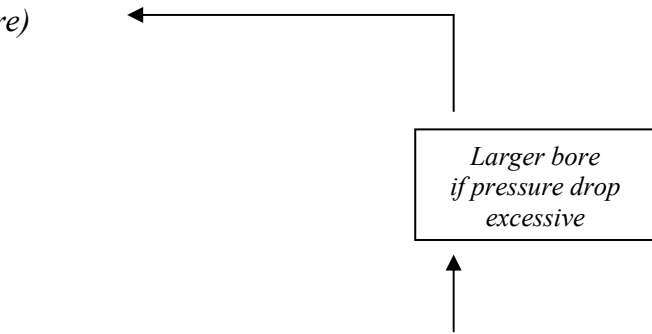


لوله کشی در سیستمهای هیدرولیک

وظیفه مجموعه سیستم لوله کشی در هیدرولیک، انتقال جریان روغن به المانهای مختلف میباشد. در پروسه انتقال، لوله ها تحت تاثیر تنش مکانیکی، حرارتی و خوردگی قرار میگیرند. این تنشها مهمترین عوامل در تعیین سایز و جنس لوله میباشد.

The sequence for the design and sizing of hydraulic system pipe work

- 1- *Circuit diagram*
- 2- *Specification*
- 3- *Pipe inside diameter (Nominal bore)*
- 4- *Selection of material*
- 5- *Rated pressure*
- 6- *Calculation of wall thickness*
- 7- *Instalation plan*
- 8- *Calculation of pressure drop*



عوامل موثر در تعیین سایز لوله

پارامترهای موثر در تعیین سایز لوله، قطر داخلی، ضخامت دیواره و جنس لوله میباشد.

عوامل موثر بر این پارامترها در جداول زیر ارائه شده اند:

دبی حجمی	قطر داخلی لوله
سرعت جریان	
ویسکوزیته روغن	
افت فشار	

فشار کاری (تنشهای خارجی)	ضخامت دیواره لوله
ضریب اطمینان	
خوردگی داخلی و خارجی	
مقاومت مواد	
دمای محیط کار	
ابعاد استاندارد	

پارامترهای مقاومتی	جنس لوله
پیش شرطهای کاربرد مواد (پرداخت سطح، جوش پذیری، ...)	
اثر خوردگی	
رنج دمای مجاز	

محاسبه قطر داخلی لوله

قطر داخلی لوله را از رابطه زیر میتوان محاسبه نمود:

$$d_i = 4.607 \sqrt{\frac{Q}{V}}$$

که در آن:

Q : دبی حجمی روغن عبوری از لوله (lit/min)

V : سرعت جریان روغن در لوله (m/sec)

d_i : قطر داخلی لوله (mm)

دبی حجمی روغن عبوری از لوله ها بر حسب زمانبندی و میزان مصرف کلیه المانهای موجود

در مسیر تعیین میشود. دبی مجاز عبوری از خطوط مکش و فشار بر حسب قطر لوله در

جدول زیر ارائه شده است. (لازم بذکر است که $1U.S.gallon = 3.87 lit$)

جدول (ع) - دبی عبوری از خطوط فشار و مکش

قطر لوله (اینچ)	دبی خط فشار (gpm)	دبی خط مکش (gpm)
3/8	5	2
1/2	8-10	3
3/4	25	5
1	40	10
1 1/4	50	18
1 1/2	75	35
2	100	75

سرعت جریان روغن در لوله ها را ميتوان از جدول زير استخراج نمود:

جدول (۵) - سرعت روغن در خطوط هيدروليک

خط مکش		خط فشار		خط برگشت
$v(cSt)$	$V(m/sec)$	$P(bar)$	$V(m/sec)$	$V(m/sec)$
150	0.6	25	2.5 to 3	1.7 to 4.5
100	0.75	50	3.5 to 4	
50	1.2	100	4.5 to 5	
30	1.3	200	5 to 6	
		>200	6	
		$v = \text{When}$ 30 to 150cSt		

اندازه های استاندارد قطر داخلی لوله ها در جدول زير بر حسب (mm) ارائه شده است:

<u>DN</u>	3	4	6	8	10	12	15	20	25
32	40	50	65	80	100	125	150	200	250
300	350	400	450	500	600	700	800	900	

قطر لوله های مربوط به مسیرهای فرمان معمولاً 1/8 و 1/4 اینچ و مسیر مربوط به گيچ ها 1/16 اینچ انتخاب ميشود.

تعيين جنس لوله

اصولاً تعيين جنس مواد سازنده لوله بر مبنای ميزان مقاومت مورد نیاز ميباشد. لوله های بکار رفته شده در هيدروليک معمولاً بدون درز ميباشند مگر در خطوط مربوط به مکش يا برگشت روغن.

جنس لوله های هيدروليک معمولاً St37.0, St37.4, St52.4, St35 و ... ميباشد.

جنس لوله هيدروليک بايد به نوعی باشد که فشارهای اعمالی به آن را بتواند تحمل کند.

فشارهای نامی هيدروليک در ادامه ارائه شده است:

جدول (۶) - فشارهای نامی در هيدروليک (bar)

1	10	100	1000
1.6	16	160	1600
2.5	25	250	2500
4	40	400	4000
6	63	630	6300

محاسبه ضخامت دیواره لوله های تحت فشار

محاسبه ضخامت دیواره لوله بر مبنای میزان فشار اعمالی در لوله انجام میپذیرد. تنش های

اعمالی در لوله را در سه Case مختلف به صورت ذیل میتوان طبقه بندی نمود.

Case I: تنشهای حالت پایدار تا ماکزیمم دمای ۱۲۰ درجه

Case II: تنشهای حالت پایدار برای دمای بالای ۱۲۰ درجه

Case III: تنشهای تکراری

برای محاسبه میزان ضخامت دیواره لوله از فرمولهای جدول زیر استفاده میشود.

جدول (۷) - فرمولهای محاسبه ضخامت لوله

Application limits	Type of stress	Formulae For theoretical wall thickness
$d_o/d_i \leq 1,7$ Temperature $\leq 120^\circ\text{C}$	I, primarily steady-state	$t = \frac{d_i \cdot p}{20 \frac{K}{S} \cdot v - 2p}$ (1)
a) $d_o/d_i \leq 1,7$ Temperature $> 120^\circ\text{C}$ b) $d_o/d_i \geq 1,1$ and $\leq 1,7$ Temperature $< 120^\circ\text{C}$	II, primarily steady-state	$t = \frac{d_i \cdot p}{(20 \frac{K}{S} - p) \cdot v}$ (2)
$d_o/d_i \leq 1,7$	III, repeated	t according to formulae (1) $t = \frac{d_i \cdot (p_u - p_d)}{20 \frac{K}{S} - 3 \cdot (p_u - p_d)}$ (3) Use t_{max} from a) and b)

که در آن:

S: ضریب اطمینان میباشد که در حالتی مختلف اعمال فشار در لوله بین 1.5 تا 1.8 در نظر

گرفته میشود.

K : ضریب مقاومت لوله میباشد. این ضریب برابر تنش تسلیم فولاد مربوط به لوله در نظر گرفته شده و بر حسب N/mm^2 بیان میشود.

t : ضخامت جداره لوله (mm)

d_o : قطر خارجی لوله (mm)

d_i : قطر داخلی لوله (mm)

p : فشار کاری سیستم (bar)

p_u, p_d : حداکثر و حداقل فشار موجود در سیستم (bar)

v : ضریب اثر جوش که بسته به نحوه و میزان بازرسی جوش بین 0.5 تا 1 در نظر گرفته میشود.

مراحل تعیین سایز لوله

(a) خطوط مکش و برگشت

با استفاده از فرمول $d_i = 4.607 \sqrt{\frac{Q}{V}}$ و در نظر گرفتن سرعت مناسب عبور روغن، قطر این لوله ها تعیین میشود.

(b) خطوط تحت فشار

۱- ابتدا با استفاده از فرمول $d_i = 4.607 \sqrt{\frac{Q}{V}}$ و در نظر گرفتن سرعت مناسب عبور روغن قطر داخلی مناسب تعیین میگردد.

۲- با استفاده از جداول مشابه جدول ذیل اولین اندازه مساوی یا بزرگتر از مقدار محاسبه شده را تعیین مینمائیم. بدین صورت ضخامت لوله (T) و قطر خارجی آن (d_o) نیز تعیین میگردد.

جدول (۸) - مشخصات لوله های تحت فشار

Tube 4 to 16 mm				Tube 18 to 42 mm			
d_o	T	d_i	PN	d_o	T	d_i	PN
4	1,0	2	400	18	1,5	15	160
6	1,0	4	320	20	3,0	14	320
6	1,5	3	400	22	2,0	18	160
8	1,5	5	320	25	3,0	19	250
10	1,5	7	320	25	4,0	17	320
10	2,0	6	400	28	3,0	22	160
12	1,5	9	160	30	4,0	22	250
12	2,0	8	320	35	3,0	29	160
12	3,0	6	400	38	4,0	30	160
15	1,5	12	160	38	5,0	28	250
16	2,5	11	320	42	3,0	36	160

۳- با توجه به تنشهای موجود در سیستم هیدرولیک و دمای کاری سیستم از فرمول مناسب در جدول (۷) استفاده نموده و مقدار t را محاسبه می نمائیم.

۴- مقدار $\frac{d_o}{d_i}$ را با استفاده از مقادیر مرحله (۲) چک نموده، در صورت نیاز لوله دیگری انتخاب مینمائیم.

۵- مقدار واقعی ضخامت مورد نیاز برای لوله را با استفاده از فرمول ذیل بدست می آوریم:

$$t_{ac} = t + C_2 \cdot \frac{100}{100 - C_1}$$

که در آن:

t : ضخامت محاسبه شده از فرمولهای جدول (۷) به (mm) میباشد.

C_1 : ضریب مربوط به تلرانسهای ساخت لوله و معمولاً برابر ۱۵ میباشد.

C_2 : ضریب مربوط به سایش و خوردگی است که در صورت وجود خوردگی برابر $1mm$ و در

صورت نبود خوردگی آن را برابر صفر در نظر میگیریم.

۶- در صورتیکه t_{ac} از مقدار انتخاب شده T کوچکتر باشد، مقدار T را به عنوان ضخامت

مناسب لوله در نظر میگیریم. در غیر این صورت از یک سایز با ضخامت بالاتر استفاده

مینمائیم.

مشخصات لوله ، تیوب و شلنگهای هیدرولیک

Steel pipes -۱

از قطر $\frac{1}{8}$ تا ۸ اینچ در صنعت هیدرولیک بکار می رود.

اتصالات رزوه ای حداکثر تا قطر ۱ 1/4 اینچ استاندارد می باشد و برای اندازه های بزرگتر از

فلنج های جوشی استفاده می شود.

Tubes -۲

تیوب ها با دارا بودن قابلیت خمکاری در انواع بدون درز و با درز جوش الکتریکی و یا جنس

های فولادی، آلومینیومی و مسی در دسترس می باشند. از تیوب های فولادی ضد زنگ

بدون درز که به خوردگی مقاوم بوده و کاملاً آینل شده اند در فشارهای حدود 200 bar می

توان استفاده نمود.

حداقل شعاع استاندارد برای خمکاری تیوب ها ۲/۵ تا ۳ برابر قطر خارجی آن ها می باشد.

Flexible hoses -۳

حداکثر فشار های کاری حدود 700 bar سهولت نصب، خاصیت جذب ضربات، باز و بسته

نمودن سریع اتصالات.

بیشتر شیلنگ ها هنگام قرار گرفتن تحت فشار تا ۵ درصد کاهش طول خواهند داشت

شعاع خم شیلنگ حداقل ۵ برابر قطر بیرون آن باید باشد. $R > 5do$

تعیین میزان افت فشار در لوله و نوع جریان

۱- افت فشار در اثر اصطکاک

روغن هیدرولیک در حین عبور از لوله ها، اتصالات و نقاط خم شده در مسیر و ... ایجاد اصطکاک نموده و این اصطکاک باعث ایجاد افت فشار در سیستم میگردد. میزان افت فشار در لوله ها و قطعات اتصالی از رابطه زیر بدست میاید:

$$\Delta P = P_1 - P_2 = \lambda_R \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{2}$$

در رابطه بالا λ_R که ضریب اصطکاک لوله میباشد، تابع عدد رینولدز است. عدد رینولدز برای روغن در حال حرکت در لوله به صورت زیر بیان میشود:

$$R_e = \frac{V \cdot d}{\nu} = \frac{V \cdot d \cdot \rho}{\eta}$$

که در این روابط داریم:

ΔP : افت فشار در طول لوله (Pa)

d : قطر داخلی لوله (m)

ρ : جرم حجمی روغن (kg/m^3)

ν : غلظت سینماتیکی (m^2/sec)

η : ویسکوزیته دینامیکی (Pa.sec)

R_e : عدد رینولدز (بدون واحد)

۲- ویسکوزیته

ویسکوزیته یا چسبندگی عبارتست از اصطکاک داخلی سیال و یا بعبارت دیگر، مقاومت سیال در مقابل جریان یافتن است. ویسکوزیته به دو صورت دینامیکی و سینماتیکی بیان میگردد. ویسکوزیته دینامیکی با حرف η نشان داده میشود و واحد آن در سیستم SI، بر حسب

Pa.sec یا $\frac{N \cdot sec}{m^2}$ میباشد. لازم به ذکر است که یک poise برابر با 0.1 Pa.sec میباشد.

ویسکوزیته سینماتیکی در سیستم SI بر حسب سانتی استوک (cSt) بیان میشود. یک سانتی

استوک برابر با یک $\frac{mm^2}{sec}$ میباشد. بر اساس استاندارد DIN ویسکوزیته روغنهای

هیدرولیک به صورت ارائه شده در جدول زیر میباشد.

جدول (۳) - ویسکوزیته روغن

<i>ISO VG</i>	<i>Viscosity (cSt)</i>
10	9-11
15	13.5-16.5
22	19.8-24.2
32	28.8-35.2
46	41.4-50.6
68	61.2-74.8
100	90-110
150	135-165

۳- محاسبه عدد رینولدز

از فاکتورهای مهم در محاسبه عدد رینولدز قطر اسمی لوله حامل روغن میباشد. اندازه اسمی مربوط به قطر لوله (*DN*) در جدول زیر ارائه شده است:

<i>DN</i>	3	4	5	6	8	10	12	15
20	25	32	40	50	65	80	100	125
150	200	300	350	400	450	500	600	700

برای محاسبه عدد رینولدز از روابط زیر میتوان استفاده نمود:

$$R_e = \frac{1000.V.d}{\nu}$$

که در آن :

ν : ویسکوزیته روغن (*cSt*)

d : قطر لوله (*mm*)

V : سرعت روغن (*m/sec*)

دبی عبوری روغن از لوله را از رابطه زیر میتوان محاسبه نمود:

$$Q = \frac{6}{100} \cdot V \cdot A$$

که در آن :

V : سرعت روغن (m/sec)

A : سطح لوله (mm^2)

Q : دبی روغن (lit/min)

از رابطه بالا سرعت روغن در لوله را بر حسب دبی و قطر لوله به صورت زیر میتوان محاسبه نمود:

$$V = \frac{200}{3 \cdot \pi} \cdot \frac{Q}{d^2}$$

که در آن:

Q : دبی روغن (lit/min)

d : قطر لوله (mm)

V : سرعت روغن (m/sec)

با استفاده از رابطه اخیر عدد رینولدز را به صورت زیر میتوان محاسبه نمود:

$$R_e = \frac{2 \times 10^5}{3 \cdot \pi} \cdot \frac{Q}{\nu \cdot d}$$

که در آن :

Q : دبی روغن (lit/min)

d : قطر لوله (mm)

ν : ویسکوزیته روغن (cSt)

چنانچه عدد رینولدز که از رابطه بالا محاسبه شود کمتر از 2300 باشد، جریان در لوله به صورت آرام خواهد بود و در نتیجه کمترین افت بواسطه اصطکاک در لوله ایجاد میگردد. اما در صورتی که عدد مذکور بزرگتر از 2300 باشد جریان به صورت مغشوش در میاید و در نتیجه افت فراوانی در لوله بواسطه اصطکاک بوجود خواهد آمد.

۴- عوامل موثر در افت فشار

با توجه به موارد ذکر شده، عوامل ایجاد افت فشار در یک سیستم هیدرولیک را به صورت

زیر میتوان خلاصه نمود:

۱- نوع جریان (آرام یا مغشوش)

۲- سرعت سیال

۳- قطر لوله

۴- ویسکوزیته روغن

۵- دبی روغن

۶- تغییر سطح لوله

۷- ناهمواری سطح لوله

۸- خم و نقاط اتصالی

۹- نشست روغن