



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN
ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



YÜKSEK BASINÇ HATTI FİLTRELERİNİN
DÖKÜM AÇISI VE ET KALINLIĞINA GÖRE
ANALİZİ, OPTİMİZASYONU, İMALATI VE
TEST EDİLMESİ

Hüseyin GÜMÜŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Şubat-2022
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Hüseyin GÜMÜŞ tarafından hazırlanan “Yüksek Basınç Hattı Filtrelerinin Döküm Açısı ve Et Kalınlığına Göre Analizi, Optimizasyonu, İmalatı ve Test Edilmesi” adlı tez çalışması 10/02/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Doç. Dr. Mehmet BAĞCI

.....

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Ali ÖZTÜRK

.....

Üye

Doç. Dr. Murat DİLMEÇ

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun .../.../2022 gün ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. İbrahim KALAYCI
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Hüseyin GÜMÜŞ

Tarih: 10/02/2022

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YÜKSEK BASINÇ HATTI FİLTRELERİNİN DÖKÜM AÇISI VE ET KALINLIĞINA GÖRE ANALİZİ, OPTİMİZASYONU, İMALATI VE TEST EDİLMESİ

Hüseyin GÜMÜŞ

Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ali ÖZTÜRK

2022, 63 Sayfa

Jüri

Dr. Öğr. Üyesi Ali ÖZTÜRK

Doç. Dr. Mehmet BAĞCI

Doç. Dr. Murat DİLMEÇ

Hidrolik sistemlerde durgun akışkanı sisteme veren pompadan sonra sürekli filtreleme işleminin sağlanması için basınç hattı filtreleri kullanılır. Basınç hattı filtreleri kendisinden sonra kullanılan ekipmanların hidrolik akışkan içerisinde bulunan kir ve partiküllerden korunmasını sağlar. Basınç arttıkça sistemi oluşturan elemanlar ve çalışma prensipleri hassaslaşmakta ve hidrolik akışkan içerisinde bulunan partiküller ve kir, fiziksel deformasyona yol açmaktadır. Bu tez çalışmasında yüksek basınç hattı filtrelerinin tasarımı, gövde ağırlık optimizasyonu ve performans testlerinin yapılarak doğrulanması ele alınmıştır. Daha önce Mesa Makina bünyesinde gerçekleştirilen çalışmalarda, sadece 63 lt/dk hidrolik yüksek basınç hattı filtre muhafazasının tasarımı, test ünitesinin tasarımı ve bu muhafazanın test edilmesi çalışmaları gerçekleştirilmiştir. 63 lt/dk kapasiteli muhafazanın tasarımında da sadece iç taban radyüsünün optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Bu tez çalışmasında ise farklı olarak, 40 lt/dk ve 250 lt/dk modellerine ait filtre muhafazalarının gövde kalınlığı optimizasyonu ve performans testleri gerçekleştirilmiştir. Ağırlığı azaltma çabalarından dolayı gerçekleştirilen sonlu elemanlarla optimizasyon çalışmalarında, sadece taban radyüsü değil, gövde kalınlığı ve muhafazaların döküm çıkma açısının da etkisi incelenerek kapsamlı bir optimizasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. Tasarım yapılırken döküm çıkma açısı incelenmiş ve 1° döküm çıkma açısının parça üzerindeki gerilmeyi % 4,27 azalttığı tespit edilmiştir. Döküm çıkma açısı sonrasında teğetsel gerilme hesabı ve malzeme çekme testi raporları incelenerek prototip üretim malzemesi EN-GJS-500-7 seçilmiştir. Malzeme ile birlikte 40 lt/dk ve 250 lt/dk filtrelerinin en ince cidarlı bileşeni olan filtre muhafazalarının optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Yapılan optimizasyon sonucunda, 40 lt/dk filtre muhafazasının ağırlığı % 18,5 azaltılırken, 250 lt/dk filtre muhafazasının ağırlığı gerekli mukavemeti sağlamak amacıyla % 6,1 artırılmıştır. Optimizasyonu yapılan filtre muhafazaları kullanılarak yüksek basınç hattı filtrelerinin performans testleri filtre test makinesiyle yapılmıştır. Performans test sonuçları ve teorik hesaplamalar ile filtrelerin doğrulamaları gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yüksek basınç hattı filtresi, Doğrulama testleri, Hidrolik, Optimizasyon, Sonlu elemanlar analizi.

ABSTRACT

MS THESIS

ANALYSIS, OPTIMIZATION, MANUFACTURE AND TESTING OF HIGH PRESSURE LINE FILTERS ACCORDING TO CASTING ANGLE AND WALL THICKNESS

Hüseyin GÜMÜŞ

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN MECHANICAL ENGINEERING**

Advisor: Asst. Prof. Dr. Ali ÖZTÜRK

2022, 63 Pages

Jury

Advisor: Asst. Prof. Dr. Ali ÖZTÜRK

Assoc. Prof. Dr. Mehmet BAĞCI

Assoc. Prof. Dr. Murat DİLMEÇ

In hydraulic systems after the pump that delivers the stagnant fluid to the system, pressure line filters are used to ensure for continuous filtering process. Pressure line filters provide protection to equipment used after it from dirt and particles in hydraulic fluid. As the pressure increases, the elements that make up the system and their working principles are becoming more sensitive and dirt and particles in hydraulic fluid cause physical deformation. In this thesis, design, body weight optimization and verification of high pressure line filters by performing performance tests were discussed. In the previous studies carried out within Mesa Makina, only design of 63 lt/min hydraulic high pressure line filter bowl, design of the test unit and testing of this bowl has been carried out. In the design of the 63 lt/min capacity bowl only the insole radius has been optimized. In this thesis, differently, body thickness optimization and performance tests of filter bowls of 40 lt/min and 250 lt/min models were carried out. In optimization studies with finite elements carried out due to weight reduction efforts, not just the base radius, a comprehensive optimization study was carried out by examining body thickness and the effect of casting angle of the bowls. While designing, the casting angle was examined and it has been determined that 1° casting angle reduces the stress on the piece by 4.27%. After casting angle, by examining tangential stress calculation and material pull test reports, prototype fabrication material EN-GJS-500-7 was selected. Together with the material, optimization of filter bowl, the thinnest-walled component of 40 lt/min and 250 lt/min filters performed. As a result of the optimization, the weight of 40 lt/min filter bowl was reduced by 18,5% while the weight of 250 lt/min filter bowl was increased by 6,1% in order to provide the necessary endurance. Using optimized filter bowls, performance tests of high pressure line filters were made with a filter testing machine. Filters were verified with performance test results and theoretical calculations.

Keywords: High pressure line filter, Verification tests, Hydraulics, Optimization, Finite element analysis.

ÖNSÖZ

Tez çalışması süresince değerli bilgileri ve desteği ile danışmalığı yürüten Dr. Öğr. Üyesi Ali ÖZTÜRK'e en içten teşekkürlerimi arz ederim. Bu süreçte manevi destekleri ile beni yalnız bırakmayan ve hep destek olan değerli eşim Kübra'ya, ayrıca değerli kızım Melek'e teşekkür ederim. Ayrıca bu tez çalışmasını gerçekleştirmemde her türlü desteğini esirgemeyen Mesa Makina firmasına teşekkürlerimi sunarım.

Hüseyin GÜMÜŞ
KONYA-2022



İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ	x
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Hidrolik Sistemlerin Tanımı	2
1.2. Hidrolik Sistemlerin Kullanım Alanları.....	2
1.3. Hidrolik Sistem Ekipmanları	2
1.4. Hidrolik Sistemlerde Filtrasyonun Önemi	4
1.5. Hidrolik Filtreler	4
1.5.1.Emiş hattı filtreleri	4
1.5.2.Dönüş hattı filtresi	5
1.5.3.Basınç hattı filtreleri	5
1.6. Filtre Seçim Kriteri	6
1.6.1.Filtrenin geçirgenliği.....	6
1.6.2.Filtrenin çalışma basıncı	7
1.6.3. Filtreleme hassasiyeti.....	7
1.6.4. Patlama basıncı	7
1.6.5. Yorulma dayanımı	7
1.6.6. İşletme sıcaklığı	7
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	8
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	11
3.1. Malzeme Seçimi ve Geometrik Tasarım	11
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	18
4.1. Muhafaza Tasarımlarının İncelenmesi ve Optimizasyonunun Yapılması.....	18
4.1.1. 40 lt/dk filtre muhafazası tasarımı ve optimizasyonu	18
4.1.2. 250 lt/dk filtre muhafazası tasarımı ve optimizasyonu	22
4.2. Filtrelerin Testlerinin Yapılması ve Doğrulanması	25
4.2.1. Patlatma Testi	25
4.2.2. Geçirgenlik (fark basıncı) testi	39
4.2.3.Yorulma testi.....	41
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	49
5.1 Sonuçlar	49
5.2 Öneriler	50

6. KAYNAKLAR	51
ÖZGEÇMİŞ	53



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Hidrolik sistemle güç iletiminin temel prensip şeması [14]	1
Şekil 1.2. Bir hidrolik güç ünitesinin genel görünümü [16]	3
Şekil 1.3. Emiş hattı filtresi [17]	4
Şekil 1.4. Dönüş hattı filtresi	5
Şekil 1.5. Basınç hattı filtreleri ve komponentleri	6
Şekil 3.1. Yüksek basınç hattı filtresi	11
Şekil 3.2. Analiz basınç uygulama alanı	11
Şekil 3.3. Analiz parça sabitleme bölgesi	12
Şekil 3.4. Döküm çıkma açısı bulunmayan tasarım (ilk tasarım denemesi) statik gerilme dağılımı	12
Şekil 3.5. 0,5° döküm çıkma açılı muhafaza (ikinci tasarım denemesi) statik gerilme dağılımı	13
Şekil 3.6. 1° döküm çıkma açılı muhafaza statik gerilme dağılımı	13
Şekil 3.7. Teğetsel gerilme dağılımı [13]	14
Şekil 3.8. EN 1563'e göre çekme testi numunesi [12]	16
Şekil 3.9. Çekme test makinesi	16
Şekil 3.10. Mesa Makina'da EN-GJS-500-7 standardına uygun olarak üretilen bir parçanın çekme testi sonuçları	17
Şekil 4.1. 40 lt/dk filtre muhafazası	18
Şekil 4.2. 40 lt/dk filtre muhafazası ilk tasarımı statik gerilme analizi	19
Şekil 4.3. 40 lt/dk filtre muhafazası ilk patlatma analizi gerilme dağılımı	19
Şekil 4.4. 40 lt/dk filtre muhafazası iç çapta 2mm inceltilmiş (ikinci tasarım)	20
Şekil 4.5. 40 lt/dk filtre muhafazası ikinci patlatma analizi gerilme dağılımı	20
Şekil 4.6. 40 lt/dk filtre muhafazası iç çapta 3 mm inceltilmiş (üçüncü tasarım)	21
Şekil 4.7. 40 lt/dk filtre muhafazası üçüncü patlatma analizi gerilme dağılımı	21
Şekil 4.8. 250 lt/dk filtre muhafazası ilk tasarımı	22
Şekil 4.9. 250 lt/dk filtre muhafazası ilk tasarımı statik gerilme analizi	23
Şekil 4.10. 250 lt/dk filtre muhafazası ilk patlatma analizi gerilme dağılımı	23
Şekil 4.11. 250 lt/dk filtre muhafazası dış çapta 2 mm kalınlaştırılmış (ikinci tasarım)	24
Şekil 4.12. 250 lt/dk filtre muhafazası ikinci patlatma analizi gerilme dağılımı	24
Şekil 4.13. 40 lt/dk filtre muhafazası farklı ölçülerde test numuneleri	26
Şekil 4.14. Metalürjik muayene raporu	26
Şekil 4.15. Döküm çekme numunesi çekme testi raporu	27
Şekil 4.16. Patlatma kabini	27
Şekil 4.17. 40 lt/dk filtre muhafazasının patlatma testine bağlantı şekli	28
Şekil 4.18. Patlatma test grafiği-1 (İlk muhafaza)	28
Şekil 4.19. Patlatılmış test numunesi (ilk muhafaza)	29
Şekil 4.20. Patlatma test grafiği-2 (1,5 mm talaş kaldırılan numune 1)	29
Şekil 4.21. Patlatılmış test numunesi (1,5mm talaş kaldırılan numune 1)	30
Şekil 4.22. Patlatma test grafiği (1,5 mm talaş kaldırılan numune 2)	30
Şekil 4.23. Patlatılmış test numunesi (1,5 mm talaş kaldırılan numune 2)	31
Şekil 4.24. Döküm çekme numunesi deney raporu	31
Şekil 4.25. Patlatılmış test numunesi (1,5 mm talaş kaldırılan numune 3)	32
Şekil 4.26. 250 lt/dk filtre muhafazaları patlatma numuneleri	32
Şekil 4.27. Metalürjik muayene raporu	33
Şekil 4.28. Döküm çekme numunesi deney raporu	33

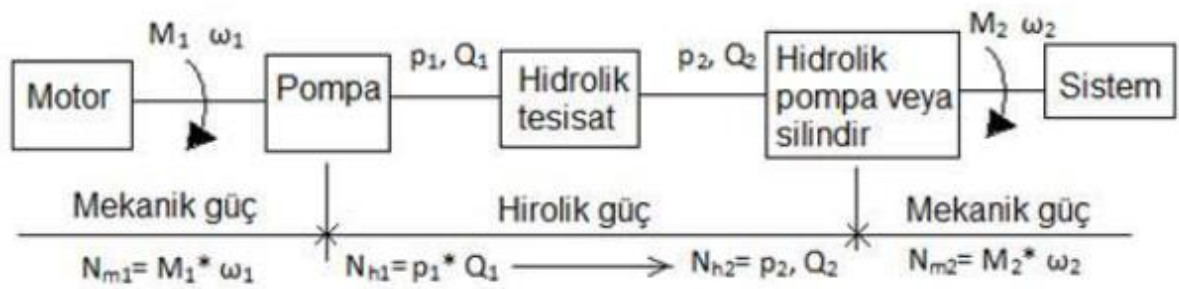
Şekil 4.29. Patlatma testi kabini.....	34
Şekil 4.30. 250 lt/dk filtresi patlatma bağlantısı	34
Şekil 4.31. 250 lt/dk filtre patlatma grafiği (ilk numune).....	35
Şekil 4.32. Patlatılmış test numunesi (Optimizasyon yapılmamış test numunesi)	35
Şekil 4.33. 250 lt/dk filtre patlatma grafiği (optimizasyon edilmiş numune).....	36
Şekil 4.34. Patlatılmış test numunesi (Optimizasyon edilmiş numune)	36
Şekil 4.35. Döküm çekme numunesi deney raporu	37
Şekil 4.36. Patlatma testi grafiği (optimizasyon edilmiş farklı üretim numune).....	38
Şekil 4.37. Patlamış test numunesi (optimize edilmiş farklı üretim numune).....	38
Şekil 4.38. 250 lt/dk filtre geçirgenlik testi bağlantısı	39
Şekil 4.39. Yorulma testi bağlantısı.....	41
Şekil 4.40. Yorulma dayanımı basınç yükleme-boşaltma grafiği [9].	41
Şekil 4.41. Yorulma testinden alınan yükleme-boşaltma periyodu	42
Şekil 4.42. Yüzey değişim katsayısına ilişkin parametreler [18]	44
Şekil 4.43. Dayanım sınırındaki %8'lik standart sapmaya karşılık gelen güvenilirlik katsayıları, k_e [18].	44
Şekil 4.44. $S_e=S'_e=0.5S_{ut}$ için 10^3 çevrim sayısındaki S_{ut} değerinin yorulmadaki mukavemet oranı, f [18].	45
Şekil 4.45. Basınç-dayanım çevrim grafiği	48

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1.1. Hidrolik sistemlerin tipik kullanım yerleri [19]	2
Tablo 3.1. Statik gerilme karşılaştırma tablosu	14
Tablo 3.2. EN-GJS-500-7 Kimyasal bileşim oranları [12].....	15
Tablo 3.3. EN-GJS-500-7 Malzeme mekanik özellikleri [12].	15
Tablo 3.4. Çekme testi sonuçları	17
Tablo 4.1. 40 lt/dk filtre muhafazası karşılaştırma tablosu.....	22
Tablo 4.2. 250 lt/dk filtre muhafazası karşılaştırma tablosu.....	25
Tablo 4.3. ISO 3968'e göre test debileri	40
Tablo 4.4. 25°C yağ sıcaklığında geçirgenlik test sonuçları.....	40
Tablo 4.5. 50°C yağ sıcaklığında geçirgenlik test sonuçları.....	40
Tablo 4.6. ISO 10771-1 yorulma testi yükleme-boşaltma grafiği sembol tanımları [9]	42
Tablo 4.7. Patlatma testi karşılaştırma tablosu	48

1. GİRİŞ

Hidrolik, basitçe basınçlı sıvıların yardımıyla güç kontrolü, güç üretimi ve güç iletimi ile alakalı teknolojiyi ifade eder. Hidrolikle güç iletimi enerji kaynağından çıkan mekanik gücün hidrolik güce dönüştürülmesi ve uygulama merkezine iletilmesi daha sonra hidrolik ekipmanlar sayesinde yeniden mekanik güce dönüştürülmesi prensibine dayanır.



Şekil 1.1. Hidrolik sistemle güç iletiminin temel prensip şeması [14]

Modern hidroliğin temelleri 1650 yılında Pascal'ın kendi adıyla anılan Pascal Yasası'nın keşfi ile başlamıştır. Daha sonra bir boru hattında akan bir akışkanın enerji konumunu ifade eden Bernoulli Denklemi ile 1750 yılında devam etmiştir. Akışkanlar Mekaniği adı altında yürüyen bu bilim 1850 yılında İngiliz teknoloji devrimi ile hayat bulmuştur. 1870 yılında buhar basıncı ile sıkıştırılan sıvılar vinçlerde, perçinleme makinelerinde, ekstrüzyon makinelerinde kullanımı gerçekleştirilmiştir [15].

Hidrolik teknolojisi günümüzde iş gücünü kolaylaştırma özelliği ile çeşitli alanlarda kullanılmaktadır.

Hidrolik filtrelerin görevi sistemde çalışan yağı filtreleyerek temizlemek ve sağlıklı bir şekilde çalışmasını sağlamaktır. Hidrolik sistem arızaları hidrolik yağın sistem içinden veya dışından kaynaklı kirlenmesine bağlı olarak oluşabilmektedir. Bu arızalar sebebiyle oluşabilecek makine kaybı ve yağ değişimi gibi yüksek tutarlardaki masrafların önüne geçmek büyük ölçüde hidrolik yağ temizliği ile mümkündür.

1.1. Hidrolik Sistemlerin Tanımı

Hidrolik sistemler, akışkanların hidrolik enerjisinden faydalanarak güç, zaman ve yer avantajı sağlayan, geniş bir kullanım alanına sahip sistemlerdir.

1.2. Hidrolik Sistemlerin Kullanım Alanları

Hidrolik sistemler günümüzde birçok sektörde kullanılmaktadır. Hidrolik sistemlerin tipik kullanım yerlerinden örnekler Tablo 1.1’de verilmiştir.

Tablo 1.1. Hidrolik sistemlerin tipik kullanım yerleri [19]

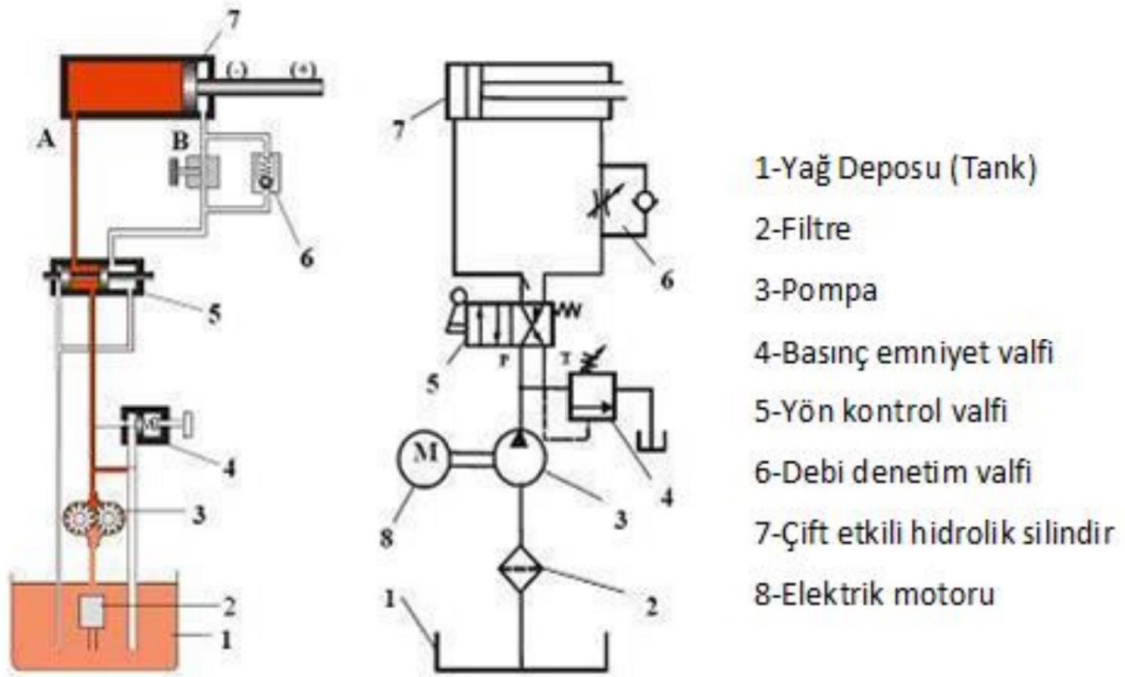
Endüstriyel hidrolik	-Takım tezgâhları -Plastik işleme makineleri -Presler -Metalürji ve haddeleme tekniği -Enerji santralleri -Madencilik makineleri
Mobil hidrolik	-Ekskavatör ve vinçler -İnşaat, tarım ve orman sanayi makineleri -Kara, deniz ve demiryolu taşıtları
Gemi yapım hidroliği	-Dümen kontrolü -Güverte vinçleri -Pruva kapakları -Gemilerdeki sürgülü kapaklar
Açık deniz hidroliği	-Hidrolik koçlar -Deniz dibi tarayıcılar -Dalga dengeleyiciler
Çelik su yapıları	-Savaklar ve savak kapakları -Köprü kumandaları -Gemi kaldırma sistemleri
Özel uygulamalar	-Özel makineler -Anten kumandaları -Robot ve konumlama tekniği -Test makineleri -Havacılık ve uzay sanayii
Uçak hidroliği	Uçuş tekniğinin gerektirdiği özel taleplerin yerine getirilmesi (servo valfler)

1.3. Hidrolik Sistem Ekipmanları

Hidrolik sistemlerde istenilen işi gerçekleştirmek için gerekli olan enerji, hidrolik enerjiyi mekanik enerjiye veya mekanik enerjiyi hidrolik enerjiye çeviren hidrolik pompa ve motorlar tarafından sağlanır. Hidrolik pompa ve motor ile elde edilen enerjinin işe dönüşmesini sağlayan tahrik-iş elemanı olarak hidrolik silindirler kullanılır. Ayrıca hidrolik sistemlerde devre içerisindeki hidrolik akışkanı mekanik veya elektronik olarak

manipüle eden hidrolik valfler kullanılır. Hidrolik sistemlerde kullanılan sistem ekipmanları;

- Hidrolik pompa
- Hidrolik motorlar
- Hidrolik silindirler
- Hidrolik valfler
- Çek valfler
- Basınç valfleri
- Yön valfleri
- Akış kontrol valfleri
- Oransal valfler
- Hidrolik filtreler
- Tank
- Hidrolik akışkan
- Akümülatör
- Basınç transmitteri
- Sıcaklık transmitteri
- Hidrolik akışkan seviye göstergesi



Şekil 1.2. Bir hidrolik güç ünitesinin genel görünümü [16]

1.4. Hidrolik Sistemlerde Filtrasyonun Önemi

Hidrolik sistemlerde güç iletimi hidrolik akışkanlar aracılığıyla sağlanmaktadır. Hidrolik sistemlerde kullanılan akışkanın içerisinde yer alan kir, pas ve partiküller sistemin verimini etkilemekte ve ayrıca hidrolik sistemlerde oluşan arızaların %80'den fazlası hidrolik akışkanın kirlenmesi kaynaklı olduğu görülmektedir. Hidrolik akışkanın filtrasyonunun gerçekleştirilmesi plansız arıza duruşlarının, zaman ve iş kayıplarının, bakım maliyetlerinin artmasını engellemektedir.

1.5. Hidrolik Filtreler

1.5.1.Emiş hattı filtreleri

Emiş hattı filtreleri pompanın emiş tarafına bağlanır. Bu filtrelerin görevi pompanın büyük kirletici partiküllerden korunmasını sağlamaktır. Pompada kavitasyon tehlikesinin önüne geçmek amacıyla genelde büyük filtreleme hassasiyetine sahip filtre elemanları kullanılır. Küçük filtreleme hassasiyetli filtreleme elemanlarına sahip emiş hattı filtrelerinin özel koşullarda kullanılması mümkün olabilmektedir.



Şekil 1.3. Emiş hattı filtresi [17]

1.5.2.Dönüş hattı filtresi

Bu filtreler hidrolik sistemin dönüş hattına monte edilen ve tanka dönen hidroliğin temizliğini sağlayan ekipmanlardır. Bu ekipmanlarda By-Pass valfi, mekanik bakım göstergesi (indikatör) veya manometre bulunması gerekmektedir. By-Pass valfi filtre elemanının tıkanması durumunda filtrelenmemiş yağın tanka geçişini sağlar. Böylece dönüş hattında oluşabilecek yüksek basıncı ve tanktaki yağ rezervuarının kritik seviyenin altına düşmesini önler. Bu filtrelerde filtre elemanının doluluk oranını gösteren mekanik bakım göstergesi (indikatör) veya manometrelerdir. Manometreler filtre elemanının tıkanıklığını filtre içerisinde bulunan basınç değeriyle sayısal olarak gösterirken; mekanik bakım göstergeleri görsel uyarı veya elektronik anahtar yardımıyla sisteme uyarı gönderir.

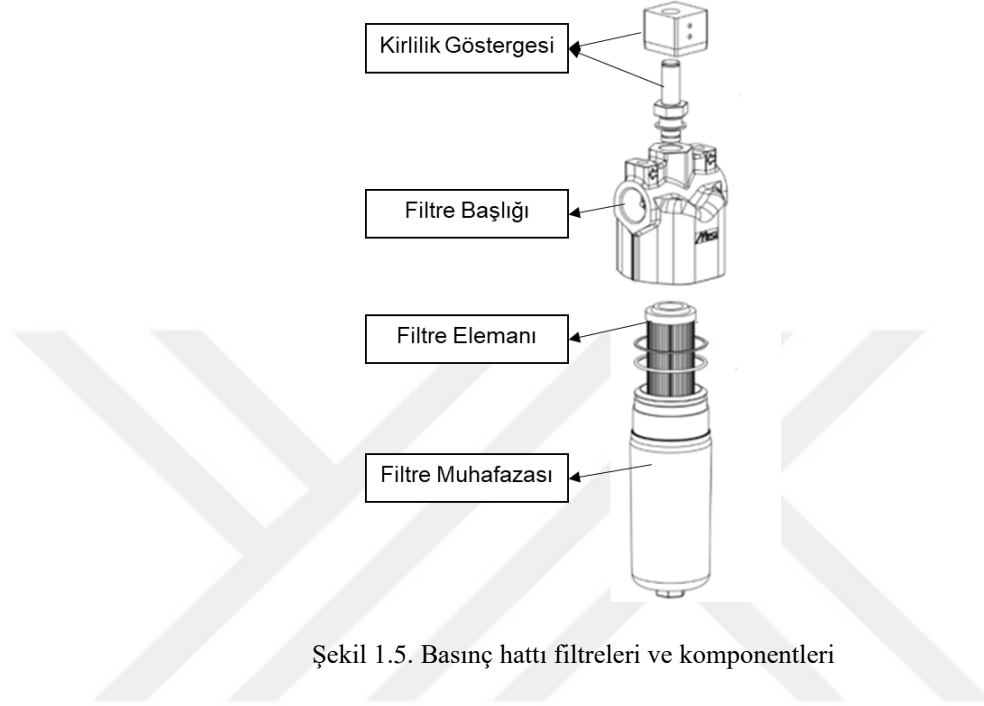


Şekil 1.4. Dönüş hattı filtresi

1.5.3.Basınç hattı filtreleri

Yüksek basınca uygun muhafaza, başlık, filtre elemanı ve kirlilik göstergesinden oluşan filtrelerdir. Bu filtreler hidrolik sistemde pompadan hemen sonra kullanılır. Pompanın basmış olduğu hidrolik akışkanın debisi ve basıncı altında çalışacağından mukavemetli olması gerekmektedir. Bu filtreler kendisinden sonra gelen valf, silindir gibi hassas ekipmanların kirlenmesini önler. Kendisinden sonra gelen ekipmanların kritik olmadığı sistemlerde “bypass” valfli olarak kullanılırlar. Bunun

amacı sistemin ihtiyaç duyduğu çalışma basıncının altına düşmesini engellemektir. Kritik devre ekipmanlarının kullanıldığı sistemlerde “bypass” valfsiz olarak kullanılması gerekmektedir. Çünkü kirletici partiküller bu ekipmanlarda bozulmalara sebebiyet verebilir.



Şekil 1.5. Basınç hattı filtreleri ve komponentleri

1.6. Filtre Seçim Kriteri

Basınç hattı filtrelerinin çalışması sırasında akışkanın filtreye girişi ile çıkışı arasındaki fark basıncı filtrenin geçirgenlik karakteristiğini belirler. Filtrenin kullanılacağı sistemde pompadan çıkan basınç filtrenin oluşturmuş olduğu fark basıncı kadar düşerek sisteme iletilir ve bu basınç sistemin çalışmasını sağlayan çalışma basıncı olur.

1.6.1. Filtrenin geçirgenliği

Basınç hattı filtrelerinin çalışması sırasında akışkanın filtreye girişi ile çıkışı arasındaki fark basıncı filtrenin geçirgenlik karakteristiğini belirler. Filtrenin kullanılacağı sistemde pompadan çıkan basınç filtrenin oluşturmuş olduğu fark basıncı kadar düşerek sisteme iletilir ve bu basınç sistemin çalışmasını sağlayan çalışma basıncı olur.

1.6.2.Filtrenin çalışma basıncı

Hidrolik sistemin çalışmış olduğu basınca basınç hattı filtresinin çalışma basıncı denir. Basınç hattı filtreleri tasarlanırken bu kıstas göz önüne alınmalıdır.

1.6.3. Filtreleme hassasiyeti

Hidrolik sistemde kullanılan ekipmanların hassasiyet derecesine göre kirletici partiküllerden korunması gerekir. Bu nedenle sistemde kullanılacak filtre elemanı hidrolik ekipmanların korunacağı kirletici partikül boyutundan daha hassas bir filtreleme hassasiyetine sahip olmalıdır.

1.6.4. Patlama basıncı

Hidrolik sistemlerde kullanılan filtreler pompanın ani pikleri, sistemde öngörülemeyen tıkanıklıklar vb. nedenlerle çalışma basıncından daha yüksek basınçlara maruz kalabilir. Maruz kalınan yüksek basınç sonrası filtrenin patlaması hidrolik sisteme veya hidrolik sistemi kullanan operatöre zarar verebilir. Bu sebeple filtrelerin patlama basınçları çalışma basınçlarının en az üç katı olmalıdır.

1.6.5. Yorulma dayanımı

Hidrolik sistemin çalıştığı ortam sıcaklığı ve hidrolik akışkanın sıcaklığı filtrenin ömrüne olumsuz etki edebilir. Bu nedenle hidrolik filtre üretiminde kullanılan hammadde, sızdırmazlık elemanları, “bypass” sistemi, filtre kirlilik göstergesi ve filtre elemanı hidrolik sistemin işletme sıcaklığına dayanacak şekilde seçilmelidir.

1.6.6. İşletme sıcaklığı

Hidrolik sistemin çalıştığı ortam sıcaklığı ve hidrolik akışkanın sıcaklığı filtrenin ömrüne olumsuz etki edebilir. Bu nedenle hidrolik filtre üretiminde kullanılan hammadde, sızdırmazlık elemanları, “bypass” sistemi, filtre kirlilik göstergesi ve filtre elemanı hidrolik sistemin işletme sıcaklığına dayanacak şekilde seçilmelidir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Gökalp (2001) yapmış olduğu çalışmada bir makinada dönüş ve basınç hattı filtrelerinin takribi olarak %10 yatırım maliyetini arttığını ve bu maliyetin yetersiz veya hiç olmayan yağ filtrasyonun işletmeye oluşturacağı maliyetlerin yanında oldukça küçük kaldığını tespit etmiştir. Tespit etmiş olduğu bu hususu plastik enjeksiyon makinesi örneği ile açıklamıştır. Bu nedenle makalesinde filtrasyonun önemini açıklayarak filtre seçimini ve uygun filtrasyon ile oluşabilecek maliyet azaltma analizlerini anlatmıştır [2].

Momin ve arkadaşları (2017) yapmış oldukları çalışmalarında hidrolik sıvıların istenilen temizlik seviyesinde olmasının önemini anlatmışlar ve denizcilik koşullarında çalışabilecek güvenilir bir filtre tasarımı çalışması yürütmüşlerdir. Tasarım çalışmalarında sonlu elemanlar analizinden yararlanmışlardır. Çalışmaları sonucunda denizciliğin çevresel şartlarına dayanabilen ve sistemin ihtiyaç duyduğu basınç altında çalışabilen yüksek basınçlı filtre tasarımları donanma yeterlilik sertifika programına dahil olmuştur [3].

M.I.T.'den Dr. E Rabinowicz (2016) yapmış olduğu çalışmada ekipman değişimlerinin %70'i ya da ekipmanların sistemde sağladığı faydaların kaybı sistemin içerisindeki yüzeysel bozunmalardan ve aşınmalardan kaynaklandığını, hidrolik ve yağlama sistemlerinde ise ekipman değişimlerinin %50'si mekanik aşınmanın sonucu olarak ve %20'si de bozunma (corrosion) olarak ortaya çıktığını tespit etmiştir. Bu tespitinin sonucunda sistem elemanlarının çalışma boşluklarına, partikül için akışkan analiz yöntemlerine, yağın içindeki suyun oluşturduğu kirliliğe, hidrolik akışkanlardaki numune alma prosedürlerine, ISO standartlarında akışkan temizlik seviyelerine vb. değinmiştir [4].

Felix Ng, Jennifer A. Harding, Jacqueline Glass (2016) bu çalışmalarında mobil hidrolik sistemler için mevcut veri toplama yöntemlerine ve partikül analiz sensörlerinin kullanımı üzerine odaklanılmışlardır. Hidrolik içerisinde yer alan metalik parçacık tespit edilmesini sağlayan analizlerin, hidrolik bileşenlerin gerçek zamanlı aşınmasını tespit edebilmek için güvenilir bir yol olduğu sonucuna ulaşmışlardır [5].

Ahmet Serdaroğlu (1999) yapmış olduğu bu çalışmada hidrolik sistemlerde meydana gelen arızaların iş kayıpları ile duruşlara sebebiyet verdiğini ve bunların işletmelere büyük maliyetler oluşturduğu açıklamıştır. Işletmelerde hidrolik ile ilgilenen personellerin bu çalışma doğrultusunda doğru filtrasyon elemanını seçip kullanarak oluşacak maliyetleri azaltmasını amaçlamıştır. Bu amaç doğrultusunda akışkanın tarifi, kirlilik derecelerini belirleyen standartlar, yağların temizlenmesi için kullanılan filtre malzemeleri, filtrasyon kalitesi ve bunu belirleyen test ve standartlar, filtre elemanlarının ömrü, filtre tipleri, filtre boyutlama ve seçim kriterleri, filtrasyon Őekilleri gibi konuları ele almıştır [6].

J.M.R. Gorle, V-M. Heiskanen, S. Nissı ve M. Majas'ın (2018) bu çalışmasında mekanik bir filtrenin performansını etkileyen parametreler (yağ sıcaklığı, kirlilik seviyesi, debi) kullanılarak laboratuvar testleri gerçekleştirilmiş ve sonuçları incelenmiştir. Gerçekleştirilen laboratuvar testleri 30°C, 40°C, 50°C, 60°C derecelerde 2 farklı debide (40lt/dk ve 120 lt/dk), 5µm filtre elamanıyla ve 2 mg/lt, 5 mg/lt, 8 mg/lt, 10 mg/lt yoğunluklarında gerçekleşmiştir. 60°C derecede yapılan testte viskozite azalmasından kaynaklı fark basınçlarının azaldığı ve 2 mg/lt kirletici yoğunluğuna sahip olan testte fark basıncı daha yüksek kirletici yoğunluğuna sahip diğer testlere göre daha uzun sürede artmıştır [7].

Samet Emanet (2001) yapmış olduğu çalışmada hidrolik sistemler ile ilgilenen kişiler ile hidrolik ve yağlama sistemlerindeki filtrasyon hakkında bilgiler paylaşmıştır. Bu bilgiler işında hidrolik sistemin çalışma maliyetlerini azaltmak ve performansını arttırabilmek adına bir bakım planı hazırlanarak uygulanması önerilmektedir. Bu bakım planı ile yüksek maliyetler ile kurulan hidrolik sistemlerinin ömürleri uzayacak ve arıza kaynaklı zamansız iş duruşları ile zaman kayıplarını ortadan kaldıracaktır [8].

Eldek (2020) tarafından yapılan çalışmada, Mesa Makina bünyesinde iki adet farklı tipte filtre seçerek belirlenen tasarım kriterlerine göre performans testleri gerçekleştirmiştir. Ancak yapılan çalışmada, sadece 63 lt/dk kapasiteli yüksek basınç hattı filtresi gövdesi sadece taban radyüsü optimizasyonu ile sınırlı çerçevede ele alınmış ve diğer kapasitedeki muhafazalar için optimizasyon çalışması yapılmamıştır. Hidrolik filtreler için çalışma basıncı, çalışma debisi, filtreleme hassasiyeti, ortam koşulları vb. gibi parametreler belirlemiş ve belirlemiş olduğu parametrelere göre seçimler

gerçekleştirmiştir. Yapmış olduğu seçimler ile birlikte döküm, talaşlı imalat ve montaj yöntemleri ile üretilen filtrelerin performans doğrulamalarını TÜBİTAK projesi kapsamında tasarlanıp imal edilen filtre test makinesinde test ederek gerçekleştirmiştir. Yani yapılan çalışmanın odak konusu, filtre test cihazının tasarımı ve imalatı üzerinedir [1]. Bu tez çalışmasında ise, farklı kapasitelerde olan 40 lt/dk ve 250 lt/dk modellerine ait filtre muhafazalarının gövde kalınlığı optimizasyonu ve performans testleri gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen sonlu elemanlarla optimizasyon çalışmalarında, taban radyüsüne ek olarak, gövde kalınlığı ve muhafazaların döküm çıkma açısının etkisi de incelenmiştir. Yapılan optimizasyona göre imal edilen optimum geometriye sahip yüksek basınç hattı filtre muhafazalarının test makinasında standartlara uygun testleri gerçekleştirilmiştir.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

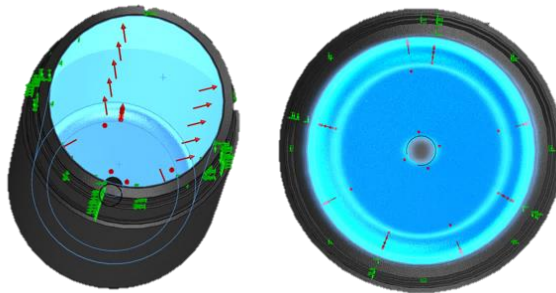
3.1. Malzeme Seçimi ve Geometrik Tasarım

Hidrolik yüksek basınç hattı filtreleri istenilen çalışma koşullarında hizmet verebilmesi için filtrenin imalat yönteminin, filtrenin boyutlarının ve filtre malzemesinin doğru seçilmesi gerekmektedir. Bu tez çalışmasında 450 bar (45 MPa) çalışma basıncı ve minimum 1350 bar patlatma basıncı olan filtreler tasarlanmıştır. Tasarlanan filtrelerin prototip üretimleri için uygun sfero dökme demir malzemesini belirlemek için bilgisayar destekli analizler ve statik gerilme hesapları ele alınmıştır.



Şekil 3.1. Yüksek basınç hattı filtresi

Filtrelerin en ince cidarlı elemanı olan filtre muhafaza tasarımları bilgisayar destekli analiz programı ile 450 bar (45 MPa) çalışma basıncı altında statik analize tabi tutulmuştur. Tasarımı gerçekleştirilen muhafazalara basınç Şekil 3.2'deki gibi uygulanmıştır.



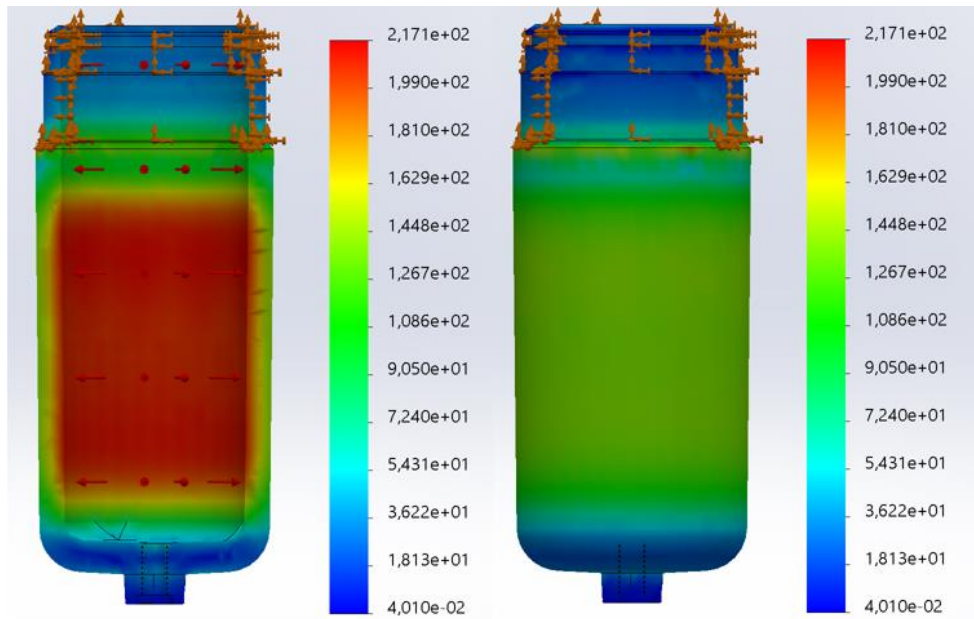
Şekil 3.2. Analiz basınç uygulama alanı

450 bar (45 MPa) basınç verilen muhafazalar Şekil 3.3’de gösterildiği gibi ankastre mesnet ile sabitlenmiştir.



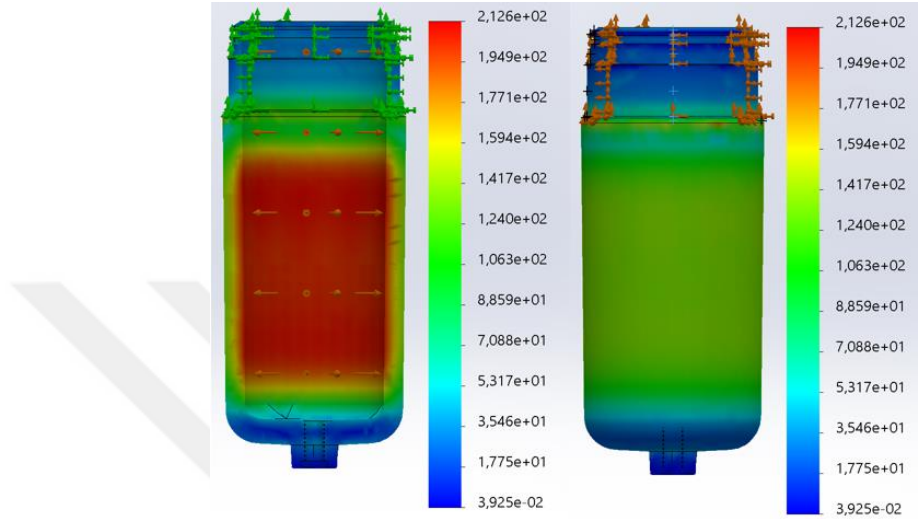
Şekil 3.3. Analiz parça sabitleme bölgesi

Yüksek basınç hattı filtre muhafazaları için öncelikle döküm çıkma açısının etkisi incelenmek istenmiştir. Bu nedenle ilk tasarım denemesinde döküm çıkma açısı bulunmayan muhafazaya 450 bar (45 MPa) basınç altında statik gerilme analizi uygulanmış ve parça üzerindeki statik gerilme 217.1 MPa olarak elde edilmiştir. Analiz ile bulunan statik gerilme dağılımı Şekil 3.4’de gösterilmiştir.



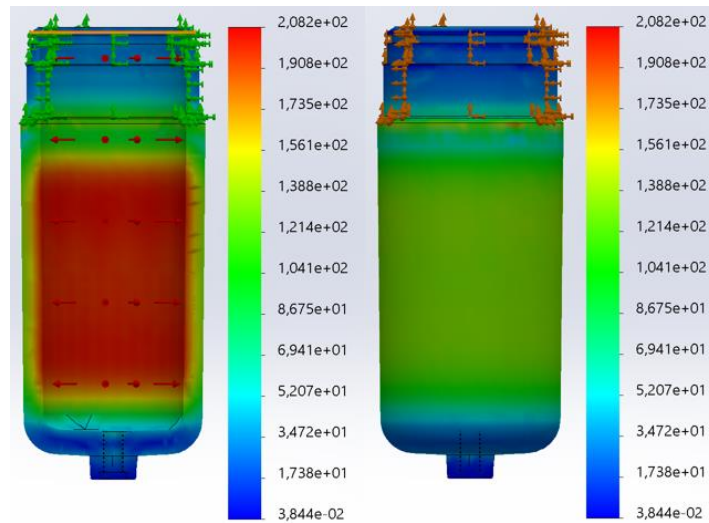
Şekil 3.4. Döküm çıkma açısı bulunmayan tasarım (ilk tasarım denemesi) statik gerilme dağılımı

Yüksek basınç hattı filtre muhafazalarının ikinci tasarım denemesinde döküm çıkma açısı $0,5^\circ$ olarak verilmiştir. Döküm çıkma açısı $0,5^\circ$ olan muhafazaya 450 bar (45 MPa) basınç altında statik gerilme analizi uygulanmış ve parça üzerindeki statik gerilme 212.6 MPa gerilme elde edilmiştir. Bulunan statik gerilme dağılımı Şekil 3.5’de gösterilmiştir.



Şekil 3.5. $0,5^\circ$ döküm çıkma açılı muhafaza (ikinci tasarım denemesi) statik gerilme dağılımı

Yüksek basınç hattı filtre muhafazalarının ikinci tasarımında döküm çıkma açısı 1° olarak verilmiştir. Döküm çıkma açısı 1° olan muhafazaya 450 bar (45 MPa) basınç altında statik gerilme analizi uygulanmış ve parça üzerindeki statik gerilme 208,2 MPa gerilme elde edilmiştir. Bulunan statik gerilme dağılımı Şekil 3.6’da gösterilmiştir.



Şekil 3.6. 1° döküm çıkma açılı muhafaza statik gerilme dağılımı

Yapılan üç farklı tasarım denemesinde de muhafazalarda cidar kalınlığı değiştirilmeden döküm çıkma açıları değiştirilerek gerilme farkları gözlemlenmiştir. Yapılan analizlerde Tablo 3.1’de görüldüğü gibi 1° döküm çıkış açısı olan muhafaza modelinin gerilmesi, döküm çıkma açısı bulunmayan muhafaza modeline göre %4,27 daha az olduğu gözlemlenmiştir.

Tablo 3.1. Statik gerilme karşılaştırma tablosu

Tasarım Modeli	Statik Gerilme Analizi Sonucu (450 bar (45 MPa) Basınç Altında)	İlk Tasarıma Göre Gerilme Değişimi (%)
İlk Tasarım Denemesi	217,1	-
İkinci Tasarım Denemesi	212,6	-%2,11
Üçüncü Tasarım Denemesi	208,2	-%4,27

Elde edilen sonuca göre muhafaza tasarımına döküm açısı eklenmiştir. Döküm açısı ile birlikte şekillenen muhafazaların tasarım şekli netleşmiş ve prototip üretim için 40 lt/dk ve 250 lt/dk yüksek basınç hattı filtrelerinin ele alınmasına karar verilmiştir.

Tasarımı şekillenen ve filtre muhafazalarının teorik gerilme hesapları Şekil 3.7’de verilen teğetsel gerilme dağılımı görselindeki semboller kullanılarak yapılmıştır. Şekil 3.7’de yer alan sembollerin açıklamaları;

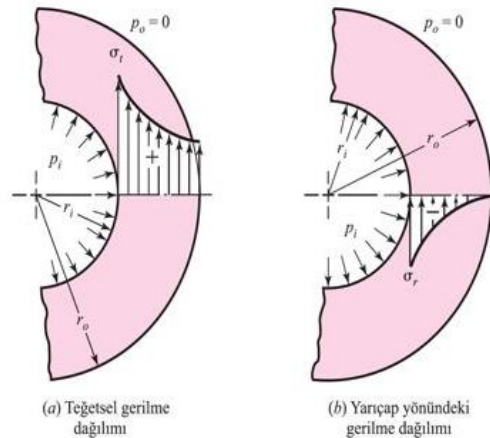
$$r_i = \text{İç yarıçap}$$

$$r_o = \text{Dış yarıçap}$$

$$p_i = \text{Uygulanan iç basınç}$$

$$\sigma_t = \text{Teğetsel gerilme}$$

$$p_o = \text{Dış ortam basıncı}$$



Şekil 3.7. Teğetsel gerilme dağılımı [13]

$p_o = 0$ özel şartına göre;

Yüksek basınç hattı filtrelerinin 40 lt/dk ve 20 lt/dk filtre muhafazalarının patlama basıncı altında statik analizi ;

$$\sigma_t = \frac{r_i^2 p_i}{r_o^2 - r_i^2} + \left(1 + \frac{r_o^2}{r^2}\right) \quad (3.1)$$

Denklemleri aracılığıyla teorik olarak hesaplanmıştır [13].

1. Yüksek basınç hattı filtresi 40 lt/dk model muhafazası patlama basıncı altında statik analizi;

$$\sigma_t = \frac{25,50^2 * 135}{35,50^2 - 25,50^2} + \left(1 + \frac{35,50^2}{30,50^2}\right) \quad (3.2)$$

$$\sigma_t = 338,87 \text{ MPa} \quad (3.3)$$

2. Yüksek basınç hattı filtresi 250 lt/dk model muhafazası patlama basıncı altında statik analizi;

$$\sigma_t = \frac{48,65^2 * 135}{61,15^2 - 48,65^2} + \left(1 + \frac{61,15^2}{54,90^2}\right) \quad (3.4)$$

$$\sigma_t = 782,45 \quad (3.5)$$

2 farklı tip muhafaza için yapılan hesaplamalarda patlama basıncı altında oluşan maksimum gerilme 782,45 MPa olarak bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar ile Mesa Makina'da dökümü gerçekleştirilen malzeme çekme deneyi sonuçları değerlendirilmiş ve tasarlanan yüksek basınç hattı filtreleri için en uygun malzemenin EN-GJS-500-7 olduğuna karar verilmiştir. Yapılan analizler ve hesaplamalar sonucunda seçilen EN-GJS-500-7 standardında sfero dökme demir malzemenin kimyasal bileşim oranları Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.2. EN-GJS-500-7 Kimyasal bileşim oranları [12]

Element, Bileşik	%Karbon	%Silisyum	%Mangan	%Bakır Eşdeğeri	%Magnezyum
Değerler	3,4-3,7	2,0-2,5	Max. 0,3	0,35-0,45	0,0035-0,055

EN-GJS-500-7 malzemenin mekanik özellikleri Tablo 3.3'de verilmiştir.

Tablo 3.3. EN-GJS-500-7 Malzeme mekanik özellikleri [12]

Çekme Mukavemeti (min.)	Akma Mukavemeti (min.)	Uzama (%) (min.)	Sertlik (Brinell)
500 N/mm ²	320 N/mm ²	7	170 – 230

Tablo 3.2’de kimyasal bileşimi ve Tablo 3.3’de mekanik özellikleri verilen EN-GJS-500-7 malzemenin Mesa Makina’da ki üretimi incelenmiştir. Üretim yapılan malzemeler için Şekil 3.8’de verilen çekme çubuklarından 3 farklı numune alınarak çekme testi ile malzeme mekanik özellikleri incelenmiştir.



Şekil 3.8. EN 1563’e göre çekme testi numunesi [12]

Alınan 3 farklı numune Şekil 3.9’da verilen çekme test makinesi ile çekme testine tabi tutulmuştur.



Şekil 3.9. Çekme test makinesi

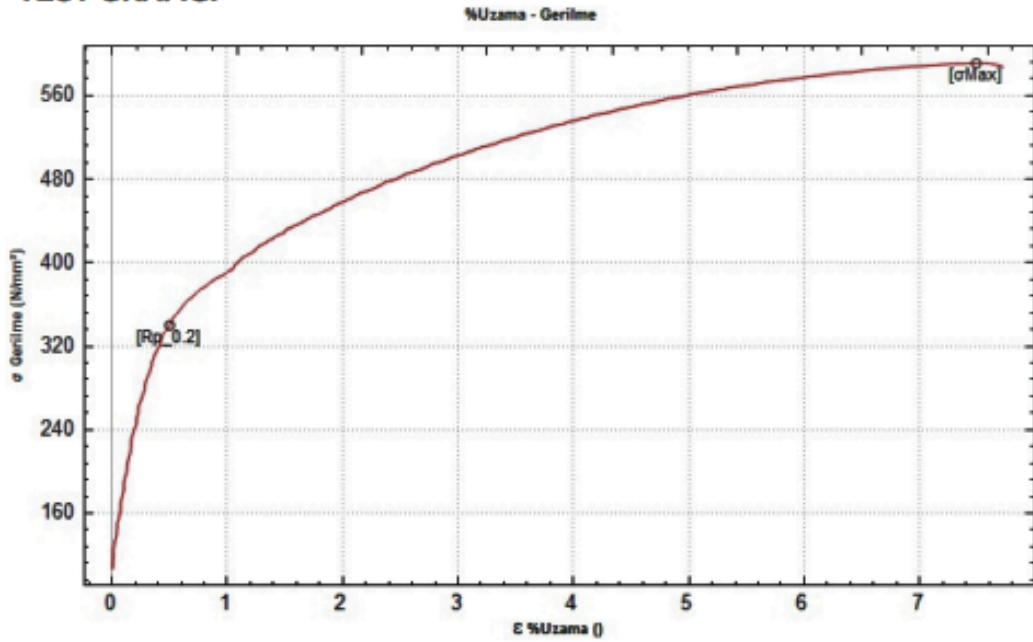
Çekme testine tabi tutulan 3 farklı numunenin test sonuçları Tablo 3.4'de verilmiştir.

Tablo 3.4. Çekme testi sonuçları

	Numune 1	Numune 2	Numune 3
Akma Gerilmesi	382,42 MPa	353,55 MPa	339,68 MPa
Çekme Gerilmesi	596,32 MPa	592,85 MPa	590,60 MPa
Uzama	%8,6	%8,1	%7,7

Yapılan test sonuçlarına göre mekanik özellikleri daha düşük olan numune 3 referans alınarak tasarım ve optimizasyon yapılacaktır. Mesa Makina'da üretilen ve malzemesi EN-GJS-500-7 numune 3'ün Şekil 3.10'da çekme deneyi raporu verilmiştir.

TEST GRAFİĞİ



SONUÇLAR

Fm	46.377kN	Rmin	0.00N/mm ²
Rm	590.60N/mm ²	RMax	0.00N/mm ²
L0 Boyu	50.000mm	RAvg	0.00N/mm ²
L1 Boyu	53.860mm	E modul	49.67 GPa
Uzama%	%7.7	Deney hızı	4mm/dk
Rp02	339.68N/mm ²		

Şekil 3.10. Mesa Makina'da EN-GJS-500-7 standardına uygun olarak üretilen bir parçanın çekme testi sonuçları

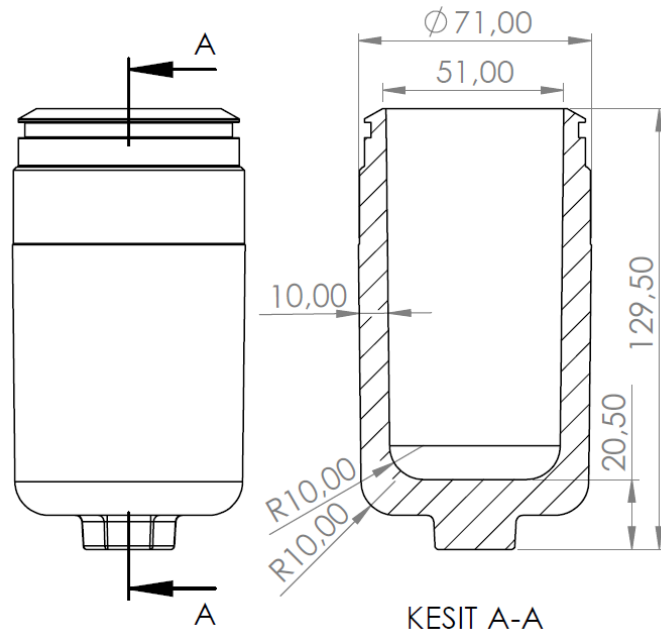
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Muhafaza Tasarımlarının İncelenmesi ve Optimizasyonunun Yapılması

Yüksek basınç hattı filtrelerinin seri üretiminde 2 farklı başlık ve 6 farklı muhafaza kullanılarak 6 çeşit ürün oluşturulması hedeflenmektedir. Küçük filtre başlığı ile 40 lt/dk, 63 lt/dk, 100 lt/dk filtre muhafazası ve büyük filtre başlığı ile 160 lt/dk, 250 lt/dk, 400 lt/dk filtre muhafazası kullanılacaktır. Yüksek basınç hattı filtrelerinin en kritik bileşeni cidar inceliğinden kaynaklı filtre muhafazalarıdır. Yüksek basınç hattı filtre muhafazalarından istenilen karakteristik özellikler 450 bar (45 Mpa) çalışma basıncı ve minimum 1350 bar patlama basıncı dayanımıdır. İstenilen karakteristik özelliklerin yanında malzeme seçimi ile şekillenen tasarımları bu bölümde incelenmiş ve optimizasyonları yapılmıştır.

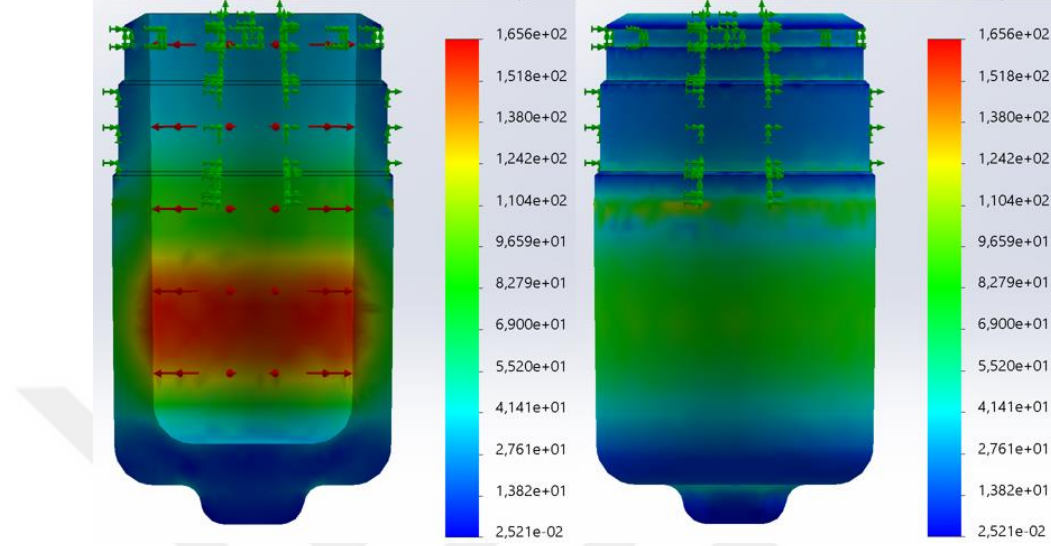
4.1.1. 40 lt/dk filtre muhafazası tasarımı ve optimizasyonu

Bu bölümde yüksek basınç hattı filtrelerinin en ufak boyu olan 40 lt/dk filtre muhafazasının tasarımı incelenmiştir. 40 lt/dk filtre muhafazası için yapılan ilk tasarım Şekil 4.1’de verilmiştir.



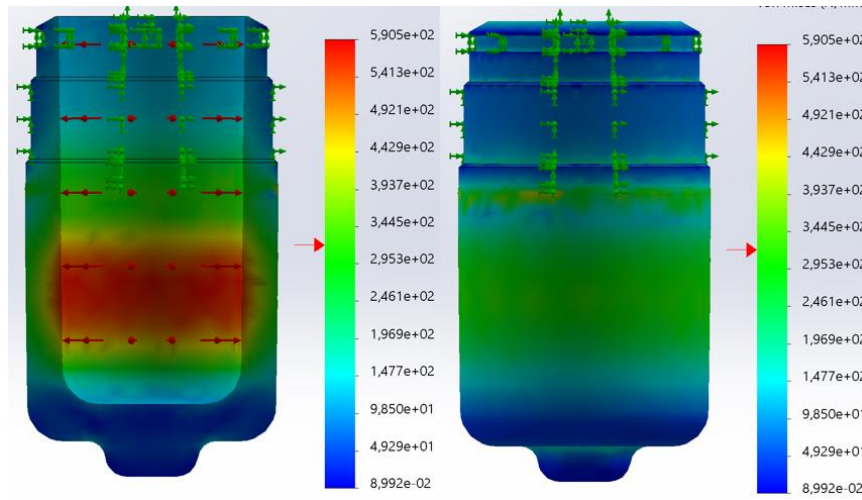
Şekil 4.1. 40 lt/dk filtre muhafazası

İlk tasarımı yapılan 40 lt/dk filtre muhafazasına öncelikle 450 bar (45 MPa) basınç altında statik gerilme analizi uygulanmış ve parça üzerindeki statik gerilme 165,6 MPa bulunmuştur. Statik gerilme dağılımını Şekil 4.2’de gösterilmiştir.



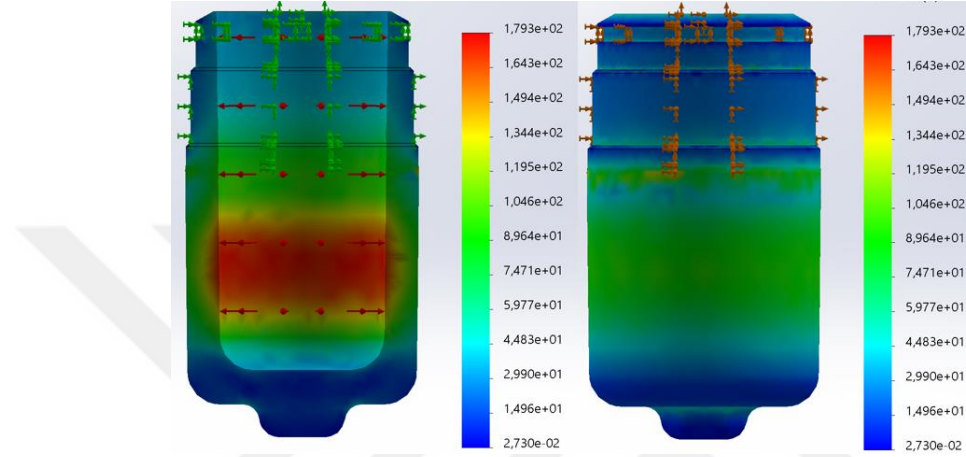
Şekil 4.2. 40 lt/dk filtre muhafazası ilk tasarımı statik gerilme analizi

Statik gerilmesi 165,6 MPa bulunan ilk tasarımın patlatma basıncı için analiz gerçekleştirilmiş ve patlama basıncının 1605 bar (160,5 MPa) olduğu gözlemlenmiştir. Patlama basıncı 1605 bar (160,5 MPa) bulunan muhafazaların gerilme dağılımını Şekil 4.3’de gösterilmiştir ve Şekil 4.3’de de görüleceği üzere patlama yan cidarda gerçekleşecektir.



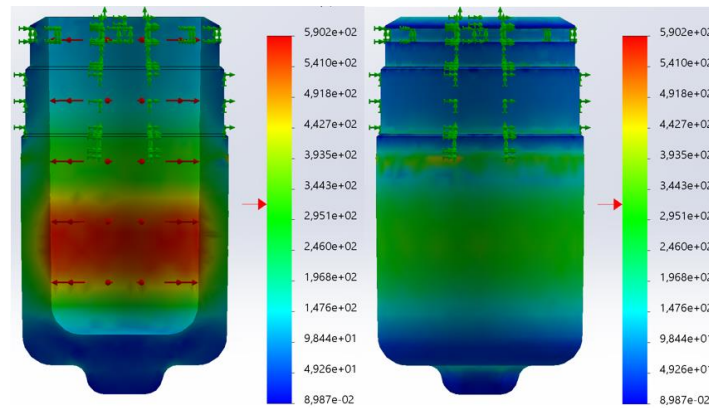
Şekil 4.3. 40 lt/dk filtre muhafazası ilk patlatma analizi gerilme dağılımı

40 lt/dk filtre muhafazalarının ilk tasarımında yüksek patlatma basıncı elde edildiği için yeni tasarımda hem patlatma basıncı düşürmek hem de akış karakteristiğini artırmak amaçlı iç yarıçapta 1 mm olmak üzere çapta 2mm inceltme işlemi gerçekleştirilmiştir. İç çapta 2 mm inceltilmiş filtre muhafazasına öncelikle 450 bar (45 MPa) basınç altında statik gerilme analizi uygulanmış ve parça üzerindeki statik gerilme 179,3 MPa bulunmuştur. Statik gerilme dağılımı Şekil 4.4'de gösterilmiştir.



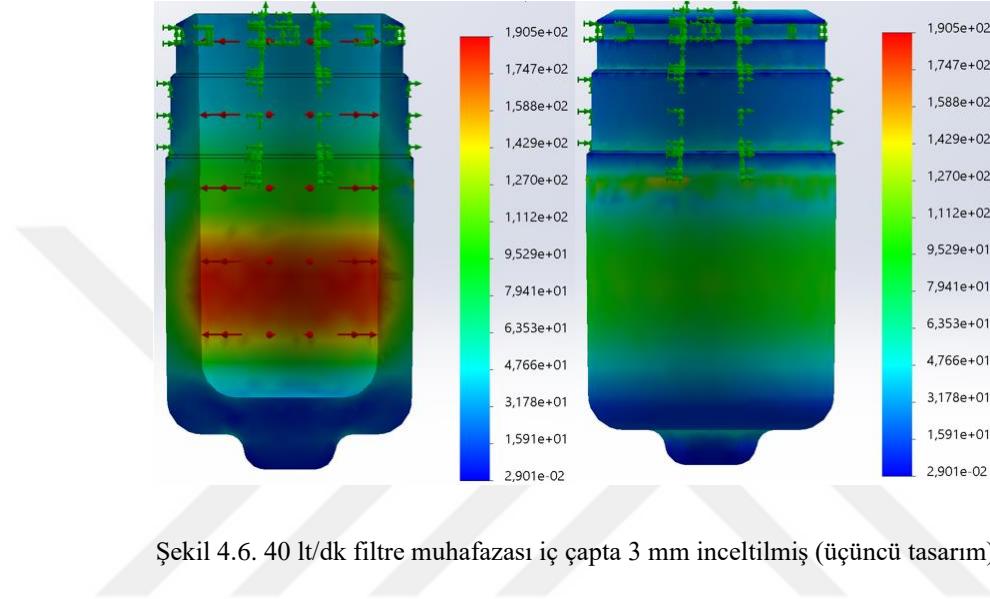
Şekil 4.4. 40 lt/dk filtre muhafazası iç çapta 2mm inceltilmiş (ikinci tasarım)

İç çapta 2 mm inceltme uygulanmış ve statik gerilmesi 179,3 MPa bulunan ikinci tasarımın patlatma basıncı için analiz gerçekleştirilmiş ve patlama basıncınının 1481 bar (148,1 MPa) olduğu gözlemlenmiştir. Patlama basıncı 1481 bar (148,1 MPa) bulunan muhafazaların gerilme dağılımı Şekil 4.5' de gösterilmiştir ve Şekil 4.5'de de görüleceği üzere patlama yan cidarda gerçekleşecektir.



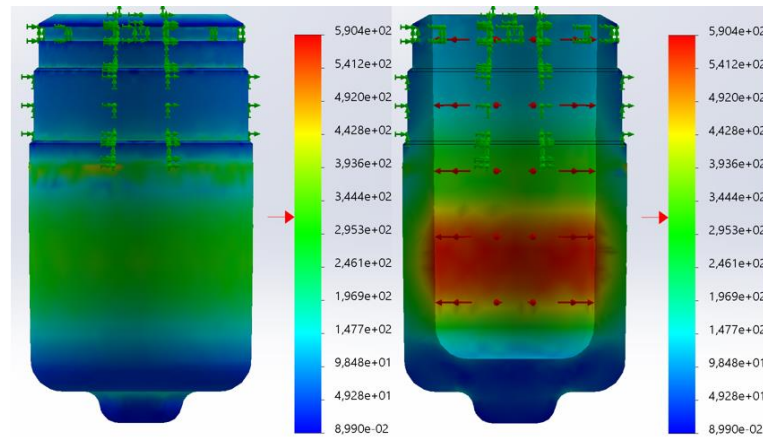
Şekil 4.5. 40 lt/dk filtre muhafazası ikinci patlatma analizi gerilme dağılımı

40 lt/dk filtre muhafazalarının ikinci tasarımında da istenilen 1350 bardan (135 MPa) yüksek patlatma basıncı elde edildiği için yeni tasarımda iç yarıçapta 0,5 mm olmak üzere iç çapta 1mm inceltme işlemi daha gerçekleştirilmiştir. İç çapta 1 mm daha inceltilmiş filtre muhafazasına öncelikle 450 bar (45 MPa) basınç altında statik gerilme analizi uygulanmış ve parça üzerindeki statik gerilme 190,5 MPa bulunmuştur. Statik gerilme dağılımı Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4.6. 40 lt/dk filtre muhafazası iç çapta 3 mm inceltilmiş (üçüncü tasarım)

İç çapta 1 mm daha inceltme uygulanmış ve statik gerilmesi 190,5 MPa bulunan üçüncü tasarımın patlatma basıncı için analiz gerçekleştirilmiş ve patlama basıncının 1395 bar (139,5 MPa) olduğu gözlemlenmiştir. Patlama basıncı 1395 bar (139,5 MPa) bulunan muhafazaların gerilme dağılımı Şekil 4.7'de gösterilmiştir ve Şekil 4.7'de de görüleceği üzere patlama yan cidarda gerçekleşecektir.



Şekil 4.7. 40 lt/dk filtre muhafazası üçüncü patlatma analizi gerilme dağılımı

Yüksek lisans çalışmalarına başlamadan önce yapılan analiz çalışmalarında filtre muhafazalarının iç taban radyüsünde gerilmeyi azalttığı ve üniformlaştırdığı için en optimum filtre iç taban radyüsünün R18 olduğu sonucuna varılmıştır. Bu tez çalışması kapsamında, daha önce elde edilen bu verilerden yola çıkarak, yapılan optimizasyon çalışmaları sonucunda 40 lt/dk filtre muhafazasının ilk tasarımının iç yarı çapından 1,5 mm inceltilmesine ve iç taban radyüsünün R10'dan R18'e çıkartılmasına karar verilmiştir.

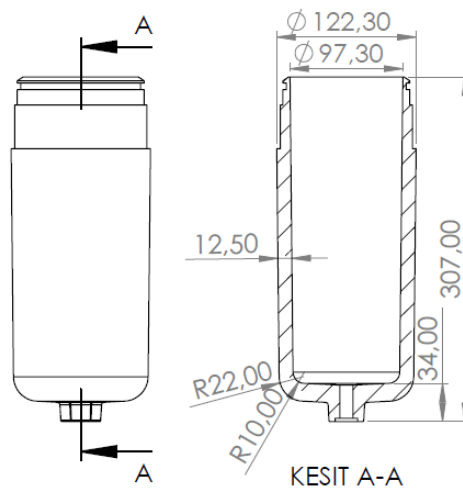
Yapılan analizler ve optimizasyonların karşılaştırılması Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1. 40 lt/dk filtre muhafazası karşılaştırma tablosu

Özellik	İlk Tasarım	İkinci Tasarım	Üçüncü Tasarım	Optimizasyon Sonrası Nihai Tasarım
Taban Radyüsü	R10	R10	R10	R18
Ağırlık (kg)	1,66	1,53	1,47	1,40
Et Kalınlığı (mm)	10	9	8,5	8,5
Statik Analiz-Maksimum Gerilme (45 MPa basınç altında) (MPa)	165,6	179,3	190,5	185,5
Patlatma Akışkan Basıncı (MPa)	160,5	148,1	139,5	142,3

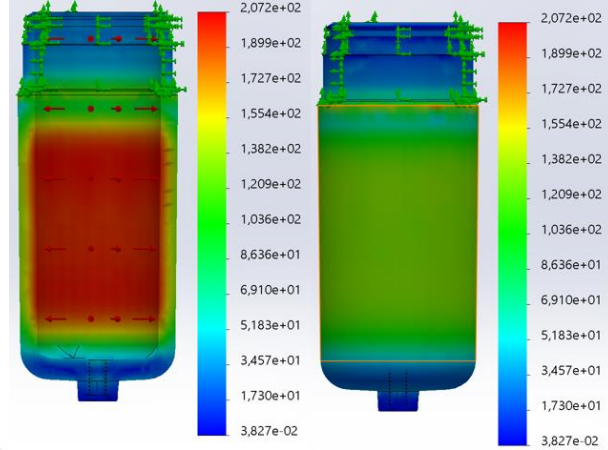
4.1.2. 250 lt/dk filtre muhafazası tasarımı ve optimizasyonu

Bu bölümde yüksek basınç hattı filtrelerinin büyük başlığına uyumlu olan 3 farklı filtre muhafazasından ortanca boyu olan 250 lt/ dk filtre muhafazaları incelenmiştir. 250 lt/dk filtre muhafazasının ilk tasarımı Şekil 4.8'de verilmiştir.



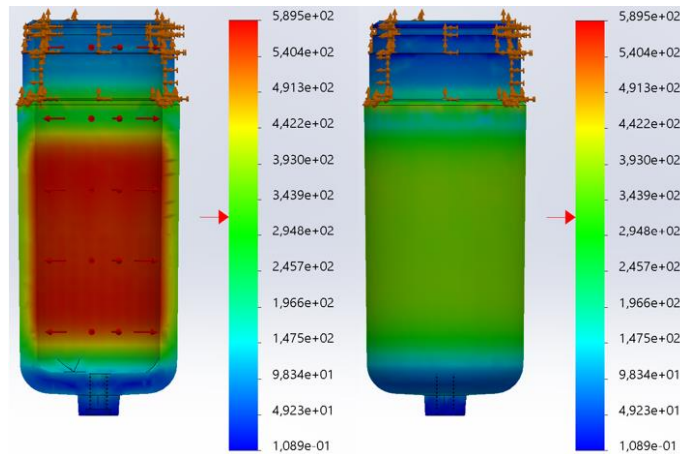
Şekil 4.8. 250 lt/dk filtre muhafazası ilk tasarımı

İlk tasarımı yapılan 250 lt/dk filtre muhafazasına öncelikle 450 bar (45 MPa) basınç altında statik gerilme analizi uygulanmış ve parça üzerindeki statik gerilme 207,2 MPa bulunmuştur. Statik gerilme dağılımı Şekil 4.9’da gösterilmiştir.



Şekil 4.9. 250 lt/dk filtre muhafazası ilk tasarımı statik gerilme analizi

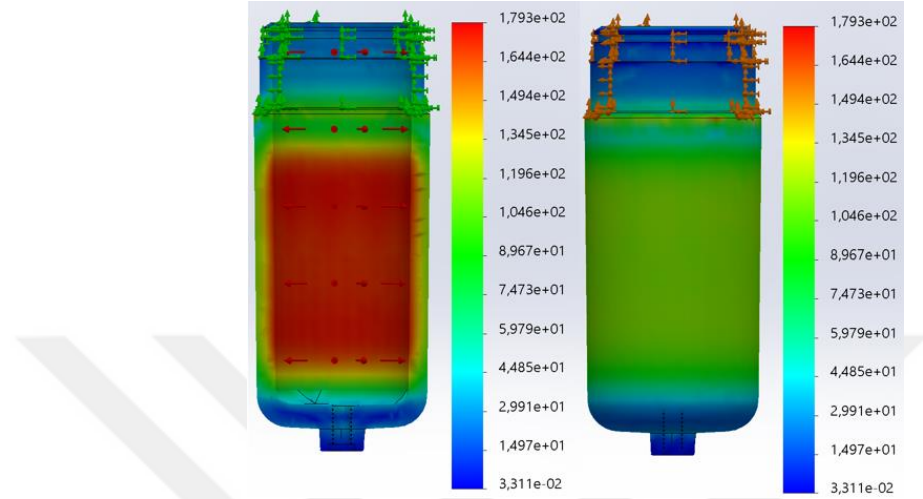
Statik gerilmesi 207,2 MPa bulunan ilk tasarımın patlatma basıncı için analiz gerçekleştirilmiş ve patlama basıncının 1280 bar (128 MPa) olduğu gözlemlenmiştir. Patlama basıncı 1280 bar (128 MPa) bulunan muhafazaların gerilme dağılımı Şekil 4.10’da gösterilmiştir ve Şekil 4.10’da da görüleceği üzere patlama yan cidarda gerçekleşecektir.



Şekil 4.10. 250 lt/dk filtre muhafazası ilk patlatma analizi gerilme dağılımı

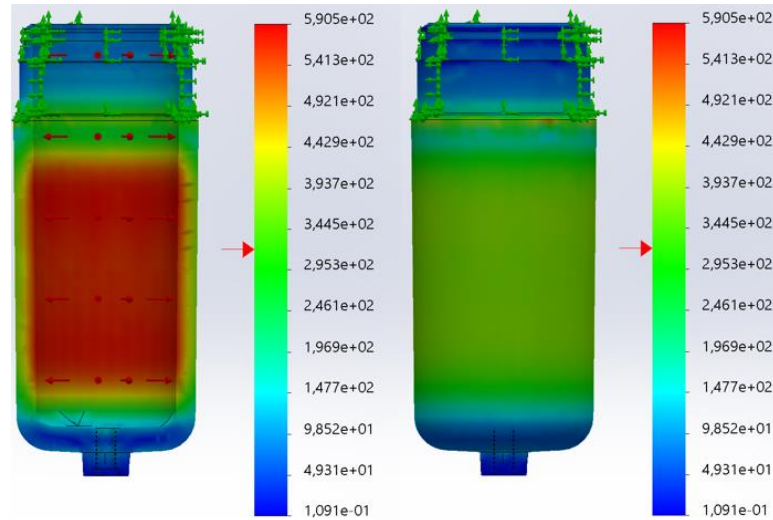
250 lt/dk filtre muhafazalarının ilk tasarımında patlatma basıncı istenilen değerden düşük elde edildiği için yeni tasarımda patlatma basıncını artırmak amaçlı dışı

1 mm olmak üzere çapta 2 mm kalınlaştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Dış çapta 2 mm kalınlaştırılmış filtre muhafazasına öncelikle 450 bar (45 MPa) basınç altında statik gerilme analizi uygulanmış ve parça üzerindeki statik gerilme 179,3 MPa bulunmuştur. Statik gerilme dağılımı Şekil 4.11’de gösterilmiştir.



Şekil 4.11. 250 lt/dk filtre muhafazası dış çapta 2 mm kalınlaştırılmış (ikinci tasarım)

Dış çapta 2mm kalınlaştırma işlemi uygulanmış ve statik gerilmesi 179,3 MPa bulunan ikinci tasarımın patlatma basıncı için analiz gerçekleştirilmiş ve patlama basıncının 1418 bar (141,8 MPa) olduğu gözlemlenmiştir. Patlama basıncı 1410 bar (141 MPa) bulunan muhafazaların gerilme dağılımı Şekil 4.12’de gösterilmiştir ve Şekil 4.12’de de görüleceği üzere patlama yan cidarda gerçekleşecektir.



Şekil 4.12. 250 lt/dk filtre muhafazası ikinci patlatma analizi gerilme dağılımı

Yüksek lisans çalışmalarına başlamadan önce yapılan analiz çalışmalarında filtre muhafazalarının iç taban radyüsünde gerilmeyi azalttığı ve üniformlaştırdığı için en optimum filtre iç taban radyüsünün R18 olduğu sonucuna varılmıştır. Bu tez çalışması kapsamında, daha önce elde edilen bu verilerden yola çıkarak, yapılan optimizasyon çalışmaları sonucunda 250 lt/dk filtre muhafazasının ilk tasarımının dış çapından 2 mm kalınlaştırmaya ve iç taban radyüsünün R10'dan R18'e çıkartılmasına karar verilmiştir.

Yapılan analizler ve optimizasyonların karşılaştırılması Tablo 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.2. 250 lt/dk filtre muhafazası karşılaştırma tablosu

Özellik	İlk Tasarım	İkinci Tasarım	*Optimizasyon Sonrası Nihai Tasarım
Taban Radyüsü	R10	R10	R18
Ağırlık (kg)	9,02	9,65	9,57
Et Kalınlığı (mm)	12,5	13,5	13,5
Statik Analiz-Maksimum Gerilme (45 MPa basınç altında) (MPa)	207,2	179,3	174,6
Patlatma Akışkan Basıncı (MPa)	128	141	143,8

4.2. Filtrelerin Testlerinin Yapılması ve Doğrulanması

4.2.1. Patlatma Testi

Yüksek basınç hattı filtrelerinin patlama basıncı çalışma basıncı 450 bar (45 MPa) basıncın en az 3 katı (1350 bar (135MPa)) olması beklenmektedir. Gerçekleştirilen patlatma test sonuçları aşağıda verilmiştir.

4.1.1.1. 40 lt/dk filtre patlatma testi

Tasarımı ve optimizasyonu yapılan 40 lt/dk filtre muhafazalarının optimizasyon doğrulanması için öncelikle patlatma testi uygulanmasına karar verilmiştir. Optimizasyon yapılan filtre muhafazasının ilk tasarımı prototip olarak üretilmiştir. Üretilen ilk filtre muhafazalarının içerisinde yarıçapta 1 ve 1,5 mm olmak üzere 2 farklı ölçüde inceltme işlemi uygulanmasına kararlaştırılmıştır. Bu karar doğrultusunda her bir filtre muhafazasından 2'şer adet olmak üzere toplamda 6 adet patlatma numunesi elde edilmiştir. Patlatma testine tabi tutulacak numuneler Şekil 4.13'de verilmiştir.



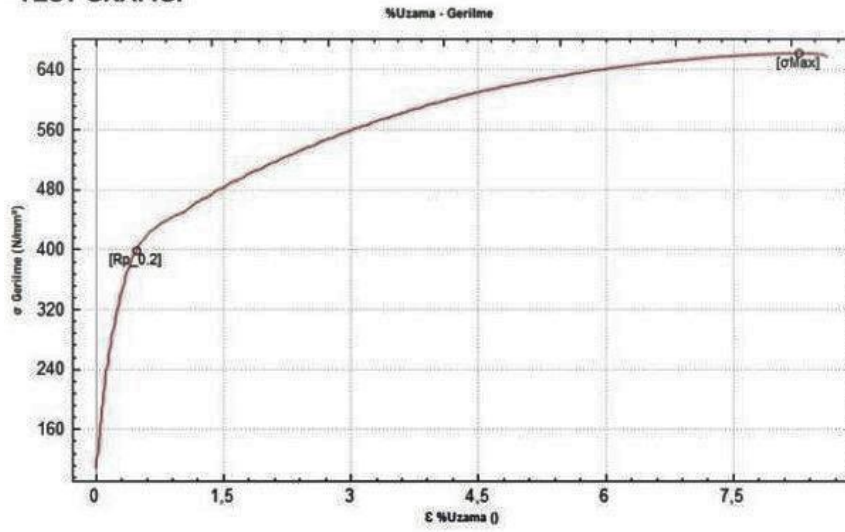
Şekil 4.13. 40 lt/dk filtre muhafazası farklı ölçülerde test numuneleri

Patlatma testi ile doğrulama yapılırken uygulanan yöntem şu şekildedir. 40 lt/dk filtre muhafazaları aynı şarj numaralı parçalardan seçilmiştir. Bu şarj numarasına ait çekme çubuğu test sonucu (Şekil 4.15) ve metalürjik muayene raporu (Şekil 4.14) aşağıda verilmiştir. Metalürjik muayene raporunda yer alan dağlanmamış mikro yapı görüntüsünde karbürlere, faz oranlarına, tane sınırlarına ve dağlanmış mikro yapı görüntüsünde ise inklüzyon, grafit boyu dağılımı, grafit küreselliği incelenmiştir. Raporlara göre ve test sonuçlarına göre malzeme EN-GJS-500-7' dir.

METALURJİK MUAYENE/METALURGICAL INSPECTION							
PARÇA NO				M0008			
MALZEME				GGG50			
ŞARJ NO				20L11			
İSTENEN SERTLİK DEĞERİ				170-230			
ÖLÇÜLEN DEĞER				201			
Element, bileşik	%Karbon	%Silisyum	%Mangan	%Bakır Eşdeğeri	%Magnezyum	%Nikel	%Krom
Değerler / Specs.	3,4-3,7	2,0-2,5	Max 0,3	0,35-0,45	0,035-0,055	-	-
Ölçülen / Measured	3,49	2,17	0,26	0,38	0,047	0,032	0,017
MİKROYAPI/ MICROSTRUCTURE							
Dağlanmamış				Dağlanmış			

Şekil 4.14. Metalürjik muayene raporu

TEST GRAFİĞİ



SONUÇLAR

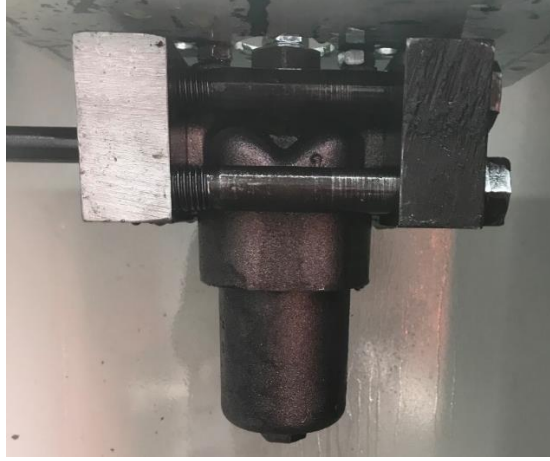
Fm	51.985kN	Rmin	0.00N/mm ²
Rm	662.02N/mm ²	RMax	0.00N/mm ²
L0 Boyu	50.000mm	RAvg	0.00N/mm ²
L1 Boyu	54.300mm	E modul	59.61 GPa
Uzama%	%8.6	Deney hızı	4mm/dk
Rp02	398.36N/mm ²		

Şekil 4.15. Döküm çekme numunesi çekme testi raporu

Patlatma testi Şekil 4.16'da verilen patlama kabine 40 lt/dk filtre muhafazalarının Şekil 4.17'de gösterildiği gibi bağlanarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.16. Patlatma kabini



Şekil 4.17. 40 lt/dk filtre muhafazasının patlatma testine bağlantı şekli

İlk olarak herhangi bir işlem uygulanmayan muhafazaların patlatma testi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuç incelendikten sonra öncelikle iç çaptan 1 mm talaş kaldırılan numunelerin yerine 1,5 mm talaş kaldırılan numunelerin patlatma testleri yapılmasına karar verilmiştir. Bunun nedeni en ince cidarlı filtre muhafazasının patlama basıncının 1350 bar (135 MPa) üzerinde olması durumunda iç çaptan 1mm talaş kaldırılan numunelerin patlatma testi ile filtre test makinesinin gereksiz yorulmasını engellemektir.

Patlatma aparatı ile test sistemine bağlanan ilk muhafazanın test grafiği Şekil 4.18’de verilmiştir. Görüldüğü üzere 1400 bar seviyesine geldiğinde filtre başlığı kısmından patlama gerçekleşmiştir. Patlayan bölümdeki et kalınlığının simetrisinde bulunan et kalınlığına göre oluşan farklılık olduğu gözlemlenmiştir. Patlamış modelin görüntüsü de Şekil 4.19’da verilmiştir.

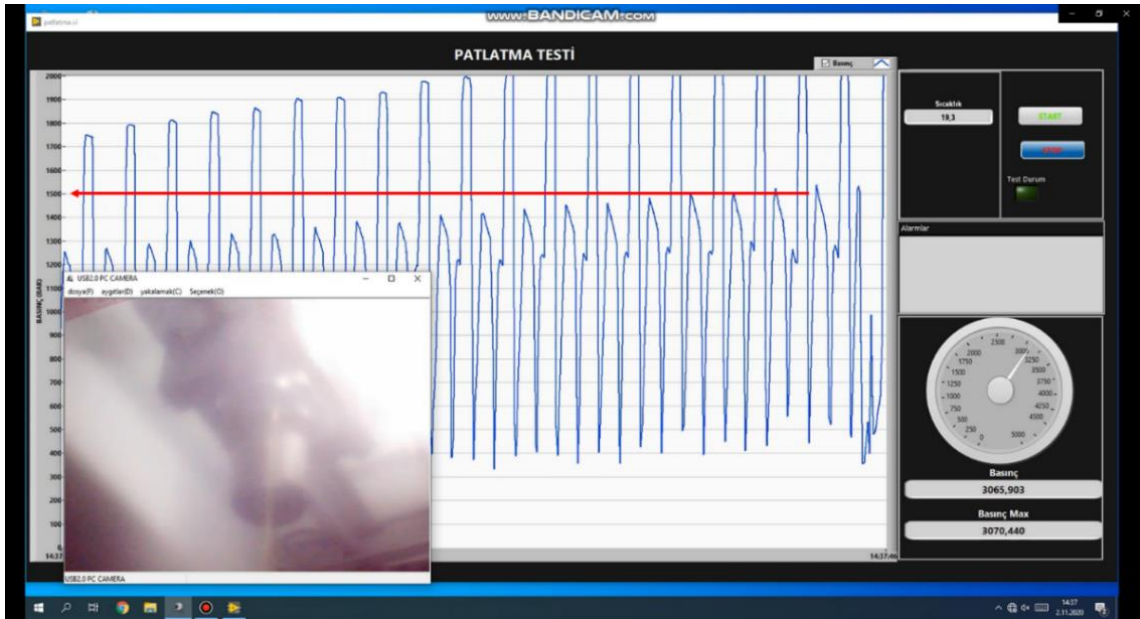


Şekil 4.18. Patlatma test grafiği-1 (İlk muhafaza)



Şekil 4.19. Patlatılmış test numunesi (ilk muhafaza)

İlk sonuç 1400 bar değerinde çıktığı için en çok talaş kaldırılan numunenin test edilmesi uygun görülmüştür ve direk iç yarıçaptan 1,5 mm talaş kaldırılan modelin testine geçilmiştir. İç yarıçaptan 1,5 mm talaş kaldırılan muhafazanın patlatma testi grafiği Şekil 4.20’de verilmiştir. 1500 bar seviyesine ulaşılmış fakat muhafaza kısmında herhangi bir patlama yaşanmamıştır. 1500 bar seviyesini geçer geçmez patlatma aparatında bulunan bakır pul patlamış ve test sonuçlandırılmıştır. Numune, patlatma aparatından söküldükten sonra incelenmiş ve bir önceki numunede bulunan çatlaklar tespit edilmiştir. Patlamış numune görüntüsü Şekil 4.21’de verilmiştir.



Şekil 4.20. Patlatma test grafiği-2 (1,5 mm talaş kaldırılan numune 1)



Şekil 4.21. Patlatılmış test numunesi (1,5mm talaş kaldırılan numune 1)

İkinci test aşamasında patlamanın bakır pul üzerinden gerçekleşmesinden dolayı testin tekrarlanması uygun görülmüştür. Test düzeneği tekrar hazırlanmış ve diğer iç yarıçaptan 1,5 mm talaş kaldırılan numune aparat ile beraber sisteme montaj edilmiştir. Test basıncı 1500 bar seviyesine geldiğinde herhangi bir patlama gerçekleşmemiştir. 1500 bar seviyesinin üzerine çıktığı anda ise aparatta sızdırma meydana gelmiştir. Sızdırma meydana geldiği anda daha yüksek basınçlara çıkmanın doğru olmadığı ve test numunesinin içerisine doğru basıncın verilemeyeceği için test durdurulmuştur. Test grafiği Şekil 4.22’de ve numune görseli Şekil 4.23’de verilmiştir.

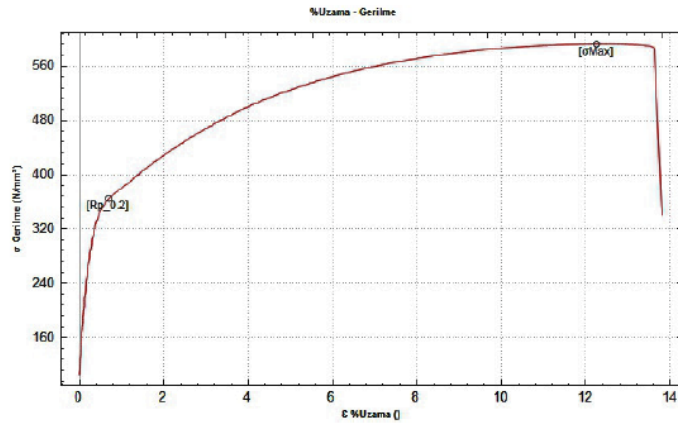


Şekil 4.22. Patlatma test grafiği (1,5 mm talaş kaldırılan numune 2)



Şekil 4.23. Patlatılmış test numunesi (1,5 mm talaş kaldırılan numune 2)

Yapılan optimizasyona göre inceltmeler uygulanmış ve filtre muhafazaları patlatılamamıştır. Bunun nedeni yapılan optimizasyonun 590,60 MPa çekme ve 339,68 MPa akma gerilmesine göre yapılmasıdır. Bu nedenle farklı bir üretime ait 40 lt/dk filtre muhafazasının iç yarıçapından 1,5 mm inceltme uygulayarak yeni bir patlatma testi yapılmasına karar verilmiştir. Patlatma testine tabi tutulan 4. numune filtre muhafazasının sırasında alınan çekme çubuğundan elde edilen çekme testi raporu Şekil 4.24'de verilmiştir.



SONUÇLAR

Fm	46.511kN	Rmin	0.00N/mm ²
Rm	592.31N/mm ²	RMax	0.00N/mm ²
L0 Boyu	50.000mm	RAvg	0.00N/mm ²
L1 Boyu	56.900mm	E modul	50.77 GPa
Uzama%	%13.8	Deney hızı	4mm/dk
Rp02	364.90N/mm ²		

Şekil 4.24. Döküm çekme numunesi deney raporu

İç yarıçapından 1,5mm inceltileen 3. numune 1420-1430 bar aralığında patlamıştır. Patlamış numunenin görseli Şekil 4.25'de verilmiştir.



Şekil 4.25. Patlatılmış test numunesi (1,5 mm talaş kaldırılan numune 3)

4.1.1.2. 250 lt/dk filtre patlatma testi

Tasarımı ve optimizasyonu yapılan 250 lt/dk filtre muhafazalarının optimizasyon doğrulaması için öncelikle patlatma testi uygulanmasına karar verilmiştir. Optimizasyon yapılan filtre muhafazasının ilk tasarımı ve optimizasyon sonu ortaya çıkan filtre muhafazası olarak 2 farklı test numunesi üretilmiştir. Test numuneleri Şekil 4.26'da verilmiştir.

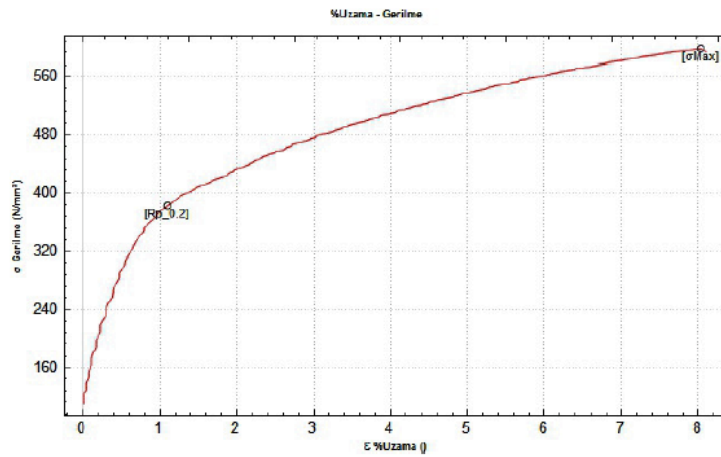


Şekil 4.26. 250 lt/dk filtre muhafazaları patlatma numuneleri

Patlatma testi ile doğrulama yapılırken uygulanan yöntem şu şekildedir. 250 lt/dk filtre muhafazaları aynı şarj numaralı dökümde üretilmiştir. Bu şarj numarasına ait çekme çubuğu test sonucu (Şekil 4.28) ve metalürjik muayene raporu (Şekil 4.27) aşağıda verilmiştir. Metalürjik muayene raporunda yer alan dağlanmamış mikro yapı görüntüsünde karbürlere, faz oranlarına, tane sınırlarına ve dağlanmış mikro yapı görüntüsünde ise inklüzyon, grafit boyu dağılımı, grafit küreselliği incelenmiştir. Raporlara göre ve test sonuçlarına göre malzeme EN-GJS-500-7'dir.

METALURJİK MUAYENE/METALURGICAL INSPECTION							
PARÇA NO				M0004			
MALZEME				GGG50			
ŞARJ NO				20L22			
İSTENİLEN SERTLİK DEĞERİ				170-230			
ÖLÇÜLEN DEĞER				207			
KİMYASAL ANALİZ/CHEMICAL ANALYSIS							
Element, bileşik	%Karbon	%Silisyum	%Mangan	CuE	%Magnezyum	%Kükürt	%Fosfor
Değerler / Specs.	3,4-3,9	2,0-2,5	Max 0,3	0,35-0,45	0,035-0,055	0,015 Max	0,03
Ölçülen / Measured	3,5	2,35	0,08	0,29	0,044	0,003	0,031
MİKROYAPI/ MICROSTRUCTURE							
Dağlanmamış				Dağlanmış			

Şekil 4.27. Metalürjik muayene raporu



SONUÇLAR

Fm	46.894kN	Rmin	0.00N/mm ²
Rm	597.19N/mm ²	RMax	0.00N/mm ²
L0 Boyu	50.000mm	RAvg	0.00N/mm ²
L1 Boyu	54.050mm	E modul	38.10 GPa
Uzama%	%8.1	Deney hızı	4mm/dk
Rp02	382.68N/mm ²		

Şekil 4.28. Döküm çekme numunesi deney raporu

Patlatma testi Şekil 4.29’da verilen patlama testi kabinine 250 lt/dk filtre patlatma testi numuneleri Şekil 4.30’da gösterildiği gibi bağlanarak gerçekleştirilmiştir.

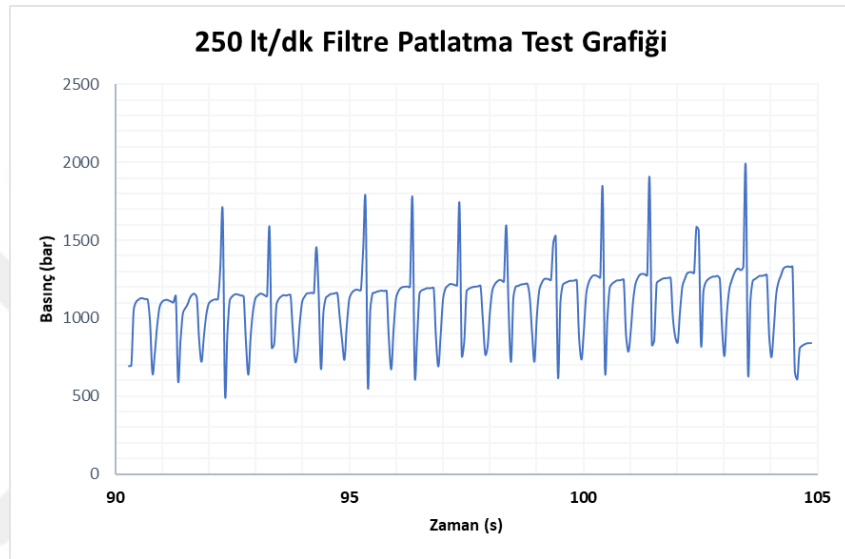


Şekil 4.29. Patlatma testi kabini



Şekil 4.30. 250 lt/dk filtresi patlatma bağlantısı

İlk olarak yapılan optimizasyonun doğrulunu inceleyebilmek için 250 lt/dk filtre muhafazaları için optimizasyon öncesi tasarlanan muhafazaların patlatma testi gerçekleştirilmiştir. Patlatma aparatı ile test sistemine bağlanan ilk test muhafazanın test grafiği Şekil 4.31’de verilmiştir. Görüldüğü üzere 1320 bar seviyesine geldiğinde filtre muhafazasının yan cidarında patlama gerçekleşmiştir. Patlayan bölümdeki et kalınlığının simetrisinde bulunan et kalınlığına göre oluşan farklılık olduğu gözlemlenmiştir. Patlamış modelin görüntüsü de Şekil 4.32’de verilmiştir.

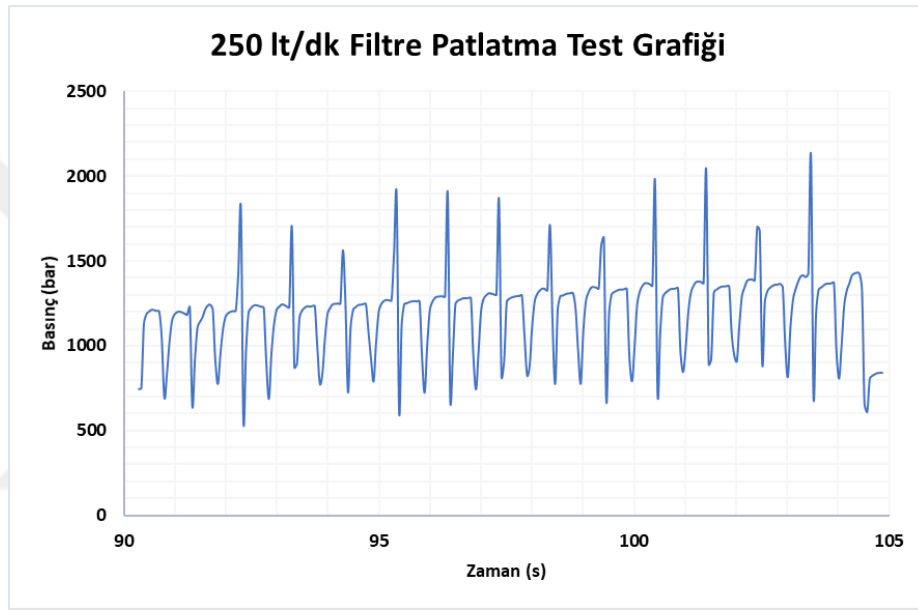


Şekil 4.31. 250 lt/dk filtre patlatma grafiği (ilk numune)



Şekil 4.32. Patlatılmış test numunesi (Optimizasyon yapılmamış test numunesi)

Optimizasyon yapılmamış test numunesinin patlama basıncı istenilen değer olan 1350 bar seviyesinin altında kalmıştır ve bu değer optimizasyon sırasında analizi doğrulamaktadır. Optimizasyon ile dış çapta 2 mm et kalınlığı artırılmış filtre muhafazası kullanılarak 250 lt/dk filtre patlatma testi uygulanmıştır. Patlatma testinin grafiği Şekil 4.33'de verilmiştir. Görüldüğü üzere 1420 bar seviyesine geldiğinde filtre başlığı kısmından patlama gerçekleşmiştir. Patlayan bölümdeki et kalınlığının simetrisinde bulunan et kalınlığına göre oluşan farklılık olduğu gözlemlenmiştir. Patlamış modelin görüntüsü de Şekil 4.34'de verilmiştir.

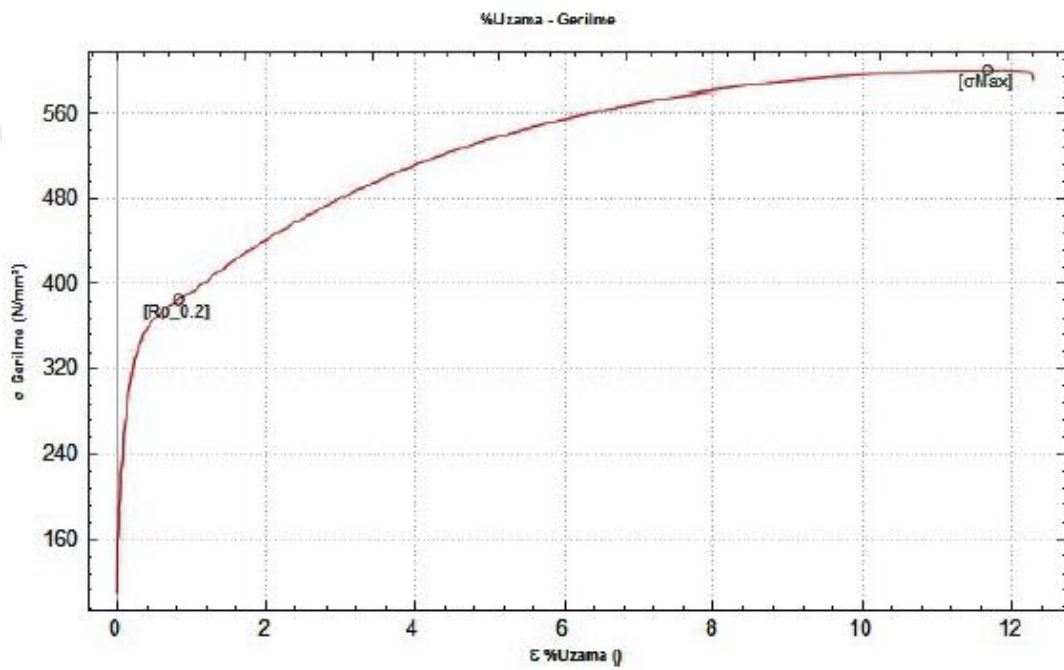


Şekil 4.33. 250 lt/dk filtre patlatma grafiği (optimizasyon edilmiş numune)



Şekil 4.34. Patlatılmış test numunesi (Optimizasyon edilmiş numune)

Şekil 4.34'de yer alan patlamış numunede görüleceği üzere filtre muhafazası üzerindeki diş bitiminden patlama gerçekleşmiştir. İşleme sırasında çentik etkisi bırakılmış olabileceği ve bu nedenle patlamanın diş bitiminden gerçekleştirebileceği düşünüldükten yeniden bir patlatma testi yapılmıştır. Patlatma testi yapılırken yeni üretim olan parçalar dikkate alınmış ve işleme sırasında diş bitimindeki radyüsün düzgün bir şekilde işlemeye tabi tutulduğundan emin olunmuştur. Patlatma testi için alınan son numunenin üretimi sırasında alınan döküm çekme testi numunesinin raporu Şekil 4.35'de verilmiştir.



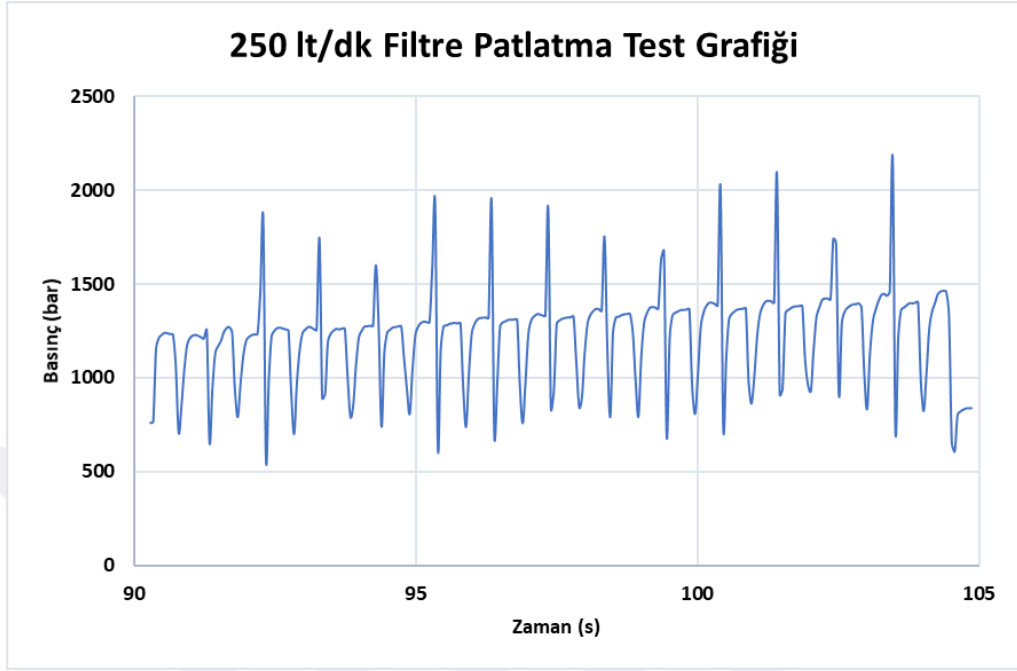
SONUÇLAR

Fm	47.025kN	Rmin	0.00N/mm ²
Rm	598.85N/mm ²	RMax	0.00N/mm ²
L0 Boyu	50.000mm	RAvg	0.00N/mm ²
L1 Boyu	56.150mm	E modul	35.49 GPa
Uzama%	%12.3	Deney hızı	7mm/dk
Rp02	385.29N/mm ²		

Şekil 4.35. Döküm çekme numunesi deney raporu

Patlatma testi için alınan son numunenin patlatma testi grafiği Şekil 4.36'da verilmiştir. Görüldüğü üzere 1450 bar seviyesinde filtre muhafazasının cidar kısmından patlama gerçekleşmiştir. Patlayan bölümdaki et kalınlığının simetrisinde bulunan et

kalınlığına göre oluşan farklılık olduğu gözlemlenmiştir. Patlamış modelin görüntüsü de Şekil 4.37’de verilmiştir.



Şekil 4.36. Patlatma testi grafiği (optimizasyon edilmiş farklı üretim numune)



Şekil 4.37. Patlamış test numunesi (optimize edilmiş farklı üretim numune)

4.2.2. Geçirgenlik (fark basıncı) testi

ISO 3968'e göre 40 lt/dk ve 250 lt/dk yüksek basınç hattı filtre geçirgenlik testi bu bölümde incelenmiştir. Geçirgenlik testi için filtre test makinesine yüksek basınç hattı filtreleri Şekil 4.38'de görüldüğü gibi bağlanmıştır.



Şekil 4.38. 250 lt/dk filtre geçirgenlik testi bağlantısı

Geçirgenlik testi 3 farklı aşamadan oluşmaktadır. Bu test aşamaları sırasıyla sistem testi, filtre muhafazası testi ve filtre grubu testidir.

- Sistem testi test makinesinin oluşturmuş olduğu fark basıncını tespit edilebilmek için yapılmaktadır. Sistem testi sonrasında elde edilen fark basıncı düzeltme olarak filtre muhafazası ve filtre grubundan çıkarılmaktadır. Sistem testinden elde edilen düzeltme fark basıncı filtre test makinesinde otomatik olarak uygulanmaktadır.
- Filtre muhafazası testi filtre grubu içerisinde filtre elemanı olmadan yapılan testtir. Elde edilen fark basıncı sadece filtre muhafazasının oluşturmuş olduğu fark basıncıdır.
- Filtre grubu testi yüksek basınç hattı filtresinin oluşturmuş olduğu fark basıncını tespit etmek için yapılan testtir.

ISO 3968’de geçirgenlik testi için 6 farklı belirlenmiştir ve bu debiler Tablo 4.3’de görülmektedir.

Tablo 4.3. ISO 3968'e göre test debileri

Standart debi katsayısı [10]	40 lt/dk	250 lt/dk
0,2	40*0,2=8	250*0,2=50
0,4	40*0,4=16	250*0,4=100
0,6	40*0,6=24	250*0,6=150
0,8	40*0,8=32	250*0,8=200
1,0	40*1,0=40	250*1,0=250
1,2	40*1,2=48	250*1,2=300

ISO 3968’e göre istenilen koşullar altında geçirgenlik testi gerçekleştirilmiştir. Geçirgenlik testi ISO 3968’e göre 25° ve 50° sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir. Test sırasında basınç ölçümleri ISO 3968’e göre filtre girişinden $\geq 5d$ (≥ 5 x filtre girişi boru çapı), filtre çıkışından $\geq 10d$ (≥ 10 x filtre çıkışı boru çapı) olacak şekilde yapılmıştır. 25°C de gerçekleştirilen test sonuçları Tablo 4.4’de, 50°C’de gerçekleştirilen test sonuçları Tablo 4.5’de verilmiştir [10].

Tablo 4.4. 25°C yağ sıcaklığında geçirgenlik test sonuçları

Test Adımları (Standart debi katsayıları) [10]	Filtre Muhafazası Geçirgenliği (bar)		Filtre Grubu Geçirgenliği (bar)		Filtre Elemanı Geçirgenliği (bar)	
	40lt/dk	250lt/dk	40lt/dk	250lt/dk	40lt/dk	250lt/dk
0,2	0,02	0,02	0,36	0,31	0,34	0,30
0,4	0,05	0,06	0,72	0,69	0,68	0,63
0,6	0,09	0,13	1,15	1,14	1,06	1,01
0,8	0,13	0,19	1,55	1,60	1,16	1,11
1,0	0,19	0,28	2,11	2,26	1,92	1,98
1,2	0,27	0,42	2,68	2,91	2,41	2,49

Tablo 4.5. 50°C yağ sıcaklığında geçirgenlik test sonuçları

Test Adımları (Standart debi katsayıları) [10]	Filtre Muhafazası Geçirgenliği (bar)		Filtre Grubu Geçirgenliği (bar)		Filtre Elemanı Geçirgenliği (bar)	
	40lt/dk	250lt/dk	40lt/dk	250lt/dk	40lt/dk	250lt/dk
0,2	0,01	0,03	0,18	0,16	0,17	0,14
0,4	0,03	0,05	0,36	0,31	0,33	0,26
0,6	0,06	0,11	0,56	0,51	0,50	0,40
0,8	0,10	0,18	0,77	0,70	0,55	0,44
1,0	0,17	0,28	1,02	1,02	0,87	0,74
1,2	0,23	0,41	1,28	1,33	1,04	0,92

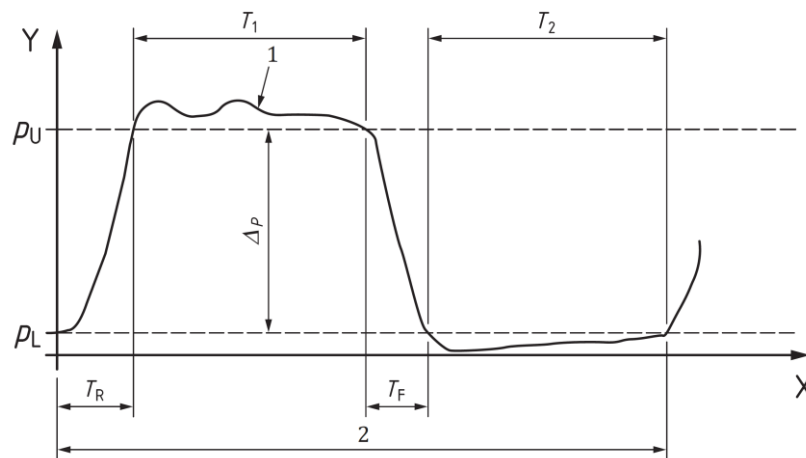
4.2.3. Yorulma testi

ISO 10771-1'e göre 40 lt/dk filtre muhafazasına yorulma testi yapılmıştır. 40 lt/dk ve 250 lt/dk filtre muhafazaları Şekil 4.39'da gösterildiği gibi bağlanmıştır.



Şekil 4.39. Yorulma testi bağlantısı

ISO 10771-1'de filtreye Şekil 4.40'da verilen grafiğe göre çalışma basıncında basınç yükleme-boşaltma 10^5 - 10^7 çevrim^[9] arasında uygulanmalı ve filtrenin hasar (iç sızıntı, dış sızıntı veya parça üzerinde çatlaklar olmaması) almaması gerekmektedir [9].



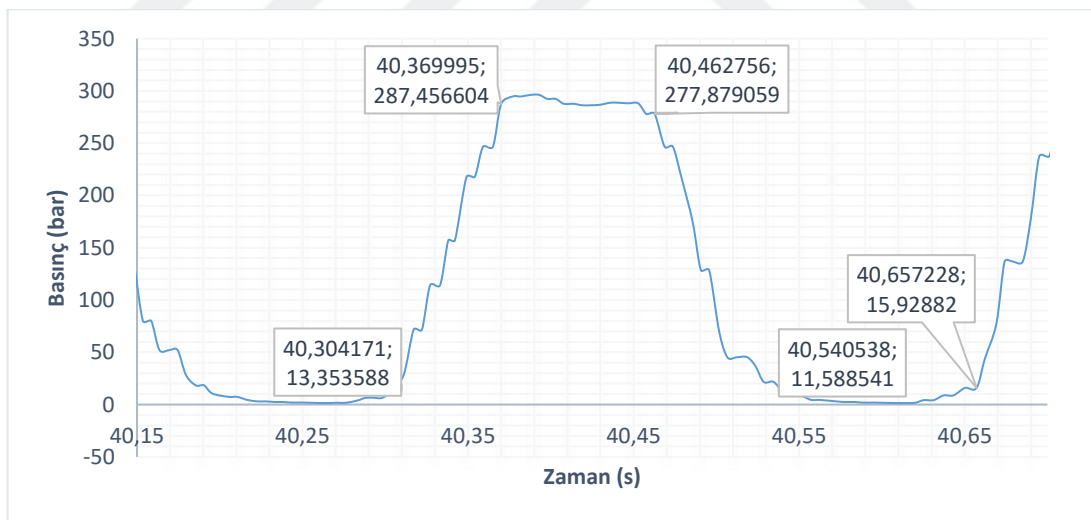
Şekil 4.40. Yorulma dayanımı basınç yükleme-boşaltma grafiği [9].

Şekil 4.40’da verilen grafikte X eksenı zamanı, Y eksenı basınçı ifade etmektedir. Grafikte yer alan sembollerin tanımları Tablo 4.6’da verilmiştir.

Tablo 4.6. ISO 10771-1 yorulma testi yükleme-boşaltma grafiği sembol tanımları [9]

Grafik Tanımlaması	Tanım	Açıklama
1	Gerçek test basınçı	
2	Test periyodu	$T=1/f = T_R + T_1 + T_f + T_2$
X	Zaman	
Y	Basınç	
p_u	Üst döngüsel test basınçı	$\geq 0,3T$
p_L	Alt döngüsel test basınçı	$0,9T_1 \leq T_2 \leq 1,1T_1$
T_R	Basınç yükselme zamanı	$0,4T \leq (T_R + T_1) \leq 0,6T$

Filtrelere yorulma testinde ISO 10771-1 kapsamında 3 Hz frekansta 10^5 çevrim (yükleme-boşaltma) uygulanmasına karar verilmiştir. Filtre test makinesinin yorulma kapasitesi 275 bardır ve filtrelere 275 bar yorulma testi uygulanmıştır. Filtrelere uygulanan basınç-yükleme boşaltma grafiğinden alınan bir periyod Şekil 4.41’de verilmiştir. Uygulanan basınç yükleme-boşaltma çevrimlerinde 40 lt/dk filtre ve 250 lt/dk filtrede herhangi bir çatlak veya sızıntı tespit edilmemiştir.



Şekil 4.41. Yorulma testinden alınan yükleme-boşaltma periyodu

ISO 10771-1 yer alan çalışma basınçı altında 10^5 - 10^7 basınç yükleme-boşaltma şartı teorik olarak doğrulanmıştır.

Doğrulama yapılırken kullanılan formüller [18];

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_e \quad (4.1)$$

$$k_a = a S_{ut}^b \quad (4.2)$$

$$S'_e = 0,5 S_{ut} \quad S_{ut} \leq 1400 \text{MPa} \quad (4.3)$$

$$S'_e = 700 \text{MPa} \quad S_{ut} > 1400 \text{MPa}$$

$$S_f = a N^b \quad (4.4)$$

$$a = \frac{(f S_{ut})^2}{S_e} \quad (4.5)$$

$$b = -\frac{1}{3} \log \frac{(f S_{ut})}{S_e} \quad (4.6)$$

Kullanılan formüllerde yer alan sembol açıklamaları aşağıda verilmiştir [18].

k_a = Yüzey şartı değişim katsayısı

k_b = Boyut değişim katsayısı

k_c = Yük değişim katsayısı

k_d = Sıcaklık değişim katsayısı

k_e = Güvenirlik katsayısı

k_f = Çok yönlü etkilerin değişim katsayısı

S'_e = Döner – kiriş test numunesi dayanım sınırı

S_e = Geometri ve kullanım şartlarının sağlandığı makine parçasının kritik yerleşim noktasındaki dayanım sınırı

S_{ut} = Malzemeye ait minimum çekme dayanımı

S_f = Yorulma mukavemeti

N = Yorulma çevrim sayısı

Denklem 4.1'de yer alan formüldeki katsayılar aşağıdaki gibi seçilmiştir.

Denklem 4.2'de verilen k_a formülünde yer alan a ve b katsayıları Şekil 4. 42. Yüzey değişim katsayısına ilişkin parametreler tablosunda verilen yüzey işlemi dövülmüş malzeme verileri kullanılmıştır. Denklem 4.2'de verilen k_a formülünde kullanılan S_{ut} firmamızdaki malzeme çekme deneylerinden minimum çekme değeri olarak 590 MPa olarak alınmıştır.

Yüzey İşlemi	Katsayı a S_{utr} MPa	Üs b
Taşlanmış	1.58	-0.085
İşlenmiş veya soğuk-çekilmiş	4.51	-0.265
Sıcak haddelenmiş	57.7	-0.718
Dövülmüş	272.	-0.995

Şekil 4.42. Yüzey değişim katsayısına ilişkin parametreler [18]

$$k_a = 272(590^{-0.995}) \quad (4.7)$$

$$k_a = 0,476 \quad (4.8)$$

Denklem 4.1'de yer alan k_b katsayısı boyut değişim katsayısıdır ve parçalarımızdaki basınç yüklemesi aksenal olduğu için boyut etkisi yoktur. Bu nedenle $k_b = 1$ alınmıştır.

Denklem 4.1'de yer alan k_c değeri parça üzerindeki basınç yüklemesi aksenal olduğu için $k_c = 0,85$ alınmıştır.

Denklem 4.1'de yer alan k_d değeri 1 olarak alınmıştır.

Denklem 4.1'de yer alan k_e değeri Şekil 4.43. Güvenirlilik katsayıları tablosunda verilen %50 güvenirlilik için 1 seçilmiştir.

Güvenirlilik, %	Dönüşüm Değişkeni z_α	Güvenirlilik Katsayısı k_α
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814
99.9	3.091	0.753
99.99	3.719	0.702
99.999	4.265	0.659
99.9999	4.753	0.620

Şekil 4.43. Dayanım sınırındaki %8'lik standart sapmaya karşılık gelen güvenirlilik katsayıları, k_α [18].

Denklem 4.1'de yer alan k_f değeri çok yönlü etki olmadığı için 1 olarak alınmıştır.

Denklem 4.1’de yer alan S'_e değeri için denklem 4.3’de yer alan formül aracılığıyla hesaplamıştır.

$$S'_e = 0,5.590 \quad (4.9)$$

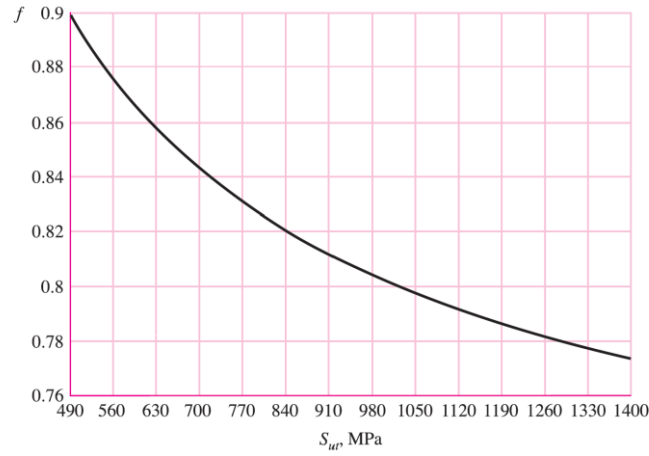
$$S'_e = 295 \text{ MPa} \quad (4.10)$$

Seçilen değerler denklem 4.1’de yer alan formülde yerine yazılırsa;

$$S_e = 0,476.1.0,85.1.1.1.295 \quad (4.11)$$

$$S_e = 119,35 \text{ MPa} \quad (4.12)$$

S_e değeri de bulunduktan sonra yorulma mukavemeti olan S_f değeri 10^5 , 10^6 ve 10^7 için aşağıdaki gibi hesaplanmıştır. Denklem 4.4’de verilen S_f ’nin hesaplamasında kullanılan formülde yer alan a ve b katsayıları aşağıdaki gibi hesaplanmıştır. a katsayısı hesaplanırken kullanılan f değeri Şekil 4. 44’de verilen yorulmadaki mukavemet oranı grafiğinden 0,87 olarak seçilmiştir.



Şekil 4.44. $S_e=S'_e=0.5S_{ut}$ için 10^3 çevrim sayısındaki S_{ut} değerinin yorulmadaki mukavemet oranı, f [18]

Denklem 4.4’deki formüldeki a katsayısı hesaplanırken denklem 4.5’deki formülden yararlanılmıştır.

$$a = \frac{(0,87.590)^2}{157,41} \quad (4.13)$$

$$a = 2207,65 \text{ MPa} \quad (4.14)$$

Denklem 4.4'deki formüldeki b katsayısı hesaplanırken denklem 4.6'daki formülden yararlanılmıştır.

$$b = -\frac{1}{3} \log \frac{(0,9.590)}{157,41} \quad (4.15)$$

$$b = -0,211 \quad (4.16)$$

Denklem 4.4'den yararlanılarak 10^5 çevirim için S_f değeri hesaplanmıştır.

$$S_f = 2207,65. (10^5)^{-0,211} \quad (4.17)$$

$$S_f = 194,09 \text{ MPa} \quad (4.18)$$

Denklem 4.4'den yararlanılarak 10^6 çevirim için S_f değeri hesaplanmıştır;

$$S_f = 2207,65. (10^6)^{-0,211} \quad (4.19)$$

$$S_f = 138,16 \text{ MPa} \quad (4.20)$$

Denklem 4.4'den yararlanılarak 10^7 çevirim için S_f değeri hesaplanmıştır;

$$S_f = 2207,65. (10^7)^{-0,211} \quad (4.21)$$

$$S_f = 73,39 \text{ MPa} \quad (4.22)$$

Bulunan yorulma mukavemetleri denklem 3.1'de verilen formüldeki σ_t 'ye eşitlenir ise istenilen çevrim için uygulanması gereken basınç bulunabilir. Bu işlem 40 lt/dk ve 250 lt/dk filtre muhafazaları için uygulanmıştır.

40 lt/dk filtre muhafazasının 10^5 çevirim dayanımı için uygulanabilecek maksimum basınç denklem 3.1'de verilen σ_t yerine denklem 4.18'de bulunan S_f değeri yazılmıştır. Böylece 10^5 çevrim için uygulanabilir maksimum basınç bulunmuştur.

$$194,09 = \frac{25,50^2 * p_i}{35,50^2 - 25,50^2} + \left(1 + \frac{35,50^2}{30,5^2}\right) \quad (4.23)$$

$$p_i = 78,20 \text{ MPa} \quad (4.24)$$

40 lt/dk filtre muhafazasının 10^6 çevirim dayanımı için uygulanabilecek maksimum basınç denklem 3.1'de verilen σ_t yerine denklem 4.20'de bulunan S_f değeri yazılmıştır. Böylece 10^6 çevrim için uygulanabilir maksimum basınç bulunmuştur.

$$138,16 = \frac{25,50^2 * p_i}{35,50^2 - 25,50^2} + \left(1 + \frac{35,50^2}{30,50^2}\right) \quad (4.25)$$

$$p_i = 47,55 \text{ MPa} \quad (4.26)$$

40 lt/dk filtre muhafazasının 10^7 çevirim dayanımı için uygulanabilecek maksimum basınç denklem 3.1'de verilen σ_t yerine denklem 4.22'de bulunan S_f değeri yazılmıştır. Böylece 10^7 çevrim için uygulanabilir maksimum basınç bulunmuştur.

$$73,39 = \frac{25,50^2 * p_i}{35,50^2 - 25,50^2} + \left(1 + \frac{35,50^2}{30,50^2}\right) \quad (4.27)$$

$$p_i = 28,91 \text{ MPa} \quad (4.28)$$

250 lt/dk filtre muhafazasının 10^5 çevirim dayanımı için uygulanabilecek maksimum basınç denklem 3.1'de verilen σ_t yerine denklem 4.18'de bulunan S_f değeri yazılmıştır. Böylece 10^5 çevrim için uygulanabilir maksimum basınç bulunmuştur.

$$194,09 = \frac{48,65^2 * p_i}{62,15^2 - 48,65^2} + \left(1 + \frac{62,15^2}{55,40^2}\right) \quad (4.29)$$

$$p_i = 54,93 \text{ MPa} \quad (4.30)$$

250 lt/dk filtre muhafazasının 10^6 çevirim dayanımı için uygulanabilecek maksimum basınç denklem 3.1'de verilen σ_t yerine denklem 4.20'de bulunan S_f değeri yazılmıştır. Böylece 10^6 çevrim için uygulanabilir maksimum basınç bulunmuştur.

$$119,35 = \frac{48,65^2 * p_i}{62,15^2 - 48,65^2} + \left(1 + \frac{62,15^2}{55,40^2}\right) \quad (4.31)$$

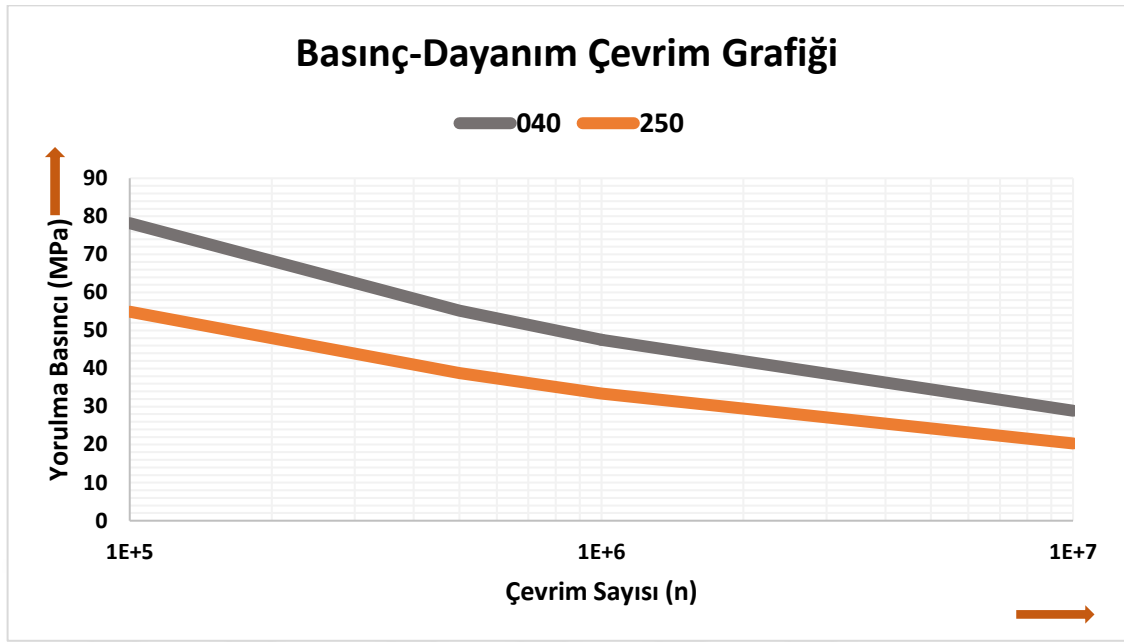
$$p_i = 33,40 \text{ MPa} \quad (4.32)$$

250 lt/dk filtre muhafazasının 10^7 çevirim dayanımı için uygulanabilecek maksimum basınç denklem 3.1'de verilen σ_t yerine denklem 4.22'de bulunan S_f değeri yazılmıştır. Böylece 10^7 çevrim için uygulanabilir maksimum basınç bulunmuştur.

$$194,09 = \frac{48,65^2 * p_i}{62,15^2 - 48,65^2} + \left(1 + \frac{62,15^2}{55,40^2}\right) \quad (4.33)$$

$$p_i = 20,30 \text{ MPa} \quad (4.34)$$

Elde edilen veriler ile basınç-dayanım çevrim grafiği oluşturulmuş ve Şekil 4.45'de verilmiştir.



Şekil 4.45. Basınç-dayanım çevrim grafiği

Sonlu elemanlar analizlerinden elde edilen patlatma basınçları ve deneysel patlatma testleri sonuçları Tablo 4. 7’de verilmiştir.

Tablo 4.7. Patlatma testi karşılaştırma tablosu

Numune	Patlatma Analizi (MPa)	Patlatma Testi (MPa)	% Fark
40 lt/dk filtre muhafazası ilk tasarım	160,5	140*	-
Optimizasyon yapılmış 40 lt/dk filtre muhafazası	142,3	143	0,5
250 lt/dk filtre muhafazası ilk tasarım	132	128	3,1
Optimizasyon yapılmış 250 lt/dk filtre muhafazası	143,8	145	0,8

*Patlama filtre başlığından gerçekleştiği için fark için karşılaştırma yapılamamıştır.

Optimizasyon sonucu yapılan analizler ile elde edilen veriler, deneysel verilere göre % 0,5 ile % 3,1 daha güvenli olduğu tespit edilmiştir. Yapılan optimizasyon sonucu 40 lt/dk filtre muhafazası %18,5 hafifleştirilmiş, 250 lt/dk filtre muhafazası %6,1 ağırlaştırılmıştır. 250 lt/dk filtre muhafazasının ağırlaştırılma nedeni istenilen patlatma basıncının yapılan tasarım ile elde edilemediği ve bu nedenle cidar kalınlığının artırılmasından kaynaklıdır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Bu tez çalışmasında yüksek basınç hattı filtrelerinin tasarımı, optimizasyonu ve doğrulaması ele alınmıştır. Daha önce Mesa Makina bünyesinde gerçekleştirilen çalışmalarda sadece 63 lt/dk kapasiteli hidrolik filtre muhafazasının optimizasyonu sınırlı çerçevede gerçekleştirilmiş ve yayınlanmıştır. Bu çalışmada ise yüksek basınç hattı filtrelerinin 40 lt/dk ve 250 lt/dk modellerine ait filtre muhafazalarının optimizasyonu ve performans testleri incelenmiştir. Çalışma kapsamında öncelikle döküm yöntemi ile üretilen filtre muhafazalarında döküm açısının etkisi incelenmiş ve 1° döküm çıkma açısının filtre muhafazası üzerinde oluşan gerilmeyi %4,27 azalttığı sonucu elde edilmiştir. Elde edilen bu veri sonrasında malzeme kullanımı ve işlenebilirlik göz önüne alınarak döküm açısı tespit edilmiştir. Döküm açısı belirlendikten sonra standart 40, 63, 100, 160, 250, 400 lt/dk debilere sahip yüksek basınç hattı filtrelerinden 40 lt/dk ve 250 lt/dk filtrelerin tasarımı, optimizasyonu ve doğrulaması gerçekleştirilmiştir.

Optimum sonuçlar için analizlerden elde edilen verilerin deneysel verilere göre % 0,5 ile % 3,1 sapma gösterdiği ve birbirleri ile oldukça uyumlu oldukları, dolayısıyla analizlerin güvenilirliği ortaya konulmuştur. Yapılan optimizasyon sonucu 40 lt/dk filtre muhafazası % 18,5 hafifletilmiş, 250 lt/dk filtre muhafazası optimize edilerek kalınlık artışı gerekli olarak % 6,1 ağırlığı artmıştır. 250 lt/dk filtre muhafazasının kalınlığının artırılma nedeni, istenilen patlatma basıncının yapılan tasarım ile elde edilememesidir.

Performans testleri filtre test makinesi aracılığı ile gerçekleştirilirken ömür doğrulamaları teorik olarak da gerçekleştirilmiştir. Filtre performans testlerinden olan geçirgenlik testinin 50° C aşamasının sonuçlarına göre fark basınçları 1,5 bar altında kalmış böylelikle muadil ürünler ile benzer karakteristik özellikleri göstermiştir. Yorulma testi standardı olan ISO 10771-1'de çalışma basıncı altında 10^5 - 10^7 çevrim istenmektedir. ISO 10771-1'e göre basınç çevrimi uygulanmış fakat filtre test makinesi yorulma basıncı kapasitesi 275 bardır ve tasarlanan yüksek basınç hattı filtreleri 450 bardır. Filtre test makinesinin yetersiz kapasitesi ile yorulma testi yapılmış ve herhangi bir hata ile karşılaşılmamıştır. Test sonucunda elde edilen sonuç filtrelerin yorulmasını doğrulayamadığını dolayı yorulmalar teorik olarak doğrulama gerçekleştirilmiştir. Yapılan hesaplamalar sonrası 40 lt/dk filtrelerin çalışma basıncında 10^6 çevrime

dayanabileceği, 250 lt/dk filtre muhafazalarının çalışma basıncı altında 10^5 çevrime dayanabileceği tespit edilmiştir. Böylece ISO 10771-1’de istenilen 10^5 - 10^7 çevrim aralığında filtrelerimizin ömrü olduğu doğrulanmıştır.

5.2 Öneriler

Tez çalışması kapsamında yapılan çalışmada yüksek basınç hattı filtreleri için bir optimizasyon çalışması yapılmıştır. Yapılan optimizasyon çalışması sadece filtreler ile sınırlı kalmayıp diğer hidrolik sistem ekipmanlarına (akış bölücüler, pompalar, valfler, hidromotorlar) da uygulanabilir. Böyle hidrolik sistem ekipmanlar optimum ağırlığa ulaşacaktır. Optimizasyon çalışmalarında sadece gerilme analizi değil aynı zamanda döküm yöntemi ile üretilebilen ekipmanlar daha mukavemetli ve daha sünek yeni nesil dökme demir malzemeleri veya kompozit malzemelerle döküm yöntemi ile üretilemeyen malzemeler ise kompozit malzemeler ile analiz edilebilir. Böylece hidrolik ekipmanlar için alternatif malzemeler oluşacaktır.

Hidrolik sistem ekipmanlarının iç yapısı fark basıncı oluşturarak sistemin verimini düşürmektedir. Bu nedenle sadece ağırlık ve mukavemet için değil, aynı zamanda hidrolik sistem ekipmanlarına performans analizlerinin de gerçekleştirilmesi durumunda verim artırılabilir.

6. KAYNAKLAR

- [1] Eldek, S., 2020, Hidrolik basınç hattı filtrelerinin tasarım kriterlerinin belirlenmesi ve performans testlerinin yapılması, Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- [2] Tanzer Ö.T., 2001, Hidrolik Ünitelerde ve Yağlama Sistemlerinde Bakım ve İşletme Maliyetlerinin Filtrasyon Yoluyla Azaltılması
- [3] Momin T., RP Chandrasekar, S Balasubramanian, Dr. AM Junaid Basha, 2017, Design and Analysis of High Pressure Hydraulic Filter for Marine Application, doi:10.1088/1757-899X/197/1/012050
- [4] Pall Corporation, 2016, Filtration e-Book
- [5] NG, F., HARDING, J.A. and GLASS, J., 2016. Improving Hydraulic excavator performance through in line hydraulic oil contamination monitoring. Mechanical Systems and Signal Processing, 83, pp. 176-193.
- [6] Serdaroğlu, A., 1999, Hidrolik Sistemlerde Filtrasyon, I.Ulusal Hidrolik Pnömatik Kongresi Ve Sergisi
- [7] Gorle J.M.R., Heiskanen V.M., Nissi S., Majas M., 2018. Effect Of Temperature. Flow Rate And Contamination On Hydraulic Filtration
- [8] Emanet S., 2001, Hidrolik Sistemlerde Filtrasyon Ve Filtre Elemanının Özellikleri
- [9] Tekelioğlu, S., Eldek, S., Gümüş, H., Sarıgül, A., Ayhan, Ş., Kahraman, A. & Dilmeç, M., 2020. Hidrolik Yüksek Basınç Hattı Filtre Gövdesinin Tasarımı, Optimizasyonu, Üretimi ve Test Edilmesi. Mühendis ve Makina, 61 (701), 299-319. DOI: 10.46399/muhendismakina.850631
- [10] TS ISO-10771-1:2015, Hidrolik akışkan gücü – Basınç altında çalışan metal mahfazaların yorulma basıncı deneyi

- [11] ISO 3968:2017, Hydraulic fluid power - Filters - Evaluation of differential pressure versus flow
- [12] EN 1563:2018, Founding, Spheroidal graphite cast irons
- [13] Budynas, G.R., Nisbett, J.K., 2015, Shigley'in Makine Mühendisliği Tasarımı, Literatür, 67-121.
- [14] <http://www.hidroaktif.com/guc-unitesi/> [Ziyaret Tarihi: 15 Ağustos 2021]
- [15] Pınar S., Hidrolik Ve Pnömatik, <https://avesis.ege.edu.tr> [Ziyaret Tarihi: 15 Ağustos 2021]
- [16] Üçüncü K., 2016, Hidrolik ve Pnömatik Sistemler, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- [17] http://mygfiltre.com/emis_filtreleri.html [Ziyaret Tarihi: 20 Ağustos 2021]
- [18] Budynas, G.R., Nisbett, J.K., 2015, Shigley'in Makine Mühendisliği Tasarımı, Literatür, 257-345.
- [19] Hydac, 2012, Hidrolik-Temel Bilgiler ve Devre Elemanları