

# BASINÇLI BORU SİSTEMLERİNİN TASARIMI

(POMPAJ VE CAZİBE İÇİN)  
(TEK HAT VE DALLI SİSTEMLER İÇİN)  
(KRİTİK HAT VE YAN DALLAR İÇİN)

(DOĞRUSAL PROGRAMLAMA YÖNTEMİ, KELLER  
YÖNTEMİ, İZİN VERİLEN YÜK KAYBI YAKLAŞIMI,  
ORTALAMA HIZ YAKLAŞIMI İLE)

Prof. Dr. Osman YILDIRIM  
Sulama Sistemlerinin Tasarımı Ders Kitabı 4. Baskı

## 3.8.5. Ana Boru Çapı ve Pompa Birimi

Yağmurlama sulama sistemlerinde, ana boru hattı ile pompa birimi birlikte değerlendirildiğinde, yıllık toplam masraflar açısından, birinin maliyeti düştüğünde diğerinin maliyeti artar. Örneğin, boru çapı geniş olduğunda, ana boru hattı maliyeti artmasına karşın, ana boru hattında oluşacak yük kayıpları düşeceği için, pompa birimi manometrik yüksekliği ve buna bağlı olarak pompa gücü azalır ve pompa maliyeti düşer. Boru hattı çapı dar olduğunda ise durum terstir. Bu nedenle, ana boru hattı çapının saptanmasında temel ilke, *ana boru hattı ve pompa biriminin yıllık toplam masraflarının en az olacağı* boru çapı ve pompa birimini seçmektir.

Ana boru hattında, gerek sediment vb. materyal birikimini engellemek gerekse boru hattında oluşabilecek su darbesi etkisini azaltmak ve kavitasyona neden olmamak için ortalama akış hızının 0.5 - 2.0 m/s arasında olması istenir.

Ana boru hattı çapının saptanması amacıyla geliştirilmiş değişik yöntemler vardır. Burada, basit hatlarda serbest elle çözüme olanak sağlayan Keller yöntemi ile basit ve karmaşık hatlarda kullanılacak doğrusal programlama modeli üzerinde durulacaktır. Bu yöntemler, aşağıda verilen bir örnek içerisinde açıklanmıştır.

### Örnek :

Sistem tertibi Şekil 3.15'te verilen tarım işletmesine ait yağmurlama sulama sistemi ele alınacaktır. Sisteme ait ana boru hattının planı, ayrıca, Şekil 3.28'de gösterilmiştir. Planlama haritasındaki tesviye eğrilerinden ve Çizelge 3.7'nin altındaki verilerden yararlanarak, ana boru hattının değişik bölümlerinin uzunlukları, iletilecek debi değerleri ve kritik noktaların yükseklikleri ana boru hattı planı üzerine yazılmıştır.

Yarı sabit yağmurlama sulama sisteminin tasarımı yapıldığından, ana boru hattı sabit ve gömülü olacaktır. Ana boru hattı, 10 atm işletme basınçlı sert PVC borulardan oluşturulacaktır.

## Ana boru çapının saptanmasında Keller yöntemi :

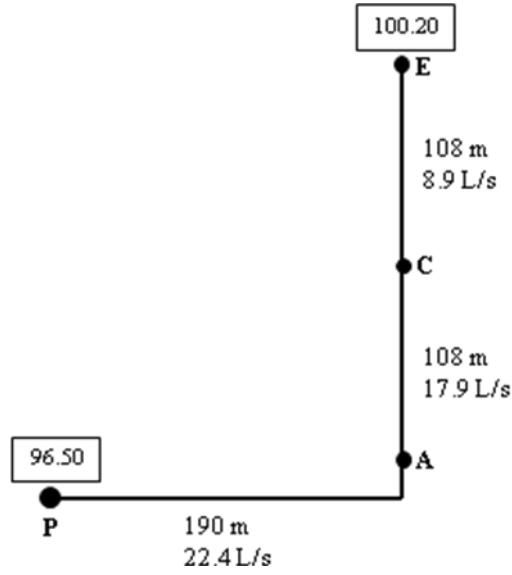
Ana boru çapının Keller yöntemi ile bulunmasında yapılacak işlemler aşamalar biçiminde aşağıda açıklanmıştır.

### 1. aşama : Pompanın yıllık çalışma süresi

Pompanın yıllık çalışma süresi ;

$$T = \frac{A d_t}{3.6 Q} \quad (3.13)$$

eşitliği ile hesaplanır. Bu eşitlikte;



Şekil 3.28. Örneğe ilişkin ana boru hattı planı

$T$  = Pompanın yıllık çalışma süresi, h,

$A$  = Sulanacak alan, da,

$d_t$  = Mevsimlik toplam sulama suyu gereksinimi, mm ve

$Q$  = Sistem debisi, L/s'dir.

Sulanacak alan,  $A = 91$  da ve sistem debisi,  $Q = 22.4$  L/s'dir. Kritik bitki şeker pancarı olduğundan bu bitkinin mevsimlik toplam sulama suyu ihtiyacı,  $d_t = 724.3$  mm'dir (Çizelge 3.4).

$$T = \frac{Ad_t}{3.6Q} = \frac{91 \times 724.3}{3.6 \times 22.4} = 817 \text{ h}$$

**2. aşama :** Pompa biriminin fren gücü-saat (fBG-h) başına toplam maliyeti

**a) Manometrik yükseklik**

Pompa biriminin manometrik yüksekliği;

$$H_m = h_{de} \pm h_g + h_f + H \quad (3.14)$$

eşitliği ile hesaplanır. Bu eşitlikte;

$H_m$  = Manometrik yükseklik, m,

$h_{de}$  = Dinamik emme yüksekliği (derin kuyularda, tasarım aşamasında, kuyu dinamik yüksekliğine eşit alınabilir,  $h_{de} = H_d$ ), m,

$h_g$  = Pompa birimi ile basma noktası arasındaki yükseklik farkı (bayır aşağı eğimde eksi alınır) m,

$h_f$  = Ana boru hattında oluşan yük kayıpları, m ve

$H$  = Ana boru hattında istenen basınç, m'dir.

Bu eşitlikte, ana boru hattında oluşan yük kayıplarını bulabilmek için boru çaplarının bilinmesi de gerekmektedir. Oysa, boru çaplarının bulunması istenmektedir. Bu nedenle, tasarımın bu aşamasında, **ana boru hattında oluşan yük kayıpları tahmin edilir. Tahminde,  $h_f = 1.5 \text{ m}/100 \text{ m}$  değeri kullanılabilir.** Yük kayıplarının tahmininde yapılacak hata, sonucu önemli düzeyde etkilememektedir. Örnekte, ana boru hattı uzunluğu 406 m olduğundan, ana boru hattında oluşan yük kayıpları;

$$h_f = \frac{1.5}{100} \times 406 = 6.09 \text{ m}$$

biçiminde tahmin edilmiştir.

Şekil 3.28'den, pompa birimi ile basma noktası (E noktası) arasındaki yükseklik farkı;

$$h_g = 100.20 - 96.50 = 3.70 \text{ m} \text{ (bayır yukarı)}$$

olarak hesaplanır.

Örnekte, kuyu dinamik yüksekliği,  $H_d = 40 \text{ m}$  ve ana boru hattında istenen basınç,  $H = 33 \text{ m}$  olduğundan, manometrik yükseklik;

$$H_m = H_d \pm h_g + h_f + H = 40 + 3.70 + 6.09 + 33 = 82.79 \text{ m}$$

bulunur.

**b) Pompa biriminin fren gücü**

Pompa biriminin fren gücü (pompa gücü);

$$fBG = \frac{H_m Q}{75 \eta_p} \quad (3.15)$$

eşitliği ile bulunur. Bu eşitlikte;

$fBG$  = Pompa biriminin fren gücü, BG,  
 $H_m$  = Manometrik yükseklik, m,  
 $Q$  = Sistem debisi, L/s ve  
 $\eta_p$  = Pompa randımanı (tasarım aşamasında, elektrik motorlu pompalarda % 80, diesel motorlu pompalarda % 70 alınabilir), %'dir.

Örnekte, manometrik yükseklik,  $H_m = 82.79$  m ve sistem debisi,  $Q = 22.4$  L/s'dir. Derin kuyudan su dalgıç tipi pompa ile alınacağından (dalgıç pompalar yalnızca elektrik motoru ile çalıştırılabilir), pompa randımanı  $\eta_p = 0.80$  alınmıştır. Sonuçta, pompa biriminin fren gücü;

$$fBG = \frac{H_m Q}{75 \eta_p} = \frac{82.79 \times 22.4}{75 \times 0.80} = 30.9 \text{ BG}$$

bulunur.

c) Pompa biriminin tesis masrafları

Manometrik yükseklik,  $H_m = 82.79$  m ve debi  $Q = 22.4$  L/s özelliklerindeki dalgıç tipi pompanın satın alınması, yerine taşınması, kurulması, kontrol panosu vb. işleri kapsayan proje keşif bedeli bulunur. Bu amaçla, piyasa araştırması yapılır ya da birim fiyatlardan yararlanılabilir. Örnekte, bu işlem yapılmış ve pompa biriminin tesis masrafları;

$$TM = 6\,400 \text{ TL}$$

olarak saptanmıştır.

d) Pompa biriminin fren gücü ( $fBG$ ) başına tesis masrafları

Pompa biriminin fren gücü başına tesis masrafları;

$$TM_{fBG} = \frac{TM}{fBG} \quad (3.16)$$

eşitliği ile bulunur. Eşitlikte;

$TM_{fBG}$  = Pompa biriminin fren gücü başına tesis masrafları, TL/ $fBG$ ,

$TM$  = Pompa biriminin tesis masrafları, TL ve

$fBG$  = Pompa biriminin fren gücü, BG'dir.

Örnekte, Pompa biriminin tesis masrafları,  $TM = 6\,400$  TL ve fren gücü,  $fBG = 30.9$  BG olduğundan;

$$TM_{fBG} = \frac{TM}{fBG} = \frac{6\,400}{30.9} = 207.12 \text{ TL} / fBG$$

bulunur.

e) Pompa birimi servis ömrü

Yağmurlama sulama sistem unsurlarının ortalama servis ömürleri Çizelge 3.8'de verilmiştir. Pompa biriminin toplam maliyeti içerisinde, motorun maliyetinin payı çok yüksek olduğu için, tasarım aşamasında, pompa biriminin

ortalama servis ömrü olarak, motorun servis ömrü alınabilir. Örnekte, elektrik motoru söz konusu olduğundan, Çizelge 3.8'den pompa birimi servis ömrü;

$$n = 25 \text{ yıl}$$

alınmıştır.

**f) Faiz oranı**

Günün koşullarına uygun faiz oranı dikkate alınır. Örneğin, bu değer, yıllık enflasyon oranı ya da bankaların tarım alanlarına uyguladıkları kredi faizi olabilir. Bu örnek için faiz oranı;

$$i = \% 10$$

alınmıştır.

Çizelge 3.8. Yağmurlama sulama sistem unsurlarının servis ömürleri

Unsur	Servis ömrü, n (yıl)
Kuyu	20
Pompa evi	20
Derin kuyu pompası	8
Dalgıç tipi pompa	8
Santrifüj tipi pompa	16
Elektrik motoru	25
Diesel motor	14
Alüminyum boru ve bağlantı elemanları (yüzeyde)	15
PE boru ve bağlantı elemanları (yüzeyde)	10
PE boru ve bağlantı elemanları (gömülü)	40
PVC boru ve bağlantı elemanları (yüzeyde)	5
PVC boru ve bağlantı elemanları (gömülü)	35
Yağmurlama başlığı	8

**g) Amortisman faktörü**

Sulama sistemlerinde, herhangi bir unsurun maliyetinin bir yıla düşen miktarını bulmak amacıyla yararlanılan amortisman faktörü;

$$AF = \frac{i}{1 - \frac{1}{(1+i)^n}} \quad (3.17)$$

eşitliği ile hesaplanır. Bu eşitlikte;

$AF$  = Amortisman faktörü,

$i$  = Faiz oranı, % ve

$n$  = Servis ömrü, yıl'dır.

Örnekte, faiz oranı,  $i = \% 10$  ve servis ömrü,  $n = 25$  yıl olduğundan, amortisman faktörü;

$$AF = \frac{i}{1 - \frac{1}{(1+i)^n}} = \frac{0.10}{1 - \frac{1}{(1+0.10)^{25}}} = 0.11017$$

bulunur.

**h)** Pompa biriminin fren gücü-yıl (fBG-yıl) başına sabit masrafları

Bu amaçla;

$$SM_{fBG-yil} = (AF)(TM_{fBG}) \quad (3.18)$$

eşitliğinden yararlanılır. Eşitlikte;

$SM_{fBG-yil}$  = Pompa biriminin fren gücü-yıl başına sabit masrafları,  
TL/fBG-yıl,

$AF$  = Amortisman faktörü ve

$TM_{fBG}$  = Pompa biriminin fren gücü başına tesis masrafları,  
TL/fBG'dir.

Örnekte, pompa biriminin fren gücü-yıl başına sabit masrafları;

$$SM_{fBG-yil} = (AF)(TM_{fBG}) = 0.11017 \times 207.12 = 22.82 \text{ TL/ fBG -yıl}$$

olarak elde edilir.

**i)** Pompa biriminin fren gücü-saat (fBG-h) başına sabit masrafları

Bu değer, fren gücü-yıl başına sabit masrafların, pompanın yıllık çalışma süresine oranlanması ile bulunur.

$$SM_{fBG-h} = \frac{SM_{fBG-yil}}{T} \quad (3.19)$$

Eşitlikte;

$SM_{fBG-h}$  = Pompa biriminin fren gücü-saat başına tesis masrafları,  
TL/fBG-h,

$SM_{fBG-yil}$  = Pompa biriminin fren gücü-yıl başına tesis masrafları,  
TL/fBG-yıl ve

$T$  = Pompanın yıllık çalışma süresi, h'tır.

Pompa biriminin fren gücü-yıl başına tesis masrafları,  $SM_{fBG-yil} = 22.82$  TL/fBG-yıl ve pompanın yıllık çalışma süresi,  $T = 817$  h olduğundan, Pompa biriminin fren gücü-saat başına tesis masrafları;

$$SM_{fBG-h} = \frac{SM_{fBG-yil}}{T} = \frac{22.82}{817} = 0.03 \text{ TL/ fBG - h}$$

bulunur.

**j)** Pompa biriminin fren gücü-saat (fBG-h) başına enerji masrafları

Tasarım aşamasında, pompa biriminin fren gücü-saat başına enerji masrafları, pompa elektrik motoru ile çalışıyorsa;

$$EM_{fBG-h} = 0.736 P_e \quad (3.20)$$

ve diesel motoru ile çalışıyorsa;

$$EM_{fBG-h} = 0.27 P \quad (3.21)$$

eşitlikleri ile hesaplanabilir. Bu eşitliklerde;

$$\begin{aligned} EM_{fBG-h} &= \text{Pompa biriminin fren gücü-saat başına enerji masrafları,} \\ &\quad \text{TL/fBG-h,} \\ P_e &= \text{Elektrik enerjisi birim fiyatı, TL/kW-h ve} \\ P &= \text{Motorin birim fiyatı, TL/L'dir.} \end{aligned}$$

Bu örnekte, dalgıç tipi pompa kullanılacak ve dolayısıyla, elektrik motoru söz konusu olacaktır. Tarım alanlarına uygulanan elektrik enerjisi birim fiyatı,  $P_e = 0.20$  TL/kW-h alınmıştır. Buna göre, pompa biriminin fren gücü-saat başına enerji masrafları;

$$EM_{fBG-h} = 0.736 P_e = 0.736 \times 0.20 = 0.15 \text{ TL/ fBG-h}$$

bulunmuştur.

#### **k) Pompa biriminin fren gücü-saat (fBG-h) başına bakım masrafları**

Tasarım aşamasında, pompa biriminin fren gücü-saat başına bakım masrafları, pompa elektrik motoru ile çalışıyorsa ihmal edilebilir. Pompa diesel motoru ile çalışıyorsa, enerji masraflarının % 40'ı kadar alınabilir.

$$BM_{fBG-h} = 0.40 EM_{fBG-h} \quad (3.22)$$

Örnekte, elektrik motoru söz konusu olduğundan fren gücü-saat başına bakım masrafları;

$$BM_{fBG-h} = 0 \text{ TL/fBG-h}$$

alınmıştır (ihmal edilmiştir).

#### **l) Pompa biriminin fren gücü-saat (fBG-h) başına toplam maliyeti**

Tasarım aşamasında, pompa biriminin fren gücü-saat (fBG-h) başına toplam maliyeti, tesis, enerji ve bakım masrafları toplanarak bulunur.

$$M_{fBG-h} = SM_{fBG-h} + EM_{fBG-h} + BM_{fBG-h} \quad (3.23)$$

Örnek için bu değer;

$$\begin{aligned} M_{fBG-h} &= SM_{fBG-h} + EM_{fBG-h} + BM_{fBG-h} = 0.03 + 0.15 + 0 \\ &= 0.18 \text{ TL/ fBG-h} \end{aligned}$$

biçiminde bulunur.

### **3. aşama : Pompa biriminin fren gücü-yıl (fBG-yıl) başına toplam maliyeti**

Pompa biriminin fren gücü-yıl başına toplam maliyeti, fren gücü-saat başına toplam maliyeti, pompanın yıllık çalışma süresi ile çarpılarak bulunur.

$$M_{fBG-yil} = T(M_{fBG-h}) \quad (3.24)$$

Örnek için, pompa biriminin fren gücü-yıl başına toplam maliyeti;

$$M_{fBG-yil} = T(M_{fBG-h}) = 817 \times 0.18 = 147.06 \text{ TL/ fBG -yil}$$

olarak elde edilir.

#### 4. aşama : Pompa biriminin hidrolik güç-yıl (hBG-yıl) başına toplam maliyeti

Pompa biriminin hidrolik güç-yıl başına toplam maliyeti, fren gücü-yıl başına toplam maliyeti, pompa randımanına bölünerek elde edilir.

$$M_{hBG-yil} = \frac{M_{fBG-yil}}{\eta_p} \quad (3.25)$$

Sonuçta, pompa biriminin hidrolik güç-yıl başına toplam maliyeti;

$$M_{hBG-yil} = \frac{M_{fBG-yil}}{\eta_p} = \frac{147.06}{0.80} = 183.83 \text{ TL/ hBG -yil}$$

bulunur.

#### 5. aşama : Ana boru çapı

Ana boru çapının saptanmasına ilişkin işlemler Çizelge 3.9 üzerinde yapılmış ve işlemlerin nasıl yapıldığı aşağıda açıklanmıştır.

a) Ana boru hattında, ortalama akış hızının 0.5-2.0 m/s arasında olduğu seçeneksel boru çapları yazılır. Farklı cinsteki boruların değişik çaplarında, ortalama akış hızının 0.5 m/s ve 2.0 m/s olduğu debi değerleri Çizelge 3.10'da görülmektedir. Ana boru hattı 10 atm işletme basınçlı sert PVC borulardan oluşturulacaktır. Ana boru hattında iletilecek en düşük debi, C-E bölümünde 8.9 L/s'dir (Şekil 3.28). Bu debide, Ortalama akış hızı,  $V \leq 2.0$  m/s koşulunu sağlayan en küçük boru dış çapı 90 mm'dir. Yine, ana boru hattında iletilecek en yüksek debi 22.4 L/s'dir ve bu debide ortalama akış hızı,  $V \geq 0.5$  m/s koşulunu sağlayan en büyük boru dış çapı 250 mm'dir. Bu nedenle, ana boru hattında kullanılabilen standart boru dış çapları 90, 110, 125, 140, 160, 200, 225 ve 250 mm olacaktır. Bu arada, ana boru hattında kullanılabilen en küçük boru çapının, seçilen lateral boru çapından daha küçük olamayacağı da dikkate alınmalıdır.

b) Ana boru hattında kullanılabilen seçeneksel boru çaplarında, 100 m boru hattı uzunluğunun maliyeti yazılır. Bu amaçla, her boru çapında, birim boru hattı uzunluğunun, kazı, satın alma, taşıma, döşeme, baş bağlama vb. işleri kapsayan keşif bedelleri bulunur. Tasarım aşamasında, birim fiyatlarda verilen boru hattının döşenmesi bedellerinin kullanılması da yeterli olabilir. Bu örnek için elde edilen birim boru uzunluğu maliyetleri ve bunun 100 m uzunluk için değerleri Çizelge 3.11'de verilmiştir.

c) Ardışık boru çaplarında, 100 m boru hattı uzunluğu maliyetlerinin farkları yazılır.



**d)** Boru hattı servis ömrü yazılır. Örnekte, ana boru hattı sabit ve gömülü olduğundan ve sert PVC borulardan oluşturulduğundan, servis ömrü  $n = 35$  yıl alınmıştır (Çizelge 3.8).

**e)** Faiz oranı yazılır. Örnekte, faiz oranı,  $i = \% 10$  alınmıştır.

**f)** Amortisman faktörü yazılır. Ana boru hattı için, (3.17) nolu eşitlikte,  $i = 0.10$  ve  $n = 35$  yıl alınarak amortisman faktörü;

Çizelge 3.9. Örneğe ilişkin ana boru bölümlerinde kritik debi değerleri

<b>a)</b> Boru dış çapı (mm)	90		110		125		140		160		200		225		250
<b>b)</b> 100 m boru uzunluğunun maliyeti (TL/100 m)	680		840		1 040		1 350		1 770		2 730		3 290		4 270
<b>c)</b> Ardışık boru çapları arasındaki maliyet farkı (TL/100 m)		160		200		310		420		960		560		980	
<b>d)</b> Boru hattı servis ömrü, n (yıl)		35		35		35		35		35		35		35	
<b>e)</b> Faiz oranı, i (%)		10		10		10		10		10		10		10	
<b>f)</b> Amortisman faktörü, AF		0.10369		0.10369		0.10369		0.10369		0.10369		0.10369		0.10369	
<b>g)</b> Ardışık boru çapları arasındaki yıllık maliyet farkı (TL/100 m) [(5c)x(5f)]		16.59		20.74		32.14		43.55		99.54		58.07		101.62	
<b>h)</b> Bir sonraki geniş boru çapının ekonomik olabilmesi için tasarrufu gereken hidrolik güç (BG) [(5g)/(4)]		0.090		0.113		0.175		0.237		0.541		0.316		0.553	
<b>i)</b> Bir sonraki geniş boru çapının ekonomik olabilmesi için tasarrufu gereken yük kayıpları, $\Delta h_f$ (m/100 m) [75x(5h)/Q]		0.30		0.38		0.59		0.79		1.81		1.06		1.85	
<b>j)</b> Kritik debi, Q (L/s)		3.2		7.0		13.0		19.0		38.0		62.0		120.0	

Çizelge 3.10. Değişik cinsteki borularda ortalama akış hızının 0.5 m/s ve 2.0 m/s olduğu debi değerleri

Alüminyum borular (6 atm)			Sert PE borular (6 atm)			Sert PVC borular (6 atm)			Sert PVC borular (10 atm)		
Çap	0.5 m/s	2.0 m/s	Dış çap (mm)	0.5 m/s	2.0 m/s	Dış Çap (mm)	0.5 m/s	2.0 m/s	Dış Çap (mm)	0.5 m/s	2.0 m/s
2"	1.0	3.9	63	1.0	3.9	63	1.4	5.5	63	1.3	5.1
3"	2.5	10.1	75	1.4	5.4	75	2.0	7.9	75	1.8	7.2
4"	3.9	15.7	90	2.0	7.9	90	2.8	11.3	90	2.6	10.4
5"	6.1	26.4	110	3.0	11.7	110	4.2	16.9	110	3.9	15.5
6"	8.8	35.4	125	3.8	15.2	125	5.4	21.7	125	5.0	20.1
			140	4.8	19.0	140	6.8	27.3	140	6.3	25.2
						160	8.9	35.6	160	8.2	32.8
						200	14.0	55.7	200	13.0	51.5
						225	17.5	70.6	225	16.2	65.1
						250	21.8	87.0	250	20.0	80.5
						280	27.5	109.0	280	25.0	100.5
						315	34.5	138.5	315	32.0	127.5
						355	44.0	175.5	355	40.5	162.0
						400	56.0	223.0	400	51.0	206.0

Çizelge 3.11. Örnek için ana boru hattı birim uzunluk maliyetleri

Dış çap (mm)	Boru hattı maliyeti	
	TL/m	TL/100 m
90	6.80	680
110	8.40	840
125	10.40	1 040
140	13.50	1 350
160	17.70	1 770
200	27.30	2 730
225	32.90	3 290
250	42.70	4 270

$$AF = \frac{i}{1 - \frac{1}{(1+i)^n}} = \frac{0.10}{1 - \frac{1}{(1+0.10)^{35}}} = 0.10369$$

olarak bulunmuştur.

g) Ardışık boru çapları arasında yıllık maliyet farkları hesaplanır. Bu amaçla, (c) satırındaki maliyet farkları, (f) satırındaki amortisman faktörü ile çarpılır.

h) Ana boru hattında, 100 m boru uzunluğunda, bir sonraki geniş boru çapının ekonomik olabilmesi için, pompa biriminde tasarrufu gereken hidrolik güç değerleri yazılır. Bu değerler, (g) satırındaki yıllık maliyet farkları, (4) aşamasında bulunan pompa biriminin hidrolik güç-yıl başına toplam maliyetine bölünerek bulunur. Örneğin, 90 mm yerine 110 mm boru dış çapı seçildiğinde, bu işlemin ekonomik olabilmesi için pompa biriminde tasarrufu gereken hidrolik güç;

$$\frac{(5g)}{(4)} = \frac{16.59}{183.83} = 0.090 \text{ BG}$$

olarak hesaplanır.

i) Ana boru hattında, 100 m boru uzunluğunda, bir sonraki geniş boru çapının ekonomik olabilmesi için, tasarrufu gereken yük kayıpları değerleri yazılır. Bu değerler, (h) satırındaki tasarrufu gereken hidrolik güç değerleri  $(75/Q)$  oranı ile çarpılarak bulunur. Burada  $Q$ , sistem debisidir (L/s). Örneğin,

90 mm yerine 110 mm boru dış çapı seçildiğinde, bu işlemin ekonomik olabilmesi için tasarrufu gereken yük kayıpları;

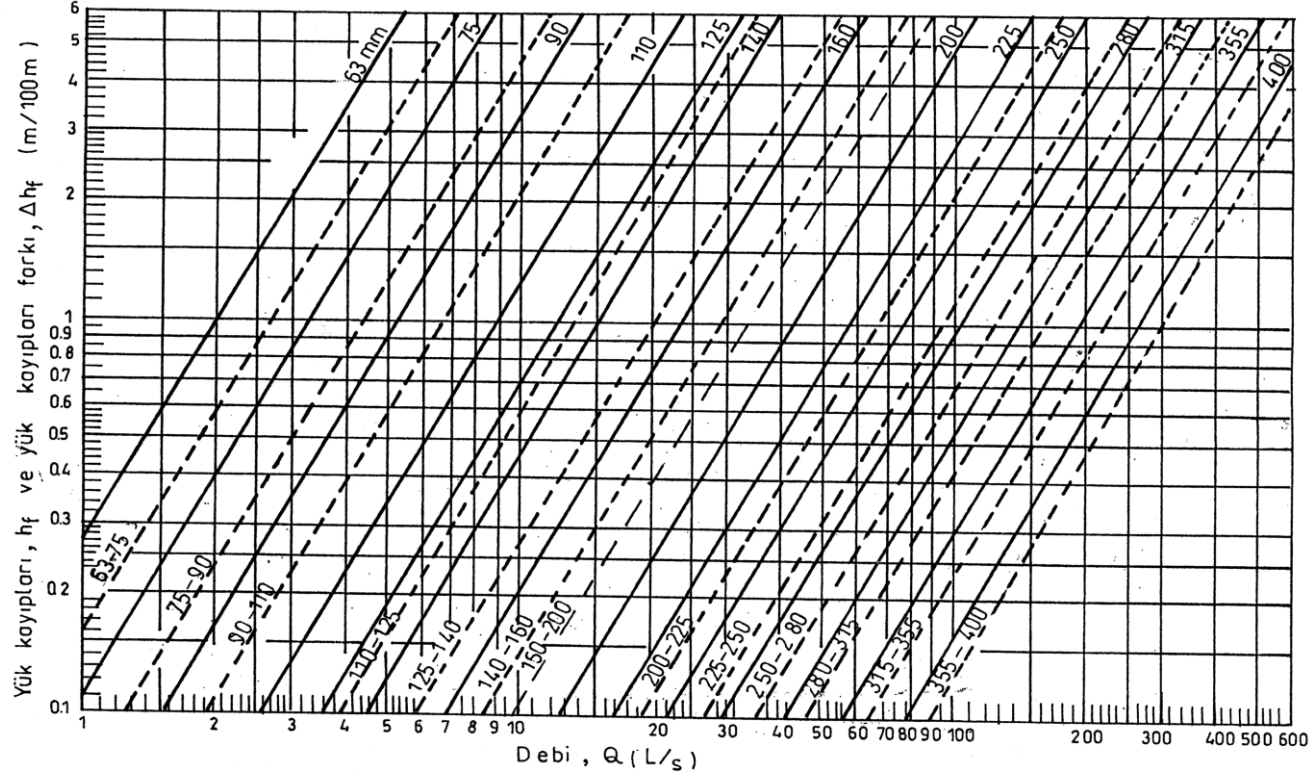
$$\frac{75x(5h)}{Q} = \frac{75x0.090}{22.4} = 0.30 \text{ m}/100 \text{ m}$$

olarak hesaplanır.

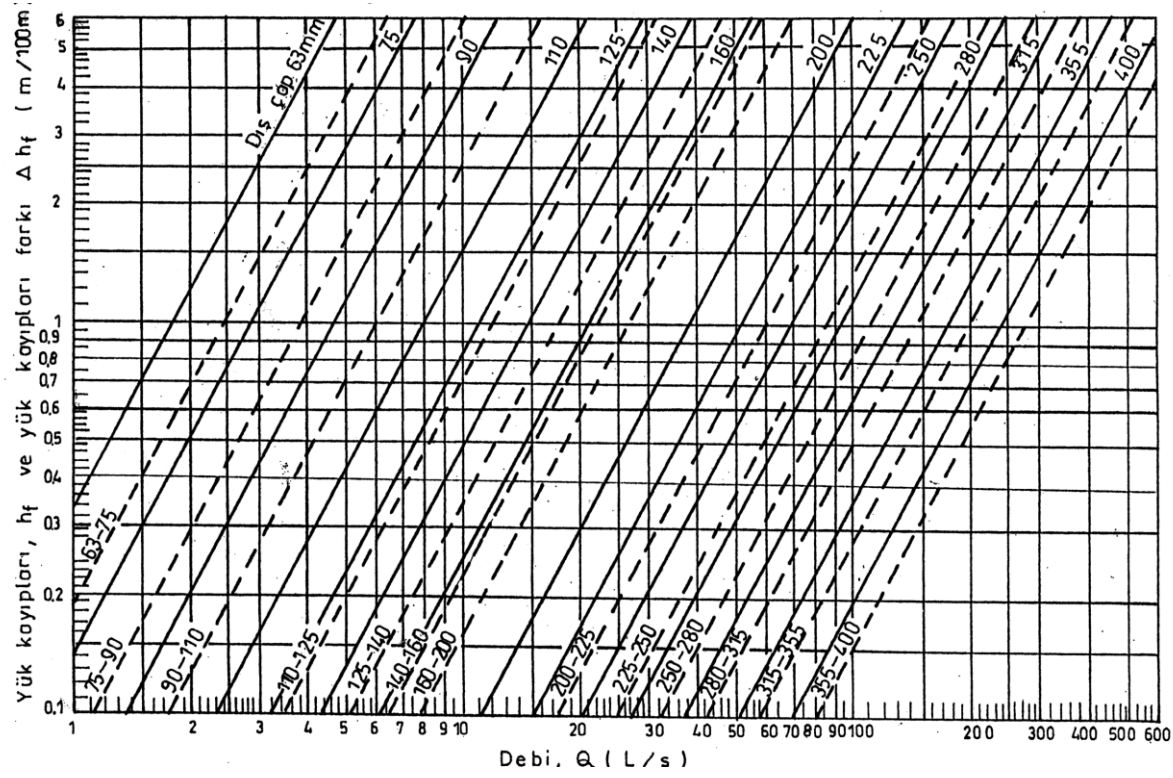
j) Ana boru hattının herhangi bir bölümünde, boru çapı bir sonraki geniş boru çapına arttırıldığında oluşan maliyet artışının, pompa biriminde sağlanan maliyet azalmasına eşit olduğu kritik debi değerleri bulunur. Bu amaçla, gömülü ana boru hatlarında kullanılan, 6 ve 10 atm işletme basınçlı sert PVC borular için Şekil 3.29 ve 3.30'da verilen yük kaybı diyagramlarından yararlanılabilir (gömülü 6 atm işletme basınçlı sert PVC borular bireysel damla sulama sistemlerinde kullanılır). Bu diyagramlarda, düz çizgilerden yük kayıpları ( $h_f$ ), kesik çizgilerden ise ardışık boru çapları arasındaki yük kayıpları farkı ( $\Delta h_f$ ) bulunur. Bu diyagramlardan yararlanarak, (j) satırındaki kritik debi değerlerini elde etmek için, diyagramın solunda, (i) satırında bulunan tasarrufu gereken yük kaybı değerinden, göz önüne alınan ardışık boru çaplarını gösteren kesik çizgiye kadar sağa gidilir ve buradan aşağıya inilerek kritik debi değeri bulunur. Bu örnekte, ana boru hattı, 10 atm işletme basınçlı sert PVC borulardan oluşturulacağı için Şekil 3.30'daki diyagram kullanılır. Örneğin, 90-110 mm boru dış çapları için kritik debi bulunmak istendiğinde, diyagramın sol tarafında, (i) satırındaki  $\Delta h_f = 0.30 \text{ m}/100 \text{ m}$  değerinden, 90-110 mm kesik çizgisine kadar gidilir ve buradan aşağı inilerek kritik debi  $Q = 3.2 \text{ L/s}$  olarak elde edilir.

Ana boru hattı yıllık maliyeti ile pompa birimi yıllık maliyeti toplamının en az olduğu, ana boru bölümlerindeki boru çaplarını bulmak için, Çizelge 3.9'da (j) satırındaki kritik debi değerlerinden yararlanılır. Boru bölümünde iletilecek debi, hangi iki kritik debi arasında kalıyorsa, aradaki kolonda, (a) satırında görülen çap, o boru bölümünün çapını verir. Örneğin, C-E boru bölümünde iletilecek debi,  $Q = 8.9 \text{ L/s}$ 'dir. Bu değer, (j) satırındaki 7.0 L/s ve 13.0 L/s kritik debi değerleri arasındadır. Aradaki kolonda, (a) satırında 125 mm dış çap yazılıdır. Dolayısıyla, C-E boru bölümü dış çapı 125 mm olacaktır. Benzer biçimde, P-A boru bölümünün dış çapı 160 mm ve A-C boru bölümünün dış çapı ise 140 mm bulunur. Bu sonuçlar, ayrıca, Çizelge 3.12'de gösterilmiştir.

Taşınabilir yağmurlama sulama sistemlerinde, ana boru hattı çapının saptanmasında Keller yöntemi, aynı biçimde uygulanır. Yalnız, bu tip sistemlerde, ana boru hattı yüzeye serildiğinden ve bir konumdan diğerine taşındığından, çap değişikliği yoluna gidilmez. Belirlenen sistem debisi, ana



Şekil 3.29. Sert PVC borularda (6 atm) yük kayıpları diyagramı



Şekil 3.30. Sert PVC borularda (10 atm) yük kayıpları diyagramı

Çizelge 3.12. Örneğe ilişkin ana boru hattı çapları

Boru bölümü	Debi, $Q$ (L/s)	Dış çap (mm)
P-A	22.4	160
A-C	17.9	140
C-E	8.9	125

boru hattı boyunca iletilir. Dolayısıyla, ana boru hattının tamamı aynı çaplı borulardan oluşturulur. Bu amaçla, yüzeye serili ana boru hatlarında kullanılan, 6 atm işletme basınçlı sert PE ve alüminyum borular için Şekil 3.25 ve 3.26 da verilen yük kayıpları grafiklerinden yararlanılabilir.

#### 6. aşama : Pompa birimi

Yağmurlama sulama sistemlerinde, uygun pompa birimi, sistem debisi, manometrik yükseklik ve kullanılması öngörülen pompanın karakteristik eğrilerine göre seçilir. Verilen örnekte, pompa biriminin seçilmesi aşağıda açıklanmıştır.

##### a) Ana boru hattında oluşan yük kayıpları

P-A boru bölümünde, debi,  $Q = 22.4$  L/s, boru hattı uzunluğu,  $L = 190$  m ve boru dış çapı 160 mm olduğundan, Şekil 3.30'dan yararlanarak;

$$h_{f P-A} = \frac{1.2}{100} \times 190 = 2.28 \text{ m}$$

A-C boru bölümünde, debi,  $Q = 17.9$  L/s, boru hattı uzunluğu,  $L = 108$  m ve boru dış çapı 140 mm olduğundan;

$$h_{f A-C} = \frac{1.50}{100} \times 108 = 1.62 \text{ m}$$

C-E boru bölümünde, debi,  $Q = 8.9$  L/s, boru hattı uzunluğu,  $L = 108$  m ve boru dış çapı 125 mm olduğundan;

$$h_{f C-E} = \frac{0.67}{100} \times 108 = 0.72 \text{ m}$$

ve ana boru hattında oluşan yük kayıpları;

$$h_f = h_{f P-A} + h_{f A-C} + h_{f C-E} = 2.28 + 1.62 + 0.72 = 4.62 \text{ m}$$

bulunur.



**b) Manometrik yükseklik**

Örnekte, kuyu dinamik yüksekliği,  $H_d = 40$  m, ana boru hattında E noktası ile pompa birimi arasındaki yükseklik farkı,  $h_g = 3.70$  m (bayır yukarı), ana boru hattında oluşan yük kayıpları,  $h_f = 4.62$  m ve ana boru hattında istenen basınç  $H = 33$  m olduğundan, manometrik yükseklik;

$$H_m = H_d \pm h_g + h_f + H = 40 + 3.70 + 4.62 + 33 = 81.32 \text{ m} \cong 81 \text{ m}$$

bulunur.

**c) Pompa birimi**

Piyasadan, manometrik yüksekliği,  $H_m = 81$  m ve debisi,  $Q = 22.4$  L/s özelliklerindeki, en yüksek pompa randımanına sahip uygun dalgıç tipi pompa seçilir.