



# ELEKTROHİDROLİK AKIŞ EŞLEŞTİRMENİN (EFM) TRAKTÖR HİDROLİK SİSTEMLERİNDEKİ POTANSİYELLERİ

Taner HAMZAOĞLU

## ÖZET

Elektrohidrolik akış eşleştirme, hareketli makinelerdeki iş hidrolik sistemlerine yönelik yeni bir kavramdır. Çok çeşitli farklı alternatifler arasından, bir traktördeki uygulamalı testler için birtakım çözümler seçilmiştir. Sistem, Rexroth hareketli hidrolik bileşenler programı kapsamında, piyasadan temin edilebilir bileşenlere dayanmaktadır. İlk test sonuçları, kavramın uygulamada da uygun olduğunu doğrulamaktadır. Sistem, özellikle iyi bir dinamik davranış göstermekte ve bunun yanı sıra enerji tüketiminin düşük olmasını sağlamaktadır. Operatör tarafından verilen komutlar, doğrudan ve geciktirilmeden makinenin çalışma hareketlerine aktarılmakta ve böylece operatör daha az stres altında kalmakta ve makine daha kolay çalıştırılmaktadır.

## ABSTRACT

The electro-hydraulic flow matching is a new concept for the working hydraulics in mobile machines. From big variety of different alternatives some solutions were selected for practical testing in a tractor. The system is based on commercially available components from the mobile hydraulic components program of Rexroth. The first test results confirm the suitability of the concept also in practice. It shows especially good dynamic behaviour as well as low energy consumption. The commands from the operator are transferred directly and without delay into working movements in the machine and therefore the operator is less stressed and the operation of the machine is easier.

## 1. GİRİŞ

Hidromekanik olarak kumanda edilen hidrolik sistemler günümüzde, orta ve üst güç sınıflarındaki çeşitli türden iş makinelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Buna rağmen son yıllardaki araştırma eğilimi giderek elektrohidrolik sistemler doğrultusuna yönelmiştir; bu sistemlerde, sinyallerin hidrolik olarak işlenmesi, yerini elektrikli bir kumanda sistemine bırakmıştır. Bu etkinliklerin temel hedefi, sistemlerin statik ve dinamik davranışının iyileştirilmesi ve bunun yanı sıra, makinelerdeki fonksiyonların esnekliğinin ve karmaşıklığının artırılması olmuştur. Elektrohidrolik akış eşleştirme (EFM) de bu yeni kavramlara dahildir. Çözümlerinin çeşitliliği, bu kavramı hareketli iş makineleri için ilgi çekici hale getirmektedir. Bu incelemede, bir EFM sistemi traktör uygulamasına uyarlanacaktır.

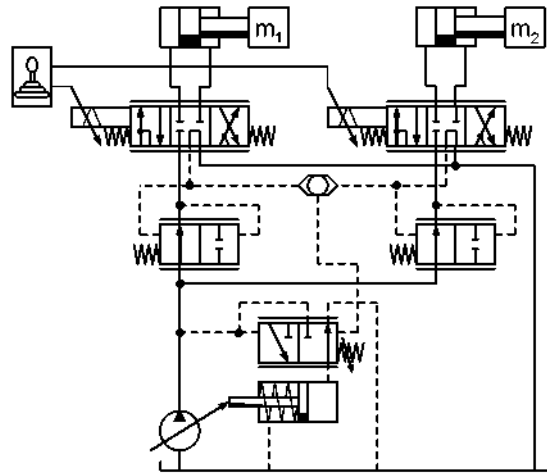
## 2. BİR TRAKTÖR UYGULAMASINDA EFM

### 2.1. Yük Algılama – Klasik Çözüm

Orta ve yüksek güç sınıfındaki traktörlerin, iş hidrolik sistemleri için yüksek talepleri vardır:

- düşük enerji tüketimi
- kararlı fonksiyonlar
- tüketici organlara yük dengelemeli yağ beslemesi
- yüksek güçlülük seviyesi ve güvenilirlik
- kolay kullanım
- düşük satın alma ve bakım maliyetleri

Yük algılama sistemleri (LS) yukarıda söz edilen beklentilerin çoğunu çok iyi yerine getirmekte ve bu nedenle yaygın olarak kullanılmaktadır. Normal bir LS sistemi şekil 2.1'de gösterilmiştir. Hidromekanik LS kumanda ünitesi, basınç hattı içindeki basıncın her zaman, sistemdeki en yüksek yük basıncından daha yüksek, sabit bir değerde tutulacağı şekilde pompaya kumanda eder. Sistem genelinde ayarlanmış basınç farkı, tüketici organlara yeterli besleme yapılmasını sağlar. Hareketli valf içindeki kumanda noktalarının önünde münferit basınç dengeleyiciler yer almakta ve bunlar, paralel bağlı tüketici organlar arasındaki etkileşimi önlemek için kullanılmaktadır.

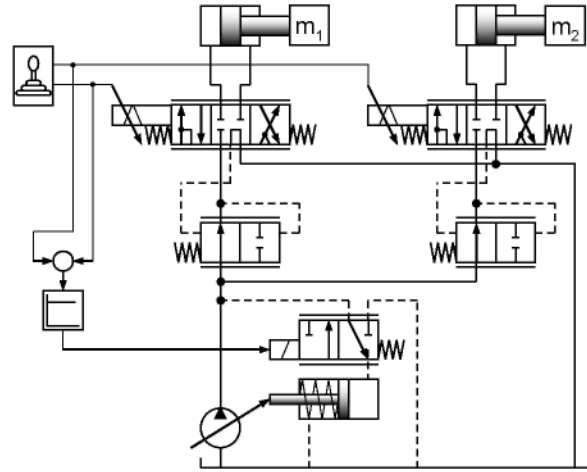


Şekil 2.1. Traktör hidrolik sistemlerinde kullanılan klasik LS devresi

LS sistemleri bu alanda uzun bir süre boyunca kullanılmıştır ve dolayısıyla gayet iyi bilinmektedir. Bununla birlikte, sistemdeki sinyallerin hidrolik olarak işlenmesi, sistem devrelerinin esnekliğini ve bunun yanı sıra sistemin kumandasını sınırlamaktadır. Bu, kimi durumlarda, sistemlerin ayarlanmasında da birtakım sorunlara yol açabilmektedir. Sinyallerin elektriksel olarak işlenmesi, bu sorunları azaltma ve sistemin performansını iyileştirme olanağını sunmaktadır.

### 2.2. EFM Sisteminin Çalışma İlkesi

Bir EFM sisteminde değişken pompa elektriksel olarak kumanda edilir. Burada hedef, akışı kullanıcıya bağımlı olarak sağlamaktır ve bu da, pompadan gelen akışın sistem içindeki tüketici organların talebine tam olarak eşleştirilmesi anlamına gelmektedir. Bunun tek olanağı, değişken pompaya operatörün komutlarına göre kumanda etmektir [4, 5, 6]. Bu durumda basit bir akış kumandası kullanılır. Sistem şekil 2.2'de görülebilir.

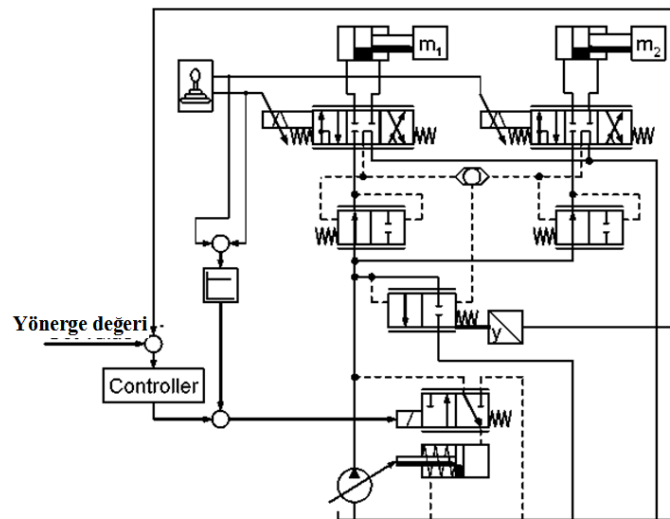


Şekil 2.2. Açık döngülü bir EFM sisteminin ana devresi

Temel sistem ve valf kumandasının çalışması LS sistemlerine benzemektedir. Asıl fark pompa kumandasındadır. Burada, valflerden pompaya giden LS hattı yoktur. Bur tür bir EFM sistemine kumanda edebilmek amacıyla, pompanın dönme açısına, kumanda sinyaline göre, orantılı olarak kumanda edilmelidir. Elektrikli pompa kumandası sayesinde, operatörden gelen komutların ardından kumanda sistemi hemen hemen gecikmesiz bir şekilde tepki verir. Bu, sistemin iyi bir yanıt vermesini ve iş hareketlerine daha iyi kumanda edilebilmesini sağlar.

Açık döngülü bir EFM sisteminin statik etkinliği, pompa kumanda ünitesinin doğrusallığına ve pompanın volumetrik verimine bağlıdır. Çalışma noktasına bağlı bu hataları elektrikselsel olarak dengeleyebilmek için, birçok sensöre ve bunun yanı sıra ileri teknoloji ürünü bir pompa kumandasına gereksinim vardır.

Basit ve çok daha ucuz bir seçenek, valf bloğunun giriş elemanı içinde, 3 yollu bir basınç dengeleyici kullanmaktır (şekil 2.3). Pompanın çok fazla akış sağlaması durumunda, fazlalık akış basınç dengeleyici üzerinden hazneye geri gönderilir. Sistemin kumanda stratejisi, gerek doğrudan, basınç dengeleyici sonrasındaki fazlalık akış ölçülerek, gerekse dolaylı olarak, basınç dengeleyicinin pistonunun konumu ölçülerek, pompa akışının küçük, önceden belirlenmiş bir düzeyde artırılmasına dayanır. Güvenilirliğinin daha yüksek olması ve bunun yanı sıra konum sensörlerinin kolay kullanılabilirliği nedeniyle ikinci çözüm tercih edilir.



Şekil 2.3. 3 yollubasınç dengeleyicisi olan EFM sisteminin ana devresi

Basınç dengeleyicinin konum kumandası, açık döngülü EFM sisteminin görece düşük akış hatasının dengelenmesini sağlar. Enerji tasarrufu yapmak amacıyla, basınç dengeleyici üzerinden gerçekleşen fazlalık akış olabildiğince düşük seviyede tutulmalıdır. Bununla birlikte, fazlalık akış ayrıca bir akış rezervi de sağlar ve kimi durumlarda, sistemin daha iyi tepki vermesine de olanak verebilir. Sinyallerin elektriksel olarak işlenmesi, basınç dengeleyicinin konum kumandasının esnek bir şekilde gerçekleştirilmesine ve farklı taleplere uyarlanmasına olanak sağlar. Örneğin, hareketlerin değiştirilmesi durumunda yeterli bir akış rezervinin sağlanabilmesi için, sabit akışlı tüketici organlar çok küçük bir fazlalık akışla çalıştırılabilir.

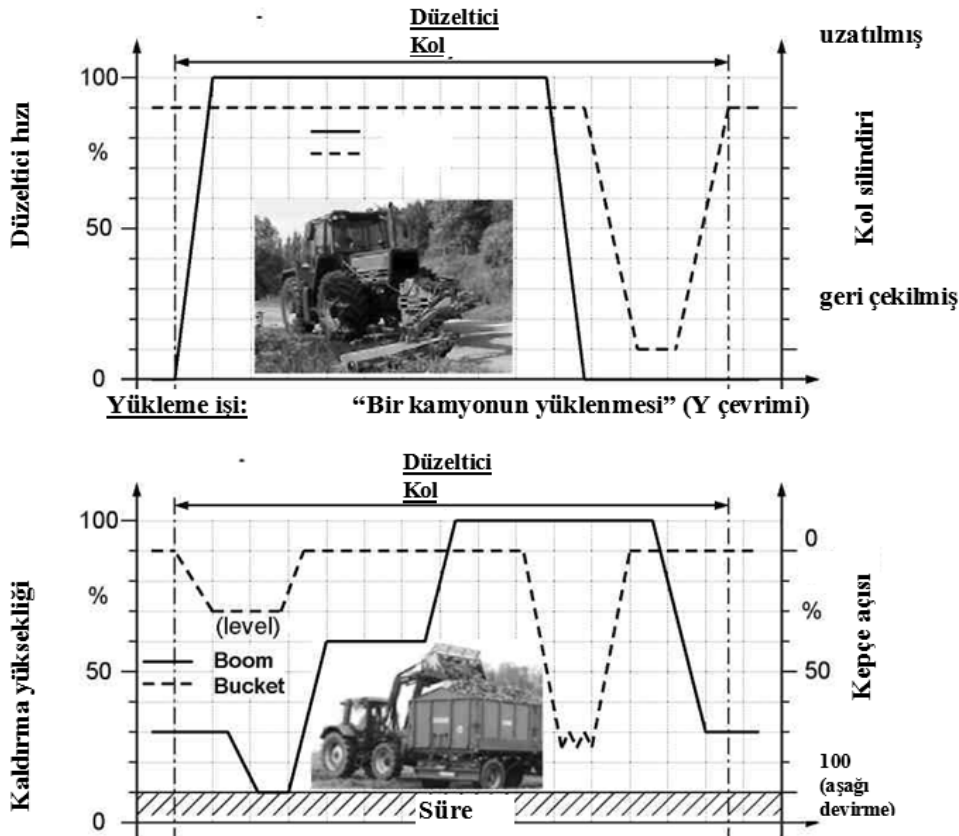
### 2.3. Bir Traktör Üzerinde Gerçekleştirilen Testler

Sunulan EFM sistemi, orta güç sınıfından bir traktörde test edilmiştir. Elektronik kumanda, MATLAB/Simulink/dSPACE'nin bir geliştirme ortamında gerçekleştirilmiştir. Yeni sistemin ana bileşenleri, Rexroth'un standart hareketli hidrolik programından alınma değişken bir pompa A10VO63EK1DS [7] ve hareketli bir kumanda bloğu SB23LS-EHS [8] olmuştur. Değişiklikler, sistemin standart kurulumuyla karşılaştırıldığında küçük olmuş ve klasik LS sistemini kullanma olanağı, karşılaştırma amacıyla traktörde bırakılmıştır. Sistemde maksimum pompa akışını garanti etmek amacıyla, LS basınç farkı 2.5 MPa'ya ayarlanmıştır.

Traktördeki sistemin pratik olarak test edilmesi için, birçok standart iş çevrimi geliştirilmiştir. Bu çevrimlerden ikisi şekil 2.4'te gösterilmiştir. Sabit, sürekli bir tüketici organ olarak döner kesici fonksiyonlu "yol kenarı düzeltme" çevrimi, enerji ölçümleri için çok elverişli bir şekilde kullanılabilmiştir.

Dinamik testler için, "bir kamyonun bir kepçe ile yüklenmesi" çevrimi kullanılmıştır. Tüm ölçümler, çevrimlerde her ne kadar sürüş süresi dikkate alınmış olsa da, makine duruyorken gerçekleştirilmiştir.

#### **Belediye işi: "Bir yol kenarının düzeltilmesi"**

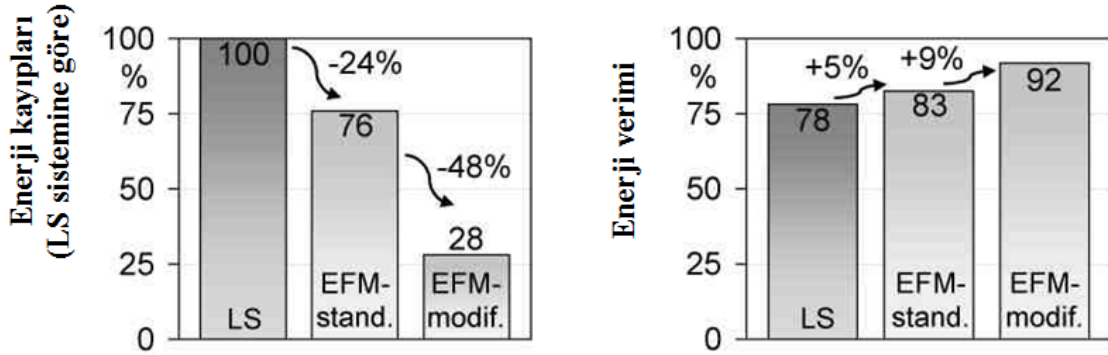


Şekil 2.4. Makinenin incelenmesi için standart çevrimler

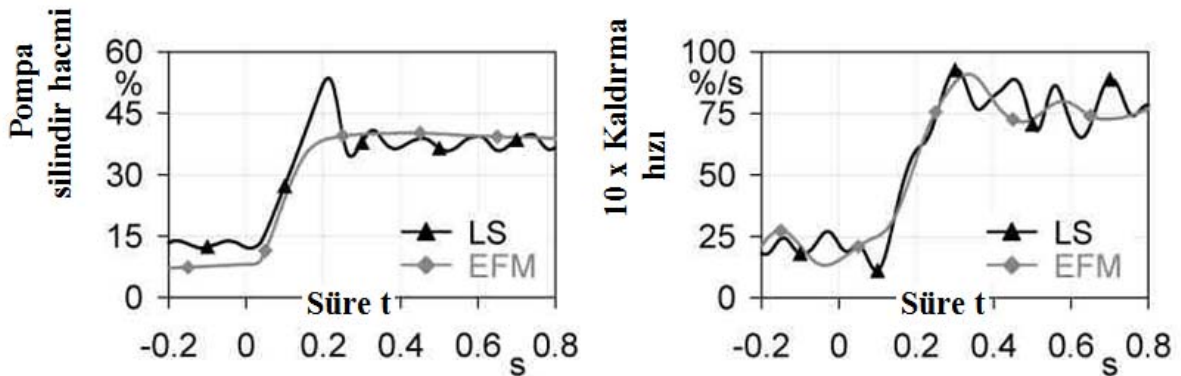


Şekil 2.5'te görüldüğü gibi, EFM sistemindeki enerji kaybı, bir LS sisteminde olduğu gibi, önemli ölçüde düşüktür. Bu, pompa tarafından sağlanan hidrolik enerjiye ilişkin verimde yaklaşık % 5'lik bir iyileşme anlamına gelmektedir. Bu iyileşme çok büyük ölçüde, makinenin iş çevrimine bağlıdır. Gerçekten de, basınç aşımı sistemin akış gereksinimine göre otomatik olarak ayarlanırken, EFM sisteminin enerji avantajı ilke olarak her zaman elde edilmektedir. EFM sistemi, avantajlarını özellikle kısmi yüklemelerde sağlamaktadır. İleri düzey kumanda stratejileriyle, verim daha da iyileştirilebilir. Bir diğer olanak, pompa kumandası değişmeden kalmak üzere, yükü en yüksek olan tüketici organı saptamak ve bunun valfini tamamen açmaktır. Seçilen çevrim için, ayrıca % 9'luk bir iyileşme daha elde edilmiştir. Bununla birlikte, bu strateji sadece açık döngülü pompa kumandasıyla ve bu nedenle muhtemelen düşük bir akış etkinliğiyle çalışır.

Ayrıca, EFM sisteminin dinamik davranışının da bir LS sisteminde olduğu gibi, önemli avantajları vardır. Şekil 2.6, kepçeli bir yükleyici çalıştırılırken dönme açısının ve bunun yanı sıra hareket hızının değişimlerini göstermektedir. Pompanın hidrolik kumandası ile karşılaştırıldığında, yük basıncındaki değişikliklerin EFM kumandası üzerinde hemen hemen hiç etkisi yoktur, çünkü EFM kumandası, basınç dengeleyicilerin kumanda döngülerinden son derece bağımsızdır. Dönme açısı düzgün bir şekilde ve salınımsız değişmektedir ve hız ile yük arasındaki karşılıklı etkileşimler minimumdur. Makine daha kararlı davranmış ve operatöre verdiği stres daha düşük olmuştur.



Şekil 2.5. LS – EFM karşılaştırması: biçme/düzeltilme işlerinde enerji kullanımı



Şekil 2.6. LS – EFM karşılaştırması: kepçeyle yükleme içinde dinamik davranış

#### 2.4. Takviye Güç Çalışmasına Yönelik EFM

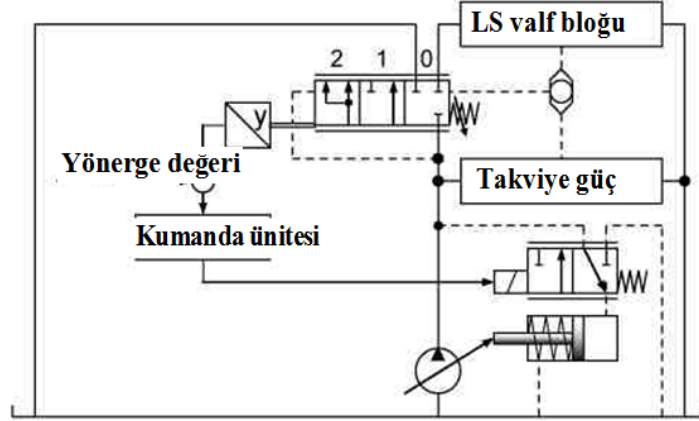
Çoğu traktör, kendi kumanda valfleriyle donatılmış ataşmanlar gibi haricen bağlanan tüketici organlara yağ (hidrolik güç) sağlamaya yönelik bir Takviye Güç (PB) bağlantısına sahiptir. PB tüketici organı, normal olarak akış talebi bilinmediğinden, hidrolik sistemde bir karışıklık oluşturur. Bu nedenle, özellikle doymuş koşullar altında, bir ya da daha fazla tüketici organda kontrolsüz



davranış görülebilir. Çoğu zaman, ana hidrolik valfin ve PB devresindeki valflerin kumanda basıncı birbirinden farklı olabilir ve kimi durumlarda, belli fonksiyonlara öncelik verilmesi de istenebilir. Bu nedenle, sistemde birtakım uyarlamaların yapılmasına gerek vardır.

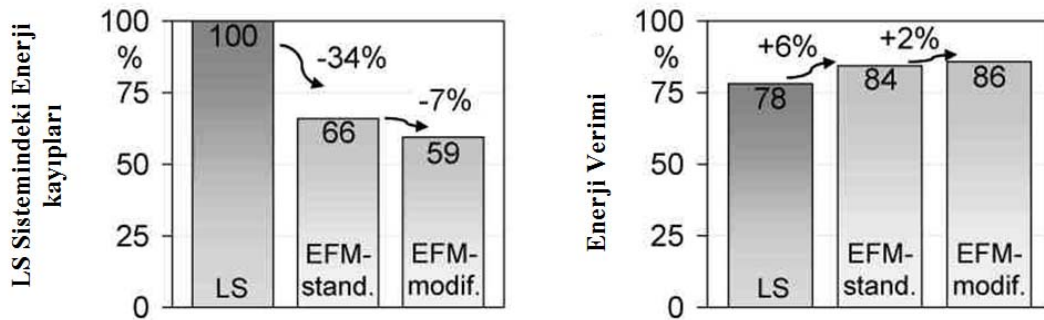
Şekil 2.7, öncelikli bir PB tüketici organı bağlantısına yönelik EFM devresinin, PB çalıştırıldığında eşzamanlı bir basınç artışıyla birlikte, basitleştirilmiş bir şemasını göstermektedir. Bu nedenle, iş hidrolik sistemlerinin valf bloğuna ilişkin basınç hattında, klasik açık merkezli basınç dengeleyicisi yerine, 3/3'lük bir basınç dengeleyici kullanılır. Hiç bir tüketici organ devreye alınmazsa, pompa normal konumuna geri döner ve basınç dengeleyici kapatılır (konum 0).

İş hidrolik devresi etkin hale getirildiğinde, basınç dengeleyici, düşük bir kumanda basıncı farkıyla 1 konumunu alır. Bir PB tüketici organı devreye alınırsa, pompaya, basınç dengeleyicinin 2 konumuna geleceği şekilde kumanda edilir. Bu durumda, basınç dengeleyicinin küçük bir fazlalık akışına izin verilir ve bu, şekil 2.3'teki EFM sistemi için söz konusu olanlarla aynı kriterlere göre seçilebilir. Basınç dengeleyicinin 2 konumundaki basınç artışı, gerek uygun bir yay ayarı aracılığıyla otomatik olarak, gerekse yayın etkin olarak ayarlanması aracılığıyla sağlanabilir. Sistem doyma noktasına gelmediği sürece, tüm tüketici organlar talebe göre beslenir. Doyma durumunda, PB tüketici organının önceliği hidrolik olarak emniyete alınır. Komut sinyalleri, önceden olduğu gibi elektronik kumanda sistemine entegre edilebilir.



Şekil 2.7. Takviye Güç çalışmasına yönelik EFM sisteminin ana devresi

Basınç dengeleyici, sistem içinde, doğal olarak olabildiğince küçük olması gereken ek bir hidrolik direnci temsil etmektedir. Şekil 2.8'de görüldüğü gibi, daha ilk dengeleyici prototipiyle bile, bir LS sisteminden daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Dengeleyicinin akış özellikleri daha da optimize edilerek verim artırılabilir. Yukarıda söz edilmiş olan ileri düzey kumanda, daha da fazla verim artışı sağlamak üzere bu çözüme de uygulanabilir.



Şekil 2.8. LS ile 3/3'lük basınç dengeleyicisi olan EFM arasındaki karşılaştırma: Biçme/düzeltilme işlerinde enerji kullanımı



PB tüketici organı etkin olduğunda, verimdeki iyileşme, bir LS sistemi ile karşılaştırıldığında marjinaldir. Her ne olursa olsun, sistemin, çalışma koşullarındaki dinamik değişiklikler sırasındaki davranışı çok daha ilgi çekicidir. Şekil 2.9'da, EFM sisteminin, bir PB tüketici organının bağlanmasına verdiği basamak fonksiyonu benzeri tepki (yanıt) görülebilir.  $t=0$  zaman noktasında, PB valfi açılır, PB kullanıcısına daha büyük bir öncelikle enerji sağlar ve iş hidrolik devresindeki kullanıcıya kısa bir süre için talebinin altında besleme yapılır. Bu aşamanın süresi, akış ilişkilerine ve bunun yanı sıra EFM kumanda ünitesinin ayarlarına bağlıdır. Pompanın çalışma süresi ayrıca, sistemin yanıt süresi için de sınırlayıcı bir faktör oluşturur.

### 3. SONUÇ

Elektrohidrolik akış eşleştirme (EFM) sistemi, klasik yük algılama sistemlerinin (LS) fiyat avantajlarını ve güçlülüğünü, elektrohidrolik sistemlerin daha yüksek kumanda edilebilirlik ve esneklik özellikleriyle birleştirmektedir. EFM sistemini uygularken, sistemde görece küçük değişikliklerin yapılması gerekmektedir. Hidrolik akışın doğrudan etkime ilkesi, bunu hareketli uygulamalar için ilgi çekici hale getirmektedir. Bir traktör üzerinde gerçekleştirilen pratik testlerin ilk sonuçları, klasik tasarıma göre yararlarını doğrulamıştır. Daha iyi bir kumanda edilebilirliğe, daha düzgün bir dinamik davranışa ve bunun yanı sıra daha düşük enerji tüketimine erişilmiştir. Sistem ayrıca, örneğin Takviye Güç kullanımı gibi özel taleplere de uyarlanabilir. Bu nedenle bu yeni tasarım, hareketli makinelerdeki iş hidrolik sistemlerine ilgi çekici bir alternatif sunmaktadır.

### 4. KAYNAKLAR

- [1] US 6640163 B1. United States Patent, 2003 (Husco International, Inc.).
- [2] DE 10340993 A1. Deutsches Patentamt, 2005 (Wessel-Hydraulik, Völkel Mikroelektronik).
- [3] Fedde, T., Harms, H.-H., An adaptive hydraulic system for mobile applications. 5. International Fluid Power Conference, Aachen, 2006, Vol. 3, pp. 95-106
- [4] Djurovic, M., Helduser, S., Elektrohydraulisches Load-Sensing – Neue Lösungen für mobile Arbeitsmaschinen. O+P Ölhydraulik und Pneumatik 48 (2004) Nr. 10, S. 635-640, Nr. 11-12, S. 712-716
- [5] Zähe, B., Energiesparende Schaltungen hydraulischer Antriebe mit veränderlichem Versorgungsdruck und ihre Regelung. Dissertation, RWTH Aachen, 1993
- [6] Harms, H.-H., Entwicklungstendenzen in der Mobilhydraulik. 11. Aachener fluidtechnisches Kolloquium, 1994, Band 2, S. 19-54
- [7] Bosch Rexroth AG, Verstellpumpe A10VO Baureihe 53, RD92703/11.05, Elektroproportionale Schwenkwinkelregelung, RD92708/04.05
- [8] Bosch Rexroth AG, Wegeventile SB23LS, 1987760513/03.98

### ÖZGEÇMİŞ

#### Taner HAMZAOĞLU

16.03.1980 tarihinde İstanbul'da doğmuştur. 2003 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği bölümünden mezun olmuştur. 2006 yılı nisan ayından beri Bosch Rexroth Türkiye Mobil Hidrolik Departmanı'nda proje ve satış mühendisi olarak çalışmaktadır.