

Geri dönüşüm makinelerinde kullanılan kesme silindirinin elastik davranışının parametrik korelasyon yöntemi ile analizi ve optimizasyonu

Özer ÖĞÜÇLÜ^{1,*}, Oğuz Emrah TURGUT²

¹Bakırçay Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Akıllı Sistemler Mühendisliği, İzmir.

²Bakırçay Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği, İzmir.

Geliş Tarihi (Received Date): 29.01.2025

Kabul Tarihi (Accepted Date): 17.04.2025

Öz

Bu çalışmada EM1600 eğik makasta kullanılan kalın duvarlı kesme silindirinin sahadaki çalışma koşullarının tasarımı ve parametrik optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. SolidWorks yazılımında tasarımı yapılan eğik makasın kesme silindirinin üç boyutlu katı modeli basitleştirilerek sonlu elemanlar analizlerinin yapılması için ANSYS yazılımına aktarılmıştır. Kalın duvarlı kesme silindirinde kullanılan hidrolik yağın sıcaklık ve basınç parametrelerinin sahadaki çalışma şartları değerlerine uygun olarak analizler yapılmıştır. Analiz sonucunda kesme silindirinin kalın duvarında oluşan radyal gerilme, eksenel gerilme ve teğetsel gerilme ile toplam şekil değiştirme değerleri bulunmuştur. Bu üç gerilme değeri kullanılarak kesme silindirinin elastik davranışını belirlemek için von Mises eşdeğer gerilme değeri hesaplanmıştır. Bu çalışmada girdi parametresi olarak kesme silindirinde bulunan hidrolik yağın sıcaklık ve basınç değerleri seçilmiştir. Bununla birlikte çıktı parametresi olarak von Mises eşdeğer gerilmesi ile toplam şekil değiştirme ve kesme silindirinin sağladığı kesme kuvveti tanımlanmıştır. Bu parametreler kullanılarak, Parametrik Korelasyon Yöntemi ile ANSYS yazılımında çok amaçlı optimizasyon işlemi yapılmıştır. Bunun için toplam şekil değiştirme ve von Mises eşdeğer gerilme değerleri kısıt olarak belirlenmiş ve bu parametrelerin en küçük değerlerinin bulunması amaçlanmış, kesme kuvveti çıktı parametresi ise hedef olarak belirlenmiş ve en büyük değerinin bulunması amaçlanmıştır. Kesme kuvvetinin belirlenen sınırlar içinde kalan en büyük değeri olan 7.9×10^6 N için yapılan optimizasyon çalışması ile en uygun sıcaklık; 42.94 °C ve basınç; 34.73 MPa olarak bulunmuştur.

Anahtar kelimeler: Geri dönüşüm, sonlu elemanlar yöntemi, kesme silindiri, deney tasarımı, parametrik korelasyon, optimizasyon.

*Özer ÖĞÜÇLÜ, ozeroguelu@hotmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-6293-7742>

Oğuz Emrah TURGUT, oguzemrah.turgut@bakircay.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0003-3556-8889>

Analysis and optimization of elastic behavior of cutting cylinder used in recycling machines with parametric correlation method

Abstract

In this study, design and parametric optimization of the field operating conditions of thick-walled cylinder used in the EM1600 inclined shear was achieved. Three-dimensional solid model of thick-walled cylinder which was designed and simplified in SolidWorks software, was transferred to ANSYS software for finite element analysis. The analysis of thick-walled cylinder was achieved according to the temperature and pressure parameters of inclined shear in plants. As a result of the analysis, radial, axial and hoop stresses and total deformation results in thick-walled cylinder were obtained. To calculate elastic behaviour of the cylinder, von Mises equivalent stress was additionally calculated using these three stresses. In this study, the temperature and pressure parameters of hydraulic oil employed in cylinder of inclined shear were selected as input parameters. In addition, total deformation, von Mises equivalent stress, and cutting force supplied by inclined shear cylinder were defined as output parameters. With the use of these parameters, a multi-objective optimization was performed in ANSYS with the help of Parametric Correlation. Total deformation and von Mises equivalent stress were defined as the constraints and the minimum values of these parameters were requested. Conversely, shear force was chosen as the target, and the maximum force value was requested. Optimum temperature was yielded as 42.94 °C, and optimum pressure was yielded as 34.73 MPa for maximum shear force: 7.9×10^6 N within the specified limits.

Keywords: Recycling, finite element method, cutting cylinder, design of experiments, parametric correlation, optimization.

1. Giriş

Geri dönüşüm; kullanım dışı kalan ve geri dönüştürülebilir olan çeşitli atık ve hurda malzemelerin farklı geri dönüşüm yöntemleri ile ham madde olarak yeniden imalat işlemlerine kazandırılması olarak tanımlanmaktadır [1]. Bu tanıma göre metal geri dönüşümü işlemi; hurda metallerin farklı işlemler uygulayarak tekrar kullanılabilir hale getirilmesi ile başarılmaktadır. Geri dönüşüme girecek olan malzemenin türüne göre bu amaç için kullanılan makineler farklı yapılarda ve çeşitlerde olabilmektedir. Metal hurda malzemeler bu amaç için üretilmiş olan metal geri dönüşüm makinelerinde hidrolik kuvvetlerin etkisi altında sıkıştırılır ve balya haline getirilir veya kesilerek ya da parçalanarak daha küçük boyutlara düşürülür. Geri dönüşüm makinelerinin üretiminde; işletme ve çalışma ihtiyaçlarının belirlenmesi ve bu ihtiyaçlara göre mekanik ve hidrolik olarak hesaplamaların yapılması gerekmektedir.

Fonksiyonel amaçları karşılayabilmek için üretilen makinelerde ve makine parçalarında ihtiyaçlara göre tasarım değişikliği ve çeşitliliği artış gösterebilmektedir. Tasarım değişikliklerinin fazla olması zaman kaybına ve mühendislik maliyetinin artmasına sebep olmaktadır. Günümüzde bazı ürünlerin parametrik tasarım uygulamaları sayesinde tasarımları hızlı olarak yapılabilen ve maliyet azaltılabilmektedir. Ayrıca tasarımların parametrik şekilde uygulanması tasarımların dengeli bir şekilde çıkmasından dolayı verimlilikte bir artış göstermektedir. Bu sebeple müşteri talepleri veya buna benzer başka

İhtiyaçlar nedeni ile tasarım değişikliklerinin fazla olması makine üretiminde parametrik tasarım uygulamalarının geliştirilmesinde önem kazanmaktadır.

Ayyıldız ve ark. [2] yaptıkları çalışmada dişli çark ve dişli çark çiftlerinin parametrik olarak çizimi ve modelinin yapılması için bilgisayar destekli tasarım ortamında bir yazılım geliştirmişlerdir. Bu yazılımı kullanarak dişli çark veya dişli çark çiftlerinin boyutlarını bulmak amacı ile diş sayısı, modül, iletim oranı değişkenleri kullanıcılar tarafından yazılıma girilmiş daha sonra bilgisayar destekli tasarım ortamında dişli çark çizimleri veya modelleri otomatik bir şekilde yapılmıştır.

Sırmalılar ve ark. [3] yaptıkları çalışmada debriyaj üretimi yapan bir işletmede ardışık olarak üretilen bir volanın üretim maliyetini düşürmek için boyut iyileştirilmesi gerçekleştirmiştir. Bilgisayar ortamında sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak volanın sahada çalışma koşullarının benzetimi yapılmış, volan için gerekli olan mekanik özellikleri yerine getirmek ve bunun yanında volanın üretim maliyetini azaltacak şekilde parametreye dayalı optimizasyon yöntemi ile iyileştirme çalışması yapılmıştır.

Sabuncuoğlu ve Demirtaş [4] yaptıkları çalışmada yüksek performans ve çalışma verimliliği ile geleneksel yaylara göre tercih edilebilen işleme helisel yayların yay sabitinin belirlenmesi için bir yapay sinir ağı geliştirme yöntemi sunmuşlardır. Yapay sinir ağı eğitimi için ilk olarak çeşitli boyutsal parametrelerle sonlu eleman analizleri yapılmış ve elde edilen yay sabiti değerleri tasarlanan deney düzeneğinde gerçekleştirilen testlerle doğrulanmıştır. Doğrulan sonlu eleman sonuçları ile parametrik korelasyon analizli yapılmış ve her yay boyutsal parametresinin yay sabiti üzerindeki etkisi belirlenmiştir.

Gündoğdu [5] yaptığı çalışmada; dış rotorlu ve yüzeye bağlı mıknatıslara sahip bir Vernier makinenin tüm geometrik parametrelerinin başarımlı karakteristiklerine olan etkisini detaylı bir şekilde incelemiştir. Moment, verim ve indüklenen gerilimi en çok etkileyen geometrik tasarım parametreleri belirlenmiş ve parametrik olarak en iyi tasarım elde edilmiştir. Analizler zaman adımı, doğrusal olmayan, iki boyutlu sonlu elemanlar yöntemi tabanlı bir program ile gerçekleştirilmiştir.

Asker ve Günerhan [6] yaptıkları çalışmada öncelikle faz değişim malzemeli ısı değiştiricinin tasarımına ilişkin sayısal bir yöntem geliştirmiş ve elde ettikleri sonuçları daha önce yapılan bir analitik yöntemin sonuçları ile karşılaştırmıştır. Daha sonra, faz değişim malzemeli ısı değiştiricinin hacmi sabit tutulmuş ve sistem üzerinde parametrik bir çalışma yapılmıştır. Boru aralığı değişimi, hava debisi değişimi ve faz değişim malzemesi değişken parametreler olarak ele alınmıştır.

Aydın ve ark. [7] yaptıkları çalışmada dönmeyen lastiksiz Solaris 10 güneş arabası jantının 2018 ve 2019 modellerinin doğal frekanslarını serbest sınır koşulları altında darbe çekici testi ile deneysel olarak belirlemiş ve sonuçları ANSYS sonlu elemanlar analiz yazılımında elde edilen doğal frekans sonuçları ile karşılaştırmıştır. ANSYS modal analiz modülünde gözlemlenen mod şekilleri, yüksek genlik oluşturabilecek doğal frekanslar için gösterilmiştir. 2019 Jant modeli için parametrik bilgisayar destekli tasarım modeli kullanılarak bir tasarım optimizasyonu çalışması gerçekleştirilmiştir. Böylece ANSYS sonlu elemanlar analizi yazılımında parametrik çalışma ile daha hafif bir jant elde edilmiş ve maksimum eşdeğer von Mises gerilmesinin 120 MPa'nın altında kalması sağlanmıştır.

Özden ve Gökçe [8] yaptıkları çalışmada insan veya yük taşımak için tasarlanan bir kara aracının, arazi açıları, birden çok kişilik kullanımı ve farklı fonksiyonel ihtiyaçları için şasinin uzunluğu, yüksekliği ve genişliği ana değişkenler olmak üzere 17 adet değişkeni parametrik tasarım arayüzünde tanımlamıştır. Aracın önden çarpma, yanıl çarpma ve şasinin burulması konfigürasyonları için sonlu elemanlar analizi gerçekleştirilmiştir. Aracın genel yapı itibarıyla emniyetli olduğu belirlenmiş ve optimum tasarıma göre aracın üretimi gerçekleştirilmiştir.

Celen ve Kaba [9] gerçekleştirdikleri çalışmada elektrikli araçlarda kullanılan silindirik lityum iyon bataryalardan oluşan bir batarya grubunu göz önüne almış ve bataryaların havayla ve elektriksel olarak yalıtılan olan sıvıyla soğutulmasını parametrik olarak incelemiştir. Akışkan giriş sıcaklığının, farklı deşarj hızlarında bataryada meydana gelen ısı üretiminin ve Reynolds sayısının ortalama batarya sıcaklığına ve basınç kaybına etkisi araştırılmıştır. Yapılan hesaplamalar sonunda hava sıcaklığının 15 °C üzerine çıktığı hava şartlarında doğrudan soğutmanın yeterli olmadığı bu sebeple sıvı soğutmanın kullanılmasının gerekli olduğu belirlenmiştir.

Kocaaslan ve ark. [10] yaptıkları çalışmada bir döndürücüye ait kanat sayısı, kanat sarım açısı ve kanat uzunluğu ile yakıt girişi çapının yanma odasındaki türbülanslı akış yapısı, yanma verimi ve emisyon değerleri üzerine etkisini araştırmıştır. Sayısal çalışmalar ANSYS Fluent yazılımı ile gerçekleştirilmiş ve referans alınan deneysel çalışmaya uygun olarak önceden karışmamış yanma modeli tanımlanmıştır. Sayısal yöntem, elde edilen verilerin deneysel veriler ile karşılaştırılması ile doğrulanmıştır. Analizler sonucu olarak kanat sarım açısının alev şekli, kanat uzunluğunun ise alevin simetrik yapısı üzerine önemli etkisinin olduğu bulunmuştur.

Çetin [11] gerçekleştirdiği çalışmada kompresör basınç oranı, çevre sıcaklığı, türbin izentropik verimi ve kompresör izentropik verimini değişken parametre olarak alarak, basit Brayton çevrimi için elektrik enerjisi üretimi maliyetinin parametrik analizini yapmıştır. Yapılan incelemelerde, diğer parametreler sabit kabul edilmiş ve bütün termodinamik ve ekonomik ifadeler bu karar değişkenlerinin fonksiyonu olarak ifade edilmiştir. Sonuç olarak, oluşturulan model çözümlenmiş ve elektrik üretimi maliyetini minimum yapan en uygun işletme şartları belirlenmeye çalışılmıştır.

Günümüzde soğutmaya ihtiyaç duyan elektronik cihazların minyatürleşmesi mikro kanallarda akış ve ısı karakteristiği üzerine yapılan çalışmaları artırmıştır. Çelik ve Parlak [12] yaptıkları çalışmada, dikdörtgen kesite sahip tek bir mikro kanal içerisine, farklı yerleşim düzenlerinde dikdörtgen kanatçıklar yerleştirmiştir. Temel akışkan su seçilerek, mikro kanalda akış ve ısı geçişi özellikleri incelenmiştir. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizi, ANSYS Fluent yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar, basınç düşümünün ve Nusselt sayısının, artan Reynolds sayısı ve kanal içine yerleştirilen kanatçıklar ile arttığını göstermiştir.

Makine, havacılık ve otomotiv sanayi gibi mühendislik uygulamalarında oldukça sık kullanılan silindirik makine elemanları, yüksek sıcaklık ve basınç etkisi altında çalışmaktadır ve bu yüzden mekanik analizi ve tasarımı üretim açısından önemli konular arasında bulunmaktadır. Silindirik elemanların elastik ve elastik sınır davranışlarının bulunması tasarım ve maliyet açısından oldukça önemli bir konudur [13].

Bu çalışmada Aymas Geri Dönüşüm Makineleri Firmasında üretilen EM1600 eğik makasın kalın duvarlı kesme silindirinin tasarımı ve parametrik optimizasyonu yapılmıştır. Bu amaç ile EM1600 eğik makasın işletmelerdeki çalışma şartlarını dikkate alarak kesme silindirlerinde bulunan hidrolik yağa ait sıcaklık ve basınç değerleri ANSYS'de girdi parametresi olarak belirlenmiştir. Bunun yanında silindirin kalın duvarlarında oluşan radyal, aksenal ve teğetsel gerilmelerin kullanılması ile bulunan von Mises eşdeğer gerilmesi ve toplam şekil değiştirmesi ile birlikte EM1600 eğik makasın kesme silindirlerinden elde edilen kesme kuvveti de ANSYS'de çıktı parametreleri olarak seçilmiştir. Parametrik Korelasyon Yöntemi yardımı ile bu parametreler kullanılarak ANSYS yazılımında yapılan çok amaçlı iyileştirme süreci için toplam şekil değiştirmesi ile von Mises eşdeğer gerilmesi kısıt olarak belirlenmiş ve bu parametrelerin en küçük değerinin hesaplanması istenmiş, silindir pistonlarının kesme kuvveti ise hedef olarak belirlenmiş ve en büyük değerinin hesaplanması istenmiştir. Gerçekleştirilen bu çalışma ile söz konusu şartları yerine getiren ve girdi parametresi olarak seçilen kesme silindirlerinde yer alan hidrolik yağın sıcaklık ve basınç parametrelerinin kabul edilen kısıtlara uyan en uygun değerleri bulunmuştur.

2. Eğik makas kesme silindiri modeli

Eğik hurda kesme makasları, metal geri dönüşüm çalışmalarında büyük boyutlu metal hurdaların sıkıştırılarak ve sonra kesilerek daha küçük boyutlu metal hurdaların üretilmesi için kullanılmaktadır. Metal hurda yüklenen haznenin tabanının eğik olması sayesinde hurdalar kendi ağırlıkları ile makas içinde ilerlemektedir. Şekil 1'de eğik makas genel görünüşü verilmiştir. Hurdaların sıkıştırılması ve kesilmesi işlemlerini uygulayan mekanizmaların tümü eğik makas gövdesi üzerinde birlikte bulunmaktadır. EM1600 eğik makas metal hurda malzemeleri kesme amacı kullanılmaktadır. Ağır iş çelikleri, boru, sac, otomobil ve karışık hurdalar eğik makasta kesilmesi uygun olan metal malzemeler olmaktadır.



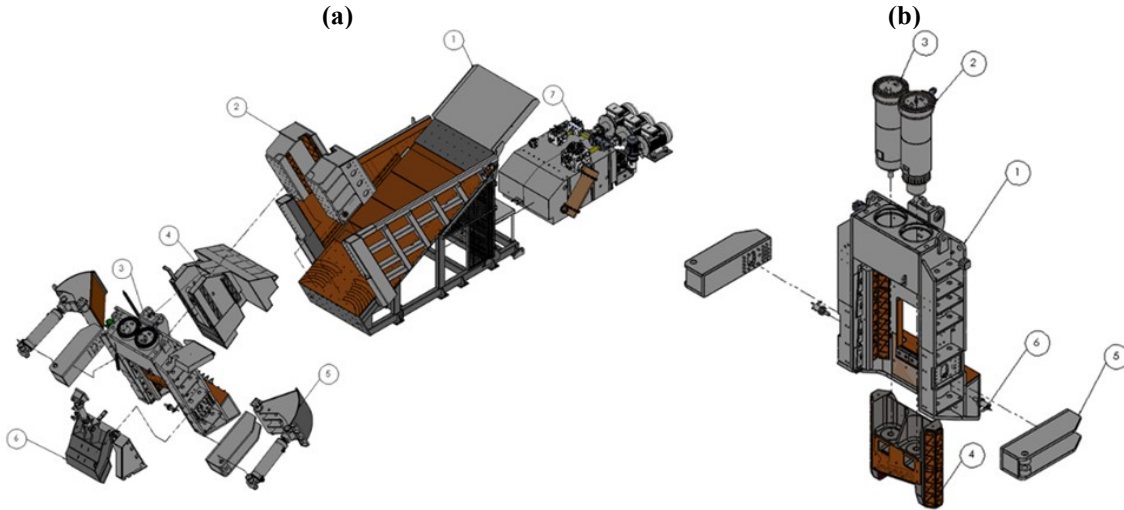
Şekil 1. Eğik hurda makası genel görünüşü [14].

EM1600 eğik makasın ölçüleri, uzunluk; 11 m, genişlik; 5 m ve yükseklik; 4 m'dir. Ayrıca eğik makasın diğer teknik özellikleri Tablo 1'de verilmektedir [14].

Tablo 1. EM1600 eğik makas teknik özellikleri.

Model	Kesme Kuvveti	Kesme Sayısı	Kapasite	Ağırlık
EM1600	1600 Ton	2-3 Adet/dk	70 Ton/saat	160 Ton

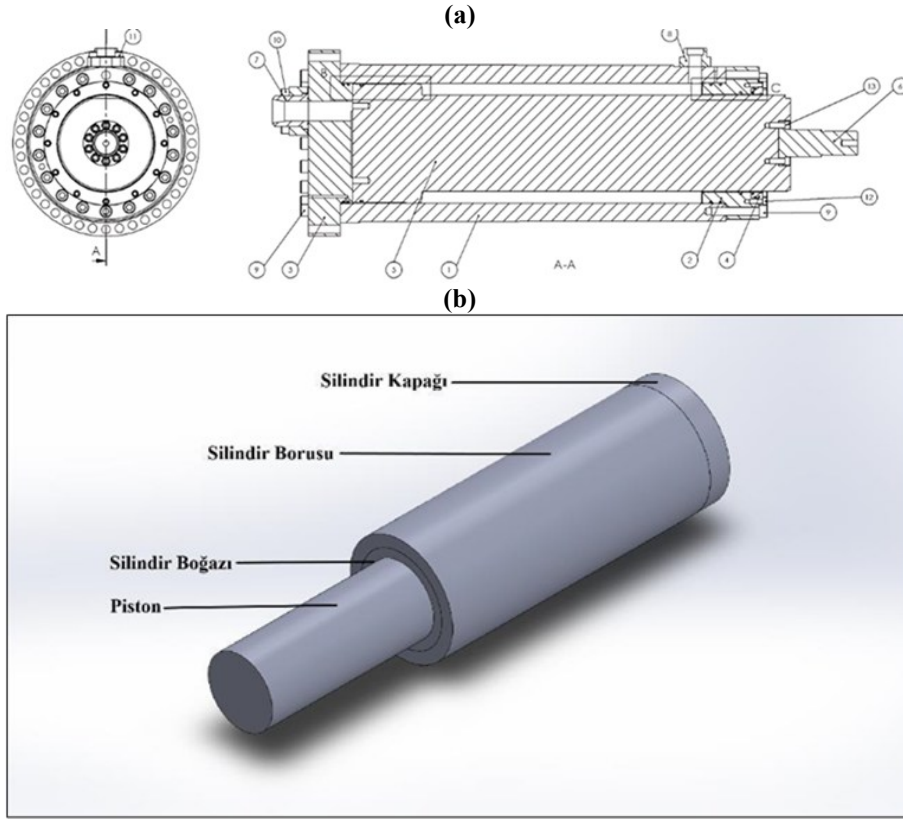
Eğik makas, Şekil 2 (a)'da görüldüğü üzere; (1) kayar taban ve hazne grubu, (2) yan kılavuz duvarlar, (3) kesme grubu, (4) tutucu grubu, (5) sıkıştırma grubu, (6) boy ayarlama grubu ve (7) hidrolik ünite ve motor grubu ile toplam yedi gruptan oluşmaktadır. Ayrıca Şekil 2 (b)'de verilen eğik makas kesme grubu; (1) taşıma gövdesi, (2) ve (3) kesme silindirleri, (4) giyotin, (5) sıkıştırma silindiri koruması ve (6) kilit mekanizması olmak üzere altı parçadan oluşmaktadır. Hurda malzemeler eğik makas haznesi içine boşaltılır sonra kayar taban ve yer çekimi etkisi ile bu malzemeler aşağı doğru hareket eder. Önce istenen ölçüde boy ayarlama işlemi gerçekleştirilir. Haznenin en alt bölgesine gelen hurda malzeme tutucu grubu ile tutulur sonra her iki yanda bulunan sıkıştırma grubu ile hurda malzeme sıkıştırılır. En son olarak kesme grubunda bulunan iki adet kesme silindire bağlı giyotin bıçakları aşağı doğru hareket ederek ayarlanan boy ölçüsüne uygun olarak hurda malzemenin kesme işlemini gerçekleştirir [15].



Şekil 2. Eğik hurda makası (a) parça grupları ve (b) kesme grubu parçaları [15].

Burada gerçekleştirilen çalışma ile EM1600 eğik makas kesme grubunda bulunan kalın duvarlı kesme silindirlerinde çalışan hidrolik yağın sıcaklık ve basınç şartları değiştirilerek radyal, eksenel ve teğetsel gerilmelerin değişimlerinin incelenmesi sonlu elemanlar analizleri ile yapılmıştır. İlk olarak SolidWorks yazılımında tasarımı yapılan ve Şekil 3 (a)'da kesit görünüşü verilen kesme silindirinin basitleştirilmiş üç boyutlu katı modelini elde etmek için; silindir kapağı ile silindir borusu bağlantı cıvataları ve silindir boğazı ile silindir borusu bağlantı cıvataları katı modelinden çıkarılmıştır. Daha sonra yapılan ANSYS modelinde bu bağlantılar; bağlı (bonded) sınır şartı ile belirtilmiştir. Ayrıca piston başı yan yüzü ile silindir borusu iç yüzeyi arasındaki sızdırmazlık elemanları ile yine piston mili ile silindir boğazı arasındaki sızdırmazlık elemanları katı modelden çıkarılmıştır. ANSYS modelinde bu bağlantılar; sürtünmeli (frictional) olarak belirtilmiştir. En son olarak silindir ile hidrolik yağ hat bağlantıları katı modelden

çıkartılarak Şekil 3 (b)'de verilen kesme silindiri basitleştirilmiş üç boyutlu katı modeli elde edilmiştir. Bu model sonlu elemanlar analizleri için ANSYS workbench yazılımına içe aktarma (import) komutu ile aktarılmıştır.



Şekil 3. Eğik makas kesme silindiri (a) ön ve yan kesit görünüşü ve (b) basitleştirilmiş modeli.

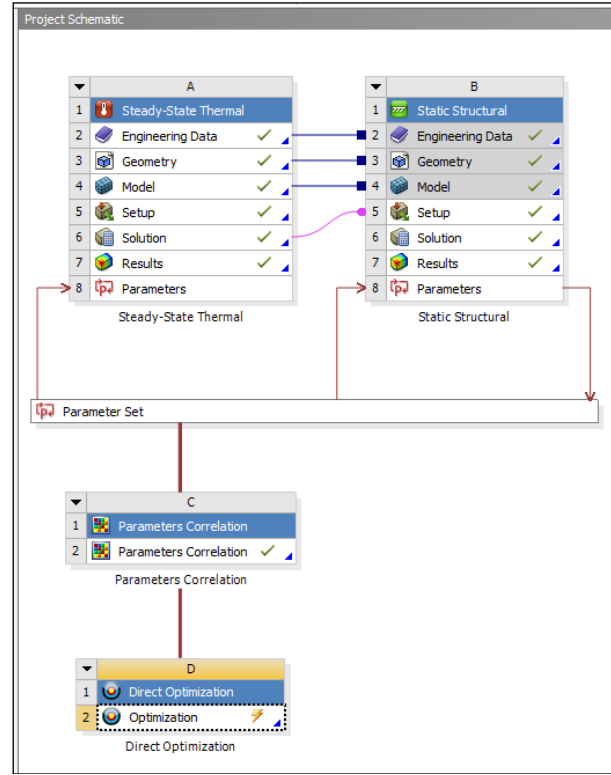
Basitleştirilen bu modelde Şekil 3 (b)'de görüldüğü gibi kesme silindiri borusu, silindir kapağı, piston ve silindir boğazı parçaları bulunmaktadır. Silindir borusu boyu; $L = 1700$ mm, iç çapı; $r_i = 540$ mm ve dış çapı; $r_o = 730$ mm ölçülerindedir. Aymas firmasında yapılan bu parçaların üretiminde, kesme silindiri borusu ve kapağı için; yapı çeliği (S355JR), piston ve silindir boğazı için; AISI 1040 çelik malzemesi kullanılmaktadır. Bu çelik malzemelerin mekanik ve ısı özellikleri Tablo 2'de verilmektedir [16, 17].

Tablo 2. Çelik malzemelerin mekanik ve ısı özellikleri.

Malzeme	Akma Muk.	Elastisite Mod.	Poisson Oranı	Isıl Gen. Kats.
S355JR	355 MPa	210 GPa	0.30	1.20×10^{-5}
AISI 1040	589 MPa	212 GPa	0.29	1.12×10^{-5}

Burada geliştirilen modelde hidrolik yağ sıcaklık değişiminin analizini yapmak için Şekil 4'de görüldüğü gibi ANSYS workbench'te kararlı-hal ısı (steady-state thermal) modülü ve eşdeğer gerilme ile şekil değiştirmenin bulunması için statik yapısal (static structural) modülü çalışma ortamına eklenmiştir. Sonlu elemanlar analizlerinin yapılmasından sonra her girdi parametresinin çıktı parametreleri üzerinde olan etkisini bulmak amacı ile parametrik korelasyon analizi gerçekleştirilmiştir. Bunun için ANSYS workbench'te

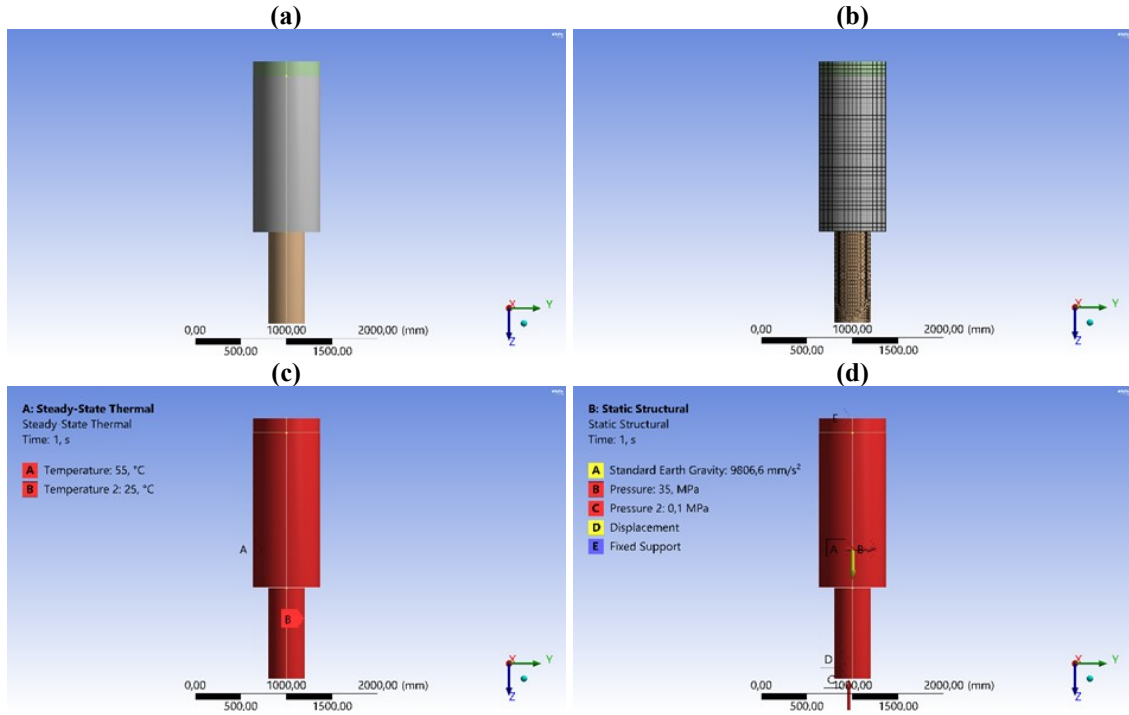
parametrik korelasyon (parameters correlation) modülü ve optimizasyon işlemi için doğrudan optimizasyon (direct optimization) modülü eklenmiştir.



Şekil 4. ANSYS workbench'te kesme silindiri modeli çözüm modülleri.

Şekil 5 (a)'da sonlu elemanlar analizi için SolidWorks'de hazırlanan kesme silindirlerinin basitleştirilmiş üç boyutlu katı modelinin ANSYS yazılımına aktarılan geometrisi verilmektedir. ANSYS'de kesme silindiri borusu ile silindir kapağı malzemesi; yapı çeliği ve piston ile silindir boğazı malzemesi; çelik AISI 1040 seçilerek girilmiştir. Bundan sonra gelen adımda modelin ağ yapısı ölçüsü 15 mm girilerek Şekil 5 (b)'de görülen ağ yapısı (mesh) bulunmuştur. Yapılan çalışmada kesme silindirinin katı modelinin ANSYS sonlu elemanlar analizi ağ yapısı (mesh); 1 623 201 adet düğümden (nodes) ve 820 715 adet elemandan (elements) oluşmaktadır.

Şekil 5 (d)'de görülen kesme silindiri yapısal analizinde gerekli olan diğer sınır şartlarının da modele girişi yapılarak sistemin analizi hazırlanmıştır. Kesme silindiri modelinde; "E" ile gösterilen üst kapak bölümü sabit destek (fixed support) sınır şartı girilmiştir. Kesme silindirinde çalışan hidrolik yağ basınç değeri; Şekil 5 (d)'de "B" ile gösterilen basınç (pressure) sınır şartı olarak bütün silindir borusu ve kapağının iç yüzeyi ile silindir pistonu üst yüzeyine 35 MPa olarak uygulanmıştır. Dış basınç; "C" ile gösterildiği üzere kesme silindirinin bütün dış yüzeylerine uygulaması yapılmıştır. Standart yerçekimi "A" ile gösterildiği gibi, +Z eksenini yönünde uygulanmıştır. En son olarak tepki kuvvetini hesaplamak için piston mili alt yüzeyine "D" ile gösterilen yer değiştirme (displacement) sınır şartı girilmiştir.

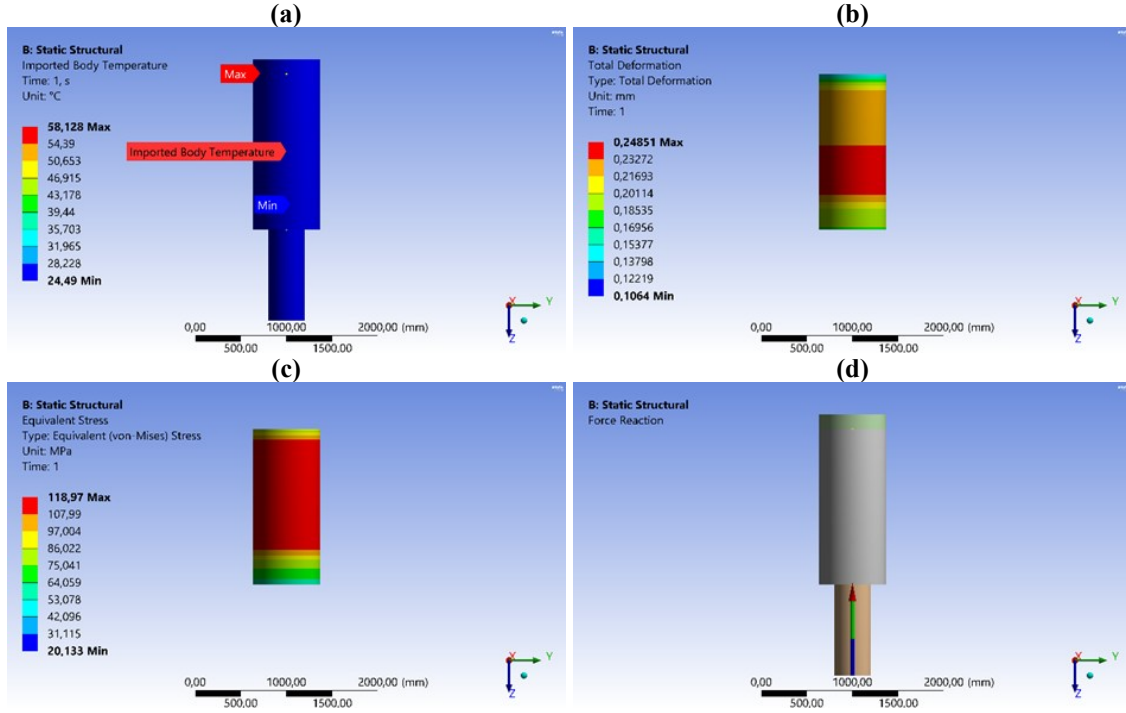


Şekil 5. ANSYS’de statik yapısal analiz modülü (a) geometri, (b) ağ yapısı, (c) ısıl modül sınır şartları ve (d) yapısal modül sınır şartları.

İlk olarak kesme silindiri sıcaklık dağılımının çözümü; yapısal analizde kullanılmak üzere kararlı hal ısıl modülünde Şekil 5 (c)’de verildiği gibi hidrolik yağın sıcaklık değeri; 55 °C ve dış ortamın sıcaklık değeri; 25 °C girilerek yapılmıştır. Kararlı hal ısıl modülünde kesme silindiri parçalarının sıcaklık dağılımı bulunduktan sonra statik yapısal analiz modülünde yer alan yük aktarma (import load) komutu kullanılarak Şekil 6 (a)’da görüldüğü üzere statik yapısal analize aktarılmıştır.

Kesme silindiri borusu yüzeyi ile temasta olan piston yüzeyi arasında ve piston mili yüzeyi ile temasta olan piston boğazı yüzeyi arasındaki bölgeler sürtünmeli (frictional) olarak ve sürtünme katsayısı (friction coefficient) 0.2 olarak modele girişi yapılmıştır. Yapılan bütün bu ayarlamalar bittikten sonra çözüm aşamasına geçilmiştir. Oluşturulan modelin yapısal analiz çözümü yapıldıktan sonra kalın duvarlı kesme silindiri borusunda meydana gelen toplam şekil değiştirmesi ve eşdeğer gerilmesi ile kesme kuvveti sonuçları sırası ile alınmış ve Şekil 6’da gösterilmiştir.

Şekil 6 (b)’de verilen sonuçların incelemesi yapıldığında kalın duvarlı silindir borusunda oluşan en yüksek toplam şekil değiştirme değeri 0.2485 mm olarak silindir borusunun orta bölgesinde görülmektedir. Ayrıca kalın duvarlı silindir borusunun en yüksek eşdeğer gerilme değeri Şekil 6 (c)’ye göre 118.97 MPa olarak silindir borusunun orta bölgesinde meydana gelmektedir. Kalın duvarlı silindir pistonunun alt yüzeyinde en yüksek kesme kuvveti değeri Şekil 6 (d)’de gösterilen tepki kuvveti (force reaction) değeri okunarak; 8.02×10^6 N olarak bulunmuştur.



Şekil 6. ANSYS’de statik yapısal analiz modülünde (a) silindirin sıcaklık çözümü, (b) toplam şekil değiştirme, (c) eşdeğer gerilme ve (d) tepki kuvveti çözümleri.

2.1. Analitik çözüm

Yüksek sıcaklık ve basınç etkisi altında çalışmakta olan silindirik elemanların elastik ve elastik-plastik sınır davranışlarının bulunması için çok çeşitli çalışmalar yapılmıştır [13, 18-21]. Kandil ve ark. [22] yaptıkları çalışmada değişen iç yüzey sıcaklık ve basınç sınır şartlarındaki kalın duvarlı silindirlerin elastik davranışını analitik olarak ve sonlu elemanlar yöntemi ile incelemişlerdir. Bu çalışma ile silindir yarıçapına göre değişen teğetsel, radyal ve eksenel gerilmeler için sırası ile Denklem (1) – (3) ile verilen denklemleri bulmuşlardır [22];

$$\sigma_t = \left[\frac{P_i}{(K^2-1)} \left(1 + \frac{r_o^2}{r^2} \right) \right] + \left[\frac{H}{2 \ln K} \left(1 - \ln \frac{r_o}{r} - \frac{1}{K^2-1} \left(1 + \frac{r_o^2}{r^2} \right) \ln K \right) \right] \quad (1)$$

$$\sigma_r = \left[\frac{P_i}{(K^2-1)} \left(1 - \frac{r_o^2}{r^2} \right) \right] + \left[\frac{H}{2 \ln K} \left(-\ln \frac{r_o}{r} - \frac{1}{K^2-1} \left(1 - \frac{r_o^2}{r^2} \right) \ln K \right) \right] \quad (2)$$

$$\sigma_e = \left[\frac{P_i}{(K^2-1)} \right] + \left[\frac{H}{2 \ln K} \left(1 - 2 \ln \frac{r_o}{r} - \frac{2}{K^2-1} \ln K \right) \right] \quad (3)$$

Bu denklemlerde, $K=r_o/r_i$; dış-ış yarıçap oranı olmaktadır ve H ; ısıl yük ise Denklem (4) ile verilmiştir [22];

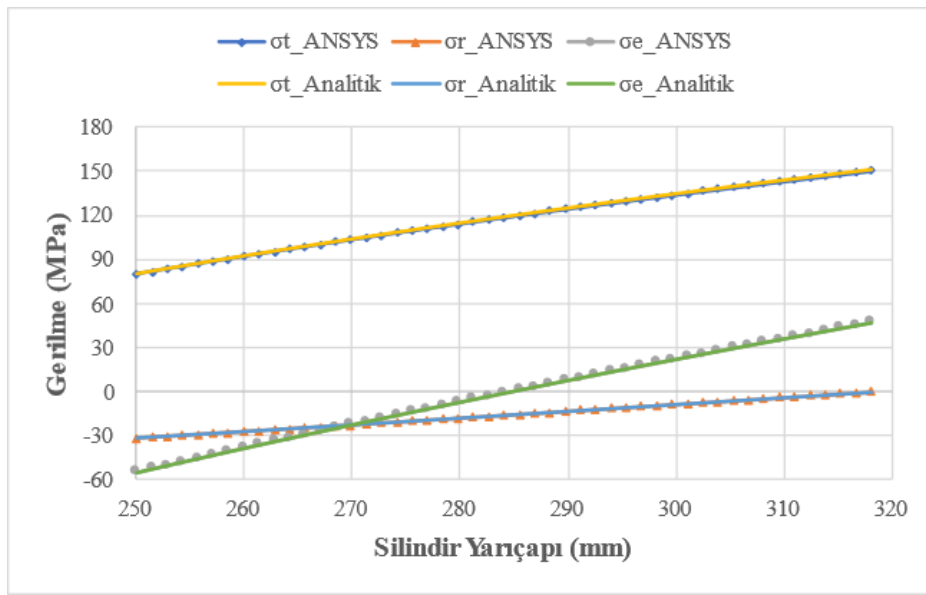
$$H = \frac{E \alpha \Delta T}{1-\nu} \quad (4)$$

Denklem (1) – (4)’te, E ile elastisite modülü, α ile ısıl genleşme katsayısı, $\Delta T=T_i - T_o$ ile iç – dış yüzeyler arası sıcaklık farkı ve ν ile Poisson oranı ifade edilmektedir. Bunun

yanında bu çalışma ile kalın duvarlı silindirlerin elastik davranışını belirlemek amacı ile von Mises eşdeğer gerilme ölçütünden yararlanılmıştır [22];

$$\sigma_{vM} = [\sigma_t^2 + \sigma_r^2 + \sigma_e^2 - \sigma_t\sigma_r - \sigma_t\sigma_e - \sigma_r\sigma_e]^{0.5} \quad (5)$$

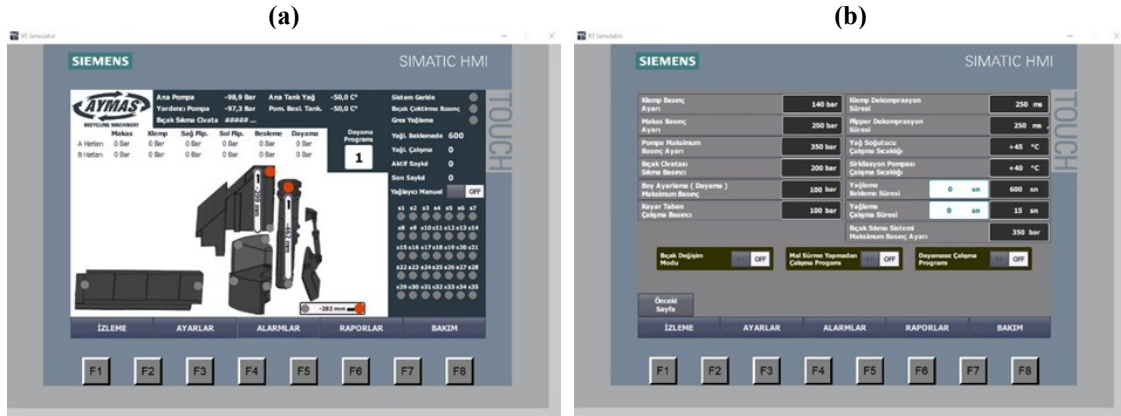
Analitik olarak bulunan Denklem (1) – (5) kullanılarak Öğüçlü [23] tarafından yapılan çalışmada C programlama dilinde bir program geliştirilmiş ve bu programın kullanılması ile değişen silindir yarıçapı ölçülerine göre bu gerilme değerlerinin hesaplanması yapılmıştır. Daha sonra söz konusu çalışmada ANSYS ile geliştirilen sonlu elemanlar modeli ile radyal, eksenel ve teğetsel gerilmeler bulunmuş ve Denklem (1) – (3) ile verilen analitik denklemler kullanılarak bulunan gerilme değerleri ile karşılaştırılması yapılmıştır. Şekil 7’de verilen bu karşılaştırmadan ANSYS modeli ve analitik denklemler kullanılarak bulunan her iki çözümün birbirleri ile uyumlu olduğu görülmüştür [23].



Şekil 7. ANSYS çözümü ile analitik çözümün karşılaştırılması [23].

2.2. Test çalışmaları

AYMAS firması fabrikasında imalatı yapılan eğik makasların içine metal hurda yüklemekten kesme silindirlerinin altına takoz koyarak çalıştırılması ile test ve kontrol çalışmaları yapılmaktadır. Eğik makaslar sahada uzaktan kumanda ile yapılan otomatik veya kontrol panelinden yapılan el ile veya otomatik çalıştırma yöntemleri ile kullanılabilir. Şekil 8’de kontrol panelindeki eğik makas (a) bilgi izleme ekranı ve (b) ayarlar izleme ekranı görülmektedir [15]. Bilgi ekranından; eğik makasın işlemsel olarak bulunduğu konum ve arıza durumu ile ilgili bilgiler izlenebilir. Bu ekranda silindir konumları, basınç değerleri, yağ sıcaklığı bilgileri bulunmaktadır. Bu ekranda, “AYARLAR” düğmesine basılarak, Şekil 8 (b) ile gösterilen ayarlar ile ilgili bilgiler hakkındaki ekrana geçilebilir. Bu ekrandan silindir basınçları ve hidrolik yağ sıcaklık ayar bilgileri izlenebilir ve eğik makas ile ilgili çeşitli ayarlar bu sayfada yapılabilir [15].



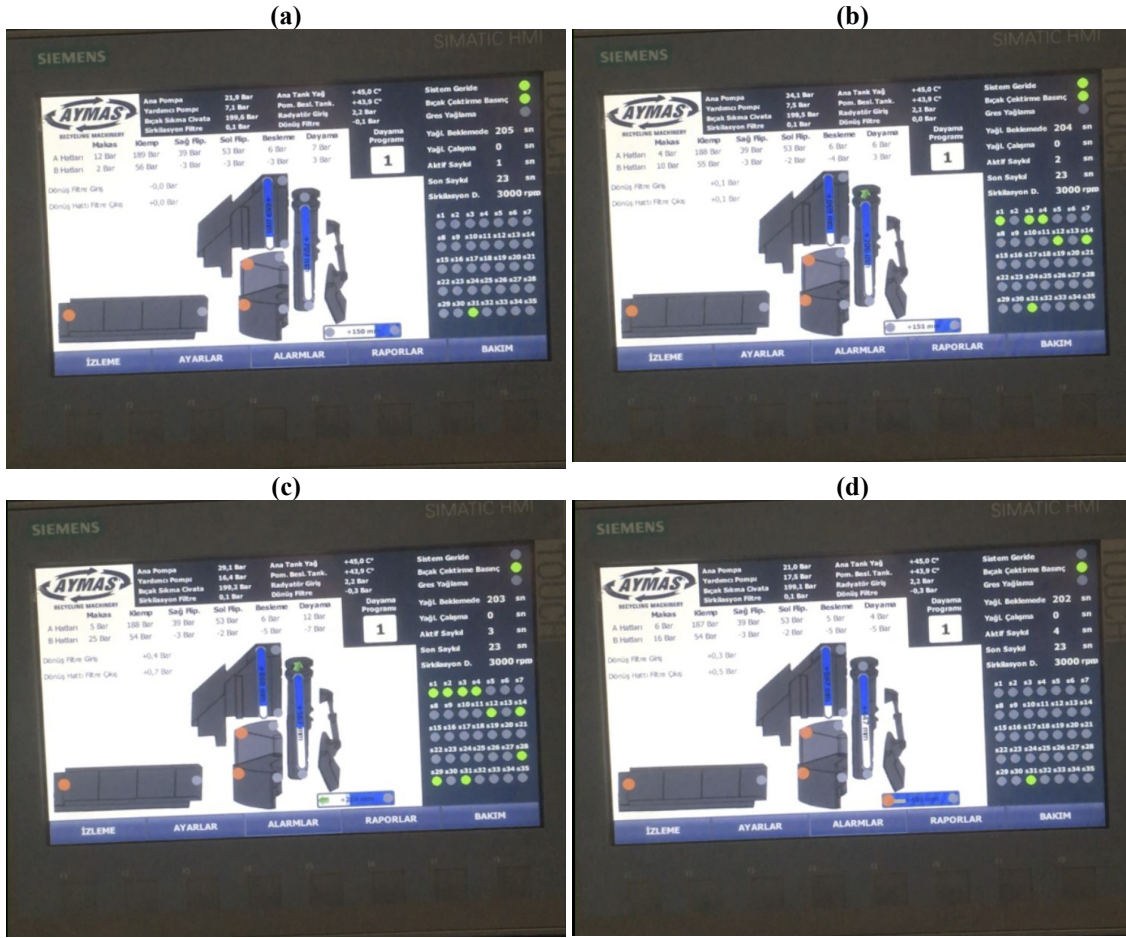
Şekil 8. Eğik makas (a) bilgi izleme ekranı ve (b) ayarlar izleme ekranı.

Yapılan test çalışmaları esnasında eğik makasın izleme ekranı üzerinden çalışma şartları 0,1 s aralıklar ile belirlenmiştir. Tablo 3'te bu değerler $\Delta t = 28 - 37$ s aralığında özet olarak gösterilmiştir. Bu tabloda görüldüğü gibi kesme silindiri pistonu, giyotin altına konulan takoz nedeni ile $\Delta t = 30 - 32$ s zaman aralığında ilerleme yapamamış, ilerleme yaklaşık 715 mm'de sabit kalmış fakat silindir basıncı artmıştır. Daha sonra $t = 32$ s'den itibaren silindir pistonu yukarı çekme çevrimi başlamıştır.

Tablo 3. Takoz testi aşamasında eğik makas test sonuçları.

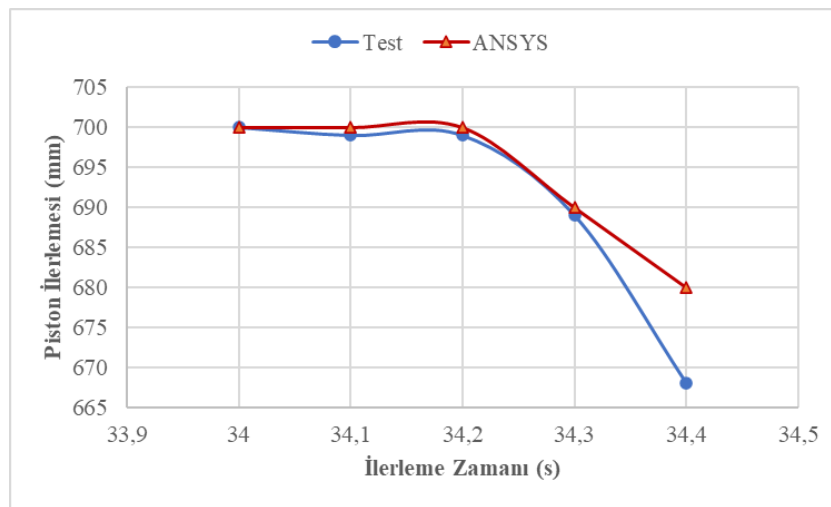
Ölçülen Zaman (s)	İzleme Ekranı İlerleme (mm)	İzleme Ekranı Basıncı (bar)
28	452	0
29	569	3
30	698	4
31	714	182
32	716	207
33	702	2
34	700	10
35	567	25
36	447	16
37	432	5

Şekil 9'da $\Delta t = 33 - 36$ s zaman aralığında takoz testi aşamasında eğik makas izleme ekranından alınan görseller verilmiştir.



Şekil 9. Takoz testi aşamasında eğik makasın izleme ekranı; (a) $t=33$ s, (b) $t=34$ s, (c) $t=35$ s ve (d) $t=36$ s.

ANSYS’de yapılan kesme silindiri modeli ile test çalışmalarını karşılaştırmak için, $\Delta t = 34 - 34,4$ sn zaman aralığında silindir basınç değişimleri modele girilmiştir. Bu test çalışması esnasında hidrolik yağ sıcaklığı ortalama olarak 45°C olarak izleme ekranından tespit edilmiştir. ANSYS’de bu şartlara uygun olarak modelin çözümü yapılmıştır.



Şekil 10. ANSYS modelinde ve takoz testinde piston ilerlemesi değişimleri.

Şekil 10'da $\Delta t = 34 - 34,4$ sn zaman aralığında test çalışması ve ANSYS modeli ile bulunan piston ilerlemesi değişimleri görülmektedir. Şekil 10'da verilen bu karşılaştırmadan ANSYS modeli ve takoz testi ile bulunan değerlerin birbirleri ile uyumlu olduğu görülmüştür. Böylece hem analitik çözüm ile hem de test çalışmaları ile uyumlu sonuçlar veren ANSYS modelinin bu çalışmada kullanılmasının uygun olduğuna karar verilmiştir.

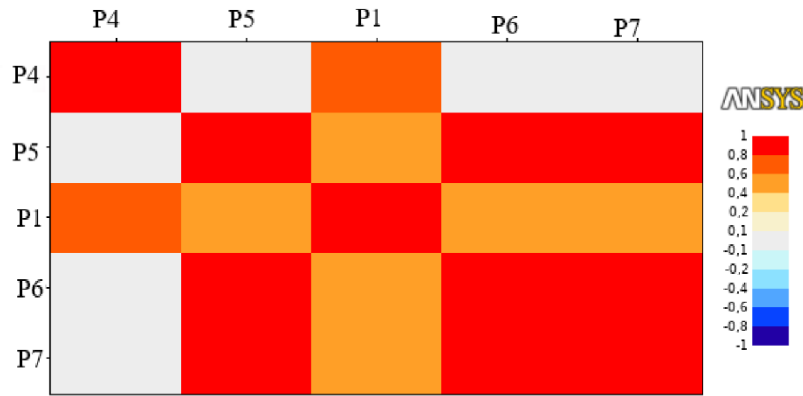
Bundan sonraki aşamada, EM1600 eğik makas kesme grubunda bulunan kesme silindirisinin içinde çalışan hidrolik yağın sıcaklık ve basınç değişkenleri girdi parametresi olarak belirlenmiştir. Söz konusu bu parametrelerin alt ve üst sınır değerlerinin seçimi yapılırken, eğik makasın işletmedeki çalışmasında görülen gerçek değerlerinin alınmasına özen gösterilmiştir. Hidrolik yağ basınç parametresinin değişim aralığı; 25 – 35 MPa, sıcaklık için ise 35 – 55 °C olarak belirlenmiştir. ANSYS modeli ile bulunan toplam şekil değiştirme, eşdeğer gerilme ve kesme kuvveti çıktı parametreleri olarak seçilmiştir. Bütün bu parametrelerin açıklamaları Tablo 4'te verilmektedir.

Tablo 4. ANSYS girdi ve çıktı parametreleri.

Girdi Parametreleri			
	Açıklama	Alt Sınır Değeri	Üst Sınır Değeri
P4	Sıcaklık (°C)	35	55
P5	Basınç (MPa)	25	35
Çıktı Parametreleri			
	Açıklama	Hesaplanan En Küçük Değer	Hesaplanan En Büyük Değer
P1	Toplam Şekil Değiştirme (mm)	0.1556	0.2452
P6	Kesme Kuvveti (N)	5.76×10^6	8.02×10^6
P7	Eşdeğer Gerilme (MPa)	69.02	118.97

Parametrik korelasyon çalışmalarında yaygın bir şekilde Pearson ve Spearman korelasyonları olmak üzere iki farklı korelasyon çeşidi kullanılmaktadır. Bunlardan ilki doğrusal bir korelasyon türü olan Pearson korelasyonudur. Bu yöntemde ölçümü yapılan iki sayısal değer arasında bir ilişki bulunup bulunmadığı araştırılır [4]. Bu yöntemin uygulanması ile “-1” ile “1” aralığında değişim gösteren sayısal bir sonuç bulunur. Bu sonuç; girdi değişkeni ile çıktı değişkeni arasında bulunan ilişkiyi gösterir. Başka bir deyişle, girdi değişkeninin çıktı değişkeni üzerinde olan etkisini tanımlar. Geniş olarak kullanımı olan diğer bir korelasyon çeşidi ise Spearman korelasyonu olarak adlandırılır. Bu yöntem, Pearson korelasyon yöntemine göre daha kapsamlı olmaktadır. Genel olarak değişkenleri arasında doğrusal olmayan bir ilişki olan çalışmalar için tercih edilen bir yöntemdir. Bu yöntem kullanıldığında; Pearson yöntemine benzer olarak, “-1” ile “1” değerleri arasında değişen sonuçlar bulunur. Bu sonuçlar “1” değerine yaklaştıkça parametreler arasında olan ilişki değerinin artışı aynı yönde olur, bulunan sonucun “-1” değerine yaklaşması parametreler arasında olan ilişkinin değerinin ters yönde arttığını gösterir [24].

Bu çalışmada yapılan analizler ile bulunan sonuçların değerlendirilmesi için Pearson korelasyon yöntemine göre daha kapsamlı bir yöntem olan Spearman korelasyonu kullanılmıştır. Yapılan parametrik analiz çalışmasında girdi parametreleri olan sıcaklık ve basınç değerleri Tablo 4'te belirtilen aralıkta değiştirilerek 100 farklı model oluşturulmuştur. ANSYS uygulamasında bu modellerin tanımı yapıldıktan sonra Parametrik Korelasyon modülü kullanılarak 100 farklı model için analizlerin çözümü yapılmış ve korelasyon sonuçları bulunmuştur. Tablo 4'te çıktı parametrelerinin hesaplamalar sonucu elde edilen en küçük ve en büyük değerleri verilmiştir. Bu sonuçlar ile oluşturulan ve Şekil 11'de renkler ile gösterilen matriste, sıcaklık ve basınç girdi parametrelerinin çıktı parametreleri üzerinde olan etkilerinin şiddeti verilmiştir.



Şekil 11. Renklerle gösterilmiş korelasyon matrisi.

Ayrıca ANSYS'de Şekil 12'de tablo halinde verilen matris, Şekil 11 ile renkli olarak verilen korelasyon matrisindeki aynı sonuçların sayısal olarak gösterilmiş halidir.

Table of Schematic C2: Parameters Correlation						
	A	B	C	D	E	F
1	Name	P4 - Sıcaklık	P5 - Basınc	P1 - Toplam Sekil Degistirme	P6 - Kesme Kuvveti	P7 - Esdeger Gerilme
2	P4 - Sıcaklık	1	-0,096382	0,79225	-0,096382	0,094533
3	P5 - Basınc	-0,096382	1	0,40259	1	0,97837
4	P1 - Toplam Sekil Degistirme	0,79225	0,40259	1	0,40259	0,56338
5	P6 - Kesme Kuvveti	-0,096382	1	0,40259	1	0,97837
6	P7 - Esdeger Gerilme	0,094533	0,97837	0,56338	0,97837	1

Şekil 12. Tablo halinde korelasyon matrisi.

Şekil 11'de girdi parametrelerinden birinin çıktı parametrelerinden herhangi biri üzerindeki etkisinin şiddeti ve yönü görülmek istendiğinde, bu girdi ve çıktı parametrelerinin yer aldığı satır ve sütun kesişimlerinde oluşan parçanın gösterdiği renk değerine bakılarak etkinin şiddeti ve yönü anlaşılmaktadır. Eğer kesişim renkleri kırmızıya yaklaşıyor ise korelasyon değeri "1" değerine yaklaşıyor demektir. Bu kesişim parçasının bulunduğu satır ve sütundaki parametreler arasında doğru orantılı olarak ilişki değeri artmaktadır. Eğer matriste bulunan renk değerleri mavi renk değerine yaklaşıyor ise iki değişken arasında bulunan bağıntı değeri "-1" değerine yaklaşıyor demektir. Bu sonuç matriste bulunan renk mavi rengine yaklaştıkça kesişim parçasının bulunduğu satır ve sütunda bulunan değişkenler arasında ters yönde korelasyon değerinin artmakta olduğunu ifade eder. Bu tabloda sıfıra yakın olan korelasyon değerleri, satır ve sütunda

bulunan parametreler arasındaki bağıntının az olduğunu ve bu parametrelerde gerçekleşen değişimlerin birbirlerini etkilemediğini ifade eder [24].

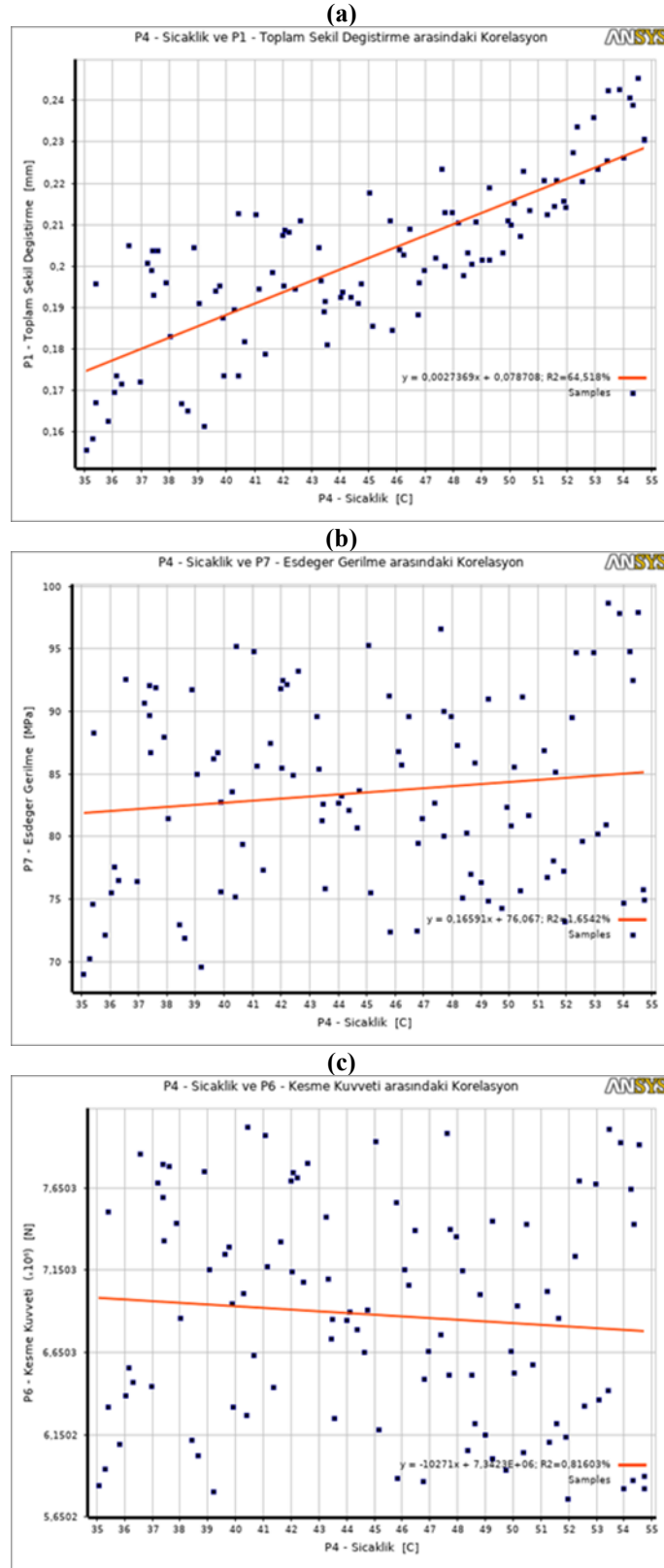
Şekil 12 incelendiğinde sıcaklık girdi parametresi ile toplam şekil değiştirme çıktı parametresi arasındaki korelasyon değeri 0.79 olarak görülmektedir. Buradan sıcaklık girdi değerinin toplam şekil değiştirme üzerinde doğru orantılı olarak artacak şekilde etkili olduğu sonucu çıkmaktadır. Bununla birlikte sıcaklık girdi parametresinin diğer iki çıktı parametresi arasındaki korelasyon değeri yaklaşık 0.09 olarak görülmektedir. Buradan sıcaklık girdi değerinin eşdeğer gerilme ve kesme kuvveti çıktı parametreleri üzerinde etkisinin çok az olduğu sonucu çıkmaktadır.

Basınç girdi parametresi ile toplam şekil değiştirme çıktı parametresi arasındaki korelasyon değeri 0.4 olarak görülmektedir. Buradan basınç girdi değerinin toplam şekil değiştirme üzerinde doğru orantılı olarak artacak şekilde fakat sıcaklık girdi parametresine göre daha az etkili olduğu sonucu çıkmaktadır. Bununla birlikte basınç girdi parametresinin eşdeğer gerilme çıktı parametresi arasındaki korelasyon değeri 1 olarak görülmektedir. Buradan basınç girdi değerinin eşdeğer gerilme çıktı parametresi üzerinde etkisinin çok yüksek olduğu sonucu çıkmaktadır. Aynı şekilde basınç girdi parametresinin kesme kuvveti çıktı parametresi arasındaki korelasyon değeri 0.98 olarak görülmektedir. Buradan basınç girdi değerinin kesme kuvveti çıktı parametresi üzerinde etkisinin yine çok olduğu sonucu çıkmaktadır.

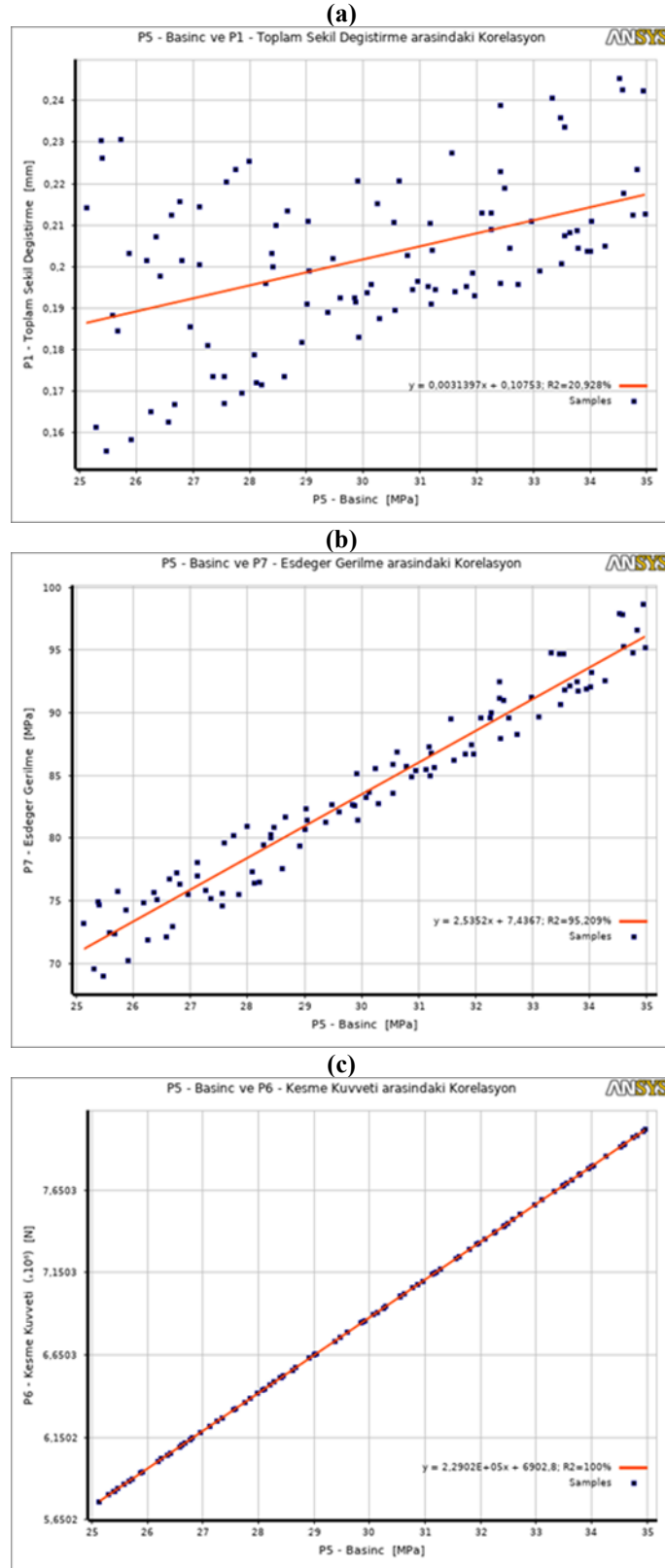
3. Sonuçlar ve tartışma

Şekil 11 ve 12 incelendiğinde girdi parametrelerinden sıcaklık değerinin toplam şekil değiştirme üzerinde doğru orantılı olarak artacak şekilde etkili olduğu, eşdeğer gerilme ve kesme kuvveti üzerinde etkisinin çok az olduğu görülmektedir. Şekil 13’de birlikte verilen ve ANSYS’den alınan sıcaklık girdi parametresinin bu çıktı parametreleri üzerindeki etkisi açık bir şekilde görülmektedir.

Şekil 11 ve 12 incelendiğinde girdi parametrelerinden basınç değerinin toplam şekil değiştirme üzerinde sıcaklık girdi parametresine göre daha az miktarda, doğru orantılı olarak artacak şekilde etkili olduğu, eşdeğer gerilme ve kesme kuvveti üzerinde ise etkisinin doğru orantılı olarak artacak şekilde çok fazla olduğu görülmektedir. Şekil 14’de basınç girdi parametresinin çıktı parametreleri üzerindeki etkisi açık bir şekilde görülmektedir.



Şekil 13. Sıcaklık girdi parametresinin (a) toplam şekil değiştirme, (b) eşdeğer gerilme ve (c) kesme kuvveti çıktı parametreleri üzerinde etkisi.



Şekil 14. Basıncı girdi parametresinin (a) toplam şekil değiştirme, (b) eşdeğer gerilme ve (c) kesme kuvveti çıktı parametreleri üzerindeki etkisi.

Buraya kadar eğik makasın kesme silindiri için seçilen girdi parametrelerinin, çalışma sonucu bulunan tüm çıktı parametreleri üzerine etkisi Parametrik Korelasyon yöntemi ile

ayrı ayrı incelenmiştir. Bundan sonraki aşamada bu çalışmadaki optimizasyon problemi; optimizasyon değişkenleri ve sınır değerleri belirlenerek ANSYS’de doğrudan optimizasyon modülü kullanılarak çözülmüştür. Kalın duvarlı silindirler için literatürde güvenlik katsayısı; $s = 3.5 - 6$ arasında verilmektedir. Burada yapılan çalışmada, $s = 3.5$ olarak alınmıştır [25]. Eğik makas silindir malzemesi olan yapı çeliği (S355JR) için akma dayanımı olan 355 MPa için en büyük gerilme değeri yaklaşık 101 MPa olmaktadır. Ayrıca toplam şekil değiştirme için üst sınır değeri için eğik makas kesme grubunda, kesme silindiri borusu ile taşıyıcı sac parça arasındaki boşluk (pay) değeri olan 1 mm ölçüsü alınmıştır. Bu çalışmadaki optimizasyon problemi şu şekilde ifade edilebilir;

$$35^{\circ}\text{C} \leq \text{Sıcaklık} \leq 55^{\circ}\text{C}$$

$$25 \text{ MPa} \leq \text{Basınç} \leq 35 \text{ MPa}$$

$$\text{EnKüçük}\{\text{Eşdeğer Gerilme}\} \leq 101 \text{ MPa} \quad (6)$$

$$\text{EnKüçük}\{\text{Toplam Şekil Değiştirme}\} \leq 1 \text{ mm}$$

$$\text{EnBüyük}\{\text{Kesme Kuvveti}\} \geq F_{hedef}$$

ANSYS yazılımına bu optimizasyon problemi değerleri girilmiştir. Böylece ANSYS doğrudan optimizasyon modülü kullanılarak, $F_{hedef} = 7.9 \times 10^6 \text{ N}$ ile $5.5 \times 10^6 \text{ N}$ arasındaki en büyük kesme kuvveti değerleri için bu şartları sağlayan kesme silindirlerinde yer alan hidrolik yağa ait sıcaklık ve basınç değişkenlerinin en uygun değerleri bulunmuştur. Kesme kuvveti değeri; $F_{hedef} = 7.3 \times 10^6 \text{ N}$ için ANSYS’de optimizasyon işlemi sonucunda elde edilen tasarım aday noktaları (candidate points) Şekil 15’te görülmektedir. Bu kuvvet değeri için en uygun sıcaklık değeri ANSYS tarafından $T = 48.529^{\circ}\text{C}$ ve en uygun basınç değeri $P = 33.419 \text{ MPa}$ olarak verilmektedir.

Table of Schematic D2: Optimization , Candidate Points									
1	A	B	C	D	E	F	G	H	I
2	Reference	Name	P4 - Sıcaklık (°C)	P5 - Basınç (MPa)	P1 - Toplam Şekil Değiştirme (mm)		P6 - Kesme Kuvveti (N)		P7 - Eşdeğer Gerilme (MPa)
3					Parameter Value	Variation from Reference	Parameter Value	Variation from Reference	Parameter Value
4									
5									
*									

Şekil 15. $F_{hedef} = 7.3 \times 10^6 \text{ N}$ için ANSYS’de optimizasyon tasarım aday noktaları.

$F_{hedef} = 7.9 \times 10^6 \text{ N}$ ile $5.5 \times 10^6 \text{ N}$ arasındaki en büyük kesme kuvveti değerleri için ANSYS’de bu optimizasyon işlemi dört defa daha tekrarlanmıştır. Bu yolla tüm hedef kesme kuvveti değerleri için bulunan sıcaklık ve basınç girdi parametrelerinin en uygun değerleri aday noktaları arasından seçilerek Tablo 5’te gösterilmiştir.

Tablo 5. Eğik makas kesme silindiri için en uygun çalışma şartları.

Kesme Kuvveti (N)	Sıcaklık (°C)	Basınç (MPa)
7.9×10^6	42.943	34.725
7.3×10^6	48.529	33.419
6.7×10^6	42.647	31.678
6.1×10^6	42.647	28.842
5.5×10^6	35.588	25.229

Bu çalışma ile EM1600 eğik makasın kesme silindirlerinin çalışma koşullarının parametrik olarak tasarımı yapılmış ve ANSYS’de optimizasyon işlemi ile iyileştirilmesi gerçekleştirilmiştir. Solidworks yazılımında eğik makasın kesme silindirlerinin üç boyutlu katı modelinin tasarımı yapılmış daha sonra çeşitli basitleştirilme işlemi gerçekleştirilmiştir. Basitleştirilmiş bu katı model sonlu elemanlar analizlerinin yapılması için ANSYS yazılımına aktarılmıştır. EM1600 eğik makasın işletmelerdeki çalışma koşullarında ölçülen sıcaklık ve basınç değerleri aralığına uygun olarak ANSYS çalışma ortamında kalın duvarlı kesme silindirleri için bir model geliştirilerek sonlu elemanlar analizleri yapılmıştır. Bu çalışma ile bulunan kalın duvarlı silindir borusunda oluşan en yüksek toplam şekil değiştirme değeri; 0.2485 mm olarak silindir borusunun orta bölgesinde görülmektedir. Ayrıca kalın duvarlı kesme silindiri borusunun en yüksek eşdeğer gerilme değeri; 118.97 MPa olarak silindir borusunun orta bölgesinde meydana gelmektedir. Kalın duvarlı kesme silindiri pistonunun en yüksek kesme kuvveti değeri; 8.02×10^6 N olarak bulunmuştur.

Bu çalışmada EM1600 eğik makasın kesme silindirlerinde bulunan hidrolik yağın sıcaklık ve basınç değerleri ANSYS'de girdi parametresi olarak, silindir duvarında oluşan radyal, aksel ve teğetsel gerilmelerin kullanılması ile bulunan von Mises eşdeğer gerilmesi ile toplam şekil değiştirmesi çıktı parametresi olarak kullanılmıştır. Bunun yanında eğik makasın kesme silindirleri tarafından sağlanan kesme kuvveti değeri de ANSYS'de çıktı parametresi olarak kullanılmıştır. Daha sonra bu parametrelerin kullanılması ve Parametrik Korelasyon Yöntemi yardımı ile ANSYS yazılımında çok amaçlı optimizasyon işlemi yapılmıştır. Bunun için toplam şekil değiştirme parametresi ile von Mises eşdeğer gerilme parametresi kısıt olarak belirlenmiş ve bu değişkenlerin en küçük değerlerinin bulunması istenmiş, kesme kuvveti parametresi ise hedef olarak belirlenmiş ve en büyük değerinin bulunması talep edilmiştir. Çalışma ile bu şartları yerine getiren ve girdi parametresi olarak belirlenen kesme silindirlerinde bulunan hidrolik yağın sıcaklık ve basınç parametrelerinin en uygun değerleri elde edilmiştir. En yüksek kesme kuvvetine göre ANSYS’de yapılan optimizasyon işlemi ile bulunan ve Tablo 5’te verilen en uygun sıcaklık ve basınç parametreleri kullanılarak, eğik makasın çok fazla yüke ihtiyacı olmadığı durumlarda kesme silindirlerinin kademeli olarak kullanımı gerçekleştirilebilir. Bu şekilde kesme silindirlerinin gereksiz yere çok fazla zorlanması önlenir. Böylece kesme silindirleri daha az yüklerde kullanılarak eğik makasın hidrolik sisteminin de düşük güçlerde çalışması sağlanarak enerji tasarrufuna katkıda bulunabilir.

Kaynaklar

- [1] Türemen, M., Demir, A. ve Özdoğan, E., Tekstil endüstrisi için geri dönüşüm ve önemi, **Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi**, 25, 7, 805-809, (2019).
- [2] Ayyıldız, M., Çiçek, A. ve Kara, F., Bilgisayar destekli tasarımda parametrik dişli çark uygulamaları, **Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi**, 2, 3, 643-651, (2010).
- [3] Sırmalılar, M. Y., Haktanır, M., Saklakoğlu, N. ve Eş, C., Ağır ticari araçlarda kullanılan bir volanın parametrik optimizasyon yöntemiyle tasarımının iyileştirilmesi, **Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi**, 10, 4, 1341-1353, (2022).

- [4] Sabuncuoğlu, B. ve Demirtaş, O., Helisel işleme yay sabitinin belirlenmesi amacıyla parametrik korelasyon tekniğini kullanarak bir yapay sinir ağı geliştirilmesi, **Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi**, 36, 1, 105-118, (2021).
- [5] Gündoğdu T., Kalıcı mıknatıslı vernier makinaların parametrik analizi, **Politeknik Dergisi**, 27, 3, 1169-1188, (2024).
- [6] Asker, M. ve Günerhan, H., Faz değişim malzemeli ısı değiştirici üzerine parametrik bir çalışma, **Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University**, 31, 3, 555-565, (2016).
- [7] Aydın, Y. N., Korkut, T. B., Özaydın, O., Armakan, E., Sarı, G. ve Gören, A., Solaris 10 güneş arabası jantının deneysel ve teorik modal analizi ve elektrikli araç jantının parametrik tasarım ile hafifleştirilmesi, **Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi**, 23, 68, 689-699, (2021).
- [8] Özden, O. B. ve Gökçe, B., Sonlu elemanlar yöntemi ve Taguchi metodu kullanılarak bir kara aracının parametrik olarak optimum tasarımının geliştirilmesi, **Dicle University Journal of Engineering**, 14, 2, 305-313, (2023).
- [9] Celen, A. ve Kaba, M. Y., Elektrikli araçlarda kullanılan silindirik lityum iyon bataryaların soğutulmasının parametrik incelenmesi, **Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi**, 33, 1, 49-61, (2021).
- [10] Kocaaslan, O., Yasa, T. ve Güleren, K. M., Türbülanslı yanma için döndürücünün parametrik çalışması, **Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi**, 41, 2, 205-226, (2021).
- [11] Çetin, B., Basit Brayton çevriminde elektrik üretimi maliyetinin parametrik analizi, **Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi**, 29, 2, 1-8, (2017).
- [12] Çelik, H. ve Parlak, N., Kanatçık geometrisinin ısı geçişine etkisinin parametrik incelenmesi, **International Journal of Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies**, 2, 2, 25-29, (2018).
- [13] Eraslan, A. N. ve Apatay, T., İç yüzey sıcaklığı periyodik olarak değişen kalın cidarlı tüplerde termoelastik gerilme davranışı: analitik çözüm, **20. Ulusal Mekanik Kongresi**, 728-735, Uludağ Üniversitesi, Bursa, (2017).
- [14] <https://www.aymasmakina.com/tr/urun/em-egik-makaslar>, (20.01.2025).
- [15] https://aymasmakina.com/upload/inclined_shear_190402102006_comp.pdf, (20.01.2025).
- [16] http://www.steelnumber.com/en/steel_composition_eu.php?name_id=8, (10.01.2025).
- [17] http://www.steelnumber.com/en/equivalent_steel_iron_eu.php?zname_id=128, (10.01.2025).
- [18] Apatay, T. ve Eraslan, A. N., Periyodik olarak sönümlenen iç ısı üretimi etkisindeki silindirin akma davranışı, **XIX. Ulusal Mekanik Kongresi**, 91-96, Trabzon, (2015).
- [19] Eraslan, A. N., Apatay, T. ve Varlı, E., Dış yüzey sıcaklığı zamanla değişen silindirin elastik-plastik analitik çözümü, **XIX. Ulusal Mekanik Kongresi**, 437-444, Trabzon, (2015).
- [20] Apatay, T., Eraslan, A. N. ve Çiftçi, B., Sinüzoidal değişen iç ısı üretimi etkisindeki silindirin kısmen plastik analitik çözümü, **XIX. Ulusal Mekanik Kongresi**, 97-104, Trabzon, (2015).
- [21] Apatay, T. ve Eraslan, A. N. Analyses of elastic limit heat loads in thick walled tubes subjected to periodic surface temperatures: analytical treatment, **Archives of Mechanics Kongresi**, 37-53, Warszawa, (2018).

- [22] Kandil, A., El-Baghdady, A. ve El-Shenawy, M., Analytical and finite element stress analysis of pressure vessels under constant and cyclic loading, **Port Said Engineering Research Journal**, 17, 2, 1-11, (2013).
- [23] Öğüçlü, Ö., Geri dönüşüm makinelerinin parametrik optimizasyon yöntemleriyle yapısal tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, İzmir Bakırçay Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İzmir, (2024).
- [24] Emerson, W. R., Causation and Pearson's correlation coefficient, **Journal of Visual Impairment & Blindness**, 36, 3, 242-244, (2015).
- [25] ASME Boiler and pressure Vessel Standards, Section VIII, Division 2, (2023).