



Otomobil Ön Tampon Braketinde Tasarım İyileştirmesi

Efe Savran¹, Sinan Vargelci², Lino Catenaro³, Fatih Karpat^{4*}

¹ Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-9518-6498), efesavran@uludag.edu.tr

² STEP Turkey, Dış Trim Yöneticiliği, Bursa, Türkiye (ORCID: 0000-0003-4353-4865), sinan.vargelci@step-tr.com

³ STEP Turkey, Genel Müdürlük, Bursa, Türkiye (ORCID: 0000-0002-3180-5667), lino.catenaro@step-tr.com

^{4*} Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-8474-7328), karpat@uludag.edu.tr

(1st International Conference on Engineering, Natural and Social Sciences ICENSOS 2022, December 20 - 23, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1219759)

ATIF/REFERENCE: Savran, E., Vargelci, S., Catenaro, L. & Karpat, F. (2022). Otomobil Ön Tampon Braketinde Tasarım İyileştirmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (45), 120-125.

Öz

Otomobil parçaları dinamik yüke maruz kalan yapısal elemanlardır. Yapı geneli için tolerans dâhilinde zamanla deformasyon veya konum değişikliği ortaya çıkabilmektedir. Belirlenen kısıtlar dışına çıkma durumuna önlem amacıyla parçalar için tasarım iyileştirmesi gerekmektedir. Bu çalışmada bir otomobil ön tampon braketinin deformasyon ve kütle azaltımı hedefiyle tasarım iyileştirmesi gerçekleştirilmiştir. Toplamda 4 aşamadan oluşan iyileştirme süreci sonunda ilk braket modeline göre gerilim değerinde %42,7 azalma, deformasyon değerinde %48 azalma ve kütle değerinde de %18,5 azalma gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Braket, Otomobil ön tampon, Tasarım, Sonlu elemanlı analizi, Hafifletme.

Design Improvement on Automobile Front Bumper Bracket

Abstract

Auto parts are structural elements subjected to dynamic load. Deformation or change of position may occur over time within the tolerance for the overall structure. Design improvement is required for parts in order to prevent going out of the determined constraints. In this study, a design improvement was carried out with the aim of reducing deformation and mass reduction of an automobile front bumper bracket. At the end of the improvement process consisting of 4 stages in total, a 42.7% decrease in maximum stress value, 48% decrease in deformation value and 18.5% decrease in mass value was achieved compared to the first bracket model.

Keywords: Bracket, Automobile front bumper, Design, Finite element Analysis, Lightweight.

1. Giriş

Otomobiller birden fazla parçadan oluşan hareketli yapılardır. Bir bütünü ortaya çıkaran bu parçalar farklı geometrilerde ve farklı malzemelerden oluşmaktadırlar. Parçaların birbirleriyle temasta olması ve ortak hareket etmeleri yapısal rijitlik ve dayanım durumlarının dikkate alınmasını gerektirmektedir. Bununla birlikte firmaların enerji tüketimi açısından da gelişim göstermek için rekabet içerisinde oldukları genel bilinirliktedir ve bunun için hafif parça kullanımına özen göstermektedirler.

Hafif olmasına dikkat edilen otomotiv parçalarından bir tanesi braketlerdir. Braketler genel anlamda iki farklı yapı

arasında kuvvet aktarımı bakımında köprü görevi gören parçalardır. Bir motor braketini motor için hem konum koruma için kullanıldığı gibi konfor ve yapısal dayanım açısından titreşim sönmüleyici olarak da görev yapmaktadır. Benzer şekilde ön tampon montaj braketini plastik malzemeli ön tampon ile çamurluk panelini yapısal olarak birbirine bağlayan braketler de mevcuttur.

Dalmış ve diğ. (Dalmış et al., 2017), bahçe tipi traktörlerde 3 noktalı kaldırma sistemindeki braketin yorulma performansını sonlu elemanlı analizi ve deneysel olarak incelemişlerdir. Deneysel çalışma esnasında hidrolik silindiri tutan braketin 11218. çevrimde hasara uğradığını görmüşlerdir. Braket kalınlığının 12 mm'den 19 mm'ye artırılmasıyla ve GG25 malzemenin GG35 ile değiştirilmesiyle sorun çözümlenmiştir.

* Sorumlu Yazar: karpat@uludag.edu.tr

Öğüçlü ve Yıldırım (Öğüçlü & Yeldar, 2022), ticari faaliyet gösteren bir hurda kesme makinesine ağırlık azalma amacıyla topoloji optimizasyon çalışması uygulamışlardır. Çalışmaya konu olan makasın üst çene kısmı çelik malzemeden yapılmıştır. Sonlu elemanlar yönteminde modellenen üst çeneye 402124 N yük uygulanmıştır ve bağlantı noktasından silindirik mesnet tanımlanmıştır. Gerçek şartların karşılanması için düşey doğrultuda 9806,6 mm/s²'lik yer çekimi ivmesi de uygulanmıştır. Kesme işlemi kesilen malzeme ile temas halinde olan bıçak kısmına yer değiştirme tanımlanıp tepki kuvvetleri elde edilmiştir. Statik yapısal analizde gerilim ve deformasyon dağılımının elde edilmesinin ardından topoloji optimizasyon aşamasında %50 kütle azalımı hedefiyle 24 tekrar ile istenilen yapı ortaya çıkarılmıştır. Yapılan çalışmanın sonucunda deplasmanda yaklaşık %10 artış olurken, kütle miktarı yaklaşık %25 azalmıştır.

Albak (Albak, 2019), bir Formula SAE aracında ağırlık azaltma hedefiyle fren pedalında topoloji optimizasyon çalışması gerçekleştirmiştir. Pedal malzemesi olarak hafiflik, yeterli dayanım ve finansal durumdan dolayı alüminyum alaşımı tercih edilmiştir. Topoloji optimizasyonu için pedal boyutlarını dikkate alan bir blok parça oluşturulmuştur. Blok parçaya 2000 N kuvvet uygulanıp gerilim dağılımı elde edilmiştir. Gerilim dağılımına göre göreceli olarak yük olmayan bölgelerden malzeme boşaltımı işlemi olmak üzere 54 tekrarlama sonucunda topoloji optimizasyon çalışması sonlandırılmıştır. Çalışmanın sonucunda kütle olarak yaklaşık %11 azalış, gerilim olarak yaklaşık %6,5 artış ve deplasman olarak %4,6 azalış elde edilmiştir.

Doğan ve diğ. (Doğan et al., 2020), kütle azalımı hedefiyle bir kamyon fren pedalına topoloji optimizasyon çalışması uygulamıştır. 3000x30x18 mm ebatlarında olan ilk pedal modeli St37 malzeme ile statik yapısal analize dâhil edilmiştir. Modelin gerçek şartları karşılaması için pedal üst sabitleme değıline silindirik mesnet, alt sabitleme deliğine yay kuvveti ve alt yüzeyine ise 500 N yük tanımlanmıştır. Statik yapısal analizden gerilim dağılımının elde edilmesinin ardından topoloji optimizasyon çalışmasına geçiş yapılmıştır. Yük uygulama yüzeyi, mesnet delikleri ve yay kuvveti etkileyen yüzeyler malzeme boşaltımı dışında tutulacak kısımlar olarak seçilmiştir. Topoloji optimizasyonu sonucunda ortaya çıkan yapının optimum olup olmadığının tespit edilebilmesi için şekil optimizasyonu çalışmasına geçiş yapılmıştır. Bu aşamada pedal dış kalınlığı ile boşaltım yapılmış kısımdan kalan yan yüzey kalınlığı temel parametrelerdir. Şekil optimizasyonu sonucunda pedal dış kalınlığı 2,3 mm, iç yan yüzey kalınlığı ise 2 mm olarak belirlenmiştir. Çalışmanın genel sonucunda ise %50 daha hafif bir pedal ortaya çıkarılmıştır.

Kirthana ve Nizamuddin (Kirthana & Khaja Nizamuddin, 2018), motor braketini tasarım iyileştirmesi çalışması yapmışlardır. Statik yapısal analiz için aynı sınır şartlarını braket modelinin farklı malzemeli çeşitlerine uygulayarak malzeme tespiti yapmışlardır. Burada kıyaslama için gri dökme demir, alüminyum silikon karpit ve alüminyum 5052 alaşımı tercih edilmiştir. 2 aşamalı tasarım değışikliği metodolojisi uygulayıp statik analizleri tekrarlamışlardır. Nihai tasarım ve Alüminyum 5052 alaşımıyla en hafif yapı elde edilmiştir.

Bu çalışmada bir otomobil ön tampon braketinin tasarım iyileştirmesi 4 aşamada gerçekleştirilmiştir. Aşamalarda iyileştirme durumunun görülebilmesi için statik yapısal analiz çalışmaları yapılmıştır. Birinci iyileştirme aşamasında braket üst uç bölgesindeki göreceli olarak yüksek deformasyon azaltılmış,

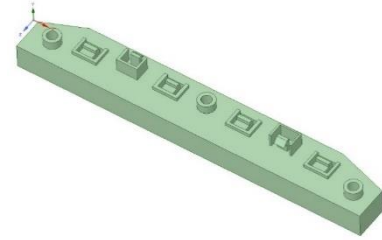
ikinci iyileştirme aşamasında malzeme yönünden tespit ve optimizasyonu gerçekleştirilmiştir, üçüncü iyileştirme aşamasında yapı genelindeki yüksek deformasyon değıerinin azaltılması için braket iç kısmına destekleyici duvarlar eklenmiş ve istenilen durum elde edilmiştir, dördüncü iyileştirme aşamasında ise elde edilen son braket modelinde ilk modele kıyasla kütsel artış meydana geldiğinden dolayı hafifletme amaçlı yüksekliği azaltılmıştır ve dayanımsal açıdan da bir sorun görülmeyerek tasarım iyileştirme çalışması sonlandırılmıştır. Bu çalışma ile hafif, yeterli dayanıma sahip ve deformasyonu azaltılmış bir braket tasarımı elde edilmiştir.

2. Materyal ve Metot

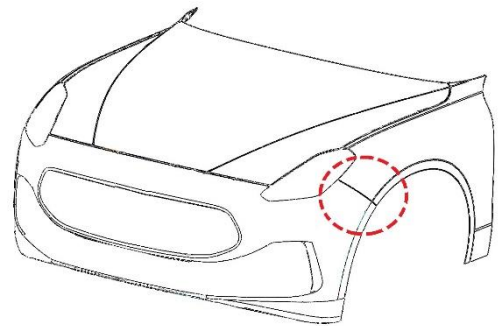
2.1. Model İncelemesi

Çalışmaya konu olan otomobil ön tampon braketini, ön tampon bağlantı bölgesi ile araç çamurluk paneli arasında bağlantı ara parçası olarak görev yapmaktadır. Braket, çamurluk paneline 2 adet ile tampon kısmına ise 4 adet bağlantı pini ile montajlanmaktadır. Pinlerin haricinde montaj rijitliğinin artırılması için 3 adet perçin montajı yapılmıştır.

Ara bağlantı braketini, 230 mm uzunluğunda, 15 mm yüksekliğinde ve 30 mm genişliğindedir. Perçin delikleri 6 mm çapında olup tampon bağlantı pinlerinin genişliği 7 mm, çamurluk tarafı ise 5 mm dir. Brakete ait görsel şekil 1'de, araç üzerindeki konumu ise şekil 2'de kırmızı çizgi ile görülmektedir.



Şekil 1. Ara bağlantı braketine ait görsel



Şekil 2. Braket araç üzeri konumu

2.2. Sonlu Elemanlar Yöntemi

Braketin tasarım iyileştirmesi için sonlu elemanlar yönteminden (SEY) yararlanılmıştır. Çalışmanın gerçekleştirilmesinde kullanılan sonlu elemanlar yöntemi temel olarak 3 ana probleme cevap bulabilmektedir. Bunlar sırasıyla; denge problemleri, yayılma problemleri ve özdeğer problemleridir (İrsel, 2007). Çözüm sistemi gereğı sonlu elemanlar yöntemi, uygun boyutlardan oluşan birim elemanlar üzerindeki yüklem tiplerine karşılık yer değıştirme miktarını ve gerilim değıerlerini ortaya koyabilmektedir. Bu sonuca Hooke

kanunu gereğince birim elemanın rijitlik değerini dikkate alarak ulaşmaktadır. Doğadaki her maddenin bir yay karakteristiğine sahip olduğu düşüncesiyle parçaya gelen etki değerine cevaben şekil değişikliği oluşmaktadır. Şekil 3'te SEY'de yük tiplerine bağlı olarak birim çubuk elemanda ortaya çıkacak olan şekil değişim miktarlarını gösteren matris formu görülmektedir.

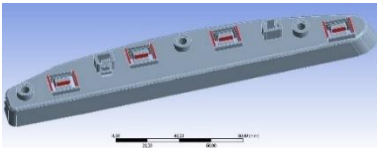
$$\begin{bmatrix} F_1 \\ Q_1 \\ M_1 \\ T_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{AE}{L} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} & 0 \\ 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{GJ}{L} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ \theta_1 \\ \phi_1 \end{bmatrix}$$

Şekil 3. SEY örnek çözüm sistemi

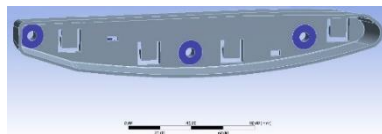
Bu çalışmadaki durum denge probleminde ait olduğundan dolayı deformasyon ve gerilim değerlerinin elde edilmesi için parçaya statik yapısal analizler uygulanmıştır. Bu analizlerin sonucunda deformasyon değerleri ve Von-Mises eşdeğer gerilim hipotezine göre gerilim değerleri tespit edilmiştir. Von-Mises eşdeğer gerilim değerinin belirlenmesine ait ifade denklem 1'de görülmektedir (Doğan et al., 2020).

$$\sigma_{eş} = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2}{2}} \quad (1)$$

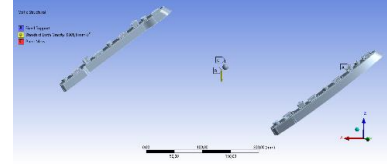
Analiz çalışması sırasında üretici firmanın regülasyonuna uygun olarak dinamik yüklerin etkisiyle birlikte en kötü senaryo koşulları dikkate alınarak braket ile tampon temas yüzeylerinden yük uygulanmıştır. Yük uygulanmış yüzeyler şekil 4'te görülmektedir. Braketin çamurluk paneliyle temasta olan pin yüzeyleri ve alt yüzeyde perçin ile temas halinde olan yüzeylere de sabit mesnet tanımlanmıştır. Sabit mesnet yüzeyleri şekil 5'te mavi renk ile gösterilmiştir. Kilogram biriminde noktasal yük uygulaması yapıldığından dolayı düşey ekseninde 9806,6 mm/s²'lik yer çekimi ivmesi tanımlanmıştır. Analizlere ait sınır şartları şekil 6'da görülmektedir.



Şekil 4. Yük uygulama Yüzeyleri



Şekil 5. Sabit mesnet uygulama yüzeyleri



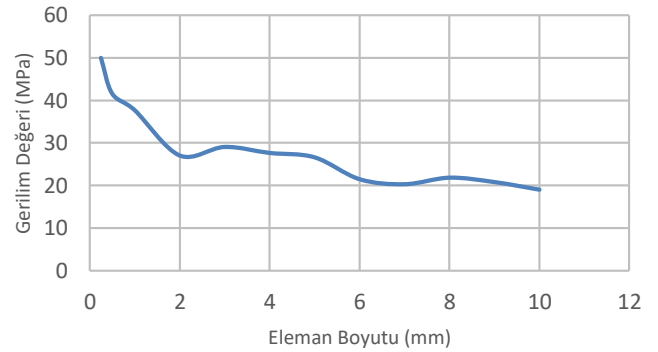
Şekil 6. Yapısal analiz sınır şartları

2.3. Ağ Yakınsama Çalışması

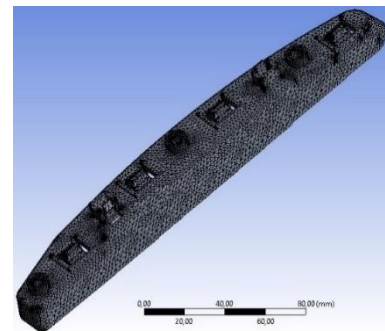
Sonlu elemanlar yöntemi bir bütünü uygun boyutlu parçalara ayrılıp incelenmesini gerçekleştirdiğinden dolayı bütünü hangi boyutlarda alt parçalara ayrılması önem arz etmektedir. Burada optimize edilecek olan birim eleman boyutu yapı için çok büyük seçildiğinde istenilen sonuçlar gereken detayda görülemeyecektir. Benzer şekilde birim eleman boyutunun çok küçük seçilmesi ise aynı şiddeteki yükün çok daha küçük bir yüzeye etkimesinden dolayı oluşacak gerilim değerinin olağandan çok yüksek çıkmasına neden olacaktır. Yapılacak yakınsama çalışmasında gerilim yükselmesine yakın bir eleman boyutunun seçimi hem istenen detay dağılımın görülmesini sağlayacak hem de değer olarak doğru sonuç elde edilebilecektir. Çalışmadaki braket parçası için yapılan yakınsamaya ait grafiksel gösterim şekil 7'de görülmektedir. Çalışmanın sonucunda göre 2 mm ve daha düşük boyutlardaki gerilim artış eğiminin arttığı görülerek birim eleman boyutu için 2 mm'ye karar verilmiştir. 2 mm birim elemanlı ağ örgüsünün görüntüsü şekil 8'de paylaşılmıştır.

Mesh işleminde kullanılan ayarlar ise aşağıdaki gibidir:

- Size Function: Adaptive
- Relevance Center: Fine
- Span Angle Center: Fine
- Transition: Slow



Şekil 7. Ağ yakınsama grafiği



Şekil 8. Ağ örgülü braket modeli

2.4. Malzeme

Otomobillerde düşük yakıt tüketimi hedefi hem rekabet hem de küresel zorunluluk anlamında yer almaktadır. Bu bağlamda teknolojik gelişmelerin yanında hafiflik de otomobillerde etkili bir parametredir. Otomotiv parçalarında yapılabilecek göreceli küçük bir değişiklik dahi seri üretim durumu dikkate alındığında büyük avantajlar sağlamaktadır. Bu çalışmadaki braket için plastik grubunun yoğunluk ve ağırlık avantajından yararlanmak için analiz çalışmalarında PE, ABS, PA6-GF30, PEEK, PLA ve PVC'den yararlanılmıştır. Malzemelere ait mekanik özellikler (Annanto et al., 2019; Chen et al., 2017; Dhande et al., 2014; Khalajmasoumi et al., 2012; Ward et al., 2016; Zhang et al., 2014) tablo 1'de paylaşılmıştır.

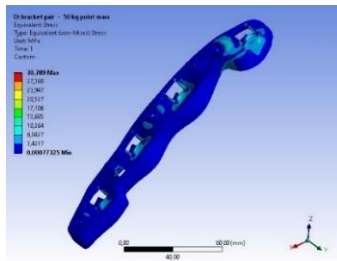
Tablo 1. Malzemelerin mekanik özellikleri

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

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

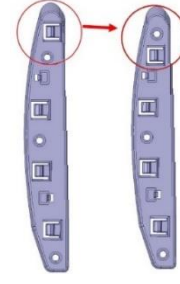
3.1. Birinci İyileştirme Çalışması

Yapısal analiz çalışmalarında ilk olarak temel braket modelinin incelenmesi gerçekleştirilmiştir. İlk modele ait gerilim ve deformasyon dağılımı sonucu şekil 9'da görülmektedir.



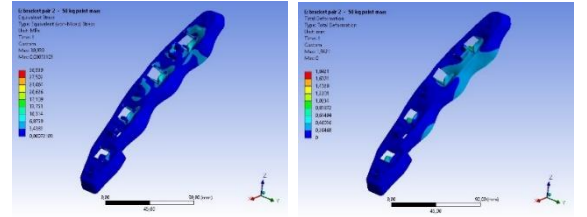
Şekil 9. İlk modele ait yapısal analiz sonucu

İlk model üzerinde yapılan incelemelerin ardından birinci tasarım değişikliği uygulanmıştır. İlk modelde yükün uygulama doğrultusu dikkate alınarak deformasyonu azaltıcı iyileştirme çalışması yapılmıştır. Yapısal tasarım değişikliği şekil 10'da gösterilmiştir.



Şekil 10. Birinci iyileştirme çalışması

Yapılan değişikliğin doğrulanması için ilk modelde uygulanan analiz modeli ikinci tasarıma da uygulanıp gerilim dağılımı ve deformasyon miktarı elde edilmiştir. İkinci modele ait yapısal analiz sonuçları şekil 11'de verilmiştir.



Şekil 11. Birinci iyileştirme çalışması sonuçları

3.2. İkinci İyileştirme Çalışması

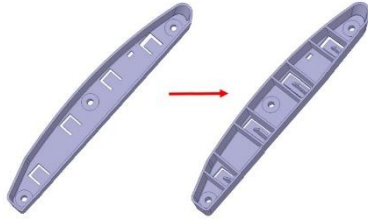
Çalışmada parça malzemesinde yapılabilecek değişiklikler ile iyileştirmenin devamını sağlamak adına aynı sınır şartları altında 6 farklı malzeme kullanılarak analizler tekrarlanmıştır. Malzeme farkına göre bulunan değerler tablo 2'de paylaşılmıştır. Yapılan malzeme değerlendirmesinde hafifliğin ön planda olması gerektiği bilinirliği üzerine polietilen malzemenin en düşük kütle değerine sahip olduğu bulunmuştur.

Tablo 2. Malzeme değerlendirme tablosu

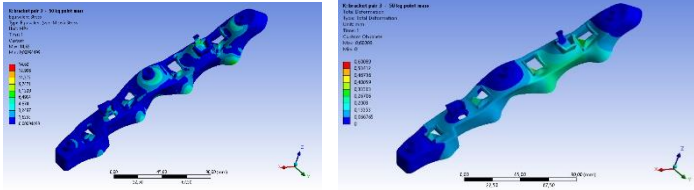
Malzeme	Gerilim (MPa)	Deformasyon (mm)	Kütle (kg)
PE	30.393	1.8421	0.027661
ABS	31.293	0.90709	0.030864
PA6-GF30	31.612	0.21396	0.040764
PEEK	31.124	0.34406	0.042219
PLA	31.456	0.5808	0.036105
PVC	32.808	0.59146	0.037852

3.3. Üçüncü İyileştirme Çalışması

Yapısal tasarım anlamında birinci iyileştirme çalışmasında yapılan değişikliklerin ardından deformasyon ve gerilim değerlerinin azaltılması için üçüncü iyileştirme çalışmasında braketin iç kısmına bağlantı pinlerinin kenarlarına ve orta kısmına 2 mm kalınlığında ara destek duvarları eklenmiştir. Yapılan değişikliğin doğrulanması için aynı sınır şartlarıyla yapısal analiz tekrarlanıp gerilim ve deformasyon değerleri elde edilmiştir. Bu aşamada gerçekleştirilen yapısal değişiklik şekil 12'de, tasarım doğrulama analizinin sonuçları ise şekil 13'te paylaşılmıştır.



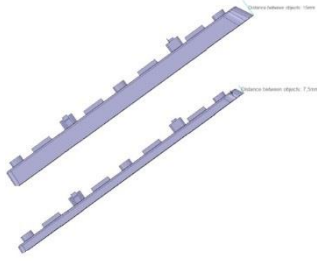
Şekil 12. Üçüncü iyileştirme çalışması



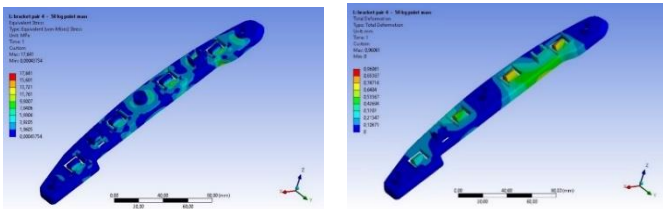
Şekil 13. Üçüncü iyileştirme çalışması sonuçları

3.4. Dördüncü İyileştirme Çalışması

İkinci braket modelinin doğrulama analizi sonuçlarında braket modelindeki 15 mm olan yüksekliğin 7.5 mm'ye indirilebileceği ve bununla birlikte gerilim ve deformasyon değerleri dikkate alınarak kütle değerinde azalma sağlanabileceği görülmüştür. Yükseklik değişimi şekil 14'te görülmektedir.



Şekil 14. Dördüncü iyileştirme çalışması



Şekil 15. Dördüncü iyileştirme çalışması sonuçları

4. Sonuç

Bu çalışmada, hafiflik ve yapısal dayanım hedefiyle bir otomobil ön tampon braketinde sonlu elemanlar yöntemi yardımıyla 4 aşamalı tasarım iyileştirme yapılmıştır. Tasarım iyileştirme sürecinin her aşamasında doğrulama analizleri yapılarak iyileştirme çalışmasının ilk modele göre farklılığı tespit edilmiştir. Yapısal tasarım değişikliğinin haricinde hafiflik hedefiyle farklı malzeme türlerinin de aynı sınır şartları altında analiz edilmesiyle iyileştirme çalışma kapsamı genişletilmiştir. Yapılan tasarımsal değişiklikler sonucunda elde edilen sonuçlar tablo 3'te özetlenmiştir.

Tablo 3. Sonuç tablosu

İyileştirme Çalışması	Sonuç
1	Braket uç kısmındaki deformasyon miktarı azaltıldı.
2	6 farklı malzeme çeşidi arasında Polietilenin en düşük kütleli sağladığı fakat en yüksek deformasyonu verdiği bulundu. Düşük deformasyon hedefi için Polyamid tercih edilmelidir.
3	İç destek duvarlarının eklenmesiyle ilk modele kıyasla gerilimde %52,5 azalma, deformasyonda %68 azalma, kütlede %20 artış meydana geldi.
4	Parça yüksekliğinin yarıya indirilmesiyle ilk modele göre gerilimde %42,7 azalma, deformasyonda %48 azalma, kütlede %18,5 azalma meydana geldi.

5. Teşekkür

Bu çalışmada 119C154 proje koduyla destek sağlayan TÜBİTAK'a ve özverili katkılarından dolayı Furkan Karagülle'ye, Eren Dülger'e ve Furkan Eren Çilek'e teşekkürlerimizi sunarız.

Kaynakça

- Albak, E. İ. (2019). Formula SAE Aracında Ağırlık Azaltılmasına Yönelik Fren Pedalının Topoloji Optimizasyonu Yöntemiyle Optimum Tasarımı. *Uluslararası Muhendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 328–334. <https://doi.org/10.29137/umagd.467057>
- Annanto, G. P., Ismail, R., Haryanto, I., Ariyanto, M., Pambudi, K. A., & Pranoto, K. A. (2019). Numerical analysis of stress and displacement on the index finger of the prosthetic hand due to hook position. *AIP Conference Proceedings*, 2114(September). <https://doi.org/10.1063/1.5112461>
- Chen, D. C., Lai, B. Y., & Gao, F. Y. (2017). Simulation analysis of turbine blade in 3D printing aquarium. *MATEC Web of Conferences*, 123, 4–8. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201712300008>
- Dalmış, İ. S., Tezcan, O., & Eruslu, S. Ö. (2017). Fatigue life enhancement of three point hitch system brackets in the garden series tractors. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 23(2), 185–194.
- Dhande, D. K. K., Jamadar, P. N. I., & 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. <https://doi.org/10.15680/ijirset.2014.0311048>
- Doğan, O., Kalay, O., Kartal, E., & Karpat, F. (2020). Optimum Design of Brake Pedal for Trucks Using Structural

Optimization and Design of Experiment Techniques.
*International Journal of Automotive Science And
Technology*, 4(4), 272–280.
<https://doi.org/10.30939/ijastech..783552>

- İrsel, G. (2007). *Dişli Benzeri Parçaların Ekstrüzyonunda Değişik Ekstrüzyon Oranlı Parçaların Sonlu Elemanlar Analizi*.
- Khalajmasoumi, M., Koloor, S. S. R., Arefnia, A., Ibrahim, I. S., & Yatim, J. M. (2012). Explicit dynamic simulation of high density polyethylene beam under flexural loading condition. *Applied Mechanics and Materials*, 229–231(July 2015), 2150–2154.
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.229-231.2150>
- Kirthana, S., & Khaja Nizamuddin, M. (2018). Finite element analysis and topology optimization of engine mounting bracket. *Materials Today: Proceedings*, 5(9), 19277–19283. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.06.286>
- Öğüçlü, Ö., & Yeldar, Ç. (2022). Geri dönüşüm makinalarında topoloji optimizasyonu ile ağırlık azaltma uygulaması. *4th International Congress on Engineering Sciences and Multidisciplinary Approaches*.
- Ward, J., Harwood, C. M., & 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*. December.
<https://www.researchgate.net/publication/308627046>
- Zhang, Z., Nie, S., Liao, W., Li, L., & Yuan, S. (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.
<https://doi.org/10.1177/1350650114541108>