

# SABİT DEPLASMANLI EKSENEL PİSTONLU EĞİK PLAKALI POMPANIN MODELLENMESİ

**Onur Can PİŞKİN**

**Elif Nur YAŞAR**

**Gürhan ERTAŞ**

## ÖZET

Eğik plakalı pompalar (EPP – Swash Plate Pump); kompakt yapıları, hafiflikleri ve sınırlı hacimlerde yüksek basınç üretebilme yetenekleri sayesinde mobil hidrolik sistemlerde, havacılıkta, otomotiv sektöründe ve endüstriyel makinelerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışma, sabit deplasmanlı aksenal pistonlu (mil yönünde doğrusal hareket eden) bir eğik plakalı pompanın (EPP) tasarımına ve matematiksel modellemesine odaklanmaktadır. EPP tasarımında temel parametrelerin optimizasyonu, sistem verimliliğini, dayanıklılığı ve hidrolik sistemlere entegrasyon kabiliyetini doğrudan etkilemektedir. Bu çalışma kapsamında, pompanın çalışma prensipleri incelenmiş; piston sayısı, piston dönme hızı ve eğik plaka açısının değişiminin performansa etkileri AMESim yazılımı kullanılarak değerlendirilmiştir. Simülasyon sonuçları, bu parametrelerin pompa verimliliği, hidrolik güç ve debi çıktısı üzerinde önemli etkileri olduğunu göstermiştir. Elde edilen bulgular, benzer sistemlerin tasarım süreçlerinde referans alınabilecek nitelikte mühendislik verileri sunmaktadır.

**Anahtar Kelimeler** : Hidrolik sistem, Aksenal piston, Eğik plakalı pompa, Sabit deplasmanlı, Piston dinamiği.

## ABSTRACT

Swash plate pumps (EPP - Swash Plate Pump) are widely used in mobile hydraulic systems, aerospace, the automotive sector, and industrial machinery due to their compact structures, lightweight nature, and ability to generate high pressure in limited volumes. This study focuses on the design and mathematical modeling of a fixed-displacement axial piston swash plate pump (EPP) with pistons moving linearly along the shaft axis. In EPP design, the optimization of key parameters directly affects system efficiency, durability, and the pump's integration capability with

hydraulic systems. Within the scope of this study, the operating principles of the pump were examined, and the effects of variations in the number of pistons, piston rotational speed, and swash plate angle on performance were evaluated using AMESim software. Simulation results revealed that these parameters significantly influence pump efficiency, hydraulic power, and flow rate output. The findings provide engineering data that can serve as a reference in the design processes of similar systems.

**Key words:** Hydraulic system, Axial piston, Swash plate pump, Fixed displacement, Piston dynamics

## 1. GİRİŞ

Yüksek güç yoğunluğu, hassas kontrol kabiliyeti ve kompakt yapıları sayesinde hidrolik sistemler; havacılık, otomotiv ve endüstriyel alanlardaki modern uygulamalarda sistemlerde etkin biçimde kullanılmaktadır. Bu sistemlerde güç iletiminin verimli ve kararlı şekilde sağlanabilmesi, doğrudan kullanılan pompa tipinin performansına bağlıdır. Özellikle hacim ve ağırlık kısıtlarının ön planda olduğu havacılık uygulamalarında, yüksek basınç üretimini kompakt tasarımla birleştiren eksenel pistonlu EPP'ler öne çıkan çözümlerden biri hâline gelmiştir.

Eksenel pistonlu EPP'ler, sabit veya değişken deplasmanlı yapıda tasarlanabilmekte olup sahip oldukları geometrik parametreler sistem performansını doğrudan etkilemektedir. Piston sayısı, mil dönme hızı ve eğik plaka açısı gibi tasarım değişkenleri; çıkış debisi, basınç salınımları, akış sürekliliği ve genel verimlilik üzerinde belirleyici rol oynamaktadır. Bu nedenle, söz konusu pompaların matematiksel olarak doğru şekilde modellenmesi ve yapısal parametrelerinin optimize edilmesi, hem sistem kararlılığı hem de enerji verimliliğinin artırılması açısından kritik bir gerekliliktir.

Zeiger ve Akers, eksenel pistonlu bir pompanın çıkış performansını belirleyen eğik plaka mekanizmasının dinamik davranışlarını analiz etmek üzere tork bileşenlerini içeren doğrusal hale getirilmiş bir matematiksel model geliştirerek, pompa tasarımı ve kontrol sistemlerinin optimizasyonuna katkı sağlamıştır [1].

Schoenau, Burton ve Kavanagh, değişken deplasmanlı pistonlu bir pompanın hem kararlı durum hem de dinamik yanıt davranışlarını inceleyebilmek için akışkan mekaniğine dayanan ve deneysel verilerle doğrulanan ayrıntılı bir matematiksel model sunmaktadır. [2].

Li ve arkadaşları, EPP'lerin akış dalgalanmasının nedenlerini teorik ve deneysel olarak inceleyerek; eğik plaka açısı, piston çapı, tahrik mili hızı ve port plaka yapısının akış salınımı üzerindeki etkilerini analiz etmiş ve bu parametrelerin uygun şekilde optimize edilmesiyle sistem performansının iyileştirilebileceğini göstermiştir [3].

Edge ve Darling, EPP'lerin pompalama dinamiklerini inceleyerek, silindirdeki basınç salınımlarının özellikle port plaka bölgesinde oluşan ters akış ve sıvı momentumuna bağlı olduğunu göstermiş; geliştirdikleri yeni modelle silindirdeki basınç aşımı ve düşüşlerini deneysel olarak doğrularak, port plaka tasarımının pompa performansı üzerindeki kritik rolünü vurgulamışlardır [4].

Deng ve arkadaşları, EPP'nin yapısal parametrelerine dayalı kinematik davranışını incelemek amacıyla bir model geliştirerek, piston hareketinin düzgünlüğü ve iç basınç değişimlerinin akış salınımı üzerindeki etkilerini Adams yazılımı ile simüle etmiş ve modelin tasarım optimizasyonu açısından yol gösterici olduğunu ortaya koymuştur [5].

Huang ve arkadaşları, değişken deplasmanlı eksenel pistonlu pompada eğik plakanın salınım hareketinin basınç dalgalanması üzerindeki etkisini incelemiş; sabit ve salınımlı plaka durumlarını karşılaştırarak, salınımlı plakanın piston hareketine ön sıkıştırma kazandırdığını, geri akışı azalttığını ve bu sayede hem çıkış basıncı salınımını hem de ani debi değişimlerini düşürdüğünü ortaya koymuşlardır [6].

Bu çalışma, sabit deplasmanlı aksel pistonlu EPP'nin matematiksel olarak modellenmesini ve yapısal parametrelerin performans üzerindeki etkilerini incelemektedir.

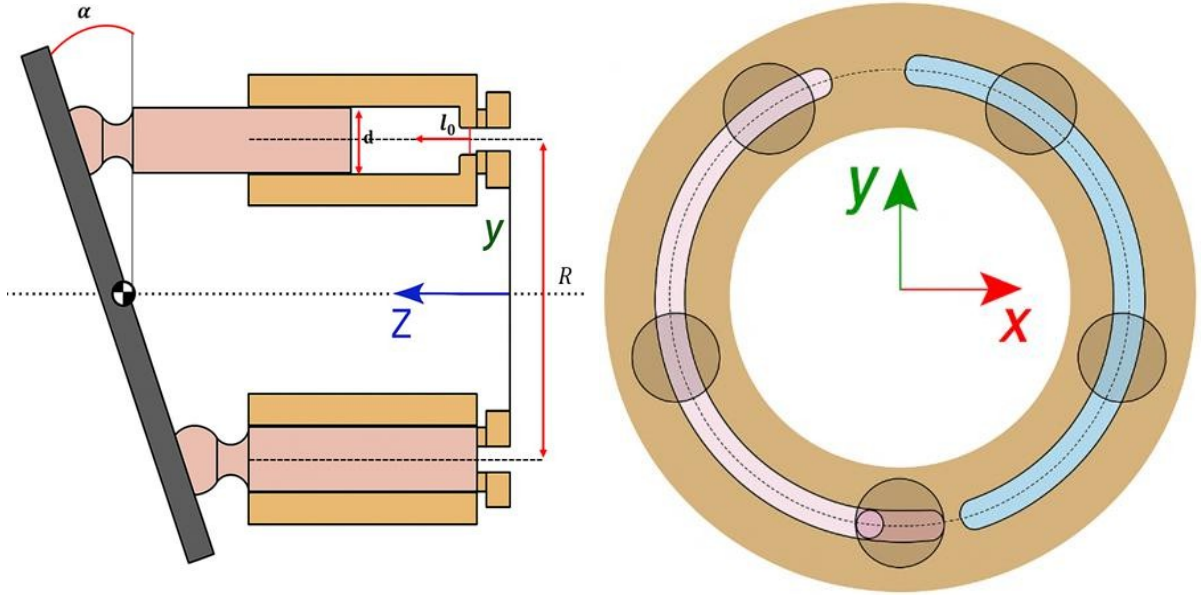
## 2. POMPANIN YAPISI VE ÇALIŞMA PRENSİBİ

Eksenel pistonlu EPP'ler, mekanik dönme hareketini hidrolik enerjiye dönüştüren pozitif deplasmanlı pompa sistemleridir. Bu pompaların temel özelliği, pistonların silindir bloğu içinde aksel doğrultuda ileri-geri hareket etmesidir. Bu hareket, pistonların sabit açılı bir eğik plaka (swash plate) üzerinde kaymasıyla sağlanır.

Pompa yapısında, tahrik miline bağlı olarak dönen silindir bloğu ve bu bloğa dairesel düzende yerleştirilmiş pistonlar bulunur. Pistonların küresel uçları eğik plakaya dayanır. Tahrik milinin dönmesiyle birlikte silindir bloğu da döner ve pistonlar eğik plaka boyunca kayarak ileri-geri hareket eder. Pistonlar ileri hareketinde, bağlı oldukları odacıkları hacmen daraltır ve bu hacim azalması sayesinde vakum oluşarak sıvı emilir. Geri hareket sırasında ise hacim artar ve sıvı yüksek basınca iletilir. Bu döngü, her piston için tekrarlanarak kesintisiz sıvı akışı elde edilir.

Eğik plakanın açısı, piston stroku üzerinde belirleyici rol oynar. Plaka açısı arttıkça pistonların stroku uzar ve pompa çevrim başına daha fazla sıvı basılır. Sabit deplasmanlı sistemlerde plaka açısı sabit olduğundan, her devirde sabit miktarda sıvı pompalanır. Değişken deplasmanlı sistemlerde ise plaka açısı ayarlanabilir; böylece çıkış debisi ihtiyaca göre kontrol edilebilir.

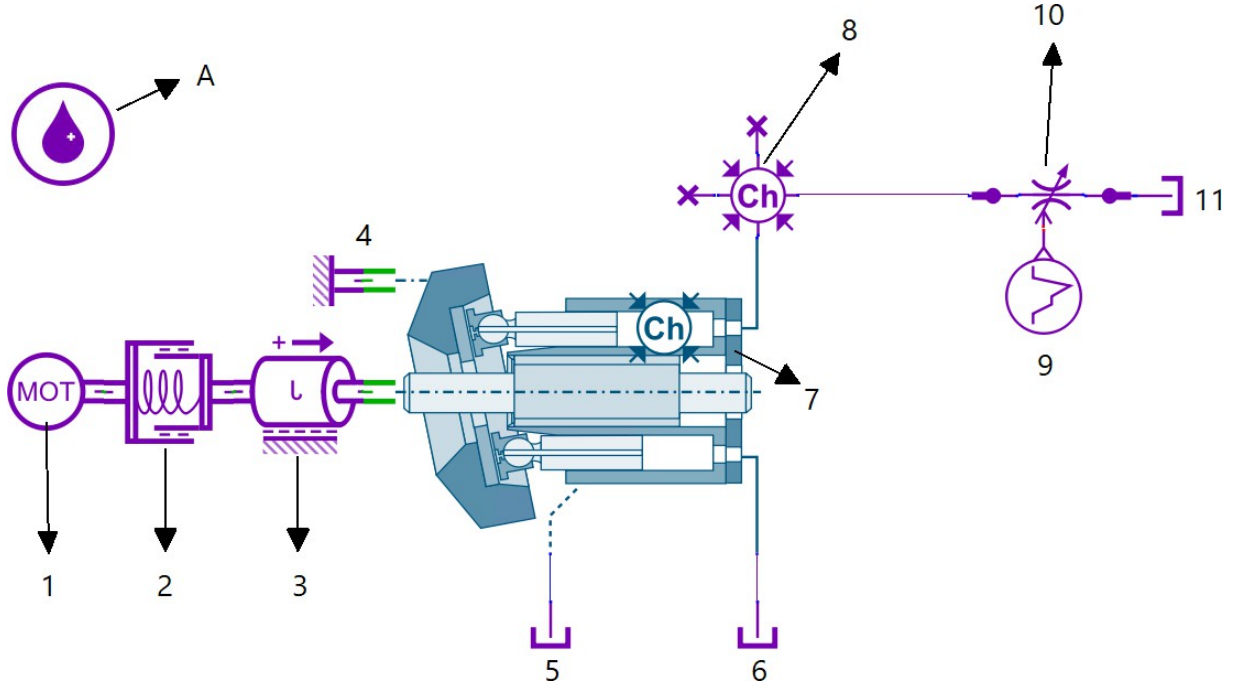
Şekil 1'de, eğik plakalı aksel pistonlu pompanın geometrik yapısında kullanılan temel tasarım parametreleri gösterilmiştir. Bu parametreler arasında eğik plaka açısı ( $\alpha$ ), adım çapı ( $R$ ), piston çapı ( $d$ ) ve piston odasının uzunluğu ( $l_0$ ) gibi önemli boyutlar yer almaktadır.



Şekil 1. EPP'nin Geometrik Yapısı ve Boyutlandırma Parametrelerinin Temsili Gösterimi

### 3. MATEMATİKSEL MODELLEME

Bu çalışmada, sabit deplasmanlı eksenel EPP'nin dinamik davranışı, Siemens AMES'im yazılımı kullanılarak modellenmiştir. Modelleme sürecinde sistem; hem mekanik hem de hidrolik bileşenleriyle birlikte ele alınmış ve bu bileşenler arasındaki etkileşimler dikkate alınarak bir simülasyon ortamı oluşturulmuştur. Modelin şematik gösterimi Şekil 2'de sunulmaktadır.



Şekil 2. Sabit Deplasmanlı Eksenel Eğik Plakalı Piston Pompa Modeli

Sistemin tahrik torkunu, 1 numaralı bileşen olan elektrik motoru oluşturmaktadır. Bu motor, dönel mekanik enerjiyi EPP'nin şaftına ileterek pistonların eksenel hareketini sağlamaktadır. Motor ile EPP mili, esnek bir kavrama (torsional spring damper) ile bağlanmıştır. Kavrama 2 numaralı eleman ile gösterilmektedir. Bu eleman, yay katsayısı (K) ve sönümlenme katsayısı (D) içermektedir ve sistemin elastik davranışlarını temsil etmektedir. EPP'nin geneline ait atalet değeri (J), 3 numaralı bileşen ile modellenmiştir. Sistemimizin eğik plaka açısı ( $\alpha$ ), 4 numaralı bileşenle sabitlenmiştir. Eğik plaka açısı zamanla değişmediği için pompa çıkışı sabit deplasmanlıdır yani pistonun hareket mesafesi sabittir. 5 ve 6 numaralı bağlantılar sırasıyla pompanın emiş hattını ve çıkış hattını temsil etmektedir. EPP'yi 7 numaralı bileşen ile gösterilmektedir. Akışkanın ani değişimlerini sönümlenmek amacıyla, 8 numaralı hidrolik akümülatör geçici rejimlerin modellenmesine yardımcı olmaktadır. Ayrıca, 9 numaralı yük bileşeni (hidrolik aktüatör), çıkış basıncını bir hidrolik direnç üzerinden belirli bir yük altında tutmaktadır. Akış kontrolü 10 numaralı valf ile sağlanmakta, böylece çıkış basıncı ve yönü gerektiğinde regüle edilmektedir. 11 numaralı bileşen akışkanın tahliyesini gerçekleştirmektedir.

Bu yapı ile oluşturulan AMESim model, EPP'lerin dinamik ve hidrolik performanslarının analiz edilmesine olanak tanımaktadır.

EPP'lerin tasarımında süpürülen hacim  $D_p$ , pompanın bir dönüşü sırasında tüm pistonlar tarafından üretilen teorik hacmi temsil eder. Bu hacim, piston geometrisi, eğik plaka açısı ve piston sayısı gibi parametrelere bağlıdır. Aşağıda verilen formül, sabit deplasmanlı bir EPP için bir çevrimde süpürülen teorik hacmin hesaplanmasında kullanılır.

$$D_p = \frac{\pi * d^2}{4} * Z * R * \tan\alpha \quad (\text{mm}^3) \quad (1)$$

- $D_p$  = Süpürülen Hacim ( $\text{mm}^3$ )
- $d$  = Piston Çapı (mm)
- $Z$  = Piston Sayısı
- $R$  = Adım Çapı (mm)
- $\alpha$  = Eğik Plaka Açısı (derece)

Pompanın birim zamanda verdiği sıvı miktarı, pompa çıkış debisi olarak tanımlanır ve bu pompanın performansının temel göstergesidir. Debi, adım hacminin dönme hızıyla çarpılması ile elde edilir. Aşağıdaki formül, litre/dakika (L/min) cinsinden debi hesaplamasını ifade eder:

$$Q = N * \frac{D_p}{1000} \quad (\text{L/dak}) \quad (2)$$

- $Q$  = Pompanın Çıkış Debisi ( $\frac{\text{L}}{\text{dk}}$ )
- $N$  = Milin Dönme Hızı (rpm)
- $D_p$  = Süpürülen Hacim ( $\text{mm}^3$ )

Pompa çıkışında elde edilen hidrolik gücü hesaplamak için kullanılan temel formül aşağıda verilmiştir:

$$P_{hidrolik} = \frac{\Delta P * Q}{600} \quad (\text{kW}) \quad (3)$$

$$\Delta P = P_{çıkış} - P_{giriş} \quad (\text{bar}) \quad (4)$$

- $P_{hidrolik}$  = Hidrolik Güç (kW)
- $\Delta P$  = Basınç Farkı (bar)
- $Q$  = Pompanın Çıkış Debisi ( $\frac{\text{L}}{\text{dk}}$ )

Pompayı tahrik eden elektrik motorunun ürettiği mekanik güç, moment ve devir sayısına bağlı olarak aşağıdaki denklemle ifade edilir:

$$P_{mekanik} = \frac{2 * \pi * T_{motor} * N}{60 * 1000} \quad (\text{kW}) \quad (5)$$

- $P_{mekanik}$  = Mekanik Güç (kW)
- $T_{motor}$  = Motor Torku (Nm)
- $N$  = Motor Devri

Bir EPP için verimin hesabı:

$$\eta = \frac{P_{hidrolik}}{P_{mekanik}} \quad (-) \quad (6)$$

Bir EPP'nin piston dairesel dizilim açısı ( $\theta$ ) hesabı:

$$\theta = \frac{360}{Z} \quad (^{\circ}) \quad (7)$$

Bu çalışmada kullanılan sabit deplasmanlı EPP yapısına ait temel tasarım ve performans parametreleri iki ayrı tabloda sunulmuştur. Tablo.1'de pompanın geometrik yapısını ve kinematik davranışını belirleyen sabit tasarım parametreleri yer almaktadır. Bu parametreler arasında piston çapı, piston sayısı, eğik plaka açısı, adım çapı gibi fiziksel büyüklükler bulunmaktadır.

Tablo.2'de ise, birinci tabloda tanımlanan parametreler kullanılarak hesaplanan karakteristik büyüklükler sunulmaktadır. Bu büyüklükler arasında pompa debisi, hidrolik güç, mekanik güç ve motor torku gibi performansa yönelik hesaplamalar yer almaktadır.

**Tablo 1** Referans EPP İçin Hesaplama Parametreleri

Sembol	Açıklama	Birim	Sayısal Değer
d	Piston çapı	mm	10
Z	Piston sayısı	-	5
$\theta$	Piston dairesel dizilim açısı	$^{\circ}$	72
R	Adım çapı (silindir bloğu merkezinden piston merkezine y ekseninde mesafe)	mm	60
$\alpha$	Eğik plaka açısı	$^{\circ}$	12.5
N	Pompa milinin dönme hızı	rpm	1500

**Tablo 2** Referans EPP İçin Sonuçlar (Tekil bir nokta için hesap yapılmıştır.)

Sembol	Açıklama	Birim	Sayısal Değer
$D_p$	Pompalanan bir piston çevrimi başına deplasman hacmi	mm <sup>3</sup>	7521.9
Q	Pompa debisi (volümetrik çıkış)	L/dk veya mm <sup>3</sup> /dk	11.3
$\Delta P$	Basınç farkı (çıkış - giriş basıncı)	bar	400
$P_{hidrolik}$	Hidrolik güç	kW	7.5
$T_{motor}$	Motor torku	Nm	48.7
$P_{mekanik}$	Mekanik güç (milden aktarılan güç)	kW	7.6
$\eta$	Toplam Verim	-	0.98

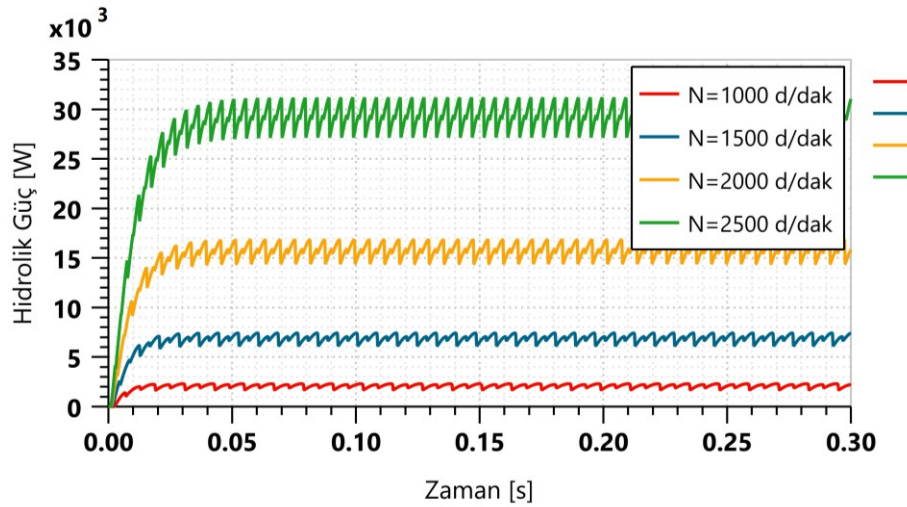
#### 4. PERFORMANS ANALİZİ

EPP'nin hidrolik güç ( $P_{hidrolik}$ ) ve verimliliği; piston sayısı (Z), tahrik milinin dönme hızı (N) ve eğik plaka açısı ( $\alpha$ ) gibi temel tasarım parametrelerine bağlı olarak değişmektedir. Her bir parametrenin sistem davranışına olan etkisi ayrı olarak analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar grafiklerle desteklenerek karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Çalışmanın temel amacı, bu parametrelerin sistem performansına olan etkilerini nicel olarak ortaya koymak ve tasarım sürecinde dikkate alınması gereken kritik faktörleri belirlemektir. Bu bağlamda çalışmada değerlendirilen üç temel parametre aşağıda sıralanmıştır:

- Piston sayısının etkisi
- Dönme hızının etkisi
- Eğik plaka açısının etkisi

##### 4.1 Dönme Hızının Etkisi

Dönme hızı "N", sabit deplasmanlı aksel pistonlu EPP'lerde kritik kontrol parametrelerinden biridir. Rotor hızı, debi ve basınç karakteristiğini belirleyerek hidrolik güç ( $P_{hidrolik}$ ) ve kararlılığı doğrudan etkiler. Yüksek hız değerlerinde sistem tepkisi ve verimi ( $\eta$ ) artsa da, titreşim, ısınma ve aşınma riskini yükseltmektedir. Düşük hızlar ise güç üretimini ve kontrol hassasiyetini azaltır. Bu nedenle, dönme hızının doğru seçimi; performans, enerji verimliliği ve sistem ömrü açısından tasarım süreçlerinde öncelikli olarak değerlendirilmelidir. Şekil 5'te, bir EPP'nin; 1000, 1500, 2000 ve 2500 d/dk tahrik motoru hızlarında ürettiği hidrolik gücün zamana bağlı değişimi sunulmuştur. Grafik, sistemin hem geçici (transient) hem de kararlı (steady-state) rejimdeki davranışını ortaya koymaktadır.

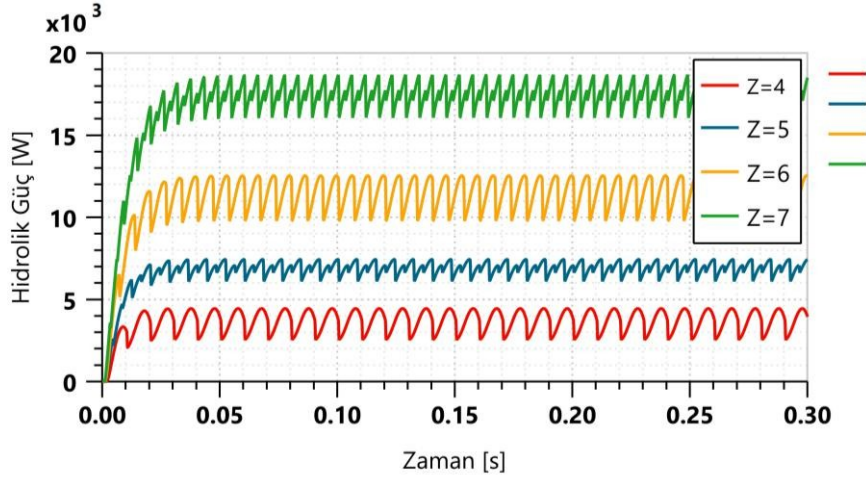


Şekil 5. Farklı tahrik motoru hızlarında (N=1000, N=1500, N=2000 ve N=2500 d/dk) EPP'nin ürettiği hidrolik gücün zamana bağlı değişimi.

Dönme hızı arttıkça, elde edilen hidrolik güçte belirgin bir artış gözlemlenmiştir. N=1000 d/dk'da yaklaşık 2.3 kW olan çıkış gücü, N=2500 d/dk'da yaklaşık 14 katı olan 31.2 kW seviyesine kadar ulaşmaktadır. Denklem 3'te gösterildiği üzere, sabit basınç farkı altında akış oranı (Q) dönme hızıyla doğru orantılı olarak artar; dolayısıyla hidrolik güç de hızla birlikte yükselir. Geçici rejim incelendiğinde, tüm senaryolarda hidrolik güç yaklaşık 0.03 saniyede kararlı hale gelmektedir. Kararlı rejimde ise dönme hızı arttıkça salınımlarda artış meydana gelmiştir.

## 4.2 Piston Sayısının Etkisi

Pistonlu pompaların performansı, temel tasarım parametrelerinden biri olan piston sayısına doğrudan bağlıdır. Piston sayısı, pompanın birim zamanda taşıyabileceği akışkan hacmini ve buna bağlı olarak elde edilen çıkış gücü ile debiyi önemli ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle, farklı piston sayılarının sistem performansı üzerindeki etkisinin analiz edilmesi, EPP tasarımı ve optimizasyonu açısından önemlidir. Bu bölümde, piston sayısının artmasının hidrolik güç ve debi karakteristikleri üzerindeki etkisi karşılaştırılmıştır. Şekil 3'te farklı piston sayılarında ( $Z = [4, 5, 6, 7]$ ) pompanın oluşturduğu hidrolik gücün zamana bağlı değişimi gösterilmiştir.



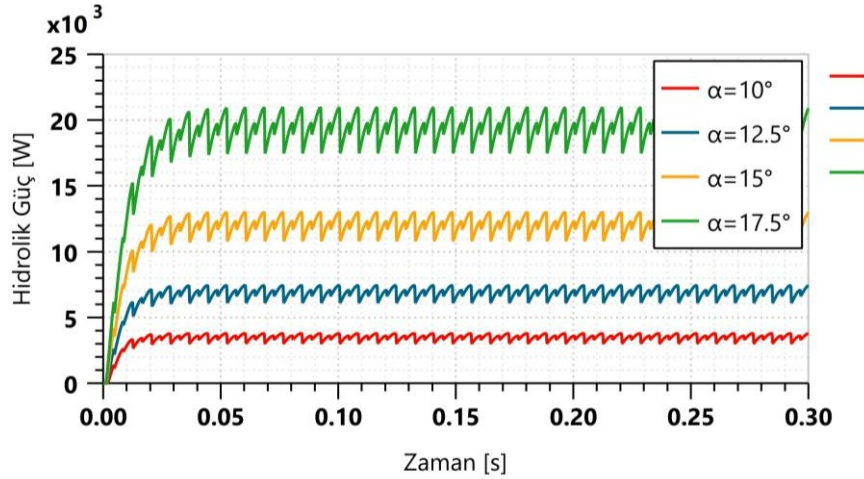
Şekil 3. Farklı piston sayılarında pompanın ürettiği hidrolik gücün zamana bağlı değişimi

Grafik incelendiğinde piston sayısı arttıkça üretilen hidrolik gücün arttığı gözlemlenmektedir. Bu durum, toplam deplasman hacminin artmasıyla açıklanabilir. Şekil.3'de gösterilen 7 pistonlu sistemde en yüksek güç, 5 pistonlu sistemde ise en az salınımlı güç profili elde edilmiştir. Ancak piston sayısının tek veya çift olması salınımları değiştirmektedir. Ruichuan ve arkadaşları bu konuyla ilgili bir optimizasyon çalışması gerçekleştirmişlerdir [3].

Bir EPP sisteminde piston sayısı mevcut performans isterlerine göre seçilmeli sadece hidrolik güç referans alınmamalıdır yaptığı salınımlar da göz önünde bulundurulmalıdır çünkü bu durum sistemin kontrol edilebilirliğini etkilemektedir.

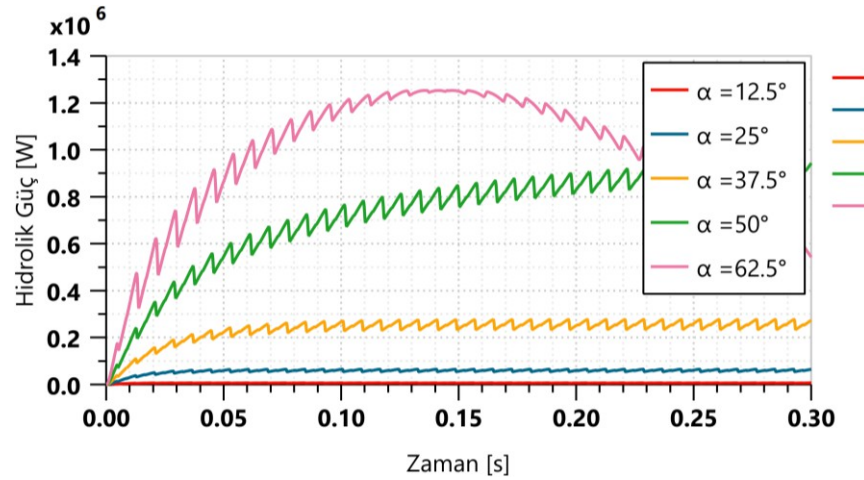
## 4.3 Eğik Plaka Açısının Etkisi

Eğik plaka açısı " $\alpha$ ", pistonların strok uzunluğunu ve dolayısıyla birim zamanda taşınan akış miktarını doğrudan etkiler. Şekil 6'da, sabit motor hızı ve sabit basınç koşullarında çalışan aksenal pistonlu EPP'nin  $\alpha=10^\circ$ ,  $\alpha=12.5^\circ$ ,  $\alpha=15^\circ$  ve  $\alpha=17.5^\circ$  eğik plaka açıları altında ürettiği hidrolik gücün zamana bağlı değişimi gösterilmektedir



**Şekil 6.** Farklı değerlerde sabitlenmiş eğik plaka açıları için ( $10^\circ$ ,  $12.5^\circ$ ,  $15^\circ$  ve  $17.5^\circ$ ) EPP'nin ürettiği hidrolik gücün zamana bağlı değişimi.

Şekil 7'de, eğik plaka açısının artmasıyla birlikte sistemin hidrolik güç çıkışında belirgin bir artış gözlemlenmektedir. Özellikle  $\alpha = 62.5^\circ$  değerine ulaşıldığında, hidrolik güç başlangıçta hızlı bir şekilde yükselmekte ancak bir süre sonra kararsız bir dalgalanma göstererek düşüş eğilimine girmektedir. Bu durum istenmeyen bir durumdur.



**Şekil 7.** Farklı değerlerde sabitlenmiş eğik plaka açıları için ( $12.5^\circ$ ,  $25^\circ$ ,  $37.5^\circ$ ,  $50^\circ$  ve  $62.5^\circ$ ) EPP'nin ürettiği hidrolik gücün zamana bağlı değişimi.

Dolayısıyla, maksimum açı her zaman sistem için en uygun çözüm değildir. Eğik plaka açısı belirlenirken sadece elde edilmek istenen debi değil; sistem ömrü, kavitasyon riski, sızdırmazlık koşulları, titreşim düzeyi gibi parametreler de dikkate alınmalıdır.

## 5. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Finalde, sabit deplasmanlı aksenal eğik plakalı pistonlu bir pompanın matematiksel modeli oluşturulmuş ve AMESim yazılımı kullanılarak dinamik simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Model doğrultusunda yapılan analizlerde, pompa performansını doğrudan etkileyen üç temel parametre (piston sayısı, mil dönme hızı ve eğik plaka açısı) ayrı ayrı incelenmiş ve sistemin hidrolik güç üretimi üzerindeki etkileri nicel olarak değerlendirilmiştir.

Simülasyon sonuçlarına göre:

- Piston sayısındaki artış, pompa tarafından taşınan toplam süpürülen hacmi artırmakta; bu da daha yüksek hidrolik güç ve debi üretimi sağlamaktadır. Ayrıca piston sayısı arttıkça çıkışta oluşan basınç ve debi salınımlarının genliği azalmış, sistemin daha kararlı ve düzgün bir akış profiline sahip olduğu gözlemlenmiştir.
- Milin dönme hızı, sistemin ürettiği hidrolik gücü belirleyen en kritik parametrelerden biri olarak öne çıkmıştır. Dönme hızı artırıldıkça, pompa çıkışındaki güç seviyeleri anlamlı şekilde yükselmiş; düşük ataletli yapı sayesinde geçici rejim süresi oldukça kısa tutulabilmektedir. Ancak yüksek hızlarda akış dalgalanmalarının arttığı ve sistem bileşenleri üzerinde mekanik zorlanmaların yoğunlaştığı görülmüştür.
- Eğik plaka açısı, pompanın deplasman hacmini ve buna bağlı olarak hidrolik gücü doğrudan etkilemiştir. Açının artırılmasıyla birlikte hem ortalama hidrolik güç hem de çıkış debisi önemli ölçüde yükselmiş; ancak beraberinde gelen basınç salınımları, içsel kayıplar ve mekanik zorlamalar dikkatle yönetilmesi gereken unsurlar hâline gelmiştir.

Bu bulgular, pompa tasarımında sadece performans artışına odaklanmanın yeterli olmadığını; sistem kararlılığı, verimlilik, mekanik dayanım ve uzun ömür gibi kriterlerin de birlikte değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymuştur.

## 6. KAYNAKLAR

- [1] Zeiger, G., & Akers, A. (1986). Dynamic analysis of an axial piston pump swashplate control. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science, 200(1), 49-58.
- [2] Schoenau, G. J., Burton, R. T., & Kavanagh, G. P. (1990). Dynamic analysis of a variable displacement pump.
- [3] R. Li, Q. Liu, Y. Cheng, J. Liu, Q. Sun, Y. Zhang, and Y. Chi, "Analysis of the Influence of Structure and Parameters of Axial Piston Pump on Flow Pulsation," Processes, vol. 10, no. 10, p. 2138, Oct. 2022. doi: 10.3390/pr10102138.
- [4] K. A. Edge and J. Darling, "The Pumping Dynamics of Swash Plate Piston Pumps," Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control, vol. 111, no. 2, pp. 307–312, June 1989.
- [5] Deng, H. C., Zhang, Y., & Qian, H. S. (2015). Kinematic analysis of swash plate axial piston pump based on adams simulation. *Applied Mechanics and Materials*, 741, 517-520.
- [6] X. Huang, B. Xu, and J. Zhang, "The Influence of the Swash Plate Oscillation on Pressure Ripple in Variable Displacement Axial Piston Pump," in Proc. of the 12th International Fluid Power Conference, Dresden, Germany, 2020, pp. 307–314.

## ÖZGEÇMİŞ

### Onur Can PİŞKİN

2001 yılında Batman'da doğmuştur. 2024 yılında İskenderun Teknik Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Mühendisliği bölümünden mezun olmuştur. 2024 yılından itibaren Bias Mühendislik firmasında Sistem Tasarım Mühendisi olarak çalışmaktadır. Çalışma alanları arasında sistem dinamiği, aerodinamik, mekanik titreşimler ve hidrolik sistemler yer almaktadır.

### Elif Nur Yaşar

1999 yılında İstanbul'da doğmuştur. 2022 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünden mezun olmuştur. Aynı üniversitede Savunma Teknolojileri alanında yüksek lisans eğitimine devam etmektedir. 2022 yılından itibaren Sistem Tasarım Mühendisi olarak görev yapmaktadır. Çalışma alanları arasında hidrolik sistemler, sonlu elemanlar yöntemi (FEM), titreşim analizi ve titreşim yalıtımı yer almaktadır.

### Gürhan ERTAŞ

1981 yılı İstanbul doğumludur. 2007 yılında İstanbul Üniversitesi Makina Mühendisliği bölümünü bitirmiştir. Çalışma hayatında Nord Drivesystems, Milper Pervane Teknolojileri A.Ş. , BMC Power, Dalgakıran Kompresör firmalarında farklı görevlerde mesleğini icra etmiştir. Son 5 senedir Bias Mühendislikte Mühendislik Müdürü olarak yeni ürün geliştirme süreçlerinden sorumludur. Robotik, CFD, Proje Yönetimi konularında çalışmalar uzmanlığı bulunmaktadır.