

T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**HAFİF TİCARİ ARAÇ KAPILARI İÇİN MODÜLER MENTEŞE TASARIMI,
OPTİMİZASYONU VE PROTOTİP İMALATI**

Mustafa TÜFEKÇİ

Doç. Dr. Fatih KARPAT
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

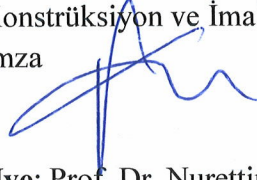
BURSA – 2016
Her Hakkı Saklıdır

TEZ ONAYI

Mustafa TÜFEKÇİ tarafından hazırlanan “Hafif Ticari Araç Kapıları için Modüler Menteşe Tasarımı, Optimizasyonu ve Prototip İmalatı” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Fatih Karpaz

Başkan: Doç. Dr. Fatih Karpaz
Mühendislik Fakültesi,
Konstrüksiyon ve İmalat Anabilim Dalı
İmza




Üye: Prof. Dr. Nurettin Yavuz
Mühendislik Fakültesi,
Konstrüksiyon ve İmalat Anabilim Dalı
İmza



Üye: Yrd. Doç. Dr. Hüseyin Lekesiz
Doğa Bilimleri, Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi,
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
İmza




Yukarıdaki sonucu onaylarım
Prof. Dr. Ali Osman DEMİR
Enstitü Müdürü
02.12/2016

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİMİ

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

- 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.**

02./12/2016


Mustafa TÜFEKÇİ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

HAFİF TİCARİ ARAÇ KAPILARI İÇİN MODÜLER MENTEŞE TASARIMI,
OPTİMİZASYONU VE PROTOTİP İMALATI

Mustafa TÜFEKÇİ

Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Fatih KARPAT

Sürdürülebilirlik kavramı günümüzde büyük bir önem kazanmıştır. Son yıllarda oluşturulan regülasyonlar ile otomotiv üreticileri CO₂ emisyonu oranını düşürmek ve geri dönüşüm katsayısı yüksek malzemeleri kullanmak zorunda kalmışlardır. Hafif, mekanik özellikleri iyi ve geri dönüşüm katsayısı yüksek malzemelerden en önemlilerinden biri ise alüminyum alaşımlarıdır. Tez çalışmasında bir hafif ticari araç menteşesinin alüminyum alaşım malzemesinden üretilmesi amaçlanmıştır. Böylelikle menteşenin sürdürülebilirlik ve ağırlık bakımında iyileştirilmesi hedeflenmiştir. Bilgisayar destekli tasarım, sonlu elemanlar analizleri ve topoloji optimizasyonları gibi yenilikçi yöntemlerle sonuca ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Menteşe, Sonlu Elemanlar Analizi, Optimizasyon, Alüminyum, Hafifletme

2016, ix + 82 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

**HINGE MODULAR DESIGN, OPTIMIZATION AND PRODUCTION PROTOTYPE
FOR LIGHT COMMERCIAL VEHICLE DOORS**

Mustafa TÜFEKÇİ

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

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Fatih KARPAT

Nowadays, recyclability is very important. Automotive producers must reducing CO₂ emissions and must use materials that has big recyclable factor according to regulations that are created in recent years. Aluminum is one of the most important material that has good mechanical properties, is light and has good recyclable factor. In this study, the aim is produce to hinge that is for light commercial vehicle door, by using aluminum. In this way, hinge will be improved in term of weight and recyclability. The conclusion was reached by using innovator methods which are Computer aided design, finite element analysis and topology optimization.

Keywords: Hinge, Finite Element Analysis, Optimization, Aluminum, Weight Reduction

2016, ix + 82 pages.

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Sürdürülebilir çevre kavramının büyük önem kazandığı ve ağırlık azaltma çalışmalarının artık yüzde mertebelerinde yapıldığı günümüzde hafif ve geri dönüşüm katsayısı yüksek olan malzemelerin kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır. Alüminyum, günümüzde çelik yerine geçebilecek malzemeler arasında en önemli seçeneklerden biridir. Mekanik özellikleri yanı sıra hafifliği ile ön plana çıkmaktadır. Alüminyum alaşımları çeliğe göre üçte bir oranında bir özgül ağırlığa sahip olduklarından kullanıldıkları parçalarda otomatik olarak üçte iki oranında ağırlık azaltma sağlamaktadır. (Çelik özgül ağırlığı: 7.7 - 7.85 gr/cm³, Alüminyum özgül ağırlığı: 2.6-2.85 gr/cm³) Ayrıca geri dönüşüm katsayısının yüksek olması geleceğe yaşanılabilir bir dünya bırakmak için alüminyum alaşımlarının tercih edilmesini zorunlu hale getirmektedir. Günümüzde yapılan ve çeliğin kullanıldığı yerlere alüminyumu adapte etme çalışmaları ileride alüminyumu hafifletme şeklinde devam edecektir. Bu bakımdan günümüzde yapılan bu çalışmalara önem ve özen göstermek gerekmekte ve alüminyum için gerekli adımlar bir an önce atılmalıdır.

Tez çalışmalarımın gerçekleştirildiği Rollmech Automotive Anonim Şirketi'ne, yüksek lisans öğrenimimde ders ve tez dönemlerimde yaptığı yönlendirmeleriyle bana her konuda yardımcı olan değerli hocam Doç. Dr. Fatih Karpat'a ve tüm hocalarıma teşekkür ederim. Ayrıca yüksek lisansa kadar okumam ve yüksek lisansı bitirmemde büyük emeği olan ve maddi manevi her türlü desteği her zaman sağlayan değerli ailem Hakkı-Hayriye Tüfekçi, Hande-Serdar Ercan'a ve eşim Çağla Tüfekçi'ye de sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma 0635.STZ.2014 numaralı 'Hafif Ticari Araç Kapıları İçin Modüler Mentеше Tasarımı, Optimizasyonu ve Prototip İmalatı' isimli SAN-TEZ Projesi kapsamında yapılmıştır. Bu nedenle T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı'na, Bilim ve Teknoloji Genel Müdürlüğü'ne teşekkür ederim.

Mustafa TÜFEKÇİ

.../.../2016

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Sürdürülebilirlik.....	4
1.2. Hafifleştirilmiş ve Çok Malzemeli Tasarımlar	6
1.3. Ağırlık Azaltmak İçin Kullanılabilecek Alternatif Malzemeler	7
1.3.1. Alternatif Malzemeler - Alüminyum.....	9
1.3.2. Alternatif Malzemeler - Yüksek Mukavemetli Çelikler.....	11
1.4. Dövme Tekniği.....	14
2. MATERYAL VE YÖNTEM.....	19
2.1. Otomotiv Menteşe Sistemleri.....	19
2.2. Kıyaslama Çalışmaları	22
2.3. Ürün Tasarım ve Tasarım Doğrulama Süreci	25
2.3.1. Ürün Tasarımı Süreci	25
2.3.2. Sonlu Elemanlar Analizi Süreci	27
2.3.2.1. Sonlu Elemanlar Modeli Hazırlama	30
2.3.2.2. Çözüm Parametre Dosyası Oluşturma.....	31
2.4. Prototip Üretimi	32
2.5. Prototip Testleri.....	32
2.5.1. Yan/Arka Kapı Menteşesi Dayanım Şartı	33
2.5.2. Yan/Arka Kapı Menteşesi Düşme Şartı	34
2.5.3. Yan/Arka Kapı Menteşesi Sarkma Şartı.....	35
2.5.4. Yan/Arka Kapı Menteşesi Tam Açık Pozisyonda Yatay Aşırı Yükleme Şartı	36
2.5.5. Yan/Arka Kapı Menteşesi Torku ve Serbestliği.....	37
2.5.6. Yan/Arka Kapı Menteşesi Açma-Kapama Ömür Testi.....	38
2.5.7. Yan/Arka Kapı Menteşesi Korozyon Dayanımı.....	38
2.5.8. Yan/Arka Kapı Menteşesi Dış Çıkıntı Şartı	38
3. BULGU VE YORUMLAR	39
3.1. Kıyaslama Çalışmaları	39
3.2. Mevcut Tasarımın Sonlu Elemanlar Analizi.....	41
3.2.1. Tam Açık Pozisyonda Yatay Aşırı Yükleme Analizi	41
3.2.2. Menteşe Çekme Dayanımı Analizi.....	46
3.3. Alüminyum Alaşımlarla Sonlu Elemanlar Analizleri	51
3.3.1. Al Alaşımlarla Çekme Dayanımı Analizleri	52
3.3.1.1. Al6082 Alaşımı ile Menteşe Çekme Dayanımı Analizi	53
3.3.1.2. Al6262 Alaşımı ile Menteşe Çekme Dayanımı Analizi	56
3.3.2. Al Alaşımlarla Tam Açık Konumda Yatay Aşırı Yükleme Analizleri	58
3.3.2.1. Al 6262 Alaşımı ile Menteşe Tam Açık Konumda Yatay Aşırı Yükleme Analizi	59
3.3.2.2. Al 7075 Alaşımı ile Menteşe Tam Açık Konumda Yatay Aşırı Yükleme Analizi	60

3.4.	Sonlu Elemanlar Analizlerinin Yorumlanması	61
3.5.	Topoloji Optimizasyonu	61
3.6.	Malzeme Kütüphanesi Çalışmaları	62
3.7.	Yeni Tasarım Çalışması	66
3.8.	Prototip Üretimi ve Doğrulama Testleri	70
3.8.1.	Prototip Üretimi.....	70
3.8.2.	Doğrulama Testleri.....	73
4.	SONUÇ	76
	KAYNAKLAR	77
	ÖZGEÇMİŞ	82



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

0	Derece
ε	Epsilon
σ	Sigma
%	Yüzde

Kısaltmalar

Al	Alüminyum
CO ₂	Karbondiyoksit
Gr	Gram
Kg	Kilogram
Ln	Lineer
MPa	Mega Paskal
Mm	Milimetre
FMVSS	Federal motorlu taşıt güvenlik standartları
Km	Kilometre

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1. Otomotiv sektöründe kullanılan malzemelerin karşılaştırılması (Lutsey, 2010)	13
Şekil 2. 90-180 ve 270 derece açılan araç kargo kapı görüntüsü.....	20
Şekil 3. Ticari araçlarda kullanılan kargo tipi kapılardaki menteşe sistemi görüntüsü ..	20
Şekil 4. Başlıca sonlu elemanlar analizi uygulamaları	28
Şekil 5. Yan/arka kapı menteşesi dayanım testi sınır şartları	33
Şekil 6. Yan/arka kapı menteşesi düşme testi sınır şartları.....	34
Şekil 7. Yan/arka kapı menteşesi sarkma testi sınır koşulları.....	35
Şekil 8. Yan/arka kapı menteşesi tam açık konumda yatay aşırı yükleme testi sınır koşulları.....	36
Şekil 9. Esneme açısı hesabı	37
Şekil 10. Fiat ducato, vw caddy, ford connect arka kargo kapı menteşeleri.....	39
Şekil 11. Vw transporter, renault trafic, renault master arka kargo kapı menteşeleri.....	40
Şekil 12. Dacia dokker arka kargo kapı menteşesi	40
Şekil 13. Mevcut tasarım sonlu elemanlar analizi modeli	41
Şekil 14. Mevcut tasarım sonlu elemanlar analizi gerilme sonuçları	43
Şekil 15. Menteşe sabit ve hareketli kısımlarında oluşan gerilmeler.....	44
Şekil 16. Menteşe piminde oluşan gerilmeler	45
Şekil 17. Mevcut tasarım sonlu elemanlar analizi yer değiştirme sonuçları.....	45
Şekil 18. Çekme dayanımı analizi sınır koşulları	46
Şekil 19. Çekme dayanımı analizi (x eksen) sonucu menteşe sabit kısmı.....	47
Şekil 20. Çekme dayanımı analizi (x eksen) sonucu menteşe hareketli kısmı	48
Şekil 21. Çekme dayanımı analizi (x eksen) sonucu menteşe pimi.....	48
Şekil 22. Çekme dayanımı analizi (y eksen) sonucu menteşe sabit kısmı.....	49
Şekil 23. Çekme dayanımı analizi (y eksen) sonucu menteşe hareketli kısmı	50
Şekil 24. Çekme dayanımı analizi (y eksen) sonucu menteşe pimi.....	51
Şekil 25. Al6082 ve al6262 alaşımlarına ait gerilme-gerinme eğrileri.....	53
Şekil 26. Çekme dayanımı analizi (x eksen) sonucu menteşe hareketli kısmı	53
Şekil 27. Çekme dayanımı analizi (x eksen) sonucu menteşe sabit kısmı.....	54
Şekil 28. Çekme dayanımı analizi (y eksen) sonucu menteşe hareketli kısmı	55
Şekil 29. Çekme dayanımı analizi (y eksen) sonucu menteşe sabit kısmı.....	55
Şekil 30. Çekme dayanımı analizi (x eksen) sonuçları	56
Şekil 31. Çekme dayanımı analizi (y eksen) sonuçları	57
Şekil 32. Al6262 malzemesi tam açık konumda yatay aşırı yükleme analizi sonuçları .	60
Şekil 33. Al7075 malzemesi tam açık konumda yatay aşırı yükleme analizi sonuçları .	60
Şekil 34. Topoloji optimizasyonu sonuçları	62
Şekil 35. Alüminyum çekme numunesi	63
Şekil 36. Al6082 alaşımına ait çekme eğrileri	64
Şekil 37. Al7075 alaşımına ait çekme eğrileri	65
Şekil 38. Al2014 alaşımına ait çekme eğrileri	66
Şekil 39. Mevcut menteşe tasarımı	67
Şekil 40. Yeni menteşe tasarımı.....	67
Şekil 41. Yeni menteşe analiz sınır koşulları.....	68
Şekil 42. Yeni menteşe tasarımı tam açık konumda yatay aşırı yükleme analizi	69
Şekil 43. Yeni menteşe tasarımı tam açık konumda yatay aşırı yükleme analizi	69

Şekil 44. Alüminyum menteşe dövme aşaması	70
Şekil 45. Ölçüm kontrolü aşamasındaki menteşeler	71
Şekil 46. Eloksal kaplı menteşeler	72
Şekil 47. Pim deliği çatlamış hurda menteşe	72
Şekil 48. Test edilmeye hazır menteşe.....	73
Şekil 49. Çekme testi uygulanan menteşeler (x ve y yönünde)	74



ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 1. Hafifletmede kullanılabilircek potansiyel malzemeler	8
Tablo 2. Xerox'un başarıyla uyguladığı benchmarking örnekleri (Yüksel 2003).....	23
Tablo 3. Mentеше malzemeleri mekanik özellikleri	42
Tablo 4. Alüminyum al6082 ve al6262 alaşımları mekanik özellikleri	52
Tablo 5. Al alaşımdan yapılan menteşelerin çekme analizi sonuçları.....	58
Tablo 6. Al6262 ve al7075 alaşımları mekanik özellikleri	59



1. GİRİŞ

Son yıllarda otomotiv sektöründe uluslararası boyutta fiyat, kalite, ürün çeşitliliği açısından çok büyük bir rekabet yaşanmaktadır. Sektördeki kuruluşlar sınırsız müşteri taleplerinin her birine cevap verirken aynı zamanda en kaliteli ürünü en uygun maliyet ile üretmeyi hedeflemektedirler. Özellikle belirli bir seviyeye gelmiş pazarlarda, müşteri istekleri satışları belirlemekte ve dolayısıyla müşteriyi tatmin edecek ürün geliştirme, marka ve model yaratabilme gibi fark yaratacak çalışmalar önem kazanmaktadır. Bu kapsamda Ar-Ge faaliyetleri firmalar için ön plana çıkmaktadır. Günümüzde küresel enerji ihtiyacı her geçen gün artmakta ve sürdürülebilir çevre kavramı önem kazanmaktadır. Otomotiv sanayide yakıt tasarrufu sağlayan ve enerjiyi verimli kullanan araçların üretilmesi öncelikli hedef haline gelmiştir. Araçların sadece kullanım ömrü içerisinde harcadığı enerji değil, aracı oluşturan her bir parçanın hammadde aşamasından işlenip kullanılması ve sonunda geri dönüştürülmesine kadar geçen bütün evrelerde harcanan enerjinin verimli kullanılması zorunlu hale gelmiştir. Ülkemizin stratejik hedefleri arasında otomotiv sektörünün ağırlığı oldukça fazladır. Bu sektörde yıllık 2 milyon adet üretim ile dünya çapında toplam üretimde ilk 10'da, AB'de ise toplam üretimde ilk 3'te yer alınması hedeflenmektedir. Bu hedef doğrultusunda ülkemizdeki yan sanayilerin kaliteli ürünler ile bu alandaki ihtiyaca cevap vermesi ithalatımızı azaltacaktır. Özellikle hafif ticari araç üretiminde Avrupa'nın en güçlü ülkesi oluşumuz bu alanda ürettiğimiz taşıtlarda yerli ürünlerin kullanılması ile anlam kazanacaktır. Ticari araç sektöründeki firmaların ürettikleri taşıtların güvenilirliği ve garanti edilmiş ürün ömür süreleri onların rakipleri karşısında öne çıkaran unsurlardır. Bu sektördeki firmalarda her yeni araç projesi ile araç ağırlıklarının ve maliyetlerinin azaltılması hedeflenmekle birlikte bu kapsamda tüm tedarikçilere baskı uygulanmaktadır.

Ticari araçların yük ve yolcu taşıma fonksiyonlarını sağlıklı bir şekilde yerine getirebilmesi kapılarının sorun çıkartmadan açılıp kapanabilmesi ile mümkün olabilmektedir. Ticari amaçlı kullanılan araçlardaki kapıların işlevini görmesi menteşe sistemlerinin güvenilirliği ile sağlanmaktadır. Kapı menteşelerinin bir kaza sonrasındaki değişimi dışında bir değişimi son müşteri tarafından kesinlikle normal karşılanacak bir durum değildir. Hafif ticari araçlarda çok farklı kapı boyutlarının yanında kullanım

şartları bir binek otomobilden çok farklı olmaktadır. Bu ürünlerdeki karşılaşılan sorun ve değişimler ticari araçların marka değerine zarar vermektedir. Bu nedenle ana sanayinin doğrulanmış ve yüksek güvenilirlikli ürün beklentisi gün geçtikçe artmaktadır.

Yürütülecek proje kapsamında hafif ticari araçların kapılarında kullanılmak üzere daha hafif, uygun maliyetli ve aynı zamanda kullanım ömrü garanti edilmiş menteşe sistemlerinin tasarımı, optimizasyonu, prototip imalatı ve doğrulama testleri gerçekleştirilecektir. Bu sayede ticari araç sektöründe Avrupa birincisi olan ülkemizdeki araçların ihtiyacının karşılanarak ithalatın azaltılması ve yurt dışı pazarlara açılarak ihracata katkı sağlanması hedeflenmektedir. Proje çıktısı menteşe sistemi, firmanın ürün gamındaki mevcut ürünlerin iyileştirilmesi değil, doğru malzeme-doğru tasarım ve doğru üretim yönteminin bütünlemesiyle, ülkemiz öz kaynakları uzun kullanım ömrü garanti edilmiş bir ürün olacaktır.

Bu proje kapsamında literatür araştırmasından test sürecine kadar bir Ar-Ge projesinin tüm aşamaları gerçekleştirilecektir. Proje başlangıcında yapılacak literatür ve fizibilite araştırmaları sonucunda menteşe sistemini oluşturan sabit ve hareketli parça olarak adlandırılan kısımlarda kullanılmak üzere alüminyum alaşımları belirlenecek ve mekanik özelliklerini test etmek için belirlenen malzemelere laboratuvar ortamında testler uygulanacaktır. Bu aşamadan sonra ortaya çıkan konsept tasarımlar üç boyutlu CAD modelleri ile geliştirilecek ve bilgisayar destekli analiz programları ile tasarım doğrulama çalışmaları sürdürülecektir. Mevcut menteşe sisteminde iyileştirilmesi öngörülen kritik parçalar için dayanım sınır şartları belirlenecektir. Kritik parçalar için farklı parametrelerin yorulma üzerine etkileri gerekli yazılımlar kullanılarak yapılacak yorulma analizleri ile incelenecektir. Firma bünyesinde daha önce kullanılmayan ileri tasarım ve optimizasyon teknikleri bu proje ile birlikte hayata geçirilerek menteşe gövdesi gibi dövme prosesi ile üretilmiş parçalar üzerinde topoloji optimizasyonu uygulanacak, böylece daha hafif ancak istenen dayanım ve ömür değerlerini karşılayan bir tasarım elde edilmesi hedeflenmektedir. Topoloji optimizasyonu ile elde edilen malzeme dağılımları değerlendirilerek imalata uygun yeni CAD modelleri oluşturulacak ve doğrulama analizleri (statik ve yorulma) gerçekleştirilecektir. Proje içerisinde ortaya çıkan yeni tasarımların sonlu elemanlar ve yorulma analizleri ile doğrulanmasından sonra menteşe

sistemi elemanları için kalıp tasarımları gerçekleştirilip prototip kalıpların üretimleri firma dışında yaptırılarak temin edilecektir. Prototip kalıpların doğrulanması gerçekleştirildikten sonra numune menteşe elemanları üretilecektir. Üretilen prototip numunelerin Rollmech firmasının Ar-Ge merkezinde bulunan test imkanları ile regülasyonlara uygunluğu denetlenecek ve sonuçlar ile proje hedefleri değerlendirilerek menteşe prototipinin endüstriyel bir ürün haline getirilmesi için altyapı oluşturulacaktır.

Firmanın mevcut menteşe parçaları düşük karbonlu çelikten üretilip sıcak dövme ile şekillendirilmektedir. Proje kapsamında firmanın daha önce denemediği ve bilgi birikimi olmadığı alüminyum dövme prosesi ile prototip menteşeler üretilecektir. Ayrıca mevcut durumda bilgi birikimi yurt dışı tedarikçisinde bulunan dövme prosesleri proje kapsamında yerli bir firma ile gerçekleştirilerek ürünün yerlileştirilmesi ve yurt dışına çıkan döviz kaynağının azaltılması projenin amaçlarından birisidir. Menteşe parçalarında alüminyum alaşımlarının doğru tasarımlar ile kullanılması sayesinde yaklaşık %20 daha hafif bir yapının elde edilmesi hedeflenmektedir. Bu oran menteşe üretimi için yıllık 80 ton hammadde tüketen firmanın maliyetlerini önemli ölçüde düşürecektir. Ayrıca menteşe parçalarına dövme işleminden sonra uygulanan talaşlı işleme proseslerinde alüminyum malzemesinin kullanılması ile azalma ve takım ömürlerinde yaklaşık 10 kat artma beklenmektedir. Bu iyileştirmelerde maliyetlere olumlu yansıtacaktır. Ülkemizin hafif ticari araç sektöründe Avrupa Birliği içindeki rekabet merkezi ve özel ürünlere yönelik gelişmiş bir Ar-Ge Merkezi olmak hedefine katkı sağlayan bu Ar-Ge çalışması ile ülkemiz yerli kaynakları ile uygun maliyetli, hafif ve kaliteli bir menteşe sistemi ortaya çıkarılacaktır. Firma proje çıktısı olan bu ürün ile bilgi birikimi kendisinde bulunan yenilikçi bir ürünü portföyüne eklemiş olacak, pazar payını büyütürken cirosunda artış sağlayacak, proje ara çıktılarıyla elde edilen bilgi ve deneyimleri diğer projelerde kullanarak tüm ürünlerinde geliştirme imkânı sağlayacak ve Ar-Ge yönünü ortaya çıkartıp sektöre öncülük edecektir. Türkiye açısından değerlendirildiğinde ise; ülkemizdeki en büyük yerli otomotiv kapı menteşe üreticisi olan firma tarafından teknolojik yatırımı yapılmış, tasarlanmış ve üretilmiş yerli menteşe sistemleri sayesinde ithalatın azaltılması sağlanacaktır. Proje sonunda ortaya çıkan ürünün firmanın uluslararası tanınırlığı sayesinde yurt dışı müşterilere ihracatının gerçekleştirilmesi, yeni

tedarik zincirlerinin kurulması ve ortaya çıkacak olan teknik bilgiler sayesinde yan sanayinin geliştirilmesi projenin önemli yaygın etkileri olarak öne çıkmaktadır.

1.1.Sürdürülebilirlik

Sürdürülebilirlik sürekli olma durumu olarak isimlendirilebilir. Sürdürülebilirliğin ekoloji bilimindeki anlamı ise biyolojik sistemlerin çeşitliliğinin ve üretkenliğinin devamlılığının sağlanmasıdır. Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Komisyonu'nun 1987 yılında yaptığı tanımlamaya göre: "İnsanlık, gelecek kuşakların gereksinimlerine cevap verme yeteneğini tehlikeye atmadan, günlük ihtiyaçlarını temin ederek, kalkınmayı sürdürülebilir kılma yeteneğine sahiptir."

Sürdürülebilir kalkınma, ekonomik olarak büyüme ve refah seviyesini artırma çabalarının, çevreyi ve yeryüzündeki tüm insanların yaşam kalitesini koruyarak gerçekleştirme yöntemidir. Sürdürülebilir kalkınmanın iki ana başlığı vardır: insan ve çevre merkezli olmak. Sürdürülebilir kalkınma doğal çevrenin ve yaşam kalitesinin korunması kadar ekonomik ve sosyal kalkınmanın da birbiriyle bütün parçalar olduğunu kabul etmektedir.

Sürdürülebilirlikte çevresel, ekonomik ve sosyal faktörler bir arada sağlandığı takdirde sürdürülebilir gelişme gerçekleşebilmektedir. Tüklenen enerji kaynakları yerine yenilenebilir enerji kaynaklarının verimli kullanımı ve doğaya karşı daha dikkatli davranılması ve insanların kendini sorumlu hissetmesi çevresel sürdürülebilirliğin gereksinimlerini oluşturmaktadır. Doğal enerji eğer verimli kullanılırsa ülke ekonomisinde gelişme gözlenir. Sürdürülebilir ekonomi kavramını ekonomideki kalkınma gerçekçi kılmaktadır. Sağlıklı toplumlar ancak çevreye duyarlı bir yaklaşımla yaşamının sonucunda oluşmaktadır. Sağlıklı toplumların ekonomik refah içinde yaşantısı sosyal sürdürülebilirlik olarak adlandırılmaktadır. Yeryüzü şartında sürdürülebilir küresel bir toplumun saygı ve kaygı, ekolojik bütünlük, evrensel insan hakları, ekonomik adalet, demokrasi, ve barış kültürünün üzerinde kuruluşu anlatılmaktadır.

Günümüzde enerji kaynakları ve biyolojik çeşitlilikteki azalma, küresel ısınma gibi önemli sorunlar sebebiyle sürdürülebilir çevre kavramı, tüm endüstriyel alanlarda enerji

verimliliğini sağlamayı ve enerji tüketimini azaltmayı öncelikli hedef haline getirmiştir. Sürdürülebilirliğin sağlanmasında, ürünlerin ve sistemlerin kütle, enerji, boyut ve zaman faktörlerinden en verimli şekilde yararlanılarak tasarlanması oldukça önemlidir. Bu kapsamda, yeni malzemelerin araştırılması, yeni ürünlerin tasarlanması ve imalat teknolojilerinin geliştirilmesi kaçınılmaz olmuştur.

Birleşik Krallık Tasarım Konseyi'nin açıklamasına göre, "Sürdürülebilir tasarım, çevreye zarar vermeden mevcut ve gelecekteki insani ihtiyaçların karşılanması için tasarımın stratejik kullanımını içermektedir. Toplumun talepleri, çevre ve ekonomi arasındaki dengesizliklerin ve değiş tokuşlar ile başa çıkılması ve nihayetinde önceden verilen hasarın restorasyonu için ürün, işlem, hizmet ve sistemlerin (yeniden) tasarlanmasını içermektedir".

Amerikan profesyonel tasarım birliği AIGA'ya göre: "tasarım, güçlü bir değişim şeklidir. Oluşturduğumuz mesajlar, yapıtlar ve deneyimler el, zihin ve kalp değiştirdikçe, sürdürülebilirliği daha geniş kültür kumaşına dokuma ve tüketim ve yaşam biçimi isteklerini daha sürdürülebilir bir yaşam temeline kaydırma olanağı bulunmaktadır."

2008-2035 yılları arasında küresel enerji ihtiyacının %53 oranında artacağı öngörülmektedir. Enerji ihtiyacı bakımından ikinci büyük sektör olan ulaştırma sektörü, bu artışta önemli bir rol oynamaktadır. Avrupa Birliği'ndeki (AB) enerji tüketiminin yaklaşık olarak üçte biri ulaştırma sektöründen kaynaklanmaktadır. Ulaştırma sektöründeki bu enerji ihtiyacının %81'lik kısmı ise karayolu taşımacılığında kaynaklanmaktadır. 2008-2035 yılları arasında taşıt sayısı ve yük taşımacılığında artış sonucunda bu tüketimin yıllık %1,4 oranında artacağı öngörülmektedir (www.eia.gov, 2011).

Ulaştırma sektöründeki taşıtların enerji ihtiyacının büyük bir çoğunluğunun sıvı yakıtlardan karşılanıyor olması atmosfere salınan karbondioksit (CO₂) miktarını arttırmaktadır. Yapılan araştırmalar bu artışın önümüzdeki yıllarda sürdürülebilir çevre kavramını tehdit ettiğini göstermektedir. Uluslararası Enerji Ajansının (IEA) verilerine göre önleyici tedbirler alınmazsa ulaştırma sektöründen kaynaklanan sera gazı emisyon

miktarının 2030 yılında %50, 2050 yılında ise %80 oranında artması beklenmektedir (www.eia.doe.gov, 2010).

Ulaşım için gerekli olan enerji ihtiyacının ve buna bağlı olarak CO₂ salınımının azaltılması gün geçtikçe önem kazanmaktadır. Otomotiv sektöründeki kuruluşlar ve üniversiteler ortaya çıkan bu olumsuz durumu engellemek için düşük karbon emisyonlu, çevreye daha duyarlı, yeni nesil araçların üretilmesi ve araçlarda yakıt verimliliğinin artırılması hakkında birçok araştırma yapmaya ve devlet destekli projeler hazırlamaya başlamıştır. Yapılan araştırmalar yakıt tüketimindeki %25-30 oranında bir tasarrufun kısa vadede yenilikçi teknolojiler sayesinde mümkün olacağını göstermektedir (King 2007).

1.2.Hafifleştirilmiş ve Çok Malzemeli Tasarımlar

Performans, güvenlik ve konfor gibi özellikleri azaltmadan yapısal ağırlığı azaltmak, motorlu taşıtlarda yakıt tüketimini azaltmanın ve enerji verimliliğini geliştirmenin en önemli yollarından biridir. BCC araştırma şirketinin 2011 yılında yapmış olduğu araştırmada, ortalama bir motorlu aracın yakıt tüketiminin yaklaşık % 75'i ağırlık ile ilişkili faktörlerden kaynaklanmakta olduğu belirtilmiştir (Anonim 2011). Lutsey (2010), Fuchs ve ark. (2008) yaptıkları çalışmalarda, 5-10 yıllık bir süreçte taşıtlarda %20-30 oranında bir hafifletmenin günümüz teknolojileri ile mümkün olacağını ve bunun frenleme, hızlanma gibi dolaylı yoldan birçok faktöre de etkisinin olacağını belirtmişlerdir. Ayrıca ağırlığın azaltılması, hibrit ve elektrikli araçlar gibi yeni ve yüksek verimli enerji teknolojilerinin başarısında da kritik öneme sahiptir.

Helms ve Lambrecht (2006) araç ağırlığındaki hafifletirmenin günümüzde artık yeni bir olgu değil iyi kurgulanmış bir strateji olduğunu belirtmişlerdir. Bu kapsamda ağırlıkta yapılacak olan her 100 kg'lık hafifletirmenin 100 km'lik bir yolculuk esnasında 0,4 litre daha az yakıt tüketimi anlamına geldiği ve bu sayede çevreye 10 gram daha az CO₂ salınımı olacağını belirtmişlerdir. Sadece Avrupa'da yılda yaklaşık olarak 18 milyon binek araç üretildiği göz önüne alınırsa azaltılacak olan her 10 gram CO₂ miktarının ne kadar önemli olacağı görülmektedir.

Hafifletme, temel olarak kullanılacak malzemelerden yüksek performans elde etmek için yenilikçi tasarım ve araçta kullanılan mevcut parçaların yerine yüksek mukavemetli çelikten, alüminyumdan, plastik ve kompozitten üretilmiş daha hafif parçaların yerleştirilmesi ile sağlanmaktadır. Performans, güvenlik ve konfordan ödün vermeden aracı oluşturan parçaların yapısal ağırlıklarını azaltmak ve böylece taşıtın yakıt tüketimine ve enerji verimliliğine katkı sağlamak sektördeki kuruluşların öncelikli hedeflerindedir. Bu yöntem sayesinde yakıt tüketiminde azalma sağlanırken araç ömrü boyunca salgılanan emisyon oranlarında da azalma görülmektedir.

Ayrıca ağırlığı azaltmanın bir diğer yolu da çok malzemeli tasarımlar yapmaktan geçer. Çok malzemeli tasarım, yüksek performanslı ürünler elde edebilmek için malzemelerin fonksiyonlarını arttırıcı bir strateji seçer. Asbhy ve ark. (2004) ürün fonksiyonelliğini, üretilebilirliğini, fiyatını ve estetiğini iyileştirmek için çok malzemeli tasarımın kullanılabilirliğini çalışmalarında belirtmişlerdir. Bazı durumlarda ürünlerden eş zamanlı olarak bir malzeme tarafından karşılanamayacak bir fonksiyondan daha fazlası beklenir. Örneğin su geçirmemesi istenen bir ürünün aynı zamanda beklenen darbeler altında yapısal sertliğinden taviz vermemesi beklenebilir. Çok malzemeli tasarım ile bu iki fonksiyon da tek bir üründe sağlanabilir.

Novita ve ark. (2013) çok malzemeli tasarımın maliyet ve ağırlığı azaltan ve yüksek performanslı ürünler elde edilmesini sağlayan bir malzeme seçim stratejisi olduğunu belirtmişlerdir. Novita ve ark. göre hafifletilmiş tasarımlarda çoklu malzeme kullanarak ağırlığı azaltmak CO₂ emisyonunu azaltarak çevremizi önemli derecede etkileyen yakıt tasarrufu yapmamızı sağlar. CO₂ emisyonunu azaltmanın çevreye olan etkisinin öneminden dolayı otomotiv tasarımları daha yüksek geri dönüşüm değerlerine ulaşmayı gerektiren yasalara uymak zorundadır. Bu kapsamda daha yüksek geri dönüşüm değerleri için kullanılan malzeme yelpazesini genişletmek gerekir.

1.3.Ağırlık Azaltmak İçin Kullanılabilecek Alternatif Malzemeler

Taşıtlarda yapısal ağırlığı hafifletmede en etkili yöntemlerden biri geleneksel malzemelerden üretilmiş parçaların daha hafif malzemeler ile üretilmesidir. Otomotiv

sektörünün hafifletmeyi sağlamak için yapmış olduğu atılımlar nedeniyle ulaştırma sektöründeki hafif malzemelerden üretilen parçaların küresel pazardaki değerinin 2010 yılında yaklaşık olarak 95,5 milyar dolar olduğu, 2015 yılında ise 125 milyar dolar olacağı öngörülmektedir (www.bccresearch.com, 2011). Tablo 1’de çeşitli malzemelerin hafifletmeye olan etkisi ve göreceli olarak maliyet oranları verilmiştir.

Tablo 1. Hafifletmede kullanılabilir potansiyel malzemeler

Hafif Malzeme	Yerine Gececeği Malzeme	Ağırlıktaki Azalma (%)	Parça Başına Göreceli Maliyet
Yüksek Alaşımli Çelik	Yumuşak Çelik	10	1
Alüminyum	Çelik, Dökme Demir	40-60	1,3-2
Magnezyum	Çelik veya Dökme Demir	60-75	1,5-2,5
Magnezyum	Alüminyum	25-35	1-1,5
Cam Fiber Takviyeli Polimer Kompozit	Çelik	25-35	1-1,5
Grafit Takviyeli Kompozit	Çelik	50-60	2-10+
Titanyum	Alaşımli Çelik	40-55	1,5-10+
Paslanmaz Çelik	Karbonlu Çelik	20-45	1,2-1,7

Alternatif malzemeler kullanılarak üretilmiş parçaların sağladığı hafifletme oranları kullanılan malzemeye ve tasarıma bağlı olarak değişiklik gösterir. Örneğin plastik deformasyona karşı dirençli olması istenen bir parçada kullanılacak olan 1 kg alüminyum 3-4 kg çelik malzemenin yerini alabilir. Fakat sertlik parametresi ön planda olduğu bir parça için ise 1 kg alüminyum yaklaşık 2 kg’lık çelik malzemenin yerini alabilir.

Literatürde birçok araştırmacı farklı malzemelerin kullanımı ile taşıtı oluşturan parçaların hafifletilmesi ve bunun yakıt tüketimine olan katkısı ile ilgili çalışmalar yapmıştır. Cheah ve Heywood (2011) çalışmalarında günümüz taşıtlarında kullanılan dökme demir parçaların hafif malzemelerden yapılmış (alüminyum, kompozit ve yüksek alaşımli çelik)

olanlarıyla değiştirilmesi ve yeni tasarımlar sayesinde toplam taşıt ağırlığında 2016 yılına kadar yaklaşık %25 (430 kg), 2030 yılına kadar ise %35 (600 kg) oranında bir hafifletmenin mümkün olacağını belirtmişlerdir. Bu orandaki bir hafifletirmenin yakıt ekonomisine olan katkısını 100 km'de 3-4 litre olacağını göstermişlerdir. Ayrıca kamyonetlerde her 100 kg'lık bir hafifletirmenin yakıt ekonomisine olan katkısını 0,48 L/100 km olarak hesaplamışlardır.

Kısa vadede, sadece araçlarda kullanılan geleneksel dökme demir veya çelik malzemesinden üretilmiş parçaların, yenilikçi tasarımlar ile daha hafif olan alüminyum, yüksek alaşımlı çelik, cam fiber/karbon fiber takviyeli plastik malzemelerden üretilmiş parçalar ile değiştirilmesi sonucunda araçlarda yaklaşık olarak %30 oranında bir hafifletme sağlanabilmekte ve bu orandaki hafifletmenin %18-%24 oranında CO₂ emisyonunda azalmaya neden olmaktadır (Kobayashi ve ark. 2009, Bandivadekar ve ark. 2008).

Enerji verimliliğini esas alan hafifletirme projelerinin etkisi ile son yıllarda dünyanın önde gelen otomotiv firmalarının ve yan sanayicilerinin kısa süreli hedeflerinin arasında taşıt ağırlıklarında hafifletirmeye gidilmesi ön plana çıkmıştır. Örneğin, Ford 2011-2020 yılları arasında, taşıt modeline bağlı olarak ağırlığı 110-340 kg arasında azaltmayı hedeflediğini açıklamıştır. Nissan'ın 2015 yılına kadar taşıt başına %15 oranında hafifletme hedefi vardır. Mazda 100 kg lık bir hafifletirmeyi başarmış olup 2016 yılına kadar buna ek olarak 100 kg daha hafifletmeyi hedeflemektedir. Toyota 2008 yılında hedeflediği hafifletirme oranı olan %10'u (158 kg) sağlamış olup, firma 2015 yılına kadar %30 oranında bir hafifletirmeyi hedeflemektedir (Lutsey 2010, U.S. EPA 2009).

1.3.1. Alternatif Malzemeler - Alüminyum

Teknolojik geçmişi sadece yüzyılın başlarına uzanan alüminyum, hafifliği, yüksek ısı ve elektrik iletkenliği, korozyon direnci ile çok farklı uygulamalarda vazgeçilmez malzeme olma özelliğini sürdürmektedir. Alüminyum ve alaşımları hafifletmenin sağlanabileceği en uygun malzemelerdendir. Döküm parçalarının yansıra levha ürünlerinde, kaporta başta olmak üzere birçok parçanın hafifletilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Alüminyum malzemesinin, hafifliğinin yanı sıra diğer malzemelere göre birçok avantajı vardır. Alüminyum, zehirleyici ve manyetik değildir. Kıvılcım çıkarmaz. Yoğunluğu, çeliğin yaklaşık üçte biri kadardır. Alüminyum malzemesi kolaylıkla dövülebilir, makinede işlenebilir ve dökülebilir. Korozyon özellikleri yüksek performansa sahiptir. Demirden sonra dünyada en çok kullanılan ikinci malzemedir. Saf halde çekme dayanımı düşük olan alüminyumun, bakır, çinko, magnezyum, manganez ve silisyum gibi pek çok elementle alaşımlandırılarak mekanik özellikleri geliştirilebilir. Yüksek dayanım/ağırlık oranlarından dolayı alüminyum alaşımları, birçok sektör için vazgeçilmezdir (Özcömert 2006).

Alüminyum alaşımı fiyat olarak çelikten 3-5 kat daha pahalı olmasına rağmen büyük oranlarda hafifletmeyi mümkün kılmaktadır. Alüminyum 2,7 g/cm³ lük yoğunluğu ile taşıtlarda performans ve emniyetten ödün vermeden taşıta bağlı olarak 300 kg'a kadar ağırlık tasarrufu sağlayan bir malzemedir. Çeliğin yerini alan çoğu alüminyum parçada kalınlık arttırılmak suretiyle çelikle aynı mukavemet sağlanabilmektedir. Fakat bazı parçalar için alüminyum, aynı kalınlıktaki çeliğin yerini de alabilmektedir (Özcömert 2006).

Yapısal uygulamalarda çeliğin kalınlığının alüminyuma oranı yaklaşık olarak 1,5'tir. Örneğin 0,8 mm kalınlığındaki çelik parça yerine 1,2 mm kalınlığında alüminyum kullanılabilir. Bu durumda parça başına ağırlık tasarrufu yaklaşık %50 olmaktadır (www.alueurope.eu, 2011).

Avrupa Alüminyum Birliği (EAA) tarafından yapılan bir çalışmada, mukavemetleri eşit olmak koşuluyla alüminyum malzemenin standart çelik malzemenin %60, yüksek alaşımlı çelikten ise %40 oranında daha hafif olduğu görülmüştür. Eşit sertlik değerinde yine aynı malzemeler karşılaştırıldığında alüminyumun çelik malzemelere göre %45 daha hafif olduğu gözlenmiştir. Ayrıca günümüzde kullanılan yarı mamul alüminyum malzemeleri plastik, çelik ve kompozitten üretilmiş parçalar ile entegre bir şekilde kullanarak üretim aşamasındaki maliyet, işçilik ve montaj süresi gibi parametrelerde de avantaj sağlanmaktadır (www.alueurope.eu, 2011).

Taşıtlarda hafif metal kullanımının yaygınlaşmasıyla birlikte alüminyum da otomotiv endüstrisine girmiştir. Bu gelişmeye paralel olarak günümüzde ortalama bir taşıtta çok çeşitli alüminyum parçalar kullanılır hale gelmiştir. Örneğin döküm yöntemiyle alüminyumdan imal edilmiş silindir kafaları, dişli kutusu gövdeleri, jantlar; ekstrüzyon yöntemiyle alüminyumdan imal edilmiş radyatörler, koltuk kızakları, darbe çubukları gibi alüminyum alaşımları, günümüz araçlarında yaklaşık olarak 100 farklı parçada kullanılmakta olup bu parça sayısı hızla artmaktadır. Yapılan araştırmalarda, toplam taşıt ağırlığında alüminyum alaşımlarının miktarı 2012 yılında 156 kg olarak hesaplanmış, 2025 yılında ise 249 kg olarak öngörülmüştür.

Parçaları alüminyumdan yapılmış bir taşıtın geleneksel çelik yapılı olana göre yaklaşık olarak %24 daha hafif olabileceği belirtilmektedir. Bu hafifletme ise 100 km'lik bir yolculuk için 2 litre yakıt tasarrufu demektir. Jaguar firması üretmiş olduğu bir modelinde monokok alüminyum şase yapısı sayesinde 150 kg'lık bir hafifletmeyi sağlamıştır. General Motors araçlarında ortalama 166 kg, Honda ise araç ağırlığının yaklaşık %10 u oranında alüminyum alaşım kullanmaktadır. Alüminyum alaşımları kullanılarak ağır ticari araçlarda 1800-1900 kg'lık bir hafifletme mümkün olacağı belirtilmektedir (The Aluminum Assoc. 2011).

Alüminyum alaşımlarının taşıtların yapısında çelik malzemelerin yerine kullanılması birçok avantaj sağlamaktadır. Üretim aşamasında az enerji gereksinimi ve yüksek geri dönüştürülebilirlik oranı, kolay üretilmesi, üretim ve tamirinde düşük maliyet, tasarım esnekliği ve korozyon dayanımı gibi üstün özellikleri sebebiyle taşıtları oluşturan parçalarda kullanımı hızla artmaktadır (www.alueurope.eu, 2010).

1.3.2. Alternatif Malzemeler - Yüksek Mukavemetli Çelikler

Gelişen teknoloji ile birlikte yeni nesil çeliklerde mukavemet ve hafiflik açısından önemli başarılar sağlanmıştır. Bu kazanımların etkilerinin gözlemlendiği sektörlerden birisi de otomotiv endüstrisidir. Otomotiv endüstrisindeki yakıt tasarrufu üzerine yapılan çalışmalar için geliştirilen yeni nesil çelikler yüksek mukavemetli çelik – HSS (High

Strength Steel) ve geliştirilmiş yüksek mukavemetli çelik - AHSS (Advanced High Strength Steel) olarak bilinmektedir. Araçlarda kullanılan parçalarda yüksek mukavemetli çelikler ile herhangi bir mukavemet azalması ya da güvenlik zafiyeti olmadan parçanın kalınlıkları azaltılarak hafifletme sağlanabilmektedir.

Otomotiv endüstrisinde kullanılan çelikler birkaç farklı şekilde sınıflandırılabilir. Metalürjik özelliklerine göre sınıflandırırsak;

- Düşük Mukavemetli Çelikler (Low Strength Steel/LSS): Genellikle alaşımsız ve az-orta karbonlu çeliklerdir.
- Konvansiyonel Yüksek Mukavemetli Çelikler (High Strength Steel/HSS): Genellikle karbon-mangan, fırında sertleştirilebilen izotropik, yüksek mukavemetli IF ve yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çeliklerdir.
- Geliştirilmiş Yüksek Mukavemetli Çelikler (Advanced High Strength Steel/AHSS): Gelişmiş yüksek mukavemet çeliklerinin yeni tipleri ise Mikro alaşımlanmış YP ve MC çelikleri, Dual Faz DP ve DL Çeliklerdir.

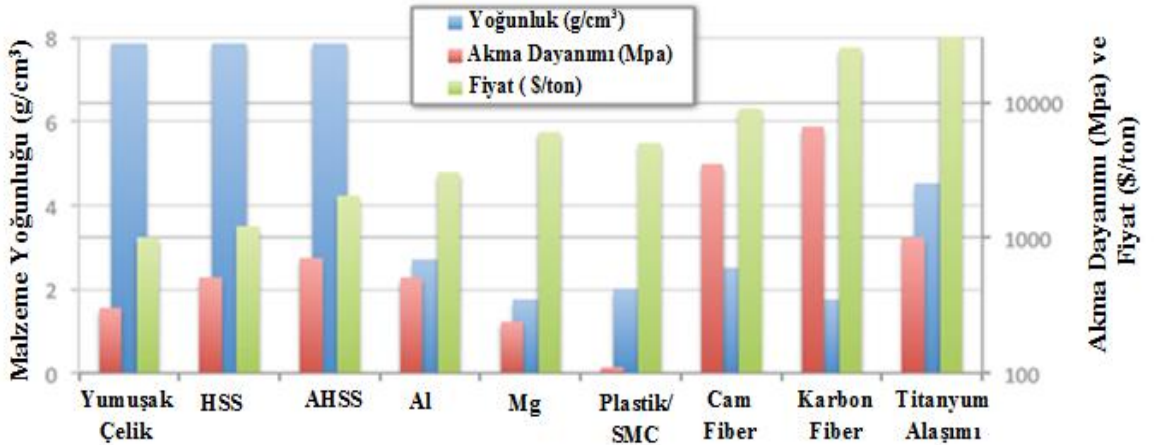
Yüksek alaşımlı çelikler 210-550 Mpa akma, 270-700 Mpa gerilme dayanımı gösteren malzemelerdir. Geliştirilmiş yüksek alaşımlı çelikler ise 550 Mpa'nin üzerinde akma, 700 Mpa üzerinde gerilme dayanımı gösterirler. Bu çelik türleri geleneksel çelik malzemesine göre yaklaşık %50 daha maliyetli olmasına rağmen daha hafif ve ince oluşları ile çeşitli avantajlar ve tasarım kolaylıkları sağlamaktadırlar. Çelik üreticileri geliştirdikleri teknikler ile farklı kalınlık ve özellikteki çelikleri bir araya getirip parçanın kullanıldığı yere göre sadece gerekli bölgede daha yüksek mukavemetli çelik malzeme kullanımını sağlamışlardır.

Yüksek mukavemetli çeliklerin kullanımı, kazandırdığı hafifletme, çarpışma dayanımı ve kaynak kabiliyeti gibi üstün özelliklerinden dolayı giderek yaygınlaşmaktadır. Özellikle otomotiv endüstrisinde, tasarlanan parçalara ve bu parçaların kullanım yerlerine göre seçilmiş birçok çelik türü yer almaktadır. Bu malzemeler mukavemet özelliklerinin yanı sıra şekillendirilebilme kabiliyetleri ile de ön plana çıkmaktadırlar. Şekillendirilebilme,

parçaların tasarlanan geometrilere sadık kalabilmesi açısından üretim sürecinde oldukça önemli bir unsurdur.

Yüksek mukavemetli çelik malzeme kullanımı ile parçanın kalınlığında azalma sağlanabilmektedir. Aynı özelliklere sahip parçalar karşılaştırıldığında 1,60 mm kalınlığındaki HSLA (High Strength Low Alloy) 350/450 malzemesinden üretilmiş olan parçanın DP (Dual Phase) 500/800 malzemesinden üretilmiş yaklaşık olarak 1,25 mm kalınlığındaki parçayla eşit mukavemet değerine sahip olduğu açıklanmıştır. Et kalınlığındaki bu incelmeye parçayı %24 daha hafif hale getirdiği belirtilmiştir (Öztürk ve ark. 2009).

Lutsey (2010) otomotiv sektöründeki üretilen parçalarda HSS ve AHSS malzemesinin kullanımının 2007 yılında yaklaşık %13 olan oranının hızla arttığını belirtmiş ve sektördeki çalışmalardan örnekler vermiştir. Honda Civic modelinin gövdesindeki HSS oranının %32den %50 ye çıktığını, Mercedes'in ise bu oranı %38 ten %78 e çıkardığını belirtmiştir. Ayrıca bu malzemelerin taşıtlarda kullanım oranının 2020 yılında %30-40 civarında olacağını belirtmiştir. Şekil 1'de hafifletmede kullanılacak çeşitli malzemelerin yoğunluk, akma dayanımı ve fiyatları karşılaştırılmıştır.



Şekil 1. Otomotiv sektöründe kullanılan malzemelerin karşılaştırılması (Lutsey, 2010)

1.4.Dövme Tekniği

Metallere Şekil vermek için günümüzde birçok teknik kullanılmaktadır. Üretilmek istenen parçanın üstün mekanik özelliklere sahip olması istenildiğinde dövme yöntemi ön plana çıkmaktadır. Dövme işlemi, darbe veya basınc altında kontrollü bir plastik deformasyon sağlanarak, metale istenen Őekli verme, tane boyutunu küçültme ve mekanik özelliklerini iyileŐtirme amacıyla uygulanan bir plastik Şekil verme yöntemi olarak tanımlanabilir. Yalnızca basma kuvvetlerinin etkisi altında genellikle sıcak, yarı sıcak veya soğuk olarak gerçekleştirilir. Birçok parça yüksek mukavemet istendiğinde dövme yoluyla Şekillendirilmektedir (Groover 2007).

Sıcak dövme prosesinde daha az kuvvet ihtiyacı bulunurken parça ölçüleri yeteri hassaslıkta elde edilemez. Büyük ebatlı parçalar bu yolla daha kolay dövülür. Yüzey pürüzlülüğü de iyi değildir. Çünkü yüzeyde oksit içerirler. Soğuk dvmede ise daha büyük kuvvete ihtiyaç duyulur bu nedenle malzemenin sünek olması istenir. Parça boyutları çok iyi çıkar. Orta ve kk ebatlı parçalar soğuk olarak dövülür. Yüzey pürüzlülüğü iyidir. Dövme ile, yüksek mukavemet, tokluk elde edilir. Kontrollü bir tane akışı elde edilir. Dövülen parçaların çoğu sonradan iŐlenir veya ısıl işleme tabi tutulur (Groover 2007).

Dövme prosesinde ilk olarak külçe malzeme ısıl işlem uygulanarak kütük haline getirilir. Dvlrek kütük haline getirilen bünye içerisindeki döküm yapısında bulunan boşluklar kapanmıŐ olur ve söz konusu parçanın dövme prosesi ile üretilmesi öncesi gerekli olan başlangıç ölçüleri elde edilir. Kütük haline getirilen parçanın bazı yeniden kristalleŐme aŐamalarından sonra son özelliklerine kavuŐtuđu gözlemlenir. Daha sonra parça homojenizasyon iŐleminde geçerek dövme iŐlemine hazır hale getirilir.

Dövme prosesinde kaba Őekillendirmede malzemede plastik deformasyonlar meydana gelerek malzeme Şekil almaya hazır hale getirilir, daha sonra hassas Şekillendirme ile parça son Őeklini almıŐ olur. Tüm bu Şekillendirme işlemleri yüksek performanslı presler sayesinde yapılır. Bu Şekillendirme iŐlemlerinde Őahmerdan, vidalı pres ve hidrolik pres kullanılmaktadır. Őahmerdan kullanımı en eski ve en ucuz deformasyon yöntemidir. Yaklaşık 32 Ton kapasitede olan Şahmerdanlar ile yüksek deformasyon oranları elde

edilmektedir. Vidalı preslerde de şahmerdanlar kadar olmasa da deformasyon oranı yüksek seviyedeki preslerdendir. 35.000 tona kadar kuvvet uygulayabilen presler mevcuttur. Hidrolik presler kafa hızı kontrollüdür, 70.000 tona kadar kuvvet uygulanabilmektedir. Teknolojideki ilerlemeler sayesinde bu ekipmanların deformasyon kontrolü ve form kabiliyetleri arttıkça malzemelerin özellikleri de daha iyiye gitmektedir. Isıl işlem, kimyasal yüzey temizlikleri sonrası son işlemler olarak teknik resim/malzeme standardında belirtilen kontrol yöntemleri (tahribatsız muayene, boyutsal ölçüm, mekanik testler) gerçekleştirilir. Dövme prosesinde kısa ve orta vadede sonraki işleme maliyetlerinin azaltımı için son parça şekline yakın parça imalatına yönelik hassas dövme, izotermal ve sıcak kalıp dövme yöntemlerinin artacağı öngörülmektedir (Groover 2007).

Literatürde birçok araştırmacı çeşitli malzemelerin dövme parametrelerini incelemiş ve ortaya çıkan ürünün içyapısı, mekanik özellikleri hakkında araştırmalar yapmışlardır. Pessard ve ark. (2012) dövme anizotropisi üzerinde çalışmış ve metalik olmayan kalıntıların yorulma dayanımı üzerine etkilerini modellemeye çalışmışlardır. Çalışmalarında metalik olmayan kalıntı olarak mangan-sülfür bileşiğinin etkilerini gözlemlemişlerdir. En iyi dayanımın haddeleme yönünde yönelmiş mangan sülfür numunesinde olduğu belirtilmiştir.

Liu ve Cui (2009) magnezyum alaşımlarının sıcak dövme prosesinin ve işlem parametrelerinin belirlenmesi üzerinde çalışmışlardır. Deneysel ve nümerik olarak yürütülen çalışma sonucunda sıcaklık ve şekillendirme hızının dövme işlemindeki en önemli parametre olduğu ortaya çıkmıştır. Ayrıca sıcaklığın magnezyum alaşımlarının şekillendirilebilirliğini arttırdığını belirtmişlerdir.

Keul ve ark.(2012), Pessard ve ark.(2011) beyitlik çeliklerin dövme yöntemi ile şekillendirilebilirliğini incelemişlerdir. Ortaya çıkan ürünün mikro yapısı ve mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Çalışmalarında yorulma dayanımının yöne bağlı olduğunu ve en iyi dayanımın haddeleme yönünde yönelmiş mangan sülfür numunesinde olduğu gözlemlemişlerdir.

Mc Kelvey ve Fatemi (2012) dövme yöntemi ile imal edilmiş çeşitli sertliklerdeki parçaların yüzey durumunun yorulma dayanımlarına etkisini araştırmışlardır. Cantilever bending ve rotating bending yorulma dayanımı arasında çok küçük bir fark olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Ayrıca malzeme sertliğinin artması ile parçalarda yorulma dayanımlarının da arttığını belirtmişlerdir.

Babakhani ve ark. (2012) sıcak dövme işleminin parametrelerinden olan işlem sıcaklığı, gerinme ve soğutma hızını vanadyum esaslı dövme çelikleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Soğuma hızının arttıkça malzemenin akma ve çekme gerilmesi ile sertliğinin arttığını, çentik darbe enerjisinin ise hızlı bir biçimde azaldığını açıklamışlardır. Ayrıca deformasyon sıcaklığının artması ile östenit tane büyüklüğünün arttığını ve deformasyon sıcaklığı ile soğuma hızının da gerinmeyi arttırarak malzemenin çekme ve akma gerilmesini de arttırdığını belirtmişlerdir.

Öztürk (2008) bir parçanın alüminyum dövme tasarım parametrelerine göre tasarlanmış olan dövme prosesi ve dövme kalıplarında iki farklı alışımda (Al 7075 ve Al 6061) alüminyum dövme uygulamalarını analiz etmiştir. Önerdiği uygulamanın Sonlu Hacim Metodu kullanılarak benzetimini yapmış ve gerekli olan dövme kuvveti, sıcaklık dağılımı ve parçadaki etkin gerilim dağılımını incelemiştir.

Tanner ve Robinson (2007) 2014 serisi alüminyum alaşımlarında dövme işlemi sonucunda oluşan artık gerilmeleri azaltacak metotları araştırmışlardır. İki farklı sıcaklıkta su verme işlemini denemişler ve hangisinin daha etkili olduğunu gözlemlemişlerdir. Kalıntı gerilmeleri parçanın içerisine yerleştirdikleri strain gaugeler yardımıyla tespit etmişlerdir.

Wanga ve ark. (2002) geniş alüminyum flanşların üretilmesinde pres kapasitesinin ve maliyetlerin azaltılması için optimum tasarım parametrelerini incelemiştir. Optimum dövme şartlarını belirlemek için sıcak basma deneyini yapmışlardır. Ayrıca çeşitli testler ile gerilmelerin mekanik özelliklere olan etkisini araştırmışlardır.

Araştırmacılar sonlu elemanlar analizlerini bu üretim yöntemlerinin parametrelerini belirlemek için de kullanmışlardır. Jang ve Liou (1998) yaptıkları çalışmada üç boyutlu, doğrusal olmayan sonlu eleman yöntemi kullanılarak radyal dövme ile işlenen asimetric ürünlerde gerilme geliştirme çalışması yapmıştır. Sonuçlar yayınlamış deneysel sonuçlar ile karşılaştırılarak geliştirilen modelin gerçekliği doğrulanmıştır.

Kim ve ark. (2002) yüksek sıcaklıkta alüminyum alaşım jantların metal şekillendirme proseslerini sonlu elemanlar metodu ile analiz etmişlerdir. Çalışmalarında plastik deformasyon ve ısı transferi için termo-mekanik bir formülasyon geliştirmişlerdir. 600 serisi alüminyum alaşımları için farklı prosesleri de çalışmalarında incelemişlerdir.

Otomotiv endüstrisinde kullanılan parçalarının belirlenen kullanım ömürleri boyunca işlevlerini güvenli bir şekilde yapmaları istenmektedir. Bunun yanı sıra sektördeki ana sanayiler sürekli olarak ürünlerin garanti sürelerinin artırılmasını talep etmektedirler. Tüm makine elemanlarında olduğu gibi taşıtı oluşturan parçalarda da ömür faktörü sürekli göz önünde bulundurulmalıdır. Bu nedenle kullanılan parçaların yorulma dayanımlarına tasarım ve üretim aşamalarında dikkat edilmelidir.

Tekrarlı gerilmeler altında çalışan metalik parçalarda, gerilmeler parçanın statik dayanımından küçük olmalarına rağmen, belirli bir tekrarlanma sayısı sonunda genellikle yüzeyde bir çatlama ve bunu takiben kopmasına neden olurlar. Yorulma olarak adlandırılan bu hasar türünde dayanımını etkileyen pek çok parametre vardır. Bunlar, yüzey durumu, sıcaklık, çevre, frekans, gerilme (yük) ve gerilme koşulları, parçanın geometrisi ve özellikleridir (Schijve 2008).

Parçalara uygulanacak olan plastik şekil verme yöntemleri (dövme, roll forming, haddeleme vb.) sonucunda malzemelerin içyapılarında büyük değişimler ortaya çıkmaktadır. Bu içyapı değişikliği parçanın yorulma ömrünü etkilemektedir. Özellikle dövme prosesinde metalik malzemelerin içyapılarında tane büyümesi oldukça sık rastlanan bir durumdur. Malzemelerde farklı deformasyonların oluşması sonucunda heterojen tane akışı görülmektedir.

Dövme prosesi sırasında, malzemenin döküm halindeki iri kristalize tane yapısı kırılarak daha küçük ve ince bir yapıya dönüşür. Döküm yapı içindeki düşük yoğunluklu, mikro çekintili ve gaz boşluklu bölümler, dövme sonucu ezilme ve kesitinin küçülmesi ile orantılı olarak çok küçülürler ve döküm malzemedeki hatalı bölgeler dövme işlemi sonucunda kaybolurlar. Bu sayede mekanik özellikler artar ve homojen bölgeler elde edilir. Bu gibi özelliklerin tasarım ve üretim esnasında kullanılması gerekmektedir (Chastel ve ark. 2006).

Literatürde metalik malzemelerde dövme işleminin yorulma dayanımlarına olan etkisini inceleyen numerik ve deneysel birçok çalışma mevcuttur. Chastel ve ark. (2006) sonlu elemanlar yardımı ile dövme prosesini modellemiş ve anizotrop dövme sonucunda içyapıdaki tane uzamalarının yorulma dayanımına olan etkisini araştırmıştır. Dövme işleminden sonra parça yüzeyinde kalan artık gerilmelerin malzemenin yorulma dayanımına olan etkisinin göz önünde bulundurulması gerektiğini belirtmiştir.

Mallapura ve ark.(2011) dövme ile üretilmiş A356 alaşımının mikro yapısını iyileştirmeye çalışmışlardır. Tane iyileştiricilerle yorulma dayanımının arttığı görülmüştür. Kimyasal kompozisyon optimum hale getirilmiştir.

Puertas ve ark. (2013) alüminyum alaşımlar ile izotermal dövme metodu ve ekstrüzyon metodu kullanılarak üretilmiş olan bir parçanın mekanik özelliklerini, içyapılarını ve yorulma dayanımlarını incelemişlerdir. Geleneksel yöntemlerle üretilen bir parçaya göre oldukça yüksek mekanik özelliklerin bu yöntemler ile kazandırılabilceğine değinmişlerdir.

Ren ve ark. (2012) dövme ile alüminyum malzemedan üretilmiş aks kutusunun yorulma özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmalarında gerilme dayanımın dövme işlemi sonucunda L şeklindeki parçaların T şeklindeki parçalardan daha fazla olduğunu açıklamışlardır. Aynı zamanda yorulma dayanımının da L şeklinde üretilen parçada daha fazla olduğunu belirtmişlerdir. Bu durum dövme prosesine tabi tutulacak parçanın tasarımının artık gerilmeler nedeniyle yorulma dayanımına olan etkisinin büyük olduğunu göstermektedir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1.Otomotiv Mentеше Sistemleri

Taşıtların hafifletilmesinde aracı oluşturan her bir parçanın hafifletme potansiyeli göz önüne alınmalıdır. Kapıyı araç gövdesine bağlayan menteşe sistemleri de hafifletme bakımından potansiyele sahip parçalardır. Kapı, yük veya yolcu taşıma amacıyla üretilmiş olan bütün taşıtlarda bulunan önemli bir komponenttir. Aracın içerisine girişi ve çıkışı sağlayan bu parçanın tasarlanıp üretilmesinde firmalar güvenlik, konfor ve ergonomi konularında detaylı araştırma ve geliştirme faaliyetleri yapmaktadırlar. Kapılar, taşıtta giriş çıkışın yapılabilmesi için hareketli menteşeler yardımıyla gövdeye bağlanırlar. Ayrıca güvenlik gerekçesi ile uluslararası regülasyonlar çerçevesinde kapının ve araca bağlantısını sağlayan elemanların herhangi bir çarpışma etkisi altında içerideki yolcu güvenliğini koruyabilecek yapıda olması istenmektedir.

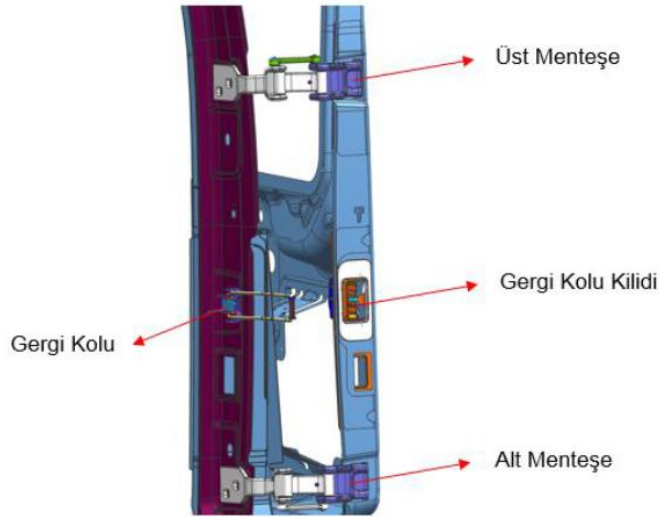
Menteşeler sistemleri kapıların araç gövdesine bağlanmasını sağlayan en temel mekanizmalardır. Birincil fonksiyonları araç içinden dışına ya da dışından içine ulaşım imkânı sağlamaktır. İkincil fonksiyonları ise araç seyir halindeyken kapının kapalı konumunu korumak suretiyle araç içindeki yolcunun, yükün vb. güvenliğini sağlamaktır. Menteşeler bu 2 fonksiyonunu araç ömrü boyunca kaybetmemelidir. Aksi takdirde kapı gövde bütünlüğü bozularak insan hayatını tehlikeye atan ciddi kazaların meydana gelmesine sebep olacaktır. Standart bir binek araç üzerinde 4 adet yolcu kapı menteşesi ile 2 adet kaput menteşesi (Bagaj kapısı, Motor kaputu) bulunur. Ticari araçlarda ise kargo kapısı denilen arka kapılarında kapı tasarımı ve üreticisine bağlı olarak değişim göstermekle birlikte en az 4 adet farklı açılma açılara sahip menteşe sistemi bulunur (Şekil 2).

Menteşeler araç kapılarının açılma kapanma kinematiğinin temelini oluştururlar (Şekil 3). Kapıyı tüm aksesuarı ve ağırlığıyla üzerinde taşıyan dinamik parçalardır. Açılma kapanma hareketinin temelinde kapı ağırlığı, açılma açısı bulunmaktadır. Ayrıca menteşenin kullanılacağı aracın dizayn temeline göre menteşenin farklı yönlerde taşıyacağı yükler göz önünde bulundurularak tasarım ve üretimi gerçekleştirilmelidir.

Menteşeyi oluşturan parçalar, soğuk veya sıcak şekillendirme prosesleri ile pres kullanılarak şekillendirilmektedir. Mentеше gövdesi St-52 çelik malzemeden imal edilip dövme işlemi ile şekillendirilir. Daha sonra istenilen boyutlara getirmek için talaş kaldırma işlemlerine tabii tutulur. Birleştirme işlemleri ise perçinleme, çakma, ezme, kaynak operasyon ya da operasyonları ile gerçekleştirilmektedir.



Şekil 2. 90-180 ve 270 derece açılan araç kargo kapı görüntüsü



Şekil 3. Ticari araçlarda kullanılan kargo tipi kapılardaki menteşe sistemi görüntüsü

Literatürde birçok araştırmacı otomotiv kapıları ve onları taşıta bağlayan menteşe mekanizmalarının üretim tekniklerini, kullanılan malzemeleri ve üzerine gelen kuvvetler ile ortaya çıkan durumları incelemiştir.

Toan ve ark. (2008) kapı menteşelerinin pres ile şekillendirilebilme özelliğinin iyileştirilmesi için sonlu elemanlar analizi ve taguchi metodlarını kullanarak kod oluşturmuşlar ve menteşe üzerindeki köşe radyüsleri ve çıkıntı yükseklikleri optimize edilerek araç kapı menteşelerinin pres ile şekillendirilebilme özelliğini iyileştirmişlerdir.

Zhu ve ark. (2010) yaptıkları çalışmada MIG Kaynağı ile araca bağlanmış olan kapı menteşelerinin sonlu elemanlar analizini yapmışlar ve menteşelerin hem termal hem yapısal olarak maruz kaldıkları olumsuz durumları incelemişlerdir. Kaynak prosesinde ortaya çıkan ısı nedeniyle meydana gelen deformasyonların yol açtığı fonksiyon problemlerin giderilmesine yönelik araştırma yapmışlardır. Ayrıca bu çalışmada sonlu elemanlar analizleri ile elde edilen sonuçlar deneysel veriler ile doğrulanmıştır.

Darwish ve ark. (2012) çalışmalarında otomobil kapılarını incelemişlerdir. Kapı üzerinde oluşan yüklemeleri ve gerilmeleri statik ve modal analizler ile ortaya çıkarmışlardır. Çalışmada kapı üzerinde oluşan maksimum gerilmelerin menteşeler üzerinde olduğu belirtilmiştir. Ayrıca kapıyı araca bağlayan menteşe sayısının artırılması ile de kapının rijitliğinin arttığı ve doğal frekansının yüksek değerlere çıktığı modal analizler sonucunda ortaya çıktığı görülmüştür.

Zhou ve ark. (2012) menteşelerin kapı üzerindeki konfigürasyonlarını incelemişlerdir. Sonlu elemanlar analizleri ile farklı yerleşim düzenlerini ve uç mesafe oranlarını inceleyerek optimum düzen ve uç mesafesini belirlemeye çalışmışlardır. Ayrıca uç mesafesinin menteşenin deformasyonu üzerine etkisini incelemişlerdir. Uç mesafesi oranı azaldıkça maksimum deformasyonun da azaldığını ve bu oranın iki menteşe arasında 1/8 den fazla olmaması gerektiğini belirtmişlerdir. Menteşe sayısına bağlı olarak da maksimum deformasyon miktarı değişimi incelenmişler ve maksimum deformasyonun menteşe sayısı ikiden fazla olduğunda azaldığını göstermişlerdir.

Yapılan literatür araştırması sonucunda taşıtların enerji verimliliğini arttırmak ve yakıt tüketimini azaltmak için inovatif tasarımlar eşliğinde geleneksel malzemelerin yerine alüminyum, yüksek alaşımlı çelik ve magnezyum malzemelerinden üretilmiş parçalar ile

taşıt ağırlığında hafifletmenin oldukça yaygın olarak kullanıldığı görülmüştür. Bu malzemelerin doğru tasarım ve üretim tekniği ile birlikte kullanılması sonucu performans ve güvenlikten ödün vermeden yüksek mekanik özelliklerin sağlanabildiği görülmüştür.

Bu çalışmada ayrıca otomotiv sektöründeki parçaların üretilmesinde sıklıkla kullanılan dövme yönteminin önemi, işlem parametreleri ve literatürde bu konu ile ilgili yapılmış olan çalışmalardan bahsedilmiştir. Yapılan araştırma sonucunda dövme prosesindeki iyileştirmeler ile mekanik özellikleri yüksek, düşük maliyetli parçaların üretiminin mümkün olduğu görülmüştür.

Araç kapılarını gövdeye bağlayan menteşe mekanizmalarının üzerinde oluşan gerilme dağılımlarının, kapı ve çevre tarafından maruz bırakıldığı yüklemeleri sonlu elemanlar metodu yardımıyla literatürde incelenmiştir. Menteşelerin tasarım aşamasında bu yüklerin göz önünde bulundurulması, doğru malzeme ve üretim yöntemi seçimi ile düşük maliyetli daha hafif ve istenilen mekanik özelliklerde menteşelerin üretiminin mümkün olduğu görülmüştür.

2.2.Kıyaslama Çalışmaları

Ürün tasarım sürecinden önce kıyaslama çalışmaları yapılmıştır. ‘Benchmarking’ olarak bilinen kıyaslama kavramı kendi performansını arttırabilmek adına diğer bir işletmenin ürününün incelenmesi ve bu incelemeden çıkan sonuçların uygulanması olarak tanımlanabilir (Erkutlu ve Bumin, 2002). Kıyaslama kavramı kelime anlamı olarak örnek alma ve örnek edinme gibi anlamlara sahiptir. Amerikan Verimlilik ve Kalite Merkezi (APQC) benchmarking’i ‘Dünyanın her yerindeki lider işletmelere karşı kendi işletmemizi kıyaslamak ve ölçmek üzere uygulanan ve edinilen bilgileri işletmemizin performansını arttırmak için kullanacağımız sürekli bir süreç’ olarak tanımlamaktadır (Weisendanger ve Betsy 1993).

Kıyaslama kavramında ilk sistematik Xerox şirketi tarafından geliştirilmiştir. Xerox 1979 yılında öncelikle kendi şirketinin daha sonra da diğer rakip şirketlerin imalat usüllerini, süreçlerini, kullanılan parçalarını ve maliyetlerini incelemiş ve kendisinden daha başarılı

olan bu şirketlerin neyi nasıl yaptığını belirleyerek kendi faaliyetlerine katmıştır. Böylelikle kendi performansını arttırmayı hedeflemiştir (Camp 1989). Tablo x’de Öznur Yüksel’in çalışmasından Xerox’un başarıyla sonuçlanan kıyaslama çalışmaları belirtilmiştir (Yüksel 2003).

Tablo 2. Xerox’un başarıyla uyguladığı benchmarking örnekleri (Yüksel 2003)

Xerox’un Benchmark Ortakları	Benchmark Yapılan Süreç
American Express	Faturalama ve Tahsilat
American Hospital Supply	Envanter Kontrolü
Florida Light and Power	Kalite Güvencesi Süreci
Ford Motor Company	Üretim Hattı Dizaynı
General Electric	Robot Sistemi
Cummins Engine Company	Günlük Üretim Planlaması
Westinghouse	Depo Kontrolü, Barkod Uygulaması

Kıyaslama türleri için araştırmacılar tarafından farklı sınıflandırmalar yapıldığı görülmektedir. Örneğin Camp’a (1989) göre kıyaslama türleri ve özellikleri şu şekildedir:

- İçsel (Dahili) Kıyaslama: Büyük işletmelerin farklı bölümlerinde benzer işlevler mevcuttur. En kolay kıyaslama metodu ise bu işletme içerisindeki işlevleri kıyaslamaktır.
- Rekabetçi Kıyaslama: İşletmelerin rakipleri bu kıyaslama türünde doğrudan kıyaslama ortağı olarak seçildiği kıyaslama türüdür.
- İşlevsel (Fonksiyonel) Kıyaslama: Bu kıyaslama türünde kıyaslama yapılacak şirketin mutlaka aynı endüstriden olmasına gerek yoktur. Farklı endüstrilerden aynı işleve sahip bir kıyaslama ortağı seçilebilir.
- Jenerik (Süreç) Kıyaslaması: Bazı işletme süreçleri endüstri ne kadar farklı olursa olsun aynıdır. Bu kıyaslama türünde farklı bir endüstriden aynı sürece sahip bir işletme kıyaslama ortağı olarak seçilebilir.

Shety'nin (1993) ve Koçel'in (1998) yaptığı sınıflandırma ise şu şekildedir:

- Stratejik Kıyaslama: Başarılı şirketlerin stratejilerini ve bu stratejilerin temellerinin incelendiği kıyaslama türüdür.
- İşlevsel (Uygulama) Kıyaslama: Maliyet unsuru olarak görülen her faaliyetin kıyaslanmasıdır. Maliyete veya ürünün farklılaşmasını arttırmaya odaklıdır.
- Yönetimsel Kıyaslama: Farklı işletmelerin yönetim fonksiyonları bu kıyaslama türünde incelenir.

Kıyaslama çalışmaları sayesinde şirketler birbirlerini daha iyi tanıyabilir. Bu sayede görülen en iyi uygulama şirkete katılarak şirket performansı yükselmiş olur. Çalışan motivasyonu ve verimliliği yükselir. Katılan uygulamalar yeni gelişimlere de kapı açar. Kıyaslama uygulaması bir merdiven olarak düşünülürse adım atılacak ilk basamak en iyi olduğuna inanılan işletmeyi bulmak ve bu işletme ile karşılaştırma yapmaktır. İkinci basamakta en iyi olduğuna inanılan şirketten inceleme sonucunda elde edilen bilgiler işletmenin kendi süreçlerine adapte edilir. Üçüncü basamağa gelindiğinde işletme kendisine yeni ve daha büyük hedefler belirleyecek ve dördüncü basamakta bu hedefleri gerçekleştirecektir. Beşinci basamakta ise kıyaslama çalışmaları sona erecek ve işletme rakipleri arasında üstün konuma gelecektir. Son olarak sektörünün lideri olan işletme bunu devam ettirebilmek için sürekli olarak araştırma, ölçme, değerlendirme yaparak güncelleme faaliyetlerine devam edecektir (Akat ve ark. 2002).

Kıyaslama çalışmaları şirketlere iyi uygulamalar katarak onları sektöründe lider konuma getirecek bir çalışmadır. Bu çalışmanın uygulama süreci konunun belirlenmesi ile başlar. Konu belirlendikten sonra kıyaslama çalışması için bir ekip oluşturulur. Bu ekip kıyaslama çalışmasını bir proje gibi planlayıp, organizasyonunu kurup bu plan doğrultusunda yürütülmesini sağlar. Ekip genellikle proje yöneticisi, veri toplama elemanları, analistler ve benchmarking destekleyicilerinden (üst yönetim, personel yardımı, yönetim bilişim sistemleri, yasalar...) oluşmaktadır. Ekip konusunda uzman, gönüllü, etkin iletişim becerilerine sahip, ekip ruhu taşıyan kişilerden oluşmalıdır. Ekip kıyaslama ortağını belirlemekle kıyaslama çalışmalarına başlar. Bu ortağın belirlenmesindeki kriterler finansal göstergeler(karlılık, satışlar, pazar payı), büyüklük, işletme kültürü, yönetim tarzı, stratejiler, faaliyet ya da süreçlerdeki benzerlikler olarak

sıralanabilir. Kıyaslama ortağı belirlendikten sonra verilerin toplanması ve analizi yapılması gerekir. Analiz edilen veriler hedeflerin belirlenmesinde kullanılır ve uygulama planı hazırlanır. Daha sonra planlanan uygulama gerçekleştirilir ve çalışmanın değerlendirmesi yapılır (Pakdemir 2000).

2.3.Ürün Tasarım ve Tasarım Doğrulama Süreci

2.3.1. Ürün Tasarımı Süreci

Parçaların ağırlıklarının düşürülmesi için, geleneksel malzemelerin yerine daha hafif, yüksek mekanik özellikleri olan ve daha pahalı malzemelerin tercih edilmesinde maliyet analizi oldukça önemlidir. Yüksek mukavemet-ağırlık oranı ve hafiflikleri sebebiyle alüminyum ve magnezyum alaşımları ve yüksek alaşımlı çeliklerin parçalarda kullanılması ile ağırlıkta bir azalma olmasına rağmen bunun ekstra bir maliyet olarak karşımıza çıkması kaçınılmazdır.

Ortaya çıkan bu ilave maliyetleri azaltmada en önemli etkenlerden biri yenilikçi tasarımların hazırlanmasıdır. Bu aşamada geleneksel yapılarda kullanılan tasarımların alınıp bire bir olarak bu malzemeler ile üretilecek parçaya uygulanması çok verimli sonuçlar vermez (www.alueurope.eu, 2006). Bu sebeple malzeme özelliklerinin ön planda tutulduğu inovatif tasarımlar, maliyetlerin düşürülmesine yardımcı olur. Yapılan araştırmalarda hafifletme sonucu artan maliyetlerin karşılanmasında, tasarım yapılırken aşağıdaki etkenler göz önünde bulundurulmalıdır;

- Tasarım sonucunda parçayı üretmek için gereken malzeme miktarının azaltılması
- Farklı parçaları tek bir bileşende toplayarak montaj süresini azaltmak
- Seri üretimde parça başına düşen maliyetleri azaltmak
- Farklı fonksiyonları yerine getiren parçaları bir araya getirerek mantıklı bileşimler oluşturmak

Taşıtlarda hafifletme kullanılan parçaların daha hafif malzemelerden üretilmesi ile mümkün olabilmektedir. Fakat daha büyük oranlarda hafifletmenin sağlanabilmesi için parçaların tasarım aşamasında ele alınarak çeşitli teknikler ile dizayn edilmesi

gerekmektedir. Bu aşamada çeşitli bilgisayar destekli optimizasyon teknikleri kullanılmaktadır. Bir parçanın üretimine geçilmeden önce tasarım sürecinden geçmesi gerekir. Bu süreçte parçanın tasarımı ve analizi olmak üzere iki önemli aşama gerçekleştirilir. Parçanın tasarım aşamasında kullanılacağı yerdeki görevine uygun olarak tasarlanması istenir. Bu tasarımda fonksiyon, estetik gibi hususlar göz önünde bulundurulur. Fakat gerçekleştirilen tasarımın işletme koşulları başladığında buradaki görevi yerine getirip getiremeyeceği mutlaka kontrol edilmelidir. Üretilen parçanın istenilen fonksiyonları yerine getirip getirmeyeceği parçanın prototipinin üretilip testlere tabi tutulması ile görülebilir. Fakat bu hem maliyet hem de zaman açısından önemli bir sorun oluşturmaktadır. Bu doğrultuda bilgisayar ortamında gerçekleştirilen sonlu elemanlar analizleri ile parçaların performansları test edilmekte ve böylece oluşabilecek olan hatalara daha tasarım aşamasında müdahale edilebilmektedir. Yapılan analizler ve optimizasyon işlemleri firmaların yeni ürünlere geçişlerinde minimum maliyette ve zaman kaybı olmadan tasarım yapmalarına olanak sağlamaktadır. Otomotiv sektöründe en çok karşılaşılan istek ürünlerin dayanım ve performansından ödün vermeden malzeme ağırlıklarının en aza indirilmesidir. Minimum ağırlığa sahip ürün düşük maliyetli olmasının yanı sıra taşıtın ağırlığını hafifletmeye de yardımcı olur. Bu doğrultuda yeni ürün geliştirme aşamasında, hem hafif, hem de dayanıklı olması istenen ürünler için tasarım optimizasyonu uygulanır. Parçalarda kullanılan malzemelerin özelliklerine uygun, kullanım amacına ve yerine göre tasarım geliştirme ve topoloji optimizasyonu gibi yenilikçi önlemler ile herhangi bir malzeme değişikliği olmadan da yapılarda hafifletmeler mümkün olabilmektedir. ABD Enerji Bakanlığının yürütmüş olduğu Taşıt Teknolojileri Programında yapılan bir çalışmada, hafifletilmiş malzemelerin ve bu malzemeler göz önüne alınarak yapılan optimizasyonun sonuçları tasarımın oldukça önemli olduğunu göstermektedir. Esas alınan çelik malzemedan yapılmış parça, alüminyum alaşımları kullanılarak %53 oranında hafifletilmiş olup, daha sonra bu parça tasarım optimizasyonu sayesinde %20 daha hafif hale gelmiştir (www1.eere.energy.gov, 2010).

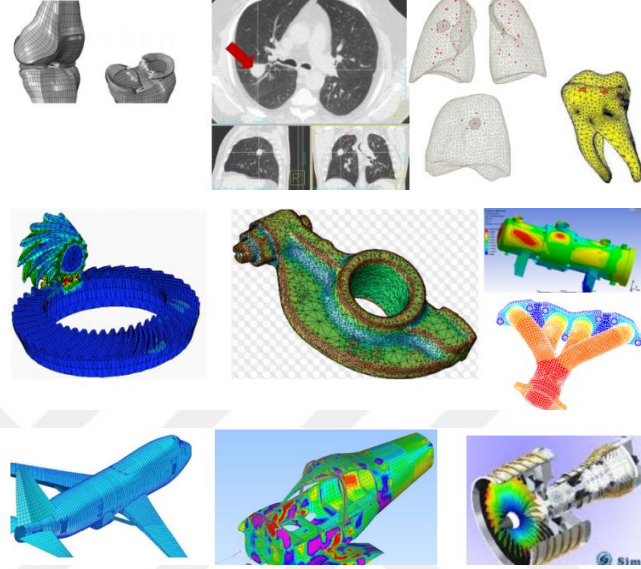
2.3.2. Sonlu Elemanlar Analizi Süreci

Taşıtlarda hafifletme kullanılan parçaların daha hafif malzemelerden üretilmesi ile mümkün olabilmektedir. Fakat daha büyük oranlarda hafifletmenin sağlanabilmesi için parçaların tasarım aşamasında ele alınarak çeşitli teknikler ile dizayn edilmesi gerekmektedir. Bu aşamada çeşitli bilgisayar destekli optimizasyon teknikleri kullanılmaktadır.

Bir parçanın üretimine geçilmeden önce tasarım sürecinden geçmesi gerekir. Bu süreçte parçanın tasarımı ve analizi olmak üzere iki önemli aşama gerçekleştirilir. Parçanın tasarım aşamasında kullanılacağı yerdeki görevine uygun olarak tasarlanması istenir. Bu tasarımda fonksiyon, estetik gibi hususlar göz önünde bulundurulur. Fakat gerçekleştirilen tasarımın fonksiyonelliği ve gerekliliklere uygunluğu mutlaka kontrol edilmelidir. Üretilen parçanın istenilen fonksiyonları yerine getirip getirmeyeceği parçanın prototipinin üretilip testlere tabi tutulması ile görülebilir. Fakat bu hem maliyet hem de zaman açısından önemli bir sorun oluşturmaktadır. Bu doğrultuda bilgisayar ortamında gerçekleştirilen sonlu elemanlar analizleri ile parçaların performansları test edilmekte ve böylece oluşabilecek olan hatalara daha tasarım aşamasında müdahale edilebilmektedir.

Sonlu elemanlar analizi en doğru sonuca ulaşmayı hedefleyen bir mühendislik yaklaşımıdır. İlk olarak 1940'lı yılların başlarında Richard Courant tarafından uygulanmıştır ve sistemi elemanlara bölerek analiz etme yöntemi ile geliştirilmiştir. Sonlu elemanlar metodunda sistem sonlu sayıda elemana bölünerek bir eleman ağı oluşturulur. Bu elemanlar düğüm noktası adı verilen noktalarla birbirine bağlanır. Daha sonra her eleman için gerekli diferansiyel denklemler yazılır. Bu diferansiyel denklemlerden elde edilen değişken ifade her elemana uygulanır ve bir denklem takımı oluşturulur. Bu denklem takımının çözümü ise istenilen sonucu kullanıcıya gösterecektir. Yöntemin uygulama aşamasında eleman tipi, eleman geometrisi, sonlu elemanlar sayısı, düğüm noktalarının numaralarının yerleşimi ve problemin kaç boyutlu olarak ele alınacağı belirlenmelidir (Oldaç 2000).

Sonlu elemanlar yönteminin kullanıldığı başlıca alanlar yapısal analizler, akışkanlar mekaniği, ısı iletimi, ısı genleşme, yalıtım, dalga yayılımı, statik ve dinamik elastisite ve plastisite problemleri, darbe analizleri, aerodinamik, balistik, yorulma analizleri, elektrik ve manyetik alanlar, medikal uygulamalar olarak sıralanabilir.



Şekil 4. Başlıca sonlu elemanlar analizi uygulamaları

Sonlu elemanlar analizinin günümüzde yüksek performanslı bilgisayarlarda yetenekli yazılımlarla yapılmaktadır. Bu sonlu elemanlar analizi programlarının avantajları şu şekilde sıralanabilir.

- Geometrisi karmaşık şekillerin kolaylıkla incelenmesini sağlar. Çözümlemede değişik sonlu elemanlar kullanılabilir ve alt bölgelere bölerek çözümleme yapılabilir.
- Anizotropik, nonlineer gibi değişik ve karmaşık malzeme özellikleri rahatlıkla sistem simülasyonlarına uygulanabilir.
- Sürekli, süreksiz veya değişken yükler gibi sınır şartları, sistemlere uygulanarak parçanın gerçek koşullarındaki davranışlarını tahmin etmek için benzetim yapılabilir.
- Matematiksel olarak genişletilerek çok sayıda problemin çözümü için aynı model kullanılabilir.

Ancak bu avantajların yanında dezavantajlarda vardır. Bu dezavantajlar aşağıda maddeler halinde belirtilmiştir.

- Bazı problemlere sonlu elemanlar modelinin uygulanmasında sınır koşulları benzetimi, elemanlarına ayırma gibi model kurma aşamalarında zorluklar yaşanabilir.
- Elde edilen verilerin doğruluğu girilen verilerin ve uygulanan yöntemin doğruluğuna bağlıdır. Sonlu elemanlar analizi bu işi bilmeyen kişilerin ellerinde çok tehlikeli yanlış sonuçlar verebilir.
- Kabul edilebilir bir doğruluk için modelin elemanlara ayrıştırılması tecrübe gerektirir çünkü kötü veya yanlış eleman yapısı sonucun doğruluğunu olumsuz etkiler.
- Sonuca ulaşmak için zamana ihtiyaç vardır.
- Bu yöntem bir yaklaşımdır. %100 doğru sonuçlar veren bir yöntem olmadığından sonuçlar dikkatlice incelenmeli ve yorumlanmalıdır (Bostancı 2002).

Yapılan analizler ve optimizasyon işlemleri firmaların yeni ürünlere geçişlerinde minimum maliyette ve zaman kaybı olmadan tasarım yapmalarına olanak sağlamaktadır. Otomotiv sektöründe en çok karşılaşılan istek, ürünlerin dayanım ve performansından ödün vermeden malzeme ağırlıklarının en aza indirilmesidir. Minimum ağırlığa sahip ürün, düşük maliyetli olmasının yanı sıra taşıtın ağırlığını hafifletmeye de yardımcı olur. Bu doğrultuda yeni ürün geliştirme aşamasında, hem hafif, hem de dayanıklı olması istenen ürünler için tasarım optimizasyonu uygulanır.

Parçalarda kullanılan malzemelerin özelliklerine uygun, kullanım amacına ve yerine göre tasarım geliştirme ve topoloji optimizasyonu gibi yenilikçi yöntemler ile herhangi bir malzeme değişikliği olmadan da yapılarda hafifletmeler mümkün olabilmektedir. ABD Enerji Bakanlığı'nın yürütmüş olduğu Taşıt Teknolojileri Programında yapılan bir çalışmada, hafifletilmiş malzemelerin ve bu malzemeler göz önüne alınarak yapılan optimizasyonun sonuçları tasarımın oldukça önemli olduğunu göstermektedir. Esas

alınan çelik malzemeden yapılmış parça, alüminyum alaşımları kullanılarak %53 oranında hafifletilmiş olup, daha sonra bu parça tasarım optimizasyonu sayesinde %20 daha hafif hale gelmiştir (www1.eere.energy.gov, 2010).

2.3.2.1.Sonlu Elemanlar Modeli Hazırlama

Sonlu elemanlar modelinin hazırlanışında dikkat edilmesi gereken hususlar vardır. Çözüm değerlerinin gerçeğe yakın olması modellemenin gerçeğe ne kadar yakın olduğu ile doğru orantılıdır. Modellemeyi olabildiğince doğru yapabilmek için şu hususlara dikkat edilmelidir.

- Ağ yapısı mümkün olduğunca düzgün ve düzenli olmalıdır. Kritik olarak görülen gerilmelerin yüksek çıkacağına düşünüldüğü bölgelerde eleman yapısı daha sık uygulanabilir.
- Dörtgen yapıya sahip elemanlar üçgen elemanlara göre çoğunlukla daha doğru sonuçlar verir. Bu yüzden mümkün olduğunda dörtgen yapıya elemanlar kullanılmalıdır. Üçgen yapıya eleman kullanılması gerek durumlarda ise kenarların birbirine göre oranlarına ve açılarının büyük olmasına özen gösterilmelidir. Eşkenar üçgene yakın elemanlar olması gerekmektedir.
- Elemanların kenar oranlarına dikkat edilmelidir. Kenarların uzunluk oranları yer değiştirmelerin hesaplandığı analizler için 1/10, gerilmelerin hesaplandığı analizler için 1/5'i aşmayacak seviyede olmalıdır.
- Küçük radyüsler veya şekiller göz ardı edilebilir.
- Herhangi bir simetriklik söz konusu ise model bu simetrikliğe göre küçültülebilir.
- Anizotropik malzemelerde poisson oranı mutlaka tanımlanmalı ve elastik modül ile kayma modülü mutlaka incelenmelidir.
- Eğer analiz edilecek sistem büyük bir sistem ise gerilme değerleri incelenecek bölge dışında kalan bölgelerin eleman yapısı kaba olabilir. Sadece gerilmelerin inceleneceği bölgelere sık elemanlar atmak yeterli olacaktır.

Bir sonlu elemanlar malzeme modeli hazırlanırken öncelikli aşama geometrinin analiz uygun olarak elde edilmesidir. Analizi yapılacak olan geometrinin temiz bir yapıda olması gerekmektedir. Birbirine çok yakın çizgilere sahip bir geometri varsa bu geometrinin temizlenmesi gerekir. Çünkü bu birbirine yakın çizgiler veya çok küçük radyüsler sonlu elemanlar modeli için geometriyi elemanlara bölerken önümüze çıkacaktır. Bu bölgelerde en boy oranı istenilen standartlarda olmayan küçük elemanlar oluşacaktır. Bu elemanlarda normal olmayan yüksek gerilmeler meydana gelebilir. Bu tekil gerilmeler analiz için doğru değerleri yansıtmayacaktır (Bostancı 2002).

2.3.2.2.Çözüm Parametre Dosyası Oluşturma

Çözüm parametre dosyası bir analiz modelinin hangi fonksiyonlara göre çözüleceği ve sonucunda neler istendiğini gösteren bir komut dosyasıdır. Bu dosyada her analiz programı için farklı şekillerde komutlar bulunmaktadır. Bu dosyaya öncelikle analizin statik mi dinamik mi olduğu belirtilen ve ona göre bir çözüm geliştiren bir komut girilir. Analizin statik veya dinamik olarak çözüleceği belirlendikten sonra analiz süresi belirtilir. Bu analiz süresi kuvvetin uygulanacağı süreye etki edecektir. Ayrıca analizin çözüm sürecinde timestep adı verilen çözüm adımlarının çözüme etkisi büyüktür. Çözüm adımının büyüklüğünü azaltmak kademeli olarak yük uygulanan analizlerde çözümün doğruluğunu arttırıcı bir etkiye sahiptir (Cui ve ark. 2016). Çözüm adımı yine analizin çözüm parametreleri arasında yer almaktadır. Ayrıca analize gideceği yolu bildirirken varacağı sonucu da belirtmek gerekir. Burada gerilmenin farklı metotlarla hesaplanmış büyüklükleri (Von Mises, Maksimum Şekil Değişirme) ile yer değiştirme, kontak kuvveti veya gerinme gibi farklı sonuçlar da bastırılmak istenirse belirtilmesi gerekmektedir. Ayrıca eğer yakınsama gerçekleşmezse bunu kolaylaştıracak farklı çözüm metotları vardır. Bu metotlardan biri analiz modeline ağırlık ekleyerek çözüm yapmasını söylemektir. Bu yöntemde analiz modeli çözücüsü her bir elemana çok küçük miktarda kütle ekleyerek çözüme götüremediği analiz modelini çözmeye çalışır. Bu yöntem çözümü doğruluktan uzaklaştırırsa da analiz süresini azımsanamayacak miktarda azaltan bir yöntemdir. Bu yöntem yine çözüm parametreleri aralarında yer almaktadır.

2.4.Prototip Üretimi

Taşıtlarda kullanılan parçaların hafifletilmesinde en temel yöntemlerden biri daha hafif malzemeler ile parçanın performans ve güvenilirliğinden ödün vermeden üretilmesidir. Temel olarak kullanılacak malzemelerden yüksek performans elde etmek için malzemenin özellikleri göz önünde bulundurularak kullanılacak olan üretim yöntemi çok önemlidir. Üretim yönteminin doğru belirlenmesi ile yüksek mekanik özelliklerin elde edilmesi mümkündür. Ayrıca maliyet açısından da seçilecek yöntemin değerlendirilmesi gerekmektedir.

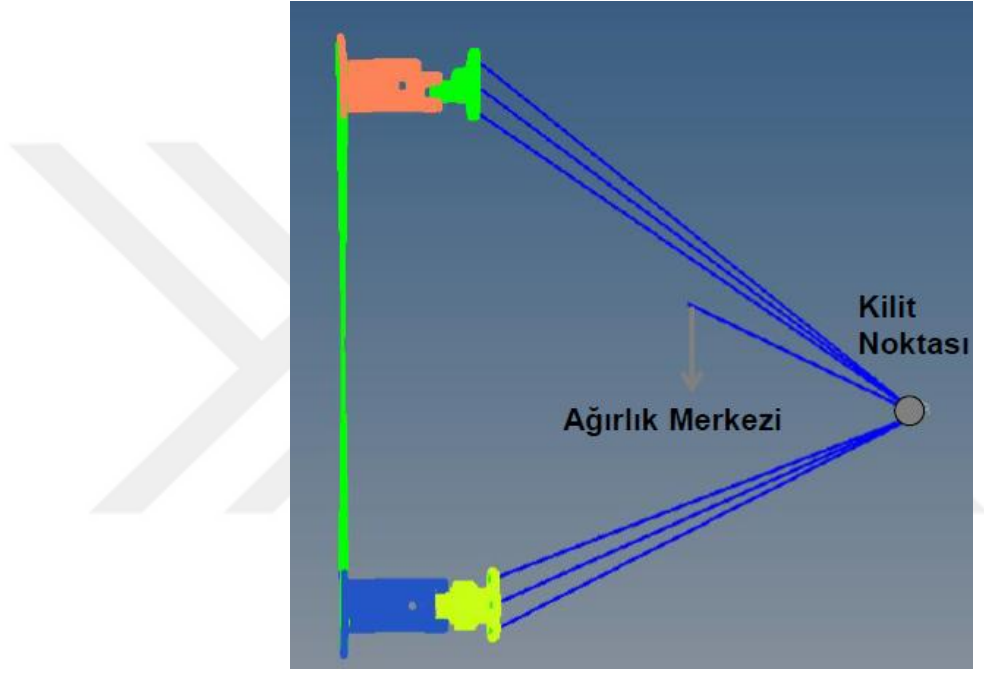
Tasarımı yapıldıktan sonra sonlu elemanlar analizi ile doğrulanan menteşelerin testlerinin de yapılması gerekmektedir. Bu testlerin yapılması için menteşelerin prototipleri üretilir. Bu üretimi seri üretim koşullarına dayanacak kadar mukavim kalıplarda yapılmak yerine maliyet açısından daha uygun ve yeterli sayıda menteşe üretebilecek kalıplarda yapılır. Burada menteşenin hangi üretim yöntemine göre yapılacağına karar verilir. Dövme, talaşlı imalat, döküm gibi üretim yöntemleri menteşeler için uygulanabilecek yöntemlerdir ancak yapısal özellikleri en iyi şekilde elde edebilmek için dövme yöntemi bu çalışmada tercih edilmiştir. Dövme yöntemi ile üretilen menteşeler daha sonra korozyon direnci olması amacıyla kaplanacaktır.

2.5.Prototip Testleri

Otomotiv menteşeleri sürücü güvenliği için temel unsurlardan biridir. Bir çarpma anında sürücünün araç içinde güvenli bir şekilde kalması için kapının gövdeden ayrılmaması gerekmektedir. Bu zorlu kaza koşullarında ana fonksiyonu kapıyla gövdeyi bir arada tutmak olan menteşelere önemli bir yük binmektedir. Ayrıca menteşelerden uzun bir ömür beklentisi de bulunmaktadır. Bu gibi koşulları sağlayabilmek için menteşelere testler uygulanmaktadır. Bu testler müşteriler tarafından değer olarak değişkenlik gösterse de uygulama olarak genelde benzer testlerdir.

2.5.2. Yan/Arka Kapı Menteşesi Düşme Şartı

Yan/Arka kapı menteşesi düşme şartı, kapının düşey deplasmanının hesaplandığı bir testtir. Kapı araç gövdesine bağlandıktan sonra serbest bırakıldığında, kendi ağırlığı etkisi altındayken, belirli bir miktardan fazla deplasman yapmaması istenir. Bu deplasman kapının dışardan görünüşü, araç içi izolasyonu ve kapının açılıp kapanmasını etkileyen bir faktördür. Uygulama sınır şartları Şekil 6’da gösterilmiştir.



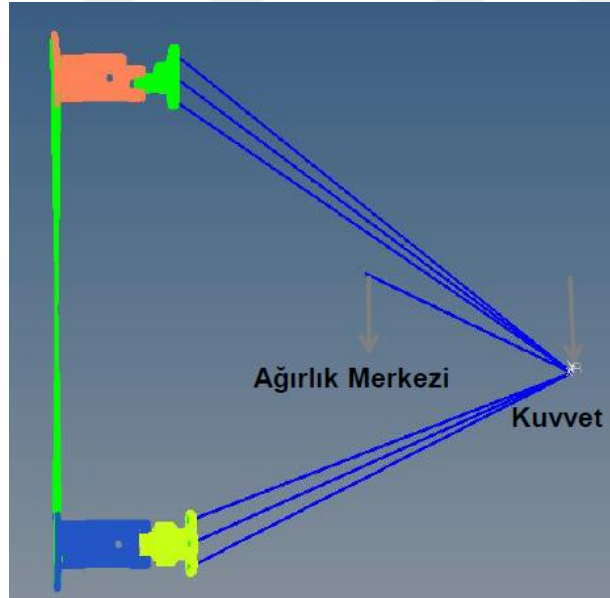
Şekil 6. Yan/arka kapı menteşesi düşme testi sınır şartları

Yan/Arka kapı menteşesi düşme testinde menteşe datası öncelikle açık konuma getirilir. Açık konuma getirilen menteşenin araç gövdesine bağlanan sabit kısmı, bağlantı civatası deliği içlerinden tek boyutlu elemanlar yardımıyla bir noktaya bağlanır. O noktaya sabit sınır koşulu verilir ve noktanın altı serbestlik derecesi de kısıtlanır. Menteşenin kapıya bağlanan hareketli kısmı, bağlantı civatası deliklerinin içinden kapının kilitleme merkezinin koordinatlarına tek boyutlu rijit elemanlarla bağlanır. Yine tek boyutlu rijit elemanlarla, kilit noktası merkezi ile kapının açık konumdaki ağırlık merkezi koordinatları birbirine bağlanır. Ağırlık merkezindeki düğüm noktasına düşey konumda kapının kütlesi tanımlanır. Sistemin geneline yer çekimi ivmesi de tamamlanarak analiz

sınır koşulları tamamlanmış olur. Analiz başladıktan sonra kilit noktasının yaptığı düşey deplasman değeri incelenir. Her müşteri tarafından belirlenen farklı bir maksimum deplasman limiti vardır. Bu deplasmana menteşenin iç montajındaki boşluklar etki etmektedir.

2.5.3. Yan/Arka Kapı Menteşesi Sarkma Şartı

Yan/Arka kapı menteşesi sarkma testi kapının maruz kaldığı düşey kuvvetler etkisinde kapının ne kadar deplasman yaptığı incelenildiği bir testtir. Sınır şartları yan/arka kapı menteşesi düşme testinin sınır şartları ile neredeyse aynıdır. Aralarındaki tek fark kilit merkezi koordinatının yükleme koşuludur. Düşme testinde kilit noktası merkezi serbest halde bırakılırken sarkma testinde kilit noktası merkezinden müşterinin belirlediği bir düşey kuvvet uygulanmaktadır. Bu da dolayısıyla kapının düşey sarkmasını arttırmaktadır. Yan/Arka kapı menteşesi sarkma şartına ait sınır koşulları görseli Şekil 7’de gösterilmiştir.



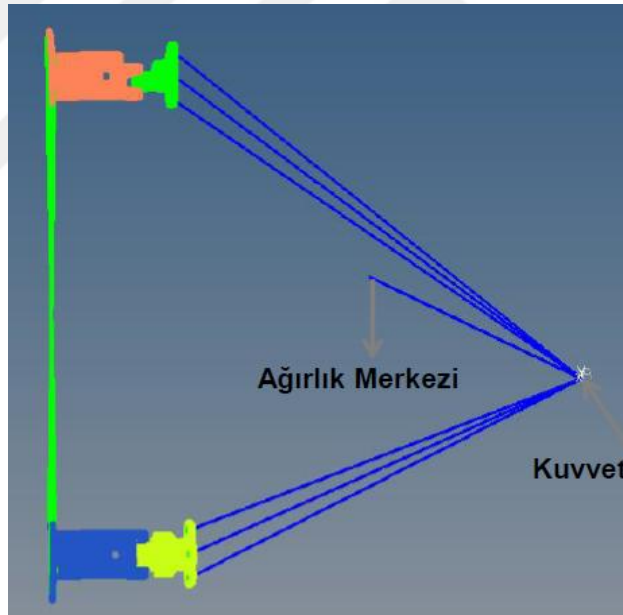
Şekil 7. Yan/arka kapı menteşesi sarkma testi sınır koşulları

Yan/Arka kapı menteşesi sarkma şartında iki farklı deplasman değerine bakılır. Bunlardan birincisi kilit merkezine uygulanan düşey kuvvetin maksimum olduğu anda

kapının deplasman değeri, ikincisi kilit noktasına uygulanan kuvvetin çekildikten sonra kapının ilk konumuna göre kalıcı deplasman değeridir. Bu iki deplasman değerinin de müşteriden müşteriye değişen farklı limitleri vardır. Bu limitleri aşmayan testler için menteşe sistemi tasarım kriterini sağlamış sayılır.

2.5.4. Yan/Arka Kapı Menteşesi Tam Açık Pozisyonda Yatay Aşırı Yükleme Şartı

Yan/Arka kapı menteşesi tam açık pozisyonda yatay aşırı yükleme şartı kapının esnemesinin gözlemlendiği bir testtir. Kapı tam açık konumdayken rüzgar, insan gibi dış etmenlerle daha da açılmaya zorlanabilir. Bu açılmaya zorlama anında kapının belirli bir dereceden fazla esnememesi beklenmektedir. Tam açık pozisyonda yatay aşırı yükleme testi sınır koşulları Şekil 8’de gösterilmiştir.

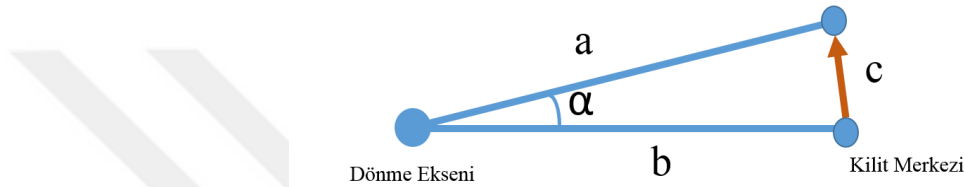


Şekil 8. Yan/arka kapı menteşesi tam açık konumda yatay aşırı yükleme testi sınır koşulları

Bu teste göre menteşe datası öncelikle tam açık konuma getirilir. Bu konumdayken diğer analizlerde de yapıldığı gibi menteşenin sabit kısmında bulunan bağlantı civatası deliğinin içindeki düğüm noktaları tek boyutlu elemanlarla bir noktaya bağlanır. Bu noktanın 6 serbestlik derecesi de kısıtlanır. Menteşenin hareketli kısmında bulunan delik

içlerindeki düğüm noktaları ise yine tek boyutlu elemanlarla kilit merkezine bağlanır. Kilit merkezinde menteşeyi daha da açmaya yönelik olacak şekilde bir kuvvet tanımlaması yapılır. Bu kuvvet kapıyı dönme ekseninden esnetir. Esneme açısı kosinüs teoremi yardımıyla hesaplanır. Kilit noktasının kapının esnemesi ile yaptığı yer değiştirme ve kilit noktasının dönme eksenine uzaklığı ikizkenar bir üçgen oluşturur. Tüm kenar uzunlukları bilinen bu ikizkenar üçgenin iç açıları 1 nolu bağlantıda belirtilen kosinüs teoremi yardımıyla hesaplanır. Esneme açısı hesabı Şekil 9’da gösterilmiştir.

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab\cos\alpha \quad (1)$$



Şekil 9. Esneme açısı hesabı

Hesaplanan bu değer müşteri tarafından belirlenen bir açı değerinden fazla olmamalıdır. Ayrıca analiz sonucunda menteşe üzerinde oluşan gerilmeler menteşe malzemesinin akma mukavemeti değerinin üstünde olmamalıdır. Bu kriterleri sağlayan tasarım analizden geçmiş olarak nitelendirilir.

2.5.5. Yan/Arka Kapı Menteşesi Torku ve Serbestliği

Yan/Arka kapı menteşesi torku ve serbestliği son kullanıcının konforuna etki eden önemli bir parametredir. Kapının ne kadar zor açılıp kapanacağı müşteriden müşteriye değişir. Müşteriler de bu değeri kullanıcıların konforuna göre hesaplar. Buna etki eden parametre pim ile pimin döndüğü yüzey arasındaki sürtünme katsayısıdır. Ne kadar yüksek sürtünme kuvveti oluşuyorsa kapı o kadar zor açılır. Bu da istenen bir durum değildir. Ancak bu test de üst limit olduğu gibi alt limit de vardır. Menteşenin fazla serbest olmaması müşteri tarafından beklenmektedir. Boşluk arttıkça efor düşer fakat serbestlik artar. Menteşe torku müşterinin beklentisinin altında kalması gerekirken, menteşenin radyal ve dikey serbestliği de müşterinin belirlediği değerler üstüne çıkmamalıdır.

2.5.6. Yan/Arka Kapı Menteşesi Açma-Kapama Ömür Testi

Yan/Arka kapı menteşesi açma kapama ömür testi menteşenin en zorlu testlerinden biridir. Bu test iklimik koşullarda göz önünde bulundurulur olarak yapılır. Menteşenin açılma ve kapanması bir çevrim olarak sayılır. Menteşenin kırılmadan sağlayacağı çevrim sayısının müşterinin belirlediği çevrim sayısından fazla olması beklenir. Bu çevrimlerin farklı iklimik koşullarda yapılması beklenebilir. Bir menteşenin ömür testinde, testin yarısının -40 derecede yapılması istenirken diğer yarısının +90 derecede yapılması istenebilir. Bu koşullarda dahi menteşenin her hangi bir kırılmaya uğramadan ana fonksiyonlarını ömür testinin sonunda yerine getirmesi istenir.

2.5.7. Yan/Arka Kapı Menteşesi Korozyon Dayanımı

Yan/Arka kapı menteşesi korozyon dayanımı testi tuz korozyon test kabini içinde yapılır. Parçalar bu test kabini içinde tuz sisine yatırılarak beklenir. Bu hızlandırılmış korozyon simülasyonu olarak düşünülebilir. Müşteri tarafından belirlenen saat kadar bu kabinde kırmızı pası uğramayan menteşeler testi geçmiş sayılır. Çelik malzemelerde kırmızı pas dayanımı aranırken alüminyum malzemelerde bu aranmaz. Alüminyumda daha sıklıkla görülen ve kötü sonuçlar doğuran korozyon türü galvanik korozyondur. Galvanik korozyonu önlemek için alüminyum malzemedeki oluşan menteşelerin doğru kaplama türüyle doğru kalınlıkta kaplanması gerekmektedir.

2.5.8. Yan/Arka Kapı Menteşesi Dış Çıkıntı Şartı

Yan/Arka kapı menteşesi dış çıkıntı şartı son kullanıcının kullanım aşamasında daha önce yaşanan kazaların önüne geçmek amacıyla konulmuş bir şarttır. Her hangi bir testi söz konusu değildir. Bu şartta menteşenin yüzeyinde keskin bir köşe veya kenar olmaması gerekmektedir. Bu keskin köşe veya kenarlar kullanıcıya zarar verebileceği için ECE26 koşullarında da belirtildiği gibi bunlar tasarımda olmaması gereken bir detay olarak yasaklanmaktadır.

3. BULGU VE YORUMLAR

3.1.Kıyaslama Çalışmaları

Kıyaslama çalışmaları teknik çalışmalara başlamadan önce yapılması gereken ve rakiplerin nerede olduğunu proje çalışanları gösteren bir uygulamadır. Proje kapsamında geliştirilmek istenen menteşe 180⁰ açılabilen bir kargo kapı menteşesidir. Kıyaslama çalışmalarında kullanılmak üzere ilk olarak bu menteşeye muadil olabilecek menteşelerin isimleri belirlenmiştir. Belirlenen bu menteşeler aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Fiat Ducato 180 Derece Arka Kargo Kapı Menteşesi
- Volkswagen Caddy 180 Derece Arka Kargo Kapı Menteşesi
- Ford Connect 180 Derece Arka Kargo Kapı Menteşesi
- Volkswagen Transporter 180 Derece Arka Kargo Kapı Menteşesi
- Renault Trafic 180 Derece Arka Kargo Kapı Menteşesi
- Renault Master 180 Derece Arka Kargo Kapı Menteşesi
- Dacia Dokker 180 Derece Arka Kargo Kapı Menteşesi

Menteşelere ait görseller Şekil 10, 11 ve 12’de gösterilmiştir.



Şekil 10. Fiat ducato, vw caddy, ford connect arka kargo kapı menteşeleri



Şekil 11. Vw transporter, renauld trafic, renauld master arka kargo kapı menteşeleri



Şekil 12. Dacia dokker arka kargo kapı menteşesi

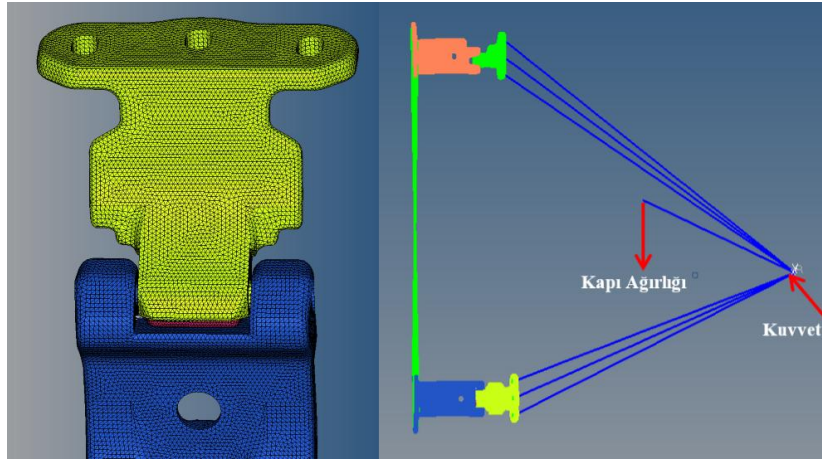
Bu menteşeler yetkili servislerinden satın alınarak ürünü daha iyi tanıyabilmek ve kıyaslama matrisi oluşturabilmek için incelenmiştir. İncelenirken ölçülebilen veya gözlemlenebilen değerler esas alınmıştır. Her bir menteşenin eksen sayısı, paket hacmi, oturma yüzeyi kalınlığı, bağlantı delikleri ölçüsü ve sayısı, ağırlıkları, açma ve kapama eforu, işleme yüzeyi pürüzlülüğü ölçülmüştür. Hırsızlığa karşı güvenlik durumu, ayar civatasının ve kapı ayar piminin varlığı, kaplamasının cinsi, üretim yöntemi, boya akma kanalının varlığı, pim montajı, markalama yöntemi, durdurucu yüzeyinin tipi incelenmiştir. Elde edilen bu veriler kıyaslama matrisi oluşturulmasında girdi olarak kullanılmıştır. Kıyaslama matrisi proje çalışanlarına nasıl bir menteşe yapması gerektiği hakkında fikir vermiştir.

3.2.Mevcut Tasarımın Sonlu Elemanlar Analizi

Teknik çalışmalara kıyaslama matrisi ile başladıktan sonra seri üretimi devam eden ve çelik alaşımından yapılan mevcut menteşenin gerilme değerleri incelenerek devam edilmiştir. Bu gerilme değerleri sonrasında menteşenin yüksek gerilme oluşan bölgelerini ve dolayısıyla zayıf noktalarını gözlemek amacıyla incelenmiştir. Mevcut menteşenin öncelikle sonlu elemanlar analizi yapılmıştır. Sonlu elemanlar analizinde model kurulurken Hypermesh programı kullanılmıştır. Model elemanları olarak tetra elemanlardan faydalanılmıştır. Çözücü olarak Hyperworks çözücülerinden Radioss Block çözücüsü kullanılmıştır.

3.2.1. Tam Açık Pozisyonda Yatay Aşırı Yükleme Analizi

İlk olarak mevcut menteşe tasarımına mevcut malzemesi ile tam açık pozisyonda yatay aşırı yükleme analizi yapılmıştır. Bu analiz menteşeye uygulanan en zorlu testlerden biridir. Menteşe üzerinde hiç kalıcı deformasyon olmaması ve menteşenin maksimum yük altında belirlenen esneme açısı değerinden fazla esnememesi gerekmektedir. Mevcut menteşe tasarımının sonlu elemanlar analizi modeli ve sınır koşullarını Şekil 13'te paylaşılmıştır.



Şekil 13. Mevcut tasarım sonlu elemanlar analizi modeli

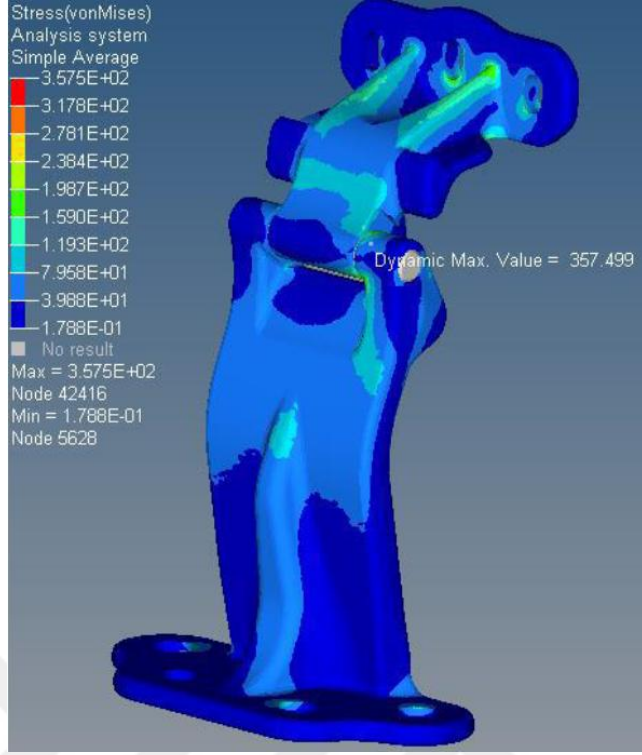
Menteşenin hareketli ve sabit kısımlarının malzemesi mevcut tasarımda S355 dövme malzeme olarak kullanılmaktadır. Pim malzemesi olarak ise 20MnB4 malzemesinin işlem görmesiyle elde edilen 8.8 kalite çelik alaşım kullanılmıştır. Pim teflon burçların içinde hareket etmektedir. Bu malzemelerin özellikleri tabloda belirtilmiştir.

Tablo 3. Mentеше malzemeleri mekanik özellikleri

	S355 J0	8.8 Kalite
Elastisite Modülü	210 000 MPa	210 000 MPa
Poison Oranı	0,3	0.3
Akma Mukavemeti	355 MPa	640 MPa
Kopma Mukavemeti	554 MPa	800 MPa

Gerçek şartlarda bu teste kapının esnemesi yüksek oranda etki etmektedir. Ancak kapının üretimi söz konusu olmadığından kapı modellenmesi yapılmamıştır. Mentешenin kapıya bağlanan hareketli kısımları tek boyutlu rijit elemanlarla kilit merkezi koordinatlarına bağlanmıştır.

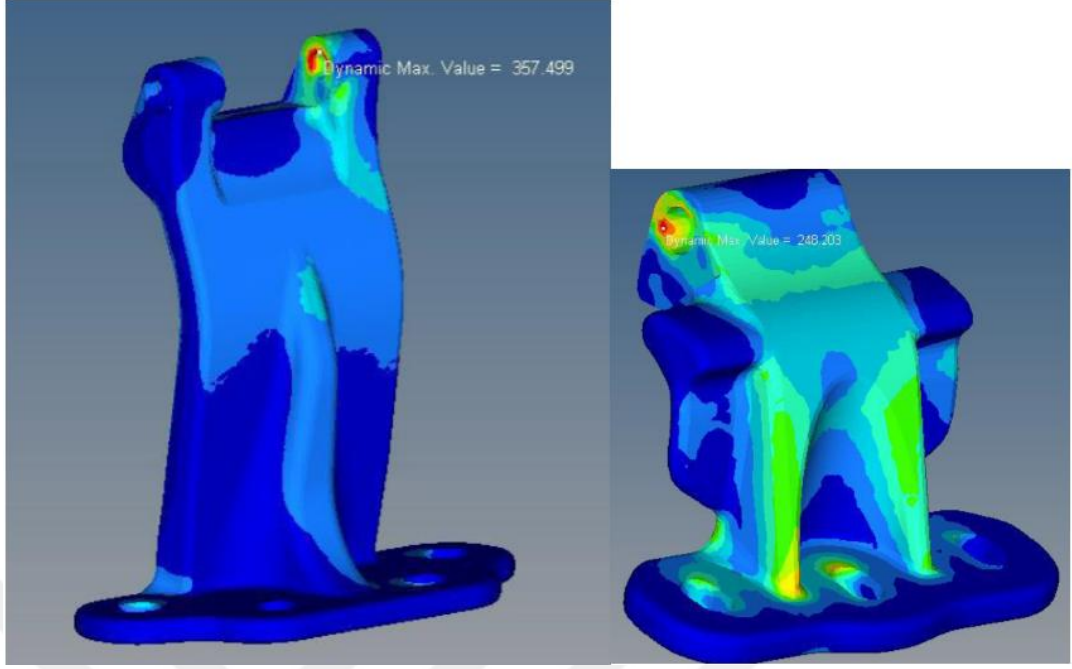
Bu mekanik özellikler ve sınır koşullarına göre sonlu elemanlar analizi yapıldığında malzemenin durdurucu yüzey bölgesinde akma mukavemetinden daha yüksek seviyede gerilmeler olduğu gözlemlenmiştir. Ancak oluşan bu gerilmeler bası yönünde olduğundan ve yüksek gerinme miktarlarına ulaşmadığı görüldüğünden tolere edilebilir olarak yorumlanmıştır. Gözlemlenen gerilme değerleri Şekil 14’te gösterilmiştir.



Şekil 14. Mevcut tasarım sonlu elemanlar analizi gerilme sonuçları

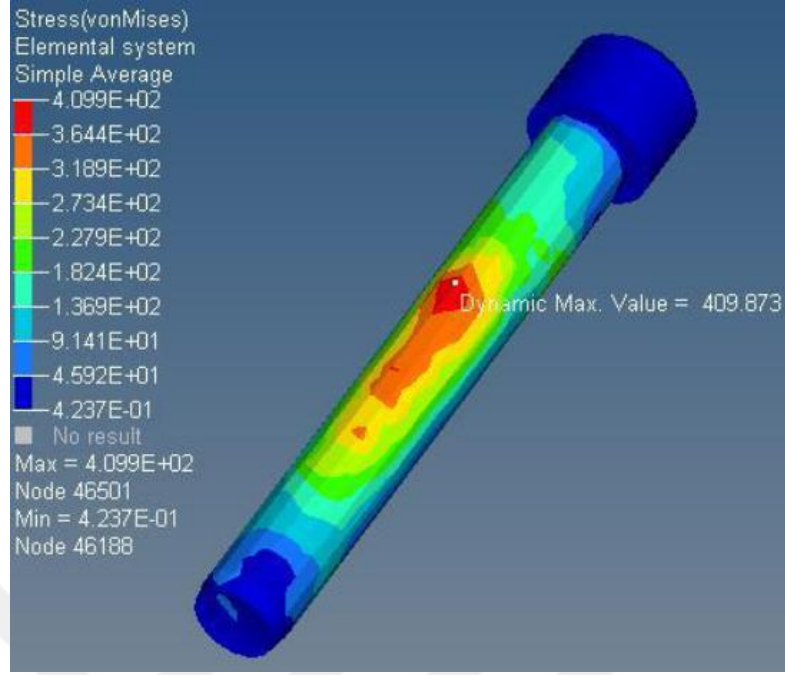
Şekilde de görüldüğü gibi oluşan maksimum gerilme 357,5 MPa'dır. Bu gerilme değeri bası yönünde oluşan bir gerilmedir ve S355 malzemesinin akma mukavemeti olan 355 MPa dan çok yüksek bir gerilme değildir. Gerçek koşullarda bir miktar enerjiyi de kapının sönmüleyeceğini düşündüğümüzde bu gerilme değeri düşecektir. Bu yüzden bu gerilme değeri için kabul edilebilir denebilir.

Menteşe parçalarını ayrı ayrı incelenecek olunursa menteşenin sabit parçasının pim oturan yüzeyinde maksimum gerilmenin oluştuğu görülmektedir. 357,5 MPa büyüklüğündeki gerilme bu bölgede oluşmaktadır. Menteşenin hareketli kısmında oluşan gerilme ise 248 MPa'dır. Bu gerilme sınır bölgesinde olmayıp emniyetli bölgededir denilebilir. Hareketli parçanın üzerinde oluşan maksimum gerilme yine pim çeperinde meydana gelmiştir. S355 malzemesinden üretilen menteşenin sabit ve hareketli kısımlarında oluşan gerilmeler Şekil 15'te sırasıyla gösterilmiştir.



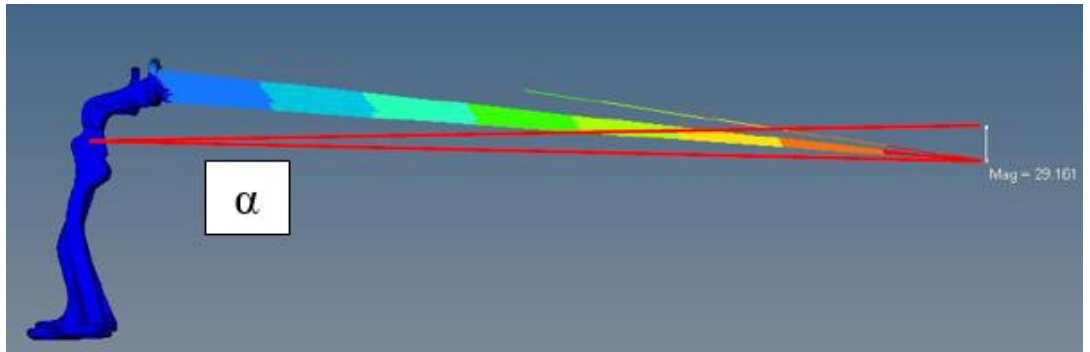
Şekil 15. Menteşe sabit ve hareketli kısımlarında oluşan gerilmeler

Menteşe gövdeleri üzerinde oluşan gerilmeler kadar pim üzerinde oluşan gerilmeler de önem arz etmektedir. Bu analizde 8.8 kalite çelik alaşımından üretilen menteşe piminde oluşan maksimum gerilmenin 409,8 MPa olduğu görülmüştür. Bu gerilme değeri akma mukavemeti 640 MPa olan menteşe pimi için tehlike oluşturacak bir gerilme olarak görülmemiş ve menteşenin gerilme bakımından analizde sıkıntı yaşamadığı yorumu yapılmıştır. Pim üzerinde oluşan gerilme Şekil 16’da gösterilmiştir.



Şekil 16. Menteşe piminde oluşan gerilmeler

Menteşe üzerinde oluşan gerilmelerin sıkıntı yaratacak gerilmeler olmadığı gözlemlenmiştir ancak analiz hakkında kesin yorumun yapılabilmesi için kapının kilit merkezinin yer değiştirmesine ve dolayısıyla kosinüs teoreminden menteşenin esnemesine bakmak gerekmektedir. Kapının kilit merkezinin yer değiştirmesi Şekil 17’de paylaşılmıştır.

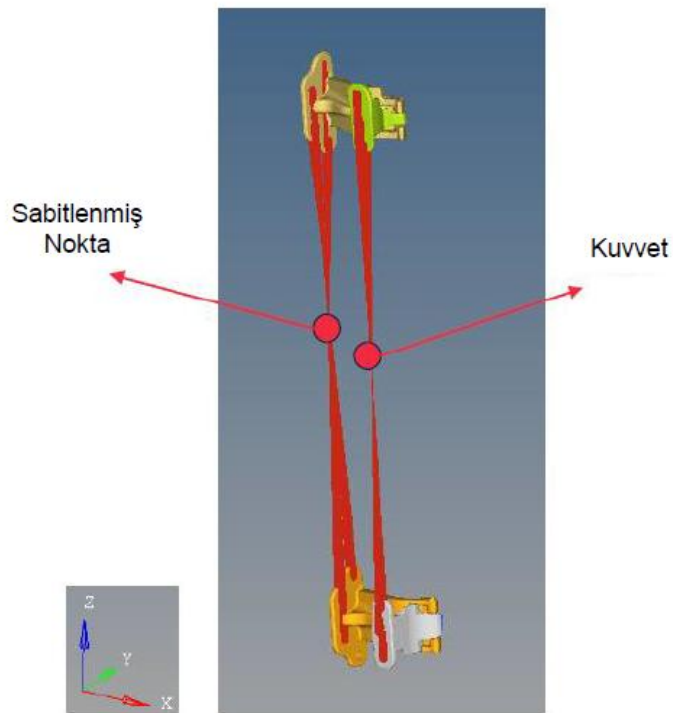


Şekil 17. Mevcut tasarım sonlu elemanlar analizi yer değiştirme sonuçları

Kapının kilit merkezinin yer değiştirmesi şekilden de görüldüğü gibi 29,1 mm'dir. Bu yer değiştirme değerinden kapının açısı hesaplandığında istenen değerin altında kaldığı ve menteşenin tam açık konumda yatay aşırı yükleme şartını sağladığı görülmüştür.

3.2.2. Menteşe ekme Dayanımı Analizi

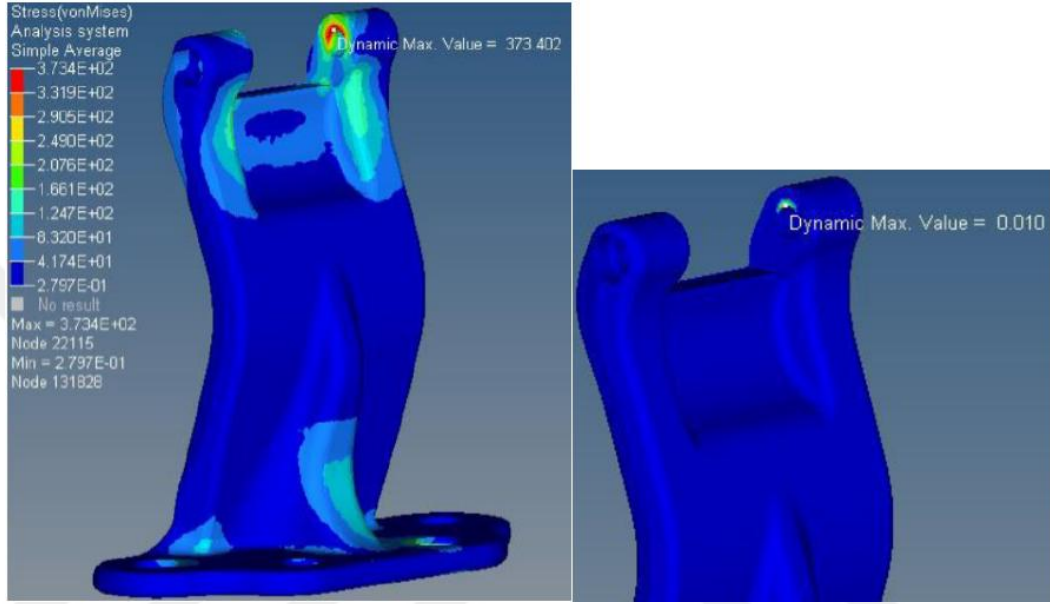
Menteşenin tam açık konumda yatay aşırı yükleme analizine bakıldıktan sonra bir diğer zor koşul olan çekme dayanımı analizine geçilmiştir. Bu analizde de önceki analizde olduğu gibi mevcut tasarım ve mevcut malzemeler üzerinden ilerlenmiştir. Tam açık pozisyonda yatay aşırı yükleme analizinden farklı olarak bu analizde menteşe kapalı konumdadır ve kapı aęırlığıнын etkisi yoktur. Çekme dayanımı analizi sınır şartı şekil 18'de paylaşılmıştır.



şekil 18. Çekme dayanımı analizi sınır koşulları

Menteşe hareketli ve sabit kısımları bağlantı civatası deliklerinin içlerinden birbirlerine tek boyutlu rijit elemanlar ile bağlanmışlardır. Kuvvet noktasından X ve Y yönlerinde yüksek kuvvetler verilmiştir. Bu kuvvetler menteşenin normal çalışma koşullarında

karşılaşmayacağı, ancak kaza gibi beklenmedik durumlarda karşılaşılabileceği büyüklükte kuvvetlerdir. Menteşenin hareketli kısmı, sabit kısmı, pimleri ve burçları modellenmiş ve çözdürmek üzere Radioss çözücüsüne aktarılmıştır. Menteşenin X yönünde çekilmesi sonucunda sabit kısımda oluşan gerilme ve gerinme değerleri aşağıdaki şekilde verilmiştir.

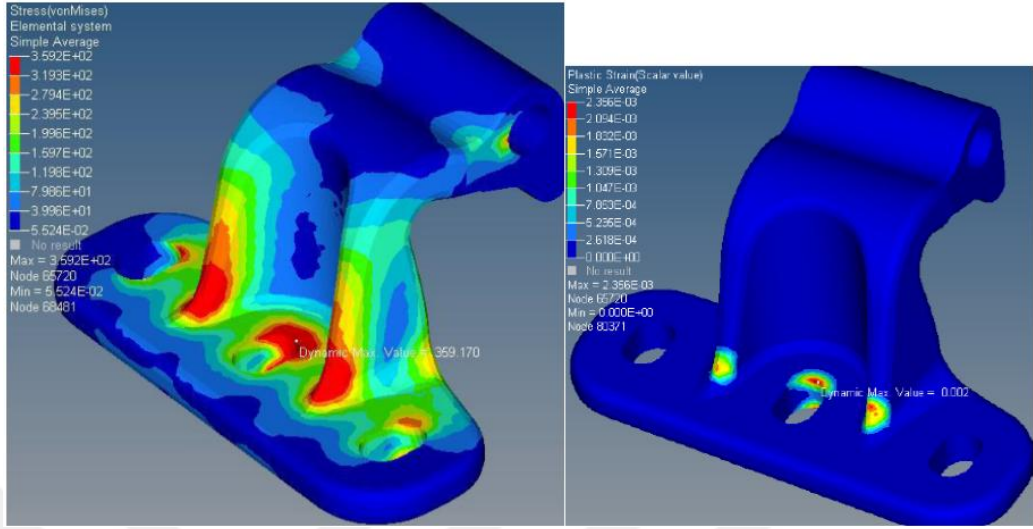


Şekil 19. Çekme dayanımı analizi (x eksen) sonucu menteşe sabit kısmı

Şekil 19’da da görüldüğü gibi sabit kısımda oluşan maksimum gerilme 373,4 MPa’dır. Bu gerilme akma mukavemetinin biraz üstünde olduğundan 0,01 gerinme oluşmuştur. Ancak bu değerler kopma değerlerinin çok altında olduğundan X yönünde çekme analizi uygulanması sonucunda menteşede kalıcı deformasyon oluşuyor ancak kopma veya çatlak oluşumu meydana gelmiyor denilebilir.

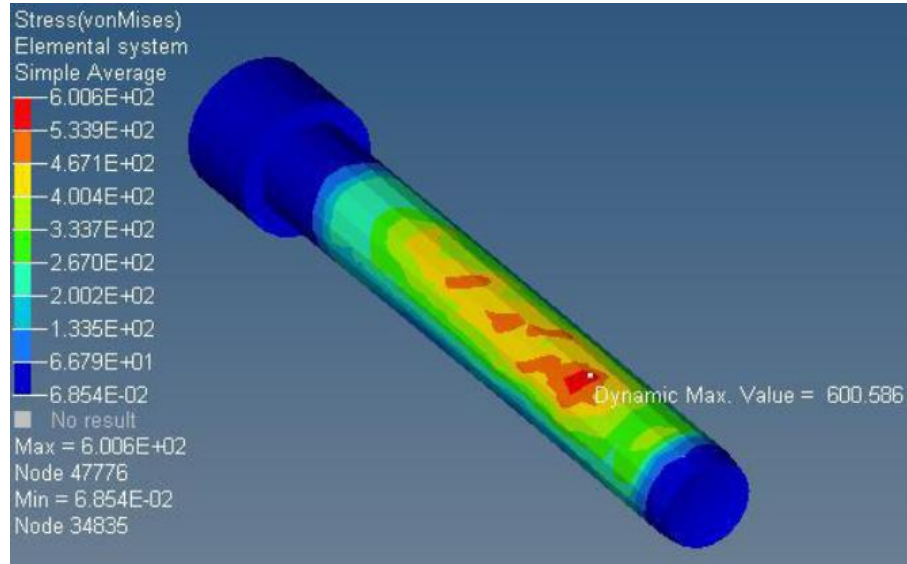
Aynı şekilde hareketli kısımda oluşan gerilme ve gerinme değerleri incelendiğinde menteşenin hareketli kısmında oluşan maksimum gerilmenin 359 MPa olduğu gözlemlenir. Bu değer akma mukavemetine çok yakın bir değerdir. Plastik gerinme 355 MPa sonrasında oluşmaya başladığından burada 0,002 civarında ufak bir plastik gerinme meydana gelmektedir. Ancak bu değer de menteşenin kırılması açısından güvenli bölgede

denilebilir. X yönündeki çekme sonucunda hareketli kısımdaki gerilme ve gerinme değerlerini Şekil 20’de paylaşmıştır.



Şekil 20. Çekme dayanımı analizi (x eksen) sonucu menteşe hareketli kısmı

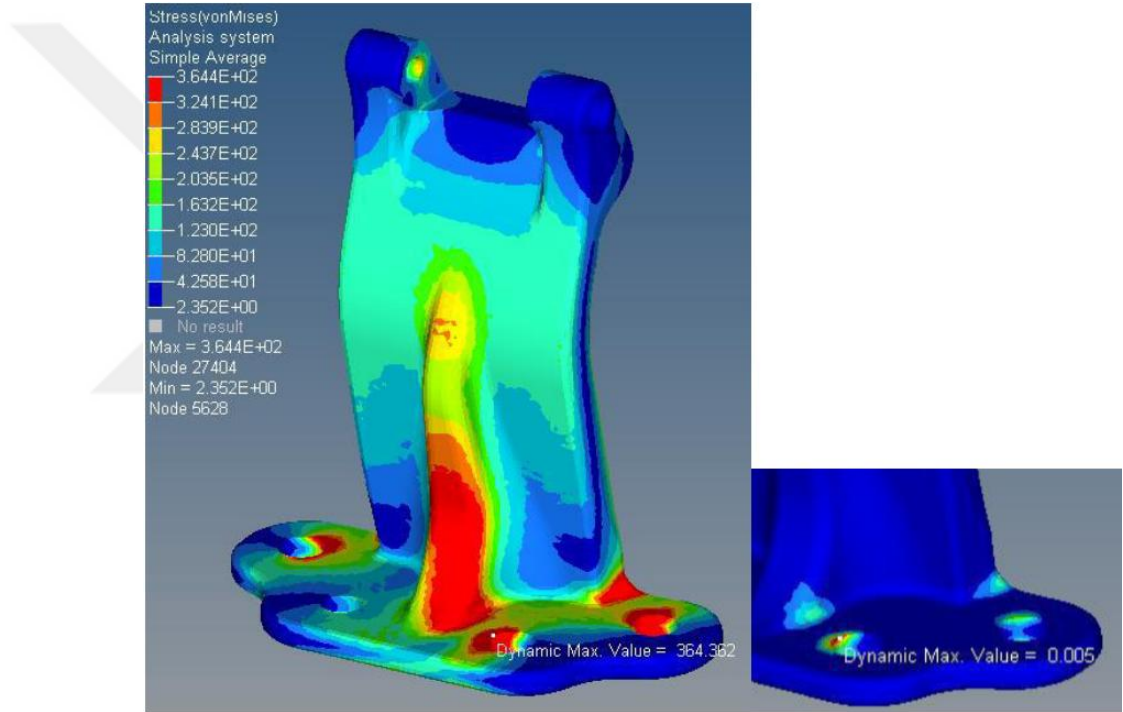
Son olarak pimdeki gerilmeler incelendiğinde pim de oluşan maksimum gerilmenin de akma mukavemeti sınırında olduğu gözlemlenmiştir. X eksenin menteşenin çekilmesi sonucunda pimde oluşan gerilmeler Şekil 21’de görülebilir.



Şekil 21. Çekme dayanımı analizi (x eksen) sonucu menteşe pimi

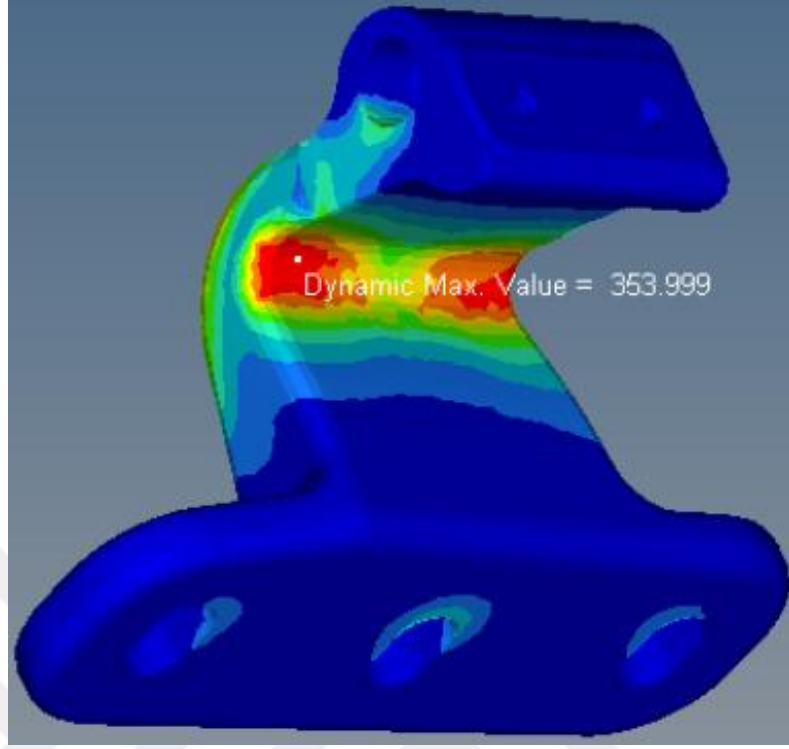
Şekil 21’de de görüldüğü gibi oluşan maksimum gerilme 600,58 MPa’dır. Bu gerilme akma sınırında olduğundan plastik gerinme meydana gelmiyor denilebilir.

Menteşenin tüm komponentleri incelendikten sonra X yönünde uygulanan kuvvet sonrasında herhangi bir kırılmanın meydana gelmediği görülmüştür. Ancak bu analiz iki ekseninde iki ayrı çözüm olarak gerçekleştirilmektedir. Dolayısıyla Y yönünde uygulanan kuvvet sonrasında da menteşede herhangi bir kırılma meydana gelmemelidir. Y yönünde uygulanan kuvvet sonrasında menteşenin sabit kısmının görseli Şekil 22’de verilmiştir.



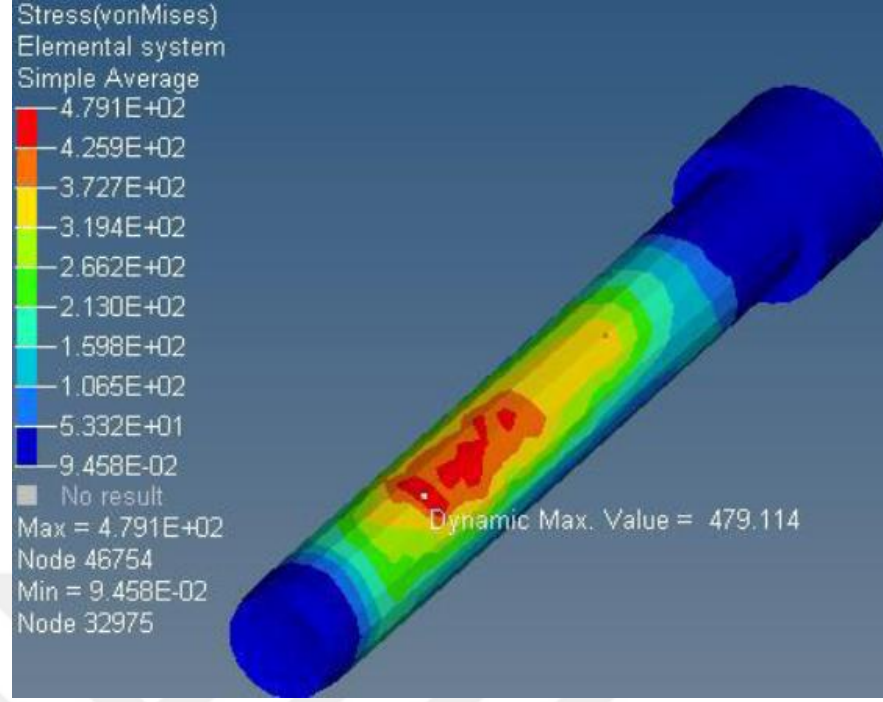
Şekil 22. Çekme dayanımı analizi (y eksenli) sonucu menteşe sabit kısmı

Y yönünde uygulanan kuvvet sonrasında menteşe sabit kısmında oluşan maksimum gerilme 364,3 MPa’dır. Bu gerilme S355 malzemesinin akma mukavemetinden biraz fazla bir değerdir. Bu yüzden maksimum gerilmenin olduğu bölgede 0,005 plastik gerinme meydana gelmektedir. Ancak bu gerinme değeri herhangi bir kırılma veya çatlığa yol açacak bir gerinme değildir. Menteşenin hareketli kısmında oluşan gerinme değerleri Şekil 23’te verilmiştir.



Şekil 23. Çekme dayanımı analizi (y eksenli) sonucu menteşe hareketli kısmı

Şekilde de görüldüğü gibi Y yönünde uygulanan kuvvet sonrasında menteşenin hareketli kısmında meydana gelen maksimum gerilme değeri 354 MPa'dır. Bu bölgede oluşan maksimum gerilme akma mukavemetinden büyük olmadığı için plastik deformasyon meydana gelmiyor denilebilir. Menteşenin hareketli kısmında hasar almadığı görüldükten sonra pimde oluşan gerilme değerleri Şekil 24'te paylaşılmıştır.



Şekil 24. Çekme dayanımı analizi (y eksenli) sonucu menteşe pimi

Pim üzerinde oluşan gerilmeler pimin elastik bölgesinde meydana gelmiştir. Maksimum gerilme değeri 479 MPa'dır. Bu gerilme sonucunda menteşede herhangi bir plastik deformasyon meydana gelmemektedir.

X ve Y yönünde çekme dayanımı analizleri yapılan menteşenin hiçbir parçasında kırılma meydana gelmemiştir. Dolayısıyla Gövdesi s355 malzemesinden oluşan menteşenin bu analizi geçtiği söylenebilir.

3.3.Alüminyum Alaşımlarla Sonlu Elemanlar Analizleri

Mevcut tasarımın çelik alaşımı ile sonlu elemanlar analizi yapıldığından beklendiği gibi menteşe, analizleri sıkıntısız bir şekilde geçmiştir. Bu durumda mevcut tasarımın sadece hareketli ve sabit kısımlarının malzemesini değiştirerek bir menteşe üretilebilir mi sorusunun cevabı aranmıştır. Bu kapsamda menteşe tasarımı değiştirilmeden farklı alüminyum alaşımlarıyla menteşeye sonlu elemanlar analizleri uygulanmıştır. Malzeme modelleri oluşturulurken menteşe pimleri ve burçları modellenmemiştir. Bu parçalar tek

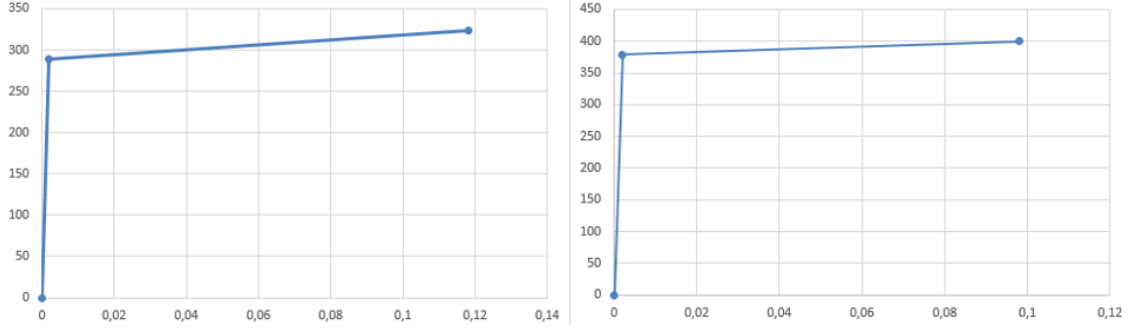
boyutlu rijit elemanlar ile benzetilmiştir. Zaten malzemesi 8.8 kalite çelik alaşımı olan pimin kırılmaya veya çatlama maruz kalmayacağı öngörülmüştür. Bu sayede analiz süreleri azımsanamayacak seviyede azaltılmıştır. Farklı malzemeler ile yapılan sonlu elemanlar analizi denemelerinde analiz süresinin azaltılması yapılan işlemler açısından gerekli bir hal almıştır.

3.3.1. Al. Alaşımlarla Çekme Dayanımı Analizleri

Öncelikle menteşelere 6000 serisi alüminyumlarla analizlerin yapılmasına karar verilmiştir. Bu doğrultuda Al6082 ve Al6262 malzemelerinin mekanik özellikleri araştırılmış ve malzeme modelleri oluşturulmuştur. Bu malzeme modelleri menteşenin hareketli ve sabit kısımları için tanımlanarak analizler yapılmıştır. Al6082 ve Al6262 malzemesine ait mekanik özellikler Tablo 4'te belirtilmiştir. Ayrıca sonlu elemanlar analizinde kullanılan malzeme modellerinin gerilme-gerinme eğrileri görselleri de Şekil 25'te paylaşılmıştır.

Tablo 4. Alüminyum al6082 ve al6262 alaşımları mekanik özellikleri

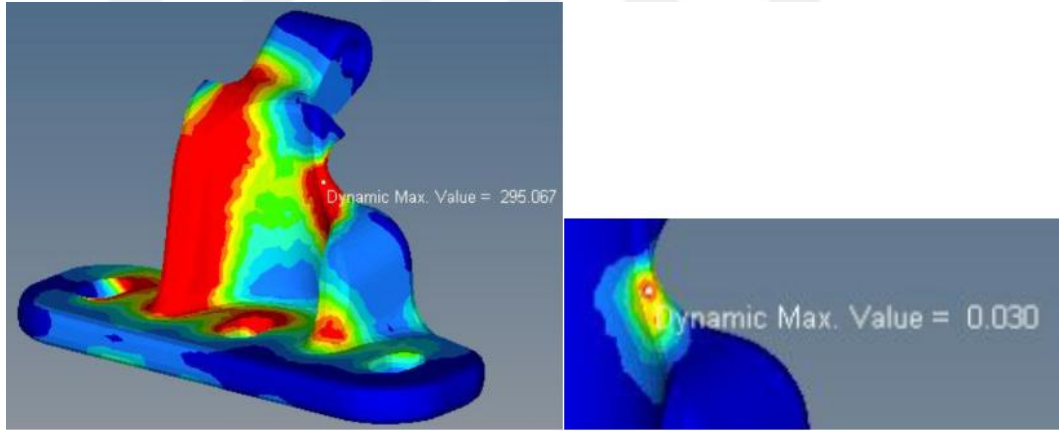
	Al6082	Al6262
Elastisite Modülü	68 000 MPa	68 000 MPa
Poison Oranı	0,33	0,33
Akma Mukavemeti	290 MPa	379 MPa
Kopma Mukavemeti	320 MPa	400 MPa



Şekil 25. Al6082 ve Al6262 alaşımlarına ait gerilme-gerinme eğrileri

3.3.1.1. Al6082 Alaşımı ile Menteşe Çekme Dayanımı Analizi

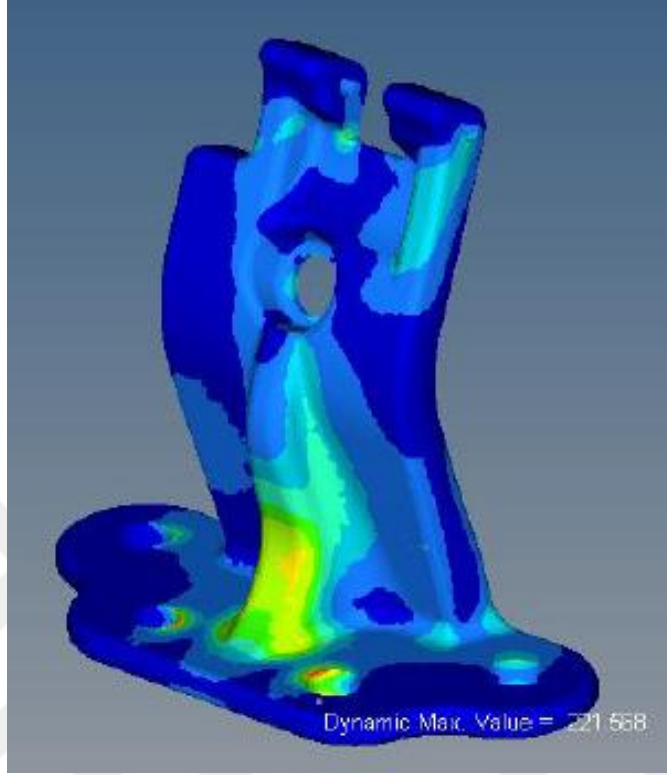
Mevcut menteşe tasarımının malzeme tanımları değiştirilerek analiz tekrarlanmıştır. Malzeme modeli olarak Al6082 kullanılmıştır. X yönünde uygulanan kuvvet sonrasında menteşenin hareketli kısmında oluşan gerilmeler Şekil 26'da gösterilmiştir.



Şekil 26. Çekme dayanımı analizi (x eksen) sonucu menteşe hareketli kısmı

Şekilde de görüldüğü gibi Al6082 malzemesinden oluşan menteşenin hareketli kısmında oluşan maksimum gerilme değeri 295 MPa'dır. Bu gerilme değeri akma mukavemetinin üstünde bir değerdir. Dolayısıyla menteşe üzerinde maksimum gerilme oluşan bölgede 0,03 değerinde plastik gerinme oluşmaktadır. Ancak çekme dayanımı analizinde menteşe üzerindeki kırılma veya çatlamalara bakıldığından bu gerilme değeri analizden geçilmesi

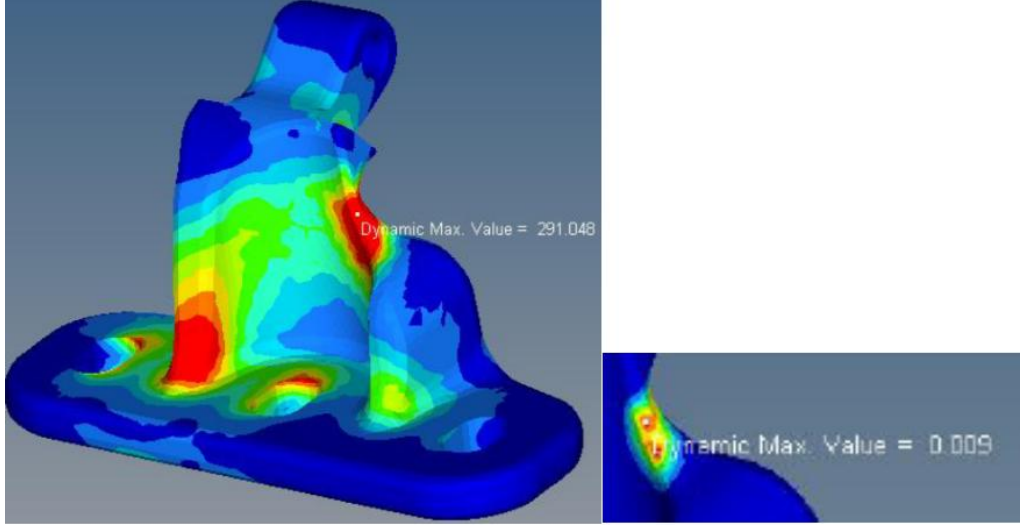
için gerekli sınırlar dahilindedir. Menteşenin sabit kısmında oluşan gerilme ve gerinme değerleri Şekil 27’de paylaşılmıştır.



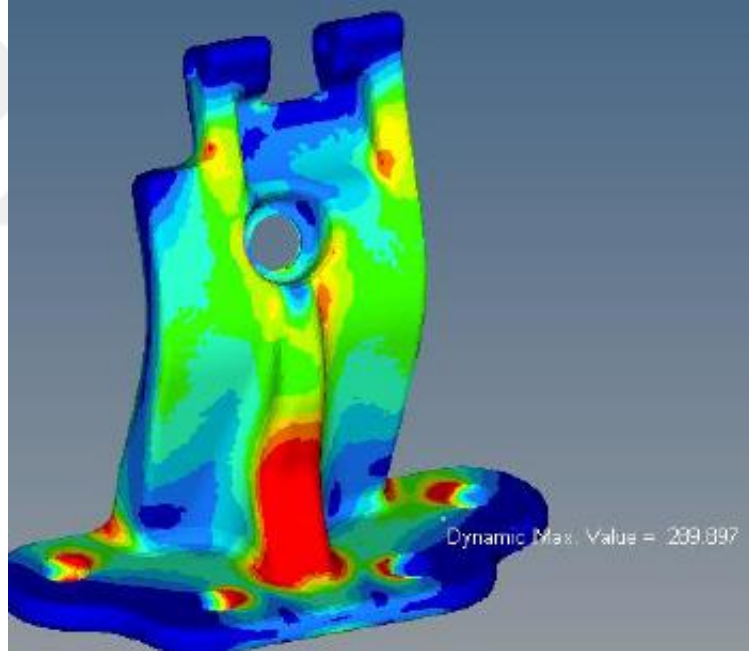
Şekil 27. Çekme dayanımı analizi (x eksen) sonucu menteşe sabit kısmı

Menteşenin sabit kısmında X yönünde uygulanan kuvvet sonrasında oluşan maksimum gerilme değeri 221,5 MPa’dır. Bu gerilme değeri menteşe üzerinde herhangi bir risk oluşturabilecek düzeyde olmadığından menteşenin sabit kısmında plastik deformasyona uğramadığı söylenebilir.

X yönünde bir kırılma veya çatlama sonlu elemanlar analizi sonuçlarına göre uğramayan menteşenin Y yönünde uygulanan kuvvet karşısında davranışları gözlemlenmiştir.



Şekil 28. Çekme dayanımı analizi (y eksenli) sonucu menteşe hareketli kısmı



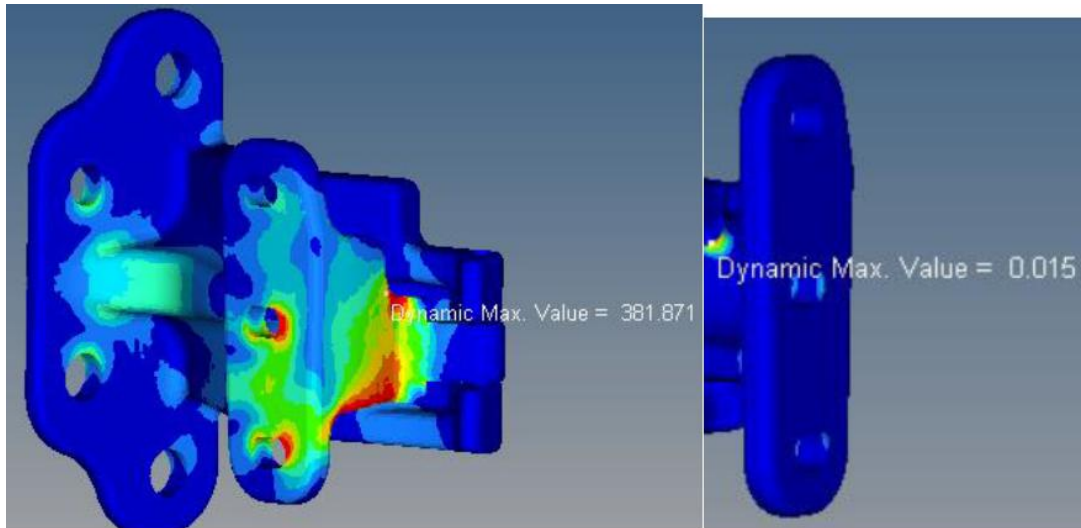
Şekil 29. Çekme dayanımı analizi (y eksenli) sonucu menteşe sabit kısmı

Al6082 alaşımından oluşan menteşe hareketli ve sabit kısmı Y yönünde uygulanan kuvvet karşısında bir kırılmaya uğramamıştır. Menteşenin hareketli kısmında oluşan maksimum gerilme değeri 291 MPa'dır. Bu gerilme değerinin gözlemlendiği bölgede 0,009 değerinde önemsenmeyecek seviyede bir plastik gerilme söz konusudur. Ayrıca

menteşenin sabit kısmında 289,9 MPa büyüklüğünde bir maksimum gerilme oluşmuştur. Bu gerilme değerinin gözlemlendiği bölgede de 0,008 değerinde bir plastik gerilme değeri gözlemlenmektedir. Ancak bu gerilme değeri de çok küçük mertebelerde oluşmuştur. Ayrıca çekme dayanımı analizi şartları gereği menteşe üzerindeki maksimum gerilmelerin kopma mukavemeti üzerinde olmaması gerekmektedir. Menteşe üzerinde de Y yönünde uygulanan kuvvet sonrasında kopma mukavemetinden büyük hiçbir gerilme gözlemlenmemiştir. Y ekseninde uygulanan analiz sonuçları Şekil 28 ve 29’da paylaşılmıştır. Al6082 malzemesinden oluşan menteşenin çekme dayanımı analizinden geçtiği yorumu yapılabilir.

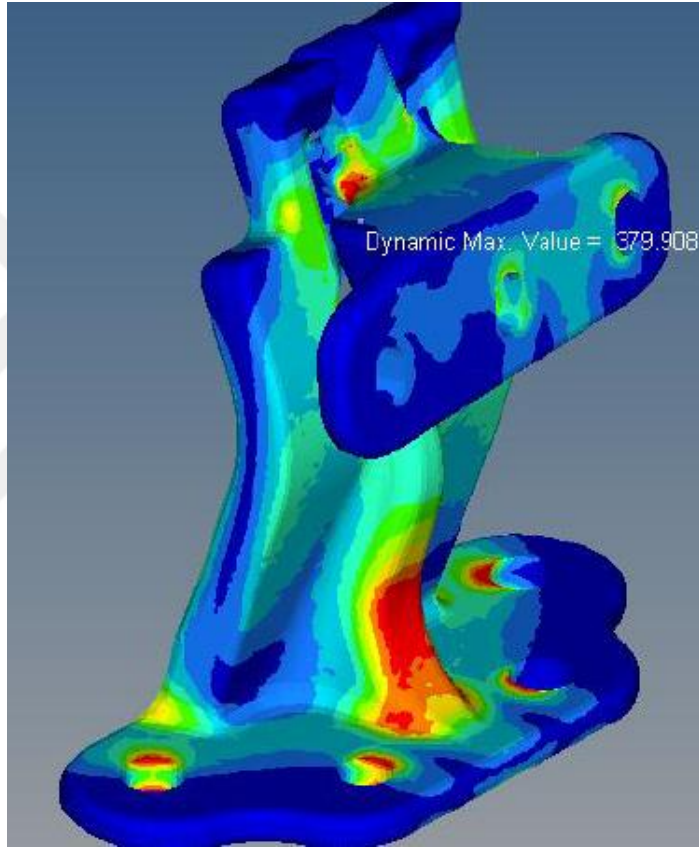
3.3.1.2. Al6262 Alaşımı ile Menteşe Çekme Dayanımı Analizi

Al6082 alaşımından oluşan menteşenin geçtiği gözlemlendikten sonra Al6262 alaşımı ile sonlu elemanlar analizleri tekrarlanmıştır. Al6262 malzemesi mekanik özellikleri bakımından daha iyi bir performansa sahip olsa da diğer testler açısından alternatif bir malzeme olarak çıkabilmesi için bu malzemenin de sonlu elemanlar analizleri yapılmıştır. X yönünde uygulanan kuvvet sonrasında hareketli ve sabit menteşe parçalarındaki gerilmeler Şekil 30’da gösterilmiştir.



Şekil 30. Çekme dayanımı analizi (x eksen) sonuçları

Şekilde görüldüğü gibi menteşe üzerinde oluşan maksimum gerilme yaklaşık 382 MPa'dır. Bu gerilme değeri akma mukavemetinden fazla olduğundan menteşe üzerinde plastik deformasyon meydana gelmiştir. Ancak meydana gelen 0,015 seviyesindeki bu plastik gerilme değeri risk oluşturacak düzeyde bir gerilme değildir. Bu yüzden Al6262 alaşımından oluşan menteşenin X yönünde uygulanan kuvvet sonrasında kırılma veya çatlamaya uğramadığı söylenebilir. Y yönünde uygulanan kuvvet sonrasında oluşan gerilmeler Şekil 31'de gösterilmiştir.



Şekil 31. Çekme dayanımı analizi (y eksenli) sonuçları

Al6262 alaşımından oluşan menteşe üzerinde Y yönünde uygulanan kuvvet sonrası oluşan maksimum gerilme değeri yaklaşık 380 MPa'dır. Bu gerilme değeri akma mukavemeti sınırındadır. Bu yüzden menteşede plastik deformasyon meydana gelmiyor yorumu yapılabilir. Kırılma veya çatlak oluşumu aranan menteşede oluşan gerilmeler kopma mukavemetinin bir hayli altında olduğundan Al6262 alaşımından oluşan menteşenin de çekme dayanımı analizinden geçtiği gözlemlenmiştir.

Mevcut tasarımda Al alaşım malzemesi tanımlanan menteşeler için yapılan çekme analizi sonuçlarına göre menteşe parçalarında akma mukavemetlerini geçen gerilmeler meydana gelmiş fakat menteşenin kopma mukavemetinin üstünde hiçbir gerilme oluşmamıştır. Dolayısıyla menteşeler çekme dayanımı analizlerinden geçmiştir. Toplu sonuçlar Tablo 5’de belirtilmiştir.

Tablo 5. Al alaşımdan yapılan menteşelerin çekme analizi sonuçları

Analiz Sonuçları			
		Maksimum Gerilme (Mpa)	Maksimum Gerilme (mm/mm)
Al6082	X Ekseni	295	0.03
	Y Ekseni	291	0.009
Al6262	X Ekseni	382	0.015
	Y Ekseni	380	0.006

Değerlerden de görüleceği üzere menteşeler üzerinde kırılma veya kopmaya neden olabilecek herhangi bir gerilme oluşumu söz konusu değildir. Oluşan maksimum gerilmeler menteşe malzemesinin kopma mukavemeti altındaki değerlerdir. Dolayısıyla Al6262 ve Al6082 malzemesinden oluşan menteşelerin çekme analizini başarıyla geçtiği söylenebilir. Çekme analizini başarıyla geçen menteşeler tam açık konumda yatay aşırı yükleme analizine sokulmuştur.

3.3.2. Al Alaşımlarla Tam Açık Konumda Yatay Aşırı Yükleme Analizleri

Önceki bölümde de görüldüğü gibi menteşeye çekme analizi uygulanırken Al6082 ve Al6262 alüminyum alaşım malzemeleri kullanılmıştır. Bu malzemelerle çekme analizine giren menteşe tasarımı üzerinde kopma mukavemetini aşan herhangi bir gerilme gözlemlenmemiştir. Dolayısıyla menteşenin bu malzemeler kullanılarak yapılan çekme analizinden geçtiği gözlemlenmiştir. Ancak tam açık konumda yatay aşırı yükleme analizi çekme analizine göre sınır şartları bakımından daha zor bir analizdir. Alüminyum

malzemesinin sünek davranışı da bu analizde önem teşkil edeceğinden malzeme olarak Al6262 ve Al7075 alaşımları kullanılmasına karar verilmiştir. 6000 serisine göre daha az sünek davranış sergileyen 7000 serisi alüminyumun tam açık konumda yatay aşırı yüklenme analizinde daha fazla geçme şansı olduğu söylenebilir.

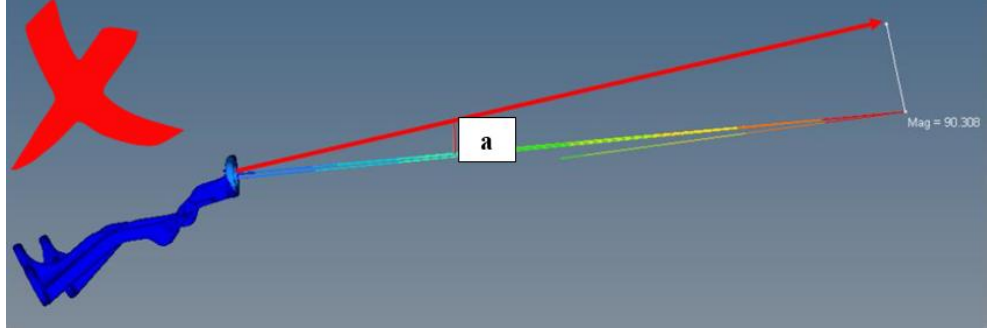
Analizler yapılırken sadece malzeme modelleri değiştirilmiştir. Tasarımda her hangi bir değişiklik söz konusu değildir. Al6262 ve Al7075 alüminyum alaşımlarına ait malzeme bilgileri Tablo 6'da paylaşılmıştır.

Tablo 6. Al6262 ve Al7075 alaşımları mekanik özellikleri

	Al7075	Al6262
Elastisite Modülü	72 000 MPa	68 000 MPa
Poison Oranı	0,33	0,33
Akma Mukavemeti	503 MPa	379 MPa
Kopma Mukavemeti	572 MPa	400 MPa

3.3.2.1. Al 6262 Alaşımı ile Menteşe Tam Açık Konumda Yatay Aşırı Yüklenme Analizi

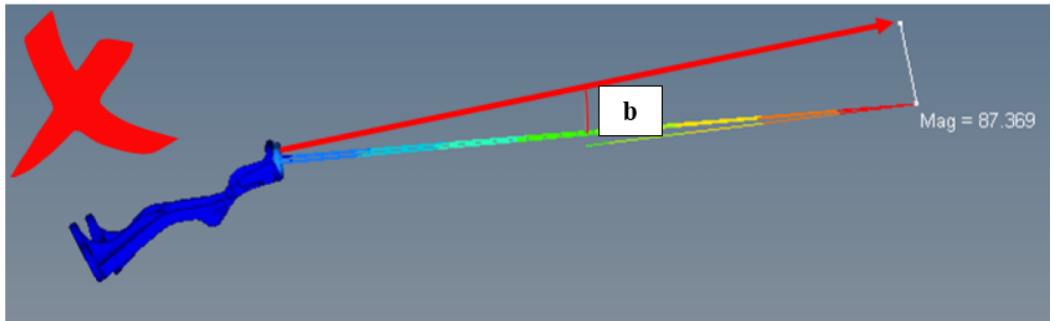
Tam açık konumda yatay aşırı yüklenme analizinde menteşe üzerinde oluşan plastik şekil değiştirmeler ve menteşenin dönme ekseninde ne kadar esnediği incelenmektedir. Tek çevrim olarak uygulanan bu analizde dönme eksenindeki esneme açısı daha önemli olduğundan öncelikle farklı malzemelerle analiz yapılan tasarımda dönme eksenindeki esneme açılarına bakılmıştır. Al6262 malzemesinden yapılan tam açık konumda yatay aşırı yüklenme analizi sonucunda menteşe istenilen sınır değer üstünde kalmıştır. Analiz sonucu aşağıdaki şekilde paylaşılmıştır. Al6262 malzemesi istenilen değerden daha fazla esnediği için tam açık konumda yatay aşırı yüklenme analizinden geçememiştir.



Şekil 32. Al6262 malzemesi tam açık konumda yatay aşırı yükleme analizi sonuçları

3.3.2.2. Al 7075 Alaşımı ile Menteşe Tam Açık Konumda Yatay Aşırı Yükleme Analizi

Al6262 alaşımı ile yapılan analizi olumsuz olarak sonuçlanan menteşenin malzeme verileri değiştirilerek yeniden analizi yapılmıştır. Yeni analizde kullanılan malzeme Al7075 alaşımıdır. Bu alaşım 6000 serisinden daha az sünek bir davranış sergileyen, daha mukavim bir alüminyumdur. Bu nedenle tam açık konumda yatay aşırı yükleme analizinden daha iyi bir sonuç alması beklenmiştir. Ancak yapılan analiz sonuçlarına göre sonuçta bir iyileşme gözükse de bu sonuç ile oluşan esneme açısı menteşe esnemesi için istenen sınır değerinin altında kalmadığından menteşe bu analizden de olumlu bir sonuçla ayrılamamıştır. Analiz sonucu Şekil 33’de paylaşılmıştır.



Şekil 33. Al7075 malzemesi tam açık konumda yatay aşırı yükleme analizi sonuçları

3.4.Sonlu Elemanlar Analizlerinin Yorumlanması

Yapılan sonlu elemanlar analizleri sonucunda mevcut menteşe malzemesi olan S355 malzemesi ile menteşenin çok rijit fakat ağır bir menteşe olduğu bir kez daha görülmüştür. Al malzemesi ile yapılan sonlu elemanlar analizi denemelerinde ise menteşelerin çekme koşullarını sağladığı fakat tam açık konumda yatay aşırı yükleme analizi koşullarını sağlamadığı görülmüştür. Menteşenin dönme eksenini ile bağlantı delikleri arasındaki mesafenin fazla olması, Al malzemesinin çeliğe göre daha sünek bir malzeme olması ve bu sebeplerden kaynaklı olarak menteşenin sınır değerlerden fazla esnemesi tam açık konumda yatay aşırı yükleme analizinin olumsuz sonuçlanmasının nedenleri arasında gösterilebilir. Bu durumda yapılması gereken çözüm daha rijit bir tasarım yaparak bu tasarım ile sonlu elemanlar analizlerinin tekrarlanması olacaktır.

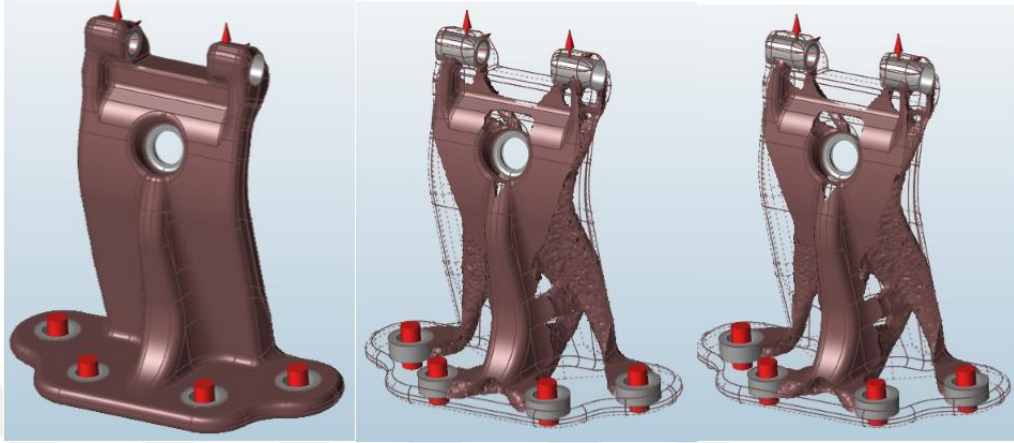
3.5.Topoloji Optimizasyonu

Bu çalışmalardan sonra yeni menteşe tasarımının ana hatlarını belirlemek ve menteşedeki kritik bölgeleri görmek, bu veriye göre menteşeyi güçlendirmek adına topoloji optimizasyonu yapılmıştır. Bu optimizasyon Inspire programı aracılığı ile yapılmıştır. Bu program altair firmasının topoloji optimizasyonu ve katı modelleme için özellikle ürettiği bir yazılımdır ve güzel sonuçlar verebilmektedir.

Topoloji optimizasyonu yapılırken civata delikleri katı modelden ayrılmıştır. Farklı bir komponent olarak tanımlanan civata delikleri tasarımı değişmeyecek hacim olarak yazılıma tanıtılmıştır. Diğer geriye kalan hacim ise optimizasyonun tasarım hacmidir. Bu tasarım hacminde ağırlık azaltması yapılarak menteşedeki kritik, kalması veya güçlü olması gereken hacimler belirlenmiştir. Menteşenin gövdeye bağlanan kısmındaki civata deliklerinden menteşe sabitlenmiştir. Menteşenin hareketli kısmına bağlanan ve içinden pim geçen deliklerden ise menteşeye kuvvet uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 34'te paylaşılmıştır.

Şekilden de görüleceği gibi menteşenin feder kısmında herhangi bir hacim kaybı olmamıştır. Bu durum o bölgenin kritik bir bölge olduğunu göstermektedir. Tam açık konumda durdurucu bölgeye dayanan menteşe daha da açılmaya çalışarak federe yük

bindirmektedir. Tek menteşede durdurucu bölge olduğundan alt üst menteşe grubunda yükü bir menteşe taşımaktadır. Bu da menteşenin haddinden fazla esnemesine ve testten kalmasına neden olmaktadır.



Şekil 34. Topoloji optimizasyonu sonuçları

Topoloji optimizasyonu sonucunda menteşe sisteminin alt ve üst olmak üzere her iki menteşesinde durdurucu yüzey oluşturulmasına karar verilmiştir. Yeni tasarım çalışmaları bu ışık doğrultusunda yürütülecektir. Topoloji optimizasyonu yeni tasarım yapma konusunda yol göstermiştir.

3.6.Malzeme Kütüphanesi Çalışmaları

Daha önce yapılan sonlu elemanlar analizi çalışmalarında lineer malzeme modelleri kullanılarak analizler yapılmıştı. Ancak bu durum sonuçlara olumsuz etki yaratabilmektedir. Aynı gerinme değerlerinde farklı gerilmeler bu durumda gözlemlenebilmektedir. Bu gibi olumsuz durumların önüne geçmek ve yeni yapılacak olan sonlu elemanlar analizlerinde daha doğru sonuçlar elde etmek amacıyla malzeme kütüphanesi çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalar kapsamında öncelikle çekme numuneleri alınmıştır. Başlangıç olarak alınan çekme numuneleri Al6082, Al7075 ve Al2014 alüminyum alaşımı malzemesinden oluşmaktadır. Çekme numunelerinden bir tanesine ait görseli Şekil 35’te paylaşılmıştır.



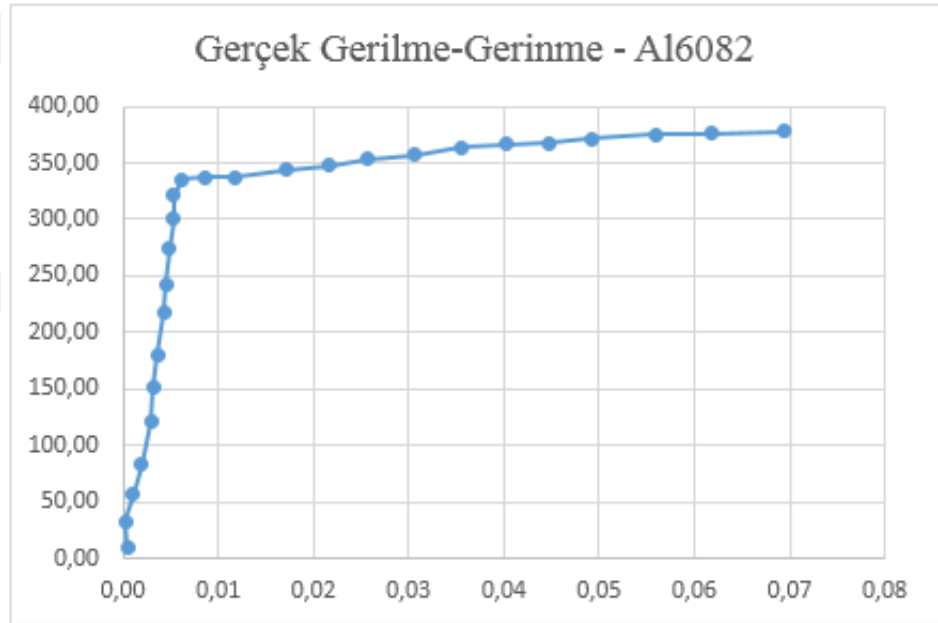
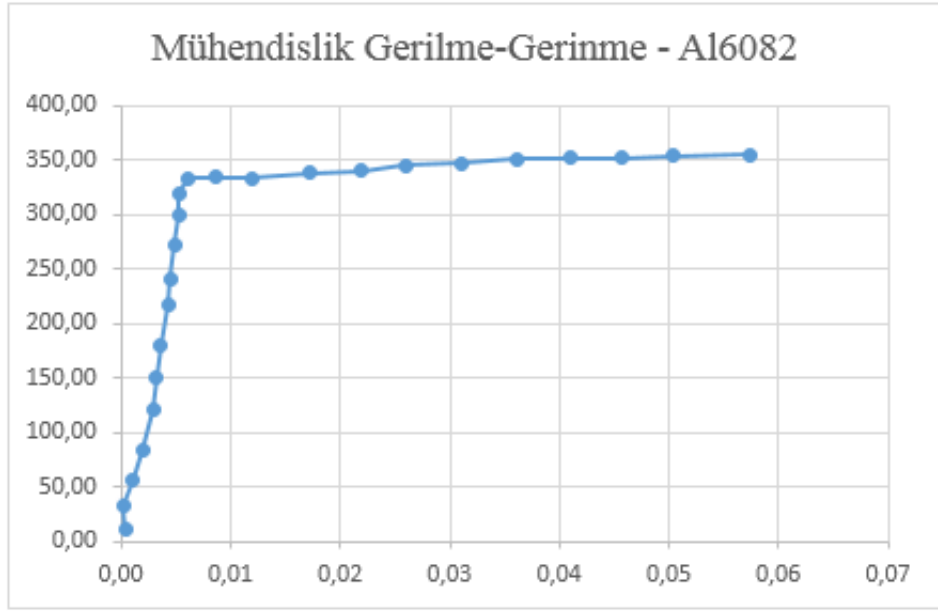
Şekil 35. Alüminyum çekme numunesi

Bu numuneler çekme cihazında çekilerek malzemeler için gerilme-gerinme eğrileri elde edilmiştir. Elde edilen gerilme-gerinme eğrisi mühendislik çekme eğrisidir. Ancak analiz programı gerçek çekme eğrisi kullanmaktadır. Bu yüzden 2 ve 3 numaralı bağlantılarda bulunan formüller yardımıyla elde edilen veriler dönüştürülerek Al alaşımlara ait gerçek çekme eğrileri elde edilmiştir.

$$\epsilon_g = \ln(1 + \epsilon) \quad (2)$$

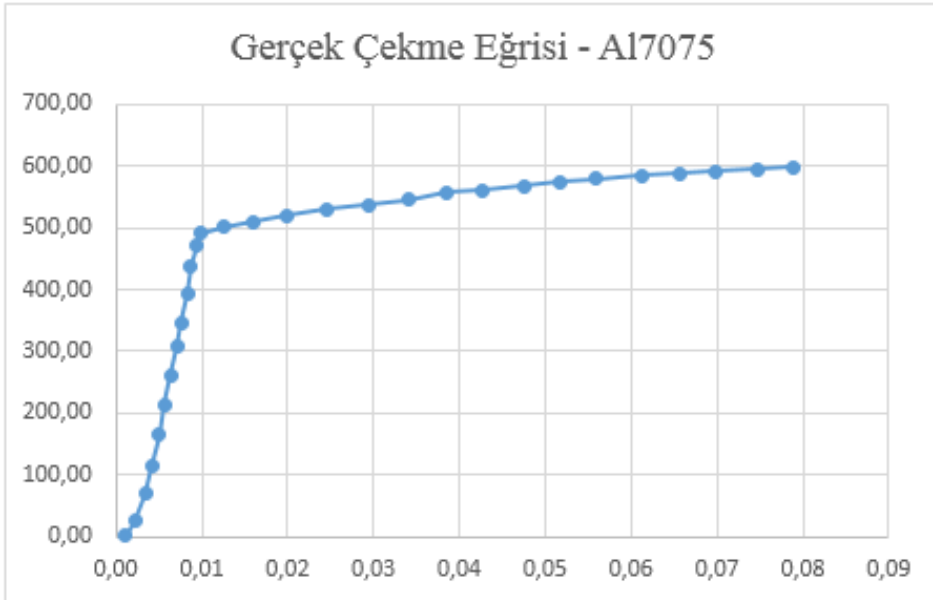
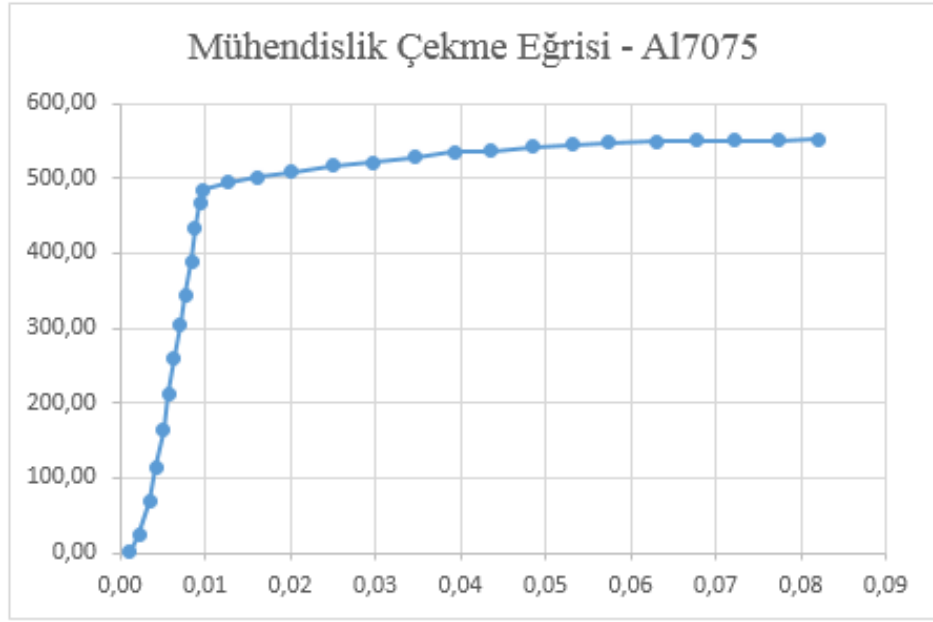
$$\sigma_g = \sigma(1 + \epsilon) \quad (3)$$

Çekme testleri için üç farklı alaşımdan toplam 9 tane çekme numunesi kullanılmıştır. Bu numunelerin test sonuçlarının ortalaması alınmış ve çekme eğrileri oluşturulmuştur. Al6082 alaşımının çekme eğrisi Şekil 36'da paylaşılmıştır.



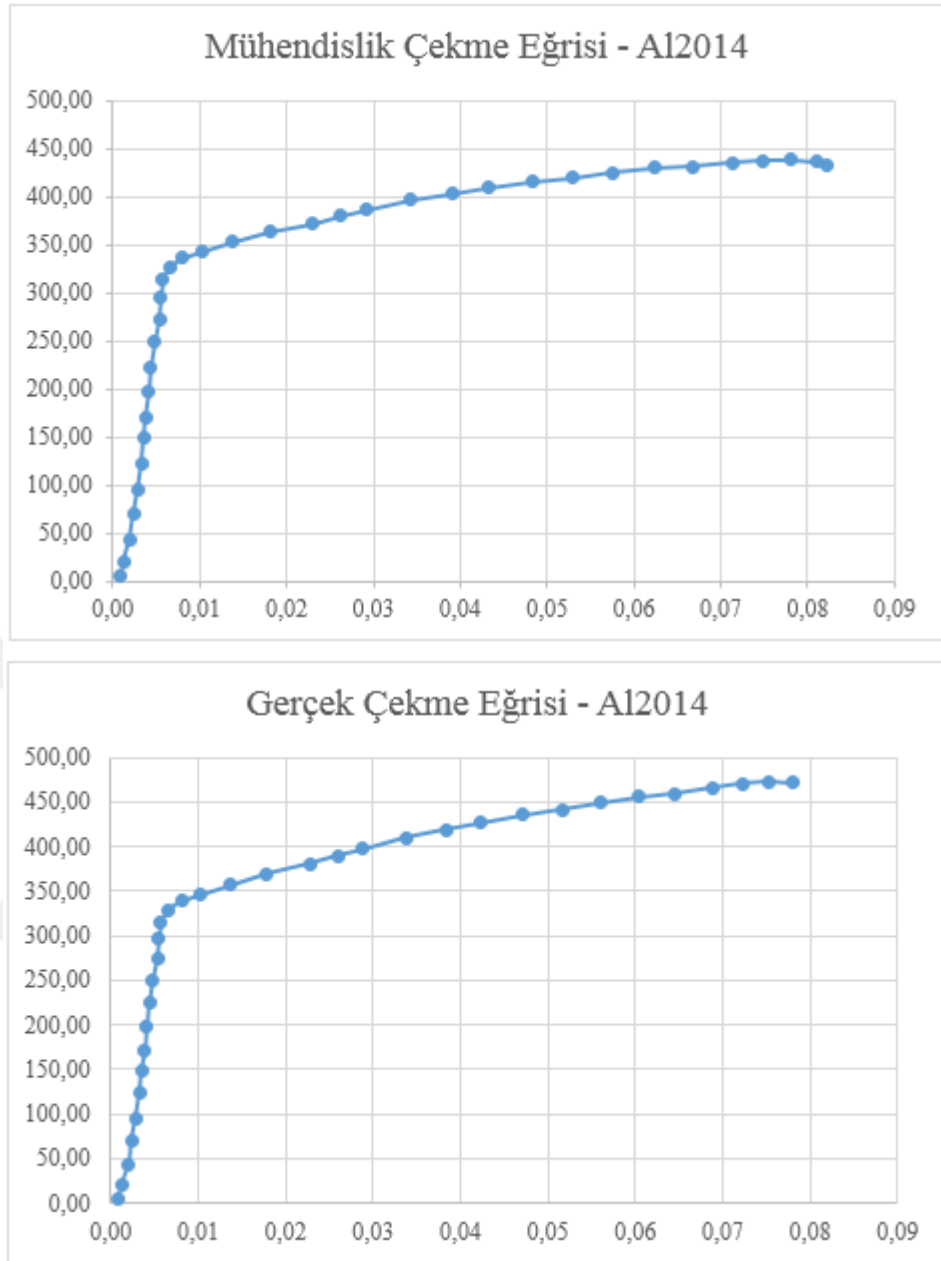
Şekil 36. Al6082 alaşımına ait çekme eğrileri

Al7075 alaşımının çekme eğrileri aşağıdaki şekilde paylaşılmıştır. Yeni menteşe tasarımı konusunda Al7075 alaşımı üzerine odaklanılmıştır.



Şekil 37. Al7075 alaşımına ait çekme eğrileri

Diğer alternatif alaşım Al2014 alaşımıdır. Bu alaşım diğerleriyle kıyaslandığında aralarındaki en iyi özelliklere sahip alaşım değildir. Mekanik özellikleri iyi olmasına karşın fiyatı maliyeti bir hayli arttırmaktadır. Bu nedenle bu alaşım kullanılması eğer Al7075 alaşımı testleri geçmezse planlanmıştır. Al7075 alaşımına ait çekme eğrileri Şekil 37’de, Al2014 alaşımına ait çekme eğrileri ise Şekil 38’de paylaşılmıştır.

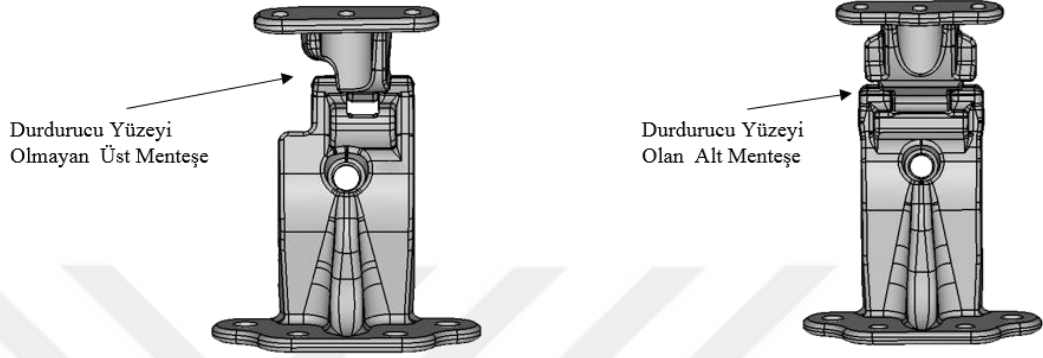


Şekil 38. Al2014 alaşımına ait çekme eğrileri

3.7.Yeni Tasarım Çalışması

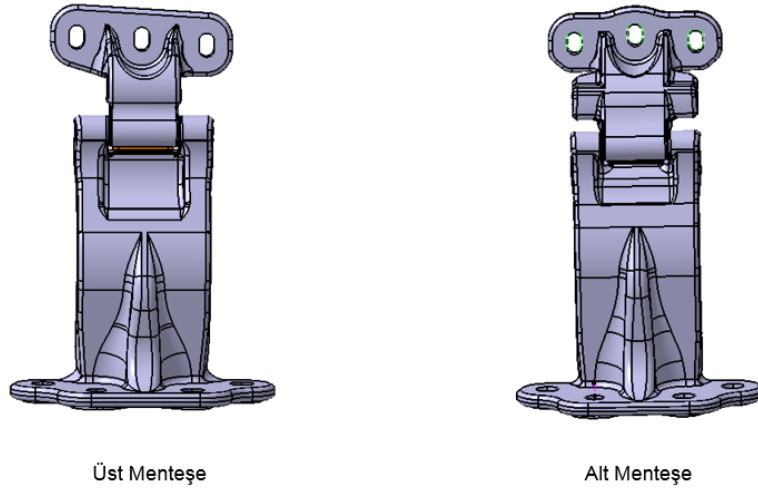
Tasarım değişiklikleri yapılırken sonlu elemanlar analizleri her zaman yol gösterici olmuştur. Eski tasarım tek bir plastik kapı durdurucuya sahiptir. Bu durumda durdurucunun bulunduğu menteşeye çok fazla yük etki etmektedir. Gelen bu kuvveti bir tek menteşe karşılamaya çalıştığı için menteşe gereğinden fazla esnemeye maruz

kalmaktadır. Bu durum sonlu elemanlar analizlerinden açıkça gözlemlenmektedir. Yeni tasarımda her iki menteşede de durdurucu yüzey olacak şekilde bir tasarım yapılmıştır. Bu tasarımla, gelen kuvvetinin iki menteşeye de dağıtılarak karşılanması ve dolayısıyla menteşenin esneme derecesinin düşürülmesi amaçlanmıştır. Mevcut tasarım Şekil 39’da gösterilmiştir.



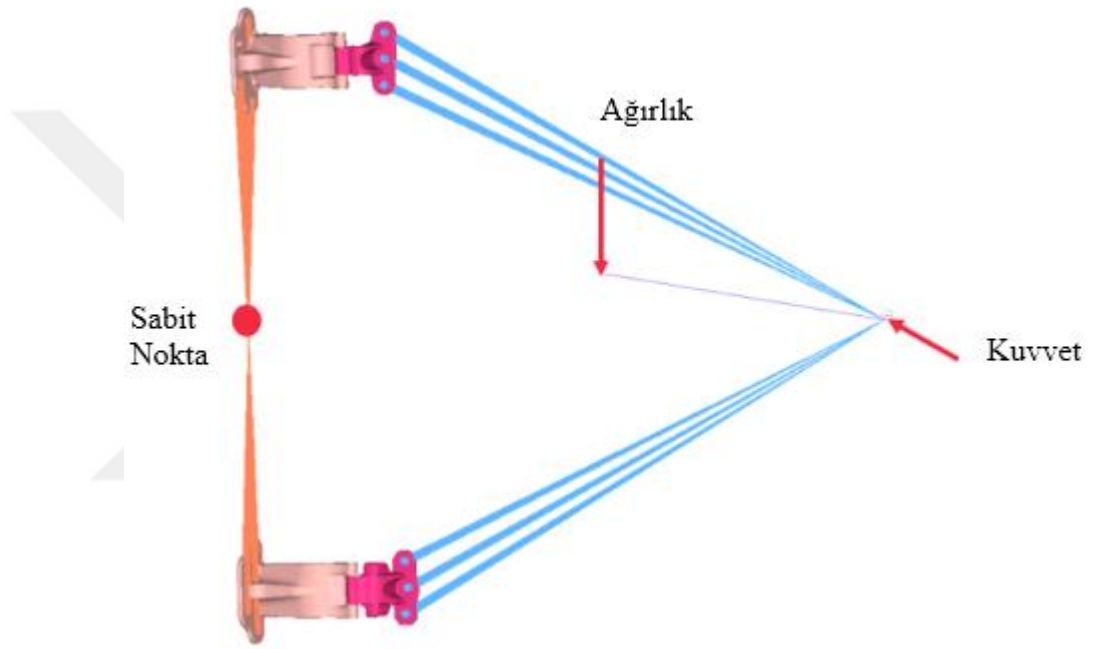
Şekil 39. Mevcut menteşe tasarımı

Yeni menteşe tasarımında alt ve üst olmak üzere iki menteşede de plastik durdurucu bulunmaktadır. Yeni tasarımda gerilme iki durdurucu bölgede dağıtılarak düşürülmesi amaçlanmıştır. Yeni menteşe tasarımı Şekil 40’da paylaşılmıştır.



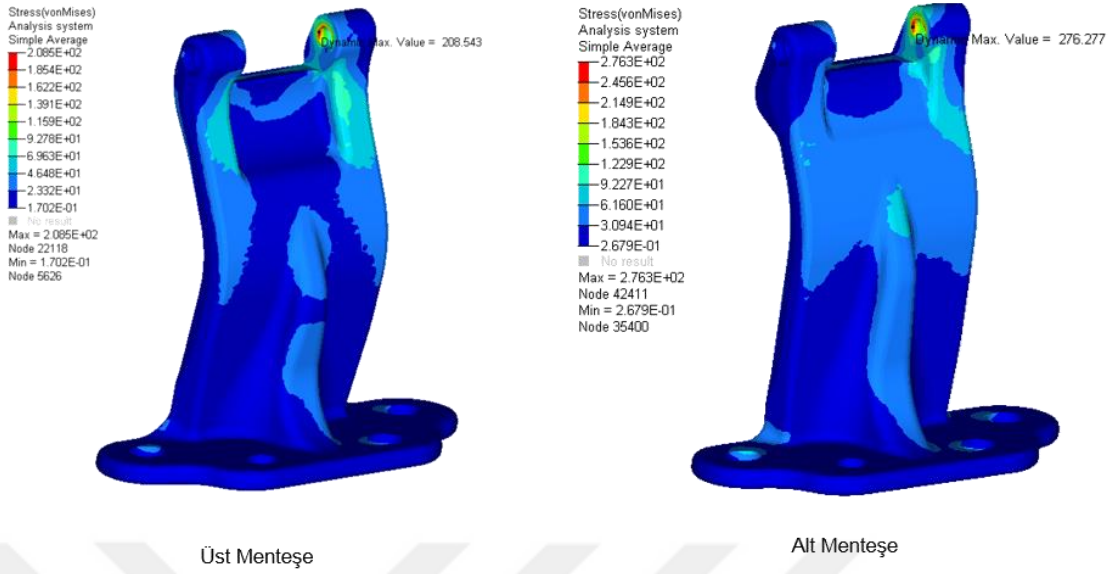
Şekil 40. Yeni menteşe tasarımı

Alüminyum malzemesinden yeni menteşe tasarımı sonlu elemanlar analizi ile doğrulanmıştır. Menteşe analiz edilirken Hyperworks 13.0 yazılımı kullanılmıştır. Pimler ve burçlar olmak üzere menteşe tasarımının her parçası tetra elemanlarla modellenmiştir. Kapı ve araç gövdesi diğer analiz modellerinde de olduğu gibi rijit elemanlarla modellenmiştir. Menteşe ilk tasarımı çekme analizlerinden geçtiği için yeni tasarımda sadece tam açık konumda yatay aşırı yükleme analizi uygulanmıştır. Sonlu elemanlar analizi sınır şartları Şekil 41’de paylaşılmıştır.

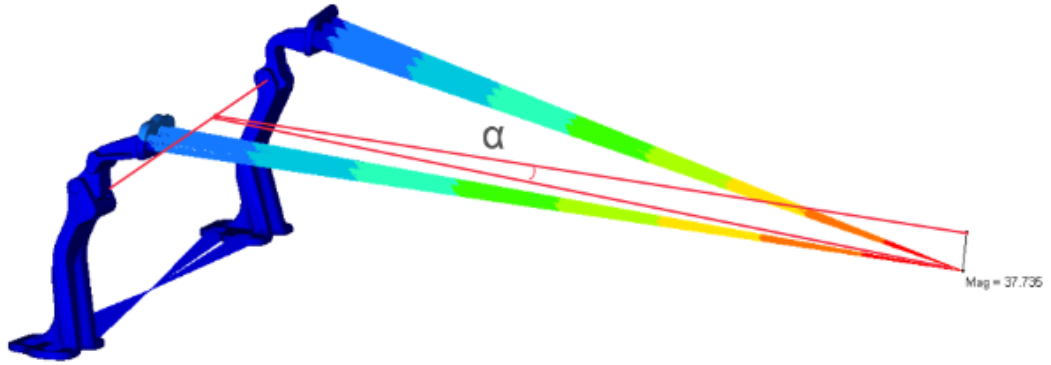


Şekil 41. Yeni menteşe analiz sınır koşulları

Görselde paylaşılan menteşeye yapılan sonlu elemanlar analizi ile elde edilen gerilme ve esneme sonuçları Şekil 42 ve 43’te paylaşılmıştır.



Şekil 42. Yeni menteşe tasarımı tam açık konumda yatay aşırı yüklemeye analizi



Şekil 43. Yeni menteşe tasarımı tam açık konumda yatay aşırı yüklemeye analizi

Analiz sonuçlarına göre menteşe tam açık konumda yatay aşırı yüklemeye analizini başarıyla geçmiştir. Oluşan maksimum gerilmeler ve maksimum yük altında meydana gelen esneme açısı olması gereken değerlerden düşük olduğundan Al7075 malzemesinden yapılan yeni tasarımın müşteri isteklerini karşılayan bir tasarım olduğu görülmektedir. Analizlerden sorunsuz şekilde geçen menteşe tasarımının prototip üretimi kararlaştırılmıştır. Daha sonra öncelikle tasarım fmea hazırlanmış ve kritik karakteristikler belirlenmiştir. Teknik resimler oluşturulup yayınlanmıştır. Ürün ağacı oluşturulmuştur. Prototip üretimi için ise dövme firmasıyla görüşülüp fizibilitesi yapılmıştır. Fizibilite sonucuna göre parçanın kendi halinde soğurken düzensiz

çarpımlara uğrayabileceği veya ısıl işlem sırasında deforme olabileceği belirtilmiştir. Bu durumda parçanın yeniden dövülüp ısıl işlem uygulanması gerekecektir. Ayrıca parçanın soğuk kalibrasyon kabiliyetinin olmadığı ve dövmeden sonra soğuk kalibrasyon yapılırsa çatlayıp kırılabileceği belirtilmiştir. Delik toleransları da esnemeler olabileceğinden $\pm 0,6$ mm olarak yeniden düzenlenmiştir.

3.8.Prototip Üretimi ve Doğrulama Testleri

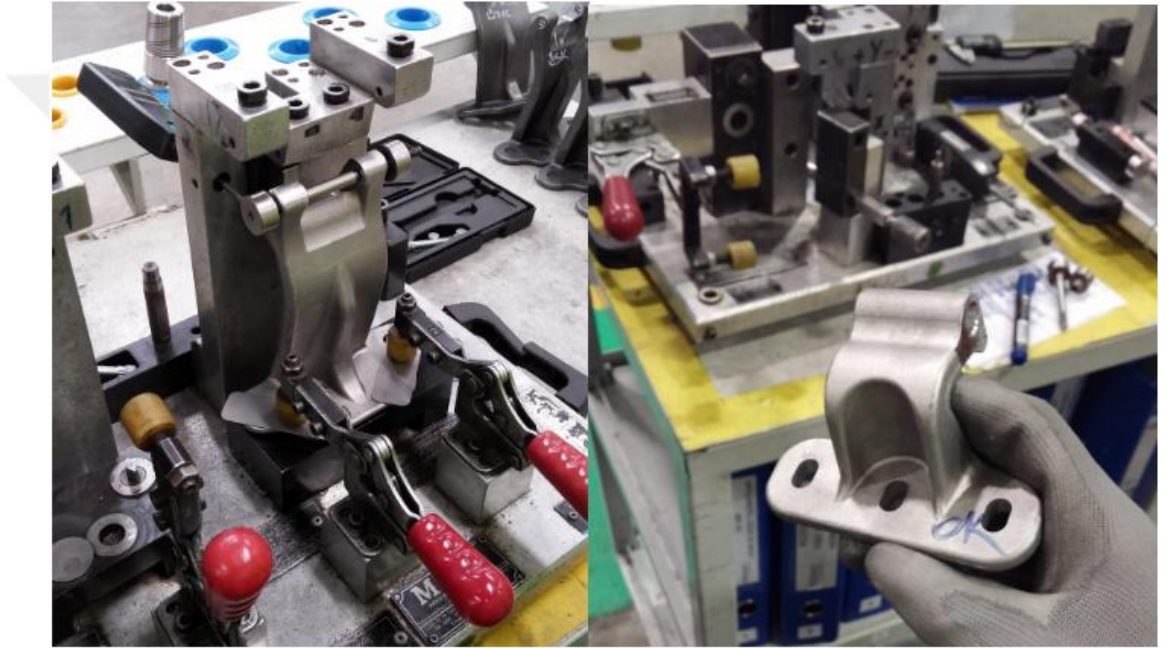
3.8.1. Prototip Üretimi

Kalıp ve prototip parça üretimi konusunda İzmir merkezli yerli bir firma olan Metsan Otomotiv Yedek Parça San. ve Tic. Ltd. Şti. prototip parçaların üretimine talip olmuştur. Kot zinciri analizi ve risk analizi yapılan parça için son kez tasarım gözden geçirme yapılmış ve başka bir firma bu iş için gönüllü olmayınca prototip üretimi için onay verilmiştir. Prototipler, kalıplar yapıp bağlandıktan sonra 3 aşamada sıcak dövme ile şekil almıştır. Başlangıçta silindir bir alüminyum kütükten oluşan Alüminyum 7075 malzemesi ön bir şekle girdikten sonra kalıba sokulmuştur. Dövme aşamasındaki bir menteşe örneği Şekil 44'te gösterilmiştir.



Şekil 44. Alüminyum menteşe dövme aşaması

İlk halden son hale gelene kadar menteşede alt üst toplam olarak 1000 gr lık bir fire söz konusu olmuştur. Ancak zaten geri dönüşüm malzemesinden dövülen menteşe için bu fire çok daha az denebilir. Dövülen parçanın durdurucu yüzeyleri ile taban ve eksen delikleri talaşlı imalat ile işlenmiştir. Bu işlemler sırasında tolerans ± 0.2 olarak çalışılmıştır. Prototipler menteşeler kaplanmadan önce komponent bazlı kontrol fikstürleri ve geçer geçmez masterlar yardımıyla ölçümler yapılmıştır. Bu ölçümlerden sıkıntısız şekilde geçen menteşeler kaplama operasyonuna götürülmüştür. Kontrol aşamasındaki menteşeler Şekil 45'te paylaşılmıştır.



Şekil 45. Ölçüm kontrolü aşamasındaki menteşeler

Doğru üretilen parçalar doğal eloksallı kaplanmıştır. Al malzemedan üretilen menteşede pim olarak çinko kaplamalı çelik kullanılmaktadır. Alüminyum ve çeliğin birlikte çalıştığı sistemde ise uzun zaman sonra galvanik korozyon oluşmaktadır. Doğal eloksallı kaplama ile bu riskin önüne geçmek amaçlanmıştır. Kaplamaları da yapılan prototip menteşeler Rollmech Bursa fabrikasına montajları yapılmak üzere getirilmiştir. Eloksallı kaplı menteşeler Şekil 46'da paylaşılmıştır.



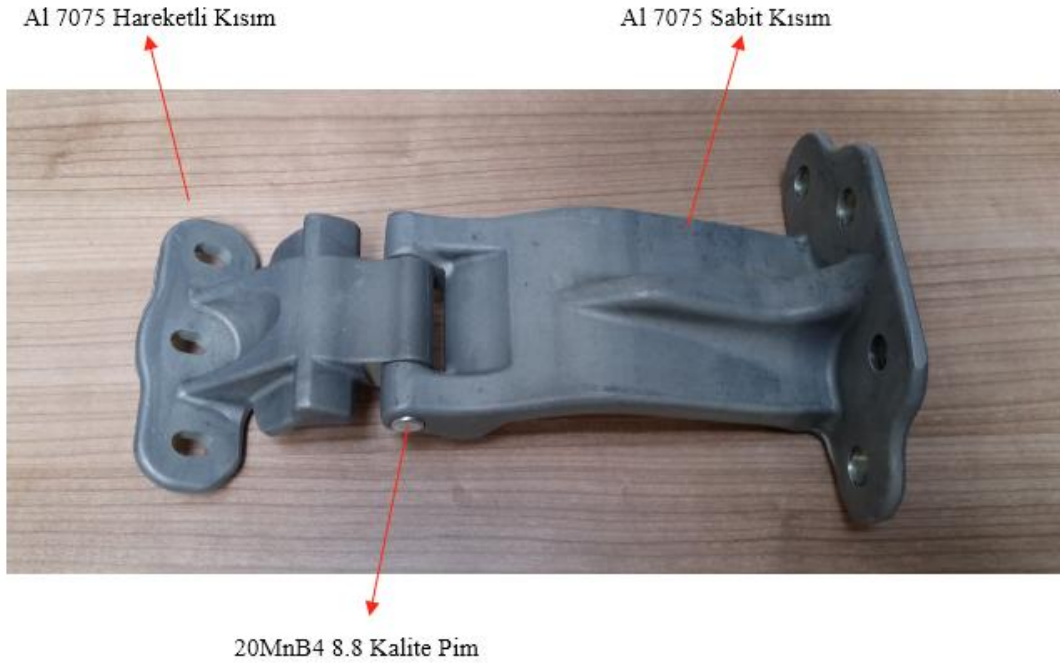
Şekil 46. Eloksal kaplı menteşeler

Montajda pim çakma basıncı çok önemlidir. Normalde çelik menteşelere 250 bar basınçla pim çakılmaktadır. Ancak 250 bar basınç menteşenin delik eksenini çatlatmaktadır. Bu durumdan dolayı çakma basıncını 180 bar yaparak çakma işlemi yapılmıştır. Ayrıca menteşenin eksen deliğini çatlatan bir diğer parametre pim çapıdır. Normalde firmada kullanılan bir çap oranı vardır. Pim çapının eksen deliği çapına oranını çelik uygulamalarına göre alınca eksen deliği çatlamaktadır. Eksen deliği çatlamış bir menteşe Şekil 47’de paylaşılmıştır.



Şekil 47. Pim deliği çatlamış hurda menteşe

Eksen deliğinin çatlamasının önüne geçmek için pim deliğe sıkı geçme oranının düşürülmesi gerekmektedir. Bu oranın düşürülmesi için de pim çağında küçültme yapılmıştır. Yapılan uygulamada da başlangıçta çelik uygulamasına göre alınan pim çapı menteşe eksen deliğinin çatlamasına yol açmıştır. Bu yüzden pim çapı düşürülerek yeni pimler üretilmiş ve montaj bu şekilde yapılan menteşelerde herhangi bir çatlama gözlemlenmemiştir. Menteşe delik eksenini çatlamadan pim çakılan ve kullanıma uygun hale getirilen menteşe örneği Şekil 48’de gösterilmiştir.

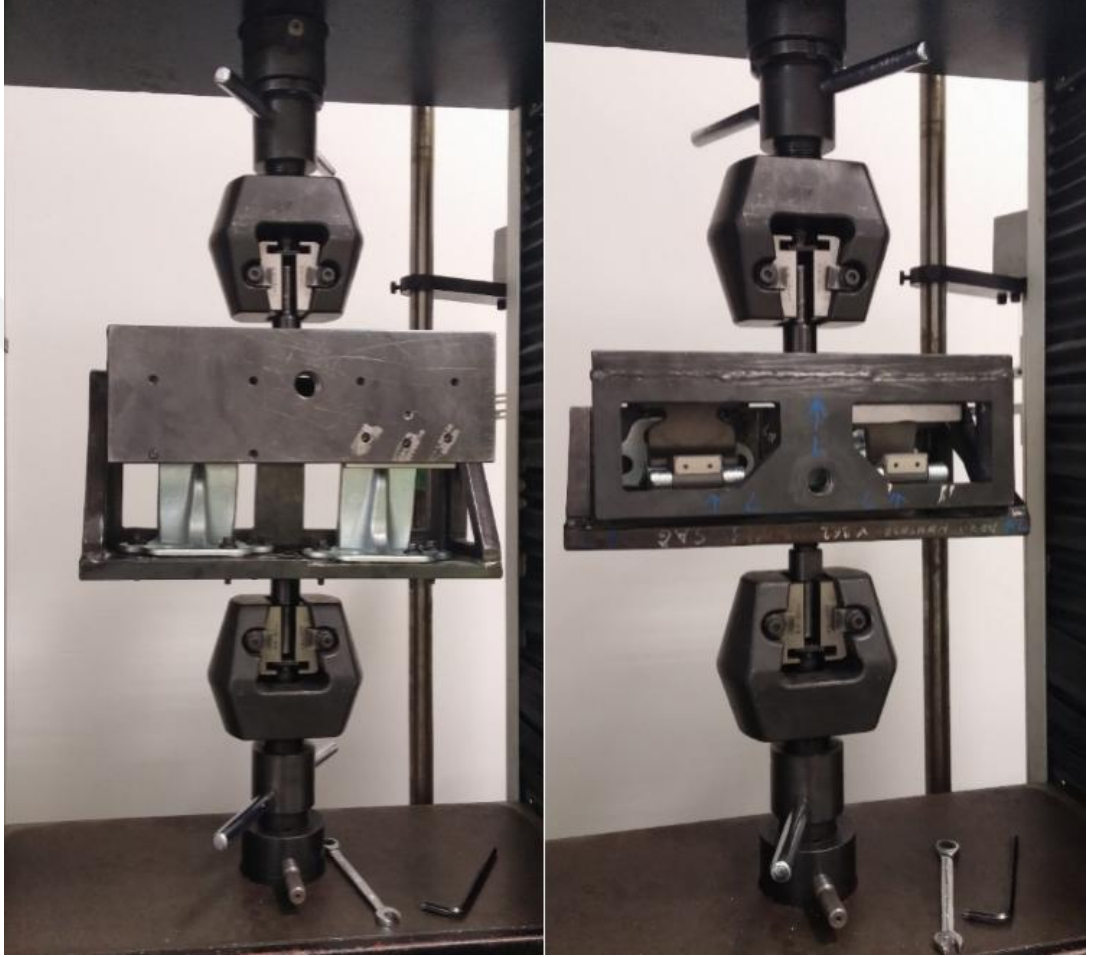


Şekil 48. Test edilmeye hazır menteşe

3.8.2. Doğrulama Testleri

Üretilen alüminyum alaşımdan prototip menteşelere müşteri gerekliliklerinde belirtilen doğrulama testleri uygulanmıştır. Bu doğrulama testlerinden en zorlu olanları sonlu elemanlar analizi de yapılan çekme testi ve tam açık konumda yatay aşırı yükleme testleridir. Bu testlerden çekme testi menteşeye yatay ve dikey olarak uygulanmaktadır. FMVSS206 standartlarına göre uygulanan bu test menteşe için kritik bir testtir. Menteşenin çekme cihazına bağlanması için öncelikle menteşeye çekme bankosu tasarlanıp üretilmiştir. Bu çekme bankosuna menteşe bağlanırken orijinal cıvata kullanılmıştır. Bu cıvatalar menteşeyi araca bağlanırken kullanılan cıvatalardır. Böylece

cıvata kaynaklı bir kopma yaşanmasının önüne geçilmiştir. Menteşelerde çekme test bankosuna bağlanırken 21 Nm tork ile cıvatalar sıkılmıştır. Bu hem menteşenin gereksiz cıvata kuvvetlerine maruz kalmasını önlemekte hem de cıvata kırılması gibi nedenlerle testin sona ermesinin önüne geçilmesini sağlamaktadır. Çekme testi bankosuna bağlanmış bir menteşe Şekil 49’da gösterilmiştir.



Şekil 49. Çekme testi uygulanan menteşeler (x ve y yönünde)

Çekme testi menteşenin kaza anı gibi normal çalışma koşullarında karşılaşılmayacak derecede büyük kuvvetlerin uygulandığı bir testtir. Bu test sonrasında menteşede kalıcı deformasyonlar oluşmasına müsaade edilmekte fakat menteşenin kopmaması veya çatlamaması beklenmektedir. Alüminyum 7075 alaşımından yapılmış olan yeni tasarım menteşe çekme testinden başarıyla geçmiştir. Test sonrasında menteşede herhangi bir çatlama veya kırılma gözlemlenmemiştir.

Çekme testinden sonra menteşeye uygulanan bir diğer test tam açık konumda yatay aşırı yükleme testidir. Menteşe sonlu elemanlar analizinde en çok bu test sırasında zorlanmıştır. Alüminyum alaşımdan üretilen prototip menteşelerin esneme açısı test gerekliliklerinin üstünde çıktığından menteşede tasarım değişikliğine gidilmiştir ve yeni tasarımla menteşe sonlu elemanlar analizini geçmiştir. Aynı tasarımın prototip parçaları gerçek tam açık konumda yatay aşırı yükleme testine sokulduğunda menteşelerin sonlu elemanlar analizlerindeki gibi testi başarıyla geçtiği görülmüştür. Müşteri gerekliliklerinde belirtilen değerler arasında kalan menteşe bu testi de başarıyla geçmiştir.



4. SONUÇ

Başlangıçta S355 malzemesinden üretilen ve tanesi 2300 gr olan hafif ticari araç kapı menteşeleri bu çalışma kapsamında Al7075 alaşımından üretilmiştir. Bu alaşımdan üretilirken menteşenin geçmesi beklenen birçok test menteşeye uygulanmıştır. Başlangıçta bu testlerden başarıyla geçemeyen menteşenin tasarımı değiştirilmiştir. Tasarım değiştirilirken yapılan sonlu elemanlar analizleri ve topoloji optimizasyonları yol gösterici olmuştur. Başlangıçta menteşenin durmasını sağlayan ve yalnızca alt menteşede bulunan durdurucu yüzey, yeni tasarımda alt ve üst menteşelerin ikisinde olacak şekilde tasarlanmıştır. Bu şekilde kapıdan menteşelere gelen kuvvet paylaştırılarak esneme açısı düşürülmüştür. Bu şekilde kritik testlerden geçen menteşenin gerçek testlerle doğrulaması yapılarak yeni tasarım dondurulmuştur.

Çelik malzemesinin özgül ağırlığı $7,8 \text{ Kg/dm}^3$ iken alüminyum malzemesinin özgül ağırlığı $2,7 \text{ Kg/dm}^3$ 'tür. Bu da tek bir menteşede ağırlığın yaklaşık üçte iki oranında düşmesini sağlamaktadır. Yeni menteşe tasarımında menteşenin yaklaşık ağırlığı 720 gramdır. Araçta bu menteşelerden sağ ve sol, alt ve üst olmak üzere 4 adet bulunduğu düşünülürse eski tasarımda toplamda 9200 gram gelen menteşe ağırlığı yeni tasarımla birlikte 2880 grama düşürülmüştür. Bu değer ağırlık azaltma çalışmaları için çok büyük bir değerdir. Doğrulama testlerinden geçen alüminyum alaşımından menteşe tasarımı bu tezde başarıyla yapılmıştır. Alüminyum alaşımları günümüzde çelik kadar mukavim özellikler sağlamakla birlikte hafifliği ile ön plana çıkmaktadır. Yeni tasarımlarda Al alaşımı bundan sonra ilk akla gelen malzeme olacaktır.

KAYNAKLAR

Akat İ., Budak G., Budak G., 2002. İşletme Yönetimi, Barış Yayınları, 4. Basım, S.133, İzmir.

Anonim, 2006. European Aluminium Association, Moving up to Aluminium, Light, strong and profitable, http://www.alueurope.eu/wpcontent/uploads/2011/09/Moving-up-to-aluminium_en1.pdf

Anonim, 2009. U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA), Draft Regulatory Impact Analysis: Proposed Rulemaking to Establish Light- Duty Vehicle Greenhouse Gas Emission Standards and Corporate Average Fuel Economy Standards. September. EPA-420-D-09-003.

Anonim, 2010. Energy Information Administration, International Energy Outlook, <http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/index.html> (15.02.15).

Anonim, 2010. The European Aluminium Association (EAA), Sustainability of the European Aluminium Industry, http://www.alueurope.eu/wpcontent/uploads/2011/08/Sustainability_Report_Sum.pdf (01.03.15).

Anonim, 2010. U.S. Department of Energy. Energy Efficiency and Renewable Energy, Vehicle Technologies Program, http://www1.eere.energy.gov/vehiclesandfuels/pdfs/pir/vtp_goals-strategies-accomp.pdf

Anonim, 2011. Aluminium In Commercial Vehicles, The European Aluminium Association, http://www.alueurope.eu/wpcontent/uploads/2011/10/Aluminium-in-Commercial-Vehicles_Rev2_Bookmarks1.pdf (20.02.15).

Anonim, 2011. European Aluminium Association. Design with Aluminium, The Aluminium Automotive Manual, <http://www.alueurope.eu/wp-content/uploads/2012/03/AAM-Design-2-Design-with-aluminium.pdf> (20.02.15).

Anonim, 2011. Lightweight Materials in Transportation, BCC Search, <http://www.bccresearch.com/pressroom/report/code/AVM056B> (18.02.15).

Anonim, 2011. The Aluminium Association, Ducker Worldwide,, Aluminum in 2012 North American Light Vehicles Executive Summary.

Anonim, 2011. U.S. Energy Information Administration. International Energy Outlook 2011, [http://www.eia.gov/forecasts/ieo/pdf/0484\(2011\).pdf](http://www.eia.gov/forecasts/ieo/pdf/0484(2011).pdf) (12.03.15).

Ashby MF, Bréchet Y, Cebon D, 2004. Selection Strategies For Materials And Processes, Advanced Engineering Materials.

Ashby MF, Bréchet Y, Cebon D, 2004. Selection Strategies For Materials And Processes, Advanced Engineering Materials.

Babakhani A., Kiani-Rashid A. R., Ziaei S., 2012. The Microstructure and Mechanical Properties of Hot Forged Vanadium Microalloyed Steel Materials and Manufacturing Processes, 27(2012): 135-139.

Bandivadekar, A., Bodek, K., Cheah, L., 2008. On the Road in 2035, Reducing Transportations Petroleum Consumption and GHG Emissions, Report Laboratory for Energy and the Environment Massachusetts Institute of Technology.

Bostancı T., 2002. Eğri Eksenli Çubukların Titreşimlerinin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle İncelenmesi Ve Deneysel Sonuçlarla Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Camp R., 1989, Benchmarking: The Search for Industry Best Price That Lead to Superior Performance, ASQC Quality Press.

Chastel, Y.V., Caillet, N., Bouchard, P.O. 2006. Quantitative analysis of the impact of forging operations on fatigue properties of steel components. Journal of Materials Processing Technology 177(2006): 202-205.

Cheah, L., Heywood, J. 2011. Meeting U.S. passenger vehicle fuel economy standards in 2016 and beyond, Energy Policy. 39(2011): 454-466.

Cui W., Gawecka K.A., Taborda D., Potts D., Zdravkovic L., 2016. Time-step constraints in transient coupled finite element analysis, Int. J. Numer. Meth. Engineering; 106(2016): 953–971, London.

Dallner, C. 2012. The Potential Contribution of Light-weighting to Reduce Transport Energy Consumption, Kunststoffe International.

Darwish, S., Hussein, H.M., Gemeal A., 2012. A Numerical Study of Automotive Doors, International Journal of Engineering & Technology IJET-IJENS Vol:12 No:04.

Erica R.H. Fuchs, Frank R. Field, Richard Roth, Randolph E. Kirchain, 2008. Strategic materials selection in the automobile body: Economic opportunities for polymer composite design, Composites Science and Technology 68(2008): 1989-2002.

Erkutlu B., Bumin B., 2002. Toplam Kalite Yönetimi ve Kıyaslama (Becnhmarking) İlişkileri, Gazi.Üniversitesi İ.İ.B.F. Dergisi, 1(2002): 83-100.

Groover, P., 2007. Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems, 3th Edition. Wiley Global Education.

Helms H., Lambrecht U., 2006. The Potential Contribution of Light-Weighting to Reduce Transport Energy Consumption, Institute for Energy and Environmental Research Heildberg.

Jang, D.Y., Liou, J.H., 1998. Study of stress development in axi-symmetric products processed by radial forging using a 3-D non-linear finite-element method, Journal of Materials Processing Technology 74(1998): 74-82.

Jang, D.Y., Liou, J.H., 1998. Study of stress development in axi-symmetric products processed by radial forging using a 3-D non-linear finite-element method, Journal of Materials Processing Technology 74(1998): 74-82.

Keul C., Wirth V., 2012. W.Bleck, New bainitic steels for forgings , Archives of civil and mechanical engineering 12(2012): 119-125.

Kim Y.H., Ryou T.K., Choi H.J., Hwang B.B., 2002. An Analysis of the Forging Processes for 6061 Aluminum-Alloy Wheels, Journal of Materials Processing Technology, 123(2002): 270-276.

King, J., 2007. The King Review of low carbon cars Part 1: the potential for CO₂ reduction, http://www.hmtreasury.gov.uk/independent_reviews/king_review/king_review_index.cfm (18.02.15).

Kobayashi, S., Plotkin, S., Ribeiro, 2009. Energy efficiency technologies for road vehicles. Energy Efficiency. 2(2): 125-137.

Koçel, 1998. İşletme Yöneticiliği, 6. Bası, Beta Yayıncılık.

Liu J., Cui Z., 2009. Hot forging process design and parameters determination of magnesium alloy AZ31B spur bevel gear Journal of Materials Processing Technology 209(2009): 5871-5880.

Lutsey, N. 2010. Review of technical literature and trends related to automobile mass-reduction technology UCD-ITS-RR-10-10, California Air Resources Board, Institute of Transportation Studies University of California.

Mallapura, D.G., Rajendra, U. K., Korib, S.A., 2011. Studies on the influence of grain refining and modification on microstructure and mechanical properties of forged A356 alloy Materials Science and Engineering A 528(2011): 4747-4752.

McKelvey S.A., Fatemi A., 2012. Surface finish effect on fatigue behavior of forged steel, International Journal of Fatigue 36(2012): 130-145.

Novita S., Zahari T., Salwa H., Raja A., Raja G., 2013. Optimal multi-material selection for lightweight design of automotive body assembly incorporating recyclability.

Oldaç, O., 2000. Stasyonere ve Dönen Disklerin Titreşimleri, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Özcömert, M., 2006. Otomotiv Endüstrisinde Alüminyum. İstanbul Ticaret Odası, İstanbul

Öztürk, F., Toros, S., Esener, E., Uysal, E. 2009. Otomotiv Endüstrisinde Yüksek Mukavemetli Çeliklerin Kullanımının İncelenmesi. TMMOB Makine Mühendisleri Odası 11. Otomotiv Sempozyumu 8-9 Mayıs 2009, İstanbul.

Öztürk, H. 2008. Analysis and Design For Aluminum Forging Process Msc Thesis. The Graduate School of Natural And Applied Sciences of Middle East Technical University. Ankara.

Pakdemir I., 2000. Benchmarking Kıyaslayarak Öğrenme, ARC Eğitim Yayınları, s 37, İstanbul.

Pessard E, Morel F, Bellett D, Morel A, 2012. A new approach to model the fatigue anisotropy due to non-metallic inclusions in forged steels, International Journal of Fatigue 41(2012): 168-178.

Pessard E., Morel F., Bellett D., Morel A., 2011. Microstructural heterogeneities and fatigue anisotropy of forged steels Materials Science and Engineering A 529(2011): 289-299.

Puertas, I., Luis Prez, C.J., Salcedo, D., Len, J., Luri, R. 2013. Design and mechanical property analysis of AA1050 turbine blades manufactured by equal channel angular extrusion and isothermal forging. Materials and Design 52(2013): 774-784.

Ren, X., Zhang, L., Chen, Y., Sun, F., 2012. Tensile and fatigue properties of 7050 aluminum alloy axle box used for high speed train. Procedia Engineering 27(2012): 914-922.

Schijve, J. 2008. Fatigue of Structures and Materials, Springer.

Shety Y.K., 1993. Aiming High: Competitive Benhmarking for Superior Performance, Long Range Planning, Vol:26, No.1, s.40.

Tanner D.A., Robinson J. S., 2014. Reducing Residual Stress Aluminium Alloy Die Forgings, Journal of Material Design, 2007.

Toan, N.D., Seogou, C., Junyoung, P., Yeongsung, S., Youngsuk, K., 2008. Finite Element ethod Simulations to Improve Press Formability of Door Hinge, JMEPEG (2009) 18:10051011 _ASM International DOI: 10.1007/s11665-008-9340-3.

Wanga S.I., Seoa M. K., Chob J. R., Baea W. B., 2002. A Study on the Development of Large Aluminum Flange Using the Casting/Forging Process, Journal of Materials Processing Technology, 130(2002): 294-298.

Weisendanger, Betsy, 1993. Benchmarking Intelligence Fuels Management Moves, Public Relations Journal, Vol:49, S.20.

Yüksel Ö., 2003. Yönetim ve Fonksiyonları, Girişimciler için işletme yönetimi, Gazi Kitabevi, Ankara, S.94.

Zhou J., Hu, C., Hu, S., Yun, H., Jiang, G., 2012. Optimization Of Hinge Configuration Of Doors Using Finite Element Analysis, *BioResources* 7(4): 5809-5816.

Zhu, W., Xu, C., Zeng, L., 2010. Coupled finite element analysis of MIG welding assembly on auto-body high-strength steel panel and door hinge, *Int J. Adv. Manuf. Technology*, 51(2010): 551-559 DOI 10.1007/s00170-010-2646-y.



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mustafa Tüfekçi
Doğum Yeri ve Tarihi : Bursa, 25.08.1991
Yabancı Dili : İngilizce
Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)
Lise : Bursa Erkek Lisesi, 2005-2009
Lisans : Uludağ Üni., Makine Müh., 2009-2013
Yüksek Lisans : Uludağ Üni., Fen Bil. Ens., Makine Müh., 2014-2016
Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl
-Rollmech Automotive, 2014-2016
-Maysan Mando, 2016-Halen
İletişim : mstafatufekci@gmail.com
Yayımları :

- **Tüfekçi, M., Güven C., 2015.** Optimization of Element Type for FE Model and Verification of Analyses with Physical Tests. International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering Vol:9, No:10, 1664-1667.
- **Güven, C., Tüfekçi, M., Bayık, E., Gedik, Ö., Taş, M., 2015.** Experimental Verification and Finite Element Analysis of a Sliding Door System Used in Automotive Industry. International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering Vol:9, No:10, 1668-1672.
- **Tüfekçi, M., Karpaz, F., Yüce, C., Doğan, O., Yılmaz, T., 2015.** Design Optimization Of Aluminum Hinge Parts For Lightweight Vehicles: Performance, Durability And Manufacturability. 41st The IIER International Conference, 23 Ekim 2015, New York, USA.
- **Tüfekçi, M., Yılmaz T., Yuce, C., Doğan, O., Karpaz, F., 2015.** Otomobil Kapı Menteşesinin Bilgisayar Destekli Tasarımı, Analizi ve Doğrulanması. 8. Otomotiv Yan Sanayi Sempozyumu ve Sergisi. 13-14 Kasım 2015, Türkan Saylan Kültür Merkezi, İstanbul.
- **Sınak, O., Tüfekçi, M., Yıldız, M., 2016.** Otomotiv Sektörü için Ürün Geliştirme Sürecinde Kalite Fonksiyon Yayılımı ve Uygulaması. Otekon'16. 23-24 Mayıs 2016. Sheraton Hotel, Bursa.
- **Tüfekçi, M., Kaya, H., Yıldız, M., 2016.** Çok Malzemeli Tasarımın Araç Kapı Menteşesi Durdurucularına Uygulanması: Sandviç Bumper. Otekon'16. 23-24 Mayıs 2016. Sheraton Hotel, Bursa.
- **Tüfekçi, M., Ulu, E., Güneri, C., 2016.** Amortisörün Eş Merkezli Parçalarının Gürültü Davranışının İncelenmesi ve İyileştirilmesi. 1st International Mediterranean Science and Engineering Congress (IMSEC 2016), 26-28 Ekim 2016. Çukurova Üniversitesi, Adana.
- **Güney, S., Tüfekçi, M., 2016.** Hafif Ticari Araç Amortisörünün Çalışma Koşulları Altındaki Yapısal Analizi, Testleri ve Sonuçların Korelasyonu. 1st International Mediterranean Science and Engineering Congress (IMSEC 2016), 26-28 Ekim 2016. Çukurova Üniversitesi, Adana.