının etkisini görmek için yapılan CMT kaynak prosesindeki parametreler (Alın geometrisi) .....	56
Çizelge 4.1. TS EN 755-2 göre ekstrüzyon yapılabilir 6xxx serisi malzemeleri listesi .	85
Çizelge 4.2. Alüminyum motor beşiği alt parçalarının listesi .....	86-87
Çizelge 4.3. Alüminyum motor beşiği alt parçalarının malzemelerinin mühendislik çalışmaları, üretilebilirlik ve maliyet parametreleri sonucunda belirlenmesi .....	91-92-93
Çizelge 4.4. Torç açısının kopma kuvvetine ve yüzde uzamaya etkisi .....	94
Çizelge 4.5. İlerleme hızının kopma kuvvetine ve uzamaya etkisi .....	95
Çizelge 4.6. Motor beşiği benchmarking parçası üzerinden alınan 1. Numunelerin bilgileri ve test sonuçları tablosu .....	97
Çizelge 4.7. Motor beşiği benchmarking parçası üzerinden alınan 2. Numunelerin bilgileri ve test sonuçları tablosu .....	98-99
Çizelge 4.8. Motor beşiği benchmarking parçası üzerinden alınan 3. Numunelerin bilgileri ve test sonuçları tablosu .....	100

## 1.GİRİŞ

Geçmişi 115 yıl önce C. M. Hall'ın ticari anlamda kullanımını kolaylaştırıcı adımlar atmasıyla başlayan alüminyumun, popülaritesi giderek artmaktadır (Şahin 2008). Başta uçak sanayi, inşaat sektörü gibi daha çok konstrüksiyon yapılarında alüminyum malzemesi kullanıldığı gibi günlük işlerde kullanılan kaplamalarda ve mutfak eşyalarında da kullanıldığı bilinmektedir.

Alüminyum hammaddeden kalıp teknolojisi, basınçlı veya basınçlı olmayan döküm yöntemleri ve ekstrüzyon gibi metodolojilerle yarı mamul haline gelmektedir.

Yapılan araştırmalar binek tipi araçlarda döküm, ekstrüzyon ve levha ürünü alüminyum alaşımlarının kullanımının 2050 yılına kadar 250 kg'a ulaşacağını tahmin edilmektedir (Başer 2012). Pazar araştırmaları yapan istatistik firması olan *statisca* veri tabanına göre otomotiv sektöründe 2025 yılında %28 seviyelerinde olan çelik sac olacağını görülmektedir. Ancak yine aynı şekil olan Şekil 1.1'e tekrar bakıldığında çelik sacın en büyük rakibinin yüzde %16 pay ile alüminyum kullanılması öngörülmektedir (Anonim 2018a).



**Şekil 1.1.** 2025 yılında otomotiv sektöründeki malzemelerin kullanım oranı grafiği (Anonim 2018a)

Otomotiv endüstrisinde kullanılan ürünlerde; fonksiyonellik, hafiflik ve regülasyon şartlarına uyum önemlidir. Kyoto Protokolü, küresel ısınma ve iklim değişikliği, sera gazı ile mücadele konusunda kararlar alan uluslararası kuruluştur, bu kuruluşa dahil olan

ülkeler, karbon dioksit ve sera etkisine neden olan gazların salımını azaltmaya yönelik çalışmalar yapmakla yükümlüdürler (Anonim 2021a). KYOTO Protokolü ve AB Komisyonu 2030 enerji verimliliği ve emisyon hedefleri doğrultusunda CO<sub>2</sub> salımının minimuma indirilmesi hedeflediğinden yeni kararlar almaktadır.

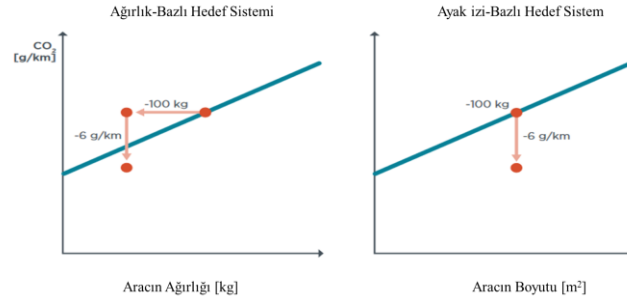
KYOTO Protokolü ve AB regülasyonlarının harcanan enerji ve karbondioksit salımını konusundaki kısıtlamaları ile otomotiv sektöründe teknolojinin geldiği durumda; elektrikli ve hibrit araçlar konusundaki çalışmaları arttırmıştır. Şekil 1.2’de Amerika ve Avrupa Birliği’ne üye tüm ülkeler tarafından kabul edilen regülasyon değerlerinin yer aldığı standartların görseli bulunmaktadır. Şekil 1.2’ye göre hem Amerika hem de Avrupa Birliği ülkelerinin km başına sarf edebileceği CO<sub>2</sub> kimyasal bileşeninde ciddi kararlar aldığı görülmektedir. Amerika’da 2016 yılında km başında 155 gr olan CO<sub>2</sub> emisyon değerinin 2020 itibariyle 132 gr’a indirilmesinin %14,83 oranında iyileştirme yapması gerekmektedir birlikte, Avrupa tarafında ise bu oran %26,92’lere kadar çıkmaktadır (Anonim 2016).

Kirleticiler İçin Belirlenmiş Emisyonların İlgili Standartları (g/km)	Amerika	AB
Karbondioksit (CO <sub>2</sub> , 2016 yılında)	155	130
Karbondioksit (CO <sub>2</sub> , 2020 yılında)	132	95

**Şekil 1.2.** 2025 yılında otomotiv sektöründeki malzemelerin kullanım oranı tablosu (Anonim 2016)

İşte bu yaptırımların uygulanabilmesi için gerek OEM (Orijinal Ürün Üreticisi)’lerin gerekse yan sanayi olmak üzere tüm otomotiv ile ilgilenen kurum veya kuruluşların çözüm yolu bulması gerekmektedir. Bu çözüm yollarından biri de araçta hafifletme çalışmaları yapmaktır. Öyle ki; literatür araştırmalarına göre ve Şekil 1.3’te görüldüğü üzere ortalama binek araçlarda km başına 6 gr emisyon azaltması için aracın 100 kg hafifletilmesi gerekmektedir.

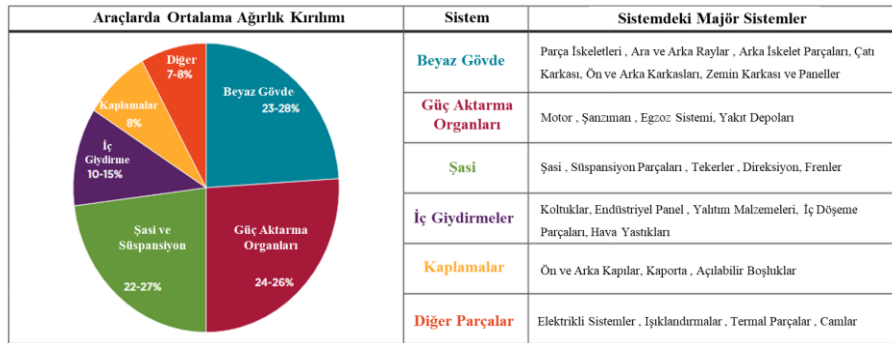




**Şekil 1.3.** CO<sub>2</sub> emisyon değerlerinin yakalanabilmesi için hafifletme çalışması yapmaya karar veren üreticinin ağırlık ve emisyon ilişkisi görseli (Anonim 2017a)

Buna göre 2016 yılından sonra 2021 yılında Amerika’da çıkarılması planlanan araçlarda 383,33 kg’lık, Avrupa’da çıkarılması planlanması araçlarda ise 585,33 kg’lık hafifletme yapılması gerekmektedir.

Yapılacak bu hafifletme çalışmalarının araçlardaki stratejik durumuna bakıldığında ise Şekil 1.4’te görülmekte olduğu üzere %28’lik pay ile otomobilin dış görsel parçaları olan kapılar ve sac parçalar, iç aksesuarlarının ve motorunun dahil olmadığı daha çok koltuk iskeletlerinin, ana karkasın yer aldığı İngilizcesi BIW (*Body-In-White*), Türkçesinde de Beyaz Gövde olarak adlandırılan bütünün ilk sırada yer alabileceği görülmektedir. Ardından ise %27’lik pay ile şasi ve süspansiyon parçalarının emisyon değerlerinin yakalanabilmesi için yapılacak hafifletme çalışmaları için oldukça iyi bir potansiyele sahip olduğu söylenebilir (Anonim 2012a).



**Şekil 1.4.** Yaklaşık bir aracın ağırlık payları görseli (Anonim 2012a)

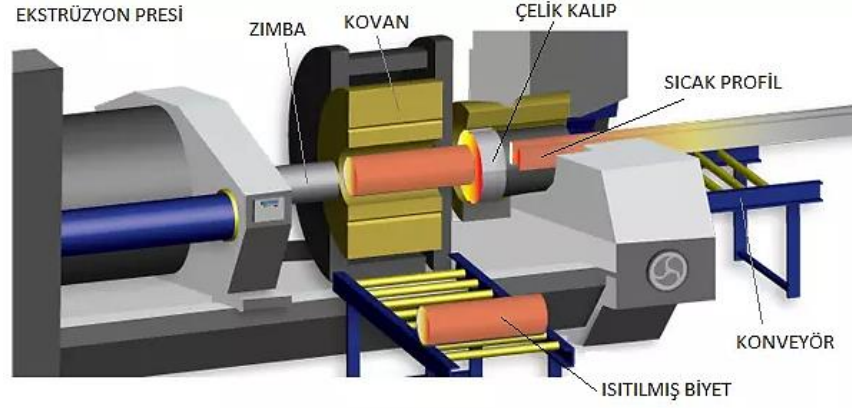
Elektrikli araçlarda, alüminyum hafiflik ve fonksiyonellik beklentilerini karşılaması itibariyle birincil malzeme konumundadır.

Bu tez çalışmasında, mevcut çelik konstrüksiyon olan motor beşiğinin alüminyum ekstrüzyon metodolojine dönüştürülmesi amacıyla gerçekleştirilen ürün geliştirme ve sanal doğrulama faaliyetleri, mevcut ürün paketlenme alanını ve montaj bağlantı noktalarını değiştirilmeden ele alınmıştır. Gün sonunda çalışma, alüminyum motor beşiğinin elektrikli araç için; zarar göreceği veya etkileneceği durumlarda en az etkiye maruz kalan, sürtünmesiz ortamda kuvvet ya da moment etkisi altında şekil değiştirmeyen, formunu koruyan hem ağırlık hem de malzeme avantajlı, M2 sınıfı elektrikli araç için alüminyum alaşımlı ürün tasarımı ve sanal analiz sonucuna göre belirlenen optimum birleştirme tekniğini sağlayan ürün geliştirmeyi kapsamaktadır. Bu süreçte çeşitli yazılımlar ve mühendislik programları kullanılmıştır. Alüminyum ekstrüzyon tasarımıyla geliştirilmeye çalışılan motor beşiğinin mühendislik beklentilerini karşılayan bir yapı olması kritikliği bulunmaktadır. Tasarım imal usullerine uygunluk, hafiflik, mukavemet, müşteri istek ve taleplerine uygunluk şartlarını sağlamıştır.

Çelik motor beşiğinin alüminyuma dönüştürülmesinin aşağıda belirtilen nedenlerden dolayı avantajları bulunmaktadır:

- Alüminyum malzemenin çevre dostu olması
- Alüminyumun %90'ının geri dönüştürülebilir nitelikte olması
- Alüminyum öz ağırlığının, çeliğin öz ağırlığının yaklaşık üçte biri kadar olması ve elektrikli araçlarda hafifletme yönündeki çalışmalara etkin çözüm sunabilmesi
- Alüminyumun doğal korozyon dayanımı olması ve kataforez ihtiyacı olmaması

## 1.1. Ekstrüzyon Üretim Yöntemi



Şekil 1.5. Alüminyum ekstrüzyon üretim metot görseli (Anonim 2021b)

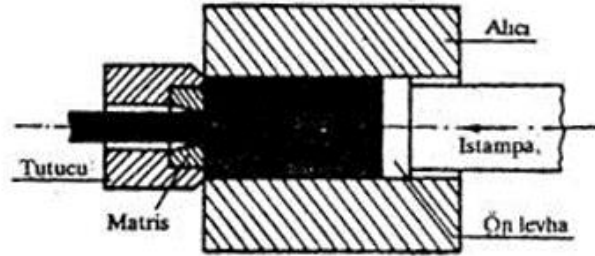
Ekstrüzyon en genel tanımı ile proses sonunda elde edilmesi istenen federli profilin oluşturulması amacıyla yarı katı kıvamındaki bir malzemenin pres gücü ile itilerek kalıp içerisinden geçirilmesi sürecidir. Bu proses imalat yöntemleri arasında belli başlı avantajlara sahiptir. Bu avantajların en başında çok karmaşık kesitler oluşturma ve profil içine çeşitli yönlerde feder adı verilen ek duvarlar ekleme özgürlüğüdür. Yarı eriyik malzemenin bir delik (kalıp) boyunca akış için zorlanması ile malzemeye profil şekline getirme yöntemidir (Şekil 1.5). Eriyik malzemeye kalıbın şekli alüminyum hammaddesi presle itilip, ham malzeme tamamen profile halini alıncaya kadar devam eder, presin itme mesafesi kısacası stroke u boyunca devam eder, itme mesafesinin tamamlandığı ve ham maddenin tükendiği zaman, ham madde tekrardan prese yüklenerek presin tekrardan ham maddeyi itmesi sağlanarak prosesin hızlı akışı sağlanır. Ekstrüzyon genellikle akılda kolayca kalınması amacıyla dış macununun, dış macun tüpünde yer alan delikten çıkarken aldığı şekil olarak da aktarılabilir (Kalkan 2018).

Alüminyum ekstrüzyonun tarihine bakıldığında ise, ilk ekstrüzyon işlemi on dokuzuncu yüzyılın sonunda 1820 yılında hidrolik güç basıncının keşfedilmesine kadar el ile manuel olarak gerçekleştirilmekteydi. 1797 yılında patenti alınan ekstrüzyon yönteminin patenti alınmıştır (Anonim 2021b).

Ekstrüzyon yönteminin 4 adet farklı çeşidi bulunmaktadır. Bunlar:

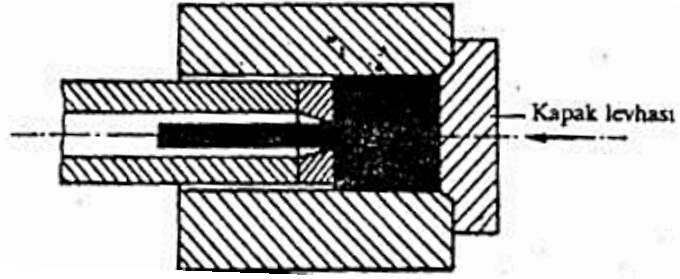
- 1) Direkt Ekstrüzyon
- 2) İndirekt Ekstrüzyon
- 3) Hidrostatik Ekstrüzyon
- 4) Darbeli Ekstrüzyon

1) Direkt Ekstrüzyon Yöntemi: Malzemenin pres parçalarından olan kovan içine konulmasının ardından pres ile bastırılarak kalıp ile profile verilmesi istenen şekli temsil etmektedir. Pres gücünün devamlılığına bağlı olarak gün sonunda talep edilen ve istenen profil elde edilir (Şekil 1.6). Bu yöntemde profile kalıp ile şekil verilirken ham maddenin tükenmeye başlanmasıyla kuvvet ihtiyacı çok artar. “Artık malzeme” denilen billetin (ham maddenin) sonu olan kısım kuvvet arttırılsa dahi kalıbın içine giremez kesilip atılması gerekeceğinden ham maddenin hacmin %18-20’si artık malzeme olarak kabul edilir. Teze konu olan motor beşiğinin tüm alt parçalarının üretiminde direkt ekstrüzyon yöntemi kullanılmıştır (Anonim 2014a).



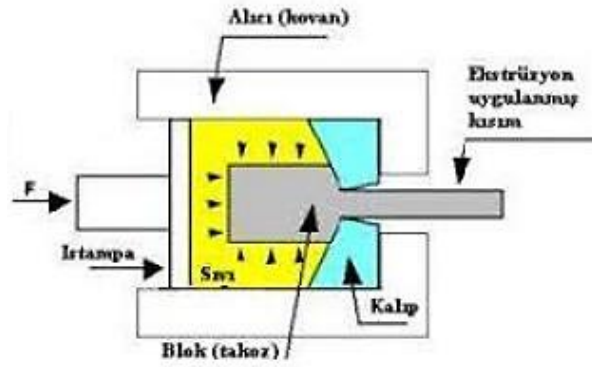
**Şekil 1.6.** Direkt ekstrüzyon üretim metot görseli (Anonim 2014a)

2) Endirekt Ekstrüzyon Yöntemi: Direkt ekstrüzyondan farklı ham maddenin yüklendiği pres parçası olan kovanın sabit durmasıdır (Şekil 1.7). Bu proseste kalıp ham maddeye doğru ilerlemektedir. Bu proseste sürtünme direkt ekstrüzyona göre daha azdır. “Artık malzeme” hacmin %5-6’sı kadar olup, pres kuvvet ihtiyacı direkt ekstrüzyonunun %75’i kadardır.



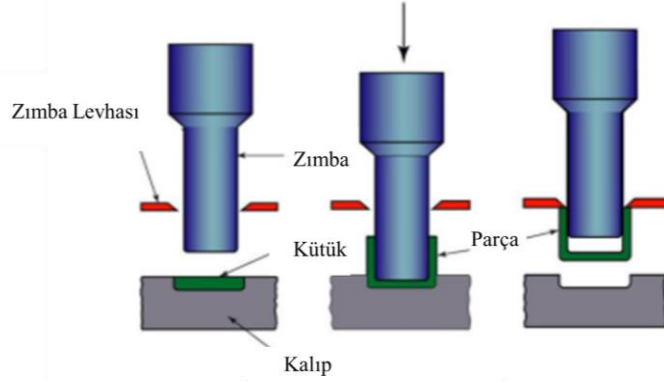
Şekil 1.7. Endirekt ekstrüzyon üretim metot görseli (Anonim 2014a)

3) Hidrostatik Ekstrüzyon: Kalıp ile hammadde arasındaki sürtünmenin bir akışkan vasıtasıyla yok edildiği yöntemdir (Şekil 1.8). Oda sıcaklığında mum, polimer, bitkisel yağ kullanılırken, yüksek sıcaklıklarda “cam”ın erimiş hali kullanılır (Anonim 2010a).



Şekil 1.8. Hidrostatik ekstrüzyon üretim metot görseli (Anonim 2010a)

4) Darbeli Ekstrüzyon: Pb, Al, Mg, Cu gibi hafif metallerin soğuk olarak ekstrüze edilmesidir. Macun ve ilaç tüpleri bu yolla üretilirler (Şekil 1.9). Ekstrüde edilen parçaların kalınlığı zımba ile kalıp arasındaki boşluğa bağlıdır.

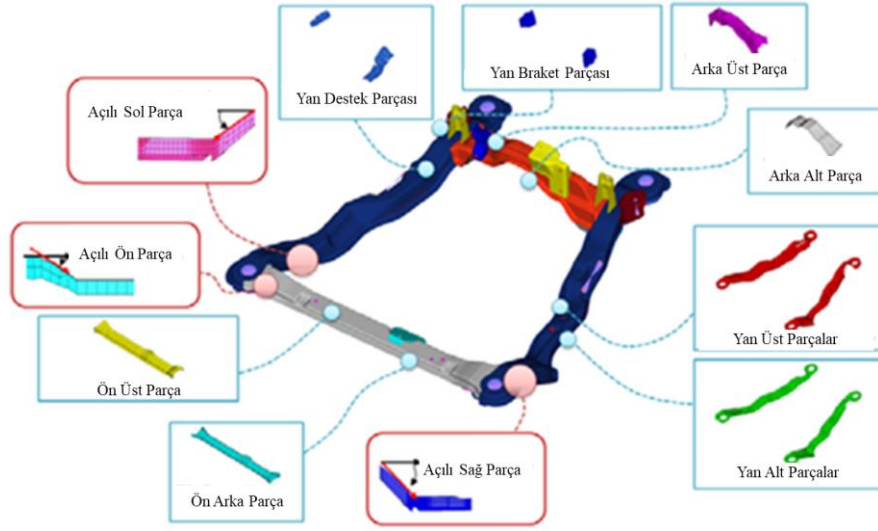


Şekil 1.9. Darbeli ekstrüzyon üretim metot görseli (Anonim 2010a)

## 1.2. Motor Beşiği Parçasının Tanımı

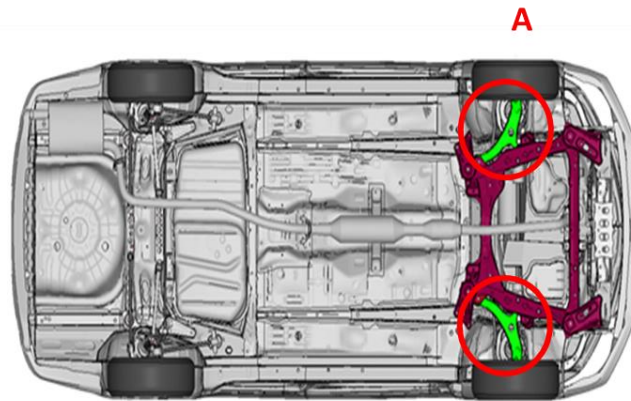
Motor Beşiği Tanımı: Alt şase traversler genelde 2 parçadan oluşmaktadır. Öndeki travers; motor traversi, motor alt beşiği, motor oturma kızıağı, motor çerçevesi anlamlarına da gelmektedir. Arkadaki travers genelde kendi adıyla geçmektedir. Tahrik düzeni veya süspansiyon gibi belirli bileşenleri taşımak için daha büyük bir gövde çerçevesinde veya birim gövdede ayrı, ayrı bir yapı kullanan bir aracın yapısal bir bileşenidir. Daha kolay anlatımı ise travers aracın ön ve arka kısmında bulunan, iki ucu şasilere monteli olan bir parçadır. Genellikle fazla arızalanan bir parça değildir. Kısaca önde motorun altında aracın alt iskeletinde burçlarla başka komponente bağlanan yanlarda ise salıncak kollarıyla birlikte süspansiyon sistemine bağlı olan parçadır.

Motor beşiğinin görevi şasinin yüklerini geniş bir alanın üzerine yaymak ve diğer parçalardan etki eden titreşimleri izole etmektir. Motor ve şanzıman takozları da alt traverse sabitlenen parçalardandır. Şekil 1.10'da birçok alt parçadan oluşan örnek bir motor traversi başka bir deyişle motor beşiği görülmektedir.

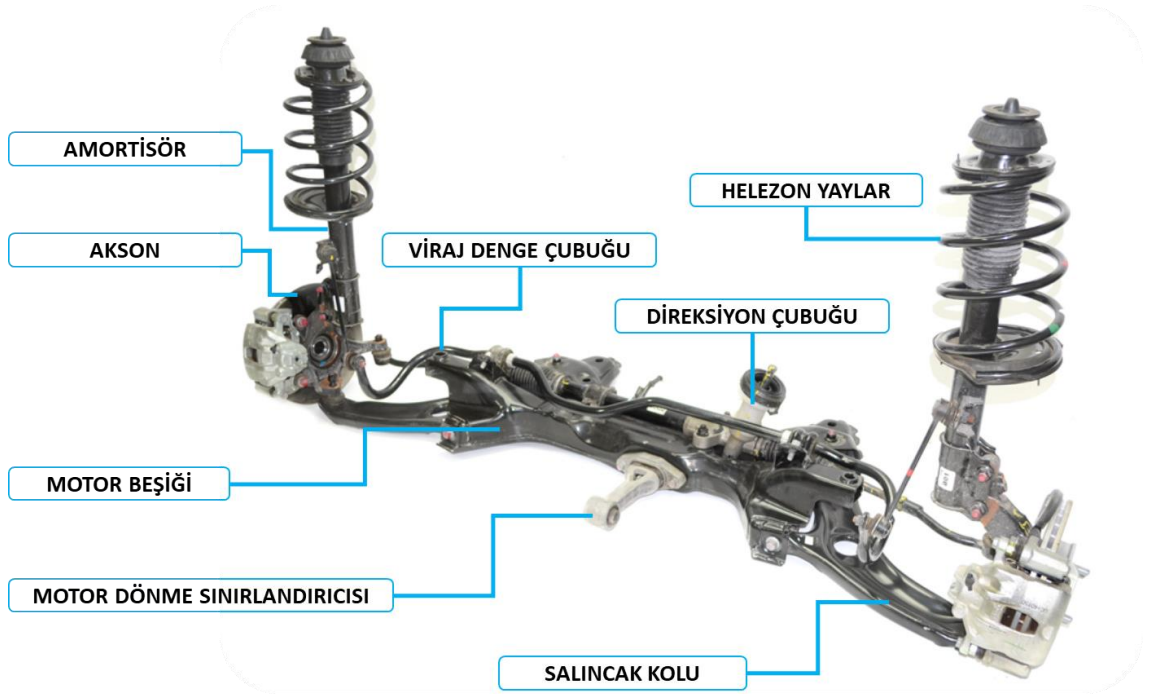


Şekil 1.10. Örnek bir motor beşiği ve alt parçaları görseli (Lee ve ark. 2012)

Süspansiyon bileşenleri ve güç aktarma organı doğrudan gövdeye monte edilir. Birçok durumda, alt çerçeveler güçlü montaj ara yüzleri olarak kullanılır. Şekil 1.11’de aracın alt kısmına ait görsel paylaşılmıştır. Şekil 1.11’de A ile gösterilen yeşil süspansiyon kolları braketiyle motor beşiğinin araçtaki yeri aktarılmıştır. Önde motorun altında aracın alt iskeletinde burçlarla başka parçaya bağlanan yanlarda ise salıncak kollarıyla birlikte süspansiyon sistemine bağlı olan parçadır. Araçtaki görevleri arasında en belirgin olanı ön takım parçalarını sabitlemesi görevidir.



Şekil 1.11. Motor beşiğinin araçtaki yeri görseli (Anonim 2017b)



**Şekil 1.12.** Motor beşiği parçasının araçta yakın çalıştığı parçaların detaylı görseli (Anonim 2020a)

Şekil 1.12’de ayrıntılarıyla gösterildiği gibi motor beşiği sadece gelen darbeleri karşılamamanın yanı sıra, direksiyon çubuğu gibi farklı parçalarında beraber çalıştığı kritik bir parçadır (Anonim 2020a).

**Motor Beşiğinin Tarihi:** Alt çerçeveler ilk olarak 1970’lerde otomobillerde tam bir şasiye alternatif olarak kullanılıyordu. Aynı ön ve arka alt çerçeveler ağırlık ve maliyeti düşürmek için kullanılmaya başlandı. Alt şasi motoru taşımak için daha büyük bir yapı olan şasi içinde ayrı bir yapı olarak kullanılabilir (Holmberg ve Argerich 2012).

**Montaj:** Bir alt çerçeve, genellikle, kaynaklı veya spot kaynaklı gövde paneli panellerinden daha kalın olan çelik kalıp sac yapılır. Hidroformlu tüplerin kullanımı da genelde gelişmiş üst segmentlerde tercih edildiği görülmektedir. Alt şasi cıvatalı ve / veya araçla kaynak yapılmaktadır. Vidalanmışken, bazen titreşimi hafifletmek için kauçuk burçlar veya yaylar bulunur. Vidalı alt çerçeveler bazen gürültüyü hafifletmek için kauçuk burçlar veya yaylar ile donatılmıştır. Alt çerçeveler ayrıca monte edilebilir ve gerektiğinde otomatik montaj hattında araca entegre edilmiştir (Anonim 2011a).



### 1.3. M2 Sınıfı Araç Tanımı

Araç Sınıfı	Grafiksel Görünüm	Açıklama
M1		Sürücü dışında en fazla sekiz kişilik oturma yeri olan, yolcu taşımaya yönelik motorlu araçları
M2		Sürücü dışında sekizden fazla oturma yeri olan, yolcu taşımaya yönelik ve azami kütlesi 5 tonu aşmayan motorlu araçları
M3		Sürücü dışında sekizden fazla oturma yeri olan, yolcu taşımaya yönelik ve azami kütlesi 5 ton'u aşan motorlu araçları
N1		Azami kütlesi 3,5 tonu aşmayan, motorlu yük taşıma araçlarını
N2		Azami kütlesi 3,5 ton'u aşan, 12 ton'u aşmayan motorlu yük taşıma araçlarını
N3		Azami kütlesi 12 ton'u aşan motorlu yük taşıma araçlarını

Şekil 1.13. Sağ araç sınıf tanımları görseli (Anonim 2018b)

Şekil 1.13'teki görselde yapılan tanıma göre M2 sınıfı; sürücü dışında sekizden fazla oturma yeri olan, yolcu taşıma amacıyla geliştirilmiş, azami kütlesi 5 tonu geçmeyen motorlu araçtır (Anonim 2018b).

## **2.KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI**

Tüm emisyon değerlerindeki sınırlandırılmalar, regülasyonlar tüm otomotiv dünyasında hafifletme, optimizasyon, sürdürülebilirlik, sürdürülebilir tasarım kavramlarının doğmasına ve gelişmesine yönelik çalışmalarına itmiştir. Bu doğrultuda literatürde çok fazla çalışma bulunmaktadır.

Örneğin; 2014 yılında Karpat ve arkadaşları araç iskeletinde kritik öneme sahip olan koltuk iskeletinde emniyetli ve sürdürülebilir tasarıma sahip olması amacıyla çalışmalarda bulunmuşlardır. Çalışmada farklı malzemelere ve kalınlıklara sahip yolcu koltuk iskeletlerine yapılan sonlu eleman analizleri ile çalışma sonunda doğrulanmış tasarımın %20 ağırlık kazancı sağladığı aktarılmıştır. Çalışmada çelik üzerinde çalışmalar yapılsa da alüminyum üzerinde yapılacak çalışmaların bir sonraki aşama olabileceğine işaret eden çalışmada yine örnek bir çalışma olarak koltuk karkası seçilse de konuya olan yaklaşımın tüm araç alt parçalarına uygulanabileceği de belirtilmiştir (Karpat ve ark. 2014).

2016 yılında Yüce ve arkadaşlarının günümüzde aktif olarak kullanılan fiber lazer kaynağı üzerinde yaptığı prosesin parametrelerinin optimizasyonu çalışmasında, Taguchi metodolojisinin uygulanması sayesinde proseste kritik parametreler olan lazer gücünün, kaynak hızının, odak pozisyonunun kaynaklanan parçalar üzerindeki mekanik ve mikro yapısal anlamdaki değişimlere etkisi incelenerek aralarında bağlantı kurulmaya ve optimum parametreler bulunmaya çalışılmıştır. Her ne kadar farklı nesillerdeki çeliklerin kullanılsa da bu çalışmada sayesinde Taguchi yöntemi ve bu yöntemin kontrol edilebilirliği olmayan parametrelerle, kontrol edilebilen parametrelerin en uygun kombinasyonu belirleyen tasarım metodu olduğu bilgisi alınmıştır (Yüce ve ark. 2016).

2017 yılında Karpat ve arkadaşları ticari araç sınıfında yer alan bir araç için çelik olan kapı menteşesini alüminyum ve sürdürülebilir kılmak adına çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmalarda ağırlık hafifletilmesi amacıyla 3 farklı alüminyum alaşımı üzerinde denemeler yapılarak, prototipi elde edilmiş, mevcut çelik ürün ile kıyaslamalar yapılmıştır. Kıyaslamalar sırasında sonlu eleman analizinden faydalanılmıştır. Çalışma

sonunda 7xxx serisine ait 7075 alüminyum alaşımı kullanımının ürün üzerinde yaklaşık %65 ağırlık kazancı sağladığı görülmüştür (Karpat ve ark. 2017).

2020 yılında Çağlayan tarafından ele alınan taşıtlarda ağırlık azaltımında hafif malzeme olarak alüminyum kullanımı ve optimizasyonu isimli yüksek lisans tezinde ise taşıtlardaki ağırlığın artma nedenleri incelenirken alüminyumun kullanılmasındaki avantajlara odaklanılmıştır. Daha sonrasında ise salıncak kolunun çelik yapıdan alüminyum alaşıma dönüştürülmesiyle hafifletme çalışması ele alınmıştır. Çalışma sonucunda %59 oranında ağırlık avantajı yakalanmıştır (Çağlayan 2020).

2021 yılında Demirkesen ve Uçar tarafından kaleme alınan ‘Elektrikli Araç Üretiminde Alüminyum Alaşımlarının Kullanılmasının Etkilerinin İncelenmesi’ çalışmasında alüminyumun elektrikli araçlar için kazanımlarının düşük öz kütlesi nedeniyle ağırlıktan kazanç sağlanırken, çelikle yarışabilecek düzeyde olabileceğine, ama aynı zamanda alüminyum kullanımı sayesinde yapının mukavemet sağlayabileceğine, sürdürülebilirlik ve üretilebilirlik açısından kolay entegre olabileceğine ve çarpışma dayanımı açısından kazançlı olabileceğine vurgu yapılmıştır (Demirkesen ve Uçar 2021).

2021 yılında Prabhakaran ve arkadaşlarının otomotiv parçalarından alternatör rotorunun çelikten alüminyuma dönüştürülmesi üzerine yapılan verimliliğinin analizi sonucunda ise 194.7 g olan çelik parçanın alüminyum 6xxx serisine ait 6061 kullanılarak 76.7 g’a indirilmesi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra çeşitli test benchlerinde testleri yapılan yenilikçi alüminyum tasarım vakum testlerinden başarıyla geçerken, aynı zamanda hafif olarak ortaya çıkarılmıştır (Prabhakaran ve ark. 2021).

Bu ana başlık altında alüminyum motor beşiğinin geliştirilmesi, motor beşiğinin daha iyi tanınması, motor beşiği ürününe ait tasarım girdi ve sınır şartlarının belirlenmesi amacıyla başta hafifletme, sürdürülebilirlik, sürdürülebilir tasarımlar olmak üzere literatür araştırması yapılarak, akademik makaleler araştırılmıştır.

Bu aşamadan sonra ise motor ve şanzımanın ürettiği güçleri sönmüleyebilmek, ağırlık azaltabilmek, ön takım parçalarını sabitleyebilmek adına alt çerçeve de denilen motor

beşğin ekstrüzyon ile geliştirilebilmesi için hem ekstrüzyon parça tasarımı hem de motor beşği ürünü odağında literatürün bilinen durumu ve küresel ölçekteki çözümler hakkında araştırmalar gerçekleştirilmiştir. Bu araştırmalar ayrı başlıklarla altında detaylandırılmıştır.

## **2.1. Ekstrüzyon Parça Tasarım Kuralları**

Literatür araştırılması yapıldığında alüminyum ekstrüzyon tasarımının kritikliğinin ve yararlarının anlatıldığı birçok kaynağa rastlanmıştır. Çalışmalarında ekstrüzyon tasarımına yer veren kaynaklar şu şekildedir:

2000 yılında Saha tarafından yazılmış olan ‘Aluminum Extrusion Technology’ isimli kitapta ekstrüzyon üretim metoduna ve daha çok tasarımın kısmında kalıp tasarımına odaklanmıştır. Kalıp tasarımı profil tasarlandıktan sonra gerçekleştirilen yine kritik adımlardan biridir (Saha 2000).

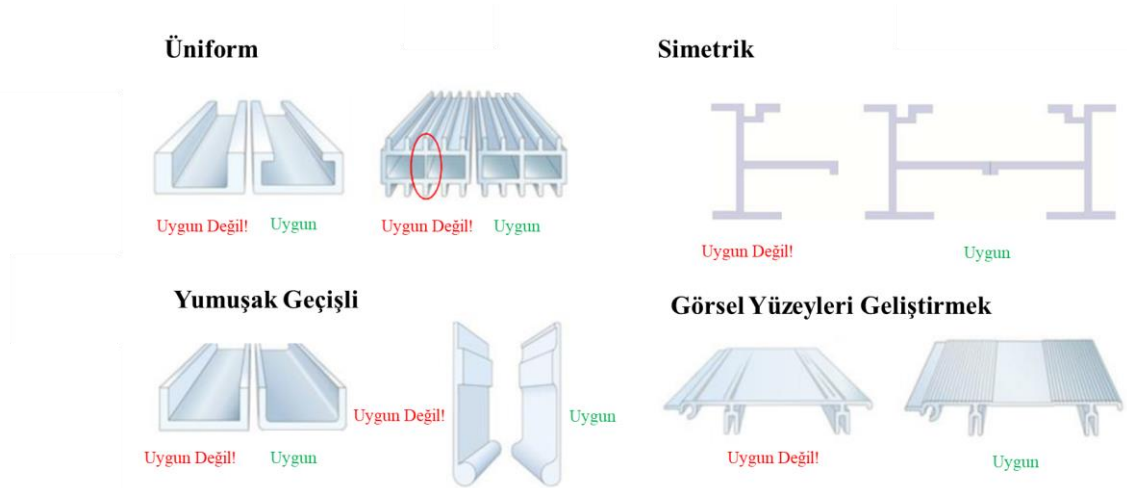
2006 yılında Xianghong ve arkadaşları bir alüminyum dikdörtgen boru ekstrüzyon tasarımının simülasyonu ve kalıp yapısı optimizasyonu içeren ‘Numerical Simulation And Die Structure Optimization Of An Aluminum Rectangular Hollow Pipe Extrusion Process’ isimli makalesini yayınlamıştır. Bu çalışmada, alüminyum profil tasarlandıktan sonra kalıp ekstrüzyonu işlemine somut geçilmeden önce hem profil hem de kalıp sonlu sayısal analiz yazılımı Msc / SuperForge kullanılarak simüle edilmiştir (Xianghong ve ark. 2006).

2007 yılında ise Yang ve Kim tarafından konu alınan ‘Design Of Processes And Products Through Simulation Of Three-Dimensional Extrusion’ makalede üç boyutlu ekstrüzyon ürünlerin tasarımını ve simülasyonu incelenmiştir. Lagrangian-Eulerian FEM (Sonlu Elemanlar Metodu) gibi verimli sayısal şemalar kullanılarak simüle edilmiştir. Ve ekstrüzyon işleminin tasarımı için hesaplama süresini azaltmak için yeni bir şekil optimizasyon tekniği metodolojisi getirilmiştir (Yang ve Kim 2007).

2009 yılında Totten ve Mackenzie tarafından yazılan ‘Handbook of Aluminum’ kitabında ise yine içerik olarak malzeme ve proses olarak açıklanan alüminyumun ekstrüzyon metoduna ayrıntılı olarak değinmiştir (Totten ve Mackenzie 2009).

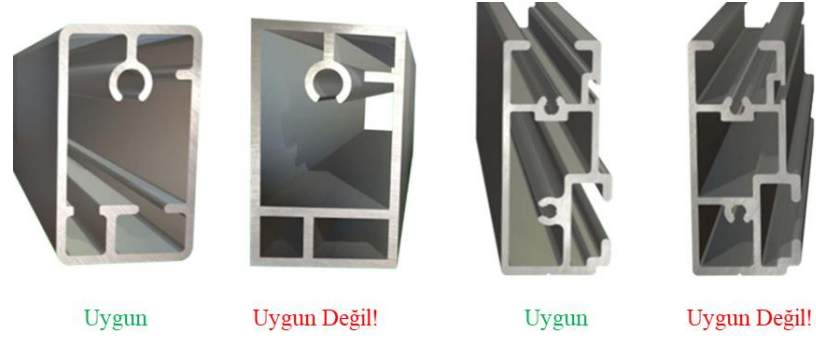
2010 yılında Asaş firmasına bağlı olarak yazılan ‘Alüminyum Ekstrüzyon Profil Tasarım Prensipleri ve Ürün Tasarım İyileştirme Tavsiyeleri’ isimli araştırmada, profil tasarımında alternatif düşünme yaklaşımlarına örnekler verilerek daha iyi ürünlerin tasarlanması hedeflenmiştir. Konunun detaylarına girmeden önce alüminyum malzemesine odaklanarak dünyadaki ve Türkiye’deki alüminyum kullanımlarını oranlar ile birlikte aktarmıştır. Bunun yanı sıra ekstrüzyon özelinde ayrıntılı bilgileri yine yazısında aktarmıştır. Daha sonrasında da ekstrüzyon profillerinin nasıl oluşturulduğunu, temel prensipleri ve ekstrüzyon kesitlerinin tanımı üzerinde durulmuştur (Ayan 2010).

2018 yılında Alüminyum Ekstrüzyon Konseyi tarafından hazırlanan detaylı sunumda alüminyum ekstrüzyon profil tasarımı yaparken dikkat edilmesi gereken kurallar aktarılmıştır (Anonim 2018c). Kurallar şu şekildedir:



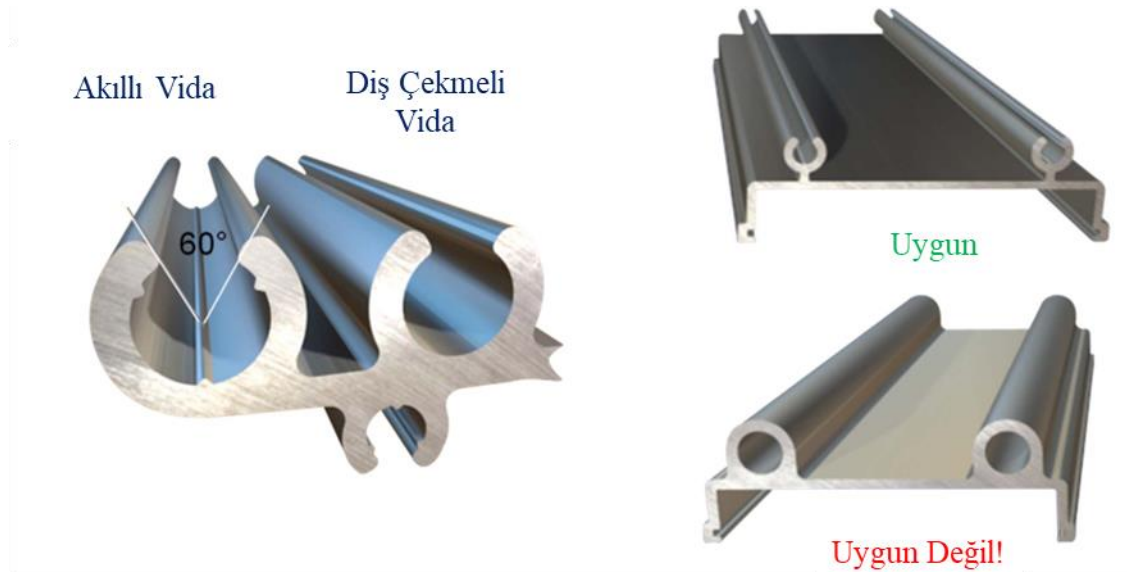
**Şekil 2.1.** Alüminyum ekstrüzyon konseyi gereğince ekstrüzyon tasarım önerileri (Anonim 2018c)

Şekil 2.1.’de daha çok tasarlanan parçaların olabildiğince simetrik, keskin köşe kalmayacak şekilde ve sehime neden olmayacak şekilde federlerle desteklenmesi gerektiği aktarılmıştır.



**Şekil 2.2.** Alüminyum ekstrüzyon konseyine göre ekstrüzyon tasarımı (Anonim 2018c)

Şekil 2.2’de yine kapalı ve uzun profillerde federlerin dengeli atılması gerekliliği ve Şekil 2.3’te mekanik bağlantı yapılması istenen kısımların 360° yerine 270° olacak şekilde tasarlanması gerektiği belirtilmiştir.



**Şekil 2.3.** Alüminyum ekstrüzyon konseyine göre delik yerlerinde tasarım önerileri (Anonim 2018c)

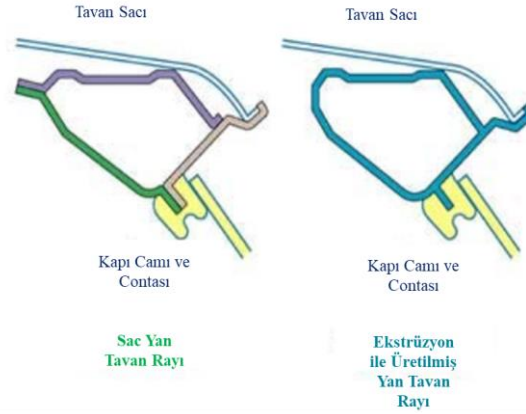
Çelik tasarım bir ürünün alüminyum tasarımına geçilmeden önce literatürde nasıl olması gerektiğine dair teorik olarak açıklamalarının bulunduğu belirlenmiştir.

2011 yılında European Aluminium Association’nun yayınladığı dokümana göre aşağıdaki ibareler yer almadan önce alüminyum kullanım oranlarının otomotivdeki

yerinin, metotlarının, maliyetlerinin açıklamalarına dair derin bilgiler bulunmaktadır. Ancak ilgili kaynağın ekstrüzyon tasarımı ile ilgili verdiği kritik bilgiler şöyle aktarılabilir. Bu bilgiler bir tasarımcının nasıl ekstrüzyon yapması gerektiğinin başlangıç aşamasında temel taşları oluşturan bilgilerdir.

Alüminyum ekstrüzyon ve döküm parçaları, parça sayısının azaltılmasının veya ilave fonksiyonların yapısal bileşenlere entegrasyonunun avantajlarından yararlanmak için harika olanaklar sunmaktadır. Bileşenleri ve yapıları alüminyumda tasarlarken çeliğe göre hem parça kütlesini hem de maliyeti azaltmak için çalışma yapılmaktadır.

Ekstrüde alüminyum profiller karmaşık (geometrik tasarım, duvar kalınlığının değişmesi, çok odalı enine kesitler, ek flanşlar, vb.) durumlarda 2 boyutlu tasarımı sayesinde avantajlı konuma geçmektedir. Şekillendirme zorluğu olan (örneğin, bükme, hidroforming, vb.) ve işleme prosesleri için de üç boyutlu tasarım yeteneğine izin verebilmektedir. Bu olasılıklar otomobilin gövde yapısında tam olarak kullanılabilir. İlginç olasılıklar, entegral ağların ekstrüzyona birleştirilmesi, örneğin: Sertliklerini veya enerji emme kapasitelerini arttırmak ve / veya tertibatın diğer parçaları için bir bağlantı yüzeyi sağlamak için dış flanşların ilave edilmesini sağlamak şeklinde örnekler verilebilir. Alüminyum profiller için, mukavemet gereksinimleri çoğu zaman sınırlayıcı faktör değildir, çünkü minimum duvar kalınlığı esas olarak profilin üretilebilirliği ile belirlenir (Anonim 2011b).



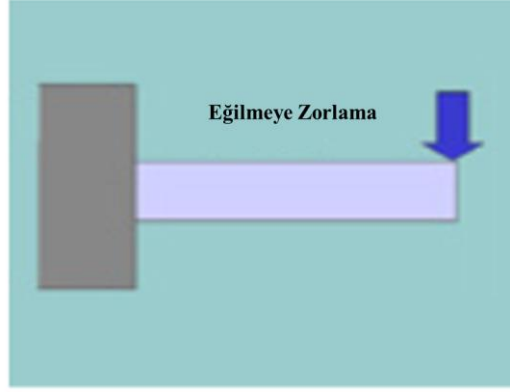
**Şekil 2.4.** Çelik sac ile ekstrüzyon tasarımı yapılan tavan rayının tasarım görselleri (Anonim 2011b)

Şekil 2.4’te sol görselde çelik sac ağırlıklı geliştirilmiş olan tavan rayı aynı şekilde sağda yer alacak şekilde alüminyum ekstrüzyon olacak şekilde tek bir monokok parça olarak tasarlanmıştır. Bu görsel bizlere alüminyum ekstrüzyonun avantajlı kısmını tekrardan vurgulamıştır.

Kısacası alüminyum ekstrüzyon metodu ile:

- Tasarımlara odacıklar eklenerek kesit kontrol edilerek, enerji emme özelliklerini sağlanabilir.
- Bir duvar bir çarpışmada başarısız olursa o profiller kuvvetlendirilir veya yeni profiller rahatça eklenebilir.
- Çok duvarlı profiller uyarlanmış duvar kalınlıkları, sadece ilave hafif ağırlık için gerekli olan yerlerde uygulanmasıyla malzeme kullanımında optimum çözüm sağlanabilir (Anonim 2011b)





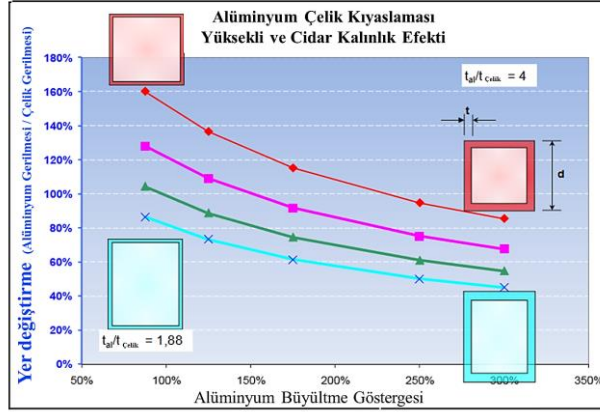
**Şekil 2.5.** Eğilmeye zorlanan sacın görseli (Anonim 2011b)

Yine aynı kaynağa göre Şekil 2.5'te gösterilmekte olan literatürde yer alan rijitlik üzerine yapılan teorik bilgide, yük altında eğilmeye zorlanan sac üzerinden bilgi verilmiştir. Aktarılan bu bilgiye aracın BIW (Body-In-White) dediğimiz beyaz gövde parçalarında kullanılması tavsiye edilmektedir.

Yine European Aluminium Association tarafından 2011 yılında yayınlanan, alüminyum tasarımına olan yaklaşımın anlatıldığı kaynakta, literatürde yer alan ve yapılan basit formül mevcut çelik konstrüksiyonundan alüminyum ürün geliştirmeye, bir başka deyimle 3D tasarım aşamasına geçildiğinde geliştirilme sürecine ana girdi oluşturabilir niteliktedir. Kaynağa göre uygulama sonucu elde edilen formüle göre eğilmeye tabi tutulan bir sacın uygulanan yükler altında benzer özelliklerini karşılaması için alüminyumun et kalınlığının çeliğe kıyasla 1,44 oranında kalın olmasını gerektirmektedir. Ancak cidar arttırılması halinde, alüminyum cidarlı sac levha, yük karşısında çelikle aynı rijitlik durumuna sahip olacaktır. Bunun yanı sıra kalınlığının/ cidarının 1,4 kat arttırılmasına karşın, çelik sac levhaya göre %50 ağırlık avantajı sağlamış olacaktır.

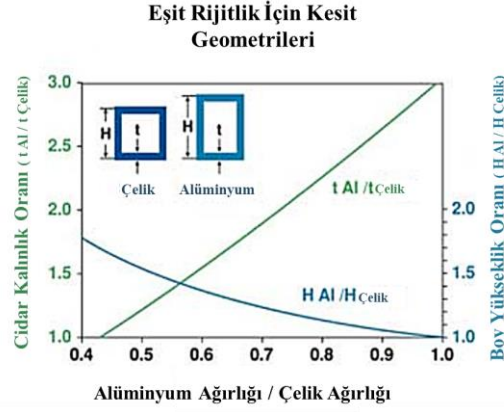
Aynı kaynak alüminyum öz kütlesinin çeliğe göre düşük olmasından gelen bu avantajın sonucu şu şekilde açıklamıştır. Eğer alüminyum çelik arasında yüksek bir mukavemet-ağırlık oranı ile kıyaslamasına odaklanılırsa, alüminyumun mukavemeti ile düşük yoğunluğunun birleşimi, çeliğe göre bu kıyaslamada öne çıkar. Özellikle mukavemetin tasarım sınırlama kriteri olduğu durumlarda çelik yapının alüminyum malzemeye

dönüştürülmesi mukavemet değerlerini sağlarken, Aynı kaynak aynı eğilme ve burulma sertliği istenen yapılarda, kapalı bir alüminyum borunun veya dikdörtgen kapalı profilin kullanılması halinde bu profillerin duvar kalınlıklarının, benzer bir çelik ürüne kıyasla üç kat artırılması tavsiyesinde de bulunmuştur.



**Şekil 2.6.** Alüminyum-çelik arasındaki boy ve kalınlık etkisinin grafiği (Anonim 2011b)

Aynı kaynak aynı eğilme ve burulma sertliği istenen yapılarda, kapalı bir alüminyum borunun veya dikdörtgen kapalı profilin kullanılması halinde bu profillerin duvar kalınlıklarının, benzer bir çelik ürüne kıyasla üç kat artırılması tavsiyesinde de bulunmuştur. Ancak yaklaşım tasarım yapılacağı paket alanı ve profilin kesiti değiştiği her bir senaryo için tekrardan değerlendirilmelidir. Şekil 2.6’da alüminyum cidarlarında yapılacak kalınlaştırmanın, çelik sactaki derinliğin artırılması üzerine ilişki verilmiştir. Örneğin; dikdörtgen kesitteki alüminyum tercihen ekstrüzyon profilinin çelik yapıya göre et kalınlığının 1,88 artırılması halinde çelik versiyonunda yapının derinliğinin veya sac kalınlığı olarak nitelendirebileceğimiz cidarın da ortalama %20 artırılması halinde benzer eğilme sertliğinin elde edilebileceği anlamına gelmektedir.



**Şekil 2.7.** Alüminyum ve çelikten eşit rijitlik kirişler elde etmek için kalınlık ve kesit yükseklik oranları (Anonim 2011b)

Aynı kaynak tarafından paylaşılan Şekil 2.7’de gösterilen grafiğin kritik bir önemi bulunmaktadır. Bu grafik, yapısal bir araç gövdesi parçasının eğilme ve burulma sertliği ile ilgili olarak doğru tasarım parametrelerinin seçiminin tasarım aşamasında en önemli kriter olduğunu göstermektedir. Şekil 2.7’de ise kare kesitteki çelik kutu profil ile alüminyum profil arasında verilen örneklerden çıkarılacak sonuç şudur. Çelik malzemeden profil ile alüminyum malzemeden profilin aynı rijitliği sağlaması amacıyla yapılacak tasarımda profilin cidar kalınlığının veya profil ebatlarının arttırılması parametrelerinin birbiriyle ters orantıda çalıştığını anlaşılmaktadır.

Bütün bunların teorik bilginin yanı sıra mevcut araçları ve benchmarklara da yer veren bu kaynakta farklı metodolojilerden üretilmiş alüminyum alaşımlarına da görsel destekli örnekler vermiştir. Alüminyum döküm, ekstrüzyon alt parçaları arasındaki kaynak birleştirme tekniklerini aktarırken, toleranslar, montaj prosesleri, malzeme seçme kriterlerinin de önemini alt başlıklarda ele almıştır.

Sonuç olarak; çelik bir ürünü alüminyum alaşımlı bir ürüne dönüştürürken araştırılan ve makalenin ilgili yerlerinde açıklanan bilgilere ve literatürdeki çalışmalara göre kabuller yaparak tasarıma başlanmalıdır.

Motor Beşiği özelinde yapılan araştırmalar şu şekildedir:

## 2.2. Motor Beşiği Literatür Araştırması

Shijian ve arkadaşları 2004 yılında prototip seviyesinde denedikleri ve 2018'den beri Tesla markasının aktif olarak seri araçlarında bulunan hidroform adıyla literatürde gelen proses ile denemeler yapmışlardır (Shijian ve ark. 2004). Hidroform temel olarak metal sac veya tüp malzemenin akışkan bir ortam vasıtasıyla (su, viskoz, polimerik malzeme, vs.) kapalı bir kaptaki şekillendirilmesidir (Anonim 2021c).

Chao Li ve arkadaşları 2014 yılında 'Conceptual And Detailed Design Of An Automotive Engine Cradle By Using Topology, Shape, And Size Optimization' isimli çalışmada optimizasyon merkezinde motor beşiğini tutacak şekilde ve motor beşiğinden istenen mühendislik isterleri olan sertlik, doğal frekans ve dayanıklılık şartlarını yerine getiren çalışmalar yürütülmüştür. Çalışmalar sonunda çalışma başlangıcında ağırlığı 82,6 kg kütleyle sahip olan bu ürün topoloji optimizasyonu sonunda ağırlığını 26,7 kg'a kadar düşürebilmiştir. Bu da %67,6'lık ağırlık avantajı anlamına gelmektedir (Li ve ark. 2014).

2016 yılında Höke tarafından ele alınan 'Hafif Ticari Araçlarda Kullanılan Motor Traversinin Yapısal Optimizasyonu' tezinde sac metal levhalardan üretilmekte olan bir motor beşiği HyperWorks programına ait HyperMesh, OptiStruct ve HyperView araçlarını kullanarak en önemlisi de bu çalışmaları optimizasyon yaparak ele almaktadır. Optimizasyon aşamasındaki tasarımlar statik rijitlik, dinamik rijitlik ve doğrusal gerilme açısından kıyaslanmıştır (Höke 2016).

2019 yılında Yay tarafından yazılan 'Toplu Taşıma Otobüsleri İçin Motor Beşiği Tasarımı ve Analizi' tezinde analitik çözümü, sonlu elemanlar yöntemi yardımıyla statik analizi, modal analizi, dinamik analizini içeren sayısal çözümler yapının dinamik davranışını tanımlayan denklemler ve bu denklemlerin MATLAB yazılımı ile çözümlerine yer verilmiştir. Sayısal çözümler içerisinde sonlu elemanlar yöntemi yardımıyla motor beşiğinin statik, modal ve dinamik analizler yapılmıştır. Sayısal çözümler, SIEMENS NX10.0 yazılımı içerisinde NX NASTRAN çözücüsü ile gerçekleştirilmiştir. Test çalışmaları ise, prototip motor beşiği üzerinde yapılmış olup test verileri DEWESOFT yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda

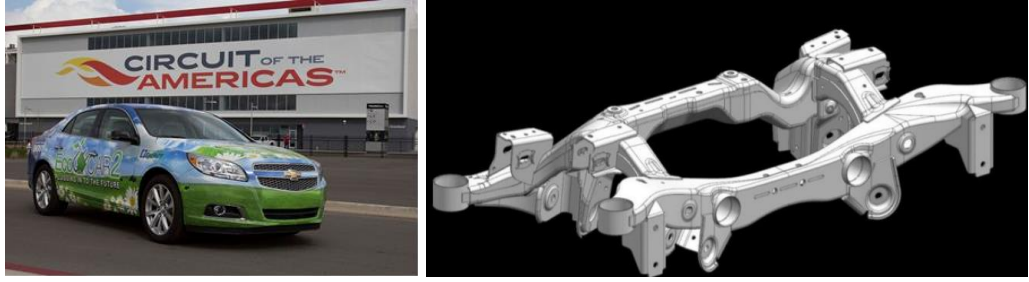
yapının mukavim olduğu görülmüştür. Dinamik konuda geliştirilmeye açık olan tasarım revizyona uğratarak dinamik yönünün iyileştirilmesi gerçekleştirilmiştir. Bunun yanı sıra yine test ve analiz arasındaki korelasyonun yüksek oranda olduğu çıktı olarak elde edilmiştir (Yay 2019).

### **2.2.1. Motor Beşiğı Yük Durumları**

Yapılan literatür ve makale araştırmalarının motor beşiğı üzerine gelecek yükler odağında çevrildiğinde ise: EcoCAR 2 Yarışması için geliştirilmiş arka beşik tasarımı, uygulanan yük durumları ve analizine rastlanmıştır. EcoCAR 2 Amerika Birleşik Devletleri Enerji ve General Motors Departmanı (GM) tarafından kurulan ve Argonne Ulusal Laboratuvarı tarafından yönetilen, mühendislerin yarıştığı ileri araç teknolojisi mühendisliği yarışmasıdır. Organizasyonun amacı yakıt tüketimini en aza indirerek ve emisyonlarını azaltarak üzerinedir (Anonim 2014b). Şekil 2.8'de motor beşiğinin detayları aktarılan aracın görseli yer almaktadır.

2014 yılında Nair tarafından yazılan arka travers için 15 farklı aşırı yük durumuna çıkarılarak sonlu elemanlar analizi ile mühendislik çalışması yapılmıştır. Stres, yer değiştirme ve rijitlik sonuçları karşılaştırılmıştır. Malzeme olarak A36 karbon çeliğı Chevy Malibu beşiğı üzerinde kullanılmıştır. Bu tezin temel amacı kilo vermeyi araştırmak üzerine olup tez çalışmaları sırasında malzeme sabit tutularak parça cidar kalınlığı artırılarak toplam 15 simülasyon gerçekleştirilmiştir.

Sac kalınlığını optimize etme çalışmaları yapmıştır. İdeal sac kalınlığının 4.7625 mm'ye kadar olan takviye plakalarla olmasını ancak sacın 3.175 mm incelikte olabileceğini belirtmiştir (Nair 2014).



**Şekil 2.8.** EcoCAR2 aracı ve araca ait motor beşiği görseli (Nair 2014)

2015 yılında Walters tarafından ‘Elektrikli Güç Aktarma Organıyla Arka Bir Alt Bölgenin Tasarlanması, Onaylanması ve Optimizasyonu’ içerikli tezde ise geliştirme sürecinin en başında mevcut çelik olan bir arka çerçevenin, alüminyum ile üretilmesi üzerine yapılmış bir tez çalışması kapsamında arka beşiğin tasarlanması, onay süreci ve prototipinin oluşturulması çalışmaları yapılmıştır. 6061 alaşımının T6 kondisyonu kullanılmıştır. T6 kondisyonu, yaşlandırma ısıl işlemi görmüş halidir. 4043 teli ile MIG kaynağı kullanılmıştır. Alüminyum tüpün oluşturulması için hidroform yöntemi de kullanılmıştır. Tasarım yapıldıktan sonra analizler gerçekleştirilmiştir. Analizlerle doğrulanan tasarımın üretimi için fikstürleri yapılmıştır. FEA (Sonlu Elemanlar Analizi) analizleri için en iyi mesh modellemesi üzerine bilgiler verilmiştir. Yük momentlerinin doğru bir şekilde uygulanabilmesi için montaj bölgesinin ortasında bir nokta seçilmiştir. Rijit elemanlar ile montaj ara yüzüne bağlantısı sağlanmıştır. Böylece yük sönümlenme yaşamadan bir noktadan bütün yüzeye kuvvet aktarılabilmiştir. Burç ve kaynak bölgelerinin rijit simülasyonları için 1D bağlantıları kullanılmıştır. FEM hazırlıkları tamamlandıktan sonra 2D mesh yapısının oluşturulması gerçekleştirilmiştir. Bu işlem quadrilateral yüzey elemanlarının bütün FEM geometrisine yayılması ile gerçekleştirilmiştir.

Araçtaki arka beşik simetrik olmadığı için sağ ve sol taraflar için ayrı simülasyonlar gerekmiştir. Toplamda 11 farklı yük durumu söz konudur. Belirlenen yük senaryolarına yönelik kuvvet ve moment değerleri ve şartları şu şekildedir (Çizelge 2.1-2.11).

1. İki teker çarpışması: iki arka tekerinde aynı anda çarpışmasını simüle eder. Yük kuvvetleri ve momentleri aşağıdaki tablodaki gibidir:

**Çizelge 2.1.** Literatür araştırmasında bulunan teze göre iki teker çarpma yük durumu (Walters 2015)

Yük Noktası	F <sub>x</sub> [N]	F <sub>y</sub> [N]	F <sub>z</sub> [N]	M <sub>x</sub> [Nm]	M <sub>y</sub> [Nm]	M <sub>z</sub> [Nm]	F <sub>m</sub> [N]	M <sub>m</sub> [Nm]
Sol içe-dışa dönük braket Parça	456	-3254	1199	-15	-10	6	3497	19
Sağ içe-dışa dönük braket Parça	456	3254	1198	15	-10	-6	3498	19
Araca paralel eğiklik parçası Sol	-251	8743	-2711	-25	-33	5	9157	41
Araca paralel eğiklik parçası Sağ	-251	-8744	-2709	24	-33	-5	9157	41
H yapılı Arka Sol parça	51	-4927	-3281	-38	-11	18	5920	43
H yapılı Arka Sağ parça	52	4926	-3280	38	-11	-18	5919	43
H yapılı Ön Sol parça	1344	-4102	1583	-44	-13	13	4597	48
H yapılı Ön Sağ parça	1344	4104	1581	44	-13	-13	4599	48
Sol Denge Çubuğu	-217	2404	250	0	0	0	2427	0
Sağ Denge Çubuğu	-217	-2404	246	0	0	0	2426	0

2. Tek teker çarpışması: Tek tekerin çarpışması ve diğer tekerin hareketine düz zeminde devam etmesini simüle eder. Bu durumda asimetri olduğundan iki farklı yük koşulu geçerlidir. Yük kuvvetleri ve momentleri aşağıdaki tablodaki gibidir:

**Çizelge 2.2.** Literatür araştırmasında bulunan teze göre tek teker çarpma yük durumu (Walters 2015)

Yük Noktası	F <sub>x</sub> [N]	F <sub>y</sub> [N]	F <sub>z</sub> [N]	M <sub>x</sub> [Nm]	M <sub>y</sub> [Nm]	M <sub>z</sub> [Nm]	F <sub>m</sub> [N]	M <sub>m</sub> [Nm]
Sol içe-dışa dönük braket Parça	738	-5522	1953	-15	-13	8	5904	21
Sağ içe-dışa dönük braket Parça	157	1019	364	13	-6	-3	1093	14
Araca paralel eğiklik parçası Sol	-415	14196	-4580	-25	-37	8	14923	46
Araca paralel eğiklik parçası Sağ	-111	-3378	-777	20	-23	-1	3469	30
H yapılı Arka Sol parça	299	-6527	-1567	-38	-13	24	6719	47
H yapılı Arka Sağ parça	-169	2901	-4499	32	-6	-7	5356	33
H yapılı Ön Sol parça	2320	-7479	426	-44	-15	17	7842	50
H yapılı Ön Sağ parça	529	1260	2323	36	-9	-6	2695	37
Sol Denge Çubuğu	-54	2104	1071	0	0	0	2362	0
Sağ Denge Çubuğu	-321	-1901	-643	0	0	0	2032	0

3. Burulma – Sıçrama ve Sekme: Bir teker kasanın üstüne doğru harekete zorlanırken (sıçrama) diğer teker ise aynı anda aşağıya doğru harekete zorlanarak süspansiyonu uzatır (sekme). Aracın yarısının yoldan çıkması gibi değerlendirilebilir. İki yöne de burulma yük kuvvetleri ve momentleri aşağıdaki tablodaki gibidir:



**Çizelge 2.3.** Literatür araştırmasında bulunan teze göre burulma, sıçrama ve sekme yük durumu (Walters 2015)

Yük Noktası	F <sub>x</sub> [N]	F <sub>y</sub> [N]	F <sub>z</sub> [N]	M <sub>x</sub> [Nm]	M <sub>y</sub> [Nm]	M <sub>z</sub> [Nm]	F <sub>m</sub> [N]	M <sub>m</sub> [Nm]
Sol içe-dışa dönük braket Parça	-11	37	-29	5	4	-1	49	7
Sağ içe-dışa dönük braket Parça	999	7802	2565	14	-16	-8	8273	22
Araca paralel eğiklik parçası Sol	30	-368	-76	8	11	1	377	14
Araca paralel eğiklik parçası Sağ	-583	-19603	-6165	24	-40	-9	20558	47
H yapılı Arka Sol parça	0	105	-1181	13	5	-2	1185	14
H yapılı Arka Sağ parça	279	8993	-525	36	-14	-27	9012	47
H yapılı Ön Sol parça	9	135	393	15	6	-2	416	16
H yapılı Ön Sağ parça	3063	10372	-731	42	-15	-19	10839	49
Sol Denge Çubuğu	3	2518	-4762	0	0	0	5387	0
Sağ Denge Çubuğu	304	-3627	4985	0	0	0	6173	0

4. İleri doğru frenleme: Aynı anda iki arka tekerliğin de fren yapması durumudur. Yük kuvvetleri ve momentleri aşağıdaki tablodaki gibidir:

**Çizelge 2.4.** Literatür araştırmasında bulunan teze göre ileri doğru fren yük durumu (Walters 2015)

Yük Noktası	F <sub>x</sub> [N]	F <sub>y</sub> [N]	F <sub>z</sub> [N]	M <sub>x</sub> [Nm]	M <sub>y</sub> [Nm]	M <sub>z</sub> [Nm]	F <sub>m</sub> [N]	M <sub>m</sub> [Nm]
Sol içe-dışa dönük braket Parça	743	-4089	1296	-13	-14	19	4353	27
Sağ içe-dışa dönük braket Parça	743	4088	1296	13	-14	-19	4353	27
Araca paralel eğiklik parçası Sol	-214	5846	-1623	-22	-38	21	6071	49
Araca paralel eğiklik parçası Sağ	-214	-5846	-1623	22	-38	-21	6070	49
H yapılı Arka Sol parça	2350	7611	-1179	-33	-14	31	8053	48
H yapılı Arka Sağ parça	2350	-7612	-1179	33	-14	-31	8053	48
H yapılı Ön Sol parça	4339	-11471	-2570	-40	-15	21	12531	47
H yapılı Ön Sağ parça	4340	11472	-2571	40	-15	-21	12532	47
Sol Denge Çubuğu	-166	1886	206	0	0	0	1905	0
Sağ Denge Çubuğu	-166	-1886	205	0	0	0	1905	0

5. Geriye doğru frenleme: Aynı anda iki arka tekerin de fren yapması durumudur. Yük kuvvetleri ve momentleri aşağıdaki tablodaki gibidir:

**Çizelge 2.5.** Literatür araştırmasında bulunan teze göre geriye doğru frenleme yük durumu (Walters 2015)

Yük Noktası	Fx [N]	Fy [N]	Fz [N]	Mx [Nm]	My [Nm]	Mz [Nm]	Fm [N]	Mm [Nm]
Sol içe-dışa dönük braket Parça	-171	1119	-221	-13	-2	-12	1154	18
Sağ içe-dışa dönük braket Parça	-171	-1119	-221	13	-2	12	1154	18
Araca paralel eğiklik parçası Sol	-125	2328	-467	-19	-15	-18	2377	30
Araca paralel eğiklik parçası Sağ	-125	-2328	-467	19	-15	18	2377	30
H yapılı Arka Sol parça	-2021	-9921	-7020	-32	-1	-15	12320	36
H yapılı Arka Sağ parça	-2021	9921	-7020	32	-1	15	12321	36
H yapılı Ön Sol parça	-1672	4566	5751	-34	-6	-8	7531	36
H yapılı Ön Sağ parça	-1672	-4566	5751	34	-6	8	7531	36
Sol Denge Çubuğu	-200	1426	172	0	0	0	1450	0
Sağ Denge Çubuğu	-200	-1426	172	0	0	0	1450	0

6. Viraj alma: aracın ilgili virajı alabileceği maksimum hızında yapılan dönüşleri simüle eder. İki yöne de dönüşlerde oluşacak yükler asimetriklikten dolayı farklı olacaktır. Yük kuvvetleri ve momentleri aşağıdaki tablolardaki gibidir:

**Çizelge 2.6.** Literatür araştırmasında bulunan teze göre viraj alma yük durumları (Walters 2015)

Yük Noktası	F <sub>x</sub> [N]	F <sub>y</sub> [N]	F <sub>z</sub> [N]	M <sub>x</sub> [Nm]	M <sub>y</sub> [Nm]	M <sub>z</sub> [Nm]	F <sub>m</sub> [N]	M <sub>m</sub> [Nm]
Sol içe-dışa dönük braket Parça	197	-1559	60	-1	0	2	1573	2
Sağ içe-dışa dönük braket Parça	-765	-6545	-2040	16	-3	-7	6898	17
Araca paralel eğiklik parçası Sol	-138	4289	-191	-2	-1	3	4295	4
Araca paralel eğiklik parçası Sağ	260	13508	4181	23	-25	2	14142	33
H yapılı Arka Sol parça	-361	-3809	-2683	-3	1	6	4673	7
H yapılı Arka Sağ parça	1078	-11326	-8172	38	-6	8	14008	39
H yapılı Ön Sol parça	401	-1524	919	-3	0	4	1824	5
H yapılı Ön Sağ parça	-173	-3310	1805	42	-10	3	3774	43
Sol Denge Çubuğu	-135	1136	-3064	0	0	0	3271	0
Sağ Denge Çubuğu	204	-1875	3235	0	0	0	3744	0

7. İleri doğru hızlanma: hızlı bir şekilde aracın hızlanmasını simüle eder. Yük kuvvetleri ve momentleri aşağıdaki tablodaki gibidir:

**Çizelge 2.7.** Literatür araştırmasında bulunan teze göre ileri doğru hızlanma yük durumu (Walters 2015)

Yük Noktası	F <sub>x</sub> [N]	F <sub>y</sub> [N]	F <sub>z</sub> [N]	M <sub>x</sub> [Nm]	M <sub>y</sub> [Nm]	M <sub>z</sub> [Nm]	F <sub>m</sub> [N]	M <sub>m</sub> [Nm]
Sol içe-dışa dönük braket Parça	-174	762	-141	-12	-13	-16	794	24
Sağ içe-dışa dönük braket Parça	-174	-765	-143	13	-13	16	798	24
Araca paralel eğiklik parçası Sol	-149	2745	-638	-21	-34	-26	2822	47
Araca paralel eğiklik parçası Sağ	-149	-2742	-641	21	-34	26	2820	47
H yapılı Arka Sol parça	-1535	-9886	-2824	-34	-9	-15	10395	38
H yapılı Arka Sağ parça	-1536	9887	-2822	34	-9	15	10397	39
H yapılı Ön Sol parça	-1983	4196	688	-38	-11	-8	4692	40
H yapılı Ön Sağ parça	-1987	-4207	692	38	-11	8	4704	41
Sol Denge Çubuğu	-234	1952	194	0	0	0	1975	0
Sağ Denge Çubuğu	-228	-1957	232	0	0	0	1983	0

8. Geri hızlanma: Ters istikamete doğru hızlanıldığında beşiğe etki eden yükleri simüle eder. Yük kuvvetleri ve momentleri aşağıdaki tablodaki gibidir:

**Çizelge 2.8.** Literatür araştırmasında bulunan teze göre geriye doğru hızlanma yük durumu (Walters 2015)

Yük Noktası	F <sub>x</sub> [N]	F <sub>y</sub> [N]	F <sub>z</sub> [N]	M <sub>x</sub> [Nm]	M <sub>y</sub> [Nm]	M <sub>z</sub> [Nm]	F <sub>m</sub> [N]	M <sub>m</sub> [Nm]
Sol içe-dışa dönük braket Parça	513	-2559	725	-12	-1	16	2708	20
Sağ içe-dışa dönük braket Parça	515	2565	713	12	-1	-16	2712	20
Araca paralel eğiklik parçası Sol	-142	4321	-937	-18	-15	19	4424	30
Araca paralel eğiklik parçası Sağ	-143	-4320	-921	18	-14	-20	4419	30
H yapılı Arka Sol parça	699	2172	-5903	-28	-4	22	6329	35
H yapılı Arka Sağ parça	703	-2174	-5901	27	-4	-22	6328	35
H yapılı Ön Sol parça	2487	-5647	3460	-32	-8	15	7074	36
H yapılı Ön Sağ parça	2494	5676	3431	31	-7	-15	7086	35
Sol Denge Çubuğu	-116	984	184	0	0	0	1008	0
Sağ Denge Çubuğu	-122	-971	79	0	0	0	982	0

9. Maksimum Tork: tekerlere en yüksek gücün aktarım zamanında beşiklere etki eden yükleri simüle eder. İleri ve geri yönlü olarak iki farklı yük koşulu vardır. Yük kuvvetleri ve momentleri aşağıdaki tablolardaki gibidir:

**Çizelge 2.9.** Literatür araştırmasında bulunan teze göre maksimum tork yük durumu (Walters 2015)

Yük Noktası	Fx [N]	Fy [N]	Fz [N]	Mx [Nm]	My [Nm]	Mz [Nm]	Fm [N]	Mm [Nm]
Sol içe-dışa dönük braket Parça	-321	2379	-477	-9	-13	-24	2447	29
Sağ içe-dışa dönük braket Parça	-321	-2381	-481	10	-13	24	2450	29
Araca paralel eğiklik parçası Sol	-216	761	-72	-16	-30	-36	794	50
Araca paralel eğiklik parçası Sağ	-216	-762	-72	16	-30	36	795	50
H yapılı Arka Sol parça	-2260	-13512	-1960	-28	-7	-23	13840	37
H yapılı Arka Sağ parça	-2260	13510	-1950	28	-7	23	13836	37
H yapılı Ön Sol parça	-3827	8638	-186	-30	-9	-13	9450	34
H yapılı Ön Sağ parça	-3829	-8642	-190	31	-9	13	9454	35
Sol Denge Çubuğu	-211	1270	146	0	0	0	1295	0
Sağ Denge Çubuğu	-207	-1274	179	0	0	0	1303	0

10. Geri çarpışma: İki arka tekerin de aynı anda bir engele çarptığında beşikte oluşacak yük durumunu simüle eder. Yük kuvvetleri ve momentleri aşağıdaki tablolardaki gibidir:

**Çizelge 2.10.** Literatür araştırmasında bulunan teze göre geri çarpma yük durumu (Walters 2015)

Yük Noktası	Fx [N]	Fy [N]	Fz [N]	Mx [Nm]	My [Nm]	Mz [Nm]	Fm [N]	Mm [Nm]
Sol içe-dışa dönük braket Parça	-315	2309	-489	-10	-14	-24	2381	30
Sağ içe-dışa dönük braket Parça	-315	-2309	-488	10	-14	24	2381	30
Araca paralel eğiklik parçası Sol	-214	868	-101	-17	-32	-36	900	51
Araca paralel eğiklik parçası Sağ	-214	-868	-101	17	-32	36	899	51
H yapılı Arka Sol parça	-2263	-13455	-1980	-29	-8	-23	13787	38
H yapılı Arka Sağ parça	-2263	13455	-1980	29	-8	23	13787	38
H yapılı Ön Sol parça	-3776	8500	-157	-32	-10	-13	9302	36
H yapılı Ön Sağ parça	-3776	-8500	-157	32	-10	13	9302	36
Sol Denge Çubuğu	-217	1414	174	0	0	0	1441	0
Sağ Denge Çubuğu	-217	-1414	173	0	0	0	1441	0

11. İleri yönlü darbe: Aracın durağan haldeki geniş bir yapıya veya düşük hızda hareket eden bir cisme ileri yönlü darbesi ile beşiğe etki eden yükleri simüle eder. Yük kuvvetleri ve momentleri aşağıdaki tablolardaki gibidir:



**Çizelge 2.11.** Literatür araştırmasında bulunan teze göre ileri yönlü darba yük durumu (Walters 2015)

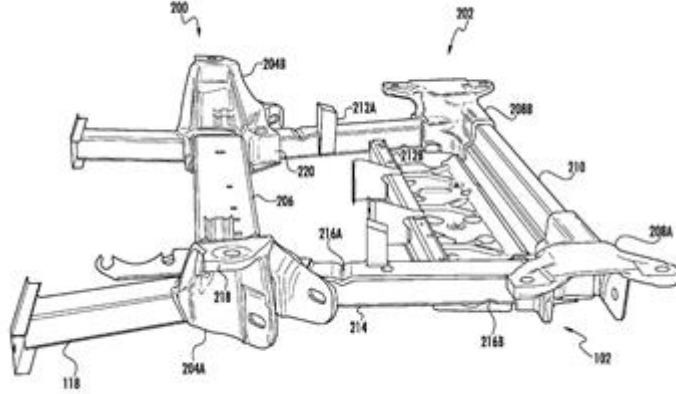
Yük Noktası	Fx [N]	Fy [N]	Fz [N]	Mx [Nm]	My [Nm]	Mz [Nm]	Fm [N]	Mm [Nm]
Sol içe-dışa dönük braket Parça	1558	-6705	1872	-14	6	33	7133	36
Sağ içe-dışa dönük braket Parça	1558	6705	1872	14	6	-33	7133	36
Araca paralel eğiklik parçası Sol	-456	7413	-1732	-19	-4	50	7626	53
Araca paralel eğiklik parçası Sağ	-456	-7413	-1732	19	-4	-50	7626	53
H yapılı Arka Sol parça	2484	17611	-9921	-28	-1	39	20365	48
H yapılı Arka Sağ parça	2484	-17612	-9920	28	-1	-39	20366	48
H yapılı Ön Sol parça	9683	-19969	7366	-33	-6	25	23383	42
H yapılı Ön Sağ parça	9683	19969	7366	33	-6	-25	23383	42
Sol Denge Çubuğu	-73	890	113	0	0	0	900	0
Sağ Denge Çubuğu	-73	-890	112	0	0	0	900	0

Çalışma neticesinde yukarıda tanımlanmış yüklere cevap veren bir 6061 alüminyum alaşım tasarımı yapılarak prototipi üretilmiştir. Ağırlık %41 kadar azaltılmıştır. Ağırlık azaltılması ile birlikte maksimum stres de azaltılmıştır. Çelik tasarımdaki yer değiştirmeye yakın değerler de elde edilebilmiştir. (Walters 2015). Ancak bu kuvvetlerin ve momentlerin motor beşiğinin montajlanacağı araç segmenti başta olmak üzere, müşteri talep ve isteklerine bağlı olarak değişmektedir.

### 2.2.2. Motor Beşiği Patent Araştırması

Motor Beşiği odağında yapılan patent araştırmaları sayesinde, çelik konstrüksiyondaki motor beşiğinin alüminyum malzeme odağında geliştirilmesi sırasında eklenebilecek mühendislik çözümleri konusunda fikir sahibi olunma şansı elde edilmiştir. Yapılan patent araştırmaları sonucunda alüminyum motor beşiği geliştirme odaklı veri girdisi sağlayan kritik patentlerden bazıları şu şekildedir:

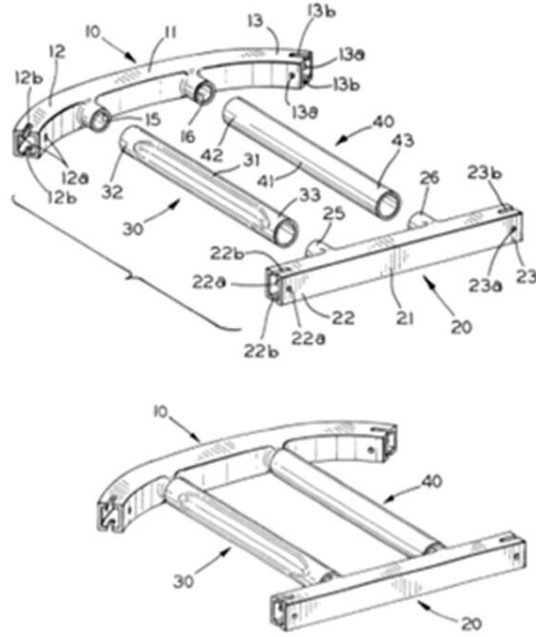
- US 2015/0298741 A1 Tesla Motors Şirketi, 2015-10-22



**Şekil 2.9.** US 2015/0298741 A1 isimli patent görseli

Şekil 2.9’da gösterilen motor beşiğinin, ön tarafı ile bağlantısı olan bir motor beşiğidir. Bu motor beşiği ayrıca yanlarından da araç ile bağlantı sağlamaktadır. Bu sayede çarpışma durumunda aşağıya doğru katlanabilecek bir yapıya sahiptir. Kaza anında ön bağlantılarından ayrılacak yapıya sahiptir. Bu sayede motor beşiğinin kaza anında gelecek kuvvetleri aracın arka gövdesine iletilmesinin önüne geçilmiştir.

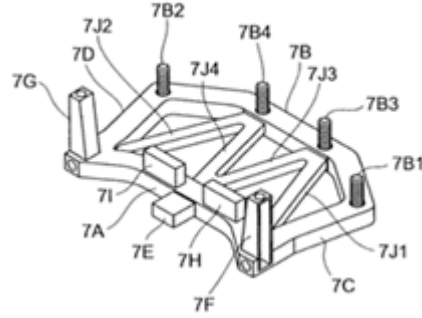
- US6408515B1 Dana Şirketi, 1998-08-20



**Şekil 2.10.** US6408515B1 isimli patent görseli

Şekil 2.10’da yer alan patentte ise araç gövdesine kolayca bileştirilmek üzere oluşturulmuş bir motor beşiğidir. Motor beşiğini oluşturmak üzere birbirine tutturulacak dört oyuk eleman diye adlandırılabilen boşaltmalarla her biri için kolayca montajlanmasını sağlayabilecek şekilde parçanın elemanları üzerinde dört adet çıkıntı bulunmaktadır. Bu boşalt ve çıkıntılar sayesinde hem lego yapılı bir motor beşiği oldukça hızlıca oluşturulurken ek bağlantı parçalarının oyuklara girmesi nedeniyle teleskopik bir yapı elde edilerek farklı araçlara entegrasyonu açısından avantaj sağlamaktadır.

- US20100264637A1 Toyota Motor Şirketi, 2007-12-07



**Şekil 2.11.** US20100264637A1 isimli patent görseli

Şekil 2.11’de görülmek yer alan motor beşiğinin tasarımından dolayı ön çarpışma yüklerini tamamen aktarabilme ve dağıtabilme özelliğine sahip olduğu belirtilmiştir. Konstrüksiyondaki yatay ve açılı elemanların amacı, ön cepheden oluşacak çarpışma durumlarında bile yükleri arka gövde kısımlarına yani şasi kısmına aktarılsa bile, bu aktarımın araç genişliği yönünde dengeli aktarabilmektedir. Tasarımda yapılacak uygun düzenlemelerin yapılması halinde traversinin yük dağılımının iyileştirilmesi sağlanabilir.

İncelenen patentler ışığında geliştirilecek tasarıma yol gösterebilecek aşağıdaki unsurlar tespit edilmiştir;

- 1- Parçaların kolay montaj edilebilmesi yönünde modüler tasarım fikirleri ağırlıktadır. Özellikle referanslama ve kaynak kalitesini artırır nitelikte konstrüksiyonlar görülmektedir.
- 2- Ekstrüzyon ve levha şekillendirmede kesit optimizasyonu ön plana çıkmaktadır.
- 3- Kesit optimizasyonunda ele alınan temel unsur; burulma dirençlerinin geliştirilmesi ve farklı yükleme koşulları altındaki yüklere istinaden dayanımının artırılması şeklindedir.

### 3.MATERYAL ve YÖNTEM

Bu tez kapsamında kullanılan materyal motor beşiği ürünüdür. Kullanılan yöntemler mevcut çelik motor beşiğinin 3D modellenerek, alüminyum ekstrüzyonlu geliştirilmesidir. Sayısal çözümler ile tasarımın doldurulması sağlanmıştır. Prototip elde edilmeden önce kaynak çalışması yapılma adına çalışmalar yapılmıştır.

Ürün geliştirme çalışmaları adı altında, sayısal çözümler kullanılmış olup, bu çalışmalar içerisinde sonlu elemanlar analizi ile motor beşiği üzerindeki statik analizlerinin yapılması bulunmaktadır. Motor beşiğinin 3D modellenmesinin Catia V5 yazılımı ile oluşturulmasının ardından, sayısal çözümler Altair HyperWorks yazılımı ile gerçekleştirilmiştir.

Altair markalı yazılımlardan olan HyperWorks sonlu elemanlar metodu ile yapıların maruz kalacakları statik dinamik yüklerin yanı sıra, akışkanlar mekaniğinde, ısı aktarımında ortaya çıkan problemi çözerek sonuca ulaşmayı sağlayan simülasyon programıdır. 2 veya 3 boyutlu kısmi diferansiyel denklemler ve sınır değer problemlerinin çözümünde tercih edilirler. Yöntem ilk kez 1940'lı yıllarda hava sanayi gibi kritik bir alanda kullanılmaya başlanmıştır (Anonim 2021d). Problem sonucunda bir parça veya komple montajlı bir sistemin nasıl davranacağını üretim aşamasına geçmeden önce ön izleme olarak tahmin edilmesidir. Genellikle bir renk skalasına göre sonuçlar değerlendirilir. Analizin yapılabilmesi için milyonlarca küçük elementten oluşan bir ağ yapısı oluşturulur. Eleman sayısı arttıkça kısacası ağ yapısı incelidikçe hata olasılığı azalarak sonucun daha net ortaya çıkması sağlanabilir (Anonim 2018d).

Sonlu eleman analizinin düzgün ilerlemesi adına aşağıdaki adımlardan geçmesi gerekmektedir.

- a. Öncelikle problemin tanımlanması
- b. 2D veya 3D katı model, yüzey model CAD modelinin oluşturulması
- c. Modelin oluşturulması için ağ yapılarının oluşturulması (mesh atılması)
- d. Malzeme bilgilerinin programda tanımlanması

- e. Sınır şartları ve yüklerin girilmesi
- f. Analizin koşturulması
- g. Sonuçların elde edilmesi ve değerlendirilmesi (Anonim 2020b)

A, b ve c aşamalarından sonra d aşamasında alüminyum ekstrüzyon odağında yapılan bu çalışma olduğundan alüminyumun elastisite modülü 69 GPa ve poisson oranı 0,33 olarak sisteme tanıtılmıştır. E aşamasında ise müşteri den gelen yükler tanımlanmıştır. F aşaması olan analizin tamamlanmasından sonra değerlendirmeler yapılarak G aşamasıyla birlikte iş adımları tamamlanmıştır.

Analizler HyperWork yazılımının alt modüllerinden genellikle 3 aşamada çözüme ulaşırlar. Bunlar sırasıyla; ön Proses (pre-processing), özücü (Solver) ve son proses (post-processing) adımlarıdır. Çalışmada ön proses için HyperMesh, özücü için OptiStruct ve son proses için HyperView kullanılmıştır.

Tasarımın dondurulması için ürün geliştirme aşamasındaki tasarım süreci ile sayısal çözümlerden olan analizler arasında döngü yaratılması sağlanmıştır. Geliştirilecek ürünün başarılı kabul edilmesi için belirli yük şartları altında, etkilenen ve yüke maruz kalan alt parçaların akma gerilme değerinin üzerinde bir davranış göstermeyip elastik davranış göstermesi istenmektedir. Analizlerde sonucunda seçilen malzemeye veya ön görü malzemeye göre plastik deformasyona uğramadan dayanması beklenmektedir.

Müşteri yük koşullarını karşılayan tasarımın dondurulmasının ardından, alüminyum motor beşiğine ait alt parçaların imal edilmesi direkt ekstrüzyon yöntemi ile 3500 T 'luk Ahmet Pres adı verilen SMS marka ekstrüzyon presi yapılmıştır.

Kaynak alışmaları adı altında, CMT kaynağı ve HAZ (Heat-Affected-Zone) Bölgesi adı verilen kaynaktan etkilenen bölgenin alüminyum özelinde literatür araştırmaları yapılmıştır. Bunun yanı sıra alt ekstrüzyon parçalarının Fronius TransPuls Synergic 4000 CMT kaynak cihazında kaynaklanmasından önce, yine aynı kaynak cihazında kupon bazlı ön kaynak denemeleri yapılarak EN AW 6082, EN AW 6063, EN AW 6060 alaşımlarının kaynak edilebilirlikleri üzerine çalışmalar yapılmıştır. Kupon bazlı kaynak

çalışmalarında 3 mm, 5mm, 6mm kalınlıklarındaki EN AW 6082, 3 mm, 5mm kalınlıklarına sahip EN AW 6063 ve 5 mm kalınlığındaki EN AW 6060 alaşımlarına sahip kuponlar bindirme veya alın formatında birleştirilmiş ve kaynak edilebilirlikleri incelenmiştir. Bu denemeler sırasında 5356 kaynak teli kullanılmıştır. DIN 50 114 standardına uygun olacak şekilde, A80 ebatlarında çekçe çubukları çıkarılmıştır. Çıkarılan numuneler çekme testlerine tabi tutularak kopma dayanımları tespit edilmiştir. Bu aşamada Instron marka çekme cihazında 1.2 mm/dak çene hızlarında testler gerçekleştirilmiştir. Her bir numuneden en az üç adet çekme testlerine tabi tutularak değerlerin ortalaması alınmıştır.

Aynı zamanda analiz verileriyle kaynak prosesi arasında korelasyonun sağlanması adına kaynaktan etkilenen bölgelerin literatür araştırması yapıldıktan sonra benchmark parçası olan 2010 yılına ait BMW 5.20 modeli motor beşiği ürününü üzerinden, DIN 50 114 standardına uygun olacak şekilde, A80 ebatlarında toplam 3'er adet çekme çubuğu 3 farklı bölgesinden çıkarılmıştır. Çekme çubukları Instron marka çekme cihazında 1,2 mm/dak çene hızlarında testlere tabi tutularak yapılan çekme testi sonuçları TS EN 755-2 ile karşılaştırılmış olup, testler sonucunda kıyaslama yapılarak literatürdeki bu bilginin teyit edilmesi gerçekleştirilmiştir.

Literatürde kaynaktan etkilenen (HAZ bölgesinin) bölgenin, akma, çekme mukavemetleri ve sertlik vb. gibi değerlerinin temel malzemenin %70 skalasına indiği bilgisi elde edilmiştir. Bu bilginin teyit edilmesi üzerine çalışmalar yürütülmüş, literatürdeki bilginin analize girdi olarak tanımlanması sağlanarak, dondurulmuş tasarım tekrardan analize sokulmuştur. Sonuç olarak kaynaktan etkilenen bölgenin üretimdeki proseslere benzerlik korelasyonu elde edilmiştir.

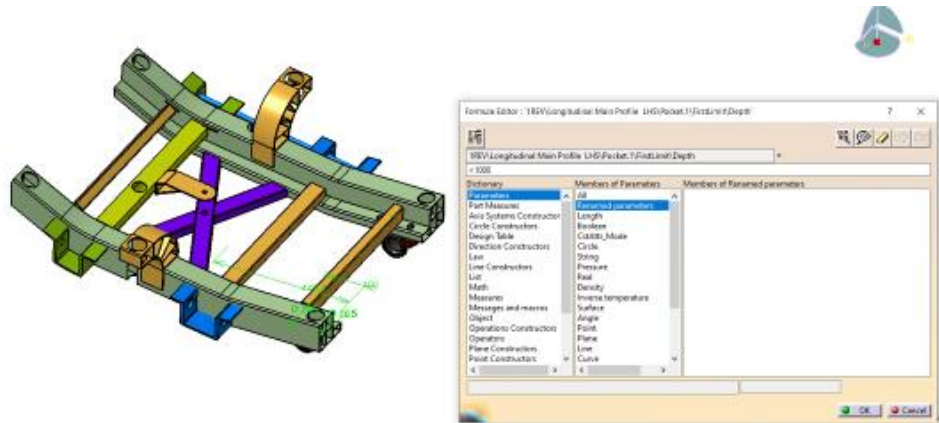
### **3.1. Ürün Geliştirme Süreci**

- Tasarım hacminin belirlenmesi: araç üretici firmadan gelen çelik travers datası hacim sınır olarak kabul edilmiştir. Yapılan her tasarım paket analizine tabi tutulmuştur (Şekil 3.1).



**Şekil 3.1.** Mevcut çelik konstrüksiyona sahip motor beşiği ve motor görseli  
(Bilgi gizliliği nedeniyle bulanıklaştırılmıştır.)

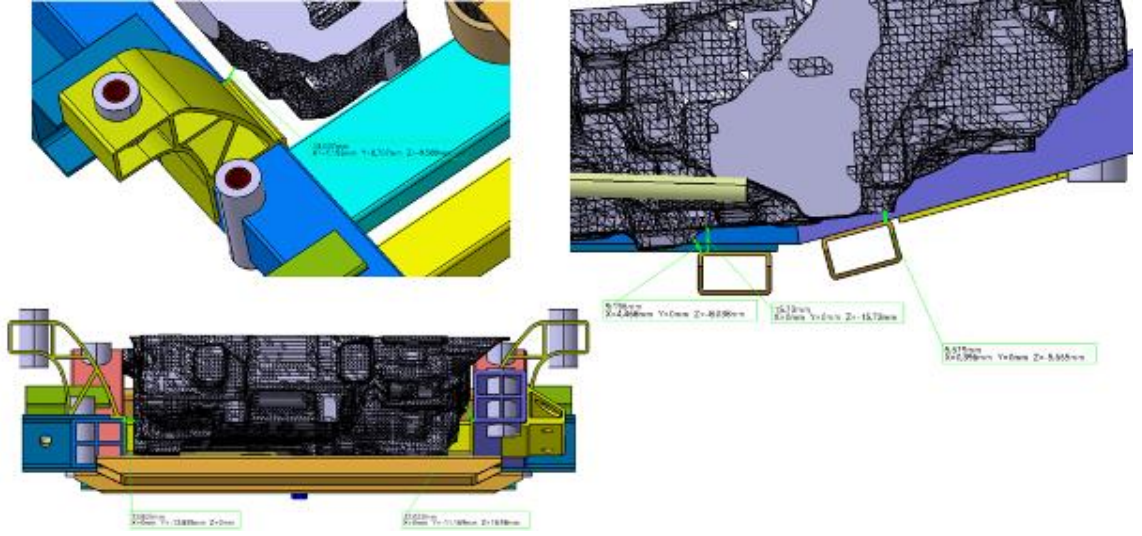
- İlk tasarım alternatifinin parametrik olarak oluşturulması: Bu adımda parametrik tasarım yapılarak motor beşiğinin katı modeli CATIA ortamında oluşturulmuştur.



**Şekil 3.2.** Motor beşiği tasarımının parametrelerinin atanması

Motor beşiği ürün geliştirme aşamasında alternatif tasarımın elde edilmesi için CATIA ara yüzünde parametreler atanmıştır. Bu parametreler ana profilin boyunda atanmıştır. Bunun yanı sıra motor beşiğinin orta bölgesine motorun yaklaşmasından dolayı ve bu yaklaşmanın yaklaşık 5 mm ve üzerinde olduğu beklendiğinden (Şekil 3.3) ana profilin genişliğinin de formülasyona bağlanmıştır (Şekil 3.2).



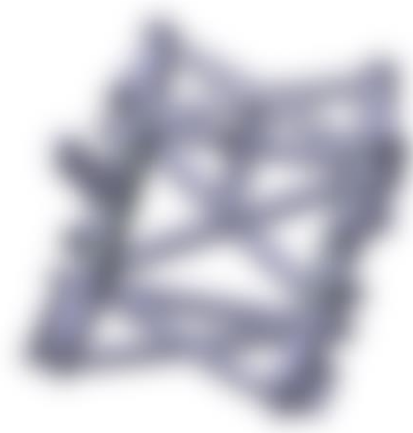


**Şekil 3.3.** Motor beşiğinin motor datasına olan uzaklığı

- Mevcutta çelik olan motor beşiğinin alüminyuma dönüştürülmesiyle araç ağırlığının azalmasının yanı sıra mevcut fonksiyonlarını kaybetmeden regülasyonlara uygun tasarımı gerçekleştirilmiştir.
- Yük durumları ile ilgili müşteri isterleri: Son kullanıcı firmadan gelen donelerin referans alınmasıyla süreç hızlandırılmıştır.

### 3.1.1. Konsept Tasarım Çalışmaları

Literatür, patent araştırmalarından ve yine literatürden elde edilen için çelikten alüminyum konstrüksiyon ürün tasarımı gerçekleştirilirken et kalınlığının cidarı yaklaşık olarak %40 civarı arttırılması gibi bilgiler doğrultusunda; çevre verilerine ve motor beşiği şasi montaj bağlantı yerlerinin de korunması ile ilk konsept tasarım geliştirilmiştir. Bu doğrultuda Şekil 3.4'te görülmekte olan mevcut çelik motor beşiği üzerinde çalışmaya başlanmıştır. Çelik ürünlerde genelde preste şekillendirme teknolojisi kullanılması dolayısıyla federli geometriler üretilmemektedir. Eğilme direnci ve katılık beklentisi olan alt komponentlerde gerilim ve gerinim değerleri referans alınarak parçanın geometrisi ekstrüzyon prosesinin getirdiği avantajlardan da yararlanılarak federli şekilde geliştirilmiştir. Konsept tasarım süresince sayısal analizler olan motor beşiği statik analiz sonuçları, üretilebilirlik parametreleri de göz önünde bulundurulmuştur.



**Şekil 3.4.** Araç üreticisi firmadan gelen mevcut çelik konstrüksiyona sahip motor beşiği görseli (Bilgi gizliliği nedeniyle bulanıklaştırılmıştır.)

### **3.1.2. Motor Beşiği Statik Analizi**

Motor beşiği tasarım doğrulama faaliyetleri kapsamında motor beşiğinin farklı yükleme durumundaki dayanımını incelemek ve tasarımı geliştirmek üzere CAE analiz çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

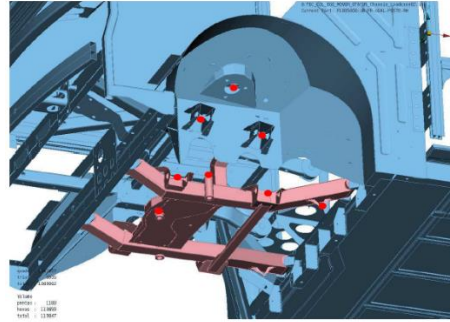
Analizlerden önce Tasarım hacminin ağ yapısının oluşturulması (HyperMesh) yapılmıştır. Oluşturulan tasarım üzerinden FEA sonlu eleman analizleri gerçekleştirilmiştir. Ağ yapısı oluşturulurken eleman boyutu, eleman tipi seçimi zaman ve sonuç açısından optimum sonucu verecek şekilde gerçekleştirilmiştir. Sonlu elemanlı ağ yapısı oluşturulurken 2 boyutlu elemanlar kullanılmıştır. Sonuçların hassasiyetini arttırmak için özellikle kaynak bağlantı bölgelerinde ve radyüsler kısımlarında dörtgen eleman ağırlıklı ağ yapısı oluşturulmuştur. Üçgen eleman kullanımı mümkün mertebe kısıtlı tutulmuştur.

Alüminyum motor beşiği tasarım geliştirme faaliyetleri süresince tasarım doğrulama çalışmaları için aracın üreticisi firma tarafından aracın maruz kalacağı farklı manevra ve yükleme şartlarında motor beşiği bağlantı noktalarına gelen yükler (Mevcut modelleri üzerinden gerçekleştirdikleri CAE analizlere ait bağlantı noktaları kuvvet çıktıları) Motor beşiği, araç gövdesi bağlantı noktalarından sabitlenmiş, komponent bağlantı noktalarından belirtilen kuvvet ve momentler uygulanmıştır.

Tasarımlar ve bu tasarımların doğrulanmasına yönelik olarak nonlinear statik analizler optistruct ortamında HyperMesh ile modellenerek çözdürülmüştür.

Araç üretici firma (müşteri) tarafından paylaşılan yük durumları şu şekildedir.

Alman araç üretici firması motor beşiğine gelebilecek yüklerin parça üzerinde simüle edilebilmesi amacıyla çeşitli senaryolarda oluşabilecek yük durumları ile ilgili bilgi vermiş ve aşağıdaki yük durumlarından 2,3,7,9 ve 13 numaralı yük durumlarında motor beşiğine etki eden kuvvetleri ve kuvvet noktalarının bilgilerini paylaşmıştır (Şekil 3.5). Bu yükler literatürde bulunan ve ön hazırlık yapılan yüklerle benzer senaryolar olduğu tespit edilmiştir. Ancak yine de bu değerler ana sanayilerin değişen araç ve platformlarına göre değerler değişebilmektedir.



**Şekil 3.5.** Yük uygulama noktaları (kırmızı noktalar)

1. Yük durumu: Duran Araba
2. Yük durumu: Dikey çarpışma
3. Yük durumu: Diyagonal aks yüklemesi
4. Yük durumu: Boylamasına çarpışma
5. Yük durumu: Hızlanma
6. Yük durumu: Hızlanma (4 Teker)
7. Yük durumu: Fren
8. Yük durumu: Geri yönlü fren
9. Yük durumu: Yan çarpışma

10. Yük durumu: Sağ yöne dönüş
11. Yük durumu: Hızlanma ve dönüş
12. Yük durumu: Hızlanma ve dönüş (4 Teker)
13. Yük durumu: Fren ve dönüş

Motor beşiği, araç gövdesi bağlantı noktalarından sabitlenmiş, komponent bağlantı noktalarından kuvvet ve momentler uygulanmıştır.

## 2. Yük durumu: Dikey çarpışma

**Çizelge 3.1.** Araç üreticisi firma tarafından paylaşılan dikey sarsma yükleme bilgisi

Yük Noktası	Fx [N]	Fy [N]	Fz [N]	Mx [Nm]	My [Nm]	Mz [Nm]
Sol Ön Salıncak kolu bağlantısı	-100	-17000	-5440	-89	-10	7
Sol Arka Salıncak kolu bağlantısı	250	-11000	-6485	-26	-10	2
Sağ Ön Salıncak kolu bağlantısı	-100	19000	-7440	55	-100	-5
Sağ Arka Salıncak kolu bağlantısı	250	4678	-9485	100	-25	-8
Direksiyon Orta bağlantısı	-120	0	-261	0	0	0
Direksiyon Sol bağlantısı	-50	78	-781	0	0	0
Direksiyon Sağ bağlantısı	-56	78	-852	0	0	0
Stabilizatör Sol bağlantısı	78	0	-952	-0.12	77	0
Stabilizatör Sağ bağlantısı	89	0	-278	0.12	22.73	0
Sol Ön Salıncak kolu bağlantısı	-50	-3000	-890	-60	0	8

### 3. Yük durumu: Diyagonal aks yükleme

**Çizelge 3.2.** Araç üreticisi firma tarafından paylaşılan diyagonal eksen yükleme bilgisi

Yük Noktası	F <sub>x</sub> [N]	F <sub>y</sub> [N]	F <sub>z</sub> [N]	M <sub>x</sub> [Nm]	M <sub>y</sub> [Nm]	M <sub>z</sub> [Nm]
Sol n Salıncak kolu bağlantısı	-800	-1777	-944	-418	-7	8,1
Sol Arka Salıncak kolu bağlantısı	-788	-1111	-849	-5	-5	9,06
Sağ n Salıncak kolu bağlantısı	-45	478	-218	-9	-41	1
Sağ Arka Salıncak kolu bağlantısı	77	735	758	-18	-45	1
Direksiyon Orta bağlantısı	-230	7382	-42	0	0	0
Direksiyon Sol bağlantısı	-678	674	-8	3	0	0
Direksiyon Sağ bağlantısı	2	7	-57	7	0	0
Stabilizatör Sol bağlantısı	6	3	-34	0	273	-1
Stabilizatör Sağ bağlantısı	89	0	-34	0	273	0
Sol n Salıncak kolu bağlantısı	-66	-700	-7440	-45	-7	2

## 7. Yük durumu: Fren

**Çizelge 3.3.** Araç üreticisi firma tarafından paylaşılan frenleme yükleme bilgisi

Yük Noktası	Fx [N]	Fy [N]	Fz [N]	Mx [Nm]	My [Nm]	Mz [Nm]
Sol Ön Salıncak kolu bağlantısı	664	-129	-550	-35	1	15
Sol Arka Salıncak kolu bağlantısı	855	6882	-677	-55	1	55
Sağ Ön Salıncak kolu bağlantısı	211	6029	-32	12	1	-15
Sağ Arka Salıncak kolu bağlantısı	456	-10882	-59	73	1	-42
Direksiyon Orta bağlantısı	-10	10	14	10	1	0
Direksiyon Sol bağlantısı	3	0	608	0	0	0
Direksiyon Sağ bağlantısı	0	0	16	0	0	0
Stabilizatör Sol bağlantısı	-18	5	0	0	30	0
Stabilizatör Sağ bağlantısı	-81	5	0	0	30	0
Sol Ön Salıncak kolu bağlantısı	-4	-1000	-440	-100	-10	5

## 9. Yük durumu: Yan çarpışma

**Çizelge 3.4.** Araç üreticisi firma tarafından paylaşılan yanal sarsma yükleme bilgisi

Yük Noktası	Fx [N]	Fy [N]	Fz [N]	Mx [Nm]	My [Nm]	Mz [Nm]
Sol Ön Salıncak kolu bağlantısı	-56	17913	-262	-1	-1	-4
Sol Arka Salıncak kolu bağlantısı	100	8573	-39	-1	-5	-7
Sağ Ön Salıncak kolu bağlantısı	-17	9357	-64	-1	-1	0
Sağ Arka Salıncak kolu bağlantısı	-78	8267	-22	-5	-5	-10
Direksiyon Orta bağlantısı	41	-1456	27	3	0	3
Direksiyon Sol bağlantısı	40	-5677	-171	2	0	2
Direksiyon Sağ bağlantısı	-53	-7244	31	0	0	1
Stabilizatör Sol bağlantısı	78	-736	45	-1	0	5
Stabilizatör Sağ bağlantısı	-3	-833	-5	-1	0	3
Sol Ön Salıncak kolu bağlantısı	-90	1118	-22	-1	0	-5

### 13. Yük durumu: Fren ve dönüş

**Çizelge 3.5.** Araç üreticisi firma tarafından fren ve viraj yükleme bilgisi

Yük Noktası	F <sub>x</sub> [N]	F <sub>y</sub> [N]	F <sub>z</sub> [N]	M <sub>x</sub> [Nm]	M <sub>y</sub> [Nm]	M <sub>z</sub> [Nm]
Sol Ön Salıncak kolu bağlantısı	51	-1235	-601	-67	0	11
Sol Arka Salıncak kolu bağlantısı	7516	5431	-832	-34	-1	12
Sağ Ön Salıncak kolu bağlantısı	239	30536	-353	17	-10	0
Sağ Arka Salıncak kolu bağlantısı	458	-3352	31	25	0	-16
Direksiyon Orta bağlantısı	21	-263	87	5	3	0
Direksiyon Sol bağlantısı	6501	-2267	-48	4	0	0
Direksiyon Sağ bağlantısı	-6745	-24	3	0	0	5
Stabilizatör Sol bağlantısı	-47	777	91	-35	20	1
Stabilizatör Sağ bağlantısı	26	5	-17	-32	-3	0
Sol Ön Salıncak kolu bağlantısı	3371	-157	-301	-1	0	0

Alman araç üreticisi firmanın tanımladığı yüklerin uygulama noktaları Şekil 3.5'te belirtilmiştir. Üst bağlantı noktalarına yönelik tasarım talebi olmadığından dolayı ilgili noktalara herhangi bir analiz çalışması gerçekleştirilmemiştir.

Motor beşiği üzerinde bu yüklemeler altında oluşan gerilmelerin kullanılan malzemenin akma gerilmesinin altında kalması motor beşiği üzerinde herhangi bir plastik şekil değişiminin olmaması gerekmektedir. Müşteri araç kullanım standartları altında çalışma



yüklerini paylaşmıştır. Kötüye kullanım yükleri ile ilgili maksimum kuvvetler ile ilgili bir beklenti paylaşılmamıştır.

## **3.2. Kaynak Çalışmaları**

### **3.2.1. CMT Kaynağı**

CMT (Cold Metal Transfer) kaynağı geleneksel kaynak yöntemlerinden olan MIG Kaynağı (Gaz Metal Arc Welding) alt dallarından biridir. Kaynak yönteminde alüminyum eritilerek birden fazla parçanın birleştirilmesi sağlayacak kadar ısı verilerek, kaynak tel (elektrot) ile beslenen malzeme arasında akım elde ederek oluşan sistemdir.

CMT kaynağı tanımı şu şekildedir. CMT: Soğuk metal transfer ark kaynak yönteminin geleneksel gaz altı kaynaklarından en önemli farkı, kaynak işlemine ve tüm sürecin kontrolüne entegre edilmiş olan tel hareketi ve tamamen dijital kontrole sahip olmasıdır. Temel olarak düşük akım, düşük voltaj ve düşük ısı girdisi ile karakterize edilen bu yöntem alüminyum alaşımların kaynağında avantaj sağlamaktadır.

CMT kaynağının geleneksel kaynak yöntemlerine göre sağladığı avantajlar şu şekilde sıralanmıştır:

- Cürufları veya kaynak istemi veya sonrasındaki telleri etrafa dağılmaması
- Atılan kaynak dikişinin gelenekler kaynak yöntemlerine göre yüksek kalitede olması
- Düşük sıcaklıkta çalışması
- Neredeyse cüruf oluşturmaması olarak sıralanabilir (Önal 2017).

CMT kaynağının tarihine odaklanacak olursak: Fronious tarafından 2004 yılından geliştirilen bu yöntem, kaynak uygulaması ve ekipmanı anlamında kaynak teknolojisinde çok önemli bir adım niteliğindedir. CMT tamamen yeni bir yöntem olmasının yanında MIG/MAG uygulamalarının da uygulama sınırlarını genişletmiş ve farklı malzeme türlerinin de kaynak edilebilirliğini sağlamıştır. Soğuk kaynak olarak da adlandırılan CMT yöntemi, kaynak işlemi sırasında düşük bir ısı girdisi ile kontrollü bir biçimde

kaynak bölgesine metal transferi gerçekleştirmek amacıyla geliştirilen kısa devre temelli bir kaynak tekniği olarak geliştirildiğinden dikişinin görünümünü iyileştirme gibi özelliğe de sahiptir. CMT kaynak prosesinde kısa aralıklarla arklar oluşturularak daha düşük ısı girdisi ve hızlı dijital işlem ünitesi ile desteklenmiş yenilikçi bir ilave tel besleme sistemi ile de proses parametrelerini daha iyi şekilde kontrol edilebilirliği durumundan dolayı da çok daha iyi bir kaynak performansı elde edilebilmektedir. Soğuk metal transferi (CMT) ark kaynağı yönteminin geleneksel CMT, darbeli CMT, ileri CMT ve ileri darbeli CMT olmak üzere değişik varyasyonları da bulunmaktadır (Serindağ ve Çam 2020).

Literatürde CMT kaynak yöntemiyle ilgili birçok çalışma bulunmaktadır. Birçok araştırmacının CMT kaynak metodu ile alüminyum alaşımlarının kaynak edilebilirliklerini ve proses parametrelerinin bağlantının mekanik ve metalürjik özelliklerine olan etkilerini incelediklerine rastlanmıştır. Güngör ve ark. (2014) 5083-H111 ve 6082-T651 alüminyum alaşımlarını birleştirdikleri çalışmalarında bağlantının dayanımının geleneksel yöntemlere göre daha iyi olduğunu belirtmişlerdir. Elrefaey ve Ross (2015) ilave tel olarak 5356 kullanmışlar ve AA6082 alaşımının ısı etkisi altında kalan bölgesinin temel malzemedeki çok farklı olmadığını belirtmişlerdir. Durmuş ve Çömez (2017) AA5754 alaşımını CMT yöntemi ile birleştirdikleri çalışmalarında ısı girdisinin etkisini incelemişlerdir. Yüksek ısı girdisinin çekme dayanımını değiştirmedığını ancak eğme mukavemetini olumsuz yönde etkilediğini açıklamışlardır. Bu çalışma kapsamında farklı kalınlık ve türde alüminyum alaşımları CMT yöntemi ile birleştirilmiş, mekanik ve metalürjik açıdan proses parametrelerinin etkileri incelenmiştir.



**Şekil 3.6.** Fronius marka TransPuls Synergic 4000 CMT kaynak cihazı (Anonim 2020c)

Teze konu olan alüminyum ekstrüzyon odaklı motor beşiğinin kaynak öncesi kupon bazlı ön kaynak çalışmaların da hem de alt parçaların kaynaklanmasında kullanılan Fronius marka TransPuls Synergic 4000 CMT kaynak cihazı görseli Şekil 3.6’da yer almaktadır.

### **3.2.2. Kupon Bazlı Kaynak Çalışmalar**

Bu çalışma altında farklı kalınlıklardaki EN AW 6082, EN AW 6060 ve EN AW 6063 alaşımları arasında kaynak birleştirmeleri uygulanmış ve kaynak edilebilirlikleri incelenmiştir (Yüce ve ark 2021a).

Kuponların kaynakları 3356 kaynak teli ile birlikte yapılmıştır. ER5356 kaynak teli alüminyum TIG kaynağı ve dolasıyla CMT yöntemi için de kullanılan ise %5 Mg alaşımı içeren kaynak telidir (Anonim 2012b). Genellikle Al-Mg ve Al-Mg-Si alaşımlarının kaynağında kullanıldığı elde edilen bilgiler arasındadır. Aynı zamanda 5356 kaynak telinin korozyon karşı yüksek dayanım özelliği bulunmaktadır (Yüce ve ark 2021b).

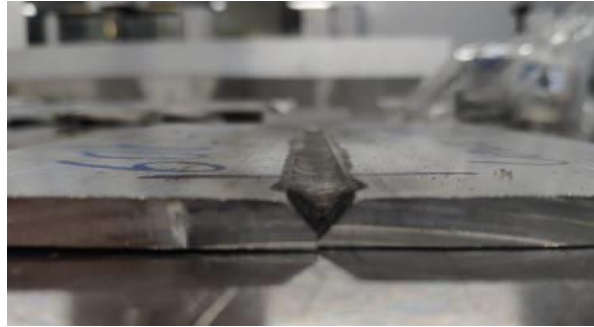
Çalışmadan önce alın kaynağı formatında birleştirilecek numunelerin kenarları işlenerek kaynak ağızları açılmıştır. Parçalar tutucu aparatlar ile birbirlerine ve kaynak bölgesine tutturulmuşlardır. Şekil 3.7’de yapılan çalışmaların görseli yer almaktadır.



**Şekil 3.7.** Kupon bazlı kaynak denemelerinin yapıldığı üretim hattı görseli



**Şekil 3.8.** Kupon bazlı kaynak çalışmalarının sonrasında bindirme kaynağı yapılmış örnek numunenin görseli



**Şekil 3.9.** Kupon bazlı kaynak çalışmalarının sonrasında alın kaynağı yapılmış örnek numunenin görseli

Şekil 3.8 ve Şekil 3.9’da kupon bazlı çalışmalara ait bindirme ve alın geometrisine sahip numunelerin görselleri yer almaktadır.

Bindirme kaynağı geometrisi çalışmasında 3 mm, 5mm ve 6 mm kalınlığındaki EN AW 6082, 3 mm,5mm kalınlığındaki EN AW 6063 ve 5 mm kalınlığındaki EN AW 6060 alaşımlara ait kuponlar kullanılmıştır. Bunun yanı sıra EN AW 6082, EN AW 6063 ve EN AW 6060 alaşımlarda kaynak torcunun normal, dik ve yatay olarak konumlandırılması ile farklı kaynaklar yapılmış ve torç açısının kopma dayanımına olan etkisi incelenmiştir. Kullanılan proses parametreleri Çizelge 3.6’da verilmiştir.

**Çizelge 3.6.** Torç açısının etkisini görmek için yapılan CMT kaynak prosesindeki parametreler (Bindirme geometrisi)

Numune No	Malzeme – 1	Malzeme – 2	Kaynak Geometrisi	Akım (A)	Voltaj (V)	Tel Besleme Hızı (m/dak)	İlerleme Hızı (m/dak)	Torç Açısı
1	EN AW 6082 (6 mm)	EN AW 6082 (3 mm)	Bindirme	145	22,5	13,2	13	Normal
2	EN AW 6082 (6 mm)	EN AW 6063 (3 mm)						Dik
3	EN AW 6063 (5 mm)	EN AW 6082 (3 mm)						Dik
4	EN AW 6082 (5 mm)	EN AW 6060 (5 mm)						Yatık

Alın kaynağı geometrisinde ise sadece 6 mm kalınlığındaki EN AW 6082 alaşımları birleştirilmiştir. Bunun yanı sıra bu çalışmada kaynak hızının etkisini görebilmek amaçlanmıştır. Bu kaynak prosesinin parametreleri Çizelge 3.7’de detaylı olarak aktarılmıştır.

**Çizelge 3.7.** Torç açısının etkisini görmek için yapılan CMT kaynak prosesindeki parametreler (Alın geometrisi)

Numune No	Malzeme - 1	Malzeme - 2	Kaynak Geometrisi	Akım (A)	Voltaj (V)	Tel Besleme Hızı (m/dak)	İlerleme Hızı (m/dak)
5	EN AW 6082 (6 mm)	EN AW 6082 (6 mm)	Alın	145	19,5	8,5	9
6							13

### 3.2.3. Kaynaktan Etkilenen Bölge (HAZ Bölgesi)

HAZ (Heat-Affected-Zone) yani kaynaktan etkilenen bölge literatürde ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) olarak yer bulmaktadır.

Bu yöntemin tez çalışması altında yürütülmesinin nedeni yük şartlarının uygulanacağı motor beşiğinin analizin sonuçları ile kaynak prosesi sırasında ısı girdisinden dolayı etkilenecek bölgeye maruz kalacak alüminyum ekstrüzyon parçaları arasında korelasyon sağlanabilmesi adına, kaynaktan etkilenen bölgesinin de tanımlanması gerekmektedir. Bu yüzden ilk olarak literatür araştırması yapılarak ilk bilgi girişinin sağlanması yapılmıştır.

Literatürden alınan bilgiler şu şekildedir:



**Şekil 3.10.** Kaynaktan etkilenen bölge (Anonim 2020d)

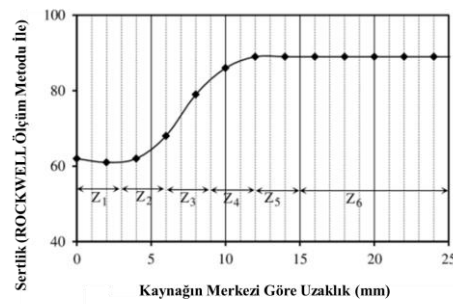
Şekil 3.10’da kaynaktan etkilenen bölgenin temel malzeme ve kaynak dikişi ile olan konumu gösterilmiştir.

Alüminyum ve alaşımlarının kaynaklanmasında ısıdan etkilenen bölgede düşük ısı girdisi ile birlikte gelişen yavaş soğumanın meydana gelmesiyle ve kaynak bölgesine oranla daha iri taneli olan mikro yapıdan dolayı bu bölgedeki mukavemette düşüş meydana gelir. Kaynaktan etkilenen bölgenin, kaynak bölgesine göre daha düşük mukavemete sahip olduğu aktarılmıştır. Genellikle yapılan çekme testlerinde kopmanın bu bölgelerden oluştuğu vurgulanmıştır (Kafalı ve Ay 2014). Yine kaynaktan etkilenen bölge ile ilgili benzer açıklama Demirbaş ve Çevik 2020’de yaptığı araştırmada da verilmiştir. Kafalı ve Ay’ın 2014’te yaptığı çalışmada EN AW 6013-T6 malzemenin FSW (Sürtünme Karıştırma Kaynağı) ile birleştirilmesi ısıdan etkilenen bölgede (HAZ) gerilme değerlerinin %25-30 düştüğü yaptığı, T6 durumundaki çekme testlerinin sonucunda numunelerinin kırılmaların tamamının ısıdan etkilenen bölgede (HAZ) meydana geldiğini belirtmiştir.

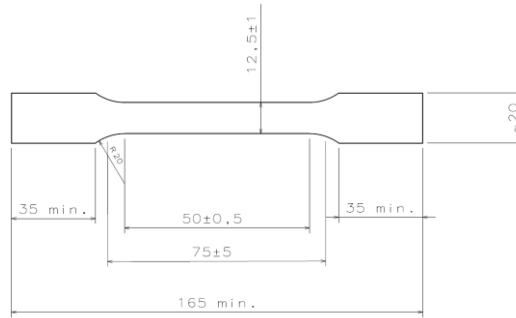
2010 yılında Ship Structure Committee tarafından hazırlanan ve yayınlarda raporda kaynak ile birleştirilen yüksek mukavemetli 5xxx ve 6xxx serisi alaşımlar için HAZ bölgesinin temel malzemedan %30 ile 50 arasında daha zayıf olduğunu, bu lokalize zayıflamanın yapılacak çalışmalarda, tayin edilerek çalışmaların bu doğrultuda sürdürülmesi gerektiğine vurgu yapılmıştır. Dikkate alınmaması halinde riskli özellikle alüminyumun gemi gibi ulaşım araçlarında da kullanılmasından dolayı can güvenliğine kadar gidebileceği ve ağır cezaları olabileceğini de eklemiştir. Raporu veriler mühendislik çalışmaları ile desteklenmiştir. Raporda AL5083 ve AL6082 için kaynaktan

etkilenen bölgenin çalışmaları yapılarak sonlu elemanlar analizde sonuçları alınmıştır (Anonim 2010b).

Şekil 3.11’de uzaklık olarak bilgi verilmiştir. Şekil 3.11’e göre kaynaktan etkilenen, bölgenin kaynak uygulanan merkezden ortalama 10-15 mm uzaklıkta etkisini gösterdiği görülmüştür (Nazemi ve Ghrib 2019). Örneğin; Hove ve Soetens 2014’te yaptığı çalışmada, HAZ bölgesinin uzunluğu 20 mm olarak kabul ederek çalışmalarını bu şekilde tamamlamıştır (Hove ve Soetens 2014).



**Şekil 3.11.** Kaynaktan etkilenen bölgenin kaynak merkez uzaklığının kaynak sertlik değişimiyle ilişki diyagramı (Nazemi ve Ghrib 2019)



**Şekil 3.12.** DIN 50 114 standardına uygun olacak A80 ebatlarındaki çekme testi görseli

Şekil 3.12’de gösterilmiş olan çekme numuneleri hem kupon bazlı kaynak çalışmaları adı altındaki kaynaklanmış numuneler arasından hem de kaynaktan etkilenen bölge (HAZ bölgesi) çalışmalarında ölçüt olarak alınmıştır. Numunelerin çıkarılması hız ve kalite açısından su jeti teknolojisiyle elde edilmiştir.

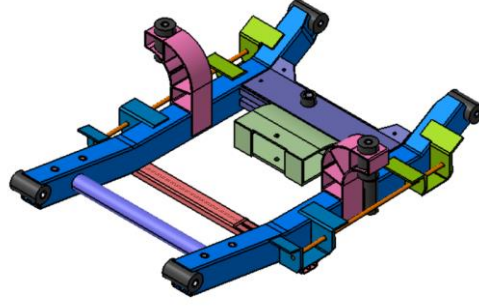


## 4.BULGULAR (BULGULAR ve TARTIŞMA)

### 4.1. Ürün Geliştirme Süreci Sonuçları

#### 4.1.1. Tasarım Çalışmaları Sonuçları

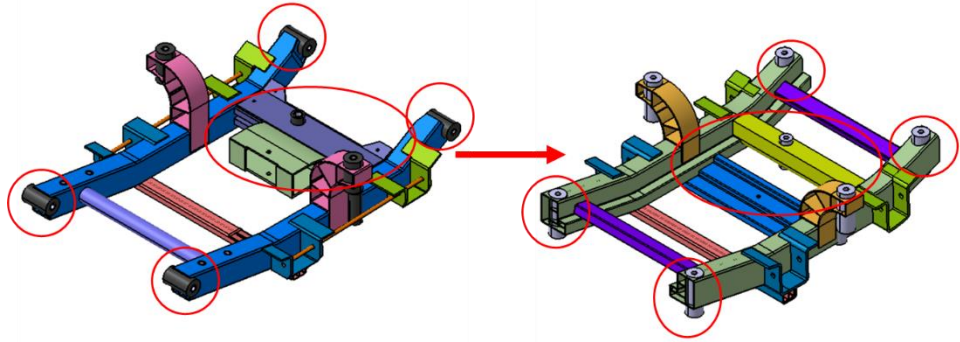
##### - Rev.01



Şekil 4.1. Alüminyum ekstrüzyon yöntemiyle tasarlanmış ilk motor beşiği (Rev.01)

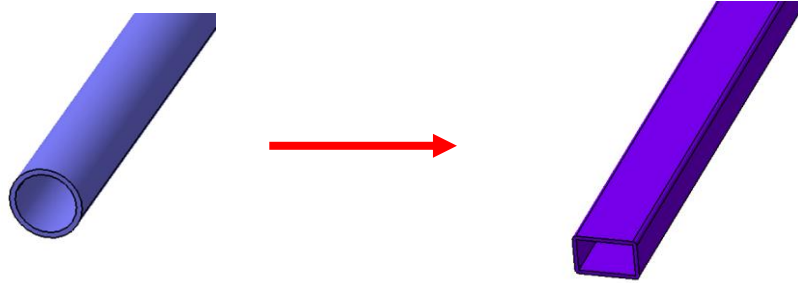
Şekil 3.4’te gösterilen çelik motor beşiğinin ilk alüminyum ekstrüzyon ürün geliştirmesine bağlı olarak ortaya çıkan konsept tasarım Şekil 4.1’te gösterilmiştir.

##### - Rev.02



Şekil 4.2. Sol Rev.01 motor beşiği tasarımının sağdaki Rev.02 tasarımı olarak geliştirilmesi

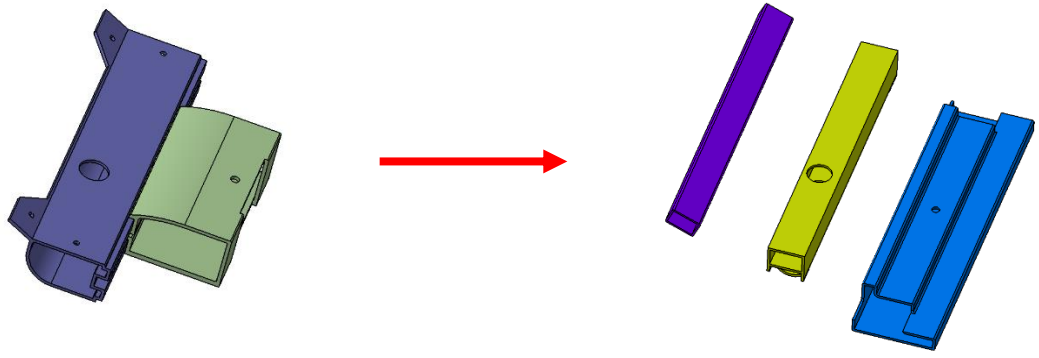
Şekil 4.2’de sağ kısımda verilen Rev.01’in Rev.02’ye dönüştürülmesi yapılmıştır. Bu revizyonda amaç bağlantı noktalarının mukavemetinin artırılması ve olası maliyet düşürme üzerine çalışmalar yapılmıştır. Revizyon 2, olası yan kuvvetler ve sertlik problemleri nedeniyle daha farklı profil geometrisi olacak şekilde tasarlanmıştır. Daha mukavemetli bir yapı sağlanmaya çalışılmıştır. Zayıf kaynak hatlarının yan kuvvetleri karşılayabilmesi için farklı pozisyonlamalar düşünülmüştür. Bir önceki tasarımdaki büyük ara profillerin üretimdeki yüksek kalıp maliyetlerinin düşürülmesi ve uygulanacak talaşlı imalat maliyetlerinin düşürülmesi adına revizyonlar gerçekleştirilmiştir.



**Şekil 4.3.** Daire kesitli ön yatay üye parça (sol) Rev.02’de köşe kesitli olarak geliştirme görseli (sağ)

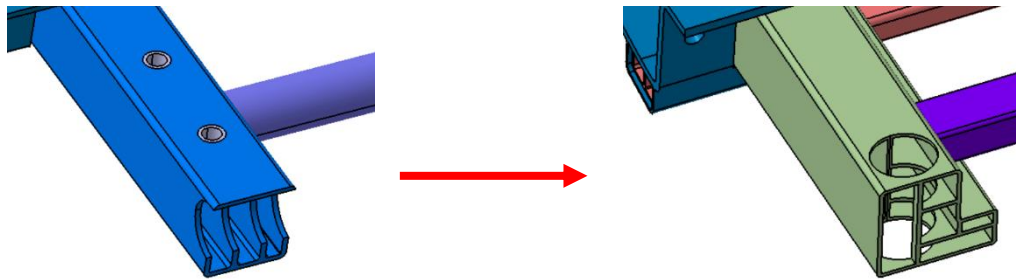
Şekil 4.3’te solda yer alan Rev.01’e ait daire kesit kaynaklamanın kolay yapılması amacıyla tasarlanan ön yatay üye parçası Şekil 4.3’te sağ bölümde yer aldığı gibi daire köşe kesitli ekstrezyon profili olarak Rev.02 tasarımı altında güncellenmiştir.

Şekil 4.4’te solda gösterilen yan bölümleri birbirine bağlama görevini üstlenen yatay üye parçaları kalıpları ve süreç maliyetlerini düşürmek için tekrar tasarlanmıştır. Şekil 4.4’te sol kısımda 2 adet ekstrezyon kalıbına ihtiyaç duyulurken aynı şekilde sağda 3 adet farklı profile ayrılmıştır. Bunun nedeni profile talaşlı imalat maliyetini azaltılmaktır.



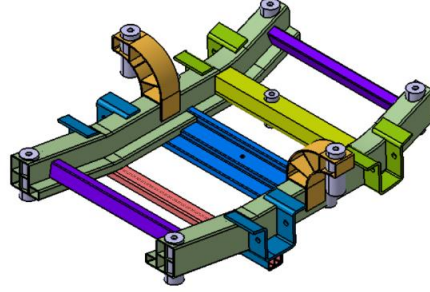
**Şekil 4.4.** Bir önceki tasarımdan (sol) daha az maliyetli üretim sürecine ihtiyaç duyulan yatay üye parçaları (sağ)

Araç bağlantı burçları çelik yapıda yatay olarak kaynaklanmaktaydı ancak üretici firmanın dikey pozisyona getirilmesi sonucunda burçların montajlandığı ana ekstrüzyon kesitte de burçların dik bağlanması amacıyla mukavemetli kesit olacak şekilde tasarım revizyonu yapılmıştır. Bir önceki tasarımdaki profilde bulunan feder yapısı z yönündeki kuvvetlere yönelik olarak tasarlanmıştı (Şekil 4.5'te solda). Yapılan revizyon ile birlikte oluşturulan feder yapısı, z yönündeki kuvvetlerin yanında y yönünden gelebilecek kuvvetlere yönelik de mukavemet kazandıracak şekilde tasarlanmıştır (Şekil 4.5'te sağda). Müşterinin talebi doğrultusunda montaj kolaylığı sağlaması için şasi bağlantı burçları dikey pozisyona getirilmiştir.



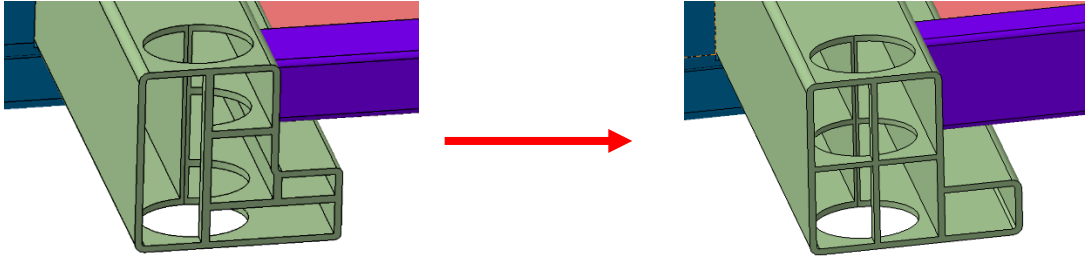
**Şekil 4.5.** Ana profilin kesit yapısı ve bağlantı burç yuvası geometrisi değiştirilmiş tasarım (sağ)

- Rev.03



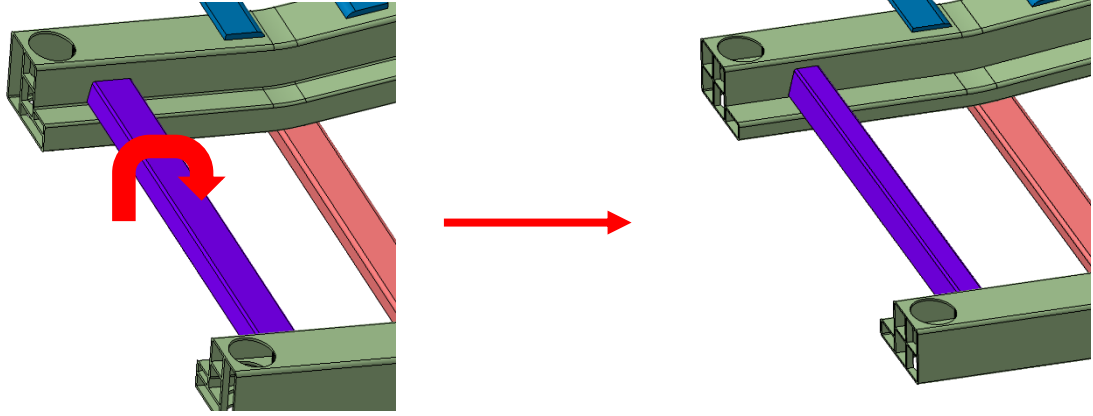
Şekil 4.6. Rev.03 tasarımı

Şekil 4.6’da gösterilmiş olan Rev.03 tasarımına gelindiğinde ise Şekil 4.7’de solda görülecek ana profillerin daha mukavim ve üretilebilir olması için aşırı karmaşık geometriden daha basit feder yapısına değiştirilmiştir (Şekil 4.7’de sağ). Ayrıca hafiflik sağlanmıştır. Ek olarak burç montajı için yapılacak talaşlı imalatın da kolaylaşması öngörülmüştür.



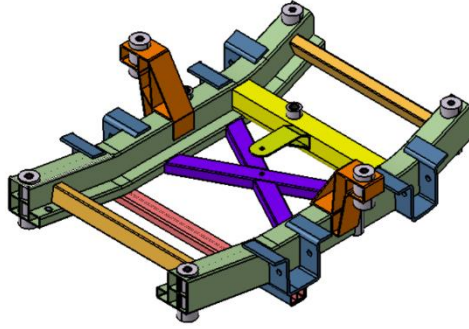
Şekil 4.7. Feder yapısı değiştirilmiş ana profil kesit görünüşü kıyaslaması

Ön yatay üye profili yandan gelecek kuvvetlere daha mukavim olması için 90° döndürülmüştür (Şekil 4.8).



**Şekil 4.8.** Ön yatay üye parçasının kesiti dik yatay kesitten (sol) dik kesite getirilme görseli (sağ)

- Rev.04

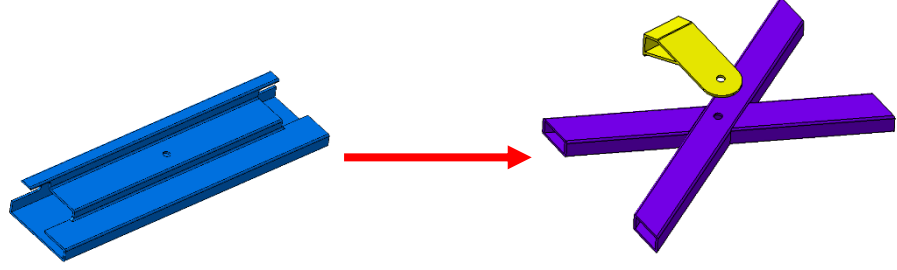


**Şekil 4.9.** Rev.04 tasarımı

Şekil 4.9’da gösterilmiş olan Rev.04 tasarımında ise ana profillerin bükülme işlemleri sırasındaki uzama miktarları kontrol edilmiştir.

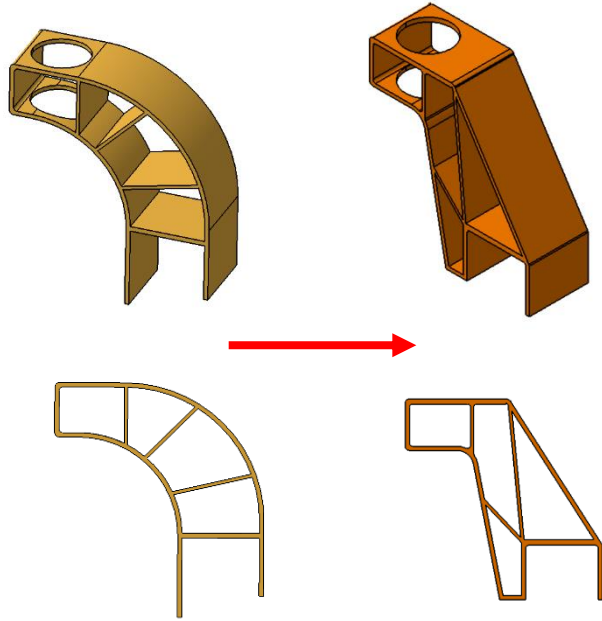
Yatay üyelerden biri olan orta bölgede bulunan şanzıman alt destek braketini, çapraz profil olarak, yan yüklere dayanımını artıracak ve bükülmesi azalacak şekilde tekrardan tasarlanmıştır (Şekil 4.10). Orta bağlantı noktalarına konumlanan yeni yatay üyeler ile dikeyde (z) aynı hizada şanzıman üst destek braketini öngörülmüş ve tasarıma eklenmiştir (Şekil 4.10’da sağ kısımda sarı ile gösterilen parça). Yatay üye, çapraz bağlantı olacak

şekilde geliştirilerek ve standart profil kullanılması planlandığından ekstrüzyon kalıp maliyeti ve talaşlı imalat maliyeti düşürülmesi hedeflenmiştir.



**Şekil 4.10.** Şanzıman alt destek braketinin çapraz iki profil olacak şekilde yatay üyeler şeklinde tasarlanma görseli

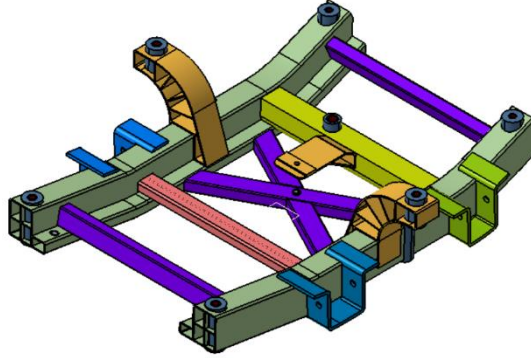
Ekstrüzyon üretim ekibi tarafından alınan geri bildirimler doğrultusunda üretilebilirlik açısından aşağıdaki görseldeki ana braketlerinin kesit ve kalınlıklarında değişiklikler yapılmıştır. Şekil 4.11’da gösterilen bu geri bildirimlerden en net olanıdır.



**Şekil 4.11.** Üretilebilirlik açısından ana bağlantı braketlerinde yapılan kesit değişikliği görseli

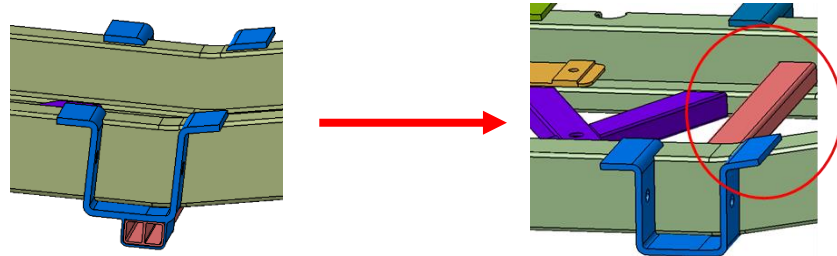
Şekil 4.11'teki ana bağlantı kesite eklenen farklı yönlerdeki (sağ) federler sayesinde parçanın birçok yönden gelecek kuvvetlere karşı absorbe olasığının artırılması ön görülmüştür.

- **Rev.05**



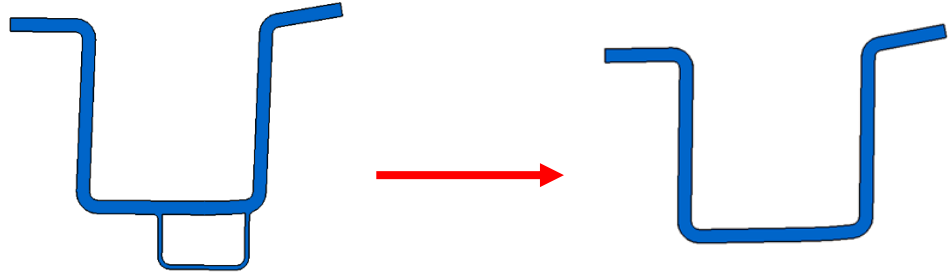
**Şekil 4.12.** Rev.05 tasarımı

Şekil 4.12'de gösterilen Rev.04 tasarımının Şekil 4.13'teki sağ görselde kırmızı ile işaretlenmiş pembe yan yatay yan profilin konumu viraj durumunda oluşabilecek yükleri daha iyi karşılayabilmesi adına konumu değiştirilmiştir. Pembe yatay üye profilin kesiti ve ana profiller arasında yarattığı bağlantı bölgesini daha güçlü kaynak hatlarının oluşturulabilmesi için değiştirilmiştir.



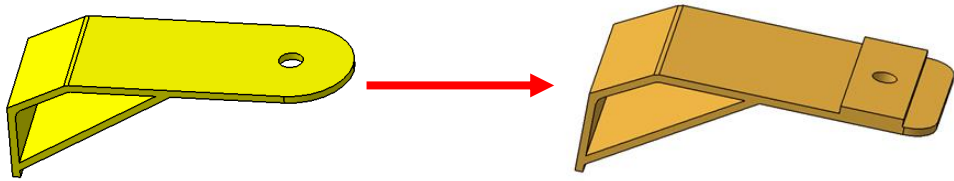
**Şekil 4.13.** Yatay üye profil parçasının yerinin değiştirilme görseli

Şekil 4.14'te gösterilen adı arka salıncak braketleri olarak adlandırılan kesitinde değişiklik yapılmıştır. Bu değişikliğin nedeni Şekil 4.14'te solda bir başta deyişle Rev.04'te U kesitin alt bölgesinde yer alacak şekilde ek dikdörtgen kesitle monokok üretilmesi planlanan ekstrüzyon profilin Rev.05'te bir başka deyişle Şekil 4.14'te sağdaki güncel revizyonuyla U kesite dönüştürülmesi yapılmıştır. Bu revizyonun kesite eklenen ve o bölgeye montaj olması planlanan yatay üyenin yerinin montajda yerinin değişmesidir.



**Şekil 4.14.** Arka Salıncak Kolu Braket kesit değişimi

Şekil 4.15'te gösterilen şekilde gösterilen dişli kutusuna bağlanan şanzıman üst destek braketleri isimli parçanın mukavemeti artırılması için delik çevresinde kalınlık artışı yapılmış ve geometrisi değiştirilmiştir. Parça kalınlığında revizyon yapılmıştır. Talaşlı imalat maliyeti düşürülmüştür.



**Şekil 4.15.** Şanzıman Üst Destek Braketi parçasına civata deliği kesitinde ekstra kalınlık sağlanma görseli

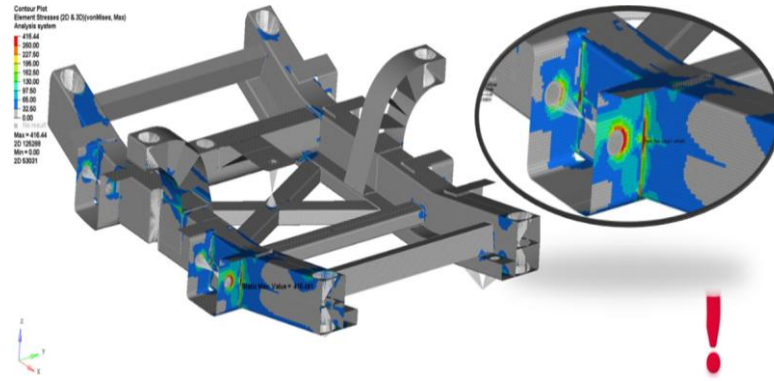
Ana profil, ana bağlantı kuleleri, ön ve arka salıncak bağlantı braketleri için 6xxx serisi alüminyumlardan yüksek akma gerilmesine sahip ve Yeşilova Holding A.Ş. seri üretim



hatlarında ekstrüzyon hammaddesi olarak kullanılmakta olan EN AW- 6082 seçilmesi ön görülmüştür.

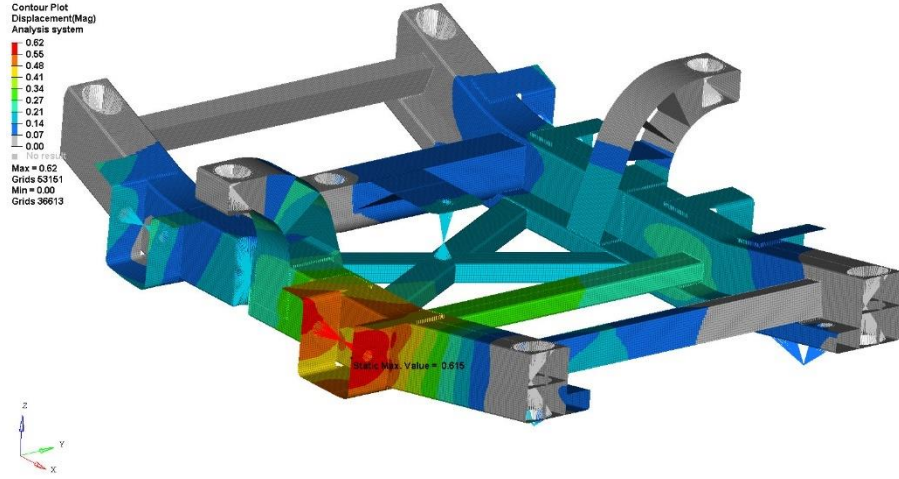
#### 4.1.2. Motor Beşiği Statik Analizi Sonuçları

Rev.05 revizyondan sonra CAE analizleri koşturulmuştur. Koşturulan statik analizler; araç üreticisi firma tarafından sağlanan yükleme koşullarından en ağır şartları içeren LC (Yük Koşulu) 13 Fren ve viraj yükleme koşuluna göre gerçekleştirilmiştir. Sistem analizde 6 bağlantı noktasından, 6 serbestlik derecesi de kısıtlanacak şekilde mesnetlenmiştir. (Şekil 4.43 te A, B, C, D, E, F olarak gösterilmiştir) Analizler neticesinde fren ve dönüş yük durumunda akma gerilmesini aşan gerilme değerleri ortaya çıkmıştır. Ana profillere birleştirilmiş arka salıncak kolu braketini üstünde EN AW- 6082 T6 malzemesi için maksimum akma gerilmesi olan 260 MPa üstünde gerilmeler (416 MPa) meydana gelmiştir (Şekil 4.16). Arka salıncak kolu braketinde 0,62 mm yer değiştirme gözlemlenmiştir.



Arka salıncak kolu parçasının ana profiline bağlantı bölgesinde maksimum gerilme (416 MPa) oluşmaktadır. Bu değer EN AW 6082 T6 malzemesinin akma gerilmesinden (260 MPa) daha yüksektir.

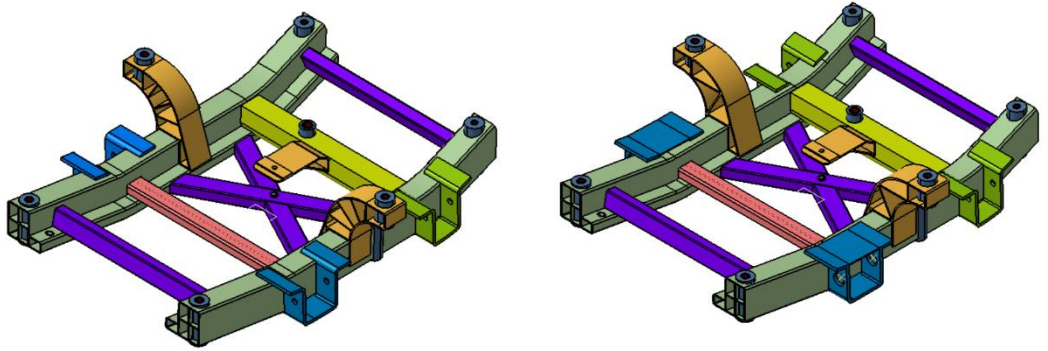
**Şekil 4.16.** Rev.05 tasarımının 13.yük koşulu olan fren ve viraj yüklerine göre analiz sonuç görseli



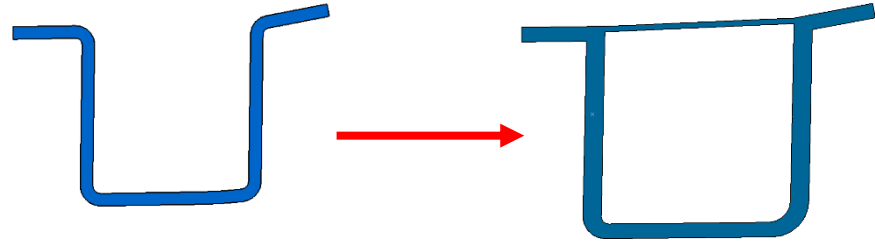
**Şekil 4.17.** Rev.05 tasarımının maksimum yer değıştirme oluşan parça kırmızı ile gösterildiği görsel

Şekil 4.17’de görüldüğü gibi yapılan analizler neticesinde arka salıncak kolu parçasına ek duvarlar eklenerek Şekil 4.19’te sağ ile gösterilen tasarım haline getirilmiştir. Bu aksiyon sonunda ise Şekil 4.18’de sağ tarafta gösterilen Rev.06 tasarımına ulaşılmıştır.

- **Rev.06**



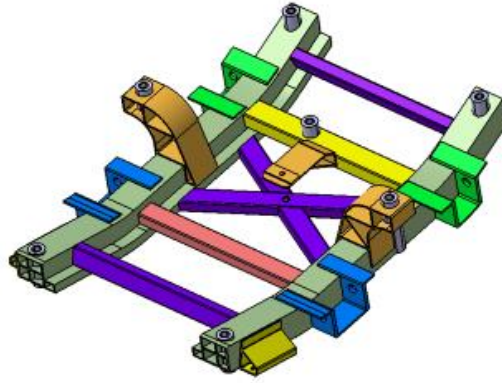
**Şekil 4.18.** Rev.06 tasarımı



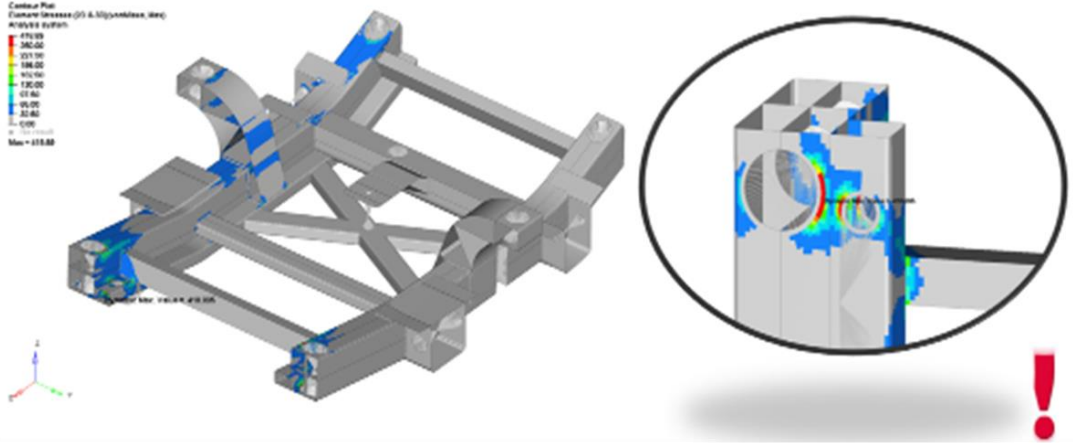
**Şekil 4.19.** Kalınlığı arttırılan ve kapatılan arka salıncak kolu braketı

Şekil 4.19'de sağ bölgede yer alan Rev.06'a yapılan statik dayanım analizlerinin Şekil 4.21'de sonuç görseli verilmiştir.

- **Rev.07**



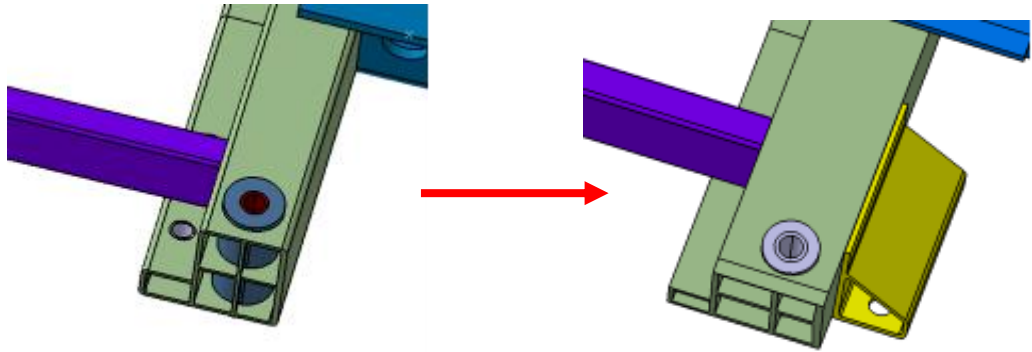
**Şekil 4.20.** Rev.07 tasarımı



Ana profilinin alt bölgesinde maksimum gerilme (419 MPa) olup, bu değer EN AW 6082 T6 malzemesinin akma gerilmesinden (260 MPa) daha yüksektir.

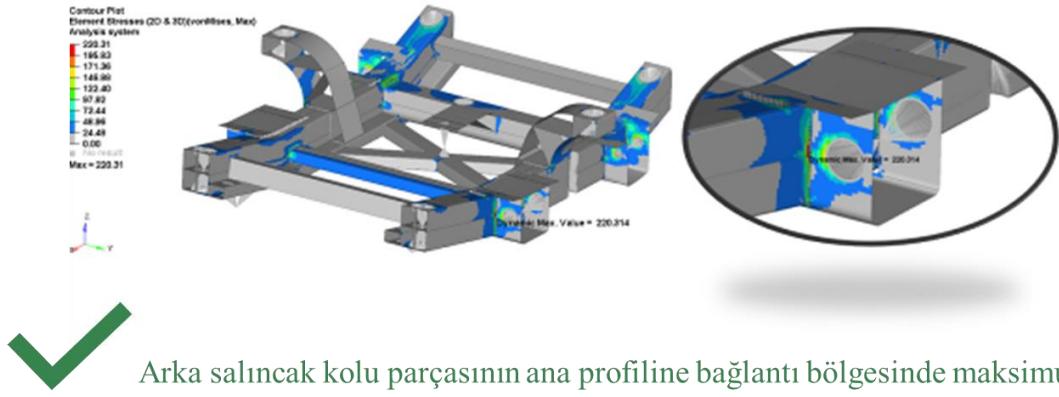
**Şekil 4.21.** Rev.06'nın 13.yük koşulu olan fren ve viraj yüklerine göre analiz sonucu

Şekil 4.21'de gösterilen sonuçlara göre ana profilin revizyon geçirmesi gerekmektedir. Bu revizyon akma değeri 260 MPa olan lokal bölgenin et kalınlığının artırılması ya da kuvvetin geldiği yöne doğru feder eklenmesi, var olan bir feder var ise kuvvetin geleceği yöne doğru dik hale getirilmesi, federin cidar kalınlığının artırılması olabilir.



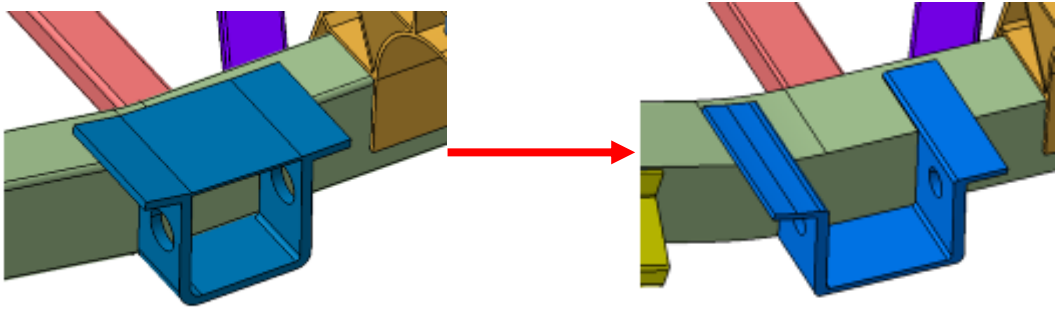
**Şekil 4.22.** Ana profillere yapılan tasarım revizyonu

Rev.06'in statik analizi sonunda (Şekil 4.21) ana profillerle yekpare olan tekerlek bağlantı milinin geldiği konum, ana profilden ayrılarak sisteme 2 adet (sağ ve sol simetrik olacak şekilde) stabilizatör bağlantısı ekstrüzyon profilleri eklenmiştir. Eklenen bu parça Şekil 4.22'nin sağ görselinde sarı renkli parçadır.



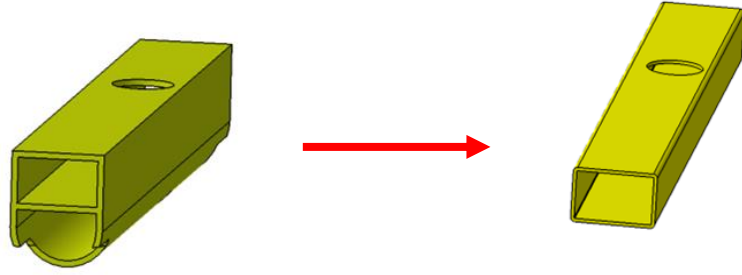
Arka salıncak kolu parçasının ana profiline bağlantı bölgesinde maksimum gerilme (140 MPa) olduğundan ve EN AW 6082 T6 malzemesinin akma gerilmesinden (260 MPa) küçük olduğundan uygundur.

**Şekil 4.23.** Rev.06'nın 13.yük koşulu olan fren ve viraj yüklerine göre analiz sonucu- 2



**Şekil 4.24.** Arka salıncak kolu braketlerine yapılan tasarım revizyonu

Şekil 4.23'te gösterilen Rev.06 tasarımına ait analiz sonuçlarında arka salıncak kolu braketlerinin olan ve Şekil 4.24'te mavi ile gösterilen U braketinin kapatılan duvarı geri alınmıştır. Bunun nedeni analiz sonuçlarında bu duvarın işlevsel olarak kritik olmaması ve duvarın ekstrüzyon ile üretilmesi halinde ana profildeki büküm yerine montajlanmasından dolayı yaşanacak hataların ve işçiliğin önüne geçmektedir.

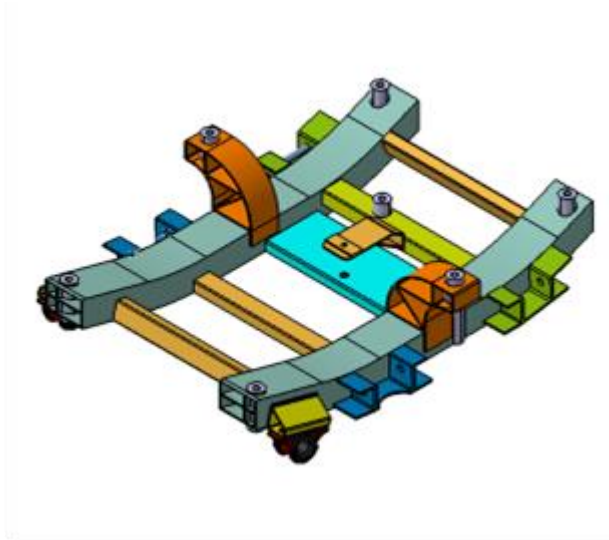


**Şekil 4.25.** Direksiyon desteği yatay üye profiline yapılan tasarım revizyonu

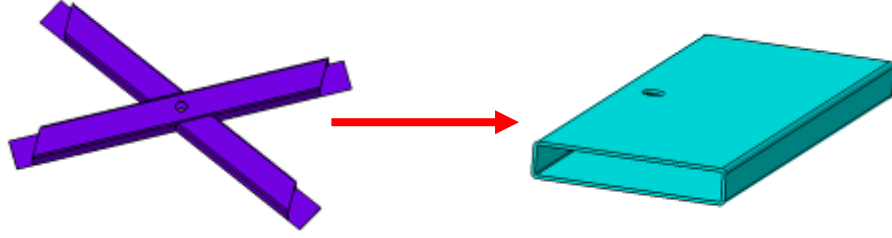
Şekil 4.25'te gösterilen direksiyon desteği yatay üye profili daha basit bir kesime dönüştürülmüştür.

Yapılan bu revizyonlar olan ve Şekil 4.22,4.24 ve 4.25'te gösterildiği gibi tasarım üzerinde aksiyonlar alınmış ve bunun sonucunda Şekil 4.1'deki Rev.07 tasarımına ulaşılmıştır.

- **Rev.08**

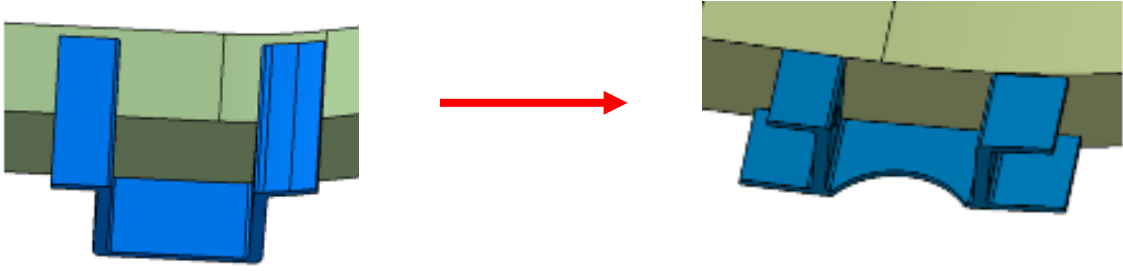


**Şekil 4.26.** Rev.08 tasarımı



**Şekil 4.27.** Şanzıman alt destek braketine yapılan tasarım revizyonu

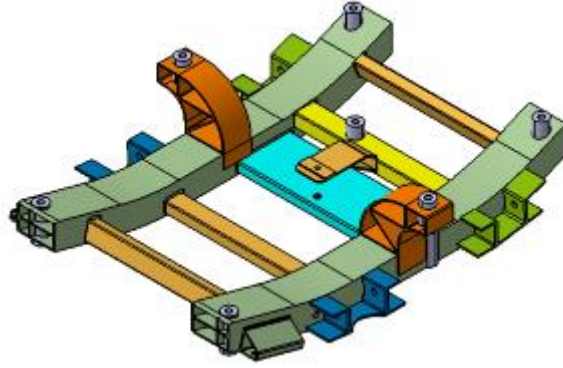
Şekil 27’de gösterilen şanzıman alt destek braketi CNC işleminin azaltılması amacıyla tek bir parça olarak tasarlanmıştır.



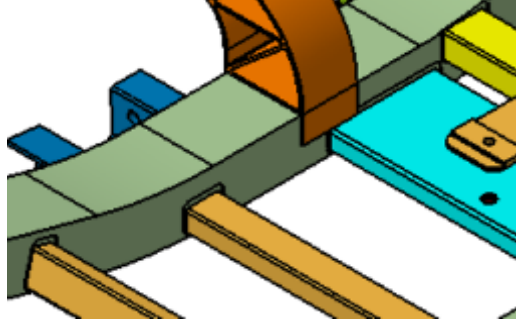
**Şekil 4.28.** Ön salıncak kolu braketine yapılan tasarım revizyonu

Şekil 4.28’de mavi ile gösterilen ve salıncak kollarının bağlandığı ön salıncak kolu braketi ana profillerine bindirme yapmaması ve alın kaynağı yapılması amacıyla revizyona uğramıştır. Şekil 4.27 ve 4.28’deki tasarım revizyonları sonucunda Şekil 4.26’daki Rev.08 tasarımına geçiş yapılmıştır.

- Rev.09



Şekil 4.29. Rev.09 tasarımı

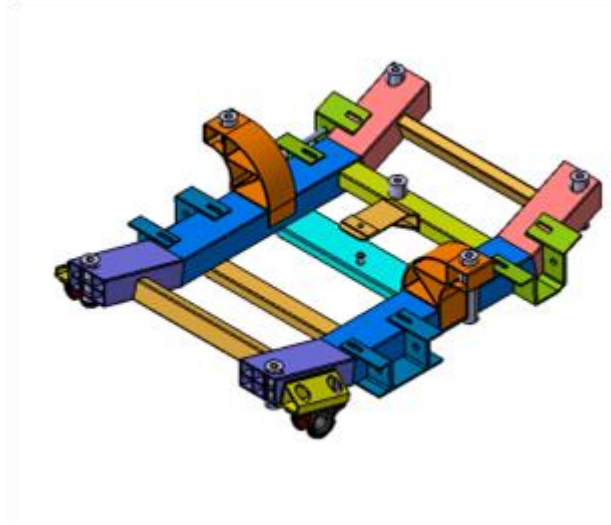


Şekil 4.30. Rev.09 tasarımı revizyonu detay görseli

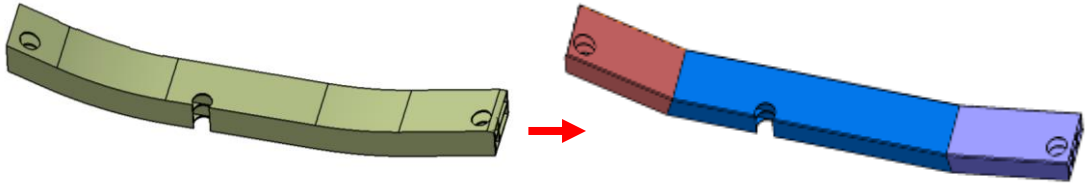
Şekil 4.29'da görseli verilen tasarımın Rev.09'u olan tasarım için yatay üyelerin ana profillere geçmeli tasarımı olması için ana profillere CNC işleme yapılması öngörülmüştür. CNC işlenen boşaltmalara yatay üyelerin yerleştirilerek kaynaklanması planlanacak şekilde fikrin tasarıma yansıtılması yapılmıştır. Ancak bu fikrin işçilik açısından fazla süreceğini üretim tarafından alınan geri bildirimlerden olduğundan bu aksiyon sonraki revizyonlardan kaldırılmıştır.



- Rev.10



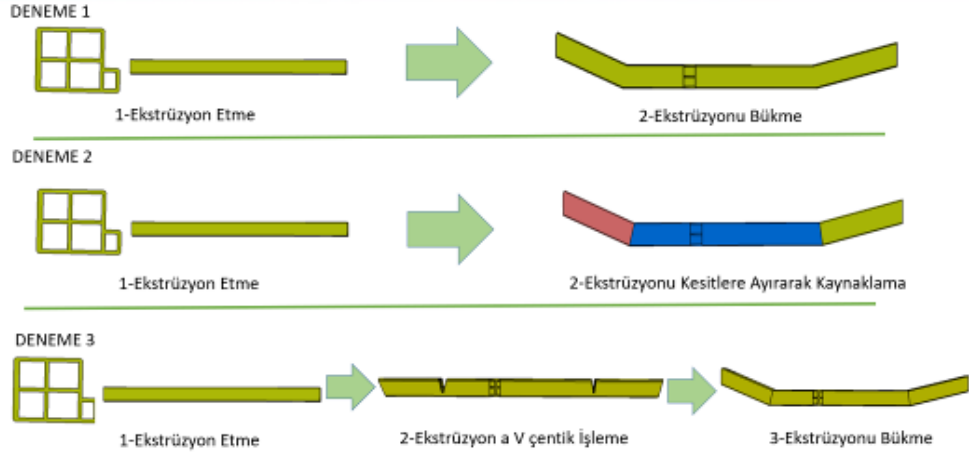
Şekil 4.31. Rev.10 tasarımı



Şekil 4.32. Ana profillere yapılan tasarım revizyonu

Şekil 4.32’de yer alan soldaki görsel kısacası Rev.09 tasarımdan sonra ana profiller büküm prosesi yerine 3 ayrı parça olarak tasarlanması gerçekleştirilmiştir. Gerdirerek bükme prosesi yerine alternatif olarak V çentik tasarlanmıştır. Bu sayede hem homojen büküm elde edilmekte hem de müşterinin istenen tolerans değerlerine ulaşılacağı ön görülmüştür. 1 metrelik ekstrüzyon kesit, ekstrüzyon prosesinden sonra tam kopartılmayacak şekilde (tabandan yaklaşık kendi et kalınlığının 2 katı kadar bırakılacak şekilde) ara prosesle kesmeye tabi tutulacaktır. Daha sonra montaj esnasında ise tek ekstrüzyon kesitini 3 ayrı parçaya ayırıp çepçevre kaynaklamaktansa, parçada V çentikler oluşturarak kaynak yapılması daha sağlam bir yapı elde edilmesine imkân vermektedir.

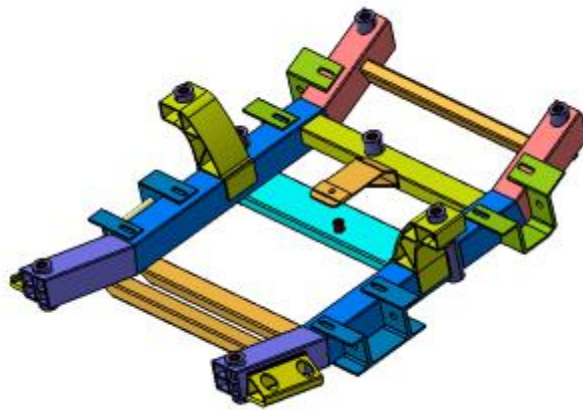
Bu fikri açıklamak gerekirse:



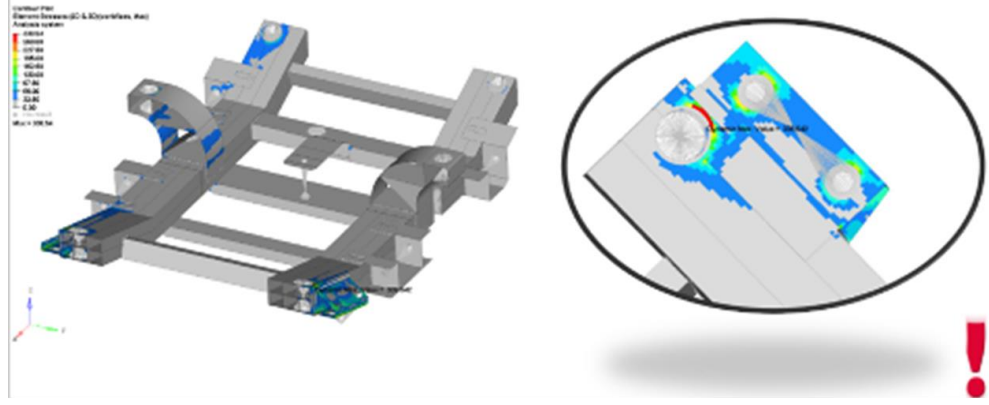
**Şekil 4.33.** Ana profillere yapılan tasarım revizyonun detayları

Şekil 4.33'te aktarılan ana profilin deneme 1'de tamamen bükülmesi ve deneme 2'de 3 adet farklı parçanın açılı doğru olacak şekilde kaynaklanması yerine deneme 3'teki tasarım hali olan kısmı boşaltmalar yapılarak sonrasında kaynaklanmasının üretim için daha kolay uygulanması ön görüldüğünden tasarımda bu şekilde ilerlenmiştir. Bunun sonucunda ise Şekil 4.31'de görselde yer alan tasarım Rev.10 halini almıştır.

- **Rev.11**

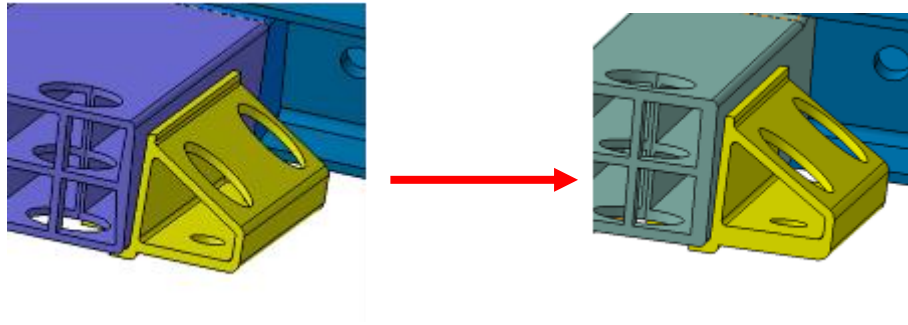


**Şekil 4.34.** Rev.11 tasarımı



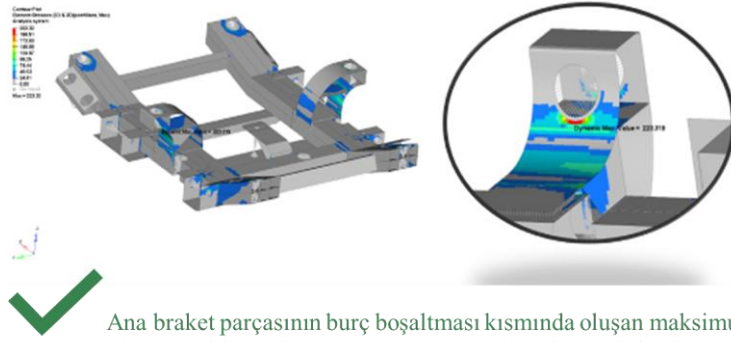
Ana profilinin ile stabilizatör bağlantısı braketlerinin temas ettiği alt bölgede maksimum gerilme (339 MPa) olup, bu değer EN AW 6082 T6 malzemesinin akma gerilmesinden (260 MPa) daha yüksektir.

Şekil 4.35. Rev.10'in 13.yük koşulu olan fren ve viraj yüklerine göre analiz sonucu



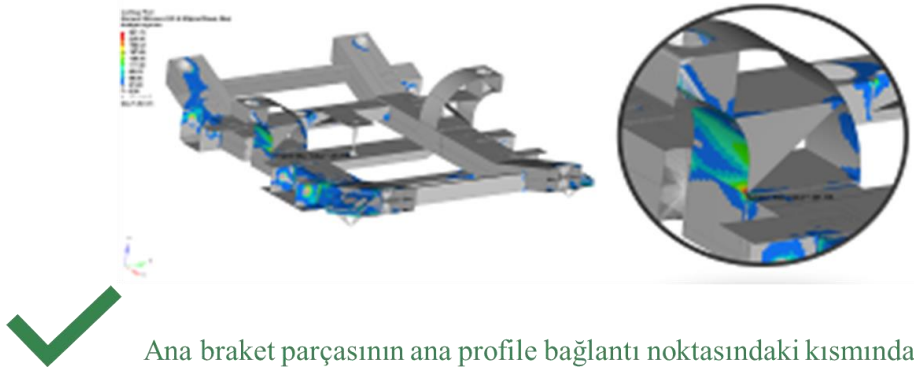
Şekil 4.36. Stabilizatör bağlantı parçalarına yapılan tasarım revizyonu

Şekil 4.35'teki analiz sonuçlara göre stabilizatör bağlantı (tekerlek mili bağlantısı) parçasının duvar kalınlığı lokal bölgede 2 mm arttırılmıştır. (Şekil 4.36)



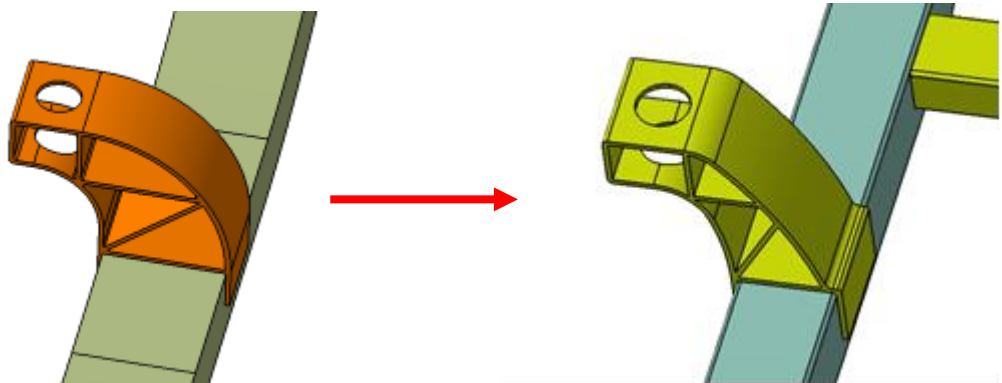
Ana braket parçasının burç boşaltması kısmında oluşan maksimum gerilme (223 MPa) olduğundan ve EN AW 6082 T6 malzemesinin akma gerilmesinden (260 MPa) küçük olduğu için uygundur.

Şekil 4.37. Rev.10'in 13.yük koşulu olan fren ve viraj yüklerine göre analiz sonucu- 2



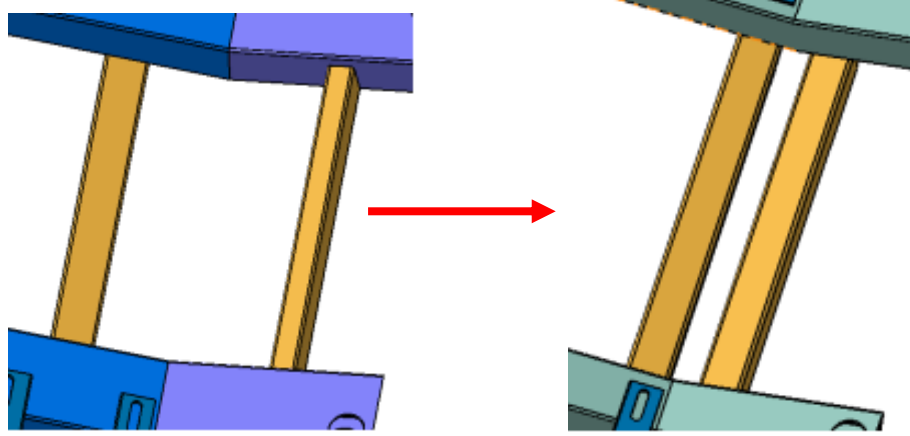
Ana braket parçasının ana profile bağlantı noktasındaki kısmında oluşan maksimum gerilme (252 MPa) olduğundan ve EN AW 6082 T6 malzemesinin akma gerilmesinden (260 MPa) küçük olduğu için uygundur.

Şekil 4.38. Rev.10'in 13.yük koşulu olan fren ve viraj yüklerine göre analiz sonucu- 3



Şekil 4.39. Ana braketlere yapılan tasarım revizyonu

Şekil 4.37 ve Şekil 4.38 görsellerinde yer alan analiz sonuçlarına göre ana braket kulesi mevcut tasarımı statik yükleme şartlarında kuvvetleri karşılamaktadır. Ancak parçaların üretilebilirliği açısından Şekil-22'deki kesite dönüştürülmesi uygun bulunmuştur (Şekil 4.39).

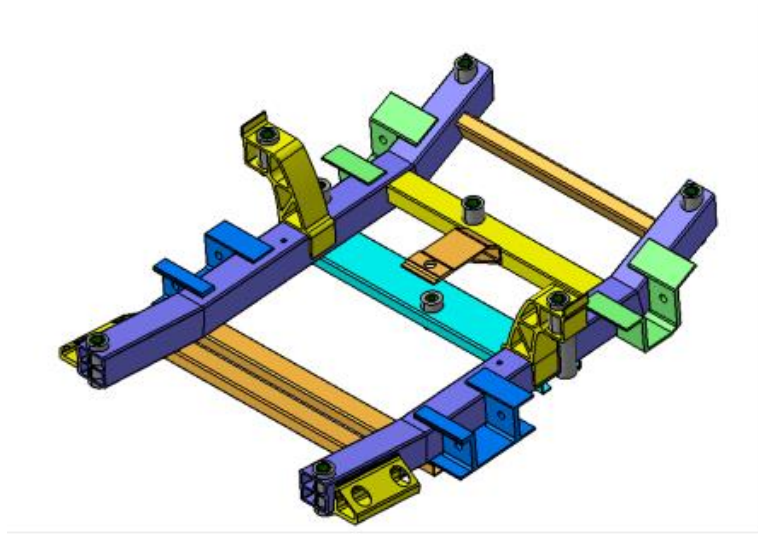


**Şekil 4.40.** Yatay üyelere yapılan tasarım revizyonu

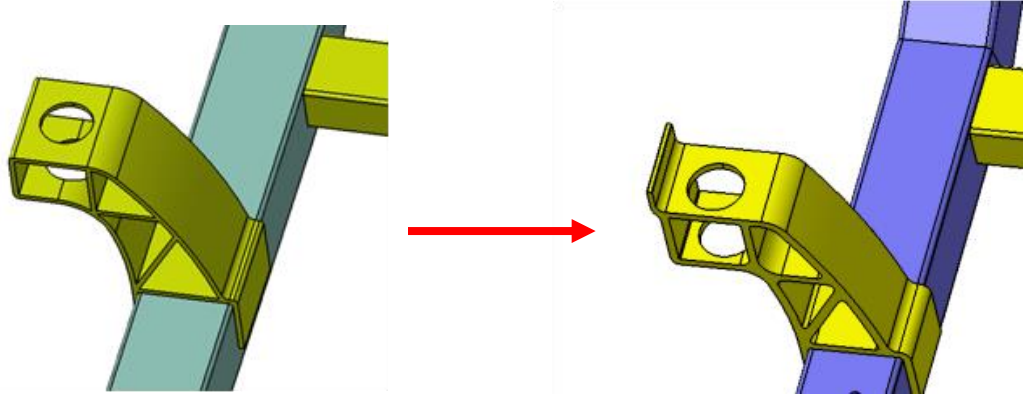
Şekil 4.40'ta gösterilen görevi sadece ana profillerin arasında olmak üzere tüm motor beşiği arasında rijitliği sağlamak olan yatay üyelerin montajdaki yerleri değiştirilmiştir. Bu değişimin nedeni öncelikle konum olarak yaklaştırılan yatay üyelerin motor beşiğine sağlanacak rijitliğin arttırmasına katkı sağlamak içindir tabiki çevre dataların buna uygun olması ve motor datasına 5 mm'den fazla yaklaşmama kuralına dikkat edilerek bu aksiyon alınmıştır.

Şekil 4.39'daki, Şekil 4.36'daki ve Şekil 4.40'taki tasarım güncellemesi sonucunda tasarım Şekil 4.34'te gösterilen Rev.11 halini almıştır.

- Rev.12

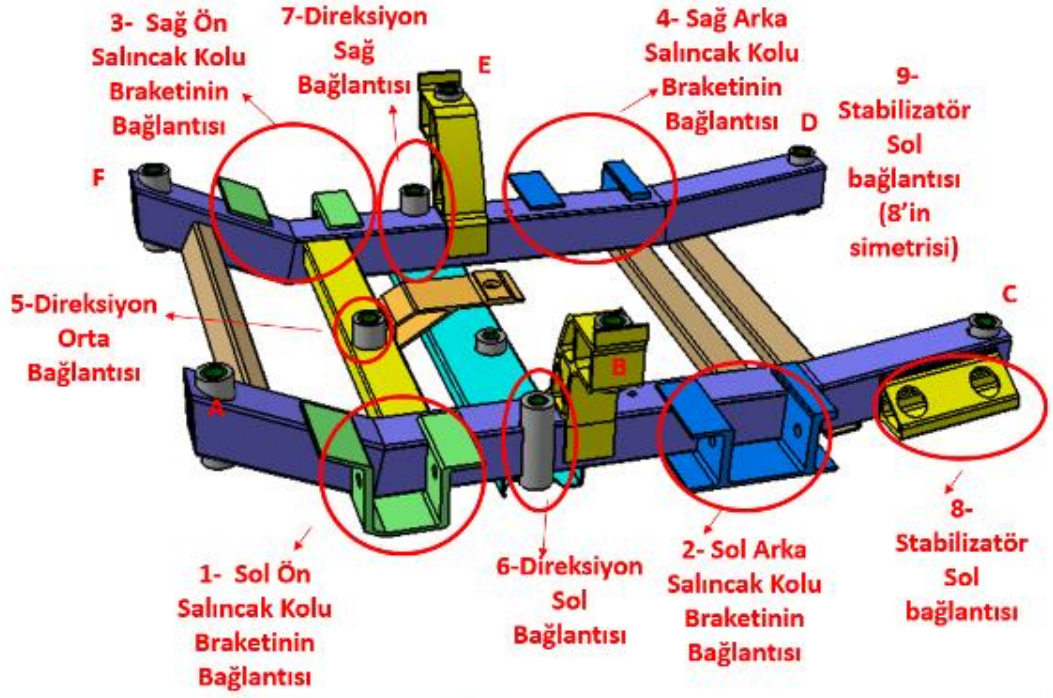


Şekil 4.41. Rev.12 tasarımı



Şekil 4.42. Ana braketlere yapılan tasarım revizyonu

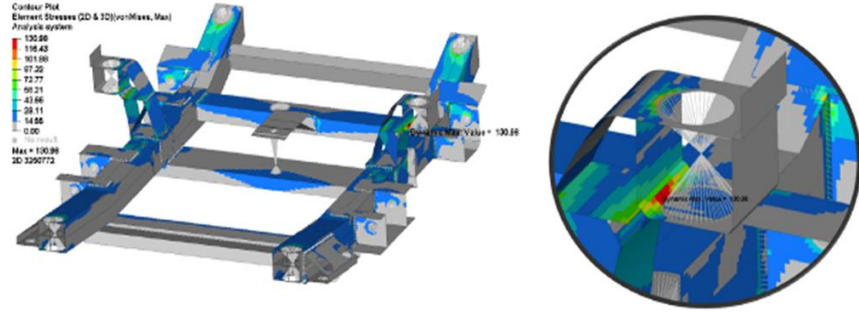
Şekil 4.41'de yer alan Rev.12'nin Rev.11'den tek farkı Şekil 4.42'de gösterilen ana braketlerin müşteri tarafından talep edilen link parçalarını tasarım açısından desteklemesi için kulaklık şekilde ekstra feder eklenerek güncellenmesini içermektedir.



**Şekil 4.43.** Rev.12 tasarımının ait parça isimleri ve parçaların güncel tasarımı ile araç bağlantı noktalarının görseli

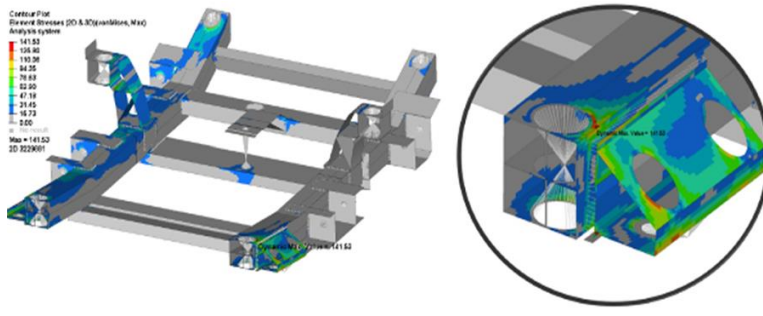
Şekil 4.43'te görülmekte olan Rev.12'de motor beşiği, araç gövdesi bağlantı noktalarından sabitlenmiş (A, B, C, D, E, F noktaları olarak belirtilmiştir) komponent bağlantı noktalarından kuvvet ve momentler uygulanarak analizler gerçekleştirilmiştir. Motor beşiğinde toplam 10 adet burç bulunmaktadır. Bu burçların A, B, C, D, E, F noktaları doğrudan mekanik bağlantı ile şaseye bağlanırken geri kalan parçalar salıncak kollarına veya dişli kutusu gibi parçalara bağlanmaktadır.

Yapılan analizler sonucunda araç üreticisi (müşteri) firma tarafından paylaşılan yük durumlarından kritik olarak belirtilen 2, 3, 7, 9 ve 13 numaralı yük durumlarındaki senaryolarının analiz programı ara yüzü kullanılarak analiz edilmesi ve analiz sonucunda ise raporlamalar yapılmıştır.



Ana braket parçasının burç boşaltması kısmında oluşan maksimum gerilme (131 MPa) bulunmuştur.

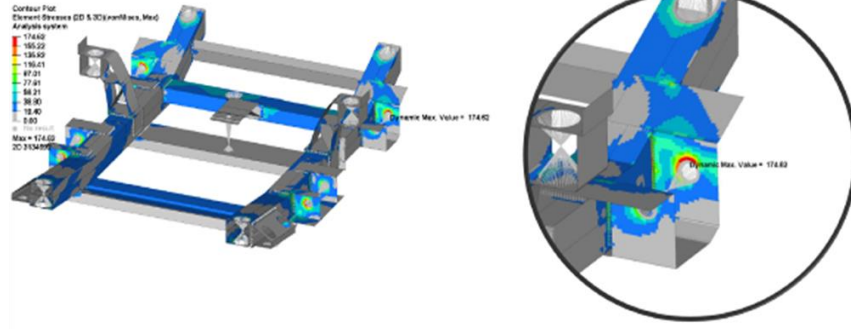
Şekil 4.44. 2. yük durumu dikey çarpışma yük koşullarına göre analiz sonucu



Ana profilinin ile stabilizör bağlantısı braketlerinin temas ettiği alt bölgede oluşan maksimum gerilme (142 MPa) bulunmuştur.

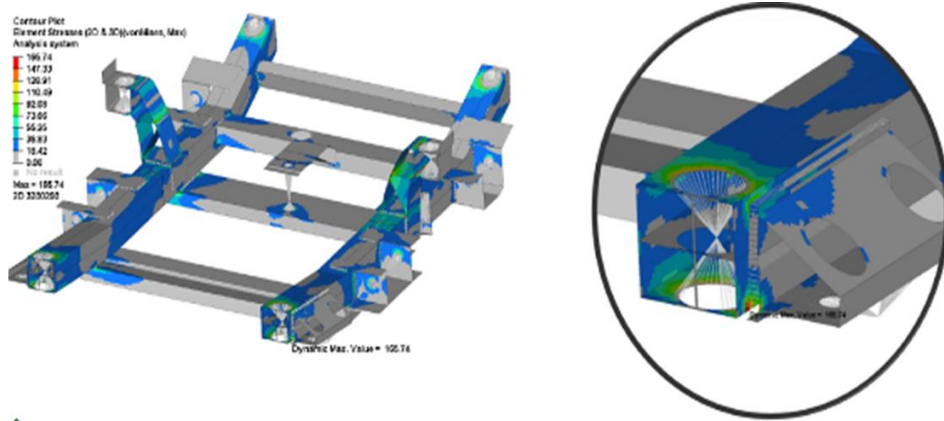
Şekil 4.45. 3. yük durumu diyagonal aks yüklemesi yük koşullarına göre analiz sonucu





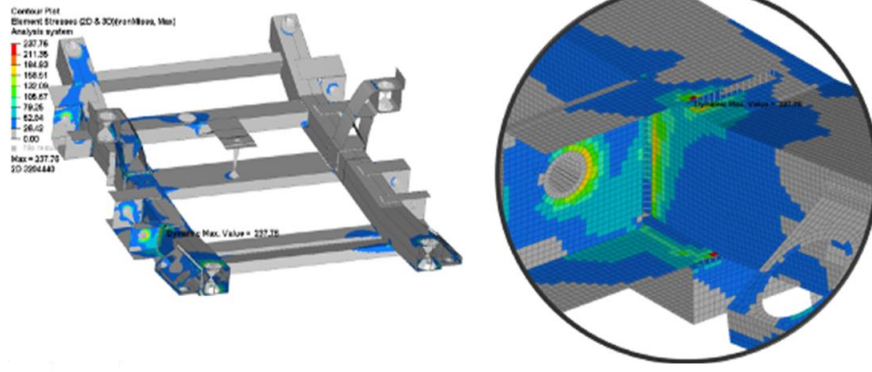
Ön salıncak kolu braketleri üzerinde oluşan maksimum gerilme (175 MPa) bulunmuştur.

Şekil 4.46. 7. yük durumu fren yük koşullarına göre analiz sonucu



Ana profilinin ile stabilizatör bağlantısı braketlerinin temas ettiği yan bölgede ana profil üzerine oluşan maksimum gerilme (166 MPa) bulunmuştur.

Şekil 4.47. 9. yük durumu yan çarpışma yük koşullarına göre analiz sonucu



Arka salıncak kolunun ana profile temas ettiği alt maksimum gerilme (238 MPa) bulunmuştur.

**Şekil 4.48.** 13. yük durumu fren ve dönüş yük koşullarına göre analiz sonucu

Yapılan analizlerin sonucunda Rev.12 tasarımının, statik yükleme koşulu için (13. Yük koşulu); maksimum Von-Misses gerilme değerleri (238 MPa), sadece arka salıncak kolu braketi üzerindeki lokal değerler EN AW 6082- T6 malzemesinin (260 MPa) akma geriliminin altında olduğu görülmüştür. Ancak bu durumun riskli olmadığı değerlendirilerek, sonuç olarak tapılan statik analiz sonuçlarının müşteri isteklerini karşılandığından tasarımın dondurulmasına karar verilmiştir. (Şekil 44-48)

#### 4.1.3. Malzeme Alternatiflerinin Oluşturulması ve Malzeme Seçimi

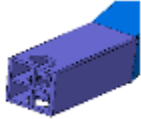




Malzeme Alternatiflerinin Oluşturulması: Statik analiz değerlerine göre malzeme alternatifleri oluşturulmuştur. TS EN 755-2 Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları- Ekstrüzyonla İmal Edilmiş Tel Çubuk / Çubuk, Boru ve Profiller-Bölüm 2: Mekanik Özellikler standardına göre 6xxx serisine ait ekstrüzyon prosesi uygulanabilir malzeme listesi şu şekildedir (Çizelge 4.1):

**Çizelge 4.1.** TS EN 755-2 göre ekstrüzyon yapılabilir 6xxx serisi malzemeleri listesi





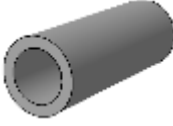
EN AW-6101A [Al MgSi(A)]
EN AW-6101B [Al MgSi(B)]
EN AW-6005 ve EN AW-6005A [Al SiMg] ve [Al SiMg(A)]
EN AW-6106 [Al MgSiMn]
EN A W-6008 [Al SiMgV]
EN AW-6110A [Al Mg <sub>0,9</sub> Si <sub>0,9</sub> MnCu(A)]
EN AW-6012 [Al MgSiPb]
EN AW-6014 [Al Mg <sub>0,6</sub> SiV]
EN AW-6018 [Al Mg <sub>1</sub> SiPbMn]
EN AW-6023 [Al Si <sub>1</sub> Sn <sub>1</sub> MgBi]
EN AW-6026 [Al MgSiBi]
EN AW-6351 [Al Si <sub>1</sub> Mg <sub>0,5</sub> Mn]
EN AW-6056 [Al Si <sub>1</sub> MgCuMn]
EN AW-6060 [Al MgSi]
EN AW-6360 [Al SiMgMn]
EN AW-6061 [Al Mg <sub>1</sub> SiCu]
EN AW-6261 [Al Mg <sub>1</sub> SiCuMn]
EN AW-6262 [Al Mg <sub>1</sub> SiPb]
EN AW-6262A [Al Mg <sub>1</sub> SiSn]
EN AW-6063 [Al Mg <sub>0,7</sub> Si]
EN AW-6063A [Al Mg <sub>0,7</sub> Si(A)]
EN AW-6463 [Al Mg <sub>0,7</sub> Si(B)]
EN AW-6064A [Al Mg <sub>1</sub> SiBi]
EN AW-6065 [Al Mg <sub>1</sub> Bi <sub>1</sub> Si]
EN AW-6081 [Al Si <sub>0,9</sub> MgMn]
EN AW-6082 [Al Si <sub>1</sub> MgMn]
EN AW-6182 [Al Si <sub>1</sub> MgZr]

Çizelge 4.1 listesindeki malzemelerden aktif olarak EN AW-6005 [Al Si Mg], EN AW-6060 [Al Mg Si], EN AW-6063 [Al Mg<sub>0,7</sub>Si], EN AW-6082 [AlSi<sub>1</sub>MgMn] kullanılmakla birlikte çok az miktarda EN AW-6061 [AlMg<sub>1</sub>SiCu] ve EN AW-6463 [AlMg<sub>0,7</sub>Si(B)] malzemeleri de kullanılmaktadır. TS EN 755-2 standardında et kalınlığı 5 mm ile 15 mm arasında değişen, açık olmayan kapalı aynı zamanda karmaşık profillerin T6 kondisyonundaki (çözeltinin yaşlandırma ısıl işlemi görmüş hali) akma mukavemetine bakıldığında EN AW 6005 için 250 MPa, EN AW 6060 için 170 MPa, EN AW 6061 için 260 MPa, EN AW 6063 için 215MPa, EN AW 6082 için 310 MPa ve EN AW 6463 için 195 MPa olarak belirtilmiştir. **(Ek-1)**.

**Çizelge 4.2.** Alüminyum motor beşiği alt parçalarının listesi

<b>Parçanın Görseli</b>	<b>Parçanın Adı</b>	<b>Üründeki Kullanım Adeti</b>
	Ana Profil	2
	Ön Salıncak Kolu Braketi	2
	Arka Salıncak Kolu Braketi	2
	Yatay Üyeler	3
	Ana Braket	2

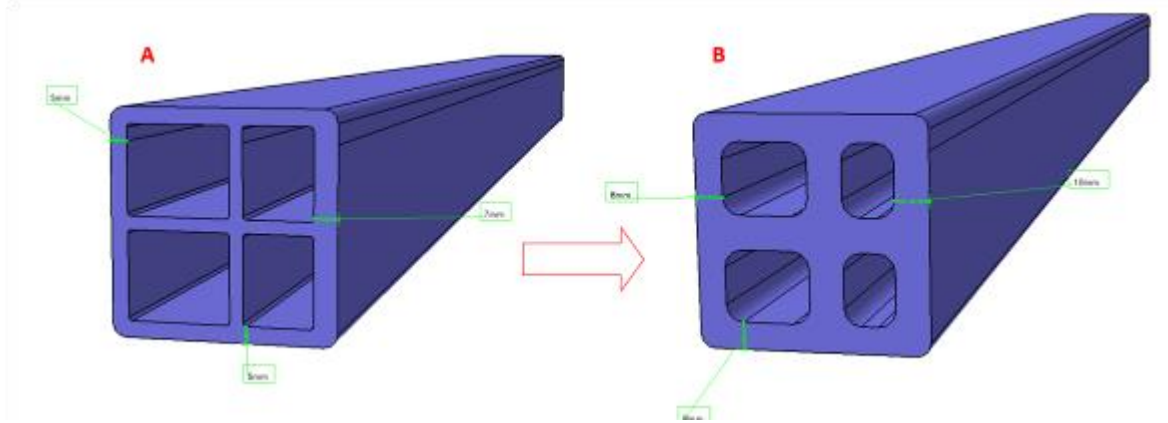
**Çizelge 4.2.** Alüminyum motor beşiği alt parçalarının listesi (devam)

	Şanzıman Alt Destek Braketi	1
	Direksiyon Desteği Yatay Üye Profili	1
	Şanzıman Üst Destek Braketi	1
	Stabilizatör Bağlantısı Braketleri	2
	Ön Alüminyum Burçlar	10

Çizelge 4.2’de alüminyum ekstrüzyon üretim yöntemiyle geliştirilmiş motor beşiğinin alt parça bilgileri verilmiştir. Malzeme alternatifleri ilgili standart ve üretimdeki hızlı erişebilirlik parametreleriyle ortaklaştırıldığında ortaya çıkan malzeme alternatiflere göre, seçimin yapılması adına mühendislik çalışmalarından yararlanmak gerekir. Bu

çalışmada sanal analizlere giren motor beşiğinin her bir elemanı üzerine gelen stresin, malzemenin akma gerilmesinden düşük olması gerekmektedir. Ancak yapılan analizler sonucunda 6xxx serisi en mukavim malzeme olan EN AW 6082 malzemenin T6 kondisyonu akma mukavemet değeri olan 260 MPa üzerinde değerlendirme yapılmıştır. EN AW 6005, EN AW 6061, EN AW 6082 malzemeleri uygun olabileceği değerlendirilmiştir.

260 MPa üstünde dayanım gereken yerlerde alt parçanın malzeme alternatifinin daha mukavim olan 6xxx serisine ait alternatif malzeme değiştirilmesi ya da mevcut malzeme seçiminde kalarak tasarımındaki cidar et kalınlığının artırılması yöntemine gidilmiştir.

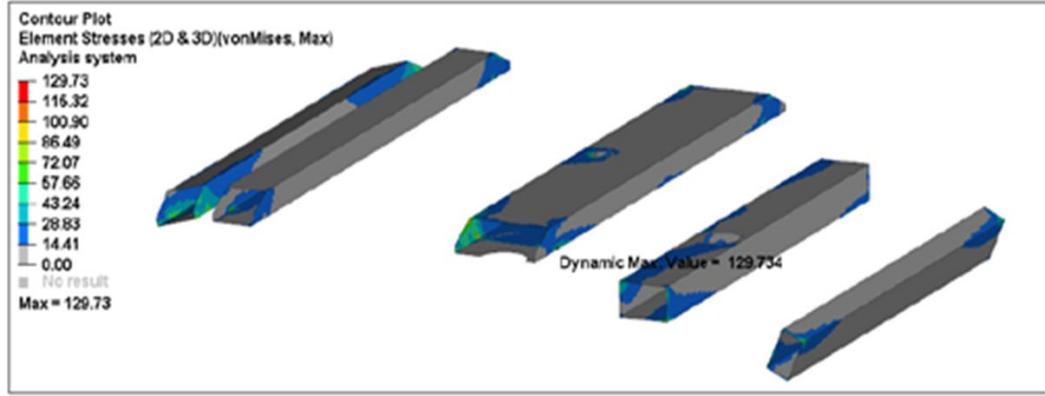


**Şekil 4.49.** Motor beşiği ana profilinin malzeme alternatiflerine göre duvar kalınlıkları

Örneğin; Şekil 4.49'da ana profil kesitine ait alternatif tasarımlar verilmiştir. Şekil 4.49'da (A) ile gösterilen EN AW 6082-T6 malzemesi tasarımda analiz şartları altında uygun çıkan ortalama 5 ve 7mm duvar kalınlıklarına sahip tasarım ile aynı şekilde (B) ile gösterilen EN AW 6060-T6 malzemesine çevrildiğinde 8-10 mm duvar kalınlıkları kıyaslaması yer almaktadır. Bu iki tasarımda analiz sonuçlarından geçtiği kabul edildiğinde, ürünlerdeki hafifletme hedefi veya maliyet unsuru dikkate alındığında Şekil 4.49'da A ile gösterilen çözümün hafifletme açısından daha optimum tercih olduğu görülmektedir.

Malzeme dayanımlarının başarılı kabul edilmesi için yüke maruz kalan alt parçaların elastik davranış göstermesi, tanımlanan yükler altında yapının bütünlüğünü

koruyabilmesi, kalıcı deformasyona uğramaması ayrıca kırılma ve kopma gibi senaryoların yaşanmaması beklenmektedir.



Ara kesitlerin üzerinde okunan maksimum gerilme değeri 130 MPa'dır.

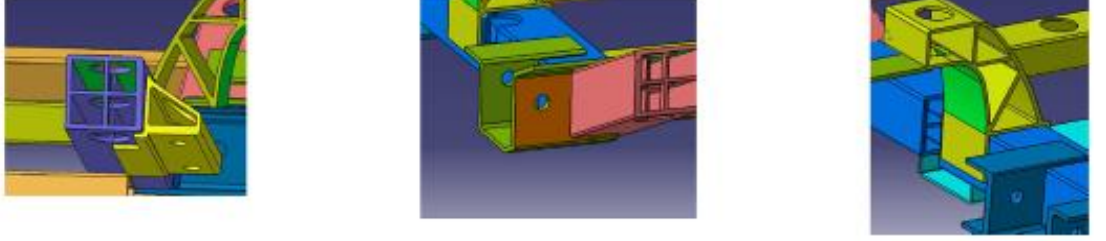
**Şekil 4.50.** Motor beşiği alt parçalarının analiz sonuçlarına göre yapılan malzeme önerileri

Yapılan analizler sonucunda tüm statik kuvvet şartları altında akma mukavemetinin EN AW 6082-T6 altında olduğundan (260 MPa) kullanılabilceği belirlenmiştir. Bu da Çizelge 4.2'de listelenen alüminyum motor beşiğinin tüm alt parçaları EN AW 6082-T6 malzeme ile üretilebilir anlamına gelmektedir. Ancak böyle bir durumda mukavemet beklenmeyen parçaların beklenti dışında mukavim üretildiği anlamına gelecektir. Bu da optimum malzeme seçiminin yapılmadığını malzeme israfının ve eksik mühendislik yaklaşımının ortaya çıkması demektir. Bu durumlarda uygun alt parçanın uygun/optimum malzeme ile seçilmesi adına alternatif malzeme değerlendirme çalışmaları yapılmalıdır.

Örneğin; EN AW 6082-T6 malzemesi ile üretilebilir yatay üyelerin değerlerinin EN AW 6082-T6 (akma mukavemeti 260 MPa) altında olduğundan, EN AW 6063-T6 (akma mukavemeti 170 MPa) malzeme olarak da kullanılabilceği de görülmüştür (Şekil 4.50). Bu sayede uygun malzemenin uygun parçada kullanılarak optimum malzemenin ile üretilmesi sağlanacaktır (Şekil 4.50).

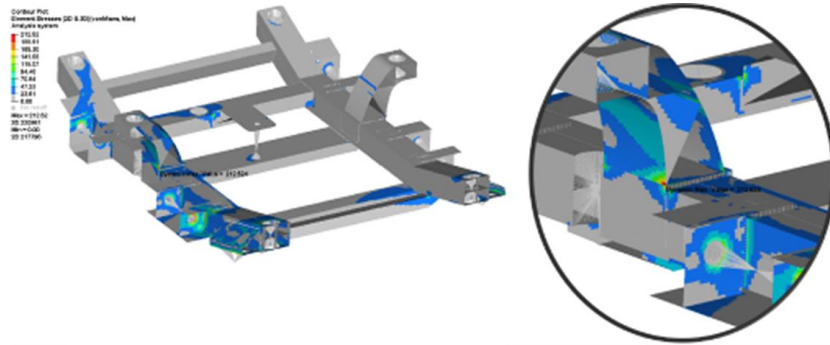
Örneğin; yine ürün geliştirme çalışmaları aşamasında ön salıncak kolu braketleri, ana profiller ve ana braket parçalarının en düşük mukavemete sahip EN AW 6060-T6

malzemesi ile (akma mukavemeti 170 MPa) üretmesi adına cidar kalınlıklarını arttırılarak, müşterinin kritik olarak nitelendirdiği 2, 3, 7, 9 ve 13 numaralı durum koşullarına göre analizde koşturulduktan sonra analiz sonuçları değerlendirilmiştir.



**Şekil 4.51.** Motor beşiği alt parçalarının statik analiz sonucu lokal tasarım iyileştirme çalışmaları

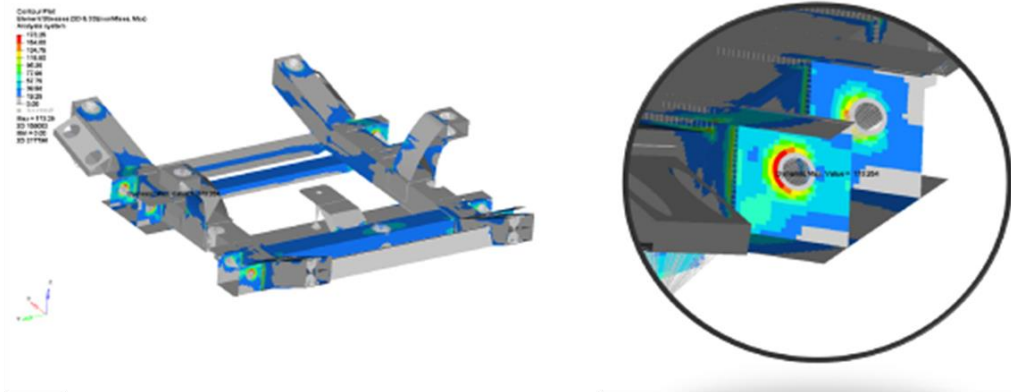
Ancak sonuçların akma mukavemetinden daha yüksek stres değerlerine sahip olmasından dolayı Şekil 36’da gösterildiği üzere lokal tasarım duvarlarının dayanımının arttırılması için çalışmalar yapılsa da (Şekil 4.51), Şekil 4.52 ve Şekil 4.53’te analiz sonuçlarında görüleceği gibi lokal kalınlaştırmanın yüksek stres değerlerinde yeteri kadar iyileşme sağlayamadığı ve halen alt parçalar üzerindeki stres değerlerinin EN AW 6060 T6 malzemesinin akma geriliminin üzerinde (170 MPa) olduğundan uygun bulunmamıştır.



Ana braketin ana profile temas ettiği yan bölgede maksimum gerilme (213 MPa) bulunmuştur.

**Şekil 4.52.** Motor beşiğin alt parçalarının EN AW 6060-T6 olarak değerlendirilmesi



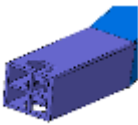


Arka salıncak kolu üzerinde okunan maksimum gerilme (173 MPa) değeri bulunmuştur.






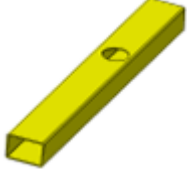
**Şekil 4.53.** Motor beşiğin alt parçalarının EN AW 6060-T6 olarak değerlendirilmesi- 2

Malzeme Seçimi: Yapılan çalışmalar sonucunda yüksek mukavemet gereken yerlerde öncelikli olarak EN AW 6082 tercih edileceği, EN AW 6061 malzemesi yerine benzer mukavemet değerlerine sahip EN AW 6005 malzemesinin de kullanılabilceği, EN AW 6082'nin fazla mukavim geldiği durumlarda seçim sırasının sırasıyla EN AW 6005 daha sonra EN AW 6063 olacağı, EN AW 6060 şeklinde gitmesi gerektiği sonucu çıkarılmıştır. EN AW 6463 malzemesinin üretimde daha çok parlak ve görsel ürünlerde olmak üzere nadiren kullanıldığı üretim kısımdan bilinmektedir. Bu yüzden malzeme seçimi:

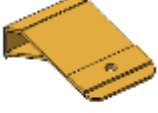

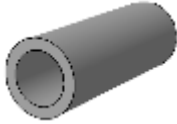
**Çizelge 4.3.** Alüminyum motor beşiği alt parçalarının malzemelerinin mühendislik çalışmaları, üretilebilirlik ve maliyet parametreleri sonucunda belirlenmesi

Parçanın Görseli	Parçanın Adı	Üründeki Kullanım Adeti	Malzemesi
	Ana Profil	2	EN AW 6082 T6

**Çizelge 4.3.** Alüminyum motor beşiği alt parçalarının malzemelerinin mühendislik çalışmaları, üretilebilirlik ve maliyet parametreleri sonucunda belirlenmesi (devam)

	Ön Salıncak Kolu Braketi	2	EN AW 6082 T6
	Arka Salıncak Kolu Braketi	2	EN AW 6082 T6
	Yatay Üyeler	3	EN AW 6063 T6
	Ana Braket	2	EN AW 6082 T6
	Şanzıman Alt Destek Braketi	1	EN AW 6063 T6
	Direksiyon Desteği Yatay Üye Profili	1	EN AW 6063 T6

**Çizelge 4.3.** Alüminyum motor beşiği alt parçalarının malzemelerinin mühendislik çalışmaları, üretilebilirlik ve maliyet parametreleri sonucunda belirlenmesi (devam)

	Şanzıman Üst Destek Braketi	1	EN AW 6063 T6
	Stabilizatör Bağlantısı Braketleri	2	EN AW 6082 T6
	Ön Alüminyum Burçlar	10	EN AW 6082 T6

Çizelge 4.3'te listelendiği gibi ana profiller, ön ve arka salıncak kolu braketleri, ana braketler, stabilizatör bağlantısı braketleri ve burçlar için parça üzerinde yüksek gerilmeler olduğundan EN AW 6082 kullanılmasına karar verilmiştir. Bunun yanı sıra diğer parçalara kıyasla daha az gerilmelerin olduğu ve doğrudan kuvvete maruz kalmayan yatay üyeler, şanzıman alt ve üst destek braketleri ve direksiyon desteği yatay üye profillerinin EN AW 6063 olmasına karar verilmiştir.

## 4.2. Kaynak Çalışma Sonuçları

### 4.2.1. Kupon Bazlı Kaynak Çalışmaların Sonuçları

Çizelge 3.6 ve 3.7'de listelendiği gibi yapılan kupon kaynak denemeleri sonrasında numuneler çekme testlerine tabi tutularak kopma dayanımları tespit edilmiştir. Bu aşamada Instron marka çekme cihazında 1,2 mm/dak çene hızlarında testler gerçekleştirilmiştir. Her bir numuneden en az üç adet çekme testlerine tabi tutularak değerlerin ortalaması alınmıştır.

Kaynak torç açısının mekanik özelliklere etkisini incelemek için yapılmış kaynaklarda çekme testlerinde elde edilen sonuçlar Çizelge 4.4'te verilmiştir. Çizelge 4.4'teki sonuçlar incelendiğinde kaynak torcunun dik konuma getirilerek yapılmış olan kaynaklarda ortalama kopma dayanımının düşük çıktığı görülmüştür. Bu durum, dik konumdaki torç açısında yapılan kaynaklarda nüfuziyet yetersizliği ile açıklanabilmektedir. Çekme testi sonucunda kopma türleri incelendiğinde en düşük dayanıma sahip numunelerin kaynak dikişlerinden koptuğu ve penetrasyonlarının yetersiz kaldığı tespit edilmiştir. Yüzde uzama açısından incelendiğinde en düşük dayanıma sahip numunenin (3) en düşük yüzde uzamaya sahip olduğu görülmüştür. Bu numunede yüzde uzama değerinin %6 seviyesinde olduğu, diğer numune gruplarında ise %10 civarında olduğu görülmüştür.

**Çizelge 4.4.** Torç açısının kopma kuvvetine ve yüzde uzamaya etkisi

Numune No	Torç Açısı	Ort. Kopma Kuvveti (kN)	Standart Sapma	Ort. Yüzde Uzama (%)	Standart Sapma
1	Normal	16,6	0,45	9,6	1,57
2	Dik	13,3	0,33	6,9	0,31
3	Dik	10,1	0,40	5,7	0,08
4	Yatık	14,3	1,91	7,1	1,8

İlerleme hızının etkisini incelemek için iki farklı ilerleme hızında kaynak yapılmıştır. Kaynaklanan parçalardan standartlara uygun çekme numuneleri çıkartılarak test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.5'te verilmiştir. Çizelge 4.5'teki sonuçlar

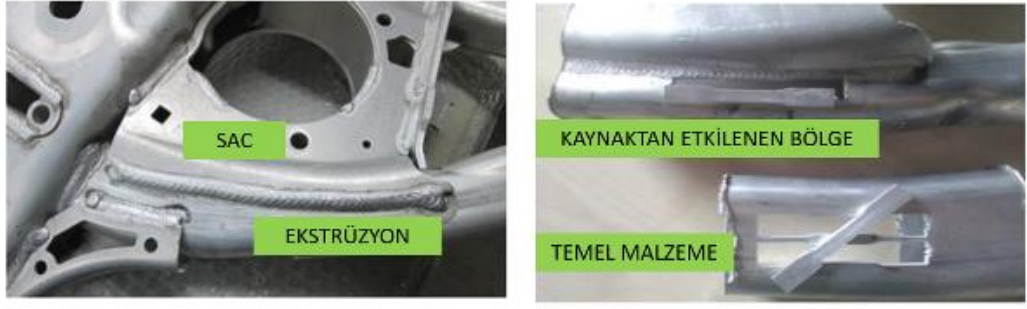
incelendiğinde ilerleme hızının artması ile kopma gerilmesinin ve yüzde uzama değerinin düştüğü görülmüştür. Bu durumun sebebi artan ilerleme hızı dolayısıyla kaynak nüfuziyetinin yeterli olmamasıdır. Ancak, ısı girdisinin fazla seçilmesi durumunda da kaynak dikişinde çeşitli problemler yaşanmaktadır. Kaynak dikişi alt bölgesinden saçaklanmakta ve bu durum kaynak kalitesini düşürmektedir.

**Çizelge 4.5.** İlerleme hızının kopma kuvvetine ve uzamaya etkisi

Numune No	Akım (A)	Voltaj (V)	Tel Besleme Hızı (m/dak)	İlerleme Hızı (m/dak)	Ort. Kopma Mukavemeti (MPa)	Standart Sapma
5	145	19,5	8,5	9	200	15,3
6				13	134	5,71

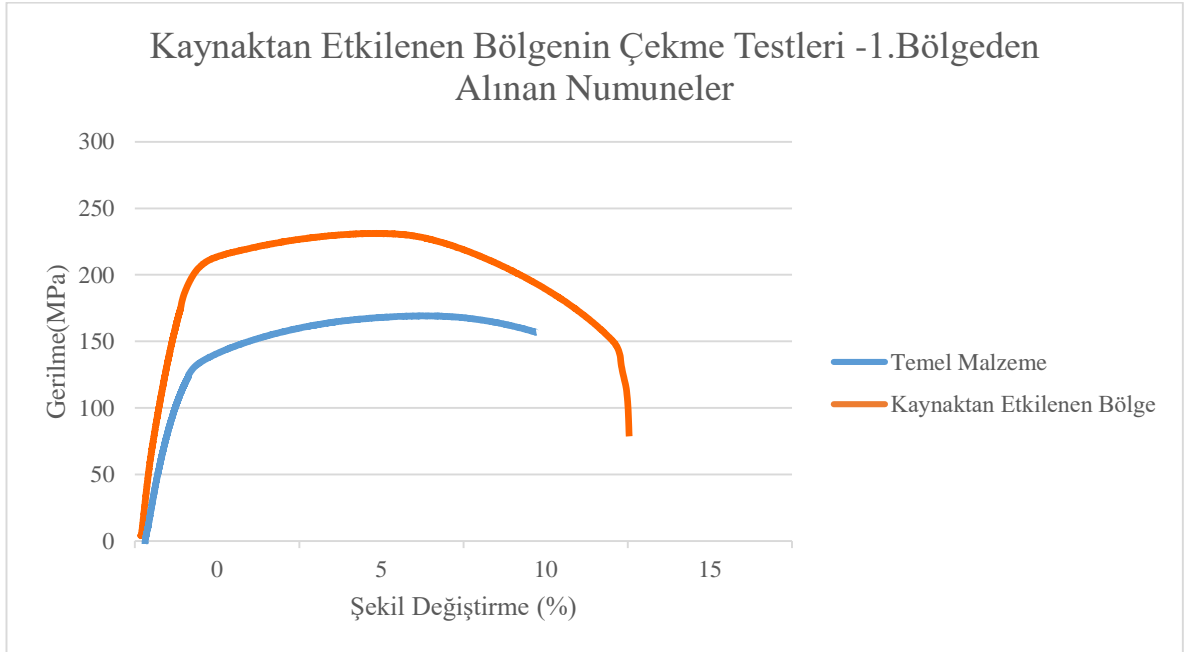
#### 4.2.2. Kaynaktan Etkilenen Bölge (HAZ Bölgesi) ve Benchmark Parçasının Test Sonuçları

HAZ bölgesiyle ilgili benchmark parçası satın alınarak 3.2.3. Kaynaktan Etkilenen Bölge (HAZ Bölgesi) başlığı altında literatür bilgilerini teyit etme amacıyla çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışma literatür bilgisinin doğrulanması amacıyla BMW 5.20 modeli motor beşiği ürününü üzerinden, alınan toplam 3 tane çekme çubuğuna yapılmış test ve bu testlerin sonucunda kıyaslama yapılarak, motor beşiğinin statik analizinin bu verilerle tekrar değerlendirilmesi yapılmıştır.



**Şekil 4.54.** Motor beşiği benchmarking parçası üzerinden alınan 1.ve 2. numunelerin parça üzerindeki yeri görseli

- **1.Numuneler**



**Şekil 4.55.** Motor beşiği benchmarking parçası üzerinden alınan 1. Numunelerin çekme testi sonuçları

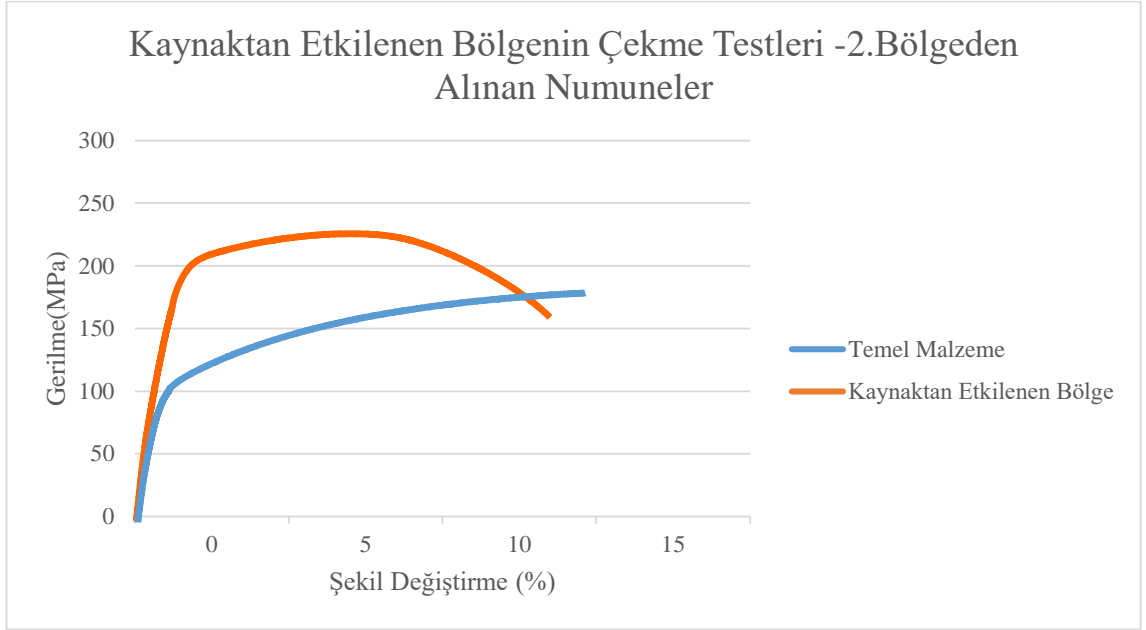
Şekil 4.55'te çekme testi sonucu verilen çekme testi numunesi Şekil 4.54'te solda yer alan ekstrüzyon sac alt parçalarının kaynak dikişinden alınmıştır.

**Çizelge 4.6.** Motor beşiği benchmarking parçası üzerinden alınan 1. Numunelerin bilgileri ve test sonuçları tablosu

Çekme Çubuğun Alanında Kalan Malzemeler	6xxx + 5xxx
Örnek Numune	6xxx
Çekme Test Sonuç Kıyaslaması (Kaynaktan etkilenen bölge / Temel malzeme)	%69
Akma Test Sonuç Kıyaslaması (Kaynaktan etkilenen bölge / Temel malzeme)	%67

Çizelge 4.6'daki tabloya göre 6xxx serisi alüminyum alaşımına ait çekme testi numunelerinin çekme testi sonucunda kaynaktan etkilenen bölgenin temel malzemeye göre % 69'luk, akma testi testinin ise temel malzemeye göre % 67'lik dayanım sergilediği gözlemlenmiştir.

## - 2.Numuneler



**Şekil 4.56.** Motor beşiği benchmarking parçası üzerinden alınan 2. Numunelerin çekme testi sonuçları

Şekil 4.56’te çekme testi sonucu verilen çekme testi numunesi yine Şekil 4.54’te sağda yer alan ekstrüzyon sac alt parçalarının kaynak dikişinden alınmıştır.

**Çizelge 4.7.** Motor beşiği benchmarking parçası üzerinden alınan 2. Numunelerin bilgileri ve test sonuçları tablosu

Çekme Çubuğun Alanında Kalan Malzemeler	6xxx + 5xxx
Örnek Numune	6xxx
Çekme Test Sonuç Kıyaslaması (Kaynaktan etkilenen bölge / Temel malzeme)	%80



**Çizelge 4.7.** Motor beşiği benchmarking parçası üzerinden alınan 2. Numunelerin bilgileri ve test sonuçları tablosu (devam)

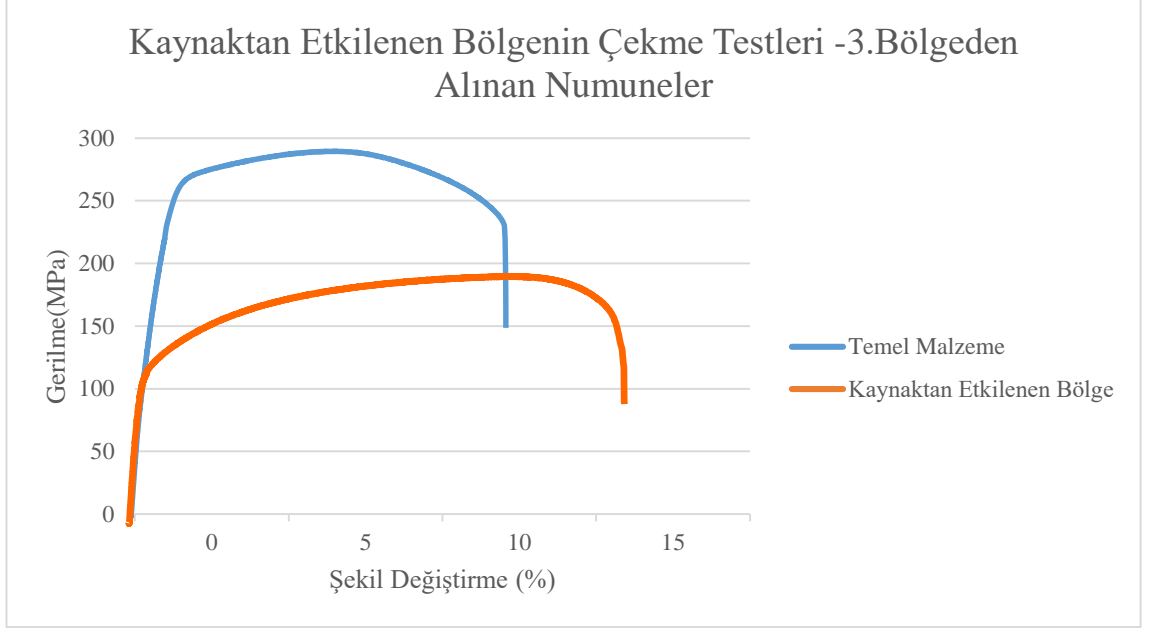
Akma Test Sonuç Kıyaslaması (Kaynaktan etkilenen bölge / Temel malzeme)	%61
--	-----

Çizelge 4.7'deki tabloya göre yine 6xxx serisi alüminyum alaşımına fakat 1. Numunelere göre farklı bölgeden alınan çekme testi numunelerinin çekme testi sonucunda kaynaktan etkilenen bölgenin temel malzemeye göre % 80'luk, akma testi testinin ise temel malzemeye göre % 61'lik dayanım sergilediği gözlemlenmiştir.

### - 3.Numuneler



**Şekil 4.57.** Motor beşiği benchmarking parçası üzerinden alınan 3. numunelerin parça üzerindeki yeri görseli



**Şekil 4.58.** Motor beşiği benchmarking parçası üzerinden alınan 3. Numunelerin çekme testi sonuçları

Şekil 4.58’de çekme testi sonucu verilen çekme testi numunesi yine Şekil 4.57’de ekstrüzyon alt parçalarının burç paçasına yapıldığı kaynak dikişinden alınmıştır.

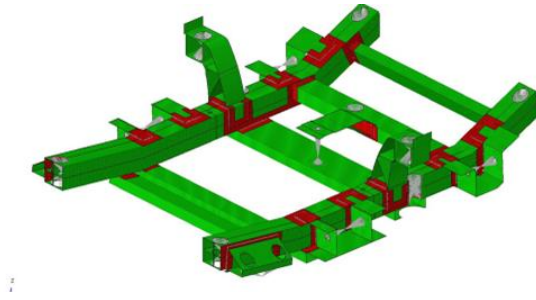
**Çizelge 4.8.** Motor beşiği benchmarking parçası üzerinden alınan 3. Numunelerin bilgileri ve test sonuçları tablosu

Çekme Çubuğun Alanında Kalan Malzemeler	6xxx + 6xxx
Örnek Numune	6xxx
Çekme Test Sonuç Kıyaslaması (Kaynaktan etkilenen bölge / Temel malzeme)	%77
Akma Test Sonuç Kıyaslaması (Kaynaktan etkilenen bölge / Temel malzeme)	%61

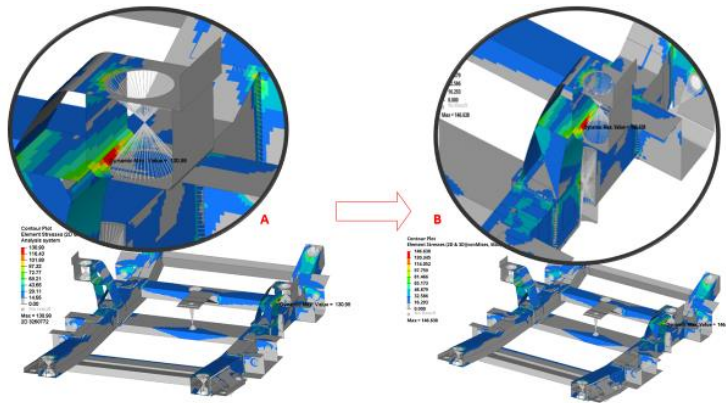
Çizelge 4.8'deki tabloya göre yine 6xxx serisi alüminyum alaşımına çekme testi numunelerinin çekme testi sonucunda kaynaktan etkilenen bölgenin temel malzemeye göre % 77'luk, akma testi testinin ise temel malzemeye göre % 61'lik dayanım sergilediği gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.6, Çizelge 4.7 ve Çizelge 4.8'de görüldüğü gibi çekme ve akma test sonuçlarının temel malzemeye oranı minimum % 61, maksimum % 80 arasında çıkmıştır. Bu da literatürdeki bilginin doğrulandığı anlamına gelmektedir.

Bu çalışmadan sonra HyperWorks ara yüzünde kaynaktan etkilenen bölge, kaynak dikişinden 10-15 mm uzaklıkta olacak şekilde tanımlanmıştır (Şekil 4.59). Şekil 4.49'da kırmızı ile gösterilen lokal bölgeler kaynaktan etkilenen bölgeler olarak tanımlanmıştır.



Şekil 4.59. Motor beşiğinin kaynaktan etkilenen bölgenin tanımlanması

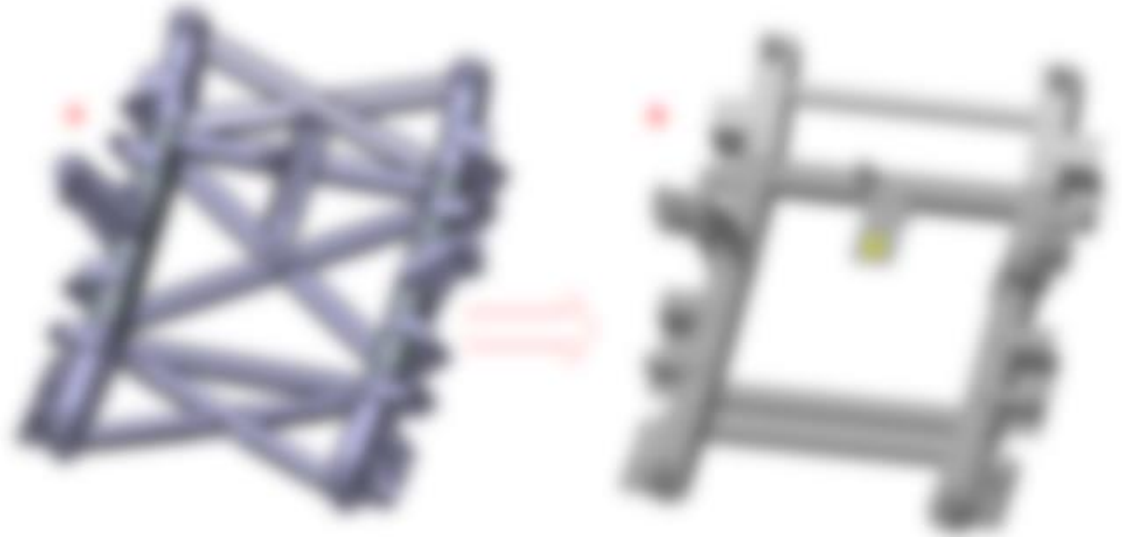


Şekil 4.60. Motor Beşiğinin Kaynaktan Etkilenen Bölgenin Tanımlanması Sonucu Tekrarlanmış Statik Analiz Sonuçları

Şekil 4.60'ta solda (A) ile gösterilen kısım kaynaktan etkilenen bölgenin tanımlanmasından önce 130 MPa olan bölgenin aynı şekilde solda (B) ile gösterilen kısım kaynaktan etkilenen bölgenin tanımlanmasından sonra lokal gerilmenin 146 MPa değerlerine kadar çıktığı görülmüştür.

### 4.3. Nihai Tasarım ve Prototipin Üretimi

#### Nihai Tasarım:



**Şekil 4.61.** Çelik ile alüminyum motor beşiklerinin kıyaslama görseli  
(Bilgi gizliliği nedeniyle bulanıklaştırılmıştır.)

Şekil 4.61'de çelik ve alüminyum motor beşiği görselleri verilmiştir. Şekil 4.61'de (A) ile gösterilen çelik motor beşiğine aittir. Parça, burçlar ve kaynak dikişleri ağırlığı hariç yaklaşık 33,04 kg, burçlar ve kaynak dikişleri dahil yaklaşık 39,30 kg 'dır. Bunun yanı sıra 13 tanesi farklı olmak üzere toplam 29 parçadan oluşmaktadır. Kaynak dikişlerinin uzunluğunun yaklaşık 8 m olduğu hesaplanmıştır.

Şekil 4.61'de (B) ile gösterilen parça alüminyum motor beşiğine aittir. Parça, burçlar ve kaynak dikişleri ağırlığı hariç yaklaşık 18,77 kg, burçlar ve kaynak dikişleri dahil yaklaşık

22,7 kg'dır. Bunun yanı sıra 10 tanesi farklı olmak üzere toplam 19 parçadan oluşmaktadır. Kaynak dikişlerinin uzunluğunun yaklaşık 6,5 m olduğu hesaplanmıştır. Burçlar ve kaynak teli hariç üründe %43,19, burçlar ve kaynak teli dahil edildiğinde %43,76 ağırlık kazancı sağlanmıştır. Parça sayısında toplam %34,4 oranında parça azaltılmıştır. Kaynak teli kullanımında %18,7 azalma sağlanmıştır.

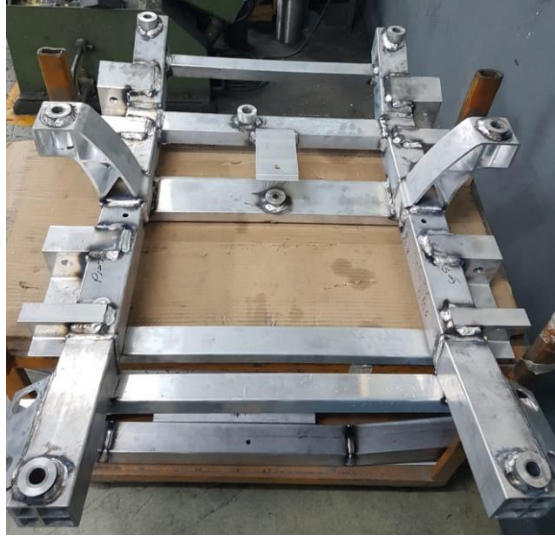
#### **Prototipin Üretilmesi:**



**Şekil 4.62.** Alüminyum ekstrüzyondan geliştirilmiş motor beşiğinin alt parçaları görseli



Şekil 4.63. Alüminyum ekstrüzyondan geliştirilmiş motor beşiğinin alt parçaları görseli



**Şekil 4.64.** Alüminyum ekstrüzyondan üretilmiş motor beşiği prototip görseli



**Şekil 4.65.** Yeşilova Holding Ar-Ge Merkezi'nde stantta potansiyel müşterilere tanıtılan alüminyum motor beşiği görseli

Şekil 4.61'de sol tarafta nihai tasarımı verilen motor beşiğinin 3D tasarımının, Şekil 4.62 ve Şekil 4.63'te ekstrüzyondan teknolojisiyle üretilmiş alt parçalarının görselleri yer almaktadır. Bu alt parçalarının CMT kaynağı ile birleştirilmesi sonucunda ise Şekil 4.64'teki ilk prototip ortaya çıkarılmıştır. Ardından başta araç üreticisi firma olmak üzere potansiyel müşterilere sunulması amacıyla Şekil 4.65'te sunumu yapılmaktadır.

## 5.SONUÇ (TARTIŞMA ve SONUÇ)

Bu çalışmada, Almanya menşeli Aachen şehrinde kurulan araç üretici firmasının, M2 sınıfı elektrikli aracında kullanması amacıyla mevcut çelik motor beşiğinin, %100 alüminyum ekstrüzyon teknolojisine dönüştürülmesi aktarılmıştır. Mevcut çelik motor beşiğinin montaj bağlantı yerlerinin ve paket hacmindeki motor ve çevre parçalarının hacimlerine taşmayacak hatta en az 5 mm mesafe olması göz önünde bulundurarak CATIA programı üzerinde parametrik 3D tasarlanması, HyperWorks yazılımı ile statik analizinin yapılması, tasarım-analiz döngüsüne bağlı olarak optimizasyon çalışması yapılmıştır.

Motor beşiğinin prototip ürünü elde edilmesi için malzeme, tasarım alternatifleri eşliğinde sonlu elemanlar analizleri (Statik Dayanım, Analizleri) gerçekleştirilmiştir. Tasarım hacminin ağ yapısı HyperWorks programı Hypermesh modülünde oluşturulmuştur. Bu modül için HyperWorks yazılımının HyperMesh ara yüzü kullanılarak ön proses aşaması tamamlanmıştır. OptiStruct ara yüzünde statik analizleri koşturulmuş, analiz sonuçları ise son proses aşaması olan HyperView ara yüzünde değerlendirilmiştir.

Hedeflenen şekil değiştirme ve diğer başarı kriterlerine göre elde edilen sonuçlar değerlendirildikten sonra uygun malzeme seçimi yapılmış ve prototip aşamasına geçilmiştir.

Prototip üretim safhasında, kaynak ısı girdisinin alt parçaları etkilediği literatür kaynaklarından öğrenilmiştir. Alınan benchmark parçası üzerinden çıkarılan çekme test numunelerine göre literatürdeki kaynaktan etkilenen bölgenin temel malzemenin %70 bir akma, çekme mukavemetine ve sertlik değerine sahip olduğu kanıtlanmıştır. Bu sebeple prototip üretilmeden önce analiz çalışmalarında kaynaktan etkilenen bölgenin tanımlanmasıyla birlikte analizler tekrarlanmıştır. Proses girdilerinin de analiz programına aktarımı sağlanarak gerçek duruma daha yakın bir simülasyon modellenmiştir. Yapılan bu çalışmayla fiziksel sonuçlarla ile analiz arasındaki korelasyonun yakalanması sağlanmıştır.



Motor beşığı alt parçaları ekstrüzyon ile üretildikten sonra ise CMT Robotu ile kaynaklanması için yapılan ön kaynak çalışmaları ve denemeleri yapılmıştır. Farklı kalınlıklardaki EN AW 6082-T6, EN AW 6063-T6 ve EN AW 6060-T6 alaşımlarının bindirme formatında birleştirildiği CMT kaynak denemelerinde akım, voltaj, ilerleme hızı ve tel besleme hızları sabit tutulup kaynak torç açısının kaynağın maksimum kopma kuvvetine olan etkisi incelenmiştir. Yapılan çalışmada kaynak torç açısının kaynak nüfuziyet ve metal yığıma üzerine etkisi olduğu görülmüştür. Torcun normalinden daha dik tutulması ile penetrasyonun azalarak kopma dayanımının düştüğü görülmüştür. En yüksek kopma dayanımı torç açısının normal konumda olduğu durumda elde edilmiştir.

Sonuç olarak, alüminyum alaşımlarının kaynağında CMT metodunun düşük ısı girdisi avantajı sağladığı görülmüştür. Kaynaklı bağlantıların mekanik dayanımlarını arttırmak için proses parametrelerinin etkilerin tespit edilerek optimize edilmesi gerektiği görülmüştür.

Tez kapsamında geliştirilmiş olan ürün, Türkiye için yeni bir ürün olarak hayata geçirilmiştir. Bu tez sayesinde ile hızla hayatımıza girmeye başlayan elektrikli araçların kritik parçalarından olan motor beşığı hakkında yapılan yasal zorunluluklarının ve müşteri beklentileri ve patent araştırmaları sayesinde bilgi kazanımı elde edilmiştir.

## KAYNAKLAR

- Anonim, 2010a.** Ekstrüzyon yöntemi. <https://tr.esc.wiki/wiki/Extrusion> (Erişim tarihi: 10.10.2020).
- Anonim, 2010b.** SSC- 4 Effect Of Welded Properties On Aluminum Structures. Ship Structure Committee [http://www.shipstructure.org/proj/yabbfiles/Attachments/SR\\_1460\\_Final\\_Report.pdf](http://www.shipstructure.org/proj/yabbfiles/Attachments/SR_1460_Final_Report.pdf) (Erişim tarihi: 02.03.2021).
- Anonim, 2011a.** Applications – chassis & suspension –subframes. European aluminium association. <https://www.european-aluminium.eu/media/1558/aam-applications-chassis-suspension-1-subframes.pdf> (Erişim tarihi: 01.03.2020).
- Anonim, 2011b.** Design – design with aluminium. European aluminium association. <https://european-aluminium.eu/media/1508/aam-design-2-design-with-aluminium.pdf> (Erişim tarihi: 14.01.2021).
- Anonim, 2012a.** Final rulemaking for 2017-2025 light-duty vehicle greenhouse gas emission standards and corporate average fuel economy standards. Office of international policy, fuel economy, and consumer programs national highway traffic safety administration. [https://www.nhtsa.gov/sites/nhtsa.dot.gov/files/joint\\_final\\_tsd.pdf](https://www.nhtsa.gov/sites/nhtsa.dot.gov/files/joint_final_tsd.pdf) (Erişim tarihi: 21.06.2020).
- Anonim, 2012b.** TAL 5356. Magmaweld. <https://www.magmaweld.com.tr/elektrod-tel-toz/argon-tig-telleri/aluminyum-ve-alasimlari/tal-5356/uo/tal-5356> (Erişim tarihi: 11.07.2020).
- Anonim, 2014a.** Ekstrüzyon nedir ekstrüzyon çeşitleri <https://320volt.com/ekstruzyon-nedir-ekstruzyon-cesitleri/> (Erişim tarihi: 4.04.2021).
- Anonim, 2014b.** EcoCar2.... what is it? <https://www.isograph.com/blog/ecocar2-what-is-it/> (Erişim tarihi: 23.06.2021).
- Anonim, 2016.** Comparative study on the difference between the EU and US legislation on emissions in the automotive sector. Study for the EMIS committee. [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2016/587331/IPOL\\_STU\(2016\)587331\\_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2016/587331/IPOL_STU(2016)587331_EN.pdf) (Erişim tarihi: 16.01.2021).
- Anonim, 2017a.** Footprint versus mass: how to best account for weight reduction in the European vehicle CO<sub>2</sub> regulation. The international council on clean transportation [https://www.theicct.org/sites/default/files/CO2-reduction-technologies\\_fact-sheet\\_10102017\\_vF.pdf](https://www.theicct.org/sites/default/files/CO2-reduction-technologies_fact-sheet_10102017_vF.pdf) (Erişim tarihi:09.12.2020).
- Anonim, 2017b.** Car chassis, undercarriage and frame illustrations. <http://www.khiart.com/chassis-illustrations.html> (Erişim tarihi:09.12.2020).
- Anonim, 2018a.** Automotive material mix of a typical vehicle in 2025. <https://www.statista.com/statistics/270252/material-use-in-car-production/> (Erişim tarihi: 26.02.2021).
- Anonim, 2018b.** Araç grup kodu listesi ve motorlu araç sınıfları. <https://www.sigortaokulu.com/arac-grup-kodu-listesi-motorlu-arac-siniflari> (Erişim tarihi: 09.04.2021).
- Anonim, 2018c.** Aluminum extrusions. Aluminum Extruders Council. [https://cdn.ymaws.com/www.aec.org/resource/resmgr/pdfs/ao\\_designing\\_to\\_the\\_limits\\_r.pdf](https://cdn.ymaws.com/www.aec.org/resource/resmgr/pdfs/ao_designing_to_the_limits_r.pdf) (Erişim tarihi: 30.06.2020).
- Anonim, 2018d.** Sonlu Eleman Analizi nedir. <https://www.ceyrekmuhendis.com/sonlu-elemanlar-analizi-nedir/> (Erişim tarihi: 23.06.2021).

- Anonim, 2020a.** Automobile suspension (car suspension) explained. <https://gomechanic.in/blog/car-suspension-explained/> (Erişim tarihi:22.06.2021).
- Anonim, 2020b.** Sonlu Elemanlar Analizi. <http://www.analizansys.com/sonlu-elemanlar-analizi/> (Erişim tarihi: 23.06.2021).
- Anonim, 2020c.** Fronius TransPuls Synergic 4000 CMT, <https://www.alganmetal.com.tr/fronius-transpuls-synergic-4000-cmt.html> (Erişim tarihi: 23.09.2020).
- Anonim, 2020d.** ITAB nedir? <https://www.malzememuhendisleri.com/itab-nedir/> (Erişim tarihi: 21.06.2021).
- Anonim, 2021a.** Kyoto protokolü. [https://tr.wikipedia.org/wiki/Kyoto\\_Protokol%C3%BC](https://tr.wikipedia.org/wiki/Kyoto_Protokol%C3%BC) (Erişim tarihi:23.06.2021).
- Anonim, 2021b.** Alüminyum ekstrüzyon. <https://www.celikleraluminium.com.tr/aluminyum-ekstruzyon/> (Erişim tarihi: 4.04.2021).
- Anonim, 2021c.** Hidroforming. <https://tr.xcv.wiki/wiki/Hidroforming> (Erişim tarihi: 24.02.2021).
- Anonim,2021d.** Sonlu elemanlar yöntemi. [https://tr.wikipedia.org/wiki/Sonlu\\_elemanlar\\_y%C3%B6ntemi](https://tr.wikipedia.org/wiki/Sonlu_elemanlar_y%C3%B6ntemi) (Erişim tarihi: 23.06.2021).
- Ay, İ.,** Ekstrüzyon yolu ile imalat. Balıkesir Üniversitesi imalat yöntemleri II ders notları, Balıkesir.
- Ayan, S. M., 2010.** Alüminyum ekstrüzyon profil tasarım prensipleri ve ürün tasarım iyileştirme tavsiyeleri. *Alüminyum Yapı Dergisi*, (76): 246-251.
- Başer, T., 2012.** Alüminyum alaşımları ve otomotiv endüstrisinde kullanımı. *Mühendis ve Makina*, 53 (635):51-58.
- Çağlayan, R., 2020.** Taşıtlarda ağırlık azaltımında hafif malzeme olarak alüminyum kullanımı ve optimizasyonu. *Yüksek Lisans Tezi*, UÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa.
- Demirbaş, A., Çevik, S., 2020.** TIG kaynak yöntemiyle birleştirilmiş alüminyum 1050 alaşımının mekanik ve mikroyapı özellikleri. *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, 8-3, 471-477.
- Demirkesen, A., Uçar, M., 2021.** Investigation of the effects of using aluminum alloys in electric vehicles production, International Marmara Science Congress (IMASCON) 2020,21-22 Mayıs 2021, Online.
- Durmuş, H., Çömez, N., 2017.** Mechanical properties of AA5754 sheets welded by cold metal transfer method. *Technological Applied Sciences (NWSATAS)*, 12(4):170-177.
- Elrefaey, A., Ross, G. 2015.** Microstructure and mechanical properties of cold metal transfer welding similar and dissimilar aluminum alloys. *Acta Metallurgica Sinica (English Letters)*, 28(6): 715-724.
- Gungor, B., Kaluc, E., Taban, E., Sık, A. 2014.** Mechanical and microstructural properties of robotic Cold Metal Transfer (CMT) welded 5083-H111 and 6082-T651 aluminum alloys. *Materials and Design*, 54: 207–211.
- Holmberg, P., J Argerich, J., 2012.** Life cycle assessment a comparison between a new produced and a remanufactured rear subframe. *Msc Thesis*, Uppsala University, Disciplinary Domain of Science and Technology, Technology, Department of Engineering Sciences. Uppsala, İsviçre.

- Hove, D., V., Soetens, F., 2014.** Optimization of aluminum stressed skin panels in offshore applications. Selected Papers from the International Aluminium Conference (INALCO), 21-22 Kasım 2013, Canada.
- Höke, Ö., 2016.** Hafif ticari araçlarda kullanılan motor traversinin yapısal optimizasyonu, *Yüksek Lisans Tezi*, YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Kafalı, H., Ay, N., 2014.** Havacılıkta kullanılan 6013-T6 alüminyum alaşımının sürtünme karıştırma kaynağıyla birleştirilmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 18 (1): 38-47.
- Kalkan, H., 2018.** Alüminyum ekstrüzyonu üzerine sayısal ve deneysel bir inceleme. *Makina Tasarım ve İmalat Dergisi*, 16 (2): 60-65.
- Lee, G., Park, J., Choi, B., Choi, D., Kim, G., 2012.** Multidisciplinary design optimization of vehicle front suspension system using PIDO technology, *Transactions of the Korean Society of Automotive Engineers*, 20 (6): 1-8.
- Li, C., Kim, Y., Jeswiet, J., 2014.** Conceptual and detailed design of an automotive engine cradle by using topology, shape, and size optimization. *Struct Multidisc Optimization*. (51), 547–564.
- Nair, K., 2014.** Finite element analysis of rear suspension cradle of EcoCAR2: an investigation into weight reduction techniques. *Master's Thesis*, The Ohio State University, Mechanicals Engineering, USA.
- Nazemi, N., Ghrib, F., 2019.** Strength characteristics of heat-affected zones in welded aluminum connections. *Journal Of Engineering Mechanics*, 145(12).
- Önal, A., 2017.** Waam işleminde soğuk metal transferi (CMT) teknolojisinin kullanımı. X. Kaynak Teknolojisi Ulusal Kongre ve Sergisi Bildiriler Kitabı, 17-18 Ekim 2017, Ankara.
- Prabhakarana, A., Sridhivya Krishnan, K., Dhinakaran, R., Baskar, S., Shaisundaram, V.S., 2021.** Analysis of the efficiency of an automotive alternator by replacing Mild steel into aluminum as a material for rotor. *Materials Today Proceedings*, 37 (2):1269-1273.
- Saha, P., 2000.** Aluminum extrusion technology. ASM International, USA, 185 pages.
- Serindağ, H., Çam, G., 2020.** CMT ve Darbeli CMT ark kaynaklı AA7075-T6 Al-alaşımı alın bağlantıların mekanik davranışına kaynak hatalarının etkisinin araştırılması. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, (7): 243- 255.
- Shijian, Y., Cong, H., Gang, L., Qibin, M., Zhongren, W., 2004.** Hydroforming of an engine cradle. Harbin Institute of Technology.
- Şahin, S., 2008.** Boksitlerden alümina üretim sürecinde yer alan buharlaştırma işleminin teknolojik esasları. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 24 (1-2):291-307.
- Totten, G., MacKenzie, S., 2003.** Handbook of aluminum vol. 1: physical metallurgy and processes. 1310 Pages.
- Walters, D., 2015.** Design, validation, and optimization of a rear sub-frame with electric powertrain integration. *Master's Thesis*, The Ohio State University, Mechanicals Engineering, USA.
- Xianghong, W., Guoqun, Z., Yiguo, L., Xinwu, M., 2006.** Numerical simulation and die structure optimization of an aluminum rectangular hollow pipe extrusion process. *Materials Science and Engineering: A*, (435-436): 266-274.
- Yang, D., Kim, K., 2007.** Design of processes and products through simulation of three-dimensional extrusion. *Journal of Materials Processing Technology*, 191(1): 2-6.

- Yay, S., 2019.** Toplu taşıma otobüsleri için motor beşiği tasarımı ve analizi. *Yüksek Lisans Tezi*, UÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa.
- Yılmaz,T.,G., Tüfekçi,M.,Karpata, F., 2017.** A study of lightweight door hinges of commercial vehicles using aluminum instead of steel for sustainable transportation, *Sustainability*,9 (1661).
- Yüce, C., Karpata, F., Yavuz, N., Sendeniz, G., 2014.** A case study: designing for sustainability and reliability in an automotive seat structure. *Sustainability*, 6: 4608-4631.
- Yüce, C., Tutar, M., Karpata, F., Yavuz, N., 2016.** The optimization of process parameters and microstructural characterization of fiber laser welded dissimilar HSLA and MART steel joints, *Metals*, 6 (245).
- Yüce, C., Tekin, G., Kara, B., Şengül, D., 2020a.** Alüminyum ekstrüzyon alaşımlarının soğuk metal transfer ark kaynağında proses parametre etkilerinin incelenmesi. The International Conference on Materials Science, Mechanical and Automotive Engineerings and Technology (IMSMATEC), 24-26 Haziran 2020, İstanbul, Türkiye.
- Yüce, C., Kara, B., Tekin, G., Çapar, N., Şengül, D., 2020b.** Mechanical and microstructural properties of cold metal transfer CMT welded 6082-T6 aluminum alloys. 9th International Conference on Advanced Technologies (ICAT'20), 10-12 Ağustos 2020, İstanbul, Türkiye.

# EKLER

## EK 1 TS EN 755-2 standardında göre ilgili profil özelliklerine göre seçilen EN AW 6005, EN AW 6060, EN AW 6061 malzemelerinin akma mukavemeti değerleri

TS EN 755-2: 2016-12  
EN 755-2:2016 (E)

**Table 20 — Alloy EN AW-6005 [Al SiMg] and Alloy EN AW-6005A [Al SiMg(Al)]**

Extruded rod/bar									
Temper	Dimensions		R <sub>m</sub>		R <sub>p0.2</sub>		A		Hardness Typical value HBW
	D <sup>a</sup>	D <sup>b</sup>	min.	max.	min.	max.	%	%	
T6*	≤ 25	≤ 25	270	≥ 225	-	-	10	8	90
	25 < D ≤ 50	25 < S ≤ 50	270	≥ 225	-	-	8	-	90
	50 < D ≤ 100	50 < S ≤ 100	260	≥ 215	-	-	8	-	85

1. D = Diameter for round bar.  
2. S = Width across flats for square and hexagonal bar; thickness for rectangular bar.  
3. Properties may be obtained by press quenching.  
4. If a profile cross section comprises different thickness which fall in more than one set of specified mechanical property values, the lowest specified value shall be considered as valid for the whole profile cross section.

TS EN 755-2: 2016-12  
EN 755-2:2016 (E)

**Table 39 — Alloy EN AW-6060 [Al MgSi]**

Extruded rod/bar									
Temper	Dimensions		R <sub>m</sub>		R <sub>p0.2</sub>		A		Hardness Typical value HBW
	D <sup>a</sup>	D <sup>b</sup>	min.	max.	min.	max.	%	%	
T4*	≤ 150	≤ 150	130	-	60	-	16	14	50
	150 < D ≤ 200	150 < S ≤ 200	140	-	120	-	8	6	40
	200 < D ≤ 300	200 < S ≤ 300	130	-	100	-	8	6	30

1. D = Diameter for round bar.  
2. S = Width across flats for square and hexagonal bar; thickness for rectangular bar.  
3. Properties may be obtained by press quenching.  
4. If a profile cross section comprises different thickness which fall in more than one set of specified mechanical property values, the lowest specified value shall be considered as valid for the whole profile cross section.

TS EN 755-2: 2016-12  
EN 755-2:2016 (E)

**Table 41 — Alloy EN AW-6061 [Al MgSiCu]**

Extruded rod/bar									
Temper	Dimensions		R <sub>m</sub>		R <sub>p0.2</sub>		A		Hardness Typical value HBW
	D <sup>a</sup>	D <sup>b</sup>	min.	max.	min.	max.	%	%	
O, H111	≤ 200	≤ 200	150	-	110	-	16	14	30
	200 < D ≤ 300	200 < S ≤ 300	160	-	120	-	15	13	45
	300 < D ≤ 400	300 < S ≤ 400	160	-	120	-	8	6	95

1. D = Diameter for round bar.  
2. S = Width across flats for square and hexagonal bar; thickness for rectangular bar.  
3. Properties may be obtained by press quenching.  
4. If a profile cross section comprises different thickness which fall in more than one set of specified mechanical property values, the lowest specified value shall be considered as valid for the whole profile cross section.

## TS EN 755-2 standardında göre ilgili profil özelliklerine göre seçilen EN AW 6063, EN AW 6082, EN AW 6463 malzemelerinin akma mukavemeti değerleri

TS EN 755-2: 2016-12  
EN 755-2:2016 (E)

**Table 45 — Alloy EN AW-6063 [Al MgSi]**

Extruded rod/bar									
Temper	Dimensions		R <sub>m</sub>		R <sub>p0.2</sub>		A		Hardness Typical value HBW
	D <sup>a</sup>	D <sup>b</sup>	min.	max.	min.	max.	%	%	
O, H111	≤ 200	≤ 200	130	-	110	-	18	16	25
	200 < D ≤ 300	200 < S ≤ 300	120	-	100	-	14	12	50
	300 < D ≤ 400	300 < S ≤ 400	120	-	100	-	8	6	65

1. D = Diameter for round bar.  
2. S = Width across flats for square and hexagonal bar; thickness for rectangular bar.  
3. Properties may be obtained by press quenching.  
4. If a profile cross section comprises different thickness which fall in more than one set of specified mechanical property values, the lowest specified value shall be considered as valid for the whole profile cross section.

TS EN 755-2: 2016-12  
EN 755-2:2016 (E)

**Table 51 — Alloy EN AW-6082 [Al SiMgMn]**

Extruded rod/bar									
Temper	Dimensions		R <sub>m</sub>		R <sub>p0.2</sub>		A		Hardness Typical value HBW
	D <sup>a</sup>	D <sup>b</sup>	min.	max.	min.	max.	%	%	
O, H111	≤ 200	≤ 200	200	-	160	-	16	12	35
	200 < D ≤ 300	200 < S ≤ 300	210	-	170	-	8	6	95
	300 < D ≤ 400	300 < S ≤ 400	200	-	160	-	8	6	95

1. D = Diameter for round bar.  
2. S = Width across flats for square and hexagonal bar; thickness for rectangular bar.  
3. Properties may be obtained by press quenching.  
4. If a profile cross section comprises different thickness which fall in more than one set of specified mechanical property values, the lowest specified value shall be considered as valid for the whole profile cross section.

TS EN 755-2: 2016-12  
EN 755-2:2016 (E)

**Table 47 — Alloy EN AW-6463 [Al MgSiCu]**

Extruded rod/bar									
Temper	Dimensions		R <sub>m</sub>		R <sub>p0.2</sub>		A		Hardness Typical value HBW
	D <sup>a</sup>	D <sup>b</sup>	min.	max.	min.	max.	%	%	
T4*	≤ 150	≤ 150	125	-	75	-	14	12	45
	150 < D ≤ 200	150 < S ≤ 200	150	-	110	-	8	6	60
	200 < D ≤ 300	200 < S ≤ 300	150	-	110	-	8	6	74

1. D = Diameter for round bar.  
2. S = Width across flats for square and hexagonal bar; thickness for rectangular bar.  
3. Properties may be obtained by press quenching.  
4. If a profile cross section comprises different thickness which fall in more than one set of specified mechanical property values, the lowest specified value shall be considered as valid for the whole profile cross section.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Dilek ŞENGÜL NİŞANCI  
Doğum Yeri ve Tarihi : Bursa, 1993  
Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu  
Lise : Bursa Gazi Anadolu Lisesi, 2011  
Lisans : Uludağ Üniversitesi, 2015  
Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi, 2021

Çalıştığı Kurum/Kurumlar : Beyçelik Gestamp Otomotiv A.Ş., 2016-2017  
Yeşilova Holding Ar-Ge Merkezi, 2017-2021  
Coşkunöz Metal Form, 2021-Devam

İletişim (e-posta) : dileksengull641@hotmail.com.tr

Yayınları :

**Yüce, C., Tekin, G., Kara, B., Şengül, D., 2020.** Alüminyum ekstrüzyon alaşımlarının soğuk metal transfer ark kaynağında proses parametre etkilerinin incelenmesi. The International Conference on Materials Science, Mechanical and Automotive Engineerings and Technology (IMSMATEC), 24-26 Haziran 2020, İstanbul, Türkiye.

**Yüce, C., Kara, B., Tekin, G., Çapar, N., Şengül, D., 2020.** Mechanical and microstructural properties of cold metal transfer CMT welded 6082-T6 aluminum alloys. 9<sup>th</sup> International Conference on Advanced Technologies (ICAT'20), 10-12 Ağustos 2020, İstanbul, Türkiye.