T.C.
NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HİDROLİK BASINÇ HATTI FİLTRELERİNİN TASARIM KRİTERLERİNİN BELİRLENMESİ VE PERFORMANS TESTLERİNİN YAPILMASI

Safa ELDEK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Aralık 2020

KONYA

Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Safa ELDEK tarafından hazırlanan “Hidrolik Basınç Hattı Filtrelerinin Tasarım Kriterlerinin Belirlenmesi ve Performans Testlerinin Yapılması” adlı tez çalışması 08/12/2020 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 Prof. Dr. Ali KAHRAMAN	……..
Danışman Doç. Dr. Murat DİLMEÇ	……..
Üye Doç. Dr. Mehmet BAĞCI	……..

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Süleyman Savaş DURDURAN
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.

Safa ELDEK

Tarih: 10.12.2020

ÖZET
YÜKSEK LİSANS TEZİ

HİDROLİK BASINÇ HATTI FİLTRELERİNİN TASARIM KRİTERLERİNİN BELİRLENMESİ VE PERFORMANS TESTLERİNİN YAPILMASI

Safa ELDEK

Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Murat DİLMEÇ

2020, 66 Sayfa

Jüri

Doç. Dr. Murat DİLMEÇ

Prof. Dr. Ali KAHRAMAN

Doç. Dr. Mehmet BAĞCI

Mühendislik problemlerinin çözümünde kullanılan yöntemler analitik, sayısal ve deneysel olmak üzere üç ana kısımdan oluşmaktadır. Mühendislik uygulamalarında, genel olarak elastisite teorisine dayalı olan analitik çözümlerin zor veya imkânsız olduğu gibi durumlarda, sonlu eleman, sınır eleman, sonlu farklar gibi sayısal çözüm teknikleri sıklıkla kullanılmaktadır. Belirtilen bu sayısal çözüm teknikleri birçok gerçek durum parametresini bünyesinde bulundurabilmektedir fakat her zaman gerçeğe göre bir hata payı ile çözüm gerçekleştirmektedir. Bu sebep ile tasarım doğrulamalarında çoğu zaman yüksek maliyetli olmasına rağmen birçok gerçek çalışma parametresinin uygulanabildiği deneysel yöntemler tercih edilmektedir. Bu tez çalışmasında hidrolik sistemlerin basınç hatlarında kullanılan filtrelerin tasarım kriterlerinin belirlenmesi ile bu tasarım kriterlerine göre gerçekleştirilmesi gereken performans testlerinin yapılması amaçlanmıştır. Bu amaç kapsamında iki adet farklı tipte filtre seçilmiş ve belirlenen tasarım kriterlerine göre performans testleri gerçekleştirilmiştir. Hidrolik sistemlerin çalışma prensiplerine bakıldığında üç ana özellik ön plana çıkmaktadır. Bunlar; çalışma basıncı, çalışma debisi ve yağ özellikleridir. Hidrolik filtrelerin sistemdeki görevi, sistem için uygulanması en uygun yağın seçiminden sonra çalışma koşulları altında bu yağın özelliklerinin stabil kalmasını sağlamaktır. Bu sayede sistemde hidrolik yağ kaynaklı gerçekleşebilecek bir arızanın önüne geçilebilmektedir. Filtreleme işlevinin, sistemin çalışma koşullarını engellemeden gerçekleşmesi, hidrolik filtrenin kullanıldığı sistem için uygun olarak seçilmesi ile mümkündür. Hidrolik filtrenin uygun seçilebilmesi için birçok parametre belirlenmiş (çalışma basıncı, çalışma debisi, filtreleme hassasiyeti, ortam koşulları vb.) ve bu parametrelere göre seçimler yapılmıştır. Ardından döküm, talaşlı imalat ve montaj yöntemleri ile üretilen prototip ürünler Tübitak projesi kapsamında tasarlanan ve üretilen filtre test makinesinde test edilerek performans parametreleri doğrulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Hidrolik, Basınç hattı, Filtre, Performans testi, Karakteristik eğriler

ABSTRACT

MS THESIS

DEFINATION OF DESIGN CRITERIA OF HYDRAULIC PRESSURE INLINE FILTER AND PERFORMING THE PERFORMANCE TESTS

Safa ELDEK

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

Advisor: Doç. Dr. Murat DİLMEÇ

2020, 66 Pages

Jury

Assoc. Prof. Murat DİLMEÇ

Prof. Dr. Ali KAHRAMAN

Assoc. Prof. Mehmet BAĞCI

The methods used in the solution of engineering problems consist of three main parts: analytical, numerical and experimental. In engineering applications, numerical solution techniques such as finite element, boundary element, finite difference are frequently used in cases where analytical solutions based on the theory of elasticity are difficult or impossible. These specified numerical solution techniques can contain many real state parameters, but always realize a solution with an error margin according to the reality. For this reason, experimental methods in which many real working parameters can be applied are preferred in design verifications, although they are often costly. In this thesis, it was aimed to determine the design criteria of the filters used in the pressure lines of hydraulic systems and to perform performance tests that should be performed according to these design criteria. For this purpose, two different types of filters were selected and performance tests were carried out according to the design criteria determined. When looking at the working principles of hydraulic systems, three main features come to the fore. These; working pressure, flow rate and oil properties. The duty of hydraulic filters in the system is to ensure that the properties of this oil remain stable under operating conditions after the selection of the most suitable oil for the system. In this way, a malfunction due to hydraulic oil can be prevented in the system. It is possible to perform the filtering function without obstructing the operating conditions of the system, by selecting it suitable for the system where the hydraulic filter is used. In order to select the hydraulic filter appropriately, many parameters have been determined (working pressure, working flow, filtering sensitivity, ambient conditions, etc.) and choices have been made according to these parameters. Then, the prototype products produced by casting, machining and assembly methods were tested in the filter test machine designed and produced within the scope of the Tübitak project and performance parameters were verified.

Keywords: Hydraulic, Pressure inline, Filter, Performance test, Characteristic curves

ÖNSÖZ

Tez çalışması süresince değerli bilgileri ve desteği ile danışmalığımı yürüten Doç. Dr. Murat DİLMEÇ'e en içten teşekkürlerimi arz ederim. Bu süreçte manevi destekleri ile beni yalnız bırakmayan ve hep destek olan değerli eşim Betül'e, ayrıca değerli kızım Beyza'ya teşekkür ederim. Ayrıca bu tez çalışmasını gerçekleştirmemde her türlü desteğini esirgemeyen Mesa Makina firmasına teşekkürlerimi sunarım.

Safa ELDEK
KONYA-2020

İÇİNDEKİLER

ÖZET iv
ABSTRACT v
ÖNSÖZ vi
İÇİNDEKİLER vii
ŞEKİLLER LİSTESİ viii
TABLO LİSTESİ ix
1.GİRİŞ 1
1.1. Hidrolik Sistemlerin Tanımı 3
1.2. Hidrolik Sistemlerin Kullanım Alanları 4
1.3. Genel Hidrolik Sistem Ekipmanları 5
1.4. Hidrolik Yağ ve Özellikleri 6
1.5. Yağ Kirliliğinin Önemi 7
1.7. Yağ Kirliliğini Oluşturan Faktörler 8
1.8. Yağ Filtrasyonu ve Önemi 9
1.9. Hidrolik Filtreler 13
1.10. Filtre Tasarım Kriterleri 15
1.11. Doğru Filtre Seçimi 19
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI 25
3.MATERYAL VE YÖNTEM 27
3.1. Malzeme Seçimi ve Geometrik Tasarım 27
3.2.Test Düzeneği Tasarımı ve İmal Edilmesi 29
3.3.Testlerin Gerçekleştirilmesi 36
4.ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA 41
4.1. Test Makinesi Nihai Tasarımı 41
4.2. Kullanılan Malzemenin Doğrulanması 46
4.3. Fark Basıncı Test Sonuçları 48
4.4. Yorulma Test Sonuçları 50
4.5. Patlatma Testi Sonuçları 51
5.SONUÇLAR VE ÖNERİLER 53
5.1.Sonuçlar 53
5.2.Öneriler 54
6.KAYNAKLAR 55
ÖZGEÇMİŞ 57

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Açık çevrim basit bir devre tasarımı: (a) İlüstrasyon; (b) Devre şeması [3] 3
Şekil 1.2. Kapalı çevrim hidrolik devre şeması [3] 4
Şekil 1.3. Hidrolik yağ [3] 6
Şekil 1.4. Partikül kontaminasyonunun gerçek fotomikrografisi (100x büyütülmüş ölçek: 1 bölme = 20 mikron) [6] 9
Şekil 1.5. Hat üzerine montaj edilen hidrolik basınç hattı filtresi 10
Şekil 1.6. Mobil hidrolik filtreleme makinesi 10
Şekil 1.7. (a) ISO 22/19/17 (büyütme 100x) (b) ISO 17/14/11 (büyütme 100x) 12
Şekil 1.8. Filtrasyon tipleri: (a) Emiş filtresi (F1) ve Basınç filtresi (F2), (b) Geri dönüş filtresi (F1), (c) Basınç filtresi (F1) [5] 13
Şekil 1.9. Hidrolik basınç hattı filtresi bileşenleri A; Giriş, B; Çıkış [5] 14
Şekil 1.10. Yağ viskozite sınıflarına göre viskozite – sıcaklık grafiği 15
Şekil 1.11. Hidrolik yağ soğutucu eşanjör 16
Şekil 1.12. Yağ Isıtıcı Rezistans (≈7000 Watt) 16
Şekil 1.13. Pompa yüzeyinde kavitasyonu sonucu oluşan delik [11] 17
Şekil 1.14. Yorulma testi basınç yükleme grafiği [12] 18
Şekil 1.15. Değişken deplasmanlı hidrolik pompanın minimum yağ kirlilik kodu [8] .. 20
Şekil 1.16. Etki oranına göre istenen kirlilik seviyesi [14] 24

Şekil 3.1. Çekme test numunesi 27
Şekil 3.2. a) Sfero dökme demir mikro yapısı b) Gri dökme demir mikro yapısı [23] 28
Şekil 3.3. Hidrolik filtre bileşenleri 29
Şekil 3.4. Yağ Tankı Tasarımı 31
Şekil 3.5. ISO 3968 standardına göre fark basıncı testi hidrolik şeması [24] 32
Şekil 3.6. Fark basıncı testi pompa-motor bağlantısı 33
Şekil 3.7. Yorulma ve patlatma testi pompa-motor bağlantı grubu 33
Şekil 3.8. Fark basıncı sensörü ve filtre giriş çıkış hatlarına bağlanan manometreler 34
Şekil 3.9. Yorulma dayanımı basınç yükleme ve boşaltma grafiği 35
Şekil 3.10. Puls üreteci hidrolik sistemi 35
Şekil 3.11. Patlatma testi basınç yülseltici 36
Şekil 3.12. Fark basıncı testi programı ekran görüntüsü 38
Şekil 3.13. Yorulma testi ara yüzü 39
Şekil 3.14. Patlatma testi ayar sayfası 40

Şekil 4.1. Test makinesi nihai tasarımı ve imal edilmiş görüntüsü 41
Şekil 4.2. Test edilen farklı filtre modellerinin yükseklikleri 42
Şekil 4.3. 63 lt/dk fark basıncı testi bağlantı özelliği 43
Şekil 4.4. 250 lt/dk fark basıncı testi bağlantı özelliği 43
Şekil 4.5. Yorulma dayanımı test bağlantısı 44
Şekil 4.6. Patlatma test kabini 45
Şekil 4.7. Patlatma testi filtre montajı 45
Şekil 4.8. Spektral analiz ve mikro yapı kontrolleri 46
Şekil 4.9. Çekme test makinesi (600kN) 47
Şekil 4.10. Çekme testi numunesi ve çekilen numune 47
Şekil 4.11. Çekme testi grafiği (EN-GJS-500-7) 48

Şekil 4.12. 1.Model karakteristik eğrileri 49
Şekil 4.13. 2.Model karakteristik eğrileri 50
Şekil 4.14. Yorulma test grafiği (3Hz) 51
Şekil 4.15. Patlatma testi ara yüzü 51
Şekil 4.16. Patlatılmış filtre modelleri 52

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1. Yağ kirliliğinin sisteme etkileri ve etkilerin doğurduğu sonuçlar 7
Tablo 1.2. Hidrolik Yağ Kirlilik Kaynakları 8
Tablo 1.6. ISO 4406 Yağ kirliliği sınıflandırma kodları [9] 11
Tablo 1.7. Sistemde kullanılan ekipman türüne göre optimum yağ kirlilik kodları 12
Tablo 1.8. Maksimum oluşması istenen fark basıncı değerleri [10] 17
Tablo 1.9. Sistem Basıncı Aralıkları 19
Tablo 1.10. Ekipman Hassasiyet Listesi 20
Tablo 1.11. Çalışma sürelerine göre ağırlık oranları 21
Tablo 1.12. Ekipman değişim maliyeti etkileri 21
Tablo 1.13. Arıza süresi maliyetine göre etki oranları 22
Tablo 1.14. Güvenlik sorumluluğu ve etkileri 22
Tablo 1.15. Yağ kirlenmesinde çevresel koşulların etkisi 23
Tablo 1.16. Doğru filtre seçimi kriterlerinin belirlenmesine örnek 23

Tablo 3.1. EN-GJS-500-7 Kimyasal kompozisyonu [22] 27
Tablo 3.2. EN-GJS-500-7 Mekanik özellikler [22] 27
Tablo 3.3. Tez çalışmasında kullanılan filtre elemanı teknik özellikleri 30
Tablo 3.4. Test sistemi gereksinimleri 30
Tablo 3.5. İstenen hidrolik yağ özellikleri 32
Tablo 3.6. Test kapsamında istenilen basınç yükleme ve boşaltma süreleri [12] 35
Tablo 3.7. Hidrolik filtre fark basıncı test adımları 36
Tablo 3.8. ISO 3968'e göre test debi değerleri 37

Tablo 4.1. Çekme test sonuçları 48
Tablo 4.2. 25^{o}C yağ sıcaklığında fark basıncı test sonuçları 48
Tablo 4.3. 50^{o}C yağ sıcaklığında fark basıncı test sonuçları 49

1.GİRİŞ

Hidrolik, temelde insan gücünün üzerinde güç gerektiren işler için kullanılan, enerji iletimi ile kontrolünü sağlayarak istenilen işi gerçekleştirebilen ve günümüzde birçok sektörde kullanılan bir teknolojidir. Hidrolik sistemlerin genel tasarım kriterleri, yapılacak işin büyüklüğüne, hızına ve tekrarına bağlıdır. Örneğin bir hidrolik presin şekillendirebileceği maksimum metal plaka kalınlığı o presin gücüne bağlı olmak ile beraber, şekillendirmenin hızı ve şekillendirilecek parçanın kaç adet yapılacağı da presin hidrolik sisteminin çalışma kriterlerini belirlemektedir. Yapılacak işin kapsamı büyüdükçe hidrolik sistemin de detaylandırılması kaçınılmazdır. Bu detaylandırma ise birçok farklı işlevde ekipmanın kullanılması ile sağlanabilmektedir. Birçok eyleyicinin kullanıldığı ve birçok girdi parametresinin bulunduğu bir hidrolik sistemde çalışma koşullarının kontrolü, nispeten kolay bir sisteme göre daha zordur. Sistemler büyüdükçe ve istenilen çıktı ürün boyutsal olarak hassaslaştıkça hidrolik sistemler için kullanılan ekipmanlar da yüksek hassasiyette seçilmek zorundadır. Çıktı ürünün hassasiyetine göre dizayn edilen sistemin sürekli olarak aynı kalitede ürünü verebilmesi için çalışma koşullarının stabil kalması gerekmektedir.

Çalışma koşullarına göre tasarlanan hidrolik sistemin sürekli olarak aynı hizmeti verebilmesi, iç ve dış kaynaklı kirlenmelerden iyi korunmasına bağlıdır. İç veya dış kaynaklı kirlenme hidrolik sisteme zarar veren en büyük problemlerin başında gelir. Zaman içerisinde sistemin kirlenmesi ile sistem içerisinde kullanılan ekipmanların da bozulması kaçınılmazdır. İç kirlenme, ekipmanlar içerisinde oluşan sürtünme, aşınma vb. kaynaklı olup sisteme en çok zararı verebilen kirlenme çeşididir. Dış kirlenme ise sistemin çalıştığı çevre koşullarından dolayı ya da sistemin hava ile temas eden kısımlarından giren partiküllerin sisteme zarar vermesi ile gerçekleşir. İlk etapta yeni kurulan bir sistemde kirleticilerin etkileri gözlemlenemeyebilir. Zaman içerisinde kirlenmenin artması ile çalışma koşullarında bozulmalar ve hidrolik sistemde arızalar baş gösterebilmektedir. Bu arızaların ve çalışma koşullarındaki bozulmaların önüne geçilebilmesi için sistemlerde hidrolik filtrelerin kullanılması gerekmektedir.

Hidrolik filtreler sistem akışkanını temizleyerek çalışma koşullarını stabil tutar ve kirletici kaynaklı arızaları azaltma görevini üstlenir. 40µm'den küçük, göz ile görülemeyen partikülleri içerisindeki filtre elemanı vasıtası ile tutarak sistem ekipmanlarına zararlı partiküllerin gitmesini engeller. Bu sayede sistemin çalışma koşulları sabit kalır ve aynı kalitede çıktı ürün elde edilebilir. Hidrolik filtreler genel

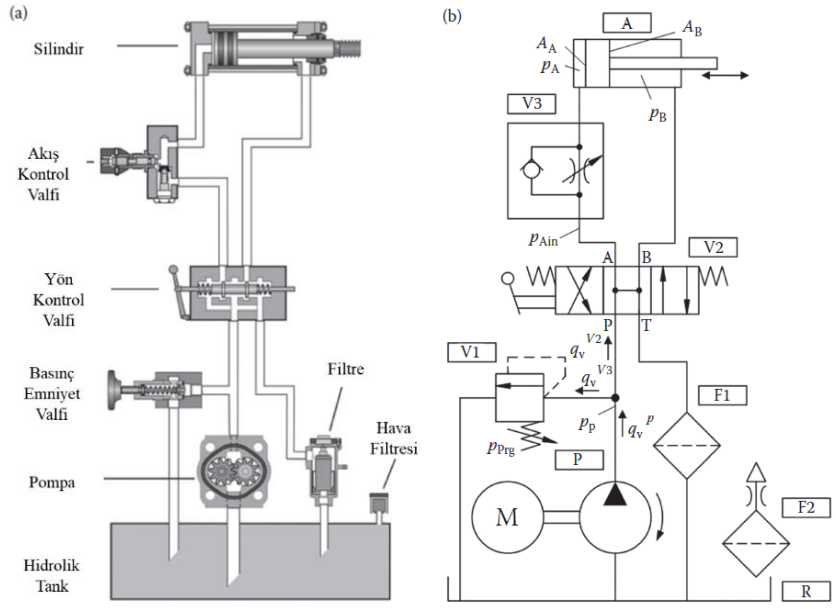
olarak sistem üzerinde üç farklı bölümde kullanılır. Bu bölümler; emme hattı, basınç hattı ve geri dönüş hattı olarak ifade edilmektedir. Sistemde kullanılan hassas ekipmanların korunması için en önemli rolü oynayan filtre, basınç hattı üzerine entegre edilen filtrelerdir. Temelde pompadan sonra konumlandırılan basınç hattı filtreleri, sistem yağını yönlendiren valflere ve daha sonrasında eyleyici sistemlere gönderilen hidrolik yağı temiz tutma görevini üstlenir.

Hidrolik filtrelerin çalışma kriterleri, entegre edileceği sistemin çalışma koşullarına uygun olmalıdır. Sistemin maksimum çalışma basıncı, basınç hattında istenilen maksimum basınç kaybı, yük tekrarı, çalışma sıcaklığı gibi parametreler basınç hattı filtresinin de çalışma koşullarını belirlemektedir. Maksimum çalışma basıncı filtrenin patlama basıncı değerine göre belirlenmektedir. Tez çalışması kapsamında çalışma basıncı 450 Bar olan hidrolik filtrelerin patlama basınçları minimum 1350 Bar (çalışma basıncının 3 katı) olacak şekilde tasarlanmıştır. Aynı zamanda ISO 10771-1 standardı kapsamında hidrolik filtrelerin yorulma dayanım testleri gerçekleştirilmiştir. Yorulma testleri kapsamında hidrolik filtreler 0'dan çalışma basıncına kadar döngüsel olarak basınç testine tabi tutulmuş ve toplamda her biri 1 milyon çevrim basınç döngüsüne maruz bırakılmıştır. Son olarak ise ISO 3968 standardı kapsamında hidrolik filtrelerin fark basıncı tayinleri yapılmıştır. İki farklı modelin farklı kapasitelerdeki beyan debileri baz alınarak testler gerçekleştirilmiş ve bu beyan debilerine göre fark basınçları farklı sıcaklıklarda tayin edilmiştir. Bu tez çalışmasında basınç hattı filtrelerinin tasarım kriterlerinin belirlenmesi ve bu tasarım kriterlerine göre performans testlerinin yapılması amaçlanmıştır.

Tez çalışması kapsamında iki farklı hidrolik filtrenin patlama basınçları, yorulma dayanımları ve fark basıncı (geçirgenlik) değerlerinin belirlenebilmesi için uluslararası standartlara uygun performans testleri gerçekleştirilmiştir. Bu testlerin yapılabilmesi için uluslararası standartlar incelenmiş ve test usullerine en uygun hidrolik ekipmanlar seçilmiştir. Hidrolik ekipmanlar tasarlanan test sisteminin içerisine entegre edilmiş ve PLC programı ile kontrolü sağlanmıştır. Sonrasında uluslararası standartlara uygun testler gerçekleştirilerek iki farklı modelin çalışma performansları belirlenmiştir.

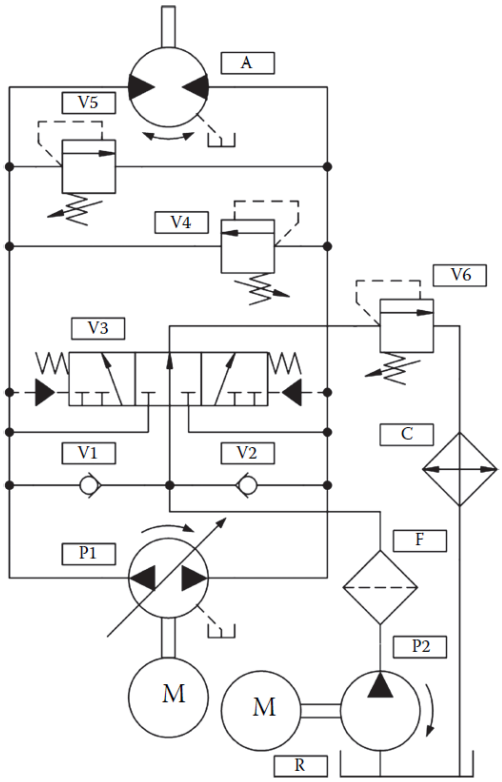
1.1. Hidrolik Sistemlerin Tanımı

Hidrolik sistemler, günümüzde birçok alanda kullanılan, insan gücünün üzerinde bir güç gerektiren işlerin gerçekleştirilmesinde tercih edilen ve basitten başlayıp birçok karmaşık alt ekipmandan oluşabilen sistemlerdir. Temel olarak "enerjinin taşınması kanunu" kapsamında tasarlanırlar ve enerji aktarımı, endüstride birçok farklı çeşidi olan hidrolik yağlar ile gerçekleştirilir. Hidrolik sistemler genel olarak üç ana bölümden oluşmaktadır. Bunlar; Depo bölümü, enerji iletimi bölümü ve eyleyici bölümüdür. Depo bölümünde, sistemde kullanılan hidrolik yağın bekletilmesi ve sistem için hazırlanması amaçlanmıştır. Bu bekletme esnasında hidrolik yağın hava ile teması sağlanarak iletim bölümünde oluşabilecek hava sıkışmalarının önüne geçilmektedir. Enerji iletim bölümünde ise hidrolik yağın depo bölümünden eyleyici bölüme iletilmesi sağlanmaktadır. Bu iletim sırasında hidrolik yağ istenilen çalışma koşulları kapsamında birçok işlemden geçmekte ve eyleyici sistemde mekanik enerji olarak kullanılmaktadır. Bu işlemlerin arasında; akışın bölünmesi/birleştirilmesi, filtrelenmesi, yavaşlatılması, yönlendirilmesi ve basınçlandırılması gibi birçok işlem bulunmaktadır. Enerji iletim bölümünden gelen sistem akışkanının asıl işi yapacağı bölüm ise eyleyici bölüm olarak adlandırılmaktadır. Eyleyici bölümde doğrusal ya da dairesel hareketler ile istenilen işi gerçekleştiren makine ekipmanları bulunmaktadır. Hidrolik silindirler ve hidrolik motorlar eyleyici bölümünde kullanılan ekipmanlara örnek olarak gösterilebilir. Basit bir hidrolik devre şeması Şekil 1.1'de verilmiştir.



Şekil 1.1. Açık çevrim basit bir devre tasarımı: (a) İlüstrasyon; (b) Devre şeması [3]

Hidrolik sistemler kullanıldığı alanlara göre farklılık arz edebilirler. Bu farklılık genel anlamda kapalı çevrim ve açık çevrim olmak üzere iki şekilde adlandırılmaktadır. Bu sistemlerin arasındaki ana fark rezervuar (depo) kısmının kapalı çevrimde kullanılmamasıdır. Rezervuar kısmının istenilmediği tasarımlarda kapalı çevrim sistemler kullanılarak mobilite arttırılabilmektedir. Kapalı çevrim hidrolik devreye bir örnek Şekil 1.2'de verilmiştir.



Şekil 1.2. Kapalı çevrim hidrolik devre şeması [3]

1.2. Hidrolik Sistemlerin Kullanım Alanları

Hidrolik sistemler günümüzde neredeyse her sektörde kullanılmaktadır. Sektörlere göre bu sistemler farklılık göstermektedir. Bu farklılıktan dolayı sistemler sabit ve hareketli hidrolik sistemler olmak üzere iki ana başlık altında değerlendirilmektedir. [1]

Sabit hidrolik sistemlerin kullanım alanları:

- İmalat ve montaj makineleri
- Transport sistemler
- Kaldırma ve iletme makineleri

- Presler
- Basınçlı döküm makineleri
- Haddehaneler
- Asansörler
- Ambalajlama

Hareketli hidrolik sistemlerin kullanım alanları:

- İnşaat makineleri
- Kepçe mekanizmaları, tutma ve yükleme tertibatları
- Kaldırma ve iletme makineleri
- Tarım makineleri [1]

1.3. Genel Hidrolik Sistem Ekipmanları

Hidrolik sistemlerin çok çeşitli olması ve birçok parametreye göre tasarlanması şüphesiz ki birçok sektörde kullanılmasından dolayıdır. Bir döküm makinesinde istenilen çalışma şartları ile bir mobil vinç sisteminde istenilen çalışma şartları farklılık göstermektedir. Bu sebep ile belirtilen bu sistemlerde kullanılan hidrolik ekipmanların oldukça farklı olacağı ve özel amaca uygun olarak üretileceği için ekipmanların farklılık göstereceği bilinmektedir. Çalışma koşullarından dolayı kullanılan hidrolik ekipmanlarda farklılık gösteren sistemlerin bazı ortak noktaları bulunmaktadır. Döküm makinesi ve mobil vinç makinesi gibi iki farklı sistemin işlevini gerçekleştirebilmesi için bünyesinde pompa bulundurma zorunluluğu vardır çünkü hidrolik pompa kullanılmadan enerji aktarımı gerçekleştirilemez. Genel olarak bir hidrolik sistemde kullanılan ekipmanlar aşağıda verilmiştir;

- Hidrolik pompa
- Hidrolik motor
- Yön kontrol valfi
- Çek valf
- Akış bölücü
- Hidrolik silindir
- Tank (Rezervuar)
- Hidrolik filtre
- Akümülatör

- Hava filtresi
- Hidrolik boru [2]
- Basınç kontrol valfi
- Akış kontrol valfi
- Hidrolik yağ

1.4. Hidrolik Yağ ve Özellikleri

Hidrolikte kullanılan akışkanlar öncelikle basıncı iletme görevini üstlenirler. Bunun dışında sistemi korozyondan koruma, sürtünme kaynaklı problemleri yok etmek için sistem elemanlarının yağlanması, sistemin soğutmasının yapılması, sinyal iletimi ve de aşınma kaynaklı kopan parçaların sistemden uzaklaştırılması gibi işlevlere de sahiptir. Hidrolik yağa ait bir görsel Şekil 1.3'de gösterilmiştir.

Şekil 1.3. Hidrolik yağ [3]

Hidrolik sistemlerde akışkan olarak genelde doğal yağlar ve sentetik yağlar kullanılır. İyi bir hidrolik akışkanın;

- Güç iletebilmesi için sıkıştırılabilirlik özelliğinin düşük olması gereklidir.
- Uygulama yerine göre viskozitesi iyi seçilmelidir. Çok yüksek viskoziteli akışkanlar hareketi yavaşlatır, basıncı düşürür, aşırı zorlamadan dolayı ısınma gerçekleşir ve verim düşer; düşük viskoziteli akışkanlar ise sızıntı ve kaçak problemi oluşturur ayrıca ince film tabakası elemanları yağlayamaz. Sistem için

akışkan seçimi yapılırken özellikle sıcaklık ve basınca göre viskozitenin değişimin az olduğu yağlar tercih edilmelidir.

- Yanma ve yaşlanmaya hatta oksitlenmeye karşı direnci yüksek olmalıdır. Özellikle yüksek yanma noktasına sahip yağlar tercih edilmelidir.
- Köpüklenmemelidir. Köpüklenme yağın içine hava karışması sonucu oluşur. Köpüklenme yağın kendi özelliklerinden kaynaklanabileceği gibi hatalı tasarım, dış kirleticiler gibi etkenlerden de kaynaklanabilir. Sistemde oluşacak köpüklenme; basınç düşümüne, sıcaklık artışına, kavitasyona ve devre elemanlarının aşınmasına sebep olur.

Köpüklenmeden kaçınmak için öncelikle köpüklenmenin kaynağı olan hava girişi engellenmelidir. Hava girişi engellense bile; sistemde farklı boru çapları kullanılmamalı, boruların yüzeyleri düzgün olmalı, ani çap ve kesit daralmalarından ve de bağlantı elemanlarının keskin bükümlerinden kaçınılmalıdır. [4]

Ayrıca viskozite, kütle yoğunluğu, buhar basıncı, kontaminasyon, gaz çözünürlüğü ve yığın modülü gibi akışkan özellikleri, süreklilik denklemi ve enerjinin korunumu ile modellenen fiziksel ilişkileri değiştirir. Bu nedenle, bileşen bozulmasına neden olmanın yanı sıra, fiziksel özelliklerin değiştirilmesi de hidrolik sistem davranışını değiştirir. [5]

1.5. Yağ Kirliliğinin Önemi

Hidrolik sistemlerde kullanılan yağların yukarıda bahsedilen özelliklerinden en önemlisi, büyük oranda kullanıldığı sistemin performansına etki edecek olan kontaminasyon derecesidir. Hidrolik sistemlerin arızalarının en az %70'den fazlası yağ kirliliğinden kaynaklanmaktadır. Yağ kirliliği önlenmedikçe sistemlerin işletme şartları altında çalışmaları mümkün olmamaktadır ve kirlilik zaman içerisinde artarak yıkıcı sonuçlara yol açabilmektedir.

Tablo 1.1'de yağ kirliliğinin sistem içerisinde verdiği zararlar ve bunların sonucunda yaşanan etkiler verilmiştir;

Tablo 1.1. Yağ kirliliğinin sisteme etkileri ve etkilerin doğurduğu sonuçlar

Sistem içerisinde oluşan problemler	**Sistem dışında oluşturduğu problemler**
Delik tıkanması	Üretim kaybı (kesinti)
Bileşen aşınması	Bileşen değiştirme maliyetleri
Pas oluşumu veya oksidasyon	Sık yağ değişimi
Kimyasal bileşik oluşumu	Yüksek hurda maliyetleri

Katkı maddelerinin tükenmesi	Artan genel bakım maliyetleri
Biyolojik büyüme/üreme	Artan hurda oranı

Hidrolik yağ kirliliğinin sadece sisteme zarar vermediği aynı zamanda sistemin bulunduğu firmanın birçok mali durumuna etki ettiği görülmektedir. [6]

1.7. Yağ Kirliliğini Oluşturan Faktörler

Hidrolik sistemlerin çalışmasını etkileyen ve yağ kirliliğine sebep olan birçok farklı parametre bulunmaktadır. Bu parametreler genel olarak sistemin dış kısmı ve iç kısmında olmak üzere ikiye ayrılırlar. Sistemin iç kısmı yağın temas ettiği bütün alanlar olarak anlaşılabilir. Dış kısmı ise yağ ile teması olmayan ve genellikle çevresel faktörlerin etkili olduğu bölge olarak bahsedilmektedir. Yağ kirliliğine sebep olan kaynaklar Tablo 1.2'de verilmiştir.

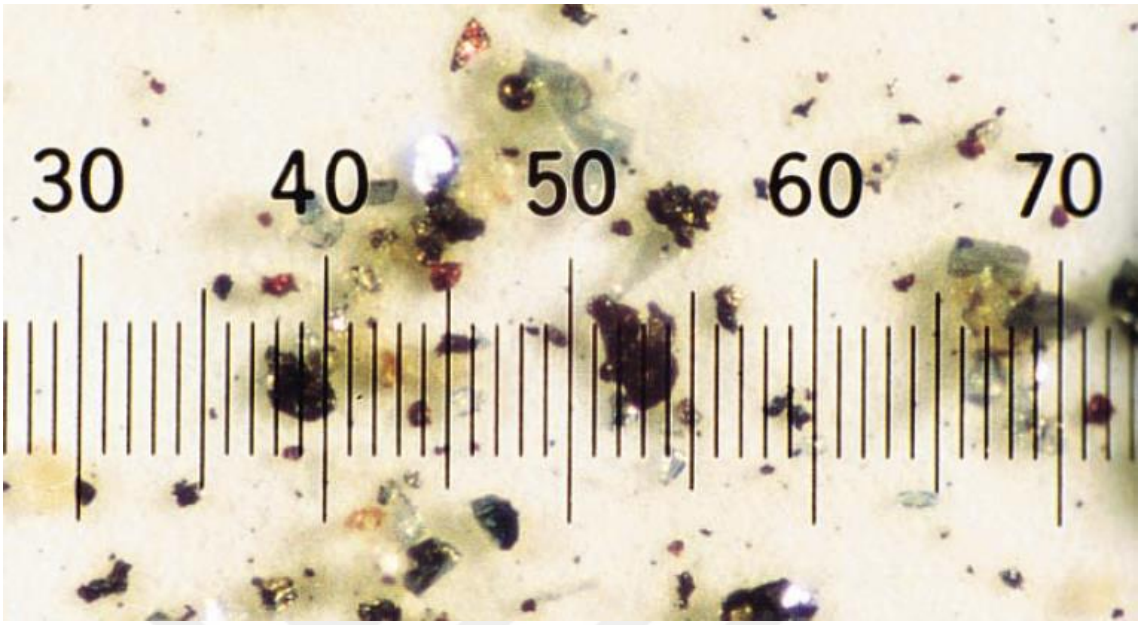
Tablo 1.2. Hidrolik Yağ Kirlilik Kaynakları

Kaynak	**Detay**
Bileşenlerden Kaynaklanan Kirleticiler	Sistemin İlk Montajında Oluşabilen Kirlilik (Ekipmanların ve sistem yağının ilk kullanımda oluşturduğu kirlilik)
Sistem Dışından Yapılan Giriş	Hidrolik Tank'ta Bulunan Yağ Havalandırma Bölümü
	Silindir Üzerinde Bulunan Sızdırmazlık Keçeleri
	Rulman Contaları
	Bileşen Contaları
Kirlilik Üretenler	Sistemin Çalıştırılması (Zamana Bağlı Sürtünme Kaynaklı Kirlilik)
Bakım Sırasında Oluşan Kirlilik	Montaj Çalışmaları Sırasında Oluşan Kirlilik
	Yeni Yağın Sisteme Eklenmesi

Sistemlerde kullanılan yağların kirliliği, ekipmanların zaman içinde birbirleri ile gerçekleştirdikleri mekanizma aşınmalarında oluşan partiküllerden ve hat içerisinde basınç dalgalanmalarından dolayı oluşan hava kabarcıklarının ani yüksek basınç altında kalmasının sonucunda yanarak kurum meydana getirmeleri vb. gibi sebeplerden oluşmaktadır. Aynı zamanda sistemin bulunduğu ortamın hava kirliliği ve sıcaklığı da yağların kirliliğinde önemli rol oynamaktadır.

Hidrolik yağların kirlenmesi insan gözü ile görülemeyecek büyüklükteki partiküllerin yağın içerisine karışması ile gerçekleşir. İnsan gözü 40µm'e kadar olan (örneğin insan saçı 70µm'dir) büyüklükteki partikülleri görebilmektedir. 40µm'den

küçük partikülleri görebilmek için mikroskoplar kullanılmaktadır. [7] Hidrolik yağın içerisinde bulunan partiküller Şekil 1.4‘de görülmektedir.

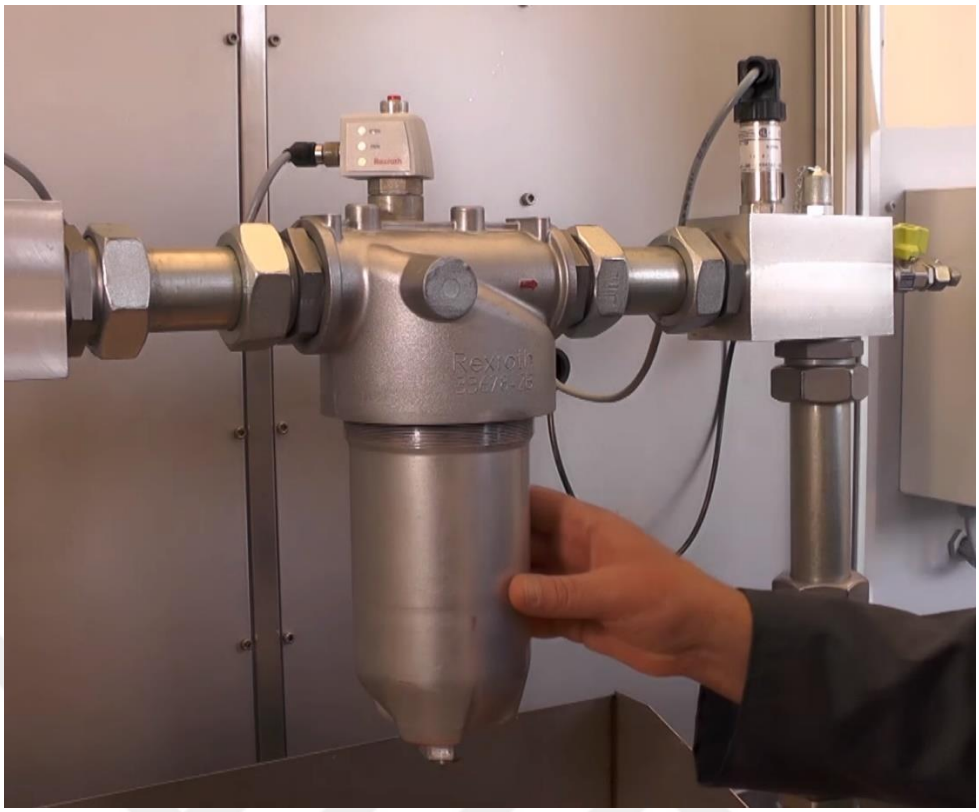


Şekil 1.4. Partikül kontaminasyonunun gerçek fotomikrografisi (100x büyütülmüş ölçek: 1 bölme = 20 mikron) [6]

1.8. Yağ Filtrasyonu ve Önemi

Hidrolik yağlar sistemlerin çalışma performansını belirleyen en önemli parametredir. Hidrolik yağların zaman içinde Tablo 1.2’deki sebeplerden ötürü kirlenmesi sistem içerisindeki performansı azaltır, sistem basıncının karşılanamaması, sistemin hareket kabiliyetinde azalma, titreşimin yükselmesi, ses ve ısı artışı, istenilen debinin üretilememesi, fark basıncının artması vb. birçok problem meydana gelebilir ve sistemler ekipman kaynaklı arıza durumuna geçebilir.

Yağların kirlenme kaynaklı bu etkilerini azamiye indirebilmek için sistem içerisinde filtreler kullanılmaktadır. Hidrolik filtreler, sistem yağının içerisinde bulunan mikron büyüklüğündeki partikülleri özel filtre malzemeleri yardımı ile tutarak yağın temizlenmesini ve bunun sonucunda sistemin işletme performansının sürekli olarak istenilen seviyede tutulmasını sağlarlar. Hidrolik filtreler sistemlerin boru hatlarının üzerinde Şekil 1.5‘de gösterildiği gibi kalıcı bir şekilde kullanılabilir ya da Şekil 1.6‘da gösterildiği mobil bir filtreleme makinesi ile de sistemin temizliği sağlanabilir.



Şekil 1.5. Hat üzerine montaj edilen hidrolik basınç hattı filtresi

Şekil 1.6. Mobil hidrolik filtreleme makinesi

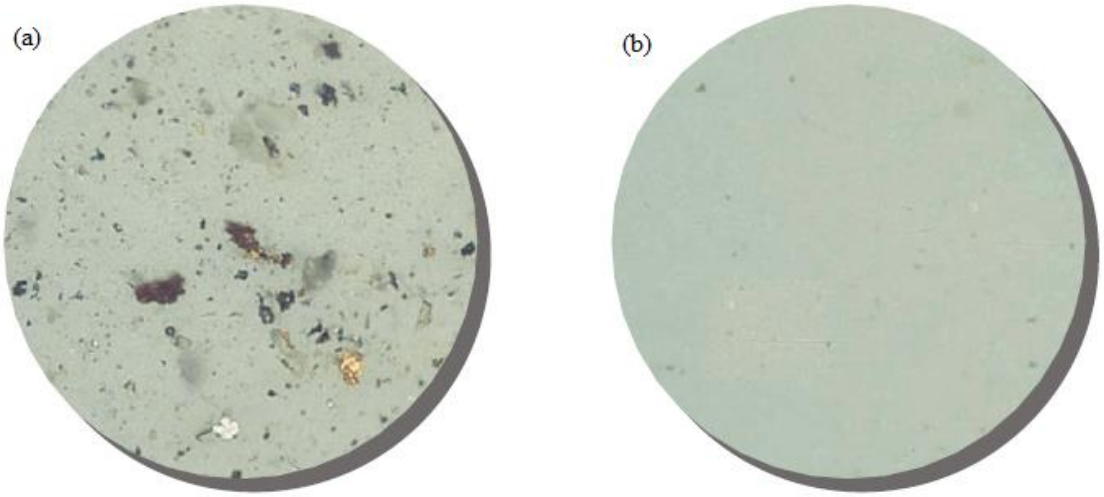
Hidrolik filtrelerin yağı filtreleyerek sistemin çalışma stabilitesini sağlaması önemlidir. Hidrolik ekipman üreticileri ürünlerinin teknik dokümanlarında ürünün optimum performansı sağlayabilmesi için ISO 4406 standardı kapsamında bir yağ kirlilik kodu belirtirler. [8] Bu standart, yağ içerisinde bulunan mikro partiküllerin boyutlara, partikül adetlerine göre nasıl sınıflandırıldığını bize anlatmaktadır. ISO 4406 kapsamında yayınlanan güncel yağ kirlilik kodu tablosu Tablo 1.3'de verilmiştir. Özel partikül sayma cihazları ile sistemdeki yağlardan örnekler alınarak sayma işlemi gerçekleştirilir. Sayma işlemi >4µm, >6µm ve >14µm şeklinde 3 farklı partikül boyutu dikkate alınarak gerçekleştirilir. Alınan örnekler sonucunda partikül büyüklüklerine göre adetleri sınıflandırılan iki tip hidrolik yağın mikroskop altındaki görüntüsü Şekil 1.7'de verilmiştir. Aynı zamanda ekipman üreticilerinin genel olarak belirtmiş olduğu optimum yağ kirlilik dereceleri Tablo 1.4'de verilmiştir. [9]

Tablo 1.3. ISO 4406 Yağ kirliliği sınıflandırma kodları [9]

ISO 4406 Kodları	**Partikül Sayısı (ml/adet)**	
	En az	**En çok**
22	20000	40000
21	10000	20000
20	5000	10000
19	2500	5000
18	1300	2500
17	640	1300
16	320	640
15	160	320
14	80	160
13	40	80
12	20	40
11	10	20
10	5	10
09	2.5	5
08	1.3	2.5
07	0.64	1.3
06	0.32	0.64

Tablo 1.4. Sistemde kullanılan ekipman türüne göre optimum yağ kirlilik kodları

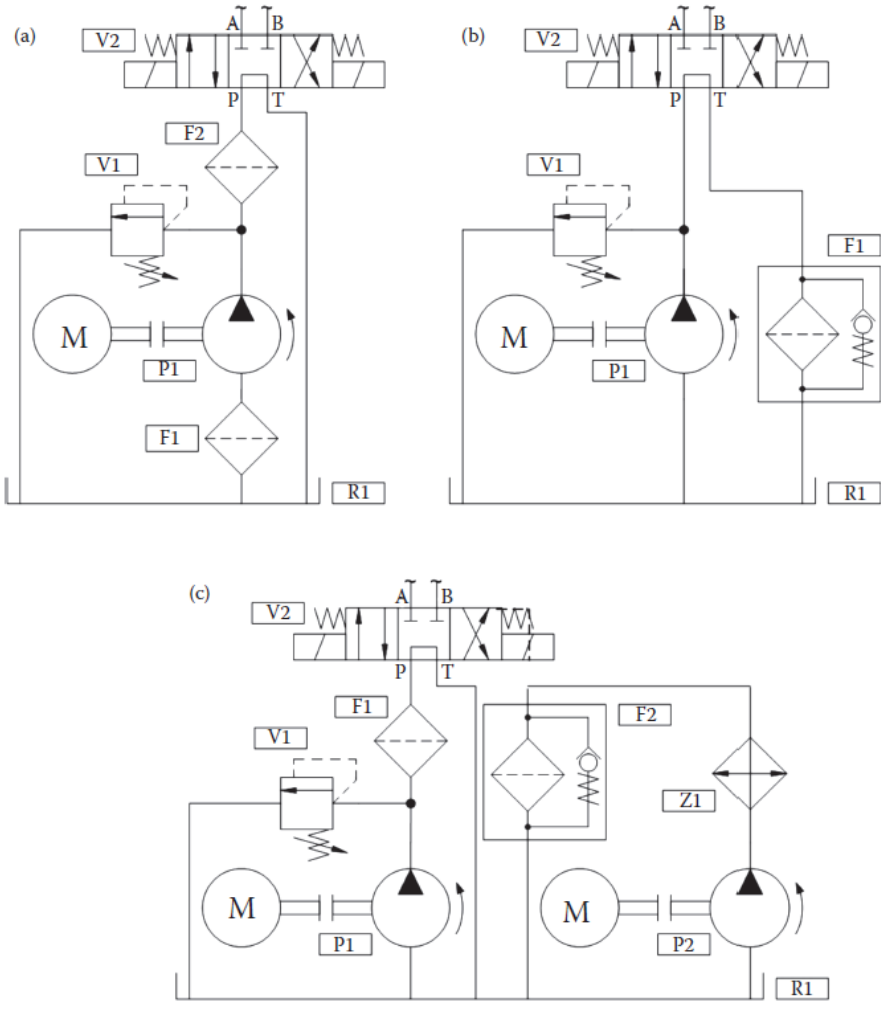
ISO Kodları	Hidrolik Sistem Tipi	Tipik Kullanılan Komponentler	Hassasiyet
23 / 21 / 17	Düşük Basınçlı Sistemler	Koç Pompaları	Önemsiz
20 / 18 / 15	Üretici tarafından doğrulanan yeni yağ kirliliği Düşük basınçlı ağır endüstriyel sistemler veya uzun ömürlü olmayan uygulamalar	Akış Kontrol Valfleri Silindirler	Orta
19 / 17 / 14	Genel makine ve mobil sistemler Orta Basınçlı ve Orta Kapasiteli	Dişli Pompalar/Motorlar	Önemli
18 / 16 / 13	Dolum istasyonundaki pompadan çıkan dizel yakıt için Dünya Çapındaki Yakıt Tüzüğünün temizlik standardına göre Yüksek kaliteli ve uzun ömürlü sistemler Genel makine gereksinimleri	Enjeksiyon Valfi ve Yüksek Basınçlı Pompalar/Motorlar	Kritik
17 / 15 / 12	Çok gelişmiş ve karmaşık olan sistemler ve hidrostatik aktarma sistemleri	Oransal Valfler	Kritik
16 / 14 / 11	Yüksek performanslı servo ve yüksek basınçlı uzun ömürlü sistemler	Endüstriyel Servo Valfler	Kritik
15 / 13 / 09	Yüksek güvenlikli toza duyarlı kontrol sistemi Laboratuvar ve Uzay Endüstrisi	Yüksek Performanslı Servo Valfler	Çok Kritik



Şekil 1.7. (a) ISO 22/19/17 (büyütme 100x) (b) ISO 17/14/11 (büyütme 100x)

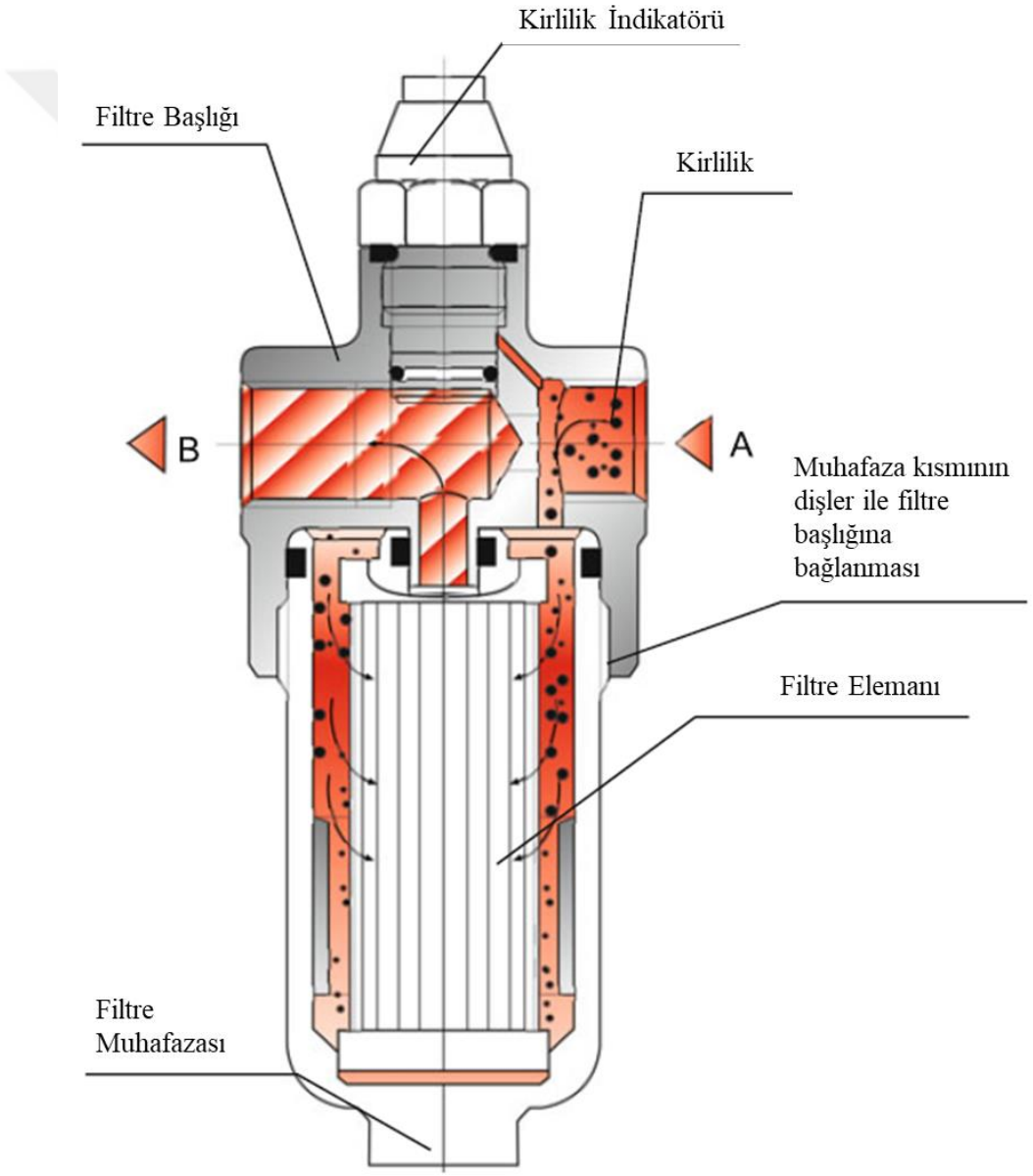
1.9.Hidrolik Filtreler

Hidrolik sistemlerde filtrelerin entegre edildiği 3 farklı bölüm bulunmaktadır. Bunlar Şekil 1.8'de gösterildiği üzere emiş hattı, basınç hattı ve geri dönüş hattı olarak adlandırılmaktadır. Emiş hattı pompa önüne entegre edilen ve pompanın rezervuardan emdiği yağın kaba olarak filtrelenmesini sağlayan filtrelerdir. Genel olarak 50µm filtreleme hassasiyetinden daha büyük hassasiyetlerde kullanılırlar. 50µm'den daha küçük kullanılması durumunda pompada kavistasyon riskleri artmaktadır. Tez konusunda detaylı bir şekilde açıklanan basınç hattı filtreleri ise pompa ile, aktif bir şekilde kirlilikten korunması istenilen valf, silindir gibi kritik hidrolik ekipmanların arasına entegre edilen filtrelerdir. Geri dönüş filtreleri ise sistemde bulunan aktüatörün işlevini yerine getirdikten sonra yağda oluşabilecek partiküllerin rezervuara geri gönderilmesini engelleyen filtrelerdir. [5]



Şekil 1.8. Filtrasyon tipleri: (a) Emiş filtresi (F1) ve Basınç filtresi (F2), (b) Geri dönüş filtresi (F1), (c) Basınç filtresi (F1) [5]

Hidrolik basınç hattı filtreleri; filtre başlığı, filtre muhafazası, filtre elemanı ve kirlilik indikatörü olmak üzere 4 kışımdan oluşmaktadır. Şekil 1.9‘da görüldüğü gibi yağ giriş (A) ve çıkış (B) kısmına sahip olan filtre başlığına filtre elemanı, filtre elemanı muhafazası ve kirlilik indikatörü monte edilir. Pompadan gelen kirli akışkan giriş portunda girer ve filtre elemanı yüzeyine temas ederek filtrelenme gerçekleştirilir. Filtrelenen yağ filtre elemanının iç kısmından çıkış portuna doğru yol alır. Kirlilik indikatörü ise filtre elemanının zaman içerisinde kirlenmesinden dolayı artan giriş ve çıkış arasındaki fark basıncını kullanıcıya görsel ya da elektronik sinyal yolu ile ileten bir ekipmandır.



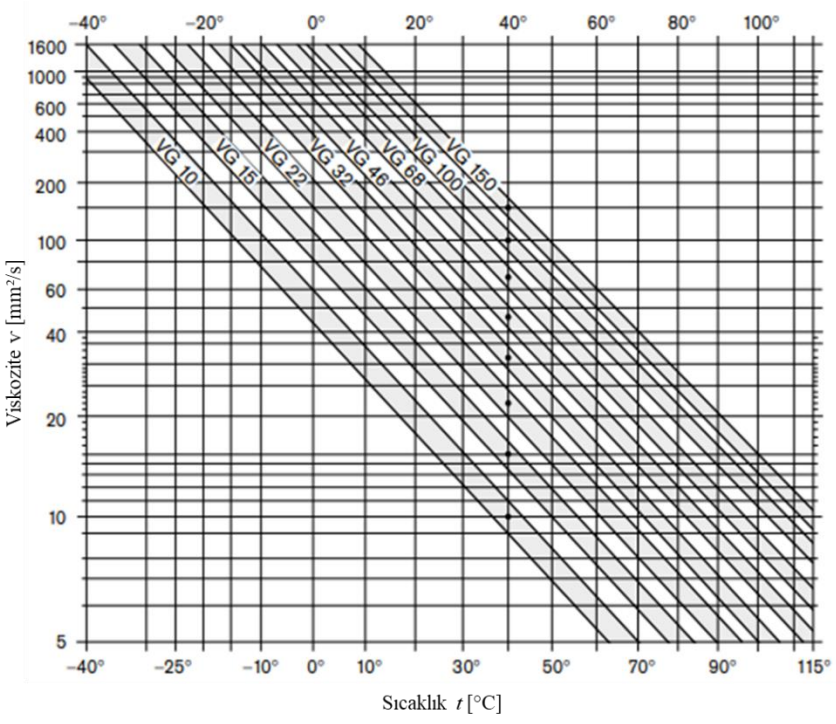
Şekil 1.9. Hidrolik basınç hattı filtresi bileşenleri A; Giriş, B; Çıkış [5]

1.10. Filtre Tasarım Kriterleri

Basınç hattı filtrelerinin, entegre edildiği sistem ile uygun performansta çalışmasını sağlayan 6 temel tasarım kriteri bulunmaktadır. Bunlar sırası ile işletme basıncı, çalışma sıcaklığı, fark basıncı, yorulma dayanımı, patlama basıncı ve filtreleme hassasiyetidir.

Hidrolik sistemin istenilen görevi yerine getirebilmesi için sistemin belirli bir basınçta çalışması gerekir ve bu basınca genellikle bir emniyet katsayısı eklenir. Tasarlanan sistemin maksimum işletme basıncı bu sayede belirlenmiş olur ve pompa ve ekipman seçimleri maksimum işletme basıncı üzerinden gerçekleştirilir. Sistemin belirli periyotlar ile maksimum basınçta çalışabildiği düşünüldüğünde basınç hattı üzerine entegre edilen hidrolik filtrenin direkt olarak maksimum işletme basıncı yüküne maruz kalacağı görülmektedir. Bu sebep ile filtre seçiminde sistemin maksimum işletme basıncı önem arz etmektedir.

Genel olarak dökümden üretilen filtre başlıklarının ve döküm veya derin çekme yöntemleri ile üretilen filtre muhafazalarının geniş bir çalışma sıcaklık aralığı bulunmaktadır. Soğuk ve sıcak koşullarda yağ viskozitesi farklılık gösterdiği için filtrenin çalışma performansı da değişebilmektedir. Farklı viskozite sınıflarına sahip olan yağların sıcaklık artış ve azalışlarına göre gösterdiği değişimler Şekil 1.10'da verilmiştir.



Şekil 1.10. Yağ viskozite sınıflarına göre viskozite – sıcaklık grafiği

Hidrolik yağların geniş viskozite aralığına sahip olması sistem içerisindeki çalışma koşullarını etkileyebilmektedir. Bu sebep ile hidrolik sistemler ısıtma ve soğutma sistemleri ile desteklenerek belirli bir işletme sıcaklık aralığında çalışacak şekilde tasarlanırlar. Soğutma için kullanılan eşanjörler Şekil 1.11'de ve ısıtma için kullanılan rezistans sistemleri Şekil 1.12'de verilmiştir.

Şekil 1.11. Hidrolik yağ soğutucu eşanjör

Şekil 1.12. Yağ ısıtıcı rezistans (≈7000 Watt)

Hidrolik filtreler hat içerisinde kullanılırken geometrik özelliklerinden dolayı sistemde bir basınç kaybına sebebiyet verirler. Filtrenin girişi ve çıkışı arasında oluşan kayıp filtrenin "fark basıncı" değeri olarak adlandırılmaktadır. Sistem tasarımı yapılırken

Şekil 1.8'de belirtilen farklı tipteki akış hatlarında kullanılacak filtrelerin oluşturacağı fark basınç değerlerinin optimum düzeyde tutulması gerekmektedir. Hat üzerinde kullanılan bir filtrenin maksimum sahip olması gereken fark basıncı değeri Tablo 1.5'de verilmiştir. [10]

Tablo 1.5. Maksimum oluşması istenen fark basıncı değerleri [10]

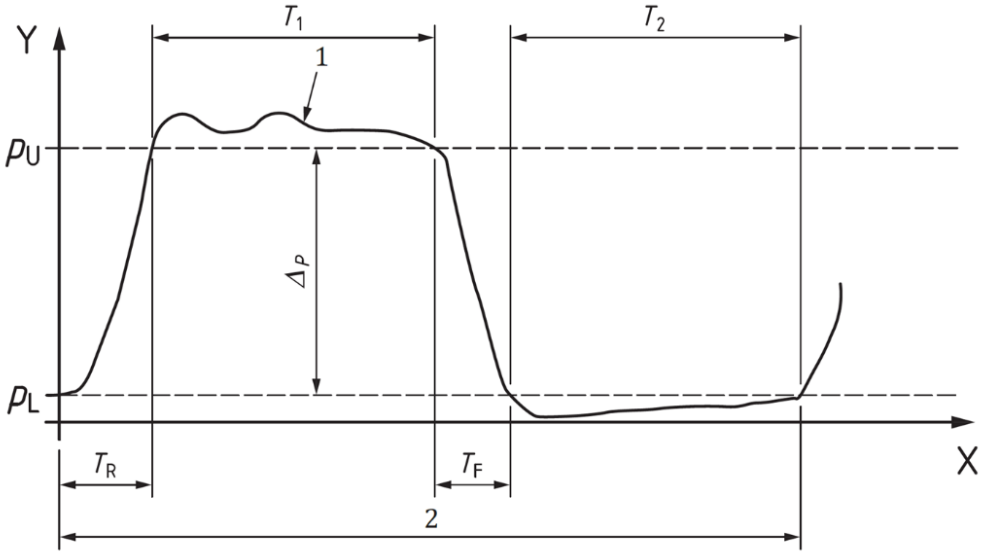
Akış Hattı	**Maksimum Basınç Kaybı (İşletme Sıcaklığında)**
Basınç Hattı	1 – 1,5 Bar'a kadar
Dönüş Hattı	0,5 Bar'a kadar
Emme Hattı	0,005 – 0,1 Bar'a kadar

Tablo 1.1'e bakıldığında emme hattında oluşması istenen maksimum fark basıncının diğer akış hatlarına göre daha az olduğu görülmektedir. Emme hattında bulunan pompanın emiş sırasında yüksek bir fark basıncı ile karşılaşmaması gerekmektedir. Aksi takdirde pompada oluşabilecek kavitasyon problemi sistemin çalışma performansını direk etkileyebilmektedir. Pompada oluşabilecek kavitasyon problemine örnek Şekil 1.13'de verilmiştir.

Şekil 1.13. Pompa yüzeyinde kavitasyonu sonucu oluşan delik [11]

Basınç hattına bakıldığında ise maksimum 1,5 Bar'a kadar oluşabilecek bir fark basıncına izin verilmektedir. Basınç hattındaki basınç değerleri diğer akış hatlarına göre daha yüksektir ve Tablo 1.6'da basınç hattındaki ortalama değerler gösterilmiştir. Yüksek basınç değerlerinde 1,5 Bar'a kadar olan basınç kayıplarının sistemin çalışma performansı üzerinde önemli etkilerinin olmadığı görüldüğü için bu değer maksimum filtrede oluşması gereken fark basıncı olarak tayin edilmiştir.

Hidrolik sistemlerde Tablo 1.6'da belirtildiği üzere farklı basınç yükleme şartları bulunmaktadır. Belirtilen bu yükleme şartlarında filtreyi en zorlayıcı olan ise yüksek frekansta 0'dan sistem basıncına çıkan yükleme koşuludur. Bu koşullarda çalışan bir hidrolik sistemi hızlı ve seri imalat yapan bir fabrika altyapısında bulmamız mümkündür. Basınç hattı filtreleri yukarıda belirtilen en zorlayıcı çalışma koşulu altında belirli bir süre çalışması beklenmektedir. Bu süre beklentisi genellikle çevrim sayısı ile ifade edilmektedir. 0'dan sistem basıncına çıkan sistemin tekrar 0 değerine düşmesi ile bir çevrim tamamlanır. Bu işlemin sürekli gerçekleşmesi hidrolik filtreyi bir süre sonra yormakta ve kalıcı deformasyonlar oluşabilmektedir. Bu yıkıcı etkilerin önüne geçilebilmesi için hidrolik filtrelerin uluslararası standartlarda istenen minimum çevrim sayısını karşılayabilmesi gerekmektedir. Hidrolik filtrelerin maruz kaldığı basınç çevrimi ve detayları Şekil 1.14'de verilmiştir. [12]



1 Gerçek test basıncı
2 Yükleme periyodu = T = 1/test frekansı = $1/f = T_R + T_1 + T_F + T_2$
X Zaman
Y Basınç
P_U Üst Döngüsel Test Basıncı
P_L Alt Döngüsel Test Basıncı

Şekil 1.14. Yorulma testi basınç yükleme grafiği [12]

1.11. Doğru Filtre Seçimi

Hidrolik filtreler kullanılacakları sistemlerin çalışma şartlarına uygun bir şekilde seçilmelidir. Bu sebep ile sistemin çalışma şartları aslında hidrolik filtrenin de çalışma şartlarını belirlemiş olmaktadır. Bir sistemin ihtiyaç duyduğu doğru basınç hattı filtresinin seçilebilmesi için toplamda 7 farklı kriter bulunmaktadır.

1.11.1. Çalışma basıncı

Hidrolik sistemler yardımı ile sağlanması gereken iş gücü çeşitli akışkanlar dinamiği hesaplamaları ile yapılmaktadır. Gereken iş gücü sistemdeki basınç ve zaman parametresinin çarpımına eşittir. Basınç hattı filtresi seçilirken ise sistemin sahip olduğu basınç skalası Tablo 1.6'da verildiği gibi 4 farklı gruba ayrılır ve bu gruplardaki farklı işletme basıncı skalalarına göre numaralandırılır. Her tasarım kriterinde bulunan numara seçenekleri en son adımda toplanır ve Şekil 1.16'da verilen filtreleme ihtiyacı ortaya çıkar. [13]

Tablo 1.6. Sistem basıncı aralıkları

Yapılacak İşin Zorluğu	**Örnek**	**İşletme Basıncı (Bar)**				
		0-70	**>70-170**	**>170-275**	**>275-410**	**>410**
Hafif	Sabit görev	1	1	2	3	4
Orta	Basınç Değişimleri	2	3	4	5	6
Ağır	0'dan En Yüksek Sistem Basıncına	3	4	5	6	7
Şiddetli	Yüksek Frekansta 0'dan En Yüksek Sistem Basıncına	4	5	6	7	8

1.11.2. Ekipman hassasiyeti

Hidrolik sistemlerde kullanılan ekipmanlar kullanıldığı makinenin amacına göre farklılık göstermektedir. Bir ekskavatör ile hassas bir servo presin silindirleri farklı imalat teknikleri ile üretilmektedir ve servo presin hassasiyeti ekskavatörde kullanılan silindire göre daha hassastır. Çünkü servo hidrolik preste üretim hassasiyeti çok yüksek olan parçalar üretilmekte, ekskavatörde ise sadece kum vb. toprak ürünleri taşınmaktadır. Bu gibi farklılıklar göz önüne alındığında sistemde oluşan filtreleme ihtiyacı sistemin ihtiyaç duyduğu hassasiyeti sağlayabilen ekipmanların temiz kalmasını sağlamalıdır. Sistemlerde kullanılan genel ekipman listesi Tablo 1.7'de verilmiştir.

Tablo 1.7. Ekipman hassasiyet listesi

Hassasiyet	Örnek Ekipmanlar	Etki
En düşük	Su pompası	1
Düşük-Orta	Düşük verimli dişli pompalar, Manuel valfler, Akış engelleyici valf	2
Orta	Paletli pompa, Sürgülü valfler, Yüksek verimli dişli pompalar	3
Orta-Yüksek	Pistonlu pompalar, Oransal valfler	4
Yüksek	Servo valfler, Yüksek basınçlı oransal valfler	6
Çok Yüksek	Yüksek performanslı servo valfler	8

1.11.3. Ekipman çalışma süresi beklentisi

Hidrolik sistemlerin çalışma sürelerini sistemde kullanılan ekipmanların çalışma süreleri belirler. Ekipmanların tasarım aşamasında belirlenen optimum çalışma süreleri üreticilerin ürün teknik dokümanlarında vermiş olduğu yağ kirliliği kodu ile sağlanabilir. Burada verilen yağ kirliliği kodu ekipman üreticisinin ürününü çalışabilecek minimum düzeyde tutmasını garanti eder. Sistemin kirliliği sistemde kullanılan ekipmanın sürekli altında olmalıdır. Aksi taktirde ekipman içerisindeki yüzeylerin çalışma boşluklarından daha büyük partiküller boşluklara sıkışarak arızalara sebebiyet verebilir, yıkıcı etkiler doğurabilmektedir. Örneğin bir eksenel değişken deplasmanlı hidrolik pompa üreticisinin teknik dokümanında istemiş olduğu minimum yağ kirlilik kodu Şekil 1.15'de verilmiştir.

Şekil 1.15. Değişken deplasmanlı hidrolik pompanın minimum yağ kirlilik kodu [8]

Şekil 1.15'e bakıldığında istenilen yağ kirliliğinin 20/18/15 olduğu ve pompalardaki birbiriyle çalışan yüzeyler arasındaki parça boşluklarının genel olarak 5 ile 40µm arasında değiştiği bilinmektedir. İstenilen bu özelliklere göre seçilen filtreleme hassasiyeti sistem çalışma süresine etki etmektedir. Beklenen çalışma süreleri temel olarak 6 grupta toplanmış ve Tablo 1.8'de belirtilmiştir.

Tablo 1.8. Çalışma sürelerine göre ağırlık oranları

Çalışma Süresi Beklentisi (saat)	Etki
0 – 1000	0
1000 – 5000	1
5000 – 10000	2
10000 – 20000	3
20000 – 40000	4
>40000	5

1.11.4. Ekipman değişim maliyeti

Hidrolik sistemlerde kullanılan ekipmanların üretim teknolojileri farklılık göstermektedir. Üretim teknolojilerinde ki bu farklılıklar ekipmanların çalışma hassasiyetleri belirlemektedir. Çalışma hassasiyeti daha yüksek olan sistemler çalışma hassasiyeti düşük olan sistemlere göre daha pahalıdır. Daha pahalı sistemlerdeki arızalar da anlaşılacağı üzere daha pahalı arıza maliyetleri doğurur. Bu sebep ile hassas sistemlerde aktif filtrelemeye dikkat edilmelidir. Filtre seçiminde ekipman değişim maliyetindeki etki oranı da değerlendirilmelidir. Bu oranlar Tablo 1.9'da verilmiştir.

Tablo 1.9. Ekipman değişim maliyeti etkileri

Değişim Maliyeti	Örnek	Etki
Düşük	Manifolda monteli valfler, ucuz pompalar	1
Orta	Hat üzerine monte valfler ve modüler valfler	2
Yüksek	Silindirler, Oransal valfler	3
Çok Yüksek	Büyük pistonlu pompalar, Hidrostatik şanzıman motorları, Yüksek performanslı servo bileşenler	4

1.11.5. Ekipman arıza süresi maliyeti

Hidrolik sistemler birçok sektörde kullanılmakta ve sektörlerin üretim kapasiteleri farlılık göstermektedir. Bir hidrolik sistemin düşük kapasiteli bir fabrika altyapısında arıza vermesi düşük arıza maliyetleri doğururken yüksek kapasitede üretim yapan bir

hidrolik sistemin arıza vermesi çok daha yüksek maliyetlere sebep olabilmektedir. Hidrolik filtre seçiminde sistemin yapacağı işin sürekliliği göz önüne alınmalı ve arıza durumunda bu durumun maliyete etkileri iyi düşünülmelidir. Bu sebep ile farklı üretim kapasitelerinde kullanılan sistemlerin arıza durumundaki etkilerini Tablo 1.10'da verilmiştir.

Tablo 1.10. Arıza süresi maliyetine göre etki oranları

Arıza Süresi Maliyeti	Örnek	Etki
Düşük	Üretim veya işletme için kritik olmayan ekipman	1
Orta	Küçük ve orta ölçekli üretim tesisleri	2
Yüksek	Yüksek kapasiteli üretim tesisleri	4
Çok Yüksek	Çok pahalı arıza süresi maliyeti	6

1.11.6. Güvenlik sorumluluğu

Sistemlerde kullanılan hidrolik yağların hangi kaynaklar aracılığı ile kirlendiği Tablo 1.2'de verilmiştir. Bu kaynaklardan dolayı oluşan kirliliğin ekipman arızası ya da sistem arızası gibi sonuçları doğurduğu bilinmektedir. Yağ kirliliği giderilmeyen ya da filtre elemanı uzun süre değiştirilmeyen sistemlerin tehlike oluşturdukları ve yaralanmalı iş kazasına sebebiyet verebilecekleri görülmektedir. Doğru filtre seçiminin ve periyodik bakımlarının yapılması ile oluşan bu tehlike ve yaralanmaların önüne geçilebilmektedir. Filtre seçimine etki eden bu tehlikeler Tablo 1.11'da verilmiştir.

Tablo 1.11. Güvenlik sorumluluğu ve etkileri

Güvenlik Sorumluluğu	Örnek	Etki
Düşük	Arıza tehlikeye neden olmaz.	1
Orta	Arıza tehlikeye neden olabilir.	3
Yüksek	Arıza yaralanmaya neden olabilir.	6

1.11.7. Çevre koşulları

Hidrolik sistemlerin birçok noktada hava ile temas ettiği bilinmektedir. Örneğin hava filtresine sahip bir rezervuar bölümü veya aktüatörlerde oluşabilecek kaçaklardan sisteme giren hava sistem ile temas halindedir. Hava içerisindeki kirlilik ise yağ ile temas edeceğinden yağı kirlendirebilir ve istenmeyen arızalar ortaya çıkabilir. Bu sebep ile hidrolik sistemin içerisinde bulunduğu çevre koşulları filtre seçiminde önem arz etmektedir. Çevre koşulları Tablo 1.12'de 4 farklı gruba ayrılmıştır.

Tablo 1.12. Yağ kirlenmesinde çevresel koşulların etkisi

Çevresel Koşul	Örnek	Etki	
		Tek filtre	İkili filtre
İyi	Temiz alanlar, Az bağlantı noktası, Filtrelenmiş sıvı dolumu, hava nefeslikleri	0	-1
Orta	Genel makine atölyeleri, bazı bağlantı noktaları üzerinde kontrol	1	0
Zayıf	Çalışma ortamı ve bağlantı noktaları üzerine minimum kontrol (karayolu mobil ekipmanı gibi)	3	2
Kötü	Potansiyel olarak yüksek kirlenme durumu (dökümhaneler, beton fabrikaları, otoyol dışı mobil ekipman gibi)	5	4

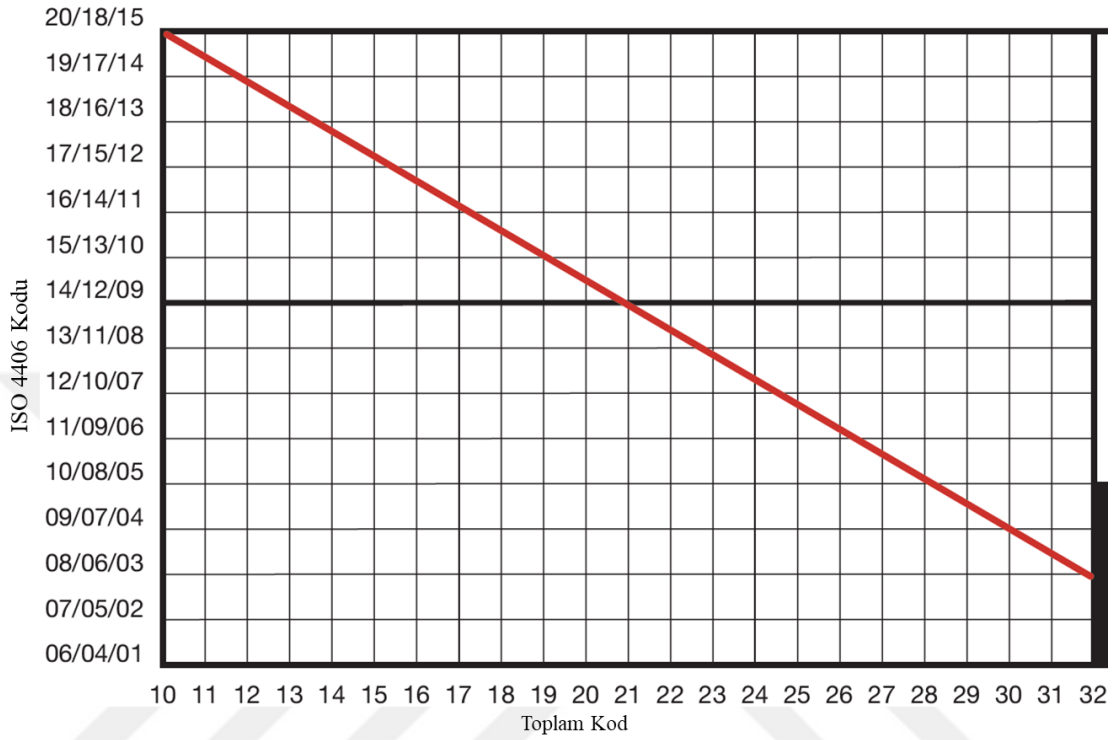
1.11.8. İstenen kirlilik seviyesinin belirlenmesi

Farklı çalışma koşullarına göre doğru filtre seçimini belirleyen ve çalışma koşulları içerisinde farklı etki oranlarına sahip olan özellikler yukarıdaki 7 başlıkta belirtilmiştir. Filtre seçim kriterlerine göre yapılan örnek ‘de ve bu kriterlere göre oluşan kirlilik ihtiyacını belirten grafik ise Tablo 1.13‘de verilmiştir.

Tablo 1.13. Doğru filtre seçimi kriterlerinin belirlenmesine örnek

Sıra No	Seçim Kriteri	Açıklama	Etki Oranı
1	Çalışma Basıncı	Orta Basınç Değişimleri -Çalışma Basıncı (275-410 Bar)	5
2	Ekipman Hassasiyeti	Orta – Yüksek Pistonlu Pompalar - Oransal valfler	4
3	Ekipman Çalışma Süresi Beklentisi	5000 – 10000 saat	2
4	Ekipman Değişim Maliyeti	Yüksek Silindirler – Oransal valfler	3
5	Ekipman Arıza Süresi Maliyeti	Orta - Küçük ve orta ölçekli üretim tesisleri	2
6	Güvenlik Sorumluluğu	Orta Arıza tehlikeye neden olabilir.	3
7	Çevre Koşulları	Kötü – Potansiyel olarak yüksek kirlenme durumu (dökümhane vb.)	5

Tablo 1.13'de filtre seçim kriterlerine göre etki oranları verilmiştir. Bu yapılan örneğe göre etki oranlarının toplamı 24 olmaktadır. Şekil 1.16'ya bakıldığında hidrolik sistemin çalışma koşullarına göre oluşturulan filtre seçim kriterlerine göre istenen kirlilik seviyesi 12/10/07 ile 13/11/08 olmaktadır.



Şekil 1.16. Etki oranına göre istenen kirlilik seviyesi [14]

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Ömer Tanzer Gökalp yapmış olduğu çalışmada hidrolik yağ filtrasyonunun önemini, yağı kirlilikten koruma yollarını, uygun filtre seçimini ve doğru hidrolik filtrasyon ile maliyet azaltma analizlerini anlatmıştır. Plastik enjeksiyon makinesinde kullanılacak basınç ve dönüş filtresinin hidrolik komponent maliyetini yaklaşık olarak %10 arttırdığını fakat bu ilk yatırımın maliyetinin işletme maliyetinin yanında çok küçük kaldığını tespit etmiştir. [15]

B. Aruljothi ve A. M. Junaid Basha (2014), yapılan bu çalışmada, uçaklarda kullanılan hidrolik filtrelerin farklı filtreleme malzemeleri ile çoklu geçiş performanslarını tespit etmişlerdir. 10µ ve 12µ filtreleme hassasiyetinden oluşan iki farklı ürünün oluşturduğu fark basıncı değerlerini yorumlamışlar ve uçaklardaki filtrelerin paslanmaz çelik örgü filtre elemanı yerine cam elyafından üretilen filtre elemanının kullanılmasının daha verimli olduğu sonucuna varmışlardır. [16]

Mounir Gahgah ve Azzedine Bouzaouit (2018), bu çalışmada 210 bar işletme basıncına sahip bir sistemin hidrolik yağ kirliliğinin istatistiksel analizi yapılmıştır. Bu kapsamda yüksek basınç borusu üzerindeki filtrenin tıkanması incelenmiş ve yapılan istatistiksel analizler ile tıkanmanın ve fark basıncı artışının hidrolik yağın kirlenmesine bağlı olduğunu sonucuna varılmıştır. [17]

J. M. R. Gorle ve ark. (2018), bu çalışmada hidrolik filtrasyona etki eden sıcaklık, debi ve yağ kirlenmesi parametreleri incelenmiş ve deneysel testleri yapılmıştır. Filtreleme hassasiyeti (5µm) ve filtreleme alanı sabit tutulmuş, kirletici test kumu 4 farklı yoğunlukta kullanılmış, 30º, 40º, 50º ve 60ºC yağ sıcaklığı altında ve 2 farklı debi değerine göre testler yapılmıştır. Sıcaklık değişimine bağlı sonuçlar kapsamında yüksek sıcaklıkta yağ viskozitesinin azalacağı ve buna bağlı filtrede meydana gelen fark basıncının da azalacağı tespit edilmiştir. Ayrıca kirletici kumun yoğunluğunun en yüksek olduğu testte fark basıncı artışı daha hızlı olurken, kirleticin kumun en düşük seviyede kullanıldığı testte fark basıncı artışı uzun zaman almıştır. [18]

Toshin Momin ve ark. (2017), bu çalışmada deniz uygulamaları için yüksek basınçlı hidrolik filtrenin tasarım ve analiz çalışmaları yürütülmüştür. Çalışma basıncı 205 bar, maksimum 50 lt/dk debi değerinde çalışabilen ve beta oranı $\beta_{10} \geq 1000$ olan bir filtre elemanına göre tasarım yapılmış ve 410 bar patlatma basıncına göre sonlu elemanlar

analizi gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak çalışma basıncına dayanıklı yapılan tasarım daha ileri çevresel test koşullarının (yüksek tuzluluk, yüksek ve sıcaklık döngüsü, titreşim, şok vb.) sağlanabilmesi için sertifika yeterlilik programına kabul edilmiştir. [19]

Felix Ng ve ark. (2016), bu çalışmada hat içi hidrolik yağ kirliliği izleme yolu ile hidrolik ekskavatör performansının iyileştirilmesi amaçlanmıştır. “Makinede bulunan iki tip pompanın ürettiği kirlilik seviyeleri ve türleri arasında bir fark vardır.”, “Ana dönüş filtresinin girişindeki kirlilik seviyesi, ana pompanın çıkışındakinden daha yüksektir.” ve “Çevrimiçi partikül sensörleri ve ICP / OES, belirli bir zamanda alınan yağ numunelerinde eşleşen ISO kodu okumalarına sahiptir.” olmak üzere üç farklı sonuç hipotezine ulaşmışlardır. [20]

Myounggu Park (2001), bu çalışmada bir savaş uçağına takılan hidrolik filtrenin yorulma sonucunda ortaya çıkan arızaları incelenmiştir. Filtre başlığında çatlama meydana gelmiş lakin plastik deformasyon yaşanmamıştır. Hidrolik filtre başlığında meydana gelen mikro ölçüdeki yorulma deformasyonunun yanlış malzeme seçiminden (AI-2024-T3 yerine AI 6061-T6 seçilmiş) ve üretiminden kaynaklandığı tespit edilmiştir. Bu bağlamda gerçekleşen mikro yapısal farklılıklar filtre başlığının erken yorulmasına ve farklı mikro yapısal sorunlar doğurmasına sebebiyet verdiği tespit edilmiştir. Doğru malzemenin seçimi, bu durumda en önemli ve temel iyileştirici eylemdir sonucuna ulaşılmıştır. [21]

3.MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Malzeme Seçimi ve Geometrik Tasarım

Hidrolik basınç hattı filtrelerinin istenilen çalışma koşulları altında hizmet verebilmesi filtrede kullanılan malzemeye, filtrenin boyutsal özelliklerine ve üretim yöntemlerine bağlıdır. Bu tez çalışmasında, filtre prototip üretimleri için EN-GJS-500-7 standardına uygun sfero dökme demir malzemesi kullanılmıştır. Sfero dökme demir malzemesinin kimyasal kompozisyonu Tablo 3.1'de verilmiştir.

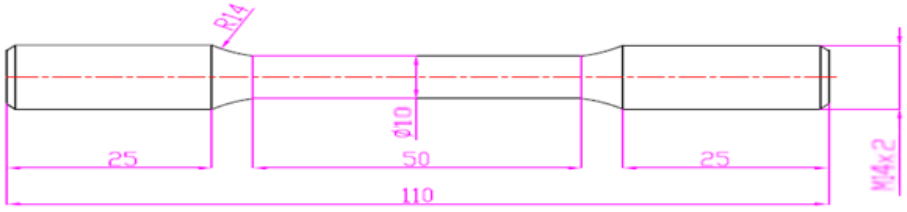
Tablo 3.1. EN-GJS-500-7 Kimyasal kompozisyonu [22]

Karbon	Silisyum	Mangan	Sülfür	Fosfor
3,4 – 3,85	2,3 – 3,1	0,1 – 0,3	0,02 (Maks.)	0,10 (Maks.)

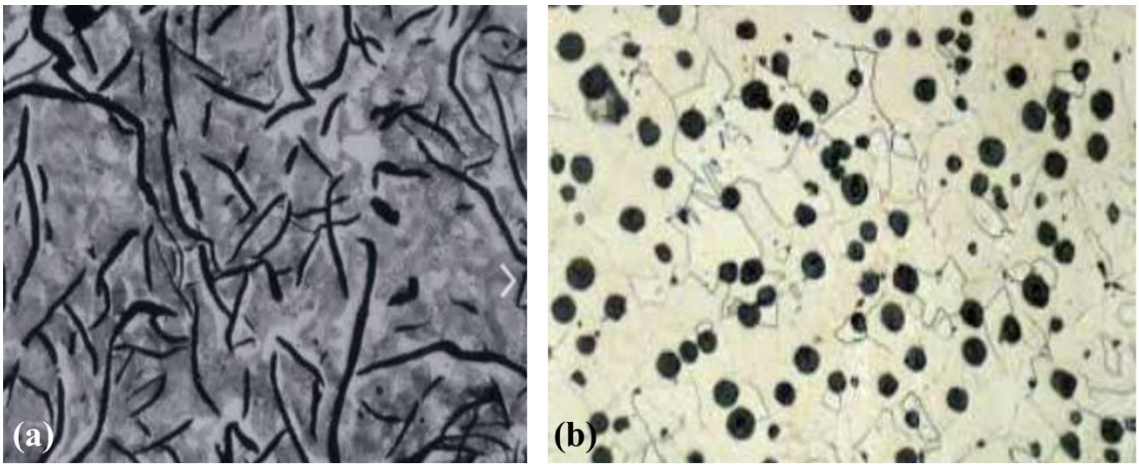
Tablo 3.1'de verilen standart kimyasal kompozisyona göre dökülen sfero dökme demir malzemesinin mekanik özellikleri ise Tablo 3.2'de verilmiştir. Bu mekanik özellikler, filtrenin patlatma ve yorulma dayanımlarına etki etmektedir. Sfero dökme demiri, gri dökme demirine kıyasla daha sünek bir malzemedir ve basınç altında çalışan hidrolik ekipmanlar için yüksek oranda tercih edilmektedir. Sfero dökme demirin daha sünek olması, mikro yapısında bulunan küresel grafitlerin basınca daha dayanıklı bir yapı oluşturmasından dolayıdır. Tez çalışması kapsamında üretilen hidrolik filtrelerin çekme numunesi testleri de gerçekleştirilmiştir. DIN EN 1563 standardına uygun bir şekilde üretilen çekme test numunesinin teknik resmi Şekil 3.1'de verilmiştir. Gri ve sfero dökme demir arasındaki fark Şekil 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.2. EN-GJS-500-7 Mekanik özellikler [22]

Çekme Mukavemeti	Akma Mukavemeti	Uzama (%)	Sertlik (Brinell)
500 N/mm^2	320 N/mm^2	7	170 – 230
NOT: Aralık verilmeyen değerler minimum değerlerdir.			

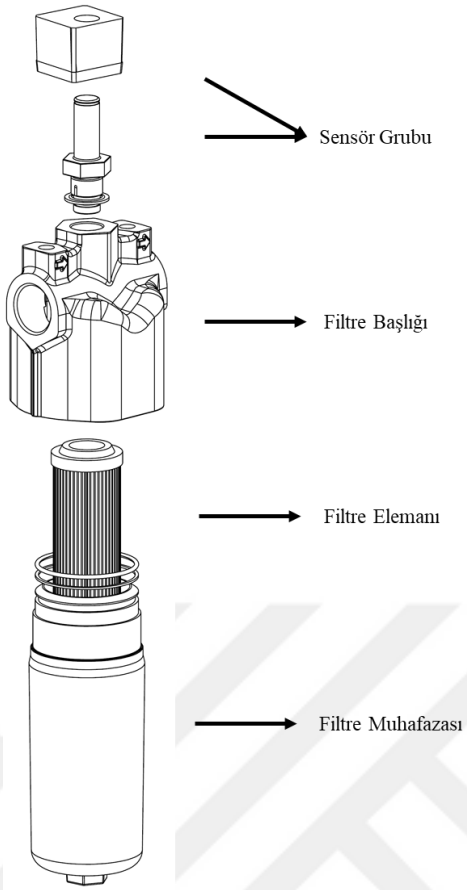


Şekil 3.1. Çekme test numunesi



Şekil 3.2. a) Lamel grafitli dökme demir mikro yapısı b) Küresel grafitli dökme demir mikro yapısı [23]

Hidrolik filtreler genel olarak 3 kısımdan oluşmaktadır. Bu kısımlar; filtre başlığı, filtre muhafazası ve filtre elemanı olarak adlandırılmaktadır. Hidrolik filtre başlığı filtre muhafazasının ve filtre elemanının üzerine bağlandığı ana gövde görevini üstlenmektedir. Filtrenin zaman içinde kirlenme sonucunda değişmesi gerektiğini bildiren sensör mekanizması ve filtre üzerinde oluşan fark basıncının belirli bir seviyeden yukarı çıkmamasını sağlayan bypass valfi, filtre başlığı üzerinde bulunur. Aynı zamanda filtreler başlık kısmında bulunan port girişlerinden hidrolik sisteme entegre edilirler. Bu sebeplerden dolayı başlık tasarımı önem arz etmektedir. Filtre muhafazası, başlığa monte edilen filtre elemanını dış etkenlerden koruyan ve hidrolik sistemin çalışma koşullarına dayanarak filtrelemenin verimli bir şekilde gerçekleşmesini sağlayan parçadır. Filtre elemanı ise belirli bir mikron hassasiyetindeki partikülleri tutup hassas hidrolik ekipmanlara temiz yağ göndermeyi sağlayan filtrenin en önemli bileşenidir. Hidrolik filtre bileşenleri Şekil 3.3‘de verilmiştir.



Şekil 3.3. Hidrolik filtre bileşenleri

Tez çalışmasında, 450 bar işletme basıncı altında çalışabilen 63 lt/dk ve 250 lt/dk debi kapasitesine sahip ve uluslararası standartlara uygun 10 mikron filtreme hassasiyetinde filtre elemanı içeren iki farklı filtre tasarlanmıştır. Şekil 3.3'de gösterilen hidrolik başlık üzerinde belirtilen ok göstergeleri yönünde akışı sağlayan ve filtrelerin üst kısmında 5 bar fark basıncı oluştuğunda elektrik sinyali üreten kirlilik sensörü bulunmaktadır.

3.2.Test Düzeneği Tasarımı ve İmal Edilmesi

Hidrolik basınç hattı filtrelerinin tasarım kriterlerinin doğrulanması için uluslararası standartlarda belirtilen testlerin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu standartlar; ISO 3968, ISO 10771-1, ISO 16889, ISO 2942, ISO 2941 olarak adlandırılmaktadır. ISO 3968 ve ISO 10771-1 standartları filtreler ile ilgili performans özelliklerini belirlerken, ISO 16889, ISO 2942 ve ISO 2941 standartları filtre elemanlarının performanslarını belirlemektedir. Tez çalışmasında, filtrelerin akış karakteristiklerini ve mekanik dayanım özelliklerini belirleyebilmek için kullanılan ISO 3968 ve ISO 10771-1 standartlarına uygun test cihazı imal edilmiştir. Filtre elemanlarının

doğrulanması için yapılan standart testler ise tedarik edilen proje paydaşından test sonuçları ile beraber alınmıştır. Filtre elemanı ile ilgili teknik özellikler Tablo 3.3'de verilmiştir.

Tablo 3.3. Tez çalışmasında kullanılan filtre elemanı teknik özellikleri

Teknik Özellik	**1.Filtre elemanı modeli (63 lt/dk için)**	**2.Filtre elemanı modeli (250 lt/dk için)**
Çökme ve Patlama Basıncı (ISO 2941)	21 Bar	21 Bar
Çalışma Sıcaklığı	-20 / +110°C	-20 / +110°C
Filtreleme Yönü	Dıştan İçe	Dıştan İçe
Filtreleme Yüzeyi	866 cm^2	4166 cm^2
Filtre Malzemesi	İnorganik mikrofiber	İnorganik mikrofiber
Filtreleme Hassasiyeti (ISO 16889)	10µm β>1000	10µm β>1000
Kabarcık Noktası Testi	ISO 2942	
Hidrolik Yağlar ile Uyumluluk (ISO 6743-4)	HH – HL – HM – HR – HV – HG	

3.2.1.Hidrolik sistem tasarımı

Uluslararası standartlarda belirtilen test yöntemlerinin uygulanabilmesi için temel teşkil eden test ekipmanlarının listesi Tablo 3.4'de verilmiştir.

Tablo 3.4. Test sistemi gereksinimleri

Test Adı	**Test Standardı**	**Ekipman**
Fark Basıncı Testi	ISO 3968	Değişken Deplasmanlı Pompa
		Fark Basınç Sensörü
		Debimetre
		Sıcaklık Sensörü
Yorulma Dayanımı Testi	ISO 10771-1	Puls Üretici
		Hidrolik Pompa
		Emniyet Valfi
		Basınç Sensörü
Patlatma Testi		Basınç Yükseltici Silindir
		Hidrolik Pompa
		Basınç Sensörü
Ortak	Ortak	Yağ Tankı
		Hidrolik Kontrol Bloğu

3.2.1.1.Yağ tankı tasarımı ve yağ seçimi

Tez çalışmasında uygulanan bütün testler için ISO 3968 standardında belirtilen yağ tankı özellikleri örnek alınmıştır. Bu standartta yağ tankının konik tabanlı olması istenmiş ve yağ tankının test için kullanılacak azami debinin bir ila iki katı arasında hacme sahip olması gerektiği vurgulanmıştır. Test cihazı tasarımı yapılırken daha büyük kapasitede filtrelerin test edilebilmesi de öngörülmüş ve yağ tankı hacmi 1400 litre olarak imal edilmiştir. Yağ tankı görseli Şekil 3.4'de verilmiştir.

Şekil 3.4. Yağ Tankı Tasarımı

Yorulma dayanımı testi ve patlatma testi için yağ özelliğinin bir önemi bulunmamaktadır. Bu sebeple yağ özelliğinin önemli olduğu fark basıncı testinde ISO 3968'de belirtilen özelliklerde yağ seçimi yapılmıştır. Yağ seçimi için belirtilen temel özellikler Tablo 3.5'de verilmiştir. Tablo 3.5'de belirtilen viskozite sınıfı, standartta 40^{o}C sıcaklığındaki yağın viskozite değerine göre belirlenmektedir. Sıcaklık değişiminin

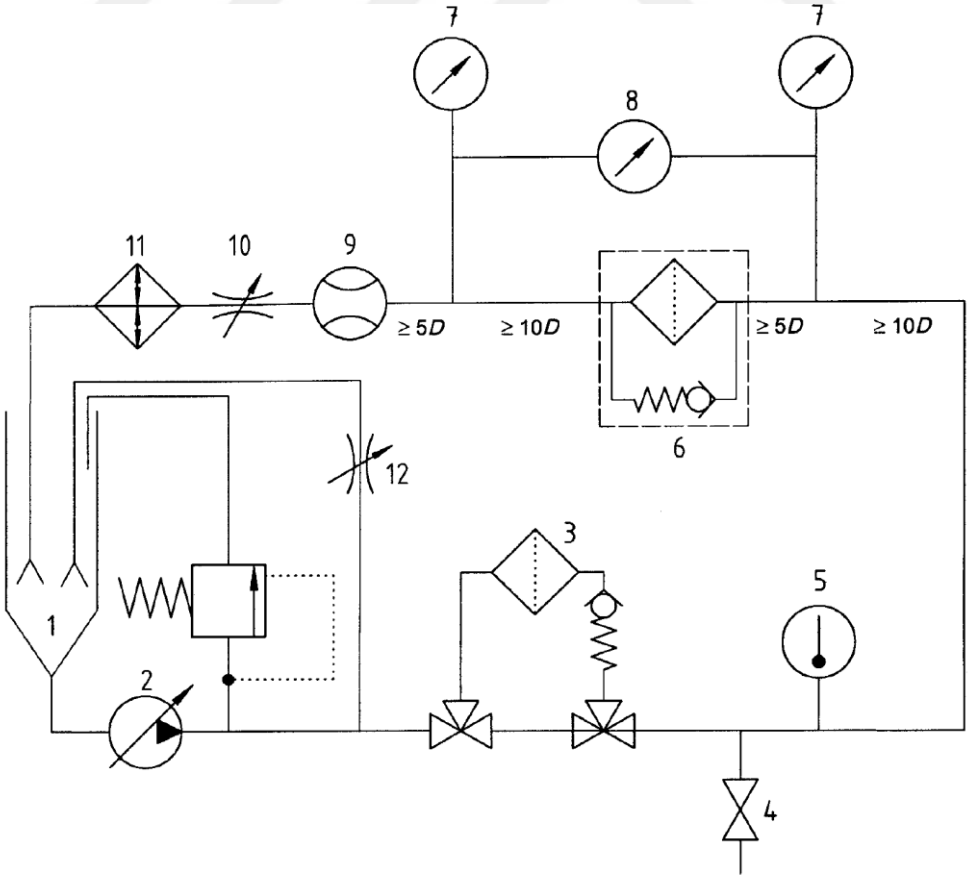
viskoziteye olan etkisi ve viskozite sınıflarına göre detaylandırılmış hali Şekil 1.10'de verilmiştir. Tez çalışmasında fark basıncı testleri 30mm^2/s – 100mm^2/s viskozite değerlerinde yapılmıştır. Bu sebeple istenilen viskozite değerlerine ulaşabilmek için yağın fazla ısıtılmadan ve soğutulmadan testlerin gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır.

Tablo 3.5. İstenen hidrolik yağ özellikleri

Teknik Özellik	**ISO 3968'de istenen**
Viskozite Sınıfı	VG 32
Viskozite İndeksi	95 – 105
Yoğunluk	850 – 900 kg/m^3

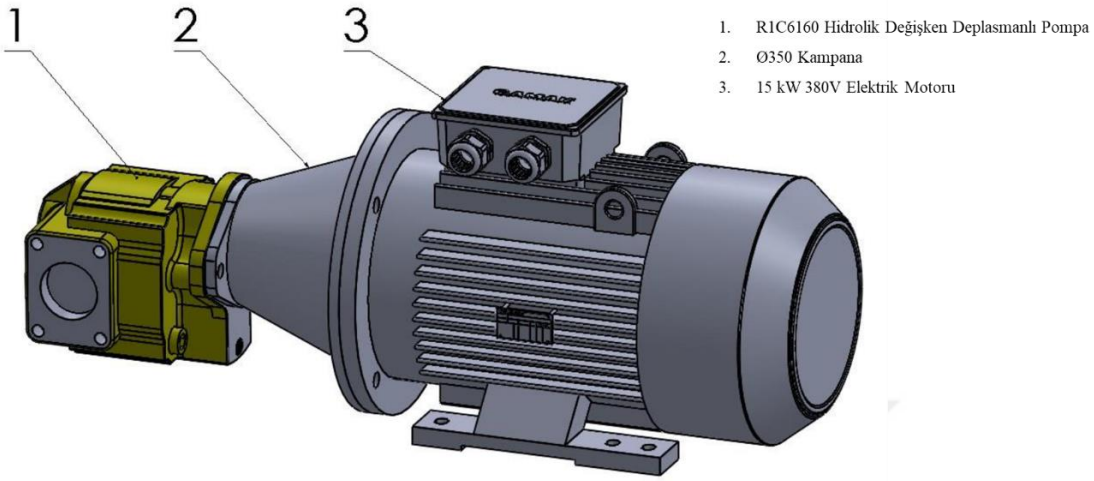
3.2.1.2.Pompa-motor seçimi

Fark basıncı testlerinde, 0 lt/dk debi değerinden başlayarak filtrenin çıkabileceği maksimum debi değerine kadar yükselmesi istenmektedir. Bu debi değeri belirlenirken fark basıncıda aynı şekilde kayıt edilmelidir. Bu sebep ile standart kapsamında değişken deplasmanlı pompa seçilmesi istenmiştir. Fark basıncı testi ile ilgili hidrolik şema Şekil 3.5'de verilmiştir.



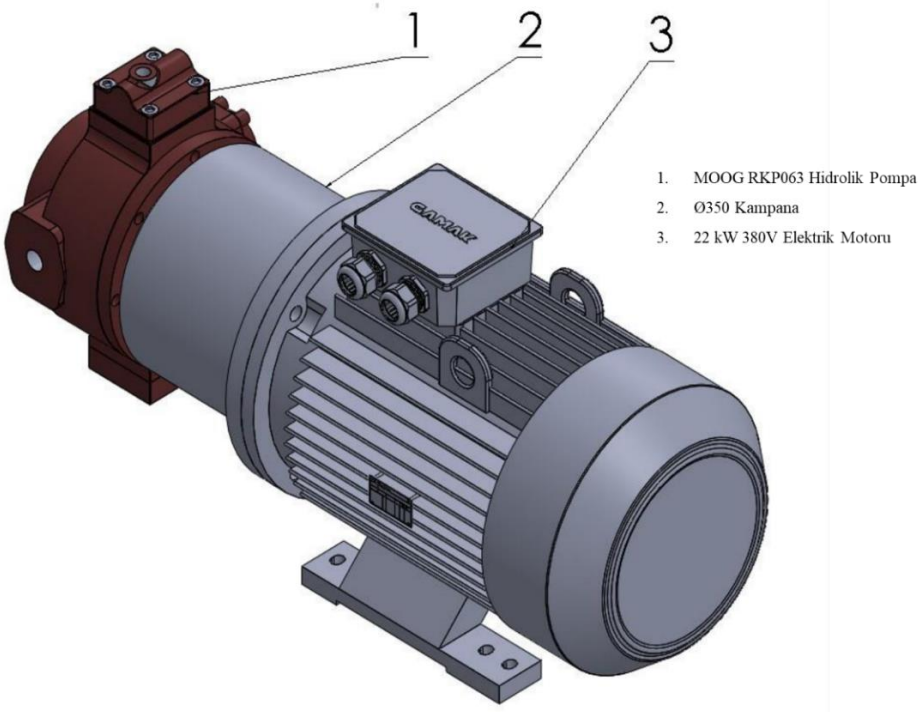
Şekil 3.5. ISO 3968 standardına göre fark basıncı testi hidrolik şeması [24]

İlerleyen zamanlarda yüksek akış kapasitesindeki hidrolik filtrelerin üretilmesi hedeflendiği için 1000 lt/dk'a kadar çıkabilen değişken deplasmanlı pompa seçilmiştir. Pompa görseli ve teknik özellikler Şekil 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.6. Fark basıncı testi pompa-motor bağlantısı

Yorulma ve patlatma testi için tek pompa-motor grubu kullanılması yeterlidir. Bu pompa-motor grubu, yorulma testinde kullanılacak puls üreticiye (Şekil 3.10) ve patlatma testinde kullanılacak basınç yükseltici silindire (Şekil 3.11) iletim sağlayacaktır. Kullanılan pompa, kampana ve elektrik motoru Şekil 3.7'de verilmiştir.



Şekil 3.7. Yorulma ve patlatma testi pompa-motor bağlantı grubu

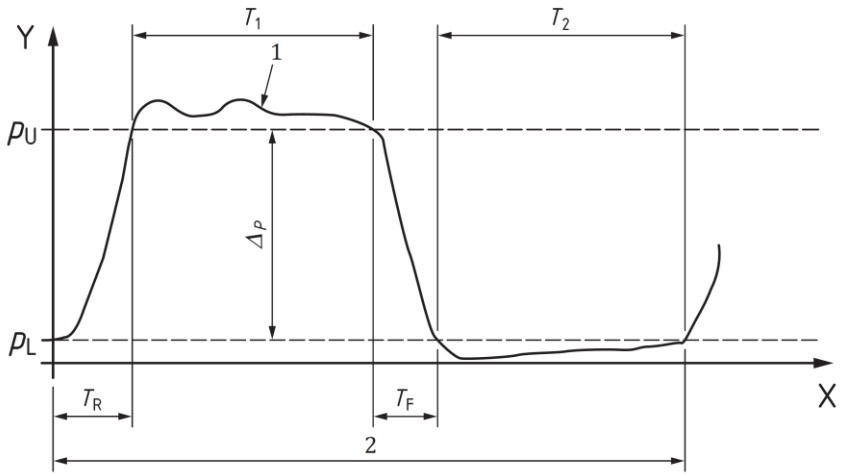
3.2.1.3.Sensör seçimi

Şekil 3.5'de belirtilen 8 numaralı figür fark basıncı sensörünü ifade etmektedir. Tez çalışmasında fark basıncını ölçebilmek amacıyla 10 bar fark basıncına kadar çalışabilen basınç sensörü kullanılmıştır. Aynı zamanda fark basıncı testinde anlık giriş ve çıkış basınçlarını görebilmek için iki ayrı manometre kullanılmıştır. Fark basıncı sensörü ve manometreler Şekil 3.8'de verilmiştir. Yorulma testi için sistem basıncını ölçebilen bir sensör ve patlatma test için yülseltici silindir basıncını ölçebilen bir sensör tercih edilmiştir.

Şekil 3.8. Fark basıncı sensörü ve filtre giriş çıkış hatlarına bağlanan manometreler

3.2.1.4.Puls üreticinin seçimi

Puls üretici, filtrenin iç kısmına basınç yüklemesi ve boşaltması yapacak olan sistem ekipmanıdır. ISO 10771-1 standardı kapsamında yapılacak olan yorulma dayanımı testinde istenilen basınç yükleme ve boşaltma sürelerinin sağlanabilmesi için sistem içerisinde bu ekipmanların kullanılması önem arz etmektedir. Standart kapsamında istenilen basınç yükleme ve boşaltma grafiği Şekil 3.9'da verilmiştir.



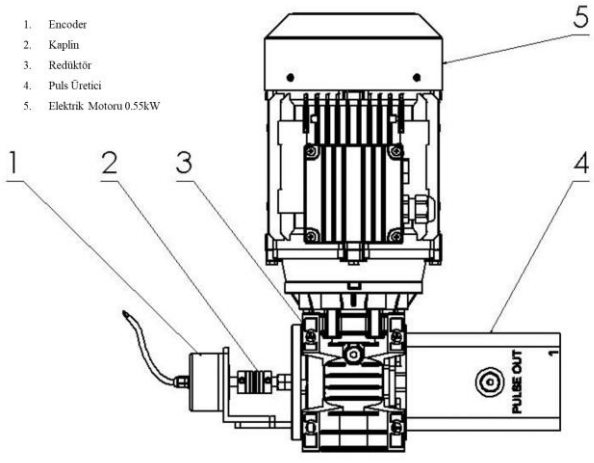
Şekil 3.9. Yorulma dayanımı basınç yükleme ve boşaltma grafiği

Şekil 3.9'da verilen grafik içerisinde belirtilen tanımların açıklamaları Tablo 3.6'de verilmiştir. [12]

Tablo 3.6. Test kapsamında istenilen basınç yükleme ve boşaltma süreleri [12]

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

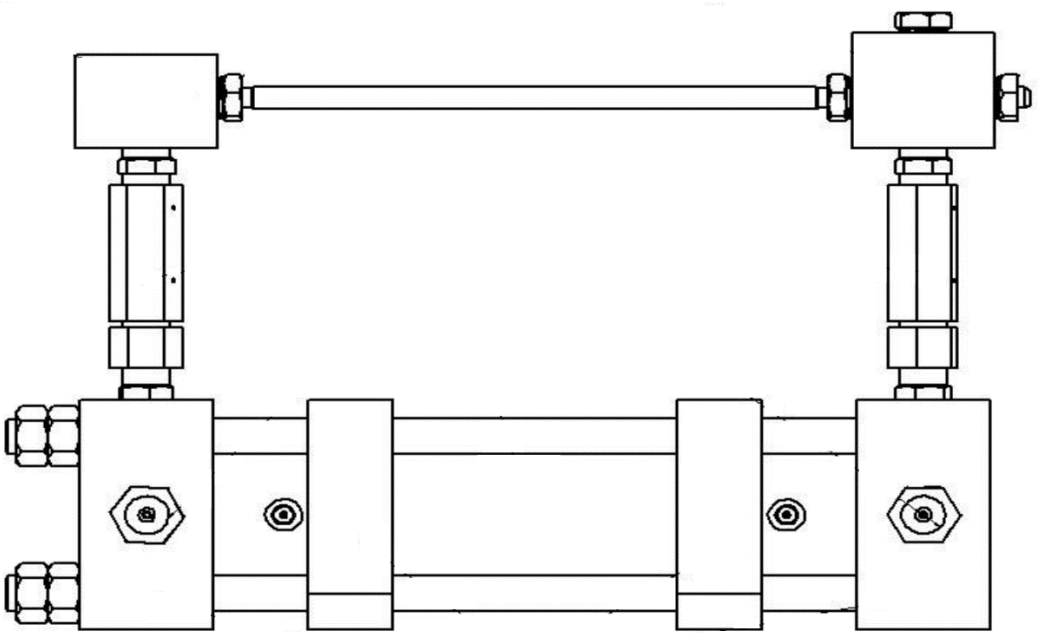
Test sisteminde kullanılan puls üreteci 10Hz frekansına kadar test yapabilecek şekilde tasarlanmıştır. Standart kapsamında 3Hz test yapılması yeterli görülmüştür. Pompa-motor hattına bağlanan puls üreteci Şekil 3.10'da verilmiştir.



Şekil 3.10. Puls üreteci hidrolik sistemi

3.2.1.5.Basınç yükseltici silindir seçimi

Literatürde filtrelerin patlatma basınçları işletme basıncının minimum 2,5 katı olacak şekilde tasarlanmaktadır. Bu oran askeri kara, deniz ve havacılık standartlarında da yer almaktadır. Basınç yükseltici ile temel olarak pompadan gelen akışın küçük çapa sahip olan bir hatta iletilmesi ile basıncın yükseltilmesi hedeflenmiştir. Tez çalışmasında kullanılan basınç yükselticinin yükseltme oranı 19,6'dır. Test makinesinde kullanılan basınç yükseltici Şekil 3.11'de verilmiştir.



Şekil 3.11. Patlatma testi basınç yülseltici

3.3.Testlerin Gerçekleştirilmesi

3.3.1. Fark basıncı testlerinin gerçekleştirilmesi

Hidrolik filtrelerin fark basıncı testleri toplamda 3 adımda gerçekleştirilmektedir. Bu test adımları sırası ile Tablo 3.7'de verilmiştir.

Tablo 3.7. Hidrolik filtre fark basıncı test adımları

Sıra No	Test Adımı	Açıklama
1	Sistem Testi	Test sisteminin oluşturduğu fark basıncını ölçmek için yapılan testtir.
2	Filtre Muhafaza Testi	Filtre elemanı olmadan yapılan, sadece filtre muhafazasının fark basıncı ölçmek için yapılan testtir.
3	Filtre Grubu Testi	Filtre muhafazasının içerisine filtre elemanı montajlanarak yapılan fark basıncı testidir.

Hidrolik filtrede oluşacak fark basıncı sistem fark basıncı ile birleştiğinde doğru sonuçlar belirlenemez. Bu sebeple hidrolik filtre fark basıncı testinde ilk olarak sistemin fark basıncı belirlenir. Ardından filtre muhafazasının fark basıncı testi yapılır ve otomatik olarak sistemin oluşturduğu fark basıncı filtre muhafazasının oluşturduğu fark basıncından çıkartılır. Son olarak filtre içerisine filtre elemanı montaj edilerek tüm filtre grubunun testi gerçekleştirilir. Ve bu teste elde edilen sonuca göre filtre muhafazası fark basıncı değerinden filtre grubu fark basıncı değeri çıkartılarak filtre elemanının fark basıncı değeri bulunur. Bu çıkartma işlemlerini test sistemi otomatik olarak gerçekleştirmektedir.

Fark basıncı testi ISO 3968'e göre gerçekleştirilmektedir. Tablo 3.7'de belirtilen her bir test aşamasında ISO 3968'e göre aynı adımlar uygulanır. Bu adımlar beyan edilen debi değeri ile belirlenmektedir. Kullanılan iki farklı filtre modelinin beyan debisi 63 lt/dk ve 250 lt/dk'dır. Bu iki farklı filtre modeline standart kapsamında uygulanan test debileri Tablo 3.8'de verilmiştir.

Tablo 3.8. ISO 3968'e göre test debi değerleri

Standart debi katsayısı	**Model 1: 63 lt/dk**	**Model 2: 250 lt/dk**
0,2	63*0,2=12,6	250*0,2=50
0,4	63*0,4=25,2	250*0,4=100
0,6	63*0,6=37,8	250*0,6=150
0,8	63*0,8=50,4	250*0,8=200
1,0	63*1,0=63,0	250*1,0=250
1,2	63*1,2=75,6	250*1,2=300

Tablo 3.8'de belirtilen test debi değerleri PLC sistemine otomatik olarak tanımlanmış ve Tablo 3.7'de verilen her bir test adımında bütün standart debi katsayıları sırası ile filtreye uygulanmaktadır. Her bir debi değerinde fark basınçları otomatik olarak kaydedilmektedir. Test sürecinde alınan program görüntüsü Şekil 3.12'de verilmiştir.

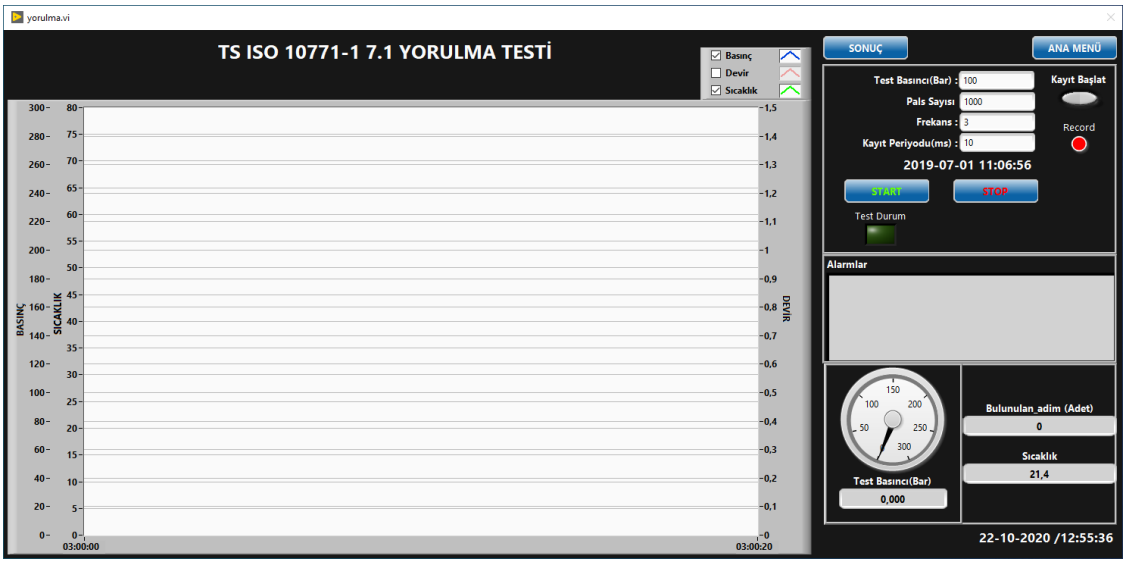
Şekil 3.12. Fark basıncı testi programı ekran görüntüsü

Test programında beyan debisi ve filtrenin kodu ana sayfada tanımlanır ve sonrasında istenilen test tıklanarak o teste ait olan özelliklerin bulunduğu alt bölüme geçilir. Ana sayfada belirlenen beyan debisinin 1,2 katı, otomatik olarak bu alt bölümdeki filtre debisi kısmına yazılmış olur. Bu değer bize sistemin belirtilen debiye kadar çıkacağını göstermektedir. Adım sayısı ise standartta belirtilen katsayısı adedine göre (Tablo 3.8) 6 olarak belirlenmiştir. Test makinesi, test ara yüzünde belirlenen adım geçiş sürelerine göre bu debi değerlerini sırası ile uygular ve kayıt periyodu süresine göre fark basınçlarını kayıt altına alır. Bu şekilde bütün test adımları sırası ile tekrar edilir ve sonuç test raporuna kaydedilir.

Fark basıncı testlerinde VG 46 yağ kullanılmıştır ve test viskozitelerine göre yağ sıcaklığı ayarlanmıştır. Şekil 1.10'a bakıldığında 30mm^2/s viskozite değeri 50^{o}C'ye denk gelirken 100mm^2/s viskozite değeri 25^{o}C'ye denk gelmektedir. Test sırasında ısıtma ve soğutma sistemleri ile gerekli sıcaklıklar sürekli kontrol edilmekte ve stabil bir şekilde tutularak testler gerçekleştirilmektedir.

3.3.2. Yorulma testinin gerçekleştirilmesi

Hidrolik filtre yorulma testleri ISO 10771-1 standardı kapsamında gerçekleştirilmektedir. Bu standart kapsamında uygulanması gereken yorulma yükü grafiği Şekil 3.9'da verilmiştir. Yorulma testi bağlantıları sağlandıktan sonra, yorulma yüküne uygun olarak tasarlanan hidrolik sistem çalıştırılır. Yorulma testi ile ilgili ara yüz Şekil 3.13'de verilmiştir.



Şekil 3.13. Yorulma testi ara yüzü

Yorulma testinde ilk tanımlanan girdi test basıncıdır. Test basıncı belirlendikten sonra istenilen çevrim sayısı girilir. Standart kapsamında belirtilen çevrim sayısı 10^5 ile 10^7 arasındadır. Ardından standardın minimum istemiş olduğu frekans değeri girilir ve sistemin veri kayıt periyodu belirlenerek test başlatılır. Yorulma testi olduğu için sistem yağı yüksek sıcaklıklara çıkabilmektedir. Bunun için test sırasında istenilen maksimum sıcaklık değeri tanımlanır ve bu sıcaklığı değerinin üzerine çıkılmaması istenir. 3 Hz test frekansı ile 10^6 çevrim sayısına ulaşmak yaklaşık olarak 4 günü bulmaktadır. 4 gün boyunca test makinesinin aralıksız çalışması sağlanmıştır. Yorulma testinde önemli olan, Tablo 3.6'da verilen periyod sürelerine uygun bir şekilde testin gerçekleştirilebilmesidir. Çünkü hidrolik filtre üretiminde kullanılan malzemenin yüksek frekanslarda maruz kaldığı basınçlara olan dayanımı irdelenebilmektedir.

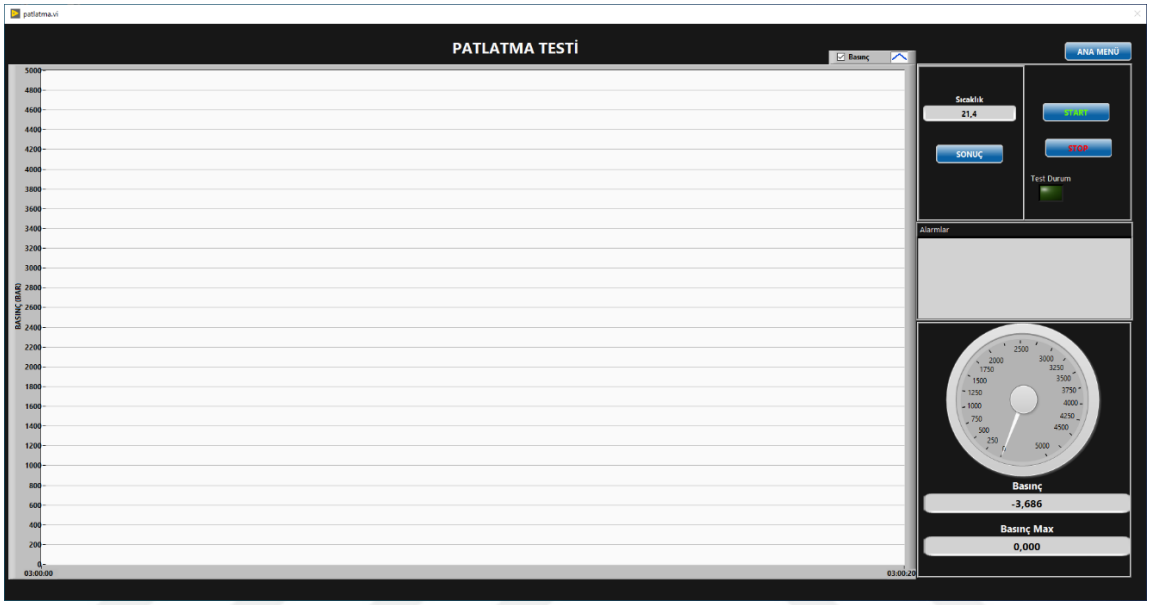
Tez çalışmasında kullanılan iki farklı modelin çalışma basınçları aynı olduğu için iki filtreye de aynı yorulma basıncı değeri uygulanmıştır. Test süresince herhangi bir makine kapağının açılması durumunda test ani olarak durmaktadır. Yorulma test sisteminde ağır seri olarak adlandırılan yüksek basınca dayanıklı hidrolik rekorlar kullanılmıştır.

3.3.3. Patlatma testlerinin gerçekleştirilmesi

Hidrolik filtrelerin patlatma testleri korunaklı bir kabin içerisinde gerçekleştirilmektedir. Patlatma basıncı silindirinin basınç yükseltme katsayısı 19,6'dır ve patlatma tertibatındaki pompanın işletme basıncı 280 Bar'dır. Buna göre sistemde

kullanılan pompa ile 5488 Bar'a kadar yükseltme yapılabilmektedir. Emniyet için sistemdeki maksimum basınç 2500 Bar ile sınırlandırılmıştır.

Sistem yüksek basınçlara çıktığı için güvenlik koruması da yüksektir. Hidrolik filtreler patlatma tesisatına metal sızdırmazlık elemanları ile montaj edilir. Ardından kapılar tamamen kapatılır ve programdan test ayar sayfasına geçilir. Test ayar bölümü Şekil 3.14'de gösterilmiştir.



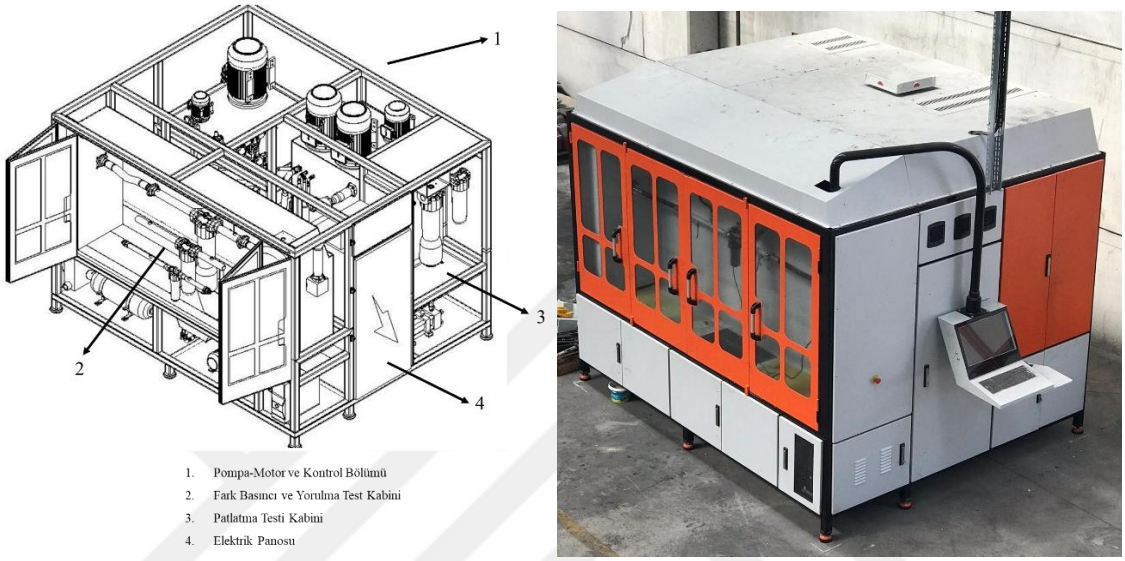
Şekil 3.14. Patlatma testi ayar sayfası

Test başlamadan önce filtrenin üzerinde bulunan mekanik indikatör bölümü açık bırakılır ve test numunesinin içinin tamamen yağ ile dolması sağlanır. Bu işlem içeride havanın sıkışmasını engellemek için yapılmaktadır. Çünkü sıkışan hava ile patlatma değerinde farklılıklar oluşabilmektedir. Dolum sağlandıktan sonra konik bir kör tapa ile açık olan bölüm kapatılır ve test başlatılır. Korumalı kabin içerisinde bulunan bir kamera yardımı ile filtre takip edilir. Yavaş yavaş yükselen test basıncı filtrenin patlama basıncına geldiğinde muhafazayı patlatır ve patlama ile ani bir basınç düşüşü meydana gelir. Sistem bu ani basınç düşüşünü algılayarak kendiliğinden testi bitirir. Test tamamlandıktan sonra gerekli görsel kontroller gerçekleştirilmiştir.

4.ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Test Makinesi Nihai Tasarımı

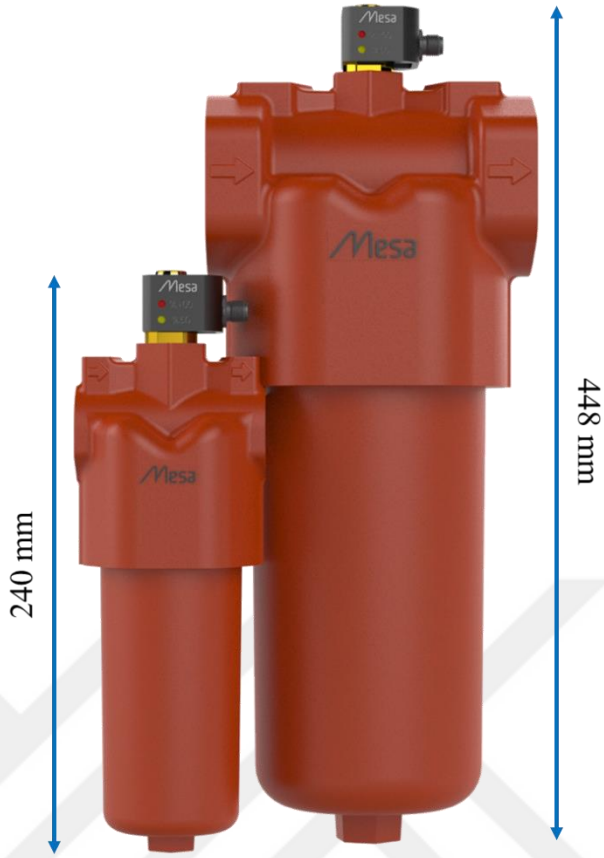
Hidrolik filtre test cihazı, pompa-motor ve kontrol bölümü, fark basıncı ve yorulma testi kabini, patlatma testi kabini ve elektrik panosu olmak üzere 4 bölümden oluşmaktadır. Test makinesinin genel tasarımı ve tamamlanmış hali Şekil 4.*1*'de verilmiştir.



Şekil 4.1. Test makinesi nihai tasarımı ve imal edilmiş görüntüsü

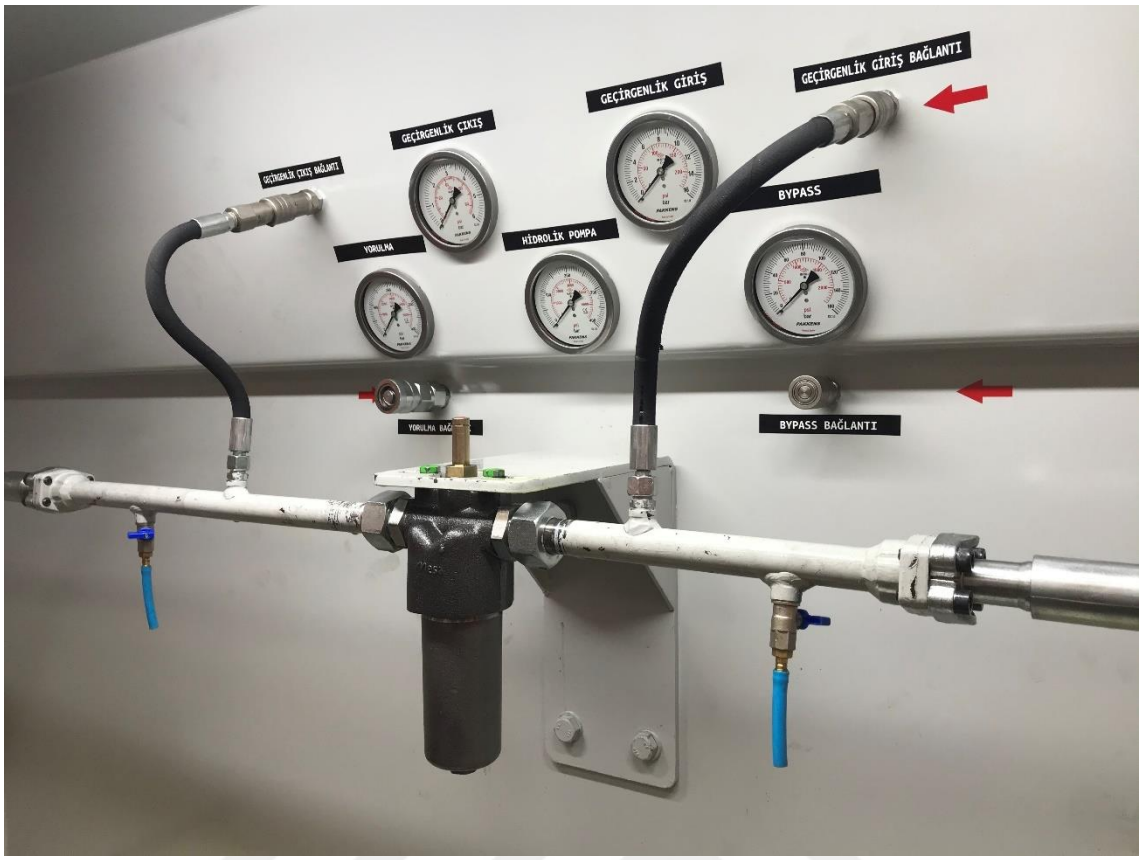
4.1.1.Fark basıncı ve yorulma dayanımı test kabin tasarımı

Hidrolik filtre test cihazı, fark basıncı testi için temel olarak 1000 litre/dakika debi değerine kadar çıkabilecek filtreleri test edebilmek için tasarlanmıştır. Tez çalışması kapsamında 63 lt/dk ve 250 lt/dk debi değerine kadar çıkabilen iki farklı hidrolik filtrenin testleri gerçekleştirilmiştir. Test edilen filtrelerin dış ölçüleri Şekil 4.2'de verilmiştir.

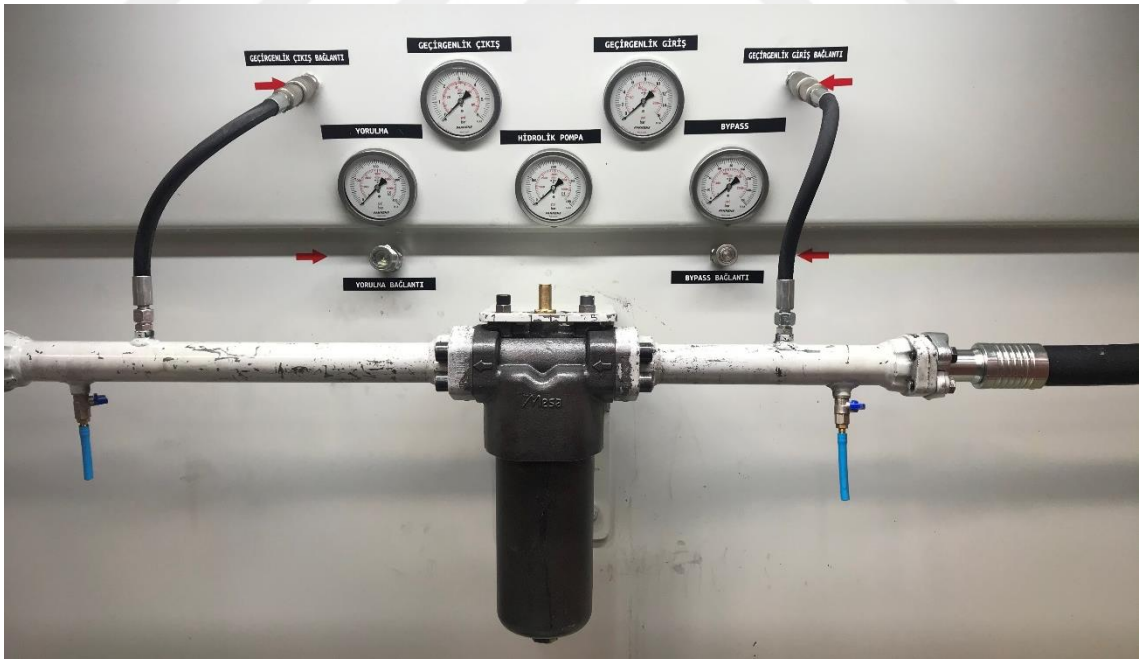


Şekil 4.2. Test edilen farklı filtre modellerinin yükseklikleri

Fark basıncı ve yorulma dayanımı test kabini ISO 3968 standardında bulunan yönergelerden dolayı uzun tasarlanmıştır. Bu yönerge, fark basıncını ölçecek sensörlerin filtreden belirli bir mesafe uzakta olmasını baz almaktadır. Bu mesafeyi de test esnasında kullanılan boru çaplarına göre belirlemektedir. Sensör bağlantılarının filtreden belirli bir uzaklıkta olmasının sebebi ise filtreye yakın bölgelerde türbülanslı akışın oluşabilmesi riskidir. Bu sebeple belirlenen mesafeler ölçümün daha sağlıklı yapılmasını garanti etmektedir. Şekil 3.5'de belirtilen 6 numaralı figür test edilecek filtreyi sembolize etmektedir. 6 numaralı figürün sağında ve solunda bulunan "≥5D" ve "≥10D" ibareleri ise boru çapına göre fark basıncı sensörlerinin (7 numaralı figürler) konumlandırılacağı mesafeyi göstermektedir. Boru çapları 63 lt/dk olan modelde 250 lt/dk olan filtre modeline göre daha küçüktür. Bu sebeple yukarıda belirtilen ölçüm mesafeleri de farklılık göstermektedir. İki ayrı model için iki farklı ölçüm aparatı tasarlanıp imal edilmiştir. Test sistemine akuple edilmiş 63 lt/dk filtre modeli Şekil 4.3'de verilmiştir. 250 litre filtre model için ise Şekil 4.4'de verilmiştir. Boru çaplarındaki ve sensör mesafelerindeki değişimler görülebilmektedir. [24]



Şekil 4.3. 63 lt/dk fark basıncı testi bağlantı özelliği



Şekil 4.4. 250 lt/dk fark basıncı testi bağlantı özelliği

Hidrolik filtrenin, yorulma dayanımı testi sırasında gözlemlenebilmesi ve anlık olarak teste müdahale edilebilmesi önem arz etmektedir. Bu sebeple fark basıncı ve yorulma dayanımı test bölgesi tek bölge olarak tasarlanmıştır. Aynı zamanda yorulma

dayanımı testinde uygulanan yüksek frekanstaki basınç genliklerinin test makinesine zarar vermemesi için mukavemetli bir ara aparat tasarlanmıştır. Yorulma testi bağlantısı Şekil 4.5‘de verilmiştir.

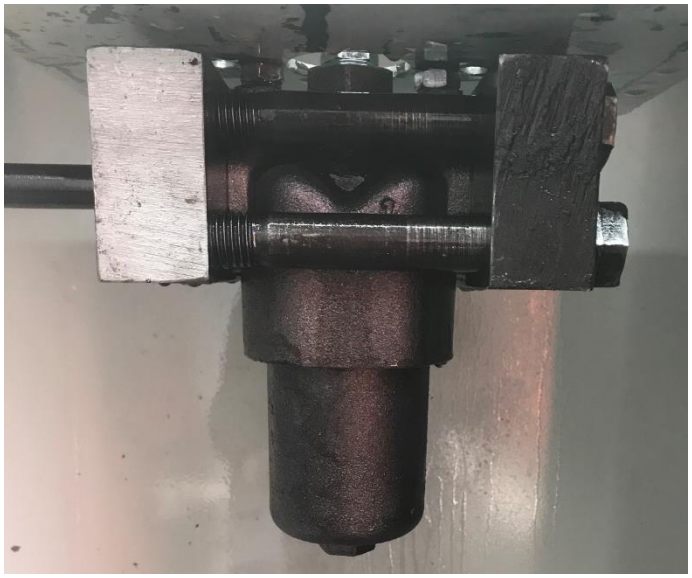
Şekil 4.5. Yorulma dayanımı test bağlantısı

4.1.2.Patlatma testi kabin tasarımı

Patlatma testinde kullanılan basınç yükseltici silindir 2500 Bar’a kadar çıkabilmektedir. Hidrolik filtrelerin çalışma basıncı 450 Bar olarak belirlenmiş ve minimum 3 katı patlatma basıncına sahip olması hedeflenmiştir. Buna göre filtrelerin 1350 Bar ve üzerinde bir patlama sonucu vermesi gerekmektedir. Basınçların çok yüksek olmasından dolayı patlatma test kabini ayrı bir bölüm olarak tasarlanmıştır. Patlatma kabini kalın çelik malzemeler ile çevrelenmiş ve testin yapılabilmesi için kapıların kapalı

olduğunu kontrol eden sensörler kullanılmıştır. Aynı zamanda yüksek basınca dayanabilen hat tertibatı imal edilmiş ve sisteme entegre edilmiştir. Patlatma test kabini Şekil 4.6'da verilmiştir. Test için hazırlanan bir filtre modeli ise Şekil 4.7'de verilmiştir.

Şekil 4.6. Patlatma test kabini



Şekil 4.7. Patlatma testi filtre montajı

4.2. Kullanılan Malzemenin Doğrulanması

4.2.1. Spektral analiz ve mikro yapı sonuçları

Seçilen malzemenin doğruluğu patlatma ve yorulma dayanım testlerinin sonuçlarını etkilemektedir. Bu sebep ile tez çalışmasında belirlenen malzemenin spektral analizleri ve mikro yapı kontrolleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler ve mikro yapı kontrollerine göre malzemenin EN-GJS-500-7 olduğu doğrulanmıştır. Spektral analiz ve mikro yapı kontrolleri Şekil 4.8'de verilmiştir.

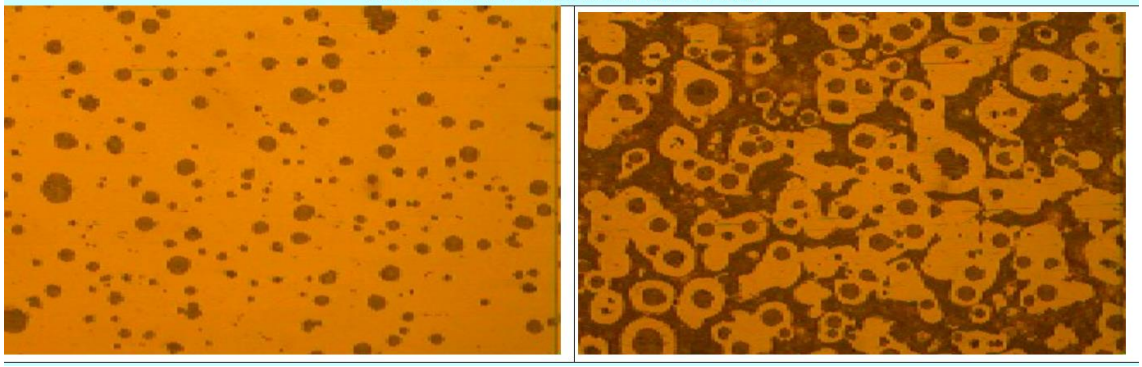
	METALURJİK MUAYENE RAPOR/ METALURGICAL INSPECTION REPORT	Sayfa (*Page*):1/1 Rev.Tarihi(*Date*):06.08.2020 Rev.No (Rev. *No.*): 01

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



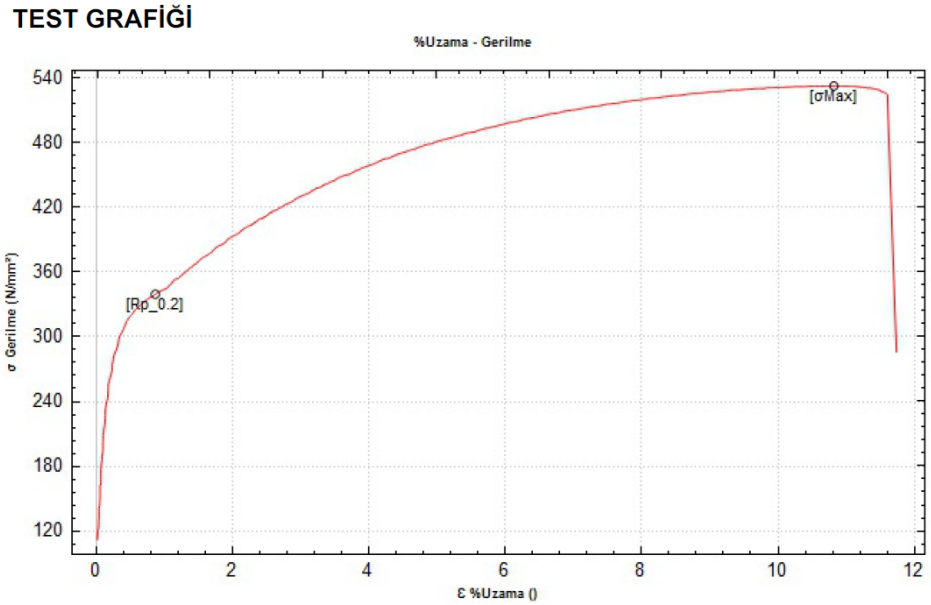
Şekil 4.8. Spektral analiz ve mikro yapı kontrolleri

4.2.2. Çekme testi sonuçları

Çekme testlerinde EN-GJS-500-7 sfero döküm malzemesinin akma mukavemeti, çekme mukavemeti ve uzama değerleri gibi mekanik özellikleri belirlenmiştir. Çekme testi sonuçlarına göre Tablo 3.2'de verilen mekanik özellikler elde edilmiştir. Çekme testinin yapıldığı hidrolik çeneli test makinesi Şekil 4.9'da gösterilmiş ve çekme testi tamamlanmış bir numune Şekil 4.*10*'da verilmiştir. Bu test makinesinden alınan grafik Şekil 4.11'de verilmiş ve oluşan verilere göre tablo oluşturulmuş. Sonuçlar 'de sunulmuştur.

Şekil 4.9. Çekme test makinesi (600kN)

Şekil 4.10. Çekme testi numunesi ve çekilen numune



Şekil 4.11. Çekme testi grafiği (EN-GJS-500-7)

Tablo 4.1. Çekme test sonuçları

Çekme Mukavemeti	Akma Mukavemeti	Uzama (%)	Sertlik (Brinell)
532,30 N/mm^2	339,25 N/mm^2	11,7	201

4.3. Fark Basıncı Test Sonuçları

Fark basıncı testleri, standart kapsamında istenilen adımlar uygulanarak tamamlanmıştır. Tez çalışmasında kullanılan iki farklı modelin 25ºC yağ sıcaklığında yapılan test sonuçları Tablo 4.2'de ve 50ºC yağ sıcaklığında yapılan test sonuçları ise Tablo 4.3'de verilmiştir. Tablo 3.7'de bahsedilen sistem testinde elde edilen fark basıncı değerleri otomatik bir şekilde diğer test değerlerinden çıkartıldığı için aşağıdaki tabloya eklenmemiştir.

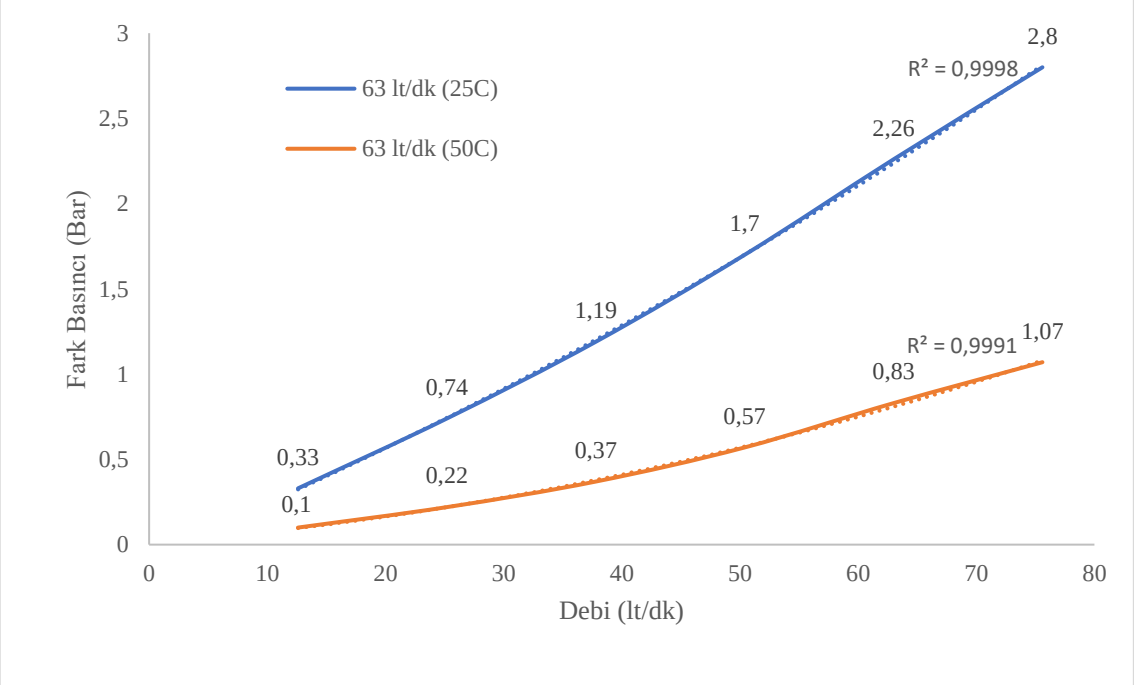
Tablo 4.2. 25ºC yağ sıcaklığında fark basıncı test sonuçları

Test Adımları (Standart debi katsayıları)	Filtre Muhafazası		Filtre Grubu		Filtre Elemanı	
	63lt/dk	250lt/dk	63lt/dk	250lt/dk	63lt/dk	250lt/dk
0,2	0,03	0,02	0,33	0,31	0,30	0,30
0,4	0,08	0,06	0,74	0,69	0,66	0,63
0,6	0,16	0,13	1,19	1,14	1,04	1,01
0,8	0,25	0,19	1,70	1,60	1,14	1,11
1,0	0,40	0,28	2,26	2,26	1,86	1,98
1,2	0,56	0,42	2,80	2,91	2,25	2,49
NOT: Değerler Bar birimindendir.						

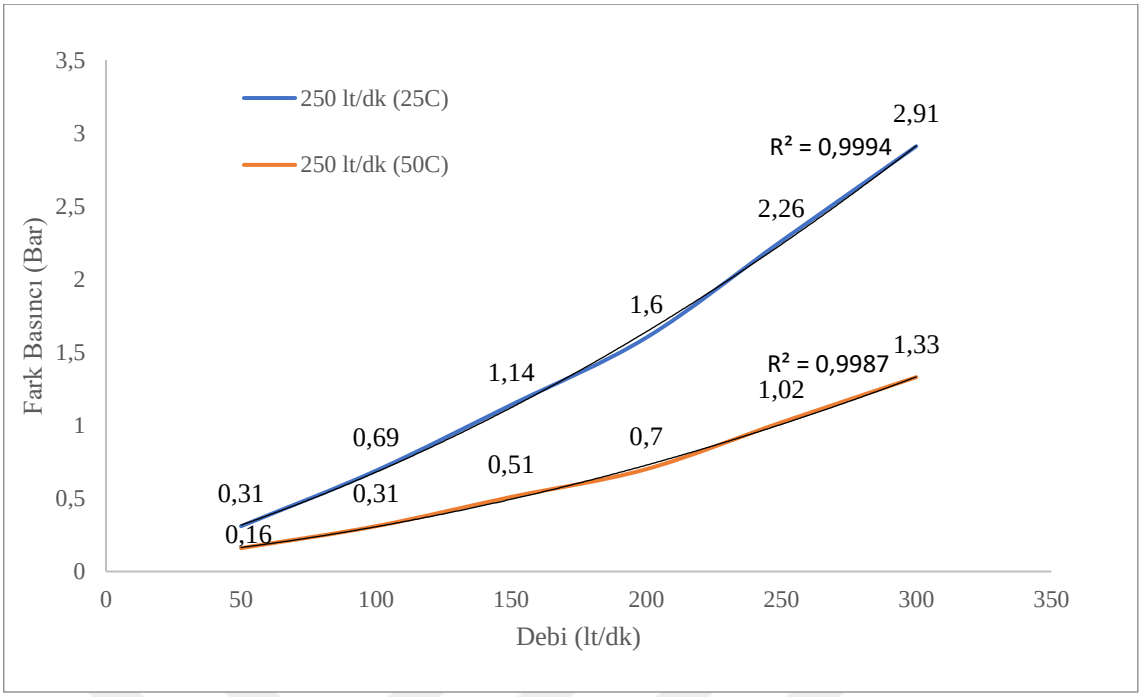
Tablo 4.3. 50ºC yağ sıcaklığında fark basıncı test sonuçları

Test Adımları (Standart debi katsayıları)	Filtre Muhafazası		Filtre Grubu		Filtre Elemanı	
	63lt/dk	250lt/dk	63lt/dk	250lt/dk	63lt/dk	250lt/dk
0,2	0,03	0,03	0,10	0,16	0,07	0,14
0,4	0,05	0,05	0,22	0,31	0,18	0,26
0,6	0,10	0,11	0,37	0,51	0,27	0,40
0,8	0,20	0,18	0,57	0,70	0,30	0,44
1,0	0,33	0,28	0,83	1,02	0,50	0,74
1,2	0,47	0,41	1,07	1,33	0,61	0,92
NOT: Değerler Bar birimindendir.						

Fark basıncı test sonuçları incelendiğinde viskozitenin artış göstermesi ile fark basıncının yükseldiği görülmektedir. Beyan edilen debilerin 1,2 katına kadar çıkartılan test debisinde elde edilen sonuçlar genel olarak literatürde kabul edilen 1,5 Bar'ın altında kalmaktadır. 1,5 Bar değeri, basınç hatlarında istenilen maksimum basınç kaybı değerini ihtiva etmektedir. İki farklı modelin filtre grubu akış karakteristik eğrileri Şekil 4.12'de ve Şekil 4.13'de verilmiştir.



Şekil 4.12. 1.Model karakteristik eğrileri



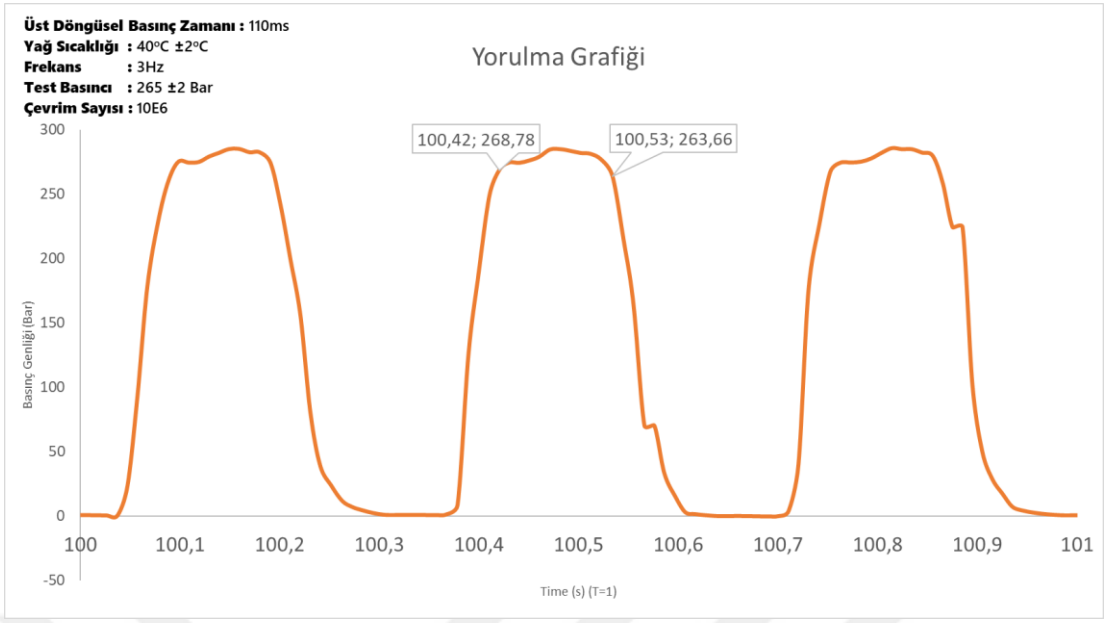
Şekil 4.13. 2.Model karakteristik eğrileri

4.4. Yorulma Test Sonuçları

10771-1 standardı kapsamında filtrelere uygulanan testlerin yorulma grafiği Şekil 4.14'de verilmiştir. Grafikte görüldüğü üzere bir saniyede filtre üç kez basınç altında kalmaktadır ve basınç altında kalma süresi (p_u) 110ms'dir. Tablo 3.6'ya göre üst döngüsel test basıncı bir periyodun minimum %30'u kadar olmalıdır ve bu değerin test makinesinde sağlanabildiği Şekil 4.14'de görülmektedir. Hidrolik filtreler 4 gün boyu süren yorulma testlerinde toplamda 10^6 çevrim sayısına ulaşmıştır. ISO 10771-1 standardı kapsamında yapılan testlerden sonra filtrelerin başarısızlık kriterleri de standart kapsamında yer almaktadır. Bu başarısızlık kriterleri aşağıda verilmiştir;

- Filtre dış kısmına sızıntı
- Filtre iç kısmında sızıntı
- Materyal ayrılmaları (çatlaklar vb.)

Hidrolik filtreler başarısızlık kriterleri göz önüne alınarak incelenmiş, herhangi bir dış ya da iç kaçak ile karşılaşılmamış ve materyal ayrılması gözlemlenmemiştir.



Şekil 4.14. Yorulma test grafiği (3Hz)

4.5. Patlatma Testi Sonuçları

Hidrolik filtreler patlatma aparatları yardımı ile sisteme entegre edilmiş ve gerekli test adımları uygulanarak patlatılmıştır. Patlatma testleri sırasında veri toplama sisteminin bir örneği Şekil 4.15'de verilmiştir. Test ara yüzünde kamera ile patlatma numunesi incelenebilmekte ve patlatma anı tespit edilebilmektedir. 63 lt/dk olan filtre modelinin patlatma sonucu 1450 Bar olarak gerçekleşmiştir. 250 lt/dk debi kapasitesinde üretilen 2.model ise 1500 Bar'da patlamıştır. Patlatma değerleri filtre çalışma basıncının 3 katından daha fazla olduğu görülmektedir. Patlatılmış numuneler Şekil 4.16'da verilmiştir.

Şekil 4.15. Patlatma testi ara yüzü

Şekil 4.16. Patlatılmış filtre modelleri

5.SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1.Sonuçlar

Hidrolik, birçok sektörde yoğun bir şekilde tercih edilen ve yüksek güç gerektiren işler için kullanılan sistemler bütünüdür. İnsan gücünün üzerinde güç gerektiren işlerde kullanıldığı için insan hayatını kolaylaştırmaktadır. Hidrolik sistemlerin tasarımları, kullanıldığı sektörlere ve sektörlerde istenilen iş kapsamlarına bağlı olarak farklılaşmaktadır. Sistemin tasarım kriterleri, yapılacak iş ve sistemin içerisinde bulunduğu çevresel koşullardan oluşturmaktadır. Bu tasarım kriterleri temel olarak yapılacak işte kullanılacak güç, hız, tekrar ve hizmet ömrü parametrelerinden oluşmaktadır. Bu parametreler sistemde kullanılacak ekipmanların seçiminde kritik rol oynamaktadır. Hidrolik sistemlerin hizmet ömrünün uzun olması, içerisinde kullanılan hidrolik yağın mümkün olduğu kadar temiz tutulabilmesine bağlıdır. Hidrolik filtreler sistem içerisinden ve dış çevresel koşullardan dolayı kirlenen hidrolik yağı temizleyerek ekipman arızalarının büyük ölçüde önüne geçerler ve servis ömrünü maksimuma çıkarırlar.

Tez çalışması kapsamında basınç hattında kullanılan hidrolik filtrelerin tasarım kriterlerinin belirlenmesi ve bu tasarım kriterlerinin uluslararası test standartları kapsamında doğrulanabilmesi için test makinesi tasarım ve imalat çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Çalışmada test standartları detaylı olarak analiz edilmiş ve istenilen test koşulları belirlenerek 2500 Bar'a kadar patlama basıncı testi, 280 Bar ve 10Hz'e kadar yorulma dayanımı basıncı testi ve 800 lt/dk'a kadar fark basıncı testi yapabilecek "hidrolik filtre test makinesi" imal edilmiştir. İki farklı basınç hattı filtresi modeli üzerinde uygulanan patlatma, fark basıncı ve yorulma dayanımı testlerinin sonuçları kaydedilmiş ve standartlara göre yorumlanmıştır. Filtrelerin minimum 10E6 çevrim sayısında herhangi bir deformasyona uğramadığı ya da sızıntı oluşturmadığı tespit edilmiştir. Tasarlanan filtre modellerinin çalışma basınçları 450 Bar olarak belirlenmiş ve patlatma testleri gerçekleştirilmiştir. Patlatma testleri sonucunda iki modelinde işletme basıncının 3 katından daha fazla (1350 Bar ve fazlası) patlatma basıncına sahip olduğu gözlemlenmiştir. İki ayrı filtre modeli için 50^{o}C yağ sıcaklığında yapılan fark basıncı test sonuçları maksimum 1,5 Bar seviyesinin altında kalmış ve filtrelerin akış karakteristikleri belirlenmiştir.

5.2.Öneriler

Tez çalışması kapsamında hidrolik basınç hattı filtrelerinde kullanılan malzemenin farklı reçetelerde denemeleri yapılabilir. Patlatma ve yorulma dayanımları uluslararası standartlarda istenilen seviyenin üzerinde kaldığı zaman ürün üzerinde optimizasyon çalışmaları yapmak gerekir. Optimizasyon çalışmasının sebebi, maliyeti optimum şekilde tutup, ürünün kalitesinden ve karakteristik özelliklerinden ödün vermeden pazarda rekabetçi olabilmektir. Ayrıca gerekli malzeme çalışmalarının yapılması ile daha yüksek işletme basınçlarında çalışabilen basınç hattı hidrolik filtreleri üretilebilir. Aynı zamanda filtre başlık ve tüp kısımlarının özel tasarımlar ile iç akış karakteristiğini iyileştirmekte mümkündür. Günümüzde bu iç yapıyı düzenleyerek daha iyi akış karakteristiği ve buna bağlı daha az fark basıncı elde edilen ürünler bulunmaktadır. Filtrelerin içerisinde kullanılan filtre elemanları ise birçok farklı üretim detayına sahiptir. Hidrolik yağ filtrelemek için kullanılan kağıtların ülkemizde üretimi bulunmamakta ve tamamı ile yurtdışından ithal edilmektedir. Bu ürünlerin istenilen kalitede üretilebilmesi ve istenilen sonuçları verebildiğinin görülebilmesi için gerekli olan laboratuvar yatırım maliyetleri oldukça yüksektir. Sürekli olarak yurtdışından ithal edilen bir ürünü yerlileştirmek ülkemiz için oldukça faydalı sonuçlar doğuracaktır.

6.KAYNAKLAR

[1] Akyazı Ö. and Çokrak D., 2011, Pnömatik ve Hidrolik Sistem Uygulamaları, Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu

[2] MEGEP, 2007, Elektrik ve Elektronik Teknolojisi, Hidrolik Sistemler

[3] Hidrolik Yağ Görseli, https://www.machinerylubrication.com/Read/30048/zinc-hydraulic-oils, [Ziyaret Tarihi: 20 Eylül 2020].

[4] Aykaç S., 2011, Pnömatik – Hidrolik

[5] Totten G. and Negri V., 2012, Handbook of Hydraulic Fluid Technology

[6] Parker Filtration Handbook

[7] Pall Filtration Handbook

[8] Rexroth, 2017, Axial Piston Variable Pump Technical Document, page 5

[9] ISO 4406, Hidrolik akışkan gücü-Akışkanlar-Katı taneciklerle kirlenme seviyesinin kodlama metodu

[10] https://www.makinaegitimi.com/hidrolik-filtre-secimi/ [Ziyaret Tarihi: 01 Ekim 2020]

[11] https://www.wikiwand.com/en/Cavitation# [Ziyaret Tarihi: 15 Ağustos 2020]

[12] TS ISO-10771-1:2015, Hidrolik akışkan gücü – Basınç altında çalışan metal mahfazaların yorulma basıncı deneyi

[13] Filter and Filtration Handbook, Filter Selection, Process, Design, Testing, Optimization and Troubleshooting Guidelines

[14] Pall Filtration Handbook

[15] Tanzer Ö.T., 2001, Hidrolik Ünitelerde ve Yağlama Sistemlerinde Bakım ve İşletme Maliyetlerinin Filtrasyon Yoluyla Azaltılması

[16] B. Aruljothi* and A. M. Junaid Basha, 2014, Multipass Performance of Different Medias in Aircraft Hydraulic Filters, Indian Journal of Science and Technology, Vol 7(4), 447–451

[17] Gahgah M. and Bouzaouit A., 2018, Statistical Analysis of the Pollution of a Hydraulic Oil Based on the Evolution of the Filter Clogging on the Pressure Pipe, Hidraulica

[18] Gorle J.M.R., V-M. Heiskanen, S. Nissi, M. Majas, Effect Of Temperature, Flow Rate And Contamination On Hydraulic Filtration,doi: 10.17973/MMSJ.2018_10_201852

[19] 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

[20] 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.

[21] Park M., 2001, Fatigue failure of a hydraulic filter head, Engineering Failure Analysis 9 (2002) 435–450

[22] EN 1563:2018, Founding, Spheroidal graphite cast irons

[23] Çetin A., Çelenkoğlu P., Tunç B., Comart A., SSF ve CGI'ın Birleşimi: Çözelti Sertleştirmeli Ferritik Vermiküler Grafitli Dökme Demirlerin Üretimi ve Özellikleri, Tudöksad Akademi 10.Uluslarası Döküm Kongresi

[24] ISO 3968:2017, Hydraulic fluid power - Filters - Evaluation of differential pressure versus flow

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Safa Eldek

Uyruğu : Türkiye Cumhuriyeti

Doğum Yeri ve Tarihi : KONYA / 25.05.1993

Telefon : +90 533 610 0209

Faks : -

e-mail : safaeldek@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Büyükkoyuncu Anadolu Lisesi	2011
Üniversite	: KTO Karatay Üniveristesi	2016
Yüksek Lisans	: -	-
Doktora	: -	-

İŞ DENEYİMLERİ

İl	Kurum	Görevi
2016	Kentpar Otomotiv	Ar-ge Mühendisi
2017-devam ed.	Mesa Makine Döküm Gıda San. Tic. A.Ş.	Ar-ge Mühendisi

YABANCI DİLLER

İngilizce

YAYINLAR

Eldek, S. , Yılmaz, R. , Gülbahçe, E.. (2019). Bir Ucu Ankastre L Kirişin Strain Gauge ile Serbest Sönümlü Titreşim Analizi. Academic Perspective Procedia, 2 (3), 768-775. DOI: 10.33793/acperpro.02.03.84

Yılmaz, R. , Eldek, S. , Gülbahçe, E.. (2020). L Tipi Bir Kirişin Sayısal ve Deneysel Modal Analizi. Academic Perspective Procedia, 3 (1), 635-641. DOI: 10.33793/acperpro.03.01.117