



DEĞİŞKEN DEPLASMANLI EKSENEL PİSTONLU POMPALARDA GÜRÜLTÜ, BASINÇ DALGALANMASI VE TİTREŞİM ÖLÇÜMÜ İLE BU PARAMETRELERİ ETKİLEYEN KRİTİK NOKTALARIN TESPİTİ

NOISE, PRESSURE RIPPLE AND VIBRATION MEASUREMENT OF VARIABLE DISPLACEMENT AXIAL PISTON PUMPS AND DETERMINATION OF CRITICAL DESIGN PARAMETERS AFFECTING THESE PARAMETERS

Erdem Yalçın
Bahar Uymaz

ÖZET

Hidrolik sistemlerde enerji tasarrufu ve kontrol kolaylığı sebebiyle değişken deplasmanlı pistonlu pompaların sektörde tercih edilirliliği her geçen gün artmaktadır. Ayrıca elektrikli araçların ortaya çıkması ve söz konusu araçların gürültü seviyelerinin içten yanmalı motorlu araçlara göre çok daha düşük olması hidrolik sektöründe gürültü seviyelerini çok daha önemli bir parametre haline getirmiştir. Bu bildiride değişken deplasmanlı aksenal pistonlu pompaları basınç dalgalanması (ripple), gürültü ölçümü ve titreşim ölçüm yöntemleri açıklanarak gürültü, titreşim ve basınç dalgalanmasını etkileyen kritik tasarım parametreleri incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Pistonlu pompa, Titreşim, Gürültü seviyesi, Basınç dalgalanması

ABSTRACT

Due to energy saving and ease of control in hydraulic systems, the preference of variable displacement piston pumps in the sector is increasing day by day. In addition, the emergence of electric vehicles and the fact that the noise levels of these vehicles are much lower than internal combustion engine vehicles have made noise levels a much more important parameter in the hydraulic sector. In this paper, ripple, noise measurement and vibration measurement methods of variable displacement axial piston pumps are explained and critical design parameters affecting noise, vibration and pressure fluctuation are examined.

Key Words: Piston pump, Vibration, Noise level, Pressure ripple

1. GİRİŞ

Günümüzde yoğun olarak yaşanan enerji ihtiyacı neticesinde her sektörde olduğu gibi hidrolik alanında da enerji tasarrufu sağlayan sistemler daha fazla tercih edilir duruma gelmiştir. Dolayısıyla hidrolik sistemlerde değişken deplasmanlı pompalar geçmişe oranla daha fazla kullanılmaya başlamıştır.

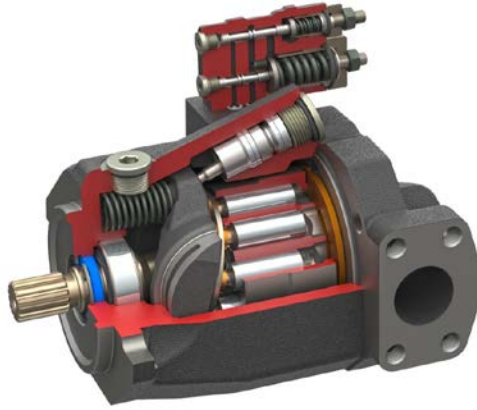
Bir taraftan araçlarda elektrik motorunun kullanımı ile içten yanmalı motorlara göre çok daha düşük gürültü seviyelerine ulaşılmıştır. Diğer taraftan teknolojiye yaşanan sayısız gelişmeler ışığında nihai kullanıcının konfor beklentileri de giderek artmaktadır. Bunun yansıması olarak hidrolik pompalarda gürültünün, kullanıcının duyamayacağı seviyede veya en azından rahatsız etmeyecek seviyede olması beklenmektedir. Aynı zamanda düşük basınç dalgalanması (ripple) neticesinde hidrolik sistemin ve nihayetinde aracın titreşim seviyesinin de kullanıcı tarafından hissedilmemesi, alt sistemlere ve bileşenlerine zarar vermemesi gerekmektedir.

Yukarıda bahsedilen parametrelerin nesnel bir anlam kazanabilmesi için sayısal parametrelere indirgenmesi ve evrensel metotlar ile ölçülerek kıyaslanması için belirli uluslararası standartlar geliştirilmiştir. Böylelikle ölçülebilir ve iyileştirilebilir duruma getirilmiştir.

Bu çalışmada, değişken deplasmanlı pompaların çalışma prensipleri açıklanarak, gürültü ölçüm yöntemleri, ripple ölçüm yöntemi ve titreşime olan etkileri incelenmiştir. Son olarak söz konusu parametreleri iyileştirmek için kritik tasarımlar üzerinde durulmuştur.

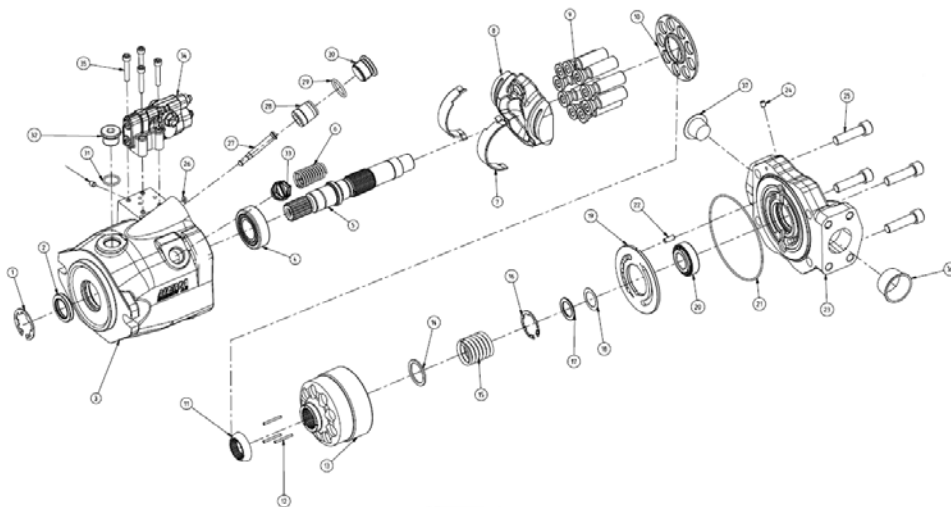
2. DEĞİŞKEN DEPLASMANLI PİSTONLU POMPALARIN ÇALIŞMA PRENSİBİ

Hidrolik sistemlerin temel elemanlarından biri olan pompalar çalışma prensiplerine göre en genel anlamıyla sabit veya değişken deplasmanlı olarak iki farklı kategoride değerlendirilebilir. Ayrıca yapılarına göre dişli, paletli, pistonlu, vidalı ve diyaframalı olarak farklı kategorilere ayrılır. Bu çalışmada daha önce de belirtildiği gibi değişken deplasmanlı eksenel pistonlu pompalar incelenmektedir. Şekil 1.



Şekil 1. Değişken deplasmanlı eksenel pistonlu pompa kesit görünümü

Alt bileşenler olarak incelendiğinde kabaca bir eğim plakası, bir piston yuvası ve piston yuvasının içinde tasarıma göre belirli sayıda piston ve pabucu, piston halkası, motordan tahrik almak ve piston yuvasına iletmek için bir şaft, kontrol plakası, eğim plakasının açısını değiştirmek için bir mekanizma ve tasarıma göre çeşitli özelliklere sahip bir valf mevcuttur. Şekil 2'de genel olarak alt bileşenler gösterilmiştir.



Şekil 2. Pistonlu pompa alt bileşenleri [1]

Pistonlu pompa çalışma esnasında eğim plakası konumundan dolayı pistonların bir devir dönmesiyle belirli bir strok farkı oluşur. Piston dikey ekseninde en düşük konumunda akışkanı emerek en yüksek konumuna geldiğinde emdiği akışkanı iletmiş olur. Bu nedenle her bir pistonun bir devirde iletmediği akışkan strok farkından oluşan hacim kadardır. Bu hacim piston sayısı ile çarpıldığında pompa deplasmanı bulunur. Dolayısı ile pompa deplasmanı, piston sayısı, piston çapı ve eğim plakası açısı ile orantılıdır.

3. GÜRÜLTÜ, BASINÇ DALGALANMASI VE TİTREŞİM ÖLÇÜM SİSTEMLERİ

3.1. Gürültü Ölçümü

3.1.1. Akustik Ortam

Akustik ortamlar genel olarak açık alanlar, çınlanım odaları ve anekoik odalar olarak ayrılırlar. Açık alanlar en ideal gürültü ölçüm alanlarıdır fakat uygulanabilirliği zor olduğundan endüstriyel olarak pek tercih edilmezler.

Çınlanım odaları prensip olarak odanın her yüzeyinin sesi yansıtması ile odanın her yerinde gürültü seviyesinin eşit olduğu odalardır. Bu nedenle tek bir mikrofona ile gürültü ölçmek mümkündür. Bu tip odaların kurulumu görece basit ve daha ucuzdur. Şekil 3'te çınlanım odası örneği gösterilmiştir.

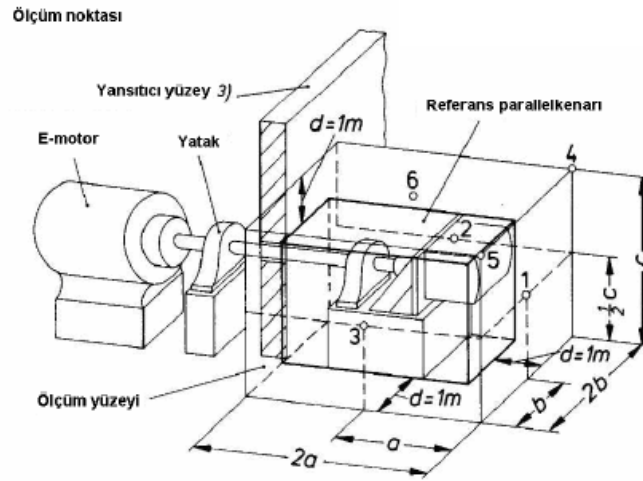


Şekil 3. Çınlanım odası

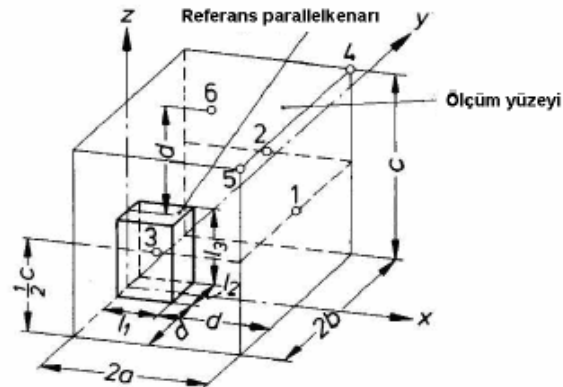
Anekoik odalar veya yarı anekoik odalar ise ses basıncı, ses gücü düzeyi belirlenmesinin yanı sıra, toplam ses gücüne etkileyen tüm ses kaynaklarının sınıflandırılması ve sıralanması için de kullanılırlar. Anekoik alanda ürün alt sistemlerinden yayılan gürültünün yayılım ve yönsel özellikleri kolaylıkla tespit edilebilir. Anekoik odalar veya yarı anekoik odalarda alanı sınırlayan yüzeyler gürültüyü yansıtmadığından gürültü ölçümü için kullanılacak mikrofonların ses kaynağına olan uzaklığı önemlidir. Dolayısı ile her bir parametre uluslararası standartlar ile tanımlanmıştır. Şekil 4'te Hema Endüstri A.Ş. yarı anekoik odası Şekil 5'te pompanın bağlanması ve yansıtıcı yüzeyler Şekil 6 ve Şekil 7'de ise mikrofonların konumları gösterilmiştir.



Şekil 4. Hema Endüstri A.Ş. anekoik oda



Şekil 5. Pompa konumu ve yansıtıcı yüzey



Şekil 6. Mikrofon konumları



Şekil 7. Mikrofon konumları

3.1.2. Mikrofon

Gürültüyü ölçen bir mikrofon seçmeye karar verirken seçebileceğiniz birçok model ve seçenek vardır. Şekil 8'de örnek olarak bir mikrofon görseli gösterilmiştir.



Şekil 8. Mikrofon

3.1.3. Mikrofon Kalibratörü

Mikrofon kalibratörü Şekil 9'da gösterilen ses düzeyi ölçüm cihazları ve diğer ses ölçüm ekipmanının kalibrasyonunda kullanılan ufak yapıda, taşınabilir, dayanıklı bir ses kaynağıdır. Kalibratör 1kHz sabit iki farklı ses seviyesinde ses üretebilmektedir. Kalibratörden çıkan gürültü değeri ile mikrofonun ölçtüğü değer arasındaki fark belirlenerek mikrofon kalibre edilir.



Şekil 9. Mikrofon kalibratörü

3.2. Basınç Dalgalanması Ölçümü

Basınç dalgalanması (ripple) pompa çıkışına bağlanan yüksek çözünürlüklü (ör: 40kHz frekansında) bir basınç sensörü ile ölçülür. Şekil 10'da basınç dalgalanması sensörünün pompaya bağlantı şekli gösterilmektedir. Sensör pompa basınç portunun hemen çıkışına bağlanarak en doğru ölçüm yapılabilmektedir.



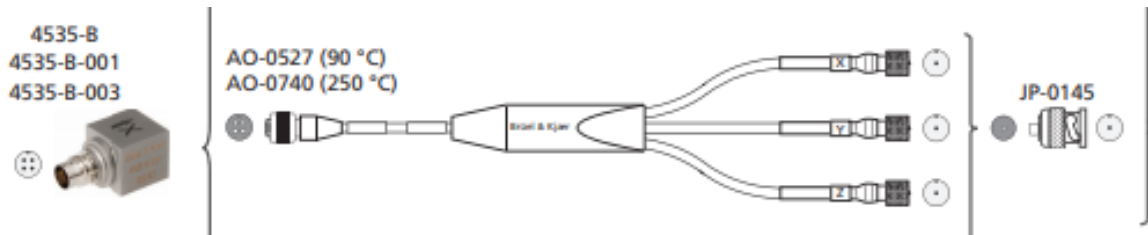
Şekil 10. Basınç dalgalanması ölçüm sensörü

3.3. Titreşim Ölçümü

Pistonlu pompa titreşim ölçümlerinde, titreşimleri ivme, hız veya yer değiştirme olarak ölçebilen bir sensör, sensörün ilettiği verileri toplayabilmek ve iletebilmek için bir analizör ve analizörden gelen dataları anlamlandırabilmek için bir analiz arayüzüne ihtiyaç duyulmaktadır. Şekil 11'de analizör Şekil 12'de ivme ölçer gösterilmiştir, [1].



Şekil 11. Analizör, [1]

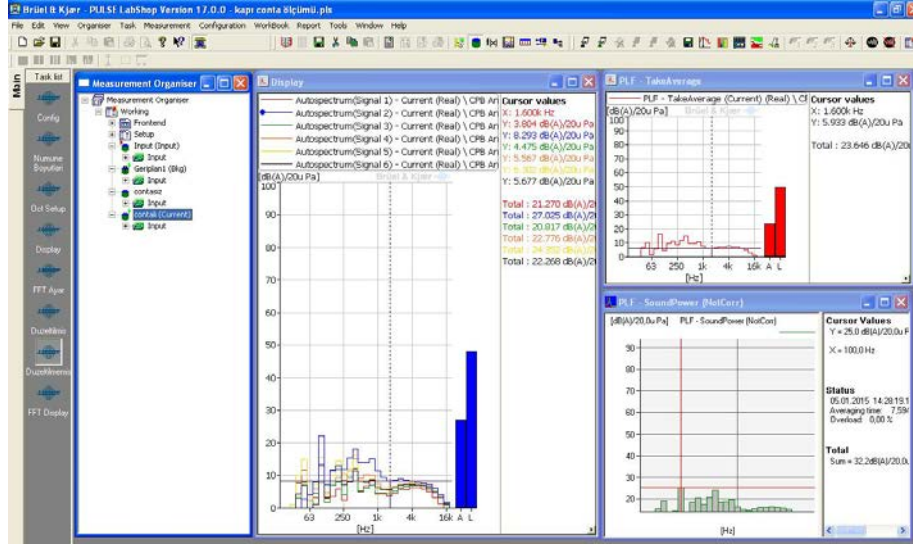


Şekil 12. İvme Ölçer, [1]

4. ÖLÇÜMLER

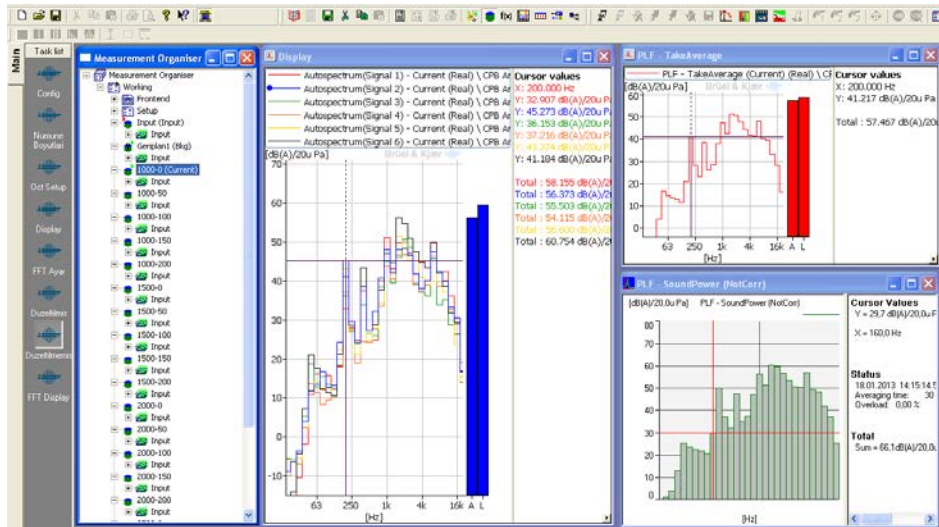
4.1. Gürültü Ölçümü

Gürültü ölçümü odanın içinde hiçbir faaliyet yokken mikrofonlar tanımlı yerlerindeyken ölçüm yapılır. Böylece geri plan gürültüsü belirlenir. Geri plan gürültüleri ölçüm sonuçlarına 10 dB(A)'dan daha fazla yaklaşmamalıdır. Şekil 13'te gösterilen ölçümde geri plan gürültüsü 23.6 dB(A) olarak okunmaktadır.



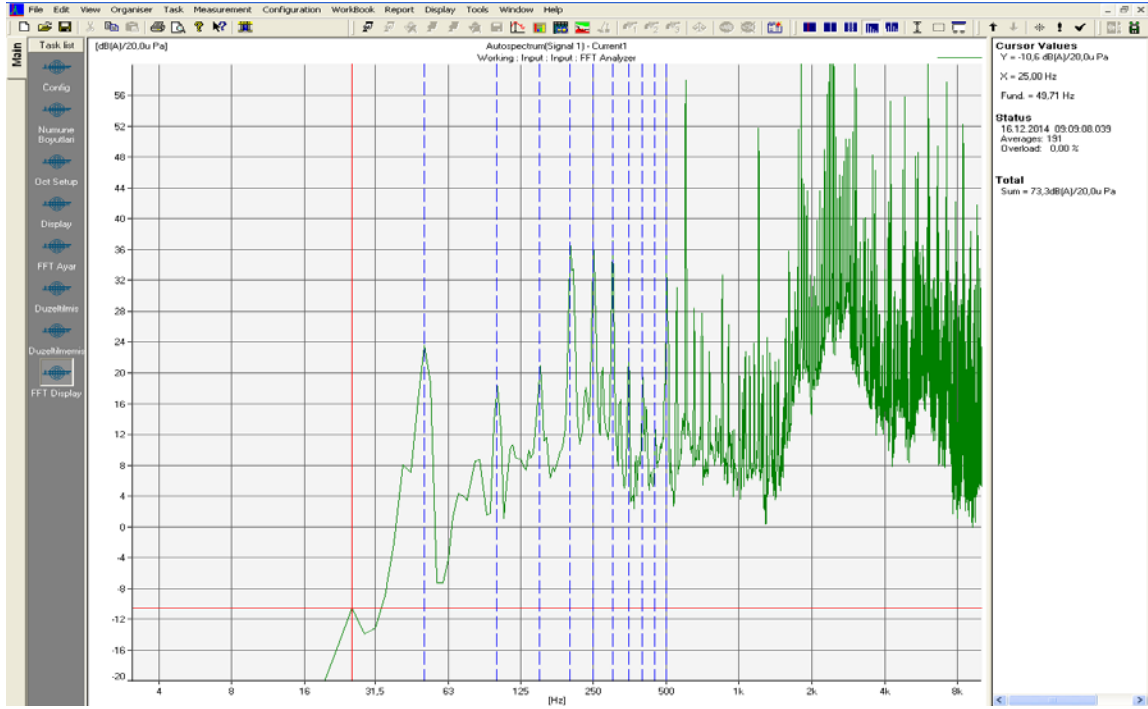
Şekil 13. Geri plan gürültüsü ölçümü

Sonrasında pompa tahrik edilerek çeşitli devir ve basınçlar altında gürültü ölçümleri yapılır ve pompanın gürültü seviyesi belirlenir. Şekil 14'de yer alan arayüzde gösterildiği gibi ölçüm sonuçları ses basıncı ve ses gücü olarak ayrı ayrı değerlendirilir. Ayrıca mikrofonlar arası ses basıncı değerleri kendi arasında kıyaslanır ve aralarındaki farkın 7dB(A)'dan fazla olmamasına dikkat edilir. [1]



Şekil 14. Gürültü ölçümü

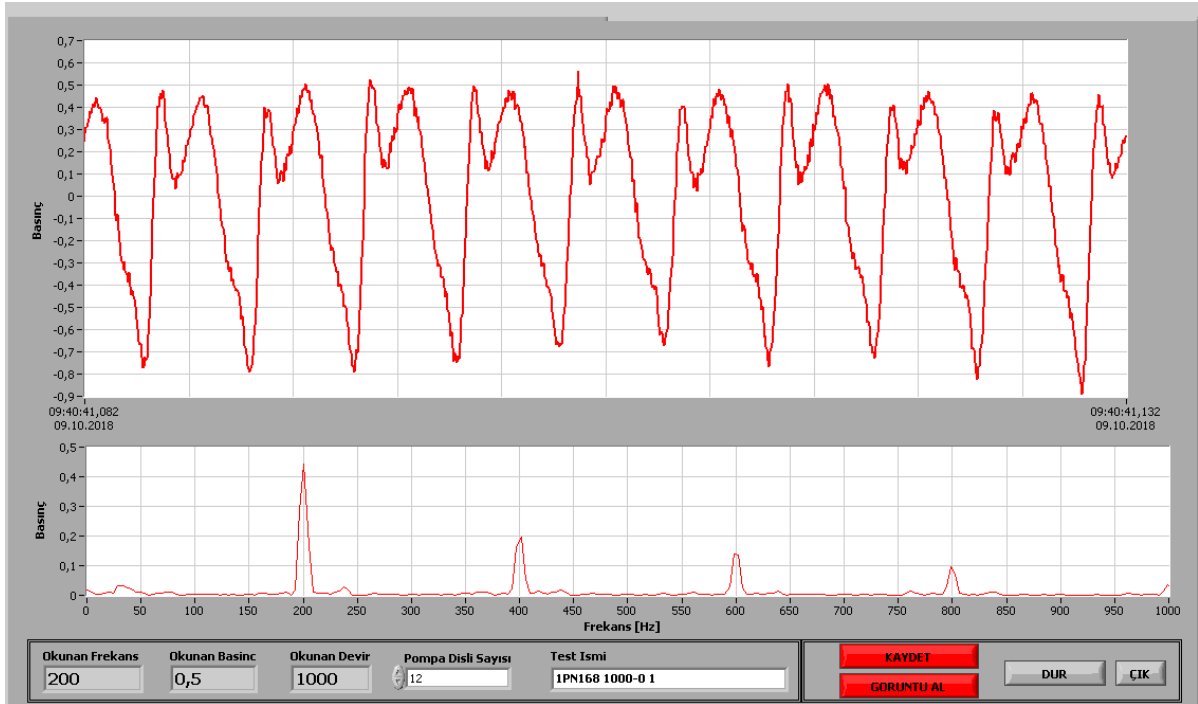
Şekil 15'te gösterilen FFT analizi, büyük ve karmaşık makinelerde yapılan ses ölçümlerinde; frekans ile gürültü kaynağı bulma, kaynakları ayrıştırma ve yüksek kaynağı bularak iyileştirme yapılması için kullanılır. Böylelikle toplam ses düzeyi iyileşmiş olur.



Şekil 15. Frekans bazlı ölçüm.

4.2. Basınç Dalgalanması Ölçümü

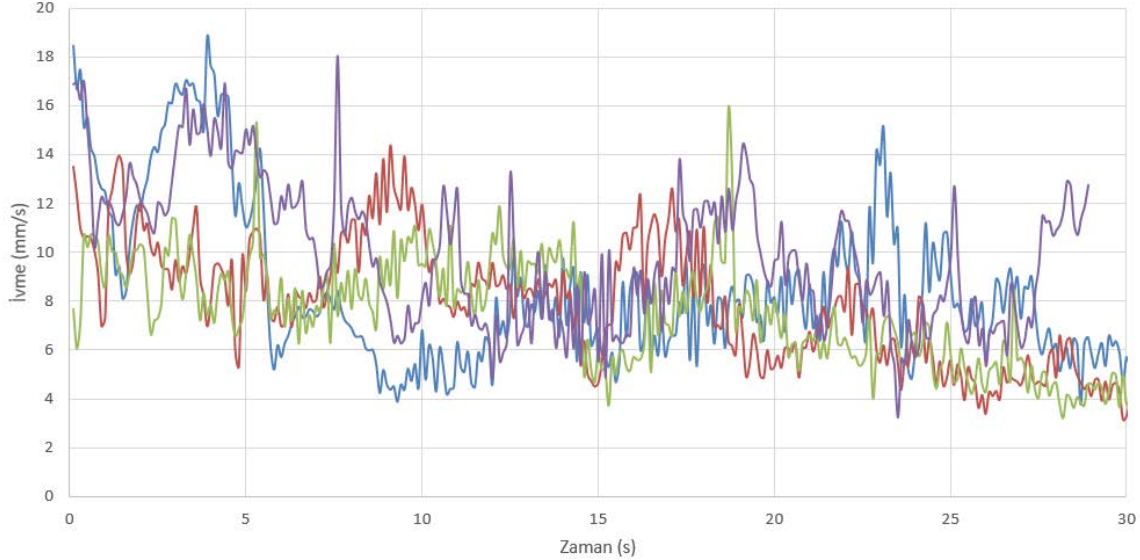
Şekil 16'da gösterilen basınç dalgalanması ölçümü yüksek çözünürlüklü basınç sensörünün pompanın hemen çıkışına bağlanması ile pompa frekansında ve bu frekansın harmoniklerinde oluşan basınç farkları ölçülür.



Şekil 16. Basınç dalgalanması ölçümü

4.3. Titreşim Ölçümü

Titreşim ölçümleri, ivme titreşim sensörünün aldığı verilerin analizör yardımı ile program arayüzünden okunması ile gerçekleştirilmektedir. Yapılan ölçümler Şekil 17'de gösterilmiştir.



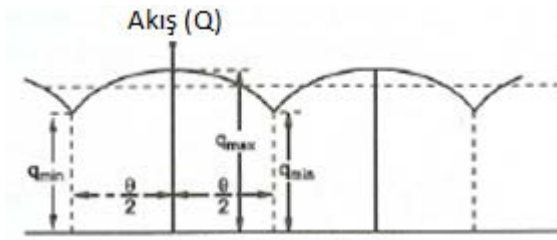
Şekil 17. Titreşim ölçümü

5. GÜRÜLTÜ, BASINÇ DALGALANMASI VE TİTREŞİMİ ETKİLEYEN TASARIM PARAMETRELERİ

Her ne kadar gürültü, basınç dalgalanması ve titreşim ayrı büyüklükler ifade etse de birbirileri ile doğru orantılı bir ilişki içerisindedirler. Aşağıda söz konusu parametreleri etkileyen genel unsurlardan bahsedilmiştir.

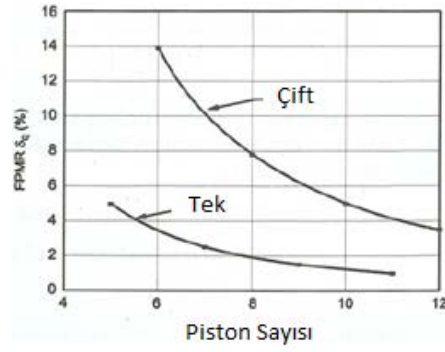
5.1. Akış Titreşim Frekansı

Akış titreşim frekansı (FPF), birim zaman boyunca meydana gelen akış dalgalanmalarının sayısıdır. Şekil 18'de akış titreşim büyüklük oranı (FPMR), maksimum akış (Q_{max}) ve minimum akış (Q_{min}) arasındaki farkın ortalama akışa (Q_{mean}) oranı olarak gösterilmiştir.



Şekil 18. Akış titreşim büyüklük oranı [2]

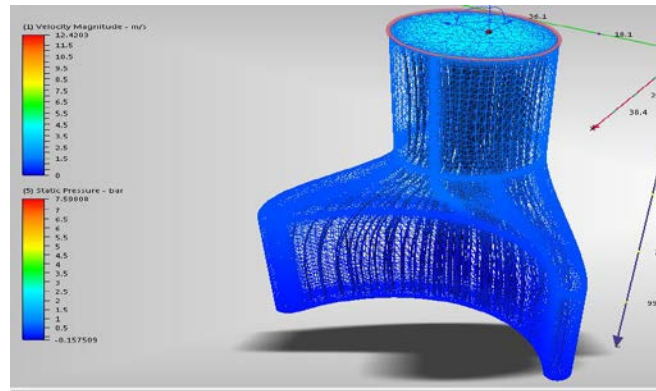
Tasarımda tek sayıda piston kullanılması FPMR'yi azaltır, bu da piston pompasında daha az dalgalanma ve daha düşük gürültü anlamına gelir. Şekil 19'daki grafik, piston sayısı arttıkça FPMR'nin (%) azaldığını göstermiştir. 7, 9 ve 11 piston için değerler şekil üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 19. Piston sayısı & büyüklük oranı [2]

5.2 Emiş hattı akış hızı

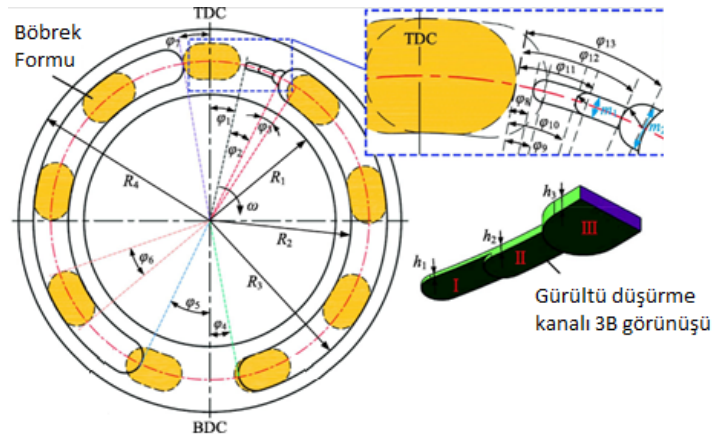
Pistonlu pompaların emiş kabiliyeti çok sınırlıdır. Bu nedenle kavitezyon riski diğer pompa tiplerine göre daha yüksektir. Yapılan deneysel çalışmalara göre emiş tarafında en küçük kesitte akış hızı geçmemelidir. Şekil 20'de pompa emişinin akış analizi örneği gösterilmiştir.



Şekil 20. Emiş Hattı akış analizi

5.3 Kontrol plakası çentikleri

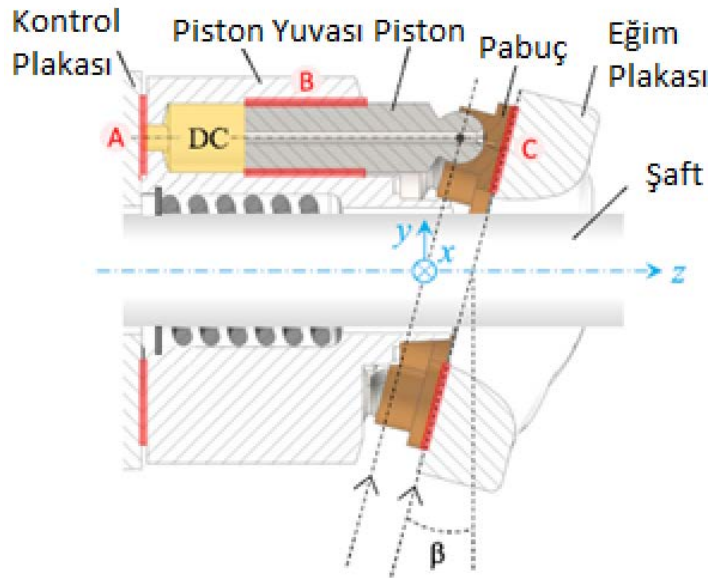
Kontrol plakası (valf plate) üzerinde bulunan delik, çentik ve benzeri formlar piston pabucunun içinde basınç sıkışmasını engellemek için gereklidir. Şekil 21'de çentik örneği gösterilmiştir.



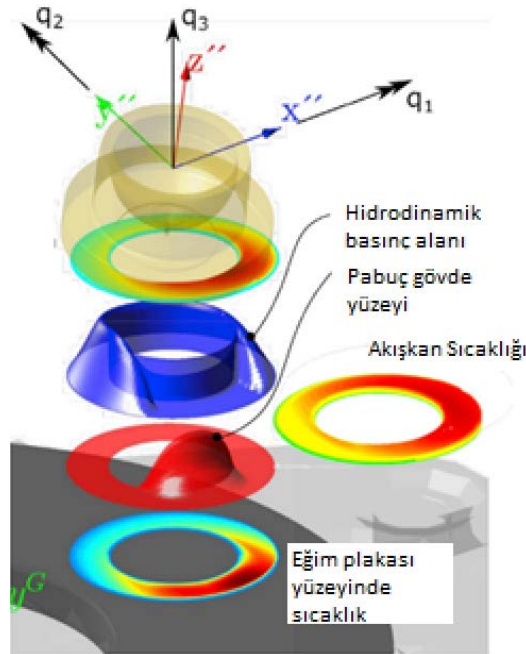
Şekil 21. Kontrol plakası örneği [3]

5.3. Piston Pabuçu geometrisi

Değişken deplasmanlı aksel pistonlu pompalarda piston pabuçları eğim plakası üzerinde kayarak çalışır. Bu nedenle pabuç ile eğim plakası arasında belirli bir yağ filmi oluşturmak gerekmektedir (Şekil 24). Bu yağ filmi oluşturmak için değişik pabuç geometrileri oluşturulabilir. Şekil 25'de pabuç ile eğim plakası arasındaki yağ filminin hidrodinamik etkisi gözükmemektedir. Bu yağ filmi yırtıldığında yüksek gürültü ve mekanik sürtünmeler gözlemlenir. Sürtünme başladıktan sonra ise pabuç deformasyonu başlar. Deformasyon sonucunda basınç dalgalanmasında yükselme ve titreşim oluşur.



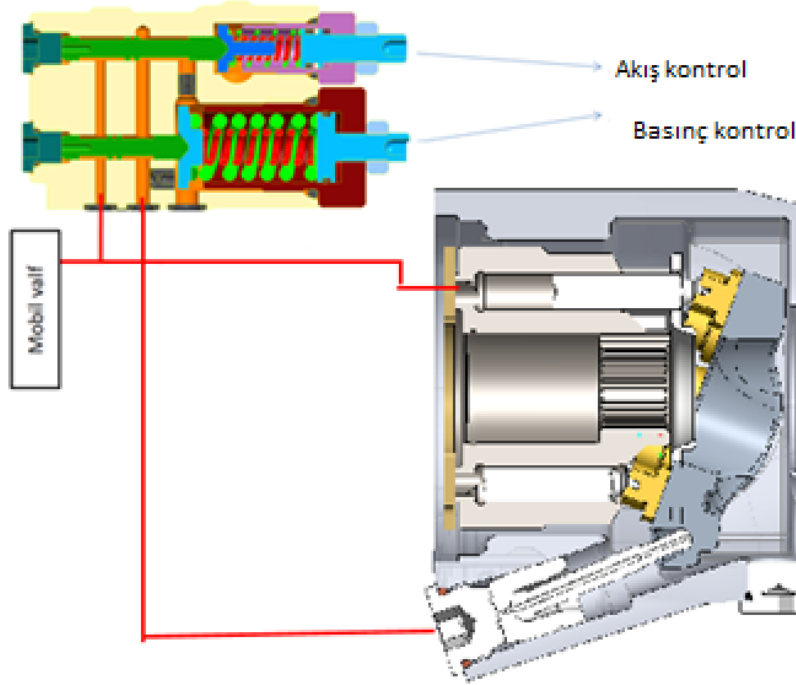
Şekil 24. Pabuç ve eğim plakası arasındaki yağ filmi [6]



Şekil 25. Pabuç ve eğim plakası arasındaki yağ filmi detay [7]

5.4. Pistonlu pompa valfi (basınç ve debi kontrolü)

Şekil 26'de gösterildiği gibi eğim plakası açısı pompaya montajlı olan çeşitli valfler aracılığıyla değiştirilmektedir.



Şekil 26. Debi ve basınç kontrol valfi

Pistonlu pompa kontrol valfleri, basınç kontrol, debi ve basınç kontrol ve elektro-hidrolik kontrol gibi uygulamaya yönelik olarak değişik çalışma prensiplerine sahiptir. Şekil 27'de gösterilen debi ve basınç kontrolünün çalışma prensibi aşağıda açıklanmıştır;

- Şekildeki kısa yeşil sürgünün sol tarafına sürekli pompanın çalışma basıncına sahip akışkan gönderilir. Sürgü, pompa maksimum çalışma basıncına geldiğinde gönderilen basınç sayesinde karşısındaki yayı yenerek konum değiştirir böylece servo pistonu yağ gönderir. Servo piston da karşısındaki yayı yenerek eğim plakasının açısını sıfırlar ve pistonun çalışma esnasında strok farkını ortadan kaldırır. Böylece pistonlu pompa debi üretmez.
- Şekildeki uzun sürgünün sol tarafına da sürekli pompanın çalışma basıncına sahip akışkan gönderilir. Aynı zamanda yayların bulunduğu sağ tarafa da sistem basıncına sahip yağ gönderilir. Sistem ve pompa basıncı eşit olduğunda yaylar sayesinde sürgü sol tarafa dayalı şekilde durur. Fakat sistem basıncı düştüğünde yani pompadan çıkan akışkan herhangi bir iş yapmadığında bu eşitlik bozulur ve sürgü sağ tarafa doğru konum değiştirerek servo pistonu akışkan gönderir. Böylece eğim plakasının açısı ve nihayetinde pompanın deplasmanı değişir.

Pistonlu pompa valflerinde gürültü ve titreşim açısından dikkat edilmesi gereken en önemli noktalardan biri orifislerin çaplarıdır. Statik çapları doğru seçilmez ise akış esnasında gürültü ve basınç dalgalanmasına yol açabilir. Dinamik orifislerde de çalışma prensibine göre açıklık oranları basınç ve akış dalgalanması sorununa yol açabilir. Ayrıca sürgü ve gövde eşleşmesi ile yay kütleleri ve yay kuvvetleri de akışı etkileyen parametrelerdir. Bunların haricinde sürgüler üzerindeki çentik formları da akış karakteristiğini belirleyen önemli parametrelerden biridir.



6. SONUÇ

Bu çalışmada, değişken deplasmanlı aksel pistonlu pompa genel özellikleri ile tanımlanmış olup çalışma esnasında görülebilecek olan titreşim, basınç dalgalanması ve gürültü seviyesi parametreleri üzerinde durulmuştur. Öncelikle bu parametrelerin ölçüm yöntemleri açıklanmıştır. Gürültü ölçümü, titreşim ölçümü ve basınç dalgalanması ölçümleri için gerekli materyaller tanıtılmıştır. Gürültü, basınç dalgalanması ve titreşimi etkileyen temel tasarım özellikleri incelenmiş ve yeni yapılacak tasarımlarda dikkat edilmesi gereken hususlara değinilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Yalçın E (2020). Aksel pistonlu pompalarda titreşim analizi NKÜ Çorlu Tekirdağ
- [2] Fitch E.C., Hong I.T. (2004). Hydraulic Component Design and Selection 5111 North Perkins Road USA
- [3] Pang H, Wu D Deng Y, Cheng Q, Liu Y (2021) Effect of working medium on the noise and vibration characteristics of water hydraulic axial piston pump Applied Acoustics Volume 183 108277
- [4] Xiao C, Tang H, Ren Y, Xiang J, Kumar A, (2022) Adaptive MOMEDA based on improved advance-retreat algorithm for fault features extraction of axial piston pump ISA Transactions Vol 128 Pages 503-520
- [5] Xu B, Ye S, Zhang J, Zhang C. Flow ripple reduction of an axial piston pump by a combination of cross-angle and pressure relief grooves: Analysis and optimization. J Mech Sci Tech 2016
- [6] Ernst M, Vacca A. (2021) Hydrostatic vs. hydrodynamic components of fluid pressure in the tribological interfaces of axial piston machines Maha Fluid Power Research Center, Purdue University, 1500 Kepner Dr, Lafayette, IN, 47905, USA
- [7] Hashemi S ve Friedrich H, Bobach L, Bartel D. (2017). Validation of a thermal elastohydrodynamic multibody dynamics model of the slipper pad by friction force measurement in the axial piston pump Institute of Machine Design, Chair for Machine Elements and Tribology, Universitaetsplatz 2, 39106, Magdeburg, Germany

ÖZGEÇMİŞ

Erdem Yalçın

2015 yılında NKÜ makine mühendisliğinden 2017 yılında NKÜ FBE makine bölümünden mezun oldu. Halen Hema Endüstri A.Ş. 'de pistonlu pompa tasarım yöneticisi olarak çalışmaktadır.

Bahar Uymaz

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Çorlu Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Mekanik Anabilim Dalı öğretim üyesidir. 2019 yılından bu yana Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü görevini yürütmektedir. Evli ve iki çocuk annesidir.