

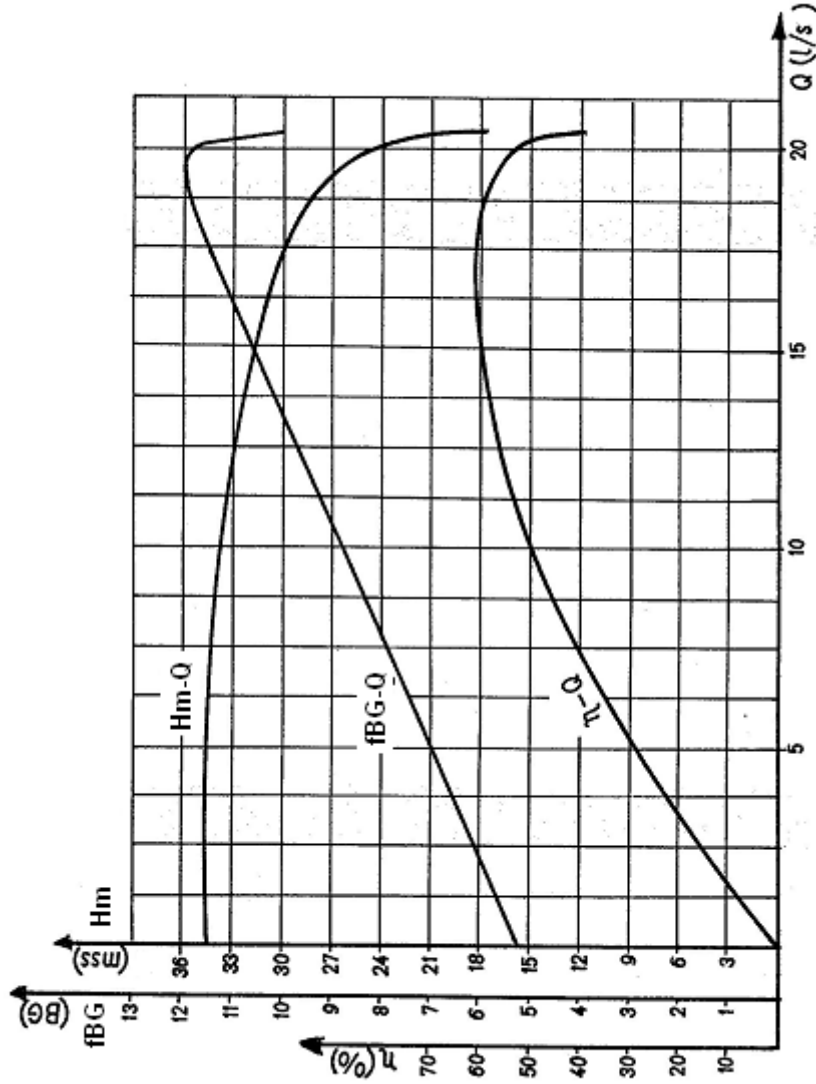
## 5. SANTRİFÜJ POMPALARDA TEORİK ESASLAR

### 5.6. Santrifüj Pompalarda Karakteristik Eğriler

Santrifüj pompalarda karakteristiklerin değişimi desimal eksenli bir grafikte belirtilir. Grafikte apsis eksenine verdi değerleri, ordinat ekseninde sol tarafta üç ayrı skala halinde manometrik yükseklik, fren gücü ve verim değerleri yerleştirilir. Santrifüj pompalarda karakteristik eğriler genellikle sabit bir işletme hızında yapılan denemelerden elde edilen değerler yardımıyla çizilir. Şekil 5.15'de santrifüj pompanın sabit işletme hızında çizilmiş karakteristik eğrileri görülmektedir. Şekilde görülen eğriler aşağıdaki şekilde tanımlanabilir:

1. ( $H_m$ -Q) eğrisi, pompanın manometrik yüksekliğine bağlı olarak verdinin değişimini,
2. (N-Q) eğrisi, verdiye bağlı olarak pompanın yuttuğu gücü (fren gücü) nün değişimini,
3. ( $\eta$ -Q) eğrisi, verdiye göre pompa veriminin değişimini gösterir.

Bu eğrilerin biçimi birbirinden farklıdır. Verdinin sıfır olduğu durumda, pompaya verilen enerji, basınç enerjisine dönüşmekte ve en yüksek basınç elde edilmektedir. Verdinin sıfır olduğu bu noktada, pompa iş yapmadığı için yararlı iş değeri de sıfırdır. Bu nedenle verdi ile verim arasındaki ilişkiyi gösteren ( $\eta$ -Q) eğrisi sıfırda başlar. Verdi ile güç arasındaki ilişkiyi belirten (N-Q) eğrisinin başlangıcı ise belirli bir değere sahiptir. Çünkü pompa iş yapmasa da çarkın dönmesiyle disk sürtünmesi ile yataklarda sürtünmeyi yenecek belirli güç yutulur.



Şekil 5.15. Santrifüj pompada karakteristik eğriler (Karassik ve Carter 1960, Tezer 1978)

( $H_m-Q$ ) eğrisi, verim ile manometrik yükseklik arasındaki değişimi gösterir. ( $H_m-Q$ ) eğrileri genel olarak dört tipte olmaktadır (Şekil 5.16).

a tipi, artan karakteristik olarak adlandırılır. Bu tipte verimin artması ile yükseklik azalmaktadır. Verimin sıfır olduğu noktada yükseklik maksimum değerdedir.

b tipi, kararsız (azalan) karakteristik olarak adlandırılır. Bu tip eğride aynı yükseklik değerleri, birden fazla verim değerleri için elde edilebilmektedir. (x ve y) noktalarında yükseklik aynı olmakla beraber verim değerleri farklıdır.

c tipi, dik karakteristik eğridir. Bu eğri artan karakteristik eğrinin bir tipidir. Verdinin sıfır olduğu noktadaki yükseklik, pompanın proje noktasındaki yükseklikten çok fazladır. Manometrik yükseklikteki değişimin verdi üzerindeki etkisi çok azdır.

d tipi, düz (yatık) karakteristik eğri olarak bilinir. Bu tip eğride verdinin artması ile yükseklik az miktarda değişmektedir. Diğer bir deyişle yükseklikteki küçük bir değişme verdi üzerinde büyük değişmeler meydana getirir.

(N-Q) eğrisi, pompanın verdisi ile fren gücü arasındaki ilişkiyi gösterir ve bu eğriler iki grupta incelenebilir (Şekil 5.16.e ve d).

e tipi, aşırı yüklü karakteristik eğri olarak adlandırılır. Bu tip eğride fren gücü, verdinin artmasıyla devamlı olarak artmaktadır ve bir maksimum nokta yoktur.

f tipi, aşırı yüksüz karakteristik eğri olarak bilinir. Bu tipte verdinin artmasıyla fren gücü artmakta ve proje noktası dolaylarında bir maksimumdan geçerek azalmaktadır.

Verim ile verdi arasındaki değişimi ( $\eta$ -Q) eğrisi göstermektedir. Verdinin sıfır olduğu noktada hidrolik güç sıfır olduğundan, verim eğrisinin başlangıç noktası sıfırdan geçer. Verdinin artması ile verim artar ve bir maksimumdan geçtikten sonra tekrar azalır.

Daha önce özgül hız değerlerine göre dört tipte incelenen santrifüj pompaların karakteristikleri aşağıdaki gibi özetlenebilir.

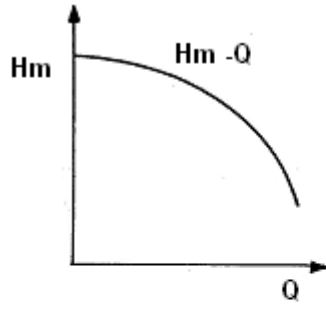
1) Radyal çarklarda işletme hızı ve verdi düşük buna karşılık manometrik yükseklik fazladır.

2) Francis çarklarda belli bir verdi ve manometrik yükseklik koşulu için özgül hız daha yüksektir.

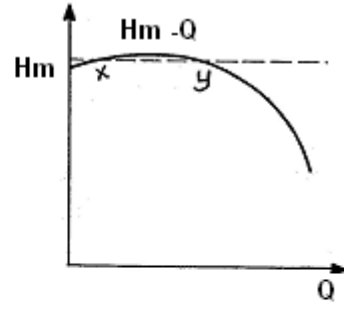
3) Karışık akışlı çarklarda işletme hızı ve verdi yüksek, buna karşın manometrik yükseklik düşüktür.

4) Aksiyal akışlı çarklarda ise, pompa küçük manometrik yüksekliklere çok yüksek verdi ile su iletir.

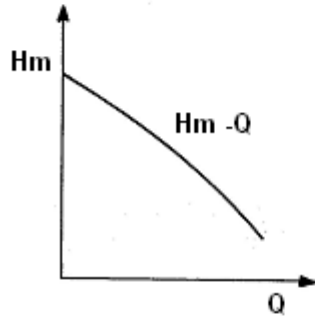
Özgül hızın artması ile genel olarak santrifüj pompalarda suyun çark içindeki akışı radyaldan aksiyala dönmekte ve çark çapı küçülmekle beraber çark genişliği de artmaktadır.



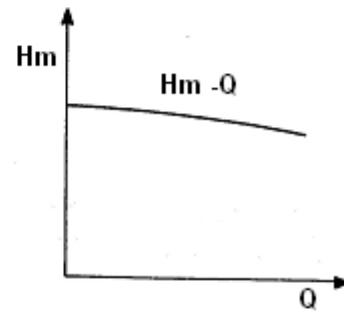
a) Artan eğri



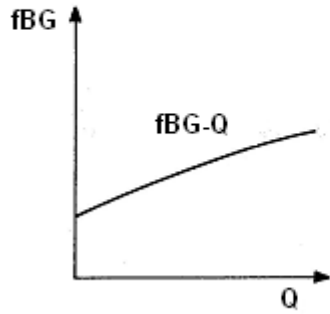
b) Azalan eğri



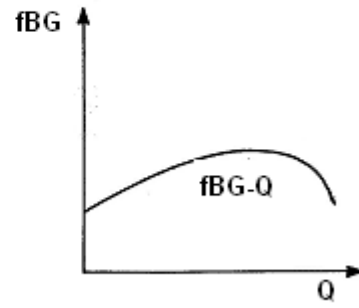
c) Dik eğri



d) Yatık eğri



e) Aşırı yüklü eğri



f) Aşırı yüksüz eğri

Şekil 5.16. ( $H_m-Q$ ) ve ( $N-Q$ ) eğrilerinin tipleri (Karassik ve Carter 1960)

## 5.7. Santrifüj Pompa Deneyleri ve Karakteristik Eğrilerin Çizimi

### 5.7.1. Santrifüj pompada yükseklikler

Santrifüj pompalarda kullanılan yükseklik terimlerinin bir kısmı daha önce boru hatlarının planlanmasında açıklanmıştı. Santrifüj pompalardaki yükseklik tanımları "TS 268 Yatay Eksenli Santrifüj Su Pompaları Standardı" ile standartlaştırılmıştır. Şekil 5.19'da yatay eksenli bir santrifüj pompada bu yükseklikler gösterilmiştir. Şekilde görülen yükseklikler aşağıdaki gibi açıklanabilir (Tezer 1978).

**a) Hız Yüksekliği ( $h_v$ ):** Bernoulli eşitliğinde de görüldüğü gibi hız yüksekliği suyun sahip olduğu hız enerjisidir ve

$$h_v = \frac{V^2}{2.g}$$

ile hesaplanır. Emme boru hattı için emme hızı ( $V_e$ ), basma boru hattı için basma hızı ( $V_b$ ) kullanılır.

**b) Statik Emme Yüksekliği ( $h_{se}$ ):** Emme su düzeyi ile pompa eksenindeki düşey uzaklıktır. Statik emme yüksekliği; pompa eksenini su düzeyinin altında yani, pompa emme yüksekliğiyle çalışıyorsa pozitif, pompa eksenini su düzeyinin üstünde ise yani pompa emme derinliğiyle çalışıyorsa negatif alınır.

**c) Toplam Emme Yüksekliği ( $h_e$ ):** Toplam emme yüksekliği pompanın girişindeki basıncın atmosfer basıncından ne kadar küçük olduğunu gösterir. Dolayısıyla bu değer mutlak basınç ile atmosfer basıncı arasındaki farktır. Buna göre;

$$h_e = h_{se} + h_{ke} + \frac{V_e^2}{2.g} \text{ olur.}$$

Pompa emme derinliğinde çalışıyorsa toplam emme yüksekliği emme borusuna takılan vakummetre ile ölçülebilir. Vakummetrede okunan basınç gösterge basıncı olduğundan;

$$-\frac{P_e}{\gamma} = h_{se} + h_{ke} + \frac{V_e^2}{2.g}$$

eşitliği yazılabilir. Vakum metrede ölçülen gösterge basıncı negatif alınır ve suyun özgül ağırlığına bölünerek toplam emme yüksekliği bulunur.

$$h_e = \frac{-P_e.(kp/m^2)}{\gamma.(kp/m^3)}$$

**d) Giriş Yüğü ( $H_e$ ):** Pompa girişinde suyun taşıdığı toplam enerjiye giriş yüğü denir ve pompa girişindeki basıncın hız yüğü ile toplamından oluşur. Pompa eksenini su düzeyi üstünde ise girişteki basınç negatiftir. Bu basınca hız yükünü eklersek giriş yüğü.

$$(-H_e) = h_{se} + h_{ke} \text{ olur.}$$

**e) Emmedeki Net Pozitif Yük (ENPY):** (Net Positive Suction Head) (NPSH): Emme hattında suyun pompa çarkına iletilmesinde gerekli olan toplam faydalı enerjidir. Mutlak basınç olarak genel emme yüksekliği ile buhar basıncının farkıdır. Buhar basıncı mutlak basınç olduğundan, genel emme yüksekliğinin de mutlak basınca çevrilmesi gerekir. Bunun için atmosfer basıncı ile farkı alınır. Buna göre:

$$\text{ENPY(NPSH)} = (H_e)_{\text{mut}} - h_b \quad \text{ENPY} = (H_a - H_e) - h_b$$

$$(-H_e) = h_{se} + h_{ke} \text{ olduğundan}$$

$$\text{ENPY(NPSH)} = H_a - (h_{se} + h_{ke} + h_b) \text{ olur.}$$

Burada:

$H_a$  : Atmosfer basıncı (m),

$h_b$  : Buhar basıncı (m)'dir.

**f) Statik Basma Yüksekliği ( $h_{sb}$ ):** Pompa eksenini ile basma noktası arasındaki düşey uzaklıktır.

**g) Çıkış Yükü ( $H_b$ ):** Pompa çıkışında suyun taşıdığı toplam enerjidir.

Pompa çıkışındaki manometrik basınç ile hız yüksekliğinin toplamıdır. Manometrenin bağlandığı nokta ile pompa eksenini arasında yükseklik farkı varsa, okumalar eksene göre düzeltilmelidir.

$$H_b = \frac{P_b}{\gamma} + \frac{V_b^2}{2.g} + z$$

Çıkış yükü basma borusundaki kayıplar ( $h_{kb}$ ) ve statik basma yüksekliğine ( $h_{sb}$ ) bağlı olarak da bulunabilir. Buna göre çıkış yükü:

$$H_b = h_{sb} + h_{kb} \text{ olur.}$$

Bu formüllerde;

$H_b$  : Çıkış yükü (m),

$P_b$  : Basma hattında ölçülen manometrik basınç ( $\text{kp/m}^2$ ),

$z$  : Manometre ile pompa eksenini arasındaki düşey uzaklık (m).

**h) Manometrik Yükseklik ( $H_m$ ):** Manometrik yükseklik, pompanın suya verdiği toplam enerjidir. Diğer bir değişle manometrik yükseklik, çıkış yükü ile giriş yükü arasındaki farktır. Buna göre:

$$H_m = H_b - H_e$$

$$H_m = \left( \frac{P_b}{\gamma} + \frac{V_b^2}{2.g} + z \right) - \left( -\frac{P_e}{\gamma} + \frac{V_e^2}{2.g} \right)$$

$$H_m = \frac{P_b + P_e}{\gamma} + \frac{V_b^2 - V_e^2}{2.g} + z$$

$$H_m = (h_{se} + h_{sb}) + (h_{ke} + h_{kb})$$

$$H_m = H_g + H_k$$

Santrifüj pompada manometrik yükseklik emme ve basma borularına takılan vakummetre ve manometre yardımıyla belirlenebilir. Pompa eksenini su düzeyi üzerinde ise emme borusundaki basınç negatif işaretli vakum basıncı olur. Ters durumda pozitif alınır. Emme ve basma boruları aynı çapta ise hız farklı sıfırdır ve her iki basınç ölçer de pompa ekseninde ise manometrik yükseklik aşağıdaki biçimi alır.

$$V_b = V_e \text{ ve } z = 0 \text{ ise}$$

$$H_m = \frac{P_b + P_e}{\gamma} \text{ bulunur.}$$

Vakum metrede ölçülen basınç çoğunlukla milimetre cıva sütunu (mmHg), manometrede okunan basınç ise kp/cm<sup>2</sup> (bar) olarak okunur. Buna göre basınç ölçerlerden okunan değerler doğrudan aşağıdaki formülde yerine konarak H<sub>m</sub> bulunabilir.

$$H_m = 10.P_b + \frac{13,6}{1000}.P_e$$

Burada:

- H<sub>m</sub> : Manometrik yükseklik (m),
- P<sub>b</sub> : Basma hattında okunan basınç (kp/cm<sup>2</sup>),
- P<sub>e</sub> : Emme hatında okunan basınç (mmHg)'dir.

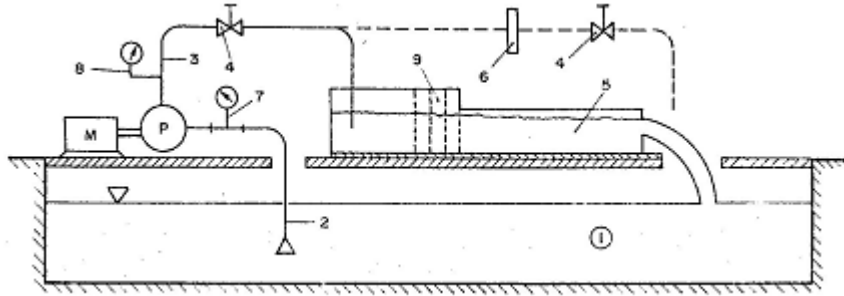
### 5.7.2. Santrifüj pompa deneyleri

Santrifüj pompalarda deneyler çeşitli amaçlar için yapılır. Bu deneyler yardımı ile pompanın işletme karakteristikleri saptanır (Tezer 1978). Santrifüj pompa denemelerinde;

- a) Belirli çalışma hızında, belli bir manometrik yüksekliğe iletilen verdi,
- b) Pompanın bu işi yaparken yuttuğu güç,
- c) Pompanın verimi saptanır.

Bunların dışında, pompanın işletme koşullarının gerektirdiği hallerde emme koşulları da saptanır. Pompa denemelerinde verim, emme ve basma yükseklikleri ve fren gücü değerleri ölçülür, verim ise bu değerler yardımıyla hesaplanır. Pompa deneylerinde, seçilen ölçme noktalarında ölçüm yapmadan önce, pompanın değişmez çalışma koşulları içine girmesi gerekir ve bu koşullar sağlandıktan sonra ölçümler yapılır.

Denemelerde manometrik yükseklik değiştirilerek ölçüm noktaları bulunur. Bu amaçla basma borusu üzerine yerleştirilecek bir ayar vanasından yararlanılır. Pompa, vana tam kapalı iken çalıştırılır ve en büyük çıkış yükü ölçülür. Daha sonra vana en az beş değişik açıklığa getirilerek ölçüm noktaları seçilir ve vananın tam açık konumu ile deney tamamlanır. Şekil 5.20'de bir santrifüj pompa deney tesisi şematik olarak verilmiştir.



Şekil 5.20. Pompa deney tesisi (Tezer 1978)

Deney tesisinde genellikle büyük kapasiteli bir su deposu bulunur (1). Pompadan geçen su depoya dönerek devreyi tamamlar. Deneylerde pompanın (P), ölçüm kolaylığı yönünden, elektrik motoru (M) ile çalıştırılması genellikle yeğlenir. Değişik hız deneyleri için motor devri değiştirilebilmelidir. Deneyde pompa, ölçüsüne uygun emme (2) ve basma (3) boru hatları ile donatılmıştır.

Basma borusu üzerindeki sürgülü ayar vanası (4) ile manometrik yükseklik ayarlanır. Vana açık kanalda (5) savaklarla veya boru içinde (6) ölçülür. Giriş yükü emme borusundaki vakummetre (7) ve çıkış yükü basma borusundaki manometreyle (8) ölçülür. Açık kanalda su dalgalanmalarını önlemek için delikli plaka (9) şeklinde engeller kullanılır.

### 5.7.2.1. Hız ölçümleri

Pompanın çalışma hızı deneme süresince sabit kalmalıdır. Hız, mekanik ve digital ölçerlerle (takometreler) ölçülür. Her devir sayısı saptanmasında en az 3 ölçüm yapıp, ortalaması alınmalıdır. Okunan değerlerin diğerlerinden % 2'den fazla farklı olanları için ölçümler yenilenir.



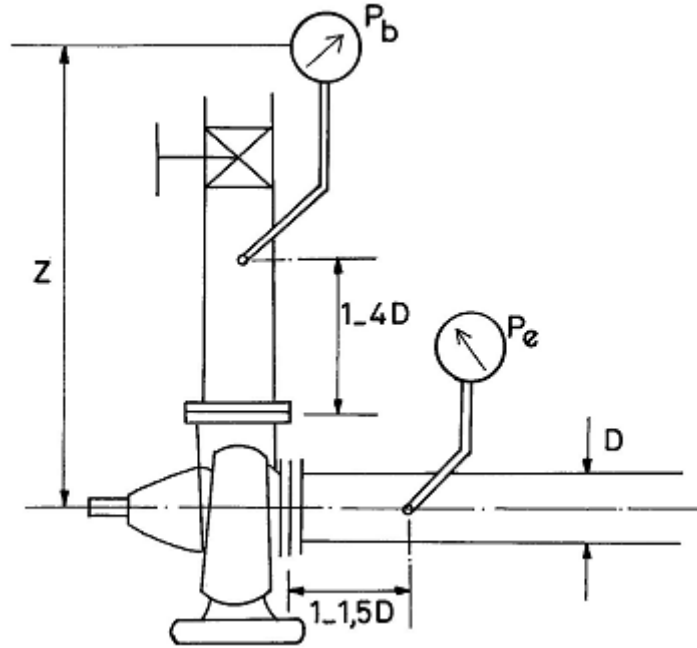
### 5.7.2.2. Verdi ölçümleri

Santrifüj pompalarda verdi değişik yöntemlerle ölçülebilir. Bunlar aşağıdaki gibi sıralanır.

- Depolarla verdinin ölçülmesi,
- Savaklarla verdinin ölçülmesi,
- Orifis yöntemi ile verdinin ölçülmesi,
- Venturi lüleleri ile verdinin ölçülmesi,
- Su sayaçları ile verdinin ölçülmesi.

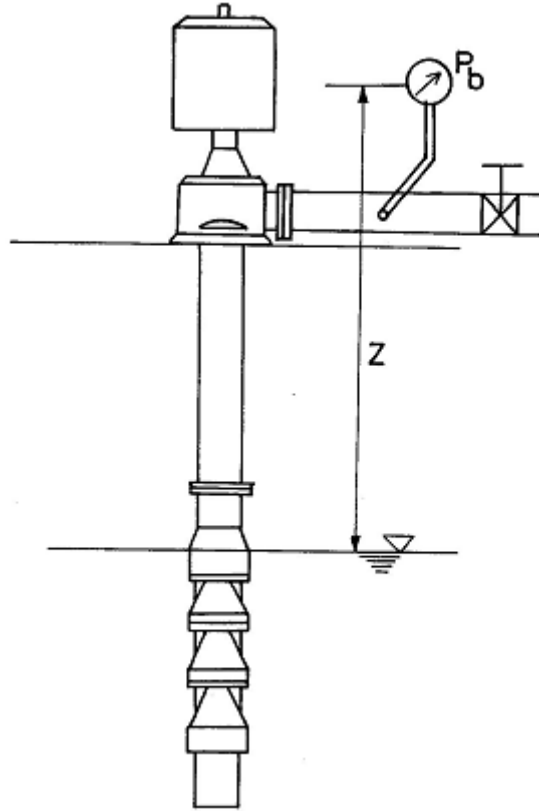
### 5.7.2.3. Basınç ölçümleri

Basınç ölçümlerinde emme hattında vakummetre basma hattında manometre kullanılır. Ölçümler daima pompa eksenine göre düzeltilir. Ölçüm noktaları boruların düz kısımlarında olmalıdır. Şekil 5.27'de yatay milli santrifüj pompalarda ölçme noktaları verilmiştir. Basma borusunda ölçme noktası, pompa çıkış ağzından itibaren boru çapının 1-4 katı uzakta olmalıdır. Ayar vanası bu noktadan en az boru çapının 6 katı ileride olmalıdır.



Şekil 5.27. Santrifüj pompalarda basınç ölçümü ( $P_e$ : Vakummetre basıncı,  $P_b$ : Manometre basıncı) (Tezer 1978).

Emme borusunda ise ölçüm noktası, pompa giriş ağzına ve emme borusu çapının 1 ila 1,5 katı uzaklıkta olmalıdır. Ölçüm noktasında boruya 3 ile 16 mm çapında bir delik delinir ve delik yüzeylerindeki çapaklar tamamen temizlenir. Bu delik ile gösterge arasında bakır boru ve plastik hortumla bağlantı sağlanır. Bağlantılar üzerinde göstergelere girişte hava boşaltma vanaları bağlanmalıdır. Ölçüm sırasında sık sık hava boşaltılarak hatasız ölçüm yapılması sağlanmalıdır. Derin kuyu pompalarında basınç ölçümü Şekil 5.28'de gösterilmiştir.



**Şekil 5.28.** Derin kuyu pompalarında basınç ölçümü (Tezer 1978).

Derin kuyu pompalarının çalıştırılmaları sırasında emme borusu ve pompanın ilk kademeleri suya batık olduğundan yalnızca çıkış basıncı ölçülür.

Denemelerde emme borusundaki vakummetreden okunan basınç ( $P_e$ ) ve basma borusundaki manometreden okunan basınç ( $P_b$ ) yardımıyla emme ve basma yükseklikleri aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

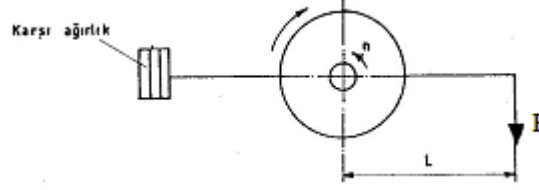
$$H_e = \frac{P_e}{1000} \cdot \frac{13,6}{\gamma}, \quad H_b = 10 \cdot P_b + z$$

#### 5.7.2.4. Güç ölçümleri

Pompa tarafından yutulan güç (fBG) pompa milinde ölçülür. Bu amaçla çeşitli yöntemlerden yararlanılır. Şekil 5.29'da moment kollu bir elektrik motoru görülmektedir. Burada motor mili iki taraftan yataklanmıştır. Bu durumda motor statoru serbest hale geldiğinden motorun çalışması halinde meydana gelen döndürme momentini yaratan moment kuvveti, statorun radyal olarak alınan bir kola aktarılır. Statorun dönüştürme yaratan döndürme momenti, pompa miline iletilen momente eşittir. Statora takılan kol bir teraziye iletilerek moment ölçülür. Moment kuvveti ile birlikte dönme hızı da ölçülerek fren gücü aşağıdaki eşitlikte hesaplanır.

$$fBG = \frac{M.n}{716,2} = \frac{F.L.n}{716,2}$$

- M : Moment (kp.m)  
fBG : Pompanın yuttuğu güç (BG),  
F : Moment kuvveti (kp),  
L : Moment kolu uzunluğu (m),  
n : Pompa devri (d/d)'dir.



Şekil 5.29. Moment kollu motor

Diğer bir güç ölçüm yöntemi ise elektronik dönme momenti ölçer (torkmetre) kullanarak momentin belirlenmesidir. Torkmetre kuvvet kaynağı ile pompa arasına bağlanır. Burada, moment değerine bağlı olarak mildeki burulma ölçü aletindeki ölçü tellerinde bir direnç değişmesi yaratır. Bu bir yükseltici ile sapma değeri olarak saptanır. Değişik ölçüm noktalarında saptanan bu sapma değerleri, torkmetrenin yükselteçle elde edilen kalibrasyon diyagramında değerlendirilerek dönme momenti bulunur. Devir sayısı da ölçülerek yukarıda verilen eşitlik yardımıyla pompanın yuttuğu güç hesaplanır.

Pompa hareketini bir elektrik motorundan alıyorsa pompanın yuttuğu güç şu yöntemlerden biriyle de bulunabilir.

- Elektrik sayacı,
- Wattmetre,
- Voltmetre, Ampermetre ve Cosφ metre.

Elektrik sayacı ile güç ölçümünde; pompa belirli toplam manometrik yüksekliğe belirli verdede suyu basmakta iken, elektrik sayacının diskinin belirli defa

dönmesi için geçen zaman ölçülüp, aşağıdaki formül yardımıyla pompanın şebekeden çektiği güç bulunur.

$$fBG = \frac{4896 \cdot n_d}{n_h \cdot t} \cdot \eta_m \cdot \eta_t$$

Burada:

- fBG : Pompanın yuttuğu güç (BG),
- $n_h$  : Elektrik sayacı diskinin 1 kW-h için dönmesi gereken miktar (adet),
- $n_d$  : Diskin kronometre ile ölçülen sürede döndüğü miktar (adet),
- t : Diskin  $n_d$  kadar dönmesi için geçen zaman (s),
- $\eta_m$  : Elektrik motoru verimi (%),
- $\eta_t$  : İletim düzeni verimi (%)'dir.

Watmetre ile pompanın yuttuğu gücün bulunmasında elektrik sayacının elektrik şebekesinden çektiği güç watmetreden doğrudan okunur. Motor verimi ve transmisyon verimi gözönüne alınarak pompanın yuttuğu güç bulunur.

Voltmetre, ampermetre ve  $\text{Cos}\phi$  metre ile güç ölçümünde elektrik motorunun her fazındaki akım miktarı ayrı ayrı 3 ampermetreden, bu fazlar arasındaki gerilim voltmetreden okunur ve kumanda tablosundaki göstergede okunan  $\text{Cos}\phi$  değeri ile birlikte aşağıdaki formülde yerine konarak pompanın yuttuğu güç hesaplanır.

$$fBG = 1,36 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \text{Cos}\phi \cdot \eta_m \cdot \eta_t$$

Burada:

- U : Gerilim (V),
- I : Akım şiddeti (A),
- $\text{Cos}\phi$ : Göstergede okunan değer (-),
- $\eta_m$  : Motor verimi (%),
- $\eta_t$  : İletim düzeni verimi (%)'dir.