



KOMPOZİT YATAKLAMA ELEMANLARININ ANALİZ PROGRAMLARI İLE SİMÜLASYONU VE OPTİMİZASYONU

SIMULATION AND OPTIMIZATION OF COMPOSITE GUIDING ELEMENTS WITH ANALYSIS PROGRAMS

Cem Tanyeri
Yoncagül Çelik Erez

ÖZET

Hidrolik ve pnömatik sistemlerin uzun süre sorunsuz çalışmalarında önemli etkisi bulunan yataklama elemanları, silindir eksenine dik gelen kuvvetleri karşılamakta ve metal metale teması engellemek için kullanılmaktadırlar. Kompozit malzemeler, yataklama elemanlarında en sık kullanılan malzemelerden olup fiber yönelimleri, takviye malzeme oranları gibi farklı parametreler ürünün kalitesini ve dayanımını büyük oranda etkilemektedir. Bu çalışmada, Digimat, Moldex3D ve MSC Marc programları kullanılarak kompozit yataklama elemanlarının malzemeden ürüne geçiş aşamalarının sonlu elemanlar yöntemi ile analiz edilmesi ve doğrulama çalışmaları yapılması amaçlanmıştır. Kompozit malzeme modellenmesinde kullanılan Digimat, plastik enjeksiyon üretiminin simüle edilmesinde kullanılan Moldex3D ve son ürüne yönelik MSC Marc ile nonlineer analiz çalışmaları yürütülmüştür. Yapılan analizlerin sonuçları, Moldex3D programında ürünün dolum durumu, çekinti değeri ve yarattığı basınç değeri olarak değerlendirilmektedir. Moldex3D programından aktarılan fiber yönelimleri Digimat programında işlenerek malzeme modellenmiş ve oluşturulan malzeme modeli Marc programına aktarılıp nonlineer analizi yapılarak sonuçlar karşılaştırmalı olarak incelenip tasarım optimizasyonu yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kompozit Malzemeler, Yataklama Elemanları, SEA, Plastik Enjeksiyon Prosesi Modelleme, Malzeme Modelleme, Optimizasyon.

ABSTRACT

Guiding elements that have an important effect on the long-term trouble-free operation of hydraulic and pneumatic systems, resist the forces perpendicular to the axis in cylinders and are used to prevent metal-to-metal contact. In composite materials, which is one of the most frequently used materials in guiding elements, different parameters such as fiber orientations and reinforcement material ratios greatly affect the quality and strength of the product. In this study, it is aimed to analyze the transition stages of composite guiding elements from material to product by using the finite element method and to carry out validation studies using Digimat, Moldex3D, and MSC Marc programs. Nonlinear analysis studies were carried out with Digimat used in modeling composite materials, Moldex3D used in simulating plastic injection production, and MSC Marc for the final product. The results of the analysis are evaluated as the filling state of the product, the shrinkage value, and the pressure value created by the Moldex3D program. The fiber orientations transferred from the Moldex3D program were processed in the Digimat program, the material was modeled, and the material model was transferred to the Marc program, nonlinear analysis was performed, the results were comparatively examined, and the design optimization was made.

Key Words: Composite Materials, Guiding Elements, FEA, Modelling of Plastic Injection Process, Material Modelling, Optimization.

1. GİRİŞ

Hidrolik sistemlerde metal-metal teması durumunda sistemde hasar oluşmakta ve sistem duruşuna neden olmaktadır. Bu hasarın önüne geçmek adına kullanılan yataklama elemanları sistemdeki düşey yükleri taşır. Hidrolik silindirlere daha yüksek yük taşıma kapasiteleri nedeniyle kompozit yataklama elemanlarının kullanımı her geçen gün artmakta, geleneksel yataklama elemanlarının kullanımı azalmaktadır. Yataklama elemanlarında sıklıkla kullanılan polimer kompozitlere, lif ve partikül eklenmesinin polimerlerin özelliklerini iyileştirebileceği yapılan literatür taraması sonucunda bulunmuştur [1].

Cam elyaf ve grafit gibi dolgu malzemelerinin çoğu, mekanik mukavemeti ve yük taşıma kapasitesini geliştirmek için Polioksimetilen'e (POM) eklenir [2]. POM kompozitlerinde cam elyafının kullanılması, elemanın mukavemetinde ve yoğunluğunda önemli bir artışa, aşınma ve yıpranmada bir azalmaya, ancak yüzey pürüzlülüğünde bir artışa ve sürtünme katsayılarının artmasına neden olmaktadır [3]. Birçok bilim insanının yapmış oldukları araştırmalarda, cam elyafların polimerleri güçlendirmeye yardımcı olabileceği, bunun sonucunda artan mukavemet özellikleri, sürünmeye ve yorulmaya karşı direnç ve geliştirilmiş boyutsal stabilite sağladığı bulunmuştur [4-7].

POM matrisine dahil edilen karbon fiber, daha iyi mukavemet özellikleri sağlar ve aşınma direnci üzerinde olumlu bir etkiye sahiptir. Birçok bilim adamının karbon fiberli polimer kompozitleri üzerinde yapmış olduğu araştırmalarda POM matrisine dahil edilen karbon fiberin sadece daha iyi mukavemet özellikleri sağlamakla kalmayıp aynı zamanda artan lif içeriği ile aşınma direnci üzerinde de olumlu etkileri olduğu ortaya çıkarmıştır [8-11].

Literatür araştırması incelenerek gerçekleştirilen bu çalışmada, malzemedeki kompozit katkı oranı değiştirilerek malzeme mukavemetinin iyileştirilmesinin yanı sıra enjeksiyon kalıp geometrisi optimize edilerek malzeme mukavemetinin iyileştirilebileceği vurgulanmıştır. Sonlu elemanlar analizinde kısa elyaf takviyeli POM malzemesi Kurkin E.I. ve Sadykova V.O. tarafından başarılı bir şekilde modellenmiştir [12].

Literatür taraması sonucunda lif katkısının POM malzemenin mekanik özelliklerini güçlendirdiği ve lif oryantasyon yönelimlerinin malzeme özelliklerini ciddi şekilde etkilediği sonucuna varılmıştır. Bu çalışmada, elyaf takviyeli POM malzemenin üretilen kompozit yataklama elemanının, malzeme modellenmesinden nihai ürüne kadar kalıba ve üretim parametrelerine göre değişen davranışının incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, doğrusal olmayan analiz yapmak için MSC Marc sonlu elemanlar yazılımı, plastik enjeksiyon işlemini ve fiber oryantasyonunu simüle etmek için Moldex3D ve mikro anizotropik malzeme modelinden makro izotropik malzeme modeline uygulamak için Digimat programları kullanılmıştır. Son olarak, Digimat-MSC Marc arayüzünde ürünün malzeme modelini yaparak anizotropik bir malzeme olan POM malzemesinin hammaddeden nihai ürüne geçiş aşamalarını simüle ederek ürüne ve literatüre önemli katkılar sağlamıştır.

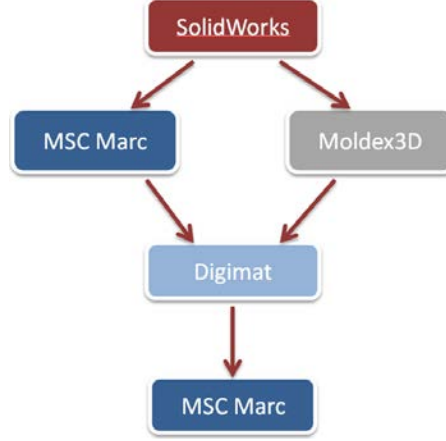
2. SONLU ELEMANLAR ANALİZİ

Sonlu Eleman Analizi (SEA), belirli sınır koşulları altında farklı tasarımların ve malzemelerin davranışını tahmin eden bilgisayar destekli bir mühendislik tekniğidir. Yataklama elemanlarının performansını SEA sayesinde değerlendirmek; kuvvet ve deformasyon reaksiyonlarını incelemek ve sürtünme kuvvetlerini, akma değerlerini ve montaj kuvvetlerini tahmin etmek mümkündür. SEA, aynı koşullarda daha iyi performansla sahip sızdırmazlık elemanlarının üretimine izin verir [13].

Bu çalışmada mevcut hidrolik yataklama elemanı referans alınarak iyileştirme süreçlerinde temel ürün olarak kabul edilmiştir. Analiz akış şeması Şekil 1'de gösterildiği gibi ilk olarak, 3B model Solidworks'te tasarlandı. Belirlenen sınır koşulları ve yük durumlarını uygulamak üzere MSC Marc yazılımına aktarıldı. Öte yandan, Moldex3D yazılımı, plastik enjeksiyon sürecini simüle etmek ve parçadaki fiber oryantasyonunu gözlemlemek için kullanıldı. Moldex3D ve Marc'ta yapılan sonlu elemanlar analizi ile farklı cam elyaf dolgu oranları ve farklı yolluk tasarımları elde ederek başarılı bir kompozit malzeme

modeli oluşturmak için Digimat kullanıldı. Son olarak elde edilen malzeme verileri ile Digimat ve MSC Marc arayüzü kullanılarak SEA gerçekleştirilmiştir.

Yataklama elemanının aksenal olarak 0,2 mm deforme olduğu ve tahmini yük taşıma kapasiteleri sonlu elemanlar analizi ile hesaplanmış ve analiz sonuçları test ile doğrulanmıştır.

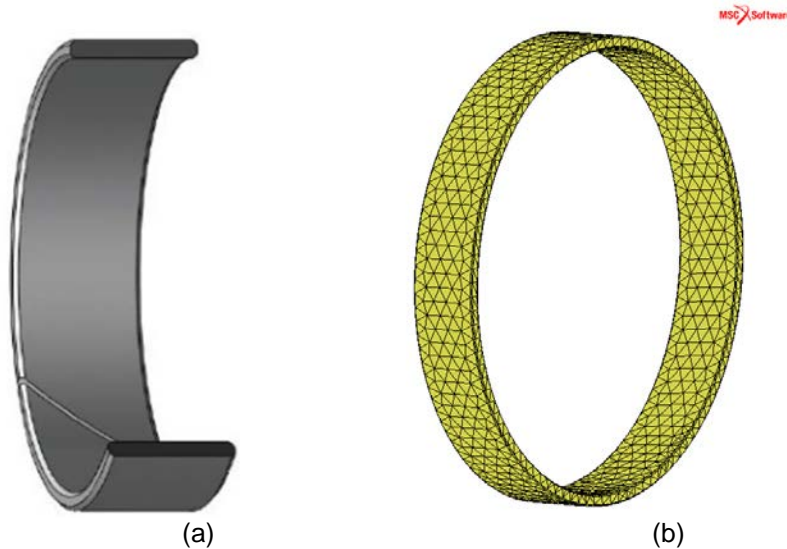


Şekil 1. Analiz Akış Şeması

Her farklı yolluk tasarımı ve farklı fiber takviye oranlarına sahip her bir ürün için aynı analiz akış süreçleri tekrarlanmıştır. Analiz akış şemasının işleyişi bu çalışmanın geri kalanında detaylandırılmıştır

2.1. MSC MARC İLE NONLİNEER ANALİZ

MSC Marc programı ile tasarımı yapılan ürün, çalışma koşullarına göre simule edilmektedir. Solidworks programında çizilen K68 Yataklama Elemanın 3 boyutlu mesh atma işlemi için Simexpert programı içerisine aktarılan modele quadratic eleman tipli mesh atanmıştır. Küçük elemanlara ayrılan model dışarı aktarılarak MSC Marc içerisine analiz yapılmak üzere aktarılır. Yataklama Elemanının modeli Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. (a) K68 CAD Modeli, (b) Ağ Yapısı (Mesh) - Genel Görünüm

İş makineleri, vinçler, enjeksiyon tezgâhları, tarım makineleri, hafif ve orta hizmet silindirleri kullanıma uygun olan K68 yataklama elemanı, cam elyaf katkılı POM malzemeden üretilmektedir. Bu durum malzemenin üretimi esnasında kullanılan cam elyafların fiber yönelimleri ürünlerin dayanımı açısından büyük bir önem arz etmektedir. Bu nedenle ürünün nominal çalışma parametrelerden elde edilen veriler yükleme ve sınır şartları olarak kullanılmıştır. Analiz kurgusu ilk adım yataklama elemanın kanala oturtulması, ikinci adım milin ürünün içine geçmesi ile montaj işleminin tamamlanması ve son adım olarak da mile dik yönlü kuvvet verilmesi şeklindedir.

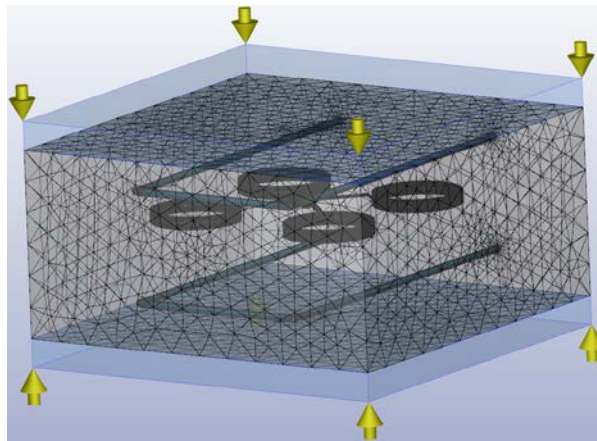


Şekil 3. Sınır Şartları

Test merkezinde gerçekleşen testler sonucunda belirlenen pozisyon ve yükleme durumları gibi sınır şartları Şekil 3'te görüldüğü üzere uygulanmıştır. Yapılan nonlineer analizlerin sonuçları Eşdeğer Cauchy Stress ve Contact Stress'lerin dağılımı olarak verilmiştir.

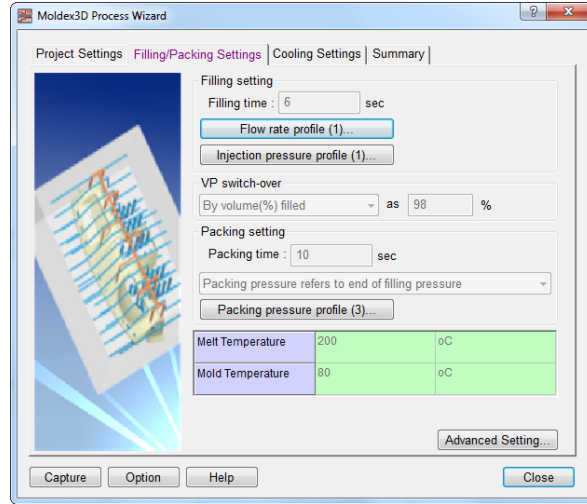
2.2. MOLDEX3D İLE PLASTİK ENJEKSİYON PROSES ANALİZİ

Moldex3D, ürün tasarımının ve üretilebilirliğinin optimize edilmesi ve ürün kalitesini en üst düzeye çıkarılması amacıyla enjeksiyon kalıplama işlemini simüle etmek için kullanılan programdır. Bu çalışmada, mevcut bulunan yataklama elemanlarının geliştirilerek üstün performanslı ürün üretimi için cam elyaf katkılı POM malzeme yapısından kaynaklı kritik olan üretim prosesinin ürün üzerindeki etkisini görmek ve optimize etmek amaçlanmıştır. Plastik enjeksiyon makinasından alınan proses parametrelerine göre yapılan çalışmanın sonucunda ürünün dolum durumu, çekinti değeri ve yarattığı basınç değeri değerlendirilmiştir. Ayrıca proses sonucunda meydana gelen fiber yönelimleri ve mesh yapısı Digimat Programında girdi olarak kullanılmak üzere dışarı aktarılmıştır.



Şekil 4. K65 CAD Modeli-Moldex3D Görünümü; Genel Ağ Yapısı Görünümü

Solidworks programında çizilen K68 Yataklama Elemanı için analizler yapılmıştır. Şekil 4'te gösterilen Yataklama Elemanının modelinin CAD datası Moldex3D ortamına aktarılıp belirtildiği şekilde elemanlara bölünmüştür.

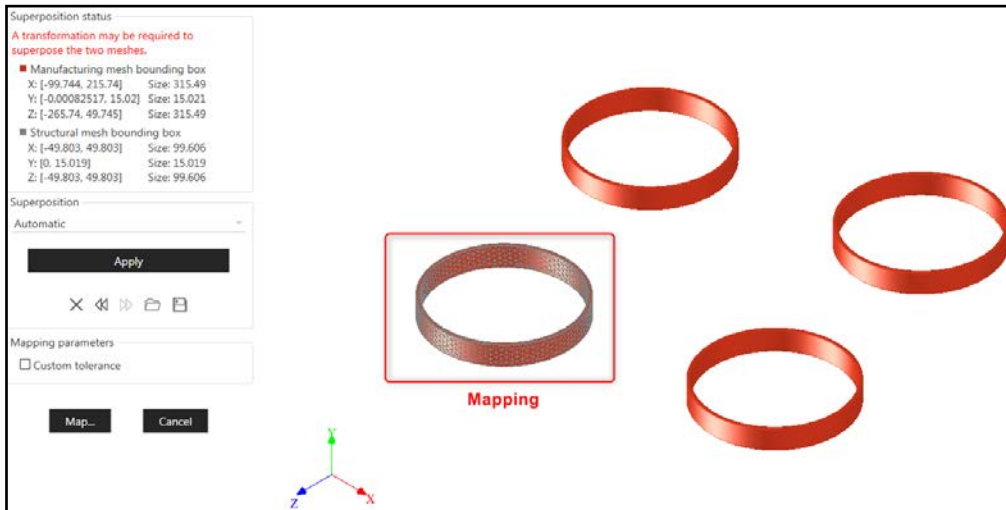


Şekil 5. Moldex3D sınır şartları

Yükleme ve sınır şartları, plastik enjeksiyon makinasından alınan Şekil 5'deki parametrelere göre belirlenmiştir. Cam elyaf katkılı POM malzemeden üretilen K68 ürünlerin üretimi esnasında kullanılan cam elyafların fiber yönelimleri, ürünlerin dayanımı açısından büyük bir önem arz ettiği için proses parametreleri plastik enjeksiyon biriminden alınmıştır. Alınan bu verilere göre analiz, üretim esnasında kullanılan yolluk girişi, ana kalıp, soğutma kanallarının modellenmesi ve eriyik malzeme girişi, soğutucu giriş çıkışı gibi sınır şartları tanımlanmıştır. Proses parametrelerine göre de plastik enjeksiyon prosesi kurgulanmıştır.

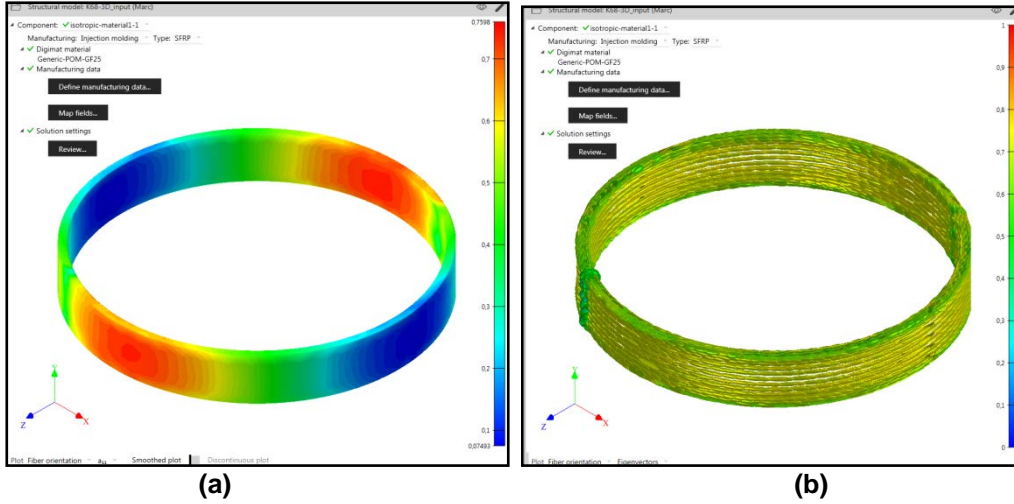
2.3. DİGİMAT İLE MALZEME MODELLEME

Yataklama Elemanının modelinin CAD datası MSC Marc programında yapılan yapısal analiz datası ile Digimat ortamına aktarılmıştır. MSC Marc programından Digimat ortamına aktarılan analiz datasıyla beraber gelen mesh datası ile Moldex3D programında atılan mesh dosyaları Digimat ortamında örtüştürülür (mapping).



Şekil 6. Mapping- Genel Görünüm

Deney sonuçlarından, Digimat-MX modülü ile oluşturulan ya da dışarıdan aktarılan veriler ile malzeme modeli oluşturulur. Analiz sonucunda elde edilen çıktılar MSC Marc – Digimat arayüzü ile çalıştırılır.



Şekil 7. K68 Fiber yönelimleri – (a) Renksel Dağılım Görünüm, (b) Vektörel Görünüm

3. OPTİMİZASYON

3 farklı programın entegrasyonu ile gerçekleştirilen analizler uzun çözüm süreleri gerektirmektedir. Uzun çözüm sürelerinin önüne geçmek için excel programı kullanılarak Deneysel Tasarım Yöntemi yapıldı. Excel programına veriler aktarmadan önce analizde değiştirilen verilerin birimleri aynı olmadığı için basitleştirme yöntemi kullanıldı. Daha sonra bu yöntem ile Std. Sapma, Sni Hesaplaması ve Sni hesaplamaları yapıldı. Yapılan hesaplamalar sonucunda farklı yolluk ölçü ve fiber oranlarına sahip olma durumları göz önünde bulundurularak modellerin analiz sonuçlarına göre yük taşıma kabiliyetinde iyileşme sağlanan model belirlendi ve prototip ürün basıldı.

4. TEST CİHAZI İLE DOĞRULAMA

Test cihazının amacı, belirli yer değiştirmelerde yataklama elemanlarının yük taşıma kapasitesini ölçmektir. Bu çalışmada, yataklama elemanlarının 0,2 mm deplasmandaki yük taşıma kapasitesi, test teçhizatından ölçülen yük ile karşılaştırılarak elde edilmiştir.



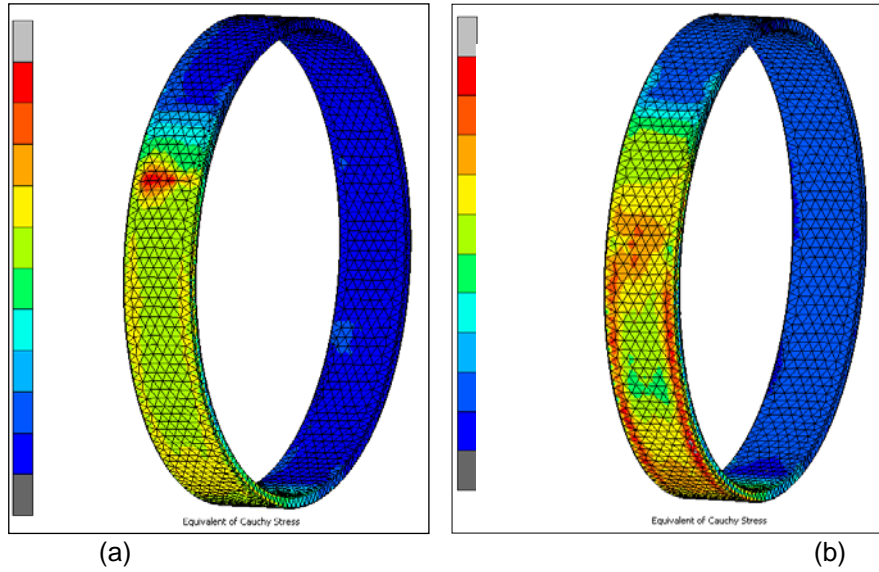
Şekil 8. Yataklama Elemanı Test Cihazı

Testin çalışma prensibi; yarım daire şeklinde kesilmiş kılavuz eleman dairesel test kanalına yerleştirilir. Daha sonra alt ve üst aparat arasına bir test mili yerleştirilir ve aparat kapatılarak test cihazına bir ön yük verilir. 0,2 mm'deki maksimum yer değiştirme elde edilene kadar test devam eder ve ne kadar yükün güvenli bir şekilde taşınabileceği ölçülür. Test düzeneği ile FEA nedeniyle elde edilen tahmini sonuçların tutarlılığı kontrol edildi.

SONUÇ

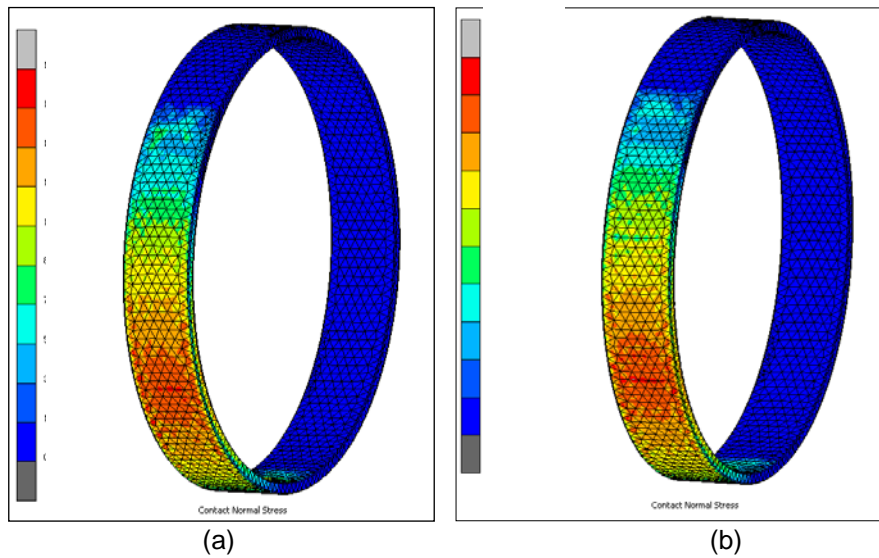
1. Sonlu Elemanlar Analiz Sonuçları

Analizler farklı programların entegrasyonu ile nihai duruma gelip MSC Marc ortamında gerçekleştirilmiş ve mevcut ürün ile optimize edilen ürünün sonuçları aşağıdaki şekilde paylaşılmıştır.



Şekil 2. Analiz Sonuçları- Eşdeğer Cauchy Gerilme (MPa): (a) Mevcut Model, (b) Optimum Model

Eşdeğer Cauchy Gerilme, yataklama elemanının iç gerilmesinin incelenmesi ve karşılaştırılmasında kullanılmaktadır.

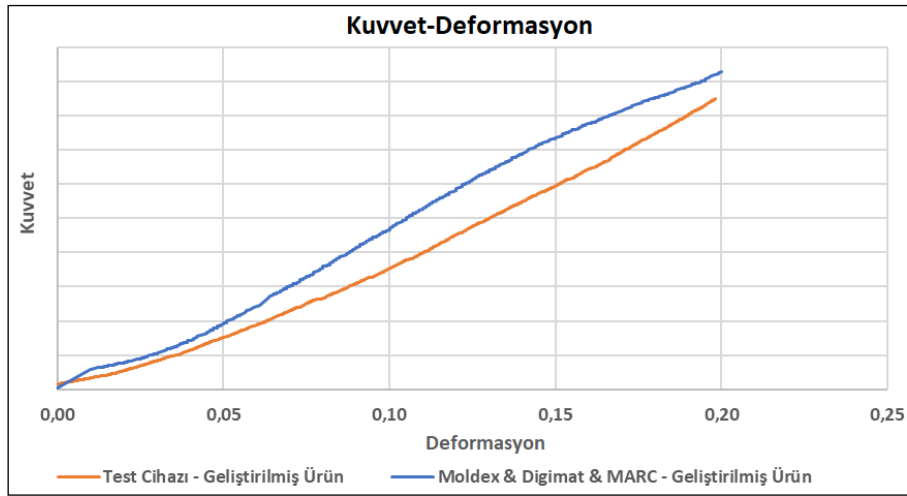


Şekil 3. Analiz Sonuçları- Kontak Gerilme (MPa): (a) Mevcut Model, (b) Optimum Model

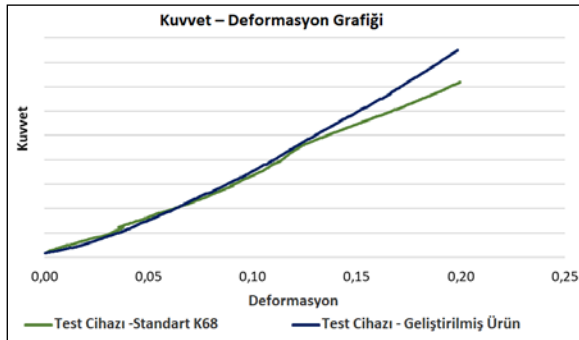
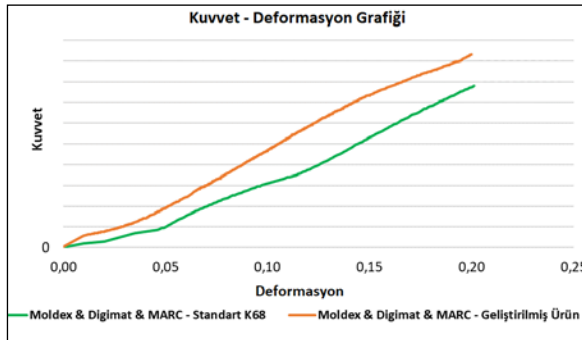
Kontak Gerilme yataklama elemanının aşınma durumunun incelenmesinde kullanılmaktadır. Üstün yük taşıma kabiliyetine sahip yataklama elemanı için gerçekleştirilen analiz sonuçlarında ürünlerin daha az iç gerilme ve daha fazla kuvvete dayanıyor olması kritik önemdedir. Bu nedenle yapılan analizlerde kuvvet değerinde %21 oranında bir iyileştirme sağlanmıştır.

2. SEA Sonuçlarının Test ile Doğrulanması

Standart yataklama elemanının 0,2 mm ezilmesi sonucunda üzerinde oluşan yükler hesaplanmıştır. Sonlu elemanlar analiz sonucu ile test cihazından elde edilen sonucun **%92** oranında tutarlılık göstermekteydi. Aynı test geliştirilmiş K68 yataklama elemanı üzerinde gerçekleştirilmiştir. Geliştirilmiş K68 için sonlu elemanlar analiz sonucu ile test cihazından elde edilen sonucun **%90** oranında tutarlılık göstermektedir. Sonuç verilerinin kıyaslanması ile elde edilen grafik aşağıdaki gibidir.



Standart ürün ile iyileştirilmiş ürünün bilgisayar destekli analiz programlarına göre sonuçları ve test cihazı ile gerçekleştirilen testlerden elde edilen sonuçların karşılaştırmalı değer ve grafikleri aşağıda sunulmuştur.



KAYNAKLAR

- [1] Lingesh, BV, Ravikumar BN, Rudresh BM. Mechanical Characterization of Hybrid Thermoplastic Composites of Short Carbon Fibers and PA66/PP. *Indian J. Adv. Chem. Sci.* 2016; 4, 425–434.
- [2] Yan-fang Y. A geometric approach for polymer applications and processing. 2010 2nd International Conference on Signal Processing Systems (ICSPS) 2010; 1.
- [3] Singh JSK, Ching YC, Liu DS, Ching KY, Razali S, Gan SN. Effects of PTFE Micro-Particles on the Fiber-Matrix Interface of Polyoxymethylene/Glass fiber/Polytetrafluoroethylene composites. *Materials* 2018; 11, 2164.
- [4] Singh JSK, Ching YC, Abdullah LC, Ching KY, Razali S, Gan SN. Optimization of mechanical properties for poly(oxymethylene)/glass fiber/polytetrafluoroethylene composites using response surface methodology. *Polymers* 2018; 10, 338
- [5] He M, Zhang D, Guo J, Qin S, Ming X. Mechanical, thermal and dynamic mechanical properties of long glass fiber-reinforced thermoplastic polyurethane/poly(oxymethylene) composites. *Polym. Compos.* 2014; 35, 2067–2073.
- [6] Kumar, S, Panneerselvam K, Optimization of friction and wear of Nylon 6 and glass fiber reinforced (GFR) Nylon 6 composites against 30 wt. % GFR Nylon 6 Disc. *J. Adv. Res. Mat. Sci.* 2016, 19, 14–32.
- [7] Kawaguchi K, Masuda E, Tajima Y. Tensile behavior of glass-fiber-filled Poly(oxymethylene): Influence of the functional groups of polymer matrices. *J. Appl. Polym. Sci.* 2008; 107, 667–673.
- [8] Li ZH. Addition of CF on tribological properties of POM composite. *Mater. Technol.* 2012; 27, 230–232.
- [9] Lv M, Zheng F, Wang Q, Wang T, Liang Y. Friction and wear behaviors of carbon and aramid fibers reinforced polyimide composites in the simulated space environment. *Tribol. Int.* 2015; 92, 246–254.
- [10] Luo W, Ding Q, Li Y, Zhou S, Zou H, Liang M. Effect of shape morphology on mechanical, rheological and tribological properties of polyoxymethylene/aramid composites. *Polym. Sci. A* 2015, 57, 209–220
- [11] Tian YQ, Huo JL. The mechanical and tribological properties of carbon fiber reinforced POM composites. *Appl. Mech. Mater.* 2012; 182, 135–138.
- [12] Kurkin EI, Sadykova VO. Application of short fiber-reinforced composite materials multilevel model for the design of ultra-light aerospace structures. *Procedia Engineering* 185, 2017; 182-189
- [13] Kastaş Sızdırmazlık Teknolojileri [Internet], Retrieved May 9, 2022, from https://www.kastas.com.tr/document/download/4/31/Kastas_Hidrolik_Katalog_TR_1012202116401841691734lieiD.pdf

ÖZGEÇMİŞ

Yoncagül Çeli Erez

1994 yılı Erzurum doğumludur. 2017 yılında İKÇÜ Mühendislik Fakültesi Makina Bölümünü bitirmiştir. Mezuniyetinin ardından sonra Dikkan Vana ve Obel Civata'ta Ar-Ge Mühendisi olarak çalışmıştır. Ege Üniversiteden 2021 yılında Yüksek Mühendis ünvanını almıştır. Ocak 2019 yılında Kastaş Sızdırmazlık Teknolojilerinde Ar-Ge Kıdemli Mühendisi olarak görev yapmaktadır. Sonlu Elemanlar Analizi üzerine çalışmaktadır.

Cem Tanyeri

1986 yılı İzmir doğumludur. 2009 yılında SDÜ Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. 2012 yılında Ege Üniversite Sosyal Bilimler Enstitüsünde İşletme yönetimi yüksek lisansını tamamlamıştır. 2022 yılında İKÇÜ Fen Bilimleri Fakültesi Malzeme Bölümünde Yüksek Mühendis ünvanını almıştır. KLS Klima şirketinde üretim ve proje mühendisi olarak; Emas şirketinde satınalma mühendisi olarak çalışmıştır. 2013 yılından bu yana Kastaş Sızdırmazlık Teknolojilerinde çalışmakta ve Ar-Ge Kıdemli Yöneticisi görevini yerine getirmektedir.