

OTOMOBİL SALINCAK KOLUNUN YAPISAL ANALİZ VE OPTİMİZASYON TEKNİKLERİ İLE AĞIRLIK AZALTILMASI

Açelya ÇELİK *^{ID}
Ali Rıza YILDIZ **^{ID}

Alınma: 10.01.2022; düzeltme: 27.05.2022; kabul: 27.05.2022

Öz: Otomobillerde kullanılan ön salıncak kolu amortisör, komuta parmağı ve motor beşiğine bağlanarak, lastik ve jant birleşimini yanıl olarak sabitlemek için kullanılır. Otomotiv endüstrisinde, kaliteyi koruyarak araç maliyetini ve ağırlığını azaltmak temel hedefler arasında yer almaktadır. Bu çalışmada, ön salıncak kolu üzerinde ağırlık azaltma analizleri yapılarak optimizasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın amacı, topoloji optimizasyon metodunun kullanılmasıyla, seçilen bir ön salıncak kolunun geometrisinde değişiklikler yaparak, malzeme miktarının minimuma düşürülmesi, parça dayanımını koruyacak şekilde, ağırlığı ve maliyeti azaltılmış yeni bir ön salıncak kolu modelinin oluşturulmasıdır. Bu amaçla, katı modelleme ve sonlu elemanlar yöntemiyle analiz ve topoloji optimizasyon metotları kullanılarak, yer değiştirme, gerilme gibi kısıtlar uygulanarak en uygun tasarımın belirlenmesi hedeflenmiştir. Yapılan çalışmada seçilen örnek parça üzerinde yapılmış statik analizler sonrası, topoloji optimizasyonu gerçekleştirilmiş ve malzeme dağılımları incelenmiştir. Bu malzeme dağılımlarına göre parçanın boşaltılabilecek alanlar tespit edilmiş, bu verilere göre yeni tasarım çalışmaları yapılmıştır. Her yeni tasarım için statik analizler tekrarlanmış ve genetik algoritmalar ile şekil optimizasyonu yapılmıştır. Bulunan optimum tasarımın, seçilen örnek parça tasarımına göre %11,02 daha hafif olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Salıncak Kolu, Optimizasyon, Yorulma Analizi, Şekil Optimizasyonu, Topoloji Optimizasyonu, Hyperworks

Weight Reduction of Vehicle Suspension Arm Using Structural Analysis and Optimization Techniques

Abstract: The suspension arm is used to fix the tire and wheel joint laterally by connecting to the shock absorber, to the front knuckle, and to the subframe. In the automotive industry, reducing vehicle cost and weight while maintaining quality is among the main objectives. In this study, optimization studies were carried out by performing weight reduction analyses on the front wishbone. The aim of the study is to create a new front wishbone model with reduced weight and cost while minimizing the amount of material by making changes in the geometry of a selected front wishbone by using the topology optimization method. For this purpose, it is aimed to determine the most suitable design by applying constraints such as displacement and stress, using analysis

* Bursa Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Otomotiv Mühendisliği Bölümü Görükle Kampüsü 16059 Nilüfer/BURSA

** Bursa Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Otomotiv Mühendisliği Bölümü Görükle Kampüsü 16059 Nilüfer/BURSA

İletişim Yazarı: Açelya Çelik (acelyayildiz@gmail.com)

and topology optimization methods and finite element method. After the static analyses, topology optimization was performed. According to these material distributions, the areas that can be emptied were determined, and new design studies were carried out according to these data. Static analyzes were repeated for each new design, and shape optimization was made with genetic algorithms. It has been determined that the optimum design found is 11.02% lighter than the selected part design.

Keywords: Lower Arm, Optimization, Fatigue Analysis, Shape Optimization, Topology Optimization,

1. GİRİŞ

Otomotiv, önemli ve önde giden sektörlerdendir. Bu nedenle kendini sürekli geliştirmeyi ve yenilikçi olmayı hedeflemektedir. Yenilikçi olmak; yeni teknolojiler ve bunlara bağlı yenilenen müşteri ihtiyaçlarını tespit edip, bu ihtiyaçları yenilenen norm ve standartlarla buluşturup, otomotiv endüstrisine katmakla başlar. Tüm bu süreçte otomotiv endüstrisinin en önemli beklentileri arasında aynı kaliteyi koruyarak, maliyeti düşürme, parçaları ucuzlatma ve hafifletme faaliyetleri yer almaktadır. Bu da ancak optimum bir tasarım ile mümkün olabilir. Kalitenin korunması ve parçanın kendinden beklenen gereksinimleri karşılması birincil öncelikler olarak kalmakla birlikte, maliyet düşürme çalışmalarının mutlaka bu önceliklere eşlik etmesi gerekmektedir. Kaynakları korumak yine benzer şekilde öncelikler arasındadır. Malzeme miktarının azaltılması bu kapsamda oldukça değerlidir. Öte yandan ağırlığı azaltılmış parçalar, yakıt tüketimini azaltmak, normlara uyarak çevreyi korumak kapsamında da etkin bir katkıya sahiptir. Bu kapsamda optimizasyon programları da artarak gelişmekte, teorik beklentileri maksimum mertebe gerçek ve somut çıktılarla çakıştırmak için yol almaktadır. Gelişmiş analiz programları, yapılan optimizasyon çalışmaları neticesinde parçanın davranışları ile ilgili ilk verileri sunarken, prototip parça üretimleri ve test maliyetlerinin düşürülmesine de fayda sağlamaktadır. Prototip parça adetlerinin ve test sayılarının azaltılması, planlama ve süreçlere direkt katkı sağlamaktadır. Bu da öngörülerin daha kuvvetli olması, iş gücü kazanımı ve sürelerin azaltılması açısından pozitif geri dönüş vermektedir.

Yıldız tarafından yapılan çalışmada makalede araç salıncak kolu üzerinde yapısal analizler gerçekleştirilmiştir (Yıldız,2017). Bu çalışmada interior arama algoritması ve genetik algoritmalar optimizasyon yöntemleriyle optimizasyon çalışmaları yapılmıştır. Genetik algoritmalar yöntemi ile %20 hafiflik sağlanırken, interior arama algoritması ile bulunan optimize parçanın ağırlığının %28 daha az olduğu tespit edilmiştir ve interior arama algoritmasının daha iyi sonuçlar verdiğiinden bahsedilmiştir. Bulunan optimum tasarımın gerilme değerinin, verilen gerilme kısıtının da altında kalması, bu optimizasyon yöntemlerinin etkinliğini göstermiştir.

Rahman ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada Catia ve Hyperworks yazılımları kullanarak alt salıncak kolunda %20 oranında hafifletme sağlanmıştır. Parçada hafifletme amacı esas alınmış ve alt salıncak kolu için çelik ve dökme demir kullanımlarının azaldığından ve buna karşılık alüminyum kullanımının arttığından bahsedilmiştir. Makalede önce topoloji optimizasyonu kullanılmış ve sonra dayanım kontrolü için yorulma analizi gerçekleştirilmiştir. Parçada hafifletme sağlanırken yapısal mukavemet performansı ve yorulma dayanıklılık performansı korunmuştur (Rahman ve diğ., 2018).

Ramli ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada ön salıncak kolu için güvenlik faktörü düşürülmeden, farklı malzemeler kullanılarak ağırlık azaltma çalışmaları yapılmıştır. Doğru malzeme seçimi ile %30 hafifletme hedeflenmiştir. Bu kapsamda kromlu paslanmaz çelik, alüminyum ve magnezyum alaşımları incelenmiştir. Solidworks üzerinde yapılan bu çalışmada %36,6 hafifletme oranı ile magnezyumun en iyi sonucu verdiği görülmüştür (Ramli ve diğ., 2020).

Chirinda ve Matope yaptıkları çalışmada otomotiv endüstrisinin hızla büyüdüğünden ve bu sebeple yakıt tüketiminin azaltılma çalışmalarının öneminden ve ağırlık azaltılmasının bu konuya olan önemli etkilerinden bahsedilmektedir (Chirinda ve Matope, 2020). Ağırlık azaltma çalışmalarının başında gelen iki faktör olarak; malzeme değişikliği ve topoloji optimizasyon yöntemleri ele alınmıştır ve aynı kaliteyi koruyarak hafifletme çalışmalarının nasıl yapılabileceği anlatılmıştır. Topoloji optimizasyonunun, malzemeyi değiştirmeden, parçanın geometrisini değiştirdiğinden bahsedilmiştir. Makalede, arka süspansiyon kollarının topoloji optimizasyonu metodu ile yeniden tasarlandığı, güç ve performanstan ödün verilmeden %48 hafifletildiği gösterilmiştir. Benzer örnekler birçok farklı parça üzerinden de verilmiştir. Ağırlık azaltmanın yakıt tüketimindeki öneminden ve buna bağlı aracın kütlesi ile direkt ilişkili emisyon değerlerinin düşürülmesinin öneminden bahsedilmiştir. Malzeme değişikliği yöntemi veya topoloji optimizasyonu yöntemleri ile CO2 emisyon değerlerinin azaltılabildiği vurgulanmıştır. Özet ifade ile makalede farklı hafifletme teknolojileri ve otomotiv endüstrisinde ağırlık azaltmanın aracın yakıt tüketiminde ne kadar önemli bir rol aldığı anlatılmıştır (Chirinda ve Matope, 2020).

Yapılmış bu literatür araştırmaları ve diğerleri (Yıldız 2020a, Yıldız 2020b, Yıldız ve diğ., 2021a, Yıldız ve diğ., 2021b) optimizasyon çalışmaları yapılarak optimum ürün geliştirme çalışmalarının başarı ile yapılabileceğini göstermiştir.

Bu kapsamda, bu çalışma içerisinde aracın önemli parçalarından olan salıncak kolu hakkında bilgiler paylaşılmış ve parça üzerinde farklı tasarımlar yapılarak, parçanın hafifletilmesi amaçlanmıştır. Bu çalışma kapsamında ele alınmış ön salıncak konunun şekil analizinde genetik algoritma kullanılmıştır. Çalışmada, katı modelleme için Catia programı tercih edilmiştir. Yapısal analiz için ise Hypermesh programı kullanılmıştır. Yapılmış optimizasyon çalışmaları ile parça boşaltarak hafifletme amaçlanmıştır. Optimum sonuç için kullanılacak yöntem önem kazanmaktadır, bu kapsamda çalışma içerisinde önce optimizasyon ve yapısal analiz yöntemleri ele alınmış olup, salıncak kolu parçasında statik analiz, topoloji ve şekil optimizasyonları yapılmıştır.

2. KURUMSAL TEMELLER VE GENEL BİLGİLER

2.1. Ön Salıncak Kolu

Ön salıncak kolu, aracın şasisini etkileyen önemli parçalarından biridir. Komuta parmağı, motor beşiği ve amortisörden bağlanarak, üç farklı noktadan araca montajı sağlanmış olur. Bu kritik mevcudiyetinden dolayı yıllar içerisinde gelişimi ile önemini korur. Özet ifade ile, araç ve ön tekerlek sistemini birbirine bağlayan ara parçadır. Salıncak kolları, malzemelerine göre tiplere ayrılır. Bu malzemeler, çelik salıncak tipi, dökme demir salıncak tipi ve alüminyum döküm salıncak tipi olarak 3 kategoridedir (“Salıncak Nedir ve Nasıl çalışır?”, 2021).

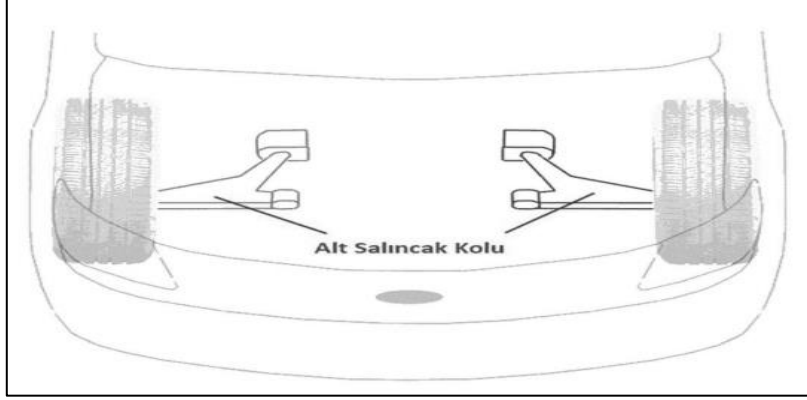
Çelik salıncaklar, otomotiv endüstrisinde en geniş kapsamlı olarak kullanılan salıncak tipleridir. Yüksek üretim adetleri, üretim süresi ve maliyeti değerlendirildiğinde ihtiyaçlara etkin cevap veren bir versiyondur. Araç üzerindeki konumu sebebi ile, dış darbeler ve sıvıya dayanımı oldukça önemlidir, bu kapsamda korozyon önleyici kaplamalara ihtiyaç duyulabilir.

Dökme demir salıncaklar, genellikle yüksek hacimli ve arazi tipi araçlarda tercih edilir. Engebeli ve zorlu yollarda dayanım kabiliyetleri yüksektir (Khajepour ve Goodarzi, 2017).

Parça ve buna bağlı araç hafifletme çalışmaları kapsamında, araç üzerindeki parçalarda alüminyumun kullanım artışı da gözle görülmektedir. Alüminyum döküm salıncak tiplerinin tercih sebeplerinin de temelinde hafifletme amacı yatar ve buna paslanmazlık beklentileri de eşlik eder (Khajepour ve Goodarzi, 2017).

Kısmi binek araçlar ve yüksek hacimli araçlarda iki alt, iki üst olacak şekilde, toplamda dört adet salıncak kolu mevcuttur. Bazı binek araçlarda ise, bir sağ ve bir sol olmak üzere toplamda iki salıncak kolu bulunur. Genellikle bağlantı noktalarında kauçuk burçlar kullanılır ve bunlar kasis geçişleri sırasında sönümlemeyi sağlar. Gövde bağlantıları ön çarpışma ya da

kaldırım darbelerine karşı önemli bir görev görmektedir. Komuta parmağı vasıtası ile tekerlere olan bağlantı, ön tekerlerin güvenliği için oldukça önemlidir. Bu bölgede bulunan rotillerin tozdan korunma özelliği ve aşınmaya karşı dayanımı yine önemli noktalar arasındadır. Bu sebeplerle alt salıncak kolu aracın önemli parçaları arasındadır. Bu bölgedeki deformasyonlar kendini ses problemi ile belli edebilir (“Alt Salıncak Kolu Nedir?”, 2020). Salıncak kolunun görseli ve araç üzerindeki konumu Şekil 1’de gösterilmiştir.

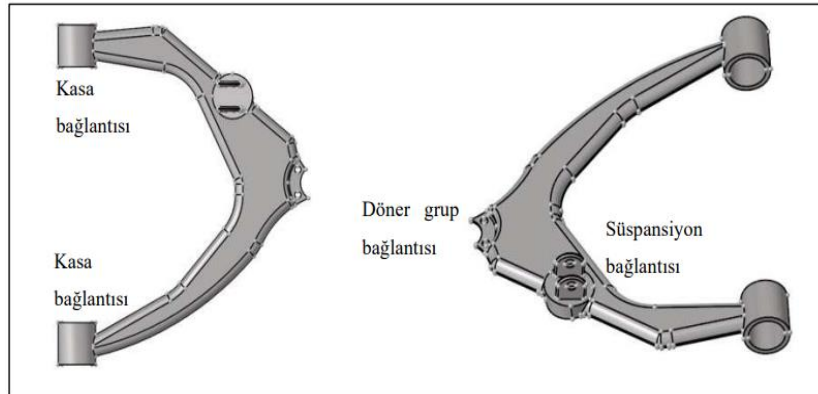


Şekil 1:

Salıncak kolu görseli ve araçtaki konumu (“Alt Salıncak Kolu Nedir?”, 2020)

Salıncak kolunun doğru pozisyonda olması, lastik aşınmasından, boşlukların ve yani seslerin oluşmasının engellenmesine ve darbelere karşı korunmaya kadar geniş bir yelpazede etkindir. Doğru tasarlanmamış olması ya da aşınmış olması durumunda; direksiyonda titreşim veya sertlik, lastiklerde gıcırdama veya dengesiz aşınma, süspansiyonda sertlik ya da frenlemede sağa sola çekme gibi problemlere sebebiyet verebilir (“Salıncak Değişimi”, 2021). Salıncak kolu yere paralel olarak konumlanmaktadır ve açısı yol tipine göre şekil almaktadır (“Trailing-arm suspension”, 2021).

Çalışmada örnek olarak ele alınmış olan alt salıncak kolu, bir noktadan komuta parmağı vasıtası ile araç tekerlerine ve bir noktadan da süspansiyon grubuna olmak üzere iki noktadan gövdeye bağlanmaktadır. Bu çalışma için seçilmiş olan ön salıncak kolunun detayları Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2:

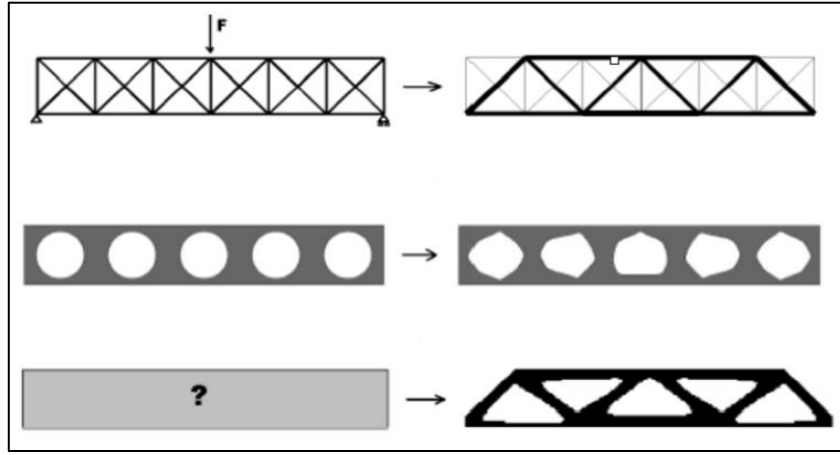
Çalışmada örnek olarak seçilerek ele alınmış olan alt salıncak kolunun detayları

2.2. Optimizasyon

Sonlu Elemanlar Analizi, inşaat, mekanik ve makine mühendisliğinde oldukça sık kullanılan bir yöntemdir. Sonlu elemanlar yöntemi mühendislikte sınır değer problemlerinin yaklaşık çözümlerini elde etmek için kullanılan bir hesaplama tekniğidir. Bir sınır değer problemi, bağımlı değişkenlerin, tanımlı sınır şartları içerisinde, tüm alanda bir diferansiyel denklemi karşılaması gereken matematik problemidir (Hutton,2004).

En iyileme olarak tabir edilen optimizasyon yöntemi, verilen sınır şartlarına bağlı kalarak, en iyi çözümü bulmayı amaçlar. Bu amacın temelinde maksimizasyon ya da minimizasyon yer alır. Çok fazla kısıt olması durumunda, alternatifler arasından optimali seçmeyi hedef alır.

Yapısal optimizasyon, verilen kısıtlar ve alana bağlı kalarak, en uygun malzeme dağılımını bulmayı hedefler (Hatipoğlu,2015). Yapısal optimizasyon üç ana başlıkta incelenir ve bu yöntemler tasarım çalışmalarında sıklıkla kullanılmaktadır. Bu yöntemler, Şekil 3'te gösterim sırası ile; boyut optimizasyonu, şekil optimizasyonu ve topoloji optimizasyonudur.



Şekil 3:
Yapısal optimizasyon türleri (Hatipoğlu,2015)

Boyut optimizasyonunda amaç, alt bileşenlerin boyutlarını ayarlayarak, yapıyı optimize etmektir (Hatipoğlu,2015). Şekil optimizasyonunda, pahlar, yarıçaplar değiştirilebilir (Hatipoğlu,2015). Topoloji optimizasyonu, tasarım alanına kısıtların girilerek ve ilgili yükleri vererek en iyi ve yani optimum yapıyı seçmeye çalışır (Hatipoğlu,2015). Bunun için sonlu elemanlar yöntemini kullanır. Bu çalışmada, çözümleyici OptiStruct'tır. Problem formülasyonu ise HyperMesh tarafından yapılır. Böylece yakınsama yöntemi ile optimizasyon problemi çözülmeye çalışılır. Topoloji optimizasyonu parçanın dış şekline etki göstermez, bunu sabit tutmayı hedefler ve aynı zamanda parçanın dayanımını da koruyacak şekilde, malzeme azaltmayı amaçlar (Yıldız,2017). Topoloji optimizasyonu çalışmalarında rijitliği maksimum yapan en iyi malzeme dağılımının bulunması hedeflenir. Topoloji felsefesi, iki temel yönetime dayanır. Bunlar homojenleştirme ve malzeme dağılımı metodlarıdır. Homojenleştirme yöntemi, oluşumu kompozit ve mikrokimyasal yapı olarak değerlendirir ve homojenleştirir. Topolojiyi belirleyen, katı mikro yapı, gözenek ve boşluk oluşumlarında, homojenleştirme teorisine göre mikro yapılar katı ve boşluk arasında yer değiştirebilir ve bu kapsamda o yapısal alan içinde optimal malzeme dağılımı bulunmuş olur. Malzeme dağılımı veya yoğunluk metodunda ise, her bir elemanın Young modülüne göre ilave çalışmalar yapılmakta olan homojenleştirme metoduna kıyasla, her bir sonlu elemanın yoğunluğu tasarım değişkeni olarak kabul edilir. Homojenleştirme metoduna göre daha az karmaşıktır (Yıldız ve diğ., 2003).

2.3. Genetik Algoritma

Genetik algoritma, biyolojik genetikten ilham alarak ve genetik mekanizmaları analiz ederek geliştirilmiş, global bir optimizasyon yöntemidir. GA, 1975 yılında profesör J.Holland tarafından önerilmiş, simülasyon teorisine dayalı bir hesaplama yöntemidir (Huawang,2016).

Genetik algoritmalar (GA) gelişigüzel sayı meydana getirme mantığı ile çalışır. Bu da farklı değerlendirmelerde, farklı sonuçlar verebilir. Çalıştırılması, uyarlanması zor olmayan bir algoritmadır (Arora,2004). Genetik algoritmalar Darwin teorisine dayanır, mikrobiyolojiyi tercih eder. Global çözümün bulunduğunu garanti etmez. Genetik algoritmanın amacı popülasyon oluşturmaktır. İstenen iterasyona ulaşana ve durdurma şartı sağlanana kadar devam eder. Seçim, çaprazlama ve mutasyon olacak şekilde üç genetik operatör kullanır. Çaprazlama: Seçilen üyelerin tasarımsal karakteristiklerinin kendi aralarında değiş tokuş edilmesidir. Çiftleşme olarak da bilinir. Mutasyon: Popülasyonun birkaç üyesinin seçimini ifade eder. Bu adımlar, daha uygun bir sonuç bulunamayana kadar, popülasyonun en iyilemesi için tekrarlanır (Arora,2004).

3. MATERYAL ve YÖNTEM

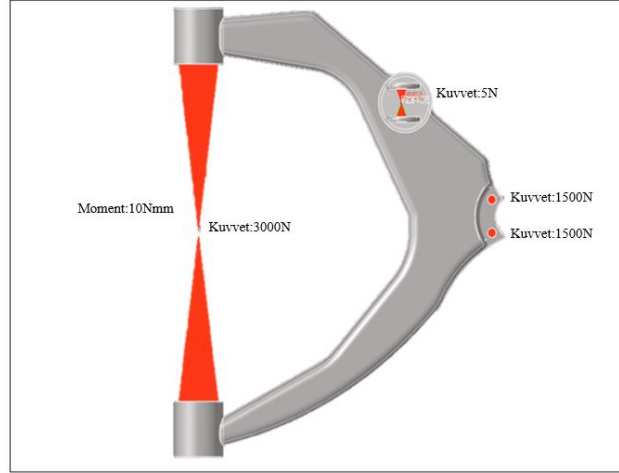
Çalışmada, ilk adımda ana parça tasarımı üzerinde statik analizler gerçekleştirilmiştir, ikinci adımda topoloji optimizasyonu yapılmış ve buna bağlı parçanın Ossmooth modeli oluşturulmuştur. Çıkan verilere göre, farklı ağırlıklarda üç farklı yeni salıncak kolu tasarlanmış, bu parçalar üzerinde statik analiz ve genetik algoritma kullanılarak şekil optimizasyonu çalışmaları yapılmıştır.

3.1. Örnek Parça Üzerinde Statik Analiz

Çalışmada ele alınan alt salıncak konunun malzemesi St-37 S235JR veya C45E SAE 1141 çelik olarak seçilmiştir. Malzeme için dikkate alınmış değer ve birimler;
Malzemenin Yoğunluğu (Rho), $\rho=7850 \text{ kg/m}^3$
Elastisite Modülü, $E=210 \text{ GPa}$
Poisson Oranı, $PR=0,3$ olarak tanımlanmıştır.

Örnek parçanın ağırlığı HyperMesh üzerinden Tool, Mass Calculation sekmesinden ölçülmüştür ve 1,579 kg olarak hesaplanmıştır. Çalışmanın sonunda geline değerler, bu ilk ağırlık değeri ile kıyaslanmış ve yapılmış olan hafifletme yüzdesel olarak tespit edilmiştir. Kısıtlar tanımlanıp, kuvvet ve moment atanırken kolaylık sağlaması adına, öncelikle parçaya rijitlik verilmiştir. Rijitlik tüm bağlantı noktalarına tanımlanmıştır. Tekerlek bağlantı bölgesi ve amortisör bağlantı bölgeleri üç ekseninde de sınırlandırılmıştır, kasa bağlantı noktaları ise Y ve Z eksenlerinde sınırlandırılarak, X ekseninde serbest bırakılmıştır.

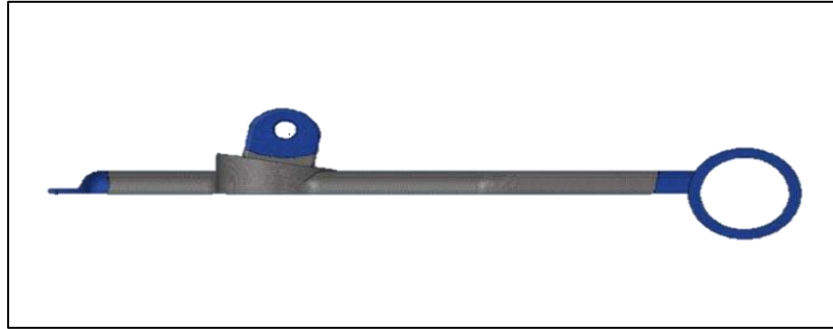
Altair University Hypermesh Tutorial (t.y.)'den faydalanarak belirlenen ve parçaya uygulanan kuvvet ve moment değerleri tanımlanmıştır. Tekerlik bağlantı noktalarındaki iki delikten Y yönünde 1500N, amortisör bağlantı noktalarındaki iki delikten -Y yönünde 5N, kasa bağlantı noktalarındaki iki delikten X yönünde 3000N kuvvet tanımlanmıştır. Kasa bağlantı noktalarındaki iki delikten Y yönünde 10Nmm moment tanımlanmıştır ve Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4:
Örnek parçaya kuvvet ve moment atanması

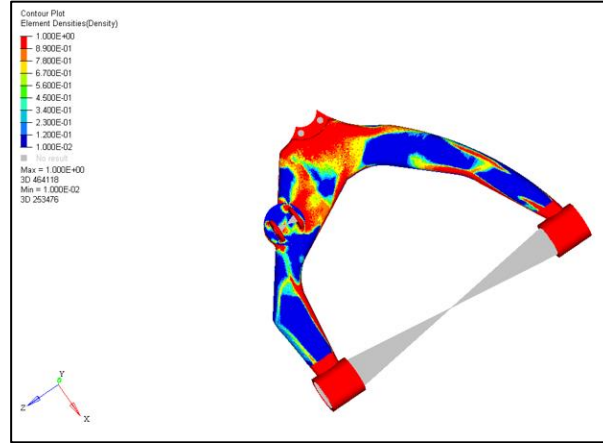
Yapılan çalışmada “System mm-t-s Unit” birimleri (Altair University Hyper Units, t.y.) kullanılmış olup, analiz çalışması Optistruck ile çalıştırılmış ve tamamlanmıştır. Statik analiz adımlarında başarı ile tamamlanan Optistruck sonucunda örnek parçada bulunan maksimum gerilme 242MPa ve maksimum yer değiştirme 1,526mm olarak tespit edilmiştir.

Şekil 5’te gösterilen, topoloji yapılıması istenen alanlar belirlenmiş ve parçanın montaj bölgelerinde, yani delik bölgelerinde dayanım kısıtları nedeni ile boşaltma çalışması yapılması öngörülmediği için herhangi bir topoloji yapılıması istenmemiştir.



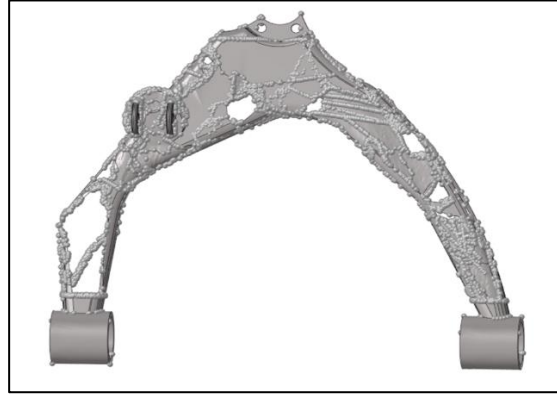
Şekil 5:
Topoloji alanı

Parçanın montaj ağacı tamamlandıktan sonra yapılan analiz çalışması başarı ile tamamlanmıştır ve parçanın topoloji optimizasyonu sonucu yoğunluk dağılımı Şekil 6’da gösterilmiştir.



Şekil 6:
Topoloji optimizasyonu sonucu yoğunluk dağılımı

Örnek parça üzerinde yapılmış olan statik analiz sonrası, topoloji optimizasyonu gerçekleştirilmiş ve malzeme dağılımları incelenmiştir. Bu malzeme dağılımlarına göre parçanın Osmooth modeli çıkartılmış ve boşaltılabilecek alanlar gösterilmiştir. Görseller, parçanın hem gövde kısmında ve hem de kol bölgelerinde optimizasyon fırsatları olduğunu göstermiştir. Bu kapsamda, çalışma içerisinde üç farklı yeni tasarım yapılarak, şekil optimizasyonları çalışılmıştır. Parçanın Osmooth modele göre boşaltılabilecek alanları Şekil 7’de ile gösterilmiştir



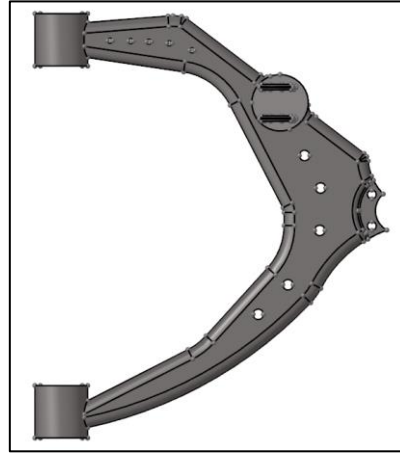
Şekil 7:
Parçanın Osmooth modele göre boşaltılabilecek alanları

4. BULGULAR

Örnek parça üzerinde statik analiz, topoloji optimizasyonu ve Osmooth çalışmaları tamamlandıktan sonra, çıkan verilere göre yeni tasarımların çalışmaları yapılmıştır. Bu kapsamda üç farklı tasarım üzerinden analizler yapılarak, optimum hafifletme amaçlanmıştır.

4.1. Optimizasyon İçin Birinci Tasarım

Parça Osmooth modeline göre Catia’da yeniden tasarlanmıştır. Kasaya takılan bir kolda beş adet delik, kasaya takılan diğer kolda iki adet delik ve döner grup kısmında da üç delik açılmıştır. Birinci tasarım Şekil 8’de gösterilmiştir.



Şekil 8:
Optimizasyon için birinci tasarım

Sınır şartları, kuvvet ve moment örnek parça ile aynı olacak şekilde uygulanmıştır ve Optistruct başarı ile çalıştırılmıştır. Statik analiz sonuçlarına göre, birinci tasarımda maksimum gerilme 235MPa olarak, maksimum yer değiştirme 1,509 mm olarak tespit edilmiştir.

Statik analiz sonrası Morph adımlarına geçilmiştir. Beş delik bölgesindeki deliklerin yarıçapı 2,5mm'den 3mm'ye, üç delik bölgesindeki deliklerin yarıçapı 5mm'den 5,5mm'ye, iki delik bölgesindeki deliklerin yarıçapı 5mm'den 5,5mm'ye çıkarılmıştır.

Yarıçap değişimindeki çarpanlar alt sınır -2 ve üst sınır 2,5 olarak seçilmiştir, yani deliklerin morph'lerinin 1,25mm ile -1mm arasında toplam 2,25mm bir aralıkta hareket etmesine izin verilmiştir. Çalışmada 50 iterasyon yapılmıştır. Birinci tasarıma göre ağırlıkta minimizasyon istenmiş ve gerilme ile yer değiştirme için;

Ağırlık: Minimizasyon

Gerilme: $\leq 225\text{MPa}$

Yer değiştirme: $\leq 1,5\text{mm}$

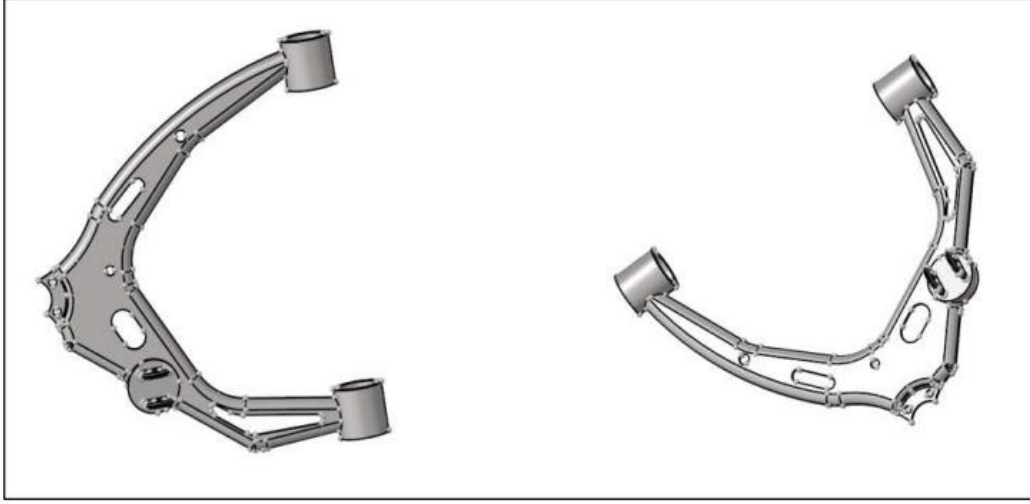
kısıtları uygulanmıştır. Örnek parça ile birinci tasarım arasındaki şekil analizi öncesi ve sonrası ağırlık kıyaslaması Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Seçilen örnek parça ile optimizasyon için birinci tasarımın ağırlık olarak karşılaştırması

Seçilen Örnek parça ağırlığı (gr)	Optimizasyon için birinci tasarımın ağırlığı (gr)	Ağırlık Kazancı (gr)	Ağırlık Kazancı (%)
1579,00	1572,00	7,00	0,44

4.2. Optimizasyon İçin İkinci Tasarım

Parça Osmooth modeline göre Catia'da yeniden tasarlanmıştır ve bu kez boşaltma miktarları arttırılmıştır. İkinci tasarım Şekil 9'da gösterilmiştir.



Şekil 9:
Optimizasyon için ikinci tasarım

Rijitlik, sınır şartı, kuvvet ve moment yeniden aynı değerler ve yönlerde tanımlanmıştır. Statik analiz sonuçlarına göre, ikinci tasarımda maksimum gerilme 178,2MPa olarak, maksimum yer değiştirme 0,9448 mm olarak tespit edilmiştir.

Statik analiz sonrası Morph adımlarına geçilmiştir. Kol delik yarıçapı 6mm'den 5mm'ye düşürülerek yarıçap 1mm değiştirilmiştir. Döner grup bağlantısına yakın olan delik yarıçapı 5mm'den 4mm'ye düşürülerek, yarıçap 1mm değiştirilmiştir. Elips bölgesi için, Hyper morph sekmesinde oluşturulan sanal eksende, birinci adımda Y: -1 tanımlanarak; pozitif değerde daralma, negatif değerde genişleme sağlatılmıştır. İkinci adımda ise X: 1 olarak tanımlanmıştır.

Morph adımları sonrası Hyper Study etabına geçilmiştir. Şekil optimizasyonu değişkenlerinin hareketi için alt sınır -2mm ve üst sınır 2mm olarak seçilmiştir. İkinci tasarım parçaya göre, ağırlıkta minimizasyon istenmiş ve gerilme için;

Ağırlık: Minimizasyon

Gerilme: $\leq 190\text{MPa}$

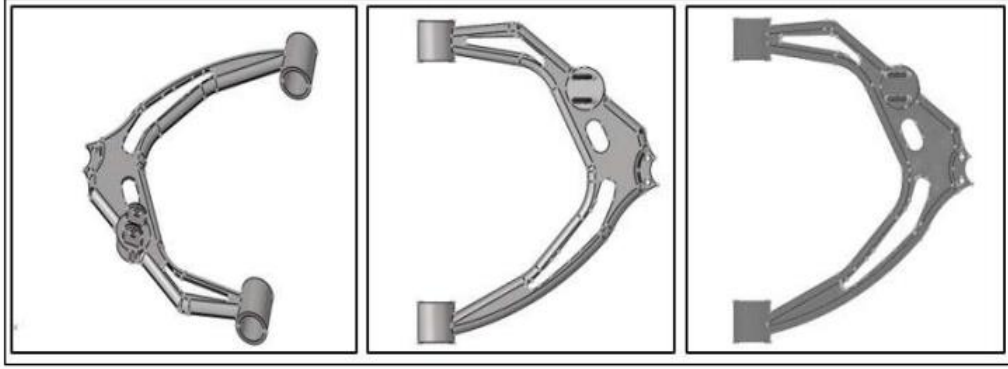
kısıtları uygulanmıştır. Hyper Study genetik algoritmaya göre çözdürülerek, analizde maksimum elli, minimum yirmi beş iterasyon tanımlanmıştır. Örnek parça ile ikinci tasarım arasındaki şekil analizi öncesi ve sonrası ağırlık kıyaslaması Tablo 2'de verilmiştir. Yaklaşık 100 gramlık bir hafifletme ile yaklaşık %6 oranında bir optimizasyon sağlanmıştır.

Tablo 2. Seçilen örnek parça ile optimizasyon için ikinci tasarımın ağırlık olarak karşılaştırması

Seçilen Örnek parça ağırlığı (gr)	Optimizasyon için ikinci tasarımın ağırlığı (gr)	Ağırlık Kazancı (gr)	Ağırlık Kazancı (%)
1579,00	1481,53	97,47	6,17

4.3. Optimizasyon İçin Üçüncü Tasarım

Parça Osmooth modeline göre Catia'da yeniden tasarlanmıştır ve Şekil 10'da gösterilmiştir.



Şekil 10:
Optimizasyon için üçüncü tasarım

Malzeme tanıtları yapıldı, mesh tamamlandıktan sonra parçaya rijitlik ataması yapılmıştır. Parçaya tekerlek bağlantı noktalarındaki iki delikten Y yönünde 1500 N'luk kuvvet uygulanmıştır.

Amortisör bağlantı noktalarındaki iki delikten -Y yönünde 5N'luk kuvvet uygulanmıştır.

Kasa bağlantı noktalarındaki iki delikten X yönünde 3000N'luk kuvvet tanımlanmıştır.

Kasa bağlantı noktalarındaki 2 delikten Y yönünde 10Nmm moment tanımlanmıştır.

Statik analiz sonuçlarına göre, üçüncü tasarımda maksimum gerilme 187,7MPa olarak, maksimum yer değiştirme 1,004 mm olarak tespit edilmiştir.

Statik analiz sonrası Morph adımlarına geçilmiştir. Y -1 olacak şekilde, pozitifte daraltma, negatifte genişletme işlemi gerçekleştirilmiştir.

Morph adımları sonrası Hyper Study etabına geçilmiştir. Şekil optimizasyonu değişkenleri için alt sınır -10mm, üst sınır 10mm olarak seçilmiştir. Strese göre kısıtlar belirlenirken; üçüncü tasarıma göre, ağırlıkta minimizasyon istenmiş ve gerilme için;

Ağırlık: Minimizasyon

Gerilme: $\leq 190\text{MPa}$

kısıtları uygulanmıştır. Genetik algoritma metodunda maksimum elli, minimum yirmi beş iterasyon tanımlanmıştır. Stres kısıtlarına göre; örnek parça 1579 gramdan yaklaşık 1404 grama inerek, yaklaşık %11'lik bir hafifleme sağlanmıştır ve parça 175 gr optimize edilmiştir.

Yer değiştirmeye göre kısıtlar belirlenirken; üçüncü optimize parçaya göre, ağırlıkta minimizasyon istenmiş ve yer değiştirme için;

Ağırlık: Minimizasyon

Yer değiştirme: $\leq 1,2\text{mm}$

kısıtları uygulanmıştır. Genetik algoritma metodunda maksimum elli, minimum yirmi beş iterasyon tanımlanmıştır. Yer değiştirme kısıtlarına göre; örnek parça 1579 gramdan yaklaşık 1404 grama inerek, %11'lik bir hafifleme sağlanmıştır ve parça yaklaşık 175 gr optimize edilmiştir, ağırlık kıyaslaması Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Seçilen örnek parça ile optimizasyon için üçüncü tasarımın ağırlık olarak karşılaştırması

Seçilen Örnek parça ağırlığı (gr)	Optimizasyon için üçüncü tasarımın ağırlığı (gr)	Ağırlık Kazancı (gr)	Ağırlık Kazancı (%)
1579,00	1405,00	174,00	11,02

Bu çalışmada, genetik algoritma yöntemi ile alt salıncak kolu için optimum tasarım yapılmıştır. Öncelikle tasarım kısıtları belirlenmiş ve parça üzerinde uygulanmıştır. Bu kısıtlara uyacak şekilde parçaya sonlu elemanlar analizi yapılmıştır ve izin verilen boşaltma bölgelerine göre boşaltmalar yapılarak üç farklı salıncak kolu tasarlanmıştır. Sonuçlar karşılaştırmalı olarak Tablo 4’te paylaşılmıştır.

Tablo 4. Karşılaştırmalı sonuçlar

	Ağırlık (kg)		Ağırlık Kazancı Oranı %	Gerilme (MPa)		Yer değiştirme (mm)	
	Statik Analiz	Shape Analizi		Max Statik Analiz	Max Shape Analizi	Max Statik Analiz	Max Shape Analizi
Örnek parça	1,579			242		1,526	
Optimizasyon 1	1,568	1,572	0,45	235	226,046	1,509	1,4917
Optimizasyon 2	1,496	1,482	6,17	178,2	177,57	0,9448	0,9586
Optimizasyon 3	1,430	1,405	11,02	187,7	186,98	1,004	1,057

Çalışmada, ağırlık hafifletme amacı ile topoloji optimizasyonu sonrası boşaltılabilecek alanlara göre örnek parça üzerinden üç farklı yeni tasarım üzerinde çalışılmıştır. Her tasarımda aynı kuvvetler uygulanmıştır. Çalışmanın sonucunda üçüncü tasarım, gerilme ve yer değiştirme kısıtlarını ve %11,02 oranında ağırlık azaltma sağladığı için en uygun analiz sonucu olarak değerlendirilmiştir.

5. SONUÇ

- Örnek parça için ağırlık 1,579 kg olarak hesaplanmıştır. Statik analiz sonuçlarına göre; maksimum gerilme miktarı 242MPa olup, maksimum yer değiştirme miktarı 1,526 mm’dir.
- Birinci tasarım için, optimizasyon adımlarında ağırlığın minimize edilmesi hedeflenerek, maksimum gerilme 225MPa ve maksimum yer değiştirme 1,5mm olarak tanımlanmıştır ve birinci tasarımda yalnızca %0,44 hafifletme sağlanmıştır.
- İkinci tasarım için, optimizasyon adımlarında ağırlığın minimize edilmesi istenmiş olup, maksimum gerilme 190MPa olarak verilmiş, yer değiştirme için kısıt tanımlanmamıştır. Bulunan optimum tasarım, bu şartları sağlamaktadır ve örnek parça tasarımına göre %6,17 daha hafiftir.
- Üçüncü tasarım için, optimizasyon adımlarında ağırlığın minimize edilmesi istenmiş olup, maksimum gerilme 190MPa ve maksimum yer değiştirme 1,2mm olarak tanımlanmıştır. Bulunan optimum tasarım, bu şartları sağlamaktadır ve örnek parça tasarımına göre de %11,02 daha hafiftir.

Bu çalışma, farklı dizayn etütleri ile analiz programlarının ve optimizasyon yöntemlerinin parça ve buna bağlı araç hafifletme çalışmalarına olan katkısının gösterilmesi için yapılmıştır. Kullanılan Topoloji Optimizasyonu ve Osmooth gibi yöntemler, parçanın hafifletilebileceği

bölgeleri göstermiştir. Bu verilerle yapılan boşaltma çalışmalarındaki sonuçlar, belirlenen gerilme ve yer değiştirme değerlerine bağlı kalınarak parçada hafifletme sağlanabildiğini göstermiştir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar, bilinen herhangi bir çıkar çatışması veya herhangi bir kurum/kuruluş ya da kişi ile ortak çıkar bulunmadığını onaylamaktadırlar.

YAZAR KATKISI

Açelya Çelik ve Ali Rıza Yıldız, çalışmanın kavramsal ve tasarımsal süreçlerinin belirlenmesi ve yönetiminde katkı sağlamıştır.

Açelya Çelik, veri toplama ve makale taslağının oluşturulmasında katkı sağlamıştır.

Açelya Çelik ve Ali Rıza Yıldız, veri analizi ve yorumlama, fikrinsel içeriğin eleştirel incelenmesi ve son onay ve tam sorumluluk konularında katkı sağlamıştır.

KAYNAKLAR

1. MotorDersi.Com, (2020). Alt Salıncak Kolu Nedir? Erişim adresi: <https://www.motordersi.com/alt-salincak-kolu-nedir/> (Erişim Tarihi: 05 Aralık 2021)
2. Altair University, (t.y.). Altair University Hypermesh Tutorial. Erişim adresi: <https://altairuniversity.com/> (Erişim Tarihi: 05 Aralık 2021)
3. Altair University, (t.y.). Altair University Hyper Units. Erişim adresi: https://www.altairuniversity.com/wp-content/uploads/2012/04/Student_Guide_55-57.pdf (Erişim Tarihi: 05 Aralık 2021)
4. Arora, J. (2004). Introduction to optimum design. Elsevier.
5. Chirinda, G. P., & Matope, S. The Lighter the Better: Weight Reduction in the Automotive Industry and its Impact on Fuel Consumption and Climate Change.
6. Hatipoğlu, M. (2015). Topology optimization method and automotive bracket optimization, *Yüksek lisans tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul
7. Huawang, S. (2016) Compressive strength-prediction model for coal gangue concrete via genetic algorithm theory and support vector machine, *International Journal of Earth Sciences and Engineering*, pp. 534-540.
8. Hutton, D. V. (2004). Fundamentals of finite element analysis. McGraw-hill.
9. Khajepour, A., & Goodarzi, A. (2017). Vehicle Suspension System Technology and Design. Morgan & Claypool Publishers.
10. Otolye.com, (2021). Salıncak Nedir ve Nasıl çalışır? Erişim adresi: <https://otolye.com/blog/salincak> (Erişim Tarihi: 05 Aralık 2021)
11. Pratik Araba, (2021). Salıncak Değişimi. Erişim adresi: <https://www.pratikaraba.com/salincak-degisimi.html> (Erişim Tarihi: 05 Aralık 2021)
12. Rahman, M. H. A., Salleh, M. S., Abdullah, A., Yahaya, S. H., Razak, M. S. A., Kamal, M. R. M., ... & Saad, N. A. M. (2018). A new design optimization of light weight front lower control arm. *Journal of Advanced Manufacturing Technology (JAMT)*, 12(1), 89-102.

13. Ramli, M. N., Sulaiman, S., & Azizul, M. A. (2020). Implementation of Weight Reduction Method for Lower Front Control Arm without Reducing The Safety Factor. *Journal of Design for Sustainable and Environment*, 2(2).
14. Wikipedia, (2021). Trailing-arm suspension. Erişim adresi: https://en.wikipedia.org/wiki/Trailing-arm_suspension (Erişim Tarihi: 05 Aralık 2021)
15. Yıldız A. R., Kaya N., Ferruh Ö. (2003) Taşıt elemanlarının optimum topoloji yaklaşımı ile tasarımı, *Mühendis ve Makina*, 44(516), 23-28. Erişim adresi: https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/84b6fbb10729ed4_ek.pdf
16. Yıldız, A. R. (2017) Taşıt elemanlarının yapısal optimizasyon teknikleri ile optimum tasarımı, *Politeknik Dergisi*, 20 (2), 319-323. doi: 10.2339/2017.20.2 319-323
17. Yıldız, B. S. (2020a). Slime mould algorithm and kriging surrogate model-based approach for enhanced crashworthiness of electric vehicles. *International Journal of Vehicle Design*, 83(1), 54-68.
18. Yıldız, B. S. (2020b). Robust design of electric vehicle components using a new hybrid salp swarm algorithm and radial basis function-based approach. *International Journal of Vehicle Design*, 83(1), 38-53.
19. Yıldız, B., Patel, V., Pholdee, N., Sait, S., Bureerat, S. & Yıldız, A. (2021). Conceptual comparison of the ecogeography-based algorithm, equilibrium algorithm, marine predators algorithm and slime mold algorithm for optimal product design. *Materials Testing*, 63(4), 336-340.
20. Gupta, S., Abderazek, H., Yıldız, B. S., Yıldız, A. R., Mirjalili, S., & Sait, S. M. (2021). Comparison of metaheuristic optimization algorithms for solving constrained mechanical design optimization problems. *Expert Systems with Applications*, 183, 115351.