



در شبکه های آبرسانی هر چه سرعت آب در لوله بالا رود، دبی عبوری از آن زیادتر میشود. از طرفی با لافتن سرعت باعث ایجاد افت فشار در لوله ها شده و افزایش افت فشار یعنی هدر رفتن انرژی، عبارت دیگر الکترو پمپها انرژی الکتریکی را به انرژی هیدرولیکی تبدیل نموده و باعث حرکت آب در لوله ها میگردند، جداره لوله ها و اتصالات در مقابل این حرکت مقاومت کرده و سبب میشود قسمتی از انرژی تولید شده صرفاً از بین رفتن اصطکاک جدار لوله شود. افت فشار مذکور متناسب با مجذور سرعت و یا مجذور دبی عبوری از لوله بوده و نسبت معکوس با قطر لوله دارد. طبق رابطه داری ویسباخ افت فشار در لوله از رابطه $\Delta P = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g}$ بدست میآید

که در آن :

ΔP : افت فشار در لوله بر حسب متر.

f : ضریب اصطکاک جدار لوله بوده که با استفاده از فرمول کلبروک وایت و یا دیاگرام مودی بدست میآید.

v : سرعت آب در لوله بر حسب متر بر ثانیه.

D : قطر لوله بر حسب متر.

L : طول معادل لوله از محل پمپاژ تا محل منبع و یا از محل منبع تا محل مصرف بر حسب متر میباشد چنانچه در رابطه داری ویسباخ از رابطه پیوستگی $Q = VA = \frac{\pi D^2 v}{4}$

بجای سرعت (v) دبی (Q) را جایگزین نمائیم خواهیم داشت :

$$\Delta P = \frac{8 f L}{\pi^2 g D^5} Q^2$$

با توجه به رابطه فوق الذکر جهت طرح یک لوله برای عبور دبی معینی چنانچه قطر لوله را بیش از اندازه کوچک بگیریم باعث ایجاد افت فشار زیاد در لوله شده و هدر رفتن انرژی هیدرولیکی ایجاد شده توسط الکترو پمپ را به دنبال خواهد داشت و این خود باعث میشود هزینه برق مصرفی در طول بهره برداری بالا رود و از طرفی چنانچه قطر لوله را بیش از اندازه بزرگ انتخاب نمائیم سبب بالا رفتن هزینه سرمایه گذاری میشود بنا بر این لازم است با توجه به دبی مورد نظر قطر لوله طوری انتخاب گردد که مجموع هزینه های سرمایه گذاری جهت احداث خط لوله و قیمت برق مصرفی که در طول بهره برداری باید پرداخت گردد حداقل باشد این قطر لوله را قطر اقتصادی آن مینامند.

مثال : تعیین کنید قطر اقتصادی لوله ای را که بتواند دبی ۲۰۰ لیتر در ثانیه را از خود عبور دهد بفرض اینکه عمر تاسیسات آبرسانی ۳۰ سال و جنس لوله از ایرانیت انتخاب گردد. با توجه به قیمت انرژی الکتریکی قیمت ۱ متر لوله ایرانیت با قطرهای مختلف و هزینه ۱ متر لوله گذاری که به ترتیب از برق منطقه ای کارخانه ایرانیت و فهرست بها سال ۶۸ استخراج گردیده است جدول شماره (۱) تنظیم شده است.

از جدول شماره (۱) مشخص است که قطر اقتصادی

جدول شماره (۱)

سرعت متر بر ثانیه	دبی لیتر در ثانیه	قطر لوله سیمتر	افت فشار متر بر متر	انرژی مصرفی در هر کیلووات ساعت	قیمت انرژی در هر کیلووات ساعت	هزینه انرژی تلف شده در ۳۰ سال در یک متر لوله (ریال)	هزینه لوله گذاری یک متر لوله (ریال)	هزینه کل لوله کشی (ریال)	هزینه کل لوله کشی در ۳۰ سال
۰/۵۲	۲۰۰	۷۰۰	۰/۰۰۰۳۷	۱/۰۵۷	۳	۸۳۳	۲۳۱۶۷	۲۷۶۶۷	۲۸۵۰۰
۰/۷۰	۲۰۰	۶۰۰	۰/۰۰۰۸۱	۲/۳۱	۳	۱۸۲۱	۱۸۵۳۲	۲۲۴۹۸	۲۴۳۱۹
۱/۰۲۳	۲۰۰	۵۰۰	۰/۰۰۲۰۷	۵/۹۱	۳	۴۶۵۹	۱۳۰۷۵	۱۶۶۶۶	۲۱۲۲۵
۱/۲۶	۲۰۰	۴۵۰	۰/۰۰۳۵۵	۱۰/۱۴	۳	۷۹۹۴	۱۰۶۱۶	۱۳۹۸۶	۲۱۹۶۲
۱/۵۹	۲۰۰	۴۰۰	۰/۰۰۶۵۵	۱۸/۷۱	۳	۱۴۷۵۰	۸۵۰۶	۱۱۶۸۹	۲۶۴۳۹
۲/۰۸	۲۰۰	۳۵۰	۰/۰۱۳۱۲	۳۷/۴۸	۳	۲۹۵۴۹	۶۶۸۵	۹۳۹۱	۲۸۹۴۰

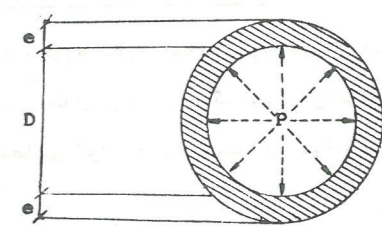
لوله برای دبی ۲۰۰ لیتر بین ۴۵۰ و ۵۰۰ میلی - متر و سرعت اقتصادی برای دبی مذکور بین ۱/۲ - ۱ متر در ثانیه میباشد.

محاسبه قطرها اقتصادی لوله های آب با استفاده از روابط فیزیکی و هیدرولیکی :

حال که مفهوم قطرها اقتصادی لوله های آب با توجه به مثال فوق مشخص گردید رابطه کلی قطرها اقتصادی لوله ها را برای انواع مختلف

آن با توجه به قیمت لوله، جنس لوله، قیمت انرژی و دبی عبوری از آن از طریق روابط هیدرولیکی و ریاضی محاسبه و استخراج مینمائیم.

در یک لوله بقطر D که تحت فشار داخلی P قرار دارد داریم:



$$P \cdot DL = \gamma_e \sigma L \quad \rightarrow \quad e = \frac{P \cdot D}{2\sigma} \quad (1)$$

e : ضخامت لوله بر حسب متر.
 σ : عبارتست از تنش مجاز برشی مصالح مصرف شده در ساختمان لوله.
 وزن ۱ متر لوله
 بر حسب تن: $\pi D e \gamma = \frac{\pi \times D \times \gamma}{2\sigma} \quad (2)$
 γ : عبارتست از وزن مخصوص مصالح مصرف شده در ساختمان لوله بر حسب تن بر متر مکعب. هزینه تهیه و نصب ۱ متر لوله.

$$K_o = \pi D e \gamma K = \frac{\pi \times D \times \gamma}{2\sigma} \times \gamma K \quad (3)$$

K : عبارتست از هزینه تهیه و نصب ۱ تن لوله. همچنین طی رابطه داری و بسپاخ داریم:

$$\Delta P = \frac{\lambda f L}{\pi^2 g D^5} Q^2$$

افت فشار به ازاء ۱ متر طول لوله برابر است با:

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{\lambda f}{\pi^2 g D^5} Q^2$$

(۴): انرژی الکتریکی تلف شده در اثر افت فشار در ۱ متر طول لوله بر حسب کیلووات برابر است با:

$$\frac{\lambda \times \Delta P \times Q}{\gamma} \times 10 = \frac{\lambda \times 100 f}{\gamma \pi^2 g} \times \frac{Q^2}{D^5}$$

$g = 10 \text{ m/sec}^2$ در نظر گرفته شده است.
 γ : وزن مخصوص آب میباشد ($\gamma = 1 \text{ T/m}^3$).
 راندمان اکتروپمپ $\eta = 0.7$ فرض شده است.

اگر قیمت ۱ کیلووات ساعت انرژی الکتریکی را a ریال فرض نمائیم داریم:

هزینه مقدار برق مصرف شده در ۳۰ سال بر حسب ریال.

$$\text{برابر است با: } \frac{\lambda \times 100 f}{\gamma \pi^2 g} \times \frac{Q^2}{D^5} \times 24 \times 365 \times 30 \times a$$

$$= 310826/43 f a \frac{Q^2}{D^5} \quad (5)$$

بنابراین تابع $f(D)$ که عبارت از هزینه سرمایه گذاری + هزینه برق مصرفی در طول بهره برداری میباشد بصورت زیر بیان میشود.

$$f(D) = 310826/43 f a \frac{Q^2}{D^5} + \frac{P \pi D \gamma}{2\sigma} K \quad (6)$$

برای پیدا کردن قطر اقتصادی لوله لازم است مقدار تابع فوق مینیمم باشد. بنابراین مشتق تابع فوق را بر حسب D مساوی صفر قرار میدهم.

$$f'(D) = 310826/43 f a \frac{(-5 D^{-6}) Q^2}{D^{10}} + \frac{P \pi D \gamma}{\sigma} K$$

$$f'(D) = 0 \rightarrow D^5 = \frac{1554182/15 \times f a Q^2}{\pi^2 \gamma K} \quad (7)$$

چنانچه از رابطه ۳ در رابطه ۷ جایگزین کنیم خواهیم داشت: قطر اقتصادی لوله \bar{D} .

$$\bar{D}^5 = \frac{777091 f a Q^2}{K_o} \quad (8)$$

در رابطه (۸):

Q : عبارتست از دبی عبوری از لوله بر حسب متر مکعب در ثانیه.

a : عبارتست از قیمت هر کیلووات ساعت انرژی الکتریکی بر حسب ریال.

D : عبارتست از قطر لوله بر حسب متر.

K_o : عبارتست از هزینه تهیه و نصب هر متر لوله بر حسب ریال.

f : ضریب اصطکاک لوله میباشد که بر حسب جنس لوله و ضریب زبری مربوطه متفاوت بوده و

از رابطه کلی کلبروک که بصورت زیر ارائه گردیده است قابل محاسبه میباشد:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \text{Log} \left(\frac{2.51}{\text{Re} \sqrt{f}} + \frac{E}{3.71 D} \right)$$

در رابطه فوق E ضریب زبری جدار لوله و D قطر لوله میباشد.

$\text{Re} = \frac{VD}{\nu}$: عدد رینولدز میباشد و از رابطه بدست میآید که در آن:

ν : سرعت بر حسب متر در ثانیه و D قطر لوله بر حسب متر و ν لزجت سینماتیکی مایع داخل لوله

میباشد که برای آب ۱۰ درجه سانتیگراد برابر $1/31 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{Sec}$ میباشد.

مودی فرمول فوق را بصورت نمودار ذیل حل نموده که با استفاده از آن میتوان ضریب اصطکاک f را بدست آورد.

مثال: مطلوب است قطر اقتصادی لوله مربوط به مثال جدول شماره (۱) در صورتیکه لوله از جنس ایرانیت و ضریب زبری آن $E = 0.4$ میلیمتر فرض شود.

حل: با فرض ضریب اصطکاک $f = 0.015$ و با توجه به هزینه تهیه و نصب لوله ایرانیت با قطرهای مختلف (جدول شماره ۲) و با استفاده از رابطه (۸) قطر اقتصادی لوله مذکور را محاسبه مینمائیم
 ۱ - قطر لوله را ۴۰۰ میلیمتر فرض مینمائیم در اینصورت با استفاده از رابطه (۸) خواهیم داشت.

$$\bar{D}^5 = \frac{777091 f a Q^2}{K_o} = \frac{777091 \times 0.015 \times (200)^2}{11689}$$

$$D = 0.457 \text{ متر}$$

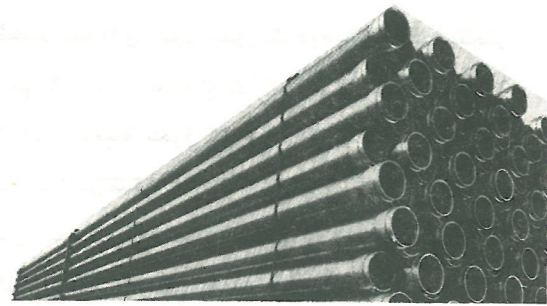
با توجه به قطر بدست آمده از دیگرام مودی مقدار ضریب اصطکاک f را استخراج مینمائیم.

$$\frac{E}{D} = \frac{0.0004}{0.457} = 0.00087$$

$$\nu = \frac{4Q}{\pi D^2} = \frac{4 \times 0.200}{3.14 \times (0.457)^2} = 1/22 \text{ m/Sec}$$

$$\text{Re} = \frac{VD}{\nu} = \frac{1/22 \times 0.457}{1/31 \times 10^{-6}} = 4/25 \times 10^5$$

با توجه به مقدار Re و $\frac{E}{D}$ مجدداً از دیاگرام مودی مقدار $f = 0.020$ بدست می‌آید. بنابراین قطر اقتصادی لوله مذکور می‌باشد لازم به ذکر است که با توجه به اینکه لوله در سایز ۴۷۵ میلیمتر تولید نمی‌شود قطر ۵۰۰ میلیمتر بعنوان قطر اقتصادی لوله مذکور انتخاب می‌گردد.



آمده است نتیجه می‌گیریم قطر اقتصادی لوله مذکور بین ۴۵۰ و ۵۰۰ میلیمتر می‌باشد بنابراین این مجدداً قطر ۴۷۵ متر را با استفاده از رابطه اقتصادی کنترل می‌نمائیم. هزینه تهیه و نصب لوله ۴۷۵ میلیمتر را با استفاده از هزینه مربوط به لوله‌های ۴۵۰ و ۵۰۰ میلیمتر و از طریق انترپوله بدست می‌آوریم.

هزینه تهیه و نصب لوله ۴۷۵ میلیمتر =

$$\text{ریال } 15326 = 13986 + (475 - 450) \times \frac{16666 - 13986}{500 - 450}$$

$$D^5 = \frac{777091 \times 0.020 \times (0.200)^3}{15326}$$

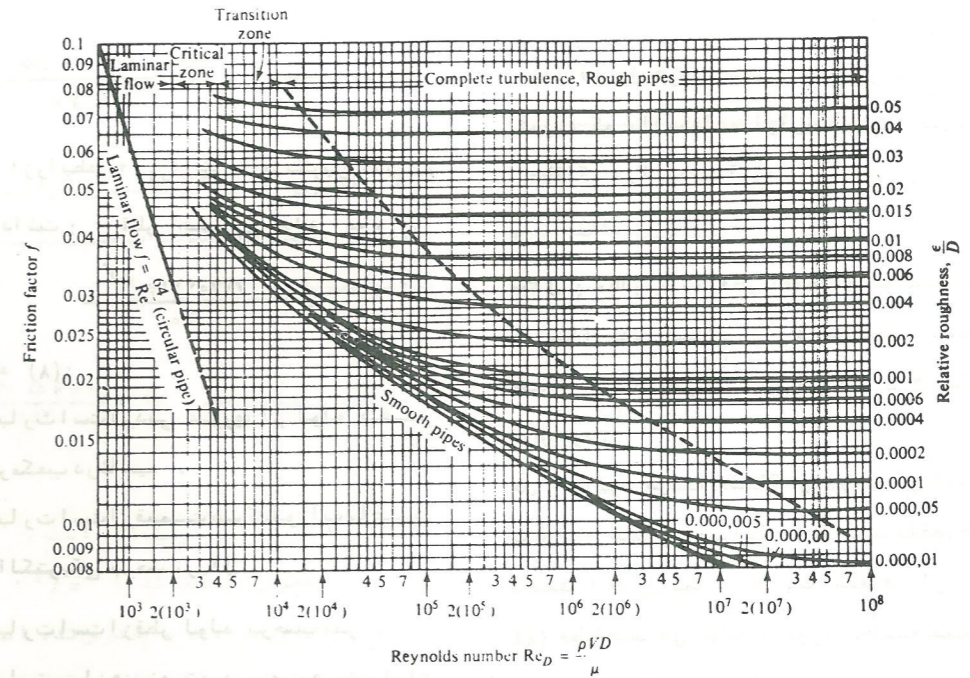
$$D = 0.475 \text{ متر}$$

با توجه به قطر بدست آمده $D = 0.475$ متر مجدداً f را با استفاده از دیاگرام مودی استخراج می‌نمائیم.

$$\frac{E}{D} = \frac{0.0004}{0.475} = 0.00084$$

$$V = \frac{4 \times 0.200}{3.14 \times (0.475)^2} = 1.13 \text{ m/Sec}$$

$$Re = \frac{VD}{\nu} = \frac{1.13 \times 0.475}{1.31 \times 10^{-6}} = 4.09 \times 10^5$$



دهیم داریم:

$$D^5 = \frac{777091 \times 0.020 \times (0.200)^3}{13986} \rightarrow D = 0.484 \text{ متر}$$

با توجه به اینکه مقدار $D = 0.484$ متر بدست

با توجه به مقدار Re و $\frac{E}{D}$ از دیاگرام مودی f برابر 0.020 بدست می‌آید. چنانچه مقدار $f = 0.020$ و هزینه تهیه و نصب لوله ۴۵۰ میلیمتر را در رابطه قطر اقتصادی قرار

جدول شماره (۲)

هزینه تهیه و نصب لوله (ریال)	قطر لوله (میلیمتر)
۹۳۹۱	۳۵۰
۱۱۶۸۹	۴۰۰
۱۳۹۸۶	۴۵۰
۱۶۶۶۶	۵۰۰