

## 2. SUYUN BORULARDAKİ AKIŞI

### 2.6.4. Pompaj boru hatlarındaki sürtünme (yük) kayıpları eğrilerinin değişimi

#### 2.6.4.1. Pompaj tesislerinde basınç ve yükseklikler

Pompaj tesislerinde yükseklik bir referans eksenine göre tanımlanır. Şekil 2.20'de yatay milli bir santrifüj pompa tesisine göre yükseklik tanımları verilmiştir. Referans eksenini pompa eksenini almıştır. Yükseklikler statik ve dinamik olarak iki bölümde incelenmektedir. Statik yükseklikler su düzeylerine olan düşey uzaklıkları göstermektedir.

Statik emme yüksekliği ( $h_{se}$ ): emme su düzeyi ile pompa eksenini arasındaki düşey uzaklıktır.

Statik basma yüksekliği ( $h_{sb}$ ): pompa eksenini ile suyun iletildiği en yüksek su düzeyi arasındaki düşey yüksekliktir.

Geometrik yükseklik ( $H_g$ ): statik emme ve statik basma yüksekliklerinin toplamıdır. Bir başka ifadeyle emme su düzeyi ile suyun iletildiği en yüksek su düzeyi arasındaki düşey yüksekliktir ( $H_g = h_{se} + h_{sb}$ ).

Dinamik emme yüksekliği ( $h_{de}$ ): statik emme yüksekliği ile emme hattındaki yük kayıplarının ( $h_{ke}$ ) toplamıdır ( $h_{de} = h_{se} + h_{ke}$ )

Dinamik basma yüksekliği ( $h_{db}$ ): statik basma yüksekliği ile basma hattındaki yük kayıplarının ( $h_{kb}$ ) toplamıdır ( $h_{db} = h_{sb} + h_{kb}$ ).

Manometrik yükseklik ( $H_m$ ): dinamik emme ve dinamik basma yüksekliğinin toplamıdır. Suyun emilmesi ve istenilen noktaya basılması için gerekli enerjiyi vermektedir. Yani emme ile basma noktası arasındaki yükseklik farkı ile borudaki yük kayıplarının toplamına manometrik yükseklik denir.

$$H_m = h_{de} + h_{db}$$

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

$$H_g = h_{se} + h_{sb}$$

$$H_k = h_{ke} + h_{kb}$$

$$H_m = H_g + H_k$$

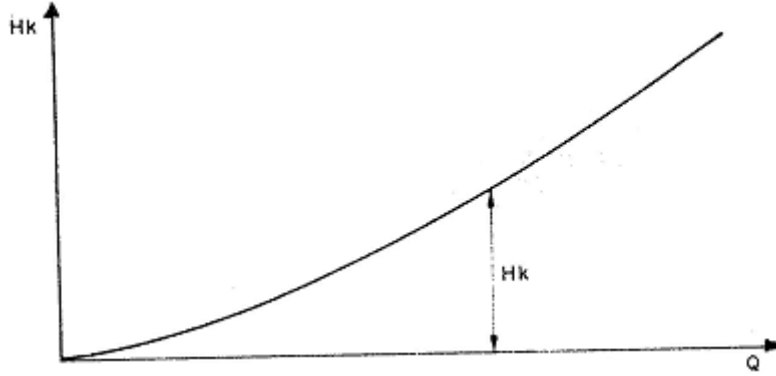
eşitlikleri yazılabilmektedir.

#### 2.6.4.2. Pompaj boru hatlarında yük kayıpları eğrisi

Bir pompaj tesisinde düz emme ve basma boru hatları ile bunları birbirine bağlayan ana parçaları bulunur. Bu nedenle pompaj boru hatlarında oluşan kayıplar, emme ve basma hatlarında oluşan kayıpların toplamıdır.

$$H_k = \left[ 0,0827 \cdot \left( \lambda \cdot \frac{L}{D^5} + \frac{k}{D^4} \right) \right] \cdot Q^2 \text{ olur.}$$

Bu eşitliğe göre tesisteki toplam yük kayıpları, belli koşullar için parantez içindeki değerler sabit olacağından, tesisten geçen verinin karesi ile orantılıdır. O halde belirli boru uzunluğu, boru çapı, boru parçaları ve boru cinsi için  $H_k = f.(Q^2)$  olarak belirtilebilir. Dolayısıyla verdi ile toplam kayıplar arasında çizilen eğri bir paraboldür ve Şekil 2.21’de görülmektedir. Bu şekilde çizilen eğri “Boru hattı yük kaybı eğrisi” adını alır ve verdi ile toplam yük kayıpları arasındaki ilişkiyi gösterir.



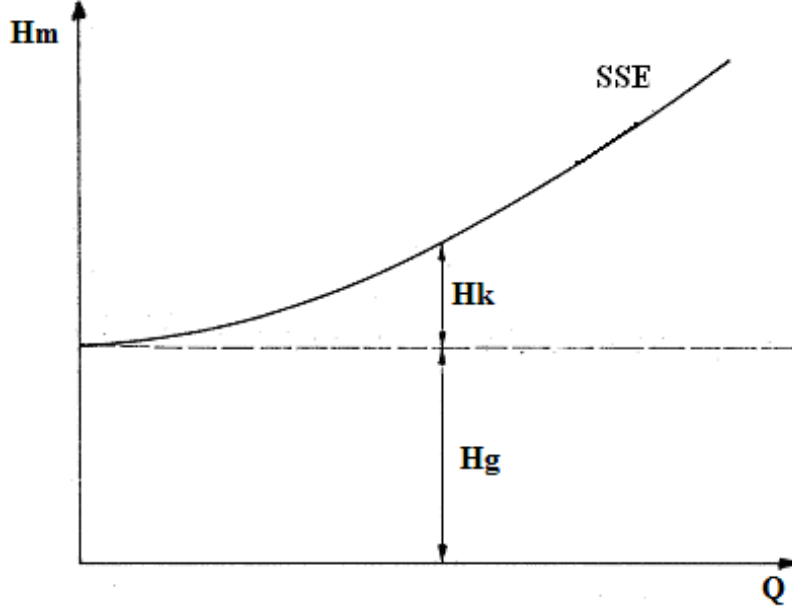
Şekil 2.21. Boru hattı yük kaybı eğrisi (Hicks 1957)

Şekil 2.21’de görüldüğü gibi boru yük kaybı eğrisinde geometrik yükseklik yoktur. Uygulamada çoğunlukla pompaj tesislerinde bir geometrik yükseklik vardır ve bu yüksekliğin yenilmesi içinde bir enerji gerekir. Bu nedenle uygulamada “Tesis yük kaybı eğrisi” daha çok kullanılır. Tesis yük kaybı eğrisi için, manometrik yükseklik ile verdi arasındaki ilişkiden yararlanılır. Dolayısıyla kullanılan eşitlikte hem manometrik yükseklik ( $H_m$ ) ve hem de geometrik yükseklik ( $H_g$ ) terimleri ortaya çıkar. Tesisin manometrik yüksekliği verdi cinsinden yazılırsa:

$$H_m = H_g + H_k$$

$$H_m = H_g + \left[ 0,0827 \cdot \left( \lambda \cdot \frac{L}{D^5} + \frac{k}{D^4} \right) \right] \cdot Q^2 \text{ olur.}$$

Bu şekilde çizilen eğriye “Sistem sürtünme eğrisi (SSE)” veya “Tesis yük kaybı eğrisi (TYKE)” denir. Yukarıdaki formüle göre çizilecek olan eğri de başlangıç noktası, statik yükseklikler verdiye bağlı olmadığından, ordinat üzerinde ( $H_g$ ) statik yükü değerinde olacaktır. Şekil 2.22’de tesis yük kaybı eğrisi görülmektedir.



**Şekil 2.22.** Tesis yük kaybı eğrisi (sistem sürtünme eğrisi (Hicks 1957))

Tesis yük kaybı eğrisi çizilirken, geometrik yükseklik verdiye bağlı olmadığından, ordinat eksenini üzerinde ( $H_g$ ) yüksekliği işaretlenir ve bir yatay çizilir. Daha sonra değişik verdi değerlerine karşılık gelen toplam kayıplar bulunarak statik yüksekliğe eklenerek elde edilen noktalar birleştirilerek eğri çizilir. Çizilen eğri de başlangıç noktası haliyle statik yük değerinde olacaktır. Herhangi bir verdi değerinden çıkılan dikini eğriyi kestiği nokta arasındaki uzunluk ( $H_m = H_g + H_k$ ) değerini verir.

Sistem sürtünme eğrisinin eğimi verdi miktarına bağlı olarak değişir. Yük kaybı arttığında eğri dikleşir, yük kaybı azaldığında eğri yatay eksene yaklaşır, eğrinin eğimi azalır. Boru hattında diğer tüm faktörler sabit iken ayar vanasıyla verdinin ayarlanması sonucu da sistem eğrisi değişir.

### 2.6.4.3. Tesis yük kaybı (sistem sürtünme) eğrisinin çizimi

Blair nomogramlarıyla yapılan hesaplamalarda sistem sürtünme eğrisinin çizilmesinde değişik yöntemler kullanılabilir. Eğrinin kolaylıkla çizilebilmesi için belli hız değerlerine göre bir çizelge düzenlenir (Çizelge 2.15). Eğer emme ve basma boru çapları eşitse tek çizelge yeterli olur.

Çizelge 2.15'de görüldüğü gibi hız ( $V$ ) değerleri en az beş kademe olarak seçilir ve çizelgeye işlenir. Pompa çıkışındaki boru çapı (buna özellikle dikkat edilmelidir) belli olduğundan seçilen hız değerlerine karşılık gelen verdi ( $Q$ ) değerleri ya hazır çizelgelerden ya da süreklilik denkleminde hesaplanır.

Boru cinsi belli olduğundan ilgili Blair nomogramlarından hidrolik eğim (i) değerleri ve buna bağlı olarak sürtünme kayıpları ( $h_k=i.L$ ) hesaplanır.

Sürtünme kayıpları, daha önce Blair nomogramları açıklandığında olduğu gibi ilgili Blair sınıfındaki kayıp formüllerinden de hesaplanabilir.

Hıza bağlı olarak şekil kayıpları  $\left( h_f = k \cdot \frac{V^2}{2.g} \right)$  hesaplanır. Eğer sistemde boru

parçalarının yerine eşdeğer boru boyu verilirse, o takdirde şekil kayıplarını hesaplamaya gerek yoktur. Kayıpların hesaplanması sistem sadece düz borulardan oluşuyormuş gibi kabul edilir ve eşdeğer boru boyu, düz boru boyuna eklenerek toplam boru boyu bulunur ve hidrolik eğimle çarpılarak toplam kayıplar ( $H_k= i.(L+L_{eş})$ ) bulunur. Sistemdeki statik yüksekliklerin toplamı olan geometrik yükseklik (her verdi değeri için sabittir) ilgili sütuna yazılır.

Manometrik yükseklik, toplam kayıplar ( $H_k= h_k+h_f$ ) ve geometrik yüksekliğin toplamı olduğundan,

$$H_m = H_g + H_k \text{ olur.}$$

Verdi ve toplam yükseklik belli olduğundan daha önce anlatıldığı gibi tesis yük kaybı eğrisi çizilir.

Eğer emme borusu çapı, basma borusu çapından farklı ise (genellikle emme borusu çapı, basma borusu çapından bir kademe büyük seçilir), bu durumda yukarıda hazırlanan çizelge sadece basma borusu için düzenlenir. Daha sonra, sistemden geçen verdi değerleri değişmeyeceğine göre, çizelgedeki verdi değerlerine karşı gelen hız (V) değerleri bulunur ve emme hattı için düzenlenen çizelge üzerine işlenir (Çizelge 2.16).

Bundan sonra emme borusu için hidrolik eğim ( $i_e$ ) verdi-emme borusu çapına (Q- $D_e$ ) bağlı olarak ilgili Blairden okunur. Daha sonra emme hattı için sürtünme ( $h_{ke}$ ) ve şekil ( $h_{fe}$ ) kayıpları hesaplanır ve emme borusu için toplam kayıpla ( $H_{ke}$ ) bulunur. Daha sonra basma borusu kayıpları ile emme borusu kayıpları toplanarak toplam kayıplar ( $H_k= H_{ke}+H_{kb}$ ) bulunur. Yukarıda açıklandığı gibi verdi ve manometrik yükseklik değerleri koordinat sistemine işlenerek eğri çizimi yapılır.

Sistem sürtünme eğrisinin çizimi Darcy-Weisbach kullanılarak da yapılabilir. Bunun için yük kayıpları Darcy-Weisbach eşitliğine göre yazılır ve bu değer toplam yükseklik olan manometrik yükseklik eşitliğinde yerine konursa;

$$H_m = H_g + \left[ 0,0827 \cdot \left( \lambda \cdot \frac{L}{D^5} + \frac{k}{D^4} \right) \right] \cdot Q^2 \text{ olur.}$$

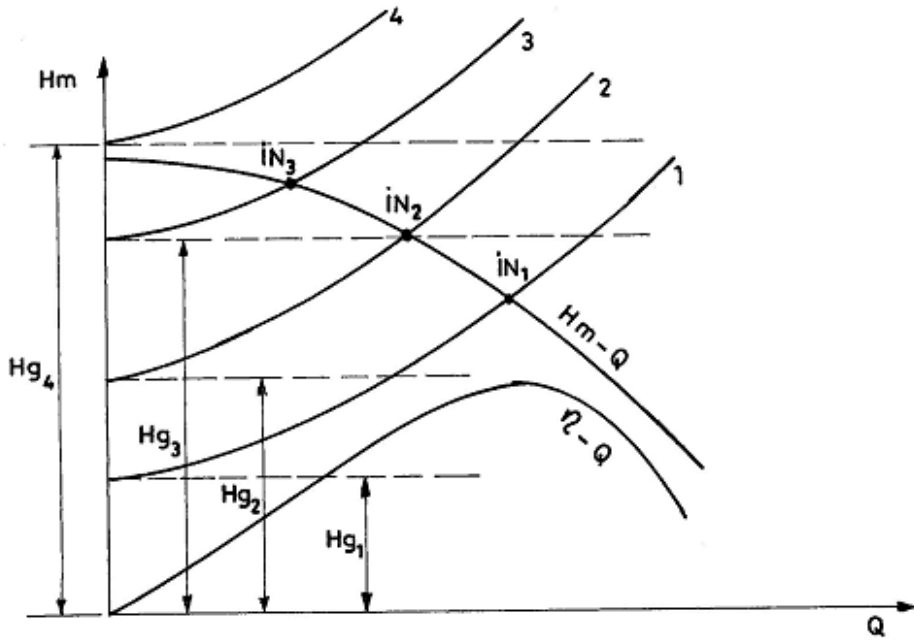
Belli koşullar için parantez içindeki değerler sabittir ve koşullara göre verilirler. Parantez içindeki değer K sabiti ile gösterilirse;

$$H_m = H_g + K.Q^2 \text{ yazılabilir.}$$

Eşitlikte verdi (Q)'ya değişik değerler verilerek bunlara karşılık gelen manometrik yükseklik değerleri elde edilir. (H<sub>m</sub>-Q) koordinat sisteminde işlenerek sistem sürtünme eğrisi çizilir.

Değişik alternatifleri olan tesis yük kaybı eğrisi pompa seçiminde kullanılır. Bu konu ilerideki bölümlerde daha detaylı açıklanacaktır. Bunun için pompa karakteristik eğrilerinin de bilinmesi gerekir. Sisteme pompa seçebilmek için tesis yük kaybı eğrisi ile pompa karakteristik eğrileri aynı ölçekte koordinat sisteminde karşılaştırılır. Pompanın (H<sub>m</sub>-Q) eğrisi ile tesis yük kaybı eğrisinin kesim noktası sistemin işletme noktasıdır. Bu nokta pompanın yüksek verim noktasına yakın olmalıdır.

Çeşitli geometrik yükseklikler için tesis yük kaybı eğrilerinin Şekil 2.24'deki gibi olduğunu kabul edelim. Elimizdeki pompanın karakteristik eğrilerini de aynı şekil üzerine geçirelim.



Şekil 2.24. Pompa karakteristik eğrileri ile tesis yük kaybı eğrilerinin Birleştirilmesi (Tezer 1978)