TEKNİK İNCELEME & MÜHENDİSLİK REHBERİ

Santrifüj Pompalarda Frekans Kontrollü (VFD) Çalışma ve Enerji Verimliliği Analizi

Sistem Eğrisi Analizi, Benzerlik Kanunları ve Sürtünme Dominant / Statik Yük Dominant Sistemlerde A-B-C-D-E Çalışma Noktalarının Karşılaştırmalı İncelemesi

Mithat Ermeç - Makine Mühendisi | ERMECH Mühendislik

Yayın Tarihi: Eylül 2026

1. Giriş ve Temel Amaçlar

Endüstriyel tesislerde ve bina sistemlerinde tüketilen elektrik enerjisinin önemli bir kısmı santrifüj pompalama sistemleri tarafından harcanmaktadır. Pompaların sabit devirde bypass veya vana kısma yöntemiyle kontrol edilmesi yüksek hidrolik kayıplara ve gereksiz enerji tüketimine yol açar. Santrifüj pompaların Frekans İnverteri (VFD - Variable Frequency Drive) ile çalıştırılmasının temel amaçları şunlardır:

- **Enerji ve Maliyet Tasarrufu:** Motor devrinin sistem ihtiyacına göre ayarlanması sayesinde elektrik tüketiminin ve karbon ayak izinin önemli ölçüde azaltılması.
- **Sistem Konforu ve Hassas Proses Kontrolü:** Değişken debi ve basınç taleplerine anlık ve yumuşak tepkiler vererek sabit basınç veya debi sağlanması.
- **Mekanik Ömrün Uzatılması:** Ani duruş ve kalkış şoklarının önlenmesi, mekanik salmastra ile rulman aşınmalarının azaltılması.

> **Kritik Mühendislik Değerlendirmesi**
>
> "Her pompaya inverter takalım" şeklindeki ezbere yaklaşımlar ekonomik ve teknik kayıplara yol açabilir. VFD yatırımı öncesinde sistemin statik yük ve sürtünme kaybı oranı, çalışma süreleri ve amortisman (ROI) süresi titizlikle analiz edilmelidir. Bu sürümde aynı pompa, iki farklı sistem karakteristiği altında (sürtünme dominant ve statik yük dominant) ayrı ayrı incelenerek bu değerlendirmenin sayısal karşılığı ortaya konulmaktadır.

2. Benzerlik Kanunları (Affinity Laws) ve Enerji Tasarrufunun Matematiği

Frekans inverteri ile devir değiştirildiğinde sağlanan radikal güç düşüşü hidrolik benzerlik kanunlarına dayanmaktadır:

Debi Oranı: $Q_1 / Q_2 = N_1 / N_2$ | **Basma Yüksekliği Oranı:** $H_1 / H_2 = (N_1 / N_2)^2$ | **Mil Gücü Oranı:** $P_1 / P_2 = (N_1 / N_2)^3$

Örnek Matematiksel Analiz: Pompa devri veya frekansı %20 oranında kısılarak 50 Hz yerine 40 Hz ile çalıştırıldığında ($f_2/f_1 = 40/50 = 0.80$):

- Debi ihtiyacı: $Q_2 = 0.80 \times Q_1$ (%20 azalır)
- Basma Yüksekliği: $H_2 = (0.80)^2 \times H_1 = 0.64 \times H_1$ (%36 azalır)

- Mil Gücü İhtiyacı: $P_2 = (0.80)^3 \times P_1 = 0.512 \times P_1$ (**%48.8 güç tasarrufu**)

> **Sık Yapılan Yorumlama Hatası**
>
> Benzerlik kanunları **pompanın kendi eğrisi** için geçerlidir, sistemin tamamı için değil. Kübik güç düşüşü ancak çalışma noktası benzerlik parabolü üzerinde ilerlediğinde, yani sistem eğrisi orijinden geçen bir parabol olduğunda birebir gerçekleşir. Statik yükü yüksek sistemlerde çalışma noktası bu parabolün dışına çıkar ve gerçek tasarruf, kübik kanunun vaat ettiğinin çok altında kalır. Bölüm 5 bu farkı sayısal olarak göstermektedir.

3. Sistem Eğrisi Mantığı: Sürtünme Kayıpları ve Statik Yük

Bir tesisatın direnç karakteristiği, sabit bir yükseklik bileşeni ile debinin karesiyle artan bir sürtünme bileşeninin toplamıdır:

$$H_{sistem}(Q) = H_{st} + k \cdot Q^2$$

Buradaki H_{st} statik yükü (kot farkı ve karşı basınç), $k \cdot Q^2$ ise boru, vana ve ekipman sürtünme kayıplarını temsil eder. Bu iki bileşenin toplam basma yüksekliği içindeki payı, VFD verimliliğini doğrudan belirler:

- **Sürtünme Dominant Sistemler (VFD için ideal):** HVAC, kapalı devre sirkülasyon hatları ve uzun boru hatlarında sistem direnci $H_{sis} = k \times Q^2$ şeklinde değişir. Statik yük sıfıra yakın olduğu için devir düştükçe pompa eğrisi ile sistem eğrisi benzerlik parabolü üzerinde çakışır, verim korunur ve maksimum enerji kazancı elde edilir.
- **Statik Yük Dominant Sistemler (VFD kullanımı sınırlı ve riskli):** Yüksek depolara basan, basınçlı kap veya boyler besleyen hatlarda basma yüksekliğinin büyük kısmı sabit statik yükten oluşur. Devir düşürüldüğünde pompanın kapalı vana basma yüksekliği statik yükün altına inerse "sıfır debi" durumu oluşur; pompa döner, akım çeker fakat akış sağlanamaz.

Aşağıdaki iki bölümde, aynı pompa (50 Hz'de Q = 50 m³/h, H = 90 mss, η = %75) her iki sistem karakteristiği altında incelenmiştir. Pompa eğrisi her iki analizde de $H = 108 - 0.0072 \cdot Q^2$ bağıntısıyla, verim eğrisi ise en yüksek verim noktası (BEP) 50 m³/h olacak şekilde modellenmiştir. Böylece ortaya çıkan farkın tek kaynağı sistem eğrisidir.

4. Durum 1: Sürtünme Dominant Sistem ($H_{st} = 0$)

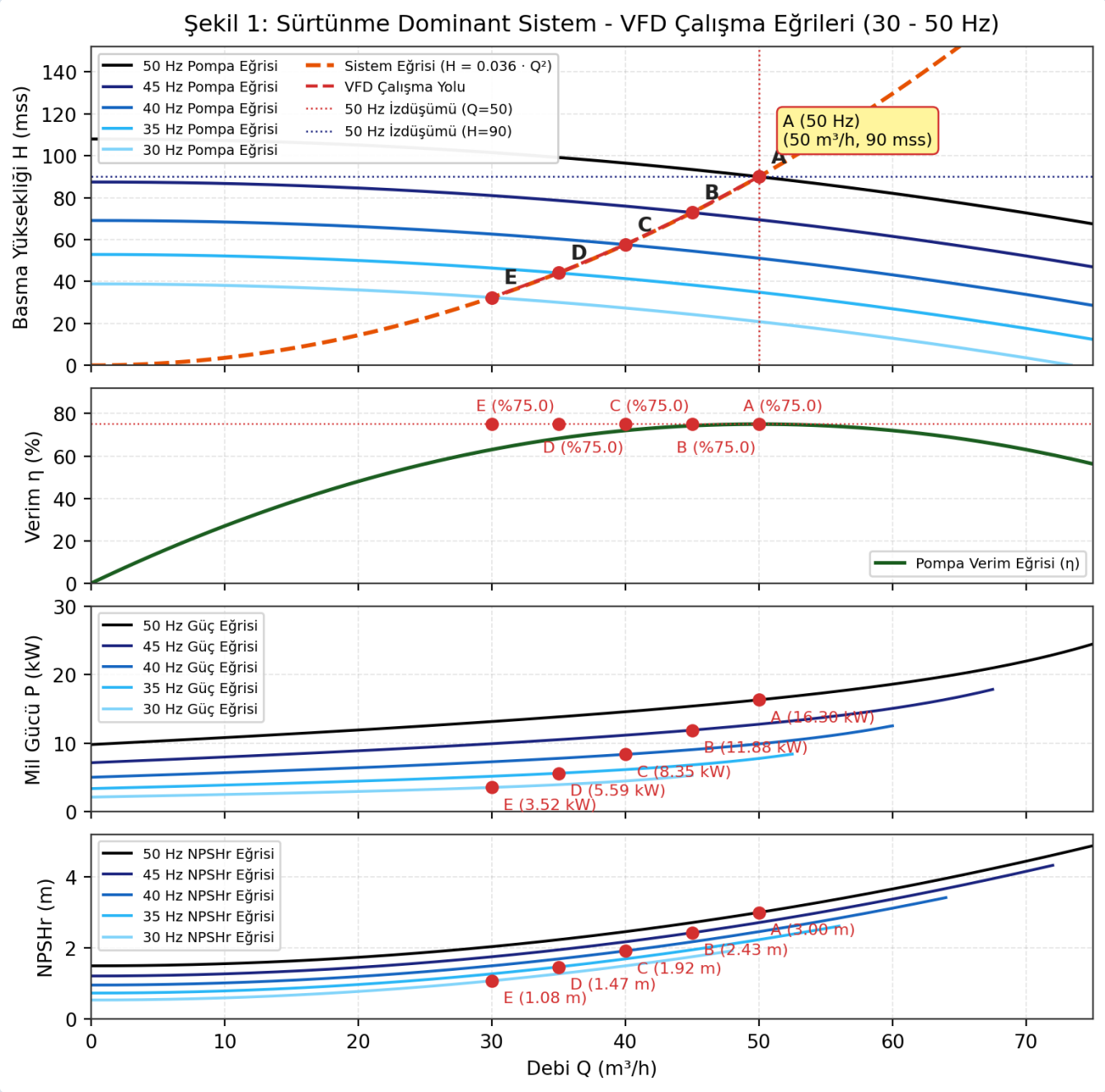
Sistem eğrisinin $H = 0.036 \cdot Q^2$ olduğu, yani 50 m³/h debide 90 mss'nin tamamının sürtünme kayıplarından oluştuğu durumda pompanın 30 Hz - 50 Hz aralığındaki çalışma noktaları aşağıdaki gibidir:

Çalışma Noktası	Frekans (Hz)	Debi Q (m^3/h)	Basma Yüksekliği H (mss)	Mil Gücü P (kW)	$NPSH_r$ (m)	Pompa Verimi η (%)
A Noktası (Nominal)	**50 Hz**	**50.0**	**90.0**	**16.30 kW**	**3.00 m**	**%75.0**
B Noktası	45 Hz	45.0	72.9	11.88 kW	2.43 m	%75.0
C Noktası	40 Hz	40.0	57.6	8.35 kW	1.92 m	%75.0
D Noktası	35 Hz	35.0	44.1	5.59 kW	1.47 m	%75.0
E Noktası	30 Hz	30.0	32.4	3.52 kW	1.08 m	%75.0

Tablo 1: Sürtünme dominant sistemde ($H = 0.036 \cdot Q^2$) çalışma noktaları.

Performans Grafiği ve İzdüşüm Özeti (A Noktası Örneği)

- **Basma Yüksekliği (H):** A noktasında 50 m^3/h dikey izdüşümü ile 50 Hz eğrisinin kesişim noktası tam 90 mss basma yüksekliğine denk gelmektedir.
- **Pompa Verimi (η):** Sistem eğrisi benzerlik parabolüyle çakıştığı için A, B, C, D ve E noktalarının tamamı maksimum verim bölgesinde (η ≈ %75) kalmaktadır.
- **Mil Gücü (P):** Nominal 50 Hz'de 16.30 kW olan mil gücü ihtiyacı, 30 Hz'de (E noktası) 3.52 kW seviyesine kadar düşmekte ve **%78.4 net güç tasarrufu** sağlanmaktadır.
- **$NPSH_r$:** Düşük devirlerde emiş tarafı basınç ihtiyacı 3.00 m'den 1.08 m'ye inmekte, böylece kavitasyon riski önemli ölçüde azalmaktadır.



Şekil 1: Sürtünme dominant sistemde (30 - 50 Hz) pompa eğrileri, A-B-C-D-E çalışma noktaları, verim, mil gücü ve $NPSH_r$ grafikleri. Çalışma yolu benzerlik parabolü ile çakışmakta, verim tüm bantta korunmaktadır.

5. Durum 2: Statik Yükün Baskın Olduğu Sistem (H_{st} = 80 mss)

Aynı pompa bu kez, tasarım debisinde 90 mss'lik toplam basma yüksekliğinin 80 mss'sinin sabit statik yükten, yalnızca 10 mss'sinin sürtünme kayıplarından oluştuğu bir tesisatta çalıştırılmaktadır. Yüksek kotlu depoya basan terfi hatları, basınçlı kap ve boyler besleme hatları bu karakteristiğin tipik örnekleridir.

5.1 Sistem Eğrisinin Kurulması

Sürtünme kaybı katsayısı tasarım noktasından türetilir. 50 m³/h debide dinamik kayıp 10 mss olduğuna göre:

$$k = \Delta H_{din} / Q_{tasarım}^{2} = 10 / 50^{2} = 0.004 \quad \Rightarrow \quad H_{sis}(Q) = 80 + 0.004 \cdot Q^{2}$$

Bu eğri Q = 0 için 80 mss, Q = 25 m³/h için 82.5 mss, Q = 50 m³/h için 90.0 mss değerini verir. Toplam basma yüksekliğinin **%88.9**'u statik yüktür ve bu oran, sistemi ders kitabı tanımıyla statik dominant sınıfına sokar.

5.2 Kritik Frekans: Akışın Kesildiği Sınır

Pompa, ancak kapalı vana basma yüksekliği statik yükü aştığında akış üretebilir. Benzerlik kanunu kapalı vana noktasına uygulandığında minimum devir oranı doğrudan hesaplanır:

$$H_0 \cdot s^{2} > H_{st} \Rightarrow s_{min} = \sqrt{(80 / 108)} = 0.861 \Rightarrow f_{min} = 0.861 \times 50 = 43.0\ Hz$$

Yani bu tesisatta 43 Hz'in altındaki her frekans, debi üretmeyen bir çalışma anlamına gelir. Kullanılabilir frekans bandı 50 Hz'den 43 Hz'e kadar yalnızca **7 Hz** genişliğindedir; devir aralığı nominalin %86'sı ile %100'ü arasına sıkışmıştır. Sürtünme dominant sistemde ise aynı pompa 30 Hz ve altına kadar sorunsuz debi üretebilmektedir.

5.3 Çalışma Noktaları (A-B-C-D-E)

Kullanılabilir bandın tamamını kapsayacak şekilde 50, 48, 46, 44 ve 43 Hz frekanslarında hesaplanan çalışma noktaları aşağıda verilmiştir. Verim değerleri, çalışma noktasının en yüksek verim debisinden uzaklaşması nedeniyle pompanın kendi verim eğrisi üzerinden okunmuştur:

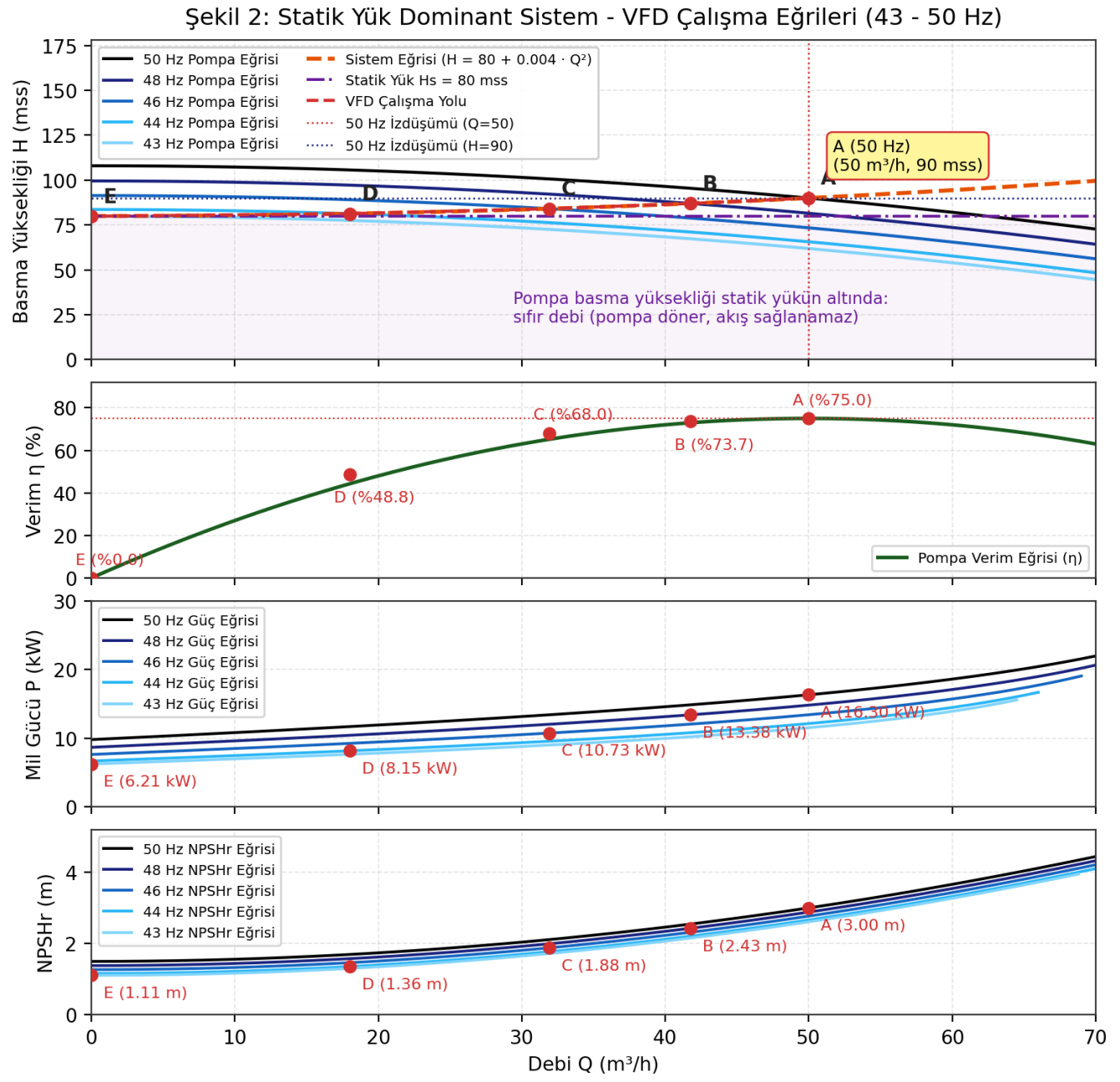
Çalışma Noktası	Frekans (Hz)	Debi Q (m³/h)	Basma Yüksekliği H (mss)	Mil Gücü P (kW)	$NPSH_r$ (m)	Pompa Verimi η (%)
A Noktası (Nominal)	**50 Hz**	**50.0**	**90.0**	**16.30 kW**	**3.00 m**	**%75.0**
B Noktası	48 Hz	41.8	87.0	13.38 kW	2.43 m	%73.7
C Noktası	46 Hz	31.9	84.1	10.73 kW	1.88 m	%68.0
D Noktası	44 Hz	18.0	81.3	8.15 kW	1.36 m	%48.8
E Noktası (sıfır debi)	**43 Hz**	**0.0**	**79.9 (kapalı vana)**	**6.21 kW**	**1.11 m**	**%0.0**

Tablo 2: Statik yük dominant sistemde (H = 80 + 0.004 · Q²) çalışma noktaları. E noktasında pompa 79.9 mss üretmekte, 80 mss'lik statik yükü yenemediği için akış oluşmamaktadır.

Grafik İzdüşüm Özeti ve Kritik Bulgular

- **Debi çöküşü:** Frekans yalnızca %12 azaltıldığında (50 Hz'den 44 Hz'e) debi 50 m³/h'ten 18.0 m³/h'e, yani **%64 oranında** düşmektedir. Benzerlik kanununun yüzeysel yorumu bu noktada 44 m³/h beklerdi.
- **Verim kaybı:** Çalışma noktası en yüksek verim debisinin soluna kaydığı için verim %75'ten **%48.8**'e gerilemektedir. Sürtünme dominant sistemde bu değer tüm bantta %75 olarak sabit kalıyordu.
- **Beklenenin altında güç kazancı:** 44 Hz'de mil gücü 8.15 kW'a düşmekte, tasarruf %50 olmaktadır. Ancak bu tasarruf debinin %64 azalması karşılığında elde edilmiştir; kübik kanunun aynı frekansta vaat ettiği 11.11 kW / 44 m³/h kombinasyonu ile hiçbir ilgisi yoktur.

- **Boşa dönen pompa:** 43 Hz'de motor 6.21 kW çekmeye devam etmekte, buna karşılık sıfır debi üretmektedir. Bu güç tamamen ısıya dönüşür ve pompa gövdesinde sıcaklık artışı yaratır.
- **$NPSH_r$:** Emiş tarafı ihtiyacı 3.00 m'den 1.11 m'ye inmektedir. Bu sistemde kavitasyon kısıtlayıcı faktör değildir; sınırı belirleyen unsur statik yüktür.



Şekil 2: Statik yük dominant sistemde (43 - 50 Hz) pompa eğrileri, A-B-C-D-E çalışma noktaları, verim, mil gücü ve $NPSH_r$ grafikleri. Taralı bölge, pompa basma yüksekliğinin statik yükün altında kaldığı ve akışın kesildiği alanı göstermektedir.

5.4 Özgül Enerji Analizi: Tasarruf Gerçekten Var mı?

Enerji performansının en dürüst göstergesi, basılan birim hacim başına harcanan enerjidir. İki senaryonun özgül enerji değerleri karşılaştırıldığında tablo netleşir:

Çalışma Noktası	Sürtünme Dominant Sistem			Statik Yük Dominant Sistem		
	Frekans	Debi (m³/h)	Özgül Enerji (kWh/m³)	Frekans	Debi (m³/h)	Özgül Enerji (kWh/m³)
A	**50 Hz**	**50.0**	**0.326**	**50 Hz**	**50.0**	**0.326**
B	45 Hz	45.0	0.264	48 Hz	41.8	0.320
C	40 Hz	40.0	0.209	46 Hz	31.9	0.336
D	35 Hz	35.0	0.160	44 Hz	18.0	0.452
E	30 Hz	30.0	0.117	43 Hz	0.0	tanımsız

Tablo 3: Basılan birim hacim başına enerji tüketimi. Sürtünme dominant sistemde devir düştükçe özgül enerji sürekli iyileşirken, statik dominant sistemde yalnızca dar bir bantta yaklaşık %2 iyileşme görülmekte, ardından hızla kötüleşmektedir.

Sürtünme dominant sistemde devir düştükçe her metreküp su daha ucuza basılır ve E noktasında özgül enerji nominale göre %64 azalır. Statik dominant sistemde ise en iyi değer 48 Hz'de 0.320 kWh/m³ ile sınırlı kalmakta, 44 Hz'de nominalin **%39 üzerine** çıkmaktadır. Bu sistemde frekans düşürmek, birim su başına daha fazla enerji harcamak anlamına gelir; toplam tüketimdeki azalma tasarruftan değil, doğrudan basılan su miktarının azalmasından kaynaklanır.

5.5 Vana Kısma ile Karşılaştırma

VFD yatırımının gerçek gerekçesi, aynı debinin sabit devirde vana kısarak elde edilmesine göre sağladığı kazançtır. Aynı debi değerleri 50 Hz'de vana kısılarak üretildiğinde ortaya çıkan tablo aşağıdadır:

Hedef Debi (m³/h)	VFD ile Frekans	VFD Mil Gücü (kW)	50 Hz + Vana Kısma Mil Gücü (kW)	Vanada Yok Edilen Basınç (mss)	VFD Kazancı (%)
41.8	48 Hz	13.38	14.89	8.5	%9.8
31.9	46 Hz	10.73	13.43	16.6	%19.9
18.0	44 Hz	8.15	11.71	24.4	%30.2

Tablo 4: Statik yük dominant sistemde VFD ile vana kısma yönteminin karşılaştırması.

Kazanç sıfır değildir ve debi düştükçe artar, ancak sürtünme dominant sistemlerde aynı karşılaştırma %50 ile %78 aralığında sonuç verirken burada %10 ile %30 bandında kalmaktadır. Yatırım kararı bu gerçek fark üzerinden verilmelidir.

6. Kontrol Kararlılığı ve Düşük Debi Riskleri

Statik dominant sistemlerde sorun yalnızca enerji tarafında değildir. Çalışma noktasının frekansa duyarlılığı, iki senaryoda taban tabana zıttır:

- **Kontrol kazancının aşırı yükselmesi:** Sürtünme dominant sistemde 1 Hz'lik değişim yaklaşık 1 m³/h debi değişimi yaratır. Statik dominant sistemde 43 Hz ile 44 Hz arasındaki aynı 1 Hz'lik aralık, debiyi 0'dan 18 m³/h'e çıkarır. Duyarlılık yaklaşık on sekiz kat artmıştır. PID ayarları buna göre yumuşatılmazsa sistem salınıma (hunting) girer, pompa sürekli devreye girip çıkar.
- **Minimum sürekli debi ihlali:** Üreticiler genellikle en yüksek verim debisinin %10 ile %25'i altında sürekli çalışmayı yasaklar. D noktasındaki 18 m³/h değeri BEP'in %36'sıdır ve sınırdadır; 44 Hz'in altında bu sınır hızla ihlal edilir.

- **Sıvı sıcaklığının artması:** Sıfır veya çok düşük debide mil gücünün tamamı çark içindeki sıvıyı ısıtır. E noktasındaki 6.21 kW, küçük hacimli bir gövde içinde sıcaklığı dakikalar mertebesinde tehlikeli seviyelere taşıyabilir. Bu nedenle bu tip sistemlerde minimum debi hattı (min-flow bypass) veya termik koruma zorunludur.
- **Radyal yük ve resirkülasyon:** BEP'in solunda çalışmak çark üzerindeki radyal kuvvetleri ve emme resirkülasyonunu artırır. Salmastra ile rulman ömrü üzerindeki etki, düşük devrin sağladığı kazancı büyük ölçüde götürür. Sürtünme dominant sistemlerde geçerli olan "mekanik ömür uzar" argümanı burada doğrudan uygulanamaz.
- **Motor soğutması:** Kendi milinden tahrikli fanla soğutulan motorlarda düşük devir soğutmayı zayıflatır. Uzun süreli düşük frekans çalışması planlanıyorsa harici fanlı motor değerlendirilmelidir.

7. İki Senaryonun Karşılaştırmalı Özeti

Değerlendirme Kriteri	Sürtünme Dominant Sistem	Statik Yük Dominant Sistem
Statik yükün payı (tasarım noktası)	%0	%88.9
Sistem eğrisi	$H = 0.036 \cdot Q^2$	$H = 80 + 0.004 \cdot Q^2$
Kullanılabilir frekans bandı	30 Hz ve altı ... 50 Hz	43.0 Hz ... 50 Hz
Verim davranışı	%75 sabit	%75 → %48.8
En düşük noktada debi	30.0 m^3/h (%60)	0 m^3/h
En düşük noktada güç tasarrufu	%78.4	%50 (44 Hz, %36 debi ile)
Özgül enerji eğilimi	0.326 → 0.117 kWh/m^3	0.326 → 0.452 kWh/m^3
Vana kısmaya göre kazanç	%50 - %78	%10 - %30
Kontrol duyarlılığı (debi/Hz)	yaklaşık 1 m^3/h	18 m^3/h'e kadar
Tipik amortisman süresi	6 ay - 1.5 yıl	3 - 6 yıl veya karşılanamaz
Mühendislik önerisi	VFD birinci tercih	Kademeli kontrol veya alternatif çözüm

Tablo 5: Aynı pompanın iki farklı sistem karakteristiği altındaki performans karşılaştırması.

8. Statik Dominant Sistemler için Uygulama Önerileri

Statik yükün baskın olması, frekans kontrolünün tamamen dışlanması anlamına gelmez. Ancak kontrol stratejisi sistemin fiziğine göre kurgulanmalıdır:

- **Minimum devir sınırının sürücüye tanımlanması:** Hesaplanan 43.0 Hz üzerine emniyet payı eklenerek alt frekans limiti 45 Hz civarına ayarlanmalı, sürücünün bu değerin altına inmesi engellenmelidir. Böylece hem sıfır debi hem de minimum debi ihlali önlenir.
- **Kademeli (kaskad) pompa kontrolü:** Debi ihtiyacı değişkense tek pompayı yavaşlatmak yerine, paralel bağlı birden fazla pompanın devreye girip çıkması çok daha verimlidir. Her pompa kendi verim bölgesinde çalışır, statik yük engeli aşılmış olur.

- **Depo hacmiyle çalışma (dur-kalk stratejisi):** Yüksek kotlu depoya basan hatlarda, pompayı tam devirde en yüksek verim noktasında çalıştırıp depo doluluğuna göre durdurmak, kısmi devirde sürekli çalışmaktan neredeyse her zaman daha ekonomiktir.
- **Sabit basınç yerine ihtiyaca göre değişken ayar noktası:** Basınç ayar noktası tesisatın en uzak tüketicisine göre ve debiye bağlı azalan bir eğri olarak tanımlanırsa, dinamik kayıp payı yapay olarak büyütülmüş olur ve VFD'nin manevra alanı genişler.
- **Doğru pompa seçimi:** Sistemin çok üzerinde basma yüksekliğine sahip bir pompanın frekansla kısılması yerine, çark tıraşlanması veya doğru basamak sayısına sahip pompa seçimi kalıcı ve maliyetsiz bir çözümdür.
- **Yumuşak yol verici alternatifi:** Amaç yalnızca kalkış darbelerini ve koç darbesini azaltmaksa, statik dominant sistemlerde VFD yerine soft starter çok daha düşük maliyetle aynı mekanik faydayı sağlar.

9. Yaşam Döngüsü Maliyeti ve Geri Dönüş Analizi

Pompalarda 10 ile 15 yıllık Yaşam Döngüsü Maliyeti (LCC) incelendiğinde, toplam maliyetin yaklaşık %85 ile %90'ını tüketilen elektrik enerjisi, yalnızca %5 ile %10'unu ilk satın alma ve bakım maliyeti oluşturur. Bu dağılım, enerji kazancı yüksek olan sistemlerde VFD yatırımını hızla karşılar hale getirir.

- **Yumuşak kalkış ve duruş:** Şebekeden çekilen yol alma akımlarını sınırlar, tesisattaki koç darbesini (water hammer) önler, vana, flanş ve boru bağlantılarını korur.
- **Rulman ve salmastra ömrü:** Sürekli 2900 veya 1450 devirde çalışmak yerine ihtiyaca uygun düşük devirlerde çalışma, rulman yüklerini ve salmastra yüzey aşınmasını düşürür. Bu kazanç, çalışma noktasının verim bölgesi içinde kalması koşuluyla geçerlidir.
- **Sürtünme dominant sistemlerde amortisman:** Sürücü yatırım maliyeti, pano havalandırması ve VFD kayıpları (yaklaşık %2 ile %3) dahil edildiğinde, değişken debili sistemlerde geri dönüş süresi 6 ay ile 1.5 yıl arasında gerçekleşir.
- **Statik dominant sistemlerde amortisman:** Kazanç %10 ile %30 bandında kaldığı, kullanılabilir bant daraldığı ve sürücünün kendi kaybı bu kazançtan düşüldüğü için geri dönüş süresi tipik olarak 3 yılın üzerine çıkar. Sabit debili ve sürekli çalışan hatlarda yatırım hiçbir zaman karşılanmayabilir.

Karar Öncesi Kontrol Listesi

- Tasarım noktasındaki statik yük ve dinamik kayıp payları ölçüm veya hesapla ayrıştırıldı mı?
- Minimum devir sınırı $s_{min} = \sqrt{(H_{st} / H_0)}$ bağıntısıyla hesaplandı mı?
- Kullanılabilir frekans bandı, tesisin gerçek debi talebini karşılıyor mu?
- En düşük çalışma debisi, üreticinin izin verdiği minimum sürekli debinin üzerinde mi?
- Yıllık çalışma saatleri ve kısmi yük dağılımı (yük profili) biliniyor mu?
- Enerji hesabı kurulu güç üzerinden değil, özgül enerji (kWh/m³) üzerinden yapıldı mı?
- Kaskad kontrol, dur-kalk stratejisi ve çark tıraşlama gibi alternatifler karşılaştırıldı mı?

10. Mühendislik Değerlendirmesi

Bu iki senaryonun tek farkı sistem eğrisidir. Pompa, motor, verim eğrisi ve frekans inverteri birebir aynıdır. Buna rağmen sürtünme dominant sistemde 30 Hz'de %78.4 güç tasarrufu ve metreküp başına %64 daha ucuz su elde edilirken, statik dominant sistemde aynı pompa 43 Hz'de hiç su basmadan 6.21 kW harcamaktadır.

Frekans inverteri bir enerji tasarrufu cihazı değil, bir devir ayar cihazıdır. Tasarrufu yaratan sürücü değil, sistemin devirle birlikte düşen direncidir. Bu nedenle her VFD kararı, katalog üzerinden değil, tesisatın statik yük ve sürtünme kaybı ayrışımını gösteren gerçek sistem eğrisi üzerinden verilmelidir. Statik yükü baskın hatlarda doğru cevap çoğu zaman inverter değil; doğru pompa seçimi, kademeli kontrol veya depo hacminden yararlanan bir dur-kalk stratejisidir.