

CAM ELYAF TAKVİYELİ KOMPOZİT YAPIDA TERMOPLASTİK POLİMER MALZEME İLE ÜRETİLEN SÜSPANSİYON PİSTONUNUN ANALİZİ VE ÜRETİMİ

Anıl ŞEKER

anilseker@hotmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7460-0151>

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya, Kütahya, Türkiye

Furkan DEĞİRMENCİOĞLU

furkandegirmencioglu45@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0008-4835-1842>

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

ÖZET: Hızla değişen otomotiv sektöründe, ağır vasıta araçlarının hafifletilmesi, emisyon değerlerinin azaltılması ve enerji verimliliğinin artırılması büyük bir önem taşımaktadır. Bu hedeflere ulaşmak için takviyeli poliamit malzemelerin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Bu malzemeler, yüksek mukavemet/ağırlık oranına sahip olmalarıyla dikkat çekiyorlar ve otomotiv endüstrisinde tercih edilmektedirler. Poliamitler, geri dönüştürülebilir termoplastik polimer malzemem olmalarıyla çevre dostu bir seçenek sunmaktadırlar. Özellikle cam elyaf takviyeli poliamitler, hem dayanıklı hem de hafif malzemelerin elde edilmesini sağlamaktadırlar. Bu çalışmada, ağır ticari araçlarda kullanılan hava süspansiyon körüğünün araç alt dingil bağlantısını gerçekleştirmeye yarayan süspansiyon pistonunun, geleneksel soğuk metal şekillendirme yerine hammaddesi cam elyaf takviyeli termoplastik kompozit malzemeden üretimi gerçekleştirilmiştir.

ANAHTAR KELİMELE: Kompozit Malzeme, Süspansiyon Pistonu, Termoplastik Polimer

ANALYSIS AND PRODUCTION OF SUSPENSION PISTON PRODUCED WITH GLASS FIBER REINFORCED COMPOSITE THERMOPLASTIC POLYMER MATERIAL

ABSTRACT: In the rapidly changing automotive industry, it is of great importance to lighten heavy vehicles, reduce emission values and increase energy efficiency. To achieve these goals, the use of reinforced polyamide materials is becoming increasingly common. These materials stand out for their high strength-to-weight ratio and are preferred in the automotive industry. Polyamides offer an environmentally friendly option as they are recyclable thermoplastic polymer materials. In particular, glass fiber reinforced polyamides provide both durable and light materials. In this study, the suspension piston, which is used to connect the lower axle of the air suspension spring used in heavy commercial vehicles, was produced from glass fiber reinforced thermoplastic composite material instead of traditional cold metal forming.

KEYWORDS: Composite Material, Suspension Piston, Thermoplastic Polymer

Date of Submission: 14.11.2023

Date of acceptance: 22.12.2023

<https://doi.org/10.5281/zenodo.10446647>

1. GİRİŞ

Dinamik ve hızlı gelişen otomotiv sektöründe gün geçtikçe sürekli artış göstermekte olan performans talepleri, çevresel risklerin azaltılması ve sürdürülebilir enerji yaklaşımları ve üretimde kullanılacak malzemelerin mekanik özelliklerinin geniş bir skalada olması gerekmektedir (Anand ve Dutta,2013). Bu beklentiyi karşılamak ise geri dönüştürülebilir malzeme kullanmak ve emisyon değerlerini düşürmek gibi eylemlerle mümkündür. Emisyon değerlerini düşürmenin yollarından bir tanesi de aracı oluşturan parçalarda hafifletme çalışmaları yapmaktır. Polimer matris esaslı kompozit malzemelerin kullanımı, mühendislik problemlerinin aşılmasına imkân verdiğinden dolayı endüstride kullanımları yaygın hale gelmiştir (Özdemir v.d.,2021).

Kompozit malzemeler, çok güçlü ve sert olmalarıyla birlikte aynı zamanda çok hafif olmaları nedeniyle endüstri için kullanışlı malzemelerdir. Mukavemet/ağırlık ve sertlik/ağırlık oranları çelik veya alüminyumdan daha yüksek olabilmekte ve ayrıca metaller, seramikler veya polimerlerle tek başına elde edilemeyen mekanik özellik kombinasyonlarını elde etmek mümkün olabilmektedir (Malhotra v.d., 2012). Kompozit malzemeler, sayısı birden fazla olan bileşenlerin mikro veya makro seviyede bir araya getirilmesiyle oluşan malzemelerdir (Karakoç,2009). Kompozit malzemeler, genellikle matris, takviye

ve dolgu bileşenlerinden oluşmaktadır (İlhan ve Feyzullahoğlu,2019). Termoset matrisler, ucuz ve kalıplama teknolojilerine uygun olmalarıyla endüstride tercih edilmektedirler. Fakat termoset malzemelerin geri dönüştürülmesi ve tekrar kullanılması ise, termoplastik malzemelere kıyasla farklı ve karmaşık geri dönüşüm süreçleri içermektedir (Yang vd. 2012, Asmatalu vd. 2014). Termoplastik matrisler ise termoset matrislerin aksine geri dönüştürülebilir malzemelerdir. Termoplastik malzemeler, üretimin sonunda da sıcaklık değerlerinde değişiklikler yapılarak tekrardan form verilebilir hale getirilebilmektedir. Sıcaklık değerlerinde meydana gelen değişiklikler sonucunda termoplastik matrislerin sadece fiziksel özellikleri değişmekle birlikte, kimyasal özelliklerinde bir değişiklik olmamaktadır (Özer,2015).

Polimer matris esaslı kompozitler, mühendislik problemlerinin aşılmasına imkân verdiğinden dolayı son yıllarda popüler hale gelmiştir (Özdemir v.d., 2020). Matris malzemesi yüksek sıcaklıklardaki davranışına göre termoset ve termoplastik polimerler olarak sınıflandırılır. Termoset malzemelerin üstün gerilme ve sıcaklık dayanımları olmasına rağmen üretime yatkınlığı azdır ve geri dönüştürülemezler. Termoplastikler ise geri dönüştürülebilir ve seri üretime uyarlanabilir olmasından dolayı günden güne kullanımları artmaktadır. Termoset ve termoplastik polimerlere ilave olarak ise cam fiber, karbon fiberler, alümina fiberler, aramid fiberler ve bor fiberler kullanılmaktadır.

Cam elyaf, takviye malzemeleri arasında gösterdikleri önemli mekanik ve kimyasal özellikleriyle kompozit malzemelerde yaygın olarak yer alır (Deogonda ve Vijaykumar, 2013). Cam elyaf takviyeli plastik kompozit malzemeler; özgül dayanımlarının ve özgül sertlik değerlerinin yüksek olması, ve hafif olmalarıyla birlikte uzay, havacılık, otomotiv ve diğer endüstriyel uygulamalarda bu malzemeye olan ilgi artmaktadır (Smith,1999).

Termoplastik malzeme çeşitlerinden bir olan cam elyaf takviyeli PA66 malzemesi, yüksek sıcaklık ve basınçlarda, soğutucu sıvılara dayanıklı olduğu için otomobil radyatör tankı üst kapak ve termostatlarda kullanılmaktadır (Gür,2011). Epoksi bağlayıcılara dayalı cam elyaf takviyeli plastikler havacılık sektöründe sıklıkla kullanılmaktadır. Bu malzemeler, uçak yapılarının farklı bölümlerini oluşturmak için ideal bir seçenek oluşturmaktadır. Özellikle düşük sıcaklıkta dahi mükemmel performans göstermeleri ve zorlu koşullarda dayanıklılıklarını korumaları önemli avantajlar sunmaktadır. Hafiflik, dayanıklılık ve geniş sıcaklık aralığında çalışabilme kabiliyetleri, uçak yapılarının güvenliği, verimliliği ve uzun ömürlülük açısından büyük bir değer taşımakta olduğundan havacılık endüstrisi için kritik önem taşımaktadır (Sokolov v.d., 2015).

Mortazavian ve Fatemi, kısa cam lifi ile kuvvetlendirilen termoplastik kompozit malzemelerin çekme kuvvetinin yöne bağlı olarak değişmesini incelemişler ve enjeksiyon kalıplamada akışın yönünde malzemenin çekme dayanımı yüksek çıkmıştır (Mortazavian ve Fatemi, 2015). Toptaş ve Fındık, sonlu elemanlar yöntemini kullanarak, fiberlerle güçlendirilmiş termoplastik matrisli ve dikdörtgen delikli çelik kompozit plakaların elastik gerilme, kalıcı deformasyon ve plastik şekil değiştirmesini incelemişler ve karbon, cam ve karbon-cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerde en yüksek mukavemet değerinin üç modelin içinde karbon-cam elyaf takviyeli kompozit modelde olduğu gözlemlenmiştir (Toptaş ve Fındık, 2023). Tan yaptığı çalışmada poliamid 66+PA6I/6T enjeksiyon kalıplama parçalarının çarpılma, hacimsel büzülme ve çevrim süresi üzerindeki etkilerini belirlemek için RSM ve GWO yöntemlerini kullanarak optimize edilen tasarım değişkenleriyle, polimer kompozitin amaç değerleri ve çekme modülü arasındaki etkileşimi araştırmış ve her iki optimizasyon yöntemiyle elde edilen sayısal değerlerle test numuneleri üzerindeki artık gerilmeler azaldığı sonucunda ulaşmıştır (Tan,2020). Tüzemen ve arkadaşları, alüminyum alaşımı ve PA66+PA6-HI cam elyaf takviyeli plastik matris kompozit malzeme olmak üzere iki farklı malzeme üzerinde çalışmışlardır. Kompozit malzemeli tasarımın hem mekanik hem de hafiflik hususlarını karşıladığı sonucunda ulaşmışlardır (Tüzemen v.d., 2015)

Kompozit malzemeler hakkında yapılan çalışmalarda sonlu elemanlar yönteminin sıklıkla kullanıldığı görülmektedir. Sonlu elemanlar yönteminin genel prensibi parçadan bütüne gitmektir (Liu ve Quek,2003). Sonlu elemanlar analizi; mühendis ve bilim insanlarına, karmaşık geometrilerin veya yapıların imal edilmeden önce gerçek dünyadaki fiziksel etkilere nasıl tepki vereceğini önceden analiz ederek yardımcı olmaktadır (Damlar v.d., 2014). Günümüz endüstrisinde sonlu elemanlar analizi, kaliteyi optimize etmek ve bileşenlerin maliyetlerini azaltmak amacıyla kullanılmaktadır (Rusu v.d.,

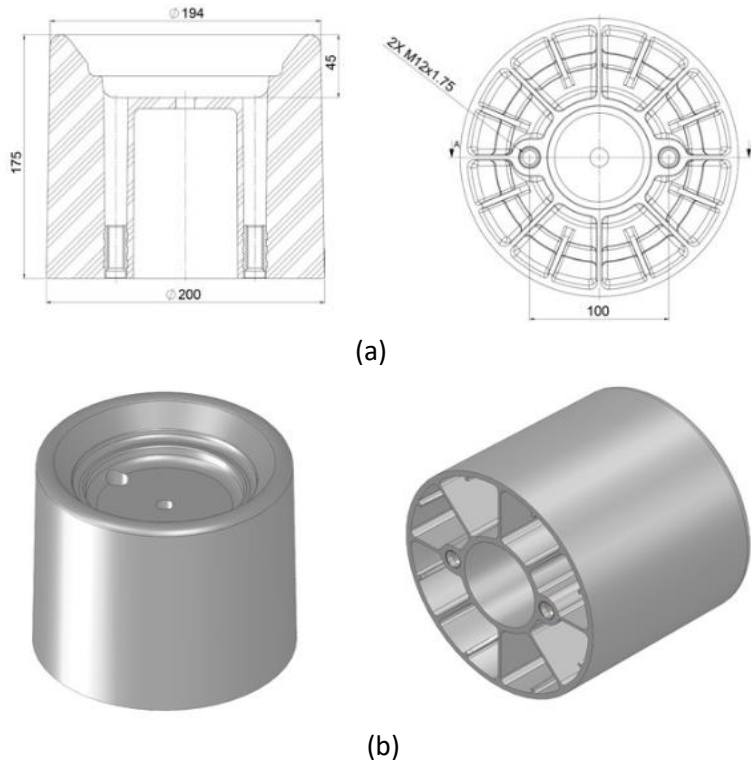
2018). Sonlu elemanlar analizi ile; tasarım süreci iyileştirilerek daha iyi dayanımlara sahip ürünler üretilebilir ve prototip imalatı azaltılarak maliyet, zaman, sürdürülebilirlik ve enerji verimliliği açısından avantaj sağlamaktadır.

Bu çalışmada cam elyaf takviyeli termoplastik polimer malzeme kullanılarak hava süspansiyon sisteminin elemanlarından biri olan süspansiyon pistonunun tasarımı, sonlu elemanlar analizi ve üretimi gerçekleştirilmiştir. Çalışmaya öncelikle literatür taraması yapılarak başlanmıştır. Literatür taramalarından elde edilen bilgiler göz önünde bulundurularak süspansiyon pistonu tasarlanmış ve sonrasında sonlu elemanlar metodu ile analizi yapılmıştır. Analiz sonuçlarıyla gerekli doğrulamalar yapıldıktan sonra süspansiyon pistonunun plastik enjeksiyon kalıp tasarımı, analizi ve üretimi gerçekleştirilmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Süspansiyon Piston Tasarımı

Süspansiyon pistonunun tasarım aşamasına geçilmeden önce literatür araştırması yapılmış ve bu araştırmalardan elde edilen bilgiler göz önünde bulundurularak süspansiyon pistonu tasarımı tamamlanmıştır. Süspansiyon pistonunun CAD ortamındaki iki boyutlu görüntüsü Şekil 1a' da ve üç boyutlu görüntüsü Şekil 1b' de verilmiştir.



Şekil 1. Süspansiyon pistonunun iki boyutlu (a) ve üç boyutlu (b) görüntüleri

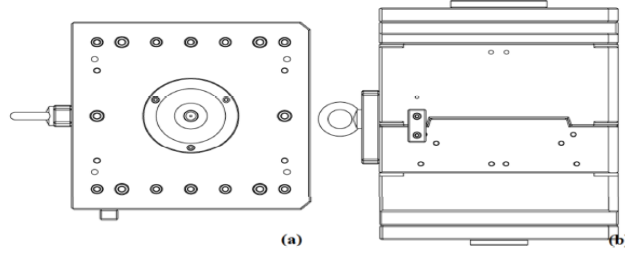
2.2. Kalıp Tasarımı

Süspansiyon pistonunun tasarımı tamamlandıktan sonra, plastik enjeksiyon kalıp tasarımı da başarıyla tamamlanmıştır. Şekil 2' de görülen plastik enjeksiyon kalıbı, bir yolluk içermektedir. Bu kalıp, alt-üst plaka, çekirdek, kalıp itici pimleri, kolonlar, civatalar ve burçlar gibi temel kalıp elemanlarını içermektedir.

Kullanılan malzemeler, kalıp elemanlarının dayanıklılığını ve performansını artırmak amacıyla dikkatle seçilmiştir. Özellikle malzeme seçimi, belirli gereksinimlere uygun olarak yapılmıştır:

Alt ve üst plakalar için 1050 imalat çeliği tercih edilmiştir. Bu çelik, yüksek mukavemeti ve dayanıklılığı ile bilinmektedir. Çekirdek, 2379 soğuk iş takımı çeliğinden imal edilmiştir. Bu çelik türü, kalıplama işlemleri için uygun bir seçenektir ve dayanıklılık sağlar. Kalıp itici pimler özel alaşımlı

çelikten üretilmiştir. Bu çelik türü, yüksek sıcaklıklara dayanabilme yeteneği ile kalıp itici işlevini yerine getirmektedir. Kolonlar için imalat çeliği tercih edilmiştir, bu da dayanıklılık ve uzun ömür sağlamaktadır. Burçlar ise özel alaşımlı çelikten üretilmiştir, bu sayede aşınma direnci ve dayanıklılık artırılmıştır. Bu kalıp tasarımı, süspansiyon pistonunun üretiminde kalite ve verimliliği artırmak amacıyla geliştirilmiştir. Kaliteli malzemelerin kullanılması ve dikkatli tasarım süreci, ürünün uzun ömürlü olmasını ve istenilen performansı sağlamasını sağlamaktadır.



Şekil 2. Plastik enjeksiyon kalıbı için kapalı halinin (a) üstten ve (b) yandan iki boyutlu tasarım görseli

2.3. Hammadde

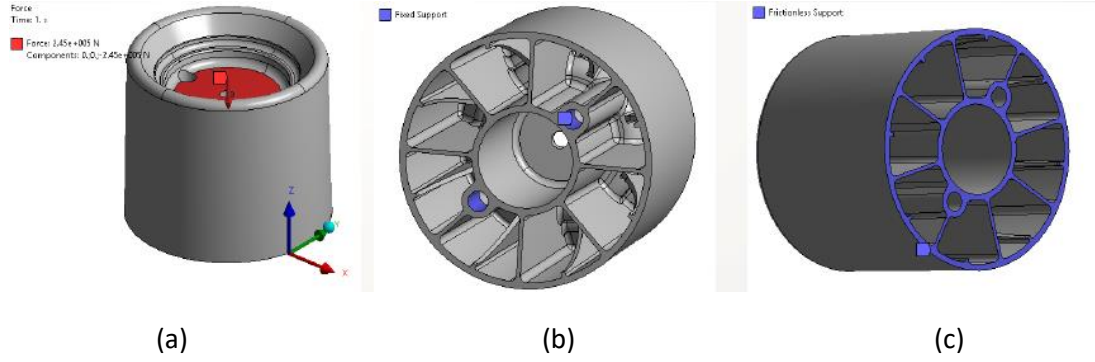
Süspansiyon pistonunun tasarım sürecinde, akışkanlık durumu oldukça kritik bir parametredir. Bu nedenle, ürünün başarılı bir şekilde üretilmesi ve istenen özelliklere sahip olup olmadığının belirlenebilmesi amacıyla, plastik enjeksiyon kalıbı tasarımında akışkanlık analizi gerçekleştirilmiştir. Bu analiz, kalıp içindeki plastik malzemenin akış davranışını, dolguluğunu ve soğuma süreçlerini ayrıntılı bir şekilde incelemeyi hedeflemektedir. Özellikle, cam elyaf takviyeli kompozit yapıdaki termoplastik polimer malzemeler için yapılan bu analizin sonuçları, ürünün kalitesini ve performansını belirlemede önemli bir rol oynamaktadır.

Tablo 1. Cam elyaf takviyeli kompozit yapıda termoplastik polimer malzemenin genel özellikleri

Malzeme Özellikleri	Değerler
Yoğunluk (g/cm ³)	1,36
Denge Nemi (%)	1,9
Kalıp Çekmesi (%) (Paralel)	0,4
Erime Sıcaklığı (°C)	245
Kalıp Çekmesi (%) (Paralel)	1,1
Çekme Modülü (MPa)	8000
Young Modülü (MPa)	9300
Eğilme Mukavemeti (MPa)	275

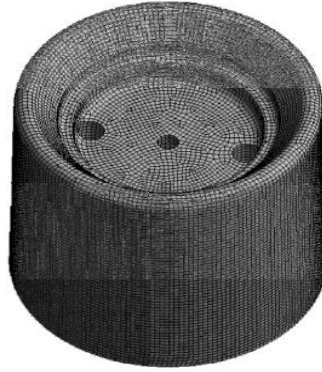
2.4. Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Süspansiyon Pistonunun Statik Analizi

Süspansiyon pistonunun sonlu elemanlar yöntemi ile statik analizi yapılarak üretimi tamamlandıktan sonra gerçek fiziksel koşullara nasıl tepki vereceği hakkında bilgi edinilmiştir. Analiz ortamında uygulanan sınır şartları Şekil 3' te görülmektedir. Şekil 4a' da 245.000 N yük sınır şartı, Şekil 4b' de süspansiyon pistonunun sabitlendiği bölgeler ve Şekil 4c' de ise süspansiyon pistonunun alt yüzeyine, temas yüzeyinin hedef yüzey üzerinde teğetsel kayma hareketi gerçekleştirebilmesi için teğetsel kayma kısıtlaması verildiği görülmektedir.



Şekil 3. Yük sınır şartı (a), mesnet sınır şartı (b) ve teğetsel kayma kısıtı (c)

Analiz ortamında sınır şartları girildikten sonra mesh uygulama aşamasına geçilmiştir. Süspansiyon pistonunun mesh uygulanmış görüntüsü Şekil 4’ te, ayrıca mesh ağ değerleri Tablo 2’ de verilmiştir.

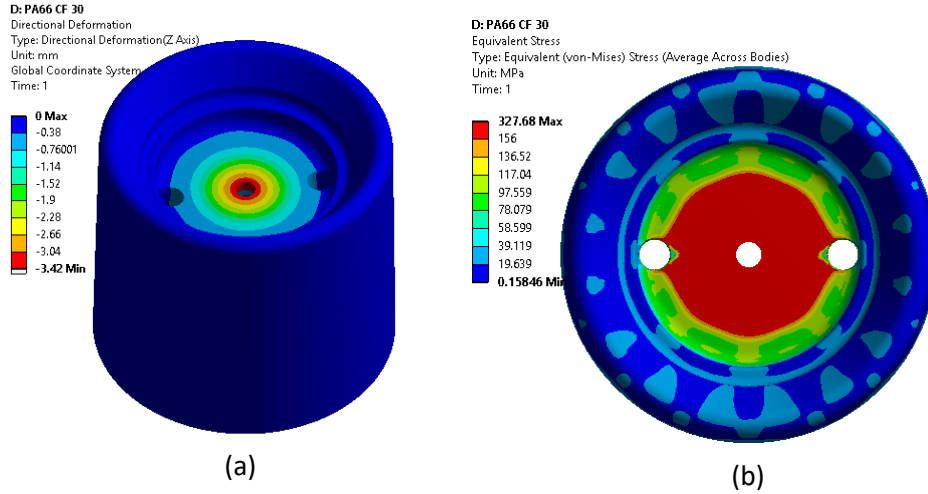


Şekil 4. Tasarımın mesh uygulanmış görüntüsü

Tablo 2. Sonlu elemanlar ağ değerleri

Eleman Sayısı	Düğüm Nokta Sayısı
101864	407410

Mesh işlemi de tamamlandıktan sonra sınır şartları önceden girilmiş olan süspansiyon pistonunun analiz sonuçları elde edilmiştir. Şekil 5a’da yer değiştirme ve Şekil 5b’ de eş değer gerilme sonucu görülmektedir. Analiz sonuçları Tablo 3’te gösterilmiştir. Analiz sonuçlarına göre maksimum yer değiştirme 3,42 mm, maksimum eş değer gerilme ise yaklaşık olarak 328 MPa olduğu görülmüştür.



Şekil 5. (a) Yer değiştirme sonucu (mm) ve (b) eş gerilme sonucu (MPa)

Tablo 3. Analiz Sonuçları

Maksimum yer değiştirme (mm)	Maksimum eş değer gerilme (MPa)
3,42	328

2.5. Süspansiyon Piston Üretimi

Tasarım ve analiz aşamalarında sonra süspansiyon pistonunun üretim aşamasına geçilmiştir. Süspansiyon pistonu üretimi plastik enjeksiyon yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Üretimi gerçekleştirilen süspansiyon pistonu Şekil 6’ da paylaşılmıştır.



Şekil 6. Plastik enjeksiyon yöntemi şematik gösterimi

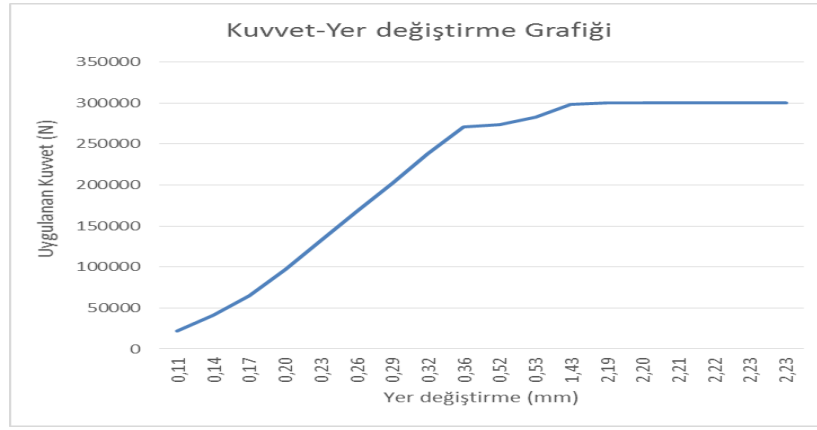
3. BULGULAR

Üretimi gerçekleştirilen süspansiyon pistonunun yük taşıma kapasitesinin belirlenmesi amacıyla basma testi uygulanmıştır. Bu test, süspansiyon pistonunun dayanıklılığını ve uygulanan yük altındaki deformasyonunu belirlemek için gerçekleştirilmiştir. Test sürecinde, 300.000 Newton yük altında pistonun dayanıklılığı değerlendirilerek, maksimum dayanım noktası ve deformasyon eğilimi analiz edilmiştir. Basma-kırma test cihazına yerleştirilen süspansiyon pistonu Şekil 8’ de görülmektedir.



Şekil 8. Basma-Kırma test cihazına yerleştirilen prototip

Basma testinin sonuçları Şekil 9’ da verilmiştir. Basma testi sonucuna göre maksimum yer değiştirme 2,23 mm çıkmıştır.



Şekil 9. Basma testi sonuç grafiği

Basma testinde kuvvetlere göre yer değiştirme miktarı değerleri Tablo 4’ te verilmiştir. Süspansiyon pistonun 300.000 N yük değerinde yer değiştirme miktarı 2,23 mm değerine yakınsadığı için basma testi bu değerde sonlandırılmıştır.

Tablo 4. Basma testi sonucu elde edilen kuvvet-yer değiştirme verileri

Kuvvet (Newton)	Yer değiştirme (mm)
22380	0,11
40800	0,14
64730	0,17
97280	0,20
131890	0,23
167300	0,26
202450	0,29
237630	0,32
270860	0,36
273200	0,52
282750	0,53
298500	1,43
300000	2,19
300000	2,20
300000	2,21
300000	2,22
300000	2,23
300000	2,23

4. TARTIŞMA

Çalışmada otomotiv sanayisinde artan çevreci yaklaşımı karşılamak amacıyla termoplastik polimer süspansiyon pistonu üretimi gerçekleştirilmiştir. Termoplastik polimer süspansiyon pistonu sayesinde ciddi bir oranda kütle azalışı sağlanmıştır. Bu konu dahilinde daha hafif ve metal süspansiyon pistonlarına göre mukavemet bakımından yeterli plastik süspansiyon pistonu kullanılabilirliği tartışılmıştır. Ayrıca plastik süspansiyon pistonu farklı kompozit malzemelerden imal edilerek mukavemet değerinin artırılması hakkında çalışma yapılabilir.

5. SONUÇ

Bulgulardan elde edilen sonuçlara göre;

- Basma testi sonuçlarında elde edilen verilerin, analiz sonuçlarıyla hafif bir fark göstermesi, analiz aşamasında kullanılan mesh (ağ örgü) kriterlerinin daha iyi bir şekilde yapılabileceğini işaret edebilir. Bu durum, analizin doğruluğunu ve güvenilirliğini artırmak için mesh uygulama sürecinin daha dikkatli ve hassas bir şekilde gerçekleştirilmesi gerektiğini göstermektedir.
- Seri üretime uygun geri dönüştürülebilir bir süspansiyon pistonu üretimi gerçekleştirilmiştir.
- Termoplastik polimer süspansiyon pistonu, metal süspansiyon pistonuna göre daha kısa sürelerde imal edilebilirliği görülmüştür.
- Termoplastik polimer süspansiyon pistonu sayesinde çelik süspansiyon pistonlarına göre %70 oranında ağırlığı azaltılmış daha hafif ve metali ikame eden süspansiyon pistonu imal edilebileceği görülmüştür.
- Termoplastik polimer süspansiyon pistonlarının araçlarda kullanılması, araçların hafiflemesine ve bu nedenle emisyon değerlerinde düşüş yaşanmasına katkı sağlayabileceği öngörülmektedir. Bu durum çevre dostu ve sürdürülebilir bir otomotiv endüstrisinin hedeflerine ulaşma yolunda önemli bir adım olarak değerlendirilmektedir.
- Termoplastik polimer süspansiyon pistonu üretimi sırasında kaynak gibi ek işlemlere ihtiyaç duyulmadığından dolayı işçilik ve hammadde maliyetlerinin azaltılabileceği ve aynı zamanda daha verimli bir üretim süreci sunacağı görülmüştür.

TEŞEKKÜR

Bu proje Demircioğlu Group Ar-Ge Merkezi tarafından desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı Demircioğlu Group yönetimi ve çalışanlarına teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- [1]. Anand Y. ve Dutta V. "Testing of composites: a review". Advanced Materials Manufacturing & Characterization, 3(1): 359-364, (2013).
- [2]. Asmatulu E., Twomey J., Overcash M. 2014. Recycling Of Fiber-Reinforced Composites And Direct Structural Composite Recycling Concept. J. of Comp. Mat. 48(5): 593-608.
- [3]. Damlar İ., Özyilmaz E., Altan A. ve Özyilmaz E. (2014). Üç Boyutlu Sonlu Eleman Analiz Yöntemiyle İki Ticari İmplant Sisteminin Gerilme Dağılımlarının İncelenmesi. Journal of Engineering Sciences and Design, 2(3), 175-180.
- [4]. Deogonda P. ve Vijaykumar N. C. (2013). Mechanical Property Of Glass Fiber Reinforcement Epoxy Composites. International Journal of Scientific Engineering and Research (IJSER) (2013), 1(4), 2347-3878.
- [5]. Gür A.O., 2011. Poliamid 66 / Sepiyolit Kompozitlerin Üretimi ve Özelliklerinin Karakterize Edilmesi (Yüksek Lisans Tezi). <https://acikerisim.sakarya.edu.tr/bitstream/handle/20.500.12619/80187/T05043.pdf?sequence=1>
- [6]. İlhan R. ve Feyzullahoğlu E. (2009). Cam Elyaf Takviyeli Polyester (CTP) Kompozit Malzemelerde Kullanılan Doğal Elyaf ve Dolgu Maddeleri. El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi, 6(2), 355-381.
- [7]. Karakoç H. Toz Metal Al7075/B4C/Si3N4 Kompozit Malzemelerin Üretimi Ve Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi. Politeknik Dergisi, (Accepted: 13.11.2019).
- [8]. Liu G.R. ve Quek, S.S. (2003). The Finite Element Method: a Practical Course, Ed: Liu G.R. and Quek S.S. Butterworth Heinemann, Oxford, 1-11.
- [9]. Malhotra N., Sheikh K. and Rani S. (2012) A Review on Mechanical Characterization of Natural Fiber Reinforced Polymer Composites. Journal of Engineering Research and Studies, 3, 75-80.
- [10]. Mortazavian S. ve Fatemi A. (2015). Fatigue Behavior And Modeling Of Short Fiber Reinforced Polymer Composites: A Literature Review. International Journal of Fatigue, (2015), 70(1), 297-321.

- [11].Özdemir, A.O., Karataş, Ç. ve Yücesu H.S. (2021). Elyaf Konfigürasyonunun Termoplastik Kompozit Levhaların Mekanik Özelliklerine Etkisi, Politeknik Dergisi, 2021; 24(2) : 599-607.
- [12].Özer H. 2015. Sürekli Cam Elyaf Takviyeli Termoplastik Kompozit Malzemelerin Geliştirilmesi ve Mekanik Özelliklerinin Deneyisel Olarak Belirlenmesi. (Yüksek Lisans Tezi). <https://acikerisim.uludag.edu.tr/bitstream/11452/1684/1/426007.pdf>
- [13].Rusu G.P., Popp M.O., Barsan A. ve Olesik M. (2018). Crimping Profile Optimization On The Air Spring Using Finite Element Method. ACTA Universitatis Cibiniensis, 70(1), 43-47.
- [14].Smith W. F., Principles of Materials Science and Engineering. MacGraw-Hill, (1990).
- [15].Sokolov I. I., Nikiforov V. A., ve Mukhametov R.R. (2016). High-Temperature Glass-Fiber-Reinforced Plastics for Aeronautical Products. Polymer Science, Series D, 2016, Vol. 9, No. 4, pp. 428–430.
- [16].Tan F. 2020. Experimental Investigation of Mechanical Properties for Injection Molded PA66+PA6I/6T Composite Using RSM and Grey Wolf Optimization. El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi Cilt: 7, No: 2, 2020 835-847.
- [17].Toptaş D. E. ve Findik T. (2023). Termoplastik Matrisli Cam Ve Karbon Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemelerin Ansys Programı İle Modellenmesi Ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Türk Mühendislik Araştırma ve Eğitimi Dergisi, 2(1), 61-66.
- [18].Tüzemen M.Ç., Ağaoğlu M., Karakaya M., Salamci E. ve Küçüktürk G. (2015). Design and Analysis of Lightweight Automotive Component for Turbocharger Units. Manufacturing Science and Technology 3(5): 278-285.
- [19].Yang Y., Boom R., Irion B., Heerden D., Kuiper P., Wit H. (2012). Recycling of Composite Materials. Chem. Eng. and Process., 51:53–68.