

3. BORU HATLARININ PLANLANMASI

3.1. Giriş

Pompaj tesislerinde boru hatlarının planlanmasında göz önünde bulundurulması gerekli olan etkenler iki bölümde incelenebilirler. Bunlar:

1) Teknik etkenler

- Taşınacak suyun fiziksel özellikleri,
- Boru hattının döşeneceği toprak ve ortam koşulları,
- Gerekli verdi,
- Gerekli işletme basıncıdır.

2) Ekonomik etkenler

- Boru cinsi ve malzemesi,
- Korozyona karşı iç ve dış kaplama,
- Sürtünme kayıplarının büyüklüğü,
- Boru çapıdır.

Boru hatlarında ekonomik etkenler içinde sürtünme kayıplarının büyüklüğü ve seçilecek boru çapı en önemli iki etkendir. Sürtünme kayıplarının fazlalığı manometrik yüksekliği ve dolayısıyla pompanın gereksindiği mekanik enerjiyi etkiler. Burada uygun çapın seçiminde, mutlaka ekonomik etkenler gözönüne alınmalıdır. Tesis için "ekonomik boru çapı" tesisin sabit ve işletme giderlerinin dengede bulunduğu çap olmaktadır.

3.2. Ekonomik Boru Çapı

Bir pompaj tesisinde boru çapı belirli verdi için seçilir. Boru hatlarında belirli bir verdi için boru çapı küçük seçilecek olursa birim boru boyu için yatırım giderleri azalır, ancak yük kaybı artar. Yatırım giderleri sabit giderleri, yük kayıpları ise işletme giderlerini etkilemektedir. Ekonomik boru çapı, bu iki gideri dengeleyen veya diğer bir deyişle sabit ve işletme giderleri toplamının minimum değerini sağlayan boru çapı olarak tanımlanır.

Boru çapına göre, birim boru boyu için sabit ve işletme giderlerinin değişimi birbirinden farklıdır. Sabit giderler, boru satın alma bedelinin faiz ve amortisman değerlerinden oluşur. Buna göre sabit gider boru çapı ile belirli bir ilişkiye göre artar. İşletme gideri ise, boru hattında oluşan sürtünmeden dolayı ortaya çıkan yük kaybını yenmek için gerekli olan enerji bedelinden oluşmaktadır. Boru çapı büyüdükçe, belirli bir verdi için sürtünme kaybı ve bunun sonucu olarak enerji gideri azalacaktır. O halde bir pompaj tesisinde belirli bir verdi için, boru çapı büyüdükçe sabit giderler artmakta, işletme giderleri azalmaktadır. Çapın küçülmesi halinde ise sabit giderler azalırken, işletme giderleri artmaktadır. Boru çapına göre sabit ve işletme giderlerinin bu şekilde bir değişim göstermesi, sabit ve işletme giderlerinden oluşan toplam giderin bir minimum değere sahip bulunduğunu göstermektedir. Ekonomik boru çapı, boru hattında sabit ve işletme giderlerini dengelemekte ve projelirmede yatırım ekonomisi yönünden önemli bir unsur olmaktadır. Bu nedenle kurulacak

tesiste kullanılacak olan boru, yatırım giderlerini azaltabilmek için küçük çaplı ve aynı zamanda işletme giderlerini azaltabilmek için büyük çaplı seçilmelidir.

Ekonomik boru çapının saptanması için başlıca iki yöntem geliştirilmiştir. Belirli bir verdi için standart çaplarda toplam gider hesaplanarak en az toplam gideri veren çap, ekonomik çap olarak seçilir. Bu yol daha zaman alıcı fakat basittir. Diğer yöntemde ise, birim boru boyu için boru çapı ile sabit ve işletme giderleri için geliştirilen eğrilerden yararlanılır. Bu yöntem geniş uygulama olanakları bulunması yönünden proje mühendisine daha yararlıdır.

3.2.1. Ekonomik boru çapının hesaplama ile saptanması

Herhangi bir boru hattında yıllık sabit giderler toplamı aşağıdaki eşitlikten hesaplanabilir:

$$YSG = SAB \cdot SGK$$

Sabit gider katsayısı, yatırımın yıllık faiz ve amortisman değerlerinin hesaplanması için kullanılan katsayıdır. Bu değer aşağıdaki eşitlikle bulunabilir;

$$SGK = \frac{f}{1 - \frac{1}{(1+f)^n}}$$

Burada:

f : Yıllık faiz oranı (%),

n : Boru hattının kullanma ömrü (yıl)'dır.

Sabit gider katsayısı hesaplarında kullanma ömrü plastik (PVC) hatlarda 40 yıl; asbestli çimento, çelik, beton ve dökme demir boru hatlarında ise 20 yıl olarak alınabilmektedir.

İşletme gideri yük kayıplarını yenmek için gerekli alan enerjisinin bedeli ile hesaplanır. İşletme gideri; verdi, boru cinsi, yıllık çalışma süresi ve enerji bedeline bağlıdır. Burada sürtünme kaybı düz boru için alınmaktadır. Bu nedenle boru yardımcı parçaları eşdeğer boru boyu olarak hesaba katılabilir. Bir boru hattında birim düz boru boyunda, oluşan yük kayıplarını yenmek için gerekli olan güç aşağıdaki eşitlikle hesaplanabilir.

$$YkBG = \frac{Q.i.\gamma}{75.\eta_p}$$

Buna göre yıllık işletme gideri:

$$YIG = YkBG.T.P \quad YIG = YkBG.T.P = \frac{Q.i.\gamma}{75.\eta_p.\eta_m.\eta_t} T.P \text{ olur.}$$

Yük kaybını yenmek için gerekli olan güç değerinin elektrik birimleri ile ifadesi hesaplamalarda kolaylık sağlamaktadır. Buna göre güç değeri kW cinsinden yazılırsa:

Kullanılan elektrik motorunun verimi η_m (%), transmisyon verimi η_t (%) ve elektrik enerjisi bedeli P_e (TL/kW-h) olursa, yıllık işletme gideri;

$$YİG = 9,81 \cdot \frac{Q \cdot i}{\eta_p \cdot \eta_m \cdot \eta_t} \cdot T \cdot P_e \text{ olur.}$$

Formüllerdeki yük kayıpları boru çapı ve verdiye bağlı olarak nomogram veya cetvellerden, T ve P_e değerleri tesisin kurulduğu yerdeki koşullara göre saptanır. Genel amaçlı hesaplamalar için elektrik motoru verimi % 85, pompa verimi % 75 kabul edilebilir.

Toplam gider, yıllık sabit ve işletme giderlerinin toplamıdır. Buna göre yıllık toplam gider;

$$YTG = YSG + YİG \text{ olur.}$$

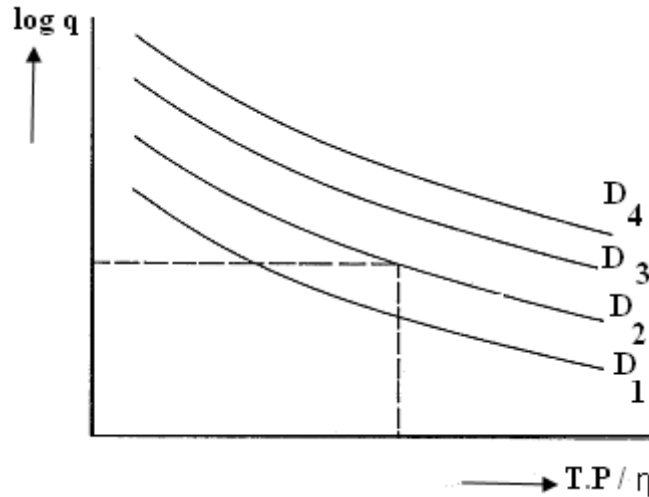
Daha önceki eşitliklerde ($\eta_p = \% 75$ ve $\eta_m = \% 85$) değerleri alınarak toplam gider için bir eşitlik geliştirilebilir.

$$YTG = SGK \cdot SAB + 15,388 \cdot Q \cdot i \cdot T \cdot P_e \text{ (TL/yıl-m) olur.}$$

Bu eşitlik yardımı ile ekonomik boru çapı değerleri saptanabilir.

3.2.2. Ekonomik boru çapının diyagramla saptanması

Hesap yolu ile ekonomik boru çapı hesaplanması zaman alıcıdır ve her boru cinsi için ayrı ayrı hesaplama yapmak gerekir. Değişik tip borular için daha geniş uygulama sınırlarını kapsayan diyagramlardan yararlanarak ekonomik boru çapı saptanabilir. Şekil 3.2'de bu şekilde hazırlanmış diyagrama bir örnek görülmektedir.



Şekil 3.2. Ekonomik çap diyagramı

Yıllık sabit giderler ile boru çapı arasında yarı logaritmik bir ilişki vardır. Boru çapı (d= cm) alınarak bu ilişki aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$YSG = 10^{md+n}$$

Bu ilişkiye göre çeşitli borular için m ve n değerleri saptanabilir. Yıllık işletme giderleri ise daha önce verilen;

$$YIG = \frac{T.P}{\eta} \cdot \frac{1}{75} \cdot q.l \text{ formülünden hesaplanır.}$$

Yıllık toplam giderler iki giderin toplamı olarak bulunur. Eşitliklerde katsayılar, boru cinsi ve satın alma bedeline bağlı olarak bir boru cinsi için sabit değerdedirler. (T.P/η) değeri ise tesisin işletme koşullarına göre belirlenir. Eğriler yardımı ile verdi (l/s), yıllık çalışma süresi (h/yıl), enerji bedeli (TL/BG-h) ve pompa verimi (%) değerlerine bağlı olarak ekonomik çap saptanır. Bu amaçla iletilecek suyun verdisi belirlendikten sonra, (T. P/η) değeri tesis koşulları için hesaplanır. Bu değer apsis ekseninde işaretlenir ve bu noktadan çizilen dikey ile verdi değerinden çizilen yatay doğru kesiştirilir. Kesim noktasının yakın olduğu boru çapı eğrisi standart anma çapı olarak, ekonomik boru çapıdır. Diyagramlar belli yıldaki birim fiyatlara göre çizilir. Birim fiyatlar arttığında, düzeltme yapılması gerekir.

3.3. Kullanılan Boru Tipleri ve Yapım Özellikleri

Sulama pompaj tesislerinde kullanılan borular aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir;

- Döküm demir borular,
- Çelik borular,
- Asbestli çimento borular,
- Beton borular,
- Plastik borular,
- Alüminyum borular.

Çeşitli boru tipleri ve boru hatlarında kullanılan yardımcı parçaları Türk Standartlar Enstitüsü tarafından standartlaştırılmıştır. Bu standartlarda boruların yapım yöntemleri, kullanılan malzemelere ait özellikler, boru tipleri, ölçüleri ile borulara ait muayene ve deney yöntemleri açıklanmıştır.

3.3.1. Dökme demir borular

Dökme demir borular iç ve dış korozyona karşı dayanıklıdır. Bakım ve tamir olanakları kısıtlı olan koşullarda uzun ömürlüdürler. Dayanımları yüksektir. Döküm boruların yapımında genellikle lamel grafitli dökme demir kullanılır. İçlerinde % 1.7'den fazla karbon (C), daha az miktarda silisyum (Si), manganez (Mn), fosfor (P) ve kükürt (S) bulunur. Lamel grafitli dökme demir borular imal yöntemine göre;

- a) Kuma savurma döküm,

- b) Kuma statik döküm,
- c) Kokile savurma döküm,
- d) Kokile statik döküm.

Başlıklarının durumuna göre;

- a) Muflu
 - Vidalı muflu,
 - Salmastralı muflu,
 - Lastik contalı muflu,
 - Kurşun contalı muflu.
- b) Flanşlı
 - Kendinden flanşlı,
 - Vidalı flanşlı.

olmak üzere sınıflandırılabilirler. Kuma statik dökülen boruların, bağlantı parçalarının ve kapaklarının bütün anma çaplarındaki mukavemetleri 180 MPa, kuma savurma dökülen boruların bütün anma çaplarındaki mukavemetleri 200 MPa, kokillere dökülen boruların mukavemetleri ise 300 mm anma çapına kadar olanları için 400 Mpa, daha büyük anma çapları için 200 Mpa olmaktadır. Muflu bağlantıda borunun bir ucu düz, diğer ucu özel yapıda muflu yapılıdır. Kendinden flanşlı bağlantıda borunun her iki ucu da flanşlıdır ve bağlantı civataları yapılıdır. Vidalı flanşlıda flanşlar borulara vidalanır ve daha sonra birbirlerine civatayla bağlanır.

3.3.2. Çelik borular

Çelik borular darbelere en dayanıklı olan boru tipleridir. Dikişsiz ve dikişli olarak imal edilebilmektedirler. Dikişsiz çelik borular, çelik malzmeden kaynak edilmeden sıcak veya soğuk haddeleme, sıcak presleme ya da sıcak veya soğuk çekme yoluyla imal edilirler. Dikişli çelik borular, çelik sacları veya bantları silindirik biçiminde kıvrıp kaynak dikişi ile birleştirmek ve sonra soğuk veya sıcak haddelemek veya çekmek suretiyle yapılıdır. Dikişsiz ve dikişli borular 4 tipe ayrılabilirler.

- a) Hafif,
- b) Orta,
- c) Ağır,
- d) Yüksek basınca dayanıklı.

Hafif, orta ve ağır borular et kalınlıkları bakımından birbirinden farklı olan Fe 33-2 çeliğinden yapılırlar. Yüksek basınca dayanıklı borular Fe 35 malzemedan yapılan dikişsiz borular ile Fe 37-2 malzemedan yapılan dikişli borulardır. Çelik boruların yapımında kullanılan çeliklerin kimyasal bileşimi çizelge 3.1'de, çelik boruların mekanik özellikleri ise çizelge 3.2'de verilmiştir.

3.3.3. Asbestli çimento borular

Elyafı ya da asbestli çimento borular, elyafı takviye edilmiş silika ve kalkerli malzemenin kimyasal reaksiyonuyla oluşmuş çimento veya kalsiyum

silikat içermektedirler. Korozyona dayanıklıdırlar, sürtünme dirençleri azdır ve mukavemetleri yüksektir. Elyaf boruya yüksek kimyasal ve fiziksel dayanım özellikleri vermektedir. Elyaf çimento borular elyaf takviyesine göre ikiye ayrılır.

- a) Tip AT (Asbestli teknoloji): Formülünde krizotil asbest bulunur.
- b) Tip NT (Asbestsiz teknoloji): Formülünde asbest dışında diğer elyaf bulunan borular.

3.3.4. Beton borular

Beton borular, ucuz, dayanıklı, uzun ömürlü, korozyona dayanıklı boru tipleridir. Beton ve çelik tellerin birleşiminden meydana gelirler. Genellikle mufla bağlantı kullanılmıştır. Düşey ya da yatay kalıplarda dökülür ve şekillendirilirler. Özellikle yer altı kullanımına uygundur, çünkü kimyasal etkilere dayanıklıdırlar ve korozyona karşı korunmaya gerek duymazlar. Beton boruların yapımında portland çimentosu, mineral agregat ve su karışımından meydana gelen beton kullanılır. Kullanılacak kaba agregatların maksimum büyüklüğü boru et kalınlığının üçte birinden fazla olmamalıdır.

3.3.5. Plastik borular

Plastikler, organik maddelerdir ve kimyasal yöntemlerle elde edilirler. Isı ve basınç yardımıyla sıvı haldeyken şekillendirilirler ve katı olarak kullanılırlar. Plastikler termoplastlar ve duroplastlar olarak iki grupta incelenebilirler.

Standartlaştırılan polietilen borular içme ve kullanma suyu iletiminde genellikle mavi renkte veya mavi şeritler ihtiva eden siyah renkte olmaktadır. İçme ve kullanma suyu dışındaki PE borular tümüyle siyah renktedir. Anma dış çapları; 16-20-25-32-40-50-63-75-90-110-125-140-160-180-200-225-250-280-315-355-400-450-500-560-630-710, 800, 900, 1000, 1200, 1400, 1600 mm'dir. Polietilen borular, genellikle PE 32, PE 40, PE 63, PE 80 ve PE 100'den yapılmaktadır. PE boru sistemlerinde kullanılan ekleme parçaları;

- a) Kaynaklı
 - Alın kaynaklı,
 - Isı kaynaklı,
 - Elektrik kaynaklı.

- b) Mekanik bağlantılı

- Elastomerik sızdırmaz halkalı, boru başlı,
- Sıkıştırılabilir ekleme parçaları olarak sınıflandırılabilir. Ekleme parçaları da mavi veya siyah renkte olmaktadır.

- Polivinil klorürden (PVC) yapılan borular sert polivinil klorür (PVC-U) ve darbeye dayanıklı (PVC-HI-1, PVC-HI-2) olmak üzere iki tiptir. Bu tip borular polivinil kalıplama malzemelerinden yapılır. Boruların içerisindeki artık malzemeler % 10'dan fazla olmamaktadır. Sert polivinil klorürlerin (PVC-U) özgül ağırlığı; 1,4 (g/cm³), lineer genişleme katsayısı; 0,8.10⁻⁴ (K⁻¹), ısı iletkenliği; 0,5 (W/K.m), yüzey direnci 1.10¹² (Ω)'dur. Darbeye dayanıklı PVC-HI tip borulardaki bu özellikler sırasıyla 1,4 (g/cm³), 0,8.10⁻⁴ (K⁻¹), 0,16 (W/K.m) ve 1.10¹² (Ω) olmaktadır. PVC boruların su absorpsiyonu 4 mg/cm²'den daha küçüktür. Anma çapları; 5-63. 75-125, 140-200, 225-250, 280-315, 355-400, 450, 500, 560, 630, 710, 800, 900, 1000, 1200, 1400, 1600 mm arasında değişmektedir. Boru uzunluklarının 4, 6, 10 ve 12 m standart boylarıda yapılır.

Su sıcaklığı arttıkça çalışma basınçları düşmektedir. Örneğin 10 C° sıcaklıkta PVC-HI-1 borunun bir yıl ömür için çalışma basıncı 2,11 MPa, 50 yıl ömür için çalışma basıncı 1,86 MPa'dır. Sıcaklık 60 C°'ye çıktığında çalışma basınçları bir yıl için 0,93 MPa'a ve 30 yıl ömür için ise 0,77 MPa'a düşmektedir. Boruların servis ömrü ve su sıcaklığı arttıkça çalışma basınçları azalmaktadır.

3.3.6. Aliminyum borular

Aliminyum borular dikişli ve dikişsiz yapılmaktadırlar. Hafiftirler ve bu nedenle taşınmaları kolaydır. Özellikle yağmurlama sulama sisteminde ve üzerine delikler açılarak karık sulamasında kullanılır. İç yüzey sürtünmeleri küçüktür, kabuk bağlamazlar, korozyona dirençlidir. Darbeye ve eğilmeye dayanıklıdır. Ancak boru uçları kolayca eğilebilir ve bu nedenle boru uçları kalınlaştırılır. Hafif olmalarından ötürü 6 ila 9 m uzunluklarda yapılabilirler.

3.4. Boru Hattı Yardımcı Parçaları

Sulama pompaj tesislerinde boruları birbirine bağlamak, boruların yön değiştirmesini sağlamak, akışı bölmek ya da yönünü değiştirmek, akışın miktarını ayarlamak ve kontrol altında tutmak amacıyla çeşitli boru hattı yardımcı parçaları kullanılmaktadır. Bu yardımcı parçalar; flanşlar, dirsek ve bükülmeler, redüksiyon, T-parçaları ve boru kolları, vana ve klapeler, nipeller, manşonlar, rekorlar v.b. olarak sıralanabilirler.

Boruların birbirlerine ve yardımcı parçalara bağlanmasında flanşlar kullanılmaktadır. Flanş; çevresine delikler açılmış çapı boru çapından büyük halka şeklinde parçalardır. İki parçanın birleştirilmesinde flanşlar karşı karşıya getirilir, araya conta konarak cıvatayla birbirlerine bağlanırlar. Flanşların borulara bağlantıları ise ya boru parçası ile birlikte dökülürler ya da vida ve/veya kaynakla tutturulurlar

3.5. Emme ve Basma Boru Hatlarının Düzenlenmesi

Pompaj tesislerinde boru hatlarının düzenlenmesi yapılırken, daha önce açıklandığı gibi, teknik ve ekonomik etkenler dikkate alınmalı ve düzenlemeler buna göre yapılmalıdır. Pompaj tesisinde emme borusunun düzenlenmesi, pompanın emiş koşulları (kavitasyonla ilgili olarak) ilgili etkenler nedeniyle basma borusundan daha önemlidir. Emme koşullarının iyi olmaması önemli sakıncalar yaratabilmektedir.

Emme boru hattında en önemli sorun emme yüksekliğinin hesaplanmasıdır.

Eğer iyi bir düzenleme yapılmassa kavitasyon meydana gelir ve pompanın çalışmasında düzensizlikler görülür. Emme boru hatlarında yük kaybını azaltmak için gereksiz boru uzunluğunun kullanılmaması ve ayrıca olabildiğince az sayıda armatür kullanılmasına dikkat edilmelidir.

Pompaj boru hatlarının düzenlenmesinde bazı noktalara özellikle dikkat edilmelidir. Bunlar:

- Emme ve basma hatlarında kullanılan borular ve yardımcı parçalar en az yük kaybına yol açmalıdır.

- Emme hattındaki boru çapı, boru uzunluğu ve yardımcı parçaların seçimi yapılırken temel etken kavitasyon olmalıdır.

- Genelde emme borusu çapı, basma borusu çapından daha büyük seçilmeli ve bu şekilde emme kaybı en aza indirilmelidir.

- Emme borusu daima pompaya yükselen bir eğimle bağlanmalıdır. Bu şekilde boru içinde hava boşluğu oluşması önlenmiş olur. Aksi takdirde oluşan hava boşluğu suyun akışını engeller ve pompanın emişi zorlaşır.

- Dip klapesi en düşük su düzeyinden daima 10 cm daha aşağıda olmalıdır. Aksi takdirde hava emilir ve pompanın çalışması engellenir.

- Basma boru hattı üzerinde pompadan sonra ilk bulunacak eleman geri tepme klapesi olmalıdır.

Ayar vanası geri tepme klapesinden sonra yerleştirilmelidir. Geri tepme klapesi tek yönlü akıma izin verdiği için, pompa durduğunda kapanır ve basma hattında bulunan suyun geri boşalması önlenmiş olur. Böylece suyun pompa emme borusu ve dip klapesine yüklenmesi (koç darbesi) önlenmiş olur.

- Boru hatları özel yapıllı taşıyıcılar üzerine bağlanmalıdır. Ayrıca boru hattının pompaya bir yük vermesi önlenmelidir.

Pompaj boru hatlarının düzenlenmesine ait örnek Şekil 3.8'de görülmektedir.