

Ağır Ticari Araç Süspansiyon Sistemleri için Modüler Taşıyıcı Kol Mekanizmasının Tasarımı ve Analizi

Kayhan ALTINEL¹, Ahmet YILDIZ², Celalettin YUCE^{2*}

¹NSK Otomotiv Tasarım Merkezi, Bursa, Türkiye

²Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye

Makale Bilgisi

Araştırma makalesi
Başvuru: 01/02/2023
Düzeltilme: 05/07/2023
Kabul: 05/07/2023

Anahtar Kelimeler

Taşıyıcı Kol
Sonlu Elemanlar Analizi
Ticari Araç
Süspansiyon

Article Info

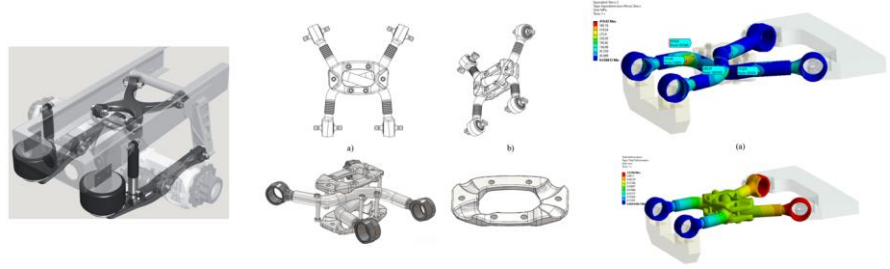
Research article
Received: 01/02/2023
Revision: 05/07/2023
Accepted: 05/07/2023

Keywords

Support Arm
Finite Element Method
Commercial Vehicle
Suspension

Grafik Özet (Graphical/Tabular Abstract)

Bu çalışmada ticari araç süspansiyon sistemlerinin önemli bir bileşeni olan x-kol yapısına alternatif olarak performans ve güvenlikten ödün vermeden yenilikçi tasarıma sahip çok komponentli bir yapının tasarımı ve sonlu elemanlar analizleri gerçekleştirilmiştir. Ortaya çıkan yeni tasarımda gerilmelerin emniyetli alanda kaldığı görülmüştür. / In this study, as an alternative to the x-arm structure, which is an important component of commercial vehicle suspension systems, the design and finite element analysis of a multi-component structure with an innovative design without sacrificing performance and safety were carried out. In the new design that emerged, it was observed that the stresses remained in the safety limits.



Şekil A: Modüler taşıyıcı kol mekanizmasının tasarımı ve analizi /Figure A: Design and analysis of modular support arm mechanism

Önemli Noktalar (Highlights)

- Ticari araçlar için performans ve güvenlikten ödün vermeden yenilikçi tasarıma sahip çok komponentli bir taşıyıcı kol tasarlanmıştır. / A multi-component support arm with an innovative design has been designed for commercial vehicles without sacrificing performance and safety.
- Geliştirilen çok komponentli taşıyıcı kolun tasarımında üretim prosesi de göz önüne alınarak boru ve birleştirme komponentlerinden faydalanılmıştır. / In the design of the developed multi-component support arm, pipe and joint components were used, taking into account the production process.
- Yeni taşıyıcı kol yapısı ile olası bir hasar durumunda komple taşıyıcı kolun değiştirilmesi yerine hasarlı parçanın çok daha kısa zamanda ve düşük maliyetle değiştirilmesi amaçlanmıştır. / With the new support arm structure, it is aimed to replace the damaged part in a much shorter time and at low cost, instead of replacing the entire part in case of possible damage.

Amaç (Aim): Aks (diferansiyel) ve şasiyi birbirine bağlayan taşıyıcı yapısı analiz edilmiş ve alternatif olarak ayırık boru yapılı bir sistem tasarlanmıştır. / The support structure connecting the axle (differential) and the chassis was analyzed and a split-pipe system was designed as an alternative.

Özgünlük (Originality): Boru malzemesinden üretilmiş iki adet bugi kolunun X formu montaj flanş parçaları ile birleştirilmesiyle bir taşıyıcı kol oluşturulmuştur. / A support arm is formed by combining two coil arms made of pipe material with X-shaped mounting flange parts.

Bulgular (Results): Gerilmelerin parçadaki belirli bir bölgede yoğunlaştığı ve parçanın genel itibari ile emniyetli alanda kaldığı görülmüştür. / It has been observed that the stresses are concentrated in a certain region of the part and the part is generally in the safe area.

Sonuç (Conclusion): Yeni çok kollu tasarımda aynı çalışma şartlarında yeterli mukavemet sağlanmış ayrıca parçalı yapısı sayesinde kırılma durumunda ilgili parçanın değiştirilmesine imkan sağlanmıştır. / In the new multi-arm design, sufficient strength is provided under the same operating conditions, and thanks to its fragmented structure, it is possible to replace the relevant part in case of breakage.



Ağır Ticari Araç Süspansiyon Sistemleri için Modüler Taşıyıcı Kol Mekanizmasının Tasarımı ve Analizi

Kayhan ALTINEL¹ , Ahmet YILDIZ² , Celalettin YUCE^{2*} 

¹NSK Otomotiv Tasarım Merkezi, Bursa, Türkiye

²Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye

Makale Bilgisi

Araştırma makalesi
Başvuru: 01/02/2023
Düzeltilme: 05/07/2023
Kabul: 05/07/2023

Anahtar Kelimeler

Taşıyıcı Kol
Sonlu Elemanlar Analizi
Ticari Araç
Süspansiyon

Öz

Ticari araçların önemli bir parçası olan süspansiyon sistemlerini ana görevi; iyi bir sürüş ve yol tutuş performansı sağlamak, dönüş esnasında direksiyon kontrolü sağlamak ve taşıtın kontrol kuvvetlerine iyi yanıt vermektir. Bu nedenle ticari araçların sürüş güvenliğinin ve konforunun sağlanması ön düzen ve süspansiyon sistemlerinin uyumlu ve sorunsuz çalışması ile ilişkilidir. Taşıtlarda sürüş güvenliği ve konforunun sağlanması ön düzen ve süspansiyon sistemlerinin uyum içinde çalışmasına bağlıdır. Bu çalışmada ağır ticari araçlarda kullanılan süspansiyon sistemlerinde aks (diferansiyel) ve şasiyi birbirine bağlayan klasik X-kol yapısı analiz edilmiş ve bu parçaya alternatif olarak ayrı bir boru yapıları bir sistem tasarlanarak onlu elemanlar analizi ile doğrulanması gerçekleştirilmiştir. Mevcutta var olan sistemde kırılma yaşayabilmekte, bu durumda da parçanın tamamen değiştirilmesi gerekmektedir. Yeni çok kollu tasarımda aynı çalışma şartlarında yeterli mukavemet sağlanmış ayrıca parçalı yapısı sayesinde kırılma durumunda ilgili parçanın değiştirilmesine imkan sağlanmıştır.

Design and Analysis of Modular Support Arm Mechanism for Heavy Commercial Vehicle Suspension Systems

Article Info

Research article
Received: 01/02/2023
Revision: 05/07/2023
Accepted: 05/07/2023

Anahtar Kelimeler

Support Arm
Finite Element Method
Commercial Vehicle
Suspension

Abstract

The main task of suspension systems, which is an important part of commercial vehicles; to provide a good driving and handling performance, to provide steering control during turning and to respond well to the control forces of the vehicle. For this reason, ensuring the driving safety and comfort of commercial vehicles is related to the harmonious and trouble-free operation of the front arrangement and suspension systems. Ensuring driving safety and comfort in vehicles depends on the front arrangement and suspension systems working in harmony. In this study, the classical X-arm structure connecting the axle (differential) and chassis in suspension systems used in heavy commercial vehicles has been analyzed and as an alternative to this part, a split-pipe system has been designed and verified by decimal element analysis. There may be damage to the existing system, and in this case, the part must be completely replaced. In the new multi-arm design, sufficient strength is provided under the same operating conditions, and thanks to its modular structure, it is possible to replace the relevant part in case of breakage.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Ağır ticari araçlarda iyi bir yol tutuşu ve sürüş performansının sağlanabilmesi, dönüş esnasında direksiyon kontrolünün sağlanabilmesi ve yol üzerinden gelen hareketleri ve taşıta etkiyen kuvvetleri süspansiyon sisteminin absorbe etmesi beklenmektedir. Günümüzde aktif süspansiyon sistemlerinden ilk model olan sabit akslı sistemlere

kadar birçok farklı türdeki süspansiyon sistemleri ticari araçlarda kullanılmaktadır. Bu süspansiyon sistemlerinde aks (diferansiyel) ile şasinin birbirine bağlanmasında özel yapılar kullanılmaktadır. Kamyon, tır gibi ağır ticari araçlarda aks ile şasinin bağlantısı X-kol olarak adlandırılan ve genellikle döküm yöntemi ile tek bir parça olarak üretilen bağlantı parçaları ile sağlanmaktadır. Ticari aracın yol şartlarında kullanımında ortaya çıkan yüksek

frekanstaki titreşimlerde veya taşıtın sert bir kasisten geçmesi gibi durumlarda bu taşıyıcı kol üzerinde hasar oluşumu gözlenmektedir.

Literatürde ağır vasıta araçların süspansiyon sistemlerindeki farklı parçalarının yol şartlarındaki gerilme durumları analiz edilerek ürün doğrulama çalışmaları yürütülmüştür. Bu çalışmalarda taşıtların muhtelif yerlerinde kullanılan parçaların maksimum gerilme analizleri, yorulma dayanımları, deformasyonları ve titreşim analizleri sonlu elemanlar metodu kullanılarak gerçekleştirilmiştir [1-4]. Sonlu elemanlar analizi sayesinde, parçaların tasarımlarını optimize etmek mümkün olmaktadır. Ayrıca analiz sonuçlarına dayanarak, parçanın mukavemetini artırmak veya ağırlığını azaltmak gibi tasarım değişiklikleri mümkün olabilmektedir. Avikal ve ark. [5], bir ağır hizmet kamyonunun ön aks kirişini 3 boyutlu modellemiş ve daha sonra sonlu elemanlar metodu yardımıyla aks kirişinin yorulma ömür analizlerini gerçekleştirmiştir. Chandra ve ark. [6] polimerik kompozit malzemeden imal edilen ağır vasıta şasisinin üç farklı kesit ile modellenmesi ve yapısal analizi ile ilgilenmiş ve farklı malzeme durumlarında şekil değişikliklerini sonlu elemanlar metodu ile tespit etmişlerdir. Yine benzer bir çalışmada Ashok [7] ağır ticari araçların şase yapısının sonlu elemanlar metodu ile analizini gerçekleştirmiş ve iç yapısının bal peteği şeklinde olması durumunda karşılaştırmalı bir çalışma gerçekleştirmiştir. Agarwal ve ark. [8] yine ağır ticari araç şasisinin sonlu elemanlar yöntemi ile analizlerini yapmış ve optimum alan doldurma ile şasi kütlelerinde yaklaşık %4,35'lik bir azalma elde etmişlerdir.

Lv ve ark. [9] süspansiyon bileşenlerini, sürtünme ve boşluk bağlantılarını da dikkate alarak daha ideal bir araç tasarımı için sonlu elemanlar analizi ve deneysel testlerle incelemişlerdir. Llopis-Albert ve ark. [10] bir taşıt süspansiyon sisteminde dört çubuklu bir mekanizmaya dayalı çift salıncaklı araç süspansiyon sistemini optimize etmişlerdir. Çalışmada bilgisayar destekli tasarım programları ile sonlu eleman analizi kullanılarak süspansiyon tertibatının çok gövdeli kinetiği ve dinamiğini incelemişlerdir. Topaç ve ark. [11] ağır ticari araçlarda kullanılan süspansiyon taşıyıcı muhafaza gövdesini sonlu elemanlar yöntemiyle incelemişlerdir. Muhafaza malzemesinin mekanik özelliklerini çekme testleri ile belirlemişler ve bu verileri kullanılarak gerilme ve yorulma analizleri yapmışlardır. Bir diğer çalışmada Özmen ve ark. [12] bir kamyonunda sönüm oranının kabin süspansiyon döner kolunun arıza eğilimi üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Araçta standart yük durumlarında ön süspansiyon yaylarında meydana

gelen yer değiştirmeler dikkate alınarak süspansiyon bağlantı parçasının topoloji optimizasyonu gerçekleştirilmiştir.

Gupta ve ark. [13] çift salıncaklı süspansiyon sisteminin alt ve üst salıncaklı tutan direksiyon mafsalın sonlu elemanlar modelini oluşturup analizini ve optimizasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Belirlenen şekilde elde edilen yer değiştirme ve gerilmeleri inceleyip parçanın üretilebilirliğini göstermişlerdir. Shaikh ve ark. [14] ağır ticari araçlarda, çoklu akslar arasında yükü aktarmak ve dengelemek için kullanılan süspansiyon elemanlarının farklı geometriler için yorulma analizlerini sonlu eleman analizi analizleri ile gerçekleştirmişlerdir. Pachapuri ve ark. [15] kritik yüklenme koşullarında dört tekerlekli bir aracın alt süspansiyon koluna etki eden kuvvetleri hesaplanmıştır. McPherson tipi süspansiyon sistemi için sonlu elemanlar analizi ile araç hareket halindeyken maksimum sapmalar ve gerilim dağılımları belirlenmiş yorulma ve doğal frekans analizleri yapılmıştır. Ayrıca, alt salıncakın topoloji optimizasyonu gerçekleştirilerek ağırlıkta azaltma sağlanmıştır.

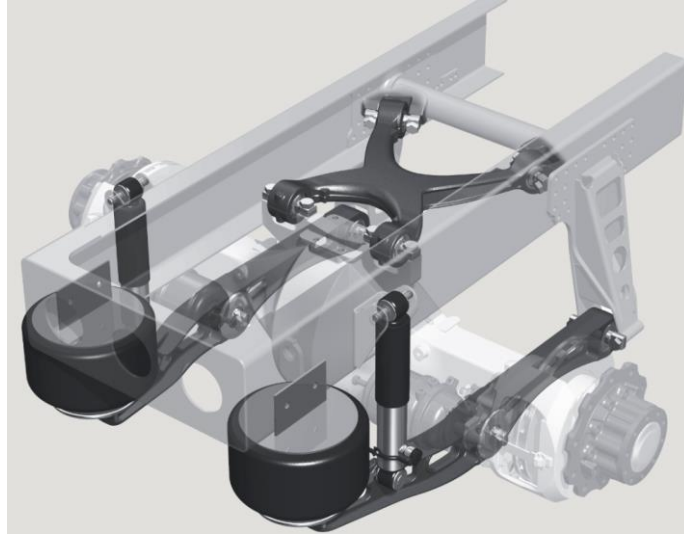
Yapılan literatür araştırmasında da görüldüğü gibi taşıt parçalarının sonlu elemanlar modelleri yardımı ile gerçek çalışma şartlarındaki yüklenme durumları simule edilerek analizlerinin gerçekleştirilmesi sayesinde ürün doğrulama çalışmalarının hem hızlı hem de düşük maliyette gerçekleştirilebileceği tespit edilmiştir. Ancak taşıyıcı parça olarak kullanılan bu yapıların tasarımları genelde yekpare olarak oluşturulmakta ve döküm yöntemi ile üretilmektedir. Bu durum olası hasar durumlarında ürünün kompleksinin değişmesine neden olarak maliyet artışına neden olmaktadır. Bu çalışmanın en önemli özgülüğü, mevcut x-kol yapısına alternatif olarak performans ve güvenlikten ödün vermeden yenilikçi tasarıma sahip çok komponentli bir yapının tasarımı ve sonlu elemanlar analizlerinin gerçekleştirilmesidir. Patentlenmiş yeni tasarımın mevcut yapı ile karşılaştırılması gerçekleştirilmiştir.

2. MATERYAL VE METOD (MATERIALS AND METHODS)

Kamyon, tır gibi ağır ticari araçlarda aks ile şasinin bağlantısını sağlayan geleneksel X-kol yapılanmaları genellikle sfero döküm yöntemi ile tek bir parça olarak üretilmekte ve ostemperleme ısı işlemi uygulanarak istenilen sertlik değerlerine çıkarılmaktadır. Şekil 1'de X-kol yapısının araç üzerindeki yerleşimi gösterilmiştir. Tek parça olarak üretilen bu kollar aracın kullanımı esnasında titreşim ve ani darbeler neticesinde hasara

uğrayarak kopma ve/veya kırılma yaşanmaktadır (Şekil 2). Hasar durumunda bu yapının komple araç üzerinden sökülmesi ve değiştirilmesi

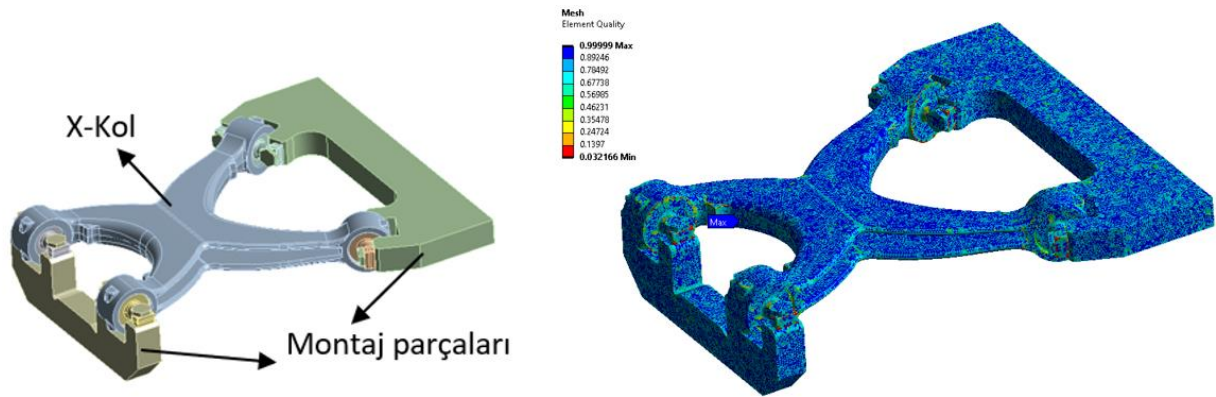
gerekmektedir. Bu durumda hem maliyet hem de zaman kaybı yaşanmaktadır.



Şekil 1. Geleneksel X-kol mekanizmasının araç üzerindeki yerleşimi (Placement of the traditional X-arm mechanism on the vehicle)



Şekil 2. Mevcut X-kol yapısında görülen kırılma durumları (Fracture states seen in the existing X-arm structure)



Şekil 3. Mevcut X-kol yapısının sonlu elemanlar modeli (Finite element model of current X-arm structure)

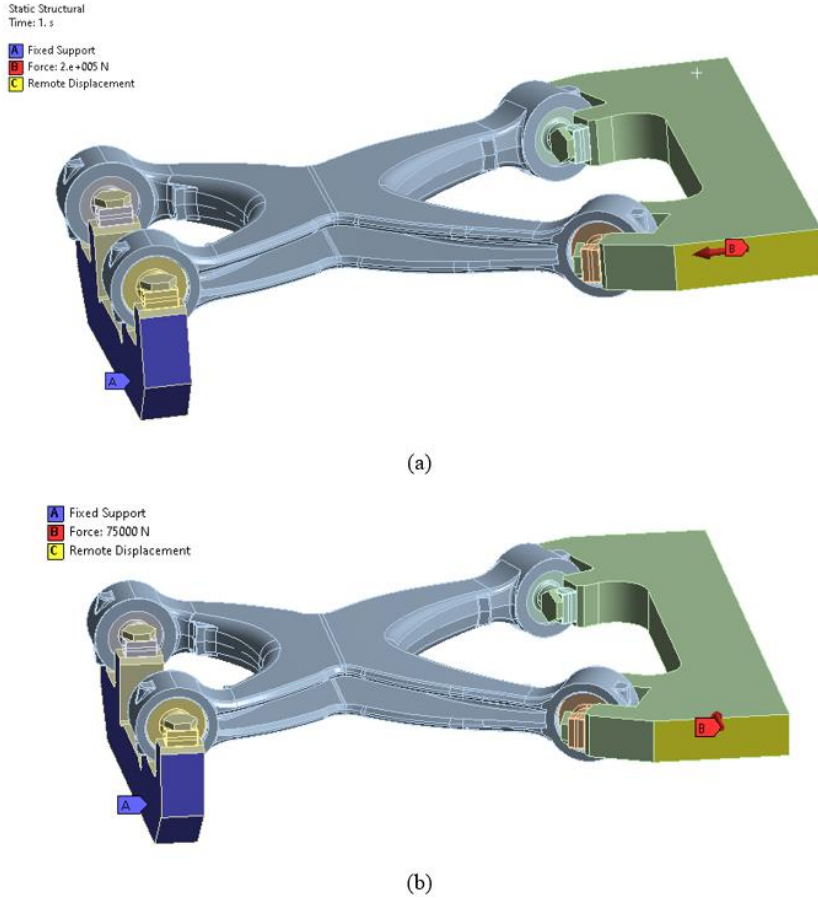
Bu çalışma kapsamında öncelikle mevcut X-kol yapısı çalışma şartlarında analiz edilmiştir. Mevcut X kolun araca montajlandığı ek parça da dikkate alınarak sonlu elemanlar modeli oluşturulmuştur. Kurulan sonlu elemanlar modelinde mesh yapısı

1895865 nokta ve 1309096 elemandan oluşmaktadır (Şekil 3).

Bu çalışmada iki farklı senaryoya göre analizler gerçekleştirilmiştir. Birinci senaryoda X-kol araç aksına bağlantısı olan noktalardan sabitlenerek

şasiden parça üzerine gelen 200 kN'luk bir yük modellenmiştir. İkinci senaryoda ise aracın tekerleklerinden biri çukura veya tümseğe girip çıktığında şasiden aksa doğru oluşacak yanal yükler simule edilmiştir. Bu durum için de 75 kN'luk bir yükleme gerçekleştirilmiştir. Şekil 4'te görülen

mavi renkli montaj parçası tüm doğrultularda hem ötelenme hem de dönme hareketi engellenecek şekilde sabit mesnet olarak tanımlanmıştır. Diğer montaj parçasından ise ilgili senaryo için gerekli yük uygulanmıştır.



Şekil 4. Mevcut X-kol yapısında uygulanan sınır şartları a) birinci senaryo, b) ikinci senaryo (yanal yük)
(Boundary conditions applied in the existing X-arm structure a) first scenario, b) second scenario (lateral load))

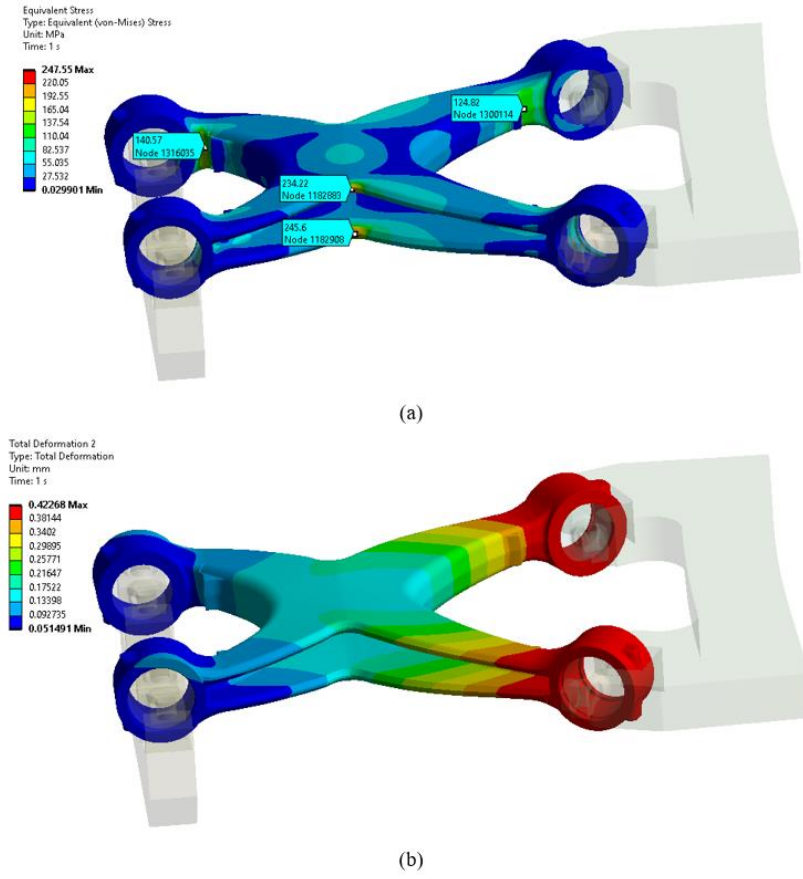
3.BULGULAR (RESULTS)

Yapılan analiz sonucunda birinci senaryo olan 200 kN'luk yükleme altında X-kol üzerindeki oluşan gerilme dağılımları ve toplam deformasyon Şekil 5'te verilmiştir. Parça üzerinde en yüksek eşdeğer gerilme 247 MPa ile orta kısımda gözlenmiştir

(Şekil 5a). Toplam deformasyon değeri ise bu yükleme koşulu için 0.42 mm olarak kuvvetin etki ettiği bağlantı kulaklarında gözlenmiştir (Şekil 5b). Oluşan eşdeğer gerilme parçanın üretiminde kullanılan sfero döküm GGG 60 malzemenin akma sınırı olan 370 MPa'nın oldukça altında kalmıştır (Tablo 1).

Tablo 1. Mevcut ve yeni malzemenin mekanik özellikleri [16,17] (Mechanical properties of existing and new material)

Malzeme	Akma Dayanımı (N/mm ²)	Çekme Dayanımı (N/mm ²)	% Uzama (Min.)
GGG60	350	430	8.7
P460	450	570	17



Şekil 5. Mevcut X-kol yapısı birinci senaryo analiz sonuçları a) eşdeğer gerilme dağılımı, b) toplam deformasyon miktarı (Existing X-arm structure first scenario analysis results a) equivalent stress distribution, b) total amount of deformation)

Yanal yükleme durumunun analiz edildiği ikinci senaryoda parça üzerinde oluşan gerilme dağılımları ve toplam deformasyon Şekil 6'da verilmiştir. 75 kN'luk yanal yük altında parça üzerinde en yüksek eşdeğer gerilme parçanın araca bağlandığı üst kulakta 130 MPa olarak gözlemlenmiştir (Şekil 6a). Parçanın geneli incelendiğinde oluşan gerilmelerin parçanın akma dayanımının altında kaldığı görülmüştür. Toplam deformasyon değeri ise bu yükleme koşulu için 0.29 mm olarak kuvvetin etki ettiği bağlantı kulaklarında gözlenmiştir (Şekil 6b).

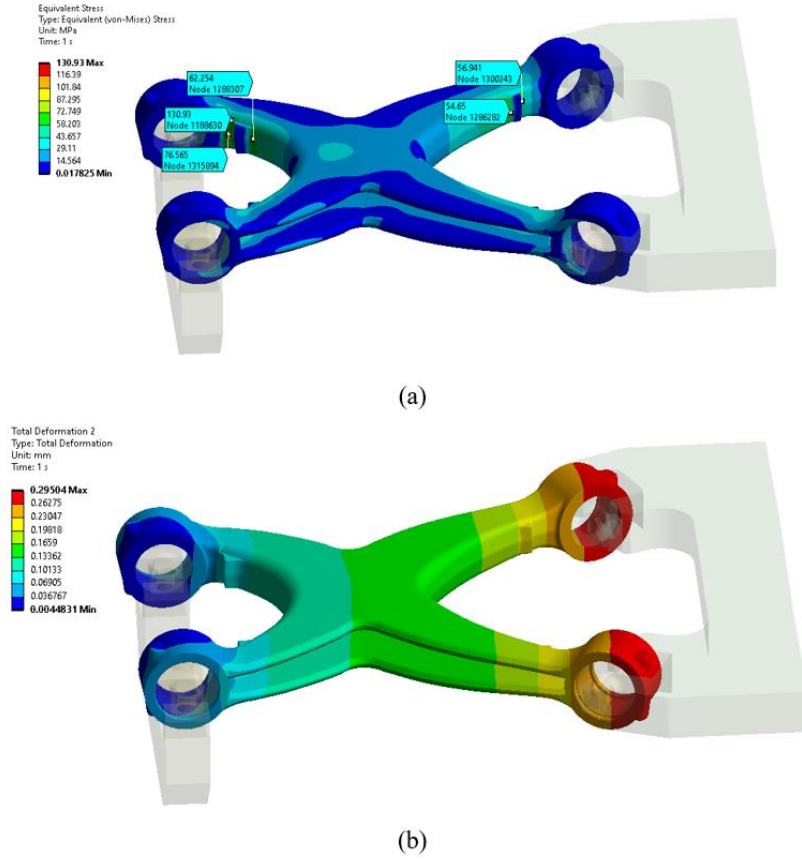
Yapılan analizler sonucunda mevcut X-kol yapısının her iki senaryoda da üzerinde oluşan gerilmeleri emniyetli bir şekilde taşıdığı gözlenmiştir. Ancak, mevcutta kullanılan taşıyıcı kollarında aracın şasisine gelen ani yüklemelerde hasarlar yaşanmakta ve kırılmalar yaşanmaktadır. Döküm yöntemi ile tek parça olarak üretilen bu taşıyıcı kollarında yaşanan hasarlarda kolun tamamı değişmek zorunda olduğundan maliyetler artmaktadır. Olası hasar durumunda komple X-kol değişimi yerine hasarlı kısmın değişmesine olanak sağlamak ve bu sayede kullanıcılar açısından değişimin sebep olduğu maliyet artışını azaltmak, değişim sırasında montaj işleminin kolay

yapılmasını sağlamak için tasarımında yeniliğe gidilmiştir.

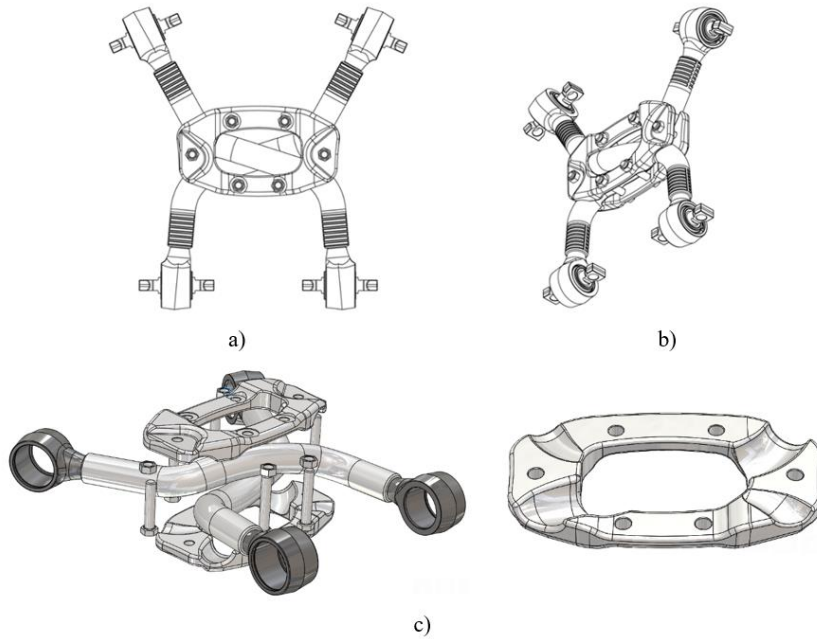
Yenilikçi bir tasarım anlayışı ile çok komponentli bir taşıyıcı kol tasarımı gerçekleştirilmiştir. Yapılan tasarımda boru malzemesinden üretilmiş iki adet bugi kolunun X formlu montaj flanş parçaları ile birleştirilmesiyle bir taşıyıcı kol oluşturulmuştur. Taşıyıcı kola ait tamir takımlarının aynı düzlemde kalabilmesi için, kolda bulunan borulara özel bükümlü şekil verilerek birbirileri ile tek bir yatay eksen oluşturması sağlanmıştır. Ortaya çıkan çok komponentli kolun üretim süreci mevcutta kullanılan döküm yöntemi ile üretilen üründen tamamen farklı olarak, boruların bükülüp form verilmesi ve birleştirme komponentlerinin kullanılmasıyla sağlanmıştır. Kullanım esnasında yüklemelerde gözlemlenen değişimlerin, parçaların birbiri üzerindeki olası izafi hareketini engellemesi ve bağlantı rijitliğini sağlayabilmesi için borular alt ve üst plaka üzerinde bulunan kanallardan geçecek şekilde tasarlanmıştır. Dolayısı ile cıvata somunlar ile borular bu kanalda sıkıştırılıp hapsedilmektedir. Herhangi bir ayrılma söz konusu olmamaktadır. Bükümlü borular ve plakalar tek parça olup simetriklerdir. Çok komponentli taşıyıcı kolun CAD datası Şekil 7'de verilmiştir. Döküm yapısından

boru malzemesinden üretilmiş iki adet buğı kolunun X formlu montaj flanş parçaları ile birleştirilmesiyle geliştirilen bu parçada malzeme olarak P460 çelik

malzeme tercih edilmiştir. Söz konusu malzemenin mekanik özellikleri Tablo 1’de verilmiştir.



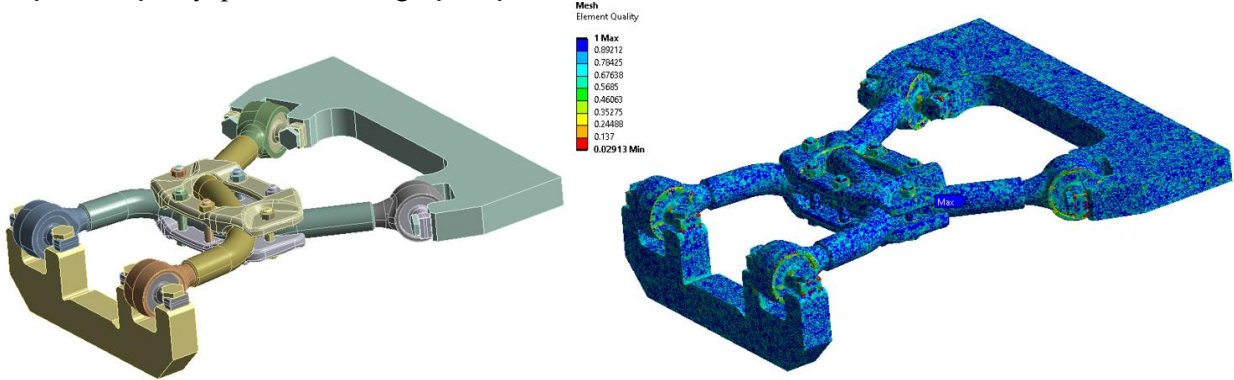
Şekil 6. Mevcut X-kol yapısı birinci senaryo analiz sonuçları a) eşdeğer gerilme dağılımı, b) toplam deformasyon miktarı (Existing X-arm structure first scenario analysis results a) equivalent stress distribution, b) total amount of deformation)



Şekil 7. Çok komponentli taşıyıcı kolun a) üstten görünüşü, b) üst yan profilden görünüşü, c) patlatılmış görüntüsü (a) top view, b) top side profile view, c) exploded view of the multi-component carrier arm)

Geliştirilen yeni tasarım çok komponentli taşıyıcı kol mevcut X-kol ile aynı sınır şartlarında her iki analiz senaryosunda da analiz edilmiştir. Bu kapsamda yapının sonlu elemanlar modeli oluşturulmuş ve yapısal analizler gerçekleştirilerek

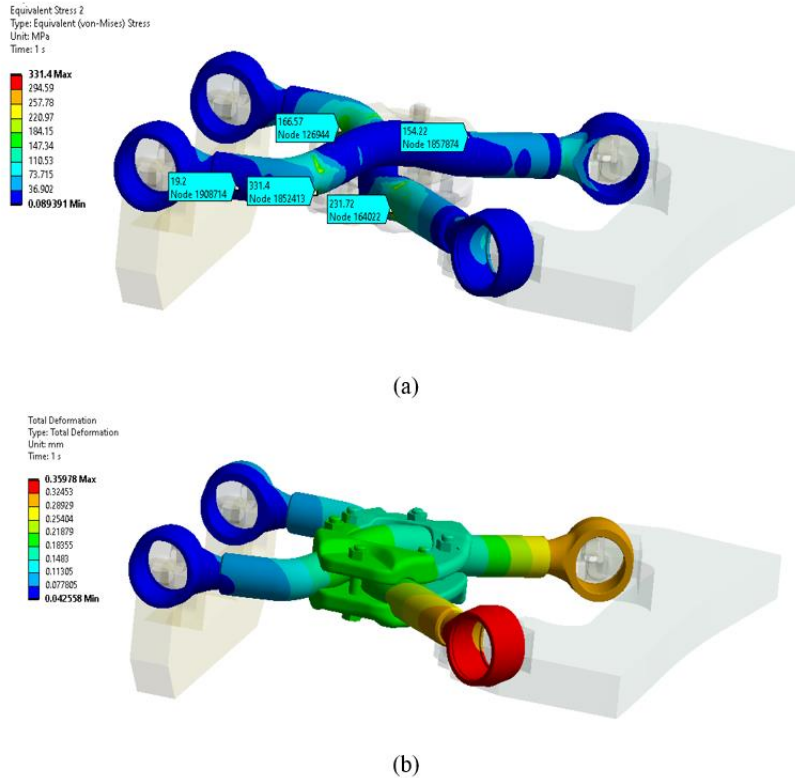
eşdeğer gerilme ve toplam deformasyon miktarları incelenmiştir. Yeni taşıyıcı kol için oluşturulan sonlu elemanlar modelinde mesh yapısı 1957168 nokta ve 1337538 elemandan oluşmaktadır (Şekil 8)



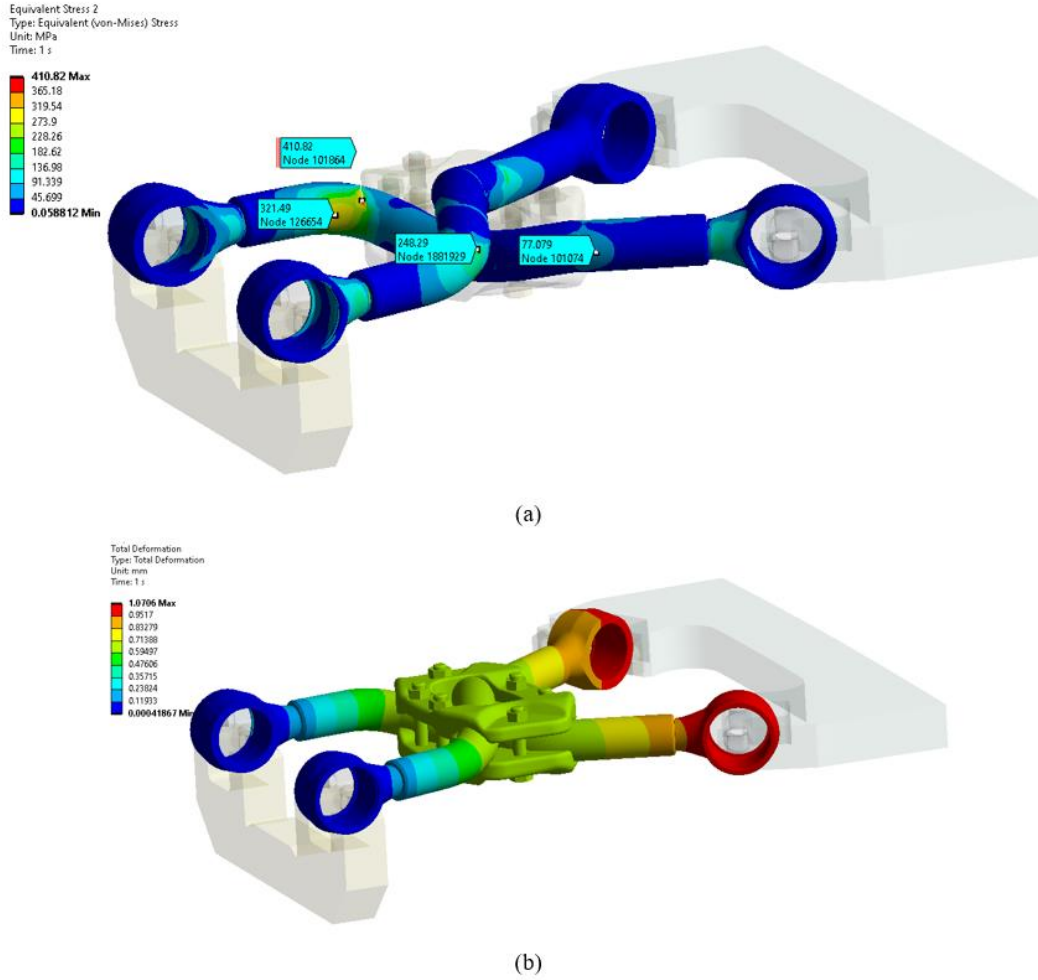
Şekil 8. Çok komponentli taşıyıcı kol yapısının sonlu elemanlar modeli (Finite element model of multi-component support arm structure)

Çok komponentli taşıyıcı kolun araç üzerinde kullanımı esnasında gelen yüklenme durumları sonlu elemanlar analizleri ile modellenmiş ve parça üzerindeki gerilmeler ile toplam deformasyonlar incelenmiştir. Bu kapsamda yeni tasarıma sahip taşıyıcı kolun birinci analiz senaryosuna ait gerilme değerleri ve toplam deformasyon miktarları Şekil 9'da verilmiştir. Şekil 9a'da görüleceği üzere

taşıyıcı kol üzerindeki maksimum gerilme değeri 331 MPa olarak boruları bir arada tutan alt plaka ile borunun temas ettiği bölgede gözlenmiştir. Toplam deformasyon miktarının en yüksek olduğu bölge ise kuvvetin uygulandığı parçaya bağlı olan kulakcıklar olduğu ve yaklaşık olarak 0.35 mm olduğu tespit edilmiştir (Şekil 9b).



Şekil 9. Çok komponentli taşıyıcı kol yapısının birinci senaryo analiz sonuçları a) eşdeğer gerilme dağılımı, b) toplam deformasyon miktarı (First scenario analysis results of multi-component support arm structure a) equivalent stress distribution, b) total deformation amount)



Şekil 10. Çok komponentli taşıyıcı kol yapısının ikinci senaryo analiz sonuçları a) eşdeğer gerilme dağılımı, b) toplam deformasyon miktarı (Second scenario analysis results of multi-component support arm structure a) equivalent stress distribution, b) total amount of deformation)

Yeni tasarıma sahip taşıyıcı kolun üzerine gelen yanal yükleme durumunun analiz edildiği ikinci senaryoya ait sonuçlar Şekil 10'da verilmiştir. 75 kN'luk yanal yük altında parça üzerinde en yüksek eşdeğer gerilme 410 MPa olarak boru ile levhaların arasındaki kesişme bölgesinde gözlemlenmiştir (Şekil 10a). Parçanın geneli incelendiğinde oluşan gerilmelerin parçada kullanılacak olan P460 çelik malzemenin akma dayanımının altında kaldığı görülmüştür (Tablo 1). Toplam deformasyon değeri ise bu yükleme koşulu için 1 mm olarak kuvvetin etki ettiği bağlantı kulaklarında gözlenmiştir (Şekil 10b).

Yapılan sonlu elemanlar analizleri sonucunda çok komponentli taşıyıcı kolun araç üzerinde kullanımı esnasında gelen yükleme durumları sonlu elemanlar analizleri ile modellenmiş ve parça üzerindeki gerilmeler ile toplam deformasyonlar incelenmiştir. Analizlerde elde edilen gerilme değerleri boru malzemesi olarak belirlenmiş olan P460 çelik malzemenin akma dayanımından daha düşük çıkmıştır. Yapılan analizlerde en yüksek gerilme

yanal yükleme koşulunda 410 MPa olarak tespit edilmiş, bu değerde malzemenin akma dayanımından yaklaşık %10 daha düşük çıkmıştır.

4.SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada ağır ticari araçlarda kullanılan süspansiyon sistemlerinde aks (diferansiyel) ve şasiyi birbirine bağlayan klasik X-kol yapısının çalışma koşullarındaki yükleme durumu iki farklı analiz senaryosunda sonlu elemanlar modeli oluşturularak analiz edilmiştir. Mevcut tasarımda yaşanan problemler göz önüne alınarak alternatif ayrıık boru yapıllı bir taşıyıcı kol sistemi geliştirilmiş ve bu yapı aynı sınır şartları ile sonlu elemanlar analiz yapılarak doğrulanmıştır.

Yapılan analiz sonuçları incelendiğinde yeni tasarım çok komponentli taşıyıcı kol yapısı mevcut X kola göre dayanım konusunda daha düşük değerler verse de kullanılacak malzeme türünün mekanik özellikleri göz önüne alındığında emniyetli alanda kaldığı görülmüştür. Geliştirilen çok

komponentli taşıyıcı kolun tasarımında üretim prosesi de göz önüne alınarak boru ve birleştirme komponentlerinden faydalanılmıştır. Bu sayede olası bir hasar durumunda komple taşıyıcı kolun değiştirilmesi yerine hasarlı parçanın çok daha kısa zamanda ve düşük maliyetle değiştirilmesi amaçlanmıştır. Bükümlü forma sahip boru malzemesinden ve özel formlu flanş parçalarının özel şekilde birleştirilmesi ile ortaya çıkan yapının mevcut üretim yöntemlerine göre daha kolay ve daha az maliyetli olması hedeflenmiştir.

Çok komponentli taşıyıcı kolun araç üzerindeki yüklenme durumları simule edilerek iki farklı analiz senaryosunda gerilme dağılımları ve toplam deformasyon miktarları incelenmiştir. Yapılan analizlerin sonucunda gerilmelerin parçadaki belirli bir bölgede yoğunlaştığı ve parçanın genel itibari ile emniyetli alanda kaldığı görülmüştür. Bunun yanı sıra, tekrarlı yüklere maruz kalan bu tür yapılarda yorulma davranışlarının da incelenmesi ve emniyet açısından kontrol edilmesinin önemli olduğu tespit edilmiştir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENTS)

Yazarlar, çalışmaya katkılarından dolayı NSK Otomotiv Sanayi Tic. A.Ş. bünyesinde faaliyet gösteren Tasarım Merkezi personellerine teşekkürlerini sunar.

ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazarı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

The author of this article declares that the materials and methods they use in their work do not require ethical committee approval and/or legal-specific permission.

YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

Kayhan ALTINEL: Tasarımları oluşturmuş, sonlu elemanlar modeline destek vermiştir.

He created the designs and supported the finite element model.

Ahmet YILDIZ: Sonlu elemanlar analizleri ve makalenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir.

He performed the finite element analysis and writing of the article.

Celalettin YUCE: Sonlu elemanlar analizleri ve makalenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir.

He performed the finite element analysis and writing of the article.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

There is no conflict of interest in this study.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Thoresson M.J., Uys P.E., Els P.S., Snyman J.A. (2009) Efficient optimisation of a vehicle suspension system, using a gradient-based approximation method, Part 2: Optimisation results, *Mathematical and Computer Modelling* 50 (2009) 1437-1447
- [2] Xiaowan L., David T., Giacomo S., Martin R., Pascal B., Gang X., José M., Javier C., Lopez A., Miguel A. G., José A. C. (2021) Measurements and modelling of dynamic stiffness of a railway vehicle primary suspension element and its use in a structure-borne noise transmission model, *Applied Acoustics*, 182(11), 108232, <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2021.108232>
- [3] Bingul O., Yıldız A. (2023) Fuzzy logic and proportional integral derivative based multi-objective optimization of active suspension system of a 4×4 in-wheel motor driven electrical vehicle, *Journal of Vibration and Control*, 2023, Vol. 29(5-6) 1366–1386
- [4] Ge Z., Wang W., Li G., Rao D. (2022) Design, Parameter Optimisation, and Performance Analysis of Active Tuned Inerter Damper (TID) Suspension for Vehicle, *Journal of Sound and Vibration*, 525 (5), 116750, <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2022.116750>.
- [5] Avikal, S. Bisht A., Sharma D. Hindwan H. Yadav K.C. S., Kumar P. Thakur P. (2020). 'Design and fatigue analysis of front axle beam of a heavy-duty truck using ANSYS' *Materials Today: Proceedings* 26, 3211–3215, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.901>.
- [6] Chandra M.R., Sreenivasulu S. Hussain, S.A. (2012). 'Modeling and Structural analysis of heavy vehicle chassis made of polymeric composite material by three different cross sections', *International Journal of Modern Engineering Research (IJMER)*, 2 (4), July-Aug. 2012 pp-2594-2600.
- [7] Ashok G., (2019). 'Design and FEM Analysis of Heavy Vehicle Chassis Frame using Ansys', *Journal of Critical Reviews*, 6(6), 2641-2649.
- [8] Agarwal A. Mthembu L. (2021). 'Numerical Modelling and Multi Objective Optimization Analysis of Heavy Vehicle Chassis', *Processes*,

- 9(11), 2028;
<https://doi.org/10.3390/pr9112028>.
- [9] Lv T., Zhang Y., Duan Y., Yang J. (2021) Kinematics & compliance analysis of double wishbone air suspension with frictions and joint clearances, *Mechanism and Machine Theory*, 156(2), 104127, <https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2020.104127>.
- [10] Llopis-Albert C., Rubio F., Zeng S. (2023) Multiobjective optimization framework for designing a vehicle suspension system. A comparison of optimization algorithms. *Advances in Engineering Software* 176 (2023) 103375
- [11] Topaç M.M., Günal H., Kuralay N.S. (2009) Fatigue failure prediction of a rear axle housing prototype by using finite element analysis. *Engineering Failure Analysis* 16 (2009) 1474–1482
- [12] Ozmen B., Topaç M.M. (2022) Effect of damping rate on fatigue failure tendency of a topology-optimised swing arm for a heavy commercial truck cab suspension. *Engineering Failure Analysis* 137 (2022) 106276
- [13] Gupta H., Rajvardhan S., Singh N.K. (2021) Design and analysis of steering knuckle of hybrid metal matrix composite for the fsae vehicle. *Materials Today: Proceedings* 46 (2021) 10551–10557
- [14] Shaikh S., Hujare D., Yadav S., Swarnkar P. (2023) Modelling and analysis of heavy commercial vehicle suspension system for fatigue life enhancement, *Materials Today: Proceedings*, Accepted, ISSN 2214-7853, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.01.167>.
- [15] Pachapuri M.S.A., Lingannavar R.G., Kelageri N.K., Phadate K.K. (2021) Design and analysis of lower control arm of suspension system, *Materials Today: Proceedings* 47 (2021) 2949–2956.
- [16] Karadeniz E., Çolak M., Barutçu F. (2017). GGG-60 Küresel Grafitli Dökme Demir Üretiminde Aşılmalı Türü ve Miktarının İyçyapı ve Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 6(1), 275- 282.
- [17] Tufanoğlu E. (2017). P460-St52 Malzeme Çiftinin Tozaltı Kaynak Yöntemi ile Birleştirilebilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, Türkiye.