

BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ❖ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI VE İLERİ YÜKSEK MUKAVEMETLİ ÇELİK
KULLANILARAK YAN KAPI KİRİŞİNİN MODELLENMESİ, ANALİZİ VE
ÇARPIŞMA PERFORMANSININ TESPİTİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Zeynep Begüm KURT

İleri Teknolojiler Anabilim Dalı

Malzeme Bilimi ve Mühendisliği

MAYIS 2019

BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ❖ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI VE İLERİ YÜKSEK MUKAVEMETLİ ÇELİK
KULLANILARAK YAN KAPI KİRİŞİNİN MODELLENMESİ, ANALİZİ VE
ÇARPIŞMA PERFORMANSININ TESPİTİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Zeynep Begüm KURT
(162080308)**

İleri Teknolojiler Anabilim Dalı

Malzeme Bilimi ve Mühendisliği

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Deniz UZUNSOY

MAYIS 2019

BTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 162080308 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Zeynep Begüm KURT, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI VE İLERİ YÜKSEK MUKAVEMETLİ ÇELİK KULLANILARAK YAN KAPI KİRİŞİNİN MODELLENMESİ, ANALİZİ VE ÇARPIŞMA PERFORMANSININ TESPİTİ" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Deniz UZUNSOY**
Bursa Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Ali Rıza YILDIZ**
Uludağ Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Cihan KABOĞLU
Bursa Teknik Üniversitesi

Savunma Tarihi : 10.05.2019

FBE Müdürü : **Doç. Dr. Murat ERTAŞ**
Bursa Teknik Üniversitesi/...../.....

İNTİHAL BEYANI

Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde kaynak göstererek belgelediğimi, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

Öğrencinin Adı Soyadı: Zeynep Begüm KURT

İmzası :

X X X X



Aileme ve arkadaşlarıma,

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans eğitimim boyunca almış olduğum derslerin takibinde yanımda olan ve tez çalışmam kapsamında her türlü sorumu özveriyle cevaplayan, ihtiyacım olan her konuda destek sağlayan ve bilimsel/sosyal yönden sohbetini benden esirgemeyen saygıdeğer danışmanım Prof.Dr.Deniz UZUNSOY' a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamın her noktasında özellikle de kendi uzmanlık alanı olan tasarım konusunda desteğini esirgemeyen değerli dostum, büyüğüm ve tasarım uzmanı iş arkadaşım Ahmet YILDIRIM'a, analiz çalışmalarının gerçekleştirilmesinde büyük emeği ve özverisi olan saygıdeğer büyüklerim, analiz uzmanı iş arkadaşlarım Şevket ÖZCAN ve Kalender Efe ESEN'e teşekkürü bir borç bilirim.

Uzun yıllardır arkadaşım olan, iş tecrübesine sonsuz güvendiğim saygıdeğer analiz uzmanı Yasin ÇİNİ'ye tez çalışmalarım kapsamında şekillendirme analizi konusunda vermiş olduğu destekten dolayı teşekkür ederim.

Bursa Teknik Üniversitesi'nde görev yapmakta olan saygıdeğer Arş. Gör. Cantekin KAYKILARLI'ya malzeme özelliklerinin tespiti konusunda vermiş olduğu destekten ötürü, saygıdeğer Arş. Gör. arkadaşım Burak KÜÇÜKELYAS'a her türlü sorumu yanıtsız bırakmadan sağladığı geri dönüşer için teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmalarım kapsamında gerekli olan malzemelerin temini ve laboratuvar kullanımı konusunda sağladığı destekten ötürü çalışmakta olduğum Toksan Yedek Parça İmalat Ticaret ve San. A.Ş'ye teşekkür ederim.

Zorlu ve uzun bir süreç olan yüksek lisans öğrenimim boyunca her zaman yanımda olan, sabırla beni dinleyen sevgili annem Şükran KURT'a ve sevgili babam Hüseyin KURT'a şükranlarımı ve saygılarımı sunarım.

Mayıs 2019

Zeynep Begüm Kurt

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vi
KISALTMALAR	viii
SEMBOLLER	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	x
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
ÖZET.....	xiv
SUMMARY	xv
1. GİRİŞ.....	16
1.1 Güvenlik Sistemleri.....	17
1.1.1 Aktif güvenlik sistemleri.....	17
1.1.2 Pasif güvenlik sistemleri	17
1.2 Euro NCAP Yandan Çarpışma Testleri	18
1.3 CO ₂ Emisyon Standartları	19
1.4 Yan Kapı Darbe Kirişleri	21
1.4.1 Yan kapı kirişi tasarımları.....	22
1.4.2 Plastik bükülme teorisi - malzemelerin mekanik davranışı	24
1.4.2.1 Elastik bükülme.....	24
1.4.2.2 Plastik bükülme.....	25
1.5 Gereksinimler ve Performans Metrikleri.....	28
1.6 Kapı Kirişleri İçin Malzemeler	29
1.6.1 Alüminyum alaşımları.....	29
1.6.1.1 Taşıtlarda kullanılan alüminyum parçaların şekillendirme yöntemlerine göre değerlendirilmesi.....	29
1.6.1.2 AA6XXX serisi alüminyum alaşımlarının mekanik özellikleri.....	30
1.6.2 İleri yüksek mukavemetli çelikler (AHSS).....	32
1.6.2.1 Çift fazlı çelikler (DP).....	33
1.6.2.2 Dönüşüm etkili yoğruluklu çelikler (TRIP)	34
1.6.2.3 Kompleks faz çelikler (CP).....	35
1.6.2.4 Martenzitik çelikler (MS).....	35
1.6.2.5 Ferritik/Beynitik çelikler (FB)	36
1.6.2.6 İkizlemeyle plastikliği artırılmış çelikler (TWIN)	36
1.7 Literatür Değerlendirmesi	36
2. YÖNTEM.....	39
2.1 Malzeme Özelliklerinin Tespiti.....	39
2.1.1 Kimyasal özelliklerin tespiti	40
2.1.2 Mekanik özelliklerin tespiti	40
2.1.2.1 DP600 ve AA6082 malzemelerin mekanik özellikleri	40
2.1.2.2 JAC980YL malzemesinin mekanik özellikleri	40
2.2 Kapı Kirişinin Modellenmesi	42

2.3 Kapı Kirişi Çarpışma Performans Analizi.....	43
2.3.1 Üç nokta eğilme analiz modelinin oluşturulması.....	43
2.4 Kapı Kirişi Modelinin Sac Şekillendirme Analizi	47
3. BULGULAR VE TARTIŞMA	50
3.1 Malzeme Özellikleri	50
3.1.1 Kimyasal analiz sonuçları	50
3.1.2 Mekanik özellik sonuçları	51
3.1.2.1 DP600 ve AA6082 malzemelerinin mekanik özellikleri	51
3.1.2.2 JAC980YL çeliğinin mekanik özellikleri	52
3.1.3 Üç nokta eğme analizi	55
3.1.4 AA6082 kapı kirişi şekillendirme analizi sonuçları.....	63
3.1.5 JAC980YL malzemesinin şekillendirme analizi.....	70
3.2 Maliyet Analizi Sonuçları	77
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	78
KAYNAKLAR	80
ÖZGEÇMİŞ.....	83



KISALTMALAR

AB	: Avrupa Birliği
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
ABS	: Kilitlenme Önleyici Sistem
AD	: Akma Dayanımı
AK	: Avrupa Komisyonu
ASR	: Anti Patinaj Sistemi
C	: Karbon
CO₂	: Karbondioksit
CP	: Kompleks Fazlı Çelikler
ÇD	: Çekme Dayanımı
DP	: Çift Fazlı Çelikler
EA	: Enerji Absorbsiyonu
EKV	: Ezilme Kuvveti Verimi
ESP	: Elektronik Denge Programı
FEA	: Sonlu Elemanlar Analizi
HSLA	: Yüksek Mukavemetli Çelikler
IBT	: İzotermal Bainit Dönüşümü
MS	: Martenzitik Çelikler
NEDC	: Yeni Avrupa Sürüş Döngüsü
SEA	: Spesifik Enerji Absorbsiyonu
TRIP	: Dönüşüm Etkili Yoğruluklu Çelikler
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
TWIN	: İkizlemeyle Plastikliği Arttırılmış Çelikler

SEMBOLLER

E	: Elastisite Modülü
F_{maks}	: Maksimum Ezilme Kuvveti
F_{ort}	: Ortalama Ezilme Kuvveti
H₁	: Malzeme Gerinme Sabiti
I	: Nötr Eksenin Yer Aldığı Alanın İkinci Momenti
M	: Yalın Eğilme Momenti
n₁	: Gerinme Sertleştirme Katsayısı
V	: Hız
y	: Nötr Eksenden Uzaklık
δ	: Yerdeğiştirme
δ_{maks}	: Maksimum Yerdeğiştirme
ε	: Toplam Gerinme
ε_e	: Elastik Gerinme
ε_p	: Plastik Gerinme
σ	: Gerilme
σ_o	: Akma Gerilmesi

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 : Malzeme model parametreleri.....	46
Çizelge 3.1 : DP600 malzemesinin kimyasal özellikleri.....	50
Çizelge 3.2 : JAC980YL malzemesinin kimyasal özellikleri.....	50
Çizelge 3.3 : AA6082 malzemesinin kimyasal özellikleri.....	50
Çizelge 3.4 : DP600 ve AA6082 malzemelerinin mekanik özellikleri.....	52
Çizelge 3.5 : Anisotropy katsayıları ve gerilme (akma) değerleri.....	54
Çizelge 3.6 : Farklı yüklemeler altında pul basma test sonuçları.....	54
Çizelge 3.7 : Darbe absorpsiyonu performans set veri sonuçları.....	62
Çizelge 3.8 : Referans parça-JAC980YL, referans parça- AA6082 ve JAC980YL- AA6082 için darbe absorpsiyonu set verileri değişim oranları.....	62
Çizelge 3.9 : AA6082 malzemeli kapı kirişi şekillendirme analiz sonuçları.....	69
Çizelge 3.10 : JAC980YL malzemeli kapı kirişi şekillendirme analiz sonuçları.....	76
Çizelge 3.11 : AA6082 ve JAC980YL malzemeli kapı kirişlerinin şekillendirme analiz sonuçları.....	77
Çizelge 3.12 : AA6082 ve JAC980YL malzemelerden elde edilecek kapı kirişinin birim parça maliyeti.....	77

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1 : %100 önden çarpışma testi şematik gösterimi	18
Şekil 1.2 : Euro NCAP çarpışma testi yeterlilik değerlendirmesi	19
Şekil 1.3 : Kapı kirişinin araç üzerindeki konumu	21
Şekil 1.4 : Yan darbe kirişlerine ait kesit örnekleri a) Set 1, b) Set 2, c) Set 3	22
Şekil 1.5 : Tek ve çift simetrik geometriler	24
Şekil 1.6 : Yalın eğilme momenti	25
Şekil 1.7 : Taşıtlarda kullanılan alüminyum alaşımlı parçaların şekillendirme yöntemleri	30
Şekil 1.8 : AHSS alaşımlarının çekme ve uzama değerleri	32
Şekil 1.9 : DP çeliklerin a) uzama -çekme dayanımı diyagramı b) mikro yapısı ve ferrit matrisinin içindeki martensit adacıkları	34
Şekil 2.1 : Tez çalışmaları döngüsü	39
Şekil 2.2 : Hadde yönü tayini a) plaka yönlendirmeleri b) mikroskop numune görseli ..	41
Şekil 2.3 : ASTM/E8 standartına göre hazırlanmış çekme test numune ölçüsü	41
Şekil 2.4 : Optik ekstansometreli çekme testi öncesi ve sonrası deney numuneleri..	41
Şekil 2.5 : Toyota Camry araç modelinde bulunan kapı kirişi	42
Şekil 2.6 : Kapı kirişi taslak tasarım	43
Şekil 2.7 : Üç nokta eğme modeli	44
Şekil 2.8 : Toyata Camry kapı kirişi için oluşturulan mesh modeli	45
Şekil 2.9 : Yeni tasarıma ait AA6082 malzemedan oluşturulan kapı kirişi mesh modeli	45
Şekil 2.10 : Yeni tasarıma ait JAC980 malzemedan oluşturulan kapı kirişi mesh modeli	46
Şekil 2.11 : AA6082 malzemesinin malzeme kartı	48
Şekil 2.12 : JAC980YL malzemesinin malzeme kartı	48
Şekil 3.1 : DP600 malzemesinin mühendislik gerilme-gerinme diyagramı	51
Şekil 3.2 : AA6082 malzemesinin mühendislik gerilme-gerinme diyagramı	51
Şekil 3.3 : Hadde yönü analizi a) A yönünde b) B yönünde	52
Şekil 3.4 : Optik ekstansometreli çekme testi ve işlenmiş veri (major gerinme)	52
Şekil 3.5 : 0° yönünde çekme testi gerçek gerilme-gerinme akma eğrisi	53
Şekil 3.6 : 45° yönünde çekme testi gerçek gerilme-gerinme akma eğrisi	53
Şekil 3.7 : 90° yönünde çekme testi gerçek gerilme-gerinme eğrisi	54
Şekil 3.8 : DP600 malzemedan oluşturulan kapı kirişinin 3-nokta eğme analizi kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi	55
Şekil 3.9 : DP600 malzemedan oluşturulan kapı kirişinin 3-nokta eğme analizi enerji-yerdeğiştirme eğrisi	55
Şekil 3.10 : AA6082 malzemedan oluşturulan kapı kirişinin 3-nokta eğme analizi sonucundaki kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi	56
Şekil 3.11 : AA6082 malzemedan oluşturulan kapı kirişinin 3-nokta eğme analizi sonucundaki enerji-yerdeğiştirme eğrisi	56

Şekil 3.12 : DP600 ve AA6082 malzemeden oluşturulan farklı kalınlıktaki kapı kirişlerinin 3-nokta eğme analizi sonucundaki kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi	57
Şekil 3.13 : DP600 ve AA6082 malzemeden oluşturulan farklı kalınlıktaki kapı kirişlerinin 3-nokta eğme analizi sonucundaki kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi	57
Şekil 3.14 : DP600 malzemeye göre JAC980YL malzemesi ile oluşturulan kapı kirişinin analiz sonucundaki kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi	58
Şekil 3.15 : DP600 malzemeye göre JAC980YL malzemesi ile oluşturulan kapı kirişinin analiz sonucundaki enerji-yerdeğiştirme eğrisi	58
Şekil 3.16 : JAC980YL malzemesi için yeni kapı kiriş tasarımı (02) modeli	59
Şekil 3.17 : Tasarım 02 için oluşturulan kapı kirişi mesh modeli	59
Şekil 3.18 : DP600 malzeme ile JAC980YL malzemesinin iki farklı tasarımı için gerçekleştirilen enerji-yerdeğiştirme analiz sonucu eğrileri	60
Şekil 3.19 : DP600 malzeme ile JAC980YL malzemesinin iki farklı tasarımı için gerçekleştirilen kuvvet-yerdeğiştirme analiz sonucu eğrileri	60
Şekil 3.20 : Farklı tasarım ve malzemeler ile yapılan analiz sonuçlarının karşılaştırmalı kuvvet-yerdeğiştirme eğrileri	61
Şekil 3.21 : Farklı tasarım ve malzemeler ile yapılan analiz sonuçlarının karşılaştırmalı enerji-yerdeğiştirme eğrileri	61
Şekil 3.22 : AA6082 malzeme ile kapı kirişinin normal pot ile şekillendirme analiz görseli	63
Şekil 3.23 : AA6082 malzemeli kapı kirişi için şekillendirme limit diyagramı (süzdürmesiz)	64
Şekil 3.24 : Şekillendirme kuvvet değerleri (süzdürmesiz)	64
Şekil 3.25 : AA6082 malzemeli kapı kirişinin süzdürme çubuğu ile şekillendirme analizi	65
Şekil 3.26 : AA6082 malzemeli kapı kirişi için şekillendirme limit diyagramı (süzdürmeli)	66
Şekil 3.27 : Süzdürme çubuğu ile gerçekleştirilen şekillendirme kuvvet değerleri ..	66
Şekil 3.28 : AA6082 malzemeli kapı kirişinin pot kuvveti artırılarak gerçekleştirilen şekillendirme analizi	67
Şekil 3.29 : AA6082 malzemeli kapı kirişinin pot kuvveti artırılarak gerçekleştirilen şekillendirme limit diyagramı	68
Şekil 3.30 : Pot kuvveti arttırılmış şekillendirme kuvvet değerleri	68
Şekil 3.31 : JAC980YL malzeme ile kapı kirişinin normal pot ile şekillendirme analizi	70
Şekil 3.32 : JAC980 malzemeli kapı kirişi için şekillendirme limit diyagramı (süzdürmesiz)	71
Şekil 3.33 : JAC980YL malzemeli kapı kirişinin şekillendirme kuvvet değerleri (süzdürmesiz)	71
Şekil 3.34 : JAC980YL malzemeli kapı kirişinin süzdürme çubuğu ile şekillendirme analizi	72
Şekil 3.35 : JAC980YL malzemeli kapı kirişi için şekillendirme limit diyagramı (süzdürmesiz)	73
Şekil 3.36 : JAC980YL malzemeli kapı kirişinin süzdürme çubuğu ile gerçekleştirilen şekillendirme kuvvet değerleri	73
Şekil 3.37 : JAC980YL malzemeli kapı kirişinin pot kuvveti artırılarak gerçekleştirilen şekillendirme analizi	74
Şekil 3.38 : JAC980YL malzemeli kapı kirişinin pot kuvveti artırılarak gerçekleştirilen şekillendirme limit diyagramı	75

Şekil 3.39 : JAC980YL malzemeli kapı kirişi için pot kuvveti arttırılmış
şekillendirme kuvvet değerleri..... **75**



ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI VE İLERİ YÜKSEK MUKAVEMETLİ ÇELİK KULLANILARAK YAN KAPI KİRİŞİNİN MODELLENMESİ, ANALİZİ VE ÇARPIŞMA PERFORMANSININ TESPİTİ

ÖZET

Ön çarpışmalardan sonra trafik kazalarında yan darbe çarpışmaları, ölüm ve yaralanmalara sebep olan ikinci en önemli etkidir. Darbe enerjisini absorbe etmek ve yolcu bölümüne kapı girişinin derinliğini azaltmak için kapılarda yan darbe kirişleri kullanılır, böylece yolcuları korumaya yardımcı olur. Enerji tüketimini ve hava kirliliğini azaltmak için daha fazla yakıt tasarrufu sağlayan araçlara olan artan talep, otomotiv endüstrisi için bir zorluk oluşturmaktadır. Güvenlikten ödün vermeden yakıt verimliliğini arttırmanın en iyi yollarından biri, geleneksel çeliklere göre daha yüksek mukavemet/ağırlık oranına sahip olan alüminyum alaşımlarını ya da yüksek mukavemetli çelikleri kullanmaktır. Bu çalışmanın amacı yan darbelere karşı yüksek düzeyde bir güvenlik sağlaması için bir yolcu kabinin kapı paneli için kazaya karşı emniyet barı/kirişi elde etmektir. Bu tür amaçlarla mevcut çalışma güvenlik seviyesini korurken optimum en düşük ağırlığa sahip kapı barını elde etmek için AA6082 ve JAC980YL malzemelerinin sonlu elemanlar yöntemi ile karşılaştırmalı çalışmasını ele almaktadır. Gerçekleştirilen çalışmada referans bir kapı kirişine göre iki farklı malzemeden elde edilen kapı kirişlerinin 3-nokta eğme davranışına göre bir çarpma esnasında enerji emilimleri, pik kuvvetleri, enerji verimleri, özgül verimleri ve ortalama ezilme kuvvetleri incelenmiştir. En yüksek enerji emilimi sağlayan aynı zamanda pik kuvveti referans parçaya göre daha düşük kapı kirişinin elde edilmesi amacıyla nihai sonuçlar karşılaştırılmıştır. Ayrıca üretilebilirliğin önem teşkil etmesinden dolayı malzemelerin şekillendirme davranışları Autoform analiz programı kullanılarak incelenmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre alüminyum kapı kirişinde maksimum enerji emilimi, enerji verimi ve birim kütle başına emilen enerji 2.5 mm kalınlıkta sağlanmıştır. Ağırlık kazanımının da önem arzemesinden dolayı kalınlık 2.5 mm den 2.0 mm düşürüldüğünde, referans kapı kirişinin enerji emilimi, enerji verimi ve özgül verimi üzerinde sonuçlar tespit edilmiştir. İleri yüksek mukavemetli kapı kirişinde ($t=0.8\text{mm}$) ise referans kapı kirişine göre daha düşük performans sonuçları elde edilmiştir. Optimum enerji emilimi ve pik kuvvetin düşürülmesi amacıyla gerçekleştirilen yeni tasarım ile referans kapı kirişine göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Gerçekleştirilen şekillendirme analizi sonuçlarına göre her iki malzeme için süzdürme çubuğu ile şekillendirmenin daha optimum sonuçlar verdiği ancak pot kuvvetlerinde artışın olduğunu tespit edilmiştir. Ağırlık kazancı ve maliyet açısından karşılaştırılan iki malzemeden AA6082 alüminyum kapı kirişinin daha hafif ve daha az maliyetli olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar kelimeler: Kapı kirişi, alüminyum alaşımı, ileri yüksek mukavemetli çelik, sac metal şekillendirme, çarpışma analizi

MODELLING, ANALYSIS AND CRASHWORTHINESS PERFORMANCE OF SIDE DOOR BEAM WITH ALUMINUM ALLOYS AND ADVANCE HIGH STRENGTH STEEL

SUMMARY

Side crashes in traffic accidents after frontal collisions are the second most important cause of death and injuries. Side impact beams are used on the doors to absorb the impact energy and reduce the depth of the door opening to the passenger compartment, thus helping to protect the passengers. The growing demand for more fuel-efficient vehicles to reduce energy consumption and air pollution presents a challenge for the automotive industry. One of the best way to improve fuel efficiency without compromising safety is to use aluminum alloys or high strength steels with a higher strength / weight ratio than conventional steels. The aim of this study is to obtain safety side door bar / beam against accident for door panel of a passenger cabin for high level of safety against side crahes. For such purposes, the present study addresses the comparative study of the AA6082 and JAC980YL materials with the finite element method to obtain the optimum lowest weighted door bar while maintaining the safety level. In the study, energy absorption, peak forces, energy and specific efficiency and average crushing forces were examined during a crashing according to 3-point bending behavior of door beams obtained from two different materials according to a reference door beam. The final results were compared to obtain higher energy absorption and lower peak force than the reference part. In addition, because of the importance of manufacturability, the forming behavior of materials was examined using the Autoform analysis program.

According to the obtained results, maximum energy absorption, energy efficiency and specific efficiency in aluminum door beam were provided in 2.5 mm thickness. Due to the importance of weight gain, when the thickness was reduced from 2.5 mm to 2.0 mm, better results were found in energy absorption, energy efficiency and specific efficiency compared to the reference door beam. In the case of advanced high strength door beam ($t = 0.8\text{mm}$), lower performance results were obtained compared to the reference door beam. Better results were obtained compared to the reference door beam with the new design for optimum energy absorption and reduction of peak force. According to the results of the forming analysis performed, it was determined that forming with the drawbead for both materials efficient more optimum results but an increase in pot forces was observed. As a result of the weight gain and cost comparison study, it was concluded that the AA6082 aluminum door beam is lighter and less costly.

Keywords: Side door beam, aluminum alloy, advanced high strength steel, sheet metal forming, crashing analysis.

1. GİRİŞ

Karayolu, hava, deniz ve demiryolu ulaşım türlerine göre daha fazla tercih edilmektedir. Dolayısı ile de binek ve ticari araçlarının kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Araç sayısı ve nüfus artışına paralel olarak çok sayıda trafik kazası meydana gelmektedir. Bundan dolayı araç tasarımcıları daha güvenilir araçlar tasarlamayı hedeflemektedir. Ayrıca güvenlikten ödün vermeden yakıt tasarrufu sağlamak amacıyla araç ağırlıklarının ve CO₂ emisyon değerlerinin düşürülmesi hedeflenmektedir [1].

Ülkemizde, Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) ve Trafik Hizmetleri Daire Başkanlığınca hazırlanan 2018 yılı istatistiklerine göre, toplam 310.109 kazanın 56.469'sı yandan çarpmalı kazalardır. Önden çarpışmalı kazalar ile kıyaslandığında 44.976 daha fazla kaza olması ile dikkat çekmekte ve önem arz etmektedir [1].

Kazaların önlenmesi için otomobil üreticileri hava yastıkları, enerji emici direksiyon kolonları, yan kapı kirişi de dahil olmak üzere araçlarına çok çeşitli pasif güvenlik parçalarını dahil ediyorlar. Özellikle, yan darbe çarpışmaları önden çarpışmalardan sonra trafik kazalarında ölüm ve yaralanmaların ikinci önde gelen nedenidir. Önden çarpışmanın aksine, yan darbe çarpışmalarında bir yolcu ile aracın tarafı arasındaki boşluk minimumdur. Bu nedenle, araçta bir araç çarptığında yolcu çok az korumaya sahiptir. Yan taraftaki kazada yolcu yaralanmalarını azaltmak için güvenli ve etkili bir pasif güvenlik aracı geliştirmek önemlidir.

Yan çarpışmalardaki bu tehlikeyi en aza indirmek için, yeni araçların çoğu, sağlam hava yastıkları, yan kapı kirişleri, dolgulara veya kapı yapısında başka koruma elemanlarına sahiptir.

Taşıtlarda yük taşıyan metal parçaların birçoğu, soğuk sac şekil verme yöntemleriyle üretildiklerinden üretim esnasında sac parçalarda üretim koşullarına ve yöntemine bağlı olarak şekil vermeden kaynaklanan hatalar meydana gelmektedir. Bundan dolayı çarpışma analizlerinde şekillendirilmeden kaynaklanan farklılıkları hesaba katmamak, araçlarda gerçekleşen çarpışma analizlerinde hatalı sonuçlar elde edilmesine sebep olmaktadır.

Otomotiv tasarımcıları öncelikle kazaların önlenmesi ve kaza oluşumu önlenemeyecek şekilde ise kaza sırasında oluşabilecek hasarların azaltılması amacıyla araç üzerinde alınabilecek koruyucu önlemler konusunda çaba harcamaktadırlar. Trafik kazalarına bağlı olarak meydana gelebilecek kayıpları minimum seviye indirmek amacıyla farklı iki farklı güvenlik sistemi (aktif ve pasif) kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, araçların yandan yapılan kazalarda oluşan çarpışma enerjisini emerek ortaya çıkan kuvvetlerin sürücü ve yolcunun bulunduğu bölgeye ilerlemesini azaltan pasif güvenlik sistemlerinden kapı barı/kirişi tasarımında daha güvenilir ve gerçekçi çarpışma simülasyonlarını gerçekleştirerek, alüminyum ve ileri yüksek mukavemetli çelik sacların sonlu elemanlar analizi ile enerji sönmleme davranışı ve çarpışma performansına etkileri incelenmiştir. Malzemelerin şekil vermeyle oluşan plastik şekil değiştirme etkileri Autoform analiz programı ile incelenerek çarpışma performansına olan etkileri değerlendirilmiştir. Güvenlikten ödün vermeden gerçekleştirilen bu çalışmalar ile optimum ağırlık kazancı ve yakıt tasarrufu sağlayan kapı kirisinin modellenmesi sağlanmıştır.

1.1 Güvenlik Sistemleri

1.1.1 Aktif güvenlik sistemleri

Kazalar meydana gelmeden önce kazaları engelleme amacıyla aktif güvenlik sistemleri kullanılmaktadır. Aktif sistemler kaza meydana gelmemesi amacıyla devreye giren veya devrede olan güvenlik elemanlarıdır. Bu sistemlere ABS, ASR, ESP vb. sistemler ile sensör tabanlı uyarıcılar gibi sürücü yardım elemanları örnek gösterilebilir.

1.1.2 Pasif güvenlik sistemleri

Pasif güvenlik sistemleri, kazanın oluşumunu engelleyemeyen ancak kaza sonrası oluşabilecek etkileri minimize etmek amacıyla kullanılan güvenlik sistemleridir.

Kaza anında yolcu ve sürücünün hareket alanını kısıtlayarak çarpışmaya bağlı olarak meydana gelen etkileri minimize etmek amacıyla emniyet kemerleri pasif güvenlik olarak kullanılmaktadır. Araç içerisinde bulunan parçalara çarpılarak açılan hava yastıkları çarpışma sırasında devreye girerek yolcu ya da sürücünün korunmasını sağlamaktadır. Diğer pasif güvenlik elemanlarına sistematik olarak benzer yapıda bulunan ve ön cam da yer alan havalı sistemler, çarpışma esnasında parçalanmaz ve

çarpma anında araçta bulunan kişilerin cam parçacıkları ile yaralanmasını önlemektedir. Araç içerisindeki insanların cam parçaları ile yaralanmasını engelleyen havalı ön cam bulunmaktadır. Bahsi geçen sistemlere dışında pasif güvenlik elemanlarına örnek olarak yan darbe kirişleri, arka/ön tamponlar ve darbe emiciler verilebilir.

1.2 Euro NCAP Yandan Çarpışma Testleri

Avrupa Yeni Araba Değerlendirme Programı (Euro NCAP) testinde, bir araba üzerinde deforme olabilir bir bariyer monte edilir ve sabit test aracının yan tarafına 50 km /h hızla dik açılarla sürülür. Ortalama bir erkeği temsil eden kukla sürücü kol-tuğuna konur ve çocuk mankenleri arkadaki çocuk emniyet sistemlerine yerleştirilir.

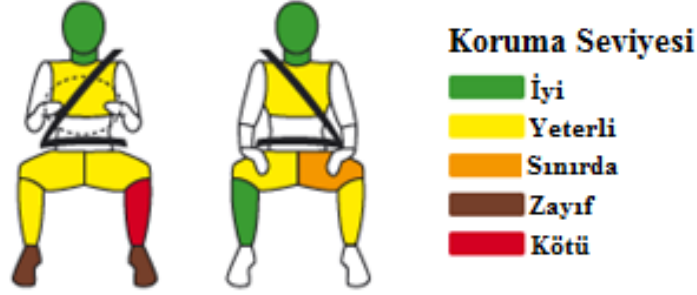
Test, kritik vücut bölgelerinin yeterli korunmasını sağlar. Testler yan darbe ekipmanı, B-direği veya hava yastaklarının daha da güçlendirmesine sağlarken daha az enerji emen yapıların geliştirilmesine katkıda bulunmuştur [2].

Deforme olabilir bir mobil bariyer, A ve B sütunları arasında aracın yan tarafına 50 km /h hızla vurur. Çarpmanın yakın tarafında sadece bir Eurosid II kukla (sürücü pozisyonu) oturmaktadır (Şekil 1.1).



Şekil 1.1 : %100 önden çarpışma testi şematik gösterimi [2]

Dört vücut bölgesi göz önünde bulundurulur: kafa, göğüs, karın ve pelvis. Ön çarpışma testlerinde olduğu gibi, her vücut bölgesi için güvenlik rengi Şekil 1.2 de gösterildiği üzere belirli bir şiddet derecesinde (çoğunlukla AIS3 + yaralanmaları) yaralanmaların sürdürülmesi olasılığıyla belirlenir. Bu testte en yüksek puanı alan araçlar isteğe bağlı olarak kutup çarpma prosedürü altında test edilebilir. Bu prosedür, 30 km / s'lik bir sert kutba karşı bir yan etkide beşinci bir vücut bölgesini (baş-boyun) ele alır. Renk kodu, ön çarpışma testinde olduğu gibi aynı yoruma sahiptir. Bir sürücünün kafasındaki yeşil yıldız, aracın kutup testini geçtiği anlamına gelir.



Şekil 1.2 : Euro NCAP çarpışma testi yeterlilik değerlendirme [2]

1.3 CO₂ Emisyon Standartları

Avrupa Komisyonu Etki Değerlendirmesi' ne göre, karayolu taşımacılığı 2015 yılında tüm Avrupa Birliği (AB) sera gazı emisyonlarının % 22' sine neden oldu; bunların% 73'ü otomobil ve kamyonetlerden kaynaklanmaktadır. Taşımacılık sektörü (havacılık hariç), sera gazlarının azaltılmasına yönelik uluslararası çabalar kapsamında 2005 yılında kabul edilen AB'nin emisyon ticaret sistemi kapsamında değildir. Bunun yerine AB, özellikle karbondioksit (CO₂) emisyonlarını azaltmak için sektöre özgü mevzuatı uygulamaya koymuştur. Avrupa Komisyonu ile Avrupa Otomobil Üreticileri Birliği arasında 1999 tarihli bir gönüllü emisyon azaltım anlaşmasının teslim edilmediği anlaşıldığında; AB, 2009 ve 2011 yıllarında sırasıyla tüm yeni binek otomobil ve kamyonetler için zorunlu CO₂ standartlarına ilişkin iki yönetmeliği kabul etmiştir. Her ikisi de 2014 yılında yeni emisyon hedefleriyle değiştirildi. Paris Anlaşması'nın ardından, Çin, Amerika Birleşik Devletleri (ABD) ve Japonya gibi ülkeler düşük karbonlu taşımacılık için iddialı politikalar uygulamaya başladı. Anlaşmaya uymak için Avrupa Komisyonunun (AK) 2017 çalışma programındaki mevcut mevzuatı değiştirme önerisini içeriyordu. Mevcut yönetmeliklerin gözden geçirilmesi, AK'nin kapsamlı ex-post değerlendirmesinin yayınlanmasıyla 2015 yılında başlamıştır. AK, 2017 yılı Mayıs ayı iletişimde duyurulduğu üzere, komisyon çevreden sanayiye CO₂ emisyonları ile ilgili tüm faktörleri ve aktörleri ele almak için entegre bir yaklaşım izlemektedir.

Otomobiller, ana sera gazı olan toplam CO₂ emisyonlarının yaklaşık% 12'sinden sorumludur. Avrupa Birliği (AB) mevzuatı yeni otomobiller için zorunlu emisyon azaltma hedefleri belirliyor. Bu yasa, AB'nin Avrupa pazarında satılan otomobillerin yakıt ekonomisini iyileştirme stratejisinin temel taşıdır. 2021 hedefleri, 158.7 gram CO₂ (g CO₂ / km) ile 2007 filo ortalaması kilometre başına karşılaştırıldığında % 40'lık düşüşü temsil etmektedir. 2021 yılına kadar tüm yeni otomobiller tarafından elde

edilecek filo ortalaması, kilometre başına 95 gram CO₂'dir. Bu, yaklaşık 100 km'de 4.1L benzin ya da 3.6 L dizel yakıt tüketimi anlamına gelmektedir.

Emisyon sınırları, bir limit değer eğrisi kullanılarak taşıt kütlesine göre ayarlanır. Eğri, filo ortalama emisyonlarına yönelik hedeflere ulaşılacak şekilde ayarlanır. Sınır değer eğrisi, daha ağır araçların daha hafif arabalara göre daha yüksek emisyonlara izin verildiği anlamına gelir. Sadece filo ortalaması düzenlenir, bu nedenle üreticiler eğrinin altındaki araçlar tarafından dengelendiği sürece, hala eğrinin üzerinde emisyonlu araçlar üretebilirler. Bir üreticinin filosunun ortalama CO₂ emisyonları, 2012'den itibaren herhangi bir yıldaki sınır değerini aşarsa, üretici kayıtlı her bir araba için fazla emisyon getirisi ödemek zorundadır [3].

Avrupa Komisyonu, 8 Kasım 2017 tarihinde, 2020'den sonraki dönem için Avrupa Birliği'nde binek otomobilleri ve hafif ticari araçlar (kamyonetler) için yeni CO₂ emisyon standartlarını belirleyen bir yasama önerisi sundu. Teklif AB'nin Paris Anlaşması kapsamındaki taahhütlerinin yerine getirilmesine katkıda bulunmayı, tüketiciler için yakıt tüketimini azaltmayı ve AB otomotiv endüstrisinin rekabet gücünü güçlendirmek ve istihdamı teşvik etmeyi amaçlamaktadır.

Beklenen faydalar;

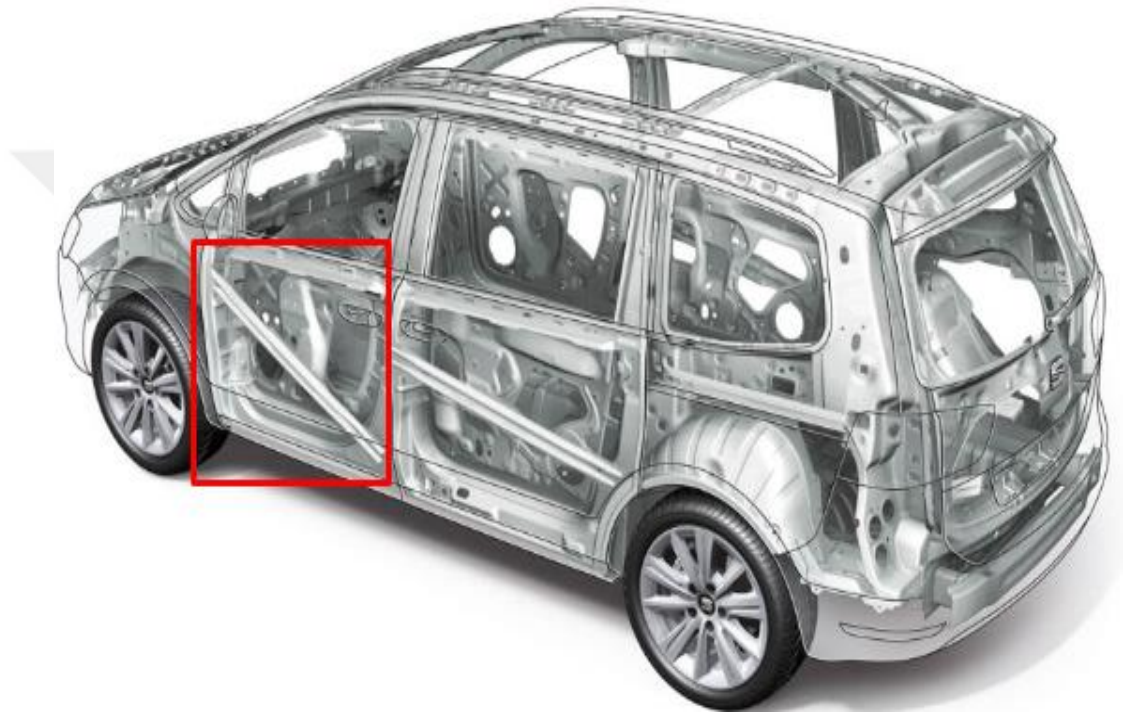
AB'nin 2030'daki yeni araç filosunun ortalama emisyonları 2021'deki oranlardan% 30 daha düşük olacak. 2030'da AB'nin yeni kamyonet filosu için indirgeme de% 30'a denk geliyor.

2025 için, otomobil ve kamyonetler için hedefler, emisyon azaltımlarının mümkün olduğunca erken gerçekleşmesini sağlamak için 2021'deki oranlardan % 15 daha düşük olmasıdır.

Teklif, mevcutdan gelecek çerçeveye geçişin sağlanabilmesi için, 2020/2021 için, otomobil araçları için 95 g CO₂ / km ve hafif ticari araçlar için 147 g CO₂ / km halihazırda kurulmuş olan AB filo geniş hedeflerini de içermektedir. Her ikisi de Yeni Avrupa Sürüş Döngüsü (NEDC) test prosedürüne dayanmaktadır [4].

Araç ağırlıklarının azaltılması sağlanırken güvenlikten ödün verilmemesi gereklidir. Özellikle araçlarda kritik parça olarak adlandırılan parçalar dayanım şartlarını sağlamalı ve herhangi bir çarpma ya da çarpışma anında kaza etkisini ortadan kaldırmalı ya da minimize edebilmelidir. Bu amaçla daha önceden de değinildiği üzere araçların ön ve yan bölgelerinde meydana gelen kazalar çeşitli güvenlik sistemlere ile

önlenebilmekte ya da kaza etkisi minimize edilebilmektedir. Yandan çarpışmalı kazaların etkisinin minimize edilmesi amacıyla A,B,C direkleri, yan kapı kirişleri, hava yastıkları gibi çeşitli güvenlik sistemleri kullanılmaktadır: Ancak araç yan kapısı ile yolcu arasında çok küçük bir alan olmaması nedeniyle kaza etkisini direk olarak azaltılması yönünden kapı içine yerleştirilen kapı kirişlerinin kullanımı diğer güvenlik sistem parçalarına göre daha bir önem arz etmektedir. Bu çalışmada ise Şekil 1.3’de gösterildiği üzere yan kapılarda konumlandırılan ve yan çarpışma etkilerini minimize eden bir pasif güvenlik sistemi olan kapı kirişleri konu edilmiştir.



Şekil 1.3 : Kapı kirişinin araç üzerindeki konumu

1.4 Yan Kapı Darbe Kirişleri

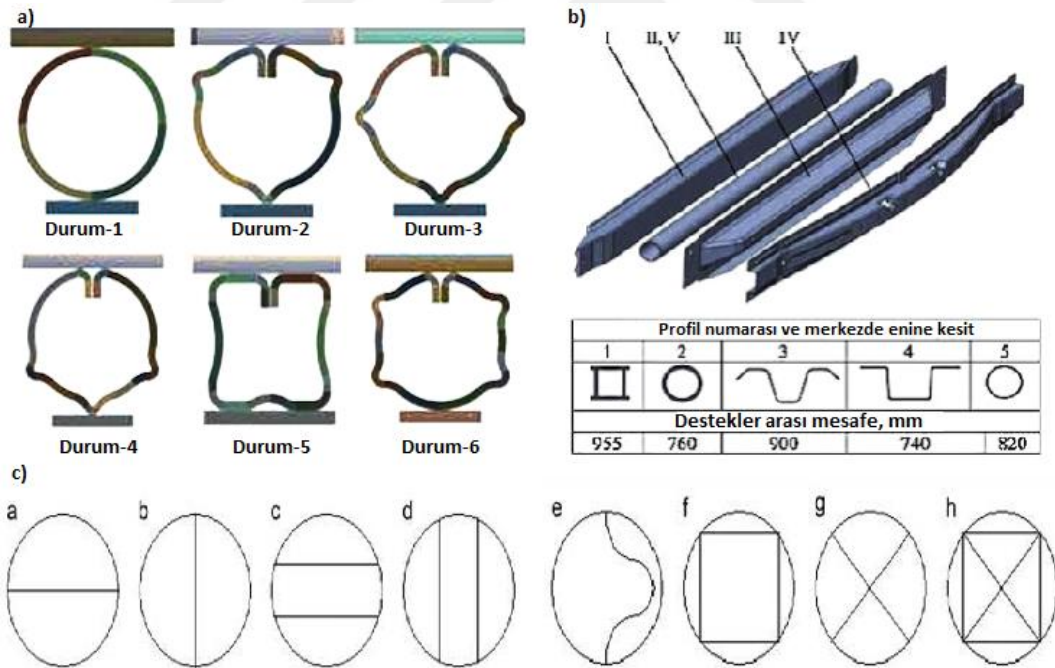
Yan kapı darbe kirişleri, bir otomotiv kapı sistemini, yanal çarpışma durumunda araç yolcularını korumak amacıyla özel bir şekilde tasarlanmış bir bileşendir. Adından da anlaşılacağı gibi, bir arabanın dış çerçevesinin ana direklerini kapı menteşeleri ve kapı kilidi üzerinden bağlayan bir kiriştir. Bu pasif güvenlik sisteminin tanıtımı son derece önemlidir, çünkü son istatistikler, toplam kazaların üçte birini sayarken, otomotiv toplam kaza sayısı için yan etkilerin ikinciye ulaştığını göstermekte ve % 35'i ölümcül olmaktadır [5]. Darbe kirişlerinin, büyük bir statik mukavemet ve yüksek darbe enerjisi emme kapasitesine sahip olması gereklidir. Binek araçların darbe kirişlerinin yüksek mukavemet ve yüksek tokluk özelliklerini karşılamak için, geleneksel çarpma

kirişleri çeşitli ısı işlem görmüş yüksek mukavemetli alaşımli çelikten yapılmaktadır [6]. Daha iyi ve geliştirilmiş yan koruma sistemlerinin ihtiyacı tartışılmaz. Çarpma bölgesinde tam olarak yer almakta olan yan darbe kirişleri, çarpışma enerjisinin emilmesinde ve aktarılmasında çok önemli bir rol oynamaktadır.

1.4.1 Yan kapı kirişi tasarımları

Yan kapı darbe kirişlerinin tasarlanması son derece karmaşık bir sorundur. Ana amacı, çarpışma enerjisini emerek darbe kuvvetlerini sönmüleme, maksimum kiriş deformasyonu ile sınırlıdır. Başka bir deyişle, “enerjiyi emerken deforme olmaz” [7]. Dahası, yan kirişler tasarımın daha fazla sınırlandırılmasını sağlayan, önden çarpma durumunda kapıyı sertleştirmek için de kullanılır.

Kirişin şekliyle ilgili olarak, birden fazla tasarım test edilmiş ve birçok karşılaştırmalı çalışmayı mümkün olsa bile [5] [7] [8], yan darbe sonucunda yolcuların yaralanmaları önlemede global olarak en etkili kabul edilen bir çözüm bulunmamaktadır. Bazı yan darbe kirişlerine ait kesit örnekleri Şekil 1.4’de gösterilmektedir.



Şekil 1.4 : Yan darbe kirişlerine ait kesit örnekleri a) Set 1 [8], b) Set [7], c) Set 3 [5]

Kiriş profilleri iki büyük gruba ayrılır: açık ve kapalı alanlar. Şekil 1.4'deki Set 1'de, bükülmüş ince levhaların kaynaklanmasından sonra elde edilen karma bir gruba yakın bölüm test edilmiştir. Bu tip kirişler kullanıldığında, serbest kenarları kapatmak için kullanılan kaynak işlemi için özel dikkat gereklidir. Yoon ve diğ., borunun mesafesi

boyunca bir "tam uzunlukta kaynak yapılmasının yeni geliştirilen tek gövdeli kapı kirişi için maksimum reaksiyon kuvveti sağladığını" belirtiyor [8]. Standart kapalı bölümler Şekil 1.4 Set 2'deki 2 ve 5 nolu tasarımlarda da görüldüğü üzere boru şeklinde kullanılmıştır. Bununla birlikte, sertlik gereklilikleri, geleneksel boru şeklindeki kapalı bölüme (Şekil 1.4 Set 3) iç duvarların eklenmesi de dahil olmak üzere yeni ve daha karmaşık şekillerin test edilmesine yol açmıştır. Açık bölümler genellikle enerji emilimini arttırmak için "S" veya "C" şekillerini (sırasıyla Şekil 1.4 Set 2'nin 3 ve 4'ü) kullanır. Kirişin kesitinin yanı sıra, ana çerçeveye olan bağlantısı da dikkate alınmalıdır. Yan darbe kirişleri, braketli ara bileşenler boyunca civatalanabilir [5] ya da kaynaklanabilir [7]. Bunlar ekstra bir parça olarak üretilebilir (tipik olarak boru şekilliler) veya örneğin kirişin ana enine kesiti ile birlikte preste basılabilirler [8].

Malzeme seçimi, kesit alanın tasarlanması kadar karmaşık bir süreçtir. Aslında, hem sertlik hem de enerji emilimi bunlardan birine bağlı olduğundan ayrı ayrı bölünmezler. Bununla birlikte, yapısal gereklilikle malzemelerin özellikleri ile birleştirildiğinde, seçimi daha kısa bir çözüm listesine daraltmak mümkün hale gelir. Çelik, alüminyum ve kompozitler, mevcut pazar çözümlerini içeren üç büyük gruptur. Aslında, sadece yan kapı kirişleri için değil, aynı zamanda aracın tüm çerçevesi için de geçerlidir [9]. Çarpışma standartlarına uyarak ekonomik araçlar oluşturmanın yapılan çeşitli çalışmalarla çelikle gerçekleştirilebildiği bilinmektedir. Yine de, yakıt tüketimi ve gas emisyon sonuçları artarken çevre baskı ile çeliğin ağırlığı anılmaktadır. Alüminyum ve kompozitler alternatiftir. Bu malzemelerin endüstride yaygın olarak kullanılmamasının ana nedeni, yüksek gelişme ve hammadde maliyetleriyle bağlantılıdır. Alüminyum, çelik endüstrisinin ana rakibidir. Düşük mukavemetine rağmen, alüminyum, daha hafif araç çözümlerinde ortaya çıkan daha düşük bir yoğunluğa sahiptir. Kompozitler ayrıca düşük ağırlık / yüksek mukavemet ilişkileri nedeniyle bir alternatiftir. Bununla birlikte, önemli ağırlık azaltma, daha yüksek oranlı araçlarda (örneğin spor otomobillerde) sıklıkla kullanılan majör maliyet artışının yanında gelir. Son olarak, bahsi geçen konu ile tamamen ilgili olan yeni bir malzeme sınıfı olan gelişmiş yüksek mukavemetli çelikler (AHSS) bulunmaktadır. Gelişmeleri, geleneksel çeliklerin sektördeki alüminyum kullanımının büyümesiyle ilgili rekabetçi ihtiyacından kaynaklanmaktadır. AHSS ile, çelik üreticileri hacmi azaltmak için daha güçlü bir malzeme yaratmaya çalıştılar, dolayısıyla aracın ağırlığı, istenen gücü

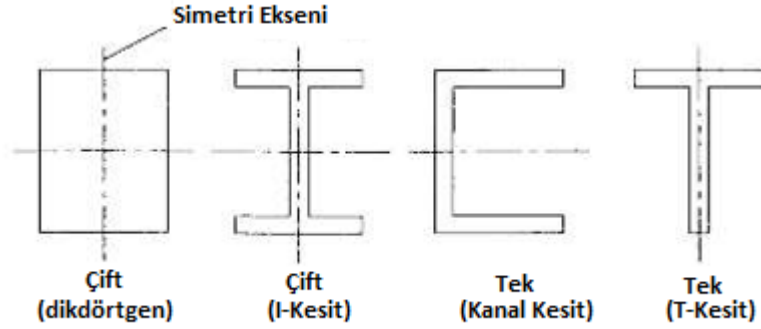
desteklemek için gerekliydi. Çelik üreticileri, kütlede % 25'e varan bir düşüş sağladıklarını iddia ediyorlar [10].

1.4.2 Plastik bükülme teorisi - malzemelerin mekanik davranışı

Bu bölümde kirişlerin plastik bükülme teorisi bibliyografik incelemede kısa bir şekilde ele alınacaktır. Bu mekanizma, malzemenin elastik sınırlarının aşıldığı üç noktalı bükme testinin bir parçasıdır. Aynı süreç bir aracın yan darbe sırasında da gerçekleşmektedir. Bir kirişin bükülme davranışını anlamak, bu tezin gelişimi için çok önemlidir.

1.4.2.1 Elastik bükülme

Bu kısımda, simetrik kirişlerde elastik bükme teorisi kısaca incelenecektir. Tek yada çift simetrik kesit alınmış kirişlerde, bükme simetrik olarak gözlenmiştir [11]. Bazı geometriler Şekil 1.5'de örneklendirilmiştir.

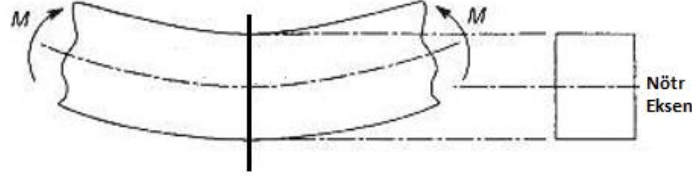


Şekil 1.5 : Tek ve çift simetrik geometriler [11]

Hooke Yasası; maddenin elastik davranışını belirten önemli bir formüldür ve Denklem 1.1 de ifade edilmektedir.

$$\sigma = E\varepsilon \quad (1.1)$$

Denklem 1.1'e göre σ gerilme, E elastisite modülü, ε ise elastik gerinmeyi ifade eder. Şekil 1.6'da gösterildiği üzere bir kirişin, yalnız eğilme momenti, M , etkisiyle büküldüğünü farz edelim. Bu moment, iki ayrı tepkiye yol açacaktır. Kirişin üst kısmı; basma kuvvetlerine maruz kalırken; üst uca yaklaştıkça bu kuvvetler artacaktır. Kirişin alt kısmı ise çekme kuvvetlerine maruz kalacak olup; bu kuvvetler de benzer şekilde alt uca doğru artacaktır [11].



Şekil 1.6 : Yalın eğilme momenti [11]

Bu iki bölgeyi birbirinden ayıran ve kiriş boyunca uzanan; basma yada çekme kuvvetine gözlemlenmeyen bir yüzey oluşacaktır. Bu yüzeye nötr yüzey denir. Şekil 1.5’de gösterildiği üzere nötr yüzey ile, kiriş üzerinde alınacak herhangi bir kesitin kesişim noktasında nötr eksen yer almaktadır. Malzemenin doğrusal bir elastik davranış gösterdiğini (Denklem 1.1); alınan kesitlerin ise boylamasına liflere dik bir yüzey olarak kaldığını varsayarsak Denklem 1.2 elde edilir:

$$\sigma_p = \frac{My}{I} \quad (1.2)$$

Denklem 1.2’ e göre, σ_p uygulanan dik stres; I , nötr eksenin yer aldığı alanın ikinci momenti; y ise nötr eksenden uzaklık olarak tanımlanır. Saf eğilme momenti (başka bir deyişle, aksenal kuvvetin olmadığı) altındaki bir kirişin yük dağılımını tanımlar. Bu denlem, kirişin aksenal doğrultusuna dik, tekil dikey yük altında bükülme durumunu da kapsar (üç noktadan eğilme testinde olduğu gibi). Bu formül, seçilen kesite uygulanan dik kuvvet ile, nötr eksene uzaklığı ilişkilendirir. Mesafe arttıkça etkiyen kuvvetler de artar. Bu ilişki, özellikle kirişin, kullanılan malzemenin elastik sınırları içinde tutulması gerektiği durumlarda kullanışlıdır.

1.4.2.2 Plastik bükülme

Akma noktasını aştığında, malzemenin deformasyonu kalıcı olmaya başlar. Her bir malzemenin farklı bir plastik davranışı vardır ve özellikle metaller, büyük plastik deformasyonları sürdürebilecekleri anlamına gelen oldukça yumuşaktır. Plastik bir durumda, gerilmeler ve gerilmeler artık orantılı değildir, dolayısıyla Hooke Yasası (Denklem 1.1) uygulanamaz. Malzemenin plastik davranışını tanımlamak için başka modeller gerekir.

İlk ve en basit olanı elastik, kusursuz plastik bir ilişkidir [12]. Bu model, Hooke Kanununa (Denklem 1.1) göre, akma noktasına kadar doğrusal bir elastik davranışı ve daha sonra mükemmel bir plastik davranışı, yani akma noktasının ötesinde, uygulanan gerilme, malzemeye uygulanan gerilme ne olursa olsun sabit kaldığını tahmin eder.

$$\sigma = E\varepsilon (\sigma \leq \sigma_0) = \sigma_0 (\varepsilon \geq \frac{\sigma_0}{E}) \quad (1.3)$$

Denklem 1.3'e göre σ_0 , akma gerilmesidir. Daha önce belirtildiği gibi, bu bir malzemenin plastik davranışı için en basit formülasyondur. Bazı metallerin başlangıçtaki deformasyon deformasyonu için makul bir yaklaşımdır ve genellikle daha karmaşık davranışa sahip malzemeler üzerinde ilk tahminleri yapmak için kullanılır. Denklem 1.4 de belirtildiği üzere akma noktasının ötesinde, toplam gerinme iki bileşenin toplamı olarak hesaplanır: elastik (ε_e) ve plastik (ε_p).

$$\varepsilon = \varepsilon_e + \varepsilon_p = \frac{\sigma_0}{E} + \varepsilon_p (\varepsilon \geq \frac{\sigma_0}{E}) \quad (1.4)$$

İkinci model, elastik, lineer sertleşme ilişkisidir [12]. Bu model, akma noktasının ötesinde belirgin bir şekilde sertleşen malzemelerin davranışları için, yani plastik deformasyon başladığında, gerilme-gerilme eğrileri, mükemmel plastik davranışa kıyasla yükselen kabaca bir tahmin vermektedir. Sertleşme modeli, Hooke Yasasına benzer şekilde gerilme ve gerinme arasındaki doğrusal bir ilişki göz önüne alındığında hala çok basittir. Eğrinin plastik bölümünün eğimini, akma noktasının ötesindeki herhangi iki nokta tarafından verilen, δE , modülünün bir parçası olarak çevirmek için, yeni bir boyutsuz değişken olan $0 < \delta < 1$ eklenir.

$$\delta E = \frac{\sigma - \sigma_0}{\varepsilon - \varepsilon_0} \quad (1.5)$$

$\sigma = E\varepsilon_0$ olduğunu bilerek, elastik, lineer sertleştirme modeli Denklem 1.6 a göre tanımlanabilir.

$$\sigma = E\varepsilon (\sigma \leq \sigma_0) \text{ ya da ;}$$

$$\sigma = (1 - \delta)\sigma_0 + \delta E\varepsilon (\sigma \geq \sigma_0) \quad (1.6)$$

İkinci denklemi yeniden düzenleyerek, akma noktasının ötesindeki global gerinme Denklem (1.7) ile verilir.

$$\varepsilon = \frac{\sigma_0}{E} + \frac{(\sigma - \sigma_0)}{\delta E} (\sigma \geq \sigma_0) \quad (1.7)$$

Bu model, bükme davranışının daha karmaşık bir doğrusal açıklamasına genişletilebilir. Farklı eğimler δ_i , $i = 1, 2, 3, \dots$ dikkate alındığında, gerilme-gerilme eğrisinin plastik kısmı malzemenin gerçek tepkisine doğrusal olarak yaklaşabilir.

Üçüncü model, elastic ile güçlü sertleşme ilişkisidir [12]. Bu, akma noktasının ötesinde bir kuvvete yükseltlen gerilme ve gerinme arasındaki orantılı bir ilişkiyi öngören daha karmaşık bir modeldir.

$$\sigma = E\varepsilon \quad (\sigma \leq \sigma_0) \text{ ya da ;}$$

$$\sigma = H_1 \varepsilon^{n_1} \quad (\sigma \geq \sigma_0) \quad (1.8)$$

buradaki H_1 ve n_1 , test edilen materyale bağlı sabitlerdir. H_1 malzeme gerinme sabiti, n_1 ise gerinme sertleştirme katsayısı olarak adlandırılır. Bu iki sabiti hesaplamak için, gerilme-gerilme eğrisi logaritmik bir ölçekte çizilmelidir. Log fonksiyonunun, sistemin ikinci denkleminin her iki tarafına uygulanması ile,

$$\log(\sigma) = \log(H_1) + n_1 \log(\varepsilon) \quad (1.9)$$

$\varepsilon = 1$ olduğunda n_1 , lineer ilişkinin eğimi ve H_1 , σ nın değeridir. Sistemin ikinci denklemini yeniden düzenlerken, plastik gerilme kolayca hesaplanır.

$$\varepsilon = \left(\frac{\sigma}{H_1}\right)^{\frac{1}{n_1}} \quad (1.10)$$

Bu bölümde sunulan son model, güçlü-sertleşme ilişkisinden bir varyasyon olan Ramberg-Osgood ilişkisidir [13]. Üstel bir ilişki kullanılır, ancak bu modelde, önceki modelde olduğu gibi toplam gerilmeye değil, plastik gerilmeye uygulanır.

$$\sigma = H \varepsilon_p^n \quad (1.11)$$

burada da n , gerilme sertleştirme üssü olarak tanımlanır. Toplam gerilme, hem elastik hem de plastik bileşenler eklenerek hesaplanır.

$$\varepsilon = \varepsilon_e + \varepsilon_p = \frac{\sigma_0}{E} + \varepsilon_p = \frac{\sigma_0}{E} + \left(\frac{\sigma}{H}\right)^{\frac{1}{n}} \quad (1.12)$$

Denklem 2.12 açıkça çözülemez, ancak sayısal olarak, farklı bir akma noktasına sahip olmayan hem elastik hem de plastik deformasyonları tanımlayan yumuşak bir sürekli eğri sağlar. Ekleme yöntemi, gerilme-gerilme eğrisinin logaritmik bir ölçekte çizildiği güç-sertleştirme yöntemine benzer. Bu iki yöntem, eğrilerin plastik kısmı elastik deformasyonun ihmal edilebilir olarak düşünülebileceği noktaya egemen olduğunda pratik olarak eşdeğerdir. Ramberg-Osgood ilişkisi, birçok malzemenin gerilme-gerinme eğrilerini doğru şekilde gösterebilme avantajına sahiptir.

1.5 Gereksinimler ve Performans Metrikleri

Bükme performansı 3-nokta eğme, 4-nokta eğme test ve analizleri ile tespit edilebilir. Aşağıda bahsi geçen enerji absorpsiyonu, spesifik enerji absorpsiyonu gibi parametreler dizisi (ya da bir kısmı), bu alanda geçmiş çalışmalarda sıklıkla kullanılmıştır [13] [14] [8]. Belirtilen z eksenini yük yönü olarak kabul edilmektedir.

Bu set dört farklı parametreyi içerir:

- Enerji absorpsiyonu (EA) - Bir bükme testi sırasında uygulanan kuvvet kaydedilir ve maruz kalınan yer değiştirme ile eşleştirilir. Elde edilen eğri, sadece bükme işlemi boyunca uygulanan kuvvetin büyüklüğünü göstermekle kalmamakta, aynı zamanda, deformasyon esnasında kiriş tarafından emilen enerjiye yol açan daha başka hesaplamaları da mümkün kılmaktadır.

$$EA = \int_0^{\delta} F(z) dz \quad (1.13)$$

burada δ maruz kalınan yer değiştirme ve F , z yönünde uygulanan kuvvettir.

- Spesifik enerji absorpsiyonu (SEA)- Birim kütle başına emilen enerji

$$SEA = \frac{EA}{m} \quad (1.14)$$

burada m , kiriş kütlesidir.

- Maksimum ezilme kuvveti (F_{maks}) – Kuvvet / yer değiştirme eğrisinin maksimum kaydedilen değeri

$$F_{maks} = \max(Fz) \quad (1.15)$$

- Ezilme Kuvveti Verimi (EKV) - ortalama uygulanan kuvvet ve F_{maks} arasındaki oran

$$EKV = \frac{F_{ort}}{F_{maks}} \quad (1.16)$$

- Ortalama ezilme kuvveti (F_{ort})- enerji emilim parametresinin ve toplam yer değiştirmenin fonksiyonu olarak Denklem 1.17'e göre ifade edilir.

$$F_{ort} = \frac{EA}{\delta} \quad (1.17)$$

Birleştirilen bu parametreler, hangi geometrilerin ve malzemelerin en iyi eğilme davranışına sahip olduğunu ortaya çıkarmak için bir takım olarak çalışan, birkaç farklı kiriş üzerinde karşılaştırmalı bir analiz yapmak için kullanılabilir. Bu, kiriş bükme

davranışının ani değişimlerini ileten kuvvet, enerji ve hatta boyutsuz bir yapıyı ölçen kapsamlı bir settir. 1'e yakın bir EKV değeri, tüm bükme işleminde neredeyse aynı kuvveti gerektiren deforme edici bir kirişi gösterir, çünkü EKV'nin 0'a yakın bir değeri, yüksek bir başlangıç tepe kuvvetinin temsilcisidir ve bunu takiben, kirişin maruz bırakılan yer değiştirmeyi sürdürme yeteneğinde önemli bir azalma durumu oluşmaktadır.

EA, hangi kirişin darbeye daha iyi tepki verdiğini hızlı bir şekilde anlamak için önemli bir parametredir. Bununla birlikte, kiriş kütlelerini hesaba katmaz. Ağırlık, otomotiv endüstrisinde çok önemli bir faktör olduğundan, hangi kirişin en fazla enerjiyi emdiğini gösteren SEA çok önemli bir parametredir.

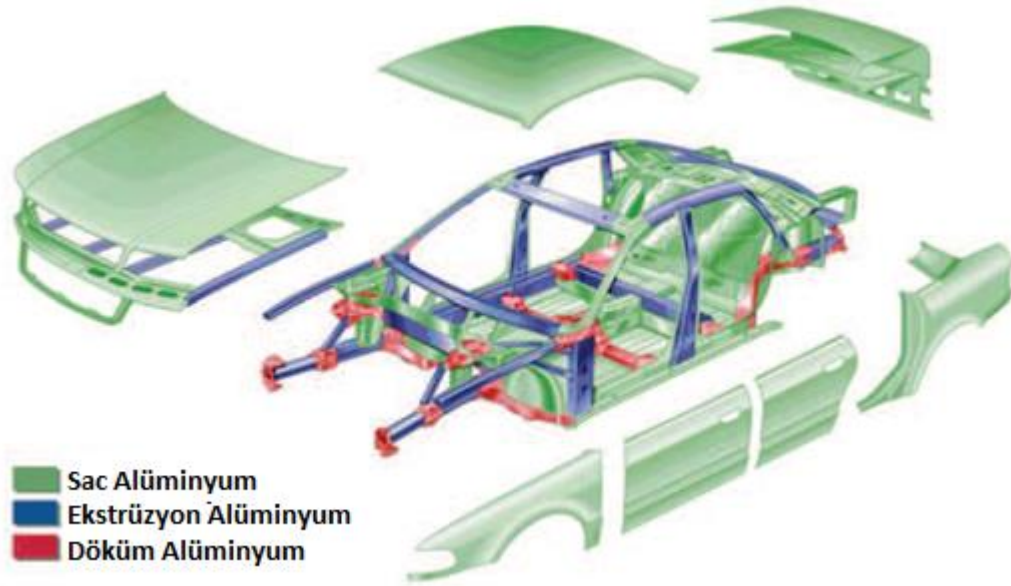
1.6 Kapı Kirişleri İçin Malzemeler

1.6.1 Alüminyum alaşımları

Alüminyumun taşıtlarda kullanımı için geliştirilmiş ve geliştirilmekte olan yeni alaşımlar ve üretim teknolojileri, artan ihtiyaca bağlı olarak çok hızlı bir gelişim içindedir. Geliştirilen her bir alaşım, içerdiği element oranlarına bağlı olarak farklı serilerde gruplanmaktadır. Alüminyum alaşım serilerinin mekanik özellikleri birbirlerinden farklıdır. Bu nedenle, farklı alüminyum alaşım serileri, taşıtlarda farklı kullanım alanlarına sahiptirler. Örneğin aksesuar amaçlı parçalarda yüksek saflıktaki 1000 serisi alüminyum alaşımları kullanılırken, yüke maruz kalan parçalarda 6000 ve 7000 serisi alaşımlar tercih edilmektedir.

1.6.1.1 Taşıtlarda kullanılan alüminyum parçaların şekillendirme yöntemlerine göre değerlendirilmesi

Alüminyum alaşımları levha, döküm veya profil olmak üzere araçlarda bir çok parça üretiminde kullanılmaktadır. Taşıtlarda kullanılan alüminyum alaşımlı parçaların kullanımı ve şekillendirme yöntemine göre sınıflandırılması Şekil 1.7'de gösterilmektedir.



Şekil 1.7 : Taşıtlarda kullanılan alüminyum alaşımlı parçaların şekillendirme yöntemleri [15]

Alüminyum alaşımlarından oluşan gövde panelleri, kasa ve ısı kalkanları levhalardan elde edilmektedir. Fren sistemleri, bağlantı elemanları, debriyaj kutuları vb. parçaları alüminyum malzemeden döküm yöntemiyle üretilebilmektedir. Alüminyum alaşımlarından elde edilen ekstrüze profillerden radyatör, koltuk çerçeveleri, darbe emiciler vb. parçalar üretilebilmektedir.

Ekstrüzyon, döküm, ve levha ürünü alüminyum alaşımlarının her bir taşıt için 2050 yılının sonlarına doğru 250 kg'a ulaşması beklenmektedir. Alüminyum döküm parçalarının oranının 2050 yılına kadar azalması beklenmekte ancak levha ve ekstrüzyon parçalarının miktarının artması beklenmektedir [16].

Tez kapsamında AA6082 alaşımlı yan kapı kirişinin çarpışma performansı, şekillendirme davranışı incelenecektir.

1.6.1.2 AA6XXX serisi alüminyum alaşımlarının mekanik özellikleri

AA6XXX serisi ısı işlem uygulanabilir alüminyum alaşım grubudur. Bu nedenle alaşımların mekanik özellikleri ısı işlem sıcaklık ve süresine göre değiştirilebilmektedir. Isıl işlem uygulanabilen AA6XXX serisi alaşımlarda çökeltme sertleşmesi büyük önem taşımaktadır. Çökeltme sertleşmesi ısıl işleminde en genel şekilde katıya çözültüye alma, su verme ve yaşlandırma safhalarından oluşmaktadır. Yaşlandırma safhası kendi içerisinde doğal yaşlandırma ve yapay yaşlandırma olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

Alüminyum alaşımlarında homojen bir ergime sağlamak için optimum sıcaklıkta belirli bir süre beklenmesi gerekmektedir. Ötektik ergime sıcaklığı çözeltiliye alma ısıl işlemlerinde büyük önem arz etmekte olup optimum sonuç elde edilmesi için bu sıcaklığın kontrol altında bulundurulması gerekmektedir [17, 18]. Emniyet payıda göz önünde bulundurulduğunda yaklaşık ergime sıcaklığının 90 °C altında ötektik ergimeye karşı önlem alınması gereklidir. Malzeme tane sınırlarında yaşanabilecek ergimeler ötektik ergime sıcaklığının üzerinde proses tasarlanması sonucunda oluşabilecek bir durup olup kırılabilir bir yapı oluşumuna sebebiyet verebilir. En düşük sıcaklık difüzyon hızını önemli bir derecede etkilemekte olup bu sıcaklık alaşımın kimyasal bileşimine de bağlı olarak yaklaşık solvüs çizgisinin 2 °C üzerinde olarak belirlenmesi gerekir. Sıcaklık malzemenin anlaşıldığı üzere hem iç yapısı önemli derecede etkilemekte hem de mekanik özelliklerinde buna bağlı olarak değişime sebebiyet vermektedir [17, 18]. Düşük sıcaklıklar uygulandığında, şekil verilebilirlik en üst düzeydedir. Ancak bu durumda da Mg₂Si çökmesi sınırlı kaldığından, yapay yaşlandırma işlemi ile elde edilebilecek mukavemet artışı fazla olmayacaktır. Malzemenin mekanik özellikleri örneğin akma mukavemeti ve çekme mukavemetinde sıcaklık arttıkça artmaktadır. Sıcaklık dışında bir diğer önemli parametre olan süre, üretimi gerçekleştirilecek parçanın özelliklerine, kimyasal bileşimine ve üretim methoduna ve kalınlığa bağlı olarak belirlenir.

Aşırı doymuş eriyik oluşumu için çözeltiliye alma adımından sonra su verme olarak adlandırılan adıma geçilir ve hızlı soğuma ile oda sıcaklığında optimum seviyelere getirilir. Çözelti içerisinde çözünmekte olan atomlar tutulurken diğer taraftan GP zonlarının ve düşük sıcaklıkta difüzyon oluşumu için boş alanların sayısında maksimum seviyede korunmaktadır [15]. Yüksek su verme hızı parametresi ile mekanik özelliklerde artış sağlanmaktadır: tokluk, mukavemet. Aynı zamanda yüksek su verme hızlarında korozyon problemleri minimize edilebilmektedir [17, 19].

Su verme işleminin önemi göz önünde bulundurularak, proje kapsamında çözeltili alma tava sonrası kontrollü soğuma hızı denemeleri yapılacak ve şekillenebilme yeteneğinin artırılmasında en uygun soğuma hızı belirlenecektir.

Yaşlandırma işlemi çökme sertleşmesi safhalarında büyük önem taşımaktadır. Oda sıcaklığında aşırı doymuş eriyikler su verme prosesinden sonra yüksek oranda süneklik kazanmaktadırlar. Böylelikle şekilverilebilirlik (plastik) kolaylaşmaktadır. Solvüs çizgisi altında belirli sıcaklık ve sürede bekletilen alaşımlarda ikinci faz

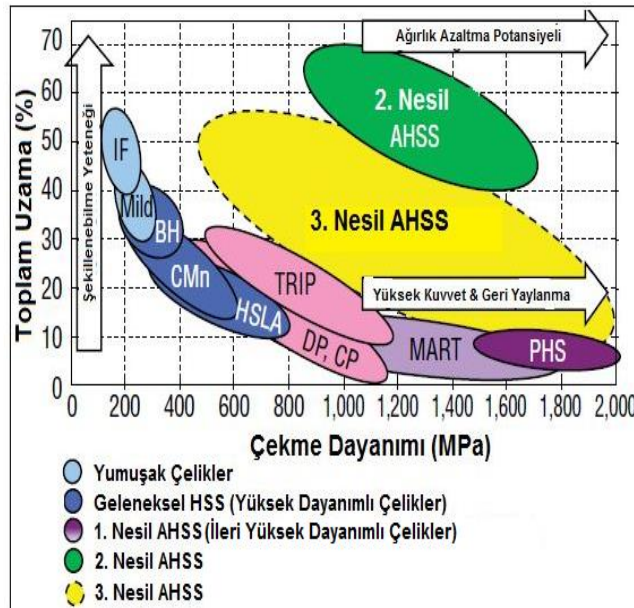
çökeltileri meydana gelemede olup dayanım ve sertlik özellikleri artmaktadır. Çözeltiye alma ısıl işleminden su vermeye kadar gerçekleştirilen proses yaşlandırma olarak tanımlanır.

Oda sıcaklığında AA6XXX serisi alüminyum alaşımlar doğal yaşlanmaya uğramaktadır. Diğer bir deyişle, oda sıcaklığında bekleme süresinin artması ile AA6082 alaşımlarının dayanımları artmaktadır.

AA6XXX alaşımlarında, yaşlanma sertleşmesi karakteri sayesinde yaşlandırma işlemi ile elde edilen yüksek mukavemet (~ 310 MPa) ile birlikte, yaşlandırma işlemi öncesinde varolan ısıl kararlılık ve yeterli şekillendirilebilirlik avantajlı olmaktadır. Ancak AA6XXX serisi alaşımlı malzemelerin şekillendirilmesinde öncelikle şekillenebilme yeteneklerinin artırılması için yumuşatılmalı (T4), sonrasında ise dayanımı iyileştirmek için ısıl işlem (yapay yaşlandırma) yapılmalıdır.

1.6.2 İleri yüksek mukavemetli çelikler (AHSS)

Bu çelikler östenitik veya östenitik+ferritik faz bölgesinden soğutma oranları kontrol edilerek üretilmektedir. Bu ısıl işlem sıcak haddeleme sırasında veya tavlama fırınında (sürekli tavlama veya sıcak daldırılmalı kaplama sırasında) uygulanır [20]. Birinci nesil ileri yüksek dayanımdaki çeliklerin (Şekil 1.8) şekillenebilme yeteneği aynı sertlikteki HSLA çeliklerine göre daha yüksektir. Martensit en yüksek dayanıma sahip fazdır, fakat şekillenebilme yeteneği düşüktür [21].



Şekil 1.8 : AHSS alaşımlarının çekme ve uzama değerleri [21]

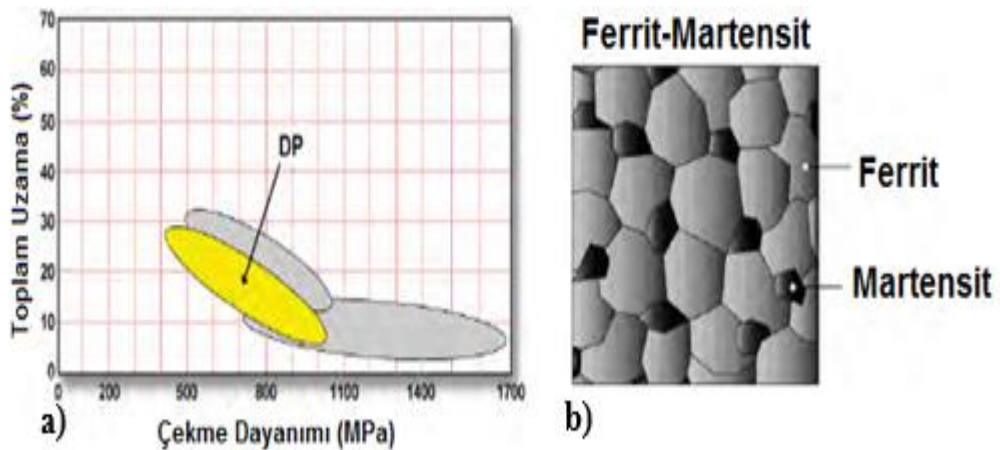
Bu nedenle şekillenebilen ve yüksek dayanımlı bir çelik elde etmek için şekillenebilme yeteneği yüksek fazlar ile yüksek dayanıma sahip fazların karışımı bir içyapı tasarlanmalıdır [21].

1.6.2.1 Çift fazlı çelikler (DP)

İlk ticari çift fazlı ürünlerden biri ABD'de pazarlandı. 1970'lerde sıkça karşılaşılan sedef indirgenmiş vanadyum mikro alaşımlı şerit çeliğine, artı bir kritikler arası tavlama işlemine dayanmaktadır. Çelik, 650MPa'lık gerilme mukavemeti sergilerken, 350 MPa'lık akma mukavemetine ve% 27'den fazla toplam uzamaya sahiptir. Bu çift fazlı çeliğin ana uygulaması, tampon takviyeleri idi, ancak binek otomobil tekerlekleri de dahil olmak üzere diğer otomotiv parçalarında da kullanılmaktadır [22].

DP çelikler, günümüz otomotiv endüstrisinde hızla en popüler ve çok yönlü malzemelerden biri haline gelmiştir. Şu anda bu çelikler daha geleneksel olan yüksek mukavemetli (HSLA) çeliklerinin yerini aldıkları yapısal uygulamalarda kullanılmaktadır. Kısmen ağırlık azaltmak için harika bir fırsat sunmaktadırlar. Geliştirilmiş şekillendirilebilirlik, çarpışma enerjisini emme kapasitesi ve yorulmaya karşı koyabilme yeteneği ile kullanımı artmaktadır. Bugünün uygulamaları arasında, ön ve arka raylar, ezilme kutuları, alt taban takviyeleri, B / C sütun takviyeleri, arka paneller, çapraz elemanlar, tamponlar ve kapı darbe kirişleri bulunmaktadır. Çift fazlı çelikler, karşılaştırılabilir mukavemete sahip mikroalze çeliklerden daha yüksek şekillendirilebilirlik sunmaktadırlar.

DP çeliklerinde Şekil 1.9'da gösterildiği üzere yumuşak ferrit matrisin içinde martenzit adacıklar bulunmaktadır [20]. DP çeliklerinin dayanımı mikro yapıda bulundurduğu martensit ile orantılıdır [23].



Şekil 1.9 : DP çeliklerin a) uzama -çekme dayanımı diyagramı b) mikro yapısı ve ferrit matrisinin içindeki martensit adacıkları [20]

Yumuşak ferrit matris bu çeliklere yüksek süneklik kazandırmaktadır. Deformasyon sırasında, gerinim martensit adacıkları çevreleyen düşük sertlikteki ferrit fazda yoğunlaşır. Bu mekanizma sayesinde bu çeliklerde yüksek deformasyon sertleşmesi oranı gözlenmektedir [20]. HSLA çelikleri deformasyon başladığı gibi şekillenebilme yeteneğini kaybeder, fakat DP çeliklerindeki yumuşak ferrit matris nedeniyle şekillenme süresince şekillenebilme yeteneğini kaybetmez ve gerilmeleri daha iyi bir şekilde dağıtır [23].

DP çeliklerinin akma dayanımı (AD) çekme dayanımından (ÇD) oldukça düşüktür. HSLA çeliklerinde AD/ÇD oranı yaklaşık 0,75 iken, DP çeliklerinde bu oran yaklaşık 0,6 civarındadır. Bu düşük oran DP çeliklerine yüksek süneklik ve şekillenebilme yeteneği kazandırır [23]. Aynı akma dayanımına sahip HSLA çeliklerine göre DP çelikleri yüksek çekme dayanımı gösterirler [20,23]. DP çelikleri HSLA çeliklerinden daha yüksek enerji sönümlene yeteneğine sahiptirler. DP çeliklerinin çekme dayanımı aynı akma dayanımına sahip HSLA çeliklerine göre daha yüksektir, bu nedenle daha iyi çarpmaya karşı direnç gösterir [21]. DP çelikleri ve diğer ileri yüksek dayanımlı çeliklerde boya sırasındaki fırın sertleşmesi etkisi gözlenir. Bu etki parça şekillendirildikten (soğuk şekillendirme vs.) sonraki safha olan boya pişirme sırasındaki yaşlanma nedeniyle çeliklerin akma dayanımındaki artış olarak ortaya çıkar [20]. Fırın sertleşmesi ve deformasyon sertleşmesi sayesinde DP çeliklerinin akma dayanımı yaklaşık 140 MPa yükselir, fakat bu değer HSLA çeliklerinde 20 MPa civarındadır [23].

1.6.2.2 Dönüşüm etkili yoğrukluklu çelikler (TRIP)

Dönüşüm etkili yoğrukluklu çeliklerin (TRIP) prosesi, ferrit ve östenitin dengelendiği, kritik bölgedeki bir tavlamaı içerir, ardından karbon, kalan östenite difüze edildiğinde, bainit sıcaklık aralığına ve izotermal tutulmaya devam eder. Son sertleştirmede küçük bir östenit fraksiyonu kaçınılmaz olarak yeni martensite dönüşür ve önemli bir östenit oranı korunur. Artık östenitin deformasyon sırasında TRIP etkisi ile mekanik özelliklerini geliştirebileceği bilinmektedir [24]. Bununla birlikte, taze martensit, ferrit / taze martensit ara yüzündeki aşırı karbon tüketimi ve stres konsantrasyonundan dolayı TRIP çeliğinin mekanik özelliklerini bozar [25]. Bu nedenle, izotermal bainit dönüşümü (IBT) sıcaklığı, taze martensit oluşumunu

azaltmak ve tutulan östenitin hacim fraksiyonunu maksimuma çıkarmak için optimize edilmiştir [26].

Geleneksel TRIP çeliği genellikle uzaması % 15 ila % 35 arasında olan 700-900 MPa aralığında gerilme mukavemeti elde eder [27,28]. Otomobil endüstrisinde ağırlığı azaltmak ve araç güvenliğini artırmak için, 1000 MPa'dan daha yüksek çekme dayanımlı yüksek dayanımlı TRIP çeliklerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle, TRIP çeliği için alaşım güçlendirme ve faz geçişi güçlendirme gibi farklı güçlendirme stratejileri kabul edilmiştir.

1.6.2.3 Kompleks faz çelikler (CP)

Ultra yüksek mukavemetli kompleks faz (CP) çelikler ferrit, bainit ve martensit yapılarına sahiptir, bu da mükemmel bükülme özellikleri, yüksek enerji emilimi ve yüksek artık deformasyon kapasitesi korurken, yüksek akma dayanımı ve kenar çatlamasına karşı direnç sağlar [29]. Bu dengeli özellik profiline bir sonucu olarak, CP çelikler sertleştiriciler, eşikler, kapı çarpma çubukları, koltuk montaj rayları ve şasi bileşenleri gibi otomotiv uygulamaları için tercih edilir. CP çelikler, modern araçlarda, yüksek enerji emme kapasitesinin gerekli olduğu güçlendirme parçaları olarak kullanılır [30].

1.6.2.4 Martenzitik çelikler (MS)

Bu çelikler sıcak haddeleme sırasında veya tavlama sırasında bulunan östenit fazın soğutma sırasında çok yüksek oranda martenzit faza dönüşümüyle elde edilir [20]. Bu çelikler martenzitik matrisin içinde belli oranlarda ferrit ve/veya bainit fazı bulundurur. MS çelikleri en yüksek dayanıma sahip AHSS olup çekme dayanımı 1700 MPa'a kadar ulaşabilir [20,21]. MS çeliklerine süneklik artırımı için menevişleme işlemi uygulanıp, şekillenebilme yeteneği yüksek sertlikte olmasına rağmen artırılabilir [20].

Martenzitik çelik üretimi östenit fazda tutulan çeliğin hızlı bir şekilde soğutulup martenzit faza dönüşümüyle elde edilir. CP çeliklerinde MS çeliklerine benzer soğuma eğrileri gözlenir, fakat kimyasal yapısı nedeniyle MS çeliklerinde daha az östenit faz bulunur. Bu durum MS çeliklerindeki martenzit ve bainit fazlarının sertlik değerlerini yükseltir [20].

Martenzitik çeliklerinin karbon oranı (%0,2'den daha büyük) düşük karbon çeliklerine yakındır. Mangan, molibden, boron, silikon, krom ve vanadyum sertlik artırmak amacıyla değişik karışımlarda bu çeliklerde bulunur. MS çelikleri yüksek dayanım gerektiren daha basit şekildeki parçalarda kullanılmaktadır. Martenzitik çelikler otomobillerde otomobil kayar alt takviyesi, kapı barları and tampon takviye barları olarak kullanılmaktadır [23].

1.6.2.5 Ferritik/Beynitik çelikler (FB)

Ferritik/Beynitik çelikleri müşteri talepleri doğrultusunda yüksek kıvrılma veya yüksek derin çekme yeteneği sergileyen, böylelikle kenar bölgelerde yüksek şekillenebilme özelliğine sahip çelikler olarak üretilmektedir [20,23]. Aynı dayanıma sahip HSLA çeliklerine göre daha yüksek gerinim sertleşme üssü ve uzama değerlerine sahiptirler. Bu çelikler iyi kaynak yeteneği sergilerler, bu nedenle dikişli parça üretiminde kullanılmaktadırlar [20].

FB çelikleri ince taneli ferrit ve beynit içyapıya sahip olup, az miktarda ostenit fazda bulunur [20,23]. Çeliğin dayanımı beynit fazının tane küçülmesi ve ikinci faz sertleşmesi sayesinde olur. FB çelikleri sıcak haddelenmiş ürün olarak bulunmaktadır [20].

1.6.2.6 İkizlemeyle plastikliği arttırılmış çelikler (TWIN)

İkizlemeyle plastikliği arttırılmış çelikler (TWIN) yüksek Mn içeriğine sahiptirler, bu nedenle çelik oda sıcaklığında tamamıyla ostenitik yapıda bulunur. Deformasyonun büyük bir kısmı yüksek alaşım elementleri nedeniyle deformasyon ikizleme mekanizmasıyla gerçekleşir. Bu mekanizma anlık sertleşme oranını yükseltir ve gittikçe daha ince taneli mikro yapı elde edilir. Bu ikiz sınırları tane sınırlarına benzer bir şekilde hareket eder ve çeliği sertleştirir. TWIN çelikleri yüksek dayanım ve şekillenebilme yeteneği sergiler. Bu çelikler 1000 MPa çekme dayanımında %50 uzama gösterir [20].

1.7 Literatür Değerlendirmesi

Ghadianlou ve arkadaşları, magnezyum ve alaşımlarını kullanarak kapının kalıcı hasarını azaltmak için yan kapı kirişi malzemelerinin kapı yer değiştirme üzerindeki

etkileri analiz edilmiştir. Aynı gerilme sertleştirme davranışının kullanılmasıyla, düşük elastisite modüllü malzemelerin uygulanması düşük sertliğe yol açtığı ve yüksek mukavemetli malzemelerin kullanılması ile kapının mümkün olan en az kalıcı hasarı ile kabul edilen etki davranışına yol açtığı tespit edilmiştir [31].

Rebelo yapmış olduğu çalışmada ince duvarlı yan kapı kirişinin bükme performansında geometri ve malzeme seçiminin etkisini incelemiştir. Malzeme olarak çalışmada DP250/450, HSLA350/450, FB450/600, CP650/850, TWIP750/1000, TWIP950/1200, Al2014-T6, Al5086-H32, Al6061-T65, Al7075-T62 ve Ti-6Al-4V alaşımları kullanılmıştır. Çalışmada üç noktalı bir bükme modelinde malzemeler test edilerek bükme performansları değerlendirilmiştir. Optimum konfigürasyonu elde etmek ve bükme ile genel çarpışma performansları arasındaki bağlantıyı kanıtlamak için eksiksiz bir araç modeline göre seçim yapılmıştır. TWIP kaliteleri, daha yüksek bir pik kuvveti ve enerji emilimine izin veren en yüksek akma noktasına ve maksimum çekme mukavemetine sahiptir. Bununla birlikte, çelik kaliteleri yaklaşık yoğunluğu alüminyumun yoğunluğa göre çok daha yüksektir. Geleneksel bir çeliğin sadece % 35'ini temsil eden düşük yoğunluklu, 500 MPa'ya kadar akma dayanımını birleştiren Al7075 kalitesi, en iyi en iyi performans gösteren TWIP950 / 1200 ile karşılaştırıldığında % 44'lük en yüksek spesifik enerji absorpsiyon değerine sahip olduğu tespit edilmiş olup en iyi bükülme performansına sahiptir. Yapılan çalışmada malzeme seçiminde akma dayanımının önemli bir rol oynadığı tespit edilmiştir [32].

Abdollah ve Hassan, erken tasarım aşamasında, yan kapı çarpma kirişi için uygun bir kesit şeklini belirlemek için Sonlu Elemanlar Analizi (FEA) kullanılarak yapısal modifikasyonları çalışılmıştır. Alüminyum alaşım ve yüksek mukavemetli çeliğin darbe enerjisi emme özellikleri bir Charpy darbe testi kullanılarak araştırılmıştır. Darbe testinden sonra her iki malzemenin kırığı ve yüzey çevresi gözlenmiştir. Ön sonuçlar dikkate alındığında bükülme yükündeki veriminden dolayı, kare içi boş bir kesit tipi yan kapı çarpma kirişinin kullanımı için uygun olduğu saptanmıştır. Her iki malzeme de darbe testinden sonra diferansiyel çatlaklar sergilemiş olup bu da doğrudan alüminyum alaşımın sünek kırılma yaşadığını ve yüksek mukavemetli çelikten daha yüksek darbe emilimine sahip olduğunu göstermiştir [33].

Yamashita ve Hirano, araçlar için alüminyum kapı barları üzerinde alaşım tiplerinin ve enine kesit etkisini araştırmışlardır. İçi boş ekstrüzye edilmiş ve Z6W-T5 kullanarak 1470 MPa yüksek çekme dayanımına sahip çeliklere kıyasla bükme özellikleri

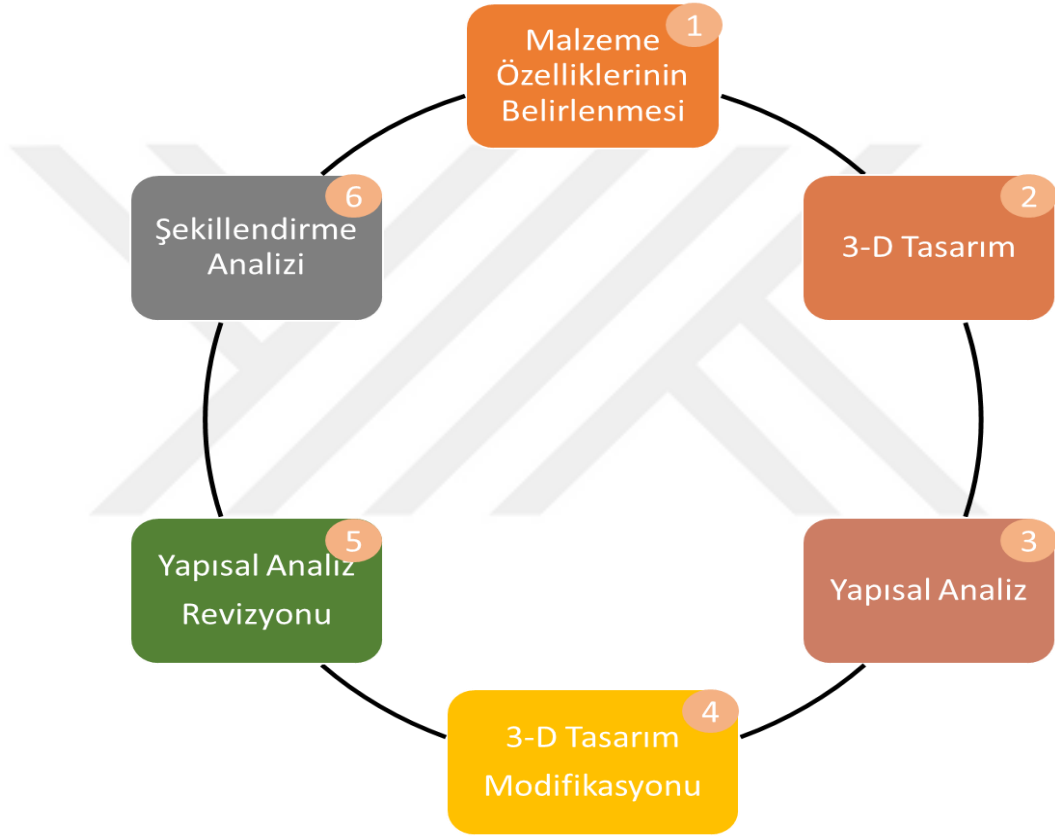
geliştirilmiş alüminyum kapı barı elde etmişlerdir. Yeni bir yüksek dayanımlı alüminyum alaşımı ve enine kesit tasarım teknolojisi aracılığı ile yüksek çekme dayanımlı çelik kapı kirişlerine kıyasla % 22 ila % 50 arasında ağırlık tasarrufu sağlayan alüminyum kapı kirişi başarılı bir şekilde geliştirilmiştir [34].

Nemani ve Arakerimath AISI 1080 çeliğini kullanarak 3 nokta bükme testleri için FEA modelleri geliştirilmiştir. Farklı olarak tasarlanan yan kapı kirişlerinin enerji emme özellikleri karşılaştırılarak Taguchi Metodu vasıtası ile optimize edilmiş parametreler belirlenmiştir. Optimizasyon sonuçlarına göre “Hat Shape” enine kesit kiriş en iyi enerji emme karakteristiği göstermiştir [35].

İleri yüksek mukavemetli çelik ya da alüminyum malzemeden yan kapı kirişinin yandan çarpmaya bağlı olarak bükme yada çarpışma performansının değerlendirilmesi üzerine yukarıda bahsi geçen çalışmalar dışında her hangi bir araştırmaya rastlanılmamıştır.

2. YÖNTEM

Tez çalışmasına konu olan kapı kirişinin modellenmesi, analizi ve çarpışma performansının incelenmesinde Şekil 2.1’de gösterilen döngü ile çalışmalar gerçekleştirilmiş ve tamamlanmıştır.



Şekil 2.1 : Tez çalışmaları döngüsü

2.1 Malzeme Özelliklerinin Tespiti

Bu çalışmada önden çarpışmalı kazalardan sonra ilk sırada gelen yandan çarpışmalı kazaların önlenmesinde kullanılan yan kapı kirişlerinin farklı malzemeler ile çarpışma performansının incelenmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda Toyota Camry araç modelinde kullanılmakta olan yan kapı kirişi referans model olarak seçilmiştir. Bahsi geçen yan kapı kirişinde ileri yüksek mukavemetli çelik sınıfında yer alan DP600 malzemesi kullanılmaktadır.

Çalışma kapsamında karşılaştırmaları sunulacak olan malzemeler için AA6082 alaşımı ve ileri yüksek mukavemetli çelik sınıfında yer alan dual fazlı JAC980YL malzemesi seçilmiştir.

2.1.1 Kimyasal özelliklerin tespiti

Çalışma kapsamında kullanılan DP600, JAC980YL ve AA6082 malzemelerinin kimyasal bileşimleri Rigaku model XRF cihazı ile tespit edilmiştir.

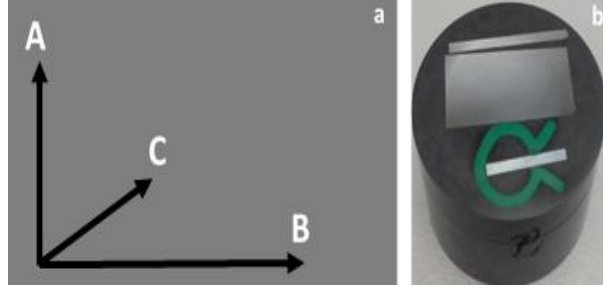
2.1.2 Mekanik özelliklerin tespiti

2.1.2.1 DP600 ve AA6082 malzemelerin mekanik özellikleri

Yan kapı kirişinin çarpışma performansının ve şekillendirme davranışının tespitinde kullanılacak olan DP600 ve AA6082 malzemelerinin çekme, akma dayanımları, uzama elastik modul gibi mekanik özellikleri ZwickRoell model çekme testi cihazı ile tespit edilmiştir. Çarpışma performans analizi ve özellikle şekillendirme analizinde kullanılan malzeme kartlarının oluşturulmasında mekanik özellikler önem arz etmektedir. DP600 ve AA6082 malzemelerinin malzeme kartlarının mevcut olmasından ötürü detaylı mekanik özellik tespiti gerçekleştirilmemiştir. Temsili olarak hadde yönleri belli olan bu malzemelerin hadde yönünde ASTM-E8 standartına göre çekme testleri gerçekleştirilmiştir.

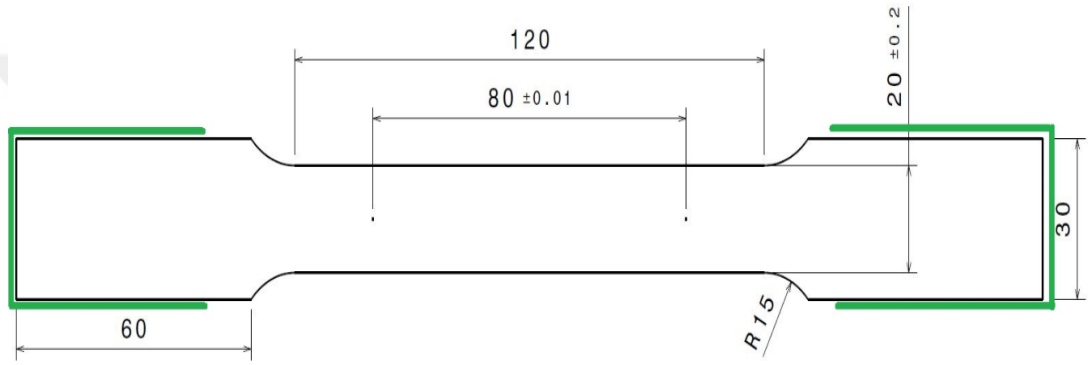
2.1.2.2 JAC980YL malzemesinin mekanik özellikleri

JAC980YL malzemesi çift fazlı bir çelik olup üzerinde galvaniz tavlı kaplama mevcuttur. Tedarikçi firma tarafından çalışmada kullanılan plakaların hadde yönünün belirtilmemesi ve çıplak gözle yönleniminin anlaşılmamasından dolayı malzemenin öncelikli olarak Optik Mikroskop ile hadde yönü tayin edilmiştir. Malzemede r₀, r₄₅ ve r₉₀ anisotropik yönlerin bulunmasından dolayı sac plaka üzerinde geliştiği güzel olarak r₀ ve r₉₀ için A ve B, r₄₅ yönlenimini için ise C sembolü atanmıştır. Bakalite alınan numune ve plaka yönlenimleri Şekil 2.2'de gösterilmektedir.



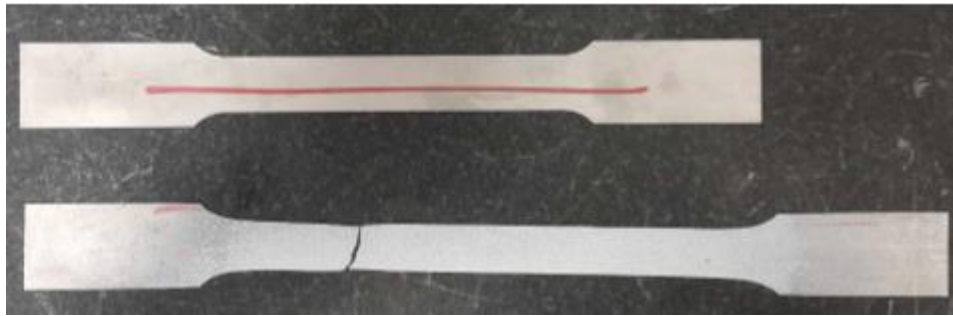
Şekil 2.2 : Hadde yönü tayini a) plaka yönlendirmeleri b) mikroskop numune görseli

JAC980YL sac plakadan oluşturulan çekme testi deney numuneleri ASTM-E8 standardına göre Şekil 2.3’de görüldüğü üzere 0° - 45° - 90° ’lik açılarda tel erezyon ile kesilerek hazırlanmıştır.



Şekil 2.3 : ASTM/E8 standartına göre hazırlanmış çekme test numune ölçüsü

Dijital Görüntü Korelasyonu (DIC) ile veri işleme yöntemi kullanılarak, optik ekstansometreli çekme testinde boyun verme sonrası kopma anına kadar malzeme davranışı akma eğrisine dönüştürülmüştür. Test öncesi ve sonrasına ait numune görselleri Şekil 2.4’de sunulmaktadır.



Şekil 2.4 : Optik ekstansometreli çekme testi öncesi ve sonrası deney numuneleri

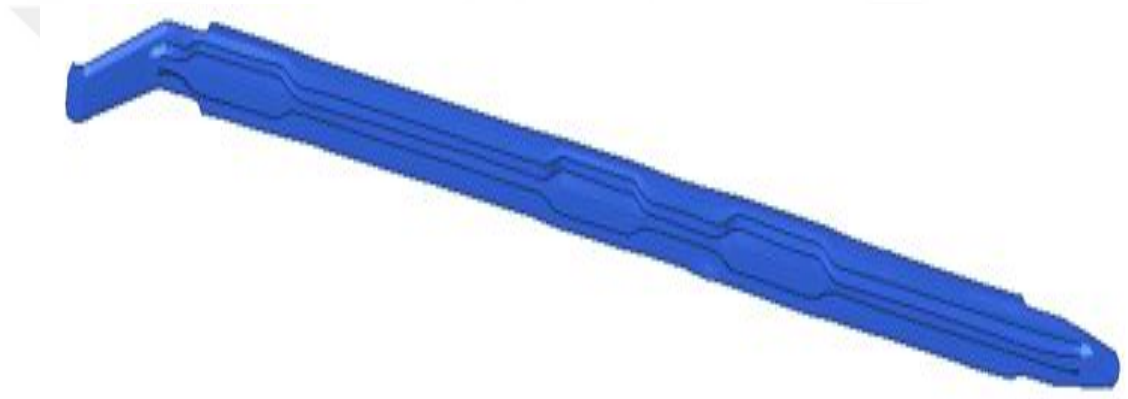
Plastik davranışlarının yön ile değişimi, Lankford parametresi (r) veya anizotropi katsayısı ile değerlendirilir. Anizotropi, haddeleme, derin çekme gibi işleme ve şekillendirme işlemlerinin gerçekleştirildiği metal malzemelerde de görülmektedir. Bu kapsamda JAC980YL malzemesinin anizotropi değerleri şekillendirme analizinde

kullanılacak olan Autoform analiz programına aktarılması amacıyla gerçekleştirilen çekme testi ile elde edilmiştir.

Akma yüzeyleri çift eksenli bölgelerde simetrik olmamasından dolayı plastik anistropi oluşmaktadır. Çekme testlerinin bir tamamlayıcısı olarak, sac plaka kalınlığı boyunca JAC980YL çelik sacdan yaklaşık 10 mm çapında diskler kesilmiş olup gerçek gerilme / gerilme verileri elde etmek için basma testine tabi tutulmuştur.

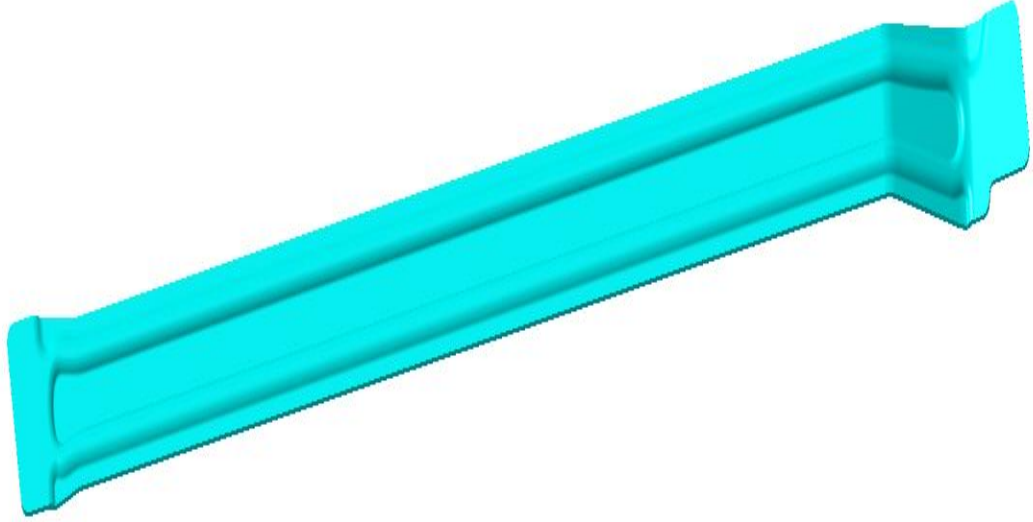
2.2 Kapı Kirişinin Modellenmesi

Tez çalışmaları kapsamında referans olarak seçilen ve DP600 malzemeden üretilen Toyota Camry modelinde kullanılan kapı kirişi/barı Şekil 2.5’de gösterilmektedir.



Şekil 2.5 : Toyota Camry araç modelinde bulunan kapı kirişi

Toyota Camry modeline göre daha yüksek enerji emilimi ve ezilme kuvvet verimi sağlayacak aynı zamanda ağırlık kazancısında yüksek olduğu kapı kirişinin oluşturulması için öncelikli olarak preste soğuk şekillendirme operasyonuna uygun kapı kirişinin tasarlanması gerekmektedir. Bu amaçla CATIA V5 seçilerek Şekil 2.6’da gösterildiği üzere AA6082 ve JAC980YL malzemeleri ile analiz edilecek taslak kiriş tasarımı oluşturulmuştur. Basit bir üç noktalı eğme analizi sadece üç farklı bileşen gerektirir: çarpma tertibatı, destekler ve kiriş, tümü basit bir tasarıma sahiptir ve iki temel adımda modellenebilmiştir. Her bir parça “.stp” formatında dışa aktırılmış olup böylece HyperWorks tarafından okunabilmesi sağlanmıştır.



Şekil 2.6 : Kapı kirişi taslak tasarım

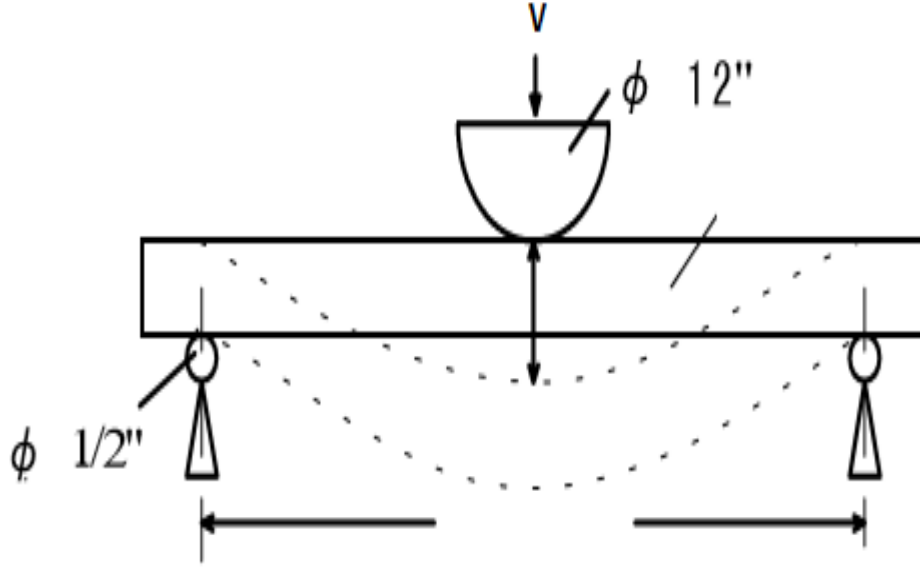
Oluşturulan taslak tasarım (çalışma boyunca Tasarım 01 olarak anılacaktır.) JAC980YL ve AA6082 malzemeleri için ortak olarak alınmıştır. Gerçekleştirilecek olan analiz sonuçları doğrultusunda nihai tasarımın ortaya konulması hedeflenmiştir.

2.3 Kapı Kirişi Çarpışma Performans Analizi

Kapı kirişinin geliştirilmesi, güçlü bir sonlu elemanlar (FEA) aracı olan HyperWorks kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bir çarpışma olayını tam bir araçla simüle etmek süreyi arttırarak pahalı bir işlem haline gelmektedir. Tasarım ve malzemeler üzerinde kapsamlı bir çalışma gerçekleştirmek için daha basit ve daha hızlı bir model gerekliliği ortaya konmuştur. Bu nedenle, basit ve düşük maliyetli sonlu elemanlar modelinde kirişin çarpma esnasındaki eğilme performansı ASTM E855-08 standardı baz alınarak üç nokta eğilme modeli tasarlanarak gerçekleştirilmiştir.

2.3.1 Üç nokta eğilme analiz modelinin oluşturulması

Üç nokta eğilme modeli Şekil 2.7’de gösterildiği üzere FEA analizine aktarılmıştır. İki aynı silindirik destek üzerine uzun bir kiriş yerleştirilir. Büyük bir açıklık her iki desteği de birbirinden ayırır. Bir çarpma elemanı kirişi merkezi noktasında çok küçük bir sabit hızda (V) aşağıya doğru iter çünkü bu bir yarı-statik analizdir.

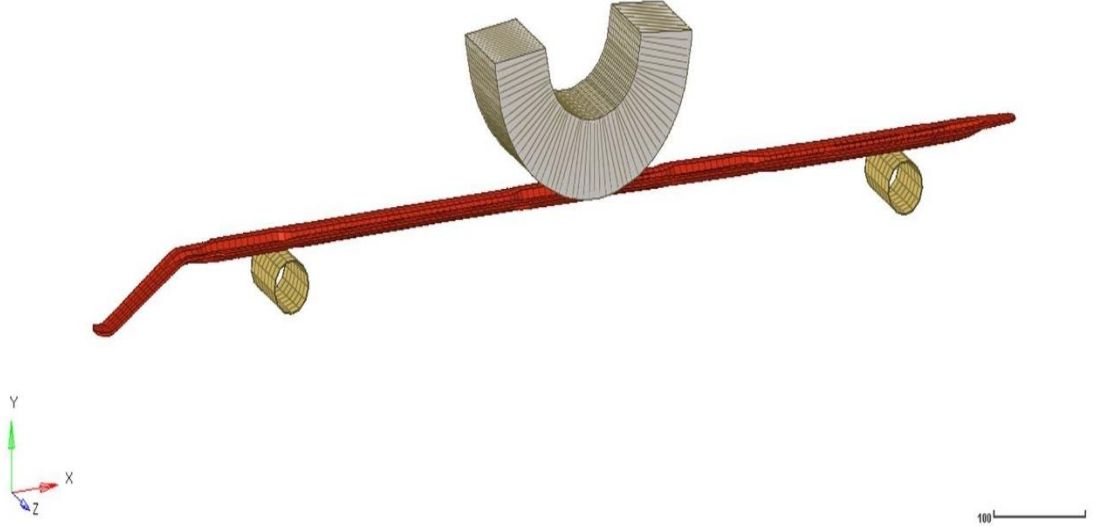


Şekil 2.7 : Üç nokta eğme modeli

Analiz iki koşuldan birinin yerine getirilmesi durumunda sona erer: ya bir hedef yer değiştirmeye (δ_{max}) ulaşılır ve analiz ilerlemeyi durdurur ya da o andan önce, yapı başarısız olur ve analiz uygulanan kuvvetteki ani azalmayı tespit ederek, kendiliğinden sona erer.

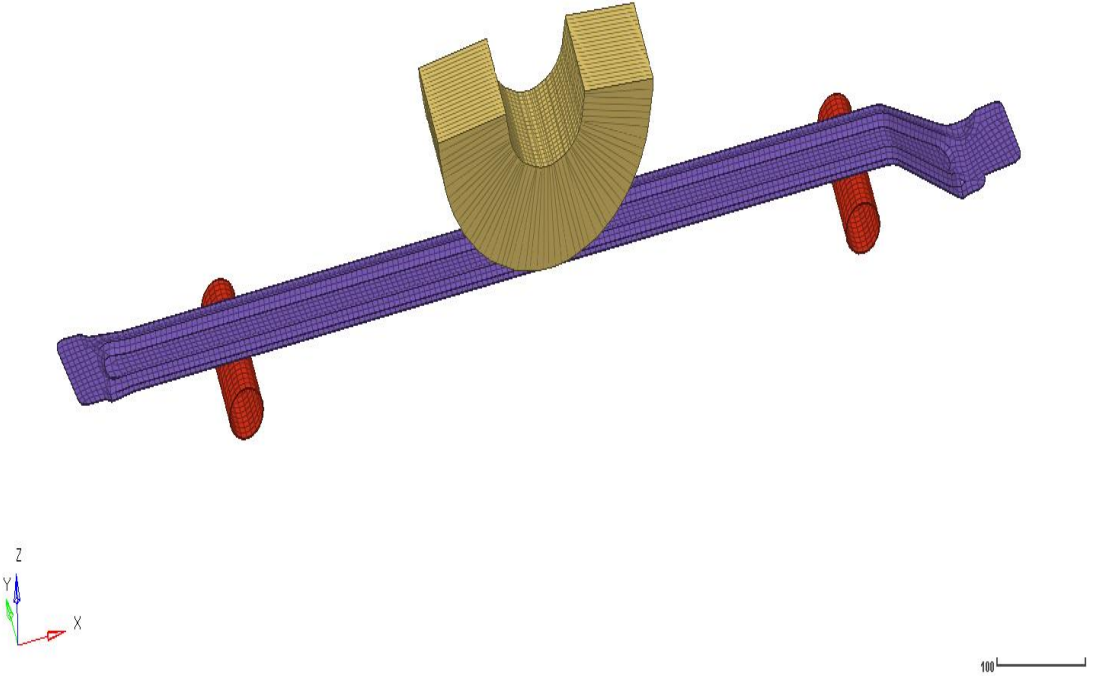
Catia V5 programında 3-D modelleme işlemleri tamamlanan kiriş için sonlu elemanlar modeli Hypermesh yazılımında analiz modellemesi gerçekleştirilmiştir. HyperMesh yazılımında 4 düğüm noktalı Belytschko-Tsay kabuk eleman formülasyonu kullanılmıştır. Sonlu elemanlar modelinin oluşumunda 2x2 mm-10x10 mm aralığındaki boyutlarda dört düğüm noktalı kabuk elemanlar (mesh) kullanılmıştır. Ancak 2x2 mm-10x10mm kabuk elemanlarla gerçekleştirilen analiz sonuçları değerlendirildiği kabuk eleman küçüldükçe analiz süresinin uzadığı tespit edilmiş ve analiz sonucunun daha kısa sürede ve optimum doğru sonuçların elde edilmesi amacıyla kabuk elemanlar (mesh) 5x5 mm e düşürülmüştür.

Referans parça olarak kullanılan Toyota Camry aracı üzerinde yer alan 2.2 mm kalınlığa sahip kapı kirişinin sonlu elemanlar analizindeki üç nokta eğme modellemesi Şekil 2.8’de gösterilmektedir.

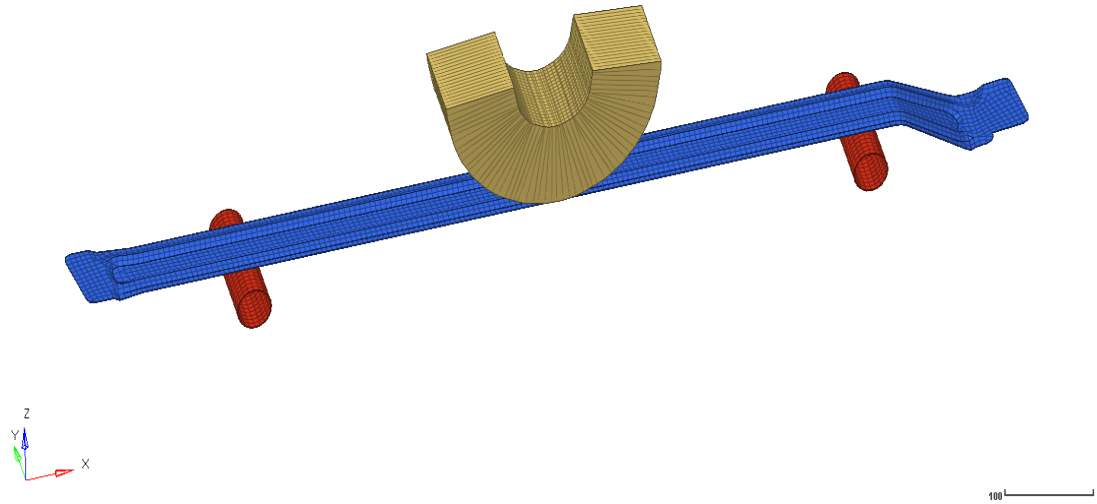


Şekil 2.8 : Toyota Camry kapı kirişi için oluşturulan mesh modeli

Camry kapı kirişine göre daha iyi enerji emebilen ve ezilme kuvvet verimi daha iyi olan tasarıma ait malzemenin karar verilmesi amacıyla karşılaştırmalı çalışması yapılan 2.0 mm kalınlığa sahip AA6082 ve 0.8 mm kalınlığa sahip JAC980YL malzemelerin kullanıldığı kapı kirişi tasarımına ait mesh modellemesi Şekil 2.9 ve Şekil 2.10 sırasıyla sunulmaktadır.



Şekil 2.9 : Yeni tasarıma ait AA6082 malzemenin oluşturulan kapı kirişi mesh modeli



Şekil 2.10 : Yeni tasarıma ait JAC980 malzemeden oluşturulan kapı kirişi mesh modeli

Hypermesh yazılımında sonlu elemanlar modeli tamamlandıktan sonra referans parça ve aynı tasarıma sahip farklı malzemelerden oluşturulacak olan yeni kapı kirişleri RADIOSS ara yüzüne aktarılmıştır.

HyperMesh'ten meshli bir düzenek içe aktardıktan sonra, gereken ilk adım her yüzeye bir özellik ve malzeme atamaktır. Malzeme, yüzey kalınlığını ve entegrasyon yöntemi gibi diğer sonlu eleman parametrelerini belirlediğinden parçanın mekanik özelliklerinden sorumludur. Malzemeler yazılım kütüphanesinde bulunan MAT LAW2 - Johns zeril ile modellenmiştir. Çalışmada kullanılan DP600, JAC 980YL ve AA6082 malzemelerinin Çizelge 2.1’de tanımlanan özellikleri LAW2 e göre malzeme modeline tanımlanmıştır.

Çizelge 2.1 : Malzeme model parametreleri.

Malzeme	a	b	n	E (GPa)	ρ (g/cm ³)
DP600	380,5	912,55	0,173	206	7,89
AA6082	307	626,76	0,042	70	2,7
JAC980YL	651	1477,56	0,121	210	7,89

Çizelge 2.1’de belirtilen malzeme parametrelerinde a, akma dayanımı, b, gerinim sertleştirme, n, gerinim sertleştirme katsayısı, E elastik modülü ve ρ yoğunluğu ifade etmektedir.

Modelin ön işlenmesinde önemli bir adım, gerekli sınır koşullarının oluşturulmasıdır. Üç noktalı bir bükülme analizi yaparken, kiriş darbeye tepki vermek için serbest

bırakılır. Destekler tamamen sabitlenmiştir. Çarpma düzeneğinin sınır koşulu, desteklerden farklıdır. Bu nedenle, hızın uygulandığı yönündeki yerdeğiştirme ile ilişkili serbestlik derecesi serbest olmalıdır. Çarpma düzeneğinin hızı da bir sınır koşulu olmakla birlikte simülasyon boyunca bir zaman fonksiyonunu uygulamak için gerekli araçları sağlayan özel bir komut *Imposed Velocity ile sağlanır. Yarı statik bir analizde, çarpma hızı sabit alınmıştır. Uygulanan hız, çarpma düzeneğinin rijit gövdesine uygulanır. Hız vektörünün yönü, negatif yönde işaret eden hızın uygulandığı eksen boyuncadır.

Yapılacak olan çarpışma analizlerinde kapı kirişinin destekleyici elemanların tanımlanması için RADIOSS yazılımındaki *BCs Collector kartı kullanılmıştır. Yandan çarpmayı temsil eden çarpma elemanın tanımlamaları için *Tz free komutu kullanılmıştır. Hıza bağlı olarak parça da meydana gelen yerdeğiştirmeyi tanımlamak için IMPDISP_Collector dan yararlanılmıştır.

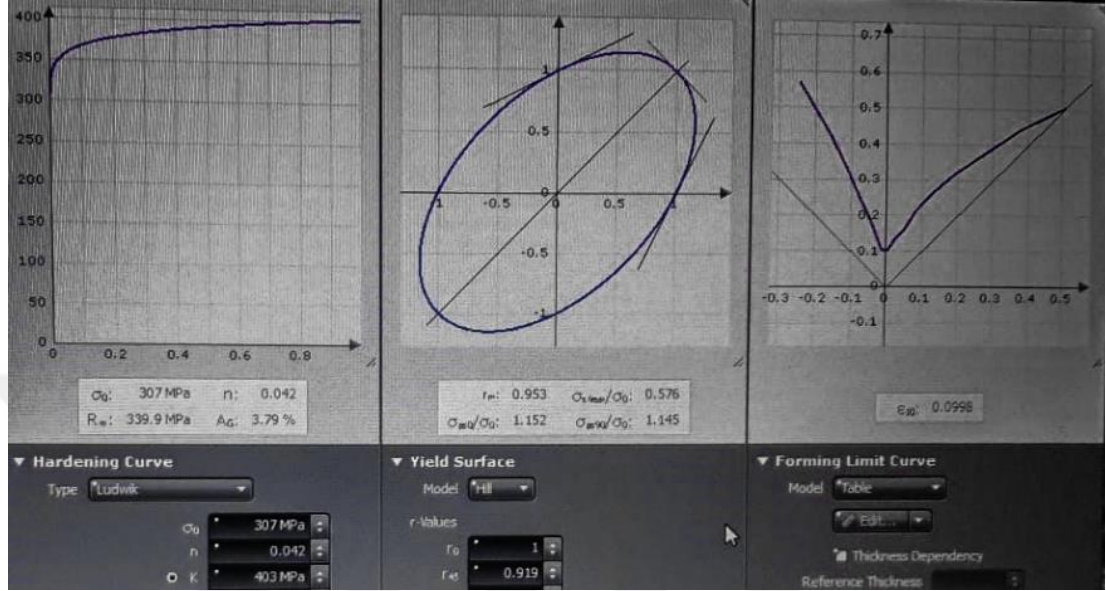
İncelenen kapı kirişi modelini oluşturan birkaç yüzey arasında temas oluşturmak, mevcut arayüzlerin ve bunların fiziksel ilişkilerinin (örneğin sürtünme) tanınmasını sağlamak kritik öneme sahiptir. Temas arayüzeyi tanımlama bir simülasyon oluştururken merkezi bir adımdır, çünkü sistem çıktısı arayüzün zayıf bir yapısına karşı çok duyarlıdır. Çok küçük fakat öngörülemeyen yüzey penetrasyonları durumunda, çözümün beklenen sonuçlardan büyük ölçüde farklılaşabilmektedir. Bu amaçla silindirik çarpma elmanı ve kapı kirişi arasında temas arayüzeyi oluşturulmuştur.

2.4 Kapı Kirişi Modelinin Sac Şekillendirme Analizi

Sac metal şekillendirme, sektördeki en önemli teknolojilerden biridir. Son yıllarda, modern sanayilerin gelişmesi nedeniyle, farklı şekil ve özelliklere sahip sac levha parçalara olan talep çarpıcı biçimde artmaktadır. Sac metal şekillendirme, iki yönde başlangıç büyük genişlemelere ve üçüncü yönde ise küçük sac genişlemelerine sahip olan örneğin bir metal levha veya çelik plaka gibi parçaların oluşturulması olarak ifade edilebilir.

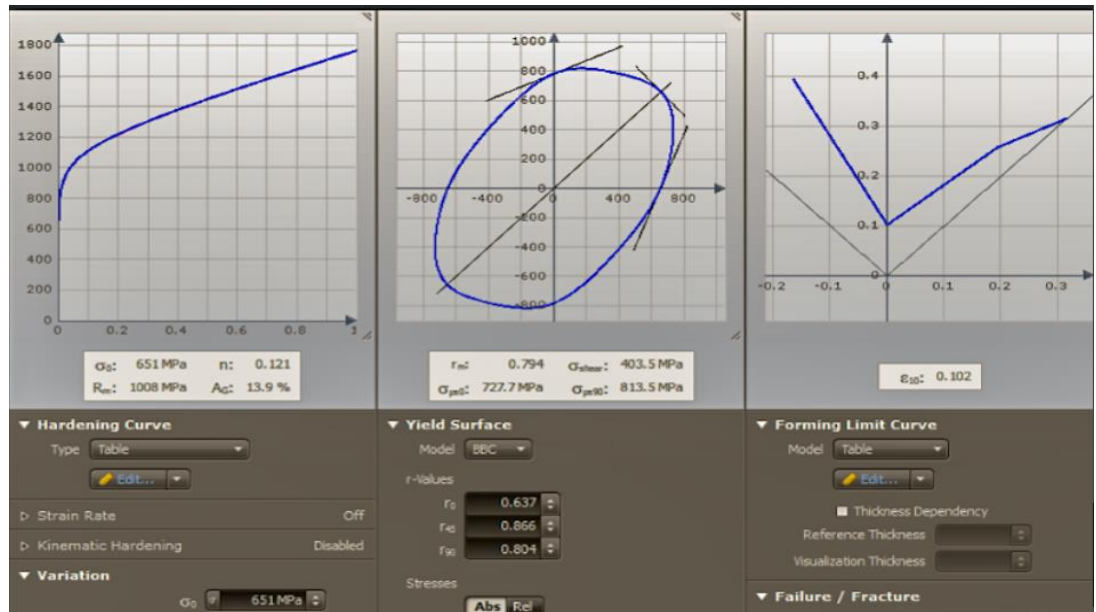
Bu çalışmada farklı iki malzemeden çarpışma performansını temsil eden 3-nokta eğme analizinin yanı sıra iki malzemeden oluşturulan kapı kirişi modellerinin üretilebilirliğinin araştırılması amacıyla sac şekillendirme davranışları incelenmiştir.

Kapı kirşlerinin sac şekillendirme davranışının tespit edilmesi amacıyla Autoform analiz programından yararlanılmıştır. Al6082 malzemesine ait malzeme kartının mevcut olmasından ötürü ekstra olarak yeni bir kart tanımlaması gerçekleştirilmemiş olup Şekil 2.11’de görseli sunulmaktadır.



Şekil 2.11 : AA6082 malzemesinin malzeme kartı

JAC980YL malzemesi Honda standartlarında oluşturulmuş galvaniz kaplamalı çelik bir malzemedir. Doğru malzeme verileri ile şekillendire analizinin gerçekleştirilmesi gerçekleştirilmesi amacıyla deneysel yünden elde edilen malzeme özellikleri ile .mtb uzantılı bir malzeme kartı tanımlanmıştır (Şekil 2.12).



Şekil 2.12 : JAC980YL malzemesinin malzeme kartı

CATIA V5 tasarım programı ile oluşturulan 0.8 mm kalınlığında JAC980YL malzemesinden oluşan ve 2.0 mm kalınlığında Al6082 malzemesinden oluşan kapı kiriş modelleri Autoform analiz programının içerisine aktarılmıştır.

Şekillendirme analizinde önemli bir parametre olan sürtünme katsayısı JAC980YL malzeme için 0.15, Al6082 malzeme için ise 0.12 olarak alınmıştır. Alüminyum malzemelerde bu farklılığın oluşmamasının en önemli nedeni kalıp yüzey kalitesinin daha iyi olması beklenmesinden kaynaklanmaktadır. Gerçekleştirilen tüm şekillendirme analizlerinde formlamayı sağlamak amacıyla standart olarak kalıp basıncı daha önceki şekillendirme konusundaki bilgi birikimi doğrultusunda 0.3 MPa olarak ayarlanmıştır.



3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Tez çalışmaları kapsamında elde edilen sonuçlar ve sonuçlara istinaden değerlendirilmeler bu bölümde sunulmaktadır. Öncelikli olarak malzemelerin elementel analizi ve çarpışma performansının tespiti amacıyla temsili olarak alınan 3 nokta eğme analizi ve şekillendirme analizinde yüksek önem arz eden mekanik özelliklere ilişkin test sonuçları paylaşılmıştır. Sonrasında 3-nokta eğme analiz ve şekillendirme analiz sonuçları paylaşılarak maliyet analizi çerçevesinde değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir.

3.1 Malzeme Özellikleri

3.1.1 Kimyasal analiz sonuçları

DP600, JAC980YL ve AA6082 malzemelerinin Rigaku model XRF cihazı ile gerçekleştirilen kimyasal analizi sonrasında elde edilen kimyasal bileşimleri Çizelge 3.1, Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3’de sunulmaktadır.

Çizelge 3.1 : DP600 malzemesinin kimyasal özellikleri.

C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Al (%)	Cr (%)
0.04	1.07	1.08	0.025	0.010	0.002	0.08

Çizelge 3.2 : JAC980YL malzemesinin kimyasal özellikleri.

C (%)	Si (%)	Mn (%)	S (%)	Al (%)	Cr (%)	Mg (%)
0.10	0.125	1.26	0.0044	0.256	0.160	0.050

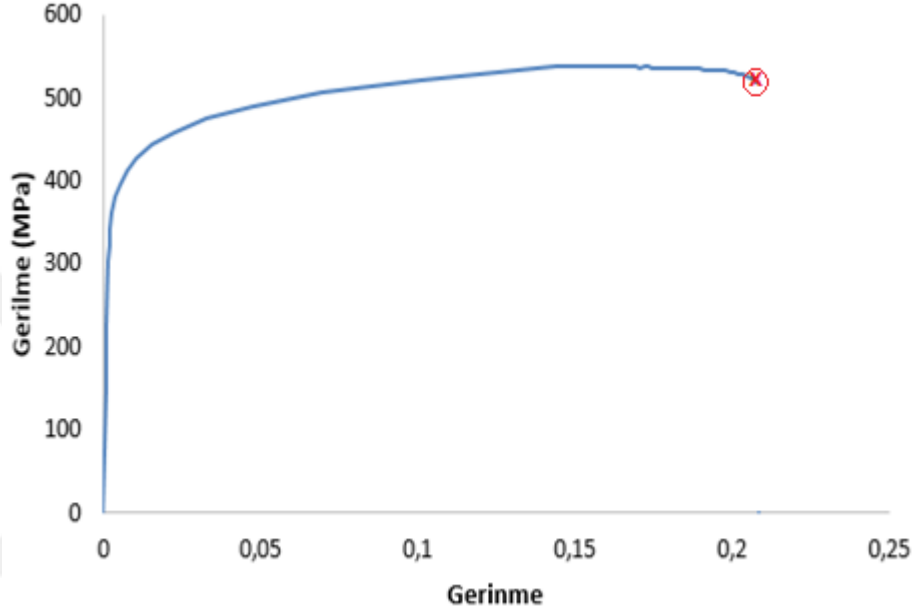
Çizelge 3.3 : AA6082 malzemesinin kimyasal özellikleri.

Si (%)	Mg (%)	Fe (%)	Cu (%)	Mn (%)	Cr (%)	Zn (%)	Ti (%)
0.7-1.3	0.6-1.2	0.5	0.1	0.4-1.0	0.25	0.21	0.1

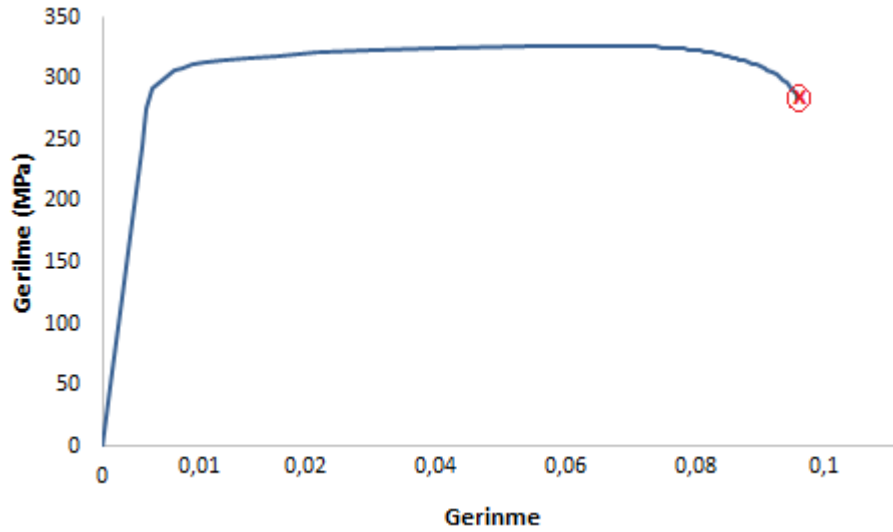
3.1.2 Mekanik özellik sonuçları

3.1.2.1 DP600 ve AA6082 malzemelerinin mekanik özellikleri

Hadde yönleri belirli olan ve mevcut durumda malzeme kartları bulunan DP600 ve AA6082 malzemelerinin ZwickRoel çekme test cihazı ile gerçekleştirilen çekme testi sonucunda elde edilen gerilme-gerinme diyagramları sırasıyla Şekil 3.1 ve Şekil 3.2’de DP600 ve AA6082 malzemeler için sırasıyla gösterilmektedir.



Şekil 3.1 : DP600 malzemesinin mühendislik gerilme-gerinme diyagramı



Şekil 3.2 : AA6082 malzemesinin mühendislik gerilme-gerinme diyagramı

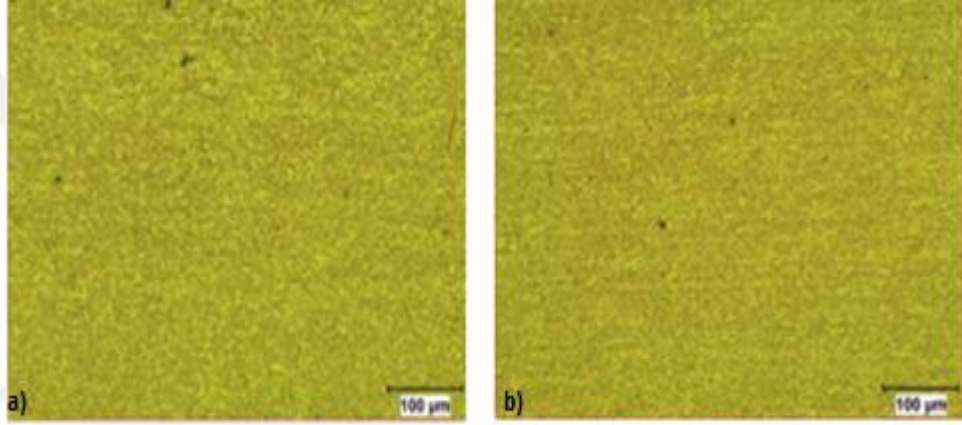
Mühendislik eğrisine göre elde edilen mekanik değerler ise Çizelge 3.4’de tanımlanmaktadır.

Çizelge 3.4 : DP600 ve AA6082 malzemelerinin mekanik özellikleri.

Malzeme	Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Dayanımı (MPa)	Uzama (%)
DP600	537	380,5	21,7
AA6082	327,23	307	6,4

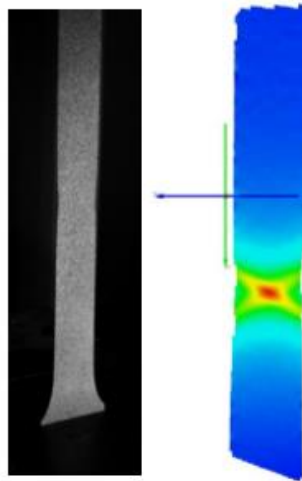
3.1.2.2 JAC980YL çeliğinin mekanik özellikleri

Hadde yönü belli olmayan JAC90YL malzemenin optik mikroskop ile gerçekleştirilen incelemelere ait analiz sonuçlarına göre Şekil 3.3’de gösterildiği üzere B yönü hadde yönü olarak tayin edilmiştir. Bu doğrultuda r_0 anisotropik yönü B işaretine, r_{90} ise A işaretine karşılık gelmektedir.



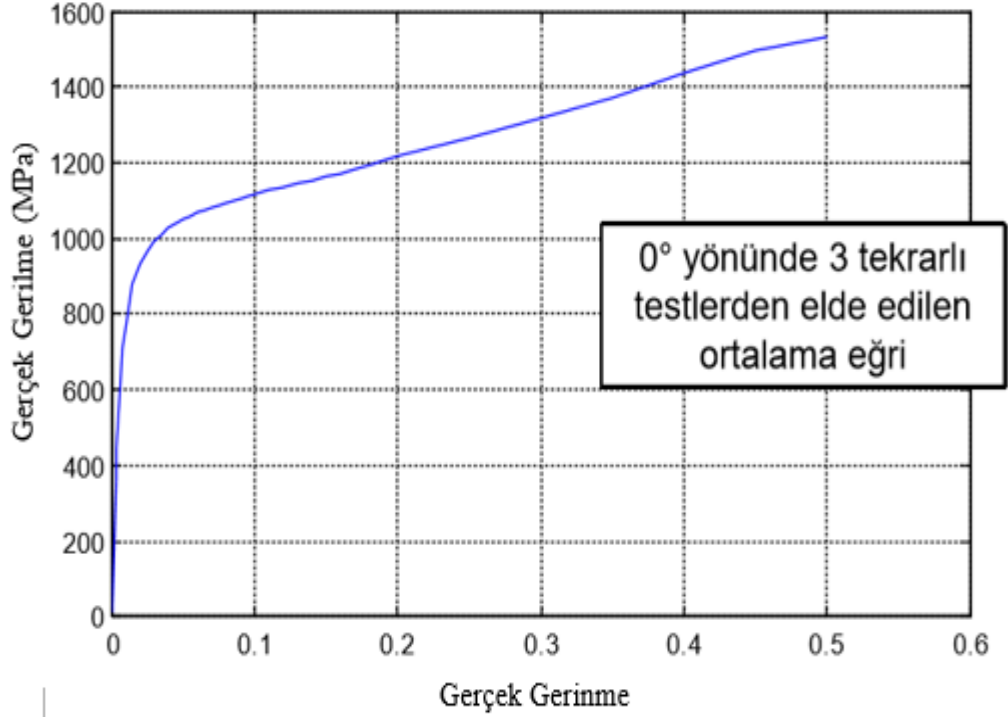
Şekil 3.3 : Hadde yönü analizi a) A yönünde b) B yönünde

Optik ekstansometre ile test süresince alınan kayıtlar ARAMIS sisteminin yazılımı ile işlenerek akma eğrileri hesaplanmıştır. Şekil 3.4’de bu yazılım ile bir göresel üzerinde test süresince hesaplanan genleme değerlerine ait bir kare gösterilmektedir.

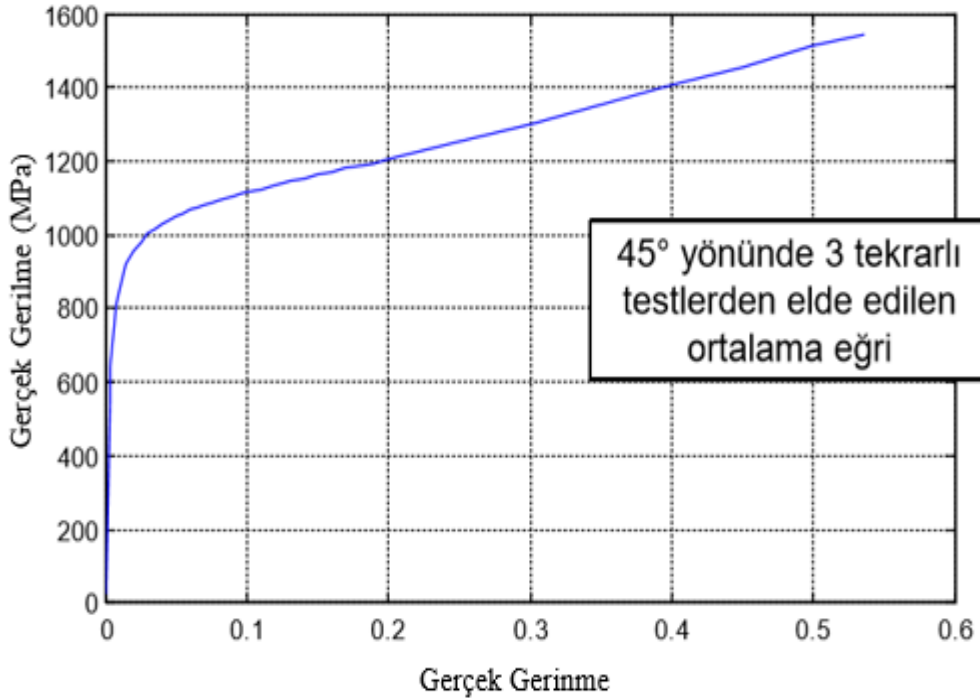


Şekil 3.4 : Optik ekstansometreli çekme testi ve işlenmiş veri (major gerinme)

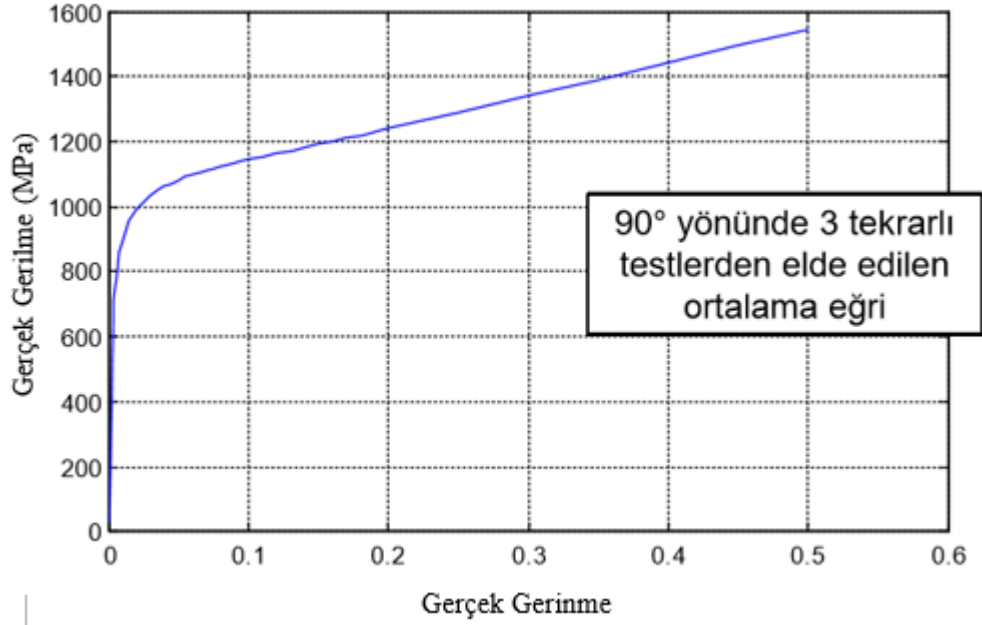
Farklı yönlerde 3 tekrarlı olarak gerçekleştirilen çekme testleri sonucunda elde edilen gerçek-gerinme akma eğrileri sırasıyla 0°, 45° ve 90° yönleri için Şekil 3.5, Şekil 3.6 ve Şekil 3.7'de gösterilmektedir.



Şekil 3.5 : 0° yönünde çekme testi gerçeğ gerilme-gerinme akma eğrisi



Şekil 3.6 : 45° yönünde çekme testi gerçeğ gerilme-gerinme akma eğrisi



Şekil 3.7 : 90° yönünde çekme testi gerçek gerilme-gerinme eğrisi

Çalışma kapsamında JAC980YL malzemesinin gerçek gerilme değerleri ile birlikte r_0 , r_{45} ve r_{90} anisotropi katsayıları Çizelge 3.5’de gösterilmektedir.

Çizelge 3.5 : Anisotropi katsayıları ve gerilme (akma) değerleri.

Malzeme	r_0	r_{45}	r_{90}	σ_0 (MPa)	σ_{45} (MPa)	σ_{90} (MPa)
JAC980YL	0,64	0,86	0,80	651	710	779

Gerçekleştirilen pul basma testleri 100 kN, 150 kN ve 200 kN yüklemeler altında gerçekleştirilmesi sonucunda elde edilen değerler Çizelge 3.6’da gösterilmekte olup ortalama çift eksenli Lankford katsayısı, r_{baxial} , 0.88 olarak hesaplanmıştır.

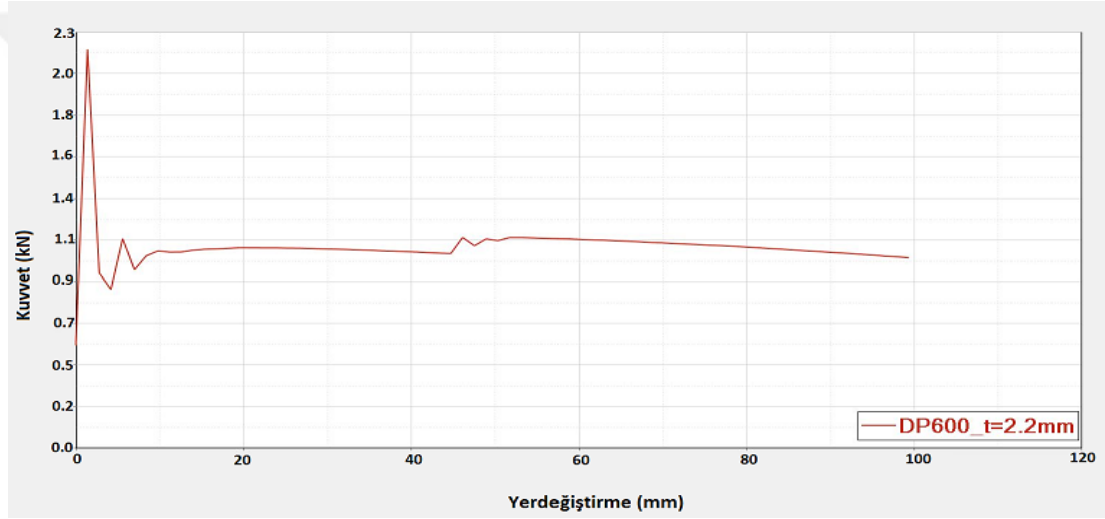
Çizelge 3.6 : Farklı yüklemeler altında pul basma test sonuçları.

Yük	Test No	Numune ilk çap		Numune son çap		Lankford parametresi	Ortalama	r_{baxial}
		R_0	R_{90}	R_0	R_{90}			
100kN	1	10	10	10,17	10,16	0,94	0,93	0,885
	2	9,98	9,98	10,15	10,14	0,94		
	3	10	10	10,17	10,16	0,94		
	4	10	10	10,17	10,15	0,88		
150kN	5	10,01	10,01	10,87	10,72	0,83	0,89	
	6	10,01	10,01	10,8	10,76	0,95		
	7	10,01	10,01	10,88	10,75	0,86		
	8	9,99	9,99	10,83	10,76	0,92		
200kN	9	10	10	11,59	11,29	0,82	0,84	
	10	10	10	11,57	11,33	0,86		
	11	10	10	11,58	11,36	0,87		
	12	10	10	11,64	11,31	0,81		

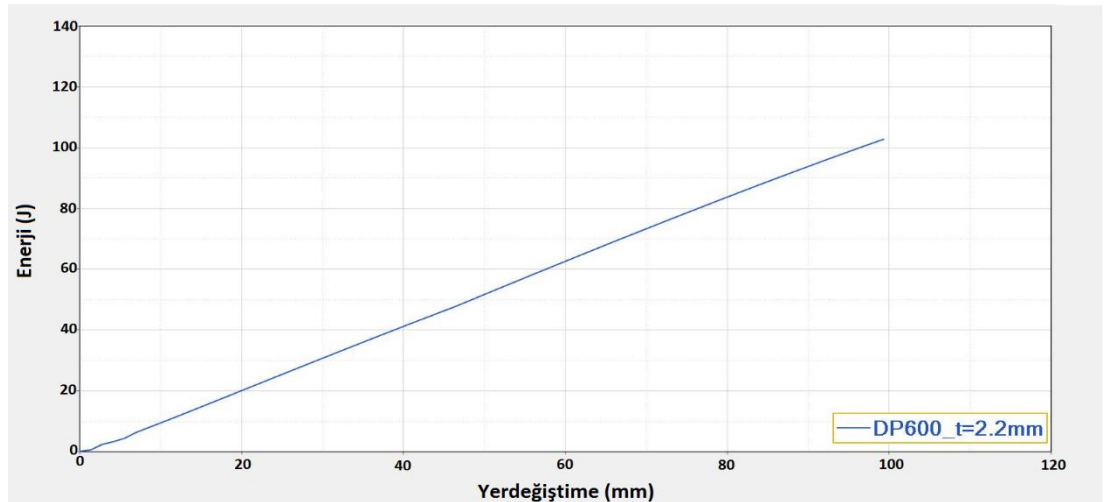
3.1.3 Üç nokta eğme analizi

Çarpışma performansını temsil eden 3-nokta eğilme analizinde Çizelge 2.1’deki DP600 malzemesinin malzeme model parametreleri girilerek 130 kg sahip silindirik bir çarpma elemanı 10 mm/sn hız ile 2.2 mm kalınlığındaki referans Camry aracı üzerinde yer alan kapı kirişine çarptırılmıştır.

Simülasyon sırasında otomatik olarak hız, yerdeğiştirme, enerji ve moment vb. çıkış parametreleri listesi Hyperworks program yazılımı olan Hypergraph ile kaydedilebilmektedir. Gerçekleştirilen 3-nokta eğme analiz modelini doğrulamak için kuvvet-yerdeğiştirme ve enerji- yerdeğiştirme eğrileri sırasıyla Şekil 3.8 ve Şekil 3.9’da gösterildiği üzere HyperGraph yazılımı ile oluşturulmuştur.



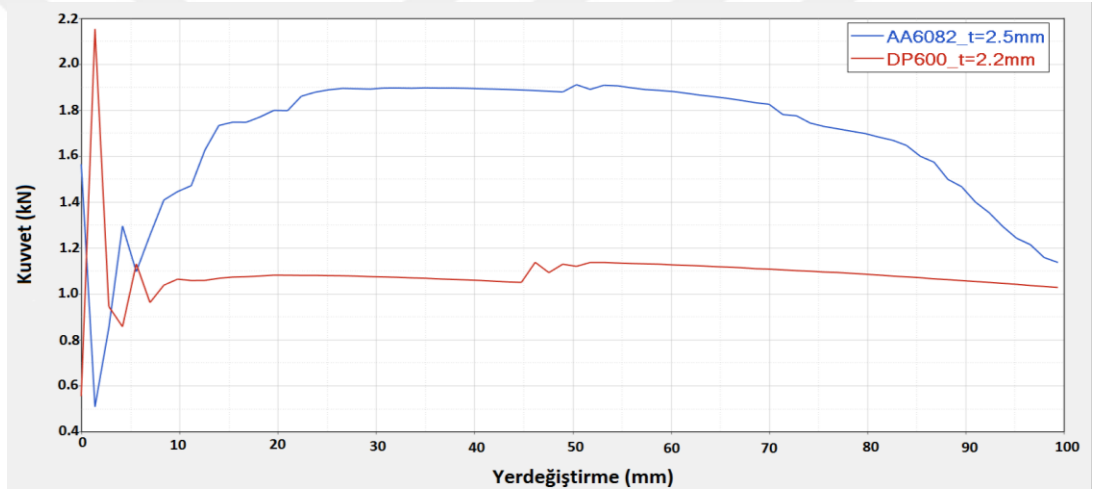
Şekil 3.8 : DP600 malzemedan oluşturulan kapı kirişinin 3-nokta eğme analizi kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi



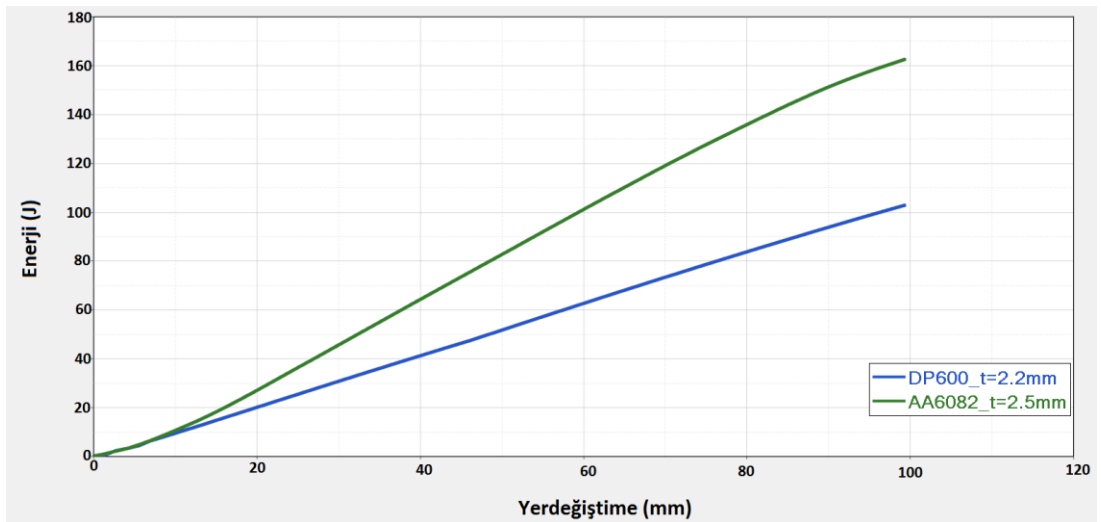
Şekil 3.9 : DP600 malzemedan oluşturulan kapı kirişinin 3-nokta eğme analizi enerji-yerdeğiştirme eğrisi

Analiz sonucuna göre referans kapı kirişinin 100 mm yerdeğiştirmede 2.15 kN maksimum pik kuvvet ve 103.25 J toplam enerji emilimi sağladığı tespit edilmiştir.

AA6082 malzemeye ait malzeme model parametreleri analiz programına girilerek 130kg ağırlığa sahip silindirik bir çarpma elemanı ile 10 mm/sn hız ile 2.5 mm kalınlığa sahip kapı kirişine (Tasarım 01) çarpıtılmıştır. Analiz sonucunda AA6082 malzemeden oluşan kapı kirişi 100 mm yer değitirmedeki toplam enerji emilimi ve pik kuvveti referans parçanın üzerinde kaldığı tespit edilmiştir. HyperGraph ile 2.5 mm kalınlığındaki alüminyum malzeme için alınan kuvvet- yerdeğiştirme ve enerji- yerdeğiştirme analiz sonuçları sırasıyla Şekil 3.10 ve Şekil 3.11’de gösterildiği üzere 100 mm yerdeğiştirmede 1.91 kN pik kuvvet ve 162 J toplam enerji emilimi sağladığı tespit edilmiştir.



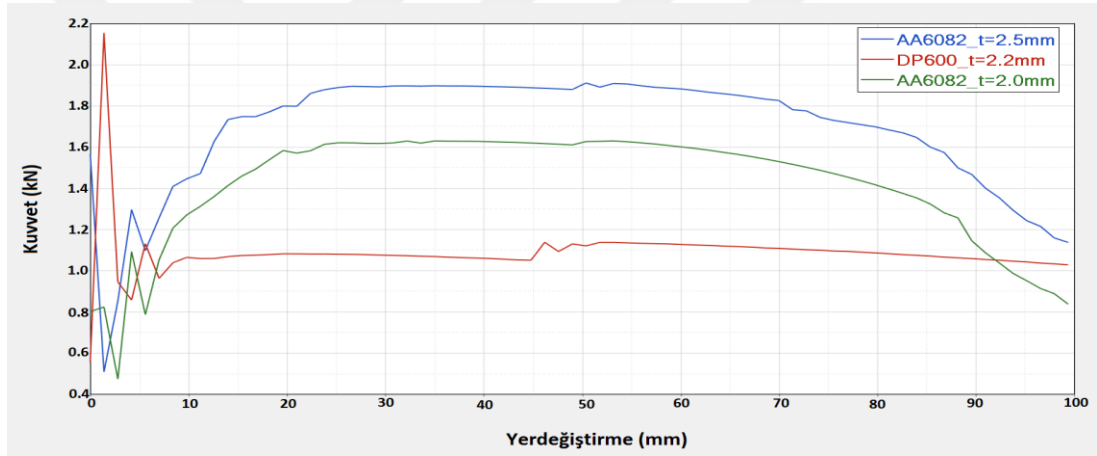
Şekil 3.10 : AA6082 malzemeden oluşturulan kapı kirişinin 3-nokta eğme analizi sonucundaki kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi



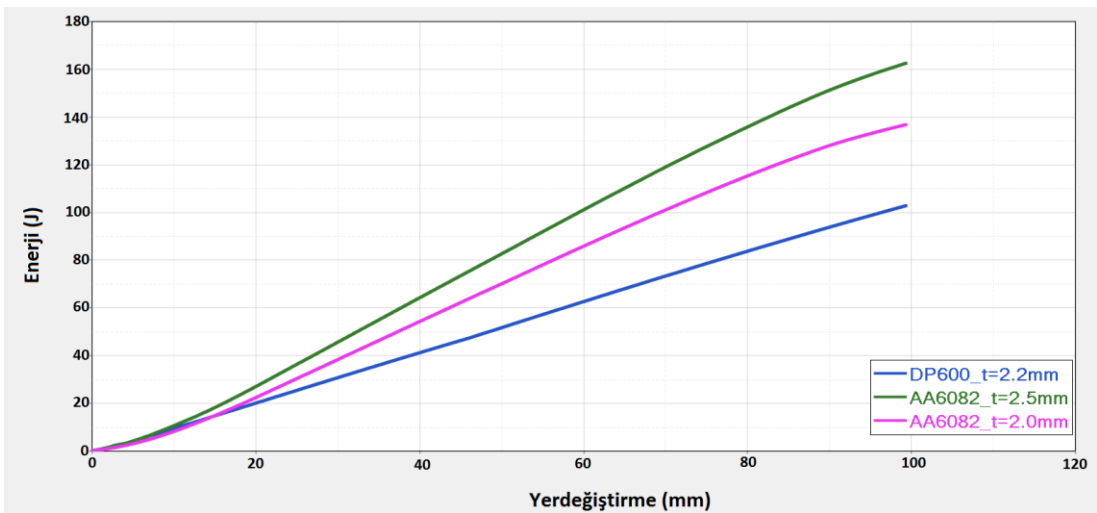
Şekil 3.11 : AA6082 malzemeden oluşturulan kapı kirişinin 3-nokta eğme analizi sonucundaki enerji-yerdeğiştirme eğrisi

Çalışmanın amacı çarpışma performansını optimum düzeyde tutarken ağırlıktan en yüksek kazancı sağlayan malzemenin tespit edilmesidir. Bu amaç doğrultusunda malzeme kalınlığı 2.5 mm den 2.0 mm e düşürülerek analiz tekrar edilmiştir.

2.0 mm kalınlık için gerçekleştirilen analiz sonucu ile 2.5 mm kalınlıkta gerçekleştirilen analiz sonucu kendi içerisinde değerlendirildiğinde kalınlık azalışına bağlı olarak enerji emilimi ve pik kuvvet değerlerinin düştüğü tespit edilmiştir. 2.5 mm kalınlıktaki kapı kirişi çarpma hızına bağlı olarak 100 mm yerdeğiştirmede 136,6 J toplam enerji emmekte ve pik kuvveti maksimum 1.62 kN olmaktadır. Farklı kalınlıklardaki alüminyum kapı kirişi ve 2.2 mm kalınlıktaki DP600 malzemenen elde edilen kapı kirişi için gerçekleştirilen analiz sonuçlarından elde edilen kuvvet-yerdeğiştirme ve enerji-yerdeğiştirme grafikleri sırasıyla Şekil 3.12 ve Şekil 3.13’de gösterilmektedir.

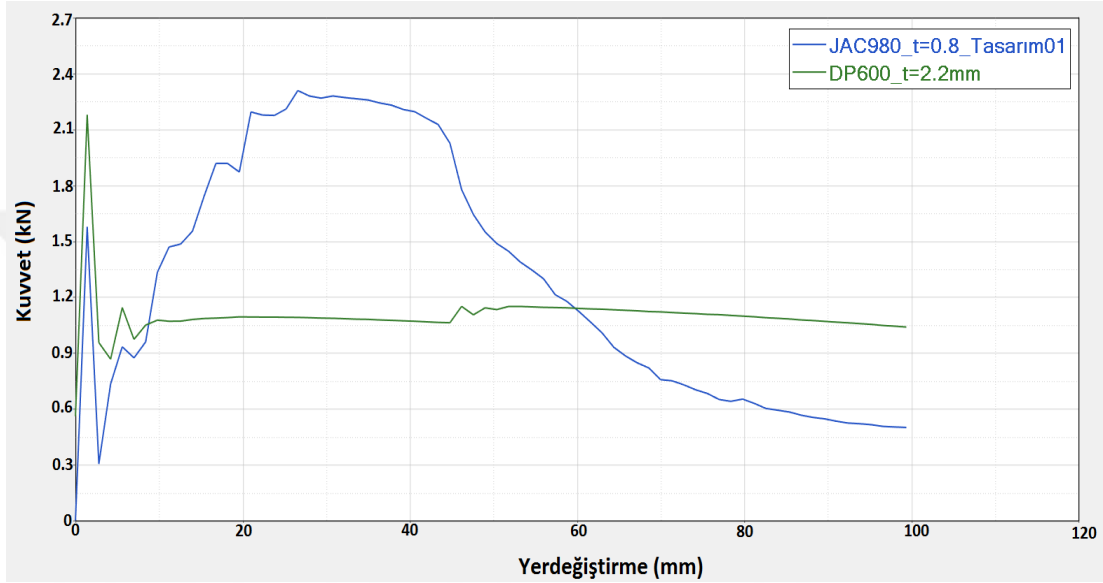


Şekil 3.12 : DP600 ve AA6082 malzemenen oluşturulan farklı kalınlıktaki kapı kirişlerinin 3-nokta eğme analizi sonucundaki kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi

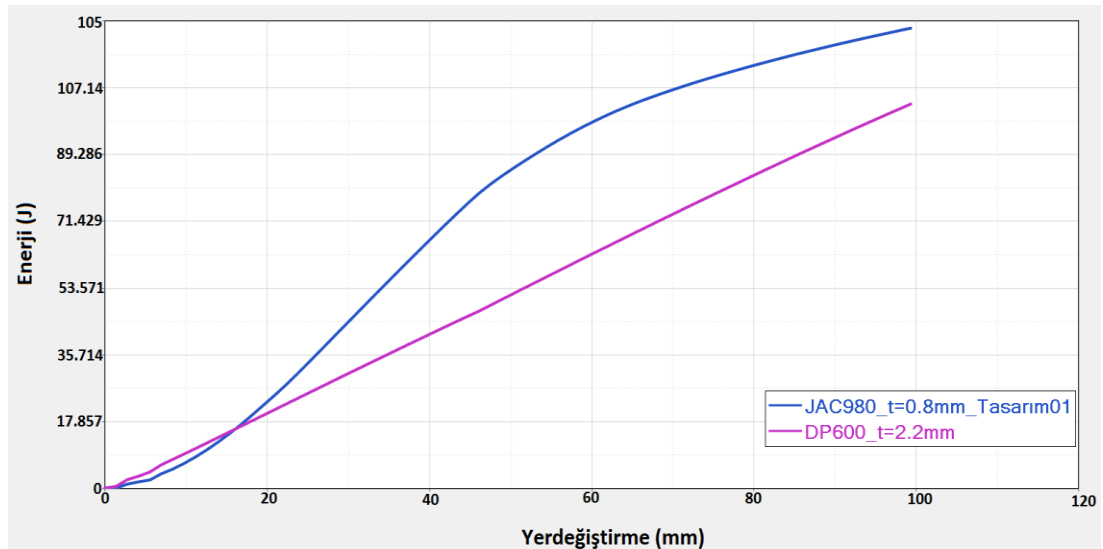


Şekil 3.13 : DP600 ve AA6082 malzemenen oluşturulan farklı kalınlıktaki kapı kirişlerinin 3-nokta eğme analizi sonucundaki kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi

JAC980YL malzeme model parametreleri analiz programına girilerek 130 kg ağırlığa sahip silindirik bir çarpma elemanı ile 10 mm/s ile 0,8 mm kalınlığa sahip kapı kirişine (Tasarım 01) çarpıtılmıştır. Analiz sonucunda JAC980YL malzemedan oluşan kapı kirişi 100 mm yer değitirmedeki toplam enerji emilimi ve pik kuvveti referans parçanın üzerinde olduğu tespit edilmiştir. DP600 ile elde edilen kapı kirişinin analiz sonucuyla Şekil 3.14 ve Şekil 3.15’de yerdeğiştirmeye bağlı olarak kuvvet ve enerji eğrileri karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir.



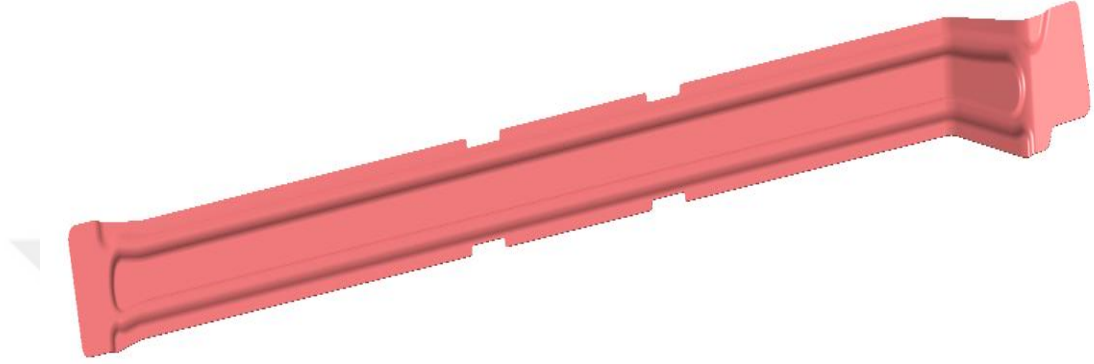
Şekil 3.14 : DP600 malzemeye göre JAC980YL malzemesi ile oluşturulan kapı kirişinin analiz sonucundaki kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi



Şekil 3.15 : DP600 malzemeye göre JAC980YL malzemesi ile oluşturulan kapı kirişinin analiz sonucundaki enerji-yerdeğiştirme eğrisi

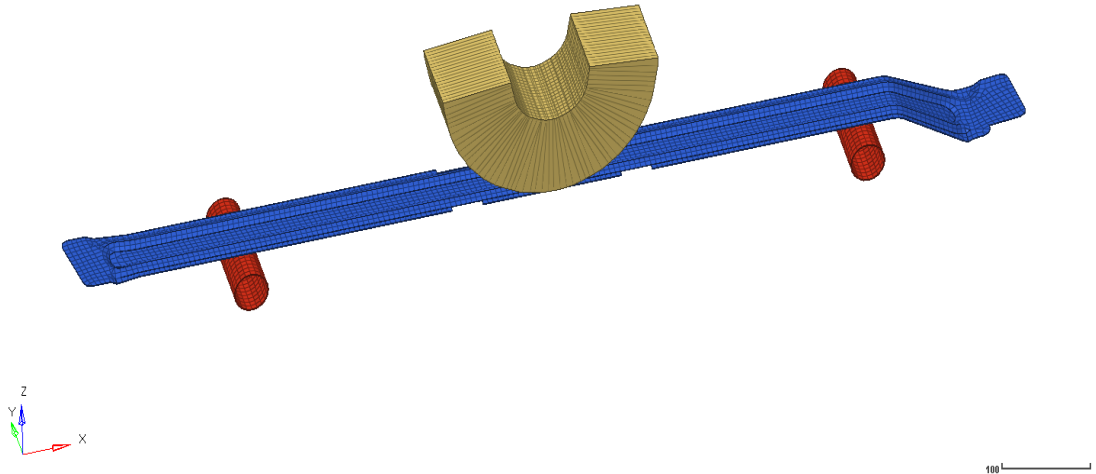
Literatürdeki araştırmalarda da değinildiği üzere optimum çarpışma performansı sağlanması hedeflenen parçalarda enerji emiliminin yüksek ve pik kuvvetin ise düşük

olması beklenmektedir. Bu doğrultuda referans parçaya göre JAC980YL malzeme daha yüksek enerji emilimi sağlamasına karşın pik kuvvetin daha yüksek olduğu ve stabilize olmadığı tespit edilmiştir. Pik kuvvetin minimize edilmesi amacıyla kuvvetin tasarım üzerinde denk geldiği alanlar tespit edilerek Şekil 3.16'da gösterildiği üzere Tasarım 01 üzerinde değişiklikler gerçekleştirilmiş ve yeni bir kapı kirişi tasarımı (Tasarım 02) oluşturulmuştur.



Şekil 3.16 : JAC980YL malzemesi için yeni kapı kirişi tasarım (02) modeli

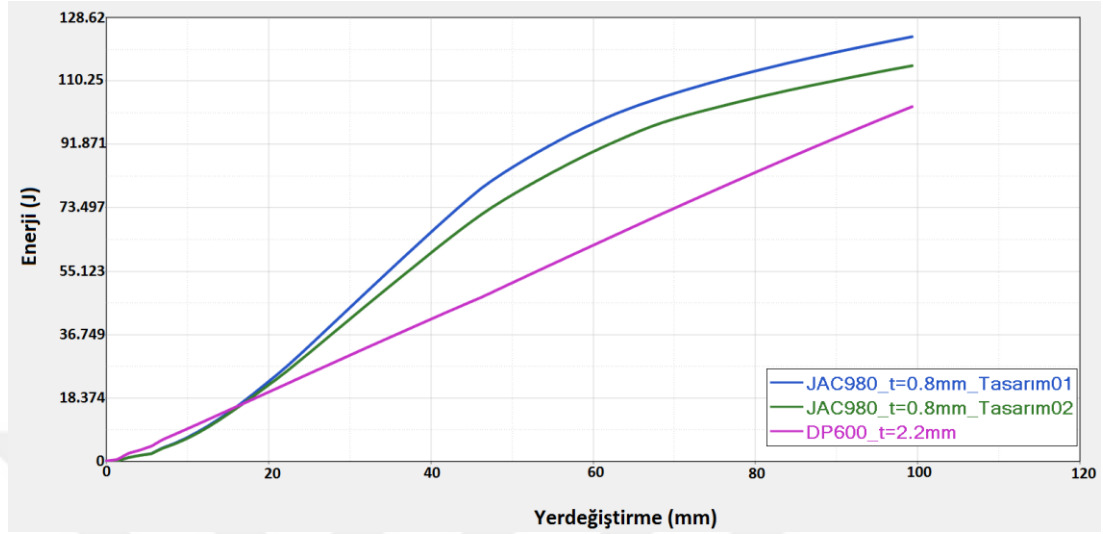
Öncelikli olarak JAC980YL malzemelerin kullanıldığı Tasarım 02 için mesh modellemesi gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.17).



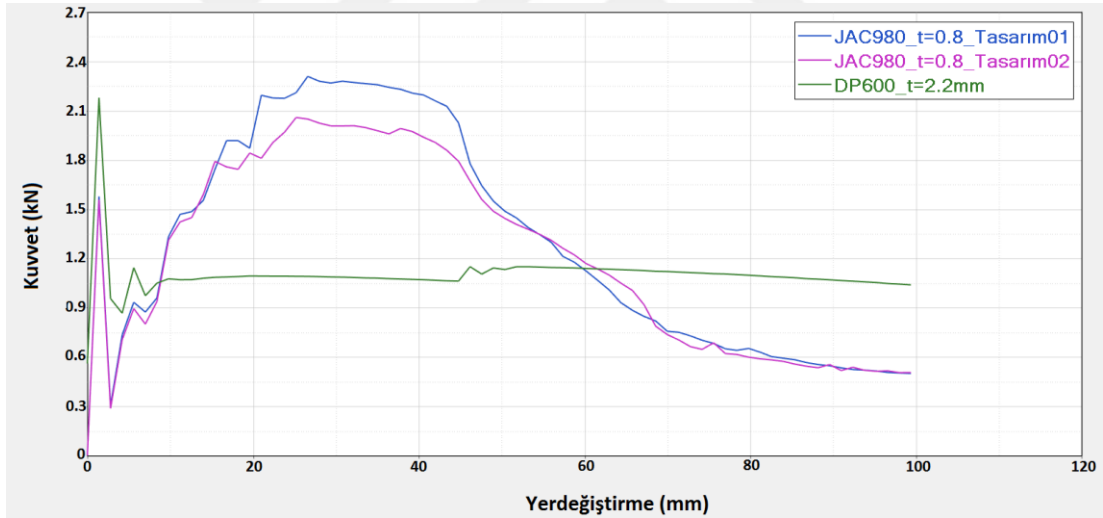
Şekil 3.17 : Tasarım 02 için oluşturulan kapı kirişi mesh modeli

JAC980YL malzeme model parametreleri analiz programına girilerek 130 kg ağırlığa sahip silindirik bir çarpma elemanı ile 10 mm/s ile 0,8 mm kalınlığa sahip kapı kirişine (Tasarım 02) çarptırılmıştır. Analiz sonucunda yeni tasarıma çentik bölgelerinin açılması ile referans Camry kapı kirişine göre pik kuvvetin düştüğü tespit edilmiştir. JAC980YL malzemesinin entegre edildiği iki farklı tasarım kendi içerisinde

karşılaştırıldığında Şekil 3.18’de gösterildiği üzere 162 J olan toplam enerji emiliminin Tasarım 02’de 136,66 J e düştüğü gözlenmiş ve pik kuvvetin ise 1.91 kN’dan 1.62 kN’a düşütüğü saptanmıştır (Şekil 3.19).



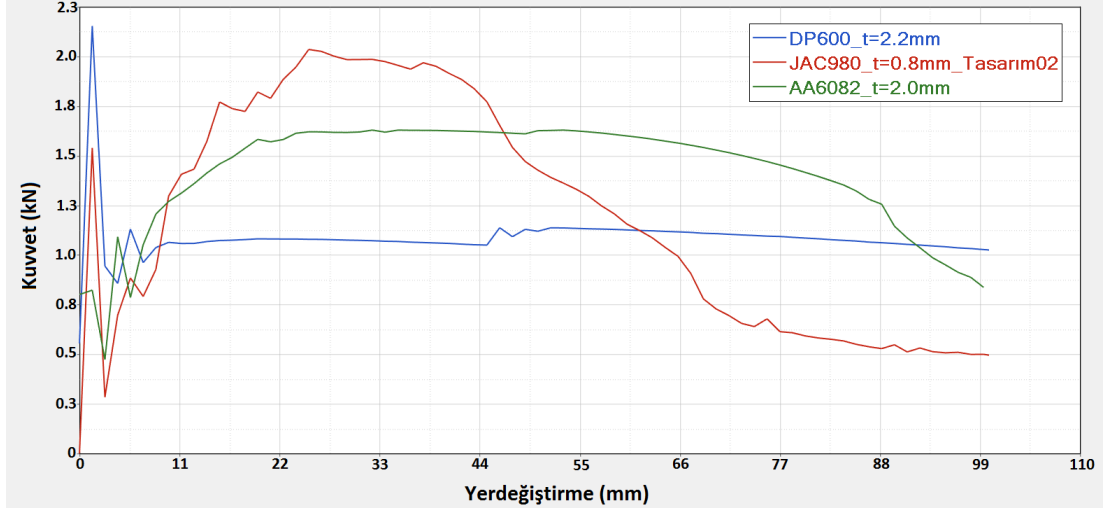
Şekil 3.18 : DP600 malzeme ile JAC980YL malzemesinin iki farklı tasarımı için gerçekleştirilen enerji-yerdeğiştirme analiz sonucu eğrileri



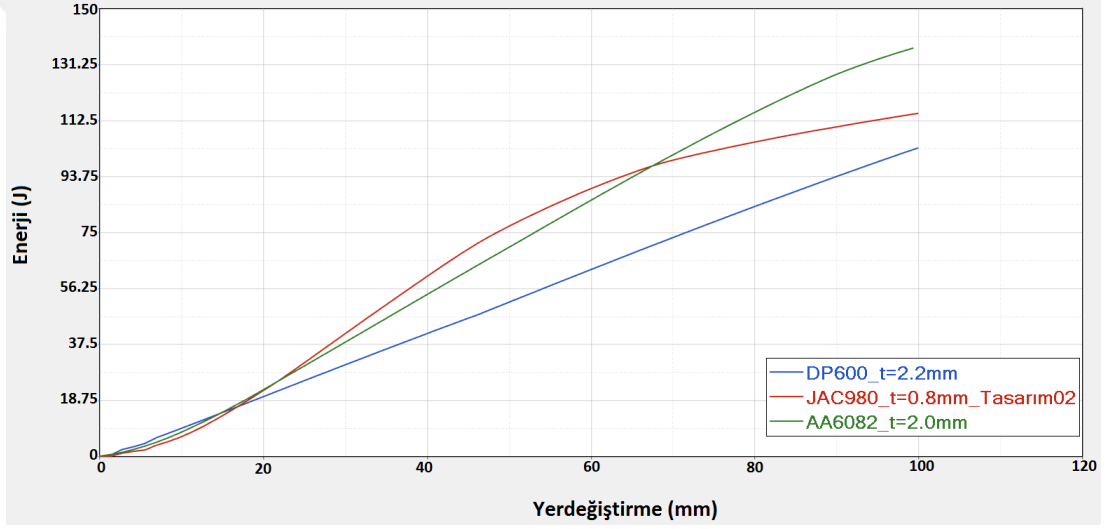
Şekil 3.19 : DP600 malzeme ile JAC980YL malzemesinin iki farklı tasarımı için gerçekleştirilen kuvvet-yerdeğiştirme analiz sonucu eğrileri

Analiz sonuçları doğrultusunda AA6082 ve JAC980YL malzemeleri referans Cammyr modeli ile kıyaslandığında en yüksek enerji emebilen ve düşük pik kuvveti sağlayan kapı kirişi 2.0mm kalınlıkta AA6082 malzeme ve Tasarım 01 ile elde edilmiştir.

Farklı tasarım ve malzemeler ile yapılan analiz sonuçlarının karşılaştırmalı kuvvet-yerdeğiştirme eğrileri Şekil 3.20’de, enerji-yerdeğiştirme eğrileri ise Şekil 3.21’de sunulmaktadır.



Şekil 3.20 : Farklı tasarım ve malzemeler ile yapılan analiz sonuçlarının karşılaştırmalı kuvvet-yerdeğiştirme eğrileri



Şekil 3.21 : Farklı tasarım ve malzemeler ile yapılan analiz sonuçlarının karşılaştırmalı enerji-yerdeğiştirme eğrileri

Yandan çarpışmalı kazalarda darbeyi absorbe eden kapı kirişi modellerinde beklenen, yüksek miktarda darbe enerjisini emebilmeleridir. Ancak tek başına enerji emilimini değerlendirmek yeterli olmamakta ve enerji emilimi ile birlikte ezilme kuvveti verimi yani özgül veriminde hesaba katılması gerekmektedir.

Farklı tasarım ve farklı malzemeler için modellenen kapı kirişlerinin analiz sonuçlarına göre enerji emilimi/absorbsiyonu (EA) ve pik kuvveti dışında Denklem 3.1'den Denklem 3.3'e kadar bükme performansı etkileyen toplam yerdeğiştirmenin (δ) bir fonksiyonu olan ortalama ezilme kuvveti (F_{ort}), ezilme kuvvet verimi (EKV) ve enerji verimi (EV) gibi diğer parametreler hesaplanmıştır.

$$F_{ort} = \frac{EA}{\delta} \quad (3.1)$$

$$EKV = \frac{F_{ort}}{F_{maks}} \quad (3.2)$$

$$EV = \frac{EA}{m} \quad (3.3)$$

Hesaplamalar doğrultusunda Camry modeli, Tasarım 02-JAC980 ve Tasarım01-AA6082 için parametre sonuçları Çizelge 3.7’de sunulmaktadır.

Çizelge 3.7 : Darbe absorpsiyonu performans set veri sonuçları.

Parametre/Malzeme	Referans parça (1)	JAC980YL (2)	AA6082 (3)
Toplam Enerji Verimi (J)	103,25	114,8	136,6
Maksimum Pik Kuvvet (kN)	2,15	2,03	1,62
Ortalama Ezilme Kuvvet (kN)	1,03	1,15	1,37
Yerdeğiştirme (mm)	100	100	100
Özgül Verimi (%)	48	57	84
Enerji Verimi (%)	11,4	22,1	32,8
Ağırlık (gr.)	905	520	416

Darbe absorpsiyonu performans set verilerindeki değişim referans parça-JAC980YL, referans parça- AA6082 ve JAC980YL-AA6082 için karşılaştırılmalı olarak Çizelge 3.8’de gösterilmektedir.

Çizelge 3.8 : Referans parça-JAC980YL, referans parça- AA6082 ve JAC980YL-AA6082 için darbe absorpsiyonu set verileri değişim oranları.

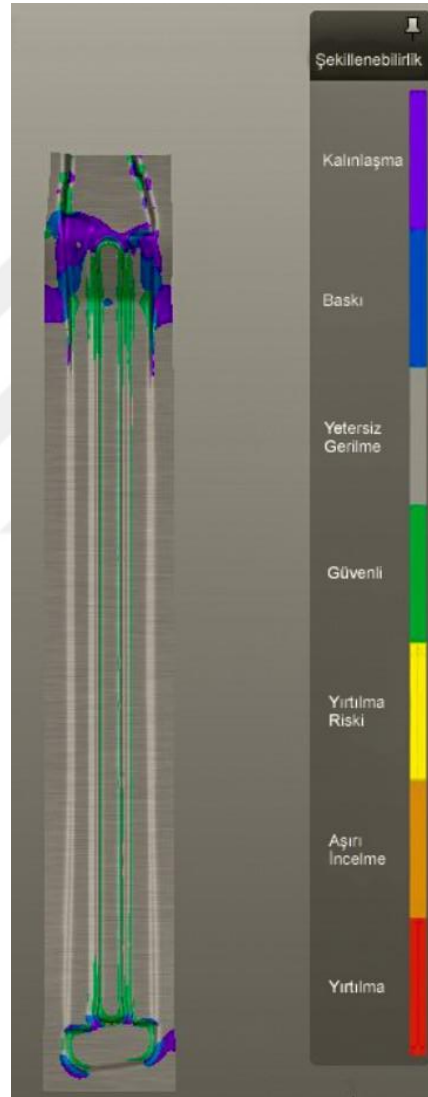
Parametre/Malzeme	Değişim (1)-(2)	Değişim (1)-(3)	Değişim (2)-(3)
Toplam Enerji Verimi (J)	11,2	32,3	19,0
Maksimum Pik Kuvvet (kN)	5,6	24,7	20,2
Özgül Verimi (%)	17,8	75,6	49,1
Enerji Verimi (%)	93,5	187,8	48,7
Ağırlık (%)	42,5	54,03	20,0

Referans Camry modeli kapı kirişine göre hem JAC980YL hem de AA6082 kapı kirişleri özgül verim, enerji verimi ve ağırlık açısından kazanç sağlamaktadır. Çarpışma esnasında optimum enerji emilimi, ortalama ezilme kuvvet verimi (özgül

verim) ve ağırlık kazancı sağlayan geometri Tasarım01 ve Al6082 malzeme ile elde edilen kapı kirişi olduğu tespit edilmiştir.

3.1.4 AA6082 kapı kirişi şekillendirme analizi sonuçları

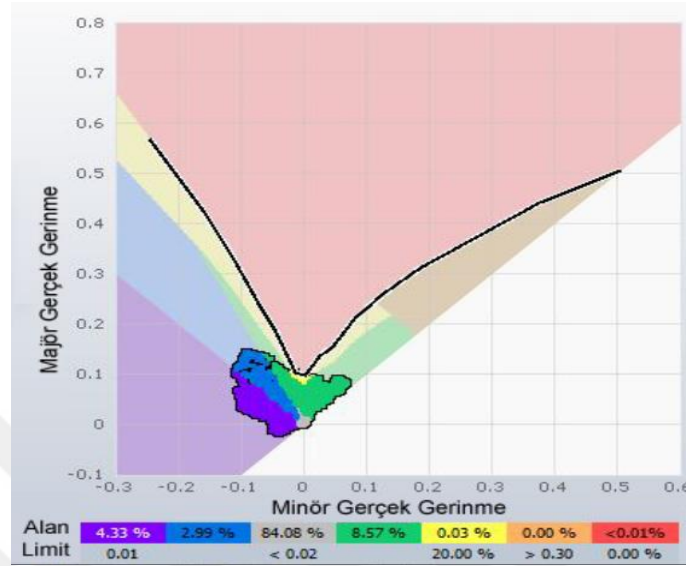
Normal potta şekillendirme analizi gerçekleştirilen (herhangi bir süzdürme elemanı olmayan) 2.0mm kalınlığa sahip kapı kirişinin şekillendirme sonrası Şekil 3.22’de görüldüğü üzere şekillendirme için yeşil renk ile belirtilen güvenli bölgelerin oluştuğu ve bazı bölgelerde mor renk ile belirtilen kalınlaşmaların oluştuğu gözlenmiştir.



Şekil 3.22 : AA6082 malzeme ile kapı kirişinin normal pot ile şekillendirme analiz görseli

Yaklaşık olarak %4 olan kalınlaşmanın düşük olması ve yırtılmaya sebep vermemesinden ötürü önem arz etmemektedir. Parçada (gri bölgeler) yeterli gerilmenin olmadığı alanların oranı %84 mertebelerindedir. Yırtılmaya maruz kalan

alanın yüzdesinin 0.01 den çok düşük olması formülleme ile ilgili büyük bir problemin olmadığını göstergesidir. Şekillendirme analizi sonrasında parçada oluşan major ve minör gerinmelerin gösterildiği Şekillendirme Limit Diyagramı (FLD) Şekil 3.23’de gösterilmektedir.



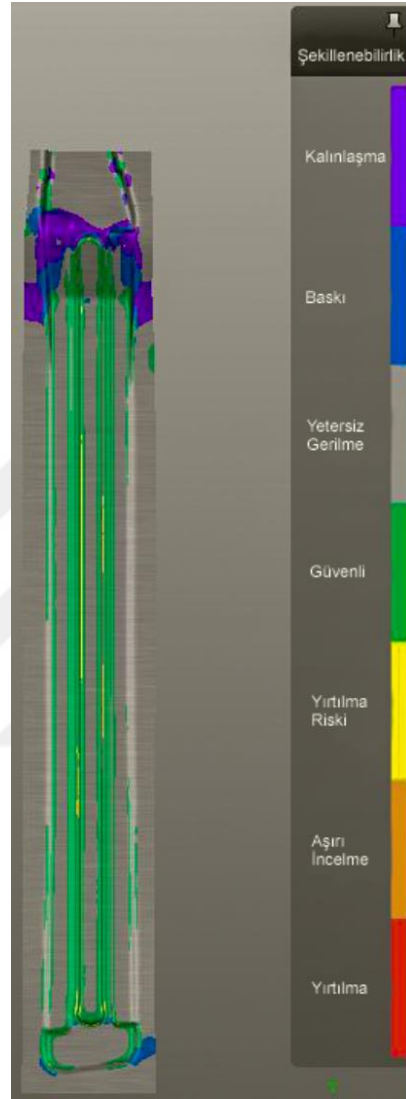
Şekil 3.23 : AA6082 malzemeli kapı kirişi için şekillendirme limit diyagramı (süzdürmesiz)

Şekillendirmenin gerçekleştirilebilmesi için ihtiyaç duyulan pot kuvvetinin Şekil 3.24 de yeşil renk ile gösterildiği üzere 155.9 kN, kırmızı renk ile gösterilen zımba kuvvetinin 2529.9 kN ve mavi renk ile gösterilen alanda ise kalıp kuvvetinin 2685.7 kN olduğu saptanmıştır. Mor bölge ise ağırlığı temsil etmekte ve 11 N a karşılık gelmektedir. Bundan sonra gerçekleştirilecek tüm şekillendirme analizinde elde edilen kuvvet grafiklerindeki renklendirmeler aynı parametrelere tabkül edecektir.



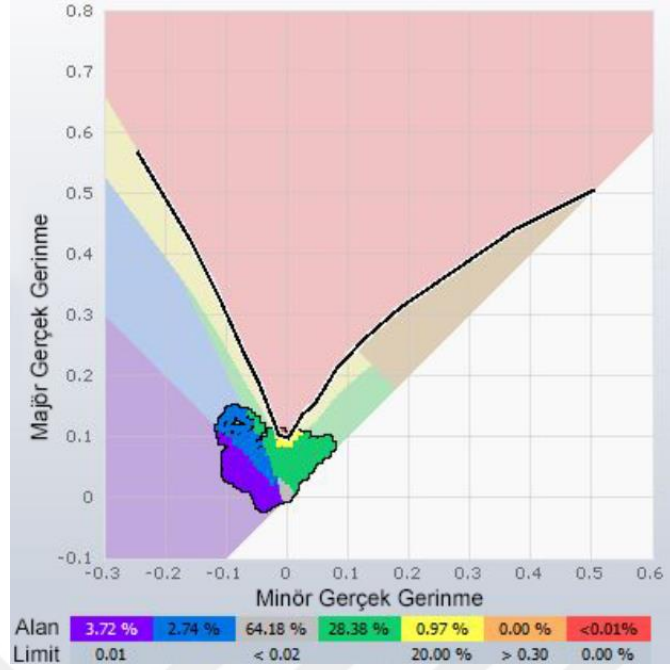
Şekil 3.24 : Şekillendirme kuvvet değerleri (süzdürmesiz)

Yeterli gerilmelerin oluşmadığı bölgelerde malzeme akışını kontrol etmek amacıyla dışı kalıp yüzeyinde yarı silindirik çıkıntı olan süzdürme çubuğu eklenmiştir. Şekil 3.25’de görüldüğü üzere süzdürmenin olmadığı duruma göre şekillenen parçada daha fazla güvenli alanlar meydana gelmektedir.



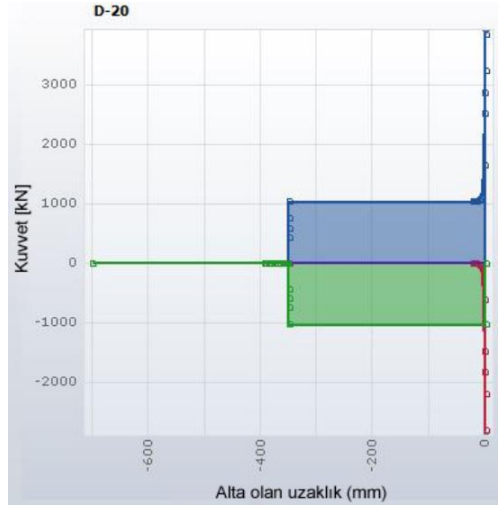
Şekil 3.25 : AA6082 malzemeli kapı kirişinin süzdürme çubuğu ile şekillendirme analizi

Süzdürme çubuğu ile şekillenmenin gerçekleştirilmesi sonucunda kalınlaşma yüzdesinin % 4,33 ‘ten % 3.72’ e düştüğü ve yeterli gerilmelerin olmadığı bölgelerin azaldığı ve % 64,18 düştüğü gözlenmiştir. Şekillendirme analizi sonucunda parçalarda yeşil bölgelerin yüksek olması beklenir. AA6082 malzemeli kapı kirişin şekillenmesi için kullanılan süzdürme çubuğu ile güvenli bölgeler %28,38 çıktığı tespit edilmiştir. Şekillendirme analizi sonrasında parçada oluşan major ve minör gerilmelerin gösterildiği Şekillendirme Limit Diyagramı (FLD) Şekil 3.26’da gösterilmektedir.



Şekil 3.26 : AA6082 malzemeli kapı kirişi için şekillendirme limit diyagramı (süzdürmeli)

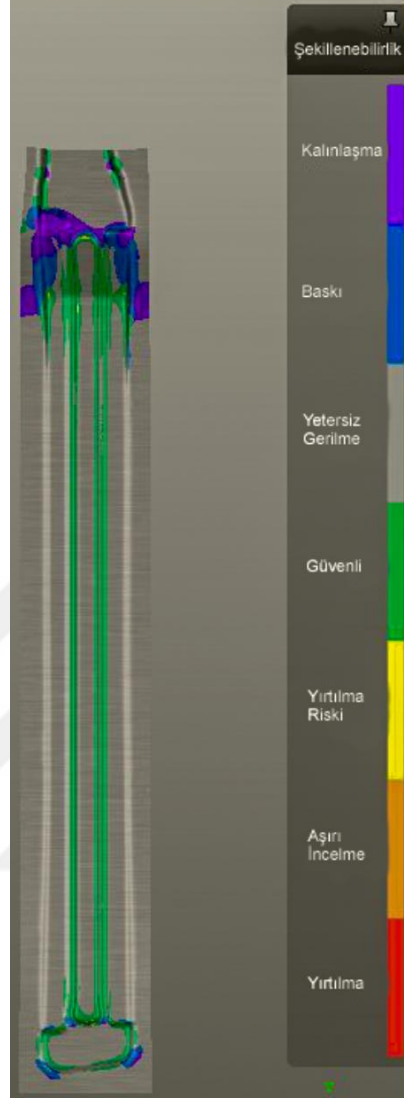
Süzdürmeli olarak gerçekleştirilen şekillendirme sonucunda yeşil renk ile gösterilen pot kuvvetinin süzdürmesiz olarak gerçekleştirilen şekillendirmeye göre arttığı ve 1032.6 kN yükseldiği gözlemlenmiştir. Daha yüksek tonajların gerekmesinin nedeni süzdürme çubuğu formunu şekillendirirken presin ekstra kuvvet harcamasıdır. Zımbada ise 2814.1 kN kuvvet (kırmızı çizgi) oluşmaktadır. Şekillendirme analizi sonucunda ortaya çıkan kalıp kuvvet değerleri Şekil 3.27’de gösterilmektedir.



Şekil 3.27 : Süzdürme çubuğu ile gerçekleştirilen şekillendirme kuvvet değerleri

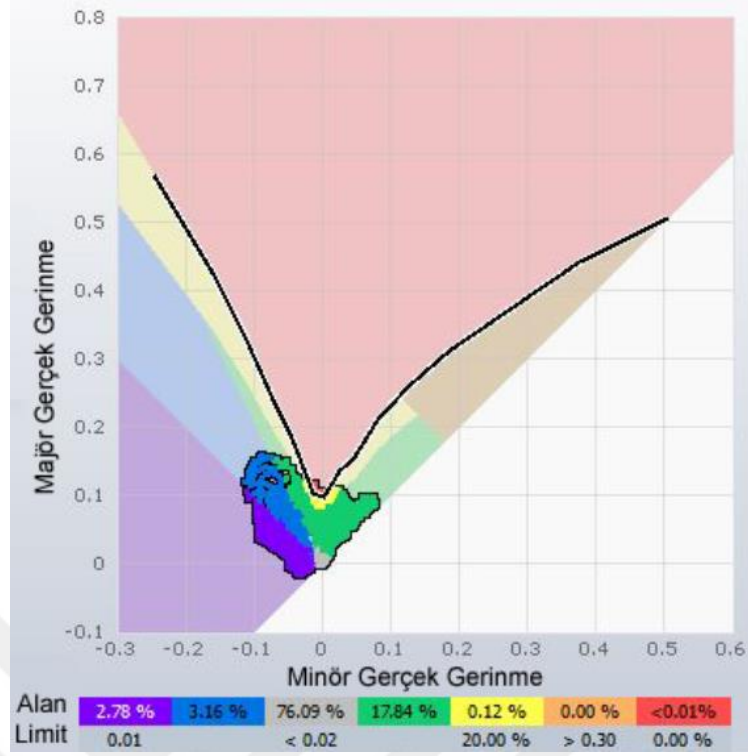
İkinci deneme olarak süzdürme çubuğu olmadan sadece pot kuvveti artırılarak şekillendirme analizi gerçekleştirilmiştir. Sacın akmasına izin verilmediği için daha sıkı

tutma yüzeyleri oluşmaktadır. Böylelikle şekillendirme analiz sonucunda Şekil 3.28'de görüldüğü üzere güvenli bölgelerde artış gözlemlenmektedir.



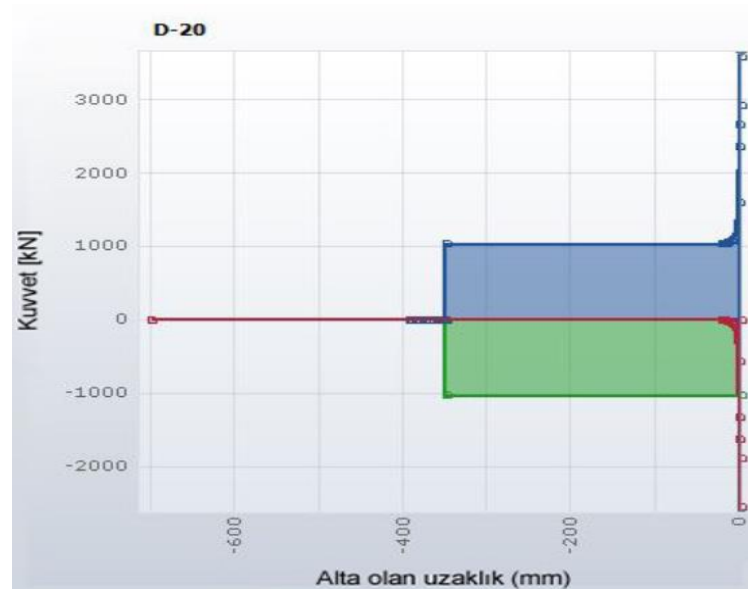
Şekil 3.28 : AA6082 malzemeli kapı kirişinin pot kuvveti artırılarak gerçekleştirilen şekillendirme analizi

Pot kuvvetinin 103 tona çıkarılması ile gerçekleştirilen şekillendirme sonucunda kalınlaşma yüzdesinin 16 ton pot kuvvetinde gerçekleştirilen şekillendirmeye göre daha az olduğu gözlemlenmiştir. Yeterli gerilmelerin olmadığı bölgelerin ise azaldığı ve % 84.08'den %76.09 düştüğü gözlenmiştir. Al6082 malzemeli kapı kirişin şekillenmesi için artırılan pot kuvveti ile güvenli bölgeler %17.84 ulaştığı tespit edilmiştir. Pot kuvveti artırılarak gerçekleştirilen şekillendirme analizi sonrasında parçada oluşan major ve minör gerilmeler belirtildiği FLD diyagramı Şekil 3.29'da gösterilmektedir.



Şekil 3.29 : AA6082 malzemeli kapı kirişinin pot kuvveti artırılarak gerçekleştirilen şekillendirme limit diyagramı

155.9 kN dan 1032.6 kN çıkarılan pot kuvveti ile zımba ve kalıp için kuvvet değerlerinin değiştiği tespit edilmiştir. Zımbada büyük bir değişiklik gözlenmemesine karşın dişi kalıp için gerekli olan kuvvet değeri (mavi renk) 3583.7 kN'a çıkmıştır. Pot kuvveti artışına bağlı olarak ortaya çıkan kuvvet değerleri Şekil 3.30'da gösterilmektedir.



Şekil 3.30 : Pot kuvveti artırılmış şekillendirme kuvvet değerleri

Şekillendirme sonucuna göre süzdürme olmadan sadece pot kuvveti ile gerilmelerin arttığı ve güvenli bölgelerin sağlandığı parçada görülmüştür.

Üçüncü aşamada pot kuvveti 103 tonda sabitlenerek süzdürmeli çubuğu eklenerek şekillendirme analizi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen şekillendirme sonucunda kalınlaşma yüzdesinin 103 ton pot kuvvetinde süzdürme çubuğu olmadan gerçekleştirilen şekillendirmeye göre % 3.72 lik değer ile daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Yeterli gerilmelerin olmadığı bölgelerin ise süzdürmesiz şekillendirmeye göre daha az olduğu tespit edilmiştir. Al6082 malzemeli kapı kirişin şekillenmesi için kullanılan süzdürme çubuğu ile parçada daha güvenli bölgeler gözlemlenmektedir.

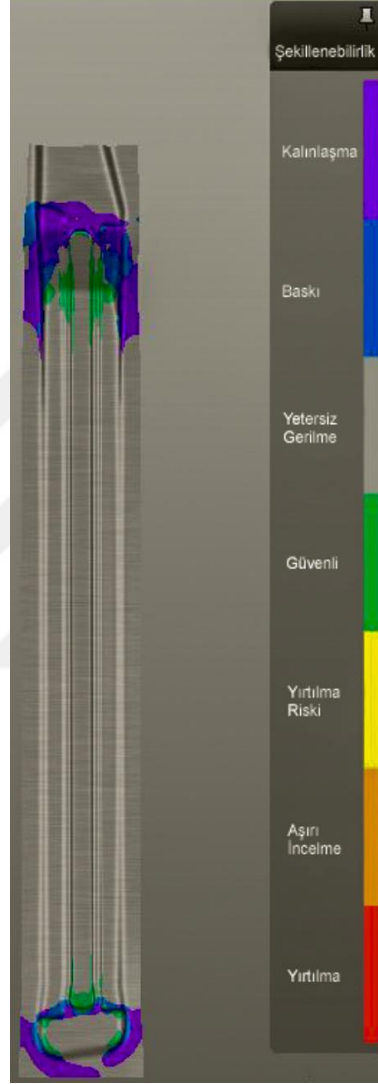
Sonuç olarak normal pot kuvvetinde, süzdürme çubuğu eklenmesi ve pot kuvveti artırılmış süzdürme çubuğu olmadan Al6082 malzemeden elde edilen kapı kirişinin için gerçekleştirilen şekillendirme analizi sonuna göre 104 tonda süzdürme çubuğu ile gerçekleştirilen şekillendirmenin optimum olduğu tespit edilmiştir. Gerçekleştirilen tüm şekillendirme denemeleri Çizelge 3.9’da tanımlanmaktadır.

Çizelge 3.9 : AA6082 malzemeli kapı kirişi şekillendirme analiz sonuçları.

Ölçülen Parametre/ Şekillendirme Türü	Normal pot kuvvetinde	Süzdürme çubuğuyla	Pot kuvveti arttırılmış süzdürme- siz
Pot Kuvveti (kN)	155.9	1032.6	1032.6
Zımba Kuvveti (kN)	2552.9	2814.2	2551.1
Dişi Kalıp Kuvveti (kN)	2685.7	3846.8	3583.7
Güvenli bölgeler (%)	8.57	28.38	17.84
Yetersiz gerilme (%)	84.08	64.18	76.09
Kalınlaşma (%)	4.33	3.72	2.78
Yırtılma (%)	<0.01	<0.01	<0.01

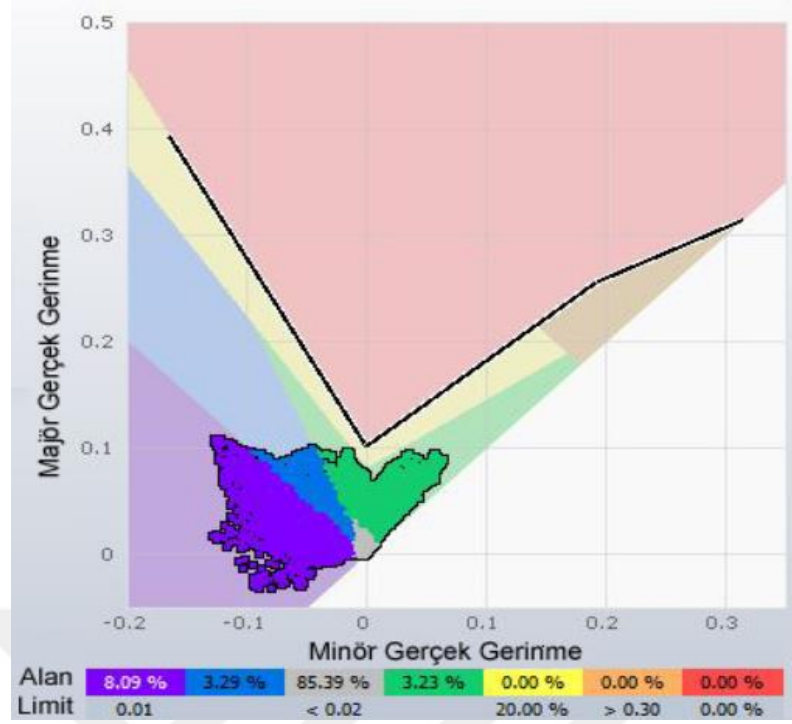
3.1.5 JAC980YL malzemesinin şekillendirme analizi

Normal potta şekillendirme analizi gerçekleştirilen (herhangi bir süzdürme elemanı olmayan) 0.8 mm kalınlığa sahip kapı kirişinin şekillendirme sonrası Şekil 3.31’de görüldüğü üzere şekillendirme için güvenli bölgelerin oluştuğu ve bazı bölgelerde mor renk ile belirtilen kalınlaşmaların oluştuğu gözlenmiştir.



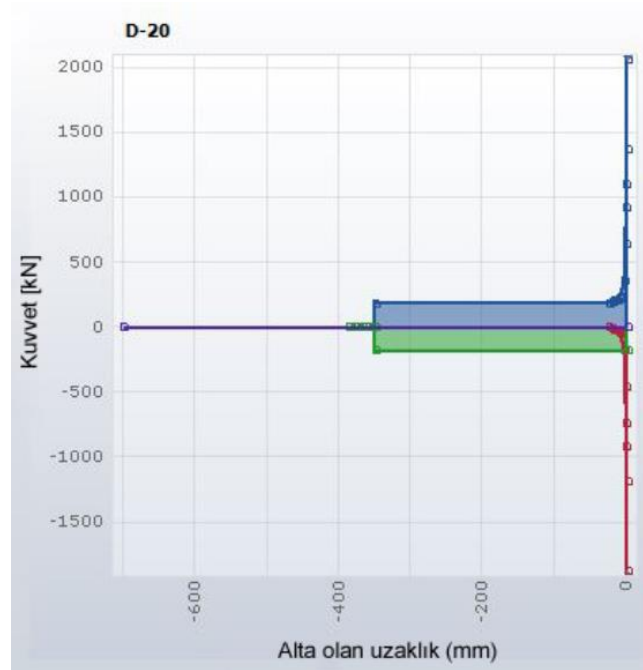
Şekil 3.31 : JAC980YL malzeme ile kapı kirişinin normal pot ile şekillendirme analizi

Yaklaşık olarak %8 olan kalınlaşmanın düşük olması ve yırtılmaya sebep vermemesinden ötürü önem arz etmemektedir. Parçada gri olarak gösterilen yeterli gerilmenin olmadığı alanların oranı %85 mertebelerindedir. Yırtılmaya maruz kalan alanın yüzdesinin 0.01 den çok düşük olması formlama ile ilgili büyük bir problemin olmadığına göstergesidir. Şekillendirme analizi sonrasında parçada oluşan major ve minör gerilmelerin gösterildiği Şekillendirme Limit Diyagramı (FLD) Şekil 3.32’de gösterilmektedir.



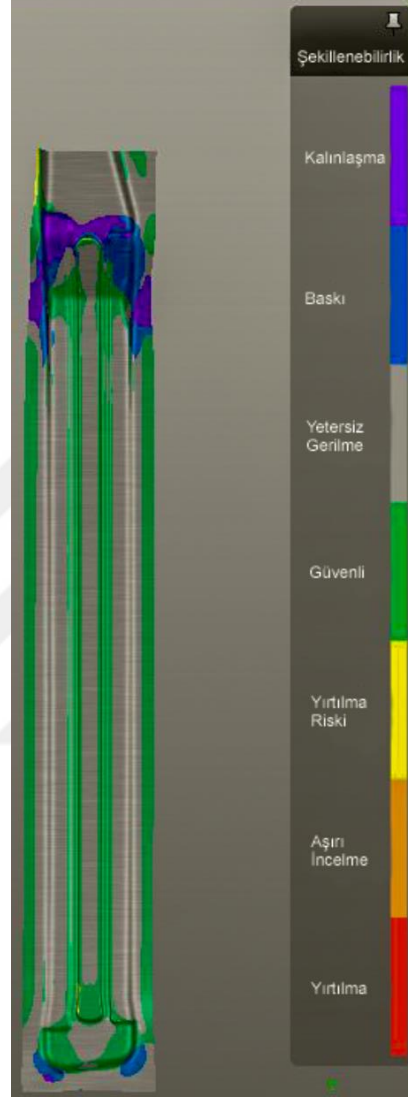
Şekil 3.32 : JAC980 malzemeli kapı kirişi için şekillendirme limit diyagramı (süzdürmesiz)

Şekillendirmenin gerçekleştirilebilmesi için ihtiyaç duyulan pot kuvvetinin 181.5 kN olduğu saptanmıştır. Zımba için ise 1869.6 kN kuvvet oluşmaktadır. Şekillendirme analizi sonucunda ortaya çıkan kalıp kuvvet değerleri Şekil 3.33’de gösterilmektedir.



Şekil 3.33 : JAC980YL malzemeli kapı kirişinin şekillendirme kuvvet değerleri (süzdürmesiz)

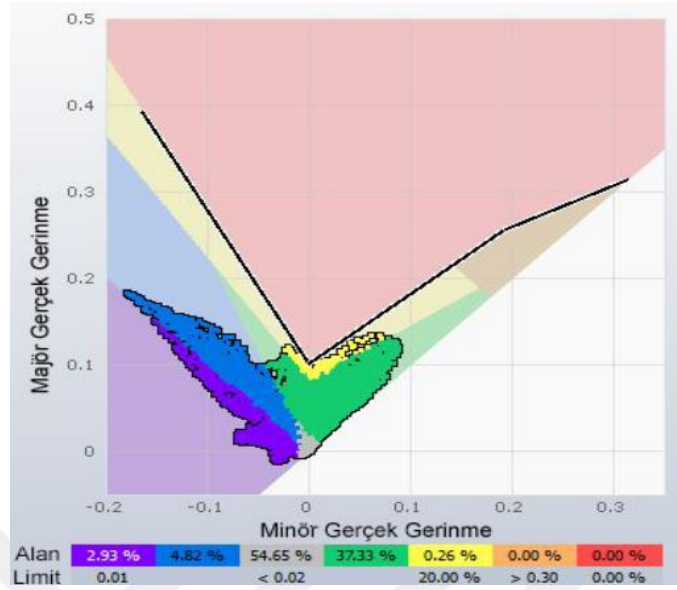
Yeterli gerilmelerin oluşmadığı bölgelerde malzeme akışını kontrol etmek amacıyla dışı kalıp yüzeyinde yarı silindirik çıkıntı olan süzdürme çubuğu eklenmiştir. Şekil 3.34’de görüldüğü üzere süzdürmenin olmadığı duruma göre şekillenen parçada daha fazla güvenli alanlar meydana gelmektedir.



Şekil 3.34 : JAC980YL malzemeli kapı kirişinin süzdürme çubuğu ile şekillendirme analizi

Süzdürme çubuğu ile şekillenmenin gerçekleştirilmesi sonucunda kalınlaşma yüzdesinin % 8.03’ den % 2.93’e düştüğü ve yeterli gerilmelerin olmadığı bölgelerin azalarak % 54.65 düştüğü gözlenmiştir. Şekillendirme analizi sonucunda parçalarda yeşil bölgelerin yüksek olması beklenmektedir. JAC980YL malzemeli kapı kirişin şekillenmesi için kullanılan süzdürme çubuğu ile güvenli bölgelerin %37,33 çıktığı tespit edilmiştir. Şekillendirme analizi sonrasında parçada oluşan major ve minör

gerinmelerin gösterildiği Şekillendirme Limit Diyagramı (FLD) Şekil 3.35’de gösterilmektedir.



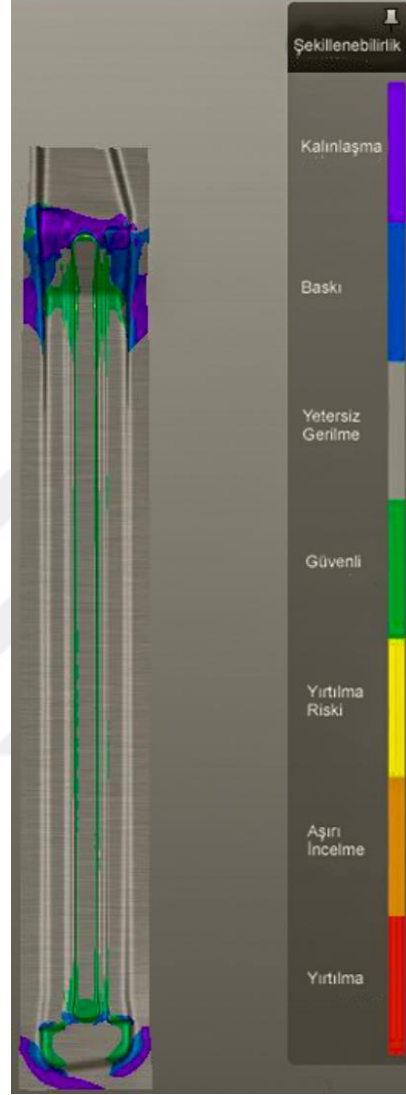
Şekil 3.35 : JAC980YL malzemeli kapı kirişi için şekillendirme limit diyagramı (süzdürmesiz)

Süzdürmeli olarak gerçekleştirilen şekillendirme sonucunda pot kuvvetinin süzdürmesiz olarak gerçekleştirilen şekillendirmeye göre arttığı ve 1433.9 kN yükseldiği gözlemlenmiştir. Daha yüksek tonajların gerekmesinin nedeni süzdürme çubuğu formunu şekillendirirken presin ekstra kuvvet harcamasıdır. Zımbada ise 3445.0 kN kuvvet oluşmaktadır. Şekillendirme analizi sonucunda ortaya çıkan kalıp kuvvet değerleri Şekil 3.36’da gösterilmektedir.



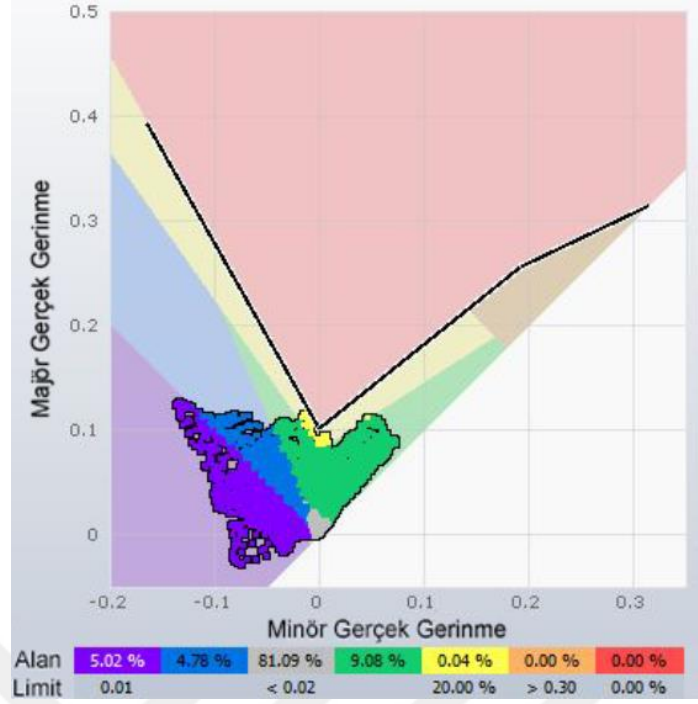
Şekil 3.36 : JAC980YL malzemeli kapı kirişinin süzdürme çubuğu ile gerçekleştirilen şekillendirme kuvvet değerleri

İkinci deneme olarak süzdürme çubuğu olmadan sadece pot kuvveti artırılarak şekillendirme analizi gerçekleştirilmiştir. Sacın akmasına izin verilmediği için daha sıkı tutma yüzeyleri oluşmaktadır. Böylelikle şekillendirme analiz sonucunda Şekil 3.37’de görüldüğü üzere güvenli bölgelerde artış gözlemlenmektedir.



Şekil 3.37 : JAC980YL malzemeli kapı kirişinin pot kuvveti artırılarak gerçekleştirilen şekillendirme analizi

Pot kuvvetinin 143 tona çıkarılması ile gerçekleştirilen şekillendirme sonucunda kalınlaşma yüzdesinin 18 ton pot kuvvetinde gerçekleştirilen şekillendirmeye göre daha az olduğu gözlemlenmiştir. Yeterli gerilmelerin olmadığı bölgelerin ise azalarak %85.39’dan %81.09 düştüğü gözlemlenmiştir. JAC980YL malzemeli kapı kirişin şekillenmesi için artırılan pot kuvveti ile güvenli bölgeler % 9.08’e ulaştığı tespit edilmiştir. Pot kuvveti artırılarak gerçekleştirilen şekillendirme analizi sonrasında parçada oluşan major ve minör gerilmeler belirtildiği FLD diyagramı Şekil 3.38’de gösterilmektedir.



Şekil 3.38 : JAC980YL malzemeli kapı kirişinin pot kuvveti artırılarak gerçekleştirilen şekillendirme limit diyagramı

181.5 kN'dan 1433.9 kN'a çıkarılan pot kuvveti ile zımba ve dişi kalıp için kuvvet değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. Zımba 2385.3 kN ve dişi kalıp için gerekli olan kuvvet değeri 3819.2 kN'a çıkmıştır. Pot kuvveti artışına bağlı olarak ortaya çıkan kuvvet değerleri Şekil 3.39'da gösterilmektedir.



Şekil 3.39 : JAC980YL malzemeli kapı kirişi için pot kuvveti arttırılmış şekillendirme kuvvet değerleri

Şekillendirme sonucuna göre süzdürme olmadan sadece pot kuvveti ile gerilmelerin artışı ve güvenli bölgelerin sağlandığı parçada görülmüştür.

Üçüncü aşamada pot kuvveti 1433.9 kN’da sabitlenerek süzdürmeli çubuğu eklenerek şekillendirme analizi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen şekillendirme sonucunda kalınlaşma yüzdesinin 1433.9 kN pot kuvvetinde süzdürme çubuğu olmadan gerçekleştirilen şekillendirmeye göre % 5.02’den % 2.93’e düştüğü gözlemlenmiştir. Yeterli gerilmelerin olmadığı bölgelerin ise pot kuvveti artırılmış süzdürmesiz şekillendirmeye göre %54.65 ile daha az olduğu tespit edilmiştir. JAC980YL malzemeli kapı kirişin şekillenmesi için kullanılan süzdürme çubuğu ile parçada daha güvenli bölgeler gözlemlenmektedir. Ancak yüksek pot kuvveti gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

Sonuç olarak normal pot kuvvetinde, süzdürme çubuğu eklenmesi ve pot kuvveti artırılmış süzdürme çubuğu olmadan JAC98YL malzemenin elde edilen kapı kirişi için gerçekleştirilen şekillendirme analizi sonuna göre 143 tonda süzdürme çubuğu ile gerçekleştirilen şekillendirmenin optimum olduğu tespit edilmiştir. Gerçekleştirilen tüm şekillendirme denemeleri Çizelge 3.10’da tanımlanmaktadır.

Çizelge 3.10 : JAC980YL malzemeli kapı kirişi şekillendirme analiz sonuçları.

Ölçülen Parametre/ Şekillendirme Türü	Normal pot kuvvetinde	Süzdürme çubuğuyla	Pot kuvveti artırılmış süzdürmesiz
Pot Kuvveti (kN)	181.5	1443.39	1443.9
Zımba Kuvveti (kN)	1869.6	3445.0	3819.2
Dişi Kalıp Kuvveti (kN)	2051.1	4876.9	3819.2
Güvenli bölgeler (%)	3.23	37.33	9.08
Yetersiz gerilme (%)	85.39	54.65	81.09
Kalınlaşma (%)	8.09	2.93	5.02
Yırtılma (%)	<0.01	<0.01	<0.01

AA6082 ve JAC980YL malzemeli kapı kirişlerinin şekillendirme analizleri gerçekleştirilerek sonuçları karşılaştırmalı olarak Çizelge 3.11’de sunulmaktadır.

Çizelge 3.11 : AA6082 ve JAC980YL malzemeli kapı kirişlerinin şekillendirme analiz sonuçları.

Malzeme/ Ölçülen Parametre	Pot Kuvveti (kN)	Zimba Kuvveti (kN)	Dişi Kalıp Kuvveti (kN)	Güvenli bölgeler (%)	Yetersiz gerilme (%)	Kalınlaşma (%)	Yırtılma (%)
AA6082 (t=2.0mm)	1032.6	2814.2	3846.8	28.38	64.18	3.72	<0.01
JAC980YL(t=0.8mm)	1443.39	3445.0	4876.9	37.33	54.65	2.93	<0.01

3.2 Maliyet Analizi Sonuçları

Kapı kirişinin çarpışma performans kriterlerini sağlaması ve şekillendirilebilirliğin dışında seri üretim koşullarında önemli bir parametre olan maliyet AA6082 ve JAC980YL malzemeler için bu bölümde değerlendirilmiştir.

Çarpışma performansını temsil eden 3-nokta eğme analizi sonucunda optimum sonuçlar AA6082 malzeme ile 2.0 mm kalınlık ve Tasarım01 elde edilmiştir. Bu doğrultuda kapı kirişinin toplam ağırlığı 416 gramdır. JAC980YL malzeme ile 0.8 mm kalınlık ve Tasarım02 ile optimum sonuçlar elde edilmiş ve kapı kirişi toplam ağırlığı 520 gr. dir. Her iki malzeme için maliyet karşılaştırması Çizelge 3.12’de gösterilmektedir.

Çizelge 3.12 : AA6082 ve JAC980YL malzemelerden elde edilecek kapı kirişinin birim parça maliyeti.

Malzeme	Ağırlık (gr.)	Maliyet (€/kg)	Maliyet (₺/kg)	Birim parça maliyeti (₺/parça)
AA6082	416	5,19	32,82	14
JAC980YL	520	7,63	48,22	25

Maliyet analizine göre birim kilogramda alüminyum sac malzemenin daha ucuz ve parça ağırlığının JAC980YL malzeme ve parçaya göre daha az olmasından dolayı maliyet açısından AA6082 alüminyum malzemenin kapı kirişi için kullanımının daha uygun olduğu tespit edilmiştir.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez kapsamında yandan çarpışmalı kazalarda meydana gelmekte olan çarpışma kuvvetinin absorbe edilmesini sağlayan pasif güvenlik sistemi bir kapı kirişinin çelik ve alüminyum malzeme kullanılarak modellenmesi ve analizi üzerine karşılaştırılması konusunda çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Optimum enerji Emilimi, özgül verim sağlayan kapı kirişinin tespit edilmesi amacıyla bir referans model seçilmiştir (Toyota Camry). Çalışma kapsamında preste soğuk şekillendirme ile üretilebilecek bir kapı kirişi CATIA V5 programı kullanılarak tasarlanmıştır (Tasarım01). Yandan çarpışmalı kazalarda çarpışma kuvvetinden etkilenen sadece pasif güvenlik elemanları olmamakla birlikte kapı, B-pillar gibi parçalarda bu kuvvetin bir kısmını absorbe etmektedir. Bu sebeple çarpışma analizlerde genellikle aracın kapı dahil yan bölümünün tamamı analiz edilmektedir. Ancak analiz çıktılarının çok uzun sürede gerçekleşmesinden dolayı analiz maliyetleri yüksek olmaktadır. Bu çalışma kapsamında hem kapı kirişinin yekpare olarak çarpışma anındaki performansını tespit etmek hem de süre ve maliyetten kazanmak amacıyla 3-nokta eğme analizi yaklaşım açısından tercih edilmiştir. Referans Camry modeli baz alınarak AA6082 ve JAC980YL malzemelerinin 100 mm yerdeğiştirmedeki enerji Emilimi ve pik kuvvetleri karşılaştırılmıştır. AA6082 malzemesi ile gerçekleştirilen analizlerde referans parçaya göre daha yüksek enerji Emilimi ve daha düşük pik kuvvet elde edilmiştir. Kalınlık artışının enerji Emilimini arttırdığı ve pik kuvveti ise düşürdüğü sonucuna varılmıştır. AA6082 malzeme ile 2.5 mm kalınlıktaki kapı kirişine göre 2.0 mm kalınlıktaki kapı kirişi ile optimum değerlerin elde edildiği sonucuna varılmıştır. JAC980YL malzeme ile Tasarım01 kullanılarak gerçekleştirilen analizde referans parçaya göre daha iyi enerji Emilimi elde edilmesine karşı pik kuvvet daha yüksek kalmıştır. Pik kuvvetin düşürülmesi amacıyla kapı kirişinin merkezi etfarında oluşturulan çentik bölgeleri ile bu kuvvet değerinin düştüğü ve istenilen seviyelere geldiği tespit edilmiştir. Nihai olarak JAC980YL malzemesiyle Tasarım 02 kullanılması durumunda 0.8 mm kalınlık ile referans parçaya göre dahi iyi özellikte bir kapı kirişi elde edilmiştir.

Herhangi bir darbe absorbe edici elemanın performansının doğru tayin edilebilmesi için enerji Emilimi ve pik kuvvet değerlendirmesinin yanı sıra enerji verimi ve özgül verim sonuçlarının da dikkate alınması gerekmektedir. AA6082 ve JAC980YL

malzemeli kapı kırışlerinin her ikisinde enerji ve özgül verimi referans parçaya göre istenilen seviyededir. Gerçekleştirilen 3-nokta eğme analizine göre AA6082 malzemeli kapı kırışı 136,6 J enerji emilimi, % 32,8 enerji verimi ve % 84 özgül verim ile optimum karpı kırışı olarak saptanmıştır.

Çalışmanın ikinci bir amacı olan maksimum ağırlık kazancı sağlayan kapı kırışinin elde edilmesi yönünde yapılan inceleme doğrultusunda AA6082 malzemeli kapı kırışı referans Camry modeli kapı kırışine göre % 42.5 oranında, JAC980YL malzemeli kapı kırışine göre ise % 20 oranında daha fazla ağırlık kazancı sağlamıştır.

Çarpışma performansının yanında üretilebilirliğin de önem arz etmesinden dolayı her iki malzemenin optimum sonuçları verdiği kalınlıktaki kapı kırışı modelleri Autoform analiz programı kullanılarak şekillendirme analizine tabi tutulmuştur.

Normal kuvvet altında hem AA6082 hemde JAC980YL malzemesinin kullanıldığı kapı kırışlerinin yetersiz gerilmelerin fazla olduğu tespit edilmiştir. Süzdürme çubuğu kullanılarak gerçekteştirilen şekillendirmelerde yetersiz gerilme alanlarının azaldığı ve parça üzerinde güvenli bölgelerin arttığı sonucuna varılmıştır. Süzdürme çubuğu şekillenirken pres ekstra olarak kuvvet harcamaktadır. Bu nedenle süzdürme çubuğu ile şekillendirme için gerekli pot kuvvetleri süzdürmesiz gerçekteştirilene göre daha yüksektir. Sadece kuvvet artırılmış ve süzdürme çubuğu kullanılmadığı durumlarda ise normal kuvvet altında gerçekteştirilen şekillendirmeye göre daha fazla güvenli alanlar elde edilmiş ve yeterli gerilmelerin olmadığı alanların yüzdesi düşürülmüştür.

AA6082 malzemeli kapı kırışı için 1032.6 kN pot kuvvetinde süzdürmeli ve JAC980YL malzemeli kapı kırışı için 1433.9 kN pot kuvvetinde süzdürmeli olarak gerçekteştirilen şekillendirmelerde optimum sonuçlar elde edilmiştir.

Son olarak maliyet açısından her iki malzemeyi kıyasladığımızda AA6082 malzemesi JAC980YL malzemesinden birim maliyet açısından daha uygundur. Gerçekteştirilen sonlu elemanlar analiz sonucunda referans kapı kırışine göre dahi iyi bir performans sergilemesi aynı zamanda JAC980YL malzemeli kapı kırışine göre daha hafif bir kapı kırışı olmasında göz önünde bulundurulduğunda AA6082 malzemeli kapı kırışinin üretimi maliyet açısından daha avantajlı olduğu ortaya konulmuştur.

KAYNAKLAR

- [1] **Trafik İstatistik Bülteni.** (2018). Erişim: 5 Ocak 2019, <http://www.trafik.gov.tr/SiteAssets/istatistik/2018.pdf>
- [2] **Yan Darbe.** (t.y.). Erişim: 25 Kasım 2018, <https://www.euroncap.com/en/vehicle-safety/the-ratings-explained/adult-occupant-protection/side-mobile-barrier/>
- [3] **Reducing CO2 Emissions Ffrom Passenger Cars.** (t.y.). Erişim: 25 Kasım 2018, https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/cars_en
- [4] **Proposal for Post-2020 CO2 Targets For Cars And Vans.** (t.y.). Erişim: 25 Kasım 2018, https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/proposal_en
- [5] **Ghadianlou, A. ve Abdullah, S. B.** (2013). Crashworthiness Design of Vehicle Side Door Beams Under Low-Speed Pole Side Impacts, *Thin-Walled Structures*, 67, 25-33.
- [6] **Lim T. S., Lee D. G.** (2002). Mechanically Fastened Composite Side-Door İmpact Beams For Passenger Cars Designed for Shear-Out Failure Modes, *Composite Structures*, 56, 211–221.
- [7] **Cerniauskas, E., Kersys, A., Lukosevicius, V., Sapragonas, J.** (2010). Investigation of Anti-Intrusion Beams in Vehicle Side Doors, *Mechanika*, 86(6), 11-16.
- [8] **Yoon, T. H., Kim, H., Heo, C., Kwon J.** (2016). An Experiment And FE Simulation For The Development of a SPFCF 1180 AHSS One-Body Door İmpact Beam About A Car Side Collision, *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 17 (1), 81–89.
- [9] **Davies, G.** (2003). *Materials for Automobile Bodies*. İngiltere, Elsevier.
- [10] **World AutoSteel.** (2014). Advanced High-Strength Steels Applications Guidelines Version 5.0, Erişim: 18 Aralık 2018, <https://www.autosteel.org>
- [11] **Megson, T.** (2007). *Aircraft Structures for Engineering Students*. İngiltere, Elsevier.
- [12] **Dowling, N. E.** (1993). *Mechanical Behavior of Materials – Engineering Methods for Deformation, Fracture and Fatigue*, İngiltre: Pearson Education Limited
- [13] **X. Zhang, H. Zhang, and Z. Wang.** (2015). Bending Collapse of Square Tubes with Variable Thickness, *International Journal of Mechanical Sciences*, 106, 107–116.
- [14] **Tang, T., Zhang, W., Yin, H., Wang, H.** (2016). Crushing Analysis of Thin-Walled Beams with Various Section Geometries Under Lateral İmpact, *Thin-Walled Structures*, 102, 43–57.
- [15] **Hirsch, J.** (2004). Automotive Trends in Aluminum- The European Perspective, *Metal Forums*, 28, 19.

- [16] **Başer, T. A.** (2012). Alüminyum Alaşımları ve Otomotiv Endüstrisinde Kullanım Alanları, *Mühendis ve Makine Dergisi*, 635(53), 51-58.
- [17] **Brown, K. R., Venie, M.S., Woods, R.A.** (1995). The Increasing Use of Aluminum in Automotive Applications, *Journal of Metals*, 47(7), 20-23.
- [18] **The Aluminium Extruders Council.** (2012). Erişim: 18 Ekim 2018, <https://www.aec.org>
- [19] **Green J.** (1999). The Aluminum “Industry of the Future” Partnership: Experience and Materials Needs, *The Aluminum Association*, (ss:20). Washington, Eylül.
- [20] **Advanced high strength steel (AHSS) Application Guidelines.** (2009). Erişim: 15 Aralık 2018, www.worldautosteel.org
- [21] **Billur E., Altan T.** (2013). Three Generations of Advanced High-Strength Steels for Automotive Applications Part I, *Stamping Journal*, 16-17.
- [22] **Dual Phase Steels.** (t.y.). Erişim: 22 Mart 2019, <https://www.cbmm.com/-/media/CBMM/Resource-Center/PDFs/Mobility---Mobilidade/Niobium-in-Dual-Phase-Steels.ashx>
- [23] **Riebeck, J.** (2011). The Riddle Of Steel: A-UHSS, Erişim: 15 Mayıs 2018, <https://www.stle.org>
- [24] **Dijk, N.H., Butt, A.M., Zhao, L., Sietsma, J., Offerman, S.E., Wright, J.P., Zwaag, S.** (2005). Thermal Stability of Retained Austenite in TRIP Steels Studied by Synchrotron X-Ray Diffraction During Cooling, *Acta Materialia*, 53, 5439-5447.
- [25] **Knijf D., Petrov R., Föjler C., Kestens L.A.I.** (2014). Ocas Activity Report 2014-2015, *Material Science and Engineering-A- Structural Materials*, 615, 107-115.
- [26] **Cooman, B.C.,** (2004). Structure–Properties Relationship in TRIP Steels Containing Carbide-Free Bainite, *Current Opinion in Solid State and Materials Science*, 8, 285-303.
- [27] **Shi, W., Li, L., Yang, C.X., Fu, R.Y. L, Wollants, W. P.** (2006). Strain İnduced Transformation of Retained Austenite İn Low Carbon Low Silicon TRIP Steel Containing Aluminum And Vanadium, *Materials Science and Engineering A*, 429, 247-251.
- [28] **Dasa, S., Timokhinab, I., Singhc, S.B., Perelomad, E., Mohantye, O.N.** (2012). Effect Of Bainitic Transformation On Bake Hardening In Trip Assisted Steel *Materials Science and Engineering A*, 534, 485-494.
- [29] **Gould, J.E., Khurana, S.P., Li, T.** (2006). Predictions of Microstructures When Welding Automotive Advanced High-Strength Steels, *Welding Journal*, 111–116.
- [30] **Tata Steel.** Cold-rolled CP800-GI highly bendable roll forming steel, Erişim: 21.03.2019, https://www.tatasteeleurope.com/static_files
- [31] **Ghadianlou, A., Abdullah, S.B.** (2013). Crashworthiness Design of Vehicle Side Door Beams under Low-Speed Pole Side Impacts, *Thin-Walled Structures*, 67, 25–33.

[32] **Rebello, P. M.** (2016). *Design Study of a Side Intrusion Beam for Automotive Safety* (Yüksek Lisans Tezi). Instituto Superior Tecnico, Lisboa, Portugal, 1-10.

[33] **Abdollah, M.F., Hassan, R.** (2013). Preliminary Design of Side Door Impact Beam for Passenger Cars Using Aluminium Alloy, *Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 5(1), 11-18.

[34] **Yamashita, H. ve Hirano M.** (2000). Research on the Application of Aluminum Door Beam for Automobiles, *Seoul 2000 FISITA World Automotive Congress*, (ss. 1-6), Seoul, Korea.

[35] **Nemani, R. K. ve Arakerimath, R.** (2015). TAGUCHI Based Design Optimization of Side Impact Beam for Energy Absorption, *International Journal for Advance Research in Engineering and Technology*, 3, 100-104.



ÖZGEÇMİŞ

TARANMIŞ
VESİKALIK
FOTOĞRAF

Ad-Soyad : Zeynep Begüm Kurt

Doğum Tarihi ve Yeri : 15/05/1991-Bursa

E-posta : zeynepbegumkurt@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2014, Anadolu Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği
- **Yüksek Lisans** : 2019, Bursa Teknik Üniversitesi, İleri Teknolojiler ABD, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- İnovasyon ve Fikri Haklar Sorumlusu, Toksan Yedek Parça İmalat Ticaret ve Sanayi A.Ş, Ar & Ge, (2015-)