

İŞ MAKİNELERİNDE HİDROLİK AKÜMÜLATÖR KULLANIM ALANLARI, SEÇİMLERİ VE HESAPLAMALARI

Pınar Yağmur BEYDİLİ ÖNAL
Mustafa Burak CAN

ÖZET

İş makinelerinde hidrolik akümülatör kullanımı, hidrolik sistemlerin verimli çalışmasını sağlamak ve güvenliği artırmak açısından kritik bir rol oynar. Akümülatörler, sistemdeki basıncı depolayarak ani basınç ihtiyaçlarını karşılar, enerji geri kazanımı sağlar ve frenleme gibi kritik fonksiyonlarda destek sunar. Ayrıca, sistemdeki basınç dalgalanmalarını dengeleyerek hidrolik bileşenlerin ömrünü uzatır ve titreşimleri azaltır. Bu işlevsellik, makinelerin daha güvenli ve verimli çalışmasını sağlayarak operasyonel maliyetleri azaltır.

Bu çalışma, hidrolik akümülatörlerin iş makinelerindeki kullanım alanları, seçim kriterleri, formülasyon ve hesaplamalarına odaklanmaktadır. Doğru akümülatör seçimi, sistem verimliliğini artırırken enerji tüketimini azaltır ve bakım maliyetlerini düşürür. Ayrıca, doğru kapasiteye sahip akümülatörler, sistemdeki basıncı etkili bir şekilde dengeleyerek güvenliği artırır. Kullanım alanına göre yapılan seçim ve hesaplamalar, makinenin farklı fonksiyonlarına uyum sağlamada belirleyici faktörlerdir. Bu nedenle, doğru akümülatör seçimi, iş makinelerinin verimli ve güvenli bir şekilde çalışabilmesi için kritik öneme sahiptir.

Anahtar Kelimeler: Hidrolik akümülatör, balonlu akümülatör, pistonlu akümülatör, diyafram akümülatör, iş makineleri, akümülatör seçim kriteri, akümülatör hesaplamaları

ABSTRACT

The use of hydraulic accumulators in construction machinery plays a critical role in ensuring the efficient operation of hydraulic systems and enhancing overall safety. Accumulators store pressure within the system to meet sudden pressure demands, support critical functions such as braking, and enable energy recovery. Additionally, they balance pressure fluctuations, extend the service life of hydraulic components, and reduce system vibrations. This functionality contributes to safer and more efficient machine operation, ultimately reducing operational costs.

This study focuses on the application areas, selection criteria, formulations, and calculations related to hydraulic accumulators in construction equipment. Selecting the appropriate accumulator improves system efficiency, reduces energy consumption, and lowers maintenance costs. Furthermore, accumulators with proper capacity effectively stabilize system pressure and enhance operational safety. Selection and sizing tailored to specific applications are key factors in adapting to various machine functions. Therefore, accurate accumulator selection is of critical importance for ensuring the efficient and safe performance of construction machinery.

Key Words: Hydraulic accumulator, Bladder accumulator, Piston accumulator, Diaphragm accumulator, Heavy-duty equipment, Accumulator selection criteria, Accumulator calculations

1. GİRİŞ

Günümüz endüstriyel ve inşaat faaliyetlerinin temelini oluşturan iş makineleri, karmaşık hidrolik sistemlerle donatılmış olup, bu sistemlerin verimli, güvenli ve sürdürülebilir şekilde çalışması büyük önem arz etmektedir. Hidrolik sistemlerin temel bileşenlerinden biri olan hidrolik akümülatörler, enerji depolama, darbe sönmüleme (şok yalıtımı), frenleme, basınç dengeleme ve acil durumlarda enerji desteği gibi kritik işlevleri yerine getirmekte, makine performansını iyileştirmekte ve güvenliği arttırmaktadır. Özellikle kazıcı yükleyiciler, yükleyiciler, ekskavatörler, forkliftler, greyderler ve vinçler gibi ağır hizmet tipi iş makinelerinde, hidrolik akümülatörlerin doğru seçimi ve hesaplanması, sistem performansı ve güvenliği açısından hayati rol oynamaktadır.

Hidrolik akümülatörler, genel olarak gazlı (özellikle azot gazı içeren), yaylı ve ağırlıklı olmak üzere üç temel tipte sınıflandırılır. En yaygın kullanılan tür olan gazlı akümülatörler, hidrolik sıvının yüksek basınçla bir gaz hacmi üzerine etki etmesi prensibiyle çalışır ve hızlı enerji iletimi gerektiren uygulamalarda üstün performans sergiler. Ancak akümülatörün tipi kadar, doğru ön şarj basıncı, hacim, maksimum çalışma basıncı ve uygulama karakteristikleri de seçimi etkileyen önemli parametrelerdir.

Bu bağlamda, bu çalışmanın amacı; iş makinelerinde hidrolik akümülatörlerin işlevlerini teknik boyutlarıyla incelemek, çeşitli kullanım senaryolarını değerlendirmek, uygun akümülatör tipinin nasıl seçileceğini açıklamak ve ilgili mühendislik hesaplamalarını detaylandırarak, sahada doğru tasarım ve uygulama yapılmasını sağlamaktır. Ayrıca sistem güvenliği, enerji verimliliği ve ekonomik performans açısından akümülatörlerin sunduğu katkılar da kapsamlı biçimde ele alınacaktır.

Bu kapsamlı analiz, hem akademik araştırmalar yürüten mühendislik öğrencileri ve araştırmacılar hem de saha uygulamalarında görev alan teknik uzmanlar için yol gösterici bir kaynak olmayı hedeflemektedir.

2. AKÜMÜLATÖRLER VE AKÜMÜLATÖR TİPLERİ

Hidrolik akümülatörlerde, sistemin sıvı basıncı ile karşı basınç kaynağı (ağırlık, yay kuvveti veya sıkıştırılmış gaz) arasında sürekli bir denge (basınç dengesi) sağlanmalıdır. Bu prensip, akümülatörün sıvıyı sisteme geri verme veya depolama işlevini yerine getirebilmesi için temel koşuldur.

Ağırlık tipli ve yaylı akümülatörler, endüstriyel uygulamalarda yalnızca özgün ve sınırlı koşullarda kullanılmakta olup, bu nedenle hidrolik sistemlerdeki genel kullanımları oldukça sınırlıdır.

Öte yandan, gaz ve sıvı arasında fiziksel bir ayırıcı eleman içermeyen gaz akümülatörleri, hidrolik sistemlerde yaygın olarak tercih edilmemektedir. Bunun başlıca nedeni, gazın (genellikle azot) zamanla hidrolik sıvı içerisinde çözünerek sistem performansını ve tepkiselliğini olumsuz yönde etkilemesidir.

Bu sebeple modern hidrolik sistemlerde, gaz ile sıvı arasına gaz geçirmez bir ayırıcı yerleştirilmiş olan akümülatör tipleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tasarım, gazın sıvıya karışmasını önlerken sistemin enerji depolama kapasitesini ve işletme güvenilirliğini artırır.

Akümlatörlerin genel yapısı aşağıdaki bölümlerden oluşur:

- 1) Hidrolik sıvı bölgesi: Doğrudan devreyle bağlantılıdır, basınç artışı durumunda sıvı bu bölgeye girer.
- 2) Gaz bölgesi: Genellikle önceden belirli bir basınçta azot (N_2) ile şarj edilir.
- 3) Ayırıcı eleman: Balon, piston veya diyafram şeklinde olabilir; gaz ve sıvının birbirine karışmasını önler.

Çalışma prensibi gereği, devre basıncının artması durumunda akümülatör içerisine sıvı girerek gazı sıkıştırır. Devre basıncının düşmesiyle birlikte, sıkışan gaz genişler ve sıvıyı tekrar hidrolik devreye geri gönderir. Bu iki yönlü enerji akışı, sistemin kararlı, emniyetli ve verimli çalışmasını sağlar.

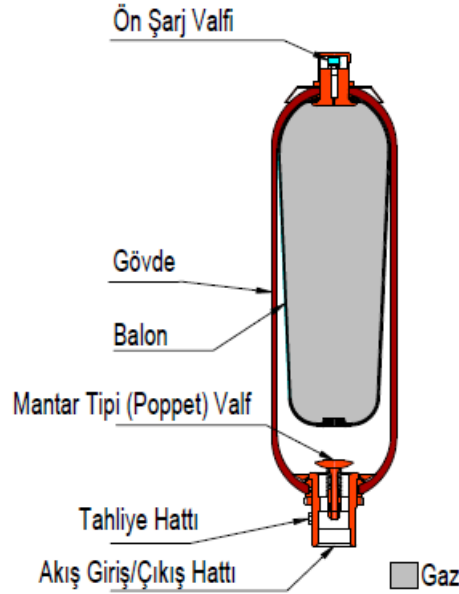
2.1. Balon Tipi Akümülatörler

Balon tipi akümülatörler, hidrolik sıvı ile gazın esnek bir elastomer balon ile birbirinden ayrıldığı hidro-pnömatik akümülatör türüdür. Hidrolik sıvı, balonun dış kısmında bulunur ve doğrudan hidrolik devreye bağlantılıdır. Devredeki basınç arttığında sıvı akümülatöre girerek balon içindeki gazı sıkıştırır. Tersine, devredeki basınç düştüğünde, sıkışan gaz genişler ve akümülatörde depolanan sıvı tekrar devreye verilir.

Balon tipi akümülatörler genellikle dikey pozisyonda monte edilir; bu montaj şekli, balonun performansı ve ömrü açısından en uygun olanıdır. Ancak bazı çalışma koşullarında yatay veya eğimli pozisyonda da kullanılabilirler. Eğimli ya da dikey montajlarda, sıvı giriş vanasının aşağıya bakması tavsiye edilir. Bu, sıvının doğru şekilde boşalmasını sağlar ve balonun şekil bozulmasını önler.

Balon tipi akümülatörler şu parçalardan oluşur:

- 1) Basınca dayanıklı bir gövde (kaynaklı veya dövme çelikten),
- 2) İç kısmında yer alan elastomer balon (gaz bölmesi),
- 3) Gaz şarj bağlantısı ve hidrolik sıvı bağlantısı için ayrı bağlantı noktaları.



Şekil 1: Balon Tipi Akümülatör

Bu tasarım, çok hızlı tepki süresi sağlar; bu nedenle balon tipi akümülatörler, ani enerji boşalımı gerektiren uygulamalarda (örneğin darbe sönümlenme, basınç dalgalanması giderme, acil durum enerji desteği gibi) hem mobil hem de endüstriyel hidrolik sistemlerde sıkça tercih edilir.

Tablo 1: Balon Tipi Akümülatör Bilgileri

Avantajları	Dezavantajları	Uygulama Alanları
Çok hızlı tepki süresi: ani darbeleri sönmülemde etkilidir.	Balon delinirse işlevini kaybeder.	İş makinelerinde ani yük değişimlerinin absorbe edilmesi
Bakımı kolaydır, balon değiştirilebilir.	Hacim kapasitesi genelde sınırlıdır.	Mobil hidrolik sistemlerde darbe sönmüleme
Uygun maliyetlidir ve kompakt tasarımıdır.	Balonun sıcaklık/kimyasala uyumlu olması gerekir.	Basınç destek sistemleri
Gaz ve sıvı birbirine karışmaz.		

2.2. Pistonlu Akümülatörler

Pistonlu akümülatörlerde, hidrolik sıvı bölgesi ile gaz bölgesi, üzerinde gaz sızdırmaz contaları bulunan piston ile birbirinden ayrılmıştır. Gaz bölümü genellikle azot (N_2) ile önceden şarj edilmiştir. Akışkan bölgesi hidrolik sisteme bağlıdır, bu nedenle devredeki basınçtaki herhangi bir artış, akışkanın akümülatöre girmesine ve bunun sonucunda gazın sıkışmasına neden olur. Tersine, devredeki her basınç düşüşünde, akümülatörde bulunan sıkıştırılmış gaz genişler ve akümülatör akışkanı devreye verir.

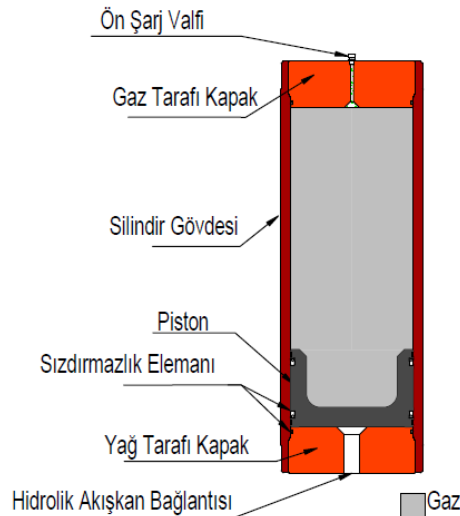
Pistonlu akümülatörler her pozisyonda çalışabilme yeteneğine sahiptir; ancak, gaz bölmesinin yukarıda olacak şekilde monte edilmeleri tercih edilir. Bu montaj şekli, hidrolik sıvı içindeki katı kirleticilerin yerçekimi etkisiyle piston contalarının üzerine birikmesini önleyerek sızdırmazlık performansını korur.

Pistonlu akümülatörlerin tipik yapısı (Şekil 3), aşağıdaki bileşenleri içerir:

- 1) Silindirik gövde (boru): İç basınca dayanım sağlar ve pistonu kılavuzluk eder.
- 2) Sızdırmazlığa sahip piston: Gaz ve sıvı bölmelerini ayırır.
- 3) Uç kapaklar: Gaz tarafı ve akışkan tarafı bağlantı noktalarını içerir.

İki bölme arasındaki basıncın dengeli kalması için, pistonun hareketi sırasında piston ile boru arasındaki sürtünmenin minimumda olması gereklidir. Bu nedenle borunun iç yüzeyi hassas şekilde honlanmış olmalıdır. Pratikte ise, piston contaları ile boru arasındaki sürtünme nedeniyle, gaz ve sıvı bölmeleri arasında yaklaşık 1 bar'a kadar düşürülebilir bir basınç farkı oluşabilir. Bu fark, uygun conta seçimiyle sınırlandırılabilir.

Piston konumu, pistonla entegre edilmiş bir hareketli mil (gösterge çubuğu) ile sürekli olarak izlenebilir. Bu mil üzerine bir kam mekanizması yerleştirilerek piston hareketine bağlı olarak limit şalterlerin tetiklenmesi sağlanabilir.



Şekil 2: Pistonlu Akümülatör

Tablo 2: Piston Tipi Akümülatör Bilgileri

Avantajları	Dezavantajları	Uygulama Alanları
Çok yüksek basınçlarda ve büyük hacimlerde çalışabilir.	Piston keçeleri zamanla aşınabilir bu sebeple sızdırmazlık sorunları olabilir.	Basınç dengeleme
Sızdırmazlık ve sönmüleme özellikleri kontrol edilebilir.	Mekanik sürtünme nedeniyle tepki süresi daha yavaştır.	Enerji geri kazanımı
Montaj yönü esnektir (dikey/yatay kullanılabilir).	Genellikle daha pahalıdır.	Büyük endüstriyel pres sistemleri
Gaz sızıntısı durumunda basitçe yeniden şarj edilebilir.		Yavaş çevrimli, sabit sistemler

2.3. Diyaframlı Akümülatörler

Diyaframlı akümülatörler, genellikle silindirik ya da küresel formda tasarlanmış, çelikten imal edilmiş basınca dayanıklı bir gövde içerisinde yer alan esnek bir diyafram ile gaz ve sıvı bölmelerini birbirinden ayıran hidro-pnömatik akümülatörlerdir.

Gaz ve sıvının fiziksel olarak karışmasını önleyen bu diyafram, sistem basıncına bağlı olarak hareket eder. Gaz tarafı önceden azot ile şarj edilmiş olup, sıvı bölmesi hidrolik devreyle bağlantılıdır. Basınç artışı sırasında sıvı diyaframı iter ve gaz sıkıştır; basınç düştüğünde ise gaz genişleyerek sıvıyı devreye geri verir.

Diyaframlı akümülatörler, üretim yöntemlerine göre üç farklı yapısal versiyon halinde imal edilmektedir:

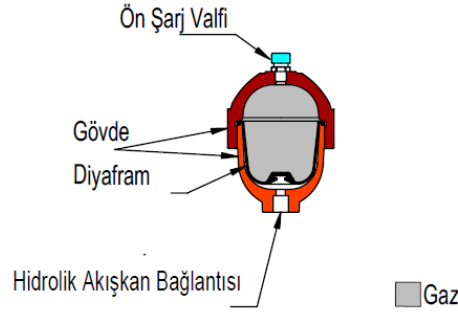
- 1) Vidalı tip (screwed execution)
- 2) Dövme gövde tip (forged execution)
- 3) Kaynaklı tip (welded execution)

Her üretim tekniği, dayanım, bakım kolaylığı, hacim kapasitesi ve maliyet gibi kriterler açısından farklılıklar gösterir. Uygulama alanına ve sistem gereksinimlerine bağlı olarak uygun üretim tipi tercih edilmelidir. Diyaframlı akümülatörlerde, diyafram elemanı ile gaz ve sıvı bölmeleri birbirinden fiziksel olarak ayrılır. Yapısal olarak üç farklı üretim yöntemi ile imal edilirler:

Vidalı tip (screwed execution) akümülatörlerde, diyafram; gövdenin alt ve üst yarım kabukları arasında yer alan bir metal halka ile mekanik olarak sabitlenir. Bu yapı, bakım kolaylığı sağlar ve tekrar sökülebilir özellikte olabilir. (Şekil 4)

Kaynaklı tip (welded execution) akümülatörlerde ise diyafram, iki çelik gövde yarım kabuğu kaynaklanmadan önce, alt gövde parçası içine yerleştirilir. Ardından, kabukların birleştirilmesi işlemi gerçekleştirilir.

Bu kaynaklı yapının güvenli ve uzun ömürlü olabilmesi için özel kaynak yöntemleri tercih edilir. Aynı zamanda, diyaframın şekilsel yerleşimi de özel olarak tasarlanarak hem hasar görmesi hem de istenmeyen dövme etkilerine maruz kalması önlenir. Bu sayede, diyaframın yapısal bütünlüğü korunur.

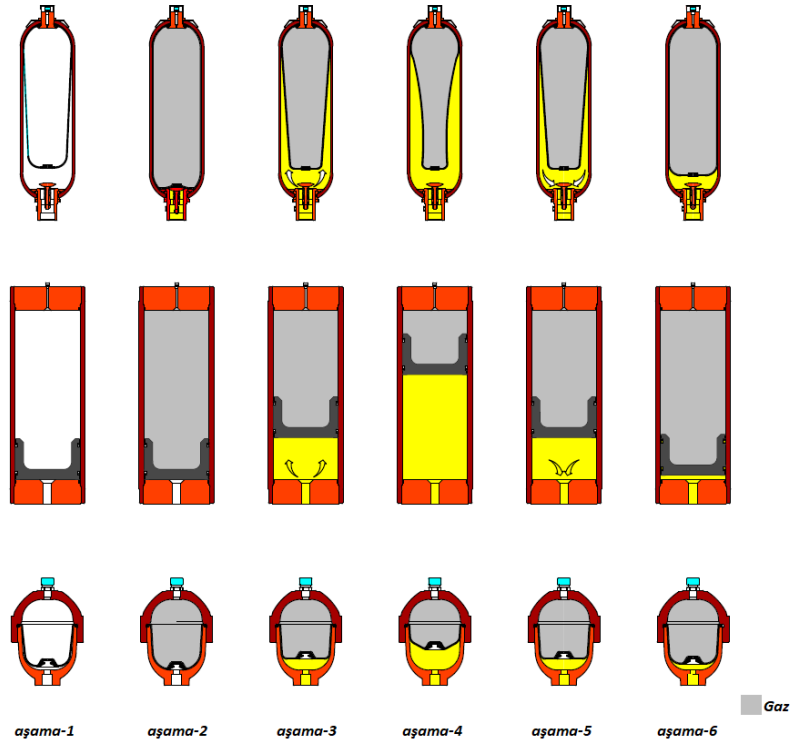


Şekil 3: Diyafram Tipi Akümülatör

Tablo 3: Diyafram Tipi Akümülatör Bilgileri

Avantajları	Dezavantajları	Uygulama Alanları
Kompakt boyutu sebebiyle sınırlı alanlarda kullanım için uygundur.	Diyafram hasarı durumunda tamir değil değişim gerekir.	Mobil ekipmanlar
Tepki süresi yüksektir, hızlı sistemlerde etkilidir.	Hacminin küçük olmasından kaynaklı büyük sıvı ihtiyaçlarına cevap veremez.	Frenleme sistemleri
Montajı kolaydır ve ekonomik bir çözümdür.	Genellikle dik montaj tercih edilir.	Küçük darbeli sistemler
Gaz ve sıvı tamamen ayrıdır.		Dar alanlarda çalışması gereken makineler

2.4. Çalışma Aşamaları



Şekil 4: Akümülatör Çalışma Aşamaları

Tablo 4: Aşama Açıklamaları

Aşama No	Durum	Basınç Durumu	Açıklama
1	Akümülatör boş, ne gaz ne hidrolik tarafında basınç yok	$P_0 = P = 0$ bar	Akümülatörde hiçbir basınç yok, tamamen boş durumda.
2	Akümülatör gaz ile ön şarj edilmiş	P_0	Gaz tarafına ön şarj basıncı uygulanmış, sistem henüz çalışmamış durumda.
3	Hidrolik sistem basınçlanmaya başlıyor	$P_0 \rightarrow P_1$	Sistem basıncı ön şarj basıncını aşıyor, sıvı akümülatöre dolmaya başlıyor.
4	Sistem maksimum basınca ulaşıyor	$P_1 \rightarrow P_2$	Akümülatör doluyor, tasarım kapasitesine ulaşıyor. Emniyet valfi daha fazla basınca izin vermiyor.
5	Sistem basıncı düşmeye başlıyor	$P_2 \rightarrow P_1$	Ön şarj basıncı sıvıyı akümülatörden sisteme geri itiyor.
6	Sistem minimum basınca ulaşıyor	P_{1min} veya ΔP_{min}	Akümülatör, depoladığı tüm sıvıyı sisteme geri vermiş oluyor.

3. AKÜMÜLATÖR SEÇİM KRİTERLERİ

Belirli bir uygulama için akümülatör seçilirken hem sistem hem de performans kriterleri dikkate alınmalıdır.

Uzun ömürlü ve tatmin edici bir hizmet süresi sağlamak için aşağıdaki faktörler göz önünde bulundurulmalıdır:

- 1) Maksimum ve minimum sistem basıncı
- 2) Gerekli enerji miktarı (depolanacak hacim)
- 3) Kullanım amacı (darbe sönümlenme, enerji depolama vb.)
- 4) Ön dolun (precharge) basıncı: Genellikle maksimum sistem basıncının %90'ı veya minimum basıncın %10-15 üzerinde olacak şekilde ayarlanır.
- 5) Ortam sıcaklığı
- 6) Akışkan tipi
- 7) Tepki süresi
- 8) Yüksek frekansta devreye girme (sıklıkla şarj-deşarj)
- 9) Dış kuvvetler
- 10) Darbe sönümlenme
- 11) Boyutlandırma bilgileri
- 12) Güvenlik

3.1. Balon Tipi Akümülatör Seçim Kriterleri

Bu tip, iş makinelerinde en yaygın kullanılan türdür.

Tablo 5: Balon tipi akümülatör seçim kriterleri

Kriter	Açıklama
Çalışma Basıncı	Orta-yüksek basınçlar için uygundur (genellikle 200-350 bar arası).
Sıvı Hacmi İhtiyacı	Hızlı sıvı alıp verebilme kapasitesi vardır.
Tepki Süresi	Çok hızlıdır; ani darbeleri sönmölemek için idealdir.
Sıvı-Gaz Ayırımı	Elastomer balon gazı sıvıdan tamamen ayırır. Gaz sızıntı riski düşüktür.
Montaj Yönü	Dikey montaj tercih edilir. Balonun düzgün çalışması için önemlidir.
Bakım	Balon zamanla aşınabilir; periyodik kontrol gereklidir.
Kullanım Alanı	Darbe sönmöleme, enerji desteği, acil güç senaryoları.

3.2. Pistonlu Akümülatör Seçim Kriterleri

Büyük hacim ve yüksek basınç uygulamaları için tercih edilir.

Tablo 6: Pistonlu akümülatör seçim kriterleri

Kriter	Açıklama
Çalışma Basıncı	Çok yüksek basınçlara uygundur (500 bar'a kadar).
Hacim Aralığı	Geniş hacim aralıklarında üretilebilir (1 litreden 1000 litreye kadar).
Sıvı-Gaz Ayırımı	Mekanik pistonla ayrılır; sıvı veya gaz sızıntı riski vardır.
Montaj Esnekliği	Dikey veya yatay montaj yapılabilir.
Tepki Süresi	Orta hızdadır; Balon Tip'e göre daha yavaştır.
Sızdırmazlık	Piston keçeleri önemlidir; yüksek bakım kalitesi gerektirir.
Kullanım Alanı	Büyük enerji depolama, sistem dengeleme, basınç kontrollü sistemler.

3.3. Diyaframlı Akümülatör Seçim Kriterleri

Kompakt sistemlerde tercih edilir.

Tablo 7: Diyaframlı akümülatör seçim kriterleri

Kriter	Açıklama
Çalışma Basıncı	Orta seviyede basınçlar için uygundur (150-300 bar).
Tepki Süresi	Tepki hızı yüksektir; hızlı çevrim gereken sistemlerde avantajlıdır.
Boyut	Kompakt yapısı ile dar alanlar için idealdir.
Montaj Pozisyonu	Genellikle dikey montaj yapılır.
Sızdırmazlık	Diyafram delinirse performans hızla düşer.
Bakım	Tamir yerine çoğu zaman değişim önerilir.
Kullanım Alanı	Mobil ekipmanlar, hafif makineler, düşük hacimli sistemler.

4. AKÜMÜLATÖR HESAPLAMALARI

Hidrolik akümülatörlerin doğru şekilde boyutlandırılması, sistemin enerji ihtiyacına, çalışma basınçlarına ve kullanım amacına göre yapılmalıdır. Hesaplamalar, akümülatörün tipine göre değişiklik gösterebilir. En yaygın kullanılan akümülatör tipleri olan balon (bladder), diyafram (diaphragm) ve pistonlu (piston) akümülatörler için temel hesaplama prensipleri aşağıda açıklanmıştır. Genel Gaz Yasasına Dayalı Hesaplama Temeli tüm gazlı akümülatörlerde temel prensip, ideal gaz yasası ve izotermal ya da adyabatik gaz davranışıdır:

$$P_0 \cdot V_0^n = P_1 \cdot V_1^n = P_2 \cdot V_2^n$$

Burada:

P_0 : Ön şarj basıncı (bar)

V_0 : Toplam gaz hacmi (litre)

P_1 : Başlangıç (yükleme) basıncı (bar)

V_1 : Bu basınçtaki gaz hacmi (litre)

P_2 : Boşaltma (minimum) basıncı (bar)

V_2 : Bu basınçtaki gaz hacmi (litre)

n : Gaz davranış katsayısı (izotermal işlem için $n = 1$, adyabatik işlem için $n = 0$)

Kullanıcıdan istenen sıvı hacmi; $\Delta V = V_1 - V_2$ şeklinde ifade edilir.

4.1. Diyafram Tipi Akümülatörler İçin Hesaplama

Kullanılabilir sıvı hacmi:

$$\Delta V = V_0 \left[\left(\frac{P_0}{P_1} \right)^{1/n} - \left(\frac{P_0}{P_2} \right)^{1/n} \right]$$

Bu formülde sistemin tasarımına göre ΔV istenilen sıvı hacmi verilirse, gerekli toplam akümülatör hacmi V_0 hesaplanabilir.

4.2. Pistonlu Akümülatörler İçin Hesaplama

Pistonlu akümülatörlerde gaz ve sıvı, hareketli bir pistonla ayrılır. Sürtünme ve ağırlık gibi etkiler dikkate alınmalıdır. Ancak ideal durumda benzer gaz yasaları uygulanır.

Yukarıdaki aynı denklem kullanılır fakat sürtünme kaynaklı basınç kayıpları ve piston kütlesi nedeniyle düzeltme katsayıları eklenebilir.

4.3. Akümülatör Kullanımındaki Sistemler İçin Örnek Hesaplama

Hidrolik sistemde akümülatörden istenen hacim 5 litre yağ, 180 bar'dan 100 bar'a düşene kadar kesintisiz iletmelidir. Sistemdeki ön şarj basıncı 90 bardır. Gaz davranışı izotermal kabul edilsin. Bu sistemde kullanılacak olan akümülatörün hacmi ne olmalıdır ?

$$\Delta V = 5, P_0 = 90 \text{ bar}, P_1 = 180 \text{ bar}, P_2 = 100 \text{ bar}, n = 1$$

$$5 = V_0 \left[\left(\frac{90}{180} \right)^1 - \left(\frac{90}{100} \right)^1 \right] \rightarrow V_0 = \frac{5}{0.5 - 0.9} \approx 12.5 \text{ L}$$

Gereken akümülatör hacmi 12.5 litredir.

Sıcaklık Farkına Göre Ön Şarj Basıncının Hesaplanması:

Boyle ve Mariotte yasasına göre, belirli miktardaki bir gazın basıncı ile hacmi çarpımı sabittir. Bu ilişki sabit sıcaklıkta geçerlidir ve şu şekilde ifade edilir:

$$P \cdot V = \text{Sabit}$$

Bu yasaya göre, hacim yarıya düşerse basınç iki katına çıkar. Akümülatörlerde farklı sıcaklıklarda ön şarj basıncının nasıl değişeceği aşağıdaki denklemle hesaplanabilir:

$$P_0(T_2) = P_0(T_1) \cdot \frac{T_2}{T_1}$$

Burada:

$P_0(T_1)$: Minimum sıcaklıktaki (Kelvin cinsinden) ön şarj basıncı

$P_0(T_2)$: Maksimum sıcaklıktaki ön şarj basıncı

T_1 : Minimum ortam sıcaklığı (Kelvin)

T_2 : Maksimum ortam sıcaklığı (Kelvin)

Bu formül, çalışma sıcaklığı ile ön şarj sıcaklığı farklı olduğunda, doğru ön şarj basıncının belirlenmesi için kullanılır.

Uygulama Türlerine Göre Ön Şarj Basıncının Hesaplanması:

Akümülatör kapasitesi, seçilen gaz ön şarj basıncına göre belirlenir. Akümülatör hacminin optimum kullanımı için aşağıdaki ön şarj basınçları önerilir:

Enerji depolama uygulamaları için:

$$P_{0,tmax} = (0.9) . P_1$$

Darbe emilimi (şok absorpsiyonu) için:

$$P_{0,tmax} = (0.6 \text{ ila } 0.9) . P_m$$

Burada P_m : Serbest akış için ortalama çalışma basıncıdır.

Titreşim sönümlenme (pulsasyon azaltımı) için:

$$P_{0,tmax} = (0.6) . P_m$$

Veya farklı çalışma basınçları varsa:

$$P_{0,tmax} = (0.8) . P_1$$

5. İŞ MAKİNELERİNDE HİDROLİK AKÜMÜLATÖRLERİN KULLANILDIĞI SİSTEMLER

5.1. Darbe Sönümlenme Sistemleri

Darbe sönümlenme sistemlerinde hidrolik akümülatör kullanılmasının amacı:

- 1) Hızlı hareket eden hidrolik kolların ani duruşlarında oluşan basınç darbelerini sönümlenmek,
- 2) Hidrolik hatlardaki titreşimleri ve ani basınç dalgalanmalarını dengelemektir.

Bu sayede;

- 1) Hortum-pompa ömrü uzar,
- 2) Operatör kullanımı açısından konfor artar,
- 3) Sistemde yaşanacak gürültü ve sistem zorlaması azalır.

Kullanıldığı Makineler / Sistemler:

- 1) Ekskavatörler
- 2) Yükleyiciler (Loader)
- 3) Forkliftler

5.2. Enerji Depolama ve Geri Kazanım Sistemleri

Enerji depolama ve geri kazanım sistemlerinde hidrolik akümülatör kullanılmasının amacı:

- 1) Fazla basınç enerjisini azot gazı içinde depolamak
- 2) Gerekli olduğunda bu enerjiyi sisteme geri vermek (örneğin kaldırma veya yön değiştirme anlarında)

Bu sayede;

- 1) Yakıt tüketimi azalır,
- 2) Pompa boyutunda küçülmeye gidilebilir,
- 3) Tepe güç ihtiyacı düşer.

Kullanıldığı Makineler / Sistemler:

- 1) Telehandlerlar (Teleskopik yükleyici)
- 2) Boom lift sistemleri
- 3) Elektrikli veya hibrit iş makineleri

5.3. Acil Durum Güç Besleme Sistemleri

Acil durum güç besleme sistemlerinde hidrolik akümülatörlerin kullanım amacı:

- 1) Ana pompa arızası/Elektrik kesintisi gibi durumunda kısa süreli hidrolik enerji sağlamak
- 2) Güvenli pozisyona geri dönüş (örneğin vinç kolunun indirilmesi)

Bu sayede;

- 1) Emniyet ve kontrol sürekliliği sağlanır.
- 2) Elektrik kesintilerinde makine güvenli moda alındığı için sistem güvenliği sağlanmış olur.

Kullanıldığı Makineler / Sistemler:

- 1) Vinçler
- 2) Sepetli platformlar (manlift)
- 3) Tünel açma makineleri

5.4. Süspansiyon Sistemleri

Süspansiyon sistemlerinde hidrolik akümülatörlerin kullanım amacı:

- 1) Geleneksel yaylar yerine hidropnömatik akümülatörlerle amortisör etkisi oluşturmak
- 2) Şasi ve kabin üzerinde titreşim sönümlenme ve sürüş konforu sağlamak

Bu sayede;

- 1) Tekerleklerin yerle teması artırılır.
- 2) Operator konforu artar.
- 3) Yük dengesi korunmuş olur.

Kullanıldığı Makineler / Sistemler:

- 1) Damperli kamyonlar
- 2) Taş ocaklarında kullanılan dev kaya kamyonları
- 3) Zirai makineler (örneğin kendinden yürür ilaçlama makineleri)

5.5. Basınç Dengeleme ve Akış Kontrol Sistemleri

Basınç dengeleme sistemlerinde hidrolik akümülatörlerin kullanım amacı:

- 1) Anlık basınç düşüşlerini telafi etmek
- 2) Sistem içindeki basıncı sabit tutmak
- 3) Pompa üzerindeki yükleri azaltmak

Bu sayede;

- 1) Sistem tepkileri daha kararlı hale gelir.
- 2) Sistemdeki pompa ve motor yükü dengelenir.
- 3) Sürekli akış elde edilir.

Kullanıldığı Makineler / Sistemler:

- 1) Hidrolik fren sistemleri
- 2) Kepçe kontrol devreleri
- 3) Basınç kompanzasyonlu hidrolik hatlar

6. HİDROLİK AKÜMÜLATÖRLERİN KULLANILDIĞI ALANLAR:

Hidrolik akümülatörler, hidrolik sistemlere dayanan birçok makine ve ekipmanda kullanılır. İşte hidrolik akümülatörlerin kullanıldığı bazı yaygın makine ve sistemler:

6.1- İnşaat Ekipmanları

- **Ekskavatörler:** Hidrolik akümülatörler, ekskavatörlerin hidrolik sistemlerinde enerji depolamak, basıncı dengelemek ve darbe emme işlevi görmek için kullanılır.
- **Dozerler:** Bu makineler, hidrolik sistemlerinin düzgün çalışması için enerji depolamak ve basıncı dengelemek amacıyla akümülatörlerden faydalanır.
- **Vinçler:** Hidrolik akümülatörler, vinç sistemlerinde basınç stabilizasyonu sağlamak ve yük kaldırma işlemleri için enerji sağlamak amacıyla kullanılır.
- **Forkliftler:** Forkliftlerde, hidrolik kaldırma sistemlerinin düzgün çalışmasını sağlamak için enerji depolayan akümülatörler kullanılır.

6.2- Tarım Makineleri

- **Traktörler:** Traktörlerde, hidrolik aletlerin (toprak işleme, hasat vb.) düzgün çalışması için akümülatörler kullanılır; bu akümülatörler, basıncı dengelemeye ve darbe emmeye yardımcı olur.
- **Biçer Döverler:** Bu makinelerde, biçer döverin çeşitli hidrolik sistemlerinin (kesim, kaldırma ve tahıl boşaltma gibi) verimli çalışmasını sağlamak için hidrolik akümülatörler kullanılır.
- **Ekici ve Tohum Ekim Makineleri:** Hidrolik akümülatörler, ekim derinliğini ve tohum yerleştirmesini kontrol eden sistemlerde stabil basınç sağlamak için kullanılır.

6.3- Sanayi Ekipmanları

- **Hidrolik Presler:** Akümülatörler, hidrolik preslerde, şekillendirme veya oluşturma işlemlerinde gereken sabit basıncı sağlamak ve enerji depolamak amacıyla kullanılır.
- **Enjeksiyon Kalıplama Makineleri:** Enjeksiyon kalıplama makinelerinde, enjeksiyon sürecinde basıncı stabilize etmek ve enerji depolamak için hidrolik akümülatörler kullanılır.
- **Metal Şekillendirme Makineleri:** Benzer şekilde, metal şekillendirme işlemlerinde, akümülatörler, presleme, dövme, şişirme ve bükme gibi işlemlerin verimli ve düzgün bir şekilde yapılmasını sağlar.

6.4- Malzeme Taşıma Ekipmanları

- **Asansörler ve Yük Kaldırma Sistemleri:** Hidrolik akümülatörler, asansörlerde, kaldırma sistemlerinde ve diğer dikey taşıma sistemlerinde yedek güç sağlamak ve enerji depolamak amacıyla kullanılır.
- **Konveyörler:** Konveyör sistemlerinde, yükleme ve boşaltma işlemleri sırasında basıncı dengelemek ve sistemin stabil çalışmasını sağlamak için hidrolik akümülatörler kullanılır.

6.5- Madencilik Ekipmanları

- **Madencilik Kepçeleri ve Yükleyiciler:** Bu makinelerde, enerji depolamak ve basıncı dengelemek amacıyla hidrolik akümülatörler kullanılır, bu sayede ağır yüklerin kazılması, yüklenmesi ve boşaltılması işlemleri verimli bir şekilde yapılır.
- **Delme Makineleri:** Delme makineleri, yüksek basınçlı görevler için akümülatörlerden faydalanarak enerji depolar ve sistemin verimli çalışmasını sağlar.

6.6- Denizcilik Ekipmanları

- **Vinçler:** Denizcilik ve açık deniz petrol platformlarında, vinçlerde hızlı enerji depolama ve basınç stabilizasyonu için hidrolik akümülatörler kullanılır.
- **Kule Vinçleri:** Açık deniz petrol platformlarında ve gemilerde, hidrolik sistemlerdeki enerjiyi depolamak ve dengelemek amacıyla akümülatörler kullanılır.

6.7- Havacılık

- **Havacılık Hidrolik Sistemleri:** Uçaklarda, iniş takımları, uçuş kontrol sistemleri ve acil enerji sistemleri gibi çeşitli hidrolik sistemler için yedek enerji sağlamak amacıyla hidrolik akümülatörler kullanılır.
- **Helikopter İniş Takımları:** Helikopterlerin iniş takımı sistemlerinde, basıncı stabilize etmek ve kontrollü iniş yapmak için akümülatörler kullanılır.

6.8- Otomotiv Sistemleri

- **Direksiyon Sistemleri:** Bazı direksiyon sistemlerinde (özellikle yüksek performanslı araçlarda), hidrolik akümülatörler, basınç dalgalanmalarını dengelemeye yardımcı olur.
- **Süspansiyon Sistemleri:** Hidrolik süspansiyon sistemleri kullanan araçlarda, sürüş konforunu arttırmak ve basıncı dengelemek amacıyla akümülatörler kullanılabilir.

6.9- Offshore Petrol & Gaz Ekipmanları

- **Riser ve Denizaltı Ekipmanları:** Açık deniz petrol platformlarında, denizaltı ekipmanları ve riser sistemlerinde, basıncı stabilize etmek ve enerjiyi depolamak için hidrolik akümülatörler kullanılır.
- **Kuyu Kapatıcılar (BOP):** Hidrolik kuyu kapatıcıları (Blowout Preventers), kuyu basıncını kontrol etmek ve acil durumlarda kuyuya kapanış sağlamak için hidrolik akümülatörlerden faydalanır.

6.10- Enerji Üretim Ekipmanları

- **Hidroelektrik Santralleri:** Bazı hidroelektrik sistemlerinde, fazla enerjiyi depolamak ve enerji talebinin yüksek olduğu zamanlarda serbest bırakmak için hidrolik akümülatörler kullanılır.
- **Rüzgar Türbinleri:** Bazı hidrolik tabanlı rüzgar türbini sistemlerinde, enerji depolamak ve basınç düzenlemek için akümülatörler kullanılır.

6.11- Acil Durum Sistemleri

- **Acil Fren Sistemleri:** Vinçler, inşaat makineleri ve asansörler gibi ağır makinelerde, acil frenleme işlemlerini gerçekleştirmek için hidrolik akümülatörler kullanılır. Böylece enerji kaybı durumunda bile kontrollü bir duruş sağlanır.
- **Kritik Sistemler için Yedek Enerji:** Bazı kritik sistemlerde (örneğin asansörler, uçaklar), enerji kaybı durumunda bile hayati işlemlerin devam etmesi için hidrolik akümülatörler kullanılır.

6.12- Demiryolu Ekipmanları

- **Tren Fren Sistemleri:** Bazı tren fren sistemlerinde, frenleme sırasında enerji depolamak ve basıncı serbest bırakmak amacıyla hidrolik akümülatörler kullanılır.

6.13- Robotik ve Otomasyon

- **Endüstriyel Robot Kolları:** Endüstriyel otomasyon sistemlerinde, robot kollarının hassas hareketleri için hidrolik sistemlerde akümülatörler kullanılır; bu, kaynak, boya veya montaj gibi işlemler için gereklidir.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, hidrolik akümülatörlerin iş makinelerinde oynadığı kritik rol detaylı şekilde incelenmiş, farklı akümülatör tiplerinin yapısal özellikleri, kullanım alanları ve seçim kriterleri sistematik biçimde değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular doğrultusunda, akümülatörlerin yalnızca enerji depolama değil; darbe sönümlenme, basınç dengeleme, sistem güvenliği sağlama, süspansiyon desteği ve acil durum güç besleme gibi çok yönlü işlevler üstlendiği görülmüştür. Özellikle ağır hizmet tipi iş makinelerinde (örneğin ekskavatörler, vinçler, forkliftler ve damperli kamyonlar gibi) doğru akümülatör seçimi hem sistem verimliliğini hem de işletme güvenliğini doğrudan etkilemektedir.

Balon tipi akümülatörlerin hızlı tepki süresi ve bakım kolaylığı ile darbe sönümlenme uygulamalarında öne çıktığı, pistonlu akümülatörlerin ise yüksek basınç ve büyük hacim gereksinimlerinde tercih edildiği belirlenmiştir. Diyaframlı akümülatörler ise kompakt yapıları sayesinde sınırlı alanlarda ve mobil uygulamalarda önemli avantajlar sunmaktadır. Seçim sürecinde; sistemin maksimum-minimum basıncı, gerekli sıvı hacmi, ön şarj basıncı, çevresel koşullar ve sistemin kullanım amacı dikkate alınmalıdır. Ayrıca, akümülatörün yerleştirileceği konum, montaj yönü ve bakım kolaylığı da dikkate alınması gereken önemli parametrelerdendir.

Yapılan mühendislik hesaplamalarında, gaz yasalarına dayalı formüllerle akümülatör hacminin doğru boyutlandırılmasının, sistem performansı açısından belirleyici olduğu vurgulanmıştır. Ön şarj basıncının sistem sıcaklığına göre doğru ayarlanması, gazın genleşme davranışına uygun seçim yapılması ve uygulama türüne göre ideal basınç oranlarının kullanılması hem akümülatör ömrü hem de sistem kararlılığı açısından gereklidir.

Sonuç olarak, hidrolik akümülatörlerin iş makinelerinde uygun seçimi, doğru hesaplamalarla yapılmalıdır. Aksi durumda, yanlış kapasite seçimi sistemin işlevselliğini azaltabilir, bileşen ömrünü kısaltabilir ve güvenliği tehlikeye atabilir. Bu bağlamda, mühendislerin ve sistem tasarımcılarının hem teorik bilgiye hem de saha tecrübesine dayanan bütüncül bir yaklaşım benimsemeleri önemlidir. Saha uygulayıcıları için periyodik bakım programları oluşturulmalı, ön şarj basınçları düzenli olarak kontrol edilmelidir. Özellikle enerji verimliliği hedeflenen modern sistemlerde, akümülatörlerin sunduğu geri kazanım potansiyelinden azami fayda sağlanmalı, böylece işletme maliyetleri düşürülerek çevresel sürdürülebilirliğe katkıda bulunulmalıdır.

Sonuç olarak bu çalışma hem akademik hem de endüstriyel perspektifte, hidrolik akümülatörlerin iş makineleri üzerindeki teknik ve ekonomik etkilerini ortaya koymakta; mühendislik tasarımı ve uygulaması açısından yol gösterici nitelikte öneriler sunmaktadır. Gelecekte, özellikle dijital izleme sistemleri ile entegre çalışan akümülatör teknolojilerinin geliştirilmesi, sistem optimizasyonu ve otomatik bakım planlaması açısından yeni fırsatlar yaratacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] International Organization for Standardization. (2015). *ISO 7751: Hydraulic fluid power — Accumulators — General requirements*. ISO.
- [2] Bosch Rexroth. (n.d.). *Hydraulic accumulator selection guide*. Bosch Rexroth AG.
- [3] Parker Hannifin. (2012). *Accumulators technical handbook*. Parker Hannifin Corporation.
- [4] Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2014). *Shigley's mechanical engineering design* (10th ed.). McGraw-Hill Education.
- [5] Accumulators, Inc. (n.d.). *Hydraulic accumulators*. Retrieved from <https://www.accumulators.com>
- [6] Parker Hannifin Corporation. (n.d.). *Hydraulic Accumulator Division*. Rockford, Illinois, USA.
- [7] Makina Eğitimi. (n.d.). *Hidrolik akümülatörlerin görevleri*. Retrieved July 9, 2025, from <https://www.makinaegitimi.com/hidrolik-akumulatorlerin-gorevleri/>
- [8] Control.com. (n.d.). *Hydraulic accumulators*. Retrieved July 9, 2025, from <https://control.com/technical-articles/hydraulic-accumulators/>
- [9] Costa, D., & Sepehri, N. (2023). Hydraulic accumulators in energy efficient circuits. *Frontiers in Mechanical Engineering*, 9, Article 1163293. <https://doi.org/10.3389/fmech.2023.1163293>
- [10] Türk Standardları Enstitüsü. (2014). *TS EN 14359: Hidrolik akümülatörler için güvenlik gerekleri*. TSE.
- [11] HYDAC. (n.d.). *Accumulator technology: Accumulator selection guide*. HYDAC Technology GmbH.
- [12] Heybroek, K. (2008). *Saving energy in construction machinery using displacement control hydraulics – Concept realization and validation* (Doctoral dissertation, Linköping University). Linköping University Electronic Press. ISBN 978-91-7393-860-0
- [13] Drumea, P. (2008). Energy losses in hydraulic systems. *FLUIDAS - Asociatia Nationala Profesionala De Hidrolica Si Pneumatica*, 1–10.

ÖZGEÇMİŞ

Pınar Yağmur BEYDİLİ ÖNAL

1997 Manisa doğumludur. 2022 yılında Başkent Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünden mezun olmuştur. Mezun olmadan önce 6 ay süresince TUSAŞ' da aday mühendis olarak görev almıştır. Mezuniyet akabinde E-Berk Makina AŞ firmasında Hidrolik Sistem Tasarım Mühendisi olarak 2 yıl görev almıştır. 2024 yılı itibarıyla Hidromek AŞ firmasında Tasarım Mühendisi olarak çalışmaktadır.

Mustafa Burak CAN

1999 yılı Ankara doğumludur. 2022 yılında İhsan Doğramacı Bilkent Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği bölümünden mezun olmuştur. Mezun olmasından 3 ay önce Hidromek firmasında Stajyer Mühendis olarak işe başlayıp haziran ayındaki mezuniyeti sonrasında Tasarım Mühendisi olarak tam kadroya geçiş yapmıştır. 2022 yılından beri Hidromek firmasında hidrolik sistem tasarımı üzerine çalışmakta olup mekanizma ve yapısal tasarım konularında da çalışmaları mevcuttur.