TAŞIT TAVAN BARI TASARIMI GELİŞTİRİLMESİ

Hasan Cihad BAYRAM

T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TAŞIT TAVAN BARI TASARIMI GELİŞTİRİLMESİ

Hasan Cihad BAYRAM
000-000-000-000

Prof. Dr. Ali Rıza YILDIZ
0000-0003-1790-6987
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2021
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TAŞIT TAVAN BARI TASARIMI GELİŞTİRİLMESİ

Hasan Cihad BAYRAM

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ali Rıza YILDIZ

Ağırlık azaltma ve maliyet iyileştirme otomotiv sektörünün odaklandığı konuların başında gelmektedir. Bu iki konu doğrudan ya da dolaylı olarak çevresel sürdürülebilirlik ve finansal sürdürülebilirlik üzerinde birçok etkiye sahiptir. Bu sebeple taşıt üzerindeki her bir parça bütün içindeki fonksiyonunu kaybetmeyecek şekilde tasarım ve analiz yöntemleri ile sorgulanmakta ve birçok optimizasyon çalışmasına konu olmaktadır.

Bu çalışmada araç tavanı üzerinde konumlanan tavan barları araştırma konusu olarak seçilmiştir. Seri üretimde kullanılmakta olan tavan barının tasarım ve fonksiyon girdileri belirlenmiş ve parça üzerindeki malzemeler ve üretim yöntemleri ortaya konulmuştur. Bu bilgiler ışığında mevcut hali alüminyum malzemeden üretilen tavan barının tamamen plastik olarak tasarlanması irdelenmiştir. Yeni tavan barı, tasarım esnekliği, üretim yöntemleri, maliyet ve güvenlik analizleri açısından mevcut parça ile karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Tavan Barı, Tasarım, Optimizasyon

ABSTRACT

MSc/PhD Thesis

VEHICLE ROOF RAIL DESIGN DEVELOPMENT

Hasan Cihad BAYRAM

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

Supervisor: Prof. Dr. Ali Rıza YILDIZ

Weight reduction and cost improvement are the leading topics that the automotive industry focuses on. These two topics have direct or indirect effects on environmental sustainability and financial sustainability. For this reason, each part on the vehicle is investigated in terms of design and analysis methods in a way that does not lose its function in the whole body and poses the subject of many optimization studies.

In this study, the roof rails on the vehicle were chosen as the research subject. The design and function inputs of the roof rail that is used in mass production were determined and the materials and production methods on the part were revealed. In the light of this information, design of complete plastic roof rail was examined of which the current one made of aluminum material. The new roof rail design has been compared with the current part in terms of safety, design flexibility, production methods and costs.

Key words: Roof rail, design, optimization
2021, xv+ 52 pages.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın her aşamasındaki destek ve katkılarından ötürü tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Ali Rıza YILDIZ' a ve bu yolda hep yanımda olduklarını bildiğim eşim ve aileme teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmanın her aşamasında desteklerini esirgemeyen TOFAŞ Arge Merkezi ve çalışma arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Hasan Cihad BAYRAM
10/12/2021

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET vi
ABSTRACT vii
TEŞEKKÜR viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ xi
ŞEKİLLER DİZİNİ xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ xv
1.GİRİŞ……. 1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI 3
2.1. Tavan Barı Konusunda Yapılan Çalışmalar 3
2.2. Taşıt Tavan Barı Sistemleri 5
2.3. Sistem Bileşenleri 6
2.4. Taşıt Tavan Barı Tasarımı 6
2.4.1 Tasarım Çalışmaları 6
2.4.2. Mevcut Tavan Barı Tasarımı 8
2.4.3. Plastik Tavan Barı Tasarımı 9
2.5.1. Plastik Malzemeler 11
2.5.1.1. Polypropylene (PP) 12
2.5.1.2. Polyvinyl Chloride (PUR) 13
2.5.1.2. Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) 13
2.5.1.3. Polyamide (PA) 13
2.5.2. Alüminyum 13
2.6. Üretim Yöntemleri 15
2.6.1. Ekstrüzyon 15
2.6.2. Büküm 17
2.6.3. Plastik Enjeksiyon 19
2.6.4 Montaj……. 21
3. MATERYAL ve YÖNTEM 22
3.1. Tasarım Çalışmaları ve Malzeme Seçimi 22
3.2. Sonlu Elemanlar Yöntemi 25
3.3. Sayısal Analiz 28
3.4. Statik Analiz Senaryoları 30
3.4.1. Araç Yönünde Yükleme 30
3.4.2. Araç Yönünde 20° Açılı Yükleme 30
3.4.3. Yanal Yükleme 31
3.4.4. Yüksek Yanal Yükleme 31
3.4.5. Dikey Yükleme 32
3.4.6. Arka Bar Rüzgâr Dikey Basma 32
3.4.7. Arka Bar Rüzgâr Dikey Kaldırma 33
3.4.8. Ön Bar Rüzgâr Dikey Basma 33
3.4.9. Ön Bar Rüzgâr Dikey Kaldırma 34
3.4.10. Board Taşıma Yükü 34
4. BULGULAR ve TARTIŞMA 35
4.1 Tavan Barı Tasarımlarının Yöntemlerinin Karşılaştırılması 35
4.2 Üretim Yöntemlerin Karşılaştırılması 37
4.3 Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi 39
4.3.1. Araç Yönünde Yükleme 40

4.3.2. Araç Yönünde 20° Açılı Yükleme 40
4.3.3. Yanal Yükleme 41
4.3.4. Yüksek Yanal Yükleme..... 41
3.4.5. Dikey Yükleme 42
3.4.6. Arka Bar Rüzgâr Dikey Basma..... 42
3.4.7. Arka Bar Rüzgâr Dikey Kaldırma..... 43
3.4.8. Ön Bar Rüzgâr Dikey Basma..... 43
3.4.9. Ön Bar Rüzgâr Dikey Kaldırma 44
3.4.10. Board Taşıma Yükü..... 44
4.4 Ürün Maliyetleri ve Yatırımlarının Karşılaştırılması..... 45
5. SONUÇ……48
KAYNAKLAR..... 49
ÖZGEÇMİŞ..... 51

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	**Açıklama**
F	Yük Vektörü
P	Basınç
A	Alan
σ	Gerilme
ϵ	Gerinim
l	Uzunluk
E	Elastisite Modulü

Kısaltmalar	Açıklama
SUV	Spor Arazi Aracı (Sport Utility Vehicle)
MPV	Çok Amaçlı Araç (Multi Purpose Vehicle)
LCV	Hafif Ticari Araç (Light Commercial Vehicle)
SW	Station Wagon
AL	Alüminyum
GAS	Gaz Destekli Kalıplama (Gas Assisted Molding)
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
ISO	International Organization for Standardization
SE	Sonlu Elemanlar
DFSS	Design for Six Sigma
CAE	Bilgisayar Destekli Mühendislik (Computer Aided Engineering)
°C	Derece Santigrat
m	Metre
mm	Milimetre

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2. 1. Taşıt Tavan Barı Çeşitleri 5
Şekil 2. 2. Tavan Elemanları 6
Şekil 2. 3.Alüminyum Bar Büküm Yönleri 7
Şekil 2. 4. Profil Uç Kesimine Uygun Stil 7
Şekil 2. 5.Profil Uç Kesimine Uygun Olmayan Stil 7
Şekil 2. 6. Araç Tavan ve Bar Kesiti 8
Şekil 2. 7. Mevcut Tavan Barı Yapısı 9
Şekil 2. 8. Plastik Parça İçin Kesit Çalışması 10
Şekil 2. 9. Plastik Tavan Barı Yapısı 10
Şekil 2. 10. Otomotiv Plastik Hammadde Kullanım Oranları (PAGEV, 2016) 11
Şekil 2. 11. Otomotiv Plastik Kullanım Oranı (Weill, 2021) 12
Şekil 2. 12. Alüminyum Sınıfları (Geoff, 1999) 14
Şekil 2. 13. Alüminyum Ekstrüyon 16
Şekil 2. 14. Basarak Bükme 18
Şekil 2. 15. Gererek Bükme Makinası (J.E. Miller, S. Kyriakides, & Bastard, 2000) 19
Şekil 2. 16. Plastik Enjeksiyon Makinesi (Anonim, 2021) 19
Şekil 3. 1. Alüminyum Bar Kesiti ve Plastik Kesit 22
Şekil 3. 2. Estetik Kapak Bağlantı Yapısı 23
Şekil 3. 3. Destek Parçası Feder Yapısı 24
Şekil 3. 4. Feder Boylarının Belirlenmesi 24
Şekil 3. 5. Eleman ve Düğüm 25
Şekil 3. 6. Problemin Alt Elemanlara Ayrılması 26
Şekil 3. 7. Gövde Analiz Modeli 28
Şekil 3. 8. Tavan Barı ve Yük Yerleşimi 29
Şekil 3. 9. Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi 29
Şekil 3. 10. Araç Yönünde Yükleme 30
Şekil 3. 11. Araç Yönünde Açılı Yükleme 30
Şekil 3. 12. Yanal Yükleme 31
Şekil 3. 13. Yüksek Yanal Yükleme 31
Şekil 3. 14. Dikey Yükleme 32
Şekil 3. 15.Arka Bar Rüzgâr Dikey Basma 32
Şekil 3. 16. Arka Bar Rüzgâr Dikey Kaldırma 33
Şekil 3. 17. Ön Bar Rüzgâr Dikey Basma 33
Şekil 3. 18. Ön Bar Rüzgâr Dikey Kaldırma 34
Şekil 3. 19. Board Taşıma 34
Şekil 4. 1. Tasarımların Ağırlık Karşılaştırması 36
Şekil 4. 2. Alüminyum Tavan Barı Üretimi 37
Şekil 4. 3. Plastik Tavan Barı Üretimi 38
Şekil 4. 4. Tavan Yük Miktarı 39
Şekil 4. 5. Araç Yönünde Yükleme Analiz Sonucu 40
Şekil 4. 6. Araç Yönünde 20° Açılı Yükleme Analiz Sonucu 40
Şekil 4. 7. Yanal Yükleme Analiz Sonucu 41
Şekil 4. 8. Yüksek Yanal Yükleme Analiz Sonucu 41
Şekil 4. 9. Dikey Yükleme Analiz Sonucu 42
Şekil 4. 10. Arka Bar Rüzgâr Dikey Basma Analiz Sonucu 42
Şekil 4. 11. Arka Bar Rüzgâr Dikey Kaldırma Analiz Sonucu 43

Şekil 4. 12. Ön Bar Rüzgâr Dikey Basma Analiz Sonucu 43
Şekil 4. 13. Ön Bar Rüzgâr Dikey Kaldırma Analiz Sonucu 44
Şekil 4. 14. Board Taşıma Yükü Analiz Sonucu 44
Şekil 4. 15. Alüminyum Tavan Barı Maliyet Dağılımı 45
Şekil 4. 16. Plastik Tavan Barı Maliyet Dağılımı 46

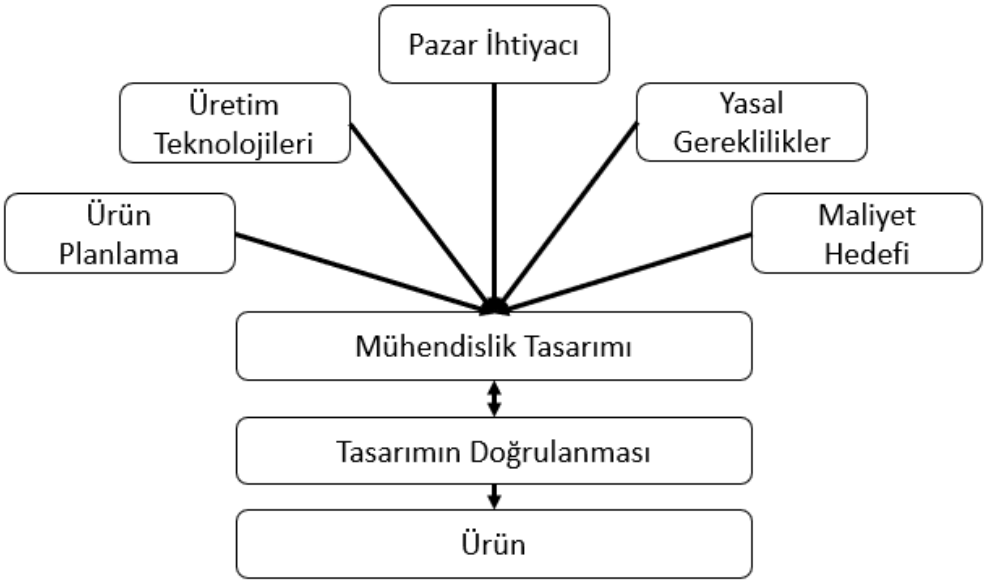
ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2. 1. Alüminyum Isıl İşlem Çeşitleri (Kvande, 1999)..... 15
Çizelge 2. 2. Ekstrüzyon Alaşımlarının Mekanik Özellikleri (Yıldırım, 2006)..... 17
Çizelge 3. 1. Malzeme Mekanik Değerleri 29

1. GİRİŞ

Mühendislik tasarımı bilimsel verilerin ve mühendislik bilgilerinin teknik problemlere çözüm üretmek amacıyla kullanıldığı sistematik bir yaklaşımdır. Burada tasarlanan ürün ya da süreç ihtiyaçlara cevap vermesi, üretim teknolojileri, malzeme, ekonomik faktörler, çevresel etmenler ve yasal gereklilikler gibi birçok faktör tarafından sınırlandırılmakta ve bu sınırlar içerisinde optimize edilmektedir. (Pahl, W.Beitz, Feldhuse, & Grote, 2007) Şekil 1.1 de şematik olarak gösterilen temel girdiler kısmen ya da tamamen tüm ürünler için geçerlidir. Pazar ihtiyacı, ürün müşterisi tarafındaki beklentiyi ifade etmektedir. Yasal gereklilikler, çevresel ve güvenlik gereksinimlerinin sınırlarını belirlemektedir. Üretim teknolojileri yapılan tasarımın ürün haline dönüşmesindeki tüm operasyonları kapsamaktadır ve tasarımın üretilebilir olması gerektiğini ifade etmektedir. Maliyet hedefi ürünün yaşam döngüsü içerisinde finansal olarak kârlı ve sürdürülebilir olması için gereken toplam yatırım ve birim maliyetin sınırıdır. Tüm bu sürecin takibi ve organizasyonu ise ürün planlama tarafından yapılmalıdır.



Şekil 1.1. Mühendislik Tasarımı

Mühendislik tasarımı ve tasarımın doğrulanması adımlarında Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD) ve Bilgisayar Destekli Mühendislik (CAE) programlarının etkin bir şekilde kullanılması sayesinde ürünlerin müşteri ile buluşma süresi giderek kısalmaktadır. Ayrıca

tasarım ve doğrulama döngüsü ile sanal ortamda nihai haline ulaşan ürün geçmişe oranla daha az riskle devreye alınabilmektedir. Bu gelişmeler neticesinde tüm sektörlerde müşteri ihtiyaçlarına daha hızlı bir şekilde cevap verilmesi ve ürünlerin optimum şekilde tasarlanması zorunluluk haline gelmiştir.

Otomotiv bu zorunluluğun en çok hissedildiği sektörlerin başında gelmektedir. Rekabetçi piyasa ortamında müşterilerin beklentilerine daha hızlı cevap verebilmek fazlasıyla önem arz etmektedir. Ayrıca artan taşıt kullanımı beraberinde çevre kirliliğinin artmasını tetiklemekte ve tasarımların yasal olarak bazı sınırlamalara tabi olmasını gerektirmektedir. Tüm bu gereksinim ve zorunluluklar mühendislik tasarımının girdilerini oluşturmaktadır.

Bu tez çalışmasında taşıt tavan barları tüm bu girdiler ışığında ele alınmıştır. Baz alınan seri üretimdeki parça incelenerek aynı araç gövdesine uygun daha rekabetçi bir alternatif tasarımın varlığı sorgulanmıştır. Bunun için mevcut araç gövde yapısı, parça stili ve yasal güvenlik gereklilikleri sabit kabul edilerek daha hafif ve ekonomik bir tasarım yapmak amaçlanmıştır. İlk bölümde taşıt tavan barı sistemleri ve beklentileri ele alınmıştır. Bu kısımda mevcut parça tasarımında kullanılan yöntemlere ve parça geometrisine değinilmiştir. Daha sonra parça tasarımının doğrulanması için kullanılan statik senaryolar ve bu senaryoların CAE analizleri anlatılmıştır. Tasarımın endüstriyel olarak uygulanabilir olması amacıyla malzeme bilgilerine ve üretim metotlarına yer verilmiştir. Bu bilgiler ve literatür araştırmaları sentezlenerek yenilikçi bir tavan barı tasarımı ortaya çıkarılmıştır. Ortaya çıkan yeni tasarım mevcut parça ile aynı koşullarda analize tabi tutularak güvenlik şartlarını sağlayıp sağlamadığı denetlenmiş ve gerekli kısımlarda tasarım düzeltmeleri yapılmıştır. Son olarak final tasarım tüm yönleriyle mevcut tasarımla karşılaştırılmıştır. Bunun için parça tasarım sürecindeki farklılıklar, birim parça üretim süreleri, birim parça maliyetleri ve yatırım kalemleri gibi tüm endüstriyel çıktılar açısından parçaların karşılaştırılması yapılmıştır.

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Tavan Barı Konusunda Yapılan Çalışmalar

Karbon ve Dietschi, yaptıkları çalışmada tavan barları ve üzerine takılan çapraz barların yaygın kullanımına dikkat çekerek parçanın kullanımı sırasında ortaya çıkan gürültü seviyesi üzerinde çalışmışlardır. Çapraz barlar araç üzerine ön ve arka olarak farklı pozisyonlarda takılabilmektedir. Farklı pozisyonlarda monte barlar değişken seviyelerde rüzgâr sesi oluşturmaktadır. 4 farklı montaj şeklinin sanal analiz sonuçları ve fiziksel rüzgâr tüneli sonuçları karşılaştırılarak CFD yönteminin tasarım değerlendirmesi ve optimizasyonu için etkin bir yöntem olduğu vurgulanmıştır.

Jeong, Woo, ve Geum, çalışmalarında satış sonrasında kullanımı artan çapraz barların genel olarak deneme yanılma yöntemleri ile tasarlandığını ve tasarım süresinin uzun olduğundan bahsetmişlerdir. Rüzgâr sesinin oluşumunda bar kesitinin en önemli etken olduğunu göstererek kesiti belirlenen 8 adet parametre ile tanımlamışlardır. Bu parametrelerin farklı tavan tiplerinde analizleri yapılarak DFSS yöntemi ile optimum tasarım girdileri elde edilmiştir. Çalışma içerisinde bar kalınlığını ifade eden parametrenin sınırlarını belirlemek için 2 boyutlu mukavemet analizi kullanmışlardır.

Chen ve Meier, satış sonrası çapraz barların farklı bir yönünü ele alarak parçanın yakıt tüketimi üzerindeki etkisi üzerine çalışmışlardır. Parçanın bireysel kullanımından yola çıkarak Amerika ulusal yakıt tüketimdeki payını hesaplamışlardır. Sonuç olarak 2015 ve 2040 yılları arasında yatay artan bir şekilde yaklaşık binde birlik bir etkisi olduğunu ve bunun politikalarla düzenlenmesi gerektiğini vurgulamışlardır.

Tajima ve diğerleri alüminyum malzemeden imal edilmiş bar ve destek ayaklarını ele almışlardır. Mevcut parçanın ön ve arka destek ayakları alüminyum döküm yöntemi ile üretilmiştir. Tasarım gereği içi boş olan bu parça için gaz destekli kalıplama (GAS) yöntemini ve PC/PBT malzemeyi seçerek tasarım yapmışlar ve bunu mevcut parça ile karşılaştırmışlardır. Yeni destek parçası üzerinde plastik çökme izleri bulunduğu için parçanın boyama gerekliliği ortadan kaldırılamamıştır. Buna rağmen nihai ürün mevcut ürüne göre %40 ağırlık avantajı ve %8 maliyet avantajı ile benzer teknik gereksinimleri

yerine getirebilmiştir. Çalışmanın son kısmında boya gereksinimi ortadan kaldırmak için çalışmalar yapılabileceğine ve ayak-bar komplesinin tamamen plastik yapılması üzerinde araştırma yapılması tavsiyesinde bulunulmuştur.

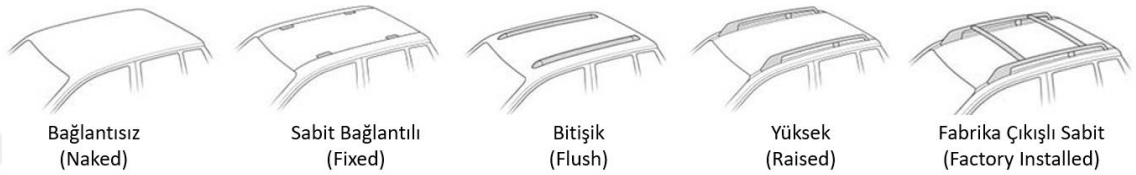
Mandadapu ve diğerleri tavan barlarını DFSS yöntemi ile ele alarak taşıma kapasitesini arttırmayı ve ağırlığı azaltmayı amaçlamışlardır. Tavan barı ağırlığı ve yük taşıma kapasiteni kalınlık, malzeme, yük konumu gibi parametrelerle kontrol etmişler ve analizlerinde yanal rüzgar ve aerodinamik kaldırma statik senaryolarını kullanmışlardır. Çalışma mevcut parça geometrisi ve alüminyum bar kesiti sabit olacak şekilde ele alınmıştır. Sonuç olarak kalınlık optimizasyonu ve ideal yük konumu ile toplam parça ağırlığının mevcut yük taşıma kapasitesinde yüzde 25 azaltılabileceğini savunmuşlardır.

Yapılan diğer çalışmada Softa ve arkadaşları tavan barlarının mevcut fonksiyonlarını da sorgulayarak tavan yüklerini braket yardımı ile direk olarak araç gövdesinde taşımayı önermişlerdir. Yükleme koşulları araç gövdesine aktarılmasından dolayı parçayı mevcuttan farklı olarak yeniden tasarlamışlardır. Ayrıca 4 farklı malzeme karşılaştırması yaparak yoğunluğu ve mukavemet değerleri daha düşük olan malzemelerden optimumum olanını belirlemişlerdir. Bu malzemelerin üretilebilirlik yönünden karşılaştırmasını da yaparak final tasarımı prototip yaparak doğrulamışlardır. Nihai tasarım tavan üzerinde yük taşıyıcı braketler bulunan ve üzerinde plastik estetik kapak şeklinde bir tavan olmuştur. Çalışma sonucunda 0,7 kg ağırlık azaltma ve yüzde 70 oranında maliyet avantajı sağlamışlardır.

Kim ve diğerleri yaptıkları çalışmada mevcut alüminyum tavan barı sistemlerinin farklı malzeme ve üretim metotları ile değiştirilmesi gerektiğini belirterek naylon (PA) ve sürekli cam elyaf malzemelerini içeren bir tasarım geliştirmişlerdir. Yaptıkları tasarımı 4 farklı statik senaryo ile sanal analiz ve gerçek araç üstü koşullarda test ederek doğrulamışlarıdır. Fiber yönlendirmesini kontrol altında tutabilmek adına üretim adımları iki kısımdan oluşmaktadır. Sürekli cam elyaf kumaş sıcak pres üretilerek kenar kesimleri yapılmaktadır. Ardından bu parça kalıp içine yerleştirilerek üzerine plastik enjeksiyon ile üzerine naylon malzeme basılmaktadır. Yapılan çalışma sonucunda yeni tavan barı tasarımı mevcut koşullarla benzer seviyede gereklilikleri yerine getirmektedir. Tasarım ile mevcut parça 3,8 kg'dan 2,6 kg'a düşürülmüştür.

2.2. Taşıt Tavan Barı Sistemleri

Otomotiv üreticileri müşteri ihtiyaçlarına çözüm üretebilmek adına çeşitli aksesuarlar geliştirmektedir. Tavan barları kullanım miktarı ve işlevleri göz önüne alındığında bu aksesuarların başında gelmektedir. Farklı segment araçlarda tavan barlarının çeşitli uygulamaları gözükmektedir. Ayrıca segment ve teknik çözümlere göre müşteriye sunulan tavan taşıma kapasitesi de farklılık göstermektedir.



Şekil 2. 1. Taşıt Tavan Barı Çeşitleri

Bağlantısız tavanlı araçlarda müşteri tavan barlarını tavan ve yan saç geometrisine uygun olarak kenetlenen tavan barlarını kullanabilir.

Sabit Bağlantılı tavanlarda araç üzerinde belirlenmiş bağlantı bölgeleri bulunmaktadır. Bu bağlantı bölgeleri genel olarak tavan üzerinde kaynak yada macun ile güçlendirilmiş alanlarda bulunmaktadır. Tavan barları bu bölgelerde bulunan braketlere kenetlenerek ya da braket üzerindeki sabit somunlara civata ile bağlanmaktadır.

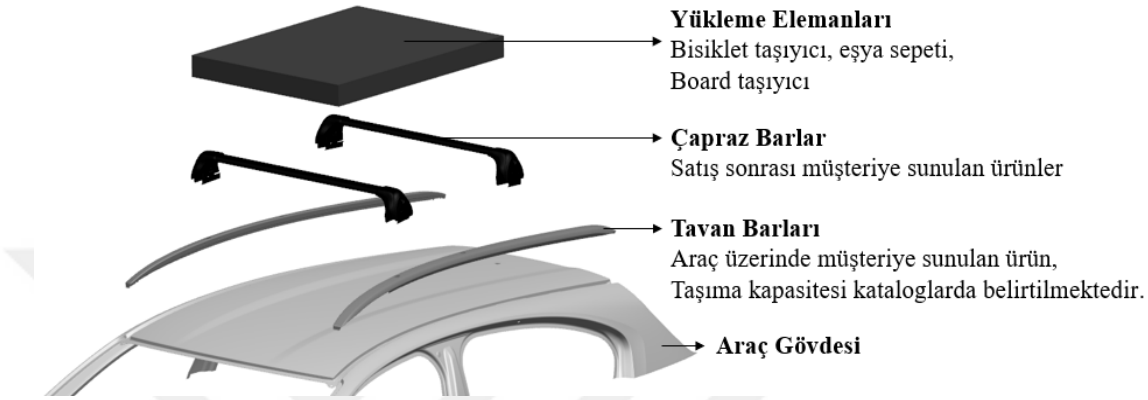
Bitişik tavan rayları genellikle SW araç kasalarında ve B ve üstü segmentlerde görülmektedir. Tavan barları araç gövdesine bağlı bulunan tavan rayları üzerine bağlanmaktadır.

Yüksek tavan rayları SUV, MPV ve LCV segmentlerinde sıkça kullanılmaktadır. Tavan rayları genellikle iki ya da üç ayak bölgesinden araca sabitlenmektedir. Barlar tavan rayları üzerine kenetlenerek monte edilmektedir.

Fabrika çıkışlı tavan tiplerinde raylar ve barlar araç üzerinde müşteriye sunulmaktadır. Genellikle spor ve doğa konseptli arazi araçlarında bu yöntem uygulanmaktadır.

2.3. Sistem Bileşenleri

Tavan barları araç gövdesine vidalı bağlantı ile sabitlenmektedir. Tavan barları üzerinde yük taşımak için satış sonrasında satılan çapraz barlar kullanılmalıdır. Çapraz barlar genellikle tavan barlarına kenetlenerek tutturulmaktadır. Taşımak istenen eşya çeşidine göre çapraz barlar üzerine bisiklet taşıyıcı, surf taşıyıcı, tavan valizi takılabilir.



Şekil 2. 2. Tavan Elemanları

2.4. Taşıt Tavan Barı Tasarımı

Taşıt tavan barlarının temel fonksiyonu araç üzerinde ekstra taşıma alanı oluşturarak araç kullanıcılarına yük taşıma imkânı sağlamaktır. Bunun yanında binek ve SUV segmenti araçlarda taşıt tasarımında görsel olarak stil parçası olarak da karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenle teknik tasarım sırasında parça stili en önemli girdidir. Bunun yanında malzeme ve malzemeye uygun üretim yöntemleri seçilmesi de tasarımı etkileyen faktörler arasındadır.

2.4.1 Tasarım Çalışmaları

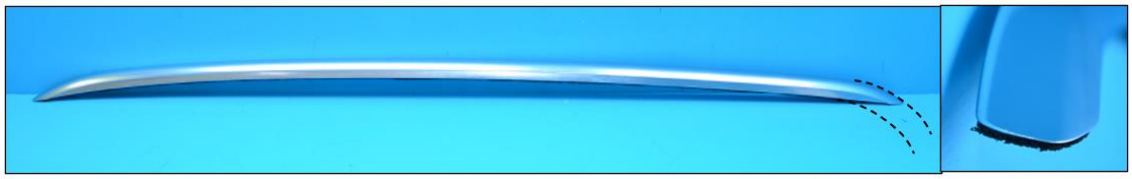
Tavan barları fonksiyonel gereksinimleri dolayısıyla genel olarak benzer alt parçalardan oluşmaktadır. Tasarımların birçoğunda alüminyum ekstrüzyon standart yük taşıyıcı eleman olarak bulunur. Ekstrüzyon sonrası stil gereksinimlerine uygun olarak form verme işlemi gerçekleştirilir. Form verme işlemi için yaygın kullanılan iki method bükme (bending) ve ya (germeli bükme) stretch bending yöntemleridir. Bu iki yöntem arasında seçim yapılırken büküm yönlerine uygun metot seçilmelidir. Basit bükümlü parçalarda

normal bükme yöntemi kullanılabilirken, üç eksen büküm yapılacak parçalarda barı uç kısımlarındaki burulmayı önlemek için germeli büküm yöntemi kullanılmalıdır.



Şekil 2. 3. Alüminyum Bar Büküm Yönleri

İstenilen stil formunun ön ve arka bölgelerindeki büküm yönü ve açısı sistemde alt parçaların seçimi için önemlidir. Uygun profil kesiti ve bitim açısı olduğunda AL bar büküm sonrasında araç tavanı profilinde kesim yapılarak kullanılabilir. Genellikle uç kısımlarda keskin bir eğrilik var ise bu tarz çözümler kullanılabilmektedir. (Şekil 2.3)



Şekil 2. 4. Profil Uç Kesimine Uygun Stil



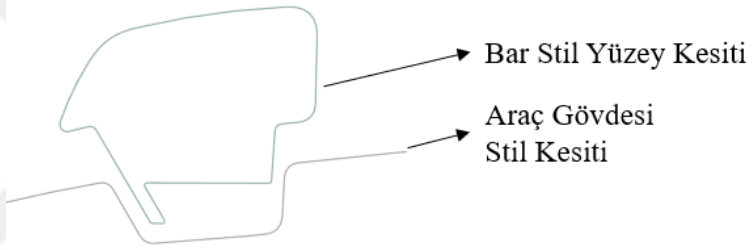
Şekil 2. 5.Profil Uç Kesimine Uygun Olmayan Stil

Eğer istenilen form Şekil 2.3'teki gibi kesme işlemi sonrasında kullanılmaya uygun değilse bar uç noktalardan daha uzak noktalardan kesilerek destek parçası ve estetik kapak ile kullanılmak zorundadır. Genellikle stil uç kısımlara doğru düze yakın bir açıyla

eğriliyorsa tavan yüzeyi ile uzun bir hat boyunca örtüşme olacaktır. Bu nedenle bükülmüş bar uzun bir çizgi boyunca kesilmelidir. Bu kesim bükülmüş barda ölçüsel uygunsuzluklara yol açabileceğinden tercih edilmemektedir. Bu tarz sistemlerde daha fazla alt parça kullanılmak zorundadır. Bu parçalar bar ile sıkı bir şekilde monte edilmelidir.

2.4.2. Mevcut Tavan Barı Tasarımı

Tavan barı tasarımı için gerekli stil kesiti ve yüzeyleri proje başında belirlenir. Bu projede olduğu gibi genel olarak stil ekstrüzyon kesitinin araç boyunca süpürülmesi ile oluşturulur. Kesit ekstrüzyon üretimine uygun olacak şekilde stil departmanı tarafından belirlenir. Sonrasında kesite uygun olarak parça kalınlığı, alt elemanlar ve bağlantı metodolojisi kararlaştırılır.



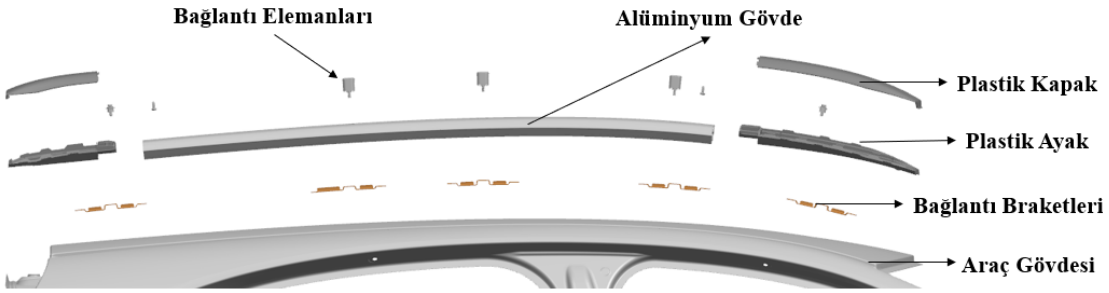
Şekil 2. 6. Araç Tavan ve Bar Kesiti

Mevcut tavan barı tasarımı şekil 2.7'de gösterilen alt parçalardan oluşmaktadır.

- Alüminyum Bar
- Ön ve Arka Destek Ayakları
- Ön ve Arka Estetik Kapaklar
- Bağlantı Braketleri
- Bağlantı Elemanları

6063 T6 malzemeden ekstrüzyon ile üretilen bara büküm ve ısıl işlem uygulanmaktadır. Form verilen parça boyanarak montaja hazır hale gelmektedir. Ön ve arka destek ayakları plastik enjeksiyon ile üretilmektedir. Parçaların üretiminde PET PBT %30 cam elyaf katkılı malzeme kullanılmaktadır. Parçaların araç üzerinde görülen bölgelerine boya

işlemi uygulanmaktadır. Destek ayakları AL bar üzerine vida ile monte edilerek araç üzeri montaja hazır hale gelmektedir.



Şekil 2. 7. Mevcut Tavan Barı Yapısı

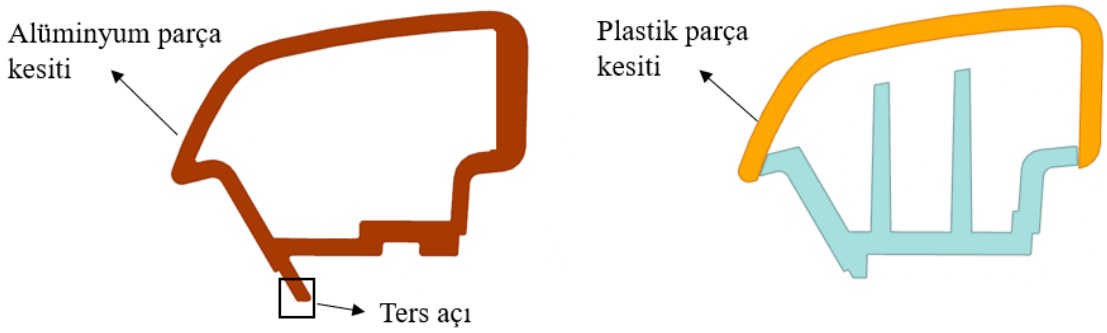
Estetik kapaklar ABS malzemeden plastik enjeksiyon yöntemi ile üretilmektedir. Parçalar enjeksiyon sonrasında boya işlemine tabi tutulur. Sonrasında ana taşıyıcı parçaların araç ile bağlantısı yapıldıktan sonra montaj hattında tavan barlarını üzerine takılmaktadır.

Bu tarz sistemlerde alt eleman sayısının fazlalığı parça üretim prosesinde karmaşık bir montaj yapısı gerektirmektedir. Ayrıca her parçanın ayrı ayrı üretilmesi ve boyama işlemine tabi tutulması parça birim maliyetini de arttırmaktadır.

2.4.3. Plastik Tavan Barı Tasarımı

Plastik parça tasarımı alüminyum ve ekstrüzyona göre çok farklı dinamiklere sahiptir. Parçanın kalıp çıkma açısına uygunluğu, feder yapıları, kalınlık ve radyus geçişleri temel olarak göz ardı edilmemesi gereken parametrelerdir.

Bu çalışmada tasarlanan parçada stil ve araç bağlantı yapısı sabit kabul edilecektir. Bu nedenle mevcut kesitin plastik enjeksiyona uygun olacak şekilde iki parça ayrılması gerekmektedir. Ayrıca yük taşıyıcı olarak kullanılacak parça malzemesi mukavemeti daha yüksek plastik ile üretilecektir. Bu nedenle çapraz bar bağlantıları destek parçasına temas etmesi için şekil 2.8'deki gibi bir ayrım öngörülmüştür. Bu ayrım ile görünür parça yüzeyleri tamamen mevcut parça ile aynı kalacaktır. Yalnızca tavan kanalı içerisinde kalan küçük bir kısım ters açıda kalmasından dolayı plastik tasarıma aktarılamamıştır. Ters açı kalıp açılma ekseninden bakıldığında görülemeyen yüzeyleri ifade etmektedir. Bu yapılar maça yardımı ile çıkarılabilmektedir.



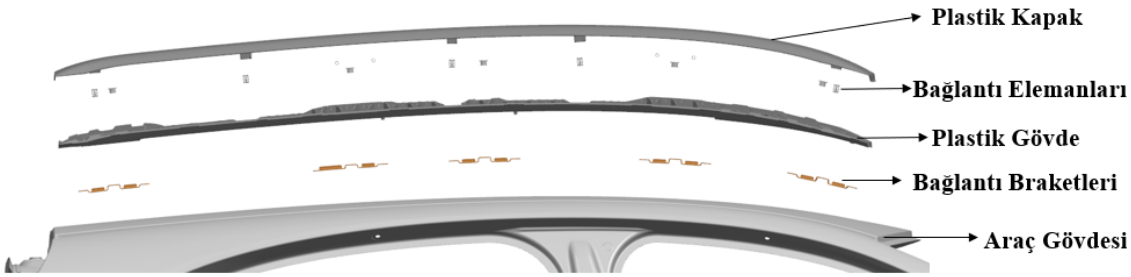
Şekil 2. 8. Plastik Parça İçin Kesit Çalışması

Yapılan bu kesit tasarımı ile parça iki ana gövdeden oluşacaktır. Plastik gövde seçilecek mukavemeti yüksek malzeme ile kapak ise ABS malzeme ile plastik enjeksiyonda üretilecektir. Plastik gövdenin araç bağlantı bölgeleri mevcutla aynı kalacak konumda kalacak fakat bu bölgelerde plastik parçanın aşınmasını önlemek ve bağlantı mukavemetini garanti etmek için metal burç kullanılacaktır. Parça araç gövdesine montaj yapıldıktan sonra metal klips ve tırnaklar yardımı ile estetik kapak montajı yapılacaktır.

Plastik tavan barı tasarımı şekil 2.9'de gösterilen alt parçalardan oluşmaktadır.

- Plastik Gövde
- Plastik Kapak
- Bağlantı Braketleri
- Bağlantı Elemanları

Bu yapı ile üretilen parça üretim prosesi olarak daha süreç ile üretilmektedir. Bu sebeple alüminyum bar üretimine göre maliyet olarak avantaj sağlayacaktır.



Şekil 2. 9. Plastik Tavan Barı Yapısı

2.5. Malzeme Seçimi

Mühendislik tasarımının en önemli aşamalarından birisi de malzeme seçimidir. Ortaya çıkacak ürünün fonksiyonları, kullanım yeri, ömrü gibi birçok unsur seçilecek malzemeyi etkilemektedir. Malzeme seçildikten sonraki kısımda ise seçilen malzemeye uygun üretim yöntemleri ve tasarım kriterleri ürün geometrisine yansıtılmalıdır. Bu kısımda tavan barlarında yaygın olarak kullanılan alüminyum ve plastik malzemeler ile ilgili genel bilgiler verilecektir.

2.5.1. Plastik Malzemeler

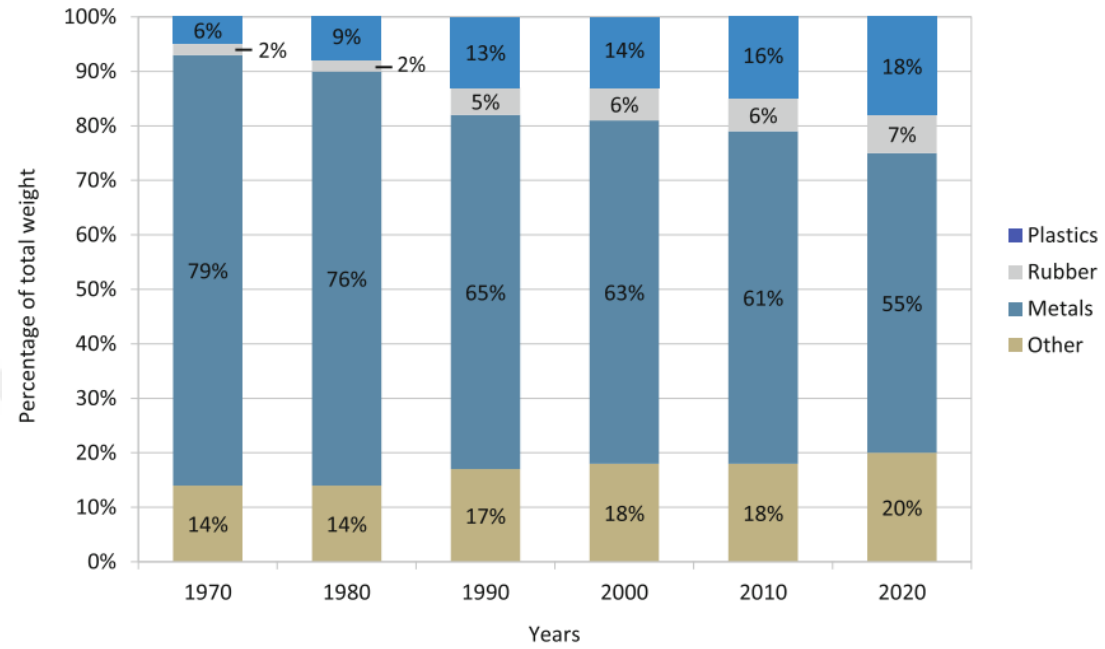
Otomotiv sektöründe plastikler geniş bir kullanım alanına sahiptir. Binek otomobillerde araç içerisinde ve dışında birçok parçada plastik hammaddelerin kullanımı görülebilmektedir. Avrupa da yapılan bir araştırma neticesinde otomotiv sektöründe kullanılan plastik hammaddenin toplamın tüketim içerisindeki payının %9,6 olduğu görülmüştür (PlasticsEurope, 2020). Bu payın plastik çeşitleri arasındaki dağılımı ise şekil 2.10'da gösterilmektedir.

Plastik Hammadde	Tüketim %
PP (Polipropilen)	23,3
PUR (Polyüretan)	17,0
PA (Naylon – Poliamid)	12,3
ABS (Akrilonitril – Butadien – Stir	7,9
PVC (Polyvinyl Chloride)	7,0
PE (Polietilen)	4,4
PC (Polycarbonate)	4,7
PBT (Polyvinlyl Butrayl)	2,0
Diğer Mühendislik Plastikleri	12,0
Diğer Reçineler	9,5

Şekil 2. 10. Otomotiv Plastik Hammadde Kullanım Oranları (PAGEV, 2016)

Görsel ve estetik parçaların yanı sıra mukavemet gerektiren parçalarda da plastik kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Otomotiv sektöründe plastik kullanımı aracın kullanım ömrü içerisinde yarattığı kirliliği azaltmak için bir çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır. Çözümdeki en önemli unsur ise araç ağırlığının azaltılmasıdır. Böylelikle gerek aracın üretimi sırasında gerekse yaşam döngüsü boyunca daha az emisyona yol açması sağlanabilir. Özellikle elektrikli araçların batarya ağırlıklarını da göz önüne alırsak gelecekte ağır parçaların hafif plastik muadilleri ile yer değiştirmesi ve dolayısıyla

plastiğe olan ihtiyaç artmaya devam edecektir. Geçtiğimiz yıllarda görülen artış bunu doğrulamaktadır. 2000 yılında araç üzerindeki parçaların ortalama %14 ü plastik malzemelerden oluşurken bu rakam 2020 yılında %18 e yükselmiştir (Schönmayr, 2017).



Şekil 2. 11. Otomotiv Plastik Kullanım Oranı (Weill, 2021)

Otomotivde kullanılan çok fazla sayıda plastik hammadde çeşidi vardır. Genel olarak kullanılan sınıflar PP, PUR, ABS, PA, PVC, PS, PE, PC, PMMA, PBT, PET, ASA ve POM dur. Ayrıca bu sınıflar katkı maddeleri ve birbirleri ile karıştırılarak istenilen özellikte hammaddeler elde edilebilmektedir. En çok kullanılan hammadde sınıflarının temel özellikleri aşağıdaki gibi özetlenebilir.

2.5.1.1. Polypropylene (PP)

PP otomotiv sektöründe en çok kullanılan plastik malzemedir. Güçlü kimyasal dayanım ve yorulmaya karşı direnci yanında ekonomik olarak daha diğer plastik türevlerine göre daha avantajlıdır. Kimyasal direnci ve darbe dayanımı orta seviyelerdedir. Yüksek termal genleşme katsayısı ve dış çevre şartlarına dayanımının düşük olması dezavantajlarındandır. Yüzey kaplama ve boya öncesinde ön yüzey hazırlık işlemlerine ihtiyaç duyar. PP, araç tamponları, çamurluk plastikleri, torpido gövdeleri ve tüm destek parçalarında kullanılabilmektedir.

2.5.1.2. Polyvinyl Chloride (PUR)

Yüksek esneklik özelliği dolayısıyla tercih edilen polimerlerdendir. Araçlarda koltuk, döşeme, yalıtım gerektiren yerlerde ve elastomer karakteristik gerektiren teker ve süspansiyon parçalarında kullanılmaktadır. Kimyasallardan kolay etkilenmez ve uzun ömürlüdür.

2.5.1.2. Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)

ABS yüzey kalitesi iyi olan bir plastik malzemedir, düşük sıcaklıklarda parlak, sert görünümünü koruyabilmektedir. Tabi rengi beyaz tonlarındadır. Kimyasal direnci ve darbe mukavemeti yüksektir. Boya ve kaplamaya uygunluğu dolayısıyla genellikle estetik parçalarda tercih edilir. Özgül ağırlığı PP ye yakındır.

2.5.1.3. Polyamide (PA)

Poliamitler mühendislik plastiklerindendir ve yarı kristal yapıdadır. Yüksek mukavemet özellikleri dolayısıyla dayanım gerektiren parçalarda sıkça kullanılmaktadır. PA 66 güçlü ve sert bir yapıda, PA 12 daha yumuşak ve esnek karakteristiktedir. Bu isimlendirme amid grubundaki karbon sayısına göre yapılmaktadır. PA malzeme katkı maddeleri ile kompozit malzemeler oluşturmaya çok müsaittir. Cam elyaf, karbon elyaf gibi katkılar ile yüksek mukavemet değerlerine ulaşabilmektedir.

2.5.2. Alüminyum

Alüminyum doğada en çok bulunan elementlerden biridir. Orta çağdan itibaren AL tuzu içeren bileşenler boya ve tıp alanında kullanılmıştır. Fakat AL doğada metal formunda bulunmadığından keşfi ve endüstriyelleşmesi oldukça geç olmuştur.

1807 yılında İngiliz bilim insanı Sir Humprey Davy elementin tuz bileşeni içindeki varlığını saptamıştır. Takip eden gelişmeler neticesinde 1845 yılında Wöhler, alüminyum metalinin birçok özelliğini tespit etmiştir. Düşük öz kütleye sahip bu metal 1800'lü yılların sonlarına doğru ticari olarak rekabet edebilecek yöntemlerle bileşenlerinden ayrılabilmiştir. Sonrasında hızla bakır, pirinç, bronz ve demir in muadili olarak

kullanılmaya başlanmıştır. Bu genç metalin 1885 yılındaki 200 ton olan yıllık üretimi 1990 yılında 18 milyon tona yükselmiştir. (Geoff, 1999)

AL ve alaşımları günümüzde en önemli mühendislik malzemeleri arasında yer almaktadır. Demir çelikten sonra dünyada en fazla kullanılan metaldir. Alüminyumun bu şekilde önemli bir malzeme olmasının başlıca sebepleri alttaki gibi sıralanabilir. (Başer, 2012)

- Düşük öz kütle ve yüksek mekanik özellikler
- Yüksek kütlesel ısı iletkenliği
- Yüksek kütlesel elektrik iletkenliği
- Korozyon Dayanımı
- Güçlü Yansıtma ve Düşük Emisyon
- Düşük enerjili geri dönüşüm
- Alaşım çeşitliliği
- Kolay işlenme ve şekillendirme

AL alaşım halinde birçok farklı mekanik karakteristiğe sahip olabilir. Alaşımlar temel olarak bakır, silisyum, magnezyum, manganez, çinko ve bronz kullanılarak elde edilir. Alaşımlar soğuk işlemle ve ısıl işlemle sertleştirilebilir. Alaşımlar içerdiği element tipi ve uygulanabilen sertleştirme yöntemine göre şekil 2.12'deki gibi sınıflandırılabilir. 4xxx sınıfı alaşımlar kaynak teli yapımı ve lehim kaplama işlemlerinde kullanılabilir.

Soğuk İşlemle Sertleştirilebilenler	**Isıl İşlemle Sertleştirilebilenler**
1xxx : En az 99% saflıkta alüminyum	2xxx : Alüminyum ve bronz alaşımları
3xxx : Alüminyum ve manganez alaşımları	6xxx : Alüminyum, magnezyum ve silisyum alaşımları
5xxx : Alüminyum ve magnezyum alaşımları	7xxx : Alüminyum, çinko ve magnezyum alaşımları
8xxx : Diğer alaşımlar	

Şekil 2. 12. Alüminyum Sınıfları (Geoff, 1999)

Alaşım çeşidi seçildikten sonra tasarım ve fonksiyon gereksinimlerine uygun olarak sertleştirme işlemi seçimi yapılmalıdır. Sertleştirme işlemleri F, H, W ve T harfleri ile ifade edilir. Sertleştirme şekillerinin detayları ve kısaltmaları Çizelge 2. 1'de görülebilir.

Çizelge 2. 1. Alüminyum Isıl İşlem Çeşitleri (Kvande, 1999)

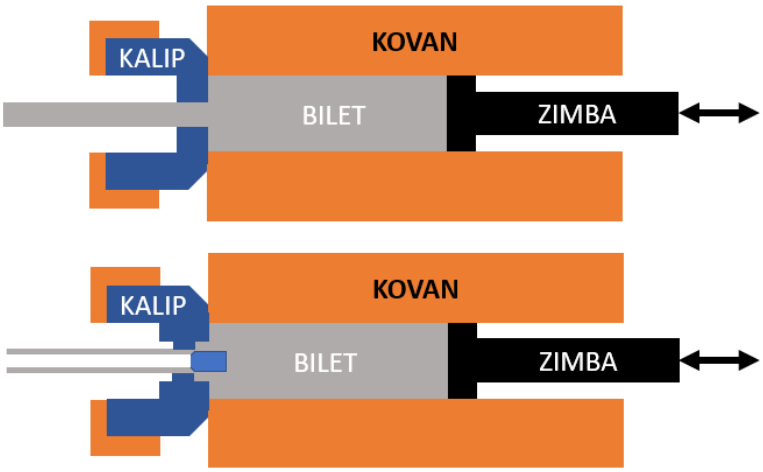
Kısaltma	Açıklama
F	İmal edildiği şekilde, işlem görmeyen
0	Tavlama
H1x	Sadece soğuk şekillendirilme
H2x	Soğuk şekillendirme, kısmi tavlama
H3x	Soğuk şekillendirme, kararlaştırma
W	Çözelti ısıl işlemi
T	Yaşlandırma
T1	İmalat sıcaklığında soğutma, doğal yaşlandırma
T2	İmalat sıcaklığında soğutma, soğuk şekillendirme, doğal yaşlandırma
T3	Çözelti ısıl işlemi, soğuk işleme ve doğal yaşlandırma
T4	Çözelti ısıl işlemi, doğal yaşlandırma
T5	Yüksek sıcaklıkta şekillendirme, yapay yaşlandırma
T6	Çözelti ısıl işlemi, yapay yaşlandırma
T7	Çözelti ısıl işlemi, kararlaştırma
T8	Çözelti ısıl işlemi, soğuk işleme ve yapay yaşlandırma
T9	Çözelti ısıl işlemi, yapay yaşlandırma ve soğuk işleme
T10	İmalat sıcaklığında soğutma, yapay yaşlandırma

2.6. Üretim Yöntemleri

2.6.1. Ekstrüzyon

Alüminyum alaşımları birçok metal üretim yöntemine uygundur. Döküm, ekstrüzyon, haddeleme, dövme gibi birçok işleme tabi tutulabilirler. Dişli kutuları, jant, travers gibi otomotiv parçaları döküm yöntemi ile üretilirken, radyatör, koltuk rayları ve gövde taşıyıcı elemanlar dövme ve ekstrüzyon yöntemleri ile üretilmektedir.

Ekstrüzyon, otomotivde ilk olarak 1904 yılında Amerika da kullanılmıştır. Proses diş macununun tüpten sıkılmasına benzetilebilir. Macun tüp sıkıldığında ön kapağa benzer şekilde uç kısımda şekil almaktadır.



Şekil 2. 13. Alüminyum Ekstrüyon

Ekstrüzyon için kullanılacak alaşım biyeti ön ısıtmaya tabi tutularak yumuşaması sağlanır. Isıtılan biyet yaklaşık benzer sıcaklıklardaki kovana alınarak işleme hazır hale getirilir. Burada bahsedilen sıcaklık alaşım tipine göre değişmekle birlikte yaklaşık 350°C-500°C arasındadır. Malzeme basınç yardımıyla istenilen şekildeki kesit kalıbından geçirilerek sabit kesitli profiller üretilmektedir. Kalıptan çıkan sıcak profil yine malzeme tipine bağlı olarak gaz ile ya da sıvı ile soğutulur ve istenilen boyda kesilir. Kalıp ölü bölgesinde kalan oksitlenmiş alaşım ise kesilerek alınır. (Pradip, 2000)

Ekstrüzyon işlemi mukavemeti yüksek kesitlerin geliştirilmesi için çok uygun bir yöntemdir. Kompleks kesitler sayesinde atalet momenti yüksek profiller üretilebilmektedir. Öte yandan ekstrüzyon kalıp imalatı yaklaşık olarak 2 hafta gibi bir sürede yapılabilirken bu süre döküm ve enjeksiyon kalıplarında 20 haftaları bulabilmektedir. Bu açıdan ekstrüzyon kalıpları çok büyük bir avantaja sahiptir. Ayrıca maliyet olarak da bu kalıplara göre yaklaşık olarak yüzde 80 daha ucuzdur. Tasarım aşamasında düşük bütçelerle nihai ürünü test etme olanağı sağlamaktadır. Genel olarak prosesin avantajları alttaki gibi özetlenebilir. (Aluminum Extrusion Manual, 2014)

- Kompleks kesit uygulama imkânı
- Sürekli, kesintisiz üretim
- Yüksek tolerans hassasiyeti
- Kısa devreye alma süresi
- Geniş kaplama seçeneği

- Farklı birleştirme ve montaj seçenekleri
- Uygun maliyet

Alüminyum alaşımlarının birçoğu ekstrüzyon işlemi için uygundur. Fakat mukavemet ve proses faktörleri göz önüne alındığında 6xxx ve 7xxx serileri en çok tercih edilen alaşımlardır. 7xxx serisi alaşımlar daha yüksek mukavemet değerlerine sahiptir fakat korozyon dayanımları daha düşüktür. 7004, 7005 alaşımları daha kolay ekstrüze edilebilmektedir. 6xxx serisi alaşımlar daha düşük mukavemet değerlerine sahiptir fakat korozyon dayanımı ve kaynak kabiliyetleri daha yüksektir. (Yıldırım, 2006)

Çizelge 2. 2. Ekstrüzyon Alaşımlarının Mekanik Özellikleri (Yıldırım, 2006)

Alaşım ve ısıl işlem	Gerilme dayanımı (Mpa)	Akma sınırı (Mpa)	50 mm'deki uzama (%)	Kesme dayanımı (Mpa)	Elastisite modülü (Gpa)
6005-T5	305	270	12	200	69
6061-T1	150	90	20	100	69
6061-T4	240	145	22	165	69
6061-T6	310	275	12	205	69
6063-T4	170	90	22	105	69
6063-T5	185	145	12	115	69
6063-T6	240	215	12	150	69
7004-T5	400	340	15	220	72
7005-T5	395	350	15	225	72
7116-T5	360	315	14	200	70
7029-T5	430	380	15	270	70
7129-T5	430	380	14	270	70

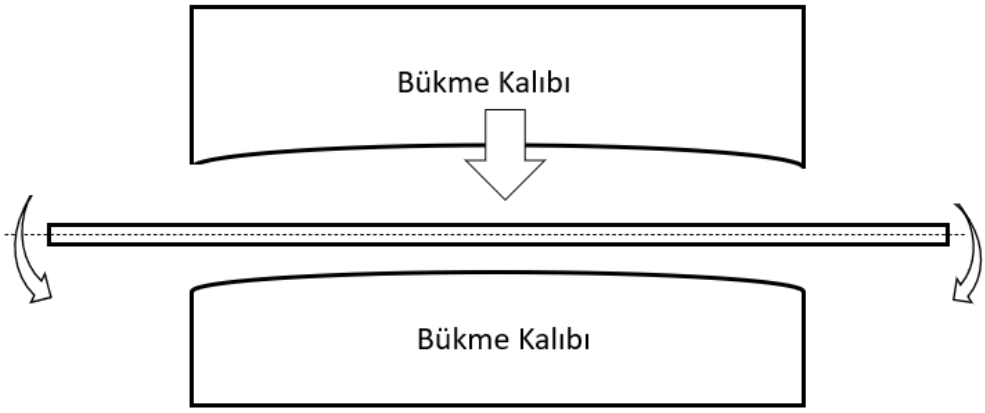
2.6.2. Büküm

Alüminyum malzemelerin birçoğu ekstrüzyon prosesine uygundur. Bu sayede daha hafif ve yüksek mukavemetli kesit tasarımlarına izin vermektedir. Üretilen profiller otomotiv, inşaat, havacılık gibi birçok sektörde kullanılmaktadır. Fakat genellikle bu profillerin şekillendirilmesi gerekmektedir. Büküm işlemi görece ekstrüzyona göre daha zordur. Kırılma, buruşma, yüzey bozulmaları ve geri esneme gibi birçok hatanın kontrol altında tutulması gerekmektedir.

Büküm işlemi için kullanılan başlıca yöntemleri basarak bükme (press bending), makaralı bükme (roll bending), sararak bükme ve gererek bükme (stretch bending) olarak sıralanabilir. Uygun büküm yönteminin seçilmesi için alt faktörler göz önüne alınmalıdır.

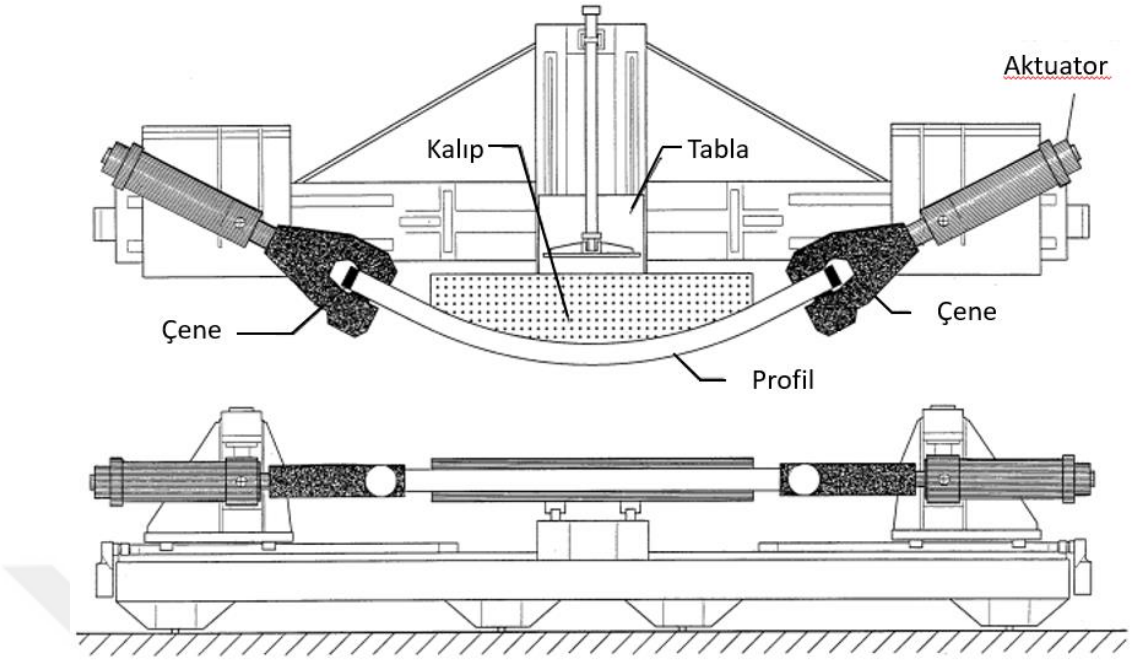
- Alaşım tipi
- Profil Kesiti
- Final ürün toleransı ve radyus toleransı
- Estetik Yüzeyler

Tavan barı için en çok tercih edilen büküm yöntemleri basarak bükme ve gererek bükmedir. Basarak bükme erkek ve dişi kalıbın kapanarak istenilen şeklin profile aktarılması ile elde edilir. Genellikle çok fazla eğrilik olmayan tasarımlarda kullanılır. Düşük maliyetlidir, hidrolik ya da pnömatik sistemlerle uygulanabilmektedir. Dezavantajları uç kısımlarda uzunluk kontrolü yapılamamaktadır ve yüzeylerde belirgin deformasyonlar oluşabilmektedir.



Şekil 2. 14. Basarak Bükme

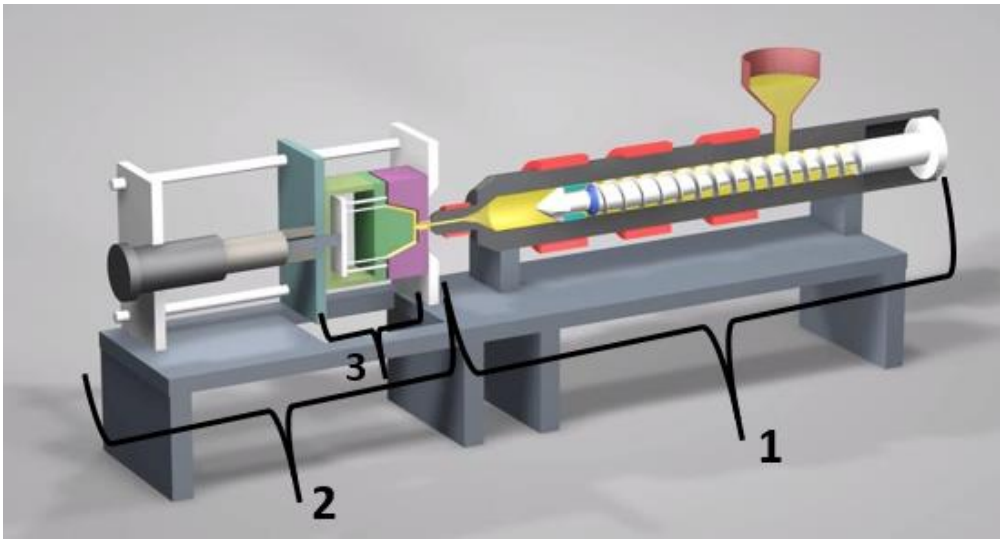
Germeli bükme geri esneme kuvvetinin daha fazla kontrol altında tutulabildiği bir yöntemdir. Profil büküm öncesinde iki ucundan makine çeneleri yardımıyla sabitlenir. Ardından plastik deformasyon oluşması için çekilerek gerdirilir. Bu germe kuvveti etkisi altında büküm yapılacak şekle uygun kalıba aktarılır. Şekil verme esnasında çenelerdeki aktuator burulma ve gerginlik kontrol altında tutulur. (Clausen, Hopperstad, & Langseth, 1999)



Şekil 2. 15. Gererek Bükme Makinası (J.E. Miller, S. Kyriakides, & Bastard, 2000)

2.6.3. Plastik Enjeksiyon

Enjeksiyon kompleks geometrideki plastik parçaların yüksek hızda ve tekrarlı olarak üretilmesi için ideal bir yöntemdir. Ayrıca geniş malzeme seçeneği sunmaktadır. Tasarım beklentisine göre farklı özellikte malzemeler seçilebilir ve malzemeye uygun şartlarda proses parametreleri belirlenir.



Şekil 2. 16. Plastik Enjeksiyon Makinesi (Anonim, 2021)

Enjeksiyon makinesi 3 kısımdan oluşur. Enjeksiyon ünitesinde (1) hammadde ısıtılarak eritilir ve vida yardımı ile kalıbın içine aktarılır. Kapama ünitesi (2) plastik kalıbın enjeksiyon boyunca basınç altında açılmasını önleyen ve erkek/dişi kalıbın hareketini sağlayan kısımdır. Makine üzerinde her parça için ayrıca tasarlanan ve parçanın şeklini veren eleman ise kalıptır (3). Üretilecek parça büyüklüğüne göre farklı ebat ve tonajlarda makineler bulunmaktadır. Yatırım ve üretim süreleri belirlenerek uygun ebatta makinelerin kullanılması maliyet açısından önemlidir.

Enjeksiyon birbirini izleyen adımlardan oluşmaktadır. Prosesi temel olarak 5 ana adımda özetleyebiliriz.

Besleme aşamasında kovanda kurutularak bekletilen malzeme vida içerisine alınır ve ısıtıcılar yardımıyla eritilir.

Enjeksiyon kısmında eriyik hammadde kalıp içerisine aktarılır. Önceden kalıba göre programlanmış miktarda malzemenin vidanın hareketi ile kalıbın içine girmesi sağlanır.

Ütüleme kısmından parça üzerinde estetik çöküntü, çarpılma gibi hatalar olmaması için plastik bir süre yüksek basınç altında tutulur. Parça büyüklüğü ve malzeme cinsine göre belirlenen süre boyunca basınç devam eder.

Soğutma katı hale gelen parçanın kalıptan çıkarılmadan önce sıcaklığının düşürülmesidir. Bunun için kalıp içerisinde bulunan soğutma kanalları kullanılır. Toplam enjeksiyon süresinin yarısından fazlasını soğutma işlemi oluşturur. Malzeme cinsi, parça geometrisi ve et kalınlığına göre değişkenlik gösterir. Bu aşamada vida geri çekilerek ağızdaki malzeme geri emilir ve bir sonraki parça üretimi için hazır hale gelir.

Parçanın çıkarılması için kalıp açılır ve genellikle iticiler yardımı ile parça kalıptan uzaklaştırılır. Hazır olan parça robot ya da el yardımıyla makinadan alınır.

Plastik parça tasarımı için kalıplanabilirlik önemli bir parametredir. Yapılan tasarımın kalıpla ilgili proseslere uygun olması gerekmektedir. Çıkma açısı, ayrım hattı, kalınlık geçişleri yolluk pozisyonları gibi birçok konunun tasarım aşamasında kararlaştırılması gerekmektedir. Plastik malzemeler mekanik ve termal açıdan çok farklı özelliklere sahip

olduğundan parça ve kalıp tasarımı esnasından kullanılacak malzemenin de seçilmiş olması önemlidir. (Malloy, 2011)

2.6.4 Montaj

Birçok tasarım farklı sebeplerden dolayı alt parçalara ayrılmaktadır. Malzeme çeşitliği, üretim yöntemi farkları, yüzey işlemi farkları gibi nedenlerle ayrı ayrı üretilen alt parçalar bir araya getirilerek nihai ürün elde edilir. Bu aşamada uygulanan tüm birleştirme yöntemlerine montaj adı verilir. Montaj operasyonları parça maliyetinin yüzde 30 kadarlık bir kısmını ve toplam üretim süresinin yarısını kapsayabilmektedir. Bu nedenle özellikle yüksek üretim adetli parçalarda tasarım aşamasından itibaren öz önünde bulundurulması gerekmektedir. (Tempelman, Shercliff, & Eyben, 2014)

Montaj operasyonları 5 ana başlık altında sınıflandırılabilir;

- Kaynak (metal ve plastik)
- Lehimleme (Bazı metal)
- Yapıştırma (Tüm malzemeler)
- Mekanik Birleştirme (Tüm malzemeler)
- Form Vererek Birleştirme (Tüm malzemeler)

Bu birleştirme yöntemlerinden bazıları (kaynak, perçin gibi) parçanın üzerinde fiziksel ve kimyasal değişikliği yol açtığından geri sökülmesi için deforme edilmesi gerekmektedir. Tavan barları araç üzerinde takılıp sökülebilir parçalar olması gerektiğinde genel olarak mekanik birleştirme yöntemlerinden vida, burç çakma ya da formlu birleştirmeden snap fit gibi yapılar kullanılarak montaj edilmektedir.

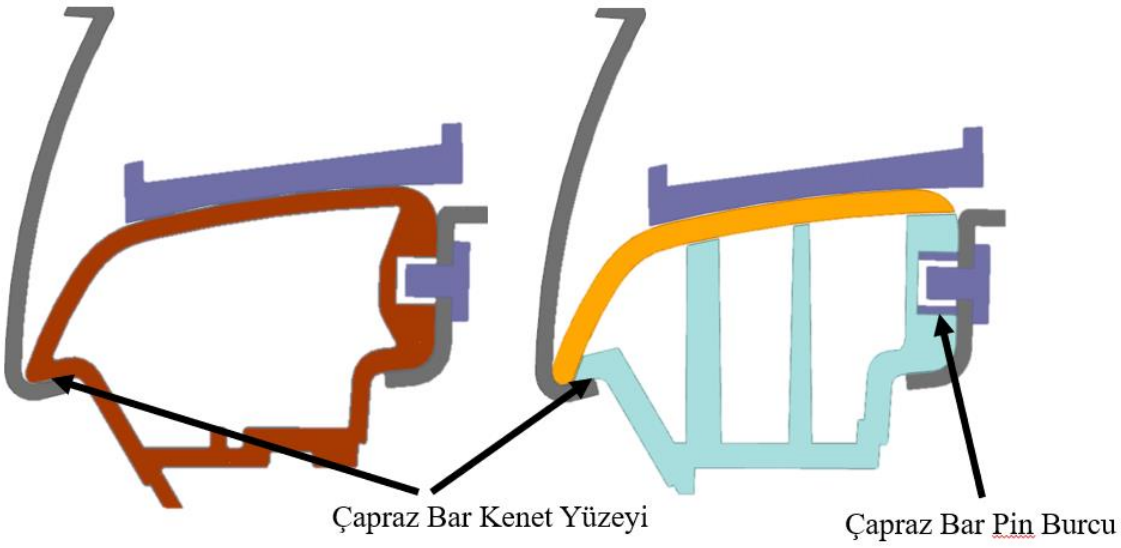
3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu kısımda parça tasarımı, malzeme seçimi ve doğrulama için yapılacak olan analizlerin detayları anlatılacaktır.

3.1. Tasarım Çalışmaları ve Malzeme Seçimi

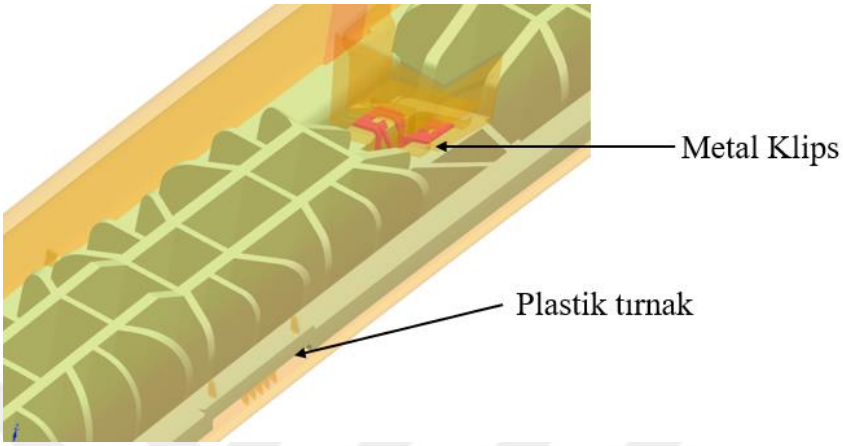
Plastik tavan barı tasarımı NX Unigraphics programı kullanılarak yapılmıştır. Mevcut stil yüzeyleri tasarıma girdi olarak alınmıştır. Stil yüzeyleri için bağlantı yapısı çözümleri, ek bağlantı elemanı ihtiyacı konsept olarak belirlenerek ilgili alanlarda kesit çalışması yapılmıştır. Plastik parça üretiminde kapalı kesitlerin üretilebilmesi için gaz destekli kalıplama (GAS) kullanılabilir fakat kalıp yatırım ve makine yatırımı dolayısıyla çok fazla tercih edilen bir yöntem değildir. Bu çalışmada da yapılan tasarım enjeksiyon üretim yöntemine uygun olacak şekilde geliştirilmiştir.

Parçanın plastik enjeksiyon üretim yöntemine uygun hale gelmesi için parça 2 kısma bölünmüştür. Çapraz barların kenet ayakları alt destek parçasına güç aktaracak şekilde tasarlanmıştır. Böylelikle estetik olarak kullanılan kapak mukavemeti daha düşük fakat estetik olarak daha stabil sonuçlar veren ABS malzeme seçilecektir.



Şekil 3. 1. Alüminyum Bar Kesiti ve Plastik Kesit

Estetik kapak parçası alt destek parçası üzerine metal klipsler ve plastik tırnak (snap fit) yapıları ile monte edilecektir. Mevcut stil yüzeyleri plastik parça üretimi öngörülmeden oluşturulduğu için bağlantı ile ilgili çözümlerin mevcut yapıya uygun olarak geliştirilmesi gerekmektedir.

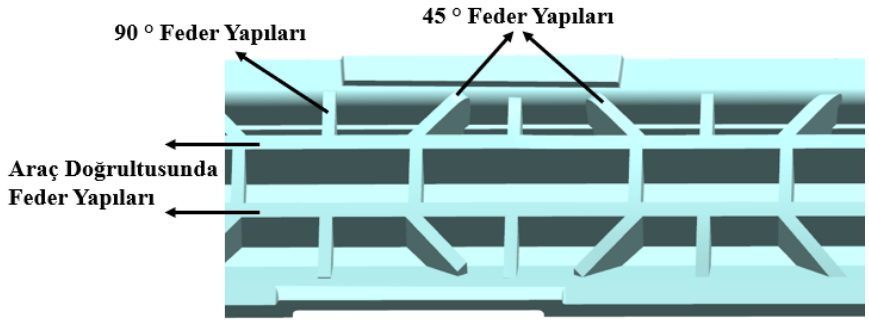


Şekil 3. 2. Estetik Kapak Bağlantı Yapısı

Plastik tavan barlarının kullanımları yaygınlaşırsa ileriki projelerin ilk aşamalarında stil olarak plastik kullanımına uygun yüzeyler çalışılabilir. Böylelikle yapılan parçaların estetik görünümlerinde de farklı konseptlerin önü açılabilir.

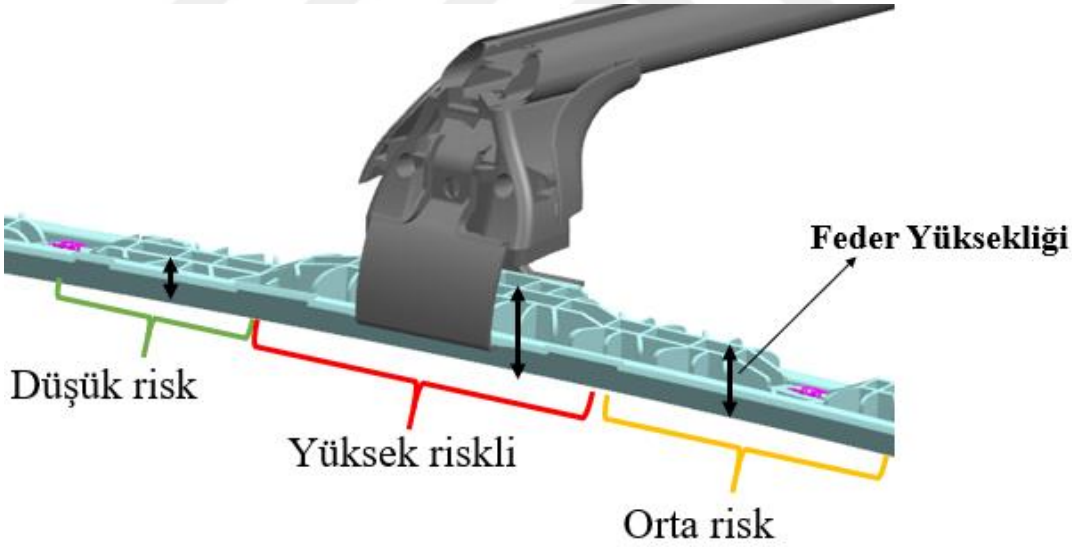
İkinci parça olan alt destek parçası araç üzerine konulan yük ile araç gövdesi arasında köprü görevi görmektedir. Bu parça önceki bölümde gösterilen şekilde 5 noktadan araç gövdesi ile sabitlenmektedir. Taşınacak yük ise 2 adet çapraz bar üzerine konulmaktadır. Çapraz barların konumları parça üzerine konulan pim delikleri yardımıyla garanti altına alınmaktadır. (Şekil 3.1) Ayrıca bu pimler kenetlerin tavan barları üzerinde kayarak çizilmeye yol açmasını engellemektedir.

Alt destek parça üzerine yükün dağıtılması ve mukavemeti artırmak amacıyla plastik parça tasarımına uygun federler eklenmiştir. Feder geometrisi mevcut parçanın ön ve arka ayaklarında kullanılan şekle benzer geometri de oluşturulmuştur. Feder et kalınlığı görsel olmayan bölgelerde yaklaşık parça et kalınlığı ile aynı olacak şekilde yapılmıştır. Feder yönleri uygulanan yükler göz önüne alınarak araç yönünde iki sıra kesintisiz destek federi ve bunlara 45° açı ile bağlanan yardımcı federler olarak belirlenmiştir. Bunları arasına da parçanın iç ve dış duvarları arasında köprü oluşturacak dik federler koyulmuştur.



Şekil 3. 3. Destek Parçası Feder Yapısı

Feder boyutları belirlenirken parça üzerindeki stres büyüklükleri baz alınarak 3 sınıf belirlenmiştir. Ön ve arka çapraz bar bağlantıları arasında kalan bölgede uç kısımlara oranla daha fazla kuvvet aktarıldığı için orta riskli bölge olarak işaretlenmiştir. Yüksek riskli bölgelerde uzun federler kullanılırken düşük riskli bölgelerde kısa federler kullanılarak fazla malzeme kullanımı önlenmiştir.



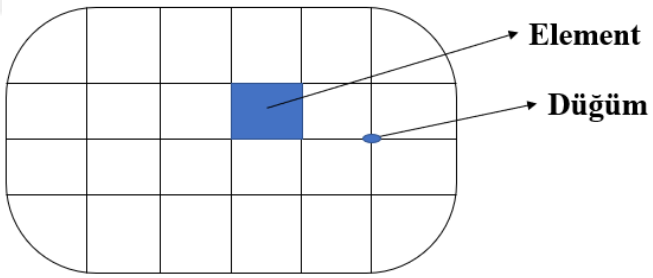
Şekil 3. 4. Feder Boylarının Belirlenmesi

Alt destek parça malzemesi olarak mühendislik plastiklerinden olan PA6 GF+MD 40 malzeme kullanılacaktır. Malzeme mekanik değerleri, ısıl genleşme katsayısı ve enjeksiyon prosesine uygunluğundan dolayı seçilmiştir.

3.2. Sonlu Elemanlar Yöntemi

Sonlu Elemanlar (SE) yönteminin temeli kompleks ve karmaşık boyuttaki bir problemin birbiri ile bağlantılı alt parçalara bölünerek çözülmesi prensibine dayanmaktadır. Bu açıdan yüzyıllar öncesinde dairenin alanını hesaplamak için küçük üçgenler oluşturarak sonuca gitmeye benzetilebilir. Küçük parçaların çözümleri birleştirilerek ana problemin çözümüne yaklaşılır. Bu yöntem bilgisayar ve hesaplama teknolojilerinin gelişmesi birçok sektörde kullanılan bir çözüm halini almıştır.

Sonlu elemanlar yönteminde analiz edilecek problem ya da geometri birbiri ile bağlantılı elemanlar(mesh) olarak ifade edilir. Bu elemanlar düğümler(node) yardımı ile ilişkilendirir. Problemin çözümünde bu elemanların yer değiştirme ve gerilim denklemleri matris olarak ifade edilir ve birbiri ile sınır şartları sağlayacak şekilde çözülerek nihai çözüme ulaşılır. Burada eleman sayısı ne kadar fazla ise sonucun sayısal analiz doğruluğu o kadar artacaktır. Fakat aynı zaman analiz için ayrılan sürenin de artmasına yol açacaktır. (Bois, 2000)

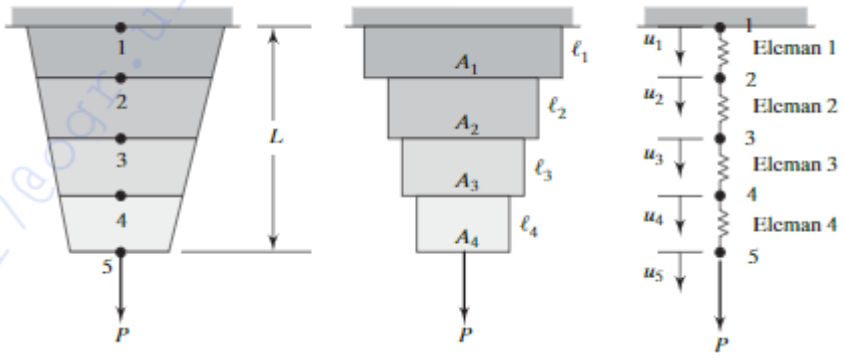


Şekil 3. 5. Eleman ve Düğüm

SE yönteminde sabit yük altında çalışan deformasyonların çözümü için statik analiz yöntemleri kullanılırken, zaman bağlı değişken yüklerin altında çalışan sistemler için dinamik analiz metotları kullanılır. Titreşim ve harmonik yükler bu sınıfa örnek verilebilir.

Herhangi bir sonlu elemanlar problemini çözmek için aşağıdaki adımlar izlenmelidir.

1) Problemin alt parçalar ayrılarak ifade edilmesi



Şekil 3. 6. Problemin Alt Elemanlara Ayrılması

2) Elemanların fiziksel karakteristiğini ifade edecek şekil fonksiyonunun belirlenmesi

Elemanların fiziksel özellerini ifade ederken temel gerilme ve yer değiştirme denklemleri kullanılır. Gerilim, birim alana düşen kuvveti ifade etmektedir.

$$\boldsymbol{\sigma = \frac{P}{A}} \qquad 3.1$$

Formülde σ gerilimi, P uygulanan kuvveti ve A alanı ifade etmektedir. Birimi SI formatında N/m2 ya da Pascal (PA) dır.

Gerinim ise yük uygulandığında birim uzunluktaki yer değiştirmeyi ifade eder. Oran olarak kullanıldığından birimsizdir. Kuvvet kaldırıldığında parçada kalıcı olarak deformasyon oluşuyorsa plastik, parça eski haline dönüyorsa elastik deformasyon olarak isimlendirilir.

$$\boldsymbol{\epsilon = \frac{\Delta l}{l}} \qquad 3.2$$

Gerilim ve gerinim arasındaki oran ise elastisite modülü(E) olarak ifade edilir. Parça üzerindeki gerilimin sebep olduğu yer değiştirme ne kadar az ise elastisite modülü o kadar büyüktür.

$$\mathbf{E} = \frac{\boldsymbol{\sigma}}{\boldsymbol{\epsilon}} \qquad 3.3$$

3) Fonksiyonların eleman özelinde denklem haline getirilmesi

Şekil 3.6 da örnek sistem 4 eleman ve 5 düğüme ayrılmıştır. Burada 5 düğüm için sınır şartlarını kullanarak 5 adet denklem yazılır.

4) Tüm problemi temsil etmek için elemanların birleştirilmesi

Yazılan denklem matris çözümü ile ifade edilerek global rijitlik matrisi, yer değiştirme matrisi ifade edilir.

5) Sınır şartların, başlangıç şartları ve yüklerin ifade edilmesi

Kuvvet matrisi ile etki eden yükler ifade edilir.

[Rijitlik Matrisi] {Yer değiştirme Matrisi} = {Kuvvet Matrisi} 3.4

6) Çözümün yapılması

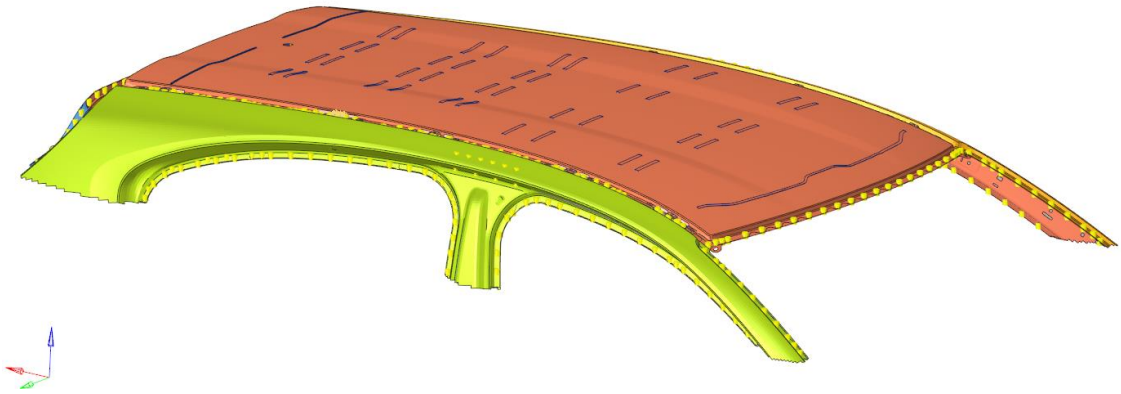
Düğüm noktalarındaki yer değiştirme (ısı transferi için sıcaklık) ve kuvvet değerleri matriste ilgili düğümlere eklenerek denklem takımının çözülmesi (Moaveni, 2015)

3.3. Sayısal Analiz

Bilgisayar destekli analiz yöntemleri ürünlerin tasarım aşamasında performans değerlendirmesinin yapılmasını sağlamaktadır. Böylelikle ürün geliştirme süreleri kısalmakta, yanlış yatırımların önüne geçilmektedir. Bu çalışmada mevcutta seri üretimde kullanılan bir parçaya alternatif olarak geliştirilen ürünün performans yeterliliği yapılan analizler ile doğrulanacaktır.

Parçanın DIN 75302 ve ISO 11154 normlarına uygunluğunu denetlemek amacıyla 10 adet statik senaryonun analizi yapılacaktır. Senaryolar aracın kullanım ömrü boyunca karşılaşacağı yükleri temsil etmektedir. İlerleyen kısımda tüm senaryoların karşılık geldiği kuvvet bilgisi detaylı olarak açıklanmıştır.

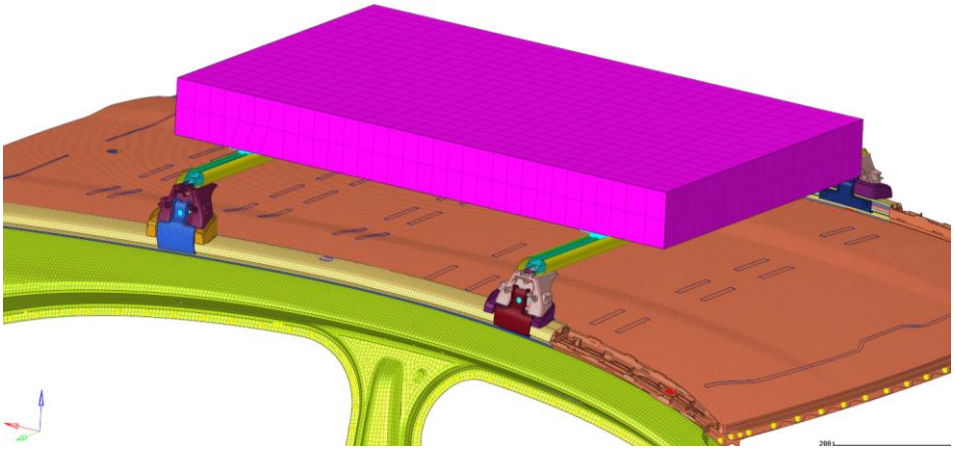
Analiz için gövde modeli olarak proje aşamasında TOFAŞ arge tarafından kullanılan araç gövdesi modeli kullanılmıştır. Burada yapılacak analiz tavan üzerine konumlandırılan parçayı kapasadığı için gövdenin üst kısmı kullanılacaktır.



Şekil 3. 7. Gövde Analiz Modeli

Sonlu elemanlar modeli oluşturulurken Hypermesh 17.0 yazılımında Nastran arayüzüne uygun formatla çalışılmıştır. Gövde ve parça elemanları eleman boyutu 5 olacak şekilde dörtgen (Quad) elemanlar seçilmiştir.

Gövde üzerindeki yükler çapraz barları ortalayacak şekilde standartlarda belirtildiği şekilde yerleştirilmiştir.



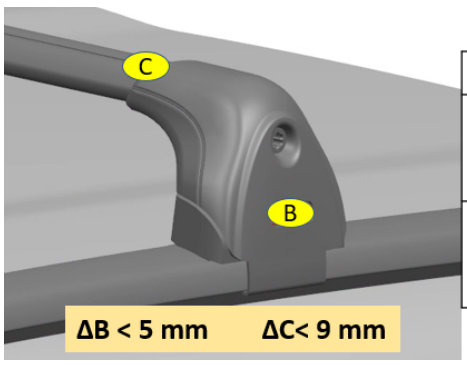
Şekil 3. 8. Tavan Barı ve Yük Yerleşimi

Gövde üzerindeki genel çelik malzemeler için ve plastik malzeme seçimi için malzeme değerleri alttaki gibidir. Plastik malzemeler sıcaklık altında farklı tepkiler verdiği için analizler 23°C ve 80°C deki mekanik değerlere göre tekrarlanarak yapılmıştır.

Çizelge 3. 1. Malzeme Mekanik Değerleri

Malzeme	**E Young mod. [MPa]**	**Poisson Mod**	**Yoğunluk [t/mm3]**
Çelik	205000	0.30	7.86 E-9
Aluminyum	70000	0.33	2.71 E-9
PA 6 GF+MD 40 23°C	6000	0.42	1.47 E-9
PA 6 GF+MD 40 80°C	2680	0.42	1.47 E-9

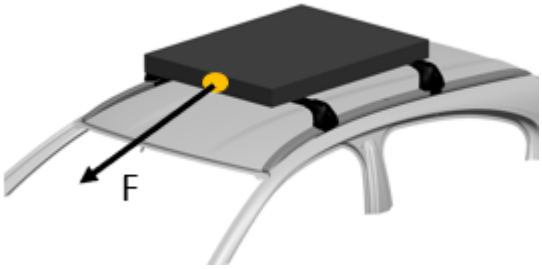
Analiz sonuçları belirlenen B ve C noktalarındaki yer değiştirme değerleri ile kontrol edilmektedir. Burada maksimum hedef değer B noktası için 5 mm, C noktası için 9 mm olarak alınmaktadır.



Ölçüm	X	Y	Z
B	Çapraz bar merkez yüzeyi	Bar ayağının dış yüzeyi	Tavan barı yüzeyinin üstü
C	Çapraz bar merkez yüzeyi	B noktasından 40 mm içerde	Çapraz bar üst yüzeyi

Şekil 3. 9. Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

3.4. Statik Analiz Senaryoları
3.4.1. Araç Yönünde Yükleme

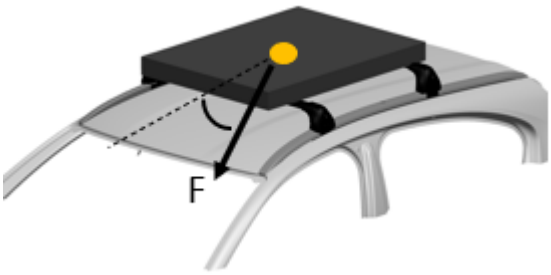


Şekil 3. 10. Araç Yönünde Yükleme

Bu senaryo ani yavaşlama durumunda tavan barı sisteminin maruz kaldığı yükü simule etmektedir. Yük ileri yönde ve tavan taşıyıcısının ön orta noktasından uygulanır. Kuvvet (F) toplam sistem ağırlığının yer çekimi ivmesinin 4 katı ile çarpılması ile elde edilir. Toplam sistem ağırlığı maksimum tavan taşıma kapasitesi kadar yük (L) ve çapraz bar ağırlıklarının (W) toplamıdır.

$$F = (LC + W) * 4 * g \qquad 3.5$$

3.4.2. Araç Yönünde 20° Açılı Yükleme

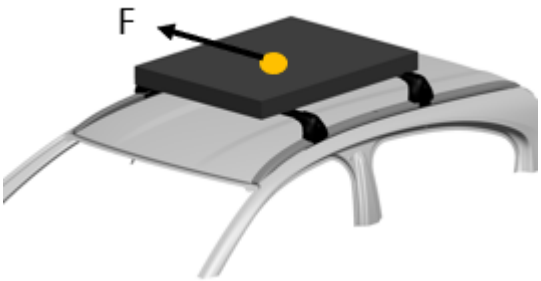


Şekil 3. 11. Araç Yönünde Açılı Yükleme

$$F = (LC + W) * 4 * g \qquad 3.6$$

Bu senaryo dönüş esnasında yavaşlama durumunda tavan barı sisteminin maruz kaldığı yükü simule etmektedir. Yük ileri yönde açılı olacak şekilde tavan taşıyıcısının merkez noktasından uygulanır. Kuvvet toplam sistem ağırlığının yer çekimi ivmesinin 4 katı ile çarpılması ile elde edilir.

3.4.3. Yanal Yükleme

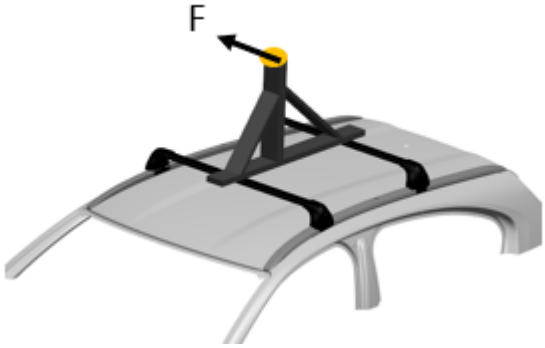


Şekil 3. 12. Yanal Yükleme

$$F = (LC + W) * 2 * g \qquad 3.7$$

Bu senaryo agresif araç kullanımı esnasında tavan barı sisteminin maruz kaldığı yanal yükü simule etmektedir. Yük araca dik yönde tavan taşıyıcısının merkez noktasından uygulanır. Kuvvet toplam sistem ağırlığının yer çekimi ivmesinin 2 katı ile çarpılması ile elde edilir.

3.4.4. Yüksek Yanal Yükleme

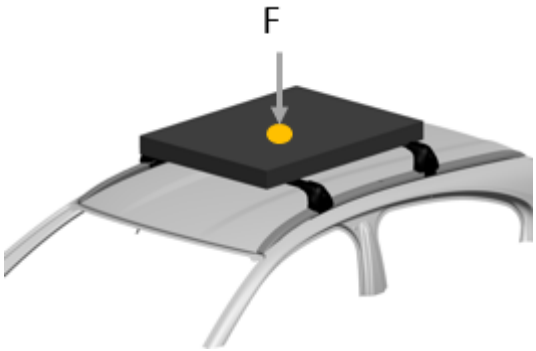


Şekil 3. 13. Yüksek Yanal Yükleme

$$F = 600\ N$$

Bu senaryo bisiklet gibi yüksek yüklerin taşınması esnasında tavan barı sisteminin maruz kaldığı yükü simule etmektedir. 600 N luk yük şekilde gösterilen noktadan sisteme uygulanır.

3.4.5. Dikey Yükleme

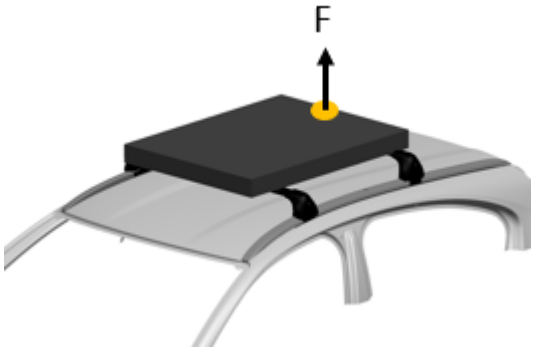


Şekil 3. 14. Dikey Yükleme

$$F = (LC + W) * 1{,}2 * g \qquad 3.8$$

Bu senaryo kasis gibi dikey yönde yük oluşturan yol koşullarının etkisini simule etmektedir. Yük araca dikey yönde tavan taşıyıcısının merkez noktasından uygulanır. Kuvvet toplam sistem ağırlığının yer çekimi ivmesinin 1,2 katı ile çarpılması ile elde edilir.

3.4.6. Arka Bar Rüzgâr Dikey Basma



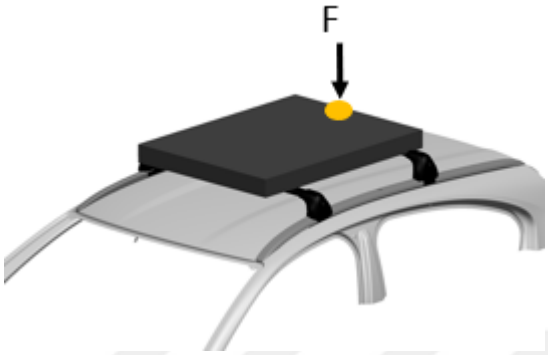
Şekil 3. 15. Arka Bar Rüzgâr Dikey Basma

$$F = (LC + W) * 0{,}5 * g + 2400\ N \qquad 3.9$$

Bu senaryo rüzgârın oluşturabileceği dikey yükleme altında tavan barı sisteminin maruz kaldığı yükü simule etmektedir. Yük araca dikey yönde tavan arka çapraz barın üst orta

noktasından uygulanır. Kuvvet toplam sistem ağırlığının yer çekimi ivmesinin 0,5 katı + 2400 N olarak uygulanır.

3.4.7. Arka Bar Rüzgâr Dikey Kaldırma

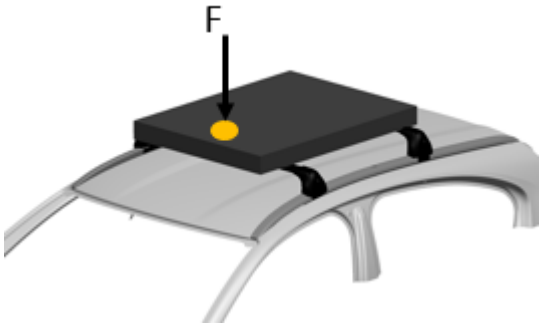


Şekil 3. 16. Arka Bar Rüzgâr Dikey Kaldırma

$$F = (LC + W) * 0{,}5 * g + 2400\ N \qquad 3.10$$

Bu senaryo rüzgârın oluşturabileceği dikey yükleme altında tavan barı sisteminin maruz kaldığı yukarı yönlü yükü simule etmektedir. Yük araca dikey yönde tavan arka çapraz barın üst orta noktasından uygulanır. Kuvvet toplam sistem ağırlığının yer çekimi ivmesinin 0,5 katı + 2400 N olarak uygulanır.

3.4.8. Ön Bar Rüzgâr Dikey Basma



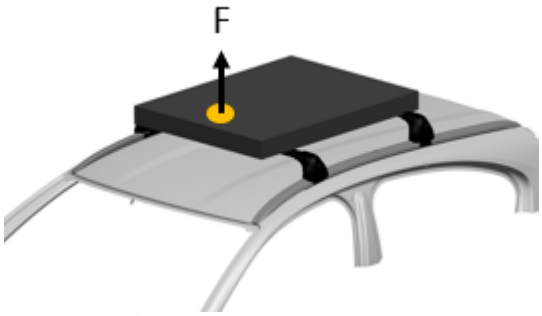
Şekil 3. 17. Ön Bar Rüzgâr Dikey Basma

$$F = (LC + W) * 0{,}5 * g + 2400\ N \qquad 3.11$$

Bu senaryo rüzgârın oluşturabileceği dikey yükleme altında tavan barı sisteminin maruz kaldığı yükü simule etmektedir. Yük araca dikey yönde tavan ön çapraz barın üst orta

noktasından uygulanır. Kuvvet toplam sistem ağırlığının yer çekimi ivmesinin 0,5 katı + 2400 N olarak uygulanır.

3.4.9. Ön Bar Rüzgâr Dikey Kaldırma

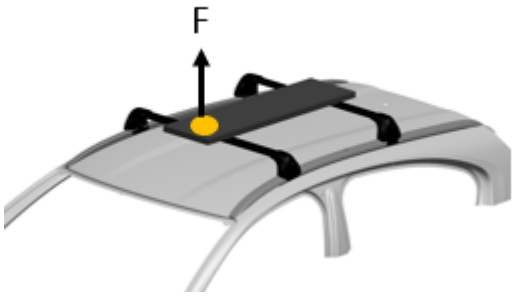


Şekil 3. 18. Ön Bar Rüzgâr Dikey Kaldırma

$$F = (LC + W) * 0{,}5 * g + 2400\ N \qquad 3.12$$

Bu senaryo rüzgârın oluşturabileceği dikey yükleme altında tavan barı sisteminin maruz kaldığı yukarı yönlü yükü simule etmektedir. Yük araca dikey yönde tavan ön çapraz barın üst orta noktasından uygulanır. Kuvvet toplam sistem ağırlığının yer çekimi ivmesinin 0,5 katı + 2400 N olarak uygulanır.

3.4.10. Board Taşıma Yükü



Şekil 3. 19. Board Taşıma

$$F = 3500\ N$$

Bu senaryo board taşıma esnasında rüzgârın oluşturabileceği yükü simule etmektedir. Yük araca dikey yönde tavan ön çapraz barın üst orta noktasından uygulanır. Kuvvet 3500 N olarak uygulanır.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1 Tavan Barı Tasarımlarının Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Tasarım ürün geliştirme süreçlerin ilk aşamalarından birisidir. Pazar ihtiyacı ve istenilen konsept belirlendikten sonra nihai ürünün fiziksel olarak ilk çizgileri tasarım esnasında şekillenir. Bu aşamada tasarım yapan kişi ürünle alakalı ne kadar bilgiye sahip ise tasarım süreci o denli kısaltılabilir. Malzeme, üretim yöntemleri, birleştirme metotları gibi erken fazda kararlaştırılan bilgiler tasarımcı için bir avantajdır.

Bu çalışmada mevcutta alüminyum ağırlıklı olarak tasarlanarak üretilen tavan barı yerine plastik bazlı bir ürün tasarlanması sorgulanmıştır. Süreç içerisinde iki parçanın her fazda değerlendirilmesi yapılmıştır. Elde edilen sonuçların tasarım ile alakalı çıktıları sırayla özetlenmiştir.

Alüminyum malzemenin üretim yöntemi ekstrüzyon olmasından dolayı yapılacak stil yüzeyi belli bir kesitin araç boyunca süpürülmesi ile elde edilmelidir. Bu kapalı bir kesit oluşturmak için iyi bir yöntemdir fakat parça önden arkaya kadar aynı kesitte olmak zorundadır. Bu stilist açısından kısıt oluşturmaktadır Plastik tasarımda ise aracın her bölümünde farklı stiller olabilir fakat enjeksiyon kalıpçılığı için kalıptan çıkabilecek uygun yüzey açılarına (1°-7°) sahip olmalıdır.

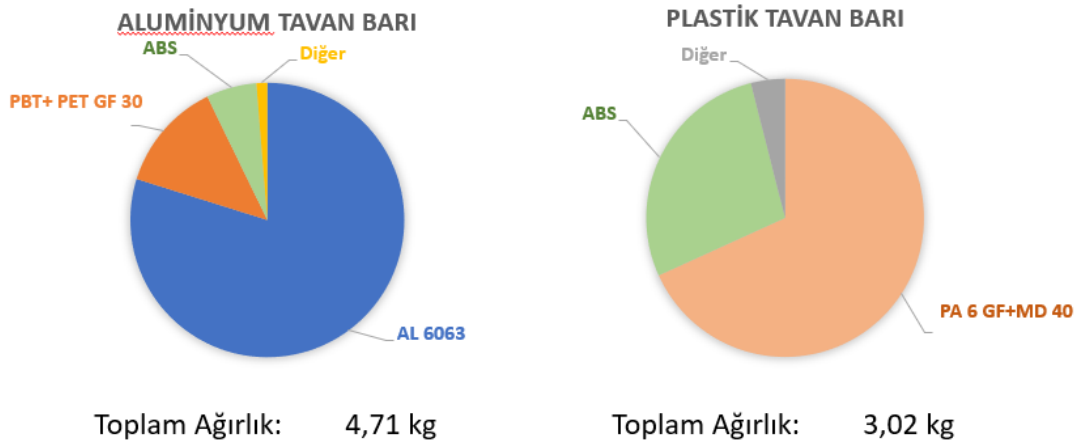
Plastiklerin mekanik özellikleri daha zayıf olduğundan tasarlanacak parçanın güçlendirilmesi için daha karmaşık bir geometri de olması gerekecektir. Bu açıdan tasarım yapılması ve bunun analizlerle doğrulanması süreci daha uzun sürebilir.

Plastik enjeksiyon sonrasında kalıptan çıkan ürün malzemenin soğuma sırasında oluşan iç gerilmeleri kaynaklı şekil bozukluğuna uğrayabilmektedir. Parça ve kalıp tasarımı tamamlandığında mold flow analizleri yapılarak enjeksiyon sonrasında parçanın çarpılma seviyesi doğrulanmalıdır.

Plastik kalıpçılığı parçanın önden arkaya kadar tek parça halinde üretilmesine olanak vermektedir. Bu açıdan estetik olarak görülen yüzey tek parça olduğundan boşluk ve profil (Gap& Flush) hataları olmayacaktır. Alüminyum parçada ön ve arka bitim hattı bölüm 2 de anlatılan şekilde uygun olmadığında ek parça ihtiyacı oluşmaktadır. Eklenen

her parça birbirleri arasında boşluk, profil, renk tonu farkı gibi üretim zafiyetlerini açığa çıkarabilmektedir.

Çalışmanın temel amaçlarından bir olan ağırlık konusunda plastik malzemenin daha avantajlı olduğu görülmektedir. Şekil 4.1 de her iki tasarımın malzeme dağılım pastaları görülmektedir. Fonksiyonel olarak aynı doğrulama kriterlerini yerine getiren iki parça arasında ağırlık 4,71 kg'dan 3,02 kg'a düşürülerek toplam ağırlık %36 azaltılmıştır.



Şekil 4. 1. Tasarımların Ağırlık Karşılaştırması

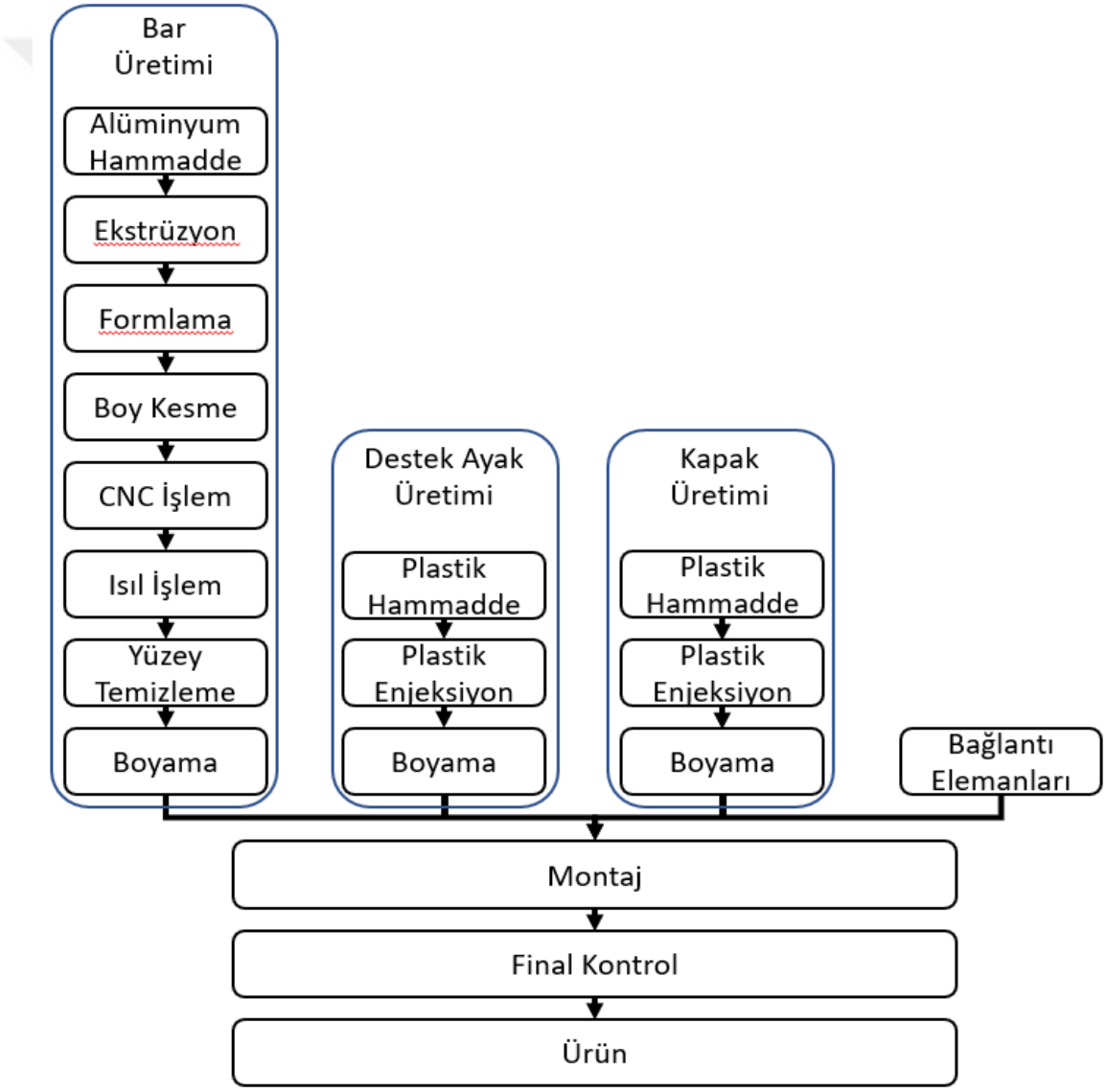
Tavan barı gibi araç üzerinde bulunan parçalar güneş ışığı ve sıcağa direkt maruz kaldığından termal genleşme analizleri yapılmalıdır. Bu açıdan mevcut parçanın taşıyıcı ana parçasından Alüminyumun termal genleşme katsayısı daha düşük olduğundan daha avantajlıdır. Fakat her iki tasarımda da alt parçalarda farklı malzemeler kullanıldığı için termal olarak birbirleri ile etkileşimi doğrulanmalıdır.

Alüminyum ekstrüzyon sonrasında oluşan yüzey bozuklukları polisaj gibi yüzey işlemleri ile giderilebilmektedir. Fakat bu seri üretim için uygulaması zor bir durumdur. Plastikte ise yüzeyde üretim kaynaklı çöküntü ya da parlama izleri oluşabilmektedir. Bu izler derin olduğunda boya ile kapatılması zordur. Bu sebeple plastik parça tasarlanırken kalınlık geçişlerine dikkat edilmeli ve plastik tasarım kurallarına uyulmalıdır. Bu şekilde uygun geometride olan parçalarda ek yüzey işlemine gerek kalmamaktadır.

4.2 Üretim Yöntemlerin Karşılaştırılması

Endüstriyel üretimlerde birim parçanın üretim süresi önemli bir parametredir. Özellikle otomotiv gibi üretim seri üretim bandı ile çalışan sistemlerde tüm tedarikçiler parçalarını araç banda indiğinden hazır tutmalıdır. Bu sebeple günlük toplam araç üretim adedi ile kullanılacak parçaların üretim adetleri öngörülür ve olması gereken çevrim süreleri buna göre hesaplanır.

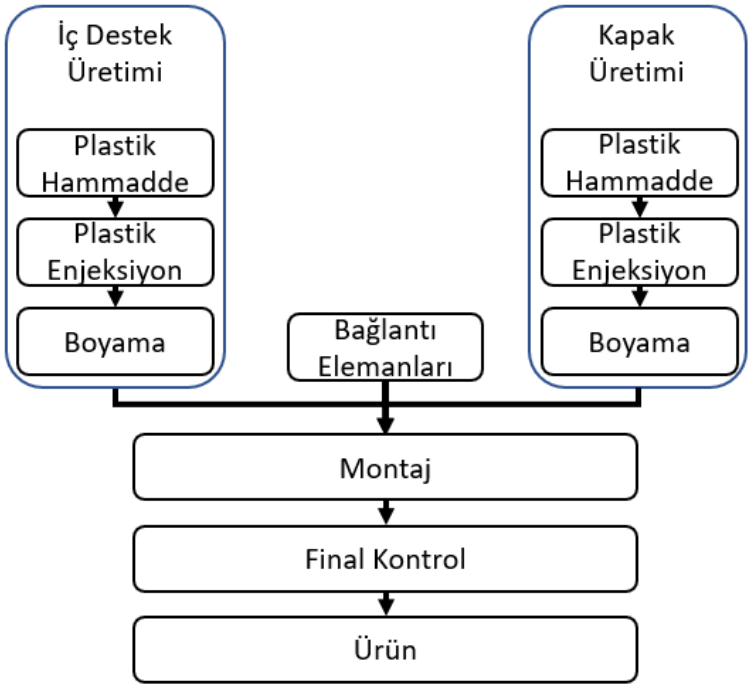
Şekil 4.2 de mevcut tavan barının temel üretim adımları şematik olarak gösterilmiştir. Burada kullanılan alt parça sayısı fazla olduğundan parçalar ayrı ayrı boyanarak final ürün



Şekil 4. 2. Alüminyum Tavan Barı Üretimi

montaj hattına gelmektedir. Ayrıca alüminyum üretimi ve plastik enjeksiyon üretimi farklı prosesler olduğundan farklı alt tedarikçilere ihtiyaç duyulabilmektedir.

Plastik tavan barının üretim adımlarında ise daha büyük tonajlı enjeksiyon makinesi ile üretim yapılmaktadır. Fakat farklı proses ihtiyacı olmamasından dolayı enjeksiyon ve boyama işlemleri sonrasında bağlantı elemanları ile birleştirilen parça araç montajı için hazır hale gelmektedir.



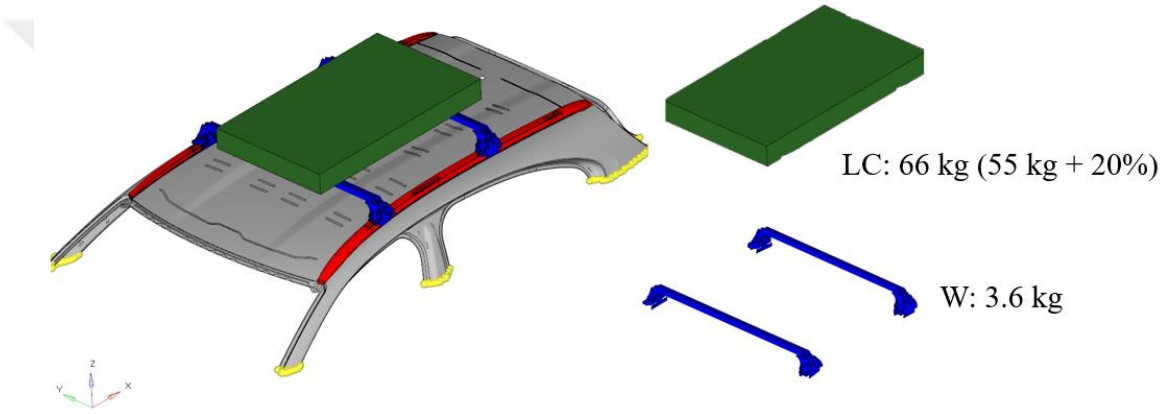
Şekil 4. 3. Plastik Tavan Barı Üretimi

İki tasarımın üretim yöntemleri karşılaştırıldığında gerek operasyon çeşitliliği gerekse alt parça montajına duyulan ihtiyaç yönünden yeni tasarımın daha avantajlı olduğu görülmektedir. Alüminyum parça aynı çevrim süresinde üretilebilmesine rağmen parça başına düşen toplam üretim ve işçilik süresi çok daha fazla çıkmaktadır.

4.3 Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Araç üzerinde kullanılan parçalar seri üretim onayı öncesinde sayısal analizler ve gerçek test koşulları ile doğrulanmaktadır. Her parça kullanılacağı pazarın regülasyonlarına göre doğrulanmak zorundadır.

Mevcut tavan barı içinde proje onayı sırasında ilgili statik testler bilgisayar ortamında yapıldıktan sonra test merkezinde gerçek koşullarda da uygulanmıştır. Bu doğrulama sonrasında yapılan sayısal analizlerin gerçek koşullarla benzerlik gösterdiği ve korelasyon oranının yüksek olduğu görülmüştür.



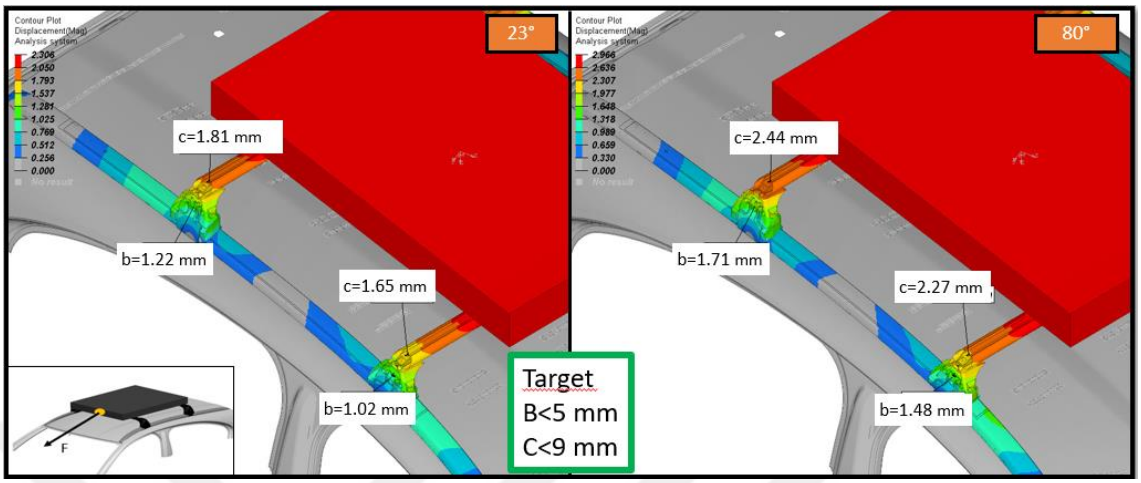
Şekil 4. 4. Tavan Yük Miktarı

Yeni tavan barı tasarımında da aynı analiz yöntemleri ile bölüm 3.3'te anlatılan statik analiz senaryoları test edilerek hedef değerler ile uygunluğu sorgulanmıştır. Müşteri kullanıcı kitapçığında araç üzerinde taşınacak maksimum yük miktarı 55 kg olarak belirtilmektedir. Analiz ve test koşullarında bu yük %20 güvenlik payı ile hesaplanmaktadır. Ayrıca araç üzerinde bulunan çapraz barların ağırlığı da 3,6 kg olarak ölçülmüştür.

Bu bölümde yapılan analizler sonucunda elde edilen değerler her bir senaryo için paylaşılmıştır. Uygulanan 10 statik senaryonun hepsi için hedef yer değiştirme miktarının altında kalınarak hedef değerler yakalanmıştır.

4.3.1. Araç Yönünde Yükleme

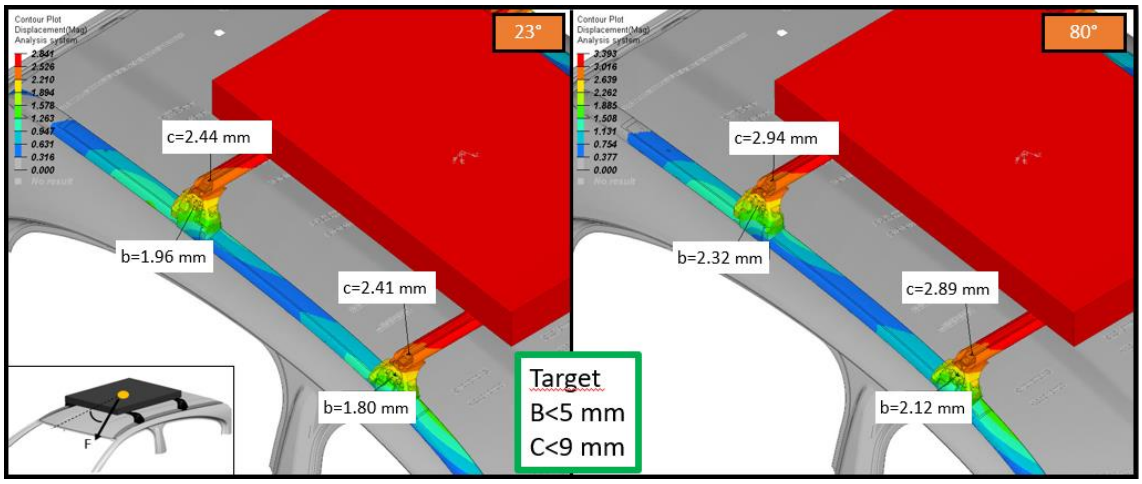
$$F = (LC + W) * 4 * g = 2730 \text{ N}$$



Şekil 4. 5. Araç Yönünde Yükleme Analiz Sonucu

4.3.2. Araç Yönünde 20° Açılı Yükleme

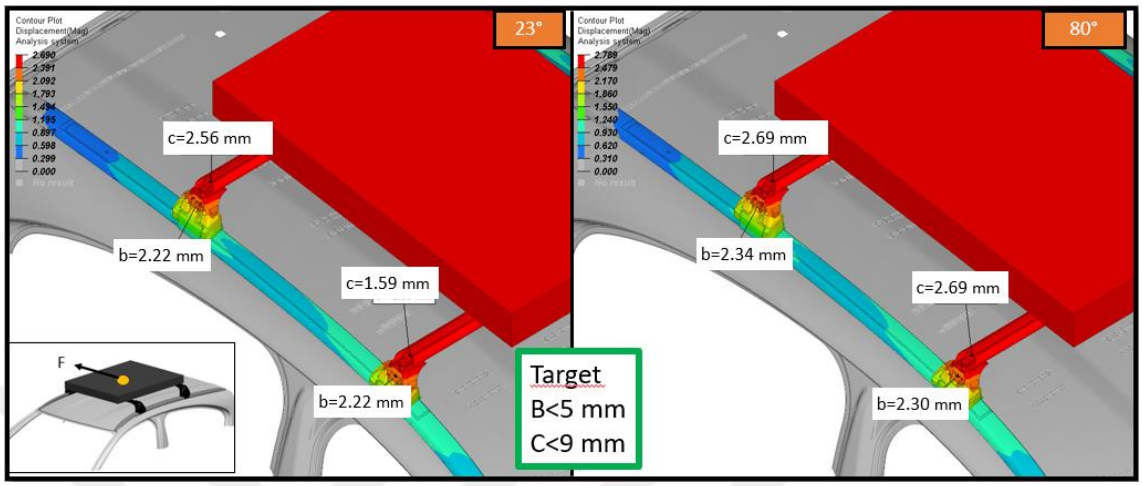
$$F = (LC + W) * 4 * g = 2730\ N$$



Şekil 4. 6. Araç Yönünde 20° Açılı Yükleme Analiz Sonucu

4.3.3. Yanal Yükleme

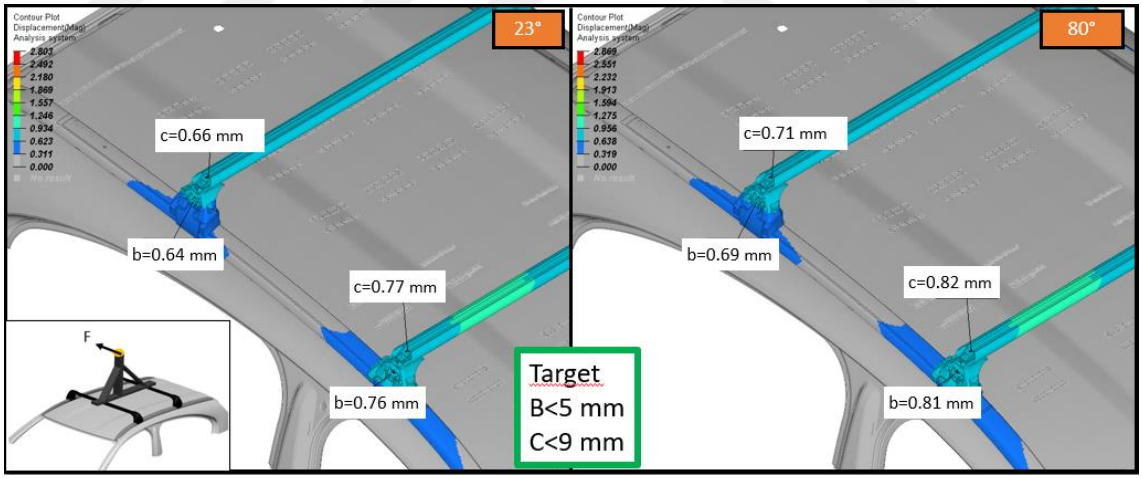
$$F = (LC + W) * 2 * g = 1365 \text{ N}$$



Şekil 4. 7. Yanal Yükleme Analiz Sonucu

4.3.4. Yüksek Yanal Yükleme

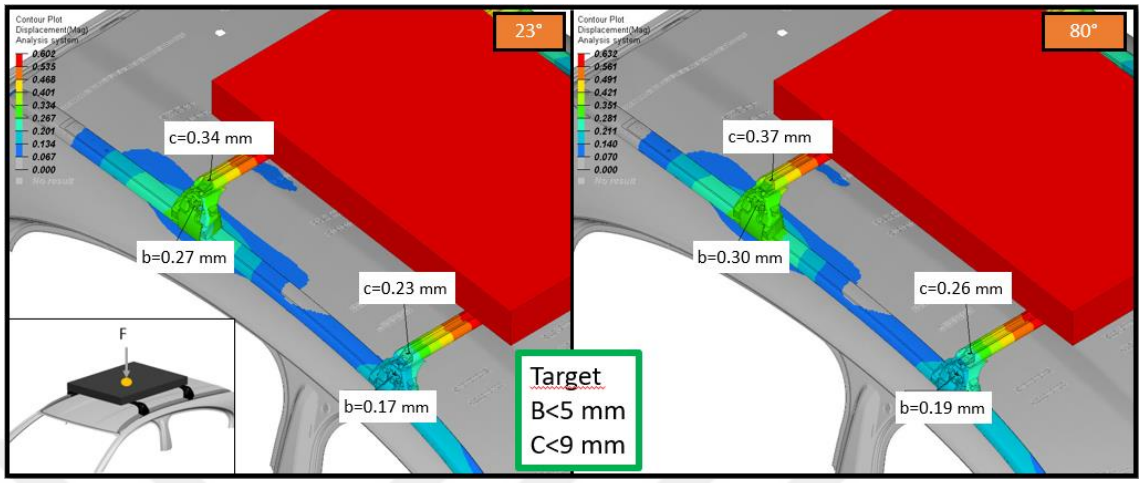
$$\boldsymbol{F = 600\ N}$$



Şekil 4. 8. Yüksek Yanal Yükleme Analiz Sonucu

3.4.5. Dikey Yükleme

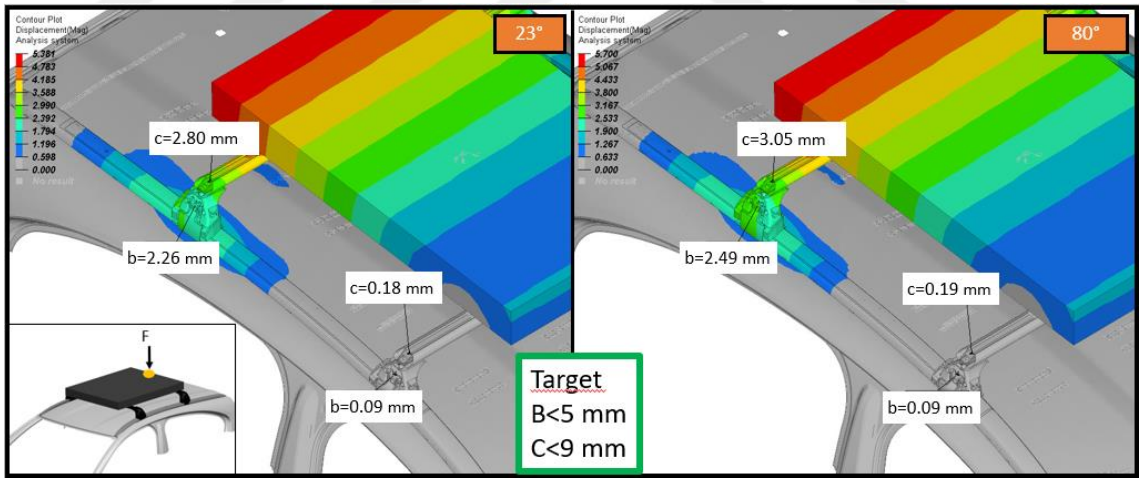
$$F = (LC + W) * 1{,}2 * g = 816\ \text{N}$$



Şekil 4. 9. Dikey Yükleme Analiz Sonucu

3.4.6. Arka Bar Rüzgâr Dikey Basma

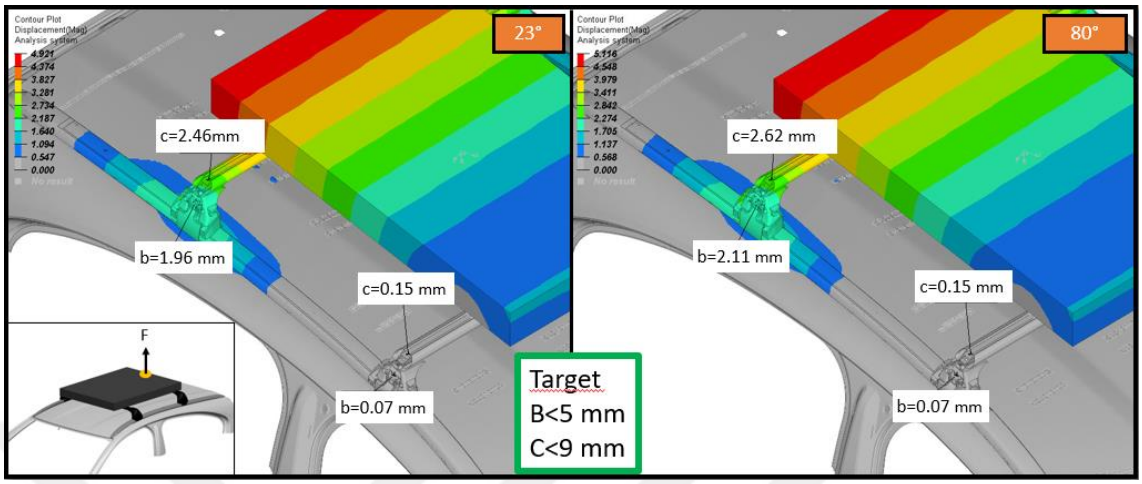
$$F = (LC + W) * 0{,}5 * g + 2400\ N = 2740\ \text{N}$$



Şekil 4. 10. Arka Bar Rüzgâr Dikey Basma Analiz Sonucu

3.4.7. Arka Bar Rüzgâr Dikey Kaldırma

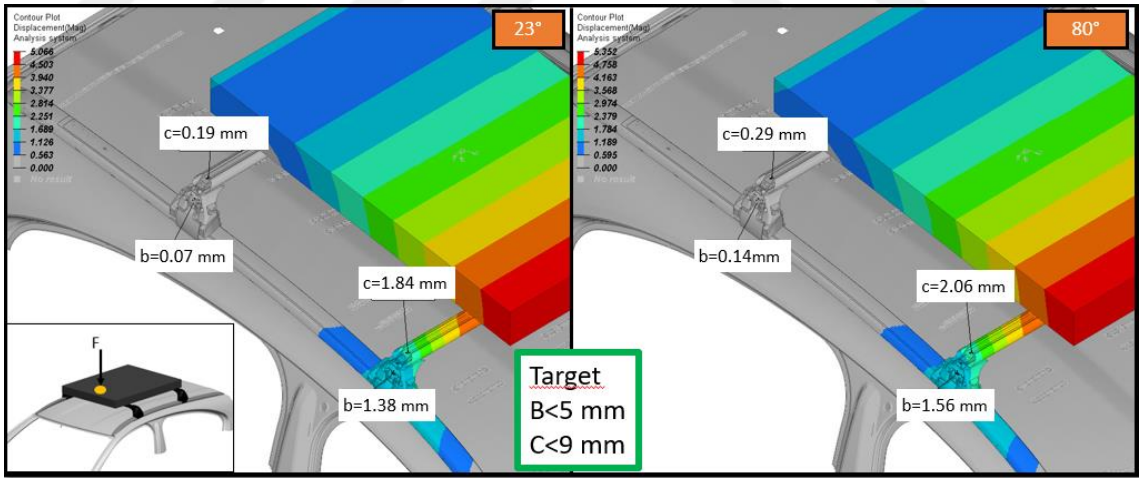
$$F = (LC + W) * 0{,}5 * g + 2400 \;\; N = 2740\, N$$



Şekil 4. 11. Arka Bar Rüzgâr Dikey Kaldırma Analiz Sonucu

3.4.8. Ön Bar Rüzgâr Dikey Basma

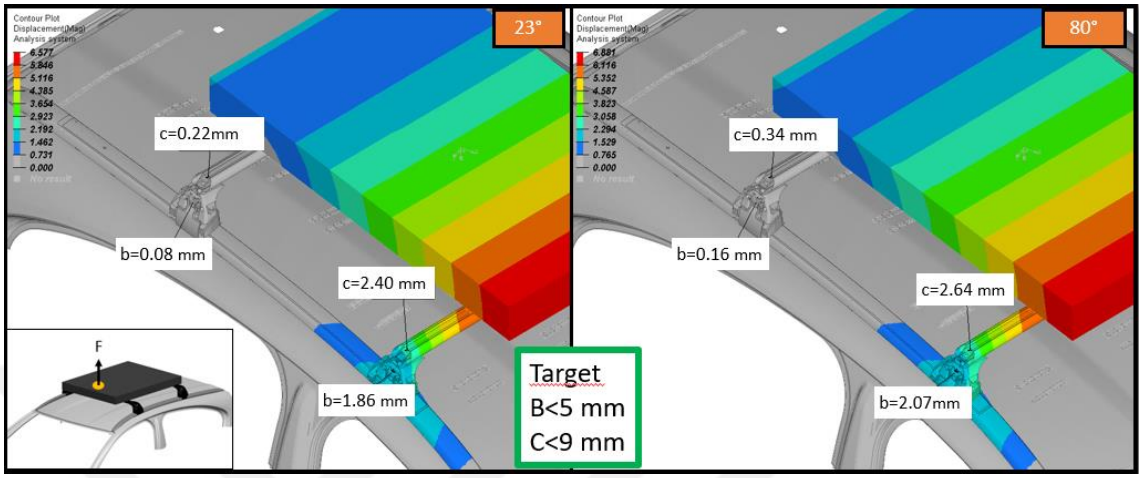
$$F = (LC + W) * 0{,}5 * g + 2400\; N{=}2740$$



Şekil 4. 12. Ön Bar Rüzgâr Dikey Basma Analiz Sonucu

3.4.9. Ön Bar Rüzgâr Dikey Kaldırma

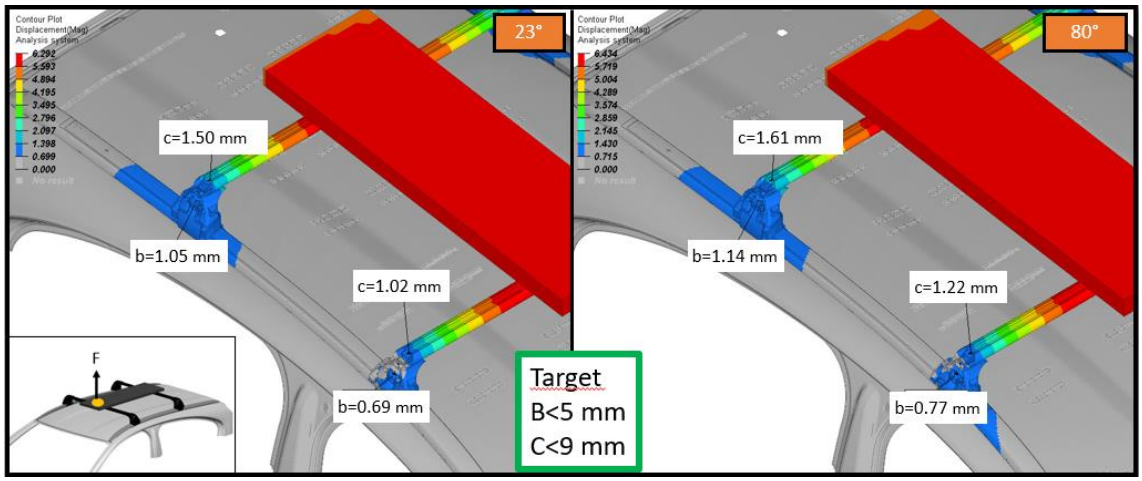
$$F = (LC + W) * 0{,}5 * g + 2400\ N$$



Şekil 4. 13. Ön Bar Rüzgâr Dikey Kaldırma Analiz Sonucu

3.4.10. Board Taşıma Yükü

$$F = 3500\ N$$



Şekil 4. 14. Board Taşıma Yükü Analiz Sonucu

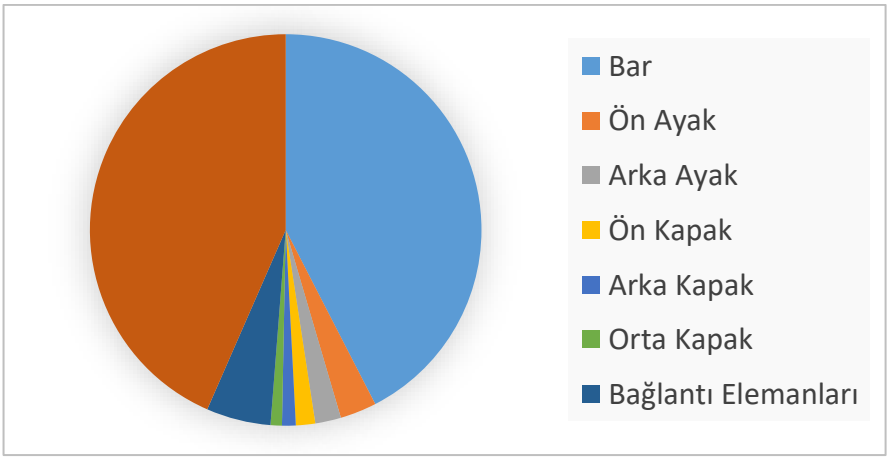
4.4 Ürün Maliyetleri ve Yatırımlarının Karşılaştırılması

Ağırlık azaltma çalışmalarında emisyon değerlerine getirilen sınırlama ve cezalardan dolayı yeni tasarımlarda bir miktar maliyet artışı tolere edilebilmektedir. Fakat daha yüksek maliyetli ürünlerde (karbon elyaf gibi) çözümler genellikle yüksek segment ürünlerde uygulanabilmektedir. Fakat en ideal çözüm ağırlık ve maliyetin birlikte düşürülmesidir. Bu çalışmada da yeni ürünün maliyetinin iyileştirilmesi çalışmanın diğer hedeflerinden birisidir.

Parça birim maliyetleri hesaplanırken parçanın temin edildiği tedarikçinin o parça için satın aldığı hammadde ve uyguladığı her bir işçilik göz önüne alınmaktadır. Ayrıca yaptığı bu işlemler için firmaya ödenen genel giderler ve kar da hesaba katılmaktadır. Firma yaptığı makine yatırımlarını makinenin amortisman süresi içerisindeki çalışma saatine bölerek parçadaki işlem süresine göre parça başı maliyet belirlemektedir.

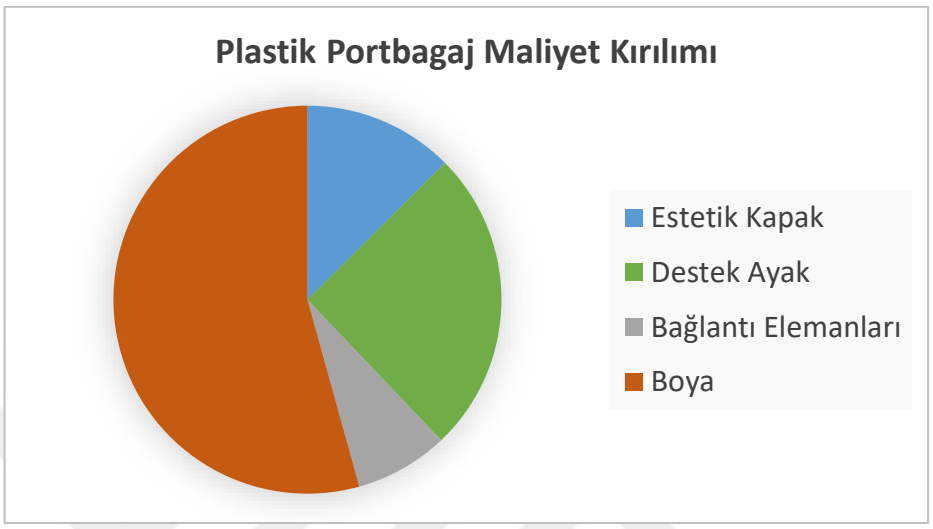
Malzeme birim fiyatı içerisinde iki tip maliyet yer almaktadır. Üretim maliyeti parça için kullanılan hammadde bedeli, kullanılan makine ve işçilik giderleri ve satın alınan standart elemanların toplamından oluşmaktadır. Diğer maliyetler ise firmanın genel giderleri, lojistik ve paketleme maliyetleri ve ıskarta parça bedellerinden oluşmaktadır.

Alüminyum portbagaj üretiminde Bölüm 4.2 de anlatılan prosesler kullanılmaktadır. Tüm bu prosesler ve hammadde maliyetlerinin toplam fiyat içindeki dağılımı şekil 4.4'te gösterilmiştir. Burada parçanın toplam maliyet değeri yeni parça ile kıyaslamak için X olarak ifade edilecektir.



Şekil 4. 15. Alüminyum Tavan Barı Maliyet Dağılımı

Yeni plastik tasarım içinde aynı hesaplama yöntemi ile maliyet çalışması yapılmıştır. Parça üzerinde plastik hammaddeye geçiş ve toplam ağırlığın azalması dolayısıyla toplam maliyet 0,77X seviyesine düşmektedir. Bu çalışma ile maliyet olarak %23 avantaj sağlanmaktadır. Parçanın maliyet dağılım bilgisi şekil 4.5'te gösterilmektedir.



Şekil 4. 16. Plastik Tavan Barı Maliyet Dağılımı

İki maliyet dağılımı karşılaştırıldığında;

Mevcut tavan barı tasarımında hammadde ve makine/işçilik giderleri kaynaklı olarak parçanın maliyeti daha yüksek çıkmaktadır. Parçaların ayrı ayrı toplanarak montaj edilmesi her parçaya ek maliyet getirmektedir. Ayrıca farklı üretim yöntemleri tek çatı altında bulunmuyorsa alt parça lojistik giderlerinin oluşması da ürün fiyatı için risk oluşturmaktadır.

Parça maliyetleri arasında boyama giderleri yaklaşık aynı değerlerdedir. Toplam maliyet içerisindeki oranı ise yeni tasarımda %50 nin üzerindedir. Bu çalışmada amaç mevcut parça ile aynı renk parça üretmek olduğu için bu maliyet kaçınılmaz olarak eklenmiştir. İleriki projelerde geliştirme süreci başında desen yüzeyli ya da kalıptan renkli çıkan malzemeler tercih edilirse bu maliyet sıfıra indirilebilir.

Parçaların üretim süreçlerinde ihtiyaç duyulan yatırım maliyetleri de ürün geliştirme sürecinde etkili bir seçim kriteri olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışma da iki tip parça için farklı boyutlarda plastik enjeksiyon kalıpları, ekstrüzyon kalıbı, bükme makinesi,

ölçüm bankoları ve montaj bankoları yatırım olarak karşımıza çıkmaktadır. Plastik parça üretiminde enjeksiyon makineleri farklı kalıpları çalıştırabildiği için firmalar kendi makinaları ile üretim yapar ve makine kullanım ücreti ödenir. Parça özelinde plastik kalıp yatırımı yapmak yeterlidir. Alüminyum parçalar içinde ekstrüzyon makineleri bu şekildedir. Parça üretimi için ekstrüzyon kalıbı ve büküm makinesini özel olarak yaptırmak gereklidir.

Mevcut parçanın üretimi için gerekli olan yatırımlar şu şekildedir;

- Ayak ve kapaklar için 4 adet enjeksiyon kalıbı
- Orta kapaklar için enjeksiyon kalıbı
- Ekstrüzyon Kalıbı
- Germeli Büküm Makinesi
- Form kontrol fikstürü
- Bar delikleri için CNC fikstürü
- Boya Askıları
- Montaj Bankosu
- Son Kontrol Bankosu

Yeni plastik parçanın üretimi için gerekli olan yatırımlar şu şekildedir;

- Alt ve üst parça için 2 adet enjeksiyon kalıbı
- Ölçüm Fikstürü
- Boya Askıları
- Montaj Bankosu

İki parçanın yatırım kalemleri ayrı ayrı hesaplandığında parçalar için gerekli toplam yatırım bedellerinin yaklaşık olarak (<%5) aynı olduğu görülmüştür. Büyük enjeksiyon kalıpları daha maliyetli olduğundan her ne kadar alüminyum için fazla maliyet kalemi gözükse de toplam değer yakın çıkmaktadır.

5. SONUÇ

Bu çalışmanın amacı hedeflenen güvenlik koşuları içerisinde kalarak alternatif bir tasarım yapmak ve bu tasarımın mevcut ürüne rekabetçi bir çözüm olmasının sağlanmasıdır. Mühendislik tasarımda ve ürün geliştirme süreçlerinde herhangi bir ürünün rekabetçi olabilmesi için müşteri ihtiyaçlarını karşılaması, üretilebilir olması, gerekli güvenlik koşulları içinde çalışması, finansal olarak pazarlamaya uygun olması temel kriterlerdir.

Çalışma sonucunda ortaya çıkan plastik tavan barı tasarımı mevcut parça ile karşılaştırıldığında başarılı bir ürün alternatifi olarak karşımıza çıkmaktadır. Özelikle çalışmanın seri üretimde kullanılan bir ürüne karşılık olarak yapılması iki parçanın somut olarak her açıdan karşılaştırılmasını mümkün kılmaktadır. Mevcut parça üzerinde yapılan statik doğrulamalar yeni tasarımda da tekrar edilerek parçanın aynı güvenlik standardını karşılaması sağlanmıştır.

Yeni tasarım üretilebilirlik açısından plastik enjeksiyon prosesine uygun olacak şekilde geliştirilmiştir. Bu sayede parça üzerindeki proses çeşitliliğinin azaltılması sağlanarak yeni tasarımın benzer yatırım miktarı ile birim fiyatta yüzde 23 avantajlı olduğu görülmüştür. Ayrıca geliştirilen ürün ağırlık olarak mevcut parçadan yüzde 36 daha daha hafiftir. Çalışma sonucunda maliyet ve ağırlık avantajının birlikte elde edilmesi ürünün rekabetçi bir alternatif olarak karşımıza çıkmasını sağlamıştır.

Yeni parçanın tasarım aşamasında temel girdi mevcut parçanın stil yüzeylerinin birebir aynı yapılarak karşılaştırmanın sağlıklı sonuçlar vermesini sağlamaktı. Bunu gerçekleştirmek için plastik parça üzerinde yapılabilecek görsel iyileştirmeler, bağlantı çözümleri sınırlı olarak değiştirilebilmiştir. Sonraki projelerde stil aşamasında gerekli geri bildirimler verilerek parçanın plastik üretimine uygun şekilde tasarlanması sağlanabilir. Ayrıca ileriki çalışmalarda parça üzerinde optimizasyon çalışmaları yapılarak uygun et kalınlıkları belirlenebilir, yük yoğunluğunun bulunmadığı kısımlarda topoloji çalışmaları yapılarak ürünün ağırlık ve maliyet avantajı arttırılabilir.

KAYNAKLAR

Anonim. (2014). *Aluminum Extrusion Manual.* Illinois: Aluminum Extruders Council.

Anonim. (2021). https://enkatek.com/plastik-enjeksiyon-yontemiyle-uretilen-runlerdeki-problemler-ve-cozumleri/ (Erişim Tarihi: 28.11.2021)

Başer, T. A. (2012). Alüminyum Alaşımları ve Otomotiv Endüstrisinde Kullanımı. *Mühendis ve Makina*, cilt 53, sayı 635, 51-58.

Bois, P. D. (2000). *Vehicle Crashworthiness and Occupant Safety*. Michigan: American Iron and Steel Institute.

Chen, Y., & Meier, A. (2016). *Fuel consumption impacts of auto roof racks*. Energy Policy, 325-333.

Clausen, A. H., Hopperstad, O. S., & Langseth, M. (1999). Stretch Bending of Aluminum Extrusion: Effect Of Geometry and Alloy. *Journal of Engineering Mechanics*, 392-400.

Ergün, E., İbrahim, P., & Engin, N. (2013). *Plastik Enjeksiyon Kalıpçılığı*. Ankara: Seçkin Yayıncılık.

Geoff, B. (1999). *Resources and Production of Aluminium*. European Aluminium Association TALAT Lecture 1101.

J.E. Miller, S. Kyriakides, & Bastard, A. (2000). On bend-stretch forming of aluminum extruded tubes-1. *International Journal of Mechanical Sciences*, 1283-1317.

Jeong, D., Woo, C., & Geum, W. (2007). The Study of the Parameter of Roof Rack and Cross Bar for the Reduction of Wind Noise. *SAE Technical Paper* 2007-01-0994.

Karadere, G., Düzcan, Y., & Yıldız, A. R. (2020). Light-weight design of automobile suspension components using topology and shape optimization techniques. *Materials Testing*, vol. 62, no. 5, 454-464.

Karbon, K., & Dietschi, U. (2005). Computational Analysis and Design to Minimize Vehicle Roof Rack Wind Noise. *SAE Technical Paper* 2005-01-0602.

Kim, H. L. (2019). Development Integrated Roof Rack of Nylon and Continuous Fiber Composite. *Proceedings of the 19th Asia Pacific Automotive Engineering Conference & SAE-China Congress 2017: Selected Papers*, 153-162.

Kvande, H. (1999). Environmental Improvements in Aluminum Production Technology. *Light Metal Age*, 44.

Malloy, R. A. (2011). *Plastic Part Design for Injection Molding*. Munich: Hanser Publications.

Mandadapu, S., Chinta, B., Jutila, B., & Schoenefeld, M. (2011). Robust Design of a Light Weight Flush Mount Roof Rack, *SAE Technical Paper* 2011-01-1274.

Moaveni, S. (2015). *Finite Element Analysis: Theory and Application with Ansys*. New Jersey: Pearson Education Inc.

Önder, K. (1997). *Endüstri Tasarımı Ürün Tasarımında Adımlar*. İstanbul: YEM Yayın.

PAGEV. (2016). *Türkiye Otomotiv Plastikleri Sektörü Raporu*. PAGEV.

Pahl, G., W.Beitz, Feldhuse, J., & Grote, K. (2007). *Engineering Design A Systematic Approach.* London: Springer-Verlag.

PlasticsEurope. (2020). *Plastics – the Facts 2020:An analysis of European plastics production, demand and waste data*. PlasticsEurope.

Pradip, K. S. (2000*). Aluminum Extrusion Technology*. Ohio: ASM International.

Schönmayr, D. (2017). *Automotive Recycling, Plastics, and Sustainability.* Switzerland: Springer International Publishing.

Softa, A., Shami, A., & Khurana, R. (2017). Design of Roof Rack Rails with Cost and Weight Optimization. *SAE Technical Paper* 2017-01-1308.

Tajima, H., Kawaguchi, H., Kurumada, S., & Mori, S. (1996). The Development of Plastic Roof Rack Leg Made by Gas Assist Injection Technology. *SAE Technical Paper* 960967.

Tempelman, E., Shercliff, H., & Eyben, B. N. (2014). *Manufacturing and Design.* Burlington: Butterworth-Heinemann, 201-206

Weill, D. (2021). *Plastics. The Future for Automakers and Chemical Companies.* https://www.kearney.com/chemicals/article?/a/plastics-the-future-for-automakers-and-chemical-companies

Yıldırım, H. (2006). *Alüminyum Malzemenin Otomotiv Sektöründeki Uygulamaları*, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitiüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı.