

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE KULLANILAN AMORTİSÖR
BRAKET PARÇASININ KARBON AYAK İZİNİN AZALTILMASI**

ARZU AÇIKGÖZ

KOCAELİ 2025

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE KULLANILAN AMORTİSÖR
BRAKET PARÇASININ KARBON AYAK İZİNİN AZALTILMASI

ARZU AÇIKGÖZ

Doç. Dr. Murat MAKARACI
Danışman, Kocaeli Üniversitesi

.....

Dr. Öğr. Üyesi Okan GÜL
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi

.....

Dr. Öğr. Üyesi Osman SİMAV
Jüri Üyesi, Beykent Üniversitesi

.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 23.06.2025

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ

Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez/proje çalışmada,

- Bu tezin/projenin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu,
- Çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı,
- Bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi,
- Bu çalışmanın Kocaeli Üniversitesi'nin abone olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun olduğunu,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Tezin/Projenin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez/proje çalışması olarak sunmadığımı,

beyan ederim.

☐ Bu tez/proje çalışmasının herhangi bir aşaması hiçbir kurum/kuruluş tarafından maddi/alt yapı desteği ile desteklenmemiştir.

☒ Bu tez/proje çalışması kapsamında üretilen veri ve bilgiler Ulus Metal Sanayi ve Ticaret A.Ş. tarafından alt yapı desteği alınarak gerçekleştirilmiştir.

Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Arzu AÇIKGÖZ

YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI

Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/projemin tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda belirtilen koşullarla kullanıma açma izninin Kocaeli Üniversitesi'ne verdiğimi beyan ederim. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin/projemin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanımı bana ait olacaktır.

Tezin/projenin kendi özgün çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin/projenin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim kurulu tarafından yayınlanan ***“Lisanüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge”*** kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricinde YÖK Ulusal Tez Merkezi/ Kocaeli Üniversitesi Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

- ☐ Enstitü yönetim kurulu kararı ile tezimin/projemin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 2 yıl ertelenmiştir.
- ☐ Enstitü yönetim kurulu gerekçeli kararı ile tezimin/projemin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 6 ay ertelenmiştir.
- ☒ Tezim/projem ile ilgili gizlilik kararı verilmemiştir.

Arzu AÇIKGÖZ

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Dünyada hızla artan sıcaklık artışlarından dolayı insanlık olarak bazı önlemler alınması zorunluğa doğmuştur. Bu önlemlerden biri de karbon ayak izi hesaplama ve azaltma çalışmalarıdır. Karbon ayak izi azaltma çalışmaları kapsamında fabrika ve iş yerlerinde bu değerler hesaplanmaya başlanmış ve yıllık olarak sunulması hedeflenmiştir. Fabrikalar mevcut karbon salınımını azaltmak amacıyla çeşitli çalışmalar, teşvikler yapmaktadır.

Son yıllarda hızla artan sıcaklık artışı, insanlık için ciddi çevresel ve ekonomik tehditler oluşturmaktadır. Bu durum, küresel ölçekte karbon ayak izinin hesaplanması ve azaltılması gerekliliğini gündeme getirmiştir. Karbon ayak izi, bir bireyin, işletmenin veya ürünün neden olduğu toplam sera gazı emisyonlarının karbondioksit (CO₂) eşdeğeri cinsinden ifadesidir. Özellikle sanayi kuruluşları, çevresel sürdürülebilirliği sağlamak amacıyla karbon ayak izini azaltma stratejileri geliştirmekte ve bu kapsamda çeşitli iyileştirme projeleri yürütmektedir.

Yapılan bu çalışmalar, işletmelerin üretim süreçlerinden kaynaklanan karbon emisyonlarının hesaplanmasını, yıllık raporlanmasını ve bu değerlerin azaltılmasını hedeflemektedir. Fabrikalar, karbon salınımını düşürmek amacıyla enerji verimliliği artırıcı önlemler, daha düşük karbon ayak izine sahip malzemelerin kullanımı, çevrim sürelerinin optimizasyonu ve üretim süreçlerinin dijitalleştirilmesi gibi çeşitli yöntemler uygulamaktadır.

Bu çalışmada otomotiv amortisör metal parçaları üreten bir fabrikanın karbon ayak izi azaltma süreci ele alınmış olup, bu kapsamda üretim yönteminde Taguchi optimizasyonu ile çevrim süresi ve hurda parça miktarı azaltma, AutoForm analiziyle ağırlık düşürme ve daha düşük karbonlu çelik kullanımına yönelik çalışmalar detaylı olarak incelenmiştir. Bu tez çalışmasının her aşamasında bilgi, deneyim ve rehberliğiyle bana destek olan tez danışmanım sayın Doç. Dr. Murat MAKARACI hocama içten ve sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışması kapsamında yapılan test ve çalışmalarda bilgi birikimleri ile destekleyen, yol gösteren Dr. Ömer Emre UÇAKKUŞ Bey'e, Makine Yüksek Mühendisi Reyhan CEYLAN Hanım'a, Makine Yüksek Mühendisi Caner YALÇIN Bey'e, Ulus Metal çalışma arkadaşlarımdan; Metin ANDAĞ Bey'e, Yavuz GÖKKUŞ Bey'e. Makine Mühendisi Türkay MURATOĞLU Bey'e; tez kapsamında çalışmaların yapılması için olanak sağlayan ve bu süreçte her türlü desteğini esirgemeyen Ulus Metal Sanayi ve Tic. A.Ş. Yönetim Kurulu Başkanı Ragıp TUNALILAR Bey'e ve kendisinin nezdinde bütün çalışanlara sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak; her zaman yanımda olup bana güç veren, maddi ve manevi destekleriyle her zaman yanımda olan, motivasyonumu artıran ve beni bu günlere getiren annem Nermin AÇIKGÖZ'e, babam Zeki AÇIKGÖZ'e ve kardeşim Alper AÇIKGÖZ'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ.....	i
YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
TABLolar DİZİNİ.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ÖZET	x
ABSTRACT	xi
1.GİRİŞ.....	1
2.LİTERATÜR TARAMASI	3
3.KARBON AYAK İZİ.....	9
3.1.Karbon Ayak İzi Kavramı	9
3.1.1.Kişisel Karbon Ayak İzi	9
3.1.2.Kurumsal Karbon Ayak İzi	10
3.1.2.1.ISO 14064 Standardı	11
3.1.2.2.GHG Protokolü.....	12
3.2.Karbon Ayak İzinin Endüstriyel Önemi.....	12
3.3.Avrupa Yeşil Mutabakatı	14
4.OTOMOTİV SÜSPANSİYON SİSTEMİ.....	15
4.1.Süspansiyon Sistemi	15
4.2.Süspansiyon Sistemi Görevleri.....	16
4.3.Süspansiyon Sistemi Temel Elemanları	16
4.3.1.Yaylar	17
4.3.2.Amortisörler	18
4.3.3.Denge Çubukları.....	19
4.3.4.Bağlantı Elemanları	20
4.3.4.1.Salıncak Kolları ve Rotiller	20
5.TAGUCHİ METODU	21
5.1. Taguchi Kalite Kontrol Sistemi.....	21
5.2. Taguchi Ortogonal Diziler.....	23
5.3. Sinyal / Gürültü (S/N) Oranı	25
5.4. Etkin Parametrelerin Belirlenmesi.....	25
6.MALZEME VE YÖNTEM	26
6.1.Çalışmanın Gerçekleştirildiği İşletmenin Tanımı.....	26
6.2.Materyal.....	27
6.3.Yöntem....	28
6.3.1.Amortisör Alt Parçalarından Klevis Braketin Üretimi.....	28
6.3.2.AutoForm Simülasyonlarının Gerçekleştirilmesi.....	32
6.3.3.Çekme Testi.....	33
6.3.4.Taguchi Metodunun Kullanılması.....	34
7.BULGULAR VE TARTIŞMA.....	36
7.1.AutoForm Analizi Sonuçları	36
7.1.1. AutoForm Analizi Sonuçları - Karbon Emisyonu Hesabı.....	39
7.2.Taguchi Metodu ve Çekme Testi Sonuçları	40
7.2.1.Taguchi Metodu Sonuçları – Karbon Emisyon Hesabı.....	45

8.SONUÇLAR VE ÖNERİLER	48
KAYNAKLAR.....	50
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER.....	53
ÖZGEÇMİŞ.....	54



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	Çalışmanın metodolojisine genel bakış	4
Şekil 2.2.	Diferansiyel bağlantı braketi ve topoloji optimizasyonu sonucu üretilen parça	5
Şekil 2.3.	Tüm faaliyetlerden kaynaklanan 2019 yılı CO2 eşdeğeri miktarlarının grafiksel gösterimi ve dağılımı	6
Şekil 2.4.	Tüm faaliyetlerden kaynaklanan 2020 yılı CO2 eşdeğeri miktarlarının grafiksel gösterimi ve dağılımı	6
Şekil 2.5.	Çalışma yapılan hortum tutucu parçaları (ikili ve tekli tasarım).....	7
Şekil 3.1.	Karbon ayak izi	9
Şekil 3.2.	Emisyon Kapsamları	11
Şekil 3.3.	GHG Protokolü ve ISO 14064-1:2018 Metodolojisi İçin Kullanılan Terminolojiler	11
Şekil 3.4.	Avrupa yeşil mutabakatı kapsamı	14
Şekil 4.1.	Araç üzerindeki süspansiyon sistemleri	15
Şekil 4.2.	Süspansiyon sisteminin kısımları	17
Şekil 4.3.	Yay etkisi.....	18
Şekil 4.4.	Denge çubuğunun yeri ve davranışı	19
Şekil 4.5.	Salıncak ve rotillerin görünüşü	20
Şekil 5.1.	Taguchi kalite kontrol sistemi	22
Şekil 5.2.	Taguchi metodunun sistematığı.....	23
Şekil 5.3.	Taguchi ortogonal dizi seçim tablosu.....	24
Şekil 5.4.	Etkin parametrenin grafik üzerinde gösterimi	25
Şekil 6.1.	Amortisör üzerinde klevis braketin gösterimi a) amortisör gövde hali (yarı mamül) b) amortisör araca montajlı hali	26
Şekil 6.2.	Çalışmanın yapıldığı firmanın 2024 yılına ait toplam karbon emisyon değeri	27
Şekil 6.3.	Projeksiyon kaynak gösterimi	28
Şekil 6.4.	İç braket üzerindeki kaynak kabartılarının gösterimi.....	29
Şekil 6.5.	Amortisör grubunda yer alan klevis braket yapısı.....	30
Şekil 6.6.	Klevis braket fabrika içi üretim şeması	31
Şekil 6.7.	Autoform analizi sonucu FLD örneği	32
Şekil 6.8.	Zwick marka çekme test cihazı ve iş parçası	33
Şekil 6.9.	Dış ve iç braketin kaynatılması	35
Şekil 7.1.	Dış braket revizyon karşılaştırılması	36
Şekil 7.2.	S315MC t:3,20 mm dış braket parçasına ait Autoform analiz sonucu.....	37
Şekil 7.3.	S315MC t:3,20mm dış braket parçasına ait FLD diyagramı.....	37
Şekil 7.4.	S355MC t:3,00 mm dış braket parçasına ait AutoForm analiz sonucu	38
Şekil 7.5.	S355MC t:3,00mm dış braket parçasına ait FLD diyagramı.....	38
Şekil 7.6.	Deneyde kullanılan klevis braket örnekleri a) Kaynatılmış, çekme testine hazır numuneler b) Çekme testi sonucu numuneler	41
Şekil 7.7.	Taguchi deney setlerine yapılan çekme test sonuç grafiği	42
Şekil 7.8.	Deney setlerinden optimum değeri veren çekme testi sonucu (69,5 kN) grafiği	42
Şekil 7.9.	S/N (Sinyal-Gürültü) oranları grafiği	43
Şekil 7.10.	Ortalama kuvvet değerlerini gösteren grafik.....	44

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 2.1. Çekme-kayma testi için ANOVA sonuçları.....	3
Tablo 6.1. S355MC ve S420MC çeliklerinin kimyasal bileşimleri	27
Tablo 6.2. S355MC ve S420MC çeliklerinin mekanik bileşimleri	28
Tablo 6.3. Klevis braket kaynak makinesi ayar parametreleri	34
Tablo 6.4. L9 ortagonal dizisine göre oluşturulan deney tablosu.....	35
Tablo 7.1. Çekme test rapor sonucu	41
Tablo 7.2. Taguchi kombinasyonu sonucu elde edilen değerler	41
Tablo 7.3. Taguchi deneylerinde kullanılan parametrelerin varyans ANOVA sonuçları.....	45



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Al	: Alüminyum
C	: Karbon
Cycle	: Çevrim süresi
CO ₂	: Karbondioksit
CO ₂ e	: Karbondioksit eşdeğeri (Karbon emisyon değeri)
daN	: Dekanewton
E	: Enerji (J)
E _{emisyön}	: İlgili faaliyetin emisyon miktarı
EF	: İlgili faaliyetin emisyon faktörü
F	: Faaliyet verisi
I	: Akım (A)
kA	: Kiloamper
kN	: Kilonewton
kWh	: Kilowatt-hour (Kilovat-saat)
m ²	: Metrekare
Mg	: Magnezyum
Mn	: Mangan
MPa	: Megapascal
N	: Newton
Nb	: Niyobyum
P	: Fosfor
S	: Kükürt
Si	: Silisyum
t	: Et kalınlığı (mm)
t (h)	: Zaman (sn)
Ti	: Titanyum
U	: Gerilim (V)
V	: Vanadyum

Kısaltmalar

AB	: Avrupa Birliği
ANOVA	: Analysis of Variance (Varyans Analizi)
Ar-Ge	: Araştırma ve Geliştirme
AYM	: Avrupa Yeşil Mutabakatı
CV	: Computer Vision (Görüntü İşleme)
CBAM	: Carbon Border Adjustment Mechanism (Karbon Sınırı Uygulama Mekanizması)
DL	: Deep Learning (Derin Öğrenme)
EN	: European Norm (Avrupa Standardı)
FLD	: Forming Limit Diagram (Şekillendirme Sınır Diyagramı)
GHG	: Greenhouse Gases (Sera Gazları)
IPCC	: Intergovernmental Panel on Climate Change (Hükûmetlerarası İklim Değişikliği Paneli)

ISO	: International Organization for Standardization (Uluslararası Standardizasyon Örgütü)
LCA	: Life Cycle Assessment (Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi)
L9	: Taguchi L9 Ortogonal Dizi
NX	: Siemens tarafından geliştirilen CAD/CAM/CAE yazılımı
OEM	: Original Equipment Manufacturer (Orijinal Ekipman Üreticisi)
S/N	: Sinyal / Gürültü Oranı
WBCSD	: World Business Council for Sustainable Development (Sürdürülebilir Kalkınma için Dünya İş Konseyi)
WRI	: World Resources Institute (Dünya Kaynakları Enstitüsü)



OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE KULLANILAN AMORTİSÖR PARÇASININ KARBON AYAK İZİNİN AZALTILMASI

ÖZET

Günümüzde karbon ayak izi kavramı, çevre ve küresel iklim değişikliği üzerindeki etkileri nedeniyle önem kazanmıştır. Bu kapsamda ülkeler, yasal düzenlemeler yoluyla karbon ayak izini azaltma yönünde adımlar atmaktadır. Literatürde karbon ayak izi, karbondioksit eşdeğeri (CO₂e) cinsinden ölçülen sera gazı emisyonlarının çevreye etkisini tanımlar. Temelde ikiye ayrılır: bireysel ve kurumsal karbon ayak izi. Bireysel karbon ayak izi, bireyin günlük yaşamındaki faaliyetlere bağlı olarak atmosfere saldıgı emisyonları ifade ederken; kurumsal karbon ayak izi, kurumların enerji kullanımı, üretim prosesleri ve lojistik gibi faaliyetleri sonucu oluşan toplam sera gazı emisyonlarını kapsar. Avrupa Yeşil Mutabakatı çerçevesinde kurumsal karbon ayak izinin ölçülmesi yasal bir zorunluluk hâline gelmiştir. Bu bağlamda, otomotiv süspansiyon sistemi parçaları üreten bir firmada karbon ayak izini azaltmaya yönelik çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Amortisörün araç gövdesine bağlantısını sağlayan kaynaklı braket parçasının AutoForm simülasyon programıyla analizi yapılarak tasarım değişikliği ile brüt ağırlığı azaltılmıştır. Ayrıca Taguchi yöntemiyle kaynak parametreleri optimize edilmiştir. Hammadde tüketimi ve proses iyileştirmeleri sayesinde ürün karbon ayak izi düşürülmüş ve kurumsal karbon ayak izine olumlu katkı sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Autoform Analizi, Karbon Ayak İzi, Klevis Braket, Sürdürülebilirlik, Taguchi Metodu.

REDUCTION OF CARBON FOOTPRINT OF SHOCK ABSORBER PART USED IN THE AUTOMOTIVE SECTOR

ABSTRACT

Nowadays, the concept of carbon-footprint becomes more important day by day due to its effects on environment and global climate-change. For this reason, countries have tended to reduce their carbon-footprint through legal-regulations. Carbon-footprint is defined as the measure of damage to the environment in terms of the amount of greenhouse-gas produced and measured in terms of carbon dioxide. Basically, it is discussed in two-items: individual and corporate carbon-footprint. Individual carbon-footprint is the measure of greenhouse-gas emissions released into atmosphere as a result of the activities carried out by the individual, depending on factors such as energy-consumption and transportation type. Corporate carbon-footprint refers to total greenhouse-gas emissions from energy-consumption, production-processes and logistics of an institution/organization. It is the carbon-dioxide equivalent in tons of total emissions from production to disposal.

Today, corporate carbon-footprint is measured as legal obligation within the scope of the European Green Deal and is important for institutions to evaluate their positions and determine strategies. In this project, studies were carried out to reduce the carbon-footprint of our company, which produces automotive suspension-system parts. Optimizations were made for the klevis bracket, which is a shock-absorber component. One of them is to analyze the part in AutoForm-simulation. Thus, the gross weight was reduced by design change. Welding parameters were optimized using the Taguchi method. With improvements in raw materials and processes, the product carbon-footprint has been improved.

Keywords: Autoform Analysis, Carbon Footprint, Klevis Bracket, Sustainability, Taguchi Method.

1.GİRİŞ

Günümüzde çevresel sürdürülebilirlik kavramı, sıcaklık artışı ve iklim değişikliği gibi çevre sorunlarının artan etkisiyle birlikte önemli bir gündem maddesi haline gelmiştir. Bu bağlamda, karbon ayak izi kavramı da çevreye olan etkilerin ölçülmesinde temel göstergelerden biri olarak öne çıkmaktadır. Karbon ayak izi, en genel tanımıyla insan faaliyetleri sonucu atmosfere salınan sera gazlarının, karbondioksit eşdeğeri (CO₂e) cinsinden miktarını ifade etmektedir. Literatürde bu kavram, bireysel ve kurumsal olmak üzere iki temel kategoride ele alınmaktadır. Bireysel karbon ayak izi; bireylerin günlük yaşamda gerçekleştirdiği enerji tüketimi, ulaşım tercihleri ve tüketim alışkanlıkları gibi faaliyetlerin sebep olduğu sera gazı salımını kapsamaktadır. Öte yandan kurumsal karbon ayak izi, bir işletmenin üretim süreçleri, enerji kullanımı, lojistik faaliyetleri ve atık yönetimi gibi operasyonlarının neden olduğu toplam sera gazı emisyonlarını ifade eder. Başka bir ifadeyle, bir ürünün yaşam döngüsü boyunca hammadde temininden üretime, kullanımından bertarafına kadar ortaya çıkan toplam karbon salımıdır.

Sürdürülebilirlik kapsamında çevreye salınan karbon emisyonları; iklim değişikliği, ekosistem dengesinin bozulması ve insan sağlığı üzerinde olumsuz etkiler yaratmaktadır. Bu durum, çevreye verilen zararın önüne geçilmesi adına karbon salımını azaltmaya yönelik somut adımlar atılmasını zorunlu kılmaktadır. Özellikle ihracat yapan firmalar açısından karbon emisyonlarının kontrol altına alınması, yalnızca çevresel değil aynı zamanda ekonomik bir gereklilik haline gelmiştir. Avrupa Yeşil Mutabakatı çerçevesinde uygulamaya alınacak olan Sınırdaki Karbon Düzenleme Mekanizması (SKDM), 01.01.2026 itibarıyla devreye girecek ve ürünlerin karbon ayak izi oranlarına göre yeni vergilendirme sistemleri yürürlüğe konacaktır. Bu gelişmeler, karbon yoğunluğu yüksek ürünlerin Avrupa pazarına girişinde kısıtlamalara ve ek mali yükümlülüklerle yol açabilecektir. Ayrıca ISO 14067 standardı kapsamında ürün bazlı karbon ayak izi raporlaması zorunluluğu da giderek önem kazanmakta, müşteriler tarafından şeffaf ve doğrulanabilir karbon verileri talep edilmektedir. Tüm bu gelişmeler doğrultusunda, firmaların çevresel sorumluluklarını yerine getirebilmeleri, rekabet güçlerini sürdürebilmeleri ve pazarda varlıklarını devam ettirebilmeleri için karbon emisyonlarını azaltmaya yönelik sistematik çalışmalar yürütmeleri gerekmektedir. Karbon ayak izinin azaltılması, hem bireysel hem de kurumsal düzeyde çeşitli stratejilerle mümkün

olabilmektedir. Yenilenebilir enerji kullanımının artırılması, sürdürülebilir ulaşımın tercih edilmesi ve geri dönüşüm uygulamalarının yaygınlaştırılması gibi yöntemler bu stratejilerin başında gelmektedir. Özellikle Avrupa Yeşil Mutabakatı (European Green Deal) gibi politikaların devreye girmesiyle birlikte, karbon ayak izinin ölçülmesi ve raporlanması artık birçok kurum açısından yasal bir yükümlülük haline gelmiştir.

Tüm bu bilgiler doğrultusunda, bu tez çalışmasının temel odağını, otomotiv sektöründe faaliyet gösteren ve ağırlıklı olarak süspansiyon sistemine ait bileşenlerin üretimini gerçekleştiren Ulus Metal San. ve Tic. A.Ş. firmasının karbon ayak izini azaltmaya yönelik yürüttüğü uygulamalar oluşturmaktadır. Çalışmada, özellikle amortisörün araç gövdesine bağlantısını sağlayan klevis braket parçası üzerinde gerçekleştirilen proses iyileştirme çalışmaları ön plana çıkmaktadır. Bu kapsamda, AutoForm simülasyon yazılımı kullanılarak mevcut tasarım analiz edilmiş ve karbon ayak izinin azaltılmasına yönelik iyileştirme çalışmaları yürütülmüştür. Bununla birlikte, üretim sürecinde kaynak kalitesinin artırılması ve proses verimliliğinin sağlanması amacıyla Taguchi deney tasarımı yöntemiyle kaynak parametrelerinin optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Literatürde, amortisör sistemi alt bileşenlerinden biri olan klevis braket özelinde karbon ayak izini azaltmaya yönelik kapsamlı bir çalışmaya rastlanmamaktadır. Bu yönüyle çalışma, akademik alana özgün bir katkı sunmayı hedeflemekte ve elde edilen bulgularla literatüre rehberlik etmesi amaçlanmaktadır. Çalışmanın, literatürde açık kapı olarak bulunan bu boşluğunu doldurmasının yanı sıra ve sektöre yol gösterici bir kaynak teşkil etmesi de hedeflenmektedir. Gerçekleştirilen bu iyileştirme adımları, yalnızca çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine katkı sunmakla kalmayıp, aynı zamanda firmanın rekabetçiliğini artırma ve kurumsal sorumluluk bilincini pekiştirme açısından da yol gösterici niteliktedir.

2.LİTERATÜR TARAMASI

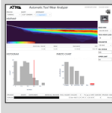
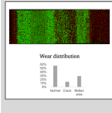
Ali ve diğ. (2023), otomotiv amortisör sistemi alt bileşenlerinden biri olan klevis braketin üretiminde yaygın olarak kullanılan projeksiyon kaynak yöntemi parametrelerinin, kaynaklı birleştirme süreci üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Projeksiyon kaynak prosesinde kritik öneme sahip parametreler olarak; kaynak basıncı 37, 40 ve 43 daN, kaynak süresi 55, 60 ve 65 çevrim, sıkma süresi ise 35, 40 ve 45 çevrim seviyelerinde belirlenmiş ve bu kombinasyonlarla toplam dokuz farklı numune üretilmiştir. Deneysel çalışmada, kaynak akımı 38 kA ve bekleme süresi ise 15 çevrim olarak sabit tutulmuştur. Üretilen numunelerin kaynak kopma testleri gerçekleştirilmiş ve ANOVA analizi uygulanmıştır. Analiz sonucunda Tablo 2.1.'de görüldüğü üzere en etkili parametrenin %80,23 oranında kaynak basıncı, %19,13 oranında kaynak süresi ve %0,03 oranında sıkma zamanı olduğu tespit edilmiştir. Ek olarak, kaynak süresinin artmasıyla birlikte ısı girdide bir artış meydana geldiği ve bunun sonucunda mikro yapıda ısıdan etkilenen bölge ve füzyon bölgesinin boyutlarında belirgin bir büyüme gözlemlenmiştir.

Tablo 2.1. Çekme-kayma testi için ANOVA sonuçları (Ali ve diğ., 2023)

S/N oranı	30,90 Serbestlik derecesi	Ortalama S/N değeri			Kareler toplamı	Varyans	F	Katka oranı (%)
		Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3				
A- Basıncı	2	31,49	31,22	29,98	3,90	1,95	130,84	80,23
B- Kaynak Süresi	2	30,48	30,95	31,26	0,93	0,47	31,19	19,13
C- Sıkma Zamanı	2	30,89	30,91	30,88	0,00	0,00	0,04	0,03
Hata	2				0,03	0,01		0,61
Toplam	8				4,86	2,43		

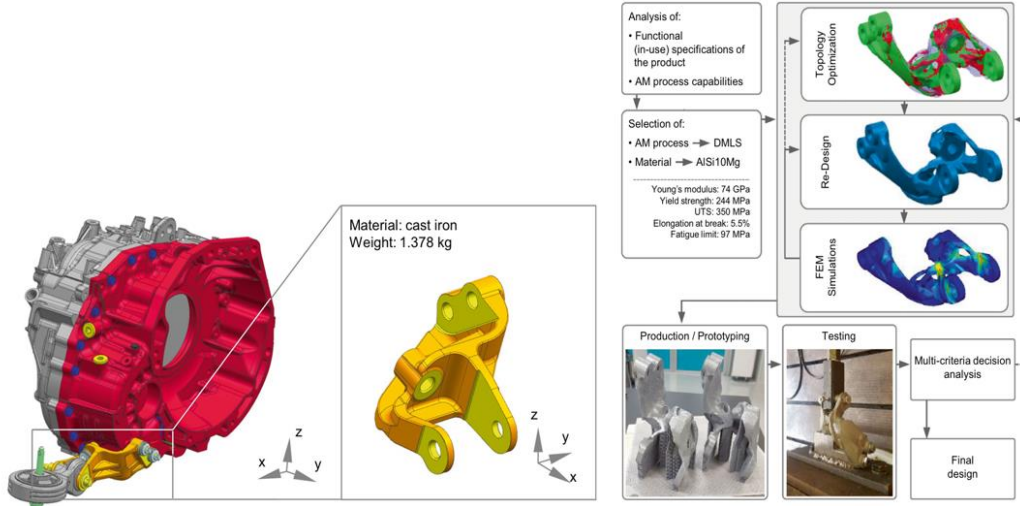
Walk ve diğ. (2023), kesici takımlar ve döner anotlar gibi iki farklı ürün grubunu inceleyerek DL (deep learning) tabanlı CV (computer vision) modelleri kullanarak ürün ömrü boyunca meydana gelen aşınmaların sınıflandırılabilirliğini göstermişlerdir. Bu çalışmada, semantik segmentasyon amacıyla uyarlanmış U-Net mimarisi kullanılmış ve her bir piksel, belirli bir aşınma sınıfına atanmıştır. Sürdürülebilirlik açısından, görsel inceleme sayesinde ürünlerin yeniden üretim (remanufacturing), yeniden tasarım (re-design), yeniden kullanım (reuse) ve geri dönüşüm (recycling) kararları daha bilinçli verilebilmektedir. Bu sayede, sadece ürün kalitesi değil, aynı zamanda çevresel etkiler de azaltılmaktadır. Makinede işleme takımlarına uygulanan DL-CV modeli ile takım ömrü %20 artırılmış, işlem hızı %50'ye kadar yükseltilmiş ve CO₂ salımında yaklaşık %12'lik bir düşüş sağlanmıştır. Benzer şekilde, döner anotların yeniden üretim kararları bu

modellerle optimize edilmiş ve karbondioksit salınımı %44,79 oranında azaltılmıştır. Bu literatür çalışması doğrultusunda yapılan analizler, derin öğrenme destekli bilgisayarla görme teknolojilerinin üretim süreçlerinde sürdürülebilirliği artırmak adına önemli katkılar sunduğunu göstermektedir. Özellikle ürün aşınma durumunun doğru şekilde tespit edilmesi, sadece ürün ömrünün uzatılmasını sağlamakla kalmamakta; aynı zamanda enerji tüketimi, ham madde kullanımı ve üretim maliyetlerinin de azaltılmasına imkân tanımaktadır. Şekil 2.1.'de çalışma kapsamında yapılan işlemler ve sonuçları özet durumunda görülmektedir.

	Collecting microscopic images of worn tools	Labeling images	Splitting data into training, test, and validation set	Training and validating deep learning model	Evaluating model on (unseen) test set	Visualizing / reporting results	PSS improvements	Assessment of environmental impact by LCA
Machining Tools	213 images	Wear types: background, built-up edge, chipping, flank wear	152/10/51	Adapted U-Net	Mean DSC: 0.631		Improvement of machining process at customer site; Re-design of cutting tools based on usage behavior; Foundation for result-oriented PSS	Reduction of up to 11.95% CO2 equivalent for machining process improvement
Rotating Anodes	1106 images	Wear types: normal surface, cracks, molten area	1031/37/38	Adapted U-Net	Mean DSC: 0.603		Remanufacturing of rotating anode; Foundation for result-oriented PSS	Reduction of up to 44.79% CO2 equivalent for remanufacturing of rotating anode

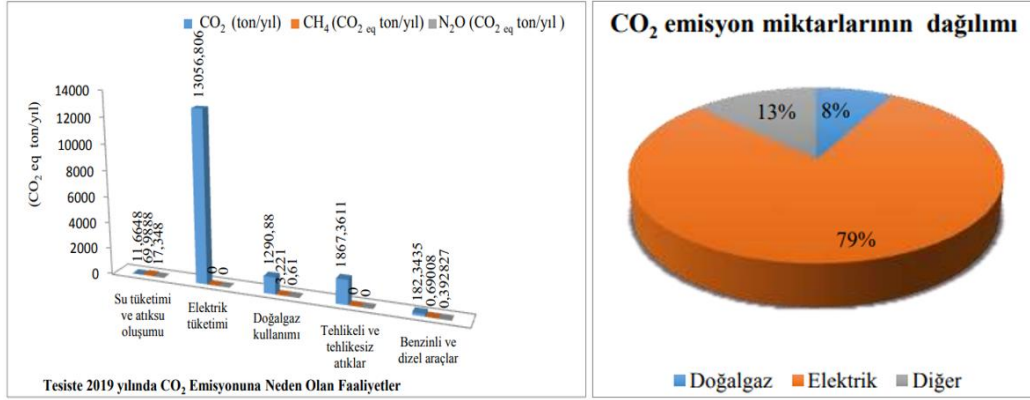
Şekil 2.1. Çalışmanın metodolojisine genel bakış (Walk ve diğ., 2023)

Priarone ve diğ. (2023), dökme demirden üretilen bir diferansiyel braket parçasını topoloji optimizasyonu yöntemiyle yeniden tasarlamış ve AlSi10Mg alaşımı ile eklemeli imalat (Additive Manufacturing) yöntemi kullanarak üretmiştir. Yeniden tasarım sayesinde parçanın ağırlığı %69 oranında azaltılmış ve bu sayede yakıt tüketimi ile birlikte karbon emisyonlarında da kayda değer bir azalma sağlanmıştır. Şekil 2.2.'de çalışma parçasının ilk ve optimizasyon sonucu son hali görülmektedir. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (LCA) ile yapılan analiz sonucunda, geleneksel üretim yöntemiyle (döküm) eklemeli imalat yöntemi karşılaştırılmış; parçanın tüm yaşam döngüsü boyunca ortaya çıkan karbon ayak izi incelenmiştir. Buna göre, en iyi senaryoda katkılı imalat yöntemiyle üretilen parça başına 1,2 kg CO₂ tasarrufu sağlandığı; en kötü senaryoda ise 2,0 kg CO₂ daha fazla emisyon oluştuğu belirtilmiştir. Kullanım aşamasında elde edilen yakıt tasarrufu ve hafiflik avantajı sayesinde bu farkın dengelendiği vurgulanmıştır. Analiz sonucunda, eklemeli imalatın enerji tüketimi yüksek olmasına rağmen, kullanım aşamasındaki hafiflik avantajı sayesinde toplam karbon ayak izi açısından rekabetçi olduğu göstermiştir. Ayrıca, nihai ürünün geri dönüştürülebilirliği de dikkate alınarak, malzeme kullanım verimliliği ve sürdürülebilir üretim avantajı yönleri ortaya çıkmaktadır.

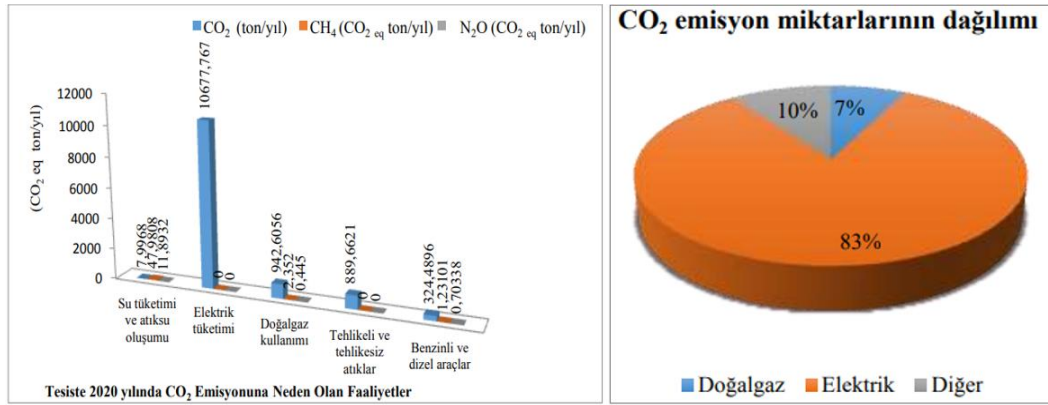


Şekil 2.2. Diferansiyel bağlantı braket ve topoloji optimizasyonu sonucu üretilen parça (Priarone ve diğ., 2023)

Dindar (2021) tarafından yürütülen bu çalışmada, Bursa ilinde bulunan bir otomotiv yan sanayi firmasının 2019 ve 2020 yıllarına ait yakıt tüketimi, elektrik enerjisi kullanımı, su tüketimi, atıksu ve atık oluşumu ile taşeron hizmetlerden kaynaklanan sera gazı emisyonları uluslararası emisyon faktörleriyle değerlendirilmiş ve toplam karbon ayak izi miktarı hesaplanmıştır. Sonuç olarak, incelenen firmanın atmosfere verdiği sera gazı emisyonu 2019 yılında yaklaşık 16.501 ton (Şekil 2.3.), 2020 yılında ise 12.921 ton CO₂ (Şekil 2.4.) eşdeğeri olarak tespit edilmiştir. Elektrik tüketimi kaynaklı emisyonun toplam CO₂ emisyonunun çok büyük bir kısmını oluşturduğu tespit edilmiştir. Yenilenebilir enerji kullanımı gibi önlemler ile 2019 yılına kıyasla yaklaşık 490 ton CO₂ eşdeğeri emisyonun önlenebileceği belirlenmiştir. Bu doğrultuda firmanın çatısına 11.000 m² alana 4.324 adet monokristal güneş paneli kurulması planlanmıştır. Yıllık olarak bu sistemden 2.908.338,6 kWh elektrik enerjisi elde edileceği hesaplanmıştır. İlgili karbon emisyon faktörü dikkate alınarak yapılan hesaplamalara göre, güneş enerjisinden elde edilen bu elektrik sayesinde yılda yaklaşık 2.490 ton CO₂ eşdeğeri emisyonun atmosfere salımı engellenmiş olacaktır. Sonuçlar, yenilenebilir enerji yatırımlarının sektörde karbon emisyonlarını azaltımında etkisi göstermiştir. Ayrıca, elde edilen veriler, sektörde çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak için somut, ölçülebilir ve uzun vadeli fayda sağlayacak adımların atılabileceğini açıkça ortaya koymaktadır. Bu çalışma, otomotiv yan sanayinde karbon ayak izi izlenmesinin ve azaltım stratejilerinin önemini vurgulamakta; sürdürülebilir üretim için emisyon takibi ve yenilikçi uygulamaların gerekliliğini ortaya koymaktadır.



Şekil 2.3. Tüm faaliyetlerden kaynaklanan 2019 yılı CO₂ eşdeğeri miktarlarının grafiksel gösterimi ve dağılımı (Dindar 2021)

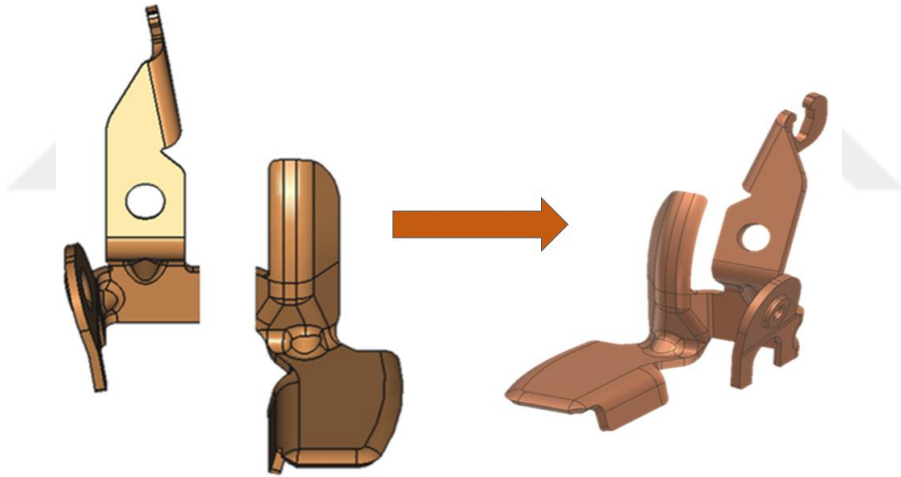


Şekil 2.4. Tüm faaliyetlerden kaynaklanan 2020 yılı CO₂ eşdeğeri miktarlarının grafiksel gösterimi ve dağılımı (Dindar 2021)

Muratoğlu ve diğ. (2025) kaynak zafiyetini ortadan kaldırmak ve ürün karbon ayak izini azaltmak amacıyla klevis braket parçasının üzerine kaynatılan hortum tutucu parçasında tasarım revizyonu çalışması gerçekleştirmişlerdir. Çalışma kapsamında klevis braket üzerine kaynatılan iki farklı formdaki hortum tutucular, Autoform ve Siemens NX gibi modern mühendislik araçlarının kullanımı sonucu ortaklaştırılmış ve tek parça halinde üretimi sağlanmıştır. Şekil 2.5.'de parçanın ikili ve tekli tasarımı görülmektedir. Hortum tutucunun iki ayrı parça ile üretilip kaynatılması ile tek parçadan üretilip kaynatılması sonuçları karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonucunda yıllık 16.5 ton hammadde ve 21.4 ton karbon emisyonu kazancı sağlanmıştır.

Kim ve Wallington (2016), 2015 model 13 adet içten yanmalı araç (ICEV), 13 adet hibrit (HEV), 9 adet plug-in hibrit (PHEV) ve 15 adet bataryalı elektrikli araç (BEV) için kütle azaltımına bağlı yakıt tasarrufu (MIF ve FRV) değerleri hesaplama çalışması

yapmışlardır. Hafifletme çalışmalarının sera gazı emisyonları (GHG – Greenhouse Gas) üzerindeki etkisinin araç tip ve güç aktarma organının değişimine göre değiştiğini göstermişlerdir. Parça bazlı bir uygulama olarak, araçların ön ızgara takviye parçası (Grille Opening Reinforcement) kısaca GOR, çelik yerine karbon fiber/epoksi kompozit malzeme ile üretildiğinde, parçanın ağırlığı 6,2 kg'dan 2,7 kg'a indirildiği görülmüştür. Ancak kompozit malzeme ile üretilen parça 20,7 kg CO₂-eq/kg karbon emisyonuna sebep olurken çelik için bu değer 5 kg CO₂-eq/kg'dır. CF/Ep kompozit parça, üretim aşamasında daha fazla karbon salımı yaratsa da, kullanım ömrü boyunca sağladığı hafiflik sayesinde yakıt/enerji tüketimini azaltıyor ve böylece toplamda (cradle-to-grave, yani ham madde çıkışından bertarafa kadar) net karbon kazancı oluşuyor. Özellikle içten yanmalı motorlu bir araçta (ICEV), bu malzeme değişimiyle güç aktarma organı yeniden boyutlandırılmadığında 27 kg CO₂-eq, yeniden boyutlandırıldığında ise 56 kg CO₂-eq emisyon tasarrufu elde edilmiştir.



Şekil 2.5. Çalışma yapılan hortum tutucu parçaları (ikili ve tekli tasarım) (Muratoğlu ve diğ., 2025)

Hafifletme çalışmalarının sera gazı emisyonları (GHG – Greenhouse Gas) üzerindeki etkisinin araç tip ve güç aktarma organının değişimine göre değiştiğini göstermişlerdir. Parça bazlı bir uygulama olarak, araçların ön ızgara takviye parçası (Grille Opening Reinforcement) kısaca GOR, çelik yerine karbon fiber/epoksi kompozit malzeme ile üretildiğinde, parçanın ağırlığı 6,2 kg'dan 2,7 kg'a indirildiği görülmüştür. Ancak kompozit malzeme ile üretilen parça 20,7 kg CO₂-eq/kg karbon emisyonuna sebep olurken çelik için bu değer 5 kg CO₂-eq/kg'dır. CF/Ep kompozit parça, üretim aşamasında daha fazla karbon salımı yaratsa da, kullanım ömrü boyunca sağladığı hafiflik sayesinde

yakıt/enerji tüketimini azaltıyor ve böylece toplamda (cradle-to-grave, yani ham madde çıkışından bertarafa kadar) net karbon kazancı oluyor. Özellikle içten yanmalı motorlu bir araçta (ICEV), bu malzeme değişimiyle güç aktarma organı yeniden boyutlandırılmadığında 27 kg CO₂-eq, yeniden boyutlandırıldığında ise 56 kg CO₂-eq emisyon tasarrufu elde edilmiştir.

Duman (2024) tarafından yapılan çalışmada makine yedek parça imalatı yapan bir tesisin karbon ayak izinin belirlenmesi ve azaltımının değerlendirilmesi kapsamında tesisin GHG protokolüne kapsamında kapsam 1, 2 ve 3 dağılımları incelenmiştir. 2021, 2022 ve 2023 yılları verilerinin ortalaması alındığında dolaylı emisyonlar %48 orana ve 6,22 tCO₂e emisyon değerine sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Emisyonların ISO 14064:2018 standardına göre dağılımlarına bakıldığında ise 2.kategori olan elektrik tüketiminden kaynaklı emisyonların en fazla olduğu gözlenmiştir. Bu kapsamda tesisin 2021 yılı verileri baz alınarak yıllık ihtiyaç duyduğu elektrik enerji miktarı kWh cinsinden hesaplanıp, güneş enerjisi sistemi ile elektrik üretimi yapılarak emisyon oranının azaltılması sonucuna varılmıştır. Bu tesis için 48 adet panel için 50m² alan ihtiyacı olduğunu tespit edilmiştir.

Hasdal ve diğ. (2021), çalışmalarında Kayseri ilinde yer alan endüstri yapılarının aydınlatma kaynaklı enerji tüketimini incelemiş ve bunları yıllık CO₂ salınım miktarına çevirmişlerdir. Çalışma kapsamında üç farklı organize sanayi bölgesi değerlendirilmiş ve yıllık karbon salınım miktar değerleri elde edilmiştir. Çalışma kapsamında bölgede yoğunlukla kullanılan yüksek basınçlı ve eski tarz aydınlatma armatürlerinin enerji harcama oranının fazla olduğu tespit edilmiş ve bölgedeki firmaların LED aydınlatma sistemine geçiş yapması durumunda karbon salınım oranının yıllık %48 oranında azalacağı hesaplanmıştır.

3. KARBON AYAK İZİ

3.1.Karbon Ayak İzi Kavramı

Karbon ayak izi kavramı kişilerin günlük faaliyetleri ve kullanmış oldukları ürünlerin oluşum süreci boyunca meydana gelen, doğa için oldukça zararlı olan sera gazının karbondioksit (CO₂) cinsinden adlandırılmasıdır (Ayan, 2019). Hesaplamalarda tanımlama için kullanılan birim “kg.CO₂-eşdeğer” veya “ton.CO₂-eşdeğer”dir. Yasal yaptırımlar, kurumların gelecek hedefleri, paydaşların talepleri, firmaların pazarlama ve rakabet stratejileri, zorunlu veya gönüllü olarak sera gazı emisyonunun azaltılması adına karbon ayak izi hesaplanmasına yönlendirmiştir. Karbon ayak izi kişisel ve kurumsal olmak üzere iki ana kategori altında toplanmıştır. İnsan faaliyetlerinin çevreye olan karbon salımları sonucu meydana gelen karbon ayak izi Şekil 3.1.’de gösterilmiştir (Bekiroğlu, 2011).



Şekil 3.1. Karbon ayak izi (Üreden, 2019)

3.1.1.Kişisel Karbon Ayak İzi

Kişilerin günlük faaliyetleri sonucu çevreye saldıgı emisyon miktarının yıllık olarak hesaplanmasıdır. Emisyonların azaltılması için yapılacak çalışmalar temelden başlamalı, insanlarda bilinç oluşturmak amacıyla bu kavram geliştirilmiştir.

Bu grup da birincil ve ikincil olmak üzere iki alt başlığa ayrılmıştır. İnsanların evlerinde kullandıkları elektriğin, ulaşım için kullanmış oldukları araçların yakıtlarının CO₂ emisyonlarının hesaplanması birincil karbon ayak izi olarak tanımlanmıştır.

İnsanların günlük yaşamlarının her alanında kullanmakta oldukları ürünlerin, yaşam döngüsü boyunca yani üretiminden bozunumlarına kadar geçen süredeki dolaylı CO₂ emisyonlarının hesaplanması da ikincil karbon ayak izi olarak adlandırılır (Bekiroğlu, 2011).

3.1.2. Kurumsal Karbon Ayak İzi

Kurumların yıllık eylemleri sonucu çevreye salınan karbon emisyonlarını ifade eden kavramdır.

Kurumsal karbon ayak izi; doğrudan (kapsam 1), dolaylı (kapsam 2) ve diğer dolaylı (kapsam 3) olmak üzere 3 kapsama ayrılmıştır. Bu kapsamlar Şekil 3.2.'de görülmektedir. Kurumların ısınma ve üretim faaliyetlerinde harcadıkları yakıtlar ile şirket araçlarının fosil yakıtlarının oluşturduğu emisyonlar kapsam 1 olarak adlandırılır.

İşletmelerin faaliyetleri boyunca harcadığı elektrik enerjisinden dolayı oluşan emisyonlar ile dışarıdan sağlanan buhar, ısıtma veya soğutma suyuna bağlı oluşan emisyonlar kapsam 2 olarak adlandırılır.

Firmaların tükettiği ürünler (hammadde gibi), taşıma hizmetleri, kullanılan kiralık araçların fosil yakıtları, çalışanların iş nedeniyle kullandıkları kara, deniz ve hava ulaşimleri emisyonları kapsam 3 olarak adlandırılır. Kapsam 3'ün hesaplanması için toplanması gereken verilerin büyük bir kısmı tedarikçilerden ve kurum dışı firmalardan alınması gerektiği için hesaplanması diğerlerine kıyasla oldukça zordur (Bekiroğlu, 2011).

Firmalar, kurumsal karbon ayak izi hesaplaması yaparken iki temel metottan yararlanmaktadır. Bunlar ISO 14064 Standardı ve GHG (Sera Gazı) Protokol'dür. Bu standartlar ve protokoller, kurumların emisyonlarını doğru ve karşılaştırılabilir şekilde raporlamasına olanak tanırken, aynı zamanda şeffaflık ve hesap verebilirlik sağlar. Karbon ayak izi sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmada kritik bir rol oynar.



Şekil 3.2. Emisyon Kapsamları (Işık, 2023)

İki yöntemin de hesaplama metodolojisi benzer yapıya sahiptir, sonuçların ifade ediliş şeklinde kendilerine özgü terminolojiler kullanılmaktadır. Bu terminojiler ve sınıflandırmalar aşağıdaki tabloda görülmektedir (Şekil 3.3.).

GHG PROTOKOLÜ		ISO 14064-1:2018	
Kapsam	GHG Protokolü	Kategori	ISO 14064-1:2018
Kapsam 1	Doğrudan Emisyonlar	Kategori 1	Doğrudan SG salımları ve uzaklaştırmaları
Kapsam 2	Satın Alınan Enerji Dolaylı Emisyonlar	Kategori 2	İthal edilen enerjiden kaynaklanan dolaylı SG salımları
Kapsam 3	04: Üretim Öncesi Nakliye ve Dağıtım 05: Üretim Atıkları 06: İş Seyahatleri 07: Çalışan Ulaşımı 09: Üretim Sonrası Nakliye ve Dağıtım	Kategori 3	Ulaşımdan kaynaklanan dolaylı SG salımları
Kapsam 3	01: Satın alınan hammadde ve servisler 02: Öz Sermaye Malları 03: Yakıt ve Enerji ile İlgili Aktiviteler (Kapsam 1-2 Dışında Kalan) 05: Üretim Atıkları * 08: Üretim Öncesi Kiralanan Varlıklar	Kategori 4	Kuruluş tarafından kullanılan ürünlerden kaynaklanan dolaylı SG salımları
Kapsam 3	10: Satılan Ürünlerin İşlemleri 11: Satılan Ürünlerin Kullanımı 12: Satılan Ürünlerin Bertarafı 13: Üretim Sonrası Kiralanan Varlıklar 14: Franchising 15: Yatırımlar	Kategori 5	Kuruluşa ait ürünlerin kullanımıyla bağlantılı dolaylı SG salımları
Kapsam 3		Kategori 6	Diğer kaynaklardan dolaylı SG salımları.

SG: Sera Gazı

Şekil 3.3. GHG Protokolü ve ISO 14064-1:2018 Metodolojisi İçin Kullanılan Terminolojiler (Ediz, 2023)

3.1.2.1. ISO 14064 Standardı

ISO 14064 standardı sera gazı emisyonlarını belirlemek, takip etmek, raporlamak ve doğrulamak için oluşturulmuş, küresel düzeyde kabul gören bir standarttır. Standart üç ana bölümden oluşur: kurum düzeyinde sera gazı envanterlerinin hazırlanması (ISO

14064-1), sera gazı azaltım projelerinin değerlendirilmesi (ISO 14064-2) ve doğrulama ile doğruluk esaslarının belirlenmesi (ISO 14064-3). ISO 14064, şirketlerin sera gazı yönetiminde şeffaflık, izlenebilirlik ve karşılaştırılabilirlik sağlamayı hedefler. Ayrıca, bu standart doğrulama süreçlerinin bağımsız üçüncü taraflarca yapılmasına olanak tanıdığı için, karbon ayak izi raporlarının güvenilirliğini artırır.

ISO 14064 raporlama prensipleri aşağıdaki gibidir;

- Uygunluk: Hedef kullanıcının (örn. fabrikaların) ihtiyaçlarını karşılan sera gazı kaynakları ve metodolojiler seçilir.
- Tamlık: Belirlenen sera gazı salınımlarının tamamını içerir.
- Tutarlılık: Sera gazı ile bağlantılı bilgilerin gerçekçi karşılaştırılmasına imkân sağlar.
- Doğruluk: Sistemik hatalar ve belirsizlikler olabildiğince azaltılır.
- Şeffaflık: Hedef kullanıcıların güvenli bir şekilde karar almasına olanak sağlamak amacıyla, sera gazına ilişkin yeterli ve doğru bilgiler açıklanır (Ediz, 2023).

3.1.2.2. GHG Protokolü

GHG Protokolü (Greenhouse Gas Protocol), Dünya Kaynakları Enstitüsü (WRI) ve Dünya Sürdürülebilir Kalkınma İş Konseyi (WBCSD) iş birliğiyle geliştirilmiş olup, sera gazı emisyonlarının kurumsal seviyede hesaplanması ve raporlanmasında dünya genelinde en çok kullanılan standartlardan biridir. GHG Protokolü, Kapsam 1 (doğrudan), Kapsam 2 (enerji dolaylı) ve Kapsam 3 (diğer dolaylı) emisyonları kapsayan bir yaklaşım sunar. ISO 14064 ile uyumlu olarak kullanılabilen ve bu protokol küresel ölçekte sera gazı yönetimi uygulamalarında şeffaflığı ve karşılaştırılabilirliği teşvik etmektedir. (URL-1).

3.2.Karbon Ayak İzinin Endüstriyel Önemi

Firmaların karbon ayak izi azaltma çalışmalarına yönelmelerinde birçok temel sebep mevcuttur. En temel sebeplerden biri olan çevresel sorumluluk bilincinin yanında ekonomik sürdürülebilirlik, sektördeki kurumsal itibar, zorunlu yasal uyumluluk gibi çok geniş kapsama sahiptir. Ayrıca, karbon ayak izinin azaltılması; rekabet avantajı elde etme, yatırımcı güvenini artırma ve paydaş ilişkilerini güçlendirme açısından da stratejik bir önem taşımaktadır.

Çevre bilincinin küresel çapta artması, hükümetler ve uluslararası kuruluşlar tarafından uygulanan karbon vergileri uygulamaları, emisyon ticaret sistemleri ve yıllık sürdürülebilirlik raporlama zorunluluğu gibi çalışmalar, şirketleri daha şeffaf ve hesap verebilir yapıya yönlendirmektedir.

Karbon ayak izi azaltma çalışmaları kapsamında, salınan karbonun sistematik bir şekilde ölçülmesi ve azaltılması, şirketlerin iç operasyonel verimliliğinin artmasına fayda sağlarken enerji maliyetlerinin de azalmasına yardımcı olmaktadır. Bu avantajlar şirket için uzun vadede rakiplerine karşı rekabet gücünün artmasını sağlamaktadır. Bunların yanında çevre bilinci ile üretim yapan firmalar, potansiyel yatırımcıları ve tüketiciler karşısında tercih edilir bir konuma gelmektedir. Bu durumun şirketlerin marka değerinin artmasına ve etkin olduğu pazardaki konumunun güçlenmesine katkı sağlamaktadır.

Bu çalışmanın yapıldığı otomotiv sektöründe özellikle otomotiv alt parça üreticileri, büyük OEM (ana üretici) firmalarla çalışabilmek ya da mevcut iş birliğini devam ettirebilmek adına sürdürülebilirlik kriterlerine uyum sağlamak zorundadır. Örneğin, Avrupa'daki birçok ana sanayi üretici firmaları, tedarik zincirinden gelen karbon emisyonu verilerini toplamakta ve tedarikçi seçimlerinde bu verileri göz önünde bulundurmaktadır. Bundan dolayı firmalar, sürdürülebilir hammadde kaynaklarına yönelmekte ve yenilikçi üretim süreçleri geliştirmeye odaklanmaktadır.

Tüm bu etkenlere bakıldığında günümüz iş dünyasında karbon ayak izi kavramının önemi sadece çevre bilinci, yeşil dünya anlayışı olmayıp, aynı zamanda firmaların varlığını sürdürebilmesi için stratejik bir yönetim şekli olarak karşımıza çıkmaktadır.

Uluslararası Düzenlemeler ve Yasal Zorunluluklar: Avrupa Yeşil Mutabakatı ve karbon sınır vergileri (örneğin CBAM), Türk şirketleri dahil olmak üzere tüm şirketlerin karbon ayak izlerini hesaplayıp azaltmalarını zorunlu hale getirdi. Şirketler bundan böyle ihracatlarını ve ticari ilişkilerini devam ettirebilmek için bu yasal düzenlemelere uyum sağlamak durumunda kalmaktadır.

Rekabet Avantajı ve Pazar Liderliği: Karbon salınım oranını azaltan şirketler, rakipleri karşısında önemli bir avantaj elde etmektedir. Tüketiciler ve paydaşlar günümüzde sürdürülebilirlik ilkesini benimseyen firmaları tercih etmeye başlamıştır.

Şirket İtibarına Pozitif Etkisi: Karbon ayak izinin yasal gerekliliklerinin ve etkilerinin yanı sıra firma marka itibarı, toplumsal açıdan kabul görme ve itibar kazanma açısından önemli bir rol oynamaktadır. Gelecek vizyonu sürdürülebilirlik üzerine olan firmalar marka değerlerini arttırken potansiyel yatırımcılarına karşı tercih edilir duruma gelmektedir.

3.3.Avrupa Yeşil Mutabakatı

Avrupa Komisyonu, Aralık 2019 tarihinde 2050'ye kadar iklim bakımından Avrupa'yı sıfır karbonlu (nötr) ilk kıta durumuna getirmek amacıyla "Avrupa Yeşil Mutabakatı" nı (AYM) açıklamıştır. 2030 yılını kadar en az %55 ve 2050'ye kadar ise net sıfır karbon emisyonu elde etmeyi amaçlayan bir yeşil çevre, yeşil ekonomi planıdır. AYM, hem AB'nin Paris İklim Anlaşması hedeflerine erişme hem de 48 maddeli mali ve sosyal dönüşüm planıdır. AYM, AB'nin sürdürülebilirlik kavramına ve geri dönüşüme yönelik taahhüdüdür. Mutabakat ile amaçlanan; ekonomik büyümenin kaynak kullanımından bağımsız hale geldiği, kaynakların verimli kullanıldığı ve rekabetçiliğin ön planda olduğu bir ekonomi oluşturarak, Avrupa Birliği'ni toplumsal açıdan adil ve refah seviyesi yüksek bir toplum haline getirmektir. AB, bu amaçlarına ulaşabilmek adına Şekil 3.4.'de görüldüğü üzere birçok politika alanı geliştirmişlerdir. (Ediz, 2023). Tarımdan inşaat sektörüne ve ulaşımdan enerjiye kadar ekonominin bütün sektörlerini içeren politikalar şunlardır; sürdürülebilir tarım, biyoçeşitlilik, temiz enerji, döngüsel ekonomiye geçiş, bina ve yenileme, sürdürülebilir hareketlilik, kirliliğin ortadan kaldırılması ve iklim eylemi.



Şekil 3.4. Avrupa yeşil mutabakatı kapsamaları (URL-2)

AB, bu politika alanı uygulanması için ticari ve ekonomik yöntemlerle hem kendi hem de diğer kalan ülkelerin de bu amaç doğrultusunda teşvik edilmesini amaçlamaktadır. Bu durum temiz ticari pazarların elde edilmesinde büyük fırsat oluşturmaktadır. (Ediz, 2023).

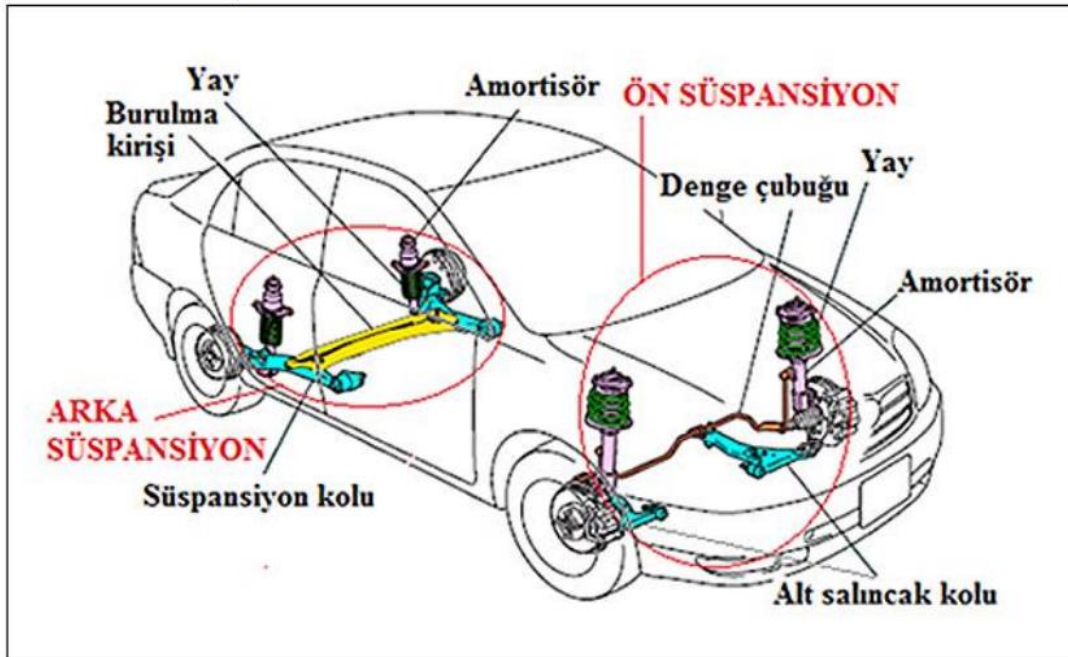
4. OTOMOTİV SÜSPANSİYON SİSTEMİ

4.1. Süspansiyon Sistemi

Otomotivlerin performansını incelemek istediğimizde aklımıza ilk gelenler arasında aracın ürettiği tork değeri, beygir gücü ve hızlanma süresi gibi özellikler yer almaktadır. Ancak bilindiği üzere araçlar, sürüş boyunca çevresel birçok faktöre (sürüş yapılan yolun cinsi, çevrenin hava durumu gibi) maruz kalmaktadır. Sürüş esnasında araca yönelik oluşan kuvvetlerin sönümlenmesi ve hem araç içi sürüş güvenliği ve konforunun sağlanabilmesi hem de dolaylı olarak araç performansının istenilen değeri sağlaması amacıyla otomotiv süspansiyon sistemleri geliştirilmiştir.

Süspansiyon sistemi, şasi ile aks ve tekerlekler arasında görev yapar; araç dinamiğinden ve çevresel koşullardan dolayı meydana gelen kuvvetlerin ve titreşimlerin absorbe edilmesinde yer alan parçalardan oluşur (Gündüz, 2010).

Ön tekerleklerin araç ile bağlantısını sağlayan elemanların tümüne ön süspansiyon (askı) sistemi, arka tekerleklerin bağlantısını sağlayan parçalara ise arka süspansiyon (askı) sistemi denir. Şekil 4.1.'de araç üzerinde ön ve arka süspansiyon elemanları şematik olarak gösterilmiştir (MEB, 2005).



Şekil 4.1. Araç üzerindeki süspansiyon sistemi (MEB, 2005)

4.2.Süspansiyon Sistemi Görevleri

Süspansiyon sistemi bir aracın sürüş konforu ve emniyetinin sağlanması bakımından bulunması zorunlu bir sistemdir. Yol yüzeyindeki pürüzlüklerden (çukur, kasis, taş, toprak...vb.) kaynaklı, araca yönelik oluşan kuvvetleri sönümleyerek araç içindeki kişilerin güvenli bir seyahat yapmasını sağlar.

Bir otomobilin yol tutuş performansı, aktif sürüş güvenliğinin sağlanmasında temel bir parametre olarak değerlendirilmektedir. Aracın yüzey ile olan fiziksel etkileşimi, çok sayıda mekanik alt sistemin koordineli biçimde çalışmasına bağlıdır. Bu bağlamda; yürüyen aksam, direksiyon sistemi, süspansiyon sistemi, fren sistemi ve tekerlekler, belirli bir mühendislik düzeni içerisinde taşıyıcı gövdeye entegre edilmiştir. Süspansiyon sistemi yalnızca taşıma görevini üstlenmekle kalmaz, aynı zamanda lastiklerin yol ile sürekli temasını sağlayarak dinamik stabiliteyi artırır. Yol tutuş kapasitesi, aracın dengesi, konfor seviyesi ve aktif güvenlik donanımlarının etkinliği açısından kritik öneme sahiptir. Dolayısıyla bu sistemlerin tasarımı, konfigürasyonu ve fonksiyonel durumu, genel sürüş performansı üzerinde doğrudan belirleyici bir etkiye sahiptir.

Süspansiyon sistemleri;

- Tekerlek aracılığıyla tahtik kuvvetini iletir ve aksın doğru konumunu sağlarken her bir tekerlek tarafından ortaya çıkan frenleme kuvvetini araç gövdesine iletir.
- Araç seyir durumundayken lastiklerle birlikte yolcuları ve yükü korumak, sürüşü konforlu hale getirmek ve yol profilinden dolayı oluşan titreşimleri ve ani şokları azaltır. Bunlarla birlikte de aracın gövdesini de korumuş olur.
- Aracın yol tutuşunu ve direksiyon hakimiyetini sağlar, yol yüzeyi ile araç tekerlekleri arasındaki teması kesmeden emniyetli bir şekilde manevra yapmayı sağlar.

4.3.Süspansiyon Sistemi Temel Elemanları

Tipik bir süspansiyon sistemi Şekil 4.2.'de verildiği üzere temel olarak; amortisörler, yaylar, denge çubuğu ve bağlantı elemanlarından oluşmaktadır. Bu elemanların her biri, sistemin genel performansını ve dayanıklılığını doğrudan etkileyen kritik bileşenlerdir. Doğru seçilmiş ve uyumlu çalışan parçalar, aracın hem güvenlik hem de konfor açısından optimum seviyede kullanılmasını sağlar.



Şekil 4.2. Süspansiyon sisteminin kısımları (Ergin, 2006)

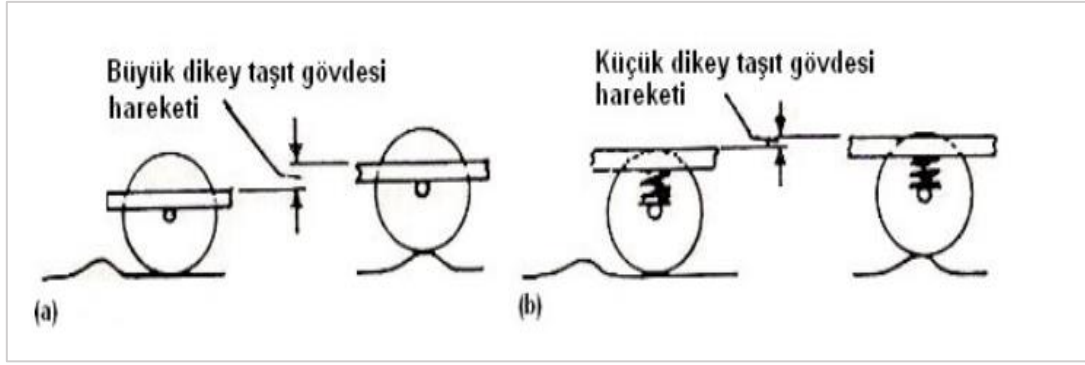
4.3.1.Yaylar

Yaylar, zeminden gelen çarpma enerjisinin büyük bir kısmını sönümleyerek bu enerjiyi yumuşak titreşimlere dönüştürür ve böylece araç sürüş konforunu artırır. Dış kuvvet etkisiyle Şekil değişimine uğrayan ve bu kuvvet ortadan kalktığında orijinal geometrik formuna geri dönebilen elastik elemanlar, yay olarak tanımlanır.

Zemin pürüzlülüğünden kaynaklı oluşan enerji, kısa bir süre içerisinde yaylara iletilir ve yaylar sıkışarak bu enerjiyi üzerlerinde depolar. Sonrasında bu depoladığı enerjiyi yavaş bir şekilde salınım hareketi yaparak geri bırakır. Aracın kütlesi, yayları basmaya zorlarken yol üzerindeki engebeler ve tümsekler de bu basılma hareketinin daha da artmasına sebep olmaktadır. Yaylar, zeminden gelen çarpma enerjisinin büyük bir kısmını sönümleyerek bu enerjiyi yumuşak titreşimlere dönüştürür (Şekil 4.3.) ve böylece araç sürüş konforunu artırır (Ergin, 2006).

Yaylar;

- Araca gelen kütleleri üzerine alır.
- Yoldan gelen darbeleri karşılar ve sürüş konforunu sağlamak için bu darbelerin daha yumuşak birer titreşim olarak hissedilmesini sağlar.
- Tekerleklerin zemine tutunmasını sağlayarak sürüş güvenliğini sağlar (MEB, 2013).



Şekil 4.3. Yay etkisi (Ergin, 2006)

4.3.2. Amortisörler

Bir kez harekete geçirilen sönümsüz titreşim, ideal koşullar altında devamlılık göstererek sonsuza kadar sürme eğilimindedir. Bu tür salınımların taşıt üzerinde engellenmesi kritik bir gereklilik arz etmektedir. Yol yüzeyindeki pürüzlülüklerden kaynaklanan gövde salınımlarının, yolculuk konforu ve seyir güvenliğini tehlikeye atmadan asgari düzeyde tutulabilmesi için taşıt süspansiyon sisteminde amortisörler temel bir bileşen olarak devreye girmektedir (Ergin, 2006).

Süspansiyon sistemlerin tümünde tekerleklerin her biri için sönümleyici kullanılmaktadır. Amortisör, genel anlamda titreşimleri engelleyen bir bileşen olarak tanımlanabilir. Amortisörler, titreşim enerjisini emerek bu enerjiyi ısıya dönüştürürler. Bu mekanizma sayesinde, aracın salınım hareketlerinin ve uzun süreli titreşimlerin önüne geçilmiş olur (Ergin, 2006).

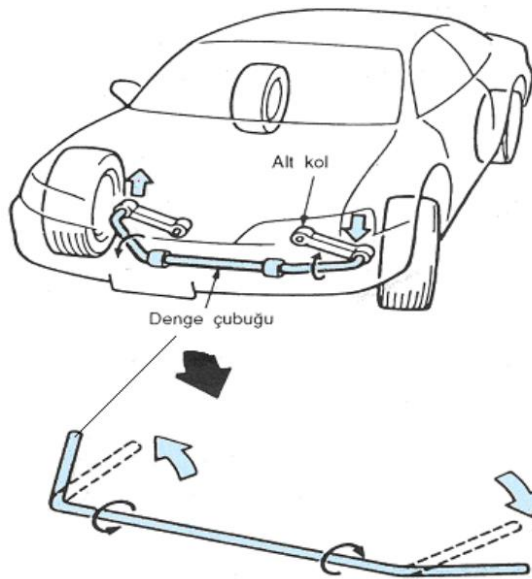
Zemin üzerindeki darbelerle maruz kalan araç, süspansiyon yaylarının uzama-kısalma hareketleriyle darbeleri sönümler. Ve bu sönümleme sırasında bir müddet salınım yapan yayın durması beklenir. Yayların sıkışıp, gevşeme durumlarında araçta istenmeyen seviyede sarsıntılara yol açmaması hem emniyet hem de araç içindekilerin konforu için zorunludur. Bundan dolayı araçta; yayın yavaş bir şekilde uzayıp kısılmasını sağlayan, maruz kalının darbelerin, titreşim ve sarsıntıların şasiye iletilmemesini sağlayan, kontrolsüz salınımı hızlı bir şekilde durduracak bir ekipmana ihtiyaç vardır. Yayların salınım hareketlerini kontrol ederek bunları sönümleyen süspansiyon sistemi donanımına amortisör adı verilmektedir (MEB, 2013). Amortisörler, bu işlevleri sayesinde aracın yol tutuşunu iyileştirir ve sürüş güvenliğini artırır. Ayrıca, mekanik aksamın ömrünü uzatarak bakım maliyetlerinin azalmasına katkı sağlar.

Amortisörler;

- Yayların salınım zamanını düşürür.
- Sürüş emniyetinin korunması için araç lastiklerinin her koşulda zeminle temas etmesini sağlar.
- Araç yol tutuş performansını iyileştirmek amacıyla sürücünün direksiyon manevra kabiliyetini kolaylaştırır.
- Seyir esnasında sürüş konforunun sağlanabilmesi ve bu konforun devam ettirilebilmesi adına yatmayı, kaymayı, zıplamayı, ani duruş durumlarında dalmayı ve hızlanma sırasında aracın ön kısmının yükselmesini, arka kısmının ise çökmesini minimize eder (MEB, 2013).

4.3.3.Denge Çubukları

Aracın dönüşü sırasında aracın gövdesinde oluşan yan yatma hareketine karşı, merkezkaç kuvvetinin etkisiyle meydana gelebilecek savrulmayı azaltmak amacıyla kullanılan süspansiyon sistemi bileşeni denge çubuğu olarak adlandırılır. Şekil 4.4.'de araç üzerindeki davranışı görülmektedir. Denge çubukları, virajın iç kısmında kalan tekerleği bastırarak, aracın devrilmesini engeller ve emniyetli bir şekilde dönüşünü tamamlamasına olanak sağlar. Araç lastiklerinin yol tutuş yeteneklerini artırarak, aracın kaymasını minimize eder (MEB, 2013).



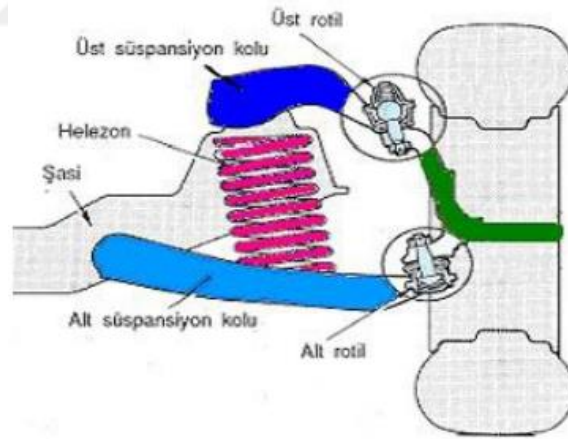
Şekil 4.4. Denge çubuğunun yeri ve davranışı (Gündüz, 2010)

4.3.4.Bağlantı Elemanları

Bağlantı elemanları, süspansiyon sisteminin tüm bileşenlerini belirli bir düzen içerisinde birbirine bağlayarak, tekerleklerin boylamasına ve yanlamasına yönlerdeki hareketlerini kontrol altında tutan temel yapılardır. Bu elemanlar, kullanılan süspansiyon sisteminin tipine bağlı olarak yapısal ve işlevsel farklılıklar göstermektedir (MEB, 2013).

4.3.4.1.Salıncak Kolları ve Rotiller

Salıncak kolları, süspansiyon sisteminin temel bileşenlerinden biri olup; yaylar, amortisörler ve diğer yapısal elemanlarla birlikte entegre bir sistem oluşturur. Bu kollar, tekerleklerin konumunu koruyarak yatay düzlemde farklı yönlerden gelen kuvvetlere karşı hareketlerini sınırlar; ancak dikey yönde doğrudan bir etkileri bulunmamaktadır. Her bir tekerlek için genellikle bir üst ve bir alt salıncak kolu kullanılır. Uygulamada üst salıncak genellikle tek kollu, alt salıncak ise çift kollu yapıdadır. Şekil 4.5.'de görülebileceği üzere, salıncakların bir ucu süspansiyon çatısına, diğer ucu ise rotill bağlantıları aracılığıyla aks taşıyıcısına monte edilmektedir (MEB,2013).



Şekil 4.5. Salıncak ve rotillerin görünüşü (MEB, 2013)

Rotiller, yalnızca bir bağlantı elemanı olmanın ötesinde, tekerleklerle etki eden hem yatay hem de düşey yönlü kuvvetleri taşıyan küresel mafsallara sahip bileşenlerdir. Bu yapıları sayesinde süspansiyon sisteminin hem hareket kabiliyetine hem de yapısal bütünlüğüne önemli katkı sağlarlar (Gündüz, 2010). Kaygan zemin koşullarında maksimum gerilme rotill yuvasında, rotill ile aksın birleştiği yatağın kökünde oluşmaktadır (Makaracı ve diğ., 2013).

5.TAGUCHİ METODU

Organizasyonel yönetim yapısı olan şirketler, kaliteli üretim bakış açısı ile müşteri isteklerini karşılamak, fabrikaların üretim verimliliklerinde artış sağlamak ve kaliteli bir ürün elde etmenin yolunun sadece üretim sahasında yapılan çalışmalarla değil ürünün kendisi ve geçtiği proseslerde optimum sonuçlar elde edilebilecek bir planın oluşturulması gerektiğinin bilincindedirler. Bu amaç ile kaliteyi arttırmak için uygulanabilir, etkili yöntemler arayışına girmişlerdir. Sanayi alanında faaliyet gösteren bu bilinçteki kuruluşlar deneysel tasarım yaklaşımını tercih etmişlerdir. Zaman, maliyet ve kaynak kısıtı meydana getiren çok sayıda deney ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Taguchi kısıtları azaltmak ve bu deney ihtiyaç sayılarını en aza indirmek amacıyla ortogonal dizi kavramını ortaya çıkarmıştır. Ortogonal dizi, planlanan deneylerdeki faktörlerin tüm seviyeleriyle deneyi gerçekleştirmek yerine faktör düzeylerinin aynı deneyde değiştirilmesini savunmuştur. Dr. Genichi Taguchi, yapmış olduğu çalışmalar ile temel deneysel çalışmalara çok farklı bir yenilik katmamıştır ancak uygulamaların başarılı sonuçlar vermesi deney tasarımının özellikle sanayi sektöründe ilgi görmesini sağlamıştır (Canıyılmaz, 2001).

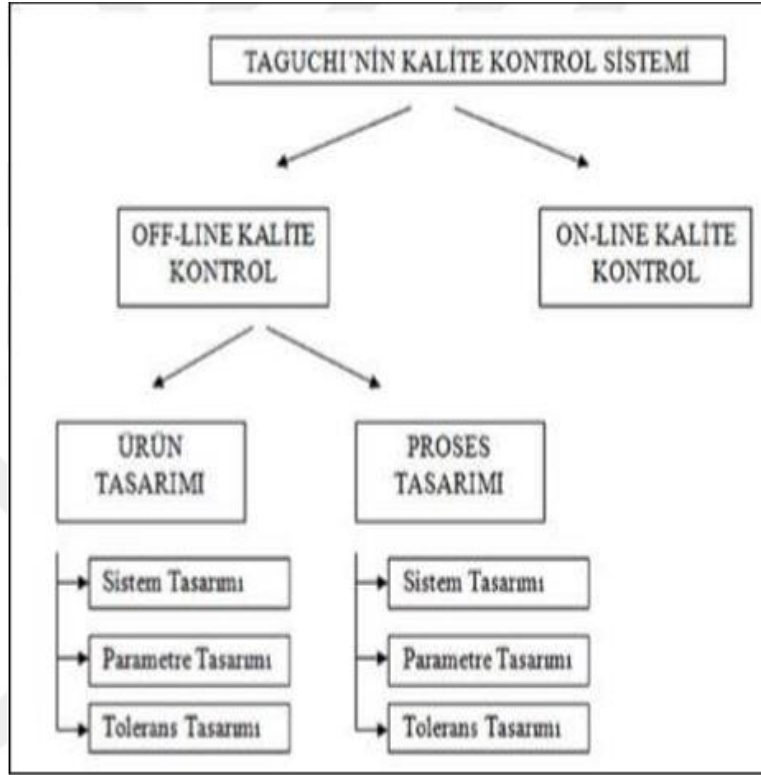
Taguchi'nin temel amacı; kontrol edilebilen faktörleri belirli düzeylerde zaman ve kaynak kullanımı açısından en verimli şekilde değerlendirirken bununla birlikte dışsal etkenlerden kaynaklanan faktörlerin tüm değişkenliklerine duyarlı olmayan ürünler/operasyonlar tasarlamaktır. Bu deney yöntemi ile kaliteli ürünler üretilirken aynı zamanda kalitenin iyileştirilmesinde daha az sayıda deneme ile başarılı sonuçlar alma fırsatı bulunmaktadır (Kamber, 2008).

5.1. Taguchi Kalite Kontrol Sistemi

Kalitenin arttırılması için yapılan çalışmalar Taguchi sisteminde online ve offline olarak iki ana başlığa ayrılmıştır. Deney tasarımları, offline olarak adlandırılan çevrimdışı kontrol başlığı altında bulunan ürün tasarım ve proses tasarım aşamalarında kullanılmaktadır (Koral, 2018).

Şekil 5.1'de taguchi metodunun kalite kontrol sistematiği verilmiştir. Şekil incelendiğinde kaliteli ürün/proses üretmenin adımları offline kalite kontrol

bölümündedir. Oluşturulan şemadan da görüleceği üzere ürün ve proses tasarımlarının her ikisi de 3 adımda incelenmiştir. Bu adımlar; sistem, parametre ve tolerans tasarımı olarak adlandırılmıştır (Mercan, 2019).



Şekil 5.1. Taguchi kalite kontrol sistemi (Şirvancı, 1997)

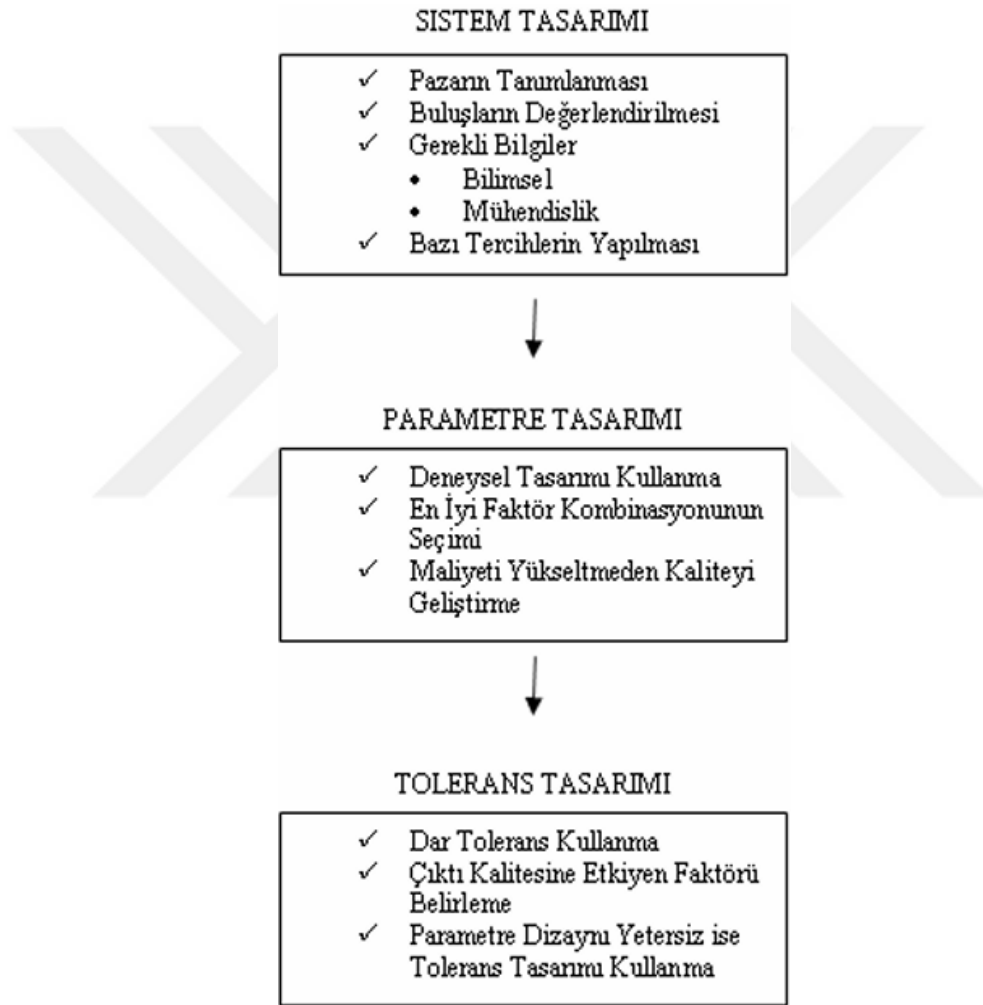
Online kontrol; ürünün üretimi aşamasındaki ve sonrasındaki kalite aksiyonlarını içerir. İstatiksel kontrol ve muayeneler bu kalite kontrol başlığının faaliyetlerindendir. Off-line kontrol; ürün veya prosesin iyileştirilme çalışmaları ve ürün pazar araştırması sırasında yapılan faaliyetlerdir. Bu faaliyetler proses veya ürüne direkt olarak müdahaleden çok başlangıç aşamasından önce yapılan tasarım çalışmalarıdır (Şirvancı, 1997). Taguchi metodunda ele alınan kalite adımları sistem, parametre ve tolerans tasarımı olmak üzere üç ana başlıkta ele alınır, bu tasarım adımları Şekil 5.2.'de görülmektedir.

Sistem tasarımı: Taguchi metodunun birinci adımıdır. Tüm kaynaklar, teknolojik yöntemler ve son teknolojilerin sisteme uygulanabilirliği bu adımda araştırılır.

Parametre tasarımı: Sistemi etkileyen tüm parametreler bu adımda belirlenir. En uygun parametre seviyeleri seçilir. Sisteme etkisi olan ancak kontrol altında olmayan faktörler de bu adımda ele alınır ve etkisinin azaltılması hedeflenir. Kullanılacak olan parametre

değerleri için ortogonal diziden yararlanılır. Çalışma yapılacak tüm seviyeler belirlendikten sonra en uygun ortogonal dizi seçilmelidir.

Tolerans tasarımı: Sistem ve parametre tasarımı adımlarında gerçekleştirilen çalışmalarda ortaya çıkan sapmaların en aza indirgenmesi konusu yeterli olmadığında bu yaklaşım kullanılmaktadır. Sapmayı hedef değere yaklaştırmak amacı ile bu tasarım faaliyetleri devreye alınır. Bu faaliyetler; en büyük, en küçük ve hedef değer olmak üzere en iyi ön adıyla kalite parametrelerinden meydana gelmektedir (Kayı, 2006).



Şekil 5.2. Taguchi metodunun sistematığı (Kamber, 2008)

5.2. Taguchi Ortogonal Diziler

Faktörler ile seviyeleri tanımlandıktan sonra deneylerin her birinde hangi faktöre hangi seviyenin seçileceğini ortogonal diziler belirlemektedir (İçen, 2019).

Şekil 5.3.'de taguchi ortogonal diziye örnek seçim tablosu verilmiştir. Örneğin 4 faktörlü, 3 seviyeli bir sistemde L9 dizisi kullanılması uygundur. Taguchi metodu sayesinde $3^4=81$ deney yapılmasına ihtiyaç duyulmadan 9 deney ile çalışma gerçekleştirilebilmektedir.

Ortogonal dizilerin belirlenmesinde toplam serbestlik derecesine etkilir. Bir faktör grubuna ait toplam serbestlik derecesi, o grupta yer alan tüm faktörlerin ve faktörler arası etkileşimlerin serbestlik derecelerinin ayrı ayrı hesaplanarak elde edilen toplamıdır. Gerçekleştirilecek toplam deney sayısı, faktör grubunun serbestlik derecesinden bir fazla olmalıdır (Canıylmaz ve Kutay, 2003).

PARAMETRE SAYISI

SEVİYE SAYISI											
2			3			4			5		
P=2	S=2	L4	P=2	S=3	L9	P=2	S=4	L' 16	P=2	S=5	L25
P=3	S=2		P=3	S=3		P=3	S=4		P=3	S=5	
P=4	S=2		P=4	S=3		P=4	S=4		P=4	S=5	
P=5	S=2	L8	P=5	S=3	L18	P=5	S=4	L' 32	P=5	S=5	L50
P=6	S=2		P=6	S=3		P=6	S=4		P=6	S=5	
P=7	S=2		P=7	S=3		P=7	S=4		P=7	S=5	
P=8	S=2	L11	P=8	S=3	L27	P=8	S=4	L' 32	P=8	S=5	L50
P=9	S=2		P=9	S=3		P=9	S=4		P=9	S=5	
P=10	S=2		P=10	S=3		P=10	S=4		P=10	S=5	
P=11	S=2	L16	P=11	S=3	L36				P=11	S=5	L50
P=12	S=2		P=12	S=3					P=12	S=5	
P=13	S=2		P=13	S=3							
P=14	S=2	L32	P=14	S=3							
P=15	S=2		P=15	S=3							
P=16	S=2		P=16	S=3							
P=17	S=2		P=17	S=3							
P=18	S=2		P=18	S=3							
P=19	S=2		P=19	S=3							
P=20	S=2		P=20	S=3							
P=21	S=2		P=21	S=3							
P=22	S=2		P=22	S=3							
P=23	S=2		P=23	S=3							
P=24	S=2										
P=25	S=2										
P=26	S=2										
P=27	S=2										
P=28	S=2										
P=29	S=2										
P=30	S=2										
P=31	S=2										

Şekil 5.3. Taguchi ortogonal dizi seçim tablosu (Kamber, 2008)

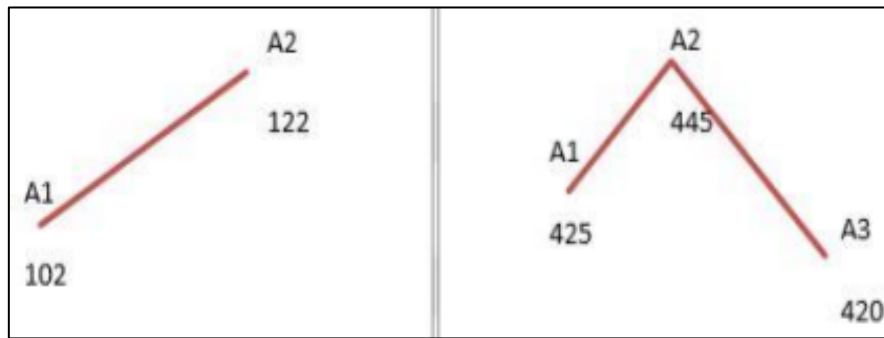
5.3. Sinyal / Gürültü (S/N) Oranı

Taguchi, deney tasarımı sürecinde performansın değerlendirilmesi ve değişkenlerin azaltılmasını amaçlayan birçok istatistik geliştirmiş ve buna sinyal/gürültü (S/N) oranı demiştir (Koral, 2018).

Gerçekleştirilen deneyin yapılış amacına göre; en büyük en iyi, en küçük en iyi ve hedef değer en iyi olacak şekilde 3 farklı S/N değişim fonksiyonu bulunmaktadır. Buradaki hedef değişkeni en aza indirmektedir.

5.4. Etkin Parametrelerin Belirlenmesi

Belirleyici parametrelerin tespiti amacıyla sütun etkisi yöntemi kullanılmaktadır. Örneğin bir ortogonal dizi tablosunda her bir faktör seviyesine karşılık gelen sinyal/gürültü (S/N) oranı veya ortalama yanıt değerleri ayrı ayrı gruplanır. Örneğin, A parametresinin 1. seviyesine ait tüm S/N veya ortalama değerler toplanır; aynı işlem 2. seviye için de yapılır. Ardından bu iki seviye arasındaki fark mutlak değeriyle değerlendirilir. Elde edilen farkın büyüklüğü, ilgili parametrenin sistem üzerindeki etkisinin göstergesi olarak kabul edilir; fark ne kadar büyükse, o parametre o kadar etkili sayılır.

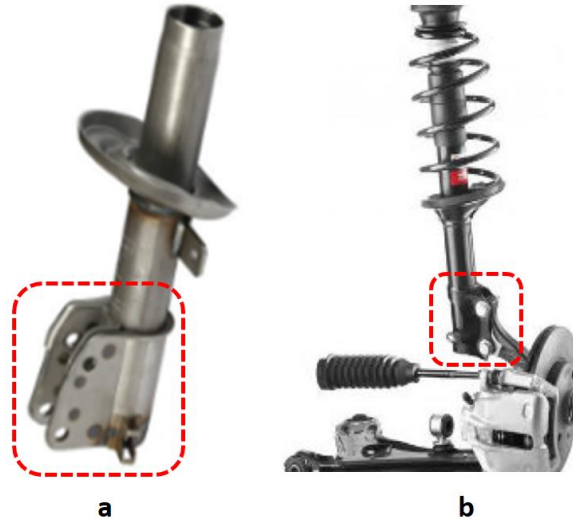


Şekil 5.4. Etkin parametrenin grafik üzerinde gösterimi

Parametrelerin sistem üzerindeki etkilerini değerlendirmek amacıyla, her seviyeye karşılık gelen değerler grafiksel olarak sunulmaktadır. Şekil 5.4'te, 2 ve 3 seviyeye sahip A parametresi için sütun etkisi yöntemiyle elde edilen değerler gösterilmiştir. Grafikte sol tarafta yer alan A1 seviyesinin toplam değeri 102, A2 seviyesinin toplamı ise 122 olarak görülmektedir. Bu verilere dayanarak yapılan değerlendirmede, A parametresinin ikinci seviyesinin daha yüksek etkiye sahip olduğu ifade edilebilir (Sabırlı, 2020).

6.MALZEME VE YÖNTEM

Çalışma kapsamında amortisör sistemlerinde yaygın olarak kullanılan metal alt parçalardan klevis braketin tasarımı, uygun malzeme seçimi ve üretim süreçlerindeki karbon salımının azaltılmasına yönelik analizler gerçekleştirilmiştir. Karbon salınım miktarının en aza indirilmesi amacıyla alternatif yaklaşımlar değerlendirilmiştir. Çalışmanın yürütüldüğü üretim tesisinde, yıllık üretim adedi ve ürün çeşitliliği açısından en yoğun kullanılan parça olan klevis braket parçası seçilmiştir. Şekil 6.1.'de klevis braketin amortisördeki konumu görülmektedir. Klevis braketin kaynak operasyonuna yönelik süreç iyileştirmelerinde, taguchi metodu kullanılarak optimum proses parametrelerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Tasarım aşamasında, ağırlık azaltmaya yönelik optimizasyon çalışmaları gerçekleştirilmiş ve böylece kullanılan hammadde miktarının düşürülmesi amaçlanmıştır. Ayrıca, mevcut hammaddenin yerine daha düşük karbon içeriğine sahip alternatif bir malzeme tercih edilmiş ve bu malzemenin parça dayanım performansı değerlendirilmiştir. Tüm bu iyileştirmeler sonucunda, mevcut üretim koşullarıyla karşılaştırmalı olarak karbon ayak izi hesaplamaları yapılmış ve karbon salınımının azaltılması yönünde elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.



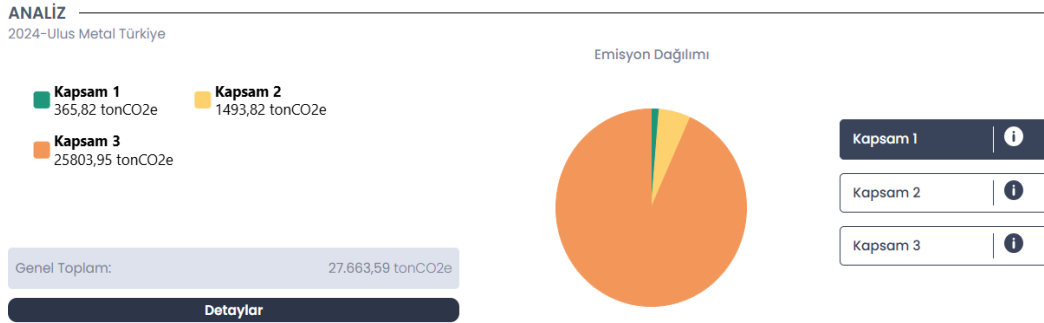
Şekil 6.1. Amortisör üzerinde klevis braketin gösterimi a) amortisör gövde hali (yarı mamül) b) amortisör araca montajlı hali

6.1. Çalışmanın Gerçekleştirildiği İşletmenin Tanımı

Tezin oluşturulması aşamasında yapılması planlanan çalışmalar için gerekli olanakları sağlayan Ulus Metal San. Tic. Ve A.Ş., Tier 2 olarak otomotiv ve soğutma sektöründe

metal parçaların kalıp tasarımı/üretimi ve sac şekillendirmesini yapan bir şirkettir. Üretim hacminin büyük kısmını otomotiv amortisör metal alt parçaları oluştururken ağır vasıta fren körük parçaları ve soğutma grubu kompresör metal bileşenleri de üretilmektedir. Firma, AR-GE merkezi olması sebebiyle de tüm çalışmalarını inovasyon ve yenilik ilkesiyle sürdürmektedir. Yeşil çevre, sürdürülebilirlik konularına Ar-Ge kapsamında çalışma ve projeleri ile de destek vermektedir.

GHG Protokolüne göre Semtrio programının connetpro modülü ile üç kapsamda toplam karbon salınım miktarları hesaplanmıştır ve Şekil 6.2.'de dağılımları görülen 2024 yılına ait ton CO₂ cinsinden 27.663,59 ton CO₂ değeri elde edilmiştir.



Şekil 6.2. Çalışmanın yapıldığı firmanın 2024 yılına ait toplam karbon emisyon değeri

6.2. Materyal

Malzemelerin seçiminde, parça performansını artıracak mekanik dayanım ile üretim sürecinde sağlanacak verimlilik kriterleri göz önünde bulundurulmuştur. Bu çalışmada Ulus Metal San. Tic. A.Ş. tarafından üretilen amortisör alt parçalarından, bağlantı ekipmanı olan klevis braket parçası için seçilen malzemeler; dış braket için 3,20 mm kalınlığındaki S315MC ve 3,00 mm kalınlığındaki S355MC, iç braket için 3,00 mm kalınlığındaki S355MC'dir. Hortum tutucu parçası çalışma kapsamında dikkate alınmamıştır. Aşağıdaki tablolarda verilen kimyasal (Tablo 6.1.) ve mekanik (Tablo 6.2.) özellikler EN 10149-2:2013 standardından alınmıştır.

Tablo 6.1. S315MC ve S355MC çeliklerinin kimyasal bileşimleri

Elementler (% max.)	C	Mn	Si	P	S	Nb	V	Ti
S315MC (1.0972)	0,12	1,30	0,50	0,025	0,020	0,09	0,20	0,15
S355MC (1.0976)	0,12	1,50	0,50	0,025	0,020	0,09	0,20	0,15

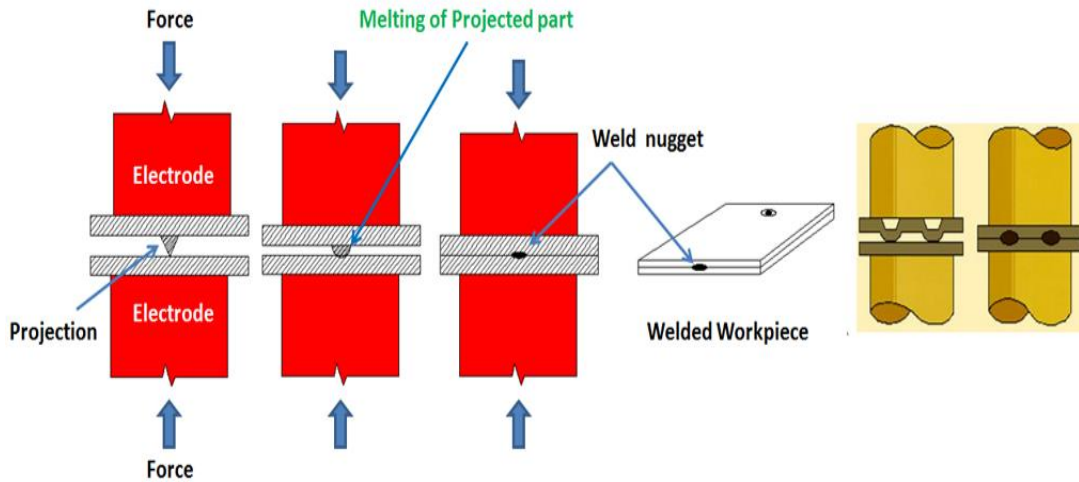
Tablo 6.2. S315MC ve S355MC çeliklerinin mekanik özellikleri

	Akma Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Uzama ($t \geq 3$) (%)
S315MC (1.0972)	315	390-510	24
S355MC (1.0976)	355	430-550	23

6.3. Yöntem

6.3.1. Amortisör Alt Parçalarından Klevis Braketin Üretimi

Bu tez kapsamında çalışma yürütülen Ulus Metal San. Tic. A.Ş. firması bünyesinde, amortisöre ait çeşitli metal parçalar üretilmektedir. Bu parçalar arasında amortisör yay pedinin oturduğu yay tablası (spring seat, yay çanağı), viraj denge çubuğunun (z rotun) bağlantısının yapıldığı stabbar braket (stabiliser bracket), amortisör borusunun alt kısmını kapatmaya yarayan alt kapak ve cıvata ile amortisör tekerlek bağlantısını sağlayan klevis braket (kaynaklı braket, knuckle bracket, tüm braket) parçaları üretilmektedir. Yay tablası, stabbar braket ve alt kapak parçaları tekil olarak üretilmekte ve boru parçasına mag kaynak işlemi ile birleştirilmektedir. Bu çalışmanın odak noktasını oluşturan klevis braket, temel üç alt parçadan meydana gelmektedir; dış braket, iç braket ve hortum tutucu. Bu alt parçalar, üretim süreci sonrasında projeksiyon kaynak yöntemi ile bir araya getirilmekte ve ortaya klevis braket adı verdiğimiz parçayı oluşturmaktadır. Klevis braket, amortisör borusuna gaz altı kaynak yöntemi ile kaynatılmaktadır.

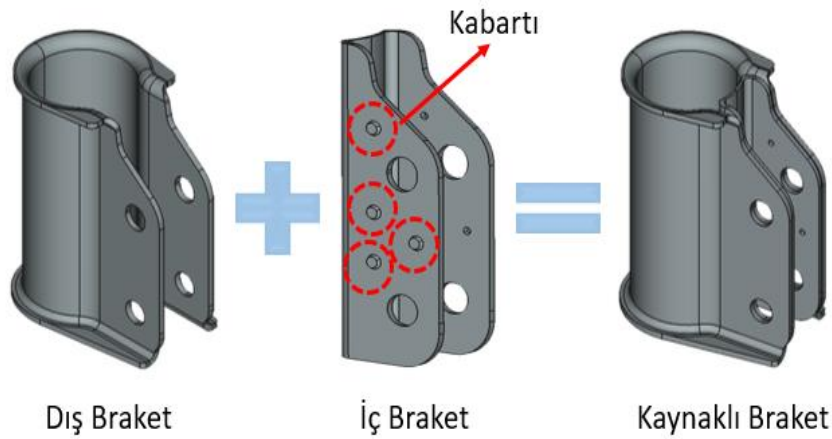


Şekil 6.3. Projeksiyon kaynak gösterimi

Şekil 6.3.'de görülen projeksiyon kaynağı, kabartılı nokta kaynak olarak da adlandırılan nokta kaynağının başka bir versiyonudur. Nokta kaynak yönteminde elektrot uçlarının boyut ve şekilleri parça üzerinden geçen akımı sınırlarken projeksiyon kaynağında akım, kaynatılacak parçaların en az birinde bulunan kaynak bukeli (memesi, kabartısı) ile sınırlıdır. Diğer direnç kaynak yöntemleri ile karşılaştırıldığında akımın tek bir yerde toplanmasından dolayı daha üstün bir ısı dengesi sağlanmasına olanak sağlar. Punta kaynağı kadar elektrota bağımlı değildir.

Dış braket parçasının üretiminde sıcak haddelenmiş, yüksek mukavemetli çelik kullanılmaktadır. Parçalar tesiste, parça kalınlığına bağlı olarak çeşitli tonajlardaki transferli preslerde üretilmektedir. Temel olarak açınım kesme, form verme, u bükme ve kalibrasyon operasyonlarından oluşmaktadır. Dış braket ölçülerinde, nihai ürün olan klevis braketin ölçüleri baz alınarak belli tolerans aralığında çalışılır. Parçalar, klevis braketin montajlanıp kaynatılacağı borunun çapına uygun bir çapta üretilir ve içerisine iç braket parçasının kaynatılması ile istenen boru çap değeri elde edilir.

İç braket parçasının üretiminde kullanılan malzeme kalitesi, dış braketle aynı gruptandır. Dış ve iç braketler, projeksiyon kaynak yöntemi ile birleştirilmektedir. Bu kaynak işlemi için Şekil 6.4.'de görüldüğü şekilde kaynak kabartıları (projeksiyon çıkıntıları, kaynak punta noktaları, kaynak bukelleri, kaynak memesi...vb.) iç braket parçasının üzerine eklenir. Genellikle progresif preslerde üretilen bu parça, üretimi sürecinde dış braket ile benzer operasyonlardan geçmektedir.

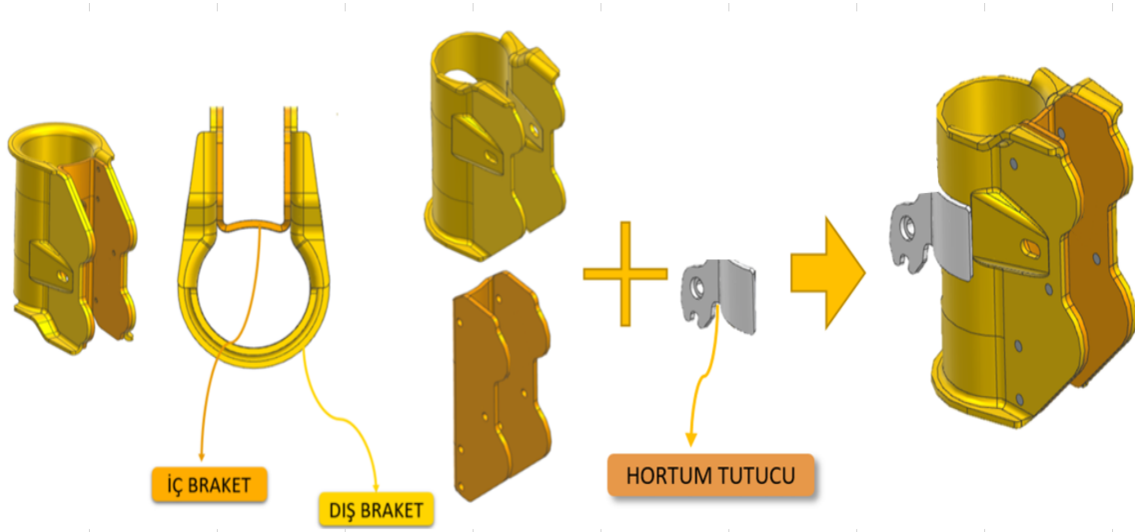


Şekil 6.4. İç braket üzerindeki kaynak kabartılarının gösterimi

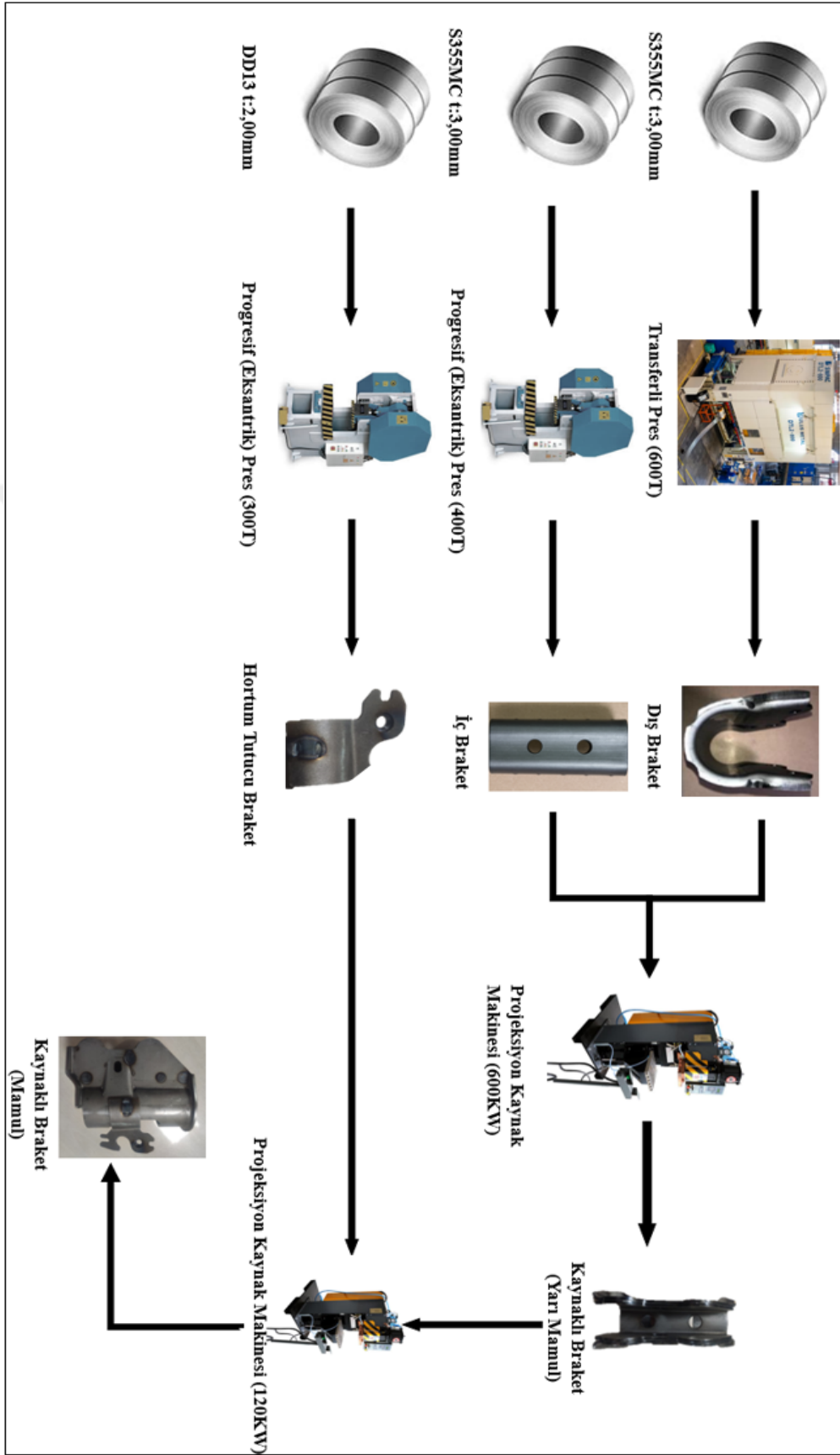
Hortum tutucu ise dış braket üzerine projeksiyon kaynak yöntemiyle birleştirilen, yönlendirme işlevi gören bir parçadır. Bu parça, amortisör etrafından geçen fren hortumlarını sabitlemek amacıyla kullanılmaktadır. Parça, fren hattının güvenliğini sağlamak için hortumun doğru pozisyonunda sabitlenmesini temin eder ve sürüş sırasında oluşabilecek titreşim, sürtünme veya yer değiştirmelerin önüne geçer. Bu sayede fren sisteminin güvenilirliği artırılır, hortumun aşınması veya hasar görmesi engellenir. Kullanım amacıyla, yük taşıma fonksiyonu bulunmadığı için, dış ve iç braket parçalarına göre üretiminde daha düşük karbon içeriğine sahip çelikler tercih edilmektedir.

Klevis braketin üretim süreci, hassasiyet gerektiren ve birbirini tamamlayan bir dizi operasyonun uyumlu şekilde yürütülmesini gerektirir. Parçaların boyutsal toleranslarının korunması, hem montaj uyumu hem de uzun dönemli performans açısından kritik öneme sahiptir. Bu nedenle, her üretim aşamasında kalite kontrol süreçleri titizlikle uygulanmakta, ölçüm ve denetimler belirli standartlara göre gerçekleştirilmektedir. Ayrıca, kaynak işlemlerinde uygun akım ve basınç parametrelerinin kullanılması, birleşim bölgelerinin dayanımını ve ömrünü doğrudan etkilemektedir. Tüm bu süreçler, parçanın nihai kullanımda hem güvenlik hem de dayanıklılık açısından beklentileri karşılamasını sağlamaktadır.

Üretim süreçlerinden bahsedilen klevis braketin alt parçalarının gösterimi Şekil 6.5.'de verilmiştir. Üretim akış şemasının görselleştirilmiş hali Şekil 6.6.'de görülmektedir.



Şekil 6.5. Amortisör grubunda yer alan klevis braket yapısı

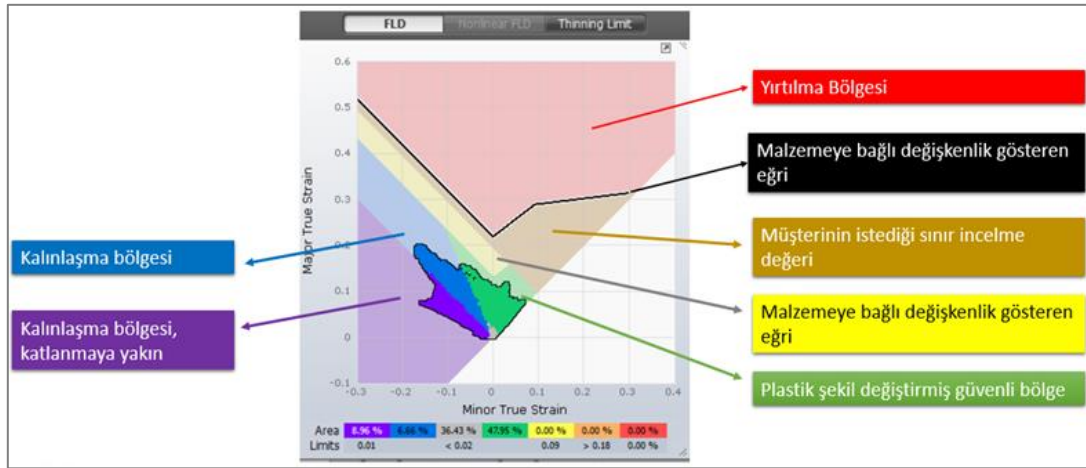


Şekil 6.6. Klevis braket fabrika içi üretim şeması

6.3.2.AutoForm Simülasyonlarının Gerçekleştirilmesi

AutoForm, sac metal şekillendirme ve kalıp endüstrisine özel olarak geliştirilen yüksek doğruluklu ve güvenilir sonuçlar veren çok verimli bir yazılım çözümüdür. Bu yazılımın kullanılmasındaki ana amaç; zaman, maliyet ve işçilikten tasarruf sağlanarak daha hızlı ve sağlıklı yol katetmektir. Tez çalışması kapsamında deneysel sonuçları desteklemek amacıyla yapılan AutoForm analizleri, Ulus Metal San. ve Tic. A.Ş. firması bünyesinde gerçekleştirilmiştir.

AutoForm analizleri sonucunda Şekil 6.7.'te görülen Şekillendirme Sınır Diyagramı (Forming Limit Diagram (FLD)) elde edilmektedir. Şekillendirme Sınır Diyagramı, sac metal şekillendirme işlemlerinde malzemenin hangi gerinim seviyelerine kadar Şekil değiştirebileceğini gösteren, sınırları belirleyen bir diyagramdır. Bu diyagramda kırmızı bölge, malzemenin deformasyon sınırını aşan ve hasar veya yırtılma riski taşıyan alanları ifade etmektedir. Yeşil bölge, malzemenin güvenli bir şekilde Şekil alabileceği, herhangi bir yırtılma veya hasar riski olmadan deformasyona uğrayabileceği bölgedir. Mavi bölge, malzemenin elastik deformasyon bölgesidir. Bu bölgedeki gerilmeler kalıcı hasara yol açmamaktadır. Mor bölge, sac metal üzerinde kıvrılmaların/buruşmaların oluşabileceği bölgedir. Gri bölge ise sac metal şekillendirme sürecinde yetersiz plastik deformasyonun olduğu alanları ifade etmektedir.



Şekil 6.7. Autoform analizi sonucu FLD örneği (Tuyan ve diğ. 2020)

Bu tez çalışmasında AutoForm analizi ile klevis braket parçasında tasarım değişikliği ile ağırlık azaltma çalışması yapılmıştır. Parçanın formunda müşterinin izin verdiği sınırlar

koşulunda tasarım değişikliğine gidilmiştir. Tasarımda yapılacak olan revizyonlar sonucu, müşteri isterlerini karşılayan, daha hafif bir parça üretilmesi hedeflenmiştir.

6.3.3.Çekme Testi

Çekme test cihazları, malzemelerin mekanik dayanım değerlerini elde etmek için kullanılan hassas ölçüm araçlarıdır. Numune, çene adı verilen iki metal arasında sabitlenerek kontrollü bir şekilde yere dik olacak şekilde çekilir. Parçanın kopma (deforme) noktasına kadar maruz kaldığı kuvvet ve uzama miktarı bilgisayara otomatik olarak kaydedilir. Bu cihaz sayesinde parçanın akma dayanımı, kopma mukavemeti gibi istenen parametreler elde edilebilir. Bu cihazlar farklı sektörlerde kalite kontrol ve Ar-Ge uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu tez kapsamında incelenen dış ve iç braket kaynatılmış klevis braket parçası için istenen çekme testi değeri min. 55kN olarak belirlenmiştir. Kaynak uygulaması sonrası parça çekme test cihazında Şekil 6.8’da gösterildiği gibi çekilerek koparılmaya çalışılmaktadır. Çekme test cihazı üzerinden elde edilen veriler bilgisayara aktarılmakta ve anlık olarak kopma değerleri takip edilmektedir.



Şekil 6.8. Zwick marka çekme test cihazı ve iş parçası

Zwick Z100, yüksek hassasiyetli çekme, basma ve eğme testleri için geliştirilmiş, merkezi bilyalı vidalı tahrik sistemine sahip bir malzeme test cihazıdır. Maksimum 100 kN kuvvet uygulayabilen bu cihaz; düşük çevrimli yorulma, mikro yapı incelemeleri, kırılma testleri gibi ileri düzey mekanik testler için uygundur.

6.3.4.Taguchi Metodunun Kullanılması

İlgili tez çalışmasında klevis braket parçasının alt parçalarından dış ve iç braketin projeksiyon kaynak prosesinin parametrelerinin optimum kaynak değerlerinin tespit edilmesi hedeflenmiş, tespit edilen parametre değerlerinin Taguchi yöntemi ile deney düzenekleri oluşturulmuştur. Taguchi yönteminde kullanılan “en büyük – en iyi” kriteri doğrultusunda, projeksiyon kaynak parametrelerinin iç ve dış braket çekme kuvveti üzerindeki etkileri analiz edilmiştir.

Bu çalışmada 3,00 mm kalınlıkta S355MC çelik malzemedan üretilmiş iç ve dış braketlerin kaynatılması ile meydana gelen klevis braket parçası kullanılmıştır. Kaynatılan parçalar, çekme test cihazına bağlanarak elde edilen değerler kayıt altına alınmıştır. İlgili parametreler ve değerleri firma tecrübesi ve makinenin manuel el kitabından bakılarak, kaynak akımı (44, 48, 50) kA, kaynak zamanı (35, 40, 45) cycles (çevrim), sıkma zamanı (17, 21, 25) cycle (çevrim) olarak belirlenmiştir. Bu bilgiler özet şekilde Tablo 6.3’de verilmiştir. Yapılacak deneyler sonucunda kaynak akımı, kaynak zamanı ve sıkma zamanı değerlerinin en iyi kombinasyonunun bulunması ile parçaların proje aşamasından itibaren kabul edilebilir kaynak değerlerinin bulunması için fazla sayıda deney ve hurda oluşumunun önüne geçilmesi hedeflenmiştir.

Tablo 6.3. Klevis braket kaynak makinesi ayar parametreleri

Değişkenler	Birim	Kod	Seviyeler		
			1	2	3
Kaynak Akımı	kA	A	44	48	50
Kaynak Zamanı	cycle	B	35	40	45
Sıkma Zamanı	cycle	C	17	21	25

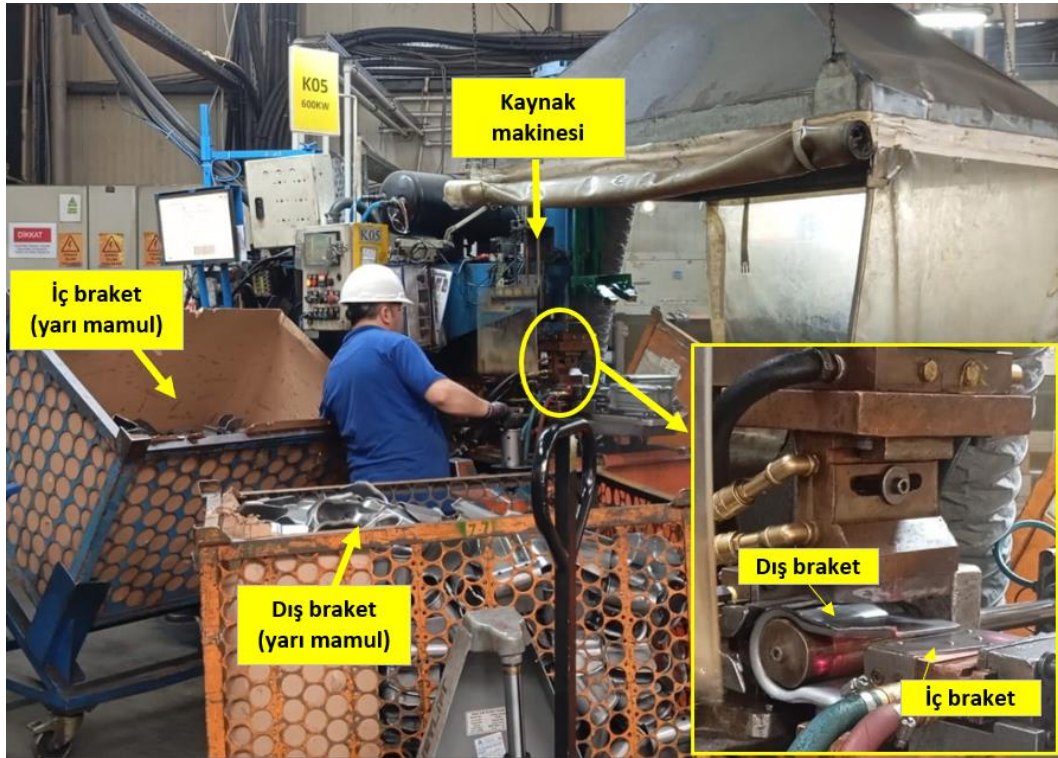
Deneyde kullanılan değişkenlerin seviyelerine karar verildikten sonra belirlenen makine faktörlerinin hesaplanması amacıyla Minitab istatistiksel analiz programı ile değişkenlerin 3 seviyeli olduğu 3 faktör için L9 ortogonal dizisi ile deney tasarımı oluşturulmuştur. 3

faktör parametresi, her birinin 3 seviyesi için oluşturulan L9 ortogonal dizisine sahip deney tablosu Tablo 6.4.'de verilmiştir. Tabloda kaynak akım değerleri A1, A2, A3; kaynak zamanları B1, B2, B3; sıkma zamanları C1, C2, C3 olarak ifade edilmektedir.

Tablo 6.4. L9 ortogonal dizisine göre oluşturulan deney tablosu

Deney No	Değişkenler	Kaynak Akımı [kA]	Kaynak Zamanı [cycle]	Sıkıştırma Zamanı [cycle]
1	A1B1C1	44	35	17
2	A1B2C2	44	40	21
3	A1B3C3	44	45	25
4	A2B1C2	48	35	21
5	A2B2C3	48	40	25
6	A2B3C1	48	45	17
7	A3B1C3	50	35	25
8	A3B2C1	50	40	17
9	A3B3C2	50	45	21

Hazırlanan 9 adet deney düzeneklerine göre parçalar Şekil 6.9.'da görülen 600 kW projeksiyon kaynak makinesinde sırası ile kaynatılıp ve Zwick marka çekme test cihazında çekilerek elde edilen çekme kuvveti değerlerine göre en optimum deney parametreleri üretimde kullanılmak üzere seçilmesi amaçlanmaktadır.

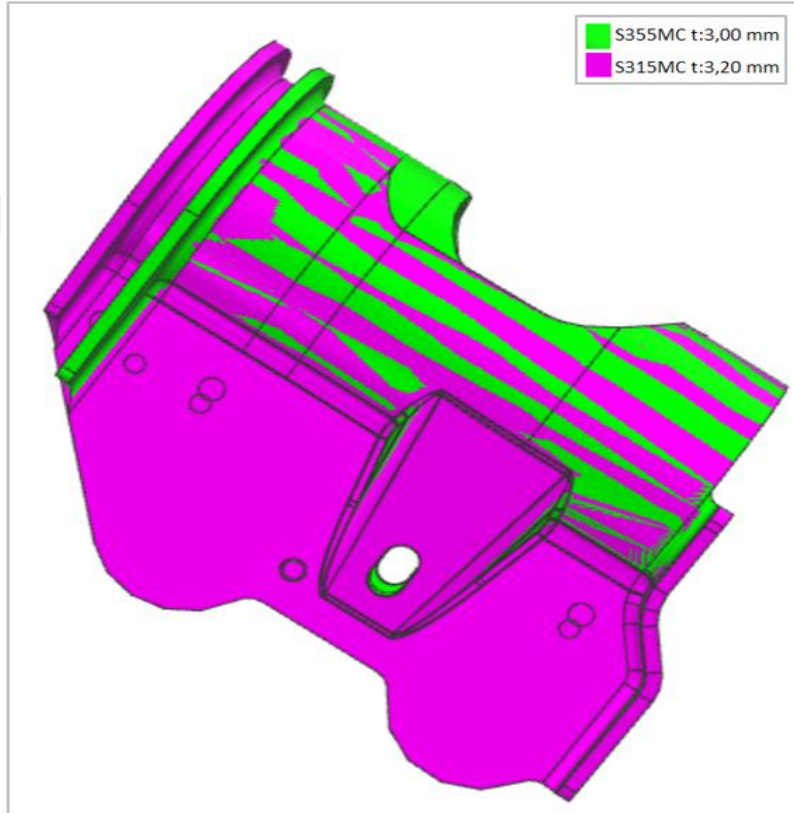


Şekil 6.9. Dış ve iç braketin kaynatılması

7.BULGULAR VE TARTIŞMA

7.1. AutoForm Analizi Sonuçları

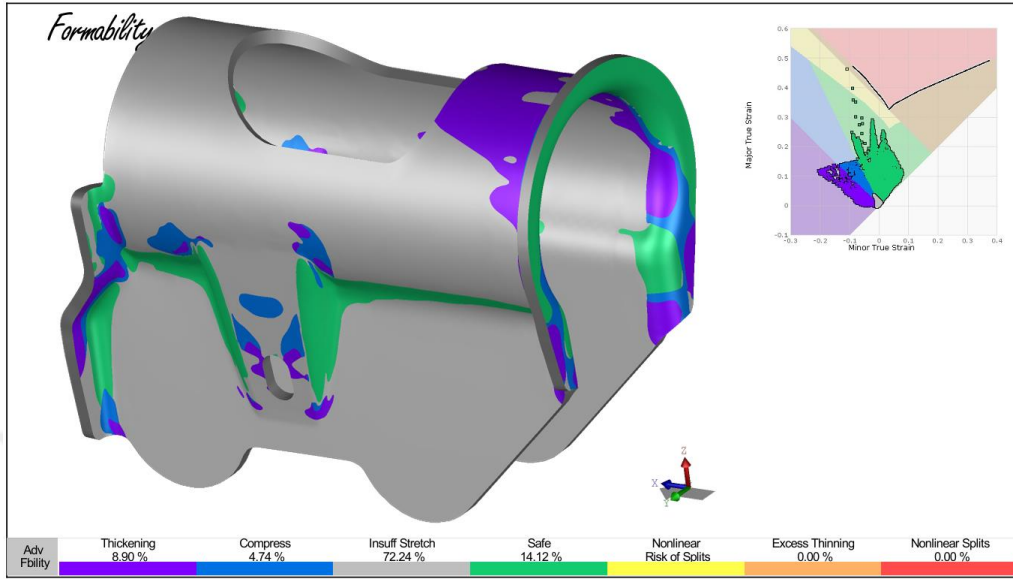
Çalışma parçasının karbon ayak izini azaltma amaçlarından biri olan parça hafifletmesi hedefiyle dış braket parçasında hafifletme çalışması yapılmıştır. Bu kapsamda, müşteri tarafından izin verilen sınırlar dahilinde parçanın boyu ilk duruma göre yaklaşık %8 oranında kısaltılmış ve parça kalınlığı 3,20 mm'den 3,00 mm'ye düşürülmüştür. Klevis braketten beklenen çekme değerlerinin korunması amacıyla dış braket parçasının malzemesi, mukavemet değeri daha yüksek olan S315MC'den S355MC'ye çıkarılmıştır. Her iki durumda da iç braket olarak 3,00 mm kalınlığında S355MC malzemeye sahip aynı parça kullanılmıştır. Şekil 7.1.'de mor renk ile temsil edilen ilk durumdaki dış braket, revizyon sonucu yeşil renk ile temsil edilen haline getirilmiştir.



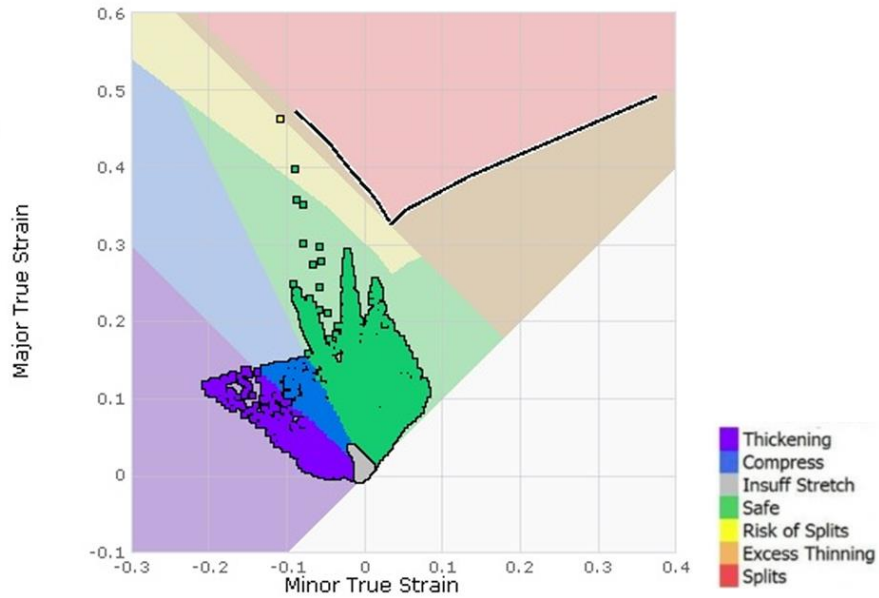
Şekil 7.1. Dış braket revizyon karşılaştırılması

Dış braket üzerinde yapılan bu hafifletme çalışması sonucu klevis braketin net ağırlığı 1,016 kg değerinden 0,968 kg'a düşürülmüştür ve parçaların uygunluğu AutoForm analiz sonuçları ile de desteklenmiştir. Dış braket parçası üzerinde yapılan AutoForm

şekillendirilebilirlik analizine ait ilk durumdaki parçanın görseli Şekil 7.2.'de ve görsele ait FLD diyagramı Şekil 7.3.'de görülmektedir.

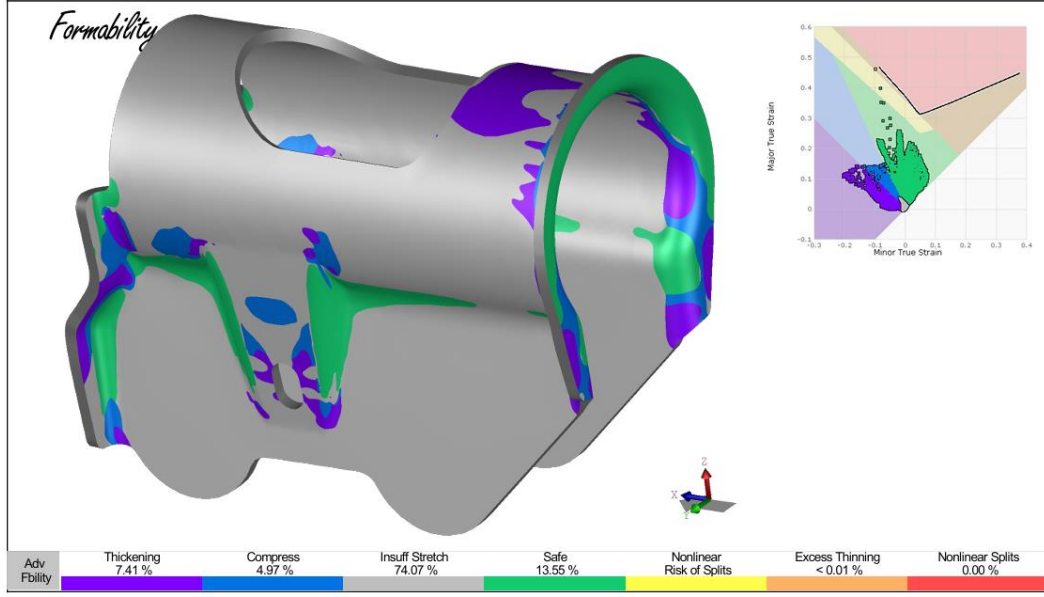


Şekil 7.2. S315MC t:3,20 mm dış braket parçasına ait Autoform analiz sonucu

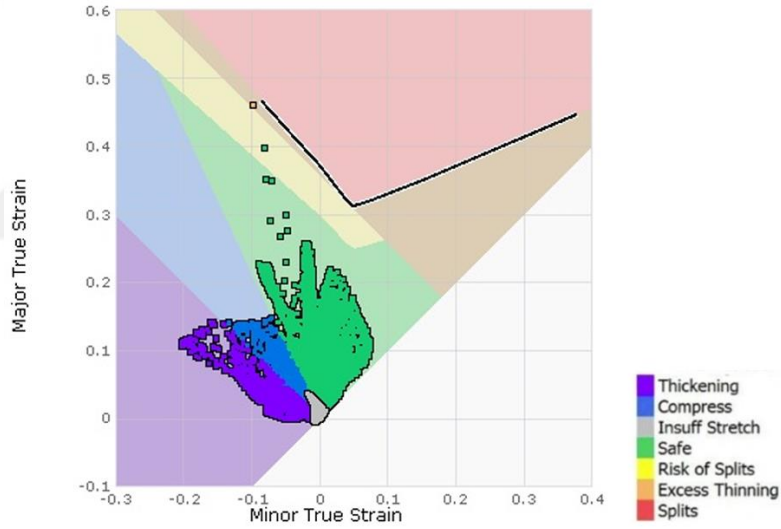


Şekil 7.3. S315MC t:3,20 mm dış braket parçasına ait FLD diyagramı

Analiz sonucu elde edilen dış braket parçasının, istenen kuvvet değerlerini sağlayan S355MC 3,00 mm kalınlığındaki AutoForm analiz sonucu Şekil 7.4.'de ve FLD diyagramı Şekil 7.5.'de görülmektedir. Gerçekleştirilen analizler sonucunda, yeni parça tasarımının form verilebilirliği açısından herhangi bir problem tespit edilmediği görülmüştür.



Şekil 7.4. S355MC t:3,00 mm dış braket parçasına ait AutoForm analiz sonucu



Şekil 7.5. S355MC t:3,00mm dış braket parçasına ait FLD diyagramı

Yapılan bu iyileştirmenin sonucunda, dış braket parçasının üretiminde kullanılan hammaddenin rulo genişliği %5,63 ve hatve (adım) genişliği ise %1,16 düşürülmüştür.

Yeni bant tasarımı ile birlikte klevis braket parçası üretiminde kullanılan hammadde miktarı azaltılarak karbon emisyonu düşürülmüştür. Tasarım iyileştirilmesi sonucu parçanın brüt ağırlığı %8,50 azaltılmıştır. Bu sayede hem malzeme verimliliği artırılmış hem de azaltılan hammadde kullanımı sayesinde atık miktarı da önemli ölçüde düşürülerek çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlanmıştır.

Vishwajeet ve diğ., tarafından düşük karbonlu çelik sacların şekillendirilmesi üzerine yapılan çalışmada sacın davranışı deneysel olarak incelenmiş ve daha sonrasında FLD diyagramları oluşturulmuştur. Elde edilen FLD, güvenli ve başarısızlık bölgelerini ayırt eden bir eğri ile ikiye bölünmüştür. Bu eğrinin altındaki alan, sacın güvenli bir şekilde şekillendirilebileceği bölgeyi temsil ederken, eğrinin üzerindeki alan, lokal boyunlanma ve çatlama riskinin yüksek olduğu başarısızlık bölgesini göstermektedir. Çalışma sonucunda FLD eğrisinin vermiş olduğu tüm olası senaryoların, deneysel yöntemlerle uyumlu olduğu görülmüş ve eğrinin güvenilir olduğu ispatlanmıştır.

Tuyan, tarafından otomotiv süspansiyon sistemi parçalarından salıncak kolu parçasındaki yırtılma probleminin giderilmesi amacıyla yapılan çalışmada AutoForm analiz yöntemi kullanılmıştır. Analiz sonucu, parçada geometri değişikliğine gidilmiş ve yırtılmanın yaklaşık %40 oranında azaldığı FLD diyagramlarında görülmüştür. Analiz sonucuna göre üretilen parçada görülen yırtılma bölgeleri ve oranları AutoForm çıktısı ile aynı olduğu ispatlanmıştır.

7.1.1. AutoForm Analizi Sonuçları - Karbon Emisyonu Hesabı

Parça üretiminde kullanılan çelik miktarının azaltılması sonucunda elde edilecek karbon emisyon miktarı hesaplanmıştır. Parçanın ilk tasarımı ve son tasarımı karşılaştırıldığında parçanın brüt ağırlığından 0,131 kg tasarruf sağlanmıştır. Bu hafifletme çalışması sonucu parça üretim başına azaltılan karbon emisyon miktarı Denklem (7.1)'deki;

$$E_{emisyon} = F \times EF \quad (7.1)$$

formülü kullanılarak hesaplanmıştır. Formülde EF ile belirtilen emisyon faktörü değeri için hammaddenin temin edildiği çelik tedarikçisinden alınan değer, hesaplamalarda kullanılmıştır. Kullanmış olduğumuz çeliğin emisyon faktörü 1,987 kgCO_{2e}'dir. Denklem (7.2)'de hesapladığımızda;

$$E_{emisyon} = 0,131 \text{ kg çelik} \times 1,987 \frac{\text{kgCO}_2\text{e}}{\text{kg çelik}} = 0,260 \text{ kgCO}_2\text{e} \quad (7.2)$$

değeri elde edilmiştir. Bu ağırlık azaltma çalışması ile parça başına yaklaşık 0,260 kgCO_{2e} emisyon sağlanmıştır. Üretimde yapılan küçük ölçekli iyileştirmelerin dahi çevresel etkiler üzerinde anlamlı bir fark yaratacağını göstermektedir.

Parçanın firmadaki üretim ve sevk adetlerine bakıldığında yıllık yaklaşık 400.000 adet satışı olan bir parçadır. Bu referans özelinden toplam azaltılan karbon emisyon miktarını Denklem (7.3)'de hesapladığımızda;

$$E_{emisyon} = 0,260 \text{ kgCO}_2\text{e} \times 400.000 = 104.000 \text{ kgCO}_2\text{e} \quad (7.3)$$

değerini elde etmekteyiz.

AutoForm programı ile gerçekleştirilen analizler sonucunda, parça işlevselliğini olumsuz yönde etkilemeden, mevcut test koşullarını karşılayan yeni bir tasarım elde edilmiştir. Bu iyileştirme sayesinde, hammaddeden yıllık yaklaşık 104 ton CO₂e karbon emisyonu azaltımı sağlanmıştır.

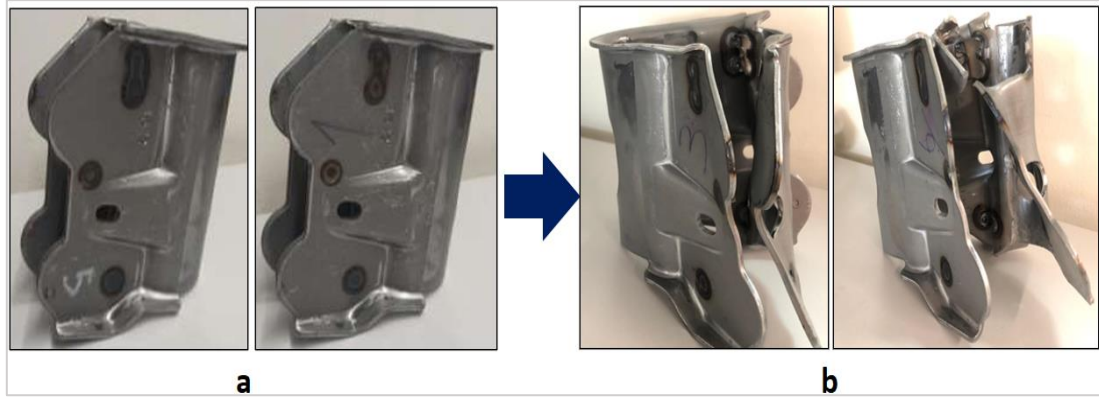
Parçanın ilk ve son durumdaki net ağırlık miktarında kayda değer bir fark olmadığından net ağırlık için karbon emisyon miktarı hesaplanmamıştır. Parça üzerinde boşaltma delikleri açılarak net ağırlık kazancı sağlanabilir. Her araçta iki adet klevis braket olduğu göz önünde bulundurulduğunda burada da karbon emisyon azaltımı için fırsatlar bulunmaktadır.

7.2.Taguchi Metodu ve Çekme Testi Sonuçları

Taguchi çalışmasında kullanılan klevis braket, AutoForm analizi sonucu elde edilen yeni tasarım dış braket parçası ile üretilmiş klevis brakettir. Bu doğrultuda oluşturulan taguchi deney seti doğrultusunda her bir deney kombinasyonuna göre 3 farklı faktör için projeksiyon kaynak makinesindeki ayar parametreleri bu değerlere göre ayarlanmıştır. Aynı seri üretim koşullarında üretilmiş, aynı lottan alınan dış ve iç braket parçalarının kaynatılması ile çalışma yapılmıştır. Şekil 7.6.'de kaynak işlemi yapılmış, test edilmeyi bekleyen ve testi yapılan numunelerden örnekler görülmektedir. Çalışma sonucu seçilen parametreler ve bunların seviyelerine göre Taguchi metodu ile oluşturulan deneylerin, üretim sahasında uygulanmasının ardından çekme test cihazı ile 30 N ön yükleme ve 20 mm/min hızla yapılan çekme işlemlerinin ardından Tablo 7.1.'de elde edilen çekme kuvveti değerleri, Tablo 7.2.'deki deney tablosunda “maksimum kuvvet” başlığında gösterilmiştir. Elde edilen veriler, farklı parametre kombinasyonlarının kaynak dayanımı üzerindeki etkilerini karşılaştırmalı olarak ortaya koymuştur. Bu sayede, mekanik dayanımı yüksek olan optimum kaynak parametreleri belirlenmiştir.

Tablo 7.1. Çekme test rapor sonucu

No	F_max (kN)	dL at F_max (mm)	F_break (kN)	dL at break (mm)
1	65,1	30,9	16,6	68,8
2	65,5	30,4	19,5	53,6
3	66,5	30,8	19,4	56,5
4	61,9	26,5	8,57	80,2
5	60,6	25,6	10,4	72,6
6	62,3	28,1	13,2	79,9
7	68,3	30,8	12,5	75,7
8	69,5	29,6	13,4	83,8
9	61,8	23,5	13,1	81,5



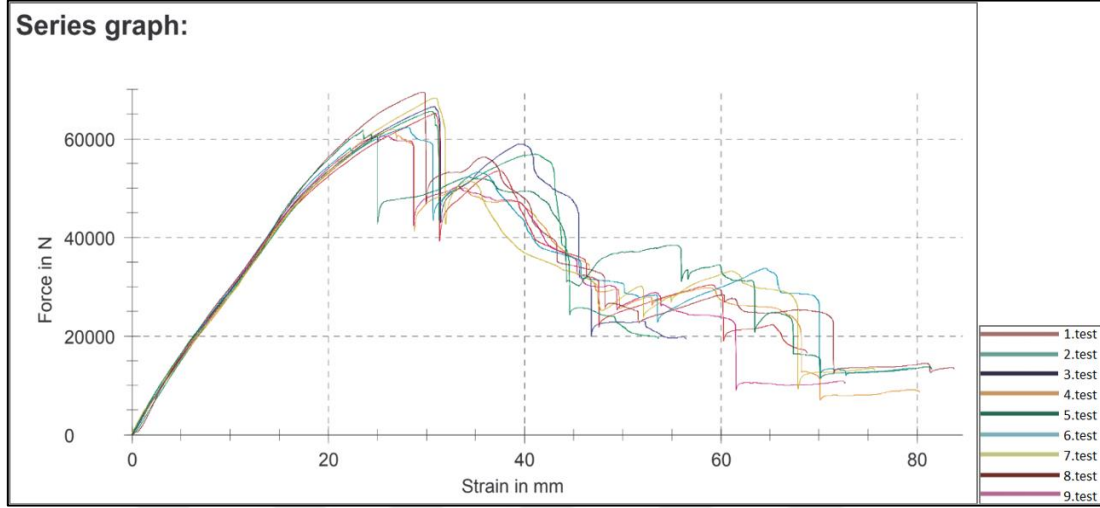
Şekil 7.6. Deneyde kullanılan klevis braket örnekleri a) Kaynatılmış, çekme testine hazır numuneler b) Çekme testi sonucu numuneler

Tablo 7.2. Taguchi kombinasyonu sonucu elde edilen değerler

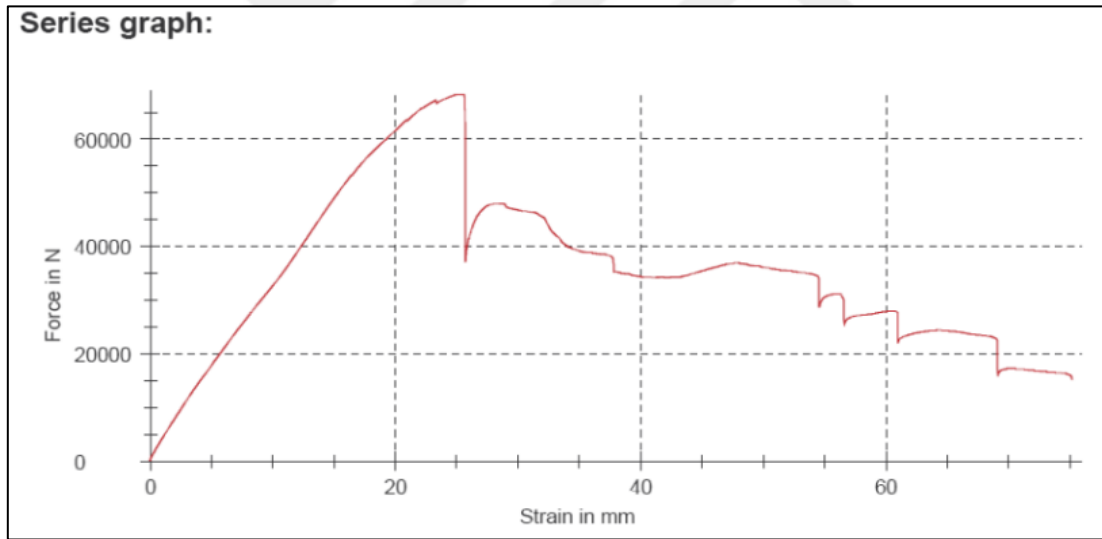
Deney No	Değişkenler	Kaynak Akımı [kA]	Kaynak Zamanı [cycle]	Sıkıştırma Zamanı [cycle]	Maksimum Kuvvet [kN]
1	A1B1C1	44	35	17	65,1
2	A1B2C2	44	40	21	65,5
3	A1B3C3	44	45	25	66,5
4	A2B1C2	48	35	21	61,9
5	A2B2C3	48	40	25	60,6
6	A2B3C1	48	45	17	62,3
7	A3B1C3	50	35	25	68,3
8	A3B2C1	50	40	17	69,5
9	A3B3C2	50	45	21	61,8

Şekil 7.7’te verilen tüm çekme test sonuçlarını gösteren grafik incelendiğinde, deneyler arasında elde edilen maksimum kuvvet değerlerinin birbirine yakın olduğu, dolayısıyla

sonuçların kararlı bir dağılım gösterdiği gözlemlenmiştir. Bu testler arasında, kırmızı renk ile gösterilen 8 numaralı deney, 69,5 kN ile en yüksek çekme kuvveti değerine ulaşmış ve diğerlerinden ayrılmıştır.



Şekil 7.7. Taguchi deney setlerine yapılan çekme test sonuç grafiği



Şekil 7.8. Deney setlerinden optimum değeri veren çekme testi sonucu (69,5 kN) grafiği

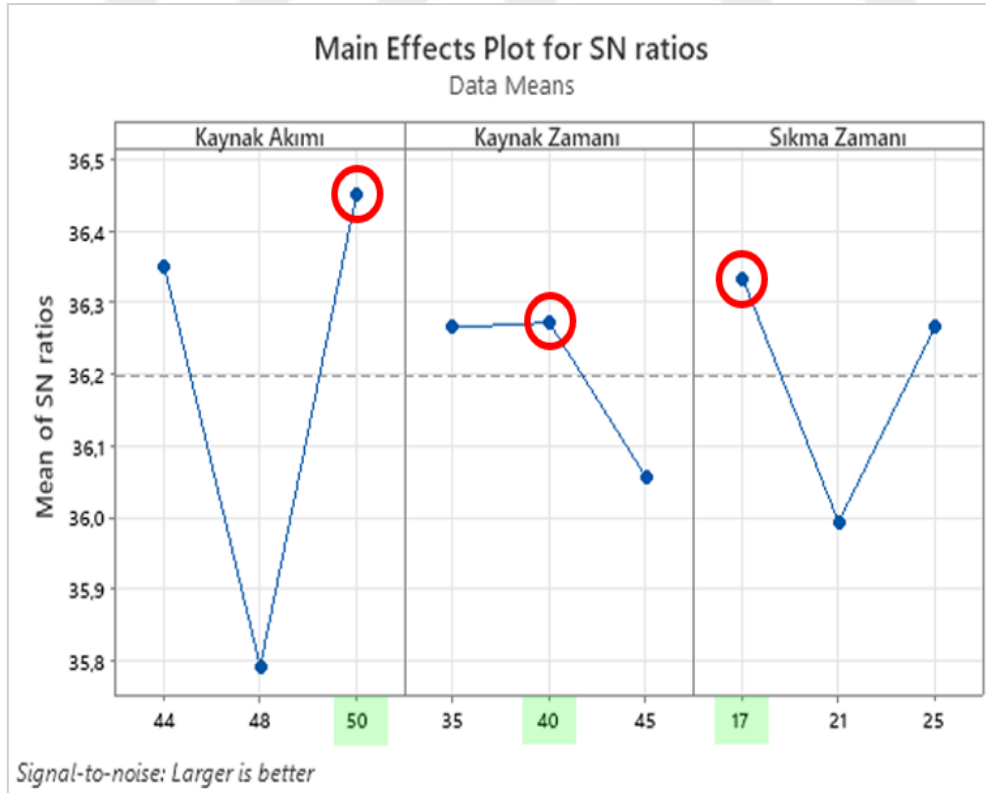
Şekil 7.8'te detaylı olarak gösterilen bu deneye ait grafik, kullanılan parametre kombinasyonlarının sistem performansını maksimum düzeye çıkardığını göstermektedir. İlgili parça için müşteri teknik resmine göre belirlenen minimum kabul edilebilir çekme kuvveti değeri 55 kN olup, 8 numaralı deney sonucunun, diğer deneylere kıyasla daha yüksek değeri vermesi sonucu, proses kararlılığı ve üretim güvenliği açısından değerlendirildiğinde de 8. deneyde kullanılan parametrelerin hem güvenli bölgede kaldığı

hem de maksimum mekanik performans sağladığı görülmektedir. Bu nedenle, çalışma kapsamında optimum parametre kombinasyonu olarak 8. deney verileri esas alınmıştır.

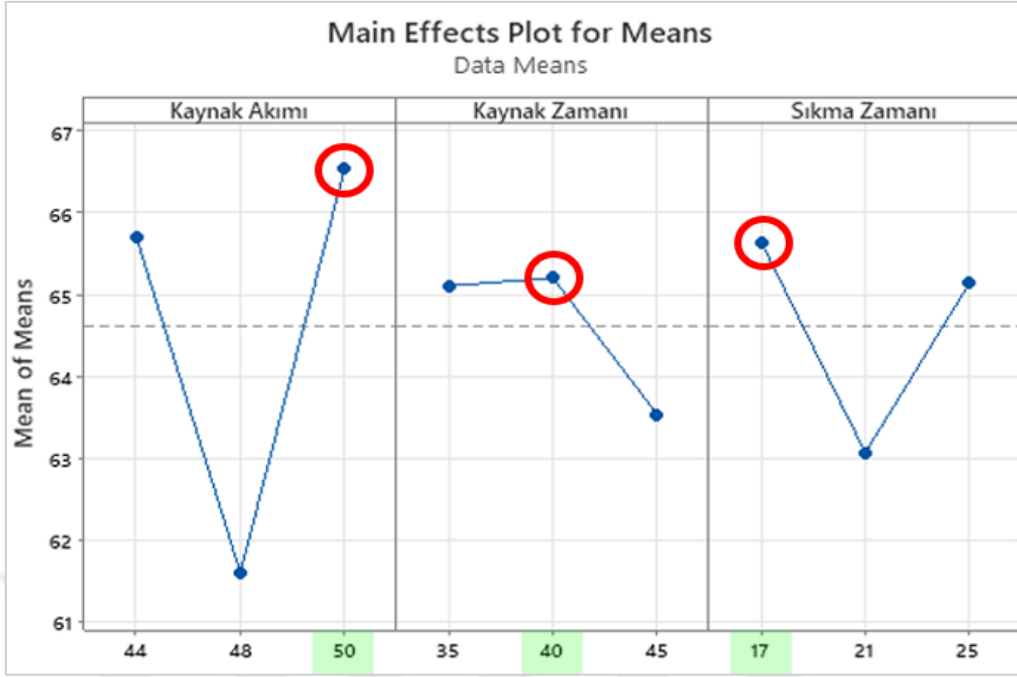
Şekil 7.9. ve Şekil 7.10.'da sırasıyla sinyal-gürültü (S/N) oranları ve ortalama çekme kuvveti değerlerine ilişkin ana etkiler grafikleri de Minitab 22 programı ile oluşturulmuştur. S/N oranı grafiğinde “Larger is better” kriteri esas alınmış ve bu doğrultuda en yüksek ortalama S/N oranına sahip seviyeler kırmızı daire ile belirtilmiştir. Bu grafikler sonucunda;

- Kaynak akımı için 50 Ka
- Kaynak zamanı için 40 cyle
- Sıkma zamanı için 17 cycle

değerlerinin sistem performansını en yüksek düzeye taşıdığı tespit edilmiştir. Bu parametre seti, deneysel olarak da doğrulanmış olup 8 numaralı deneyde 69,5 kN maksimum çekme kuvveti elde edilmiştir.



Şekil 7.9. S/N (Sinyal-Gürültü) oranları grafiği



Şekil 7.10. Ortalama kuvvet değerlerini gösteren grafik

Karacaoğlu ve Baydeniz (2020) tarafından yapılmış benzer çalışmada Inner Lens iş parçası üzerinde Taguchi ortogonal dizilerinden L27 deney seti seçilmiş ve deneyler yapılmıştır. Deney sonucunda amaç, ürünün ağırlığını en üst seviyeye getirmek olduğu için oluşturulan ana etkiler diyagramından (Main Effects Plot For Means) maksimum değerler seçilmiştir. S/N grafiğine de bakıldığında problemin en alt seviyeye indirme ya da en üst düzeye çıkarma olduğuna bakılmaksızın her koşulda maksimum S/N değerleri kombinasyonun en iyi çözüm olacağını belirtmişlerdir. Ve oluşturulan grafikteki en yüksek S/N oranları için ana etkiler diyagramındaki her bir parametre için en yüksek S/N oranları kabul değer alınarak optimum seviyeleri bulmuşlardır.

Taguchi deney tasarımı kapsamında belirlenen faktör ve seviyelerine göre oluşturulan deney setinin Minitab 22 programı ile ANOVA (Analysis of Variance) analizleri de gerçekleştirilmiştir. Tablo 7.3.'de analiz sonuçları görülmektedir.

Tablo 7.3.'de görülen ANOVA sonuçlarına bakıldığında %53,1 oranıyla en yüksek etkiye sahip parametrenin kaynak akımı olduğu sonucuna varılmıştır. Diğer parametrelerin etkisi %14,1 ile sıkma zamanı ve %6,65 ile kaynak zamanıdır. Burada p-değer (p-value) değeri dikkate alınmamış olup sadece parametreler arasındaki katkı oranlarının karşılaştırılmasına bakılmıştır.

Tablo 7.3. Taguchi deneylerinde kullanılan parametrelerin varyans ANOVA sonuçları

Varyans Analiz Parametresi	Serbestlik Derecesi	Katkı	Ayarlanmış Toplam Kareler (Adj SS)	Ayarlanmış Ortalama Kareler (Adj MS)	F-Değeri	P-Değeri
Kaynak Akımı	2	% 53,1	41,842	20,921	2,03	0,330
Kaynak Zamanı	2	% 6,65	5,242	2,621	0,25	0,797
Sıkma Zamanı	2	% 14,1	11,109	5,554	0,54	0,650
Hata	2	% 26,1	4,914	10,298		
Toplam	8	% 100,00	78,789			

Tablo 7.3.'de görülen ANOVA sonuçlarına bakıldığında %53,1 oranıyla en yüksek etkiye sahip parametrenin kaynak akımı olduğu sonucuna varılmıştır. Diğer parametrelerin etkisi %14,1 ile sıkma zamanı ve %6,65 ile kaynak zamanıdır. Burada p-değer (p-value) değeri dikkate alınmamış olup sadece parametreler arasındaki katkı oranlarının karşılaştırılmasına bakılmıştır.

Usta ve diğ., tarafından yapılmış benzer bir çalışmada lazer yüzey işleme deneylerinde Taguchi L9 ortogonal dizisi kullanılmış olup, parametre değerlerinin etkisi ANOVA analizi ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışma sonucunda da p değeri 0,05'den yüksek çıkmış ve bu değerlerin istatistiksel anlamlılığına bakılmaksızın, sonuçların diğer parametrelerle ilişkisi değerlendirilmiştir.

7.2.1.Taguchi Metodu Sonuçları – Karbon Emisyon Hesabı

Taguchi metodu ve yapılan analizler sonucu elde edilen optimum değerler ile çalışma parçasının seri üretiminde kullanılan parametre değerleri; kaynak akımı 52 kA, kaynak zamanı 47 cycle ve sıkıştırma zamanı 22 cycle olarak alınmıştır. Kaynak makinesinin gerilim değeri makine kataloğundan bakılan 10V değeri kullanılmıştır. 1 cycle değeri üretimde 0,02 sn'dir. (Hesaplamalarda kullanılan seri üretim parametre değerleri, firmanın gizlilik politikaları ve ticari sırların korunması amacıyla birebir paylaşılmamış; bunun yerine, gerçek üretim koşullarını temsil edecek şekilde gerçeğe en yakın, doğruluk payı yüksek yaklaşık değerler kullanılmıştır. Böylece hem çalışmanın bilimsel güvenilirliği korunmuş hem de firma içi hassas bilgilerin tam gizliliği sağlanması hedeflenmiştir.)

Seri üretimde kullanılan değerler ile taguchi yöntemi sonucu elde edilen optimum değerler karbon emisyonu yönünden değerlendirilmiştir. Mevcut durumda bir parçanın kaynatılması için harcanan enerji miktarı Denklem (7.4);

$$E = U (V) \times I (A) \times t (h) \quad (7.4)$$

ile hesaplandığında, Denklem (7.5)'deki;

$$E_{önce} = 10 V \times 52.000 A \times (47 \times 0,02) sn = 488.000 J \quad (7.5)$$

değeri elde edilir. 1 kWh = 3,6 x 10⁶ J birim dönüşümü uygulandığında 0,136 kWh sonucuna ulaşılmıştır. Taguchi analizi sonucunda seçilen optimum parametre değerleri; kaynak akımı 50 kA, kaynak zamanı 40 cycle ve sıkıştırma zamanı 17 cycle'dır. Bu parametrelere göre harcanan enerji miktarı Denklem (7.6)'da hesaplandığında;

$$E_{sonra} = 10 V \times 50.000 A \times (40 \times 0,02) sn = 400.000 J \quad (7.6)$$

değeri elde edilir. 1 kWh = 3,6 x 10⁶ J birim dönüşümü uygulandığında 0,111 kWh enerji harcanmıştır. Sağlanan enerji tasarrufu 0,136 – 0,111 = 0,025 kWh'dır.

Elektrik tüketimi emisyon hesaplamalarında kullanılacak olan emisyon faktörü Türkiye Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı web sitesinden alınan 0,442 kgCO_{2e}/kWh değeri kullanılmıştır (URL-3). Mevcut durum ve varılan optimum değerler karşılaştırıldığında;

$$E_{emisyon} = 0,025 kWh \times 0,442 \frac{kgCO_{2e}}{kWh} = 0,011 kgCO_{2e} \quad (7.7)$$

sonucuna ulaşılmıştır. Parçanın yıllık adeti olan 400.000 adet üzerinden hesaplandığında;

$$E_{emisyon} = 0,011 kgCO_{2e} \times 400.000 = 4.400 kgCO_{2e} \quad (7.8)$$

değeri elde edilmiştir. Böylece yaklaşık yıllık 4,4 tonCO_{2e} karbon emisyonu azaltımı sağlanmıştır.

Sabırlı, tarafından yapılan benzer bir çalışmada elektrik direnç kaynağında optimum kaynak parametrelerinin belirlenmesi için taguchi metodu kullanılarak çok sayıda deney yapmadan optimum parametrelere ulaşmak hedeflenmiştir. Çekirdek çapına etki eden parametreler belirlenmiş ve L18 ortogonal dizi kullanılarak oluşturulan deney setleri

sonucunda çekirdek çapına, akım ve tıraşlama frekansı faktörülerinin diğer parametrelerden daha fazla etkisi olduğu sonucuna varılmıştır. Yüksek akım değerleriyle çalışarak gereksiz fazla enerji harcamak yerine çalışma sonucu elde edilen optimum akım değerleri kullanılarak enerji, maliyet ve dolaylı olarak karbon emisyon oranında tasarruf sağlanmıştır.

Bir klevis braketin proje süreci ve ilk devreye alınma aşamasında, parçanın teknik resim veya teknik şartnamelerde belirtilen kaynak kopma değerlerinin sağlanabilmesi ve uygun proses parametrelerinin bulunması sürecinde yaklaşık 5 adet parça hurdaya atılmaktadır. Taguchi optimizasyonu ile uygun parametreler bulunmuş ve ilk onay hurda parça adetlerinin sayılarının azalması da hedefler arasındadır.

Çalışmanın yapıldığı klevis braket parçasının net ağırlığı 0,968 kg'dır. Taguchi çalışması öncesi hurda edilen malzeme miktarı Denklem (7.9)'da;

$$\text{Malzeme hurda miktarı (kg)} = 5 \text{ parça} \times 0,968 \text{ kg} = 4,840 \text{ kg} \quad (7.9)$$

dır. Karbon emisyon miktarı Denklem (7.10)'da;

$$E_{\text{emisyon}} = 4,840 \text{ kg} \times 1,987 \text{ kgCO}_2\text{e} = 9,617 \text{ kgCO}_2\text{e} \quad (7.10)$$

bulunmuştur.

Yapılan bu çalışmalar ve hesaplamalar doğrultusunda çalışmanın yapılmış olduğu amortisör metal parça üreticisi firma devreye alınan aynı hammadde ve kalınlıktaki benzer parçalarda bu çalışma sonucu elde edilen parametreler kullanılarak tek seferde istenen çekme kuvveti değeri sağlanarak her projede, ağırlıkları oranında hurda parçalardan karbon emisyonu sağlanma olasılığına da ulaşmaktayız.

Firmada üretilmekte olan amortisörün diğer metal alt parçaları için de bu çalışmalar yaygınlaştırılarak karbon salınım miktarları arttırılabilir ve bir bütün olarak baktığımızda hem firma özelinde hem de çevresel sorumluluklarımız açısından karbon kazanımı sağlayabileceğimizi görmekteyiz. Bu durum, sürdürülebilir üretim hedeflerine ulaşmak için atılabilecek benzer adımların sektörde yaygınlaştırılması, genel karbon emisyonlarının azaltılmasına katkıda bulunacaktır. Uzun vadede ise bu yaklaşım, hem çevresel hem de ekonomik anlamda firmaya rekabet avantajı kazandıracaktır.

8.SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında amortisör sistemi alt parçalarından olan klevis braket parçasının tasarımı, uygun malzeme seçimi ve üretim süreçlerindeki karbon salımının azaltılmasına yönelik çalışmalara odaklanılmıştır. Karbon salınım miktarının en aza indirilmesi amacıyla AutoForm programı kullanılarak alternatif yaklaşımlar değerlendirilmiştir. Bununla birlikte, üretim sürecinde kaynak kalitesinin artırılması ve proses verimliliğinin sağlanması amacıyla Taguchi deney tasarımı yöntemiyle kaynak parametrelerinin optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Çalışma da elde edilen sonuçlar aşağıda listelenmiştir:

Mevcut durumda; 3,20 mm kalınlıkta S315 malzemeden üretilen Klevis braket parçasının dış braket parçası, güncel durumda müşteri tarafından kabul edilen sınır değerleri dahilinde 3,00 mm kalınlığında S355MC malzemeden üretilmiştir. Böylece parça kalınlığı 3,20 mm'den 3,00 mm'ye düşürülerek parçanın hafifletilmesi sağlanmıştır.

Dış braket üzerinde yapılan hafifletme çalışması sonucu klevis braket parçasının net ağırlığı 1,016 kg'dan 0,968 kg'a düşürülmüş olup parçaların uygunluğu AutoForm analiz programı ile desteklenmiştir. Gerçekleştirilen AutoForm analizleri sonucunda yeni parçanın üretilebilirliği açısından herhangi bir probleme rastlanmamıştır.

Öte yandan, yeni parçanın kullanılması durumunda (3,00 mm S355MC) mevcut duruma göre (3,20 mm S315MC) dış braket parçasının boyu %8 oranında kısaltılmıştır. Böylece dış braket parçasının üretiminde kullanılan hammaddenin bant genişliği %5,63 ve hatve (adım) genişliği ise %1,16 oranında azaltılmıştır. Tasarım iyileştirilmesi sonucu parçanın brüt ağırlığı ise %8,50 oranında azaltılmıştır.

AutoForm programı ile gerçekleştirilen analizler sonucunda, parça işlevselliğini olumsuz etkilemeden, mevcut test koşullarını karşılayan yeni bir tasarım elde edilmiştir. Bu iyileştirme sayesinde, parça başına hammadden 0,260kg CO₂e ve yıllık üretim adeti bazında yaklaşık 104 ton CO₂e karbon emisyonu azaltımı sağlanmıştır.

Çalışmanın ikinci fazında 3,00 mm kalınlıktaki S355MC çelik malzemeden üretilmiş iç ve dış braketlerin kaynatılması ile meydana gelen klevis braket parçasına Taguchi Analizleri yapılmış ve kaynak akımı (44, 48, 50) kA, kaynak zamanı (35, 40, 45) cycles (çevrim), sıkma zamanı (17, 21, 25) cycle (çevrim) parametleri optimize edilmiştir. L9

ortogonal dizi belirlenerek yapılan Taguchi analizleri sonucunda, kaynak akımının 50 kA, kaynak zamanının 40 cycle ve sıkıştırma zamanının 17 cycle olduğu durumda maksimum çekme kuvveti (69,50 kN) elde edilmiştir. Bununla birlikte yapılan analizlerde kaynak operasyonunun; kaynak akımından %53,10, kaynak zamanından %6,65 ve sıkıştırma zamanından %14,10 oranında etkilendiği tespit edilmiştir. Optimum değerlerle yapılan kaynak sonrası parça başına elektrik tüketiminden 0,011 kg CO₂e kazanç sağlanırken yıllık adet bazında 4,4 ton CO₂e emisyon azaltımı sağlanmıştır.

Sonuç olarak, Taguchi yöntemi ile elde edilen optimum parametreler, çalışmanın gerçekleştirildiği firmada yalnızca ilgili parça için değil, benzer özellikteki parçaların üretim sürecine de entegre edilerek yaygınlaştırılması faydalı bir seçenek olarak görülmüştür. Bu sayede süreç optimizasyonunun kurumsal düzeyde sürdürülebilir hale getirilebileceği ön görülmektedir.

Çalışma kapsamında oluşturulan yeni tasarım parça henüz seri üretime geçmemekle birlikte tezde sunulan sonuçlar ile birlikte müşteriye sunulup, hayata geçirilmesi hedeflenmektedir.

Ek olarak, çalışma kapsamında yapılan hesaplamalarda kullanılan seri üretim parametre değerleri, firmanın gizlilik politikaları gereği birebir paylaşılmamış; bunun yerine, gerçek üretim koşullarını yansıtacak doğrulukta yaklaşık değerler esas alınmıştır. Üzerinde çalışma yürütülen klevis braket parçası da hem firma hem de müşteri gizlilik anlaşmaları gereğince parçanın görsel ve analiz sonuçlarında belirli değişiklikler yapıldıktan sonra tez kapsamında bu revize edilmiş haliyle kullanılmıştır.

KAYNAKLAR

- Arı, A., Korkmaz, K., Mühürdar, B., Bayram, A. (2023). Projeksiyon Kaynağı Proses Parametrelerinin S355MC Klevis Braketin Bağlantı Performansına Etkisi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 28(3), 991 – 1008. DOI: 10.17482/uumfd.1329959
- Ayan, N. (2019). Muğla İlinde Yakıt Tüketimine Bağlı Karbon Ayak izi Değişimi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 604648.
- Bekiroğlu, O. (2011). Sürdürülebilir Kalkınmanın Yeni Kuralı: Karbon Ayak İzi. II. *Elektrik Tesisat Ulusal Kongresi*, İzmir, Türkiye, 27 Kasım 2011.
- Canıyılmaz, E. (2001). Kalite Geliştirmede Taguchi Metodu ve Bir Uygulama. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 114660.
- Canıyılmaz, E., Kutay, F. (2003). Taguchi Metodunda Varyans Analizine Alternatif Bir Yaklaşım. *Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Dergisi*, 18 (3), 51-63.
- Dindar, G. (2021). Otomotiv Yan Sanayinde Karbon Ayak İzinin Hesaplanması-Bursa İli Örneği. Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 687362.
- Duman, H.K. (2024). Makine Yedek Parça İmalatı Yapan Bir Tesisin Karbon Ayak İzinin Belirlenmesi ve Azaltımının Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Giresun Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Giresun, 854150.
- Ediz, S.B. (2023). Otomotiv Yan Sanayisinde Parça Üretim Faaliyetlerinden Kaynaklanan Karbon Emisyonları, Karbon Ayak İzi Hesaplamaları ve Enerji Verimliliği Uygulama Önerileri. Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 824069.
- Ergin, T. (2013). Manyetoreolojik (MR) Sıvılı Yarı-Aktif Bir Amortisörün Tasarımı ve Prototip İmalatı. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 342885.
- Gündüz, S. (2010). Taşıtlarda Aktif Süspansiyon Sistemi Kontrolü. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 384859.
- Hasdal, A., Sümengen, Ö., (2021). Endüstri Yapılarında Aydınlatma Enerjisinin Karbon Ayak İzine Etkisinin Hesaplanması: Kayseri Organize Sanayi Bölgesi Örneği. *İklim ve Sağlık Dergisi*, 1(3), 111-121.
- Işık, S. (2023). Tekstil Sektöründe Karbon Ayak İzi Hesaplanması. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 804222.

- İçen, B. (2019). Ferritik Paslanmaz Çeliğin Yüzey Modifikasyonunda Metal Karbürlerin Etkisinin Taguchi Metoduyla Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, 572596.
- Kamber, Ö.Ş. (2008). Plastik Enjeksiyon Kalıplarında Basınç ve Sıcaklık Parametrelerinin Ürün Kalitesine Etkileri ve Taguchi Yöntemi ile Optimizasyonu. Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 178882.
- Karaoglan, A.D. ve Baydeniz, B. (2020). Taguchi metodu kullanılarak plastik enjeksiyon proses parametrelerinin optimizasyonu: otomotiv aydınlatma parçaları için bir uygulama. In *INSAC-International Conference on Research in Natural and 32 Engineering Sciences -ICRNES 2020*, Konya, Türkiye, 14-15 Kasım 2020.
- Kayı, Y. (2006). Plastik Enjeksiyon Prosesindeki Parametrelerin Çekme Problemine Etkilerinin Taguchi Metodu ile İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 181891.
- Kim, H. C., Wallington, T. J., (2016) Life Cycle Assessment of Vehicle Lightweighting: A Physics-Based Model To Estimate Use-Phase Fuel Consumption of Electrified Vehicles. *Environmental Science & Technology*, 50(20), 11226–11233. DOI: 10.1021/acs.est.6b02059
- Koral, M. (2018). 5052 Alüminyum Alaşım Oranı 0,6 Olan Metal Matrisli Kompozit Malzeme ile Mekanik Araç Krikosu Gerilme Analizi ve Taguchi Metodu. Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 521847.
- Makaracı, M., Demir, S., Bahçacı, O. (2013). Direksiyon Aksonlarının Statik Hasar Analizi. *Academic Platform Journal of Engineering and Science I-II.*, 21-27. DOI: 10.5505/apjes.2013.14633
- Mercan, Ş. (2019). Deney Tasarımı ve Yapay Zeka Tekniklerinden Yararlanarak Ürün Kalitesinin Geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir, 559184.
- Milli Eğitim Bakanlığı (2005). Süspansiyon Sistemleri, MEGEP (Mesleki Eğitim ve Öğretim Sistemini Güçlendirme Projesi), Ankara.
- Milli Eğitim Bakanlığı (2013). Motorlu Araçlar Teknolojisi, Süspansiyon Sistemleri, Ankara.
- Muratoğlu, T., Ceylan, R., Uçakkuş, Ö.E. (2025). Single-Piece Production And Innovative Die Design For Hose Bracket Component. *5.Uluslararası Karadeniz Bilimsel Araştırmalar ve İnovasyon Kongresi*, Trabzon, Türkiye, 24-25 Mayıs 2025.
- Priarone, P.C., Catalano, A.R., Settineri, L. (2023). Additive manufacturing for the automotive industry: on the life-cycle environmental implications of material

substitution and lightweighting through re-design. *Progress in Additive Manufacturing*, 8, 1229–1240. DOI: 10.1007/s40964-023-00395-x

Sabırlı, A. (2020). Elektrik Direnç Kaynağında Optimum Kaynak Parametrelerinin Taguchi Yöntemiyle Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 668955.

Şirvancı, M. (1997). *Kalite İçin Deney Tasarımı, Taguchi Yaklaşımı* (1). (12-110). İstanbul: Literatür Yayıncılık.

Tuyan, M., Demirer, A. (2020). Sac Kalıplama Prosesinde DD13 ve S355MC Malzemelerin Yırtılma Probleminin İncelenmesi ve Çözümü. *European Journal of Science and Technology*, 20, 872-880. DOI: 10.31590/ejosat.828066.

URL-1:<https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/ghg-protocol-revised.pdf>, (Ziyaret Tarihi: 22 Nisan 2025).

URL-2:<https://hlccevre.com/ab-yesil-mutabakati/> (Ziyaret tarihi: 20 Mayıs 2025).

URL-3:<https://enerji.gov.tr/evced-cevre-ve-iklim-elektrik-uretim-tuketim-emisyon-faktorleri> (Ziyaret Tarihi: 20 Mart 2025)

Usta, Z., Kolukırmık, B., Bora, M.Ö., Ürgün, S., Fidan, S., Ceylan, R., Uçakkuş, Ö.E., Sınmazçelik, T. (2025). AA2024-T3 Alüminyum Alaşımı Yüzeyinde Fiber Lazer İşleme Parametrelerinin Etkisi Ve Taguchi Yöntemi İle Optimizasyonu. 9. *Uluslararası Marmara Bilimsel Araştırmalar ve İnovasyon Kongresi*, İstanbul, Türkiye, 02-03 Şubat 2025.

Üreden, A. (2019). Sürdürülebilir Yaşam İçin Karbon Ayak İzi (Çankırı Karatekin Üniversitesi Örneği). Yüksek Lisans Tezi, Çankırı Karatekin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çankırı, 553986.

Vishwajeet R.S., Uday, D..A. (2018). Experimental Investigation on Forming Limit Diagram of Mild Carbon Steel Sheet, 2nd International Conference on Materials Manufacturing and Design Engineering. *Sangli, India: Walchand College of Engineering, December, 11–12*. 141-146. DOI: 10.1016/j.promfg.2018.02.020

Walk, J., Kühl, N., Saidani, M., Schatte, J. (2023). Artificial Intelligence for Sustainability: Facilitating Sustainable Smart Product-Service Systems with Computer Vision. *Journal of Cleaner Production*, 402, 136748. DOI: 10.1016/j.jclepro.2023.136748

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Açıkgöz, A., Ceylan, R., Uçakkuş, Ö.E. (2025). Automotive Shock Absorber Sub-Part: Hose Bracket The Design Revision Of The Hose Bracket And Improvement Of Production Efficiency. *5.Uluslararası Karadeniz Bilimsel Araştırmalar ve İnovasyon Kongresi*, Trabzon, Türkiye, 24-25 Mayıs 2025.

Açıkgöz, A., Makaracı, M., Ceylan, R., Uçakkuş, Ö.E. (2024). Reducing The Carbon Footprint Of Shock Absorber Sub-Part Used In The Automotive Industry. 7. International Marmara Scientific Research and Innovation Congress, İstanbul, Türkiye, 27-28 Ocak 2024.

Açıkgöz, A., Yalçın, C., Edis, R., Uçakkuş, Ö.E. (2024). Production Of Rear Shock Absorber Body Connection Eye Ring Part With An Innovative Approach. 7. *International Marmara Scientific Research and Innovation Congress*, İstanbul, Türkiye, 27-28 Ocak 2024.

ÖZGEÇMİŞ

Arzu Açıkgöz ilk, orta ve lise öğrenimini İstanbul’da tamamladı. 2016 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü’nden 2020 yılında Makine Mühendisi olarak mezun oldu. 2021 yılından itibaren Ulus Metal San. Tic. A.Ş. firmasında proje mühendisi olarak görev yapmaktadır. 2022 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans öğrenimine başlamıştır.

