

HİDROLİK SİLİNDİRİN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE LINEER STATİK ANALİZİ

Mustafa TINKİR^{*}, Haşmet Çağrı SEZGEN

Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Konya, Türkiye.

Geliş / Received: 27.06.2016

Düzeltilmelerin gelişi / Received in revised form: 27.09.2016

Kabul / Accepted: 30.09.2016

ÖZ

Bu çalışmada, endüstriyel 300 tonluk H tipi hidrolik presin en önemli parçalarından olan yardımcı silindirlerinin geometrik optimizasyonu için yapısal analizi yapılmıştır. Bu amaçla; yardımcı silindiri oluşturan silindir kovana, silindir arka kapağı, kovan flanşı, silindir pistonu, silindir rotu, silindir boğazı ve rot flanşının sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak lineer statik analizleri gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak; ANSYS Workbench yazılımı ile silindiri oluşturan bu parçaların maksimum Von Mises gerilme bölgeleri, güvenlik katsayıları, yer değiştirme sonuçları ve optimizasyon yapılması gereken yerler belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hidrolik pres, yardımcı silindir, sonlu elemanlar yöntemi, lineer statik analiz

LINEAR STATIC ANALYSIS OF HYDRAULIC CYLINDER VIA FINITE ELEMENT METHOD

ABSTRACT

In this study, structural analysis of auxiliary cylinders which are the most important parts of industrial 300 tons H-type hydraulic press is performed for geometric optimization. For this purpose, linear static analysis of cylinder barrel, cylinder back cover, barrel flange, cylinder piston, cylinder rod, cylinder throat and rod flange of auxiliary cylinder is realized by using finite element method. As a result, maximum Von Mises stress locations, safety factors, maximum deformation results and required optimization locations of cylinders parts are determined via ANSYS Workbench software.

Keywords: Hydraulic press, auxiliary cylinder, finite element method, linear static analysis

1. GİRİŞ

Hidrolik biliminin klasik uygulama alanlarından olan metal şekillendirme makineleri ve presler, endüstrinin birçok kolunda yüksek kaliteli ve seri üretim yapılmasına olanak sağlamaktadır. Yeni malzemeler, ürünler ve yeni imalat prosesleri de presler için yeni uygulama alanlarının ortaya çıkmasına yol açmaktadır. Preslerde hidroliğin kullanımı ile büyük bir güç sağlanmakla birlikte, etkili ve yüksek miktarda üretim aynı zamanda da insan ve makine için de emniyet sağlanmıştır. Bugün endüstriyel hidroliğin en önemli parçası olan hidrolik presler, başta sıvama, bükme, ekstrüzyon ve dövme işlemleri olmak üzere genel anlamda demir çelik endüstrisinin vazgeçilmezlerindedir [1]. Hidrolik sistemler ilk defa uygulanmaya başlanan üretim makinelerindedir. Büyük basınçların gerektirdiği (500–2000 ton) preslerden en küçük kapasite ile çalışan preslerin hepsine de hidrolik sistemler uygulanabilir. Hız kontrolünün istenildiği gibi yapılabilmesi, sistemin basit ve kontrol edilmesinin çok kolay olması, çok büyük güçler üretebilir olması ve uzaktan kumanda

^{*}Corresponding author / Sorumlu yazar. Tel.: +90 332 325 2024; e-mail/e-posta: mtinkir@konya.edu.tr

M. TINKIR, H.Ç. SEZGEN

edilebilmesi hidrolik sistemlerin pres tezgahlarında kullanılmasını sağlamıştır. Çelik endüstrisinde, sıcak metal işçiliklerinde, otomobil endüstrisinde kullanılan yüksek sıcaklıkta ve büyük yükler altında büyük fayda sağlayan hidrolik sistemler her çeşit presleme işlemlerinde kullanılmaktadır. Önceleri basma, bükme, şişirme, çekme, kıvrırma ve plastik pres sanayinde hidrolik presler kullanılmıştır. Darbeli olarak çalışmanın gerektiği kesme kalıplarında da hidrolik preslerin kullanılması ve mekanik preslerden daha iyi sonuçlar vermesi hidrolik sistemlerin pres sanayisinin hemen her dalında kullanılabilir hale gelmesini sağlamıştır. Ayrıca günümüzde programlanabilir kontrol sistemlerinin hidrolik sistemlere uygulandığı en yaygın alan olan pres sanayinde çok az insan gücü ile üretim yapılır hale gelmiştir. Otomotiv endüstrisinde bu durum açıkça görülmektedir. İşlerin üzerindeki işlem sıralarına göre dizayn edilen üretim sistemlerinin de günümüzde pahalı ve uzun süreli üretim sistemi olması bütün işlemlerin aynı anda veya bir grup işlemin aynı anda yapıldığı üretim sistemlerini gerektirmiştir. Böyle üretim sistemleri de hidrolik ve pnömatik sistemlerle ve robotlar sayesinde yapılmaktadır.

Bugün pres sanayisinin her kolunda hidrolik presler kullanılmaktadır. Özellikle son zamanlarda üretilen programlanabilir kumanda sistemli hidrolik preslerde, pres kalıplarının dahi otomatik olarak değiştirilmesi ve takılıp sökülmesi, bir kişi ile pres atölyesinin çalıştırılmasını ortaya çıkarmıştır.

Çalışma ilkeleri farklı olmakla birlikte presler de gövde konstrüksiyonları benzerlik göstermektedir. Ülkemizde pres imalatı yapan kuruluşlar göz önüne alınarak bir değerlendirme yapıldığında aşağıdaki veriler elde edilmiştir:

- İmalatçıların çoğunun atölye tipi imalat yaptığı görülmektedir.
- Sistematik bir imalat tekniğinden yoksun atölyeler ilkel ve bilinçsiz alt ve üst yapıya sahiptir.
- İmalathanelerdeki tezgâhların hassaslıkları ve kapasiteleri sınırlıdır. Dolayısıyla imal edilen preslerin toleranslarıyla güçleri istenen değerlere erişememektedir.
- Üretilen pres sayısı gelişen piyasayı doyuramadığından, alıcıya ne sunulursa sunulsun, alıcı presin kalitesi hakkında bir bilgiye sahip olmadan kabul etmektedir.
- Pres projelerinin genellikle tasarımı yapılmamakta, presler daha önce yapılmış bazı modellere benzetilerek, tersine mühendislik yoluyla imal edilmektedir. Maliyetinin %70'ini malzemenin oluşturduğu bu mamullerde aşırı ve gereksiz malzeme kullanımına gidilmektedir.
- Herhangi bir işletme sorununun çıkmadığı savunulan yerlerde ise çok küçük güç ve kapasite ile çalışmakta, dolayısıyla gereksiz bir ölü yatırım ve enerji savurganlığı söz konusu olmaktadır. İmalatçı bu alanda gerekli mühendislik hizmetini ve yatırımını genellikle lüks ve gereksiz görmektedir.

Bu ana eksikliklerin doğurduğu problemler ülke genelinde önem kazanmaktadır. Bu problemler şunlardır:

- 1) Pres gövdelerinde veya elemanlarında zaman zaman çatlama, kırılma ve plastik şekil değiştirme görülmektedir. Bu da preslerin iş yapmasını engellemekte, kalıpların bozulmasına ya da kırılmasına yol açmakta veya verimini ve kapasitesini düşürmektedir.
- 2) Preslerin güçleri, kapasiteleri ve ömürleri konusunda deneyime dayandığı savunulan birtakım değerler verilmektedir. Ancak bu değerlerin gerçeğe uygunluğu mühendislik hesaplamaları ile doğrulanmalıdır.
- 3) Her imalatçı farklı pres imalatı yaptığı için piyasadaki pres türlerinin sayısı çoğalmakta; bunlarla çalışan takım, tertibat ve öteki elemanların yalnız bir tip pres için imal edilmesi zorunluluğu doğmaktadır. Standartlaştırma bir yana pres imalatçıları özgün pres imalatı çabası içinde olduklarından benzerliklerden daha da uzaklaştırmaktadır. Bu da takım ve tertibat imalatında sorunlar ortaya çıkarmakta, söz konusu elemanların verimini düşürmekte ve bu sanayi dalında maddi kayıplara yol açmaktadır.

Bütün bunların ışığında bu eksiklikler göz önüne alınarak preslerle ilgili sorunların çözümüne yardımcı olmak amacıyla geniş bir piyasa ve literatür araştırması yapılmış, teknik bilgi yardımı yapılabilmesi için imalatçılarla ilişki kurulmuştur. Bu ilişki sonucunda mühendislik hizmetinin henüz bu sanayi dalına girmediği ve hesap yapmak için hiçbir gerçekçi yöntem veya formül kullanılmadığı görülmüştür [2]. Literatürde presler ile ilgili farklı çalışmalar yapılmıştır. Arslan [3] bir eksantrik pres gövdesinin ANSYS yazılımı kullanarak yapısal analizini incelemiştir. Yağbasan [4] C tipi bir pres gövdesinin sonlu elemanlar yöntemi ile analizini gerçekleştirmiştir. Köşeler [5] ise çalışmada, üç etkili yüksek hızlı bir hidrolik presin tasarımını ve analizini incelemiştir. Raz ve ark. [6] hidrolik presin gerilim dağılımını sonlu elemanlar yöntemi kullanarak analiz etmişlerdir. Zahalka [7] ise bir hidrolik presin modal analizini sonlu elemanlar yöntemi ile incelemiştir. Zhang ve ark [8] hidrolik presin yapısal optimizasyonunu gerçekleştirmişler. Yine Zhang ve ark. [9] bir hidrolik presin silindirik bloğunun mekanik analizlerini yapmışlardır.

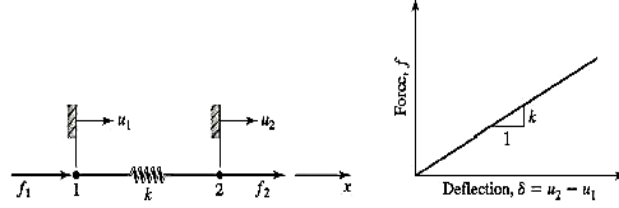
Bu çalışmada, endüstriyel 300 tonluk H tipi hidrolik presin (Şekil 1) en önemli parçalarından olan yardımcı silindirlerinin geometrik optimizasyonu için yapısal analizi yapılmıştır. Bu amaçla; yardımcı silindiri oluşturan silindir kovani, silindir arka kapağı, kovan flanşı, silindir pistonu, silindir rotu, silindir boğazı ve rot flanşının sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak lineer statik analizleri gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak; ANSYS Workbench yazılımı ile silindiri oluşturan bu parçaların maksimum Von Misses gerilme bölgeleri, güvenlik katsayıları, yer değiştirme sonuçları ve optimizasyon yapılması gereken yerler belirlenmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

Statik problemlerin sonlu elemanlar yöntemi ile çözümü için elemana etki eden dış kuvvetler ile yer değiştirmeler arasındaki ilişki lineer denklem takımı ile ifade edilebilmektedir. Elastik bir problem için yay ele alınabilir. Yaya uygulanan kuvvet, yaydaki uzama ile yay katsayısının çarpımıdır. Sonlu elemanlar yönteminin çözümünde de yapının direngenlik matrisi, yapıda oluşan deformasyonlar ve dış kuvvete bağlı aşağıdaki denklem ele alınmaktadır.

$$f = k \cdot x \quad (1)$$

Burada; k global direngenlik matrisi, x ise yer değiştirme vektörüdür.



Bu teoriye göre u_1 ve u_2 yayda oluşan yer değiştirmeler, f_1 ve f_2 yaya uygulanan kuvvetleri, k ise yay katsayısını ifade etmektedir. Buna göre yayda oluşan net yer değiştirme;

$$\delta = u_2 - u_1 \quad (2)$$

şeklinde tanımlanır. Yaya uygulanan dış kuvvet ise;

$$f = k \cdot \delta = k \cdot (u_2 - u_1) \quad (3)$$

şeklinde dir. Yaya uygulanan kuvvetleri ayrı olarak ifade edebiliriz.

$$f_1 = k \cdot (u_1 - u_2) \quad (4)$$

$$f_2 = k \cdot (u_2 - u_1) \quad (5)$$

Her iki denklem matris formunda aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\begin{bmatrix} k & -k \\ -k & k \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} f_1 \\ f_2 \end{Bmatrix} \quad (6)$$

Başlangıç denklemini ele aldığımızda;

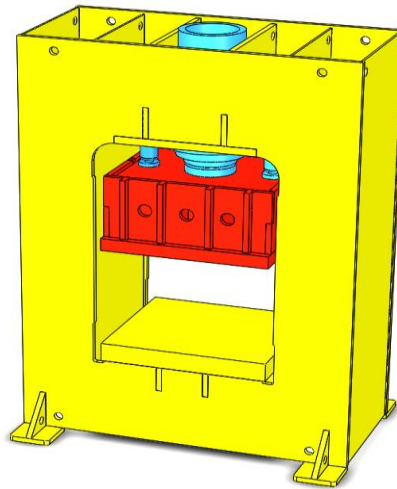
$$\begin{Bmatrix} f_1 \\ f_2 \end{Bmatrix} = [k_e] \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{Bmatrix} \quad (7)$$

$$\downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow$$

$$\{F\} = [K] \{X\}$$

direngenlik matrisini aşağıdaki şekilde elde ederiz.

$$[k_e] = \begin{bmatrix} k & -k \\ -k & k \end{bmatrix} \quad (8)$$



Şekil 1. Lineer statik analizi yapılan H Tipi hidrolik pres

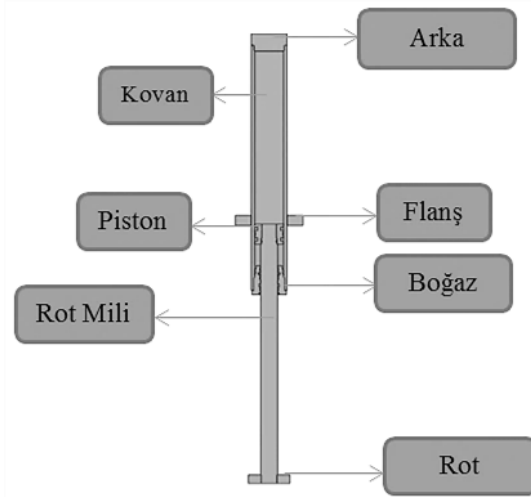
M. TINKIR, H.Ç. SEZGEN

Lineer statik sonlu eleman analizi için yapılan kabuller şu şekildedir:

- [K], yay kat sayısı sabit olarak kabul edilir.
- Lineer elastik malzeme davranışı kabul edilir.
- Küçük yer değiştirme teorisi kullanılır.
- {F}, yük vektörü statik olarak uygulanır.
- Kuvvetlerin zamanla değişmediği kabul edilir.
- Sönümlenme etkisi yoktur.
- Young modülü ve Poisson oranı lineer statik analiz için her zaman gereklidir .
- Eğer ataletle ilgili kuvvetler mevcutsa, öz kütle değeri gereklidir.
- Eğer bir ısı yük uygulanacaksa, ısı genleşme katsayısı gereklidir.
- Güvelik katsayısı bilgileri için gerilme sınırları değerleri gereklidir.

2.1. Hidrolik Silindirin Lineer Statik Analizi

Hidrolik bir silindirin sonlu elemanlar yöntemi ile lineer statik analizi yapılmış ve mukavemet açısından silindirin zayıf bölgeleri ve gereğinden fazla dayanımlı bölgelerini belirlenmiştir. Sonlu eleman çözümü için ANSYS Workbench yazılımı kullanılmıştır. Analizlerden önce pres parçası hidrolik silindirlerin SolidWorks programında CAD modeli oluşturulmuş ve analiz için uygun şekil optimizasyonları yapılmıştır. Üzerine yük gelmeyen bağlantı delikleri ve dişler modelden uzaklaştırılmıştır. Dayanıma hiçbir etkisi olmayan hidrolik adaptörü modelden çıkarılmıştır. Mesh geometrisini zorlaştıracak bazı pah ve radyüsler silinmiştir. Ayrıca montaj parçaları arasında birbirine dokunan kısımlara mesh geometrilerini birbirine çakıştırmak için ayrı ayrı yüzler çizilmiştir. Simetrik bir parça olduğu için çözümü kolaylaştırmak adına $\frac{1}{4}$ simetri kullanılmıştır.



Şekil 2. Hidrolik pres yardımcı silindiri kesit alınmış Cad geometrisi

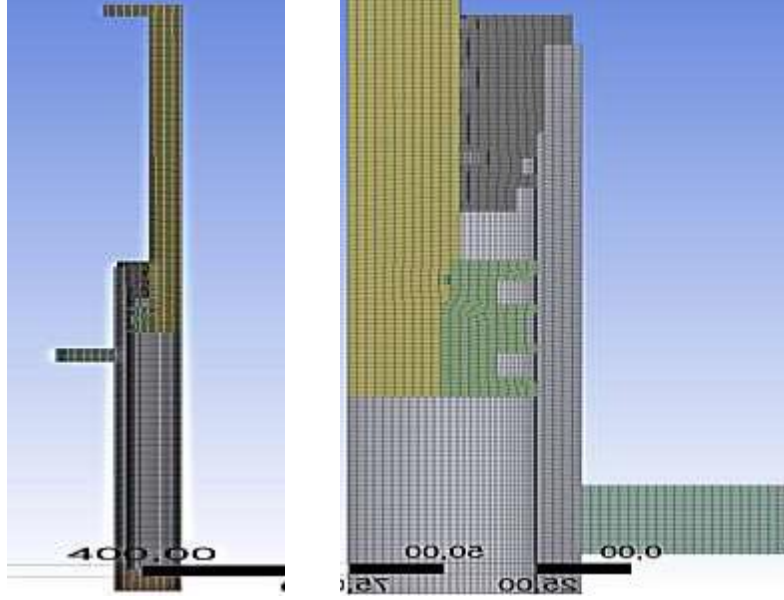
Şekil 2'deki hidrolik silindirin meshlenerek matematiksel modeli elde edilmiştir. Yani CAD modeli birbirine eş veya eşe yakın geometrik şekillere bölünmüştür. Bu çalışmada ANSYS Workbench yazılımında dörtgen eleman kullanılarak matematiksel model elde edilmiş ve bu modellemeye göre lineer statik analiz yapılmıştır. Modellemede kullanılan mesh yapısının ayrıntıları şu şekildedir:

- Maksimum eleman boyutu 5 mm.
- Maksimum yüz boyutu 2,5 mm.
- Minimum eleman boyutu 1 mm.
- Büyüme oranı 1,5
- Normal eğim açısı 45 derece
- Mesh metodu Sweep

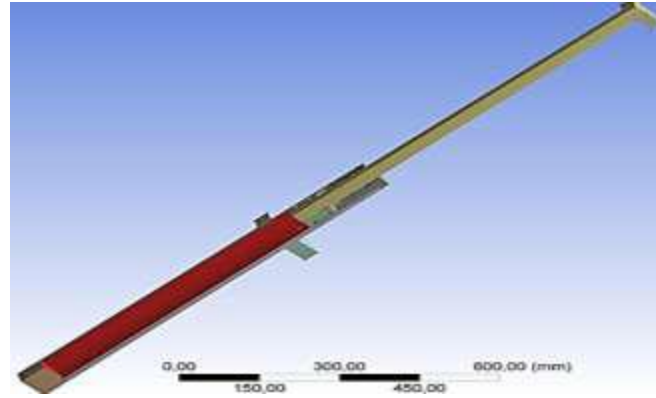
Şekil 3'de görüldüğü gibi uygun, birbirine yakın boyutlu ve parça yüzlerinin birbiri üzerine çakıştığı bir matematiksel model elde edilmiştir. Modellemeden sonra silindir rotunu tahrik etmek için 250 barlık hidrolik yağ basıncı uygulanmıştır. Şekil 4'de silindir arka kapağının iç yüzüne, kovanın iç yüzüne, pistonun üst yüzüne ve rot milinin üst yüzünde oluşan basınç gösterilmiştir.

HİDROLİK SİLİNDİRİN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE LİNEER STATİK ANALİZİ

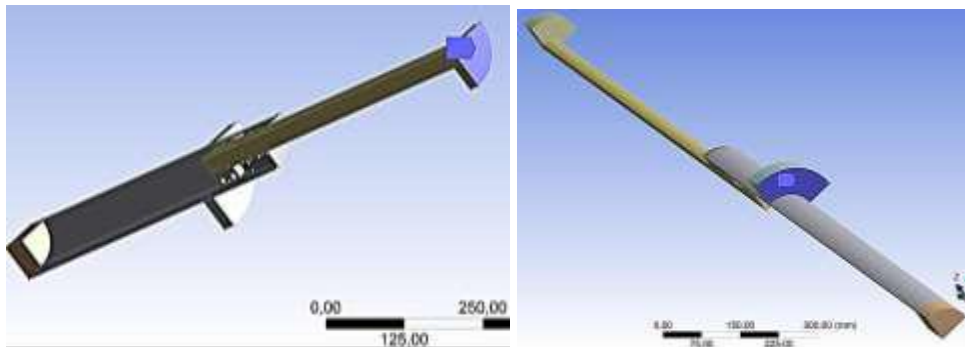
Modele yük verildikten sonra sınır koşulları belirlemiş ve lineer statik analiz için sınır şartlarımızdan biri olan büyük yer değiştirmeler engellemiştir. Kovana bağlantılı olan flanşın ve rota bağlı olan flanşın 6 serbestlik derecesi sabit destek (fixed support) komutu ile kitlenmiştir. Kovan ile piston ve rot mili ile boğaz arasında yüzey normallerine dik sürtünmeli ufak yer değiştirmeler olduğu için bu parçalar arasında sürtünmeli bağlantı tanımı yapılmıştır. Sabitlenen yüzler Şekil 5’de verilmiştir.



Şekil 3. Hidrolik pres yardımcı silindiri mesh geometrisi



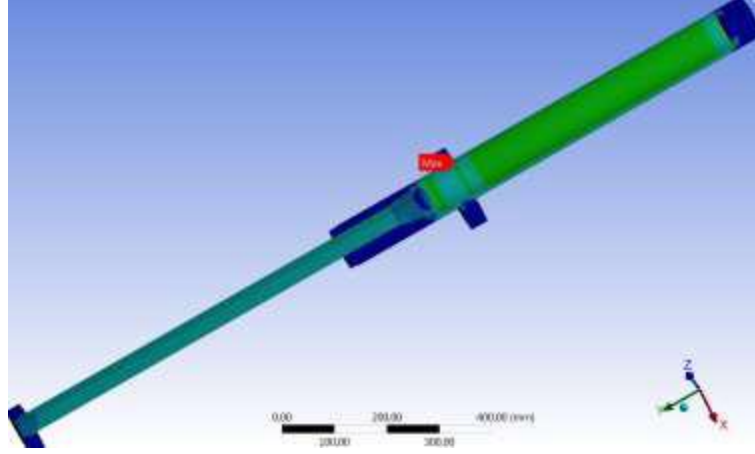
Şekil 4. Hidrolik pres yardımcı silindiri basınç yüklenen yüzleri



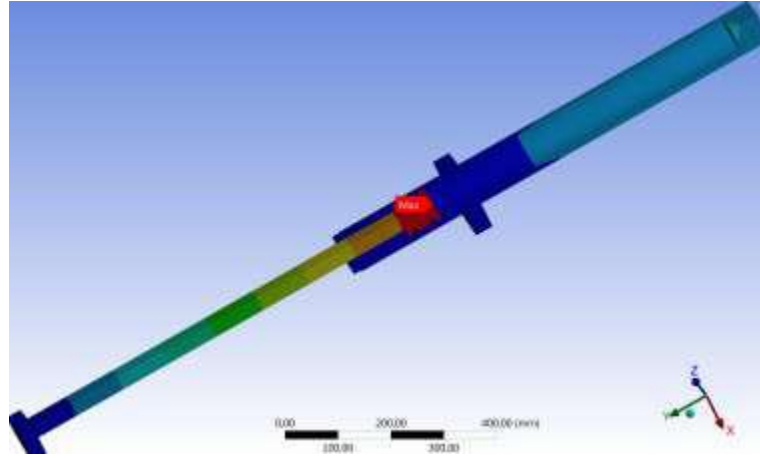
Şekil 5. Sabitlenen yüzler

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

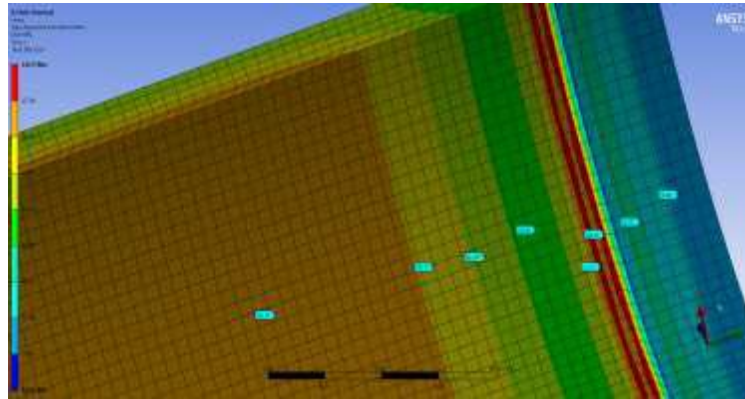
Model üzerinde yorum yapabilmek için öncelikle gerilim sonuçları elde edilmiştir. Von Misses gerilme sonuçları kullanılarak kritik bölgeler ve güvenlik katsayıları tespit edilmiştir. Ayrıca modelin verdiğimiz sınır şartlarına göre uygun davranıp davranmadığını ve analizin doğruluğunu görmek için yer değiştirme sonuçlarına da bakılmıştır. Şekil 6 ve 7’de silindirin Von Misses gerilim sonucu ve yer değiştirme sonucu verilmiştir.



Şekil 6. Silindir Von Misses gerilim sonucu



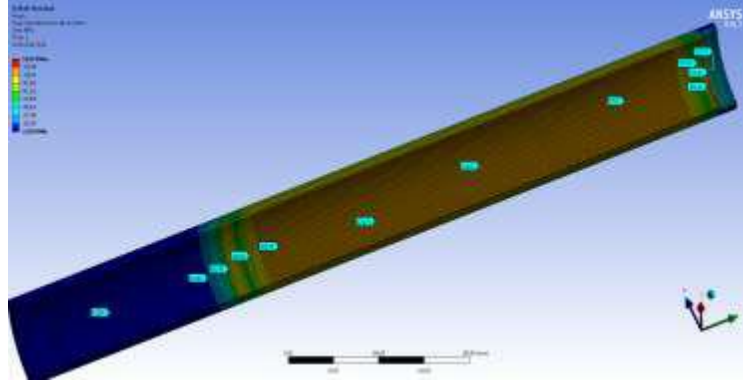
Şekil 7. Silindir yer değiştirme sonucu



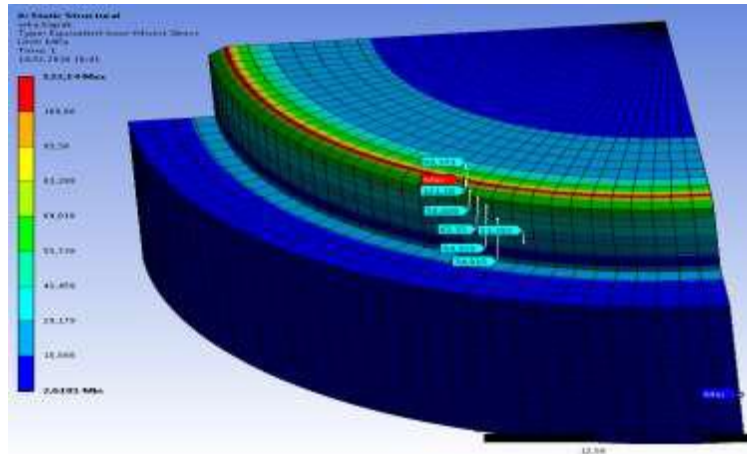
Şekil 8. Silindir kovani kritik bölge Von Misses gerilim sonucu

HİDROLİK SİLİNDİRİN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE LİNEER STATİK ANALİZİ

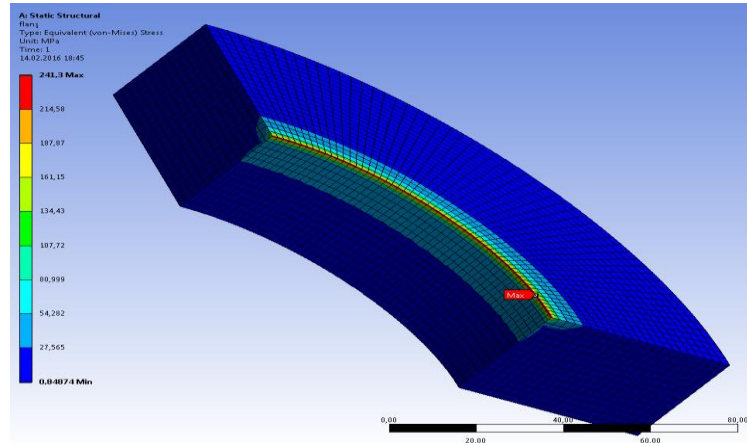
Silindir kovani, silindir arka kapağı, kovan flanşı, silindir pistonu, silindir rotu, silindir boğazı ve rot flanşı Von Misses gerilim sonuçları sırasıyla Şekil 8-16'da verilmiştir. Bu sonuçlara göre, kovan için minimum güvenlik kat sayısı 2,01'dir. Silindir arka kapağı için elde edilen minimum güvenlik kat sayısı 1,96'dır. Sırasıyla diğer parçalar için elde edilen minimum güvenlik kat sayıları; kovan flanşı için 1, silindir pistonu için 1,95, silindir rotu için 2,25, silindir boğazı için 7 ve rot flanşı için 3,3'dür. Kovan ile arka kapak arasındaki bağlantı bölgesinde yüksek gerilim tespit edilmiştir. Statik olarak güvenli olsa da yorulma için güvensiz olabilir ve zamanla sızdırmazlık problemleri çıkarabilir. Bu yüzden bu bölgede optimizasyon yapılacaktır.



Şekil 9. Silindir kovani Von Misses gerilim sonucu

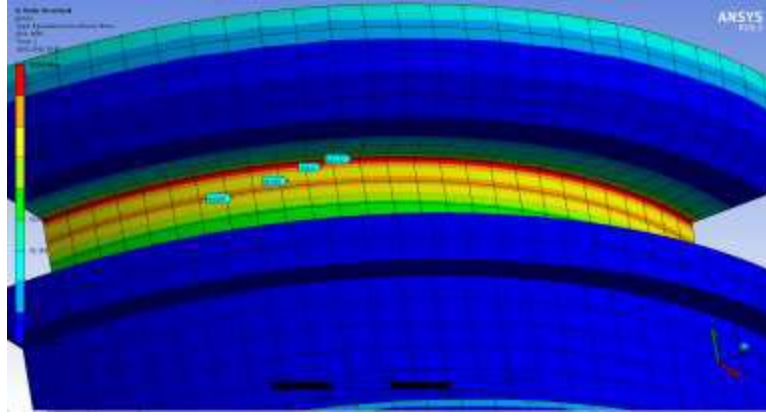


Şekil 10. Silindir arka kapağı Von Misses gerilim sonucu



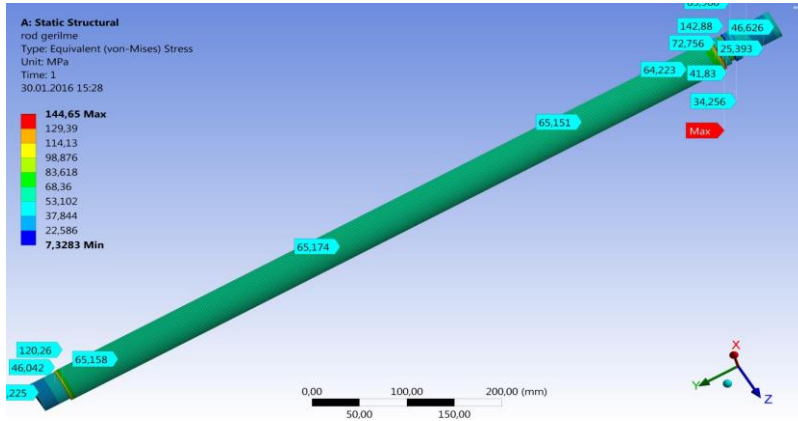
Şekil 11. Silindir kovan flanşı Von Misses gerilim sonucu

M. TINKIR, H.Ç. SEZGEN

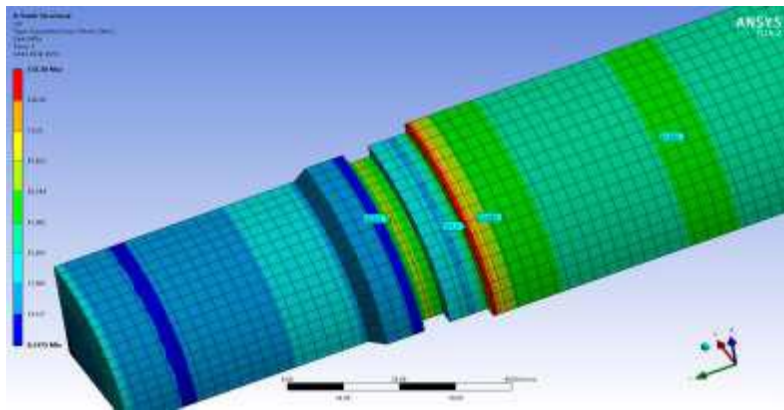


Şekil 12. Silindir pistonu kritik bölge Von Misses gerilim sonucu

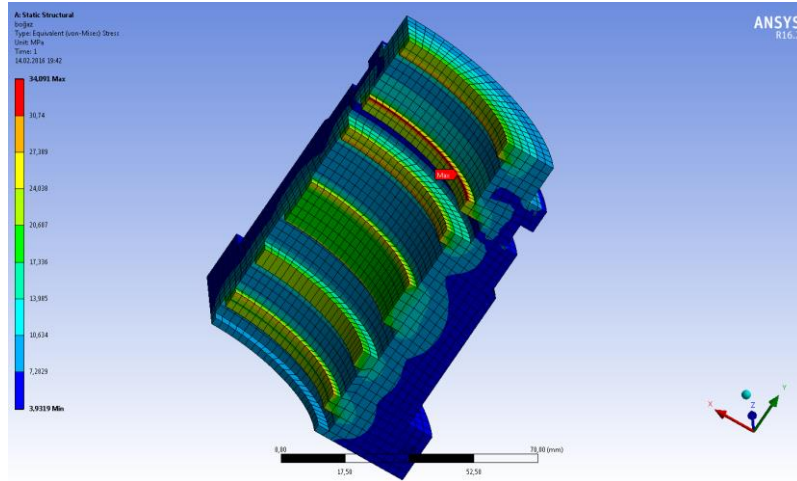
Kovan ile arka kapak arasındaki bağlantı bölgesindeki maksimum gerilim 122 Mpa.'dır. Diğer bölgelerdeki gerilim buna kıyasla oldukça düşüktür. Genel olarak bakıldığında bu parça fazla güvenlidir. Kovan ile flanş arasında flanşa ait ufak bölgede çok yüksek bir gerilim tespit edilmiştir. Fakat bu bölge kaynaklıdır ve o yüzden bu gerilim göz ardı edilip kalan kısımlar dikkate alınmalıdır. Ayrıca bu parça gereğinden fazla dayanımlıdır ve optimizasyona açıktır. Silindire ait pistonun ufak bir bölgesinde maksimum gerilme 120 Mpa.'dır. Bu gerilim radyüs yüzü değiştirilerek düşürülebilir. Rot milindeki 65 Mpa.'lık maksimum gerilme çok az gözükmesine rağmen burkulma sonuçları da incelenmelidir. Rot milindeki 140 Mpa.'lık maksimum gerilme kesitin tam daraldığı bölgede oluşmuştur. Bu bölgedeki geçiş geometrisini değiştirerek gerilim azaltılabilir. Silindirin boğaz kısmında maksimum gerilme ufak bir bölgede 34 Mpa. olarak gözlenmektedir.



Şekil 13. Silindir rotu Von Misses gerilim sonucu

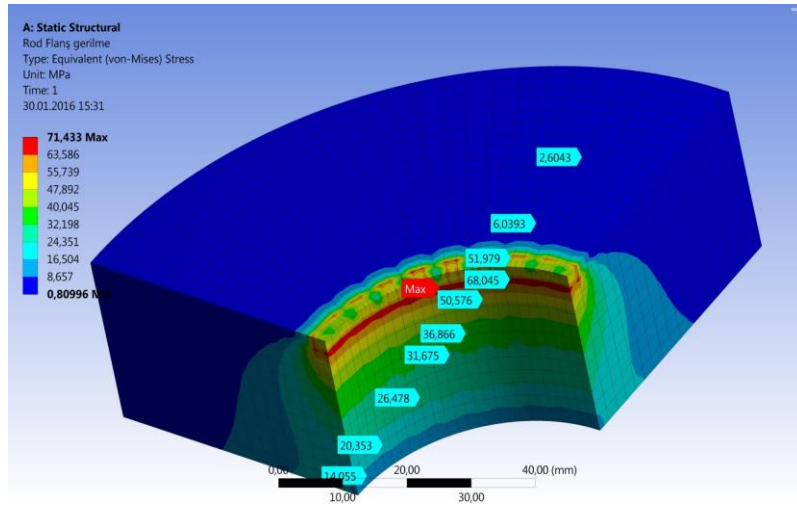


Şekil 14. Silindiri rotu kritik bölge Von Misses gerilim sonucu

HİDROLİK SİLİNDİRİN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE LİNEER STATİK ANALİZİ

Şekil 15. Silindir boğazı Von Mises gerilim sonucu

Rot miline bağlı flanşın maksimum gerilme bölgesi Şekil 16’da gösterilmiştir. Flanş için optimizasyon yapılması uygundur.



Şekil 16. Silindir rot flanşı Von Mises gerilim sonucu

4. SONUÇLAR

Bu çalışma da; endüstriyel 300 tonluk H tipi hidrolik presin en önemli parçalarından olan yardımcı silindirlerinin geometrik optimizasyonu için yapısal analizi yapılmıştır. Bu amaçla; yardımcı silindiri oluşturan silindir kovani, silindir arka kapağı, kovani flanşı, silindir pistonu, silindir rotu, silindir boğazı ve rot flanşının sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak lineer statik analizleri gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak; ANSYS Workbench yazılımı ile silindiri oluşturan bu parçaların maksimum Von Mises gerilme bölgeleri, güvenlik katsayıları, yer değiştirme sonuçları ve optimizasyon yapılması gereken yerler belirlenmiştir. Ayrıca elde edilen sonuçlara göre gereğinden fazla mukavemetli olan bölgeler belirlenmiş ve bu bölgelerde topolojik optimizasyonların yapılabileceği sonucuna varılmıştır.

TEŞEKKÜR

Hidroliksan Halim Usta Pres San. Tic. Ltd. Şirketine çalışmamıza katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- [1] TAŞ, B., “Hidrolik Pres Tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 90 s.,2008
- [2] BABACAN, K., “Mekanik Preslerde Şekillendirme Hassasiyetini Etkileyen Faktörlerin İncelenmesi ve Pres Elemanları Üzerinde Uygulanacak Mukavemet Analizleri ile Konstrüktif İyileştirmelerin Sağlanması”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 117 s., 2007.
- [3] ARSLAN, O., “Bir Eksantrik Pres Gövdesinin ANSYS ile Analizi”, Bitirme Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü, 35 s., 2009.
- [4] YAĞBASAN, O., “C Tipi Bir Pres Gövdesinin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Analizi”,Yüksek Lisan Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 77s., 2010.
- [5] KÖSELER, S., “ Üç Etkili Yüksek Hızlı Bir Hidrolik Presin Tasarımı ve Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, 125s., 2014.
- [6] RAZ, K., VACLAV, K., “Using of a Hydraulic Press in Production and Manufacturing of Large Rings”, Procedia Engineering, 69, 1064–1069, 2014.
- [7] ZAHALKA, M., “Modal Analysis of Hydraulic Press Frames for Open Die Forging”,Procedia Engineering, 69, 1070–1075, 2014.
- [8] ZHANG, W., WANG, X., WANG, Z., YUAN, S., “Structural Optimization of Cylinder-Crown İntegrated Hydraulic Press with Hemispherical Hydraulic Cylinder”, Procedia Engineering, 81, 1663-1668, 2014.
- [9] ZHANG, W.W., WANG X.S., WANG, Z.R., YUAN, S.J., HE, Z.B., LIU G., DAI, K., “Mechanical Analysis on the Cylinder-Crown İntegrated Hydraulic Press with a Hemispherical Cylinder”, Journal of Mechanical Engineering Science, 299(3), 407-416, 2015.