

HİDROLİK YÜK ALGILAMA SİSTEMİNİN (LOAD SENSE) İNCELENMESİ VE ANALİZİ

Ömer EMANET

ÖZET

Hidrolik yük algılama (LS) sistemleri, açık devre hidrolik sistem çalışma fonksiyonlarında, mobil ekipmanlar için giderek daha fazla uygulanmaktadır. Sistem için gerekli güç gereksiniminin sağlanması, ekipmanlarımız için enerji tasarrufu sağlar, böylece makine verimliliğini artırır ve yakıt maliyetlerini düşürür. Konvansiyonel bir LS sistemi, geri besleme kontrollü değişken deplasmanlı bir pompa, diğer hidrolik bileşenler ve yükten oluşur. Geri besleme kontrol stratejisi, pompa çıkışı ile LS sinyali arasındaki basınç farkının izlenmesiyle gerçekleştirilir ve yalnızca gereken akışı sağlamak için eğim plakası açısını komutlanan konuma hareket ettirerek servo basıncını düzenler. Ancak, mobil hidrolik endüstrisinde, bir LS sisteminin dinamik yanıtının doğasının osilatörlü olduğu iyi bilinmektedir. Hidrolik güç sistemi ile yük arasındaki uyumsuzluk derecesine bağlı olarak, bu durum istikrarsızlığa yol açabilir. Bu istikrarsızlık, makinedeki bazı bileşenlerin şiddetli osilasyonuna neden olur ve genellikle yüksek frekanslı gürültü ile birlikte görülür. Bu durum, operatör rahatsızlığına yol açar ve güvenlik endişelerine neden olur. Bildiride belirtilen bu durumlar için incelenmesi ve analizi üzerine çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler : Hidrolik Yük Algılama Sistemi, Kararlılık, Mobil Hidrolik

ABSTRACT

Hydraulic load-sensing (LS) systems are increasingly utilized in open-circuit hydraulic work functions for mobile machinery. By supplying only the required power, these systems achieve energy savings, improving machine efficiency and reducing fuel costs. A conventional LS system consists of a variable displacement pump with feedback control, various hydraulic components, and the load. The feedback control strategy monitors the pressure differential between the pump outlet and the LS signal, regulating servo pressure to adjust the swashplate angle to deliver only the necessary flow. However, it is well known in the mobile hydraulics industry that the dynamic response of LS systems is inherently oscillatory. Depending on the degree of mismatch between the hydraulic power system and the load, this behavior can lead to instability. Such instability results in severe oscillation of machine components and is often accompanied by high-frequency noise, reducing operator comfort and raising safety concerns. This paper focuses on the investigation and analysis of these dynamic behaviors.

Key Words : Hydraulic load-sensing system, Stability, Mobile Hydraulics

1.GİRİŞ

Hidrolik yük algılama (Load Sensing, LS) sistemleri, mobil ekipmanların açık devre hidrolik çalışma fonksiyonlarında enerji verimliliği ve kontrol edilebilirlik kazanımları nedeniyle giderek daha yaygın biçimde tercih edilmektedir. LS mimarisi, sistemde yalnızca gerekli debi ve buna karşılık gelen basıncı üretmeyi hedefleyerek pompa gücünü yük talebine “anlık” olarak uyumlar [1] ; böylece ısı kayıpları azaltılır, makine verimliliği artar ve yakıt tüketimi düşer. Konvansiyonel bir LS devresi; geri besleme kontrollü değişken deplasmanlı bir pompa, kontrol valfleri, veya (shuttle) valfi/valfleri, basınç kompanzatorleri ve yük tarafı bileşenlerinden oluşur. Geri besleme stratejisinin esası, pompa çıkışı ile LS hattı arasındaki basınç farkının (marjin) izlenmesi ve servo mekanizma aracılığıyla swashplate açısının yalnızca gerekli akışı sağlayacak biçimde ayarlanmasıdır.

Bununla birlikte, LS sistemlerinin dinamik yanıtının doğası gereği osilasyon eğilimli olduğu, yük ile hidrolik güç grubu arasındaki eşleşme hataları, geri besleme gecikmeleri, hat hacimleri ve valf karakteristikleri gibi parametrelerin uygunsuz seçimi halinde kararsızlığa evrilebildiği literatürde geniş biçimde rapor edilmiştir. Söz konusu kararsızlık; makine üzerinde yüksek genlikli basınç/akış salınımları, titreşim, yüksek frekanslı gürültü ve operatör konforunda azalma gibi sonuçlar doğurmakta; bazı durumlarda güvenlik riski oluşturmaktadır.

Bu bildiriye, temsili bir LS devre şeması üzerinden mühendislik bakış açısıyla bir inceleme sunulmaktadır. Devre üzerindeki akış yolları, basınç ölçüm noktaları, LS marjin’in rolü, veya valfin en yüksek yük basıncını seçerek pompa kontrolüne geri besleme sağlaması [2] ve basınç kompanzatorlerinin valf üzerindeki diferansiyel basıncı sabit tutmadaki fonksiyonu, örnek bir çalışma senaryosu üzerinden açıklanacaktır. Ayrıca, pratik tasarımda sık başvurulan bazı osilasyon azaltma yaklaşımlarına (ör. belirli noktalarda damping orifisi kullanımı, hat hacimlerinin/uyumluluğunun yeniden dağıtılması, LS margin ayarı, valf kazanç ve zaman sabitlerinin yeniden seçimi) değinilecektir.

2. LS SİSTEM BİLEŞENLERİ VE ÇALIŞMA PRENSİBİ

Hidrolik yük algılama (Load Sensing, LS) sistemleri, mobil hidrolik devrelerde yük ihtiyacına göre anlık debi ve basınç üreterek enerji verimliliği sağlayan gelişmiş bir kontrol mimarisidir. Temel prensip, pompa çıkış basıncı ile yük basıncı arasındaki farkın (LS marjini) sabit tutulmasıdır. Böylece sistem yalnızca talep edilen akışı üretir, gereksiz debi ve basınç artışları önlenir. Bu mimaride kullanılan başlıca bileşenler şunlardır:

- **Değişken deplasmanlı pompa (Variable Displacement Pump)** :LS sinyali ile beslenen kontrol ünitesi sayesinde pompanın eğim plakası (swashplate) sürekli olarak ayarlanır. Böylece pompa debisi, yük tarafından talep edilen akışa dinamik olarak uyum sağlar. Yük düşük basınçta çalışıyorsa pompa gereksiz yere yüksek basınç üretmez.
- **Kontrol valfleri (Yön Kontrol veya Oransal Valfler)** :LS devrelerinde kullanılan valfler, aktüatörlere (silindir veya hidromotor) gerekli akışı yönlendirir. Her valfte LS portu bulunur ve bu port yük basıncını LS hattına ileterek pompa kontrolüne geri besleme sağlar.
- **Seçici (Shuttle) Valf**:Sistemde birden fazla fonksiyon (örneğin bom, arm, kepçe) olduğunda her valf çıkışındaki yük basınçları shuttle valf üzerinden karşılaştırılır ve en yüksek yük basıncı seçilerek pompa kontrol ünitesine gönderilir. Böylece pompa, en zorlayıcı yük fonksiyonunun ihtiyacına göre basınç üretir.
- **Basınç kompanzatorleri (Pressure Compensators)**:Kontrol valfleri üzerinde bulunan kompanzatorler, yükten bağımsız olarak valf üzerindeki diferansiyel basıncı sabit tutar. Bu, debinin yük basıncı değişimlerinden bağımsız ve hassas bir şekilde kontrol edilmesini sağlar.

- **LS hattı (Load Sensing Line):**İnce çaplı bir hidrolik hat olup valf çıkış basıncını pompa kontrolüne iletir. LS hattı, pompa çıkış basıncının sürekli olarak yük basıncı + marjin olacak şekilde ayarlanmasını sağlar.

2.1 Çalışma Prensipleri:

Kontrol valfi kapalı olduğunda, LS hattında basınç sinyali yoktur ve pompa minimum debi üretir (genellikle sadece pilot basıncı kadar). Operatör bir fonksiyonu çalıştırdığında, valf çıkışındaki yük basıncı LS hattına iletilir. Veya valfi aracılığıyla en yüksek yük basıncı seçilir ve pompa kontrol ünitesi bu basınca LS marjini ekleyerek pompa çıkış basıncını ayarlar. Örneğin, yük 70 bar basınç gerektiriyorsa ve LS marjin basıncı 15 bar ise, pompa çıkışı 85 bar seviyesine ayarlanır ve yalnızca talep edilen debi üretilir. Valften geçmeyen fazla debi tanka yönlendirilmediği için klasik sistemlere göre ısı kayıpları ve enerji israfı minimuma iner.

LS sistemlerinin avantajları:

- Yüksek enerji verimliliği (%80'in üzerinde).
- Daha düşük yağ sıcaklığı ve daha az soğutma ihtiyacı.
- Operatör için daha hassas ve yükten bağımsız hareket kontrolü.
- Pompa ve motor üzerinde gereksiz yük oluşmaması sayesinde daha uzun komponent ömrü.

3. ENERJİ VERİMLİLİĞİ KARŞILAŞTIRMASI

Mobil hidrolik sistemlerde enerji verimliliği, özellikle yük bağımsız akış kontrolü ve pompa gücünün yalnızca ihtiyaç kadar kullanılması açısından kritik bir tasarım parametresidir. Açık devre sistemlerde, pompa debisi ve sistem basıncı yük talebine göre ayarlanmadığında enerji kayıpları ciddi oranda artar. Bu durum, pompanın sürekli maksimum debi üretmesi, basınç farkının valf üzerinde boşa harcanması ve tank hattına dökülen fazla debinin ısıya dönüşmesi şeklinde ortaya çıkar. Load Sensing (LS) mimarileri, bu kayıpları en aza indirmek amacıyla geliştirilmiştir.

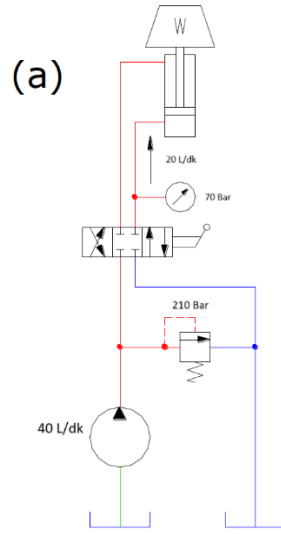
Farklı pompa ve kontrol devresi mimarilerinin enerji verimliliğini değerlendirmek için, 20 L/dk debi ve 70 bar yük basıncı altında aynı iş fonksiyonunu yerine getiren dört yaygın yapı karşılaştırılmıştır.

(a) Sabit deplasmanlı pompa + emniyet valfi:

Bu en basit konfigürasyonda pompa sürekli olarak 40 L/dk debiyi 210 bar sistem basıncında üretir. Kontrol valfi nötr durumdayken bu debi doğrudan tanka döner ve pompa sürekli tam güç harcar. Yük devredeyken, 70 bar basınçta 20 L/dk debi işe dönüşürken geri kalan debi ve basınç farkı tamamen kayba gider.

- Çıkış gücü (yük üzerinde yapılan iş): $P_{\text{çıkış}} = \frac{20 \times 70}{600} = 2,33 \text{ kW}$
- Pompa gücü (toplam giriş): $P_{\text{giris}} = \frac{40 \times 210}{600} = 14 \text{ kW}$
- Verimlilik: $\eta = \frac{(2,33 \times 100)}{14} \approx 16,7$

Bu yapı, kontrol kolaylığı sağlasa da en düşük verimliliğe sahiptir [3], çünkü çoğu enerji valflerde boşa harcanır.



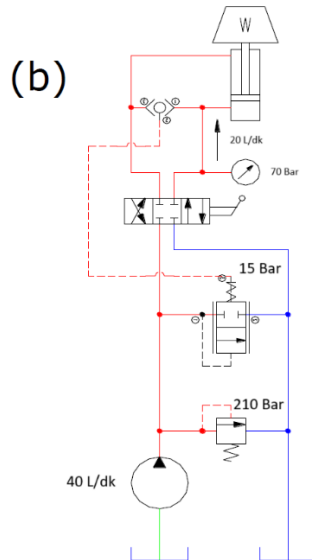
Şekil 1- Sabit Deplasmanlı Pompa + Emniyet Valfi Hidrolik Şema Örneği

(b) Sabit deplasmanlı pompa + LS unloader valfi:

LS unloader devresinde pompa yine sabit deplasmanlıdır ancak LS hattından gelen sinyalle yalnızca ihtiyaç duyulan debi çalışma basıncına yönlendirilir, fazla debi tank hattına tahliye edilir. LS margin (yaklaşık 15 bar) nedeniyle sistem basıncı yük basıncının üzerinde sabitlenir.

- Çıkış gücü: 2,33 kW
- Pompa gücü: 5,67kW
- Verimlilik: %41

Bu yapı, klasik sabit pompa + emniyet valfine göre yaklaşık 2,5 kat daha verimlidir.

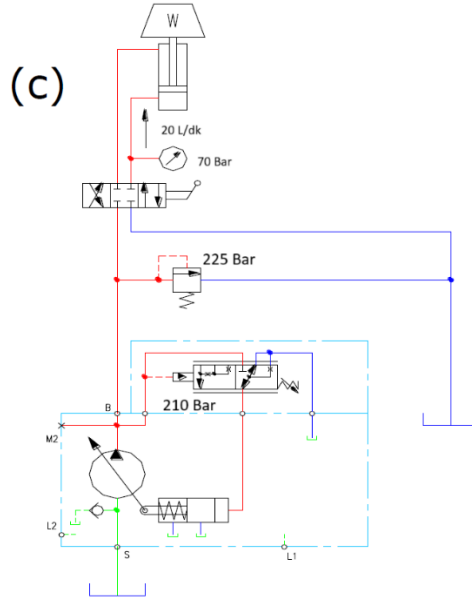


Şekil 2 - Sabit Deplasmanlı Pompa + LS Unloader Valfi Hidrolik Şema Örneği

Bu pompa türünde, pompa basıncı kompanzator ayarına ulaşıncaya kadar tam debi üretir. Basınç arttığında kompanzator, swashplate açısını küçülterek pompa debisini yük ihtiyacına göre otomatik olarak kısar (de-stroking). Böylece gereksiz debi üretimi azaltılır.

- Çıkış gücü: 2,33 kW
- Pompa gücü: 7kW
- Verimlilik: %33

Bu yapı, sabit deplasmanlı pompalara göre daha iyi enerji kullanımı sağlar, ancak basınç kompanzasyon noktası gereksiz yere yüksek ayarlanırsa yine enerji kaybı yaşanır.



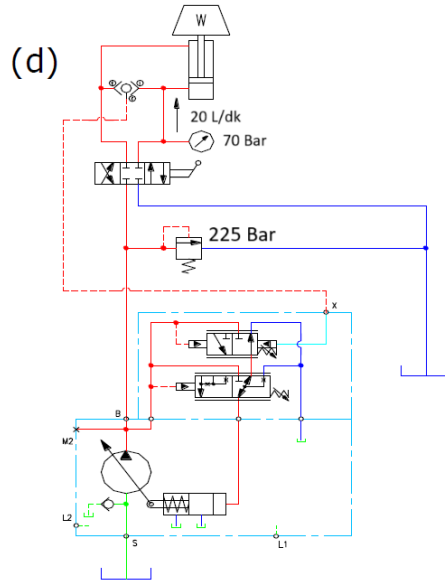
Şekil 3 - Basınç Kompanzasyonlu Değişken Deplasmanlı Pompa Hidrolik Şema Örneği

(d) LS kontrollü değişken deplasmanlı pompa:

Bu sistemde pompa, LS hattından gelen sinyale bağlı olarak sadece yük tarafından talep edilen debiyi ve yük basıncı + margin değerini üretir. Yani pompa çıkışı gerçek ihtiyaçla neredeyse birebir eşleşir.

- Çıkış gücü: 2,33 kW
- Pompa gücü: 2,83kW
- Verimlilik: %82

LS kontrollü değişken deplasmanlı pompa, en yüksek enerji verimliliğine sahip yapıdır ve bu yüzden mobil hidrolik endüstrisinde yaygın olarak tercih edilmektedir.



Şekil 4 - LS Kontrollü Değişken Deplasmanlı Pompa Hidrolik Şema Örneği

Teknik olarak değerlendirildiğinde, dört mimari arasındaki verimlilik farkının temel belirleyicisi, pompanın ürettiği hidrolik gücün (debi \times basınç) ne kadarının gerçekten yükte işe dönüştürülebildiğidir. Sabit deplasmanlı pompa + emniyet valfi mimarisinde pompa, valf nötrde dahi maksimum debiyi yüksek basınçta üretmeye devam ettiği için, debinin büyük kısmı tanka boşa akarak ısıya dönüşür ve çalışma döngüsü verimliliği %20'nin çok altında kalır. Sabit pompa + LS unloader yapısında LS sinyaline göre gereksiz debi tanka tahliye edilse de pompa yine sabit deplasmanlı olduğundan, basınç seviyesi ve debi kontrolü “tam uyumlu” değildir; bu nedenle verimlilik ancak orta düzeye taşınabilir. Basınç kompanzasyonlu değişken deplasmanlı pompa, kompanzator ayarına ulaşıldığında de-stroking yaparak gereksiz debiyi azaltır ve sabit pompalara kıyasla kayıpları ciddi ölçüde düşürür; ancak kompanzasyon basıncı yükten bağımsız olarak yüksek seçildiğinde, valf üzerinde korunması gereken diferansiyel basınç yine ilave bir kayıp kaynağıdır. Buna karşın LS kontrollü değişken deplasmanlı pompa, LS hattından aldığı geri besleme ile yalnızca ihtiyaç duyulan debiyi ve yük basıncı üzerine eklenen sınırlı bir marjini (ör. 10–15 bar) üretir; böylece pompa gücü yük talebiyle neredeyse bire bir eşleşir, valf üzerindeki gereksiz diferansiyel basınç minimize edilir ve toplam giriş gücü dramatik biçimde düşerek verimlilik %80'lerin üzerine çıkar. Sonuç olarak, enerji verimliliği perspektifinden bakıldığında en büyük kazanç, pompanın çıkış gücünün dinamik olarak yük talebine uyarlanabildiği ve LS marjininin de kontrol stabilitesi ile kayıp minimizasyonu arasında optimumda seçildiği LS kontrollü değişken deplasmanlı mimaride elde edilmektedir.

4. LS MARJİNİNİN HESAPLANMASI, OPTİMİZASYONU VE ENERJİ VERİMLİLİĞİNE ETKİSİ

LS marjini, pompa çıkış basıncı ile yük basıncı arasındaki fark olup LS kontrollü sistemlerde debi kontrolünün hassasiyetini ve sistem kararlılığını belirleyen en kritik parametrelerden biridir. Pompa kontrol ünitesi, LS hattından gelen sinyale göre pompa basıncını yük basıncı üzerine belirli bir marjin ekleyerek ayarlar. Bu fark, kontrol valfi üzerindeki diferansiyel basıncı sabit tutarak valften geçen akışın yük değişimlerinden etkilenmeden kontrol edilebilmesini sağlar. Marjin değeri çok düşük seçildiğinde (10 bar altı), valf üzerindeki Δp yetersiz kalır, debi hassasiyeti bozulur ve sistem hunting (avlanma) eğilimine girebilir. Buna karşılık, marjin çok yüksek seçildiğinde (15 bar üzeri) pompa sürekli olarak gereksiz yüksek basınç üretir, enerji kaybı ve yağ sıcaklığı artar. Mobil hidrolik uygulamalarında

10–15 bar aralığı hem kontrol güvenliği hem de enerji verimliliği açısından optimum değer olarak kabul edilmektedir.

LS sistemlerinde marjin basıncından kaynaklanan enerji kayıpları, basit bir güç hesabıyla değerlendirilebilir. Marjin nedeniyle oluşan hidrolik kayıp gücü, aşağıdaki ifade ile hesaplanır [2] :

$$P_{\text{kayıp}} = (Q \times p_{\text{margin}}) / 600 \text{ [kW]}$$

Burada;

- Q: pompa debisi (L/dk),
- P_margin: LS marj basıncı (bar).

Örneğin; Q = 20 L/dk için:

- Marjin 10 bar olduğunda $P_{\text{kayıp}} = 0,33 \text{ kW}$,
- 15 bar için $P_{\text{kayıp}} = 0,50 \text{ kW}$,
- 20 bar için $P_{\text{kayıp}} = 0,67 \text{ kW}$ olmaktadır.

Bu hesaplamalar, marjin artışının enerji kaybını yaklaşık lineer şekilde artırdığını açıkça göstermektedir. Sistem performansını olumsuz etkilememek için marjin basıncı, sadece gerekli olduğu kadar yüksek tutulmalı; aksi halde sistemin toplam enerji verimliliği belirgin şekilde düşer.

Marjin optimizasyonu yapılırken;

- Hattaki sürtünme kayıpları,
- Valf yay kuvvetleri,
- Kontrol valfinin akış karakteristiği,
- Sistemin dinamik yanıtı (zaman sabiti, gecikme vb.)

gibi faktörler göz önünde bulundurulmalıdır. Bu doğrultuda, kontrol stabilitesini koruyacak en düşük güvenli marjin değeri seçilir.

Ayrıca, düşük marjin değerlerinde dahi sistemin kararlı çalışabilmesi için:

- LS hattı mümkün olduğunca kısa ve düşük hacimli olmalı,
- Gerekirse damping orifisi gibi filtreleme elemanları devreye alınmalı,
- Geri besleme gecikmesini azaltacak şekilde hat uyumluluğu yeniden tasarlanmalıdır.

Sonuç olarak, LS marjini sadece kontrol sisteminin bir parametresi değil, aynı zamanda enerji verimliliği ile kararlılık arasında kurulan hassas bir dengedir. Bu nedenle sistem tasarımında marjin değeri dikkatle hesaplanmalı, uygulamaya özel optimizasyon yapılmalıdır.

5. LS SİSTEMLERİNDE DİNAMİK YANIT, OSİLASYONUN TEMEL NEDENLERİ VE STABİLİTE İYİLEŞTİRME STRATEJİLERİ

Hidrolik yük algılama (LS) sistemleri, geri besleme kontrollü değişken deplasmanlı pompa yapıları sayesinde yük talebine göre basınç ve debi ayarlaması yaparak enerji verimliliğini artırırken, dinamik davranış açısından bazı kararlılık sorunlarına yol açabilir. LS pompası, LS hattından gelen sinyali sürekli takip eder ve pompa çıkış basıncı ile yük basıncı arasındaki fark (LS marjini) sabit tutulmaya çalışılır. Ancak bu geri besleme döngüsü, pompa servo kontrolünün gecikmesi, LS hattındaki hidrolik uyumluluk, valflerin akış karakteristikleri ve pompa kontrol plakasının atalet momenti gibi faktörler nedeniyle doğal bir osilasyon eğilimi gösterebilir. Bu osilasyonlar, yük tarafında basınç dalgalanmaları, debi değişimleri, titreşim ve gürültü olarak kendini gösterir ve sistem bileşenlerinin ömrünü kısaltırken operatör konforunu olumsuz etkiler.

Dinamik analizlerde osilasyonun başlıca nedenlerinden biri LS marjininin uygun seçilmemesi olarak öne çıkar. Çok düşük marjin (10 bar altı) valf üzerindeki diferansiyel basıncı azaltarak akış kontrolünde gecikmelere ve kararsızlığa neden olabilir; çok yüksek marjin ise pompa tarafından üretilen gereksiz basınç farkından dolayı enerji kaybına ve aşırı ısınmaya yol açar. Uygulamada 10–15 bar arası LS marjini, hem akış kararlılığı hem de enerji kayıplarının azaltılması açısından optimum kabul edilir.

Hat hacimleri ve LS hattının uyumluluğu da dinamik davranış üzerinde belirleyicidir. Uzun veya dar LS hatları, yağın sıkıştırılabilirliği nedeniyle faz gecikmesine sebep olur ve geri besleme sinyali pompa kontrolüne zamanında ulaşmaz. Örneğin, 3 metre uzunluğunda ve 4 mm iç çapındaki bir LS hattının yaklaşık 38 mL iç hacmi vardır ve bu hacim, damping orifisi olmadan 10–15 ms mertebesinde bir zaman sabiti yaratır. Hattın uzatılması bu gecikmeyi büyüterek kararlılığı olumsuz etkiler.

Kararlılığı artırmak için mühendislik çözümleri arasında, LS hattına küçük çaplı bir damping orifisi eklemek yaygın bir yöntemdir [1]. Bu orifis, ani basınç değişimlerini filtreleyerek pompanın aşırı tepkisini bastırır. Ancak orifis çok küçük seçilirse faz gecikmesi artar ve sistem yanıtı yavaşlar; çok büyük seçilirse yüksek frekanslı salınımlar bastırılamaz. Bunun yanı sıra pompa kontrol servosunun kazancının optimize edilmesi, LS hattı hacimlerinin azaltılması, gerekirse hidrolik akümülatör veya kompanzasyon hacimleri ile ani basınç dalgalanmalarının emilmesi gibi yöntemler de kullanılır.

Sonuç olarak, LS sistemlerinde geri besleme döngüsü, LS marjini, hat hacmi ve damping elemanlarının doğru seçimi, sistemin hem enerji verimliliği hem de dinamik kararlılığı için kritik rol oynar. Bu bildiriye, LS sistemlerinin osilasyon eğilimini tetikleyen fiziksel nedenler analiz edilmiş ve bu sorunların çözümü için pratik mühendislik önerileri sunulmuştur.

6.SONUÇ

Bu çalışmada, mobil hidrolik sistemlerde yaygın olarak kullanılan yük algılama (Load Sensing – LS) sistemleri; bileşen yapısı, çalışma prensibi, enerji verimliliği üzerindeki etkisi, marjin basıncı optimizasyonu ve dinamik kararlılık açısından kapsamlı şekilde değerlendirilmiştir. LS mimarisinin, sadece gerekli debi ve basıncın üretilmesini sağlayarak klasik açık devre sistemlere kıyasla belirgin oranda enerji tasarrufu sunduğu, teknik hesaplamalarla ortaya konmuştur. Özellikle LS marjininin uygun seçimiyle, hem kontrol hassasiyeti korunmakta hem de pompa tarafından üretilen fazladan basınç nedeniyle oluşabilecek enerji kayıpları minimize edilmektedir.

Ayrıca, LS sistemlerinde karşılaşılan dinamik kararsızlıkların; marjin değeri, LS hattı hacmi ve geri besleme gecikmesi gibi parametrelerin optimize edilmesiyle önemli ölçüde giderilebileceği gösterilmiştir. Bu bağlamda, mühendislik tasarımında marjinin sistem özelliklerine uygun şekilde belirlenmesi, damping orifisi gibi destekleyici elemanların doğru konumlandırılması ve geri besleme hattının fiziksel özelliklerinin göz önünde bulundurulması gerektiği vurgulanmıştır.

Sonuç olarak, LS sistemleri yalnızca enerji verimliliği sağlamakla kalmaz, aynı zamanda hassas kontrol ve uzun sistem ömrü için uygun bir altyapı sunar. Ancak bu kazanımların sürdürülebilirliği, sistemin dinamik davranışlarının ve kontrol parametrelerinin dikkatli mühendislik yaklaşımlarıyla değerlendirilmesine bağlıdır. Bu bildiride sunulan analizler ve öneriler, yük algılama sistemlerinin hem tasarım hem de uygulama aşamalarında daha güvenli, verimli ve kararlı bir yapıya kavuşturulması açısından faydalı bir temel sunmaktadır.

7.KAYNAKÇA

- [1] Danfoss Power Solutions. *Load-Sensing Hydraulic Systems – Technical Information Manual*.
- [2] Murrenhoff, H. *Fundamentals of Fluid Power*. RWTH Aachen University, Lecture Notes, 2010.
- [3] Watton, J. *Fundamentals of Fluid Power Control*. Cambridge University Press, 2009.

ÖZGEÇMİŞ

Ömer EMANET

1995 yılı İstanbul doğumludur. İlk, orta ve lise öğrenimini İstanbul'da tamamlamıştır. 2020 yılında Doğu Üniversitesi Makine Mühendisliği (İngilizce) bölümünden mezun olmuştur. 2021 yılından itibaren Mert Teknik A.Ş. 'de proje ve satış mühendisi olarak görev yapmaktadır.