MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ARAÇ RADYATÖR DESTEK BRAKETİ TASARIMININ İYİLEŞTİRİLMESİ

ASLIHAN ÖZSOY

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Makine Mühendisliği Programı

DANIŞMAN
Dr.Öğr.Üyesi Bilçen MUTLU MİTİL

İSTANBUL, 2025

MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ARAÇ RADYATÖR DESTEK BRAKETİ TASARIMININ İYİLEŞTİRİLMESİ

ASLIHAN ÖZSOY

(523221030)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Makine Mühendisliği Programı

DANIŞMAN
Dr.Öğr.Üyesi Bilçen MUTLU MİTİL

İSTANBUL, 2025

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın her aşamasında bana rehberlik eden ve katkılarıyla yol gösteren Dr. Öğr. Üyesi Bilçen MUTLU MİTİL' e, süreç boyunca destek olan Ford Otosan A.Ş. Ürün Geliştirme Bölümünden Sayın Utku UYSUN, Bayram ÖZDEMİR, Melih ZAFER ve Mustafa Gökhan ŞANLI' ya ve birlikte çalıştığım tüm çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bu çalışma, Ford Otosanın mühendislik geliştirmeye verdiği önem, ekipler arası güçlü etkileşim ve kolektif çalışma kültürü sayesinde başarıyla tamamlanmıştır. Şirketin sağladığı altyapı ve destek, çalışmanın kapsamlı bir şekilde yürütülmesini mümkün kılmıştır. İlgili tüm ekiplerin kolektif çabaları, bu çalışmanın yalnızca başarılı bir şekilde sonuçlanmasını değil, aynı zamanda anlamlı ve faydalı çıktılar sunmasını da sağlamıştır.

Son olarak, sevgi ve destekleriyle her zaman yanımda olup, bana motivasyon kaynağı olan aileme teşekkür ederim.

Ocak, 2025 **Aslıhan ÖZSOY**

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR i
İÇİNDEKİLER ii
ÖZET iv
ABSTRACT v
SEMBOLLER vi
KISALTMALAR vii
ŞEKİL LİSTESİ viii
TABLO LİSTESİ ix
BÖLÜM 1. GİRİŞ 1
1.1 Araştırmanın Amacı ve Önemi 1
1.2 Radyatör Destek Braketinin Tanımı ve Fonksiyonel Özellikleri 2
BÖLÜM 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI 4
BÖLÜM 3. MATERYAL VE YÖNTEM 6
3.1 Araç Dayanıklılık Testi Koşulları ve Parça Üzerindeki Etkisi 7
3.2 Temel CAE Modelinin Hazırlanması ve Prosesi 8
3.2.1 Yol yükü hesaplanması 9
3.2.2 Parça üzerine etki eden statik ve dinamik yükler 12
3.2.3 Gerilme hesaplamaları ve yük dağılımı 13
3.3 Malzeme ve Hata Analizi 14
3.3.1 Malzeme analizi 14
3.3.2 Malzeme ve hata analizi değerlendirmeleri 22
BÖLÜM 4. ANALİZ SONUÇLARI VE TASARIM İYİLEŞTİRMESİ 23
4.1 CAE Analiz Sonuçları ve Değerlendirmesi 23
4.1.1 Mevcut tasarımın performansı 23
4.1.2 Sonuçların değerlendirilmesi ve optimum çözüm 25
4.2 İyileştirilmiş Tasarımın Yeniden Test Edilmesi ve Değerlendirilmesi 28
BÖLÜM 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 30
5.1 Araştırma Bulguları ve Genel Sonuçlar 30
5.2 Öneriler: İyileştirme Süreçleri ve Gelecek Çalışmalar İçin Öneriler 31
KAYNAKÇA 32

ÖZGEÇMİŞ 34

ÖZET

ARAÇ RADYATÖR DESTEK BRAKETİ TASARIMININ İYİLEŞTİRİLMESİ

Taşıtların yapısal bileşenleri zorlu yol koşulları ve titreşim altında tekrarlayan yüklere maruz kalmaktadır. Bu parçaların deformasyon veya hasar olmaksızın işlevini sürdürebilmesi tasarım aşamasında yapılan mühendislik analizleri ve dayanıklılık testleri ile sağlanmaktadır. Günümüzde, otomotiv firmaları yorulma kaynaklı problemleri tespit etmek ve çözmek için sonlu elemanlar analizi programlarını yoğun bir şekilde kullanmaktadır. Bunun yanı sıra, taşıtlar dayanıklılık testleri kapsamında normal yol koşullarında veya özel olarak tasarlanmış test parkurlarında sürülmekte, bu süreçte parçaların hasar durumu ve performansı gözlemlenmektedir.

Bu çalışmada, Ford Otosan tarafından kullanılan bir ticari aracın radyatör destek braketi üzerinde yapılan tasarım iyileştirme çalışmaları ele alınmıştır. Yeni bir proje için gerçekleştirilen dayanıklılık testinde, radyatör destek braketinde kırılma gözlemlenmiş ve bu durum, tasarımın mevcut yol ve titreşim koşullarına karşı yetersiz olduğunu ortaya koymuştur. Önceki projelerde, müşteri araçlarında veya servislerde bu tür bir problem tespit edilmemiştir. Bu durum, yeni projede farklı yükleme profillerinin uygulanmasından kaynaklanmış olup, parça önceki projelerde karşılaşılmayan türde bir gerilmeye maruz kalmıştır. Tasarım iyileştirme sürecinde, problemi çözmek için kök neden analizi yapılmış, ardından alternatif tasarımlar geliştirilmiştir. Geliştirilen tasarım alternatifleri, Bilgisayar Destekli Mühendislik analizi ile mevcut yapının performansı ile karşılaştırılmış ve en uygun çözüm belirlenmiştir.

Yeni tasarım, prototip parçalar üzerinden test edilmiş ve ilk dayanıklılık testinde herhangi bir sorun gözlemlenmemiştir. Seri üretim sonrası yapılan testler de başarılı sonuçlar vermiştir. Sonuçlar, tasarım iyileştirmesinin hem teorik hem de deneysel olarak doğru bir çözüm sunduğunu göstermiştir. Bu çalışma, taşıtlarda karşılaşılan yorulma hasarlarının çözümüne yönelik etkili bir yöntem sunmuş ve parçanın dayanıklılığını artırmaya yönelik başarılı bir iyileştirme süreci gerçekleştirmiştir.

Anahtar kelimeler: Radyatör destek braketi, dayanıklılık testi, tasarım iyileştirmesi, sonlu elemanlar analizi, yorulma analizi, otomotiv.

ABSTRACT

DESIGN IMPROVEMENT OF THE VEHICLE RADIATOR SUPPORT BRACKET

Vehicle structural components are subjected to repetitive and variable loads under harsh road conditions and vibrations. The ability of these components to function without deformation or failure throughout the vehicle's lifespan is ensured through engineering analyses and durability testing during the design phase. Today, automotive companies extensively use finite element analysis programs to detect and resolve fatigue-related issues. Additionally, vehicles are subjected to durability tests under normal road conditions or on specially designed test tracks, where the damage status and performance of the components are observed.

This study focuses on design improvement efforts for the radiator support bracket used in a commercial vehicle by Ford Otosan. During a durability test conducted for a new project, fractures were observed in the radiator support bracket, indicating that the current design was insufficient under the existing road and vibration conditions. Such issues had not been identified in previous projects, customer vehicles, or service operations. This problem arose due to the application of different loading profiles in the new project, subjecting the component to a type of stress not encountered in prior projects.

To address the issue, a root cause analysis was conducted, followed by the development of alternative designs. The developed design alternatives were compared with the performance of the existing structure using Computer-Aided Engineering analysis, and the most suitable solution was determined.

The new design was tested on prototype parts, and no issues were observed during the initial durability test. Subsequent tests conducted after mass production also yielded successful results. The findings demonstrate that the design improvement provided an effective solution both theoretically and experimentally. This study presents an effective method for addressing fatigue-related failures in vehicles and successfully implemented an improvement process to enhance the durability of the component.

Keywords: Radiator support bracket, durability testing, design improvement, finite element analysis, fatigue analysis, automotive.

SEMBOLLER

HB: Brinell Sertlik Değerleri

HRC: Rockwell C Sertlik Değeri

kg: Kilogram

km: Kilometre

mm: Milimetre

MPa: Mega Pascal

$\mathbf{N_f}$**:** Kırılma Döngüsü (Number of Cycles to Failure)

$\mathbf{S_n}$**:** Gerilme Genliği (Stress Amplitude)

KISALTMALAR

3D: Üç Boyutlu Veri

CAE: Bilgisayar Destekli Mühendislik (Computer-Aided Engineering)

FFT: Hızlı Fourier Dönüşümü (Fast Fourier Transform)

FGAWR: Ön Brüt Aks Ağırlık Derecesi (Front Gross Axle Weight Rating)

FWD: Önden Çekiş (Front Wheel Drive)

PSD: Güç Spektral Yoğunluğu (Power Spectral Density)

RLD: Yol Yükü Verisi (Road Load Data)

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Radyatör braketinin araçtaki konumu

Şekil 1.2 Radyatör destek braketi üç boyutlu veri (3D) görüntüsü

Şekil 3.1 Balık kılçığı modeli

Şekil 3.2 Ford Lommel Araç Test Merkezi yol parkuru krokisi [2]

Şekil 3.3 Parçanın test sonrası fotoğrafı (a), ilk çatlak (b), ikinci çatlak ve kırılma (c)

Şekil 3.4 CAE modelleme

Şekil 3.5 Zamana bağlı ivme grafiği

Şekil 3.6 X ekseninde PSD-Frekans grafiği

Şekil 3.7 Orijinal RLD'de maksimum gerilme noktası

Şekil 3.8 1 ve 2 olarak adlandırılan parçaların genel görünüşleri

Şekil 3.9 Parçanın porozite analiz görüntüsü

Şekil 3.10 1 numaralı parça için 9 noktadan sertlik ölçümü

Şekil 3.11 Süngerimsi yapı görüntüsü

Şekil 3.12 Gevrek kırılma görüntüsü

Şekil 3.13 Karma mekanizma görüntüsü

Şekil 4.1 Orijinal ve %25 RLD ölçeğinin karşılaştırılması

Şekil 4.2 Çatlak ve kırılma başlangıçları

Şekil 4.3 Kırılma noktaları ve analizde karşılık geldiği noktalar

Şekil 4.4 2mm kalınlığa bağlı gerilme değerleri

Şekil 4.5 2.5 mm kalınlığa bağlı gerilme değerleri

Şekil 4.6 Gerilme genliği- belirli bir gerilme değerindeki kırılma döngüsü grafiği

TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1 X ekseninde titreşim profili

Tablo 3.2. Radyatör destek braketi orijinal RLD koşulları altında gerilme değeri

Tablo 3.3 Radyatör destek braketi malzeme özellikleri A12

Tablo 3.4 Malzeme kimyasal kompozisyon spesifikasyonu (a), 1 no'lu parçanın kimyasal kompozisyon değerleri (b)

Tablo 3.5 1 numaralı parçanın sertlik ölçüm sonuçları

Tablo 3.6 Parça 1 sertlik değerleri

Tablo 3.7 Parça 1 çekme dayanımı değerleri

Tablo 4.1 Gerilmeye bağlı değerler ve kalınlığa göre karşılaştırma

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Günümüzde otomotiv endüstrisinde, araç güvenilirliği ve dayanıklılığı önemli bir kalite göstergesi haline gelmiştir. Bu bağlamda, yapısal bileşenlerin performansı, aracın genel işlevselliğini doğrudan etkileyen kritik unsurlardan biridir. Araçların karmaşık yapısı göz önüne alındığında, bu bileşenlerin uzun süreli dayanıklılık gereksinimlerini karşılaması yalnızca aracın güvenilirliğini artırmakla kalmaz, aynı zamanda müşteri memnuniyetine de katkı sağlar [1].

Bu çalışmanın temel amacı, araç dayanıklılığına yönelik geliştirme ve iyileştirme sürecine katkıda bulunmaktır. Özellikle, radyatör destek braketi gibi hem yapısal hem de işlevsel özellikleri ile aracın soğutma sisteminde yer alan bir bileşenin daha dayanıklı hale getirilmesi hedeflenmektedir. Mevcut tasarımın sınırlarını analiz ederek, parça üzerinde meydana gelen sorunların tespit edilmesi ve bu doğrultuda tasarım iyileştirmeleri yapılması gereklidir.

Literatürde yer alan benzer çalışmalar, mühendislik süreçlerinde analitik yaklaşımların önemine işaret etmektedir. Bu doğrultuda, bilgisayar destekli mühendislik (CAE, Computer-Aided Engineering) analizleri ışığında, yüklerin doğru bir şekilde dağıtılması ve gerilme noktalarının minimize edilmesi kritik parçaların dayanıklılığını artıran temel yöntemlerdir. Radyatör destek braketi üzerinde yürütülecek bu çalışma, aracın genel dayanıklılık ve güvenlik hedeflerine katkıda bulunmayı amaçlamaktadır. Bu bağlamda, çalışmanın hem teorik hem de pratik olarak anlamlı bir sonuç ürettiği görülmüştür.

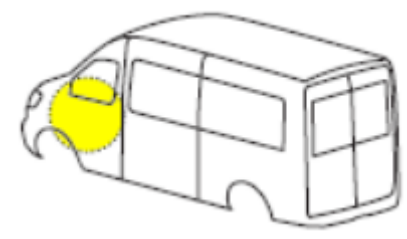
1.1 Araştırmanın Amacı ve Önemi

Araçların uzun süreli dayanıklılık gereksinimleri yapısal bileşenlerin dayanıklılığını ve güvenilirliğini sağlamak için sürekli olarak iyileştirme ve test çalışmalarını gerektirir. Radyatör destek braketi, radyatör parçasını alttan desteklemekle kalmayıp motor titreşimlerini ve diğer dinamik yükleri de absorbe eden kritik bir parçadır. Bu parçanın dayanıklılığı, aracın genel performansını ve güvenliğini doğrudan etkiler. Radyatör destek braketinde meydana gelebilecek bir kırılma veya çatlak, motor sistemlerinde performans kaybına, üzerine takılan soğutma hortumların hasar almasına, sonucunda da soğutma sistemi arızalarına ve bu da yüksek maliyetli hasarlarına ve yolculuk güvenliğini tehlikeye atacak durumlara yol açabilir.

Bu çalışmanın amacı, radyatör destek braketinin mevcut tasarımını iyileştirerek, parçada meydana gelen çatlama ve kırılma gibi sorunların önüne geçmek ve braketin dayanıklılığını artırmaktır. Literatürde motor bağlantı braketleri ve şanzıman askı braketleri gibi parçalar üzerine yapılan çalışmalar, bu tür parçaların dayanıklılığını artırmaya yönelik analiz ve iyileştirmelerin önemli etkileri olduğunu ortaya koymaktadır [1-4]. Bu çalışmalarda sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak parça üzerindeki yük dağılımları, statik ve dinamik analizler, malzeme seçimleri gibi faktörlerin iyileştirme sürecine katkıda bulunduğu gözlemlenmiştir. Radyatör destek braketi üzerindeki yük ve gerilim analizleri yapılarak parçanın mevcut tasarımı optimize edilecek ve kalınlık artışı gibi tasarım değişiklikleri ile yapısal dayanıklılık arttırılacaktır. Böylelikle araç üzerindeki dayanıklılık testlerinde parçanın performansının artırılması ve kırılma riskinin minimuma indirilmesi hedeflenmektedir. Çalışmanın önemi, parçanın ömrünü uzatarak araç bakım ve onarım maliyetlerini azaltmak ve araç güvenliğini artırmaktır.

1.2 Radyatör Destek Braketinin Tanımı ve Fonksiyonel Özellikleri

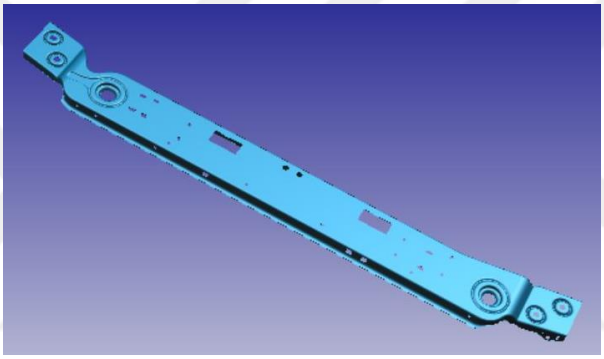
Radyatör destek braketi, aracın önüne konumlandırılmış, aracın soğutma sisteminde yer alan önemli bir yapısal bileşendir (Şekil 1.1). Bu parça, temel olarak radyatörü taşır ve stabilize eder. Ayrıca, soğutma sisteminin diğer temel bileşenlerinden olan soğutma hortumları da braket üzerine klips ve bağlantı elemanları ile monte edilerek güvenli bir şekilde konumlandırılır. Radyatör destek braketi, yalnızca üzerine bağlanan parçaların stabil bir şekilde konumlanmasını sağlamakla kalmaz; aynı zamanda motor titreşimleri, yol şartlarından kaynaklanan darbeler ve diğer dinamik yükleri absorbe ederek radyatörü ve diğer soğutma sistemi bileşenlerini korur. Braketin doğru konumlandırılması ve dayanıklı bir malzemeden üretilmesi, radyatörün ve soğutma sisteminin uzun ömürlü ve verimli bir şekilde çalışmasına katkıda bulunur.



Şekil 1.1 Radyatör braketinin araçtaki konumu

Fonksiyonel açıdan radyatör destek braketi, motor titreşimlerini azaltarak diğer bileşenlere iletilen yükleri minimize eder. Bu yönüyle, sadece radyatörün korunmasını sağlamakla kalmaz, aynı zamanda araç içerisindeki diğer kritik bileşenlerin maruz kaldığı mekanik gerilmenin azalmasına da yardımcı olur.

Parça, 3 kilogram (kg) ağırlığında olup 1.5 milimetre (mm) kalınlığında ve mühendislik malzeme spesifikasyonlarında tanımlanan soğuk haddelenmiş düşük karbonlu çelik malzemesine göre üretilmiştir [5]. Parçanın ömrünü uzatmak ve aracın zorlu koşullara dayanıklılığını artırmak amacıyla, üretim sonrasında elektro kaplama işlemi uygulanmaktadır. Bu işlem, Ford Otosan'ın Eskişehir fabrikasında standartlara uygun olarak 20 mikrometre (µm) kalınlığında bir kaplama tabakasıyla gerçekleştirilir (Şekil 1.2).



Şekil 1.2 Radyatör destek braketi üç boyutlu veri (3D) görüntüsü

BÖLÜM 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Otomotiv endüstrisinde yapısal bileşenlerin dayanıklılığı ve performansı, araç güvenilirliği için önemli bir rol oynamaktadır. Bu bağlamda, braketler, motor bağlantıları ve diğer kritik bileşenlerin tasarım ve iyileştirilmesine yönelik çalışmalar, mühendislik alanında önemli bir bilgi birikimi oluşturmuştur. Örneğin, Ekmekçi'nin (2019) çalışmasında, 1.5L dizel motorlar için motor bağlantı ve askı braketlerinin tasarımı ve analizi gerçekleştirilmiş, bu elemanların mukavemet ve dayanıklılık açısından nasıl optimize edilebileceği detaylı bir şekilde ele alınmıştır [1]. Braket tasarımlarındaki mukavemet sorunları, yalnızca motor bileşenlerinde değil, gövde-şasi bağlantıları gibi taşıtın diğer kritik bölgelerinde de karşılaşılmaktadır. Küçükay (2009), ticari bir taşıtın gövde-şasi bağlantı bölgesindeki mukavemet sorunlarını analiz etmiş ve bu bölgelere yönelik mühendislik çözümleri geliştirmiştir [2]. Benzer şekilde, Toprak (2011), şanzıman askı salıncak braketlerinin tasarım süreçlerini iyileştirerek, malzeme seçimi ve yük dağılımı arasındaki ilişkiyi detaylandırmıştır [3].

Araçlarda braket tasarımı ve optimizasyonu, yalnızca dayanıklılık değil, üretim süreçlerinin verimliliği açısından da kritik bir öneme sahiptir. Savran ve arkadaşları (2023), otomobil braket tasarımının analizi ve değerlendirilmesi üzerine yaptıkları çalışmada, tasarım optimizasyonunun performans üzerindeki olumlu etkilerini göstermiştir [4]. Bunun yanı sıra, Savran ve arkadaşları (2022), otomobil ön tampon braketlerinde yapılan iyileştirmelerin araç güvenliği ve mühendislik optimizasyonu üzerindeki etkilerini detaylandırmıştır [11].

Tezde kullanılan brakette olduğu gibi, çelik malzemeler, mukavemet ve dayanıklılık açısından kritik bir rol oynamaktadır. Çeliklerin çift fazlı yapıları, dayanıklılığı artırırken deformasyon özelliklerini iyileştirmektedir. Ervural ve arkadaşlarının (2024) çalışmasında, çift fazlı çeliklerin tekrarlı statik deformasyon yaşlandırılmasına dair detaylı analizler gerçekleştirilmiş ve malzeme bilimine önemli katkılar sağlanmıştır [5]. Ayrıca, Argıncıklıgil'in (2022) çalışması, çeliklerin Vickers sertlik değerlerine uygulanan yük etkisinin malzeme dayanıklılığı üzerindeki rolünü detaylı bir şekilde incelemiştir [14].

Yapısal analizler kadar dinamik davranışların anlaşılması da taşıt tasarımı için büyük öneme sahiptir. Örneğin, yol yüzeyinden kaynaklanan titreşimler ve çarpma etkilerinin araç bileşenlerine etkisi, sinyal işleme teknikleriyle analiz edilebilir. Pınar'ın (2017) çalışmasında, ivmeölçer sinyallerinin ileri yöntemlerle analizi yapılmış ve bu tür verilerin mühendislik uygulamalarında nasıl kullanılabileceği vurgulanmıştır [7]. Benzer şekilde, Tuncel ve Baybura (2011), gerçek zamanlı kinematik küresel konumlandırma sistemi ve ivmeölçer yardımıyla yol

geometrik standartlarının trafik kazalarına etkisini analiz etmiş ve bu verilerin yol güvenliği üzerindeki önemini göstermiştir [8]. Genç ve Kaya'nın (2020) yaptığı araştırma ise elastomer yay sönümleme sistemlerinin tasarımı ve doğrulamasına odaklanmış, bu tür sistemlerin titreşim azaltıcı çözümler sunarak taşıt dinamik performansına olan katkısını vurgulamıştır [9].

Malzemelerin mekanik özelliklerinin yanı sıra, mikro yapısal analizler de mühendislik için değerli bilgiler sunmaktadır. Ervural ve arkadaşlarının (2024) çalışmasında, derin öğrenme modelleri kullanılarak porozite analizi gerçekleştirilmiş ve bu yaklaşımın malzeme bilimine sağladığı yenilikçi katkılar ortaya konmuştur [13]. Yüksek sıcaklık analizleri üzerine yapılan çalışmalar da malzemelerin dayanıklılığı hakkında bilgi sunmaktadır. Yazıcıoğlu ve arkadaşları (2017), optik emisyon spektrometre kullanarak plazma akışının sıcaklık ölçümüne dair yenilikçi bir yöntem geliştirmiştir [12].

Bu tür ileri analiz teknikleri, yalnızca malzeme performansını anlamakla kalmaz, aynı zamanda mühendislik tasarımlarını iyileştirmek için de bir temel oluşturur. Sac metal şekillendirme teknolojilerinin süreç optimizasyonu, özellikle otomotiv endüstrisinde büyük bir öneme sahiptir. Mısırlı ve Ayday (2021), sac metalin derin çekme süreçlerinin optimizasyonuna yönelik yaptıkları çalışmada yenilikçi yaklaşımlar geliştirmiştir [16].

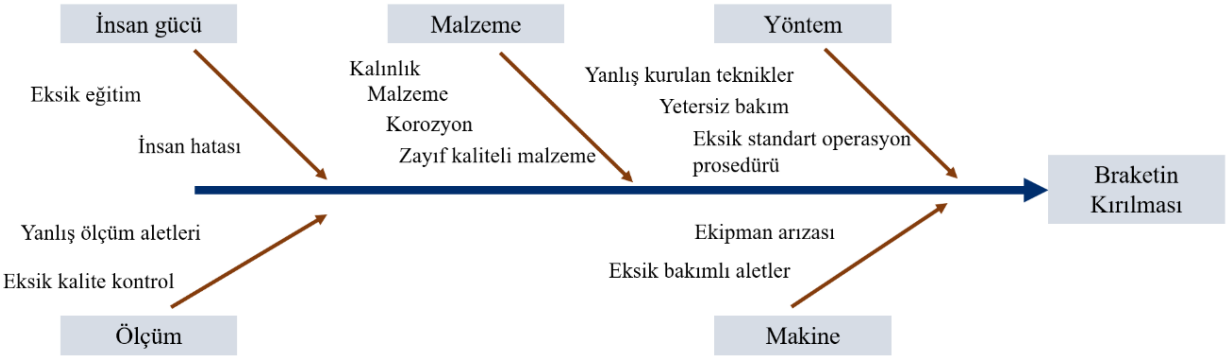
Son olarak, makinelerin dinamik davranışlarının anlaşılması, mekanik tasarım süreçlerinde rehber niteliği taşır. Aslan (2011), makinelerin dinamik davranışlarına dayalı tasarım prosedürlerinin belirlenmesine yönelik çalışmasında, mekanik sistemlerin daha verimli ve güvenilir tasarlanması için değerli bilgiler sunmuştur [17].

BÖLÜM 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde, radyatör destek braketinde yapılan tasarım iyileştirme çalışmalarında kullanılan yaklaşımlar, test koşulları ve analiz yöntemleri detaylı bir şekilde açıklanmaktadır. Çalışmada, braketi dayanıklı hale getirmek amacıyla tercih edilen kalınlık artışı ele alınmakta; dayanıklılığı artırmak amacıyla kullanılan CAE analizleri ve dayanıklılık testlerinin koşulları sunulmaktadır. Ayrıca, parça üzerinde gerçekleştirilen sertlik ve malzeme testleri ile parçanın yapısı ve hasar durumu analiz edilmiş, tasarım iyileştirmesi için yol haritası belirlenmiştir.

Ford Otosan projelerinden birinde gerçekleştirilen dayanıklılık testinde kırılma gözlemlenen bu parça, mevcut tasarımının zorlu yol koşulları ve titreşim gibi faktörlere karşı yetersiz kaldığını göstermiştir. Ancak, bu kırılma gözlemlendikten sonra, doğrudan tasarım iyileştirmesine yönelmek yerine, öncelikle kök sebep analizi yapılmıştır. Bu yaklaşım, benzer hataların tekrarlanmaması için alınacak önlemlerin etkinliğini artırmak ve sorunun kaynağını doğru bir şekilde tespit etmek adına oldukça önemlidir (Şekil 3.1).

Balık kılçığı modeli, bir problemin kök nedenlerini belirlemek için kullanılır. Bu model, bir sorunla ilişkili olası faktörleri kategorilere ayırarak neden-sonuç ilişkisini analiz etmeyi kolaylaştırır. Dayanıklılık testinde kırılma gibi sorunların tekrarlanmaması için balık kılçığı modeli, üretim sürecinden malzeme seçimine kadar tüm potansiyel nedenleri sistematik bir şekilde incelemeye olanak tanıması ve doğru çözümleri tespit etmesi açısından önemlidir [6].



Şekil 3.1 Balık kılçığı modeli

Kök sebep analizi sürecinde, kırılmanın olası nedenleri üç ana başlık altında değerlendirilmiştir:

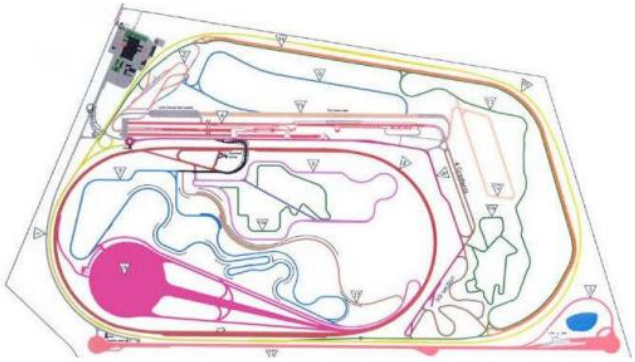
Tedarikçi Kalitesi: Parçanın üretiminde kullanılan malzeme kalitesi ve tedarik sürecinde meydana gelen olası hatalar analiz edilmiştir.

Dış Hasar: Parçanın üretimden sonra veya montaj sürecinde maruz kalmış olabileceği olası dış etkenler ve hasarlar incelenmiştir.

Artan Gerilme: Belirlenen ön brüt aks ağırlık derecesi (FGAWR) değerinde yapılan artışın, brakete binen yük ve gerilme oranını artırabileceği değerlendirilmiştir. Bu kök sebep analizinin ardından, tasarım iyileştirme çalışmalarına başlanmış ve braketin dayanıklılığını artırmak için çeşitli yapısal ve malzeme bazlı iyileştirme yöntemlerini araştırılmıştır. Dayanıklılık testlerinde karşılaşılan bu sorun, tasarım ve malzeme seçim süreçlerinin yeniden değerlendirilmesini ve çeşitli iyileştirme yöntemlerinin uygulanmasını gerektirmiştir.

3.1 Araç Dayanıklılık Testi Koşulları ve Parça Üzerindeki Etkisi

Bu çalışmada yer alan dayanıklılık testi, radyatör destek braketinin dayanıklılık, güç ve işlevsellik açısından performansını değerlendirmek için önemlidir. Bu test, tüm araç bileşenlerinin, özellikle de motor bağlantı elemanları ve diğer yapısal parçaların, uzun vadede güvenilir ve dayanıklı olup olmadığını doğrulamak için yapılmaktadır. Ford Lommel Araç Test Merkezi'nde birçok test yolu bulunmakta ve eğimli, çakıllı, engebeli gibi çok çeşitli test koşullarında testler gerçekleştirilmektedir. Bu testlerin amacı, araç bileşenlerinin 240.000 km veya 1 ömür boyunca dayanıklılığını değerlendirmektir [2]. Dayanıklılık testlerinin verimliliği, testlerin halka açık yollardan alınarak özel test merkezlerine taşınmasıyla artırılmaktadır. Bu yaklaşım, testlerin daha kısa sürede tamamlanmasını sağlamakta ve araç üzerindeki etkilerin daha detaylı bir şekilde incelenmesine olanak tanımaktadır. Dayanıklılık testleri; şartnameler doğrultusunda önceden belirlenmiş süreler içinde ve gözlemler dışında ara verilmeden gerçekleştirilir. Bu parkurlarda gerçekleştirilen dayanıklılık testleri sırasında, araç bileşenlerinin dayanımını artırmak için özel gözlem ve ölçüm yöntemleri kullanılmaktadır.

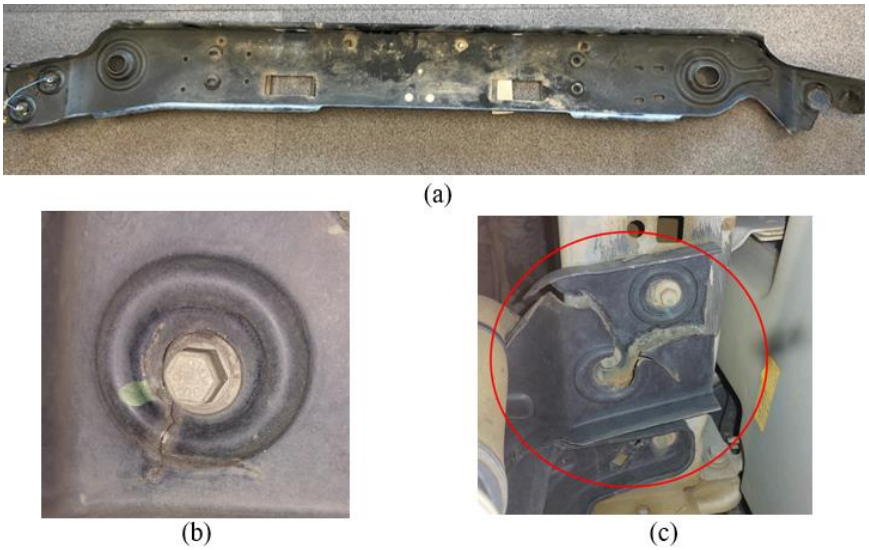


Şekil 3.2 Ford Lommel Araç Test Merkezi yol parkuru krokisi [2]

Dayanıklılık testleri sırasında, araçlar düzenli aralıklarla kontrol edilerek herhangi bir sorun oluşup oluşmadığı detaylı bir şekilde değerlendirilir. Tüm testlerin sonucunda, testi başarıyla tamamlayan tüm bileşenler dayanıklı olarak kabul edilmektedir [2].

3.2 Temel CAE Modelinin Hazırlanması ve Prosesi

Radyatör destek braketinin kullanıldığı araçta yapılan dayanıklılık testi sırasında, radyatör destek braketinde ilk çatlak önden çekişli (FWD) araçlarda testin %56'sında, aracın yaklaşık 24.743. km'sinde gözlenmiştir. Kırılmanın ve çatlakların daha ileri aşamalarını incelemek amacıyla yapılan hata modu analiz sürecinde ise ikinci çatlak ve kırılma, testin %94'ünde, aracın yaklaşık 40.874. km'sinde meydana gelmiştir (Şekil 3.3).

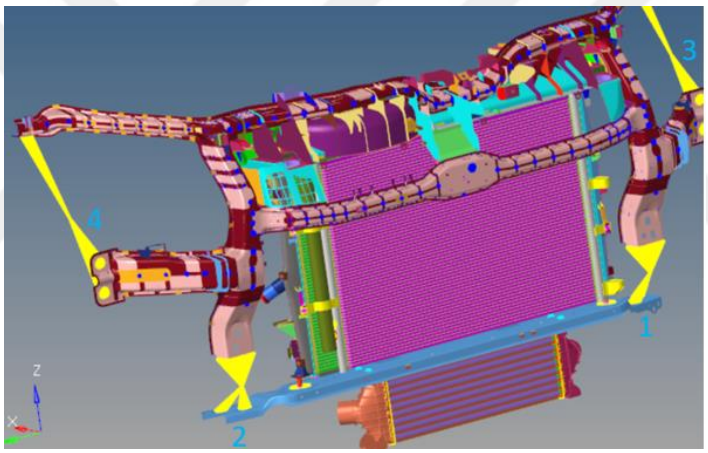


Şekil 3.3 Parçanın test sonrası fotoğrafı (a), ilk çatlak (b), ikinci çatlak ve kırılma (c)

Bu bulgular, radyatör destek braketinin mevcut tasarımının uzun süreli dayanıklılık gereksinimlerini karşılamada yetersiz kaldığını ve kritik yükleme koşullarında daha fazla iyileştirme gerektirdiğini göstermektedir. Bu test sonuçları doğrultusunda, parçanın tasarımında kalınlık artışı ve malzeme seçiminin değerlendirilmesi gibi çeşitli iyileştirme çalışmaları başlatılmıştır.

Radyatör destek braketinin dayanıklılığını ve yük taşıma kapasitesini analiz etmek amacıyla, CAE modeli gerçek yol yükleri ve çalışma koşullarını simüle edecek şekilde oluşturulmuştur. Modelleme sürecinde, motor soğutma modülü kapsamında radyatör, kondansör, fan, ara soğutucu (intercooler) ve radyatör destek parçası dikkate alınmıştır (Şekil 3.4).

Analizlerde radyatör destek braketinin kritik bölgelerinde, özellikle yüksek gerilme altında kalan bağlantı noktaları ile malzemenin ince kesildiği sağ radyatör montaj alanında gerilme karşılaştırmaları gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.4 CAE modelleme

3.2.1 Yol yükü hesaplanması

Yol yükü verisi (RLD, Road Load Data), araç bileşenlerinin gerçek yol koşullarında maruz kaldığı yükleri simüle etmek için kullanılan bir veri setidir. RLD verileri, belirli bir yol profiline göre bileşenlerin karşılaştığı yükleri ölçer veya tahmin eder. Bu veriler, genellikle aracın yol testi sırasında ya da benzer araçların verilerinden elde edilerek, bileşenlerin uzun ömürlü performansını değerlendirmek için CAE analizlerinde kullanılır.

Bu analizde yol yükü, orijinal ve %25 artırılmış olmak üzere iki farklı ölçekte hesaplanmıştır. Yük ölçeğinin %25 artırılmasının nedeni, FGWAR değeri ile ilişkilidir; bu değerde 150 kg'lik bir artış olması (FWAGR, bir önceki projelerle karşılaştırıldığında 1850 kg’den 2000 kg’a çıkmıştır) ilgili yol yükünün %25 artırılması gerekliliğini doğurmuştur.

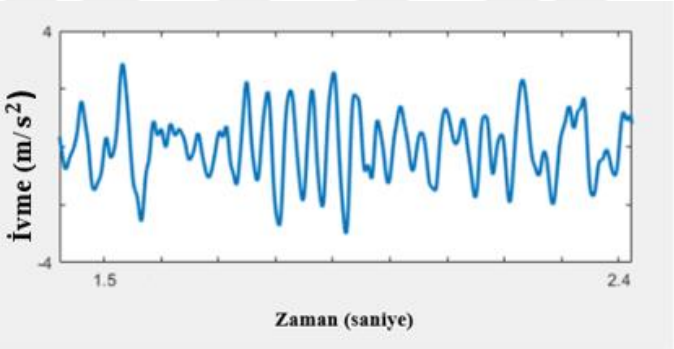
%25 değeri güç spektral yoğunluğu (Power Spectral Density, PSD) ile hesaplanır. PSD testi, araç dayanıklılık testleri sırasında bir parça veya montajın karşılaşabileceği şiddetli titreşimleri simüle etmek amacıyla yapılır. Bu test, titreşim kaynaklı yorulma hatalarını belirlemek için özel olarak tasarlanmıştır ve sıcaklık veya basınç gibi diğer faktörleri dikkate almaz. (Ancak, testin daha gerçekçi sonuçlar vermesi için gürültü faktörleriyle birlikte yapılması önerilmektedir.)

PSD metodunda kullanılan veri, genellikle aracın yol testleri sırasında ivmeölçerler aracılığıyla toplanır. İvmeölçerler, araç üzerindeki bileşenlere (kritik noktalara) yerleştirilerek titreşim verilerini kaydeder [7-8-9]. PSD analizi sırasında, aracın üç ekseninde (X, Y, Z) titreşim verileri toplanır. Aşağıdaki Şekil 3.5 örneğinde gösterildiği gibi her bir eksenin zamana bağlı ivme değeri işlenir.

X ekseni: Aracın ileri-geri hareketiyle ilişkilidir.

Y ekseni: Yanlara doğru hareketi temsil eder.

Z ekseni: Yukarı-aşağı hareketi (dikey titreşim) gösterir.



Şekil 3.5 Zamana bağlı ivme grafiği

Bu veriler, hızlı Fourier dönüşümü (FFT, Fast Fourier Transform) ile frekans spektrumuna dönüştürülür. FFT ile zamana bağlı ivme değeri frekansa bağlı ivme değerine dönüştürülür. FFT, zaman alanında kaydedilen bu titreşim sinyalini, hangi frekanslarda ne kadar enerji yoğunluğu olduğunu gösterecek şekilde dönüştürerek analiz edilmesini sağlar.

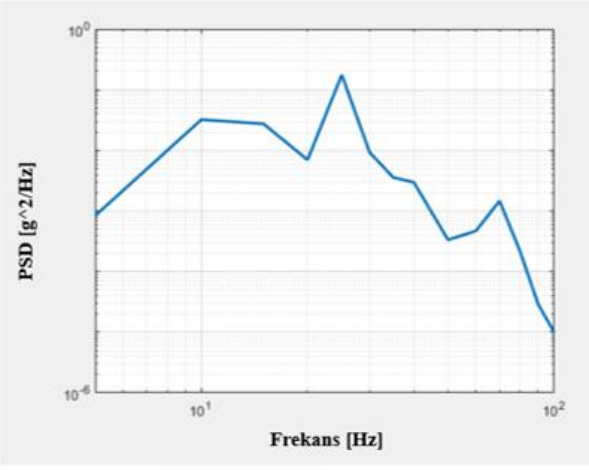
Frekans spektrumunda görülen enerji yoğunluğu, titreşimlerin bileşen üzerinde hangi frekanslarda daha fazla etki yarattığını anlamamızı sağlar. Örneğin, düşük frekanslar büyük ve yavaş titreşimlere, yüksek frekanslar ise hızlı ve küçük titreşimlere işaret eder. Bu bilgiler, bileşenlerin hangi titreşim koşullarında yorulma riski taşıdığını tespit etmek için kritik öneme sahiptir. Bir parçanın yüksek hızlı titreşimlere mi yoksa düşük hızlı titreşimlere mi daha fazla

maruz kaldığını belirleriz. Bu, titreşim enerjisinin hangi frekanslarda toplandığını gösterir ve yorulma riskini değerlendirmemize yardımcı olur. Bu sayede, bileşenin dayanıklılığını artırmak için hangi frekans aralıklarının kontrol altına alınması gerektiği belirlenir. Bu yaklaşım, bileşenin mevcut tasarımının daha yüksek yük koşullarında nasıl davrandığını değerlendirmek ve gerekirse tasarım iyileştirmeleri yapmak için önemli bir araçtır [10].

FFT ile dönüştürülen bu veriler, PSD analizinde kullanılarak titreşim enerjisinin belirli bir frekans aralığında ne kadar yoğunlaştığını ölçer. PSD, genellikle aşağıdaki formülle ifade edilir ve titreşim enerjisinin frekanslar üzerindeki dağılımını net bir şekilde gösterir (3.1). Formülde geçen 'g' yer çekimi ivmesi, titreşim analizlerinde bir bileşenin maruz kaldığı ivme genliğini ifade eder. 'H_z' bir olayın saniyede kaç kez tekrarlandığını ifade eden frekans birimini temsil etmektedir.

$$\mathbf{PSD = g^2 \,/\, H_z} \tag{3.2}$$

PSD analizinde, titreşim testleri farklı şiddetlerde gerçekleştirilir. Seviye 1 ve Seviye 2 test seviyeleri, bileşenin dayanıklılığını farklı yükleme koşulları altında değerlendirmek için kullanılır (Şekil 3.6). (Farklı yol ve zamanlarda farklı grafikler oluşur, bunların bileşkesi de alınabilir ya da hepsi ayrı ayrı da değerlendirilebilir.)



Şekil 3.6 X ekseninde PSD-Frekans grafiği

FFT dönüşümünden elde edilen PSD verileri ile titreşim profili oluşturulur. Şekil 3.5 örneğinde görüldüğü gibi, oluşturulan profil frekans bazlı olarak girilen ivme yoğunluğunu gösterir. nCode programında toplanan test dataları PSD'ye dönüştürülür. Bu profil işlenir ve analiz verilerini oluşturur. Bu süreç, hem tasarım sürecinde hem de üretim sonrasında bileşenin uzun ömürlü performansını garanti altına almak için kritik bir araçtır. Tablo 3.1 örneğinde olduğu gibi PSD' deki her bir ivme değeri karşılık gelen frekans değerinde sisteme uygulanır ve sistemde oluşan gerilme değerinden yorulma hesabı yapılır.

Tablo 3.1 X ekseninde titreşim profili

Frekans [Hz]	PSD [g^2/Hz]
5	0,0008313
10	0,03207
15	0,02732
20	0,006955
25	0,1755
30	0,009161
35	0,003554

3.2.2 Parça üzerine etki eden statik ve dinamik yükler

Statik yükler, parçanın üzerine sabit olarak etki eden ağırlık ve kuvvetlerden oluşur. Bu analizde, radyatör ve bağlı diğer soğutma sistemlerinin toplam ağırlığı dikkate alınarak brakete etki eden sabit kuvvetler hesaplanmıştır. Radyatör destek braketine etki eden statik yükler, radyatör, fan muhafazası (shroud) ve ara soğutucu (intercooler) gibi soğutma sisteminin temel bileşenlerinin ağırlığı dikkate alınarak hesaplanmıştır. Bu bileşenlerin toplam ağırlığı, brakete sabit bir kuvvet olarak etki ederek yapısal dayanıklılığı test eder.

Dinamik yükler, yol koşullarından, araç hızlanma ve frenleme hareketlerinden ve motor titreşimlerinden kaynaklanan, sürekli değişen kuvvetlerdir. Radyatör destek braketi, bu dinamik yükler altında titreşim ve ani kuvvet değişimlerine maruz kalarak zamanla yorulma hasarı riski taşır. Bu yükleri doğru bir şekilde simüle etmek amacıyla araca özgü hesaplanan PSD dataları kullanılmıştır.

Braketin yüksek dinamik yükler altında en çok hangi bölgelerde gerilme yaşadığı belirlenmiş ve yorulma dayanıklılığının artırılması için tasarım iyileştirme çalışmaları yapılmıştır.

3.2.3 Gerilme hesaplamaları ve yük dağılımı

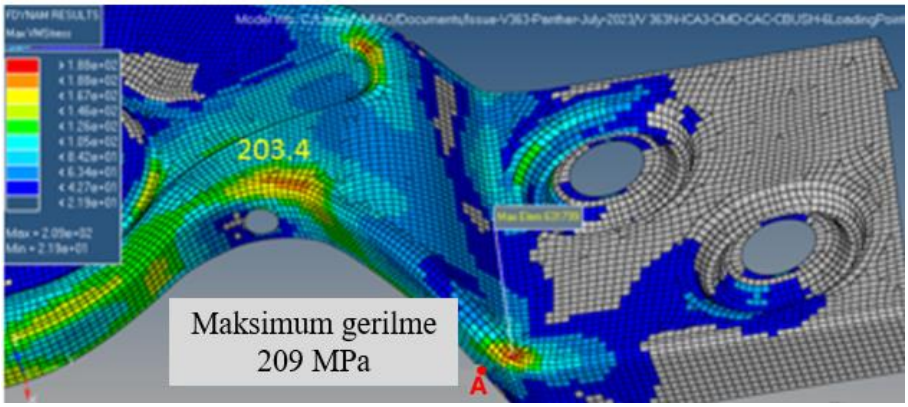
Radyatör destek braketinin statik ve dinamik yükler altındaki dayanıklılığı Von Mises gerilme analizi kullanılarak değerlendirilmiştir. Von Mises gerilmesi, malzemenin karmaşık yükler altında akma sınırına ulaşıp ulaşmadığını belirlemek için kullanılan bir gerilme ölçütüdür. Bu gerilme ölçütü, her yöndeki gerilmeleri dikkate alarak tek bir gerilme değeri elde edilmesini sağlar ve özellikle çok eksenli yüklemeler altındaki malzemelerin dayanıklılığını analiz etmek için kullanılır. CAE analizlerinde Von Mises gerilme analizi, parçanın akma dayanımına ne kadar yakın olduğunu gösterir; akma sınırını aşan gerilme değerleri, parçanın plastik deformasyona veya kırılmaya uğrama riskini artırır [11].

Analizlerde sönümleme oranı (damping ratio) %5 olarak belirlenmiştir. Sönümleme oranı, sistemin titreşimleri ne kadar hızlı azalttığını veya yok ettiğini ifade eden bir parametredir. CAE analizlerinde, özellikle dinamik yükler altında parçaların titreşimlere karşı gösterdiği dayanıklılığı değerlendirmek için önemli bir parametredir. Radyatör destek braketi üzerindeki titreşimleri sönümleyerek yol koşullarında ve titreşim altında dayanıklılığını artırmak amacıyla, %5 sönümleme oranı kullanılarak analiz gerçekleştirilmiştir.

Orijinal RLD koşulları altında gerçekleştirilen analizde, radyatör destek braketinin belirli bölgelerinde maksimum 209 Mega Pascal (MPa) Von Mises gerilme değerine ulaşıldığı gözlemlenmiştir (Tablo 3.2). Bu analiz, parçanın FGAWR artışı olmadan önceki standart yükleme koşullarında yapılan incelemeyi temsil etmektedir. Şekil 3.7’de görüldüğü gibi, "A" ile işaretlenmiş bölge, maximum oluştuğu alan olup, yorulma hasarına açık olan kritik bir bölge olarak dikkat çekmektedir. Bu analiz, parçanın hangi bölgelerde yüksek gerilme altında olduğunu belirleyerek, dayanıklılık iyileştirmeleri için yol göstermektedir.

Tablo 3.2. Radyatör destek braketi orijinal RLD koşulları altında gerilme değeri

Parametre	**Değer**
Kalınlık	1.5 mm
A noktasındaki gerilme	209 MPa
Maksimum gerilme	209 MPa
Hasar	Yok



Şekil 3.7 Orijinal RLD'de maksimum gerilme noktası

3.3 Malzeme ve Hata Analizi

Bu bölümde, radyatör destek braketinin dayanıklılığını artırmak amacıyla yapılan malzeme, sertlik ve hata analizleri detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Parça, kırılmanın nedenini anlamak için Ford Otosan Sancaktepe Malzeme Analiz Merkezi'nde kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Analiz sürecinde, malzemenin kimyasal yapısını, sertlik özelliklerini ve çatlak-kırılma yapısını değerlendirmek amacıyla çeşitli test ve inceleme yöntemleri kullanılmıştır.

3.3.1 Malzeme analizi

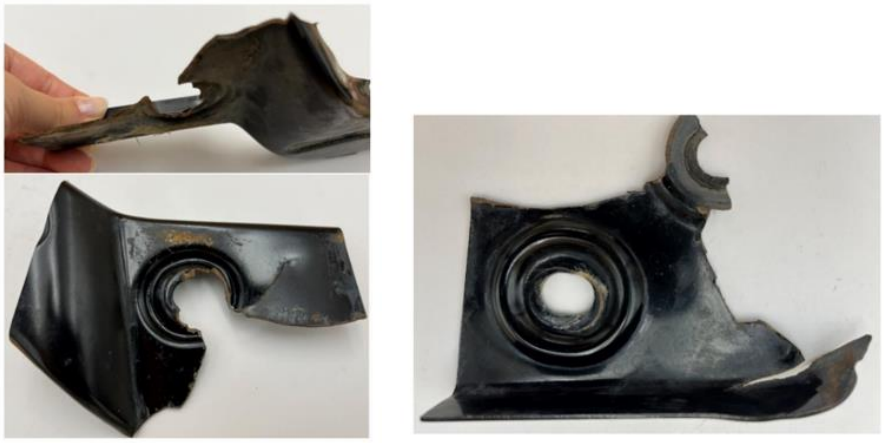
Malzeme özelliklerini analiz etmek için kimyasal bileşim analizi, makro-mikro yapı analizi ve sertlik analizleri yapılmıştır.

3.3.1.1 Makro-mikro analiz

Optik Emisyon Spektrometresi (OES) yöntemi kullanılarak malzemenin kimyasal bileşimi analiz edilmiştir. Bu yöntem, malzemenin içeriğinde bulunan elementlerin oranlarını belirleyerek, parçanın malzeme spesifikasyonlarına uygun olup olmadığını değerlendirmek için kullanılmıştır. [12]

Kırılan parçanın parçaları Şekil 3.3' de genel görünüşleri ile 1 ve 2 olarak numaralandırılmıştır. Kullanılan malzeme; düşük karbonlu, soğuk haddelenmiş çelik sacların genel formabilite özelliklerini tanımlar [13]. Bu malzeme, tam öldürülmüş, ince taneli, düşük karbonlu çelik

sacları kapsar ve minimum akma dayanımı 110 ile 240 MPa arasında olan malzemeleri içerir (Tablo 3.3).



Şekil 3.8 1 ve 2 olarak adlandırılan parçaların genel görünüşleri

Tablo 3.3 Radyatör destek braketi malzeme özellikleri

Akma Dayanımı, MPa (min)	140
Akma Dayanımı, MPa (max)	240
Çekme Dayanımı, MPa (min)	270
Çekme Dayanımı, MPa (max)	370

Bu çelikler, iyi şekillendirme, birleştirme ve boyama özelliklerine sahiptir. Çelik ürünlerin kalite, performans ve üretim gereksinimlerini karşılamasını sağlamak için referans olarak kullanılır. Çeliğin kimyasal bileşimi için belirli sınırlar tanımlar. Örneğin, karbon, mangan, fosfor, kükürt gibi elementlerin minimum ve maksimum değerleri bu standarda göre belirlenir. Yapılan kimyasal bileşim analizine göre parça malzeme standartlarına uygundur (Tablo 3.4).

Tablo 3.4 Malzeme kimyasal kompozisyon spesifikasyonu (a), 1 nolu parçanın kimyasal kompozisyon değerleri (b)

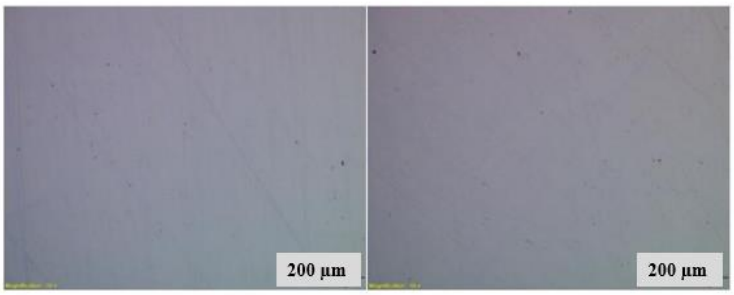
Derece	C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Al (%)	Ti (%)	Cu (%)
CR1	≤ 0.12	≤ 0.50	≤ 0.50	≤ 0.025	≤ 0.020	≥ 0.010	≤ 0.20	≤ 0.20
CR2	≤ 0.10	≤ 0.50	≤ 0.50	≤ 0.025	≤ 0.020	≥ 0.010	≤ 0.20	≤ 0.20
CR3	≤ 0.08	≤ 0.50	≤ 0.50	≤ 0.025	≤ 0.020	≥ 0.010	≤ 0.20	≤ 0.20
CR4	≤ 0.06	≤ 0.50	≤ 0.40	≤ 0.020	≤ 0.015	≥ 0.010	≤ 0.20	≤ 0.20
CR5	≤ 0.02	≤ 0.30	≤ 0.30	≤ 0.020	≤ 0.015	≥ 0.010	≤ 0.20	≤ 0.20

a

Numara	Fe (%)	C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Cr (%)
1	99.62	0.0403	0.0267	0.176	0.0151	0.0059	0.0180
2	99.63	0.0369	0.0250	0.178	0.0150	0.0048	0.0183
3	99.62	0.0407	0.0268	0.179	0.0100	0.0058	0.0181
4	99.62	0.0417	0.0240	0.177	0.0100	0.0055	0.0175
5	99.62	0.0424	0.0263	0.178	0.0097	0.0056	0.0172
6	99.64	0.0381	0.0240	0.176	0.0100	0.0055	0.0179
7	99.63	0.0441	0.0222	0.177	0.0080	0.0050	0.0176
8	99.63	0.0457	0.0232	0.178	0.0093	0.0055	0.0178
Ø	99.63	0.0412	0.0248	0.177	0.0109	0.0055	0.0178

b

Porozite analizi: Porozite analizi, malzemelerin iç yapısındaki gözeneklerin boyut, dağılım ve toplam hacim oranlarını belirlemek için kullanılan önemli bir yöntemdir. Bu analiz, özellikle malzeme özelliklerini optimize etmek amacıyla kullanılır [13]. Malzemenin iç yapısındaki gözeneklerin varlığını değerlendirmek amacıyla optik mikroskopta parçanın 5 kat küçültülmüş hali ile porozite analizi gerçekleştirilmiş, analiz sırasında, malzemenin yüzey ve iç yapısında herhangi bir gözenek (porozite) durumu gözlemlenmemiştir. Bu durum, malzemenin üretim sürecinde homojen bir yapıya sahip olduğunu ve mekanik dayanıklılığı açısından herhangi bir zayıf nokta içermediğini göstermektedir (Şekil 3.9).



Şekil 3.9 Parçanın porozite analiz görüntüsü

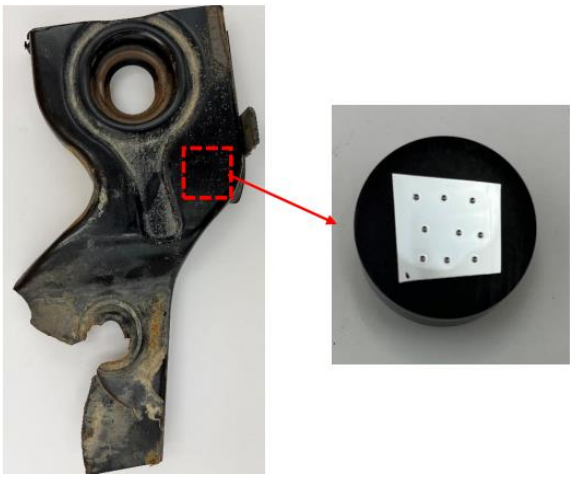
3.3.2 Sertlik analizi

Malzemenin mekanik özelliklerini incelemek amacıyla Rockwell C ve Brinell sertlik testleri gerçekleştirilmiştir. Rockwell C yöntemi, malzemenin yüzey sertliğini değerlendirirken, Brinell yöntemi, malzemenin genel sertlik dağılımını belirlemek için kullanılmıştır. Bu testler, parçanın dayanıklılığını etkileyen faktörlerin anlaşılmasında kullanılmıştır.

3.3.2.1 Rockwell C sertlik analizi

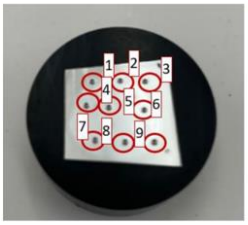
Bu test, malzemenin yüzey sertliğini değerlendirmek için yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Test sırasında, 120° uç açısına sahip elmas koni şeklindeki bir batıcı uç, numune yüzeyine önce 10 kg'lık bir ön yük uygulanarak yerleştirilir. Ardından, toplamda 150 kg olacak şekilde ana yük uygulanır. Yük kaldırıldıktan sonra, batma derinliği ölçülerek Rockwell C sertlik değeri (HRC) hesaplanır. Bu yöntem, özellikle sertleştirilmiş çeliklerin sertlik ölçümünde tercih edilmektedir [14].

1 ve 2 olarak numaralandırılan parçaların çeşitli noktalarındaki sertlik değerleri ölçülmüştür. Şekil 3.10'da verilen örneğinde 1 numaralı parça 9 farklı noktadan ölçülmüştür. Sonuçlar ölçüm noktaları arasında sertlik değerlerinin 44,7 HRC ile 56,55 HRC arasında değiştiğini göstermektedir (Tablo 3.5). Bu durum, malzemenin yüzey sertliğinin farklı bölgelerde değişiklik gösterdiğini ancak genel olarak kabul edilebilir bir aralıkta olduğunu ifade etmektedir.



Şekil 3.10 1 numaralı parça için 9 noktadan sertlik ölçümü

Tablo 3.5 1 numaralı parçanın sertlik ölçüm sonuçları



Ölçüm Noktaları	1. Nokta	2. Nokta	3. Nokta	4. Nokta	5. Nokta	6. Nokta	7. Nokta	8. Nokta	9. Nokta
Sertlik Değerleri (HRC)	48,33	44,7	49,8	46,67	51,65	53,8	49,33	54,9	56,55

3.3.2.2 Brinell sertlik analizi

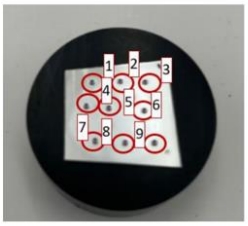
Radyatör destek braketinde yapılan Brinell sertlik ölçümleri, malzemenin genel sertlik özelliklerini belirlemek için gerçekleştirilmiştir. Test sırasında elde edilen Brinell sertlik değerleri (HB), malzemenin çekme dayanımını tahmin etmek için kullanılmıştır. Brinell sertlik değeri ile çekme dayanımı arasındaki ilişki, deneysel bağıntılarla ifade edilmektedir (3.3). Çelikler için genel olarak kullanılan bağıntıya göre:

$$TS(MPa) \approx HB \times K \tag{3.3}$$

TS çekme dayanımı ve K, malzemenin özelliklerine bağlı bir sabit olup, radyatör destek braketinde kullanılan çelik için 3,35 alınmıştır. Bu bağıntı sayesinde, malzemenin sertlik değeri üzerinden çekme dayanımı tahmin edilmiş ve mekanik özelliklerinin standartlarla uyumlu olduğu değerlendirilmiştir.

Parça 1 ve Parça 2'nin çekme dayanımı değerleri, 258,19 MPa ile 271,25 MPa arasında değişim göstermektedir (Tablo 3.6 ve 3.7).

Tablo 3.6 Parça 1 sertlik değerleri



Ölçüm Noktaları	1. Nokta	2. Nokta	3. Nokta	4. Nokta	5. Nokta	6. Nokta	7. Nokta	8. Nokta	9. Nokta
Sertlik Değerleri (HRC)	48,33	44,7	49,8	46,67	51,65	53,8	49,33	54,9	56,55

Tablo 3.7 Parça 1 çekme dayanımı değerleri

Ölçüm Noktaları	1. Nokta	2. Nokta	3. Nokta	4. Nokta	5. Nokta	6. Nokta
Brinell Sertlik Değeri (HB)	77,5	77	78	81,1	74,6	74.4
Çekme Dayanımı	259,79	258,19	261,38	271,25		

HB ve çekme dayanımı arasındaki ilişkiyi belirlemek için kullanılan deneysel bağıntılar, genellikle minimum sertlik değeri gerektirir. Bu analizde, çekme dayanımı değerinin güvenilir bir şekilde hesaplanabilmesi için HB değerinin en az 76 olması gerektiği belirlenmiştir.

Parça 1'de 2 ölçüm noktasında; parça 2'de 4 ölçüm noktasında Brinell sertlik değeri 76 HB'nin altında olduğundan, çekme dayanımı hesaplaması yapılamamıştır.

Elde edilen çekme dayanımı değerleri 294 MPa ile 301,53 MPa arasında değişmekte olup, malzeme standartlarına uygundur. Ayrıca, hammadde imalatçısı Erdemir'in sağladığı referans değerlere göre, malzemenin çekme dayanımı aralığı 292 MPa ile 301 MPa arasındadır.

Yapılan Brinell sertlik testlerinden elde edilen çekme dayanımı değerleri, malzemenin mekanik özelliklerini tahmin etmede önemli bir gösterge sağlamıştır. Ancak, sertlik ölçümlerine dayalı hesaplamalar, gerçek çekme dayanımı değerlerinden hafif sapmalar gösterebilir. Bu analizde, sertlik ölçümleriyle hesaplanan çekme dayanımı değerlerinin, ilgili standartların belirttiği spesifikasyon değerlerinden biraz daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.

Bununla birlikte, malzeme performansının en doğru değerlendirmesi, çekme testi verileriyle yapılabilmektedir. Hammadde imalatçısından sağlanan çekme testi sonuçlarına göre, malzemenin çekme dayanımı değerlerinin spesifikasyonlarla uyumlu olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, sertlik testlerinin tahmini sonuçlar sunduğunu ve çekme testlerinin malzemenin nihai dayanıklılığını değerlendirmek için daha kesin bir yöntem olduğunu göstermektedir.

3.3.3 Hata analizi

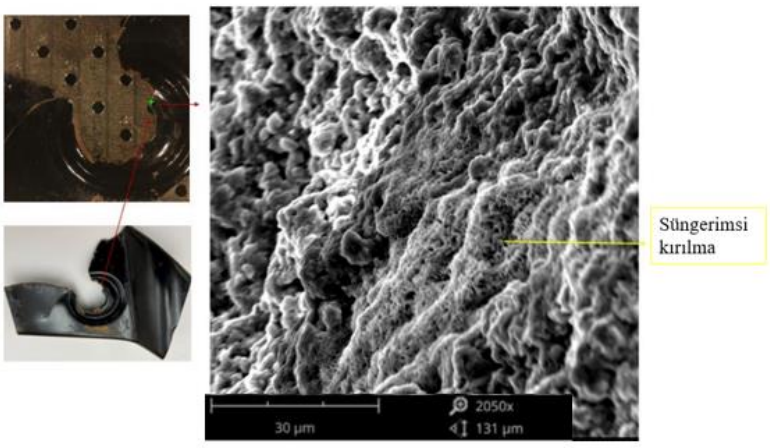
Parçanın kırılma yüzeyleri, Taramalı Elektron Mikroskobu (Scanning Electron Microscope, SEM) ile analiz edilmiştir. SEM analizi, kırılma mekanizmalarını anlamak ve çatlak oluşumunun kaynaklandığı noktaları belirlemek için kullanılmıştır.

SEM analizinde, yüksek enerjili elektron demetleri kullanılarak yüzeyin topografyası, kompozisyonu ve yapısal özellikleri hakkında bilgi elde edilir [15]. Bu yöntem, özellikle malzeme bilimi ve mikroyapı analizi çalışmalarında kritik bir araçtır. Radyatör destek braketinin kırılma yüzeyleri üzerindeki SEM analizi, hem sünek hem de gevrek kırılma mekanizmalarını ortaya koyarak parçanın karmaşık kırılma modunu belirlemeye yardımcı olmuştur.

3.3.3.1 SEM analizi sonuçları

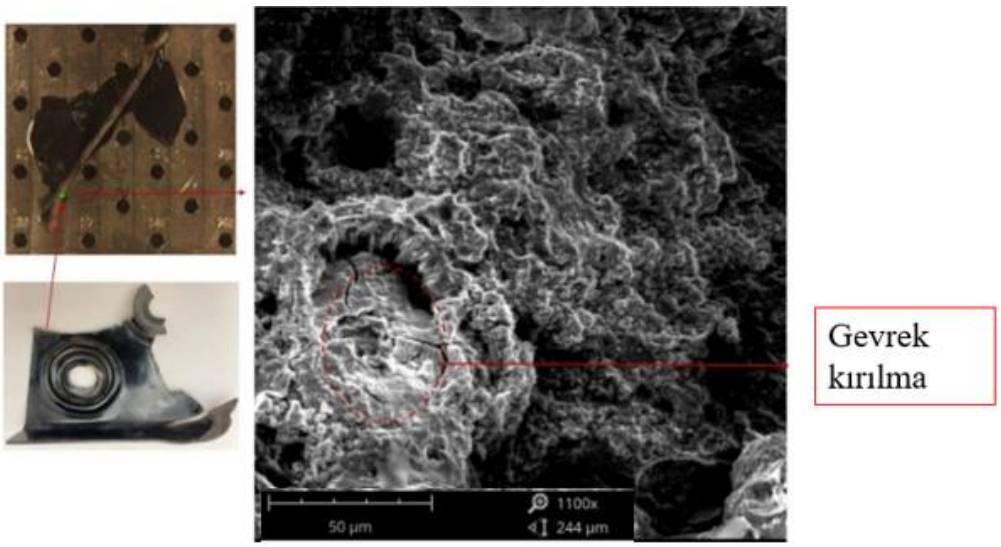
SEM görüntülerinde, sünek kırılmayı temsil eden süngerimsi (ductile) yapılar ile gevrek kırılmaya özgü kırılma düzlemleri gözlemlenmiştir. Ayrıca, kırılma yüzeylerinde sivri oluşumlar ve lifsi yapılar gibi özellikler, karma bir kırılma moduna işaret etmektedir.

Sünek kırılma görülen malzemenin kırılmadan önce belirgin bir plastik deformasyona (kalıcı şekil değişikliği) uğradığı kırılmadır. Burada süngerimsi yapılar plastik deformasyon sonucu boşlukların çekirdeklenmesi ve büyümesi ile karakterize edilir (Şekil 3.11).



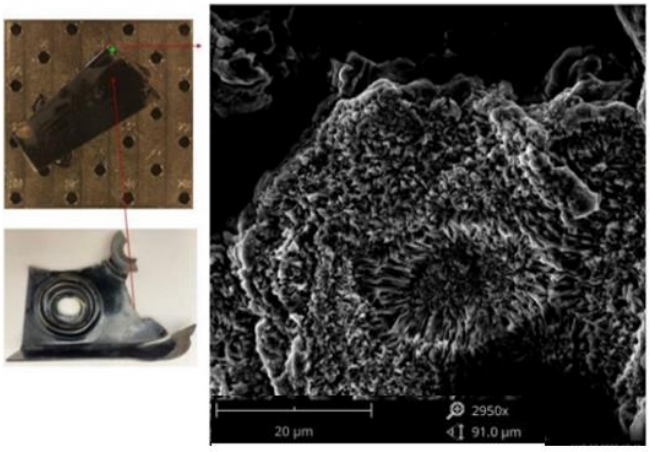
Şekil 3.11 Süngerimsi yapı görüntüsü

Gevrek kırılma malzemenin kırılmadan önce çok az veya hiç plastik deformasyona uğramadığı, ani bir kırılma türüdür. Burada ayrılma yüzeyleri kristalografik düzlemler (Kristalografik düzlemler, kristallerin atomlarının düzenli bir şekilde dizildiği ve belirli bir geometriye sahip olduğu düzlemlerdir) boyunca çatlak ilerlemesi ile ilişkilidir (Şekil 3.12).



Şekil 3.12 Gevrek kırılma görüntüsü

Karma mekanizma: Dikenimsi yapılar, gevrek kırılmaya özgü gerilme yoğunlaşmalarını ve çatlak başlangıçlarını işaret ederken; lifli yapılar, plastik deformasyon yoluyla enerjiyi absorbe eden sünek kırılma bölgelerini temsil etmektedir. Bu bulgular, malzemenin karma bir kırılma mekanizmasına sahip olduğunu ve hem gevrek hem de sünek kırılma davranışlarının aynı anda sergilendiğini göstermektedir (Şekil 3.13).



Şekil 3.13 Karma mekanizma görüntüsü

3.3.3.2 Karmaşık kırılma modu

SEM analizi, kırılma yüzeylerinde hem gevrek hem de sünek kırılma özelliklerinin bir arada bulunmasının, birden fazla faktörün etkili olduğu karmaşık bir kırılma modunu işaret ettiğini göstermektedir. Bu faktörler arasında şunlar yer almaktadır:

Yükleme şartları: Çok yüksek darbe yükleri veya hızlı yükleme hızları, genellikle sünek olan bir malzemenin gerilme hızına bağlı olarak gevrek davranış sergilemesine neden olabilir.

Gerilme yoğunlaşmaları: Kırılma yüzeylerinde gözlemlenen dikenimsi yapılar, yerel gerilme yoğunlaşmalarını ve gevrek kırılma başlangıcını göstermektedir. Parçanın hizmet sırasında maruz kaldığı yükleme koşulları, çevrimsel yükler ve darbe kuvvetleri gibi faktörlerin detaylı bir şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir.

3.3.2 Malzeme ve hata analizi değerlendirmeleri

Malzeme analizinden elde edilen değerler malzemenin standartlara uyduğunu göstermektedir. Kimyasal bileşim analizleri, malzemenin spesifikasyonlara tam olarak uyduğunu doğrulamıştır. Sertlik ve çekme dayanımı testlerinden elde edilen veriler de bu standartlarla uyumlu sonuçlar sunmuştur. Bu durum, radyatör destek braketinin dayanıklılık gereksinimlerini karşılamaya yönelik olarak doğru malzeme seçiminin yapıldığını göstermektedir.

SEM analizinde gözlemlenen gevrek ve sünek kırılma özelliklerinin bir arada bulunması, malzemenin karmaşık bir yükleme ortamında çalıştığını ve farklı kırılma mekanizmalarının devreye girdiğini göstermektedir. Bu nedenle, parçanın mekanik özelliklerini daha iyi anlamak için yükleme koşulları, malzeme özellikleri ve sıcaklık faktörleri detaylı bir şekilde değerlendirilmelidir.

BÖLÜM 4. ANALİZ SONUÇLARI VE TASARIM İYİLEŞTİRMESİ

Bu bölümde, mevcut radyatör destek braketinin dayanıklılık performansını ve tasarım iyileştirme çalışmalarının etkilerini değerlendiren analiz sonuçları ele alınmaktadır. İlk olarak, mevcut tasarımın zayıf yönleri CAE analizleri ile incelenmiş ve bu analizler, parçanın zorlu yükleme koşulları altında nasıl tepki verdiğini detaylı bir şekilde ortaya koymuştur. Ardından, tasarım iyileştirme sürecinde gerçekleştirilen değişiklikler ve bu değişikliklerin parça üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir.

Bu kapsamda, mevcut tasarımın performansı ile farklı kalınlık seçenekleri gibi alternatif çözümler kıyaslanmış ve en uygun çözüm önerilmiştir. Tasarım iyileştirmeleri hem teorik analizler hem de dayanıklılık testleri ile doğrulanmıştır. Özellikle, iyileştirilmiş tasarımın gerilme dağılımı ve yorulma dayanıklılığı üzerindeki olumlu etkileri vurgulanmıştır.

Son olarak, prototip parçalar üzerinde yapılan dayanıklılık testleri ile iyileştirilmiş tasarımın saha performansı değerlendirilmiştir. Bu testler, tasarım değişikliklerinin hem teorik analizlerle uyumlu olduğunu hem de gerçek kullanım koşullarında başarılı sonuçlar sunduğunu kanıtlamaktadır. Bölüm boyunca sunulan veriler, tasarım iyileştirmesinin etkinliğini ve sürdürülebilir mühendislik çözümlerine katkısını detaylandırmaktadır.

4.1 CAE Analiz Sonuçları ve Değerlendirmesi

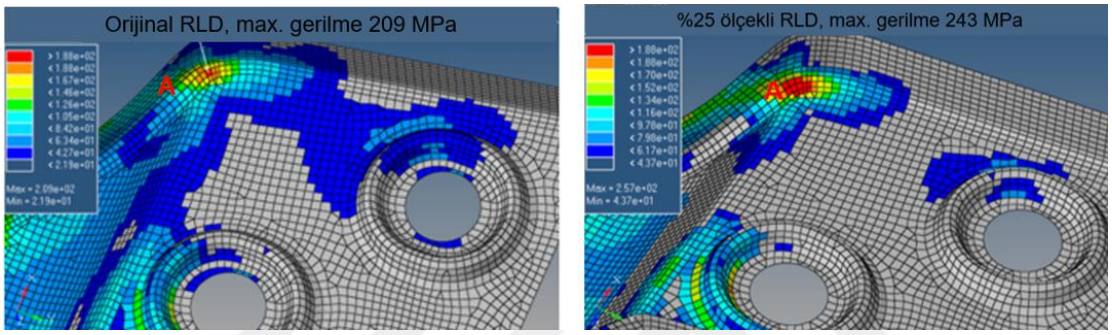
CAE analizleri, mevcut radyatör destek braketinin dayanıklılık ve yük taşıma kapasitesini değerlendirmek için gerçekleştirilmiştir. Analizlerde, yüksek gerilme seviyelerinin kritik bölgelerde yoğunlaştığı ve bu durumun kırılma riskini artırdığı tespit edilmiştir.

4.1.1 Mevcut tasarımın performansı

CAE analizleri, mevcut tasarımın bazı bölgelerde yüksek gerilme yoğunlaşmalarına maruz kaldığını ortaya koymuştur. Özellikle montaj delikleri çevresinde ve radyatör bağlantı

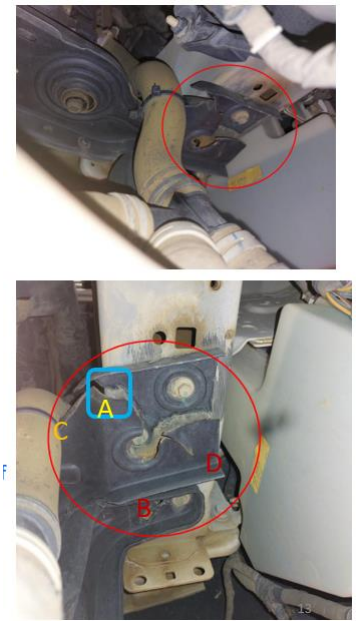
noktalarında Von Mises gerilme değerleri, malzeme akma dayanımına yakın bulunmuştur.

3.2.3'te açıklanan yöntem doğrultusunda, %25 ölçekli RLD, FGWAR'da 150 kg'lık bir ağırlık artışını simüle etmek amacıyla uygulanmıştır. Bu ölçekleme, mevcut yükleme koşullarının artırılmış versiyonunu temsil ederek, gerçek yol şartlarında oluşabilecek potansiyel gerilme yoğunluklarını analiz etmek için kullanılmıştır. Analiz sonuçları, ağırlık artışının A bölgesindeki gerilmeyi yaklaşık %16.3 oranında artırdığını ve bu artışın çatlak oluşumunu tetikleyen temel faktörlerden biri olduğunu göstermiştir. Maksimum Von Mises gerilme değerinin, Original RLD altında 209 MPa'dan; %25 ölçekli RLD altında 243 MPa'ya yükselmesi, bu durumu göstermektedir. (Şekil 4.1).

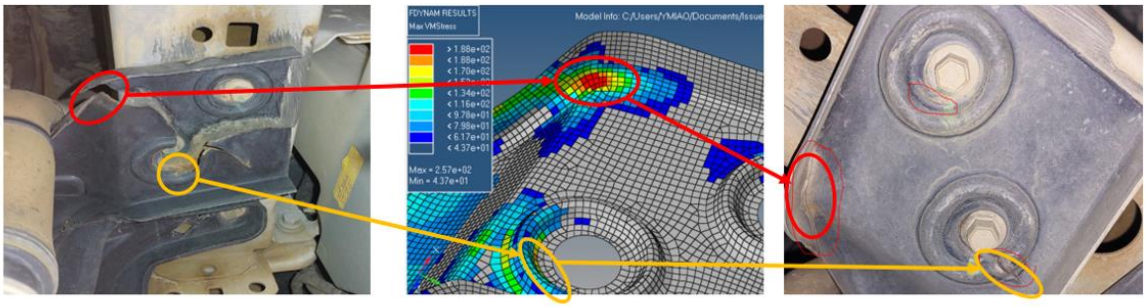


Şekil 4.1 Orijinal ve %25 RLD ölçeğinin karşılaştırılması

Çatlak, A noktasından başlayarak, önce B civata deliğine, ardından C kenarına doğru ilerlemiş ve radyatör ve soğutma hortumlarının hareketlerinin etkisiyle D noktasına ulaşmıştır. Bu süreç, saha testleri ve CAE analiz sonuçlarıyla tutarlı bir şekilde gözlemlenmiştir. (Şekil 4.2 ve 4.3)



Şekil 4.2 Çatlak ve kırılma başlangıçları



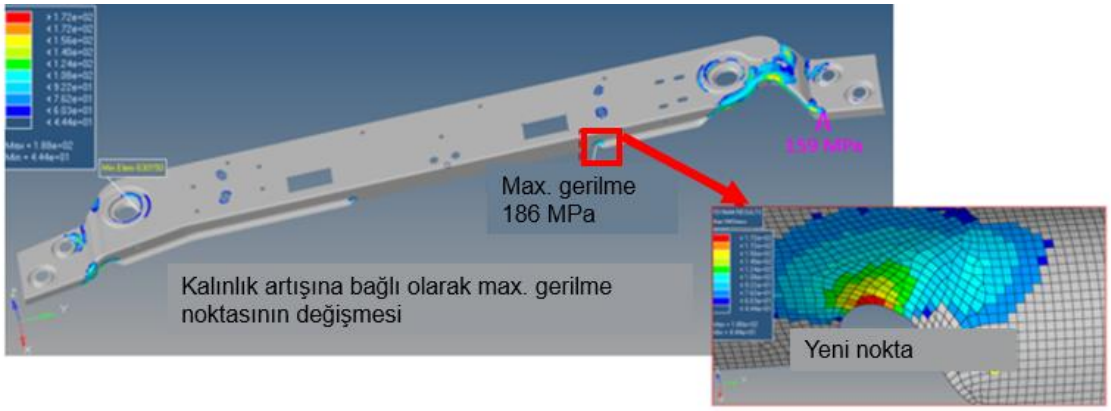
Şekil 4.3 Kırılma noktaları ve analizde karşılık geldiği noktalar

4.1.2 Sonuçların değerlendirilmesi ve optimum çözüm

Bu bölümde, radyatör destek braketinin farklı kalınlık seçenekleri için yapılan CAE analizleri ve bu analizlerin sonuçlarına dayalı olarak önerilen iyileştirmeler ele alınacaktır. Özellikle, mevcut tasarımın (1.5 mm kalınlık) yetersiz olduğu ve daha kalın seçeneklerin (2.0 mm ve 2.5 mm) hem dayanıklılığı hem de gerilme dağılımını nasıl etkilediği incelenecektir.

Parça kalınlığının 1.5 mm'den 2 mm'ye artırılması, A bölgesindeki maksimum gerilme seviyesini 243 MPa'dan 159 MPa'ya düşürmüştür. Benzer şekilde, maksimum gerilme değeri 257 MPa'dan 186 MPa'ya inmiştir. Bu düşüşler, genel olarak gerilme yoğunluğunun azaldığını ve dayanıklılık performansının arttığını göstermektedir.

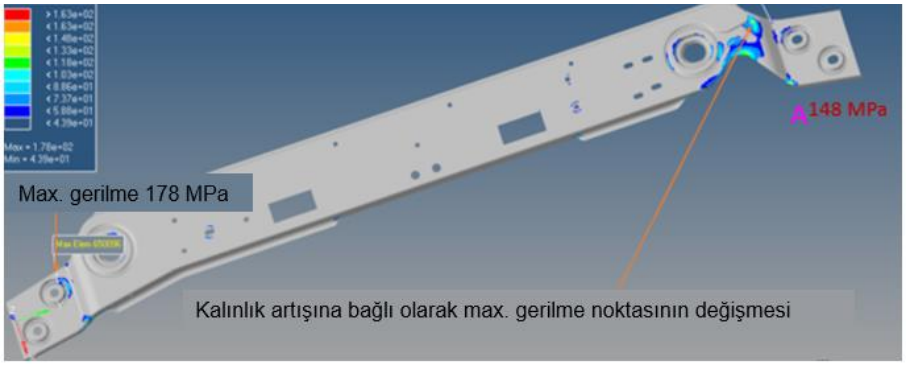
Ancak, 2 mm kalınlık seçeneği çentik bölgesinde (notch area) yeni bir çatlak oluşumuna yol açmıştır. Çentik bölgesi, tasarım ve geometrik özellikler nedeniyle yük altında daha fazla gerilme yoğunlaşması yaşar ve bu durum bölgeyi çatlak başlangıcı için daha savunmasız hale getirebilir [16]. Bu nedenle, 2 mm'lik kalınlık artışı çentik bölgesindeki hassasiyet nedeniyle yeterli bir çözüm değildir. (Şekil 4.4)



Şekil 4.4 2 mm kalınlığa bağlı gerilme değerleri

Kalınlığın 1 mm artırılarak 2.5 mm'ye çıkarıldığı durumda yapılan CAE analizi, A noktasındaki gerilmenin 243 MPa'dan 148 MPa'ya düştüğünü göstermiştir. Benzer şekilde, maksimum gerilme seviyesi 257 MPa'dan 178 MPa'ya inmiştir. Bu değerler, kalınlık artışının gerilme dağılımı üzerindeki olumlu etkisini ve dayanıklılık performansını önemli ölçüde artırdığını göstermektedir.

Ek olarak, 2.5 mm kalınlıkta kritik gerilme seviyelerinin sadece azalmakla kalmadığı, aynı zamanda gerilme yoğunluklarının farklı bölgelere kaydığı gözlemlenmiştir. Bu durum, tasarımın genel dayanıklılığını artırırken, çentik gibi hassas bölgelerdeki çatlak riskini de minimize etmiştir (Şekil 4.5).

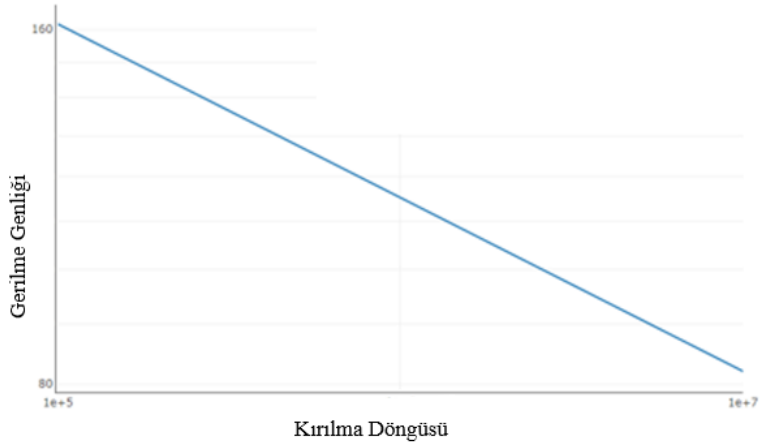


Şekil 4.5 2.5 mm kalınlığa bağlı gerilme değerler

Yapılan analizlerde, 2.5 mm kalınlık artışı ile A noktasındaki maksimum gerilme seviyesinin 243 MPa'dan 148 MPa'ya düştüğü ve yorulma ömrünün önemli ölçüde artırıldığı tespit edilmiştir. Çentik bölgelerinde yeni çatlak oluşumunun minimize edilmesi ve kritik gerilme seviyelerinin farklı bölgelere yayılması, bu çözümün tasarım güvenilirliği açısından uygun olduğunu ortaya koymuştur. Bu değişiklik, sadece dayanıklılık sorunlarını çözmekle kalmamış, aynı zamanda parçanın çalışma koşullarındaki yorulma performansını da iyileştirmiştir.

Yorulma ömrü hesaplamaları, kullanılan malzemenin S-N eğrisine dayalı olarak gerçekleştirilmiştir. S-N eğrisi, belirli bir gerilme seviyesinde parçanın dayanabileceği döngü sayısını tahmin etmek için kullanılmıştır [17]. AISI 1010 çeliği için uygulanan formül 4.1'deki gibidir (Şekil 4.6).

$$\mathbf{S_n = 898 \cdot (N_f)^{-0.1488}} \tag{4.1}$$



Şekil 4.6 Gerilme genliği- belirli bir gerilme değerindeki kırılma döngüsü grafiği

4.1'de gösterilen denklem, belirli bir gerilme seviyesinde kırılma döngüsü (N_f) ve gerilme genliği (S_n) arasındaki ilişkiyi ifade eder. Motor titreşimi veya yol titreşimleri sürekli olarak tekrarlayan yükler yaratır. Bu yüklerin her biri, malzemede küçük deformasyonlara yol açar ve her bir titreşim döngü olarak kabul edilir. Bu döngülerin her biri sünek veya elastik deformasyon yaratır ve düşük gerilme seviyelerinde malzeme elastik davranırken, belirli bir yük seviyesinden sonra plastik deformasyona geçer. Yorulma ömrü de bu döngülerin malzemenin yorgunluk sınırını nasıl etkilediğini belirler. Yükler milyonlarca kez tekrarlanabilir ve her bir döngü sonunda malzemenin mikro yapısında küçük hasarlar birikmeye başlar. S-N eğrisi bu döngü sayısına karşılık gelen maksimum gerilme seviyesini belirlememize yardımcı olur. 2.5 mm kalınlık seçeneği ile A noktasındaki maksimum gerilme seviyesinin 148 MPa'ya düşürülmesi, parçanın yorulma ömrünü önemli ölçüde artırmıştır. Yorulma döngüsü hesaplamalarında, bu düşüşün parçanın kilometre başına yorulma dayanıklılığını artırdığı göstermektedir [12].

Tablo 4.1'de 1.5, 2 ve 2.5 mm' kalınlıklardaki gerilmeye bağlı olarak yorulma ömrü ve A noktasındaki bu yorulma ömrüne karşılık gelen kilometreyi ifade edilmektedir.

Tablo 4.1 Gerilmeye bağlı değerler ve kalınlığa göre karşılaştırma

RLD	Orijinal RLD	%25 Ölçekli RLD		
Braket kalınlığı	1.5 mm	1.5 mm	2 mm	2.5 mm
A noktasındaki gerilme	209 MPa	243 MPa	159 MPa	148 MPa
A noktasındaki döngü sayısı	17984	6531	112967	182892

2.5 mm kalınlık seçeneğinde A noktasındaki maksimum gerilme seviyesinin 148 MPa olduğu belirlenmiştir. Bu gerilme seviyesi için döngü sayısı N_f aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır:

$$\mathbf{148 = 898 \cdot (N_f)^{-0.1488}} \tag{4.2}$$

Denklem çözülerek yaklaşık 182 döngü bulunmuştur. Bu değer 148 MPa gerilme seviyesinde malzemenin kırılmadan dayanabileceği tahmini döngü sayısı 182 olduğunu ifade eder.

Sonuç olarak, 2.5 mm kalınlık seçeneği, hesaplanan 182 bin döngü ve daha düşük gerilme seviyeleriyle parça üzerindeki yorulma hasarını önemli ölçüde azaltmıştır. Bu tasarım, teorik analizlere göre parça ömrünü belirgin şekilde artırarak tasarımın hem dayanıklılığını hem de güvenilirliğini sağlamıştır.

Bu bulgular, tasarım optimizasyonunun yalnızca teorik analizler değil, aynı zamanda saha performansı açısından da olumlu sonuçlar verdiğini kanıtlamaktadır. İleriki bölümlerde yer alan 2 dayanıklılık test sonucu da bu iyileştirmelerin etkinliğini ve doğruluğunu kanıtlar niteliktedir.

4.2 İyileştirilmiş Tasarımın Yeniden Test Edilmesi ve Değerlendirilmesi

İyileştirilmiş tasarımın dayanıklılığını ve performansını doğrulamak amacıyla, 2.5 mm kalınlığa çıkarılan radyatör destek braketi, prototip kalıptan üretilmiş parça kullanılarak projenin ikinci dayanıklılık testinde değerlendirilmiştir. Bu test sırasında, prototip parçada herhangi bir sorun gözlemlenmemiştir. Bununla birlikte, proje bitiminde gerçekleştirilen başka bir alt projenin dayanıklılık testinde, seri üretim kalıbından üretilen 2.5 mm kalınlıklı parçalar kullanılmış ve benzer şekilde herhangi bir sorun tespit edilmemiştir.

Test sonuçları, iyileştirilmiş tasarımın kritik gerilme bölgelerinde çatlak oluşumunu engellediğini ve malzeme bütünlüğünü koruduğunu net bir şekilde göstermiştir. Özellikle, orijinal tasarımda A noktası ve çentik bölgelerinde gözlemlenen çatlakların, iyileştirilmiş tasarımda meydana gelmediği doğrulanmıştır. Test süresince malzeme üzerindeki tüm kritik bölgelerin sağlam kaldığı ve yorulma belirtileri göstermediği kaydedilmiştir.

Dayanıklılık testinden sonra sağlam braketten alınan görseller, parça üzerinde hiçbir deformasyon veya çatlak izine rastlanmadığını açıkça ortaya koymaktadır. Bu sonuçlar, 2.5 mm kalınlık artışının hem Von Mises gerilme seviyelerini önemli ölçüde düşürdüğünü hem de yorulma ömrünü büyük ölçüde artırdığını bir kez daha kanıtlamaktadır.

Sonuç olarak, dayanıklılık testi sırasında iyileştirilmiş tasarımın belirtilen tüm spesifikasyonlara uygun olarak çalıştığı ve güvenilir bir çözüm sunduğu teyit edilmiştir. Bu bulgular, yapılan tasarım iyileştirmelerinin yalnızca teorik analizlerde değil, aynı zamanda saha performansı açısından da başarı sağladığını açıkça göstermektedir.

BÖLÜM 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu bölümde, radyatör destek braketi tasarımında yapılan iyileştirme çalışmalarının sonuçları ve gelecekteki projelere yönelik öneriler ele alınmıştır. Çalışma, kritik bölgelerdeki gerilme yoğunluklarının tespiti ve bu sorunların tasarım değişiklikleri ile çözümünü kapsamaktadır. Ayrıca, analiz ve test sonuçlarına dayalı olarak gelecekteki tasarım süreçlerini geliştirmek için öneriler sunulmuştur.

Öncelikle, tasarım değişikliklerinin dayanıklılık performansı üzerindeki olumlu etkileri değerlendirilmiş, ardından benzer projelerde dikkate alınması gereken stratejiler ve iyileştirme süreçleri açıklanmıştır.

Gelecekteki projelerde daha yüksek performans ve güvenilirlik hedefleri için malzeme seçimleri, analiz yöntemleri ve test protokolleri üzerine yapılan öneriler, bu çalışmanın mühendislik uygulamalarına katkı sağlamaktadır.

5.1 Araştırma Bulguları ve Genel Sonuçlar

Bu çalışmada, dayanıklılık testleri sırasında kritik gerilme bölgelerinde çatlak ve kırılma sorunları tespit edilen radyatör destek braketine yönelik tasarım iyileştirme süreci başarıyla gerçekleştirilmiştir. Orijinal tasarımda, özellikle A ve çentik bölgelerinde yüksek gerilme yoğunlaşmalarının neden olduğu çatlaklar gözlemlenmiştir. Yapılan analizler, FGWAR ağırlığındaki artışın, bu bölgelerdeki gerilme seviyelerini artırarak çatlak oluşumuna yol açtığını göstermiştir.

Tasarım iyileştirmeleri kapsamında, braket kalınlığı 2.5 mm'ye çıkarılmış ve bu değişikliğin hem gerilme seviyelerini düşürdüğü hem de yorulma ömrünü önemli ölçüde artırdığı görülmüştür. İyileştirilmiş tasarım, hem prototip hem de seri üretim parçalarında dayanıklılık testlerinden başarıyla geçmiştir. CAE analiz sonuçları ve deneysel testler, tasarım değişikliklerinin etkili bir çözüm sunduğunu doğrulamış ve parça üzerindeki tüm kritik bölgelerin sağlam kaldığını göstermiştir.

Bu bulgular, tasarım optimizasyonunun sadece teorik analizlerde değil, saha testlerinde de olumlu sonuçlar verdiğini kanıtlamaktadır. Yapılan bu iyileştirmeler, hem parçanın

dayanıklılığını hem de aracın genel performansını artırmıştır.

5.2 Öneriler: İyileştirme Süreçleri ve Gelecek Çalışmalar İçin Öneriler

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar doğrultusunda, gelecekteki projelerde şu noktalara dikkat edilmesi önerilmektedir:

- Tasarım değişiklikleri öncesinde farklı malzeme seçenekleri ve geometri değişiklikleri gibi parametreler detaylı bir şekilde değerlendirilmelidir. Özellikle çentik gibi hassas bölgelerde, gerilme yoğunlaşmasını azaltacak alternatif çözümler araştırılabilir.
- CAE analiz sonuçlarının, saha testleri ile doğrulanması gereklidir. Analizlerde kullanılan simülasyon yöntemlerinin gerçek kullanım koşullarını daha iyi yansıtacak şekilde geliştirilmesi faydalı olacaktır.
- Daha hafif ve yüksek dayanımlı malzemeler kullanılarak, parçanın ağırlığı azaltılırken dayanıklılığı artırılabilir. Özellikle yeni nesil malzemeler ve kompozit yapılar üzerinde çalışmalar yapılabilir.
- Çevresel faktörlerin (örneğin korozyon ve sıcaklık değişimleri) parça üzerindeki etkileri detaylı bir şekilde incelenebilir ve bu etkilere dayanıklı malzeme ve farklı kaplama yöntemleri tercih edilebilir.

Sonuç olarak, bu çalışma, radyatör destek braketi tasarımının iyileştirilmesi ve dayanıklılığın artırılması konusunda önemli bir yol göstermiştir. Yapılan tasarım değişiklikleri, yalnızca mevcut sorunları çözmekle kalmamış, aynı zamanda ileriye dönük tasarım süreçleri için de değerli bilgiler sunmuştur.

KAYNAKÇA

[1] Ekmekçi, S. (2019). 1.5L Dizel Motorlar İçin Motor Bağlantı ve Askı Braketi Tasarımı ve Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.

[2] Küçükay, Y.B. (2009). Bir Ticari Taşıtın Gövde-Şasi Bağlantı Bölgesindeki Mukavemetinin Arttırılmasına Yönelik Bir Uygulama. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 15-78.

[3] Toprak, M. (2011). Şanzıman Askı Salıncak Braketinin Tasarımının İyileştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 1-36.

[4] Savran, E., Vargelci, S., Catenaro, L., Karpat, F. (2023). Bir Otomobil Braket Tasarımının Analizi ve Değerlendirmesi. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 28(2), 493. DOI: 10.17482/uumfd.1299676.

[5] Ervural, S., Ertuş, M., & Ceran, B. (2024). Çift Fazlı Çeliklerin Tekrarlı Statik Deformasyon Yaşlandırılması. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi

[6. Karadaş, Y. (2021). Traktör Ön Dingil Mesnedi Ömrünün Test Verileri Kullanılarak Sonlu Elemanlar Analizi ile Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye.

[7] Pınar, D. (2017). İvmeölçer Sinyallerinin İleri Yöntemlerle Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Başkent Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 6-15.

[8] Tuncel, U., Baybura, T. (2011). Gerçek Zamanlı Kinematik GPS ve İvmeölçer Yardımı ile Bazı Yol Geometrik Standartlarının Trafik Kazalarına Etkisinin Araştırılması. Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi, 3(3), 16-25.

[9] Genç, M.O., Kaya, N. (2020). Design and verification of elastomer spring damping system for automobile powertrain systems. Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 35(4), 1957-1971.

[10] Yelek, İ. (2018). Otomotiv Aydınlatma Gruplarında Gövde ve Reflektör Arasında Kullanılan Yay Bağlantısının Farklı Sonlu Eleman Teknikleriyle Modellenmesi ve Doğrulanması. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, Türkiye, 50-75.

[11] Savran, E., Vargelci, S., Catenaro, L., Karpat, F. (2022). Otomobil Ön Tampon Braketinde Tasarım İyileştirmesi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, Özel Sayı (45), 120-125. DOI: 10.31590/ejosat.1219759.

[12] Yazıcıoğlu, Ö., Katırcıoğlu, T. Y., & İbrahimoğlu, B. (2017). Optik Emisyon Spektrometre Kullanılarak Yüksek Güçlü Bir Plazmatron Plazma Akışı Sıcaklık Ölçümü,2 (1), 12-15.

[13] Ervural, S., Ertuş, M., & Ceran, H. F. (2024). Porozite Analizine Derin Öğrenme Yaklaşımı: U-NET ile Dinamik Eşikleme, Cilt 27 (3), 1069-1077.

[14] Argıncıklıgil, A. (2022). Çeliklerde Vickers Sertlik Değerlerine Uygulanan Yük Etkisinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, Türkiye, 1-95.

[15] Acharya, A. (2023). Development and application of SEM/EDS in biological, biomedical & nanotechnological research. arXiv Report, 2311.00667.

[16] Mısırlı, M.B., Ayday, A. (2021). A New Process Optimization of Deep Drawing Part for Sheet Metal Forming in Automotive Industry. Sakarya University Faculty of Engineering Journal, Erken Görünüm, 1-10.

[17] Aslan, E. (2011). Makinelerin Dinamik Davranışlarına Göre Tasarım Prosedürlerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.

ÖZGEÇMİŞ

Aslıhan ÖZSOY, 2017-2021 yılları arasında Marmara Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünde lisans eğitimini tamamlamıştır. 2022 yılında Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başlamıştır. Aynı yıl, Ford Otosan Ar-Ge Merkezi'nde ürün geliştirme mühendisi olarak çalışmaya başlamış ve halen bu görevine devam etmektedir.