

AÇIK DEVRE HİDROLİK SİSTEMLERİN KARARSIZLIK ÇÖZÜMLERİ

Ali Emre YILDIRIM

ÖZET

Açık devre sistemler, öngörülebilir tepki süresi, sönümlenme kabiliyeti ve yüksek kararlılık özellikleri göz önünde bulundurularak tasarlanırsa da, uygulamada beklenmeyen olumsuz durumlar ortaya çıkabilmektedir. Bunun başlıca nedenlerinden biri, osilasyona yol açan tek bir faktörün bulunmaması ve farklı etkenlerin bir araya gelerek istenmeyen dalgalanmalara sebep olmasıdır. Üretim ve tasarım süreçleri eksiksiz ilerlese bile, sistemin mükemmel çalışacağını garanti etmek her zaman mümkün olmayabilir. Bu tür istenmeyen olaylar hem sistem bileşenlerine zarar verebilir hem de hidrolik sistemin ergonomik kullanımını olumsuz etkileyebilir. Bu makalede, bu tür salınımların giderilmesine yönelik olarak geçmiş tecrübelerden elde edilen ve pratikte uygulanabilirliği kanıtlanmış çözümler ele alınmaktadır. Deneme yanılma yönteminden daha sistematik olan bu yaklaşımlar, mühendislik prensipleriyle desteklenmiş olup, karmaşık teorik analizlere kıyasla daha anlaşılır ve uygulanabilir çözümler sunmaktadır. Sahada edinilen deneyimler doğrultusunda geliştirilen bu yöntemler, farklı sistemlere uygulanarak salınımların minimize edilmesine katkı sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler: Açık Devre, Yük Algılama, Hidrolik Salınım, LS Hattı, Sistem Stabilitesi

ABSTRACT

Even though open circuit systems are designed with predictable response time, damping capability, and high stability in mind, unexpected problems can still occur during actual operation. One main reason is that there is often no single cause of the oscillations—different factors can come together and lead to unwanted pressure or flow fluctuations. Even when the design and production processes are done correctly, perfect system performance is not always guaranteed. Such issues can damage system components and negatively affect the ease of using the hydraulic system.

This paper discusses practical solutions developed from past experiences to solve these kinds of oscillations. These methods are more systematic than trial-and-error and are supported by engineering principles. Unlike complex theoretical analyses, they offer simpler and more applicable approaches. Based on field experience, these methods can be adapted to different systems and help reduce oscillations effectively.

Key Words: Open Circuit, Load Sensing, Hydraulic Oscillations, LS Line, System Stability

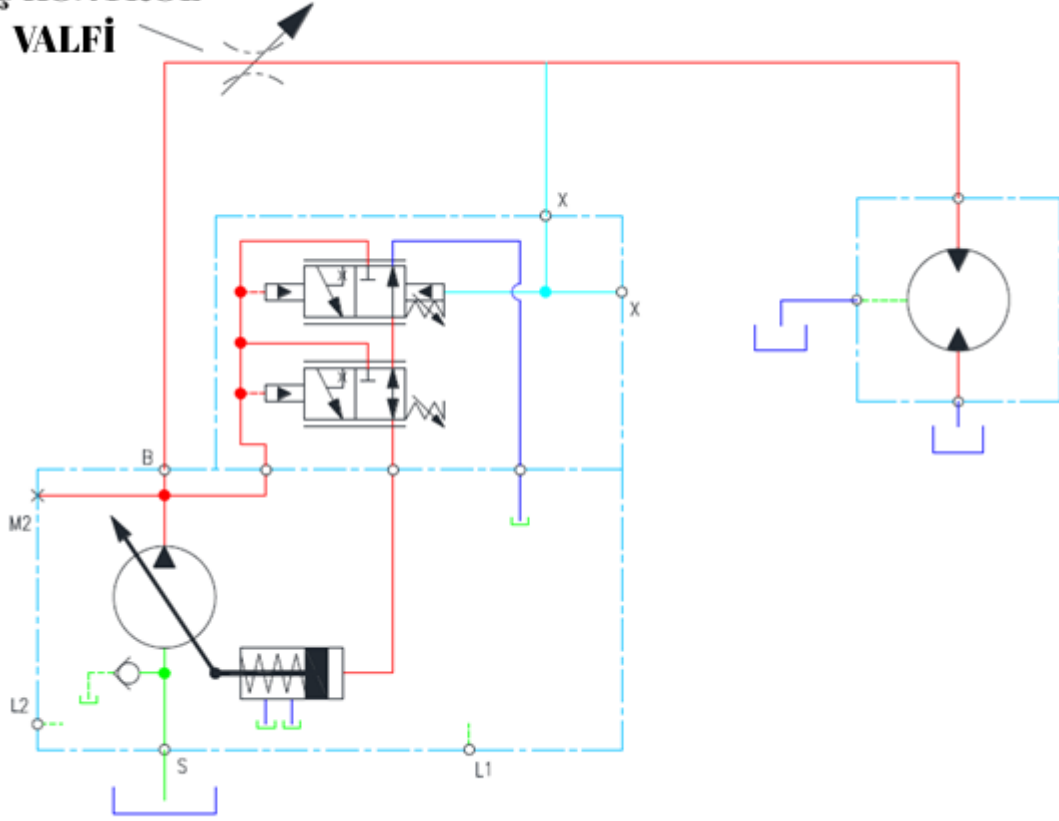
1. GİRİŞ

Doğru tepki süresi, yeterli sönümlenme ve kararlılık dengesini sağlamak, açık devre bir sistem tasarımında mükemmel olmayabilir. Ortaya çıkan salınımlar genellikle tek bir bileşen ya da karar ile açıklanması zordur. Tüm bileşenler doğru şekilde seçilmiş ve üretilmiş olsa bile, sistem beklenen performansı göstermeyebilir.

Bu salınımlar, istenmeyen gürültüler, sistemin kontrol dışı davranması ve bileşen ömrünün kısalması gibi sorunlara yol açabilir. Çoğu zaman sistemde fiziksel bir arıza yoktur, fakat kısa sürede bu istenmeyen durumların giderilmesi gerekmektedir.

Bu bildiride, sistemin müşteri beklentilerine uygun şekilde çalışmasını sağlamak için kullanılan farklı çözüm kavramları sunulmaktadır. Tüm örneklerde yük algılamalı, değişken deplasmanlı pompa kullanılan sistemler incelenmiştir.

AKIŞ KONTROL VALFİ



Görsel 1. Yük Algılamalı, Değişken Deplasmanlı Pompa Kullanılan Sistemin Örnek Şeması

2. YÜK ALGILAMA HATTINDA ORİFİS KULLANIMI İLE SİSTEM SALINIMLARININ AZALTILMASI

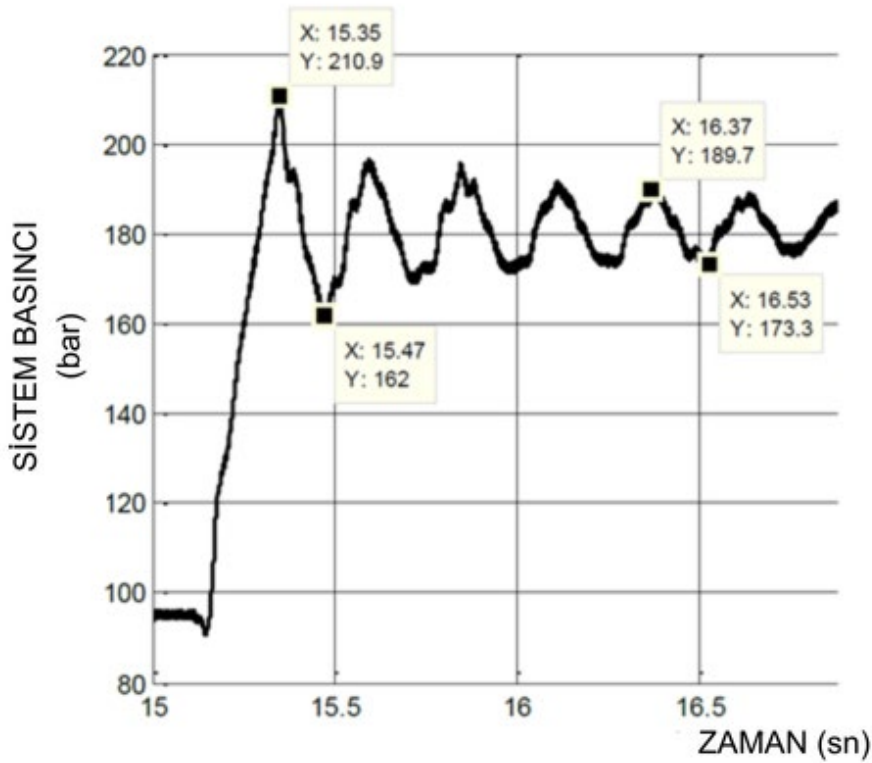
Açık devre hidrolik sistemlerde yük algılama (LS) hattındaki basınç salınımları, sistem verimliliğini ve performansını olumsuz etkileyen önemli bir sorundur. Bu salınımların azaltılmasında yaygın olarak, LS hattına uygun boyutta orifis (kısıtlayıcı) eklenir. Orifis, pompanın yükten aldığı geri besleme sinyalini düzenleyerek, sistemdeki basınç dalgalanmalarının şiddetini düşürür. Ancak, orifis boyutunun seçiminde, pompa hızı ve sistemin tepki süresi olumsuz etkilenmemelidir [1].



Görsel 2. LS Hattına Orifis Eklenmesi

Orifis çapının belirlenmesinde öncelikle sistemden toplanan verilerle salınım frekansı tespit edilir. Sonrasında LS hortum hacmi hesaplanır. Hortum hacmi hesaplamasında, sadece pompa ile orifis arasındaki uzunluk dikkate alınır. Orifisin, pompadan mümkün olduğunca uzak ve LS hortumuna seri olarak yerleştirilmesi gerekir. Üretim ve kirlenme riskleri nedeniyle 0,5 mm'nin altındaki orifis çapları tercih edilmemektedir. Daha küçük orifisler ve büyük hortum hacimleri salınımı azaltırken sistem tepkisini yavaşlatabilir.

Orifis uygulaması sonrası sistemde salınımların etkin şekilde azaltılması için farklı LS hortum kırılma frekanslarında ek testler yapılması önerilir. Bu sayede, sistem performansı, orifis boyutu ve hortum hacmi arasında en uygun denge sağlanabilir.



Şekil 1. Sistem Basınç Salınımı

Salınım sorunlarını teşhis etmede önemli bir adım, veri toplamak ve istenmeyen basınç veya debi salınımlarının hangi frekansta gerçekleştiğini belirlemektir. Salınımların frekansı anlaşıldığında, LS hattı için uygun bir orifis seçilebilir. Genel amaç, pompanın LS portundaki basınç dalganmalarını azaltmaktır. Şekil 1, bir sistem basınç salınımına örnek göstermektedir. Yaklaşık 15.2 saniyede bir komut değişikliği yapılmakta ve ardından basınç salınımı grafiğinin birkaç saniye sonrasında sönümlenmektedir.

Burada 3 dB metodu ile (3 dB azalma hedefi biraz keyfi olmakla birlikte mühendislikte yaygın bir uygulamadır) LS basınç salınımı genliği azaltımı, genellikle sistem üzerinde fark edilir bir etki yapar. 3 dB metodu, bir sinyalin veya büyüklüğün belirli bir oranda azaltılmasını ifade eder. Ancak burada "dB" yani desibel logaritmik bir birimdir. Bu yüzden "3 dB metodu" demek, düşüş miktarının yüzdesel olarak sabit bir değeri değil, oranını belirtir. Bu uygulama gücün yaklaşık yarıya, genliğin ise yaklaşık 70'ine düşmesi anlamına gelir. Giriş/çıkış oranının %70'ine düşürülmesi hedeflenerek bu metod uygulanır [1].

LS HORTUM
HACMİ (in³)

Tablodaki değerler, baskın frekans ve LS hortum hacmine bağlı olarak (mm cinsinden) orifis çapıdır.

Test Verisinde Baskın Frekans (Hz)	0.25	0.5	1	2	4	6	8	10	15	20	30	40	50	75	100
0.25	0.01	0.02	0.03	0.04	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16
0.5	0.02	0.03	0.04	0.06	0.08	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.19
1	0.03	0.04	0.06	0.08	0.11	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.19	0.20	0.21	0.22
2	0.04	0.06	0.08	0.11	0.14	0.16	0.17	0.18	0.19	0.20	0.21	0.22	0.23	0.24	0.25
3	0.05	0.07	0.10	0.13	0.16	0.18	0.19	0.20	0.21	0.22	0.23	0.24	0.25	0.26	0.27
5	0.06	0.09	0.13	0.16	0.20	0.22	0.23	0.24	0.25	0.26	0.27	0.28	0.29	0.30	0.31
7.5	0.07	0.10	0.15	0.20	0.24	0.26	0.27	0.28	0.29	0.30	0.31	0.32	0.33	0.34	0.35
10	0.08	0.11	0.16	0.21	0.26	0.28	0.29	0.30	0.31	0.32	0.33	0.34	0.35	0.36	0.37
15	0.09	0.12	0.18	0.23	0.28	0.30	0.31	0.32	0.33	0.34	0.35	0.36	0.37	0.38	0.39
20	0.10	0.13	0.19	0.24	0.29	0.31	0.32	0.33	0.34	0.35	0.36	0.37	0.38	0.39	0.40
30	0.11	0.14	0.20	0.25	0.30	0.32	0.33	0.34	0.35	0.36	0.37	0.38	0.39	0.40	0.41
40	0.12	0.15	0.21	0.26	0.31	0.33	0.34	0.35	0.36	0.37	0.38	0.39	0.40	0.41	0.42
50	0.13	0.16	0.22	0.27	0.32	0.34	0.35	0.36	0.37	0.38	0.39	0.40	0.41	0.42	0.43
75	0.14	0.17	0.23	0.28	0.33	0.35	0.36	0.37	0.38	0.39	0.40	0.41	0.42	0.43	0.44
100	0.15	0.18	0.24	0.29	0.34	0.36	0.37	0.38	0.39	0.40	0.41	0.42	0.43	0.44	0.45
150	0.16	0.19	0.25	0.30	0.35	0.37	0.38	0.39	0.40	0.41	0.42	0.43	0.44	0.45	0.46
200	0.17	0.20	0.26	0.31	0.36	0.38	0.39	0.40	0.41	0.42	0.43	0.44	0.45	0.46	0.47
250	0.18	0.21	0.27	0.32	0.37	0.39	0.40	0.41	0.42	0.43	0.44	0.45	0.46	0.47	0.48
300	0.19	0.22	0.28	0.33	0.38	0.40	0.41	0.42	0.43	0.44	0.45	0.46	0.47	0.48	0.49

Tablo 1. Tepe-Tepe Noktası 30 Bar Olan Sistemin Orifis Çap Tablosu

Tablo 1, Ek bölümünde bulunan bir dizi tablodan yalnızca biridir. Bu tablolar, sistemden toplanan verilere göre gözlemlenen farklı tepe-tepe basınç salınımlarını temsil eder. Tablolar özellikle 10 bar, 20 bar, 30 bar, 40 bar, 60 bar ve 100 bar tepe-tepe basınç salınımları için hazırlanmıştır [1].

Salınım genliği büyüdükçe, orifis çapının da büyütülmesi gerekmektedir. Ancak daha küçük orifis çapları ve daha büyük LS hortum hacimleri salınım azaltma etkisini artırırken, sistem tepki hızını yavaşlatır. Bu bağlamda, LS hortum hacminin dört kat artırılması, gereken orifis alanını dört kat, orifis çapını ise yaklaşık iki kat artırır.

mm ölçüsü	inç ölçüsü
<0.5mm	<0.020"
0.5-0.7mm	0.020"-0.028"
0.7-0.9mm	0.028"-0.035"
0.9-1.1mm	0.035"-0.043"
1.1-1.3mm	0.043"-0.051"
1.3-1.5mm	0.051"-0.059"
1.5-1.7mm	0.059"-0.067"
>1.7mm	>0.067"

Tablo 2. Orifis Ölçü Renk Kodları

Tablo 2, Tablo 1'de ve Ek bölümündeki tablolarda kullanılan renk kodlamasını göstermektedir. LS Orifis Boyutu Tabloları'ndaki benzer orifis çapına sahip satırlar bu renk kodları ile tanımlanabilir. İlk incelemeler, kırmızı bölgede (<0,5 mm veya 0,020" çapında) bir orifis gerektiğini gösteriyorsa, LS hattının çapını veya uzunluğunu artırmak önerilir. Burada sunulan yönergeler, analize başlamak için bir başlangıç noktası olarak tasarlanmıştır. Her zaman doğrulama testleri yapılması gerekir. Bu rehber, tasarımcının sistemin kısıtlamalarını anlamasına ve performans, orifis çapı ve LS hortum hacmi arasındaki tavizleri değerlendirmesine yardımcı olur.

3. YÜK ALGILAMA HATTINDA ÇEK VALF VE BASINÇ EMNİYET VALFİ KULLANIMI

Açık devre hidrolik sistemlerde, yük algılama (LS) hattındaki salınımları azaltmak için orifis kullanımına

alternatif olarak, LS hattına çek valf ve gerektiğinde basınç emniyet valfi eklenebilir. Bu yöntem, orifisli çözüme kıyasla maliyetli olmakla birlikte, sistem performansını olumsuz etkileyen bazı dezavantajları giderme imkânı sağlar. Salınımlar, çek valf gibi mantıksal bir elemanla engellenirken, sistemin orijinal basınç yükselme özellikleri korunur.

LS hattına konulan kısıtlama, yük algılama sinyalinin basınç artış ve azalış hızını düşürür; bu da pompanın operatöre kabul edilebilir tepkiyi vermesini engelleyebilir. Örneğin, LS pompasına bağlı bir direksiyon ünitesi bulunan sistemlerde, operatör direksiyon simidinde sertlik hissedebilir [3].

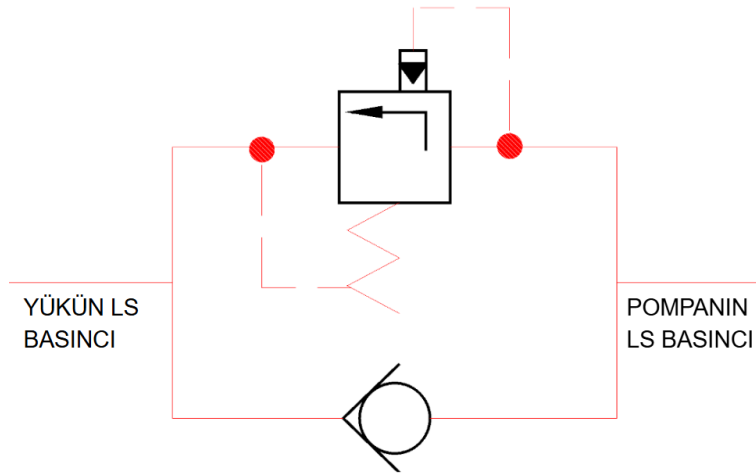


Görsel 3. LS Hattına Çek Valf Eklenmesi

Alternatif olarak, Görsel 3'te gösterildiği gibi basit bir çek valf kullanmak mümkündür. Bu, pompanın hızlı yanıt vermesini engelleyen sorunu ortadan kaldırır çünkü LS hattında basınç çok hızlı bir şekilde birikir. LS basıncı ise yavaşça düşer, çünkü çek valf yük yönünde akışı engeller.

Düşüş süresi, çek valf ile pompa arasındaki yağ hacmi ayarlanarak sistemde değiştirilebilir. Daha büyük yağ hacmi düşüş süresini artırır, daha küçük hacim ise düşüş süresini azaltır. Simülasyon sonuçları bu durumu doğrulamaktadır.

Ancak çek valfli sistemlerde pompa, yüksek basınçta uzun süre çalıştığı için enerji kaybı oluşur. Bu sorunu azaltmak için, LS hattından yük hattına basıncı tahliye eden basınç emniyet valfi eklenmesi önerilir (Görsel 4). [1]



Görsel 4. LS Hattına Çek Valf İle Birlikte Emniyet Valfinin Eklenmesi

Emniyet valfi, ani basınç düşüşlerinde devreye girerek pompadaki yüksek basıncın düşürülmesini sağlar. Simülasyonlarda bu kombinasyon hem salınımların azaltılmasını hem de basınç düşüşlerinin kontrol altına alınmasını mümkün kılmıştır.

Bu valf, farklı şekillerde tasarlanabilir:

- İçinde bir yay olan çek valf gibi çalışabilir,
- Basıncı doğrudan algılayan doğrudan etkili bir valf şeklinde olabilir.

Bu tür valflerde akışı geçirme kapasitesi genellikle düşük tutulur. Çünkü bu valf, sistemi doğrudan değil, sadece kontrol sinyali seviyesinde (yani pilot basınçla) yönetir. Yüksek debili bir ana hat

üzerinde değil, küçük bir kontrol hattında görev yapar. Bu yüzden büyük miktarda akışa gerek duymaz, düşük debi geçirgenliğe sahip bir valf olarak seçilebilir [1].

Sonuç olarak, çek valf ve basınç emniyet valfi kombinasyonu, orifis kullanımına göre daha karmaşık ancak performans ve enerji verimliliği açısından avantajlı bir çözüm sunmaktadır.

4. SİSTEM BASINÇ HATTINA KISITLAMA EKLENMESİ İLE SALINIMLARIN AZALTILMASI

Açık devre hidrolik sistemlerde görülen salınımlar, sistemin doğal frekansı ve sönüm oranı ile doğrudan ilişkilidir. Doğal frekans; sistemde salınıma neden olan elemanların hangilerinin değiştirilmesi gerektiğini, sönüm oranı ise bu salınımların ne derece kontrol altına alınabileceğini belirlemede kritik rol oynar. Bu iki parametreye yönelik yapılan sistem analizleri, mühendislerin doğru müdahaleleri gerçekleştirmesini sağlar. Doğal frekans, Denklem 1, sönümlenme oranı Denklem 2 kullanılarak hesaplanabilir.

$$F_n = \frac{D_m}{2\pi} \sqrt{\frac{B_e}{V_0 * J_t}}$$

Denklem 1. Doğal Frekans Denklemi

F_n: Doğal Frekans (Hz) – genelde doğal frekans olarak W_n (rad/sec) kullanılır.

D_m: Motor Deplasmanı

B_e: Yağın Etkin Hacim Modülü

V₀: Pompa İle Motor Arasındaki Yağ Hacmi

J_t: Yükün Atalet Momenti

$$\zeta = \frac{C_t}{2 * D_m} \sqrt{\frac{B_e * J_t}{V_0}} + \frac{B_m}{2 * D_m} \sqrt{\frac{V_0}{B_e * J_t}}$$

Denklem 2. Sönümlenme Oranı Denklemi

Z : Sönümlenme Oranı (boyutsuz)

C_t : Toplam Sızıntı Katsayısı

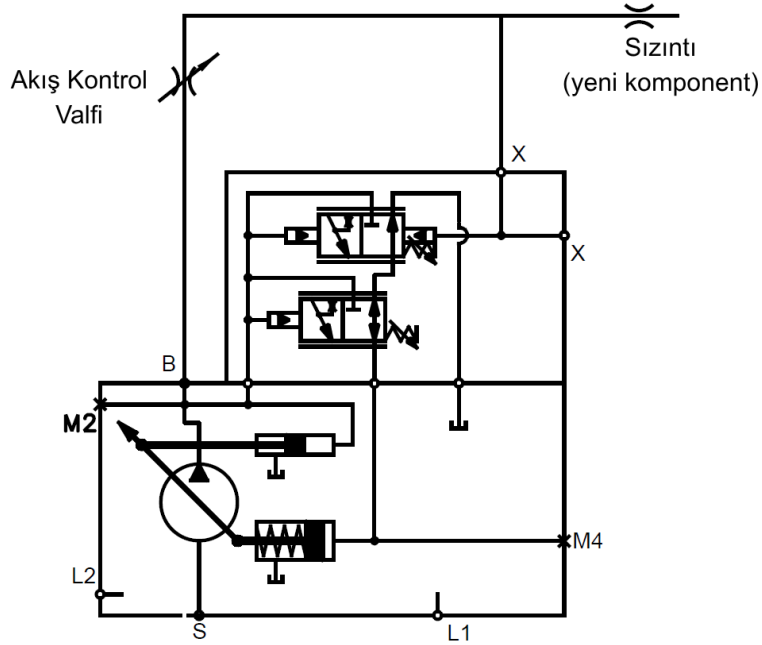
B_m : Toplam Basınç Kaybı Katsayısı (psi/rpm)

Denklem 2, sönüm oranının iki parçalı bir toplamsal denklem olduğunu gösterir. Denklem sağ tarafındaki ilk terimde, sistemdeki kaçaklarla birlikte bazı sisteme bağlı terimler yer alır. Sağ taraftaki ikinci terimde ise, sistemdeki basınç düşüşleriyle birlikte yine bazı sisteme bağlı terimler bulunur.

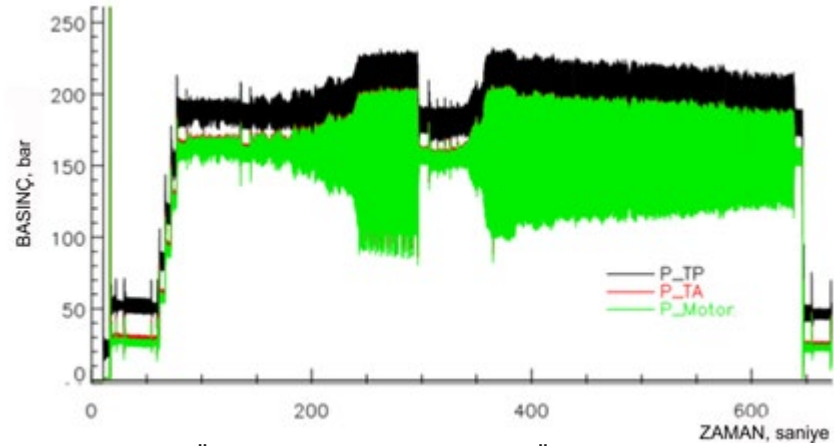
Toplam Sızıntı Katsayısı (C_t), aslında basınç artışı başına kaçak artış oranıdır. Örneğin, sistemin nominal çalışma noktası 200 bar ise, 204 bar ile 196 bar arasındaki fark üzerinden kaçaktaki artış gözlemlenebilir ve değişim oranı hesaplanabilir. Eğer kaçak bu 4bar aralığında 1 lt/dk artıyorsa, Toplam Kaçak Katsayısı 1 lt/dk / 4 bar olur.

Toplam Basınç Kaybı Katsayısı (B_m) da belirlenmelidir. Örnek sistemde (Görsel 1), debiye bağlı olarak bu basınç kaybını etkileyen tek unsurlar; pompa ile motor arasındaki hortum ve bağlantı elemanlarının yarattığı kısıtlama ile motor tork kaybıdır. Hortum kayıpları ihmal edilebilir düzeyde olduğundan bu örnekte dikkate alınmamıştır. Motor kayıpları ise, hız artışına bağlı tork kaybı artışı ölçülerek belirlenebilir. Nominal çalışma hızı olarak optimum çalışma devri alınmış ve +/- 50 rpm aralıklarında tork kaybı hesaplanmıştır. Bu tork kaybı değerleri eşdeğer basınç kaybına çevrilmiş ve buradan Toplam Basınç Kaybı Katsayısı (B_m) hesaplanmıştır.

Bu konseptte, salınımları azaltmak amacıyla sistemin basınç hattına bir orifis eklenmiş ve kontrol teorisine dayalı hesaplamalar ile bu müdahalenin etkisi analiz edilmiştir. Kaçak ve basınç kaybına ait katsayılar, sistem bileşenlerinden elde edilen verilerle tahmin edilmiştir. Kaçak katsayısı, basınca bağlı kaçak artışının ölçülmesiyle; basınç kaybı katsayısı ise tork kaybının eşdeğer basınca çevrilmesiyle elde edilmiştir.

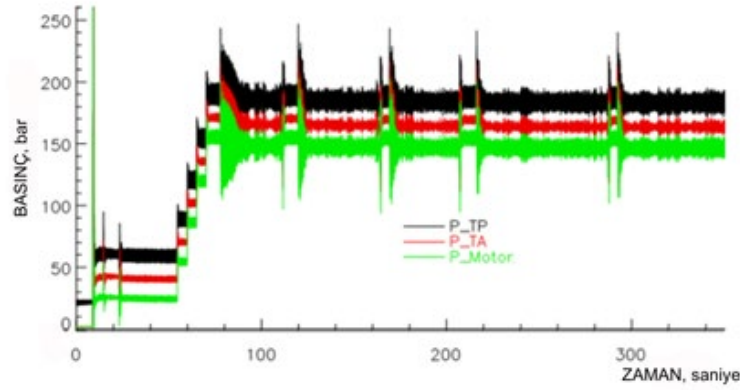


Görsel 5. Sistemin Basınç Hattına Bir Orifis Eklenmesi



Şekil 2. Makine Üzerinde Orifis Eklenmeden Önceki Test Simülasyonu

Makine üzerindeki testlerde, orifis eklenmeden önce motor hızı ve basınçta uzun süreli ve yüksek genlikli salınımlar gözlemlenmiştir. Orifis eklenmesiyle birlikte, bu salınımlar hem daha kısa sürede sona ermiş hem de genlikleri belirgin şekilde azalmıştır. Sistemde yaklaşık 17 bar'lık ek bir basınç düşüşü oluşturulmasına rağmen, sağlanan performans artışı bu enerji kaybını tolere edilebilir kılmıştır.

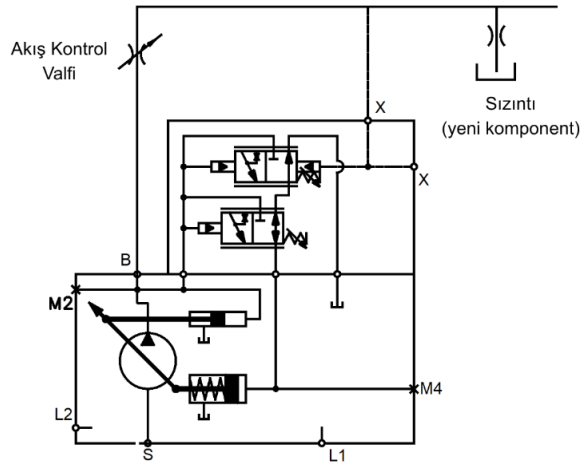


Şekil 3. Makine Üzerinde Orifis Eklendikten Sonraki Test Simülasyonu

Bu yöntem, özellikle salınımların sistem kararlılığını bozduğu durumlarda, basit ve etkili bir çözüm olarak değerlendirilebilir. Ayrıca, tank tarafı veya silindir çıkışına da benzer bir kısıtlama uygulanarak salınımlar daha da azaltılabilir.

5. SİSTEM BASINCINDAN TANKA KAÇAK (BLEED) EKLENMESİ

Denklemler, sisteme eklenen kaçakların sönüm oranını artırabileceğini göstermektedir. Bu yaklaşım, sistemin kararlılığını iyileştirmek için kullanılabilir. Ancak bu çözüm, sisteme ilave bir parazitik kayıp getirdiğinden dolayı dikkatle değerlendirilmelidir. Özellikle yüksek sistem basıncına sahip devrelerde, yüksek basınç hattından tanka yönlendirilen her türlü kontrollü kaçak (bleed), sönümlemeyi artırıcı bir etki yaratır [4].



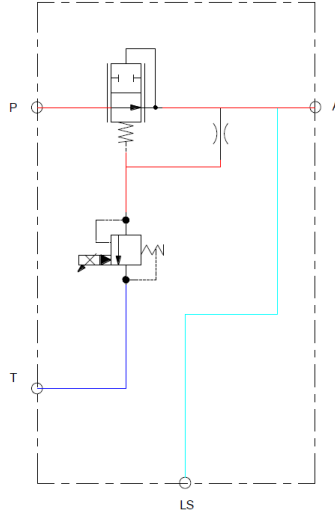
Görsel 5. Sistemin Basınç Hattına Sızıntı Eklenmesi

Bu konsept, sistem davranışını istikrarlı hale getirmek amacıyla uygulanır ve Görsel 5'te gösterilmiştir. Kaçağın sistem üzerindeki etkisi, kontrol teorisinde kullanılan denkleme motor kaçığının girdiği yerden modellenilebilir. Bu benzetim, kaçak akış miktarının sistem basıncı ile doğru orantılı olarak arttığını varsayar. Motor iç kaçığının sistem basıncı yükseldikçe artması gibi, sızıntı hattı da benzer şekilde sönümlemeyi olumlu yönde etkiler.

Ancak burada önemli olan, bu kaçığın sistem performansını dengeleyecek düzeyde ve enerji verimliliğini kabul edilebilir seviyede tutacak şekilde ayarlanmasıdır. Aksi halde sistem verimliliğinde belirgin kayıplar meydana gelebilir. Bu nedenle, sızıntı uygulaması bir çözüm olmakla birlikte, optimum tasarım için dikkatli mühendislik değerlendirmesi gerektirir.

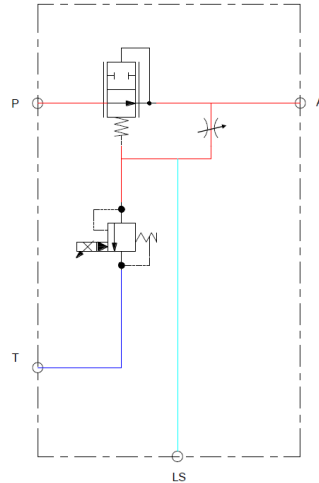
6. BASINÇ KONTROLLÜ UYGULAMALARDA SABİT BİR LOAD SENSE DEBİSİ OLUŞTURMAK

Bazı uygulamalarda, yük üzerindeki basıncın pilot kontrollü bir basınç düşürme valfi ile kontrol edilmesi tercih edilebilir. Görsel 6'da bu yapı örneklenmiştir. Yine aynı sistemde, yüke giden hidrolik debiyi kontrol etmek amacıyla bir debi kontrol valfi de kullanılabilir.



Görsel 6. Orifis Kontrollü Pilot Devresi

Görsel 6'da gösterilen "Orifis Kontrollü Pilot" düzeni, bu tip sistemlerde A portundaki basıncı kontrol etmenin yaygın bir yoludur [5]. Ancak, bu yöntemle kıyasla daha kararlı çalışan bir sistem, akışı yalnızca bir kısıtla değil, debi kontrol pilot valfi üzerinden daha sabit hale getirerek sağlanabilir. Bu yaklaşıma "Debi Kontrollü Pilot" denir ve Görsel 7'de gösterilmiştir. [2]

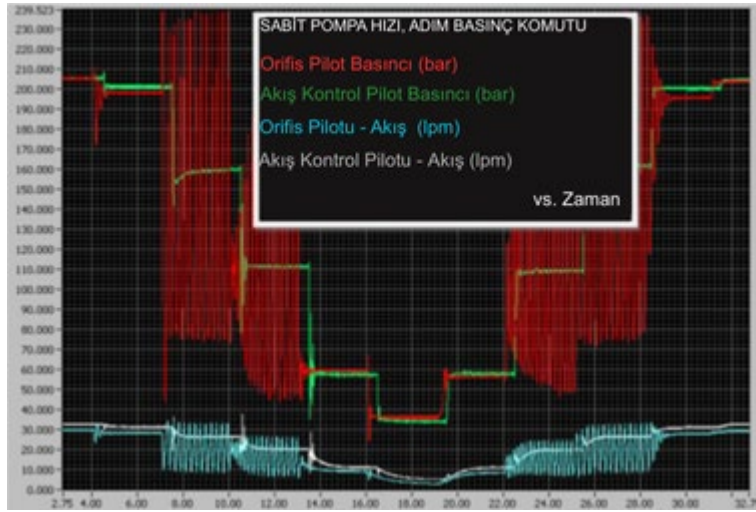


Görsel 7. Debi Kontrollü Pilot Devresi

Bu sistemde, yük algılama (LS) sinyali doğrudan yükten değil, debi kontrol pilot valfinden sonra oluşan basınç noktasından alınır. Bu detay, sistemin dinamik kontrol yeteneğini artırır. Hem debi kontrol valfinin kullanımı hem de LS sinyalinin alındığı noktanın değiştirilmesi, sistem performansını artıran iki ayrı iyileştirmedir. Bu iyileştirmeler tek başına da uygulanabilir, birlikte de kullanılabilir. Ayrıca bazı durumlarda, pilot beslemesinin "A" portu yerine "P" portundan alınması da sistemin daha sağlıklı çalışmasına katkı sağlar. [1] [4]

Debi kontrollü pilot valfin devreye alınması ve LS sinyal bağlantı noktasının değiştirilmesi, pompaya geri gönderilen sinyalin daha stabil olmasını sağlar. Bu tür önlemler alınmadığında, yükün sahip olduğu atalet, özellikle hızlı değişim anlarında, yağ akışını aşarak sisteme yük bindirebilir. Bu durum ciddi bir dengesizlik yaratır. Eğer sistemin sönmüleme kabiliyeti düşükse, bu dengesizlik osilasyonlara neden olabilir. Önerilen bu düzenlemeler, pompaya iletilen LS basınç sinyalindeki dalgalanmaları azaltır ve böylece sistemin genel performansını belirgin şekilde iyileştirir.

Yapılmış bazı saha testleri, Debi Kontrollü Pilot sisteminin etkili olduğunu açıkça göstermektedir. Şekil 5'te, Orifis Kontrollü Pilot ve Debi Kontrollü Pilot konfigürasyonlarının bozucu etkiler altındaki davranışları karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir. Test süresince, oransal pilot basınç tahliye valfine verilen komut artmış, sonra tekrar azaltılmıştır. Elde edilen veriler üst üste bindirilerek değerlendirilmiştir.



Şekil 4. Orifis Kontrollü Pilot ve Debi Kontrollü Pilot Karşılaştırması

Komut verilmediği durumda fan motoru maksimum basınçta ve hızda çalışır. Komut sinyali arttığında sistemin nominal çalışma basıncı ve debisi düşer. Ancak Orifis Kontrollü Pilot sistemi, bu değişim sırasında kararsız bir davranış sergiler, hem basınç hem debi istikrarlı bir seviyeye ulaşamaz ve sürekli salınım gösterir.



Şekil 5. Debi Kontrollü Pilot Kontrolü

Aynı test koşullarında, Debi Kontrollü Pilot sistemi çok daha başarılı bir performans sergiler. Sisteme ani bir giriş değişikliği uygulandığında küçük bir salınım gözlenirse de bu salınım oldukça kısa sürer ve hızlıca bastırılır. Şekil 6, Şekil 5'teki veri setini daha kısa bir zaman aralığında göstererek her iki sistemin basınç ve debi değişimlerini daha net analiz etme imkânı sunar.

SONUÇ

Basınç ve debi salınımlarını kabul edilebilir seviyelere indirmek, özellikle açık devre yük algılamalı (LS) sistemlerde önemli bir mühendislik zorluğudur. Değişken deplasmanlı pompa içermeyen LS sistemlerde, besleme basıncı genellikle yüksek kırılma frekansına sahip valfler ile kontrol edildiğinden, salınımların giderilmesi için bu bildiride önerilen yaklaşımlardan farklı yöntemler gerekmektedir. Bu bildiride, değişken deplasmanlı LS pompası kullanılan sistemlerde salınım sorunlarının çözümüne yönelik çeşitli yöntem ve kavramlar sunulmuştur. Önerilen kavramlar, sistemin dinamik davranışını iyileştirerek enerji verimliliği, üretkenlik ve operatör memnuniyetini olumlu yönde etkileyebilir.

Mühendislerin salınım problemlerine müdahale ederken nereden başlayacaklarını bilmek çoğu zaman güçtür. Bu çalışma, farklı sistem konfigürasyonlarına uygulanabilir çözümler sunarak mühendislerin yol haritası oluşturmasına yardımcı olmayı amaçlamaktadır. Sistem performansını etkileyen tüm bileşenler ve parametreler göz önünde bulundurularak, uygun konseptlerin seçilmesi ve test edilmesi tavsiye edilir.

Sistemin tam bir dinamik modelinin oluşturulması, değişikliklerin etkilerinin hızlı ve doğru değerlendirilmesi için büyük avantaj sağlar. Ancak bu modellerin hazırlanması yüksek kaynak gerektirmekte ve bu nedenle pratikte sadece sınırlı sayıda sistemde kullanılabilir. Bununla birlikte, bildiride sunulan pratik ve simülasyonsuz uygulanabilir kavramlar, mühendislerin sahada veya tasarım aşamasında hızlıca test yapabilmelerine olanak tanımaktadır. Bu sayede, salınım sorunları etkin biçimde tespit edilip giderilebilir, böylece sistem güvenilirliği ve verimliliği artırılabilir.

Sonuç olarak, bu çalışma, hidrolik sistemlerdeki salınım problemlerinin çözümünde mühendislik yaklaşımına yönelik kapsamlı ve uygulanabilir bir kılavuz niteliği taşımaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] MERRITT, H. E., Hydraulic Control Systems, John Wiley & Sons Inc., 1967.
- [2] CUNDY, T. R. & CHAPMAN, P. J., Design and Dynamic Response of Load-Sensing Hydraulic Systems, Institution of Mechanical Engineers, 1994.
- [3] KOSHY, P., "Hydraulic Valve Dynamics and Stability", Fluid Power Journal, 2020.
- [4] DOWSON, D., Mechanics of Fluids in Hydraulic Systems, Elsevier, 1980.
- [5] ISO 10770-1, "Hydraulic Fluid Power — Electrically Modulated Hydraulic Control Valves — Part 1: Test Methods for Four-way Directional Flow Control Valves", 2002.

ÖZGEÇMİŞ

Ali Emre YILDIRIM

1998, İstanbul doğumludur. 2020 yılında Beykent Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünden mezun olmuştur. 2023 Mayıs tarihinden itibaren Mert Teknik Fabrika Malzemeleri Tic. ve San. A.Ş. firmasında Proje ve Satış Mühendisi olarak görevini devam ettirmektedir.