

HPB – MALİYET DUYARLI UYGULAMALAR İÇİN HİDROLİK GÜÇ DESTEK SİSTEMİ

Ercan TEKİN

ÖZET

“Hidrolik Güç Destek” (HPB) hibrit teknolojisi, motor gücü azaltılmış bir makinede üretkenliği ve tepe gücü korur. 56 kW motor gücünün altına düşerek emisyonlar için kritik sınırın altına inmek, düşük maliyetli HPB çözümüyle mümkün hale gelebilir. Esnek entegrasyon, sistemin makineye kolayca uygulanmasını sağlar. HPB'nin temel tasarım amacı, toplam sistem maliyetini kayda değer biçimde azaltmaktır.

HPB, motorun güç çıkışını önceden tanımlanmış bir süre boyunca desteklemek üzere tasarlanmıştır. Fazla motor gücünün olduğu anlarda enerji bir hidro-pnömatik akümülatörde depolanır ve tepe güç ihtiyaçlarında serbest bırakılır. Operatör açısından, makine kısa süreliğine daha güçlü bir motora sahipmiş gibi davranır. Sistemdeki ek kısıtlamalar bazı çalışma koşullarında güç kaybını artırabilir; ancak daha küçük motor kullanımı, yakıt tüketimini azaltacaktır. [3]

Anahtar Kelimeler: Hidrolik Güç Destek (HPB), Hibrit Hidrolik Sistemler, Motor Küçültme, Hidrostatik Yürüyüş Tahriki, Hidro-Pnömatik Akümülatör, Tepe Güç Desteği, Maliyet Duyarlı Uygulamalar, Enerji Geri Kazanımı, Mobil Hidrolik, Fan Tahrik Entegrasyonu.

ABSTRACT

The hybrid technology of the “Hydraulic Power Boost” (HPB) preserves the productivity and peak power of a machine with a downsized engine. Falling below the critical emission threshold of 56 kW engine power becomes feasible with the cost-effective HPB solution. Its flexible integration allows for easy implementation on machines. The primary design objective of HPB is to significantly reduce the total system cost.

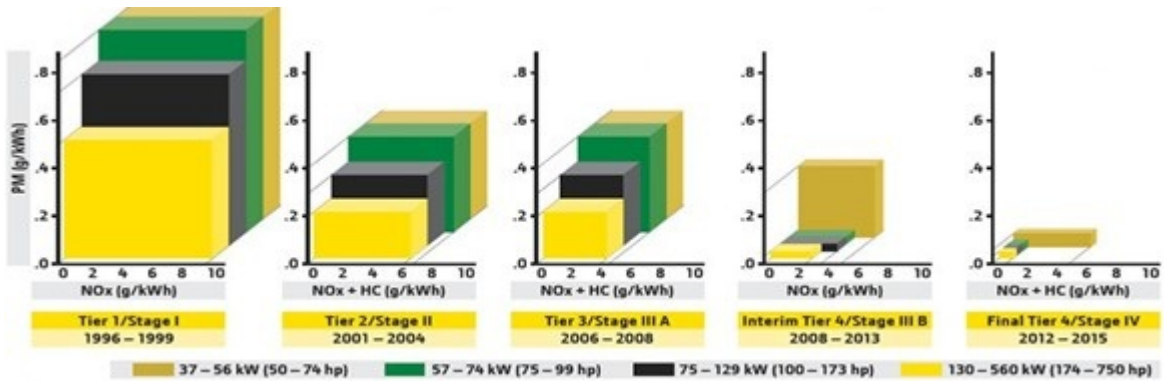
The HPB is designed to support the engine's power output for a predefined period. During times of surplus engine power, energy is stored in a hydro-pneumatic accumulator and released during peak power demand. From the operator's perspective, the machine behaves as if it temporarily has a more powerful engine. Although additional throttling in the system may cause power losses under certain operating conditions, a smaller engine ultimately enables reduced fuel consumption.

Key Words: Hydraulic Power Boost (HPB), Hybrid Hydraulic Systems, Engine Downsizing, Hydrostatic Travel Drive, Hydro-Pneumatic Accumulator, Peak Power Assistance, Cost-Sensitive Applications, Energy Recovery, Mobile Hydraulics, Fan Drive Integration

1. GİRİŞ

Günümüzde Tier 4 geçişi ve Stage IIIB emisyon düzenlemeleri, azot oksit (NOx) ve partikül madde (PM) salınımı için açık şekilde azaltılmış sınırlar tanımlar. 37 ile 560 kW arasında değişen güç sınıfındaki dizel motorlar, bu süreci farklı zaman çizelgeleri ile takip eder. Soğutmalı egzoz gazı devirdaimi nedeniyle dizel motorların ısı atımı, önceki motorlara kıyasla belirgin şekilde artacaktır. Bu devirdaim sürecinin sıcaklık toleranslarının sıkı olması, orantılı olarak kontrol edilebilen fan tahrik sistemlerini zorunlu kılmaktadır. [2]

Şekil 1, 1995 ile 2015 yılları arasında mobil iş makinelerine yönelik dizel motor emisyon düzenlemelerindeki değişiklikleri göstermektedir. NOx ve PM sınırları, kutuların boyutlarıyla temsil edilmiştir. Dört farklı renk, etkilenen dizel motorların güç sınıflarını belirtmektedir (turuncu: 37–56 kW, yeşil: 57–74 kW, siyah: 75–129 kW, sarı: 130–560 kW). Turuncu blokların büyüklüğü, 2008 ile 2015 yılları arasındaki geçiş döneminde 56 kW'a kadar olan güç sınıfı için daha yüksek limitlerin bulunduğunu göstermektedir. Makine üreticileri, bu sınıfa inerek egzoz arıtım maliyetlerini düşürebilirler.



Şekil 1. Dizel Motor Emisyon Düzenlemelerini Gösteren Tablo [1]

1.1 Varsayımımız:

“Birçok müşterimiz, performans seviyelerinden ödün vermeden makinelerini 56 kW’lık ‘sihirli’ sınırın altına yerleştirmeye çalışacaktır!” Aynı zamanda, bu güç sınıfındaki makineler oldukça maliyet duyarlı olduğundan, sistemin toplam maliyeti düşük kalmalıdır.

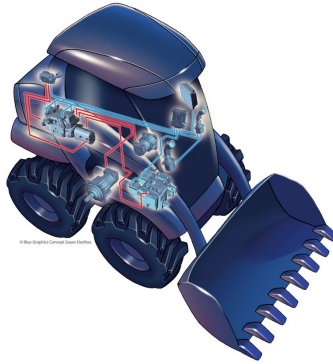
1.2 Hedefimiz:

- 1) İşlevsel sistemler ve yürüyüş tahrikinde artırılmış verimlilik sağlamak,
- 2) Güç ihtiyaçlarında motoru kısa süreli destekleyecek şekilde Hidrolik Güç Destek (HPB) uygulamasıdır.

HPB, makine performansından ödün vermeden motor küçültme potansiyelini de mümkün kılar. Makine üretimi için toplam sistem maliyeti bu geliştirme sürecinin temel kriterlerinden biridir. Yardımcı bu hidrolik sistemin ek maliyeti, alternatif çözüme göre çok daha düşük kalmalıdır.

Mevcut sistemin daha verimli bir sistemle değiştirilmesi prensipte makul bir çözüm olarak görülebilir. Bu tür bir sistem, yatırım ve işletme maliyetleri dikkate alındığında, ürün ömrü içinde (örneğin 2 yıl) kendini amorti edebilir. Ancak bu yaklaşım için:

- 1) Makinenin tamamen yeniden tasarımı,
- 2) Maliyet duyarlı bir pazar ortamında daha yüksek yatırım gerekir. [4]



Şekil 2. Kompakt Yükleyici, iş makinesi görseli

Şekil 2'deki kompakt yükleyici, 56 kW motor gücünün altında kalan maliyet duyarlı makine grubuna örnektir. Tedarikçiler bu tür makinelere en iyi sistemleri sunmak istese de, bugünkü Pazar yapısı toplam sahip olma maliyetine dayalı bir makine geliştirmeyi her zaman mümkün kılmaz – en azından dünyanın bazı bölgelerinde. Yeşil düşünceler ve artan yakıt fiyatları bu yaklaşımı henüz tam anlamıyla yaygınlaştırmamıştır. Üreticiler, hâlâ uygun fiyatlı sistem çözümlerine ihtiyaç duymaktadır. HPB bu noktada çözüm sunabilir.

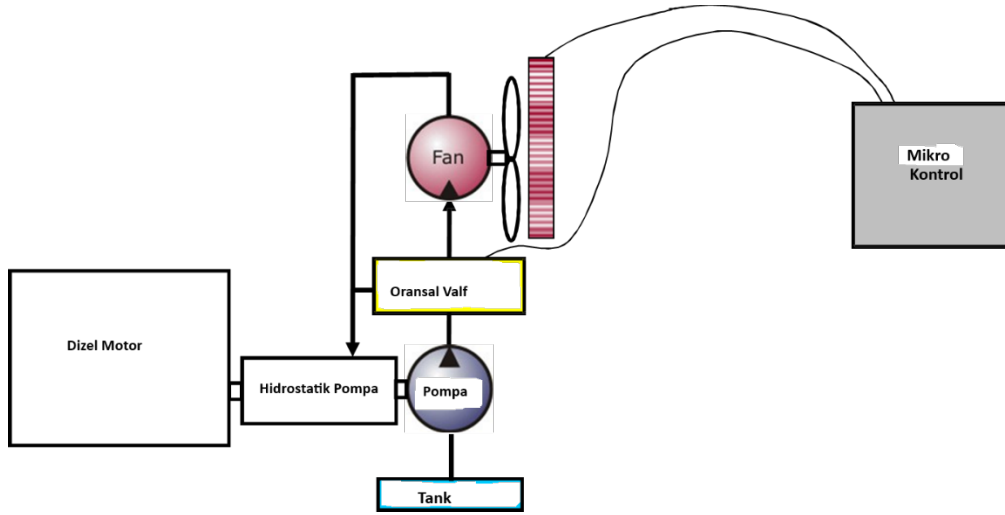
2. SİSTEM ÇÖZÜMÜ

HPB, mevcut bir sisteme hızlı ve kolayca entegre edilebilir. Bu sayede pazara sade bir giriş süreci sağlanabilir. Yüksek entegrasyon düzeyi ve makine üzerindeki sınırlı alan ihtiyacı sayesinde HPB, maliyet duyarlı pazarlarda uygulanabilir bir teknolojidir. Özetle, sadece hidro-pnömatik akümülatörün makine üzerine yerleştirilmesi yeterlidir. Bu hibrit teknoloji, küçültme işlemi gerçekleştirilmiş motorlu makinelerde verimliliği ve tepe güç performansını korumak üzere tasarlanmıştır. Yakıt tüketimi ve

makine verimliliği üzerinde pozitif etkiler mümkündür; ancak bu etkiler uygulamaya özel olarak değişiklik gösterir.

HPB prensibine göre, makinenin düşük yük durumlarında kullanılmayan motor gücü potansiyeli bir hidro-pnömatik akümülatörde depolanır. Bu hidrolik enerji daha sonra motorun yüksek yük altındaki çalışması sırasında, motor miline bindirilen ek tork ile destek olarak kullanılır.

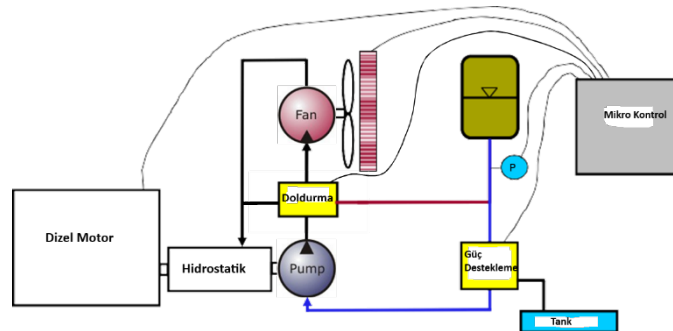
Şekil 3, kompakt yükleyici için mevcut hidrostatik sistem entegrasyonunu göstermektedir. Hidrostatik yürüyüş tahrikinin şarj basıncı, elektro-oransal fan tahrikinin dönüş hattı üzerinden sağlanır. Fan hızı, oransal basınç tahliye valfi üzerindeki basınç farkına göre sürekli olarak değiştirilebilir ve anlık soğutma ihtiyacına göre ayarlanabilir. Bu nedenle akışın sadece bir kısmı fan motorundan geçerken, kalan kısmı tahliye valfinden geçer.



Şekil 3. Hidrostatik Sistem Entegrasyonu Görseli

Şarj pompası debisi, tüm 'aşırı' koşullarda yeterli şarj akışı sağlanacak şekilde boyutlandırılmıştır. Hidrostatik yürüyüş tahrikinin her durumda ve her koşulda çalışması garanti edilmelidir. 'Normal' koşullarda bu artırılmış akış hacmi sistemde güç kaybına neden olur. Bu güç, iş fonksiyonuna veya yürüyüşe aktarılmaz ve yağın daha fazla ısınmasına yol açar, bu da tekrar soğutulmak zorundadır.

Şekil 4, örnek kompakt yükleyicide HPB'nin fan tahrik devresine entegrasyonuna ait şematik bir sistem görünümünü sunar. Bu entegrasyon, maliyet duyarlı uygulamalarda HPB'nin gerçekleştirilmesi açısından büyük önem taşır. Mevcut bileşenler, bu genişletilmiş sistemde ek görevler üstlenir.



Şekil 4. HPB'nin Fan Tahriki [1]

'Doldurma' aşamasında, akümülatöre fan tahrik devresinden gelen fazla debi doldurma valfi aracılığıyla aktarılır. Doldurma valfi, doldurma sırasında pompa akışını kısıtlayarak akümülatöre giden akışı kontrol eder. Pompa basıncı akümülatör basıncının üzerine çıktığında, daha fazla hidrolik enerji akümülatöre depolanır. Akümülatördeki basınç sürekli artar, bu da motora artan yük anlamına gelir ve motor hızı hafifçe düşer. Ancak akümülatöre giden akış, hidrostatik yürüyüş devresinin şarj basıncını düşürmeyecek şekilde sınırlanır. Doldurma aşamasında fan devresinden yağ çekilmesi ve fan hızının sınırlandırılması kabul edilebilir. Optimize edilmiş sistem tasarımı, akümülatör doldurulurken oluşan kayıpları azaltmaya yardımcı olabilir.

'Destekleme' aşamasında, akümülatör destek valfi aracılığıyla şarj pompasının girişine bağlanır. Fan devresindeki basınca bağlı olarak, HPB ya motora ek tork kapasitesi kazandırır (düşük basınçta) ya da fan çalıştırması için gereken motor torkunu azaltır (yüksek basınçta). Her iki destekleme senaryosu da makine performansını artırır. Normal çalışmada bu giriş, çek valf üzerinden tanka bağlıdır. Pompa girişinde kavitasyonu önlemek için, tank ile şarj pompası arasındaki basınç düşüşü çok düşük olmalıdır. Akümülatörün şarj durumu ve motor hızı kontrol yazılımı tarafından sürekli izlenir. Mikrodenetleyici, 'Doldurma' veya 'Destekleme' aşamalarının başlatılıp durdurulmasına karar verir.

Sistem tasarımı ve entegrasyonu için birden fazla seçenek mevcuttur ve her biri özel olarak uyarlanmalıdır. Bu prensiplerin ölçeklenebilirliği, hem küçük hem de büyük makinelerde HPB kullanımını mümkün kılar. Yeni uygulamalarda HPB'nin boyutlandırılması sırasında güç sınıfı ve çalışma döngüsü göz önünde bulundurulmalıdır.

3. SİSTEM KONTROL YAKLAŞIMI

"Hidrolik Güç Destek" (HPB) sisteminin kontrol yazılımı, "Doldurma" ve "Destekleme" işlemlerinin ne zaman başlatılıp durdurulacağına karar verir. Destekleme aşamasında doğru başlangıç zamanının belirlenmesi önemliken, doldurma aşamasında motorun aşırı yüklenmesini engellemek için durdurma daha kritik hale gelir. Doldurma sırasında motorun yapay olarak aşırı yüklenmesi önlenmelidir.

Kontrol sistemi, HPB'nin o anki çalışma durumunu (Doldurma, Destekleme ya da Boşta) belirlemek için sistem verilerine ihtiyaç duyar.

Karar	Kriterler	Başlat	Durdur
Destekleme	Motor Hızı	< 2,000 rpm	> 2,200 rpm
	Akümülatör Basıncı	> 160 bar	< 120 bar
Doldurma	Motor Hızı	> 2,300 rpm	< 2,100 rpm
	Akümülatör Basıncı	< 180 bar	> 210 bar

Tablo 1. Doldurma ve Destekleme işlemlerinin Değerleri [1]

Tablo 1, “Doldurma” ve “Destekleme” işlemlerinin başlama ve durma kararları için örnek eşik değerlerini göstermektedir. Başlangıç kararları her zaman “ve” koşulu ile alınırken, durdurma kararları “veya” koşulu ile verilir.

Destekleme yalnızca motor hızı 2.000 dev/dk'nin altına düştüğünde ve akümülatör basıncı 160 bar'ın üzerinde olduğunda başlatılır. Daha düşük basınçlarda destekleme sadece kısa ve zayıf bir tork desteği sağlayacağı için engellenir. Motor hızı 2.200 dev/dk'nin üzerine çıkarsa veya akümülatör basıncı 120 bar'ın altına düşerse, destekleme durdurulur.

Doldurma ise yalnızca motor hızı 2.300 dev/dk'nin üzerinde ve akümülatör basıncı 180 bar'ın altında olduğunda başlatılır. 180 bar üzerindeki basınç, akümülatörün dolmuş olduğu anlamına gelir. Motor hızı 2.100 dev/dk'nin altına düşerse ya da akümülatör basıncı 210 bar'ı aşarsa, doldurma işlemi durdurulur.

Doldurma sırasında fazla akış her an hesaplanır ve doldurma valfi bu akışı kontrol ederek akümülatöre yönlendirir. Pompa daha yüksek basınçta çalışır ve daha fazla güç ihtiyacı doğar.

Belirtilen kontrol mantığına göre, sistemin doğrudan “Doldurma”dan “Destekleme”ye geçmesi mümkün değildir. İkisi arasında mutlaka bir “Boşta” durumu olmalıdır. Belirlenen eşik değerleri, HPB'nin ilgili makineye ve sistem tasarımına göre uyarlanması kullanılır. Motor hızı eşikleri, motorun set hızına göre ölçeklendirilir.

Akümülatör hacmi sabitken, doldurma süresi o anki makine kullanım durumuna bağlıdır. Destekleme süresi ise motor hızı ve pompa deplasmanına bağlıdır. Bu esneklik sınırlaması, sabit deplasmanlı bir şarj pompasının tercih edilmesinden kaynaklanır. Bu çözüm daha ekonomik olsa da HPB sistemine bazı kısıtlamalar getirir.

Doldurma işlemi sırasında yazılım, fazla debiyi sürekli hesaplar ve doldurma valfi aracılığıyla şarj devresi ile akümülatör arasında akışı paylaşır. Örnek uygulamada bu yazılım, zaten var olan oransal fan sürücü kontrol cihazına entegre edilmiştir.

4. TASARIM VE ÖLÇEKLENEBİLİRLİK

“Hidrolik Güç Destek” sisteminin tasarımı ve boyutlandırılması sırasında şarj pompası, akümülatör hacmi ve maksimum sistem basıncı gibi parametreler ayarlanabilir. Depolanan enerjinin miktarı, motor miline uygulanacak destek torkunun süresini ve büyüklüğünü belirler. Gerekli sistem performansı, bileşen seçimini doğrudan etkiler.

Örnek uygulamada, motor 5 saniye boyunca 10 kW güç desteği ile desteklenmiştir. HPB, motor miline güç değil tork uyguladığı için sistem tasarımı belirli bir motor hızına göre yapılmalıdır. 1.800 dev/dk motor hızı ve 22 cc pompa deplasmanına göre yapılan hesaplamalar sonucunda ortalama sistem basıncı 152 bar olarak bulunmuştur. 3,3 litre hidrolik hacmin değişimi, 5 saniyelik bir destekleme süresi sağlar.

Bu denklemler, HPB sisteminin farklı makine ve uygulama gereksinimlerine göre nasıl ölçeklenebileceğini ortaya koyar. Pompa deplasmanı, akümülatör hacmi ve ortalama sistem basıncı HPB davranışını belirleyen ana etmenlerdir. Bileşenlerdeki kayıplar, teorik performans ile makinedeki gerçek ölçümler arasında farklar oluşturabilir.

Tablo 2 ve 3, 149 kW motor gücüne sahip ve hidrolik fan tahriki olan bir makineye göre uyarlanmış HPB sistemi için iki farklı ölçekleme örneğini sunmaktadır. Fan tahriki, 29 cc ve 10 cc deplasmanlı

tandem dişli pompa ile beslenmektedir. Normal çalışmada, güç kaybını azaltmak için 10 cc'lik pompa devre dışı bırakılabilir. Bu tandem pompa, 18 litre hacminde akümülatör ve 210 bar maksimum sistem basıncı ile çalışan HPB sistemine uygulanmıştır.

Tablo 2'de sadece 29 cc'lik büyük şarj pompası kullanılarak yapılan ilk ölçekleme yer alır. 18 litrelik akümülatör hacmi, 6,8 saniyelik bir destekleme süresi ve 13,2 kW ortalama güç desteği sağlar.

Tablo 3'te ise her iki şarj pompası (29 cc ve 10 cc) birlikte kullanılmıştır. Bu senaryoda yine 18 litrelik akümülatör hacmi ile 5 saniyelik destekleme süresi ve 17,7 kW ortalama güç elde edilmiştir. Aynı hidrolik enerji, farklı kullanım stratejilerine göre farklı sonuçlar yaratır.

HPB sisteminin çalışma biçimine göre tandem pompa farklı şekillerde devreye alınabilir: daha uzun süreli düşük güçlü destekleme ya da daha kısa süreli yüksek güçlü destekleme. HPB'nin motor gücüne oranla sağladığı destek, her uygulamada farklı olabilir. Örneğin örnek uygulamada bu oran %18 iken, ölçekleme örneklerinde %11,9 ve %8,9'dur — yani sırasıyla %33,9 ve %50,5 daha düşüktür.

Destekleme süresinin sınırlı olması ve doldurma için gereken sürenin daha uzun olması sebebiyle, HPB yalnızca görev döngüsünün %15'inden azında tepe güç ihtiyacı olan makinelerde kullanılmalıdır. Ayrıca, doldurma için kullanılacak bir akış kaynağı (pompa/motor) mevcut olmalıdır. Bahsedilen örneklerde fan tahriki ve yürüyüş şarj basıncı için kullanılan dişli pompalar seçilmiştir. Kompaktör, tarımsal ilaçlama makinesi, mini yükleyici ve küçük tekerlekli yükleyici gibi makineler HPB için uygun uygulamalar olarak öne çıkar.

	Başlangıç Değeri	HPB Ölçeklendirme 1	
		Değer	Değişim
Motor Gücü	56 kW	149 kW	+266%
Güç Desteği Süresi	5 sn	6.8 sn	+136%
Şarj Pompa Hacmi	22 cc	29 cc Fan sürücülü tandem pompa (29 cc & 10 cc)	+132%
Akümülatör Hacmi	10 litre	18 litre	+180%
Maksimum Sistem Basıncı	210 bar	210 bar	-
Ortalama Güç Desteği	10 kW	13.2 kW	+132%
HPB Güç Oranı	18%	8.9%	-50.5%

Tablo 2.HPB Ölçekleme Örnek 1 [1]

	HPB Başlangıç Değeri	HPB Ölçekleme 2	
		Değer	Değişim
Motor Gücü	56 kW	149 kW	+266%
Güç Desteği Süresi	5 sn	5 sn	-
Şarj Pompası Hacmi	22 cc	39 cc Fan sürücülü tandem pompa (29 cc & 10 cc)	+177%
Akümülatör Hacmi	10 litre	18 litre	+180%
Maksimum Sistem Basıncı	210 bar	210 bar	-
Ortalama Güç Desteği	10 kW	17.7 kW	+177%
HPB Güç Oranı	18%	11.9%	-33.9%

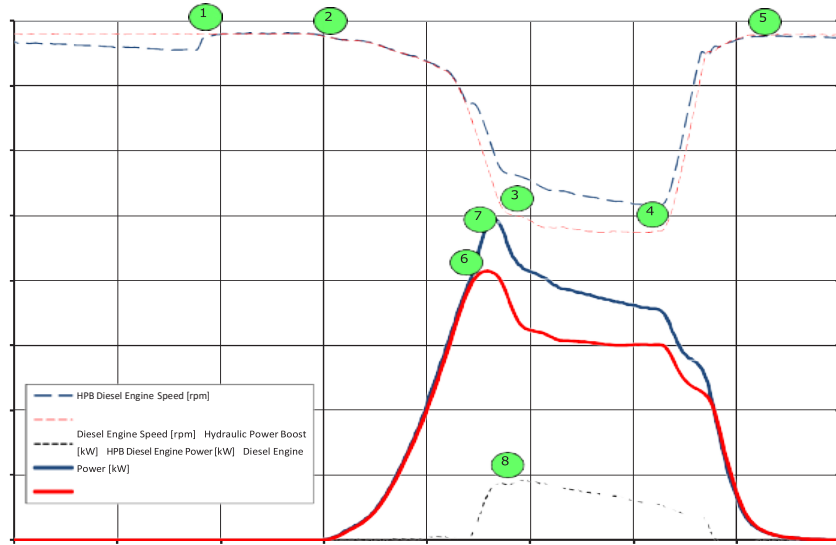
Tablo 3. HPB Ölçekleme Örnek 2 [1]

5. ÖLÇÜM SONUÇLARI

Test edilen kompakt yükleyici, 56 kW motor gücüne sahiptir ve hidrostatik yürüyüş tahriki, oransal fan tahriki ve hidrolik işlev sistemi ile donatılmıştır. HPB sistemi, Şekil 4'teki şematik yapıya ve Tablo 2'deki bileşen seçimine göre uygulanmıştır. Şekil 5, örnek makinede tepe güç ihtiyacında HPB'nin çalışma performansını göstermektedir. HPB, motor hızındaki düşüşü azaltır ve makinenin güç çıkışını artırır. Destekleyici tork, yürüyüş tahriki ya da iş fonksiyonu için kullanılabilir.

YÜK DÖNGÜSÜ – Makine, aynı (yapay ama tekrarlanabilir) yük döngüsüne iki kez tabi tutulmuştur: biri HPB'siz (kırmızı), diğeri HPB'li (mavi). Motor hızı (sol y-eksen) ve motor gücü (sağ y-eksen) zaman eksenine göre grafikte gösterilmiştir.

KONTR-DÖNÜŞ – HPB'nin etkisini en net şekilde gözlemlemek için makinenin sağ ve sol lastikleri ters yönlerde döndürülür (örneğin sağ tam ileri, sol tam geri). Kepçe doluyken bu dönüş uygulandığında, dönüş süresi makine performansının göstergesi olur.



Şekil 5. İşlem Döngüsünde Dizel Motor ve HPB Güç Profili [1]

Kırmızı kesikli çizgi, HPB olmayan sistemin motor hızını gösterir. Başlangıçta motor, harici yük olmadan yüksek rölantide çalışmaktadır (1). Ardından dış yük uygulanır (2), maksimum değere kadar artırılır (3) ve bir süre sabit tutulur (4). Dış yük azaltılır ve motor tekrar yükten serbest duruma geçer (5). Bu döngüde motor hızı minimum 1.500 dev/dk'ye düşer.

Mavi kesikli çizgi, HPB ile çalışan sistemin motor hızını gösterir. Aynı döngü tekrarlanır. Başlangıçta akümülatör maksimum basınca kadar doldurulmuştur (1), ve motor hızı hafifçe düşer. Bu sırada HPB ile ek enerji depolanır. Dış yük uygulanır (2), motor hızı düşer ve yaklaşık 2.000 dev/dk civarında HPB devreye girer (8). Bu destekle birlikte motor hızı daha az düşer ve döngü sonunda tekrar yükselir (5). Bu döngüde motor hızı minimum 1.600 dev/dk'ye düşer, bu da ilk döngüye göre 100 dev/dk daha iyidir.

Sabit çizgiler, motor ve HPB sisteminin güç çıkışını gösterir. Mavi çizgi, sistemin HPB sayesinde performansının arttığını gösterir. HPB'siz sistem maksimum 42 kW'a ulaşırken (6), HPB'li sistem 50 kW'a kadar çıkar (7). Bu fark 8 kW'tır. Bu avantaj hem HPB'den hem de motor hızındaki iyileşmeden kaynaklanmaktadır. HPB, motoru daha az zorladığı için motor da daha yüksek çıkış verebilir.

En yaygın doldurma süresi 2 saniye, destekleme süresi ise 1 saniye olarak gözlemlenmiştir; bu oran yaklaşık 2:1'dir. Bu oran, makinenin çalışma döngüsü ve HPB kontrol optimizasyonu açısından bilgi sağlar. Özellikle doldurma aşamasının fiziksel ayarı zordur ve gecikmelere neden olabilir.

5.1 Değer Önerisi

56 kW güç sınıfındaki makinelerin üreticileri, genellikle son derece maliyet duyarlı pazarlarda faaliyet göstermektedir. Bu nedenle, 'Hidrolik Güç Destek' (HPB) sisteminin toplam yatırım maliyeti, alternatif çözümlere kıyasla belirgin şekilde daha düşük olmalıdır.

Alternatif çözüm; daha büyük bir motor ve gelişmiş bir egzoz arıtma sistemi gerektirir. Bu tür sistemlerin maliyeti yaklaşık 2.000 \$ seviyesindedir. Oysa HPB sisteminin seri üretimdeki ek bileşen maliyetinin (valfler, hidro-pnömatik akümülatör, yazılım ve kontrol ünitesi dahil) 1.000 \$'ın altında olması beklenmektedir.

HPB sisteminin entegrasyon seviyesi arttıkça, ek maliyetler daha da azalır. Alternatif sistem çözümleriyle yapılan basit bir karşılaştırma bile, HPB'nin avantajlarını net şekilde ortaya koymaktadır. Doğru tasarlanmış bir HPB sistemi ile, makine performansından ödün vermeden yaklaşık 1.000 \$ tasarruf sağlanabilir.

HPB sisteminin başarılı uygulanabilmesi, sistem tasarımcısının makine ve uygulamaya dair detaylı bilgiye sahip olmasına bağlıdır. Bu bilgiler ışığında sistem, optimum performans ve maliyet dengesiyle yapılandırılabilir.

6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

“Hidrolik Güç Destek” (HPB) sistemi, motor küçültme (downsizing) yapılmış makinelerde performans seviyesinden ödün vermeden çalışmayı mümkün kılar. Özellikle, 56 kW sınırının hemen üzerinde motor gücüne sahip makineler için HPB uygulanabilir ve maliyet etkin bir çözümdür.

HPB sayesinde, daha büyük motorlar ve pahalı egzoz sistemleri yerine daha ekonomik ve hafif çözümler uygulanabilir. Bu tür makinelerde, %50'ye kadar ek maliyet tasarrufu elde etmek mümkündür.

HPB sistemi, örnek bir uygulamada (kompakt yükleyici) tasarlanmış, entegre edilmiş ve başarıyla test edilmiştir. Bu sayede sistemin hem yeni makinelerde hem de mevcut yapılarda hızlı bir şekilde uygulanabilir olduğu gösterilmiştir. Geliştirilen yazılım mantığı, uygulamaya özgü olarak optimize edilmiştir.

HPB, görev döngüsünün %15'inden daha azında tepe güç gerektiren makineler için uygundur. Sistemin temel faydası; tanımlı bir süre boyunca motora destek sağlamak, yani kısa süreli tepe güç sağlamak üzerinedir. Yakıt tüketimini düşürmek ikincil bir faydadır ve genellikle bu güç sınıfındaki üreticilerin ilk önceliği değildir.

Makinenin çalışma biçimine bağlı olarak rejeneratif (geri kazanımlı) kullanım da mümkündür. Akümülatör, yüksek motor hızlarında dolacak şekilde tasarlandığı için frenleme sırasında ortaya çıkan enerji depolanabilir ve daha sonra kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] John Deere Power System, *Emissions Technology*, John Deere Publishing, 2005.
- [2] VAN DEN BOSSCHE, D., “A380 Uçuş Kontrol Elektrohrostatik Aktüatörleri”, *25th International Congress of the Aeronautical Sciences*, s.1–8, 2006.

[3] LIU, H., ZHANG, X., QUAN, L., ZHANG, H., “Research on energy consumption of injection molding machine driven by five different types of electro-hydraulic power units”, *Journal of Cleaner Production*, Cilt 242, Makale no: 118355 118355, 2020.

[4] GONG, J., ZHANG, D., GUO, Y., LIU, C., ZHAO, Y., HU, P. ve diğerleri, “Power control strategy and performance evaluation of a novel electro-hydraulic energy-saving system”, *Applied Energy*, Cilt 233–234, s.724–734, 2019.

ÖZGEÇMİŞ

Ercan TEKİN

1996 yılında Mardin’de doğmuştur. İlk, orta ve lise eğitimini İstanbul’da tamamlayan Ercan Tekin, 2018 yılında Namık Kemal Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünden mezun olmuştur. Meslek hayatında özellikle hidrolik sistemler, geri dönüşüm tesisleri ve endüstriyel arıtma çözümleri üzerine yoğunlaşarak birçok projede aktif rol almıştır. 2023 yılından bu yana Mert Teknik A.Ş.’de proje ve satış mühendisi olarak görev yapmakta olup; müşteriye özel hidrolik güç üniteleri, filtreleme sistemleri ve silindir çözümleri konularında teknik satış, proje yönetimi ve saha desteği sağlamaktadır. Uygulamalı mühendisliği, çözüm odaklı iletişimi ve sistem verimliliğini artırmaya yönelik yaklaşımıyla öne çıkmaktadır.