

BİR OTOMOBİL BRAKET TASARIMININ ANALİZİ ve DEĞERLENDİRMESİ

Efe SAVRAN *^{ID}
Sinan VARGELCİ **^{ID}
Lino CATENARO ***^{ID}
Fatih KARPAT *^{ID}

Alınma: 19.05.2023; düzeltme: 19.07.2023; kabul: 19.07.2023

Öz: Bu çalışma kapsamında otomobil ön tampon orta braketinin nümerik yöntemden yararlanılarak mekanik değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen nümerik analiz çalışmalarında sonlu elemanlar metodundan yararlanılmış olup bu metot için ANSYS Workbench 18.1 programı kullanılmıştır. Mekanik değerlendirme sürecinde statik yapısal analiz ile tespit edilmiş yükleme koşulları karşısında verilecek deformasyon cevabı elde edilmiştir. Tasarımsal iyileştirme çalışması ile parçanın yükleme koşulları altında verdiği deformasyon cevabını azaltıcı yönde adımlar atılmıştır. Malzeme değerlendirme aşamasında ele alınan 6 farklı malzeme aynı sınır şartları altında nümerik analize dahil edilip deformasyon değerlendirmesi yapılmıştır. Modal analiz çalışmasında parçanın sınır şartları dikkate alınarak ilk 20 mod için frekans ve deformasyon değerleri elde edilip parça için rezonans değerlendirmesi yapılmıştır. Yorulma analizi aşamasında referans malzeme tanımlaması yapılmış parçanın tespit edilmiş kuvvetlere dayanım sayısı çıkarılmıştır. Kalite fonksiyon yayılımında ise braket parçası için kullanıcı ile mühendislik tarafları arasında kalite yükseltici parametrelerin belirlenmesi ve bunlar arasında hangilerinin en etkili olduğu ortaya çıkarılmıştır. Çalışma sonuçlarında mekanik yönden değerlendirilmesi tamamlanmış braket modeli elde edilmiş olup elde edilen sonuçlar otomobil parça tasarımlarına yön gösterebilecek nitelik taşımaktadır.

Anahtar Kelimeler: Braket, Mekanik değerlendirme, Statik analiz, Modal analiz, Yorulma analizi, Kalite fonksiyon yayılımı

Mechanical Assessment of an Automobile Bracket

Abstract: In this study, the mechanical evaluation of the front bumper middle bracket of the automobile was carried out by using the numerical method. The finite element method was used in the numerical analysis studies. In the mechanical evaluation process, the deformation response to be given against the loading conditions determined by static structural analysis was obtained. With the design improvement study, steps were taken to reduce the deformation response of the part under loading conditions. Six different materials, which were considered in the material evaluation stage, were included in the numerical analysis under the same boundary conditions and deformation evaluation was made. In the modal analysis study, taking into account the boundary conditions of the part, frequency and deformation values for the first 20 modes were obtained and resonance evaluation was made for the part. In the fatigue analysis stage, the number of resistance to the determined forces of the part, for which the reference material was defined,

* Bursa Uludağ Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 16059, Nilüfer, Bursa

** STEP-Turkey, Dış Trim Yöneticiliği, 16230, Nilüfer, Bursa

*** STEP-Turkey, Genel Müdürlük, 16230, Nilüfer, Bursa

İletişim Yazarı: Fatih Karpat (karpat@uludag.edu.tr)

was calculated. In quality function deployment, the determination of the quality enhancing parameters between the user and the engineering parties for the bracket part and which ones are the most effective were revealed. In the results of the study, a bracket model whose mechanical evaluation has been completed, and the results obtained have the quality to guide automobile part designs.

Keywords: Bracket, Mechanical assessment, Static analysis, Modal analysis, Fatigue analysis, Quality function deployment

1. GİRİŞ

Otomobiller çok parçalı hareketli yapılardır. Farklı malzeme ve boyutlara sahip parçaların birleşmesiyle bir bütünlük ortaya çıkmaktadır. Yapısal bütünlük içerisinde birbirleriyle temasta olan parçalar ortak hareket etmekte ve bu durum göz önüne alınarak yapısal rijitlik ve dayanım cevapları dikkate alınmalıdır. Bunu yanı sıra, otomobillerde çevre kirliliğinin azaltılması ve rekabetçi ürün tasarımı gibi konular yer almaktadır. Araç üretici firmalar, enerji tüketimi düşük araç üretimi hedefini sağlayabilmeleri için hafif ve yeterli dayanıma sahip parçaların kullanımına özen göstermektedirler. Araç geneli parçalar dikkate alındığında hafiflik hedefinin sağlanması beklenen parçalardan bir tanesi brakettlerdir. Braketler sabit parçaların desteklenmesinde kullanıldığı gibi hareketli parçaların yapısal bütünlük oluşturması için de kullanılabilir. Bu türden parçalarda deformasyon önemli bir değerlendirme parametresidir. Parçanın tespit edilen deformasyon sınırları arasında kalabilmesi mekanik yönden doğrulanmasını sağlamaktadır. Otomobillerde braket parçaları iki farklı parça arasında bütünlük ve kuvvet iletimi sağlayan parçalardır. Ön tampon orta braket parçası, ön tampon ile kaput arasında konumsal hedefin sağlanması amacıyla plastik malzemeden oluşturulmuş bir destek parçasıdır.

Ekmekçi (Ekmekçi, 2019), yapmış olduğu çalışmada bir dizel motorun şasi ile bağlantısında kullanılan braket tasarımı üzerinde durmuştur. Çalışma, otomobillerde dayanımın yanında hafiflik konusunun da önemli bir yere sahip olduğuna vurgu yapmakta ve tasarlanacak braket ağırlığını 3 kg ile sınırlı tutmuştur. Statik ve dinamik yönden ele alınan tasarım çalışmasında motorun hem durgun halde hem de çalışması esnasında braket aktarılabilecek kuvvet miktarları belirlenip nümerik analiz çalışmalarında kullanılmıştır. Gerilim analizleri ve çeşitli optimizasyon çalışmalarının ardından nihai tasarıma ulaşıp deneysel çalışmalar ile ürün doğrulaması yapılmıştır. Elhüseyni (Elhüseyni, 2006), gerçekleştirmiş olduğu tasarım çalışmasında bir ağır ticari aracın arka süspansiyon braketi üzerine yoğunlaşmıştır. Çalışmada tasarlanacak braket modeli için süspansiyon sisteminin matematiksel modeli incelenip braket için sonlu elemanlar modeli oluşturulmuştur. Matematiksel model incelemesinden elde edilen veriler ve aracın sürüşü esnasında oluşabilecek senaryolardan (ani frenleme ve viraj) braketin sonlu elemanlar analizi çalışması için sınır şartları tespit edilip nümerik analiz çalışması gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçlarının incelenmesinin ardından braket modeli için yapılan malzeme tercihinin doğrulaması yapılmıştır. Öztürk (Öztürk, 2016), optimizasyon çalışmasında yeni bir yaklaşımla motor braket modelinin hafifletilmesini gerçekleştirmiştir. Braketin sonlu eleman modelinin oluşturulmasının ardından dayanım ve titreşim analizleri nümerik olarak gerçekleştirilmiş ve topoloji optimizasyonu çalışması gerçekleştirilmiştir. Optimizasyon çalışmasında ana eksenler doğrultusunda yeterli dayanımın sağlanması, titreşim absorpsiyonunun yeterli seviyede olması, tasarımın istenilen üretim metoduna uygun olması, malzeme tasarrufu sağlanması gibi hedefler ön planda olmuştur. Yapılan optimizasyon çalışması sonucunda braket modelinde %22.6 oranında hafiflik sağlanmıştır. Mavuşoğlu (Mavuşoğlu, 2013), bir kamyon üzerindeki hava tüpü brakettlerinin yapısal dayanımı üzerine gerçekleştirmiş olduğu çalışmada ürünlerin üretiminden önce yeterli dayanım üzerine sanal ortamda doğrulama gerekliliğini ifade etmiştir. Testler esnasında hasar almış brakettlerin sanal ortamda oluşturulan modellerine modal ve yorulma analizi yapıp hasar sebebi ortaya çıkarılmıştır. Gerekli iyileştirme ve optimizasyon çalışmalarının

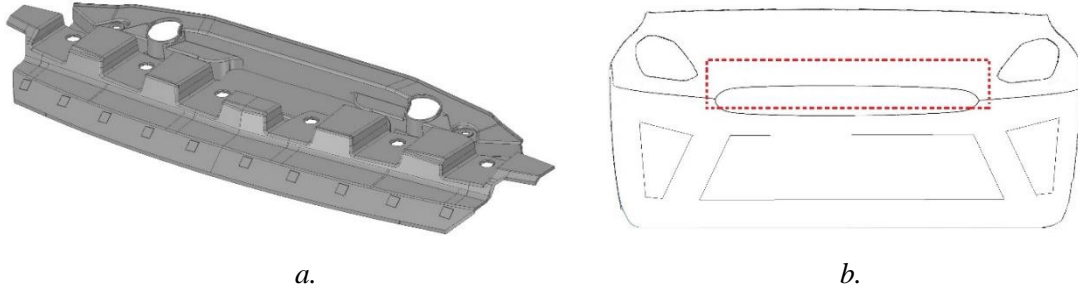
tamamlanmasının ardından doğrulama testleri tekrarlanıp mekanik yönden sağlıklı braket modeli elde edilmiştir.

Bu çalışmada bir otomobil ön tampon orta braketinin nümerik olarak mekanik incelemesi gerçekleştirilmiştir. Mekanik inceleme, statik yapısal analiz, tasarımsal iyileştirme çalışması, malzeme değerlendirmesi, modal analiz, yorulma analizi ve kalite fonksiyon yayılımını içermektedir. Gerçekleştirilen nümerik analiz çalışmalarında sonlu elemanlar metodundan yararlanılmıştır. Çalışma sonuçlarında mekanik yönlerinden değerlendirilmesi yapılmış braket modeli elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar otomobil parça tasarımlarına yön gösterebilecek nitelik taşımaktadır.

2. METOTLAR

2.1. Model İncelemesi

Çalışmada değerlendirilmeye alınan otomobil parçası ön tampon ile kaput kısmının uygun konumda kalmasını sağlayan bir brakettir. Değerlendirmeye alınan braket parçası yaklaşık 1150 mm genişliğinde, 325 mm derinliğinde ve 117 mm yüksekliğinde olup parça geneli 3 mm kalınlığındadır. Bahsedilen braketin genel görünümü ve araç ön görünüşünde yaklaşık yerleşimi şekil 1'de kırmızı renkli kesikli çizgi ile gösterilmektedir.



a.

b.

Şekil 1:

Parça ve kullanım yeri

a. Braket genel görseli b. Araç üzeri konumu

2.2. Sonlu Elemanlar Yöntemi

Mekanik davranış gereği cisimler uygulanan etkinin bileşkesine tepki olarak oluşturduğu içsel davranışın cisimde meydana getirdiği şekil değişimi olarak deformasyon oluşturmaktadırlar. Oluşan deformasyon için sınırlandırıcı durum parçadan beklenen çalışma performansdır. Çalışma esnasında oluşacak deformasyon miktarı istenilen tolerans dâhilinde kalabilmelidir. Bu amaçla yapının gerçekçi koşullar altında vereceği mekanik cevabın önceden tespit edilebilmesi için simülasyon çalışmaları yapılmalıdır. Çalışmada ele alınan braket parçasının mekanik incelemesinde nümerik analizlerden yararlanılmış olup sonlu elemanlar yöntemi tercih edilmiştir. Sonlu elemanlar yöntemi nümerik inceleme yapılacak parçanın yapısal şekli korunmak şartıyla uygun boyutlu küçük parçalara ayrılarak simülasyon koşullarının uygulanmasıyla gerilim ve deformasyon sonuçlarının elde edilmesini sağlamaktadır. Sonlu elemanlar yönteminin birim eleman üzerindeki çalışma prensibi şekil 2'de paylaşılmıştır. Temel olarak aksenal kuvvet, kesme kuvveti, eğilme momenti ve burulma momenti olmak üzere 4 temel etki tipini dikkate alan çözüm matrisinde rijitlik değerlerinin hesaplanması sonucunda ortaya çıkacak tepki davranışları belirlenmektedir.

$$\begin{bmatrix} F_1 \\ Q_1 \\ M_1 \\ T_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{AE}{L} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} & 0 \\ 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{GJ}{L} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ \theta_1 \\ \phi_1 \end{bmatrix}$$

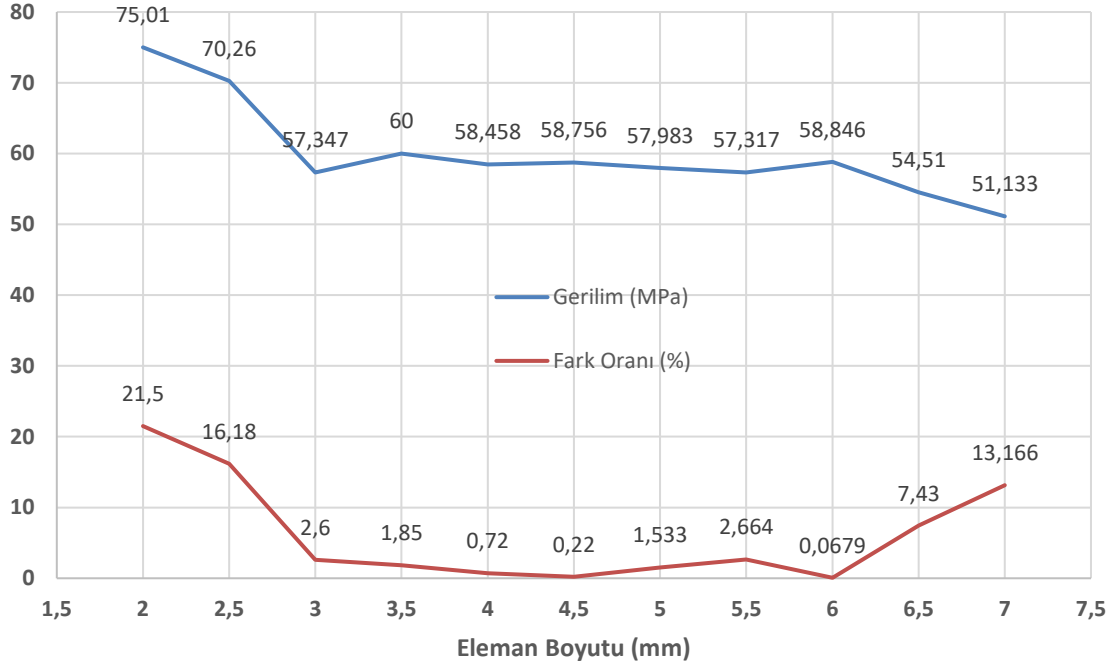
Şekil 2:

Sonlu elemanlar yöntemi örnek çözüm matrisi (Savran ve diğ., 2022, Savran ve diğ., 2023)

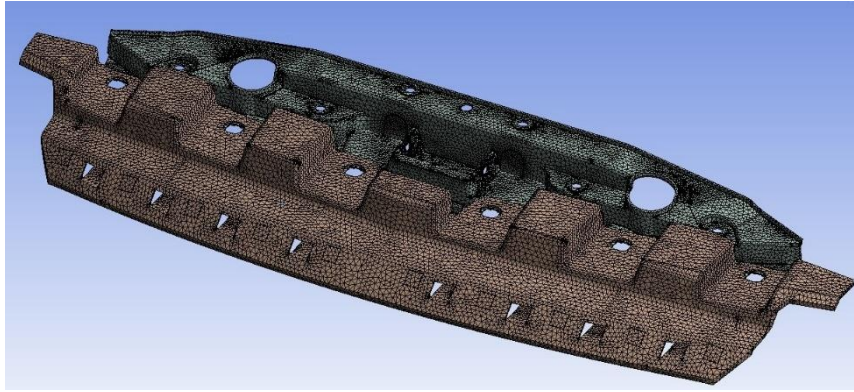
2.3. Ağ Yakınsama Çalışması

Sonlu elemanlar yönteminde uygun boyutlu birim parçalara ayırma işlemi esnasında kullanılacak birim eleman boyutu simülasyonun doğruluğu açısından büyük öneme sahiptir. Uygun değer referans alınarak göreceli olarak büyük boyutlu birim eleman seçimi sonucun gerçek değerden düşük olmasına, küçük boyutlu birim eleman tercihi ise sonuç değerinin yüksek olmasına sebebiyet verecektir (Savran ve diğ., 2022, Savran ve diğ., 2023).

Yaman ve diğerleri (Yaman ve diğ., 2015)' nin çalışmasındaki ağ yakınsaması için birim eleman boyutuna göre deplasman değerleri incelenmiştir. Ele alınan parça boyutlarına bağlı olarak birim eleman boyutu 2.5 mm ile 15 mm arasında değişmiştir. Bu doğrultu boyunca 7.5 mm ile 10 mm birim eleman aralığında deplasman değerinin göreceli olarak sabit kaldığı (yakınsadığı) ve 7.5 mm'den itibaren yükselmeye başladığı görülmüştür. Elde edilen verilere göre çalışmaya konu olan parçalarda 10 mm birim eleman boyutu kullanılmıştır. İfade edilen çalışmaya benzer olarak bu çalışmada ise Ansys Workbench programında gerilime bağlı olarak %2 değişim sınırıyla ağ yakınsaması yapıldığında 58.884 MPa gerilim değeri elde edilmiştir. Programdan bağımsız olarak 2 mm ile 7 mm aralığındaki birim eleman boyutları ile analiz tekrarlanarak gerilim değerleri elde edilmiştir. Elde edilen yakınsama grafiği şekil 3'te paylaşılmıştır. Şekil 3'teki grafikte de görüleceği üzere birim eleman boyutu olarak 6 mm birim eleman boyutlarında oluşan gerilim değerleri %2 yakınsama sınırıyla yapılan çalışma sonucunda bulunan gerilim değeri arasındaki fark oranı %0.6 olarak bulunmuştur. Bu nedenle analiz çalışmalarında 6 mm birim eleman boyutu kullanılmıştır. Braket modelinin göreceli olarak radyuslu yüzeylere sahip olması nedeniyle gerçekçi modelin oluşturulabilmesi için tetrahedron birim eleman türü kullanılmıştır. Bu bilgiler ışığında oluşturulan ağ yapısında Node sayısı 852189, Eleman sayısı 547591, ortalama Skewness 0.5, ortalama Aspect ratio 3.45, ortalama Jacobian ratio (MAPDL) 1.09 ve ortalama Element quality ise 0.612 olarak elde edilmiştir. Sunar (Sunar, 2021), yapmış olduğu çalışmada mükemmel bir tetrahedron eleman için Aspect Ratio'nun 1, Jacobian Ratio'nun 1 ve Skewness değerinin ise 0.5 olması gerektiğini paylaşmıştır. Bu ifade üzerine yapılan değerlendirmede mevcut çalışmadaki değerlerde Aspect Ratio değeri haricindeki değerlerin mükemmel seviyede olacağı görülmektedir.



Şekil 3:
Ağ yakınsama çalışması grafiği

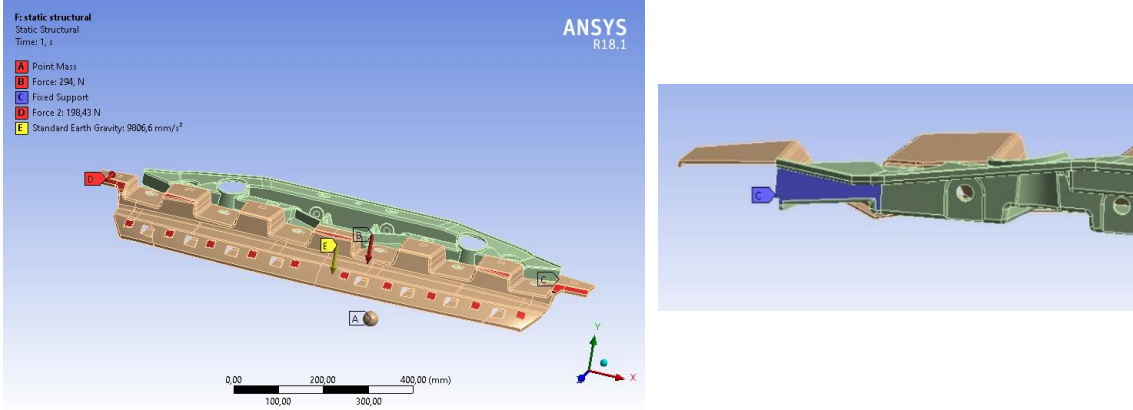


Şekil 4:
3 mm tetrahedron birim eleman boyutlu ağ örgüsü görseli

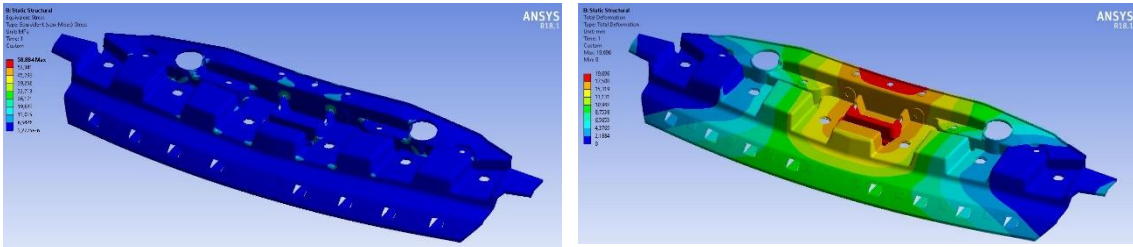
2.4. Statik Yapısal Analiz

Braket modelinin mekanik davranış inceleme sürecinde brakete bağlı parçaların ve dış etkilerin braket üzerinde oluşturduğu toplam yük değerinin 13 kg olduğu tespit edilerek gerekli yükleme koşulları tanımlanmıştır. Bununla birlikte braket modeli araç montaj bölgesinde kaput parçasına da destek sağladığı için kaputun braket modeline aktardığı kuvvet miktarı tespit edilmiştir ve 294 N kuvvet tanımlanmıştır. Otomobiller hava ortamında hareket ettiği için araç ön yüzey alanına aerodinamik kuvvet de etkimektedir. Bu nedenle braket modelinin bulunacağı araç modeli için 100 km/h hız ile hareket ettiği anda maruz kalacağı aerodinamik etki belirlenip 198 N kuvvet tanımlanmıştır. Braket modelinin iki ayrı yük etkisine yeterli dayanımı sağlayabilmesi için araç taşıyıcı şasisine ara bağlı elemanlarıyla sabitlenmiş olduğu görülerek bağlantı elemanlarının braket modeline temasta olduğu bölgelere de sabit mesnet tanımlanması yapılmıştır. İlk model üzerinde gerçekleştirilen yapısal analizde tablo 1’de gösterilen

malzeme türleri arasından polietilen kullanılmıştır. Şekil 6'da A, B, C, D ve E harfleriyle gösterilmiş olan yükleme tipleri ve mesnet uygulamaları görülmektedir. Şekil 5 üzerinde görülen A noktası ise parçanın alt kısmında da görülen noktasal yükü, B noktası kaput tarafından braket üzerinde oluşan düşey kuvveti, C noktası sabitleme noktalarını, D noktası aerodinamik etkiden oluşan kuvveti ve E noktası yer çekimi ivmesini ifade etmektedir. İlk model üzerinde gerçekleştirilen statik yapısal analiz sonucuna göre Von-Misses hasar kriteri üzerinden 58.884 MPa maksimum gerilme ve 19.696 mm deformasyon oluşmuş ve yapısal iyileştirme çalışmasına yol gösterici olmuştur. Gerçekleştirilen yapısal analiz sonucu şekil 6'da görülmektedir.

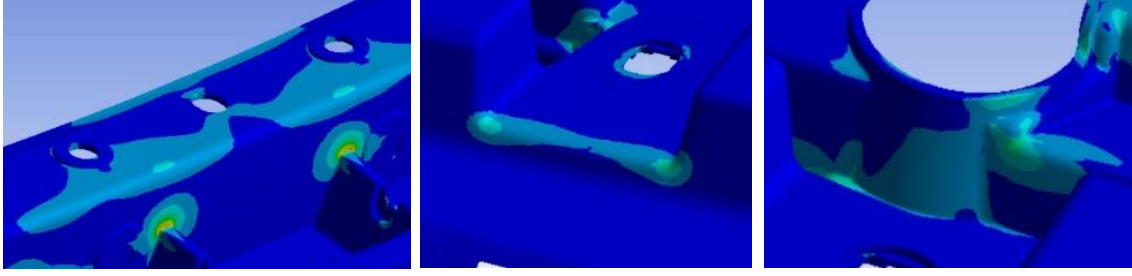


Şekil 5:
Statik yapısal analiz sınır şartları



Şekil 6:
İlk modele ait statik yapısal analiz sonucu
a. Gerilim dağılımı b. Deformasyon dağılımı

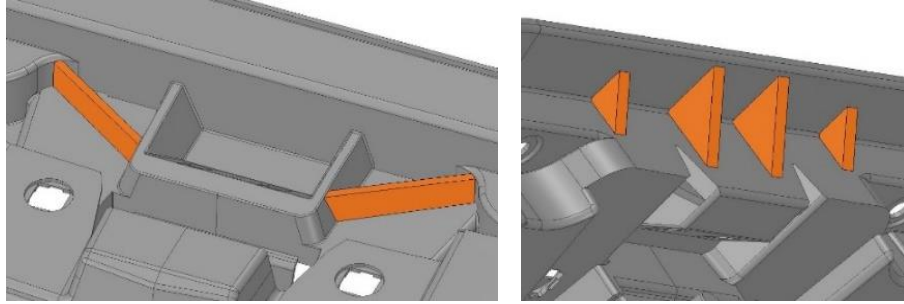
Gerçekleştirilen ilk statik yapısal analiz sonucunda elde edilen gerilim dağılımında braketin orta kısmında yer alan kilit yuvasının arka destek ile birleşme noktasında, ön kısımda yer alan destek oluklarının köşe radyusları ve yine arka destek duvarının üst yatay tabaka ile birleşme kenarında gerilim yığılması olduğu görülmüştür. İfade edilen yüksek gerilim bölgeleri şekil 7'de görselleştirilmiştir.



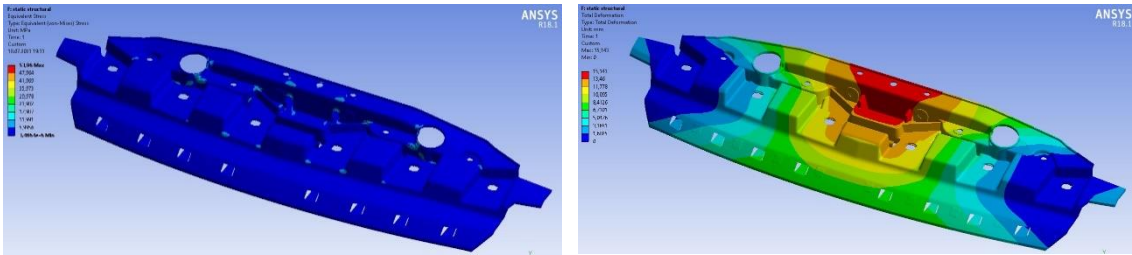
Şekil 7:
İlk modele ait statik yapısal analizde gerilim yığılma bölgeleri

2.5. Tasarımsal İyileştirme Çalışması

Braket modelinin dayanım artışının sağlanması için gerekli olan tasarım iyileştirme çalışmasının öncesinde kritik bölgelerin ortaya çıkarılması adına statik yapısal analiz çalışması yapılmıştır. Yapılan analiz çalışması sonucunda braket modelinin göreceli olarak orta kısmında düşey doğrultuda aşırı deformasyon olduğu görülmüştür. Bu kısımlardaki deformasyonu önleme amaçlı olarak 5 mm ve 10 mm kalınlığında destek duvarları eklenip statik analiz çalışması aynı sınır şartları ile tekrarlanmıştır. Tasarım iyileştirici çalışmalara ait görseller şekil 8’de görülmektedir. Yapılan tasarım değişikliği üzerine ilk model üzerinde gerçekleştirilen yapısal analizin sınır şartlarıyla statik yapısal analiz tekrarlanıp polietilen malzeme ile Von-Misses kriteri ile bölgesel olarak 53.96 MPa maksimum gerilim ve 15.143 mm maksimum deformasyon oluşumu görülmüştür. Yapılan statik analiz sonucu şekil 9’da paylaşılmıştır.



Şekil 8:
Tasarımsal iyileştirme çalışmaları



a.

b.

Şekil 9:
Tasarımı iyileştirilmiş modele ait statik yapısal analiz sonucu
a. Gerilim dağılımı b. Deformasyon dağılımı

2.6. Malzeme Değerlendirmesi

Otomotiv üreticilerinin rekabet gereği hafif ve yakıt tasarruflu araçların üretilmesini hedeflemelerinden dolayı yapı genelinde hafif ve yeterli dayanım sağlayan malzemelerin kullanılmasını tercih etmektedirler. Bu amaçla genel çoğunlukla alüminyum, çelik, plastik gibi temel malzeme türleri kullanılmaktadır. İstenilen malzeme türünün kullanılmasında hedeflenen hafifliğe ulaşılamaması durumunda ise yapısal tasarım değişiklikleri gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada incelenen braket modeli için değerlendirmeye alınan malzeme türleri aşağıda tablo 1’ de mekanik özellikleriyle birlikte paylaşılmıştır.

Tablo 1. Malzemelerin mekanik özellikleri (Annanto ve diğ., 2019; Chen, Lai ve Gao 2017; Dhande, Jamadar ve Ghatge 2014; Khalajmasoumi ve diğ. 2012; Savran ve diğ. 2022; Ward, Harwood ve Young 2016; Zhang ve diğ. 2014)

Malzeme Adı	Yoğunluk (g/cm ³)	Elastisite Modülü (MPa)	Poisson Oranı
PE - Polietilen	0.95	1050	0.34
ABS - Akrlnitril-Bütadien-Stirol	1.06	2240	0.38
PA6-GF30 - Polyamid	1.4	9500	0.34
PEEK - Polieter-eterketon	1.45	5900	0.4
PLA - Polilaktik Asit	1.24	3500	0.36
PVC - Polivinil Klorit	1.3	3360	0.16

Braket modelinin mekanik davranışının değerlendirilmesinde ilk ve ikinci modelin statik yapısal analiz polietilen malzemenin özelliklerinden yararlanılmıştır. Bununla birlikte malzeme bölümünde mekanik özellikleri verilen diğer malzeme türleri de tasarım iyileştirilmesi yapılmış modelin statik yapısal analizinde değerlendirilmiştir. Daha önce sınır şartları verilen statik analiz senaryosu tekrar edilerek toplamda 6 farklı malzeme özellikleriyle maksimum gerilme ve maksimum deformasyon değerleri elde edilmiştir. Yapılan malzeme değerlendirme çalışmasının sonuçları tablo 2’de paylaşılmıştır.

Tablo 2. Tasarımı yenilenmiş model üzerinde malzeme kıyaslama sonuçları

Malzeme Adı	Maksimum Gerilim (MPa)	Maksimum Deformasyon (mm)
PE - Polietilen	53.96	15.14
ABS - Akrlnitril Bütadien Stirol	55.30	7.51
PA6-GF30 - Polyamid	56.38	1.78
PEEK - Polieter-eterketon	54.67	2.84
PLA - Polilaktik Asit	55.86	4.83
PVC - Polivinil Klorit	59.79	5.12

2.7. Modal Analiz Çalışması

Mekanik değerlendirme süreçlerinde yapının belirli bir etkiye dayanımı veya deformasyon yönünden cevabının yanı sıra titreşim ve doğal frekans yönünden de dikkate alınması gereken kısımlar mevcuttur. Bu çalışmada mekanik olarak incelenen model bir araca ait braket olduğu ve göreceli olarak aracın dış kısmına yakın bir bölgede bulunduğundan dolayı modal davranışının tespit edilmesi gerekmektedir. Modal incelemelerden alınacak cevap ile modelin doğal frekans değerleri belirlenebilmektedir. Aracın hava ortamında hareket etmesi esnasında dış ortamda oluşan türbülanslı akıştan dolayı araç dış yüzeyinin maruz kaldığı titreşimi iç kısımdaki braket modeline iletip tahrik oluşturma ve rezonans oluşum senaryosu için tahminsel veri sağlayabilecektir. Ele alınan braket modelinin modal analizinde 20 mod için elde edilen frekans ve deformasyon değerleri tablo 3'te paylaşılmıştır.

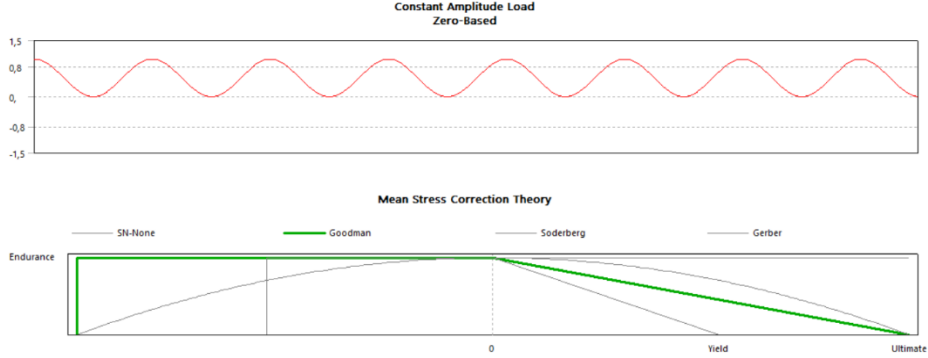
Tablo 3. Braket modeline ait 20 modlu frekans ve deformasyon dağılımı

Mod	Frekans (Hz)	Maksimum Deformasyon (mm)
1	21.54	109.07
2	30.59	140.67
3	37.05	69.11
4	42.92	195.60
5	58.93	69.75
6	62.07	195.78
7	66.19	80.77
8	78.84	354.22
9	80.01	358.74
10	83.17	137.88
11	92.55	195.07
12	100.23	146.59
13	106.48	116.56
14	114.74	209.13
15	117.76	112.71
16	122.82	255.43
17	137.91	265.29
18	140.67	133.98
19	143.20	293.69
20	145.92	237.85

2.8. Yorulma Analizi Çalışması

Parçaların tekrarlı yüke maruz kalmaları nedeniyle “yorulma ömrü” kavramı ortaya çıkmaktadır. Kullanım ömrü parça malzemesine ve yükleme esnasında parça üzerinde oluşan maksimum gerilim gibi parametrelere bağlı olmaktadır. Yorulma ömrü değerlendirmelerinde 1 – 10 milyon tekrar altındaki ömürlere “zaman mukavim”, üzerindeki ömürlere ise “sürekli mukavim” ismi verilmektedir. Değerlendirme kriterlerinde malzemenin mekanik davranışı dikkate alınarak Gerber, Goodman ve Soderberg olmak üzere 3 ayrı değerlendirme kriteri dikkate alınmaktadır. Genellikle Gerber ve Goodman göreceli olarak yumuşak malzemelerin, Soderberg ise göreceli olarak sert malzemelerin yorulma ömrü değerlendirmelerinde tercih edilmektedir. Bunların yanı sıra yorulma ömrü değerlendirmesinde yükleme statik, titreşimli, tam değişken ve birleşik olmak üzere 4 ayrı tipte ele alınmaktadır. Bu çalışmadaki braket modeli için değerlendirmeye alınan malzeme türleri göreceli olarak yumuşak malzeme olarak nitelendirilebileceği ve Gerber tipine göre daha emniyetli olduğundan dolayı Goodman ortalama

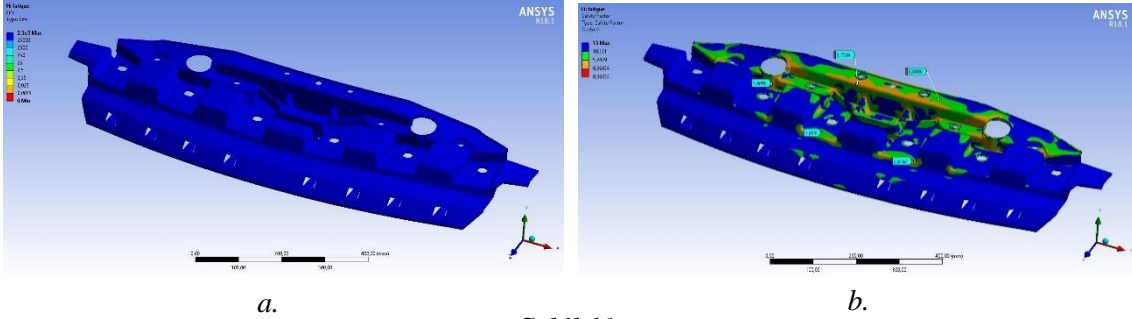
gerilim teorisi dikkate alınmış olup kuvvetlerin tek yönde etki edeceği değerlendirilerek titreşimli (zero-based) yük tipi seçilmiştir. Yorulma ömrü için seçilen ayarlar şekil 10’da paylaşılmıştır.



Şekil 10:

Yorulma ömür değerlendirmesinde yük tipi (üst) ve ortalama gerilim teorisi grafikleri (alt)

Gerçekleştirilen yorulma ömür tespiti çalışmasında referans malzeme olan polietilenin ömür – gerilim grafiğinden yararlanılarak braket modeline ait ömür ve emniyet katsayısı dağılımı belirlenmiştir. Şekil 11a’daki görselde de görüldüğü üzere yapının tamamı mavi renge sahip olmakta ve ölçekte yer alan sayısal değere göre 250000 ömür çevrimine sahip olduğu anlaşılmaktadır. Emniyet katsayısı dağılımı ise şekil 11b’de görüldüğü üzere 2 ile 15 arasında değişmektedir. Braket üzerinde bazı bölgelerde birim eleman kaynaklı olarak noktasal gerilim yükselmeleri mevcut olduğundan dolayı bahsedilen bölgeler için emniyet katsayısı 1 in altına inmiştir.



Şekil 11:

Tasarımı iyileştirilmiş modele ait yorulma analizi sonucu
a. Yorulma analizi ömür b. güvenlik katsayısı sonucu

2.9. Kalite fonksiyon yayılımı (KFY)

Kalite fonksiyon yayılımı, ürün tasarımı için kritik konuları ve sorun niteliği barındırabilecek noktalar hakkında karar verebilecek bir yöntemdir (TheAtlas, 2023). Tasarım gereksinimlerini geliştirmek için kullanıcı ihtiyaçları, mühendislik özellikleri ve tasarım gereksinimleri arasındaki boşluğu kapatmak gerekmektedir. Süreç içerisinde kullanıcı gereksinimlerinin toplanması, verilerin filtrelenmesi ve gereksinimlerin doğrudan kullanıcı tarafından oluşturulması aşamaları bu işlemin aşamalarındandır. (TheAtlas, 2023)

Çalışmada braket modeli için tasarım sürecinde hangi konuların hem kullanıcı hem de mühendislik açısından önemli olduğunun belirlenmesi amacıyla kalite fonksiyon yayılımından yararlanılmıştır. 5 madde kullanıcı tarafından 5 madde ise mühendislik açısından tespit edilen konular bir braket modeli için değerlendirilmiştir. Değerlendirme tablosuna ait görsel şekil 12’de paylaşılmıştır. Yapılan değerlendirme çalışmasında hem mühendislik hem de kullanıcı skoru

yüksek ortak olan maddeler dikkate alınıp kritik konular tespit edilmiştir. Tabloya göre bir braket modeli için hafiflik ve kolay montaj konuları en yüksek skorlu maddeler olup bu konular bir braket tasarımında ön planda tutulması gerekmektedir.

Derecelendirme			Mühendislik Karakteristiği											
Güçlü ilişki	●	9	Yeterli Dayanım	Yeterli Parça Ömrü	Ürün Güvenilirliği	Tasarımsal Basitlik	Ürün kalitesi							
Orta ilişki	○	3	Kullanıcı Talebi	Hafiflik	Kolay Üretim	Uygun Maliyet	Kolay Montaj	Görsel Estetik						
Zayıf ilişki	△	1												
									●	○	△	△	△	15
									△	△	△	△	○	7
									○	△	●	△	△	15
									△	△	△	●	○	15
			△	△	△	○	○	9						
			Mühendislik Skoru	15	7	13	15	11						

Şekil 12:
Kalite fonksiyon yayılımı tablosu

3. BULGULAR

Bu çalışmada bir otomobile ait ön tampon ile kaput arası bağlantı braketinin mekanik yönünden nümerik değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir. Mekanik değerlendirme süreci ele alınan parçanın çeşitli yönlerden birden fazla koşula karşı yeterli dayanımı sağlayabilme kabiliyetinin araştırılmasını içermektedir. Bununla birlikte elde edilen bulgular üzerinden yorum ve öneriler de ortaya konulmuştur. Çalışma içerisinde ele alınan braket modeli üzerinde sonlu elemanlar yöntemi yardımıyla statik yapısal analiz, modal analiz ve yorulma analizi gerçekleştirilmiş olup bunların haricinde sonlu elemanlar yöntemi için ağ yakınsama, tasarımsal iyileştirme ve malzeme kıyaslama çalışmaları yapılmıştır.

Gerçekleştirilen statik analiz ve iyileştirme çalışmaları ile ilk braket modelindeki 58.88 MPa maksimum gerilim 53.96 MPa'a, düşey doğrultulu deformasyon miktarı 19.696 mm'den 15.143 mm'ye indirilmiştir.

PE referans olmak üzere toplamda 6 farklı malzemenin aynı sınır şartlarıyla braket üzerinde test edilmesi sonucunda PA6 ve PEEK malzemelerin deformasyon yönünden en düşük sonucu verdiği ve gerekli rijitliğin sağlandığı görülmüştür.

Modal analiz çalışmasında braket parçasının ilk 20 modundaki frekans değerleri ortaya çıkarılarak yapının rezonans ve deformasyon durumu ile ilgili temel veriler elde edilmiştir. Elde edilen frekans değerleriyle braket modelinin dış ortamdan maruz kaldığı tahrik frekansının değerlendirilmesi rahatlıkla yapılabilecektir. Tasarım ve konumlandırma çalışmaları için ele alınan braket modelinin kullanılacağı koşullar değerlendirildiğinde elde edilen değerlere maruz bırakılmayacak şekilde kullanım koşullarının oluşturulması rezonans durumunu ortadan kaldıracaktır.

Yapılan yorulma ömrü değerlendirmesinde yapının zaman mukavim olduğu görülmüştür ve noktasal gerilim yükselmelerinin haricindeki yapı genelinin 2 ile 15 aralığında emniyet katsayısına sahip olduğu ortaya çıkarılmıştır. İleri çalışmalarda hasar oluşum başlangıcı döngüsünün de ortaya çıkarılması ürün güvenilirliğini daha da artıracaktır.

Kalite fonksiyon yayılımı yöntemiyle bir braketin tasarım sürecinde kullanıcı talebi ve mühendislik çalışma konuları arasında önemli rol oynayan konular tespit edilip tasarım süreçlerine yön verecek veriler elde edilmiştir. Kalite fonksiyon yayılımı yönteminde göre bir braket için hafiflik ve kolay montaj konuları dikkat edilmesi gereken konular olarak ortaya çıkmıştır.

4. SONUÇ

Bu çalışma ile bir braket modelinin kapsamlı mekanik değerlendirilmesi gerçekleştirilip ürün güvenilirliği ortaya konulmuştur. Ortaya çıkan olumsuz durumlar gelecek çalışmalara yön göstererek doğruluğu artırılmış ürünün elde edilebilmesini kolaylaştırarak maliyet ve zaman tasarrufunu sağlayacaktır.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

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

YAZAR KATKISI

Efe Savran, veri toplama, kurgu ve yorumlama, Sinan Vargelci, veri toplama, Lino Catenaro, endüstriyel değerlendirme, Fatih Karpat, akademik değerlendirme ve yönetim.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada 119C154 proje koduyla destek sağlayan TÜBİTAK'a ve özverili katkılarından dolayı Furkan Karagülle'ye, Eren Dülger'e ve Melik Aybars Sarı'ya teşekkür ederiz.

Texas Tech Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden sayın Prof. Dr. Atila ERTAŞ'a katkılarından dolayı teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKLAR

1. Annanto, G.P., Rifky, I., Ismoyo H., Mochammad A., Kharisma A.P. ve Kirana A.P. (2019) Numerical Analysis of Stress and Displacement on the Index Finger of the Prosthetic Hand Due to Hook Position, *AIP Conference Proceedings*, Indonesia, 2114(September). doi: 10.1063/1.5112461.
2. Chen, D.C., Bo Y.L. ve Fu Y.G. (2017) Simulation Analysis of Turbine Blade in 3D Printing Aquarium, *MATEC Web of Conferences*, Taiwan, 4–8. doi: 10.1051/mateconf/201712300008.
3. Dhande, K.K., Jamadar, N.I. ve Ghatge, S. (2014) Conceptual Design and Analysis of Brake Pedal Profile, *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 03(11), 17432–17441. doi: 10.15680/ijirset.2014.0311048.
4. Ekmekçi, S. (2019) 1.5L Dizel Motorlar İçin Motor Bağlantı ve Askı Braketi Tasarımı ve Analizi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul
5. Elhüseyni, F. (2006) Ağır Ticari Araç Arka Süspansiyon Braketi Dizaynı ve Analizi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya
6. Khalajmasoumi, M., Koloor, S.S.R., Arefnia, A., Ibrahim, I.S. ve Mohd Yatim, J. (2012) Explicit Dynamic Simulation of High Density Polyethylene Beam Under Flexural Loading Condition. *Applied Mechanics and Materials*, 229–231(7), 2150–2154. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.229-231.2150.

7. Mavuşoğlu, B. (2013) Hava Tüpü Braketleri Yapısal Dayanım Analiz ve Testi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul
8. Öztürk, U.E. (2016) Döküm Braketlerin Bilgisayar Destekli Tasarım Eniyilemesi İçin Yeni Bir Yaklaşım. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 18(54), 521–534. doi: 10.21205/deufmd.2016185419.
9. Savran, E., Çakarar, Ç., Şener, F.B. ve Karpat, F. (2022) Cross-Sectional Shape Comparison in Corrugated Plates. *Journal of Advanced Materials Science and Engineering*, 2(1), 1-8. doi: 10.33425/2771-666X.1012.
10. Savran, E., Vargelci, S., Catenaro, L. ve Karpat, F. (2022) Otomobil Ön Tampon Braketinde Tasarım İyileştirmesi. *European Journal of Science and Technology* 45(1), 120–125. doi: 10.31590/ejosat.
11. Sunar, Ö. (2021) Arc Damage Identification and Its Effects on Fatigue Life of Contact Wires in Railway Overhead Lines. PhD Thesis. University of Sheffield.
12. <https://www.theatlas.org/spring22/engineering/#/ro>, Erişim tarihi: 09.05.2023, Konu: *Platform for Integrated Transdisciplinary Design Toolkit*.
13. Ward, J., Harwood, C.M. ve Young, Y.L. (2016) Inverse Method for Determination of the In Situ Hydrodynamic Load Distribution in Multi-Phase Flow Hydroelastic Response of Flexible Surface-Piercing Bodies in Multi-Phase Flows View Project Structural Mechanics View Project, *31st Symposium on Naval Hydrodynamics*, California, 1-19.
14. Yaman, Y., Tunçöz, İ.O., Yang, Y., Arslan, P., Kalkan, U., Tıraş, H., Gürses, E., Şahin, M., ve Özgen, S. (2015) Decamber Morphing Concepts by Using a Hybrid Trailing Edge Control Surface. *Aerospace* 2(3):482–504. doi: 10.3390/aerospace2030482.
15. Zhang, Z., Songlin N., Wuju L., Lei L. ve Shaohua Y. (2014) Tribological Behaviors of Carbon Fiber Reinforced Polyetheretherketone Sliding against Silicon Carbide Ceramic under Seawater Lubrication. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*, 228(12), 1421–1432. doi: 10.1177/1350650114541108.

