



MOBİL HİDROLİK SİSTEMLERİNDE KULLANILAN ÇİFT ETKİLİ PİSTON SIZDIRMAZLIK ELEMANININ SONLU ELEMANLAR METODU İLE GELİŞTİRİLMESİ

DESIGNING OF A MOBILE HYDRAULIC DOUBLE ACTING PISTON SEAL USING FINITE ELEMENT ANALYSIS

Oğulcan Yıldırım
Yoncagül Çelik Erez

ÖZET

İş makineleri, tarım makineleri, forkliftler ve araç üstü gibi mobil hidrolik sistemlerde kullanılan piston sızdırmazlık elemanları şok basınçlara, yüksek sıcaklığa, uygun olmayan çalışma yüzeylerine, uzun stroklara vb. zorlu şartlara maruz kalmaktadırlar. Bu çalışmada söz konusu zorlu şartlarda çalışabilecek çift etkili bir piston sızdırmazlık elemanının tasarlanması, optimizasyonunun gerçekleştirilmesi ve ileri sonlu elemanlar yöntemi ile tasarım ve doğrulama süresinin azaltılması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda piston sızdırmazlık elemanlarının tasarım süreçlerinin aşamaları ve ürün tasarımı süreci detaylandırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Mobil Hidrolik, Piston, Sızdırmazlık Elemanı, Tasarım, Optimizasyon, SEA.

ABSTRACT

Piston sealing elements used in mobile hydraulic systems such as construction machinery, agricultural machinery, forklifts, and onboard vehicles are resistant to shock pressures, high temperatures, unsuitable working surfaces, long strokes, etc. are exposed to hard conditions. This study aims to design and optimize a double-acting piston sealing element that can work in these hard conditions and reduce the design and verification time with the advanced finite element method. In line with this target, the design process stages of the piston sealing elements and the product design process are detailed.

Key Words: Mobile Hydraulic; Piston, Sealing Element, Design, Optimization, FEA.

1. GİRİŞ

Piston sızdırmazlık elemanları, boru yüzeyine temas ederek hidrolik akışkanın diğer tarafa geçişini engelleyen makine elemanlarıdır. Özellikle statik duruşlarda (kilitleme esnasında) silindirin pozisyonunu korumasında önemli göreve sahiptir [1]. Sızdırmazlık elemanlarında yaşanan aksaklıklar pahalı üretim kesintilerine ve çevresel kirliliğe neden olabilir. Sızdırmazlık elemanlarının hidrolik sistemlerdeki önemi 1930'lara kadar uzanan bir araştırma ve geliştirme geçmişine sahip olmasına neden olmuştur [2]. Bu araştırma ve geliştirme faaliyetlerinde farklı sistem koşulları göz önünde bulundurularak sızdırmazlık elemanları üzerinde sonlu elemanlar metodu ile analizler gerçekleştirilmiştir [3]. Sonlu elemanlar analizi, yeni bir geometri tasarlarken veya mevcut olanı doğrularken elastomerik contaların performansını araştırmak için kullanılmıştır [4-8].

Mobil hidrolik uygulamaları, çeşitli kaldırma ve iletme ekipmanlarının sızdırmazlığını içeren geniş bir uygulama alanıdır. İç ve dış ortamlarda kullanılan çeşitli ekipmanların farklı çalışma koşullarına ve

sistem gereksinimlerine bağlı olarak Kastaş, düşük sızıntı, düşük sürtünme ve etkin yataklama başta olmak üzere tüm uygulama beklentilerine uygun sızdırmazlık elemanları geliştirmektedir [1].

Gelişen teknoloji günümüzde iş makinaları, tarım makinaları, forkliftler ve araç üstü sistemlerinde kullanılan hidrolik silindirlere yüksek basınç dayanımı, yüksek yük taşıma kabiliyeti ve ömür konusundaki çift etkili piston sızdırmazlık elemanı özelliklerine sahip olması ihtiyacını doğurmuştur. Bu ihtiyaç, sistemlerin sağlıklı çalışması için çalışma koşullarına uygun sızdırmazlık elemanının tasarımını da kritik bir öneme düzeyine taşımıştır. Bu çalışma kapsamında bu tip uygulamalarda başarısı kanıtlanmış, yenilikçi sızdırmazlık sistem çözümleri derlenmiş ve bu çözümlerin çeşitli çalışma koşullarındaki avantajları test değerleriyle birlikte sunulmuştur. [9].

2. PİSTON SIZDIRMAZLIK ELEMANI

Akışkanın piston başına her iki yönden etki ettiği silindir türü olan çift etkili silindirler hem ileri giderken hem de geri gelirken iş yapabilir [1]. Genel olarak en yaygın kullanılan tipteki silindirlerde kullanılan çift etkili tasarıma sahip piston sızdırmazlık elemanlarının tasarım ve optimizasyon süreçleri şunlardır:

2.1. Tasarım Hedefleri

İş makinaları, tarım makinaları, araç üstü sistemler vb. ağır hizmet sektörlerinde kullanılan hidrolik silindireli (özellikle uzun stroklu) sistemlerin sağlıklı çalışması için sızdırmazlık elemanları oldukça kritik bir görev almaktadır. Bu nedenle mobil hidrolik sistemlerde kullanılan sızdırmazlık elemanları yüksek basınç dayanımı, yüksek yük taşıma kabiliyeti, uzun hizmet ömrü ve çift etkili çalışabilme gibi kabiliyetlere sahip olması gerekmektedir. Bu bağlamda mobil hidrolik sistemlerde kullanılan çift etkili piston sızdırmazlık elemanının sonlu elemanlar metodu ile geliştirilmesi için bu kabiliyetleri sağlayacak akma dayanımının artırılması, sızıntı miktarı ve aşınma kaybının azaltılması tasarım hedefleri olarak belirlenmiş ve çalışmalar yürütülmüştür.

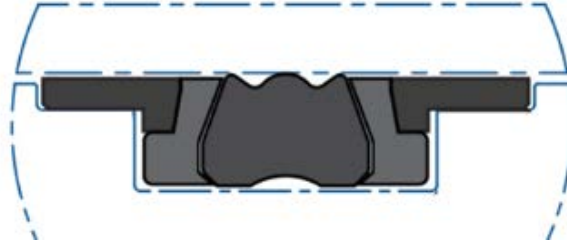
2.2. Modelleme

İlk etapta ağır hizmet sektörü olan mobil hidrolik sistemlerde kullanılan benzer çift etkili piston sızdırmazlık elemanları belirlenmiş ve Solidworks programı ile tasarlanmıştır. Numuneler üzerinde ölçüm işlemleri yapılarak yapılan tasarımların analiz sonuçları karşılaştırılarak üstün performanslı sızdırmazlık elemanları tasarım çalışması yapılmıştır.



Şekil 1. Çift Etkili Piston Sızdırmazlık Elemanları Tasarımları; a) Ürün 1 b) Ürün 2

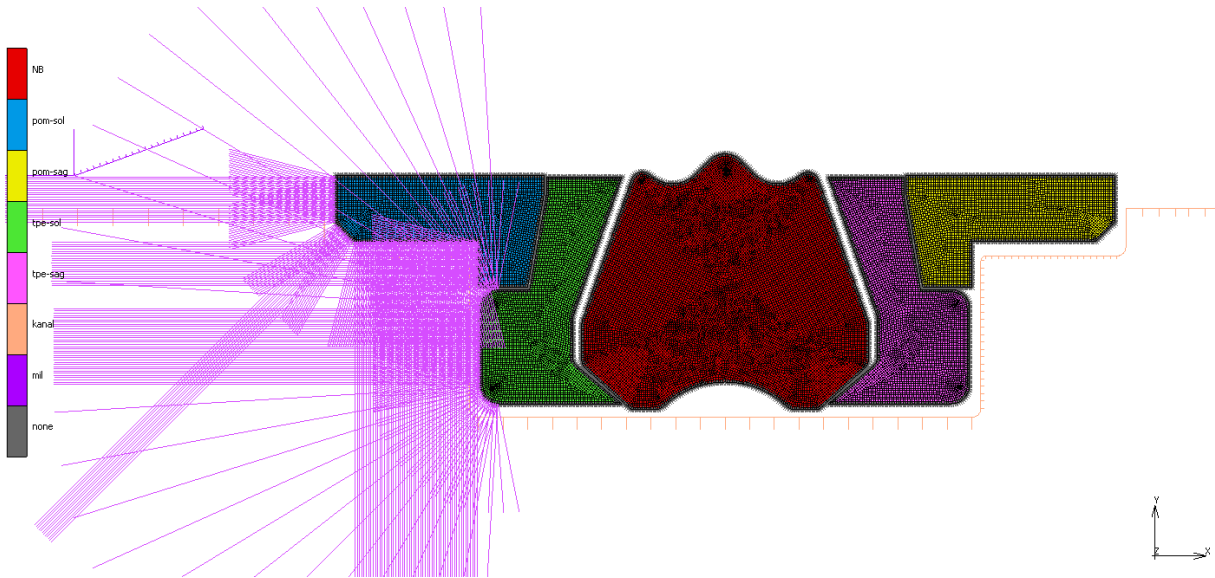
Şekil 1'de gösterilen ürünlerden yola çıkarak yeni kompakt set tasarımın optimize edilmesi için belirlenen tasarım hedeflerine uygun olarak sızdırmazlık performansını arttırmak için özel sızdırmazlık yüzeyi, akmayı önleyici özel destek ringi geometrisi ve daha iyi merkezleme sağlayan yataklama elemanı tasarım çalışmaları yapılmıştır. Yapılan tasarım çalışmaları sonucunda ortaya çıkan optimize ürünü Şekil 2'de görebilirsiniz [1].



Şekil 2. Üstün Performanslı Çift Etkili Piston Sızdırmazlık Elemanları Tasarımı

2.3. Sonlu Elemanlar Analizi

Belirli sınır koşulları altında farklı tasarımların ve malzemelerin davranışını tahmin eden bilgisayar destekli bir mühendislik tekniği olan sonlu elemanlar analizi, sızdırmazlık elemanlarının kuvvet ve deformasyon reaksiyonlarını incelemek ve sürtünme kuvvetlerini, akma değerlerini ve montaj kuvvetlerini tahmin etme imkânı sağlamaktadır. Sonlu elemanlar analizi sayesinde aynı sınır şartları altında sızdırmazlık elemanlarının optimizasyonu yapılmakta, zaman ve maliyet kazancı sağlamaktadır [10].



Şekil 3. Analiz tanımlamaları

Çalışma kapsamında SolidWorks Cad programı ile çizilen tasarımlar nonlineer analiz programı olan MSC Marc programına aktarılır. Şekil 3'te belirtilen tanımlar doğrultusunda sınır koşulları, malzeme modeli, basınç değeri ve basınç uygulama alanları belirlenen sızdırmazlık elemanları üzerinde analiz gerçekleştirilir. MSC Marc içerisinde mesh kabiliyeti ile meshlenen geometride eleman tipi olarak Full Herman seçilmiştir.

2.3. Saha Testleri

Kastaş Ar-Ge Test Merkezinde gerçekleştirilen testlerde sızdırmazlık elemanının çalışma koşulları birebir uygulanır. Test, çift etkili keçe 0.3 m/s hız, 5 – 75 km mesafe, 50-400 bar basınç ve 60°C sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir. Test sonucunda kaçak oranı (dinamik ve statik), sürtünme, aşınma, akma ve yapışma gibi kriterler incelenmiştir.



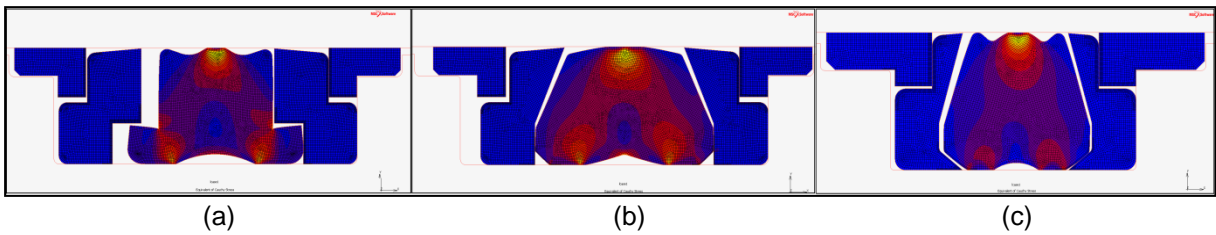
Şekil 4. Hidrolik Test Cihazı

Sonlu elemanlar analizinin doğrulanması ve ardından sızdırmazlık elemanının seriye girmesi için önemli bir basamağı oluşturan saha testlerinde kaçak oranı standartta verilen aralık içerisinde olması gerekmektedir. Öte yandan analiz sonuçları ile Şekil 4'te yer alan test cihazı ile gerçekleştirilen saha testi sonucunda akmanın gerçekleşme durumu karşılaştırılır [1]. Böylece validasyon sağlanmış olunur.

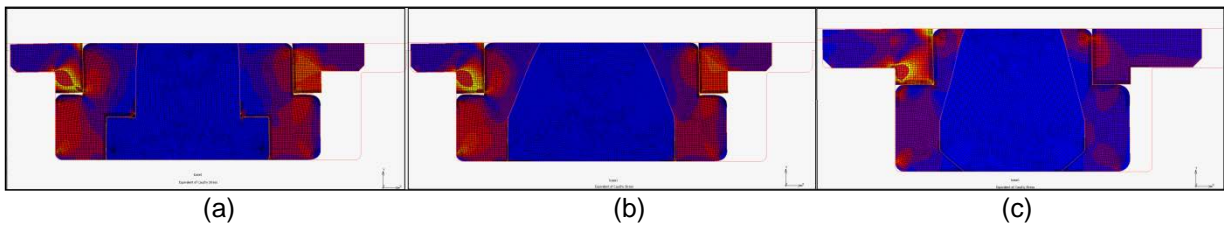
3. SONUÇ

3.1. Sonlu Elemanlar Analiz Sonuçları

Çalışma kapsamında yapılan sonlu elemanlar analizinde iç gerilme ve temas kuvvet sonuçları elde edilmiştir.

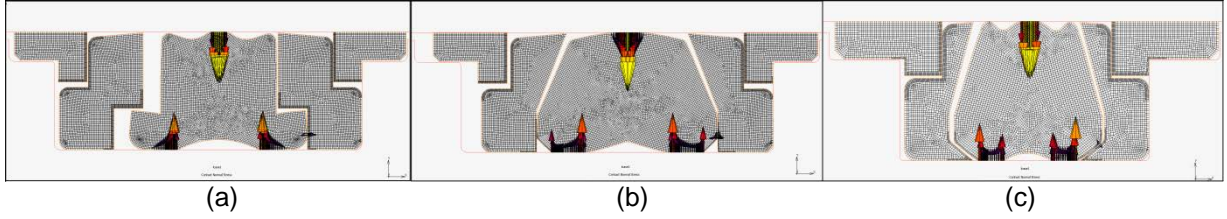


Şekil 5. Eşdeğer Cauchy Gerilme (0 bar)- a) Ürün 1; b) Ürün 2; c) Optimize Edilen Ürün

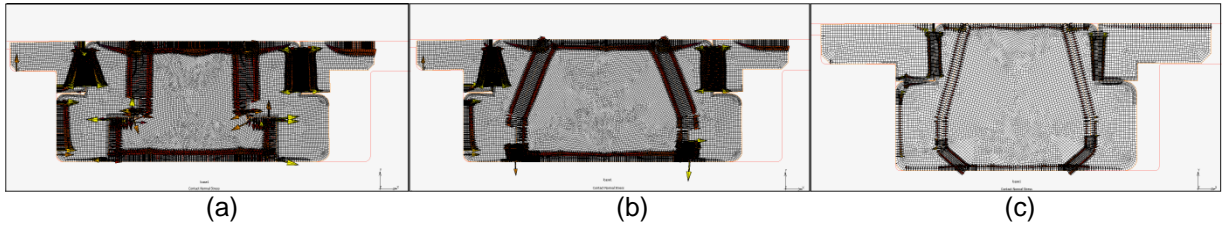


Şekil 6. Eşdeğer Cauchy Gerilme (400 bar)- a) Ürün 1; b) Ürün 2; c) Optimize Edilen Ürün

Eşdeğer Cauchy Gerilme, yataklama elemanının iç gerilmesinin incelenmesi ve karşılaştırılmasında kullanılmaktadır. Ürünlerin iç gerilme davranışı Şekil 5 ve Şekil 6'da paylaşılmıştır.



Şekil 7. Kontak Normal Gerilme (0 bar)- a) Ürün 1; b) Ürün 2; c) Optimize Edilen Ürün

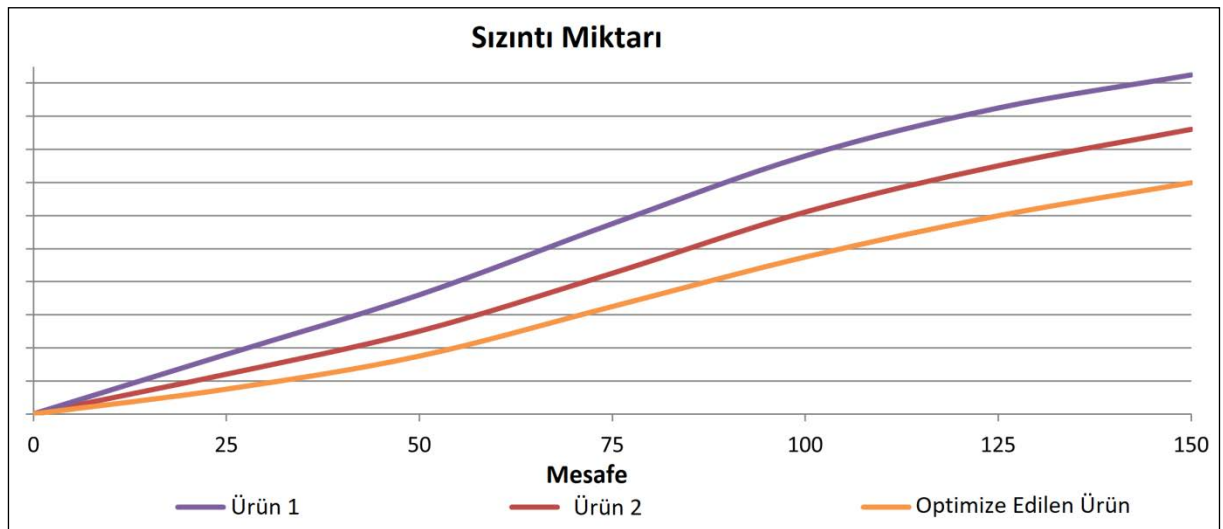


Şekil 8. Kontak Normal Gerilme (400 bar)- a) Ürün 1; b) Ürün 2; c) Optimize Edilen Ürün

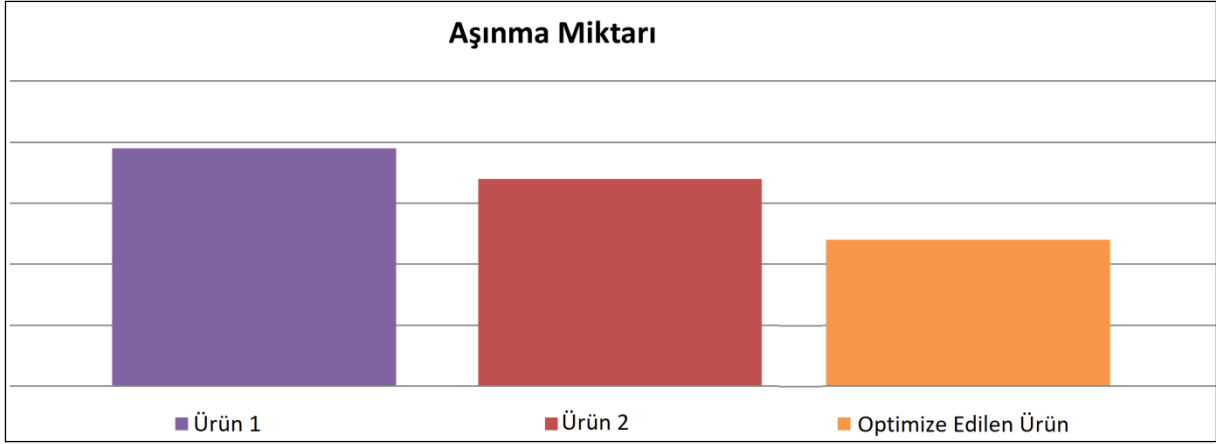
Kontak Gerilme yataklama elemanının aşınma durumunun incelenmesinde kullanılmaktadır. Analiz sonuçları gösteriyor ki optimize edilen tasarım eşdeğer cauchy gerilmede Ürün 1'e göre %40 Ürün 2'ye göre %30, kontak gerilmede Ürün 1' göre %18 Ürün 2'ye göre %27, daha iyi performans sergilemektedir. Ürünlerin temas gerilmeleri Şekil 7 ve Şekil 8'de paylaşılmıştır.

3.2. Test Sonuçları

Test merkezinde gerçekleştirilen testlerin karşılaştırmalı sonuç grafikleri Şekil 9 ve Şekil 10'daki gibidir.



Şekil 9. Sızıntı Miktarı



Şekil 10. Yataklama Parçası Aşınma Miktarı

Test sonuçları sonuçların standartlarda belirtilen değer aralığında olduğunu göstermektedir.

3.3. Sonuçların Karşılaştırılması

Sonlu elemanlar analizi bir mühendislik yaklaşımı olup yapılan hesabın doğruluğunu saha testleri ile yapmak gereklidir. Sonlu elemanlar analiz sonuçları ve saha test sonuçları akma miktarına ve aşınma kaybına göre karşılaştırılmıştır. Prototip üründe akma gözlemlenmemiş olup aşınma miktarları Sonlu Elemanlar Analizlerine göre;

Ürün 1'den %18 oranında
Ürün 2'den %28 oranında

Saha testlerinde göre;

Ürün 1'den %18 oranında
Ürün 2'den %25 oranında daha az aşınmaya uğradığı tespit edilmiştir.

Sonlu Elemanlar Analizleri ve Laboratuvar Test sonuçları karşılaştırılmış olup modelin doğruluğu kanıtlanmıştır. Bu bağlamda SEA ve saha test sonuçları karşılaştırıldığında %90 bir korelasyon sağlandığı görülmüştür.

Tüm bu bilgiler doğrultusunda sonlu elemanlar analizleri sayesinde doğru tasarım ve geliştirme süreçleri kısalmış imalat süresinin yanı sıra deneme yanılma sonucunda oluşabilecek malzeme kaybı da önlemiştir.

KAYNAKLAR

- [1] <https://www.kastas.com.tr/dokumanlar>. Erişim Tarihi: 08.08.2022
- [2] G. K. Nikas, "Eighty years of research on hydraulic reciprocating seals," Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology, vol. 224, no. 1, p. 1–23, 2010.
- [3] G. K. Nikas, "Eighty years of research on hydraulic reciprocating seals," Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology, vol. 224, no. 1, p. 1–23, 2010.



- [4] Gabelli, A., Ponson, F., and Poll, G., 1992, "Computation and Measurement of the Sealing Contact Stress and Its Role in Rotary Lip Seal Design," Proc. Of 13th International Conference on Fluid Sealing, B. S. Nau, ed., Kluwer, Dordrecht, pp. 21–39.
- [5] Botto, P., Dragoni, E., and Strozzi, A., 1992, "Finite Element Redesign of a Reciprocating PTFE Rod Seal," Proc. of 13th International Conference on Fluid Sealing, B. S. Nau, ed., Kluwer, Dordrecht, pp. 671–683
- [6] Naderi, A., Albertson, K., and Peng, S., 1994, "Finite Element Analysis of a Hydraulic Seal: BS U-Cup," Proc. of 46th National Conference on Fluid Power, National Fluid Power Assn. NFPA, Milwaukee, pp. 99–105.
- [7] Daley, J. R., Lam, D., Weale, D. J., and Mercy, M. V., 2000, "Experimental Characterisation of Friction Functions for Finite Element Analysis Modeling of Elastomeric Seals," Plast. Rubber Compos., 29 4, pp. 199–204.
- [8] Belforte, G., Raparelli, T., Manuello Bertetto, A., Mazza, L., and Montuoro, G., 1995, "Stress Field and Contact Force Analysis in a Low Friction Seal," 2nd Int. Conf. on Contact Mechanics, M. H. Aliabadi and C. Alessahdri, eds., Computational Mechanics Publications, Southampton, UK, pp. 29–36.,
- [9] Kırılı, O. 2003. Derin Çekme ile Soğuk Şekillendirmenin Sonlu Elemanlar Metodu Yardımıyla Non-linear Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü, İzmir.
- [10] 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

Oğulcan Yıldırım

1991 yılı İzmir doğumludur. 2018 yılında DEÜ Mühendislik Fakültesi Makina Bölümünü bitirmiştir. Mezuniyetinin ardından sonra Kastaş Sızdırmazlık Teknolojilerinde Ar-Ge Tasarım Mühendisi olarak görev yapmaktadır. Tasarım üzerine çalışmaktadır.

Yoncagül Çelik 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.