

SULAMA SİSTEMLERİNİN TASARIMI

BİREYSEL YAĞMURLAMA SULAMA SİSTEMLERİNİN TASARIM İLKELERİ

Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi
Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü

Prof. Dr. Süleyman KODAL
Prof. Dr. Yusuf Ersoy YILDIRIM

BİREYSEL YAĞMURLAMA SULAMA SİSTEMLERİNİN TASARIM İLKELERİ

Bireysel yağmurlama sulama sistemlerinin tasarımında temel ilke:

- sulanacak alanın biçimi ve topografik yapısı, toprak özellikleri, tarımı yapılacak bitkiler, su kaynağı özellikleri, iklim koşulları, ekonomik koşullar ve çiftçi istekleri göz önüne alınarak, en uygun sistem tertibinin elde edilmesi,
- sistemi oluşturan unsurların seçilmesi ve boyutlandırılması,
 - uygun yağmurlama başlığının seçilmesi,
 - lateral ve ana boru hattı çaplarının bulunması ve
 - uygun pompa biriminin seçilmesi
- sistemin kurulması ve işletilmesi esaslarının belirlenmesidir.

Sistemin Tertiplenmesi

(Boru hatlarının konumlarının belirlenmesi)

- Lateral boru hatları, tesviye eğrilerine paralel (eğimsiz) ya da bayır aşağı eğimde döşenmelidir. Zorunlu kalmadıkça, bayır yukarı eğimde döşemekten kaçınmalıdır.
- Laterallerin el ile taşınacağı koşulda, çok uzun laterallerin kullanılmasından kaçınmalıdır. Lateral boyunun kısa olması durumunda, lateraller küçük çaplı borulardan oluşturulabilir ve taşınmaları daha kolay olur.
- Uygulamada, zorunlu kalmadıkça, lateral uzunluğunun 250 m'den fazla alınması önerilmemektedir.
- Ana boru hattı, laterallere dik olacak ve olanaklar ölçüsünde laterallere iki yönlü su verecek biçimde yerleştirilmelidir. Ancak, bu işlemi yapabilmek için sulanacak tarla parselinin en azından bir yönde eğimsiz sayılabilecek kadar düz olması gerekir.
- Laterallerin ana hat üzerindeki hareketi, en az iş gücüne gerek gösterecek biçimde düzenlenmelidir.
- Lateral boru hatlarının taşındığı portatif ya da yarı sabit sistemlerde, işletme kolaylığı açısından, yağmurlama başlıkları dikdörtgen ya da kare tertip biçiminde olmalıdır. Sabit sistemlerde ise, üçgen tertip biçimi tercih edilmelidir.
- Sistemin tertibi, sistem maliyetini en aza düşürecek biçimde yapılmalıdır.

Ön Projeleme Faktörleri

Her sulamada uygulanacak sulama suyu miktarı ve sulama aralığı

$$d_n = \frac{(TK - SN)R_y}{100} \gamma_t D \quad d_n = d_k DR_y \quad d_t = \frac{d_n}{E_a} \quad SA = \frac{d_n}{ET}$$

d_n = Her sulamada uygulanacak net sulama suyu miktarı, mm,

TK = Tarla kapasitesi, %,

SN = Solma noktası, %,

R_y = Kullanılabilir su tutma kapasitesinin tüketilmesine izin verilen kısmı
(yağmurlama sulama yöntemi için, tasarım aşamasında, 0.50 alınabilir),

γ_t = Toprağın hacim ağırlığı, g/cm³,

D = Sulama ile ıslatılacak toprak derinliği (genellikle etkili bitki kök derinliğine eşdeğerdir), mm ya da m,

d_k = Toprağın kullanılabilir su tutma kapasitesi, mm/m,

d_t = Her sulamada uygulanacak toplam sulama suyu miktarı, mm,

E_a = Su uygulama randımanı (tasarımı iyi yapılan yağmurlama sulama sistemleri için, su uygulama randımanları Çizelge 3.1'de verilmiştir), %,

SA = Sulama aralığı, gün

ET = Bitki su tüketimi, mm/gün

Yağmurlama Sulama Yönteminde Su Uygulama Randımanları, E_a (%)

Net sulama suyu miktarı, d_n (mm)	Bitki su tüketimi, ET (mm/gün)		
	5.0'ten az	5.0 - 7.5	7.5'tan fazla
	Ortalama rüzgar hızı 6.5 km/h'ten az		
25	66	65	62
50	70	68	65
100	75	70	68
150	80	75	70
	Ortalama rüzgar hızı 6.5 - 16.5 km/h		
25	65	62	60
50	68	65	62
100	70	68	65
150	75	70	68
	Ortalama rüzgar hızı 16.5 - 25 km/h		
25	62	60	58
50	66	62	60
100	68	65	62
150	70	68	65

Yağmurlama hızı ve sulama süresi

$$I_y = \frac{1000q}{S_1 \times S_2}$$

$$I_y \leq I \text{ olmalı}$$

$$T_a = d_t / I_y$$

I_y = Yağmurlama hızı, mm/h,

q = Başlık debisi, m³/h

S_1 = Lateral aralığı, m,

S_2 = Başlık aralığı, m,

I = Toprağın infiltrasyon hızı, mm/h,

T_a = Sulama süresi, h

d_t = Her sulamada uygulanacak toplam sulama suyu miktarı, mm

Yağmurlama sulamada, yağmurlama hızı, kesinlikle toprağın su alma hızından daha yüksek olmamalıdır ($I_y \leq I$).

Aksi durumda, toprak yüzeyinde suyun göllenmesi, yüzey akışı ve toprak erozyonu sorunu ile karşılaşılır.

Başlık tertip aralıkları

- Yağmurlama sulamada, başlık tertip aralıkları, $(S_1 \times S_2)$ terimi ile ifade edilir.
- Lateral aralığı (S_1) , lateral üzerindeki başlık aralığına (S_2) eşit ya da büyük olabilir $(S_1 \geq S_2)$.
- Başlık aralığı, lateral aralığından büyük olmamalıdır.
- Lateral aralığı, başlık ıslatma çapının (D) en çok % 65'i kadar olmalıdır $(S_1 \leq 0.65 D)$.
- Aksi durumda, sulanan alan üzerinde genellikle eş bir su dağılımı sağlanamaz.

Sulama süresi (T_a)

- Sulama süresi (T_a), lateralin bir konumda çalışacağı süreyi vermektedir.
- Günlük sulama süresi (T_g), lateralin gün içerisindeki durak sayısına bağlıdır.
- Lateral günde bir durakta çalışırsa, günlük sulama süresi, lateralin çalışacağı süreye eşit olur ($T_g = T_a$),
- Lateral günde iki durakta çalışırsa, günlük sulama süresi, lateralin çalışacağı sürenin iki katına eşdeğer olur ($T_g = 2T_a$).

Sulamanın tamamlanacağı gün sayısı

$$F \leq SA \quad F_{\min} = \frac{A d_t}{3.6 Q T_g}$$

F = Sulama aralığı boyunca sulamanın tamamlanacağı gün sayısı (kesirli çıktığında bir üst tam sayıya yuvarlatılır), gün,

A = Sulanacak alan, da,

d_t = Uygulanacak toplam sulama suyu miktarı, mm,

Q = Su kaynağının debisi, L/s ve

T_g = Günlük sulama süresi, h/gün'dür.

Sulamanın tamamlanacağı gün sayısı, sulama aralığına eşit alındığında, sistem debisi (su kaynağından alınacak suyun debisi) ve dolayısıyla sistem maliyeti en düşük düzeyde olur.

Ancak, bu koşulda her gün sulama yapmak gerekir ve bu durum çiftçinin sulamaya ayıracağı zaman açısından sorun olabilir.

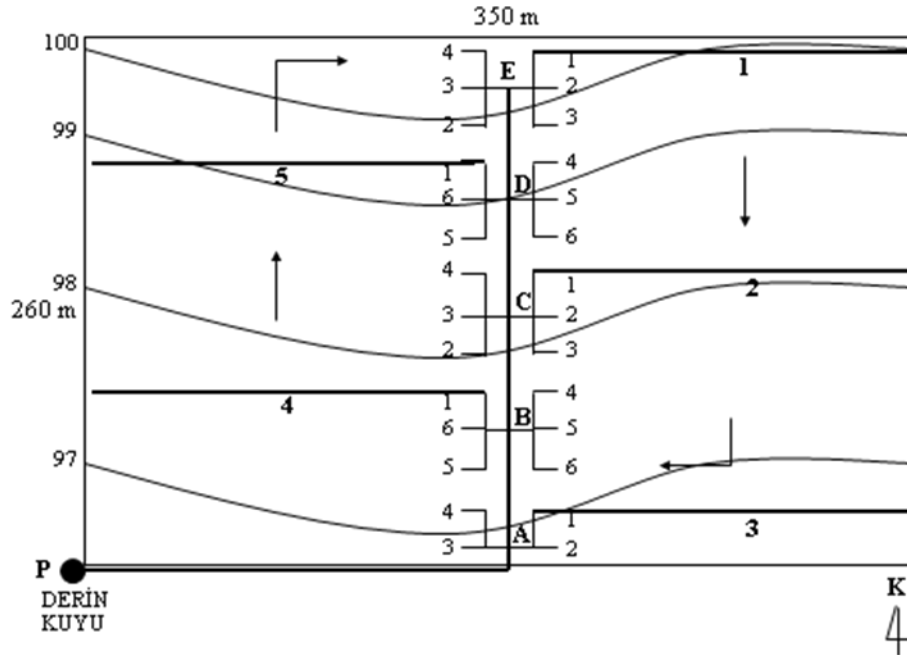
Ayrıca, ekim nöbetinde yonca vb. gibi yıl içerisinde çok sayıda biçim yapılan yem bitkileri varsa, biçim için yeteri kadar kuru toprak yüzeyi oluşturmak ve biçilen otun arazi yüzeyinde yeteri kadar kurummasını sağlamak için zaman ayırmak ve bu sürede sulama yapmamak gerekir.

Bu durumda, sulamanın tamamlanacağı gün sayısı, sulama aralığından, sözü edilen süre kadar daha düşük alınmalıdır.

Su kaynağı debisinin etkisi

Diğer yandan, sulamanın tamamlanacağı gün sayısını, **su kaynağının debisi** de sınırlar. Bu koşulda, sulamanın tamamlanacağı gün sayısı en az F_{min} kadar olmalıdır.

Tasarımcı, sulamanın tamamlanacağı gün sayısına karar verirken, tüm bu seçenekleri kullanıcıya (çiftçiye) açıklamalı ve bu değeri kullanıcı ile birlikte saptamalıdır.



Uygun Yağmurlama Başlığının Seçilmesi ve Sistem Tertibi

- Sulanacak alanın koşullarına uygun yağmurlama başlığının seçilmesinde, toprağın su alma hızı, bitki cinsi, rüzgar koşulları, basınç sınırlamaları, çiftçi istekleri vb. faktörler göz önüne alınır.
- Bu faktörlere göre, koşulları sağlayan birden fazla çözüm bulunabilir.
- Burada temel ilke,
 - seçeneksel çözümler içerisinde, en az sistem debisine sahip,
 - olanaklar ölçüsünde, düşük işletme basıncı,
 - geniş tertip aralıkları,
 - düşük lateral sayısı ve
 - düşük lateral debisini gerektiren yağmurlama başlığını seçmeye çalışmaktır.
- Uygun yağmurlama başlığının seçilmesinde, başlık üreten kuruluşların teknik çizelgelerinden yararlanır.

Yağmurlama başlığının teknik özellikleri

- Üretici kuruluşlar, ürettikleri değişik özellikteki her bir yağmurlama başlığının farklı meme çapları için, uygun işletme basınçları, bu basınçlardaki başlık debileri, ıslatma çapları, kabul edilebilir düzeyde eş su dağılımı sağlayan başlık tertip aralıkları ve yağmurlama hızları gibi teknik özellikleri verirler.

Yağmurlama Başlığı Teknik Özelliklerine İlişkin Örnek Çizelge

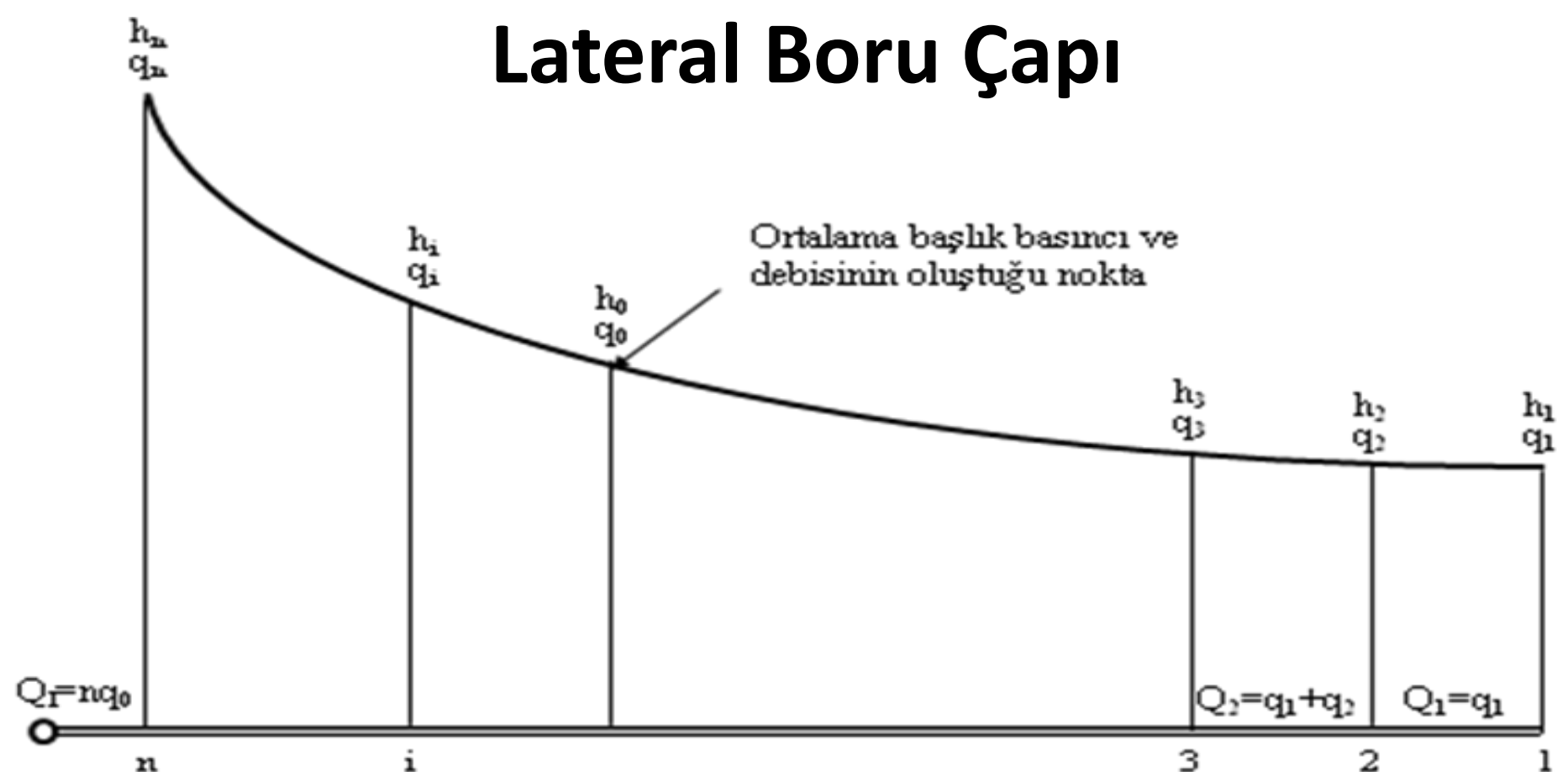
Meme çapı (mm)	İşletme basıncı (atm)	Başlık debisi (m ³ /h)	Islatma çapı (m)	Uygun tertip aralıklarında (S ₁ xS ₂ , m) yağmurlama hızı (mm/h)				
				12x12	18x12	18x18	24x18	24x24
				3.5	2.0	0.67	23.0	4.7
	2.5	0.74	23.0	5.1	-	-	-	-
	3.0	0.82	24.0	5.7	3.8	-	-	-
4.0	2.0	0.81	25.0	5.6	-	-	-	-
	2.5	0.91	27.0	6.3	4.2	-	-	-
	3.0	1.00	28.0	6.9	4.6	3.1	-	-
4.5	2.0	1.02	26.0	7.1	-	-	-	-
	2.5	1.14	27.0	7.9	5.3	3.5	-	-
	3.0	1.22	27.0	8.5	5.6	3.8	-	-
	3.5	1.32	28.0	9.2	6.1	4.1	-	-
5.0	2.5	1.44	30.0 30.0	10.0	6.7	4.4	-	-
	3.0	1.53	31.5	10.6	7.1	4.7	-	-
	3.5	1.61	32.0	11.2	7.5	5.0	-	-
	4.0	1.71		11.9	7.9	5.3	-	-

Meme çapı (mm)	İşletme basıncı (atm)	Başlık debisi (m ³ /h)	Islatma çapı (m)	Uygun tertip aralıklarında (S ₁ xS ₂ , m) yağmurlama hızı (mm/h)				
				12x12	18x12	18x18	24x18	24x24
				5.5	2.5	1.61	30.0	11.2
	3.0	1.76	31.0	12.2	8.1	5.4	-	-
	3.5	1.90	32.0	13.2	8.8	5.9	-	-
	4.0	2.04	32.5	14.2	9.4	6.3	-	-
6.0	2.5	1.88	31.0	13.1	8.7	5.8	-	-
	3.0	2.05	32.0	14.2	9.5	6.3	-	-
	3.5	2.19	32.5	15.2	10.1	6.8	5.1	-
	4.0	2.33	33.0	16.2	10.8	7.2	5.4	-
4.0/4.0	2.5	1.75	29.0	12.2	8.1	5.4	-	-
	3.0	1.92	29.5	13.3	8.9	5.9	-	-
	3.5	2.07	30.5	14.4	9.6	6.4	-	-
4.0/5.0	2.5	2.40	31.0	16.7	11.1	7.4	-	-
	3.0	2.65	31.5	18.4	12.3	8.2	6.1	-
	3.5	2.86	32.5	19.9	13.2	8.8	6.6	-
	4.0	3.03	33.5	21.0	14.0	9.3	7.0	5.3

Meme çapı (mm)	İşletme basıncı (atm)	Başlık debisi (m ³ /h)	Islatma çapı (m)	Uygun tertip aralıklarında (S ₁ xS ₂ , m) yağmurlama hızı (mm/h)				
				12x12	18x12	18x18	24x18	24x24
				4.0/6.0	2.5	2.93	33.0	20.6
	3.0	3.22	33.5	12.4	14.9	9.9	7.4	-
	3.5	3.51	34.5	24.4	16.3	10.8	8.1	6.1
	4.0	3.75	35.0	26.0	17.4	11.6	8.7	6.5
4.5/4.8	2.5	2.23	28.0	15.5	10.3	6.9	-	-
	3.0	2.45	30.0	17.0	11.3	7.6	-	-
	3.5	2.62	30.0	18.2	12.1	8.1	-	-
4.5/5.5	2.5	2.67	30.0	18.5	12.4	8.2	-	-
	3.0	2.93	31.0	20.3	13.6	9.0	-	-
	3.5	3.12	32.0	21.7	14.4	9.6	7.2	-

Meme çapı (mm)	İşletme basıncı (atm)	Başlık debisi (m ³ /h)	Islatma çapı (m)	Uygun tertip aralıklarında (S ₁ xS ₂ , m) yağmurlama hızı (mm/h)				
				12x12	18x12	18x18	24x18	24x24
				5.0/5.5	2.5	3.02	30.0	21.0
	3.0	3.29	31.0	22.8	15.2	10.2	-	-
	3.5	3.47	32.0	24.1	16.1	10.7	8.0	-
	4.0	3.67	33.0	25.5	17.0	11.3	8.5	-
5.5/5.5	2.5	3.16	30.0	21.9	14.6	9.8	-	-
	3.0	3.43	32.0	23.9	15.9	10.6	7.9	-
	3.5	3.75	33.0	26.02	17.4	11.6	8.7	-
	4.0	4.02	34.0	7.9	18.6	12.4	9.3	7.0

Lateral Boru Çapı



- Yağmurlama sulama sistemlerinde, lateral boru hattı boyunca başlık basınçları birbirinden farklıdır.
- Bunun nedeni, ardışık yağmurlama başlıkları arasında boru bölümlerinde oluşan **yük kayıpları** ve eğimden kaynaklanan **yükseklik farklarıdır**.
- Eğimsiz bir lateralde başlık basınçlarının dağılımı şekilde gösterilmiştir.
- Şekilden izleneceği gibi, başlık basıncı lateral başlangıcında en yüksek, lateral sonunda en düşük değerdedir.
- Bu başlık basınçlarının ortalaması, işletme basıncına eşdeğerdir.

Başlık debisi

$$q = 3600CA\sqrt{2gh}$$

Belirli özellikteki bir yağmurlama başlığında, başlık debisi, meme kesit alanı ile başlık basıncının işlevidir.

Başlık basınçlarındaki değişime bağlı olarak, lateral boyunca her bir yağmurlama başlığının debileri de birbirinden farklı olmaktadır.

q = Başlık debisi, m^3/h ,

C = Başlık yapım biçimine bağlı katsayı ($C = 0.80-0.95$)

A = Meme kesit alanı, m^2 ,

g = Yerçekimi ivmesi, m/s^2 ve

h = Başlık basıncı, m

Christiansen eş dağılım katsayısı

$$C_u = 100 \left(1 - \frac{\Delta \bar{q}}{\bar{q}}\right)$$

C_u = Christiansen eş dağılım katsayısı, %,

$\Delta \bar{q}$ = Başlık debilerinin ortalamadan olan mutlak sapmalarının ortalaması, m³/h ve

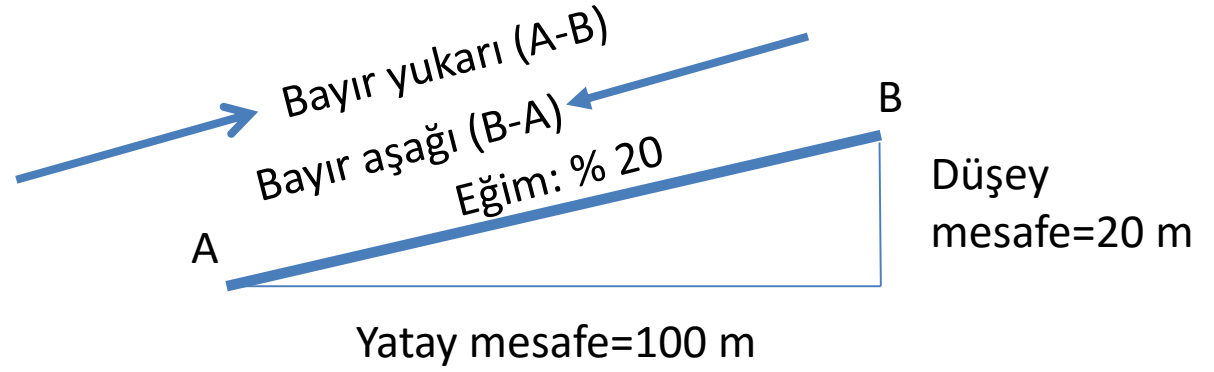
\bar{q} = Ortalama başlık debisi, m³/h

Lateral boyunca, kabul edilebilir düzeyde eş bir su dağılımı sağlamak için, başlık debileri arasındaki farklılığın belirli bir sınırı geçmemesi gerekir.

Lateral boyunca başlık debileri arasındaki farklılık düzeyi, Christiansen eş dağılım katsayısı ile ifade edilebilmektedir.

Lateral boru hattı boyunca, kabul edilebilir düzeyde eş su dağılımı açısından, lateral boru çapı $C_u \geq \% 97$ koşulunu sağlayacak biçimde seçilir.

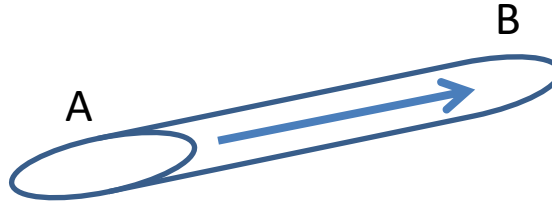
Eğim



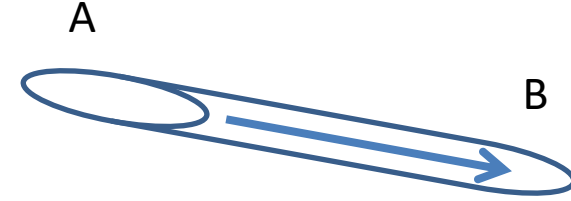
Lateral eğimi (yön önemli)



Yatay
Su akışı: A-B yönünde
Eğim: % 0



Eğimli
Su akışı: A-B yönünde
Bayır yukarı lateral
Eğim: % 2 (% + 2)
A dan B ye doğru
gidildikçe yükseklik
artıyor



Eğimli
Su akışı: A-B yönünde
Bayır aşağı lateral
Eğim: % 3 (% - 3)
A dan B ye doğru
gidildikçe yükseklik
azalıyor

C_u eş dağılım katsayısı grafikleri

Uygulamada yaygın olarak kullanılan sert PE ve alüminyum laterallerin değişik boru çapları için, C_u eş dağılım katsayısı grafikleri verilmiştir.

Grafiklerde;

h_{fl} = Lateral boyunca uç başlıklar arasında oluşan toplam yük kayıpları, m,

h_o = İşletme basıncı, m,

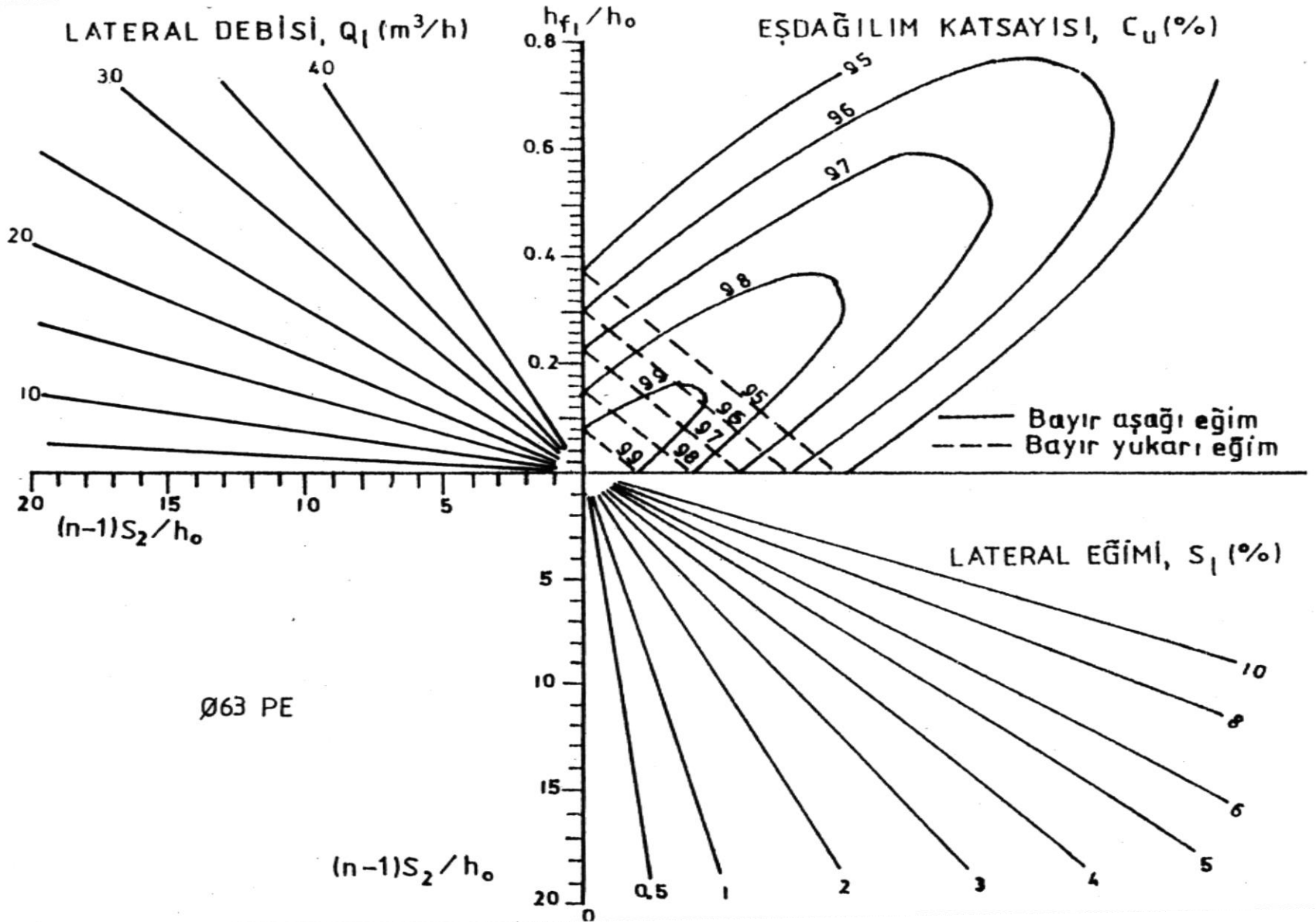
n = Lateral üzerindeki başlık sayısı, adet,

S_2 = Lateral üzerinde başlık aralığı, m,

Q_l = Lateral debisi, m^3/h ve

q = Başlık debisi, m^3/h

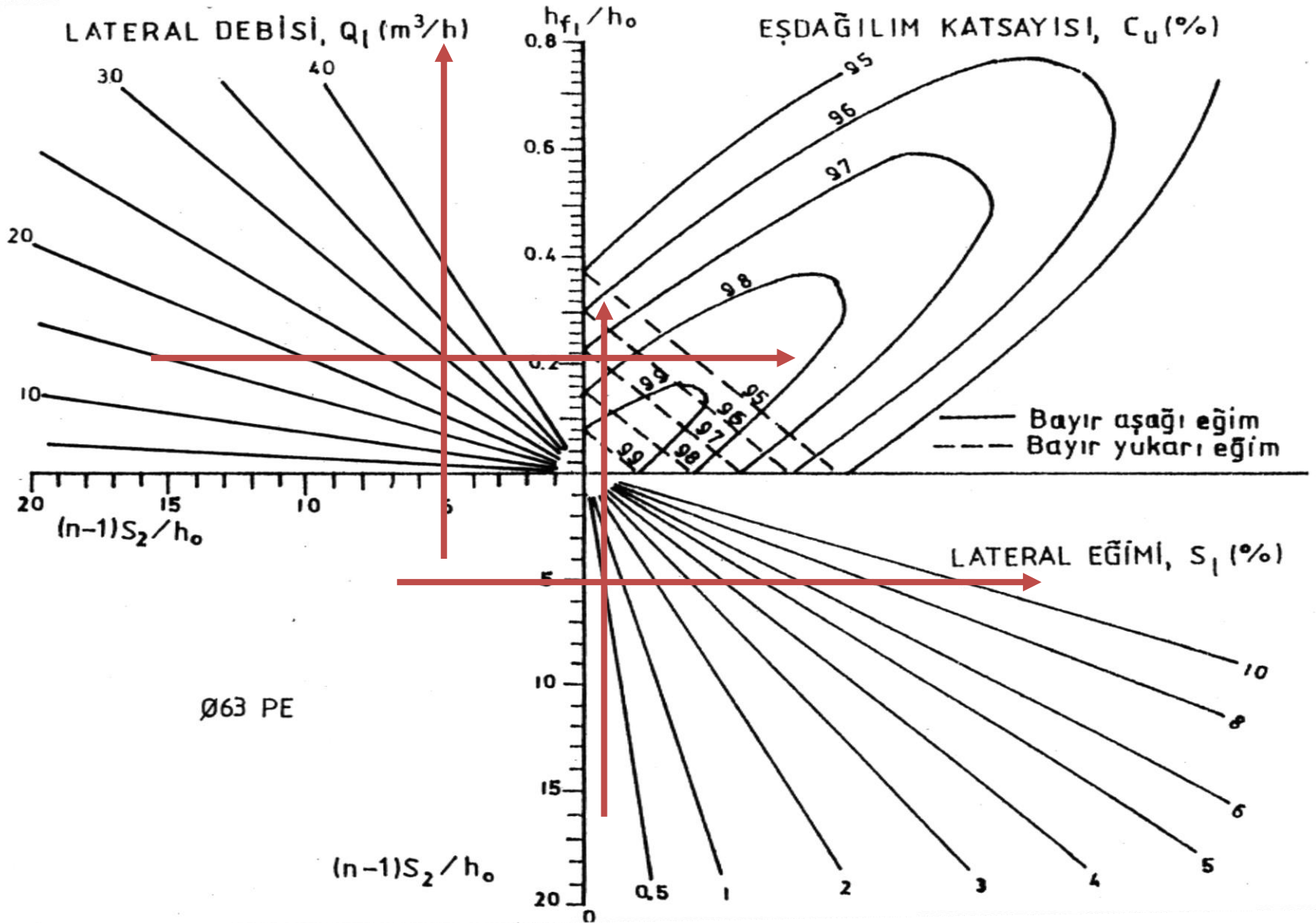
Dış çapı 63 mm olan sert PE lateraller için Cu eşdağılım katsayısı grafiği ($C_u \geq \% 97$ olmalı)



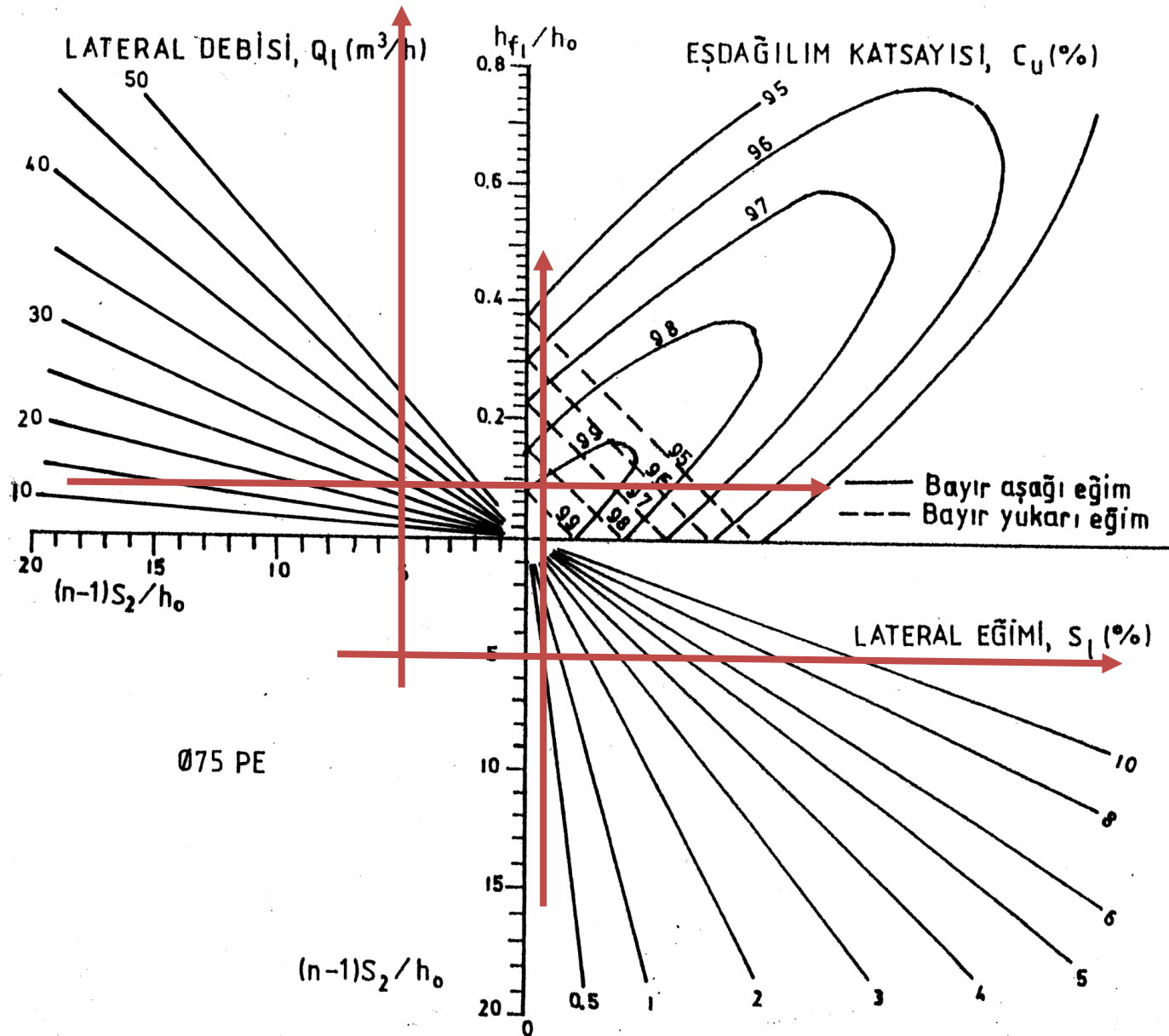
Cu grafiklerinin kullanımı-örnek

- Lateral dış çapı: 63 mm (sert PE)
- Lateral üzerindeki başlık sayısı (n): 8
- Lateral üzerinde başlık aralığı (S_2): 18 m
- İşletme basıncı (h_0): 25 m
- $(n-1)S_2/h_0 = (8-1)18/25 = 5.0$
- Lateral debisi (Q_1): 30 m³/h
- Lateral eğimi (S_1): % 0,5 (Bayır aşağı)
- Önce en küçük çap grafiğinden başlanır, Cu=% 97.6 > % 97 Uygundur (63 mm çaplı lateral üzerindeki başlık debileri değişimi kabul edilebilir sınırlar içerisinde) (Uygun değilse, bir üst çap için aynı işlem yapılır)
- $H_{f1}/h_0 = 0.21$
- **Lateral eğimi (S1): % 0,5 (Bayır yukarı) olsaydı:**
- 63 mm çap grafiğinde: Cu=% 96.8 < % 97 Uygun değil, bir üst çapa bakılmalı.
- 75 mm çap grafiğinde: Cu=% 98.4 > % 97 Uygun, lateral çapı 75 mm olmalı.
- $H_{f1}/h_0 = 0.10$

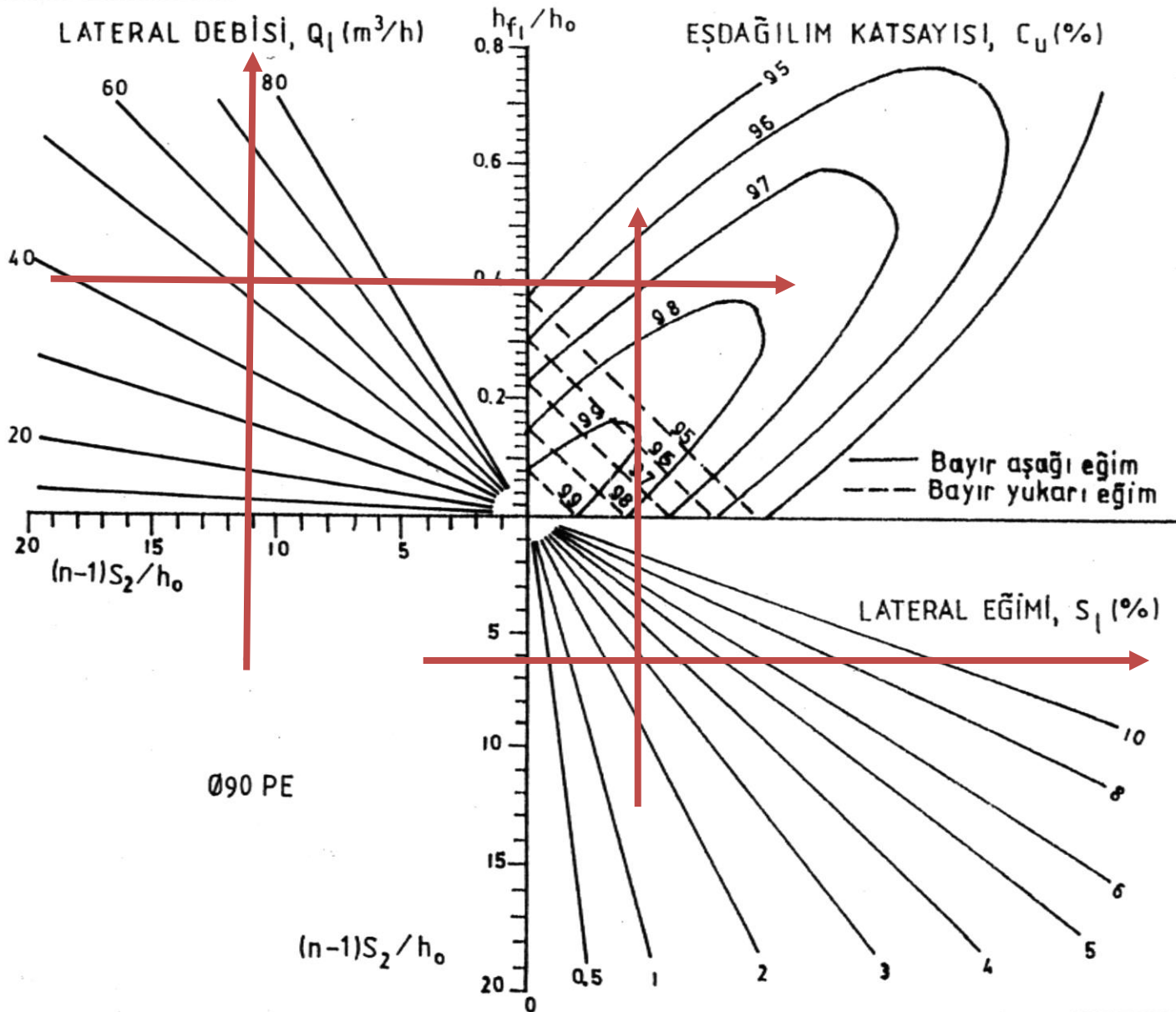
Dış çap 63 mm, sert PE lateral için Grafiğin kullanımı ($C_u \geq \% 97$ olmalı)



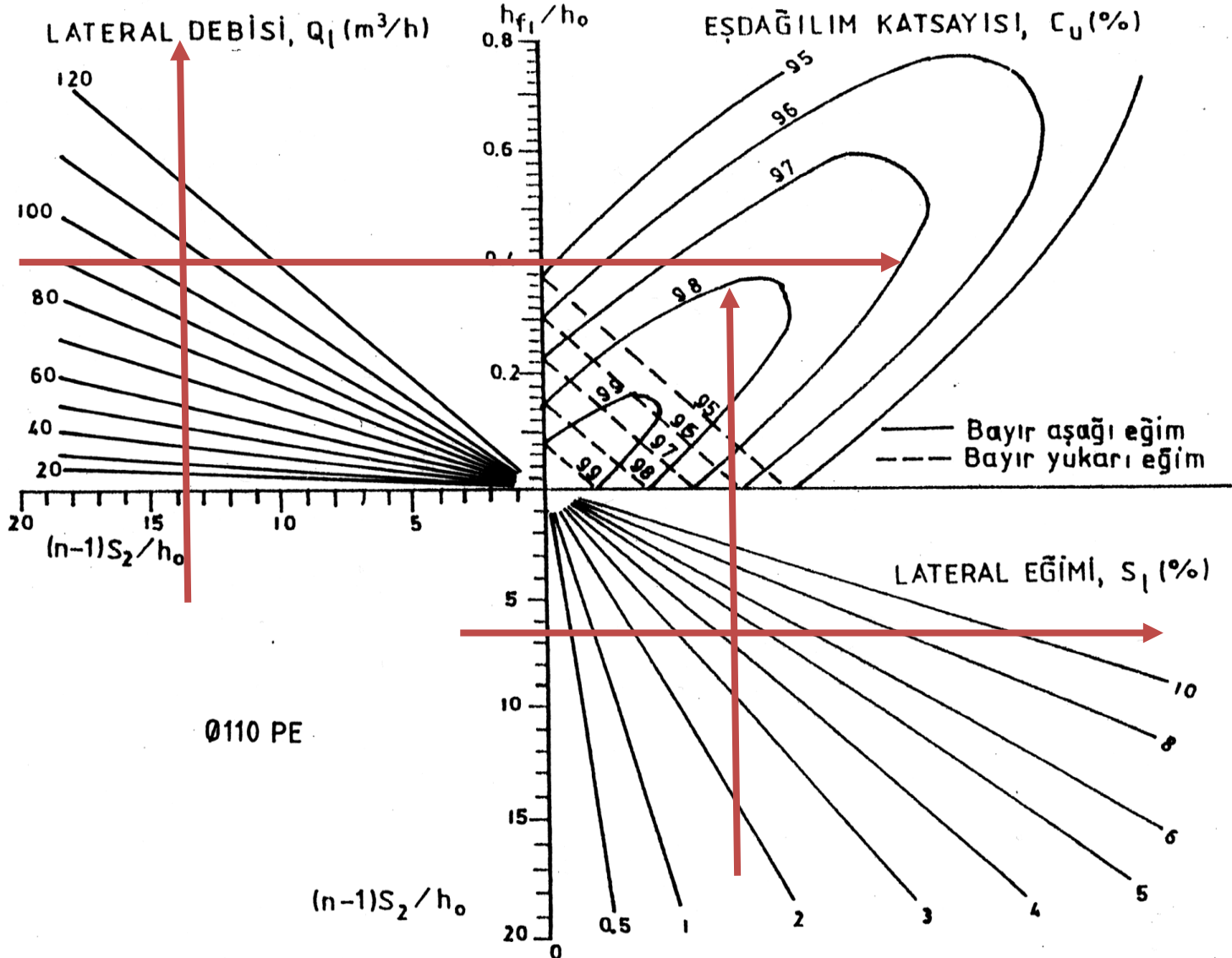
Dış çapı 75 mm olan sert PE lateraller için eşdağılım katsayısı grafiği



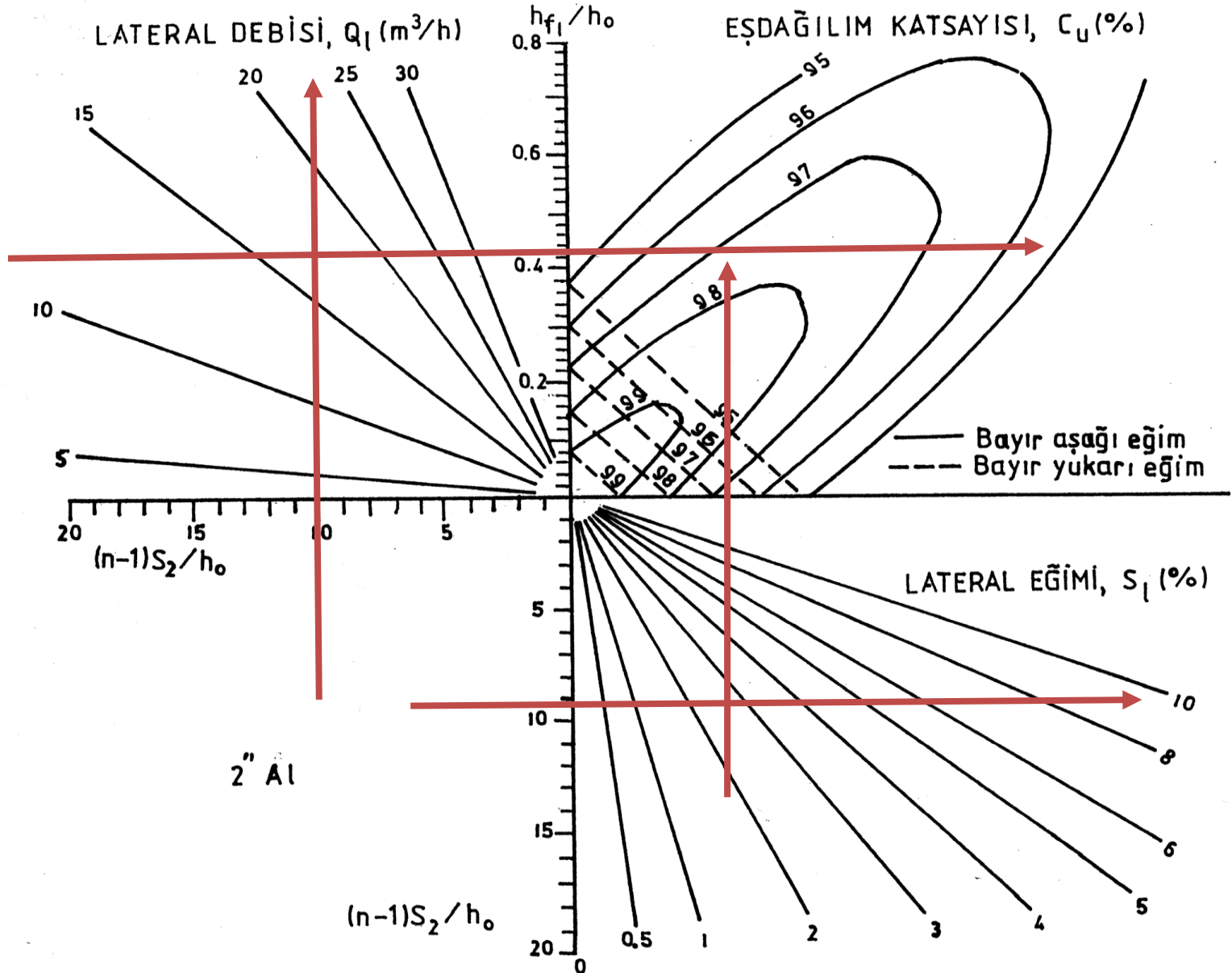
Dış çapı 90 mm olan sert PE lateraller için eşdağılım katsayısı grafiği



Dış çapı 110 mm olan sert PE lateraller için eşdağılım katsayısı grafiği

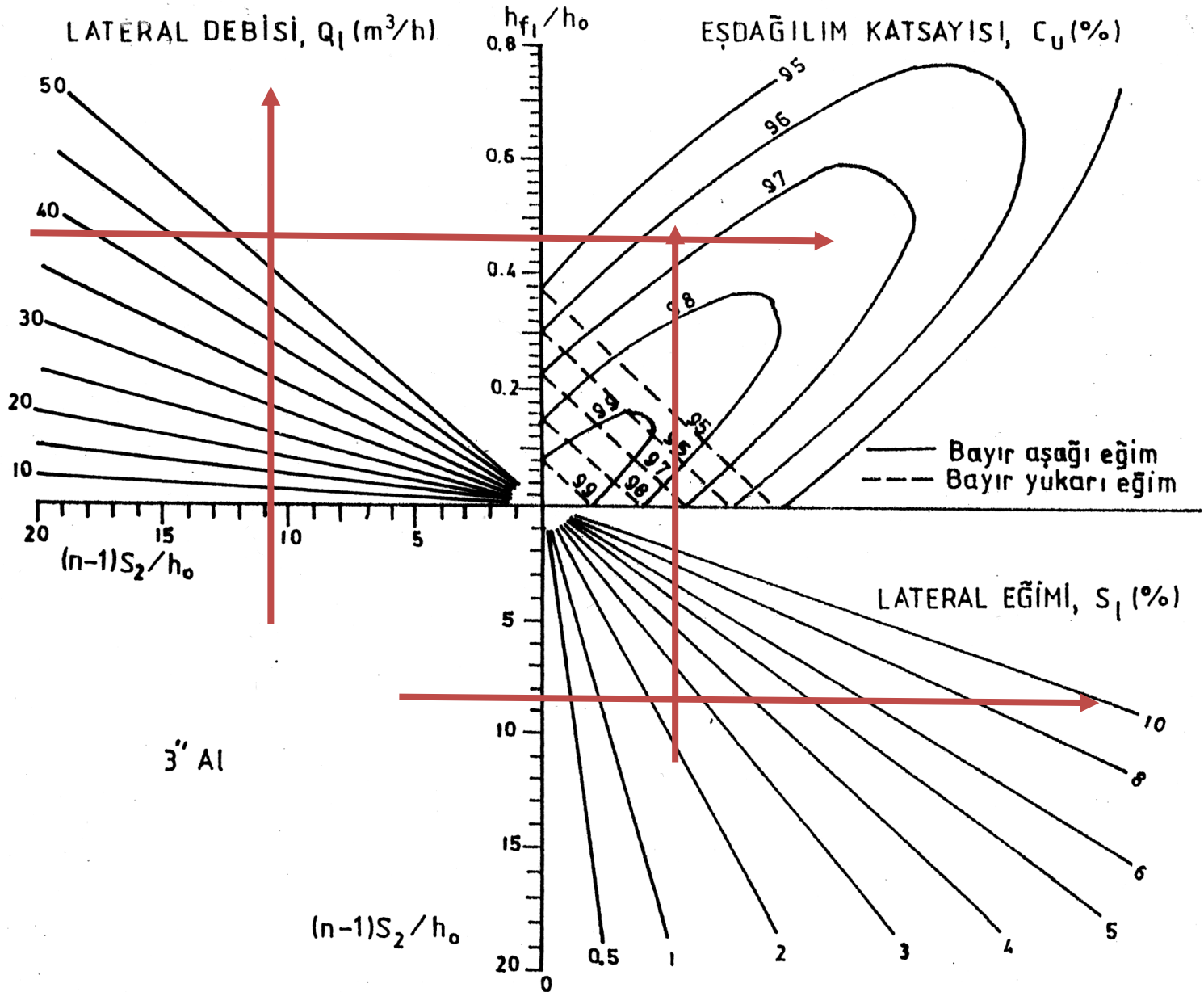


2" çaplı alüminyum lateraller için eşdağılım katsayısı grafiği

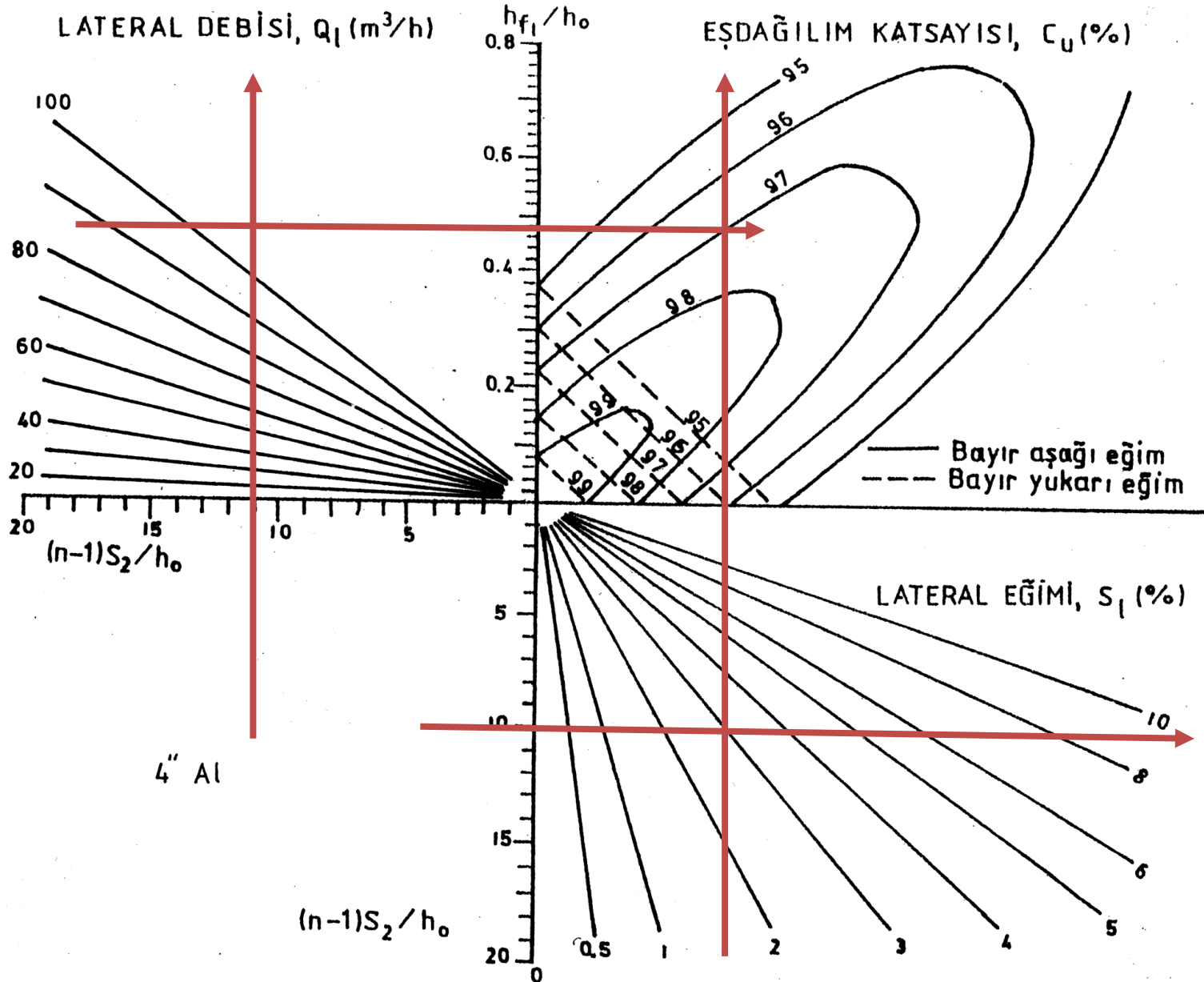


2" Al

3" çaplı alüminyum lateraller için eşdağılım katsayısı grafiği



4" çaplı alüminyum lateraller için eşdağılım katsayısı grafiği



Lateral başlangıcındaki başlık basıncı, lateral giriş basıncı ve ana boru hattında istenen basınç

$$h_n = h_o + (1 - E_o)h_{fl} \pm \frac{1}{2}h_{gl}$$

$$h = h_n + J + \Delta h_f \pm \Delta h_g$$

$$H = h + h_y$$

h_n = Lateral başlangıcındaki başlık basıncı, m,

h_o = İşletme basıncı, m,

E_o = Boyutsuz yük kayıpları parametresi (Şekilden),

h_{fl} = Uç başlıklar arasındaki lateral yük kayıpları, m,

h_{gl} = Uç başlıklar arasındaki yükseklik farkı (bayır aşağı eğimde işareti eksi alınır), m,

h = Lateral giriş basıncı, m,

J = Lateral boru hattı ile başlık arasındaki yükseltici boru boyu (sulanacak bitkinin yüksekliğine göre seçilir), m,

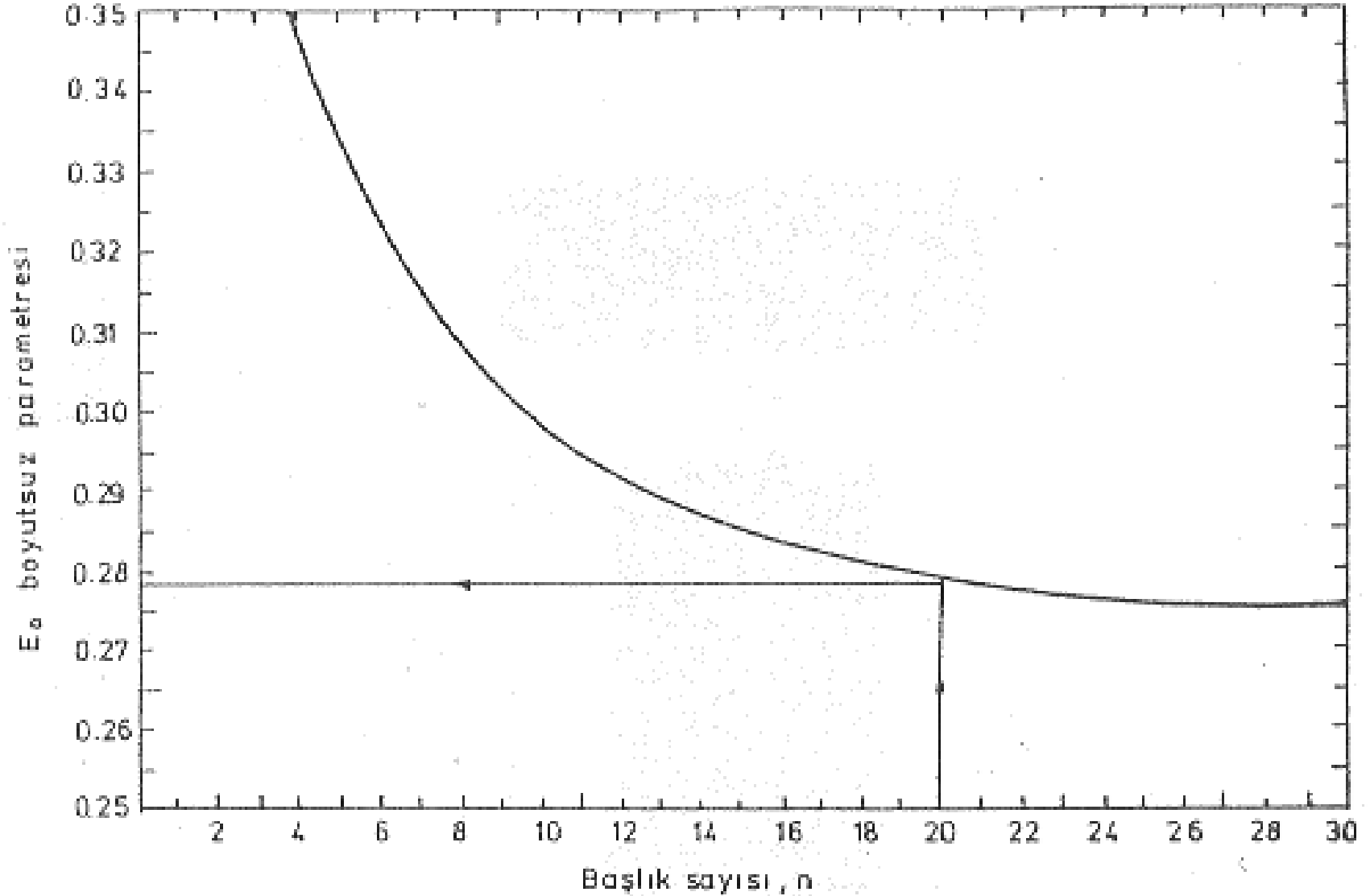
Δh_f = Lateralin bağlandığı ana boru hattı üzerindeki vana ile ilk başlık arasındaki lateral boru bölümünde oluşan yük kayıpları (Şekilden), m,

Δh_g = Lateralin bağlandığı ana boru hattı üzerindeki vana ile ilk başlık arasındaki lateral boru bölümünde yükseklik farkı (bayır aşağı eğimde işareti eksi alınır), m,

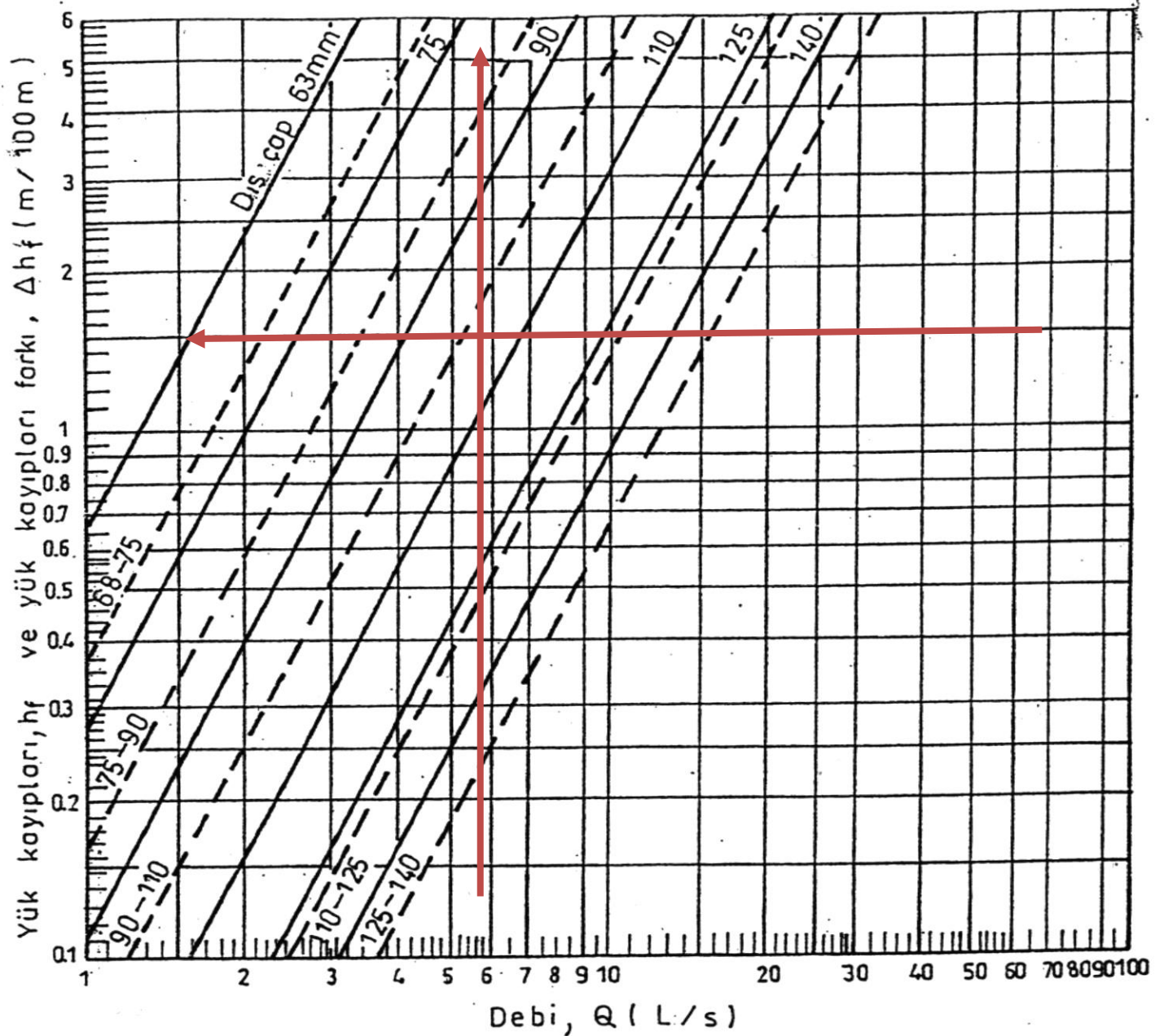
H = Ana boru hattında istenen basınç, m ve

h_y = Ana boru hattından laterale geçiş elemanlarında yersel kayıplar, m (yaklaşık olarak 1 m alınabilir)

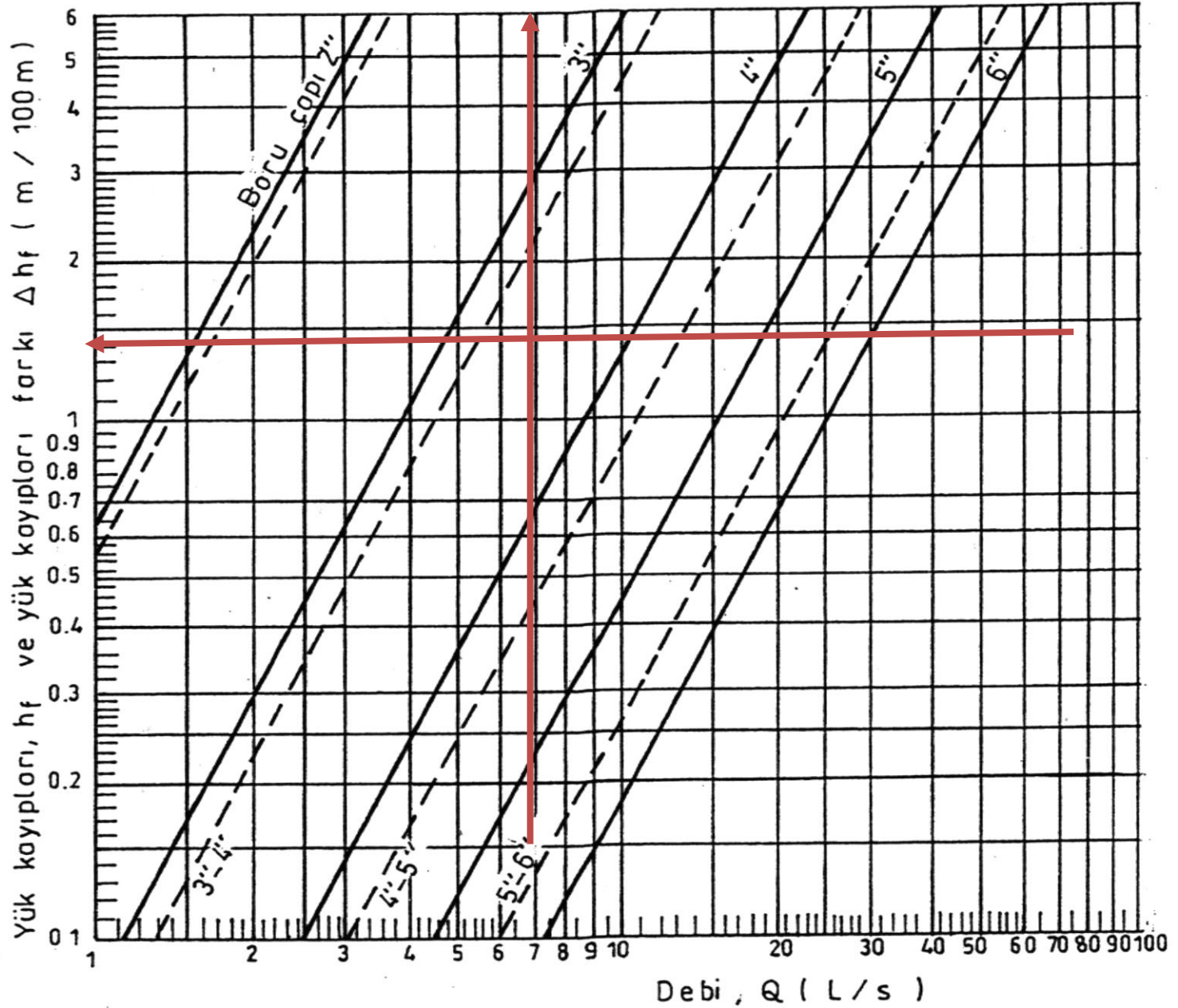
Yağmurlama sulama laterallerinde E_0 boyutsuz parametresi



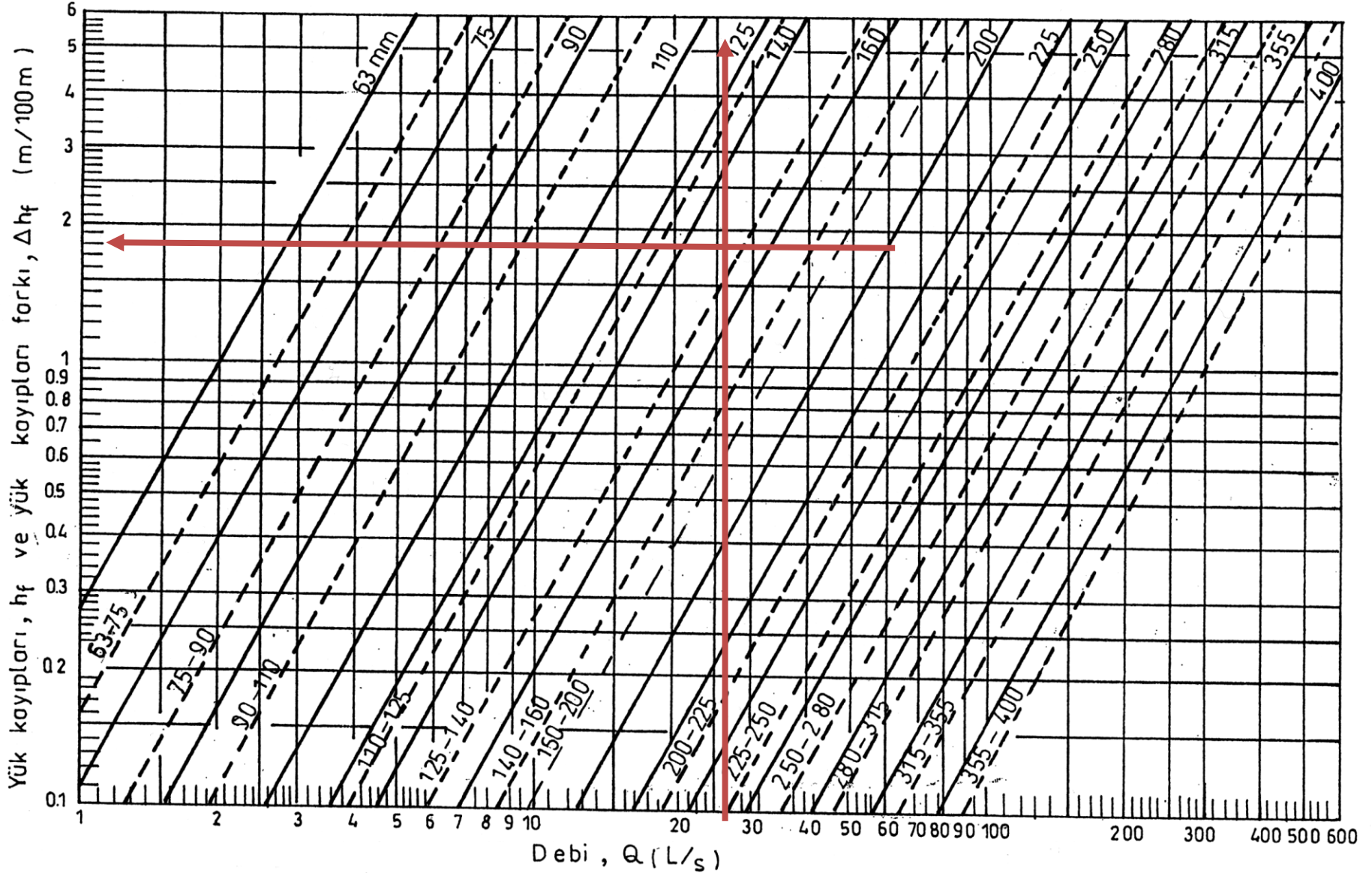
Sert PE borularda (6 atm) yük kayıpları grafiği (lateral-ana boru) (63-140 mm)



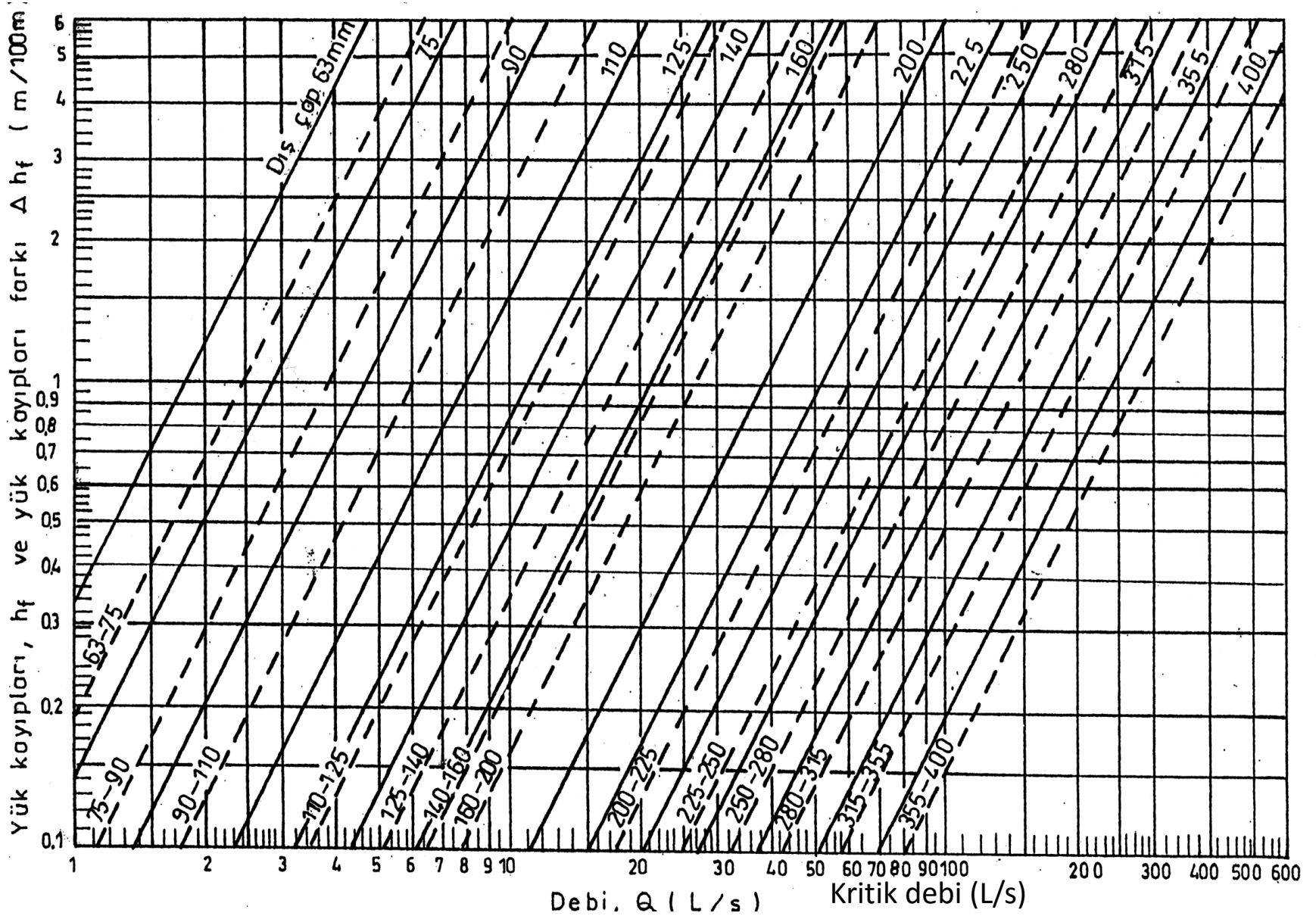
Alüminyum borularda (6 atm) yük kayıpları grafiği (lateral-ana boru) (2''-6'')



Sert PVC borularda (6 atm) yük kayıpları grafiği (lateral-ana boru) (63-400 mm)



Sert PVC borularda (10 atm) yük kayıpları grafiği (lateral-ana boru) (63-400 mm)

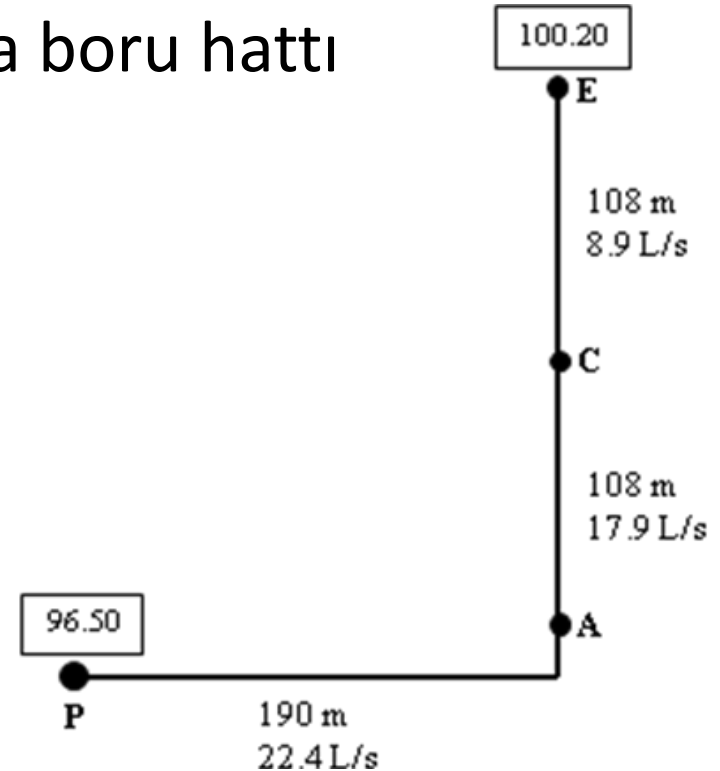


Ana Boru apı ve Pompa Birimi

- Yağmurlama sulama sistemlerinde, **ana boru hattı** ile **pompa birimi** birlikte değerlendirildiğinde, yıllık toplam masraflar açısından, birinin maliyeti düştüğünde diğlerinin maliyeti artar.
- Örneğın, boru çapı geniş olduğunda, ana boru hattı maliyeti artmasına karşın, ana boru hattında oluşacak yük kayıpları düşeceğı için, pompa birimi manometrik yüksekliğı ve buna bağılı olarak pompa gücü azalır ve pompa maliyeti düşer.
- Boru hattı çapı dar olduğunda ise boru hattı maliyeti azalır, pompa gücü ve pompa maliyeti artar .
- 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 bölümleri

- Bir ana boru hattı planı hazırlanır
- Ana boru hattının değişik bölümlerinin:
 - uzunlukları,
 - iletilecek debi deęerleri ve
 - kritik noktaların yükseklikleri ana boru hattı planı üzerine yazılır.

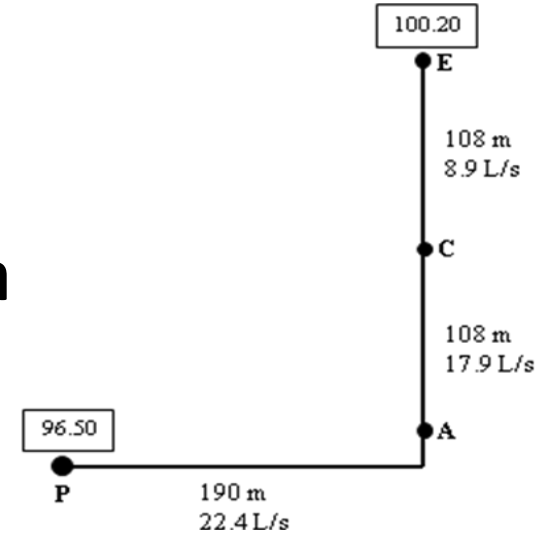


Ana boru hattı çapının saptanması

Ana boru hattı çapının belirlenmesi, aşağıdaki koşullara göre farklılık gösterir

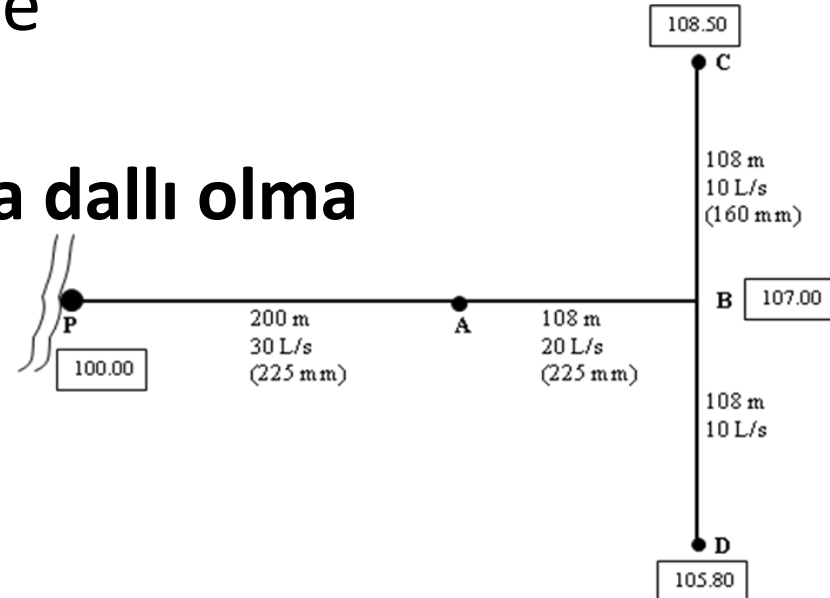
I. Gerekli basıncın sağlanma durumuna göre

- A. Gerekli basınç pompa birimi ile sağlanıyorsa
- B. Gerekli basınç yerçekimi ile sağlanıyorsa



II. Ana boru hattının tek hat veya dallı olma durumuna göre

- A. Ana boru hattı tek hat ise
- B. Ana boru hattı dallı ise



Ana boru hattı çapının saptanması alternatifleri

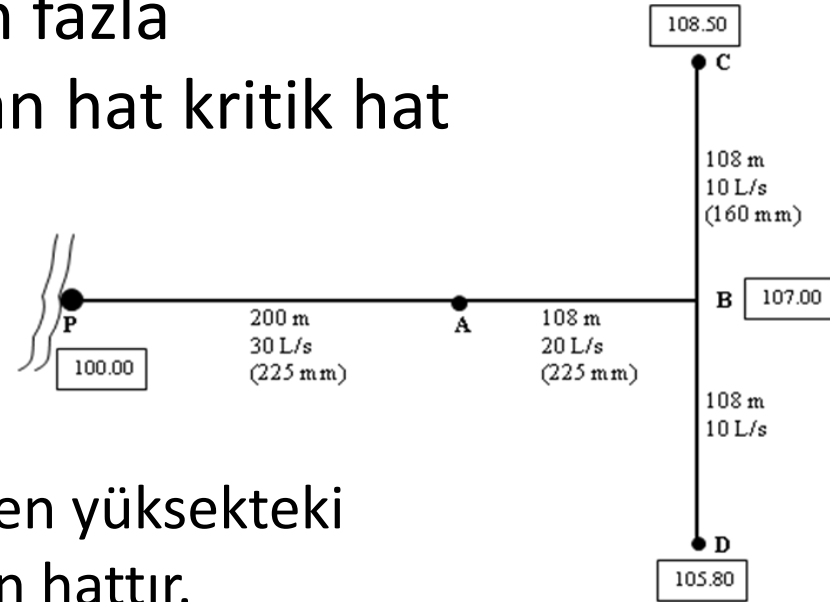
Basınç sağlanma durumu	Ana boru hattı	Yöntemler	Örnekler
Pompa birimi	Tek hat	Keller	Örnek sayfa 64
		Doğrusal programlama	Örnek sayfa 80
	Dallı	Keller	Örnek sayfa 84
		Doğrusal programlama	Örnek sayfa 93
Yerçekimi	Tek hat	Keller	
		Doğrusal programlama	
	Dallı	Keller	Örnek sayfa 96
		Doğrusal programlama	Örnek sayfa 100

Yöntemler

- **Keller yöntemi:** basit hatlarda kullanılır, elle çözüme olanak sağlar. Ana boru hattı yıllık maliyeti ile pompa birimi yıllık maliyeti toplamının en az olduğu boru çapları belirlenir.
- **Doğrusal programlama modeli:** basit ve karmaşık hatlarda kullanılabilir. Ana boru hattı yıllık maliyeti ile pompa birimi yıllık maliyet toplamını en az kılacak biçimde doğrusal programlama modeli oluşturulur.

Ana boru hattı dallı ise

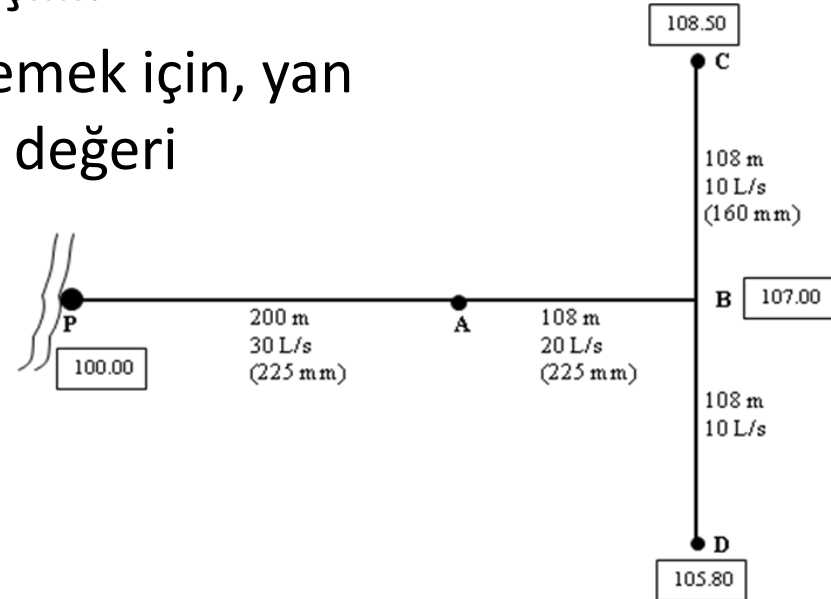
- Önce **kritik hat** ve **yan dallar** belirlenir.
- **Kritik hat:** Pompa biriminde en fazla manometrik yükseklik oluşturan hat kritik hat olarak seçilir.



- Kritik hat, genellikle, en uzak ve en yüksekteki noktayı pompa birimine bağlayan hattır.
- En yüksek nokta en uzakta değilse, herhangi bir yüksek noktayı pompa birimine bağlayan hat kritik hat olabilir, her nokta için yükseklik farkı ve yük kayıpları toplamının belirlenmesi ile kritik hat belirlenebilir.

Ana boru hattı dallı ise

- **Yan dal:** Kritik hat dışındaki hatlar yan dal durumundadır.
 - Yan dalların boru çapı izin verilen yük kayıpları dikkate alınarak saptanır.
 - İzin verilen yük kayıpları saptanır
 - İzin verilen yük kayıplarını geçmeyecek kadar yük kaybı oluşturan boru çapı seçilir.
 - İzin verilen yük kayıplarını belirlemek için, yan dal başlangıcında istenen basınç değeri hesaplanır.



Sistem Basıncının Yerçekimiyle Sağlanması Koşulunda Ana Boru Çapı

- Gerekli sistem giriş basıncının, dolayısıyla da işletme basıncının yerçekimi ile sağlandığı yağmurlama sulama sistemlerinde, ana boru çapı, ana boru hattında oluşacak yük kayıplarının, izin verilen yük kaybını aşmaması ilkesine göre saptanır (yan dal boru çapının saptanması ile aynı).
- Doğrusal programlama modeli ile çözümde, sistemde pompa birimi bulunmadığı için manometrik yükseklik kısıtı söz konusu olmaz.