

HİDROLİK KUMANDALI SİSTEMLERDE ENERJİ TASARRUFUNUN ANALİZİ ANALYSIS OF ENERGY SAVING IN HYDRAULIC SYSTEMS

Hayriye Sevil ERGÜR 

Dr. Öğr. Üyesi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği
Bölümü, Eskişehir/Türkiye

Geliş Tarihi / Received: 22.04.2021
Kabul Tarihi / Accepted: 18.05.2021

Araştırma Makalesi/Research Article
DOI: 10.38065/euroasiaorg.549

ÖZET

Enerji-tasarruflu ürünlere yönelik taleplerin artışı, tasarım süreçlerinde ürün yaşam döngülerindeki efektif enerji kullanımını, önemli bir faktör haline getirmektedir. Bu konu, genellikle daha önce tasarlanmış ürünün enerji verimlilik analizi ve daha sonra değerlendirilen tasarım iyileştirme aşamalarında ele alınır. İlk aşamada enerji verimliliğinin dikkate alınması, tasarım sürecini daha karmaşık hale getirmekle birlikte piyasadaki talebin yerine getirilmesi açısından çok önemlidir. Günümüz yerel dilinde, enerji verimliliği ifadesi özellikle doğal kaynaklarla ilgili olduğu için, genellikle *çevre dostu* veya *yeşil* değerlerle birlikte ilişkilendirilir. Verimlilik, bu enerjiyi kullanan veya dönüştüren işlemlerin dikkate alındığı durumlarda, atık miktarları sınırlandırırken çeşitli enerji kaynaklarından da yararlanmak olarak tanımlanmaktadır. Hidrolik verimlilikte ise makine gereksinimleri, motorlar ve pompalar gibi hidrolik sistemlerin akışkan gücünü doğrudan etkileyen faktörler göz önünde bulundurulur. Hidrolik sistemlerde, enerjiyi dönüştürme sürecinde önemli miktarda güç kaybedildiği için genel olarak *hidrolik kavramı* verimli bir teknolojiyi tanımlamamaktadır. Bu anlamda, hidrolik verim bir *oksimoronik terim* olarak da sorgulanabilir. Bununla birlikte, *hidrolik verimlilik*, farklı malzemeleri ve tasarımları araştırmak ve artan enerji verimliliği özelliklerine sahip yeni sistemler üretmek için kaydedilen ilerlemeye ilişkin çalışmaların tamamı olarak da tanımlanabilir.

Anahtar Kelimeler: Enerji, hidrolik verimlilik, valf kontrollü sistemler, hidrostatik devre, dinamik performans

ABSTRACT

The increasing demand for energy-efficient products makes the effective use of energy in product life cycles an important factor in design processes. This issue is generally addressed by analysis of the energy efficiency of the previously designed product and subsequent design improvement. Considering energy efficiency in the previous stage can be significant in terms of market dominance, while adding to the complexity of the design process. Energy efficiency in today's local language is often associated with *environmentally friendly* or *green* values, as it refers specifically to natural resources. *Efficiency* is defined as utilizing various energy sources while limiting waste when processes that use or convert this energy are taken into account. As referring the hydraulic efficiency, factors that directly affect the fluid power of hydraulic systems such as machine requirements, motors and pumps are considered. Generally, the concept of *hydraulic* is not an efficient technology because a significant amount of power is lost in the process of converting energy. In this sense, hydraulic efficiency can be questioned as an *oxymoronic term*. However, *hydraulic efficiency* can also be defined in relation to the progress made to research different materials, designs and produce new systems with increased energy efficiency characteristics.

Keywords: Energy, hydraulic efficiency, valve controlled systems, hydrostatic drive circuit, dynamic performance

1. GİRİŞ ve AMAÇ

Hidrolik bileşenlerin ve sistemin geliştirilmesi için özellikle enerji verimliliği ve kontrol edilebilirlik üzerine odaklanmış araştırmalar ve çalışmalar hızla artmaktadır. Elektrikle çalışan pompalar, motorlar ve valfler ile elektronik kontrol sistemleri gibi günümüzün bileşenleri sayesinde, hidrolik teknolojisi önemli ölçüde esneklik kazanmıştır. Böylece, iyi kontrol edilebilir enerji kazancı açısından son derece yeterli, yani verimli bir hidrolik sistem oluşturmak için benzersiz fırsatlar sağlanarak yenilikçi çözümler üretilmektedir. Hidrolik sistemdeki birincil güç kaynağının, çevrim ve performans şartlarını karşılaması ve mekanik birimlerle uyumlu olması gerektiğinden, enerji-verimli sistemlerin endüstriyel uygulamaları oldukça karmaşıktır. Konvansiyonel sistemler ile enerji verimli sistemler karşılaştırıldığında, valf ve pompa kontrollü mobil sistemler değerlendirilebilir (Rydberg, 2015; Jaroslaw & Urszula, 2020). Yüklü akışkan güç sistemine ait küçük verimlilik iyileştirmeleri, toplam maliyet üzerinde önemli bir ekonomik etkiye sahip olduğundan, son yıllarda, endüstriyel makine uygulamalarında kullanılan hidrolik aktüatör sistemlerinin enerji verimliliği açısından önemi artmıştır. Enerji verimliliği ifadesi, doğal kaynaklarla ilgili olduğu için genellikle *çevre dostu* veya *yeşil değerlerle* ilişkilidir. Verimlilik, doğal kaynaklardaki bu enerjiyi kullanan veya dönüştüren işlemlerle ilişkili atıkları sınırlarken çeşitli enerji kaynaklarından yararlanmaktadır. Hidrolik verimlilikten bahsederken, makine gereksinimleri ile motorlar ve pompalar gibi hidrolik sistemlerin akışkan gücünü etkileyen faktörleri göz önünde bulundurulur. Hidrolik sistemlerde, enerjiyi dönüştürme sürecinde önemli miktarda güç kaybedildiği için genel olarak hidrolik kavramı verimli bir teknolojiyi tanımlamamaktadır. Bu anlamda, hidrolik verim bir *oksimoronik* terim olarak da sorgulanabilir. Bununla birlikte, hidrolik verimlilik, farklı malzemeleri ve tasarımları araştırmak ve daha sonra artan enerji verimliliği özelliklerine sahip yeni sistemler üretmek için kaydedilen ilerlemeye ilişkin çalışmaların tamamı olarak da tanımlanabilir.

Enerji tüketimi, hidrolik sistem operatörleri için önemli bir parametre olup, hidrolik sistemin enerji dengesi verimliliği ile karakterize edilir. Bu sistemlerde, tesisattaki viskoz sürtünme nedeniyle basınç düşüşleri, tahliye valfleri yoluyla debi kayıpları, hidrostatik çeviricideki (konvertör) enerji kayıpları, sıvı kaçakları gibi farklı enerji kayıpları tanımlanır. Enerji kayıplarını etkileyen faktörler, sıvı tipi, debi, çalışma basıncı, sıvı yoğunluğu, sıcaklık ve viskozite, hidrolik bileşenlerin malzemeleri ve tesisat uzunluğu olarak sınıflandırılabilir. Enerji tasarruflu hidrolik sistemlerin kullanımında, bileşenlerdeki kayıpları azaltmak ya da hidrolik sistemlerdeki enerji kayıplarını gidermek için en uygun önlemlerin seçimi ideal çözümdür (Chapple, 2003).

Günümüzde, hidrolik sistemlere ilişkin bilimsel çalışmalarda, bu sistemlerin geliştirilmesi ve enerji kayıplarının azaltılması üzerinde oldukça geniş kapsamlı araştırmalar yapılmaktadır. Bunun için oldukça büyük bütçelerin ayrıldığı ve kısa süre içinde uygulanabilir sonuçlara ulaşıldığı gözlenmektedir. Enerji kayıpları, borulardaki sürtünme, sistem elemanlarındaki ve özellikle dirseklerdeki çap değişikliğinde oluşmaktadır. Ayrıca, ısı artışına sebep olan basınç kayıpları, sisteme hasar vereceğinden soğutucu kullanımı gerekmektedir. Bir diğer enerji kaybı nedeni ise başlangıçta küçük, ancak zamanla artan, örneğin emniyet valfinden tanka geri dönen akışkanın oluşturacağı hidrolik kaçaklardır. Hidrolik sistemlere ilave edilen yüksek verimli ekipmanlar ve teknolojik iyileştirmeler ile enerji kayıpları azaltılır. Dikkat edilmesi gereken noktalardan birisi, sistemdeki basınç kontrolünü kolaylaştırmak için pompaya en yakın noktaya monte edilen emniyet valfinden geçen basınçlı sıvının, tanka dönüş debisini, dolayısıyla enerji kaybını artıracığıdır (Rydberg, 2015).

Bir makine için belirlenmesi gereken parametreler, en uygun hidrolik sistem tasarımı ve seçimi, işlevsellik, performans, güvenlik, maliyet, güvenilirlik, görev döngüsü, bileşen kullanılabilirliği ve verimlilik içeren çeşitli faktörlere dayanmaktadır. Yüksek yakıt maliyetleri ve motor egzoz emisyonlarını azaltmak için ihtiyaçların kapsamına göre yeni hidrolik sistem düzenlemeleri göz önünde bulundurulmalıdır. Geleneksel hidrolik sistemler, ölçüm kayıpları nedeniyle aşırı miktarda enerji tüketir. Tek bir pompanın genellikle birden fazla fonksiyona debi sağlaması sırasında oluşan farklı debi ve basınç gereksinimleri, aşırı ölçüm kayıplarına neden olur. Kütle ve atalet yüklerinin biriktirdiği enerji, çoğu zaman ölçüm kayıpları ile dağıtılır. Birden fazla pompa kullanarak farklı

işlevlerin hidrostatik kontrolü ile ölçüm kayıplarını azaltmak için çeşitli yöntemlerden yararlanılabilir. Kontrol ve enerji depolama sistemi, birlikte kullanıldığında enerji geri kazanımı da mümkündür. Bu alternatif yapılandırmalar, azaltılmış geçişlerin sağladığı daha düşük toplam güç gereksinimi ile motor boyutunu küçültme ve emisyonları azaltma potansiyeline sahiptir. Bu makalenin amacı, enerji gereksinimlerinde önemli düşüşlerin oluşmasında etkili alternatif tasarımlar ve iyileştirmeye yönelik önerilerin tartışıldığı temel bilgileri sunmaktır. Hızlı dinamik tepkiye sahip hidrolik devreler, genellikle düşük güç verimliliği ile karakterize edilir. Bunun yanında, enerji tasarruflu devreler, belirli koşullarda, geçici-yavaş yanıtlar (tepkiler) gösterebilir. Sürekli yükselen enerji maliyetleri ve yüksek performans talebi, hidrolik devrelerin verimli hale gelmesini, aynı zamanda üstün dinamik tepki yaratmasını gerektirmektedir.

2. KURAMSAL ÇERÇEVE

Güç Verimliliğini Artırma

Hidrolik sistemlerin güç verimliliği, hem bileşen hem de sistem tasarımından etkilenir. Hidrolik sistem verimliliğini arttırmaya yönelik araştırmaların ortak amacı, pompa, motor, aktüatör, valf ve benzeri bileşenler ile sistem verimliliğini, uygulanabilir çalışma koşullarını ve sistemin çalışma şartlarını belirlemektir (Jaroslaw & Urszula, 2020).

Son on yıl içerisinde, parça üreticileri ve araştırmacılar tarafından gerçekleştirilen kapsamlı incelemeler sonucunda, verimlilik artışında, çok ciddi ilerlemeler kaydedilmiştir. Bununla birlikte sistem verimliliği için en kritik nokta, bu bileşenlerin yük taleplerini optimum düzeyde karşılamak için nasıl birleştirildiğidir. Tek bir görevi gerçekleştirmek için kullanılacak birçok bileşen kombinasyonu vardır. Örneğin, değişken deplasmanlı pompa/sabit deplasmanlı motor, sabit deplasmanlı pompa ve değişken hızlı-sürücülü motor veya sabit deplasmanlı pompa ve debi ayar valfli motor, yükün dönme hızını değiştirmek için kullanılabilir. Bununla birlikte, pompa ve motorların verimlilik değerleri birbirine çok yakın olmakla birlikte her sistemin verimliliği, yükleme koşullarına bağlı olarak büyük ölçüde değişmektedir (Khan, 1996). Bu nedenle, güç verimliliğinin değerlendirilmesi aşamasında, devre tasarımı son derece etkili ve en önemli bir faktördür. Her türlü güç iletim teknolojisi kontrol edilebilir, ancak verimli olmasını sağlamak gereklidir. Hidrolik sistemin kontrolü, akışkanın akış hızını (debi) değiştirerek yapılabilir. Debiyi kontrol etmek için kullanılan dört ana yöntem sırasıyla, güç kaynağı ünitesini (motor veya elektrik motoru) kontrol etmek, hidrolik pompanın yer değiştirme mesafesini kontrol etmek, hidrolik valfler aracılığıyla debiyi ayarlamak ve hidrolik aktüatörün deplasmanını belirlemektir (Shang, 2004).

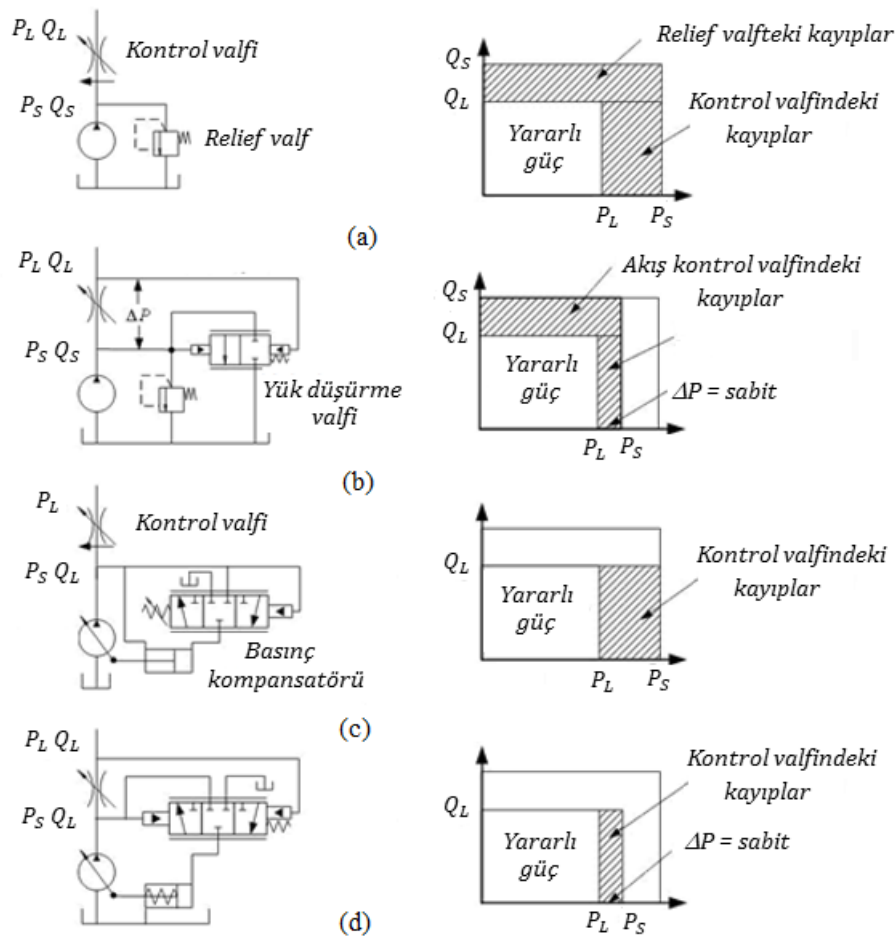
3. YÖNTEM

3.1. Valf Kontrolü ve Yük Algılama Sistemi

Valfi kumanda yöntemi, kolay kontrol edilebilirlik ve iyi performans özellikleri nedeniyle hidrolik sistemlerde yaygın olarak kullanılır. Konvansiyonel valf kontrollü sistem, sabit deplasmanlı pompa, relief valf, akış ayar valfi ve aktüatörden (silindir veya motor) oluşur. Pompadan çıkan akışkanın debisi sabittir. Yükleme koşullarına göre yüklü durumdaki debi talebi, pompa çıkış debisinden daha az ise fazla debi, tahliye vanası (relief valf) yardımıyla tanka yönlendirilmelidir. Pompa basıncı, tahliye vanası ile belirlenen değerdedir. Boşa harcanan toplam güç miktarına eşit olan bu değer, relief valften geçen debinin ve akış ayar valfi boyunca basıncın düşmesine neden olur. Sistemde meydana gelen bu kayıplar, P_S : pompa basıncı, P_L : yük basıncı, Q_S : pompadan gelen debi ve Q_L yük debisi olmak üzere Şekil 1 (a) 'da şematik olarak gösterilmiştir. Bu durumda, pompadan gelen debi ile yük debisi arasındaki fark ($Q_S - Q_L$) ise relief valften geçen debiye eşittir. Şekil 1' de gösterilen taranmış alanlar, relief valfte kaybedilen işi gösterir. Kontrol vanasının sayısı arttıkça sistemdeki direnç ve kayıplar artacağından sistem verimi düşer. Benzer şekilde, basınç ve debideki azalma, itme kuvveti ile çalıştırılan silindir ve aktüatör gibi elemanların hızını düşürerek, yapılacak için azalmasına,

verimin de düşmesine sebep olacaktır. Sonuç olarak, yük basıncındaki ve debisindeki azalma, sistemdeki devrenin de verimini düşürecektir (Jaroslaw & Urszula, 2020; Khan, 1996; Shang, 2004).

Silindirin hareket yönü değiştiğinde, silindirin iki tarafındaki basıncın süreksizliğinden dolayı asimetrik etkiyle çalışan bir silindiri kontrol etmek için simetrik bir valf kullanılırsa bu kayıplar hızla artar. Genel olarak, pompa/valf/aktüatör sistemi basit, güvenilir ve ucuzdur ve iyi kontrol edilebilirliğe sahiptir. Ancak, düşük verimli olabilir. Geleneksel sistemlerin basınç kayıpları genellikle kabul edilemez sınırlarda olduğundan, değişken basınç ve/veya değişken debi şartlarının uygulandığı hidrolik sistemler sıklıkla kullanılır. Böyle bir sistem, şematik olarak Şekil 1b'de gösterilmiştir. Akış kontrol valfindeki kayıplar çok daha düşüktür. Basınç kontrolünde, yük basıncını algılamak için *yüke duyarlı boşaltma valfi* kullanır. Yön valfinden, boşaltma valfine bağlı yük algılama deliği vardır. Yükün kullanılmadığı pompadan gelen akış, yüke duyarlı boşaltma valfi aracılığıyla yük basıncından $> 70-140$ kPa değerinde tanka by-pass yapılır. *Etkili* emniyet valfi ayarının (boşaltma valfi üzerinden) daima yük basıncının üzerinde olması dışında, bu sistem geleneksel sistemle aynıdır. Kayıplar, Şekil 1b 'de taranmış bölgelerle gösterilmiştir. Şekil 1c' de gösterilen üçüncü sistemde, *basınç dengeli* bir pompa kullanılır. Sistemdeki pompanın sadece gerekli debiyi sağlamasından dolayı, *debi-talep sistemi* olarak adlandırılır. Bununla birlikte, pompanın basıncı kompansatör tarafından sabitlendiğinden kontrol vanası boyunca ölçüm kayıpları (taralı alan) hala mevcuttur. Basınç dengeli sistemler için her zaman değişken deplasmanlı pompa gereklidir (Shang, 2004).



Şekil 1. Valf kontrollü sistemlerin güç kayıpları (Shang, 2004)

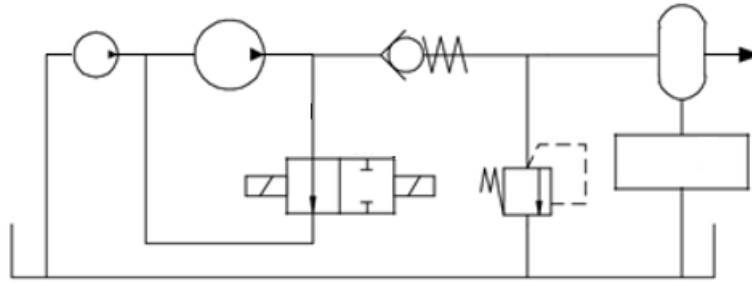
Verimliliği artırmak için değişken basınç veya basınç dengeli sistemler kullanılmasına rağmen valfteki kayıp kaçınılmazdır. Mobil hidrolik sistemlerde, yaygın olarak yüksek çalışma verimliliğine

sahip *sürüş konsepti* olarak bilinen bu durum, farklı *yük algılama sisteminin* geliştirilmesini sağlamıştır. Yük algılama sistemlerinde, daha sonra pompa kompensatörüne geri beslenen yük basıncını algılamak için Şekil 1d' de gösterilen *yük algılama valfi* kullanır. Dengeleyici kontrol valfi ile pompanın yer değiştirmesi, gerekli debiyi sağlamak ve yük basıncından büyük basınçta sistemi korumak için ayarlanmalıdır. Debi ölçüm valfi boyunca istenen bu sabit basınç farkı, kompensatör tarafından ayarlanır. Böylece pompa basıncı, yük basıncındaki değişiklikleri takip ederken, pompa sadece ölçüm valfi tarafından talep edilen debiyi sağlar. Şekil 1d' de gösterildiği gibi, yük algılama sisteminin güç kayıpları, diğer sistemlerden çok daha küçüktür (Chapple, 2003; Jaroslaw & Urszula, 2020; Shang, 2004). Yüksek çalışma hızına sahip valflerin kontrolü, sistem performansı üzerinde çok önemli bir etkiye sahiptir (Tanaka, 1992; Hong vd., 2017). Araştırmacı Linjama, böyle bir sorunu çözmek için, kartuş valfini doğrudan kontrol edebilen 8-12 milisaniye yanıt süresine sahip bir dizi kontrolör geliştirmiştir (Tanaka, 1992). Çalışmaya göre bobin direncinin kendi kendine ayarlanabilir olması, her voltaj seviyesindeki uyarma süresinin, bobin direncinin değişmesiyle uyumlu olarak değişmesi sağlanabilir. Böylece çalışma (Hong vd., 2017) sırasında kullanılan kontrol yöntemi ile valfin dinamik özellikleri yüksek seviyede tutulabilir.

Tek yük uygulamalarında çok verimli olan yük algılama sistemlerinde karşılaşılan sorunlardan birisi, basınç geri besleme hattında veya yük algılama hattında oluşabilecek kararsızlık riskidir. Yük algılama sistemlerinin, tek pompa-çoklu yük şeklindeki uygulamaları da endüstriyel alanlarda sıklıkla tercih edilmektedir. Çoklu yük kullanımında, her yükteki basınç algılanır ve sadece en yüksek değerdeki basınç kompensatöre geri beslenir. Böylece, yüksek basınca doğru, yükü takip eden bir pompa yardımıyla, yükün verimli bir şekilde taşındığı hidrolik devre tasarımı gerçekleşir. Diğer tüm yüklerdeki basınçlar, büyük yük için gerekli basınçtan daha düşükse, her valfteki basınç düşüşü ayrı ayrı ele alınmalıdır (Huova vd., 2017). Çoklu yük uygulamalarındaki algılama sistemlerinde ise geri besleme hattı üzerindeki yük etkileşimlerinden kaynaklanan kararlılık sorun yaratmaktadır. Bu etkileşimleri, yani kararsızlığı en aza indirmek için kullanılan basınç dengeli (PC) kontrol valflerinin geleneksel yük algılama sistemlerinden daha verimli olmadığı da bilinmelidir (Plöckinger vd., 2009; Zöppig & Neumann, 2010).

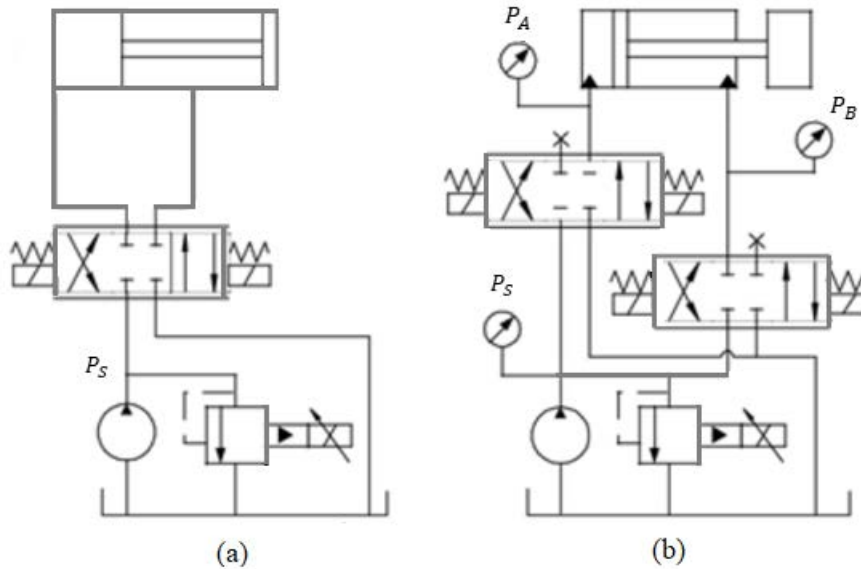
Yük algılama sistemini daha kararlı hale getirmek için yük algılama hattında, menfez, kontrol valfi ve akümülatör kombinasyonları gibi farklı tip hidrolik *sinyal filtreleri* kullanılır. Ancak, birçok durumda, bu filtreleme ile sistemin dinamik yanıtı yavaşlar. Elektrikli hidrolik yük algılama sistemleriyle, yük algılama sistemlerinin dinamik yanıtlarını geliştirmeye yönelik çok sayıda araştırma mevcuttur. Yük algılama hattı, basınç transdüseri, elektrik kontrolörü/filtre ve elektrik kontrollü yük algılama pompası içeren elektrik sinyal hattı ile değiştirilebilir. Böylece, elektrikli yük algılama hattının kullanıldığı farklı kontrol stratejileri değerlendirilir (Rydberg, 2007). Elektronik filtre ve kontrolör yardımıyla, yük algılama sinyalindeki salınım zayıflayacağından hem kararlı hem de hızlı tepki gösteren yük algılama sistemi tasarlamak mümkündür. Değişken deplasmanlı pompa debisinin, değişken yük-talep debisiyle eşleştirilmesi, relief valf boyunca kayıpların ortadan kaldırılmasını sağlayarak güç verimliliğini artıracaktır (Drumea, 2001; Vacca, 2018).

Açma/kapama konumunu, *artık manyetizma* ile 750µs gibi son derece hızlı bir şekilde değiştiren, Şekil 2'de gösterildiği gibi kapalı veya açık konumda kilitli kalan bir emniyet (kilitleme) valfi, değişken debiyi beslemesi için çıkıştaki debinin kontrolünde kullanılır. Kilitleme valfi kapalı konumdayken, pompa debisi yönlendirilerek, sistem sıkıştırılır. Açık konumda, akış pompanın girişine çevrilir. Kontrol vanasının durumunu değiştirmek için minimum kayıplara göre debi ayarlanabilir. Bunun için değişken debili pompa tercih edilir (Shang, 2004; Vacca, 2018).



Şekil 2. 2/2 Selenoid valf kullanılan değişken debili devre örneği (Shang, 2004; Vacca, 2018)

Son yıllardaki uygulamalarda, mekanik kumandalı valflerin yerine güç verimliliğini artırmak için geliştirilmiş elektronik kontrol algoritmalarının uygulandığı elektrik kontrollü valfler tercih edilmektedir. Dört yollu oransal valfin kullanıldığı hidrolik sistem, Şekil 3a' da gösterilmiştir. Oransal valf, aktüatörün yukarı ve aşağı yönünde birbirine bağlanan iki farklı çapta delik olarak düşünülebilir. Böyle bir devre, yükleme gereksinimini yüksek performansla karşılayabilir, ancak enerji tasarruflu özellikte değildir (Ergür, 2018). Bunun nedeni, sayaç girişindeki yukarı akış ve sayaç çıkışındaki aşağı akış deliklerinin mekanik olarak birbirine bağlı olmalarından kaynaklanabilir. Tasarım açısından farklılık göstermeyen bu devrede, sayaç giriş ve çıkış deliklerindeki basınç kayıpları aynıdır. Sadece sayaç giriş veya çıkış deliğinin kullanıldığı sistemlerle karşılaştırıldığında, bu tasarımın basınç kayıplarını artırmış olduğu görülür.



Şekil 3. Meter-in ve Meter-out kontrollü devreler (Shang, 2004; Ergür, 2018)

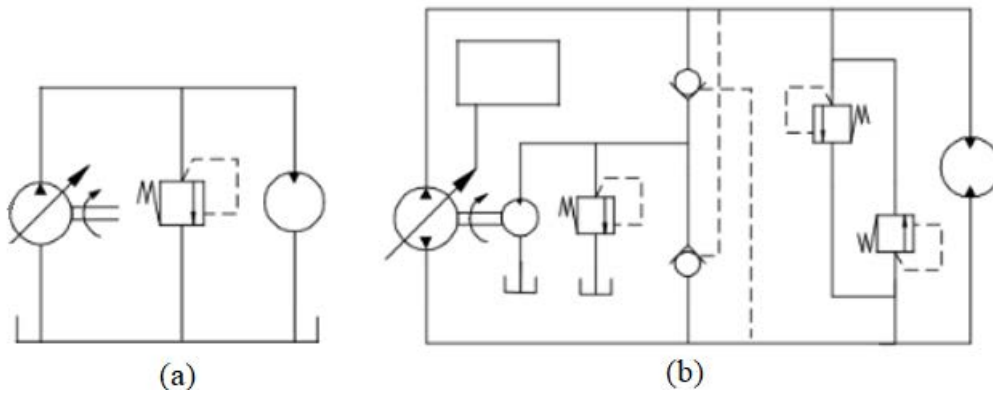
Buna alternatif olarak aynı sistem fonksiyonunu gerçekleştirmek için Şekil 3b' de gösterilen farklı bir devre kullanılabilir. Bu devre, sayaç girişi veya çıkışında kontrole izin verir ve böylece kontrol tasarımında, sistemin güç verimliliğini artırmak için daha fazla esneklik sağlar. Bu sistemin dezavantajı, sistem modellerinin bilgisine doğrudan bağımlı olması ve bu bilgi üzerinde herhangi bir değişikliğe izin vermemesidir. Ayrıca, debi kontrolü için debi geri beslemesi gereklidir (Ergür, 2018). Bu uygulamalara örnek olarak Şekil 3 ve Şekil 4' de sırasıyla verilen *Meter-in* ve *Meter-out* devreleri gösterilebilir. Görüldüğü üzere, çift tesirli silindirin hareketinde etkili kontrol elemanı, silindir giriş ve çıkışına eklenmelidir. Valf kontrollü hidrolik sistemlere uygulanan enerji tasarruflu stratejilerle

elde edilen teorik ve pratik kazanımlar üzerine çok sayıda araştırma yapılmıştır. Bu araştırmaların sonuçlarına göre bu sistemlerdeki toplam güç verimliliği oldukça düşüktür.

3.2. Pompa Kontrollü Sistemler

Pompa kontrollü sistemler, büyük gücün gerekli olduğu uygulamalarda tercih edilen hidrolik güç tahrik sistemleridir. Pompa kontrollü sistemdeki aktüatör (motor veya silindir) hızı, sabit dönme hızlı güç kaynağı ile çevrilen pompanın yer değiştirme miktarı (deplasmanı) ayarlanarak kontrol edilir. Bu tür sistemler yüksek verimlidir, çünkü basınç ve debi kayıpları olarak da bilinen *sisteme bağlı* kayıplar yoktur. Bununla birlikte, bu sistemlerdeki pompa ile birçok aktüatöre akış sağlanmasına rağmen, sınır değerlerde çalışma kısıtlaması nedeniyle pompa sadece yükü kontrol edebilir (Aly vd., 2014).

Bu tip sistemler, Şekil 4a ve Şekil 4b' de gösterilen açık ve kapalı devre olmak üzere iki şekilde düzenlenebilir. Genellikle geri dönüş sıvısının bulunduğu hidrostatik bir sistem olarak da bilinen, Şekil 4b' de gösterilen kapalı devrede sıvının geri dönüşü, depodan ziyade doğrudan pompa girişine verilir. Açık devre-pompa kontrol sistemlerinin yararları, basit tasarım ve ısı yayma kapasitesi (Shang, 2004; Aly vd., 2014) olarak bilinmektedir. Kapalı devre pompa kontrol sistemi, düşürülmüş sistem boyutu ve azaltılmış yağ hacmi ile karakterize edilir. Hidrostatik sistemler, sabit deplasmanlı motor ile her hat üzerindeki basıncı minimum seviyede korumak ve kaçaklar nedeniyle azalan sıvının yerine her hat için ilave sıvı sağlamak amacıyla bir doldurma devresi içerir. Valf kontrollü sistemlerle karşılaştırıldığında, pompa kontrollü sistemler daha yüksek sistem verimliliğine sahiptir, ancak dinamik performansları genellikle düşüktür. Pompa ile aktüatör arasında sadece tek hat kontrol edilebildiği için doğal frekans 2 kat azalacağından sıkışmış sıvı/yağ oranı, valf kontrollü sistemdekini yarısıdır.



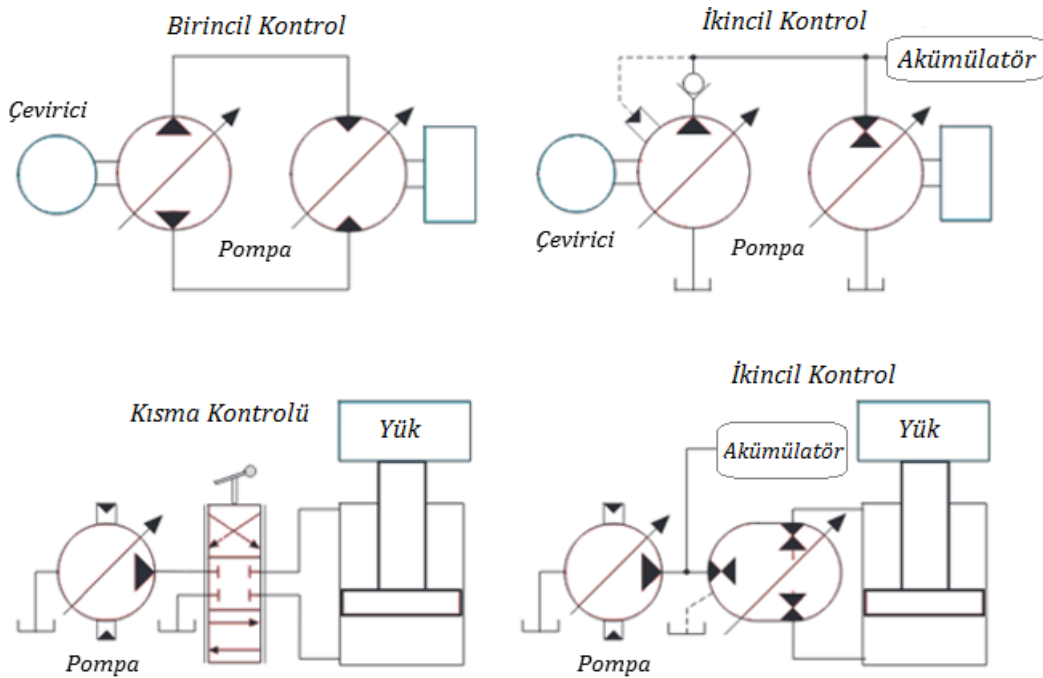
Şekil 4. Pompa kontrollü hidrolik devre (Shang, 2004; Aly vd., 2014)

Bir valf ile aktüatör arasındaki hattın uzunluğu, pompa uzunluğuna eşit ise sıkıştırılmış sıvı hacmi, pompa ve valftekinden daha büyüktür (Mirzaliyev, 2018). Kapalı pompa-kontrol sistemindeki aktüatör, Şekil 5'de gösterildiği gibi motor veya simetrik silindir olabilir. Diferansiyel hacim, akümülatör ve şarj pompası yardımıyla düşük basınç tarafında dengelenir. Bu yaklaşımın yararı, çoklu aktüatör sistemlerinde, düşük basınç hatlarının birleştirilebilmesidir. Diğer bir faydası ise yükün yarattığı kuvvetin silindir hareketini tersine çevirmesiyle, pompanın *sürüş modunda* çalışması ve düşük basınç tarafındaki akümülatörün *sorunsuz* doldurulmasıdır (Lin & Shen, 1994). Enerji-tasarruf stratejisi, sadece hidrolik bileşenlerin verimliliğini artırmaya yönelik değildir. Ayrıca, enerji tasarruflu uygulanabilir stratejiler, daha verimli sistem tasarımları ve daha verimli hidrolik bileşenler yardımıyla, daha etkin verimlilik için kontrol stratejileri kullanmak ve güç miktarında değişimin talep edildiği durumlarda, bazı bileşenlerin değiştirilmesini gerektirir (Janik & Hružík, 2016).

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Akışkan gücü kontrol alanı, verimlilik, bileşen tasarımı ve optimizasyonu, entegrasyon ve sıklık, çevresel etki, kullanıcı dostu ve verimli enerji uygulamalarının da bulunduğu daha kapsamlı ve çok disiplinli bir aralığı içermektedir. Mekanik veya elektrik gibi diğer alanlarda karşılaşılan kısıtlamalar ve rekabete rağmen yüksek güç yoğunluğu, aktüatörlerin yüksek güç-ağırlık oranı, sistemin yanıt verme kapasitesi, kontrol edilebilirlik ve çok yönlülük gibi kendine özgü ve önemli avantajları ile akışkan gücü her zaman ileriye dönük gelişmelere açıktır. Dolayısıyla, bu alanda umut verici bir ilerlemenin kaydedilmesi kaçınılmazdır.

Hidrolik sistemdeki akışkan basıncı, akış hızını ve yönünü birlikte belirleyen valf tarafından kontrol edilir. Hidrolik valfler, silindirler ve hidrolik pompalarla birlikte kullanıldığında, sıvı debisini tek başına kontrol edecek kadar güçlüdür. Genel olarak kontrol edebilecekleri basınç değerine, debi miktarına ve yön kontrol valfinin sayısına göre sınıflandırılırlar. Ayrıca geometrileri ve şekillerine göre iğneli valfler, makaralar ve poppet tip valfler gibi ekstra özellikleri ile de bilinirler. En yaygın pompa kontrol yöntemi, basınç kontrolü ile yapılandırılır. Burada, sistem basıncı izlenerek mümkünse pompa deplasmanının otomatik olarak ayarlanması gerekir. Basıncın sistem tarafından karşılanması için yapılan işlemler, genellikle basınç kontrolünün seçimine yardımcı olur. Önceden ayarlanmış sistem basıncına ulaşıldığında, istenen basıncı korumak amacıyla sistemden yeterli debinin geçirilmesi için pompa deplasmanındaki azalma, otomatik olarak kontrol edilmelidir. Yük için gerekli debi talebi değiştiğinde, basıncı ayarlayan basınç kompansatörü, pompanın debisini kontrol altında tutarak çalışır. Bu kontrol şekli, isteğe bağlı bir sistem kontrolü olarak düşünülebilir. Bazı pompa tiplerinde, kullanıcının birden çok ayar noktası arasından seçim yapabilmesi mümkündür.



Şekil 5. Dönme ve doğrusal hareketli yüklerin birincil ve ikincil kontrolü (Rydberg, 2002).

Hidrolik sistemleri kontrol etmek için tercih edilen en yaygın strateji, birincil kontrol yani sistem girişindeki gücün kontrolüdür. Hidrolik silindir ve hidrolik motor ünitelerinin doğrusal hızı veya mil hızı, birincil güç ünitesinden gelen akışla kontrol edilir. Birincil kontrollü sistemlere ek olarak, sabit basınç sistemleri de uygulanabilir. Bu durum, hidrolik kumandalı ikincil kontrollü sistemleri karakterize etmektedir. İkincil ünite, yüke giden çıkış momentini veya kuvvetini kontrol eder. Dönme

ve doğrusal hareketli yüklerin birincil ve ikincil kontrolü için gerekli temel kavramlar, Şekil 5'de gösterilmiştir.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Çok sayıda uygulamada etkin kullanım noktasında tercih edilen hidrolik sistemlerde, elektrik kontrollü benzer uygulamalara göre daha büyük zorluklarla ve gereksinimlerle karşılaşılır. Bununla birlikte, modern teknolojik ilerlemeler ışığında, enerji verimliliği kesinlikle uygulanabilir bir hedeftir. Hidrolik sistemlerin ve içerdikleri bileşenlerin tasarımıyla ilgili bu araştırmada, hidrolik sistemlerdeki teknolojinin verimliliğini artırmaya, bu sistemleri kullanan şirketlere ve kuruluşlara fayda sağlamaya, pompaların ve motorların güç kaynağı olarak kullanımı ile hidrolik sistemlerin etkinliğini artırarak maliyetin düzenlenmesine yönelik önemli sonuçlar ve öneriler sunulmuştur.

Hidrolik sistemlerde gerekli enerjinin ve hidrolik devrelere ait dinamik özelliklerin kullanımı, işletim şartları için önemli parametrelere bağlıdır. Hidrolik sistemlerin enerji tüketimini ve sistem verimliliğini olumsuz yönde etkileyen basınç ve akış kayıpları, akışkanın aşırı ısınmasına ve akıcılık özelliklerini kaybetmesine yol açabilir. Bu nedenle, enerji tasarruf sistemlerinin uygulanması, günümüzde ihtiyaç duyulan alanlar açısından çok önemlidir. Hidrolik sistemlerin dinamik davranışında etkili faktörler, hidrolik sistemlerin işlevselliğini ve hizmet ömrünü olumsuz etkileyen basınç, debi ve titreşim kaynakları olarak özetlenebilir. Bu nedenle, hidrolik sistemlerin güvenilir uygulama alanlarında, mevcut frekanslarda uzun süreli çalıştırılmamaları gerekir.

Yakın gelecekte, enerji tasarruflu teknolojilerin geliştirilmesinde etkili ve tüm araştırma alanları için geçerli olan çok daha önemli hedefler belirlenmiştir. Endüstriyel uygulamalarda, yüksek enerji verimliliğine sahip üretim ve kullanım, dünya ekonomisinde de önemli bir yer almaktadır. Enerji kayıplarını en aza indirerek çalışan makineler, aynı zamanda enerji tüketimini de azaltma eğilimine sahiptirler. Hidrolik sistemlerdeki enerji talebi, genel olarak basınç ve akış kayıpları ile belirlenmektedir. Ayrıca, artan işletme maliyetlerine sebep olan kayıplar, imalat verimliliği ve operatörlerin rekabet gücü üzerinde de olumsuz bir etkiye sahiptir. Tasarım sürecinin başlangıcında, uygun tasarım önlemleri ile hidrolik sistemlerdeki enerji kayıplarını ortadan kaldırmak mümkündür. Bu çalışmada özetlenen akışkan gücünün etkin kullanımına yönelik bilgileri referans olarak, enerji tasarruf yöntemlerinin birlikte kullanıldığı hidrolik kumandalı sistemlerin tasarımı için çok daha hızlı ve umut verici gelişmeler ve yenilikçi çözümler üretilecektir.

KAYNAKÇA

- Aly, A. A., Salem, F. A. & Hanafy, T. O. S. (2014). Energy saving strategies of an efficient electro-hydraulic circuit (A Review). *International Journal of Control, Automation and Systems*, 3 (3), 6-10.
- Chapple, P. (2003). *Principles of Hydraulic System Design*, Coxmoor Pub. Company, UK.
- Drumea, P. (2001). Energy losses in hydraulic systems. *Articol Hidrolica digitala-iasi, FLUIDAS*, Bucuresti, Romania, 1-10.
- Ergür, H. S. (2018). Hidrolik sistemlerdeki enerji verimliliği, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 23 (2), 1-14.
- Hong, Q., Zhang, B., Yang, H., Ma, J. & Fung, R. (2017). Performance analysis of a high-speed on/off valve based on an intelligent pulse-width modulation control. *Advances in Mechanical Engineering*, 9 (11), 1-11.
- Huova, M., Aalto, A., Linjama, M. & Huhtala, K. (2017). Study of energy losses in digital hydraulic multi-pressure actuator. *The 15th Scandinavian International Conference on Fluid Power, SICFP'17*, June 7-9, Linköping, Sweden, 214-223.

- Janik, M. & Hružík L. (2016). Energy saving solutions for hydraulic circuits, *AIP Conference Proceedings*, September 23, 1768 (020030), 1-6.
- Jaroslaw, S. & Urszula, W. (2020). *Advances in Hydraulic and Pneumatic Drives and Control*, Springer Nature, Trzebieszowice, Poland.
- Khan, Q. S. (1996). *Study of Hydraulic Circuit*, Tanveer Publications, India.
- Lin, Z. C. & Shen, C. C. (1994). An investigation of an expert system for hydraulic circuit design with learning. *Artificial Intelligence in Engineering*, 9 (1995), 153-165.
- Mirzaliiev, S. (2018) A review of energy saving techniques in mobile hydraulic machines. *Computer Science*. 1-10. Preprint, doi: 10.20944/preprints201810.0193.v1
- Plöckinger, A., Scheidl, R. & Winkler, B. (2009). Performance, durability and applications of a fast switching valve. *Proceedings of the Second Workshop on Digital Fluid Power Symposium*, Linz, Austria, 12–13 November, 129–143.
- Rydberg, E. K. (2015). Energy efficient hydraulics-System solutions for loss minimization. *National Conference on Fluid Power*, Linköping University, Sweden, 16-17 March, 1-9.
- Rydberg, E. K. (2007). Design of energy efficient hydraulic systems-system concepts and control aspects. *Proceedings of ISFP: 5th International. Symposium on Fluid Power Transmission and Control*, Beidaihe, China, June 6-8, 1-7.
- Rydberg, K. (2002). Concepts and development trends for efficiency improvement of hydrostatics in mobile applications. *SAE Technical Paper –2002-01-1422*, 1-10.
- Shang T. (2004). *Improving Performance of an Energy Efficient Hydraulic Circuit*. Master Thesis, University of Saskatchewan, Saskaton, Kanada.
- Tanaka, H. (1992). *Digital Control and Application of Hydraulic and Pneumatic*, Chongqing University Press, Chongqing, China.
- Vacca, A. (2018). Energy efficiency and controllability of fluid power systems. *Energies, MDPI*, 11 (1169), 1-6.
- Zöppig, V. & Neumann, K. (2010). Switching magnetic valve electronics. *Proceedings of the 7th International Fluid Power Conference (7th IFK)*, Aachen, Germany, 22–24 March, 2, 407–418.