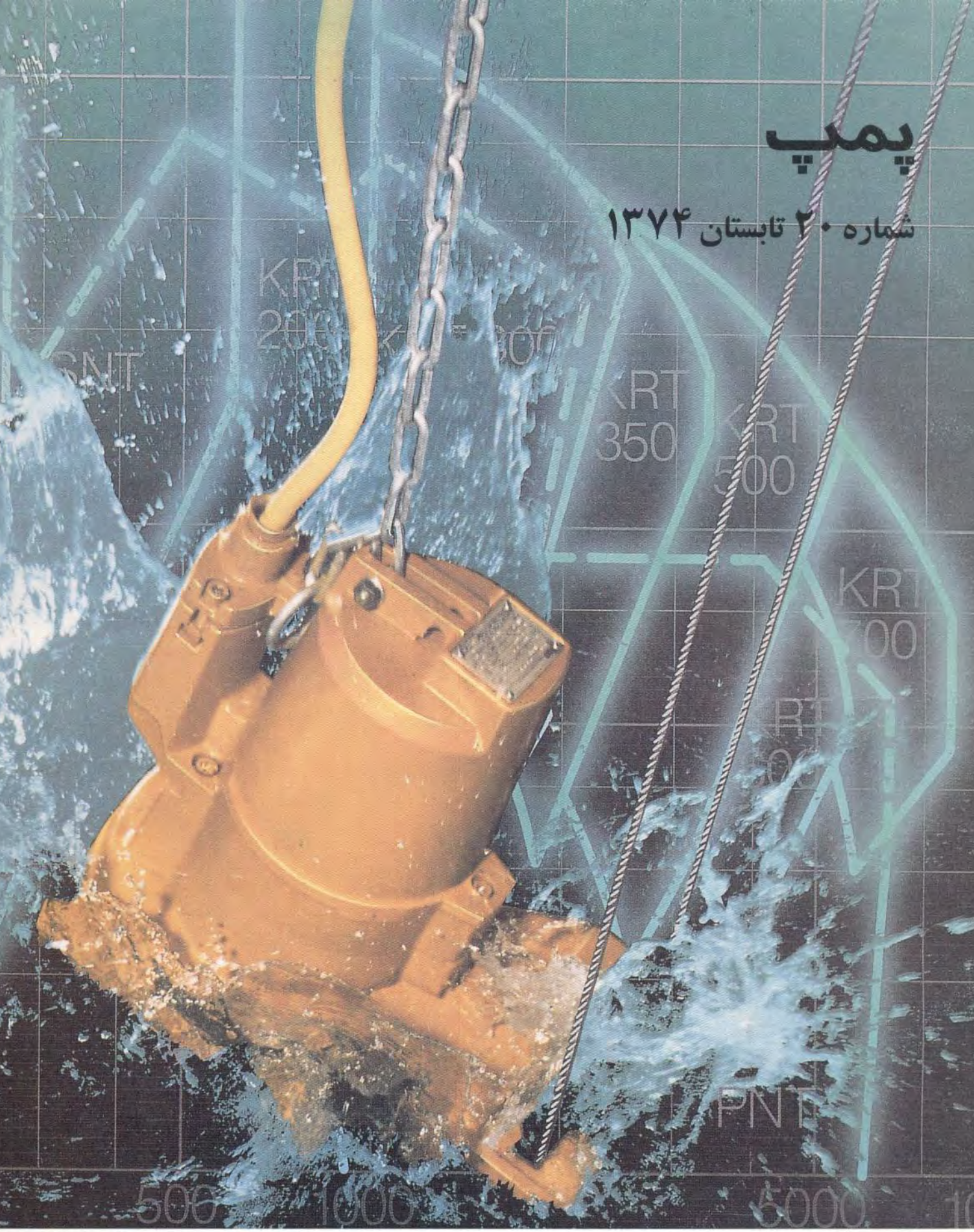


پمپ

شماره ۲۰ تابستان ۱۳۷۴

نشریه فنی و آموزشی شرکت صنایع پمپ‌سازی ایران (سهامی عام)

الکتروپمپ لجن‌کش شناور

نشریهٔ فنی آموزشی پمپیران

شماره ۲۰

شهریور ۱۳۷۴

شرح روی جلد

تولیدات الکتروپمپ‌های لجن‌کش ساخت پمپیران

نام نشریه : پمپ

صاحب امتیاز : شرکت صنایع پمپ سازی ایران - پمپیران (سهامی عام)

مدیر مسئول : مهندس میر بیوک احقاقی

سردبیر : مهندس اکبر اسماعیلی ترکانپوری

هیئت تحریریه : گروه مهندسین و متخصصین شرکت صنایع پمپ‌سازی ایران

حروفچینی انتشارات گلباد ☎ ۳۴۴۸۵۷

لیتوگرافی : روا ۶۸۵۶۱ - ۶۸۴۸۰

چاپ : طلوع ۶۷۵۹۰

نشانی نشریه : تبریز: قراملک مجتمع ماشین‌سازی تبریز - صندوق پستی ۱۳۵ - ۵۱۸ شرکت صنایع پمپ‌سازی ایران - دفتر مدیر مسئول نشریهٔ پمپ تلفن ۲۵ - ۴۵۶۷۲۳

بسم الله الرحمن الرحیم

در این شماره می‌خوانید :

اندازه‌گیری دبی آب در کانالهای روباز با استفاده از سرریز

مهندس میربیوک احقاقی ۱

بارهای هیدرولیک در پمپ‌های گریز از مرکز «قسمت اول»

مهندس اکبر اسماعیلی ترکانپوری ۱۷

کارکرد پمپها در شرایط سخت

مهندس مجتبی حباری‌مقدم ۲۷

پمپ‌های عمودی - «قسمت اول»

مهندس بابک رصوی‌اقدم ۳۷

ارتباط کاویتاسیون و سرعت ویژهٔ پمپ

مهندس سیدبهزاد مبین ۴۷

دانشگاهیان ، محققین ، مهندسین ، صنعتگران و هموطنان گرامی :

نزدیک به یک دهه است که شرکت پمپیران افتخار دارد تنها نشریهٔ فنی آموزشی مرتبط با پمپ را در ایران منتشر نماید . هدف از انتشار این نشریه بالا بردن آگاهی علمی و فنی پرسنل شرکت و سایر هموطنان در ارتباط با مسائل پمپ و پمپاژ می‌باشد . تاکنون هیئت تحریریهٔ نشریه پمپ تلاش نموده تا با ارائه مقالاتی در رابطه با طراحی ، ساخت ، مونتاژ و نصب و بهره‌برداری پمپ‌ها ، ایستگاههای پمپاژ و مطالب مرتبط با صنعت پمپ‌سازی هموطنان عزیز را یاری رساند . به این مسئله نیز واقفیم که بدون برخورد فعال شما عزیزان با نشریهٔ پمپ کار ما کم ثمر بوده و به انتقادات و پیشنهادات سازندهٔ شما نیازمندیم . نشریهٔ پمپ دست همکاری شما را می‌فشارد . لطفاً با ارائه مقالات خود در هر چه بهتر نمودن کیفیت مطالب ، ما را یاری رسانید .

سردبیر

شرایط درج مقاله در نشریهٔ پمپ

۱ - مطالب مقاله باید فنی ، صنعتی و علمی بوده و به طریقی با طراحی ، تولید و یا کاربرد پمپ مربوط باشد .

۲ - عنوان مقاله ، نام و نام خانوادگی و درجهٔ تحصیلی ، شغل و آدرس کامل مؤلف یا مترجم در صفحهٔ اوّل مقاله قید شود .

۳ - مطالب ارسالی باید حتی المقدور با ماشین تایپ گردیده و در غیراینصورت با خط خوانا در یک طرف کاغذ A4 نوشته و ارسال گردند .

۴ - به همراه مقاله بایستی اصل یا کپی اوّل عکسها ، شکلها و نمودارهای مربوط به مقاله ارسال گردند . مدارک موردنظر بایستی از کیفیت تصویری مطلوبی برای چاپ برخوردار باشند .

۵ - محل عکسها و شکل‌های مورد استفاده در متن مقاله مشخص شده باشند .

۶ - عنوان مقاله با در نظر گرفتن فواصل بین کلمات از دو سطر تجاوز ننماید .

۷ - در پایان مقاله فهرست منابع مورد استفاده قید گردد .

۸ - مقالهٔ ارسالی بایستی قبلاً در هیچ نشریهٔ داخلی چاپ نشده باشد .

ضمناً چون مسئولیت صحت مطالب مقاله بعهدهٔ نویسندهٔ آن است لذا هرگونه تغییر و ویرایش در متن مقاله جهت تأیید نهایی نویسنده قبل از چاپ ارسال خواهد شد .

* استفاده از مطالب و تصاویر نشریه پمپ با ذکر کامل منبع بلامانع است.

اندازه‌گیری دبی آب
در
کانالهای روباز با استفاده از سرریز

مهندس میربیوک احقاقی
مشاور فنی شرکت صنایع پمپ سازی ایران
دانشجوی دورهٔ دکترای مکانیک دانشکدهٔ فنی - دانشگاه تبریز

□ مقدمه :

اصولاً در بین مشخصه‌های جریان سیال، دبی یکی از مهمترین آنها بوده و روشهای مختلفی برای اندازه‌گیری آن در کاربردهای مختلف مهندسی وجود دارد. در اکثر موارد با اندازه‌گیری سرعت جریان و یا با اندازه‌گیری اختلاف فشار بین دو نقطه و استفاده از روابط موجود در مکانیک سیالات می‌توان دبی را محاسبه نمود. در همین رابطه استفاده از لوله‌های وانتوری (Venturi) ـ شیپوره‌ها (Nozzle) و استفاده از دریچه‌ها (Orifice) بسیار معمول می‌باشد. البته روشهای بسیار نوینی نیز در رابطه با اندازه‌گیری دبی در حال حاضر وجود دارد که می‌توان از روش لیزر داپلر (Laser Doppler) و اندازه‌گیریهای توربینی و دبی‌سنج‌های مغناطیسی و غیره، نام برد. ولی برای اندازه‌گیری دبی‌های نسبتاً بزرگ استفاده از روش سرریز نیز بسیار معمول می‌باشد. این روش اندازه‌گیری از دقت خوبی برخوردار بوده و نگهداری تأسیسات آن آسان و احداث آن با توجه به شرایط موجود در کشور ما از نظر اقتصادی قابل توجیه می‌باشد.

شرکت صنایع پمپ‌سازی ایران بزرگترین سازندهٔ انواع پمپهای کشاورزی و صنعتی کشور، با توجه به رسالت تولید انواع پمپهای بزرگ مورد نیاز (بخشهای مختلف) کشور، که هم اکنون در برنامه تولید خوددارد، تصمیم گرفته است که آزمایشگاه هیدرولیکی دیگری در کنار آزمایشگاه مجهز قبلی شرکت احداث نماید. در این آزمایشگاه دبی پمپها تا $۴m^3/sec$ بروش سرریز اندازه‌گیری خواهد شدکه در نوع خود

از نظر میزان اندازه گیری دبی و روش مربوطه در کشور و در منطقه بی‌سابقه بوده و مشابه آن در حال حاضر در کشور وجود ندارد. بهره‌برداری از این آزمایشگاه چندی پیش با موفقیت شروع شده است.

در این مقاله سعی خواهیم کرد بطور خیلی فشرده و با بیان ساده، روشهای موجود طراحی ابعاد کانالهای مستقیم و با سطح مقطع ثابت در طول آنها (کانالهای منشوری) را با توجه به مقادیر شیب - زبری سطحی - عدد رینولدز و شعاع هیدرولیکی توضیح داده و مطالبی در مورد نحوهٔ محاسبات دبی در یک کانال روباز با استفاده از روش سرریز ارائه دهیم. امید است که اساتید محترم و سروران گرامی در این راه از ارائه راهنمائی و مساعدت دریغ نفرمایند.

➢ حرکت مایعات در مجراهای باز :

توضیح : بطور کلی در تمام مواردی که سطح آزاد مایع تحت فشار ثابت معینی قرار داشته باشد می‌توان مجرا را بعنوان مجرای باز در نظر گرفت. در بسیاری از زمینه‌های مهندسی مثل انتقال آب کشاورزی - کانالهای انتقال آب و فاضلاب و حرکت آب در مسیر رودخانه را می‌توان بعنوان حرکت در مجاری باز در نظر گرفت. عامل اصلی حرکت مایع در مجراهای باز، شیب کف بستر و بعبارت دیگر نیروی ثقل می‌باشد. در حالیکه در داخل لوله‌ها، اختلاف فشار یا افت فشار عامل حرکت می‌باشد و می‌توان میزان فشار را در هر نقطه از لوله بوسیله پمپ یا اختلاف ارتفاع طبیعی کنترل کرد. ولی در مجاری و کانالهای روباز در تمام قسمتهای مسیر، فشار وارده بر سطح مایع ثابت بوده و در مواردیکه مایع در تماس با هوا قرار دارد، این فشار همان فشار اتمسفر می‌باشد.

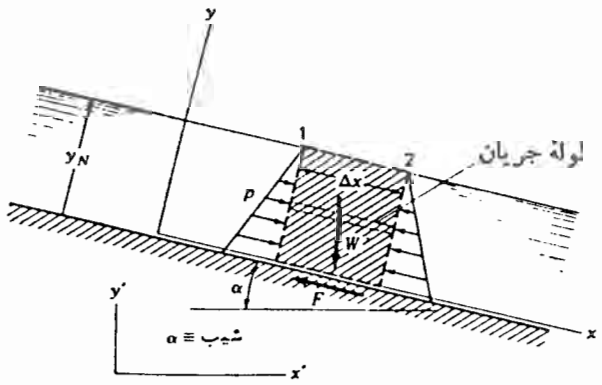
➢ جریان یکنواخت در مجاری باز :

اگر شیب و مقطع مجرا در تمام طول آن ثابت باشد، سرعت متوسط مایع در تمام مقاطع آن ثابت بوده و جریان بنام جریان یکنواخت (Uniform flow) خوانده می‌شود. در غیر اینصورت یعنی در حالیکه مقطع و شیب کانال و در نتیجه سرعت مایع در قسمتهای مختلف آن متغیر باشد جریان غیریکنواخت (non - uniform flow) خواهد بود. برای اینکه جریان یکنواخت گردد لازم است که مقطع کانال در تمام طول آن از نظر شکل و عمق یکسان باشد که در چنین حالتی سطح آزاد مایع با کف بستر موازی خواهد بود.

برای تحلیل جریان، از مدل یک بعدی جریانی که در مرز پرشده تحت تأثیر نیروهای اصطکاک قرار دارد استفاده می‌کنیم. خطوط جریان موازی هستند و فشار در جهت عمود بر بستر رائیدروستاتیکی در نظر

می‌گیریم. المان حجمی از سیال بطول Δx را طبق شکل زیر در نظر می‌گیریم و معادله حرکت را می‌نویسیم.

نیروهای ئیدروستاتیک در جهت حرکت یکدیگر را خنثی می‌کنند و فقط نیروی ناشی از تنش برش در امتداد حرکت منظور خواهد شد. اگر P را بعنوان طول پیرامون سطح مقطع خیس شده کانال در نظر بگیریم خواهیم داشت :



شکل ۱

$$\sum F = mg\sin\alpha$$

در فرمول فوق :

$$\Delta x \int_0^p \tau_w \, d_p = \rho g A \,.\, \Delta \sin\alpha$$

$$(1)\ \tau_w = \rho g R_H \sin\alpha$$

A سطح مقطع کانال

$R_H = \frac{A}{P}$ شعاع هیدرولیکی

T_w تنش برش در دیواره که در طول کانال ثابت می‌گیریم

توجه : در جریان متلاطم طبق فرمول دارسی ویسباخ برای ضریب اصطکاک f ، مسیر جریان می‌توان نوشت :

$$(2)\tau_w = \frac{f}{4}\rho V^2/2$$

اگر معادلات ۱ و ۲ را برابر هم بگیریم.

$$\frac{f}{4}\rho V^2/2 = \rho g R_H \,.\sin\alpha$$

$$(3)\ V = \left(\frac{8g}{f}\right)\left(R_H \sin\alpha\right)^{\frac{1}{2}}$$

همانگونه که می‌دانیم ضریب اصطکاک به مقادیر زبری بستر کانال و شکل و اندازهٔ آن بستگی دارد و بطور کلی $C \cong (8g/f)^{1/2}$ تابع ضریب زبری بوده و C را ضریب chezy می‌نامند. چون شیب کانال کوچک می‌باشد پس $\sin \alpha = tg \alpha = \alpha$ بوده و لذا می‌توان نوشت

$$V = C \sqrt{R_H S_0}$$

این فرمول همان، فرمول معروف شزی می‌باشد که در آن C، تابع زبری سطح کانال و عدد رینولدز جریان می‌باشد و دارای بعد فیزیکی می‌باشد، بنابراین مقدارش در دستگاههای مختلف متفاوت است.

دبی حجمی کانال را می‌توان از رابطه زیر بدست آورد :

$$Q = CA \sqrt{R_H S_0}$$

بدین ترتیب، مهمترین مسئله در مورد حرکت یکنواخت مایع در کانالها، تعیین ضریب C آنها می‌باشد. در دستگاه متریک مقدار C از رابطه زیر بدست می‌آید :

$$C = \frac{23 + \frac{0.00155}{S} + \frac{1}{n}}{1 + \left(23 + \frac{0.00155}{S} \right) \frac{n}{\sqrt{R_H}}}$$

n زبری سطح کانال می‌باشد

و مقدار آن برای کانالهای مختلف از جدول ۱ بدست می‌آید.

همچنین رابطه بین متغیرهای S, n , RH در جدول ۲ نشان داده شده است. بطوریکه دیده می‌شود به ازاء شیبهای 0.01 تا 0.001، تغییرات C ناچیز است.

با توجه به حساسیت تعیین مقدار C جهت محاسبه دبی کانال، فرمولهای دیگری نیز برای تعیین آن پیشنهاد شده است که به چند نمونه از آنها اشاره می‌کنیم :

۱ - فرمول بازن (Bazin)

$$C = \frac{157.6}{1 + \frac{m}{\sqrt{R_H}}}$$

که در این فرمول R_H شعاع هیدرولیکی و m ضریب زبری سطح کانال می‌باشد.

جدول ۱ – تعیین مقدار زبری سطح کانال با توجه به جنس آن

نوع سطح کانال	دامنه تغییرات n	آنچه معمولاً به‌کار می‌رود
چدن پوشش شده	0.012 - 0.015	0.014
چدن پوشش شده	0.011 - 0.013	0.012
فولاد پرچ شده	0.013 - 0.017	0.015
لولهٔ صاف	0.010 - 0.017	0.013
آجری با ملات سیمان	0.012 - 0.017	0.015
سیمان صاف	0.010 - 0.013	0.011
ملات سیمانی	0.011 - 0.015	0.013
لوله بتنی	0.012 - 0.016	0.013
کانال بتنی	0.012 - 0.018	0.014
لولهٔ چوبی	0.010 - 0.013	0.011
کانال الواری		
صاف	0.010 - 0.014	0.012
ناصاف	0.011 - 0.015	0.013
قلوه‌سنگ با ملات سیمانی	0.017 - 0.030	
قلوه‌سنگ خشکه‌چینی	0.025 - 0.035	
Dressed ashlar masonry	0.013 - 0.017	
Semi - circular metal flumes		
Smooth	0.011 - 0.015	0.013
Corrugated	0.0225 - 0.030	0.028
Canals and ditches		
Earth, straight and uniform	0.017 - 0.025	0.0225
Rock cuts, smooth and uniform	0.025 - 0.035	0.033
Rock cuts, jagged and irregular	0.035 - 0.045	
Dredged in earth	0.025 - 0.033	0.0275
Earth bottom, rubble sides	0.028 - 0.035	0.032
Natural streams		
(1) Clean, straight, uniform	0.025 - 0.033	
(2) Same sa (1) but some weeds and stones	0.030 - 0.040	
(3) Winding with pools and shoals	0.033 - 0.045	
(4) Same as (3) , some weeds and stones	0.035 - 0.050	
(5) Sluggish river reaches, rather weedy	0.050 - 0.080	
(6) Sluggish river reaches, very weedy	0.075 - 0.150	

جدول ۲ – تعیین مقدار ضریب chezy با توجه به مقادیر شیب و شعاع هیدرولیک و زبری سطح کانال

شیب S_o	n	شعاع هیدرولیکی بر حسب فوت R_H														
		0.2	0.3	0.4	0.6	0.8	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	6.0	8.0	10.0	15.0
0.00005	0.010	87	99	109	122	133	140	154	164	172	178	187	199	207	213	220
	.011	77	88	97	109	119	126	139	148	156	161	170	182	190	195	205
	.012	68	79	88	98	107	114	126	135	142	148	156	168	176	181	189
	.013	62	71	79	90	98	104	116	124	131	136	145	156	164	169	179
	.015	51	59	66	76	83	89	99	107	113	118	126	137	145	149	159
	.017	44	50	57	65	71	77	87	94	98	104	111	122	129	134	142
	.020	35	41	46	53	59	64	72	79	84	88	95	105	111	116	125
	.0225	30	36	40	46	52	56	64	70	75	79	85	94	100	105	114
	.025	26	31	35	41	46	49	57	62	66	71	77	85	92	96	104
	.030	21	25	28	33	37	40	47	51	53	59	64	72	78	82	90
0.0001	0.010	98	109	119	131	140	147	159	168	173	178	186	195	202	205	212
	.011	86	97	106	118	126	132	144	151	157	162	169	178	185	188	196
	.012	76	87	95	105	114	120	130	138	144	149	155	164	170	174	180
	.013	69	78	86	96	103	109	120	127	133	137	143	152	158	162	169
	.015	57	65	72	81	88	93	103	109	114	119	125	134	140	143	150
	.017	48	56	62	70	76	81	89	96	99	104	111	119	125	128	135
	.020	39	45	50	57	63	67	75	81	85	89	94	102	107	111	118
	.0225	33	39	43	50	55	59	66	71	75	79	84	92	97	100	107
	.025	29	34	38	44	48	52	59	64	67	71	76	84	89	92	98
	.030	23	27	31	35	39	42	48	53	55	59	64	71	75	78	85
0.0002	0.010	105	117	126	138	145	152	163	170	175	179	185	193	198	202	207
	.011	92	104	112	123	131	136	147	154	159	163	169	176	181	184	190
	.012	83	93	100	111	118	124	133	140	145	149	155	162	167	170	176
	.013	75	84	91	101	108	113	123	129	134	137	143	151	155	159	164
	.015	61	69	76	35	91	96	105	111	114	119	125	132	137	140	145
	.017	52	59	65	73	79	83	91	97	100	105	110	117	122	125	130
	.020	42	48	53	60	65	69	77	82	85	89	94	100	105	108	113
	.0225	36	41	46	52	57	61	67	73	76	79	84	90	94	98	103
	.025	31	36	40	46	50	54	60	65	68	71	76	82	86	89	94
	.030	25	29	32	37	41	44	49	53	57	59	63	69	73	76	81
0.0004	0.010	110	121	129	141	149	154	164	171	175	179	185	191	196	199	204
	.011	97	108	115	126	133	139	148	155	159	163	168	175	179	182	187
	.012	87	97	104	113	121	125	135	141	145	149	154	161	165	168	172
	.013	78	87	94	104	110	115	124	130	134	138	143	149	154	157	161
	.015	65	73	79	87	93	98	106	112	116	119	124	130	135	138	141
	.017	54	62	68	75	81	85	93	98	101	105	110	116	120	123	128
	.020	44	50	55	62	67	70	78	83	86	89	94	99	104	106	110
	.0225	37	43	47	54	58	62	68	73	76	79	84	89	93	96	101
	.025	32	37	42	47	51	55	61	65	68	71	75	81	85	88	92
	.030	26	30	33	38	41	44	50	54	57	59	63	68	73	75	80
0.001	0.010	113	124	132	143	150	155	165	171	175	179	184	190	195	197	201
	.011	100	110	118	128	135	140	149	155	160	163	168	174	178	181	186
	.012	89	99	105	115	122	127	136	142	145	149	154	160	164	167	171
	.013	80	89	96	105	111	116	125	130	135	138	143	149	153	155	160
	.015	66	76	80	88	94	92	107	112	116	119	124	130	133	135	141
	.017	56	64	69	76	82	80	93	99	102	105	110	115	119	122	126
	.020	45	52	36	63	68	71	78	83	86	89	93	99	103	105	110
	.0225	39	44	48	55	59	62	69	73	77	79	83	89	92	95	99
	.025	34	39	42	48	52	55	61	66	69	71	75	81	84	87	91
	.030	27	30	34	38	42	45	50	54	57	59	63	68	72	74	78
0.01	0.010	114	125	133	143	151	156	165	171	175	179	184	190	194	196	200
	.011	102	112	119	130	136	141	150	156	160	164	168	174	178	180	185
	.012	89	100	107	117	122	128	136	142	145	149	154	160	163	166	170
	.013	82	91	97	106	113	117	125	131	135	138	142	148	152	154	159
	.015	67	76	82	90	95	100	107	113	116	119	124	130	133	136	140
	.017	57	64	70	77	82	87	94	99	103	105	109	115	118	121	126
	.020	46	52	57	64	68	72	79	83	87	89	93	99	102	105	109
	.0225	39	45	49	55	60	63	69	74	77	79	83	88	92	94	98
	.025	34	39	44	49	54	56	62	66	68	71	75	80	83	86	90
	.030	27	31	35	39	43	45	51	55	58	59	63	68	71	74	77

مقادیر m از جدول شماره ۳ بدست می‌آید.

نوع پوشش مجرا	ضریب m
پوشش سیمانی خیلی صاف	۰/۱۰۹
پوشش بتنی یا آجری صاف	۰/۲۹۰
پوشش بتنی یا آجری ناصاف	۰/۸۳۳
کانال‌های حفرو شده در زمین در شرایط خیلی مناسب	۱/۵۴
کانال‌های حفرو شده در زمین‌های معمولی	۲/۳۵
کانال‌های حفرو شده در زمین‌های سنگی و ناصاف	۳/۱۷

۲ ـ فرمول مانینگ (Manning)

$$V=\frac{1.486}{n}\cdot R_H^{\frac{2}{3}}.S^{\frac{1}{2}}$$

$$V=\frac{1.486}{n}R_H^{\frac{1}{6}}\cdot\sqrt{R_H.S}$$

در سیستم آحاد انگلیسی $C=\frac{1.486R_H^{1/6}}{n}$ و در سیستم متریک $C=\frac{1}{2}R_H^{\frac{1}{6}}$ می‌باشد. n ضریب زبری بوده و از جدول ۱ برای کانالهای مختلف بدست می‌آید.

در جدول ۴ برحسب مقادیر مختلف شعاع هیدرولیکی RH و ضریب زبری‌های مختلف n، مقدار C در فرمول مانینگ داده شده است.

۳ ـ فرمول دارسی ـ براساس رابطه دارسی، ضریب C را می‌توان بشرح زیر بدست آورد.

$$V=C\sqrt{R_H\cdot S_0}\quad,\quad C=\frac{1}{\sqrt{a+\frac{b}{m}}}$$

ضرایب a و b در جدول ۵ بهمراه ضرایب سایر فرمولهای محاسبه داده شده است.

نتیجه : در حالات کلی می‌توان گفت که سرعت در مجاری باز تابع، زبری سطح ـ شعاع هیدرولیکی و شیب بستر کانال بوده و رابطه آن بشکل زیر است :

$$V = KR^{\alpha}S^{\beta}$$

جدول شماره ۴

n	شعاع هیدرولیکی بر حسب فوت																	
	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.5	2	3	4	6	8	10	12	14	16	18	20
.010	101	114	127	137	143	149	159	167	179	187	200	210	218	225	231	236	240	244
.011	92	103	116	124	130	135	145	152	162	170	182	191	198	204	210	214	218	222
.012	84	95	106	114	119	124	133	139	149	156	167	175	182	188	192	197	201	204
.013	78	87	98	105	110	114	122	128	137	144	154	162	168	173	177	181	185	188
.014	72	81	91	97	102	106	114	119	127	134	143	150	156	161	165	168	171	173
.015	68	76	85	91	95	99	106	111	119	125	134	140	145	150	154	157	160	163
.016	63	71	80	85	90	93	99	104	111	117	125	131	136	141	144	147	150	153
.017	60	67	75	80	84	87	94	98	105	110	118	124	128	132	136	139	142	144
.018	56	63	71	76	80	83	88	93	99	104	111	117	121	125	128	131	134	136
.020	51	57	64	68	72	74	80	84	89	94	100	105	109	113	115	118	120	122
.022	46	52	58	62	65	68	72	76	81	85	91	96	99	102	105	107	109	111
.024	42	47	53	57	60	62	66	70	74	78	84	88	91	94	96	98	100	102
.026	39	44	49	52	55	57	61	64	69	72	77	81	84	87	89	91	92	94
.028	36	41	46	49	51	53	57	60	64	67	72	75	78	80	82	84	86	87
.030	34	38	42	46	48	50	53	56	60	62	67	70	73	75	77	79	80	82
.035	29	32	36	39	41	42	45	48	51	53	57	60	62	64	66	67	69	70
.040	25	28	32	34	36	37	40	42	45	47	50	53	55	56	58	59	60	61

جدول شماره ۵

جنس سطح	ضریب کوتر و مانینگ n	ضریب بازن m	ضرایب دادرسی a	ضرایب دادرسی b
چوب صاف شده	۰/۰۰۹	۰/۱۰۹	۰/۰۰۰۰۴۶	۰/۰۰۰۰۰۴۵
سیمان خالص	۰/۰۱۰			
ملات با یك ثلث شن، صفحات آهن یا فولاد	۰/۰۱۱			
چوب ناصاف، بتن	۰/۰۱۲	۰/۲۹۰	۰/۰۰۰۰۵۸	۰/۰۰۰۰۱۳۳
سفال، سنگ ساختمانی و آجرکاری خوب، چدن	۰/۰۱۳			
آجرکاری ناهموار	۰/۰۱۵			
آجرکاری، سنگ نتراشیده، چدن در شرایط بد، شن‌ریزهٔ خوب سفت‌شده	۰/۰۱۷	۰/۸۳۳	۰/۰۰۰۰۷۳	۰/۰۰۰۰۶۰
کانال خاکی در شرایط خوب، یا با سنگ فرش شده	۰/۰۲۰ ـ ۰/۰۲۲	۱/۵۴		
کانال خاکی ورود خانه‌ها در شرایط متوسط	۰/۰۲۵		۰/۰۰۰۸۵	۰/۰۰۰۳۵
کانال ورود خانه در شرایط نسته بد، با سنگ‌ها و علف‌های هرزه	۰/۰۳۰	۲/۳۵۵		
کانال ورود خانه در شرایط خیلی بد	۰/۰۳۵	۳/۱۷۰	۰/۰۰۰۱۲	۰/۰۰۰۷۰

بنابراین با بدست آوردن K (که مربوط به زبری سطح کانال است) و مقادیر α و β می‌توان فرمول کلی را تعیین نمود. ذیلاً به چند نمونه اشاره می‌گردد.

۴ - فرمول اسکوبی Scobey

$$V = 185R^{0.65}, S^{0.56}$$

این رابطه برای کانالهای با پوشش سیمانی معمولی، مناسب است.

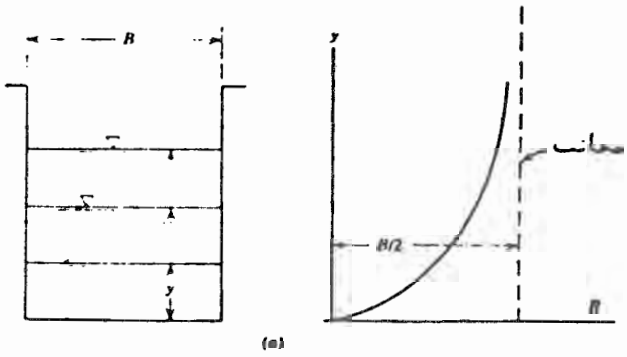
۵ - فرمول ویلیامز - هازن (Williams - Hazan)

$$V = 1.318C\,RH^{0.63}S^{0.54}$$

که ضریب C تابع زبری سطح کانال می‌باشد.

➢ تغییرات شعاع هیدرولیکی نسبت به عمق کانال

کانالی به مقطع مستطیل و بعرض B را مطابق شکل زیر در نظر می‌گیریم. اگر y عمق آب در کانال باشد شعاع هیدرولیک آن خواهد شد.



$$R_H = \frac{A}{P} = \frac{B.y}{B + 2y}$$

مطابق این رابطه، تغییرات R نسبت به Y بشکل یک شاخه هذلولی است که نقاط زیرا را می‌توان نوشت:

$$y = 0 \Rightarrow R_H = 0$$

$$y \to \infty \Rightarrow R_H = \frac{B}{2}$$

بطوریکه دیده می‌شود منحنی دارای مجانب $R_H = \frac{B}{2}$ است و مناسب‌ترین شعاع هیدرولیکی می‌باشد چون به ازای شعاع هیدرولیکی ماکزیمم، محیط خیس شده مینیمم و دبی جریان کانال ماکزیمم خواهد شد (بشرط سطح مقطع و شیب ثابت) پس خواهیم داشت :

$$A = By \to B = A/y$$

$$P = 2y + B$$

می‌خواهیم A و P را بطور همزمان حداقل کنیم از روابط بالا می‌توان نوشت

الف) $P = 2y + A/y$

اگر معادله دبی که قبلاً بدست آوردیم دوباره بنویسیم

$$V = C\sqrt{R_H S_0} \quad , \quad Q = CA\sqrt{R_H S_0}$$

که n موسومی به ضریب مانینگ و عمدتاً به زبری نسبی بستگی دارد و K را هم از جداول بدست می‌آورند پس می‌توان نوشت:

$$Q = V.A = \left(\frac{k}{n}\right) R_H^{\frac{2}{3}} . \sqrt{S_0} . A$$

$$Q = \frac{k}{n}\left(\frac{A}{P}\right)^{\frac{2}{3}} . \sqrt{S_0} . A$$

$$Q = \frac{k}{n}\frac{\sqrt{S_0}}{p^{2/3}} . A^{5/3} \quad \Rightarrow \quad A = \left(\frac{Q.n}{K\sqrt{S_0}}\right)^{\frac{3}{5}} . p^{\frac{2}{5}} = KP^{\frac{2}{5}}$$

رابطه اخیر را در معادله الف قرار می‌دهیم (K یک ضریب ثابت می‌باشد)

$$p = 2y + \frac{KP^{2/5}}{y}$$

از این معادله نسبت به Y مشتق می‌گیریم و برابر صفر قرار می‌دهیم

$$\frac{dp}{dy} = 2 + \frac{k}{y} . \frac{2}{5} p^{-3/5} \frac{dp}{dy} + kp^{\frac{2}{5}} (-1) \frac{1}{y^2}$$

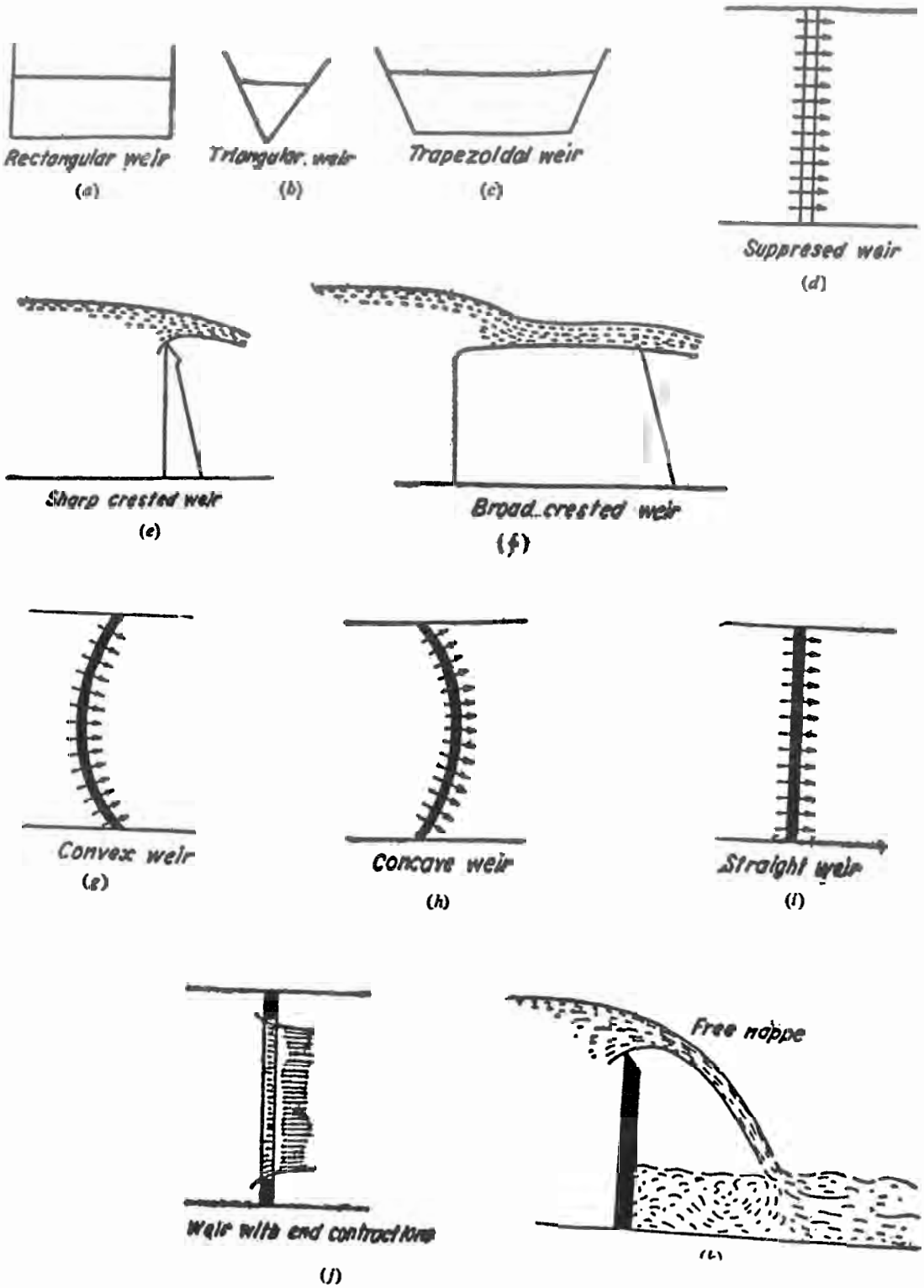
$$2 - kp^{\frac{2}{5}} \frac{1}{y^2} = 0$$

در ضمن قبلاً داشتیم:

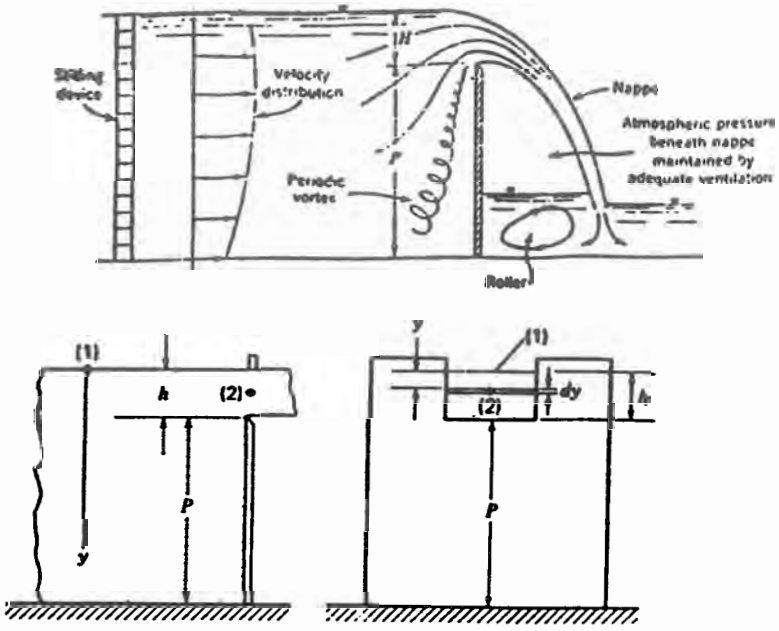
$$A = KP^{\frac{2}{5}} . \quad A = YB$$

پس می‌توان نوشت:

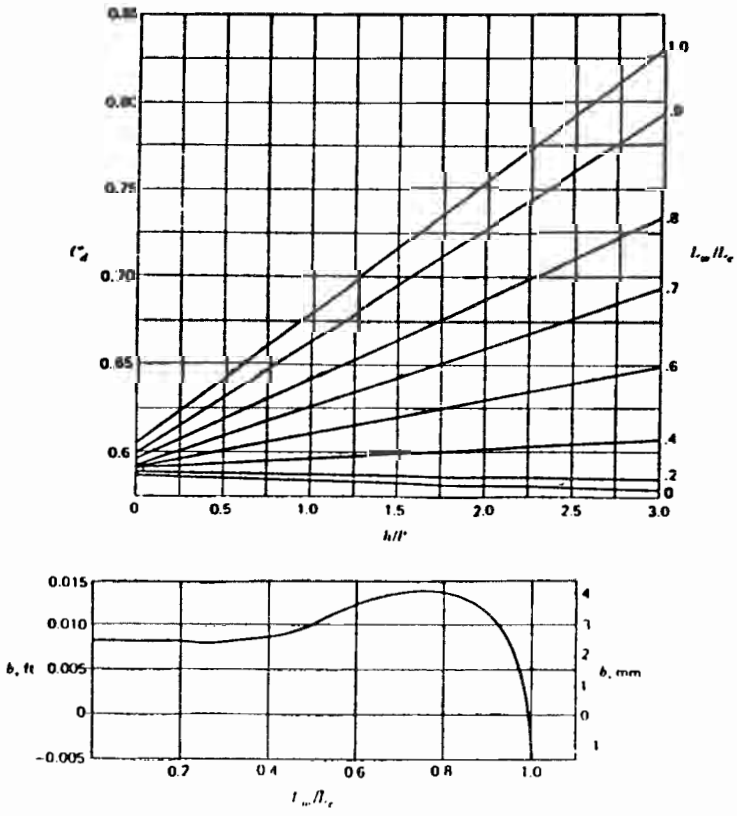
$$2 = K\left(\frac{yB}{K}\right)\left(\frac{1}{y^2}\right) \quad \Rightarrow \quad y = \frac{B}{2}$$



شکل ۳ – انواع سرریزها



شکل ۴ – نمایش سرریز واقعی و سرریز ایده‌ال



شکل ۵ – مقادیر cd و b در تعیین مقدار دبی واقعی سرریز

نتیجه : اگر در کانالهای مستطیلی عرض کانال دو برابر ارتفاع آن باشد، بهترین مقطع هیدرولیکی بدست خواهد آمد یعنی سرعت و در نتیجه شدت جریان بخاطر کم شدن محیط خیس شده و کاهش اصطکاک ماکزیمم خواهد شد.

پس بایستی شکل مقطع کانال را طوری در نظر گرفت که شعاع هیدرولیکی آن ماکزیمم گردد. تذکر این نکته ضروری است که کاهش محیط خیس شده کانال کاهش هزینه دیوار سازی مقطع نیز خواهد شد. در عین حال بایستی توجه داشت که در عمل، مسائل دیگری از جمله امکانات حفر و دیوارسازی کانال مطرح هستند که با در نظر گرفتن همهٔ آنها اقتصادی‌ترین شکل را انتخاب می‌کنند.

➢ اندازه‌گیری دبی جریان در کانالها بوسیله سرریزها (weir)

توضیح : سرریزها تأسیساتی هستند که در مسیر جریان کانالها یا رودخانه‌ها احداث می‌شوند و آنرا می‌توان مانند سدی فرض کرد که مایع از روی آن باید عبور کند، با اندازه‌گیری ارتفاع آب در بالای سرریز، می‌توان دبی جریانی را که از آن می‌گذرد بکمک معادلات برنولی و بعضی از داده‌های تجربی بدست آورد. و در شکل ۳ - انواع سرریزها نشان داده شده است سرریز عموماً صفحه نسبتاً نازکی است که لبهٔ تیزی در طرف بالا دست جریان دارد. در شکل شماره ۴ سرریز مستطیلی نشان داده شده است. بلندی h جریان بالا دست سرریز در بالای لبهٔ سرریز را ارتفاع می‌نامند که عامل اساسی در تعیین دبی جریان می‌باشد. ورقه‌ای سیال را که روی سرریز حرکت می‌کند ناپ می‌نامند، فشار در ناپ را می‌توان فشار اتمسفر در نظر گرفت سطح فوقانی سرریز را که مایع از روی آن جریان می‌یابد تاج سرریز می‌نامند.

در اینجا برای محاسبه دبی در یک کانال از سرریز مستطیلی شکل استفاده خواهیم کرد و از تنش سطحی و انقباض و سرعت سیال در ناپ صرف‌نظر می‌نمائیم. (ناپ بسیار ایده‌ال شده)

➢ بدست آوردن معادلات مربوط به محاسبهٔ دبی :

معادله برنولی بین نقطه ۱ واقع بر روی سطح آزاد در بالادست سرریز و در هر نقطه داخل ناب بالای تاج سرریز را می‌نویسیم (مبنا تاج سرریز)

$$\frac{V_1^2}{2} + gh = \frac{V_2^2}{2} + g(h - y)$$

با توجه به اینکه V1 خیلی کوچک می‌باشد لذا از جمله $V1^2/2$ در مقایسه با $\frac{V_2^2}{2}$ صرفنظر می‌کنیم، در نتیجه خواهیم داشت :

$$V_2 = \sqrt{2gy}$$

برای محاسبهٔ مقدار دبی در روی مساحت ناپ انتگرال می‌گیریم

$$Q_{idc} = \int_0^h (L_w \cdot dy)\ V_2 = \int_0^h L_w \sqrt{2gy}\ dy = \frac{2}{3}\sqrt{2gh^3}.Lw$$

برای محاسبهٔ دبی واقعی، مقدار دبی بدست آمده در رابطه بالا را به ضریب دبی ضرب می‌کنیم

$$Q_{act} = C_d.Q_{ide}$$

جمله b در شکل - بصورت تابعی از Lw/Lc داده شده است و c'd هم در شکل برحسب h/p و Lw/Lc آورده شده است

$$C_d = C_d^{'}.L_w^{'}$$

$$C_d^{'} = f(L_w/L_c, h/p)$$

$$L_w^{'} = L_w + b$$

$$h^{'} = h + 0.900mm$$

براساس تحقیقات، ضریب Cd در مورد سرریزهای لب تیز در حدود زیر تغییر می‌کند :

$$h/p = 0.1 \Rightarrow cd = 0.62$$
$$h/p = 2 \Rightarrow cd = 0.75$$

آزمایشاتی که برروی مدلهای کوچک انجام گرفته، رابطهٔ زیر را برای محاسبه Cd بدست داده است :

$$C_d = 0.605 + \frac{1}{305h} + 0.08\frac{h}{p}$$

رابطه فوق را معمولاً به شکل زیر هم می‌نویسند :

$$Q = C_w . L_w H^{3/2} \quad . \quad C_w = C_d . \frac{2}{3}\sqrt{2g}$$

ضریب Cw بنام ضریب سر ریز معروف می‌باشد. (H = h)

➢ سایر فرمولهای محاسبه دبی در سرریز

۱ - فرمول فرانسیس Francis

$$Q = 1.84\ Lwh^{3/2}$$

مقادیر L,h برحسب متر و Q برحسب مترمکعب بر ثانیه می‌باشد.

۲ - فرمول بازن Bazin

$$Q = \left(0.405 + \frac{0.03}{h}\right)\sqrt{2g}\ .\ Lw.h^{3/2}$$

این فرمول در مورد سرریزهائی که بعرض ۴/۹۲ تا ۱۹/۶۸ متر و ارتفاع آب از ۰/۹۸ تا ۰/۶ متر باشند صادق است. کلیه آحاد در سیستم متریک می‌باشد.

۳ - فرمول ربوک Rebbock

$$Q = \left(3.227 + 0.435 - \frac{H_e}{5} \right) L_w . H_e^{\frac{3}{2}}$$

$$H_e = H + 0.0011$$

در پایان برای آشنائی با نحوه استفاده از فرمولهای فوق چند مثال ساده ذکر می‌گردد.

مثال برای کانالهای روباز

۱ - یک کانال مستطیلی به ابعاد ۵ متر عرض و ۲ متر ارتفاع را در نظر می‌گیریم. اگر شیب این کانال $\frac{1}{5000}$ باشد مطلوب است تعیین دبی این کانال.

توجه : ضریب شزی را با توجه به صافی سطح کانال و شیب آن و شعاع هیدرولیکی برابر ۶۰ انتخاب می‌کنیم.

$b = 5m \qquad d = 2m$

$$S_0 = \frac{1}{5000} = 0.0002$$

$C = 60$

$$R_H = \frac{A}{P} = \frac{bd}{b + 2d}$$

$$R_H = \frac{5 \times 2}{5 + (2 \times 2)} = \frac{10}{9}$$

$$V = C\sqrt{R_H . S_0} \quad \Rightarrow \quad V = 60\sqrt{\frac{10}{9} \times 0.0002}$$

$$V = 0.894\, m/sec$$

$$Q = AV$$

$$Q = (5 \times 2) \times 0.894$$

$$Q = 8.94\, m^3/sec$$

۲ - یک کانال مستطیلی روباز بایستی دبی $9.60 m^3/sec$ را منتقل کند. اگر عرض کانال ۶ متر باشد ارتفاع آنرا محاسبه کنید. مقدار شیب $So = 0.0002$ و ضریب شزی را $C = 54.62$ در نظر بگیرید.

$$R_H = \frac{A}{P} = \frac{6d}{6 + 2d}$$

$$Q = AC\sqrt{R_H . S_0}$$

$$6d \times 54.62 \times \sqrt{\frac{6d}{6 + 2d} \times 0.0002} = 9.6$$

$$\frac{6d^3}{6 + 2d} \times 0.0002 = \left(\frac{9,6}{6 \times 54.62} \right)^2 \quad \Rightarrow \quad d = 4.29\, m$$

مقدار d، با استفاده از روش حدس و خطا بدست می‌آید.

مثال ۱ – اگر دبی یک سرریز مستطیلی شکل $Q = 0.135\ m^3/sec$ و ارتفاع آب بر روی سرریز $h = 22.5m$ و ضریب دبی $C_d = 0.6$ باشد. طول سرریز را محاسبه کنید.

$$Q = \frac{2}{3} cd.Lw.\sqrt{2g}.H^{\frac{3}{2}}$$

$$L_w = \frac{Q}{\frac{2}{3} cd.\sqrt{2g}.H^{3/2}} \quad \Rightarrow \quad L_w = \frac{0.135}{\frac{2}{3} \times 0.6 \times \sqrt{2 \times 9.81} \times 0.225^{3/2}}$$

$$Lw = 0.714\,m$$

مثال ۲ – اگر در اندازه‌گیری ارتفاع آب بالای سرریز مستطیلی به اندازه ۱ % خطا کنیم، در محاسبه دبی چند درصد خطا خواهیم داشت

$$Q = \frac{2}{3}.cd.Lw\sqrt{2g}.H^{3/2}$$

$$dQ = \frac{2}{3} cd.Lw.\sqrt{2g} \times \frac{2}{3} H^{\frac{1}{2}}.dH$$

اگر dH را خطای ارتفاع آب بالای سرریز و dQ را خطای محاسبه دبی فرض کنیم، خواهیم داشت

$$\frac{dQ}{Q} = 1.5\,\frac{dH}{H}$$

اگر معادله ۲ را بر ۱ تقسیم کنیم خواهیم داشت:

$$\frac{dQ}{Q} = 1.5\frac{dH}{H}$$

$$\frac{dQ}{Q} \times 100 = 1.5\left(\frac{dH}{H} \times 100\right) \quad \Rightarrow \quad \frac{dQ}{Q} = 1.5\,\%$$

یعنی یک درصد خطا در اندازه‌گیری H معادل یک و نیم درصد خطا در میزان دبی بوجود می‌آورد.

▣ منابع

1. hydraulis fluid mechanics and fluid machines, by s.Ramam Ruthar
2. mechanics of fluids by shames, lrviny herman.
3. fluid mechanics, by victorl.streeter

۴ ـ مکانیک سیالات و هیدرولیک تألیف؛ دکتر مدنی ـ انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر

بارهای هیدرولیک در پمپ‌های گریز از مرکز

مهندس اکبر اسماعیلی ترکانپوری
مدیر فنی شرکت صنایع پمپ سازی ایران

قسمت اول

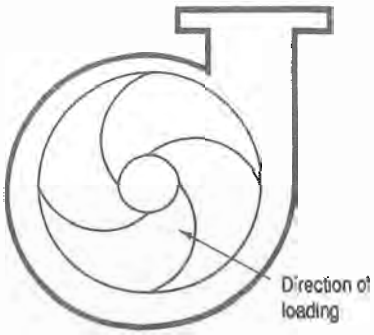
۱ - مقدمه

هنگام کار پمپ‌های گریز از مرکز بارها یا نیروهای هیدرولیک روی پروانه و محور ظاهر می‌شود. بارهای هیدرولیک ترکیبی از بارهای محوری و شعاعی هستند که روی پروانه، محور و سیستم یاتاقان اعمال می‌شود. فراهم کردن مقاومت مکانیکی لازم در مقابل کمانش و تغییر مکان حاصل از این نیروها، مهمترین بخش طراحی مکانیکی پمپ است.

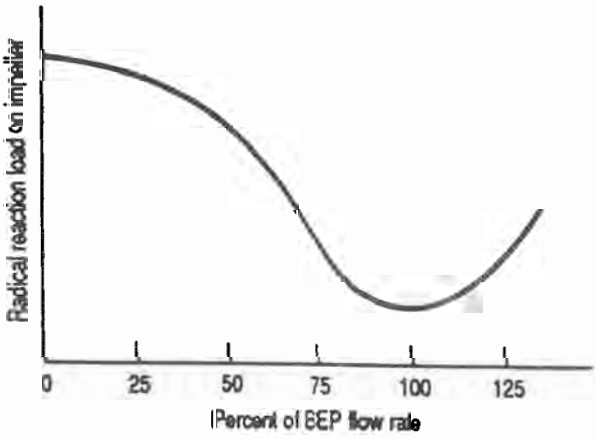
۲ - بارهای هیدرولیک شعاعی - طراحی محفظه حلزونی

طراحی محفظه که پروانه را احاطه کرده است عامل مستقیم در توزیع بارهای شعاعی نامتقارن است که پروانه و در نتیجه مجموعهٔ روتور و یاتاقان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. طراح پمپ سعی می‌نماید ابعاد سطح مقطع حلزونی چنان باشد که در جریان نقطه طراحی، سرعت سیال در تمام نقاط روی سطح حلزون تقریباً یکسان باشد. در هر حال هنگامی که پمپ در ظرفیت‌های بالاتر یا پایین‌تر از نقطه طراحی کار کند، سرعت دیگر ثابت باقی نخواهد ماند و در نتیجه بار نامتعادل یا نیروی عکس‌العمل شعاعی در پروانه ایجاد می‌شود. این نیروی شعاعی عمود بر خط مرکز محور بوده و همانطور که در اشکال ۱ و ۲ نشان داده شده است از طرف زبانه یا آب‌شکن[1] به طرف خروجی محفظه افزایش می‌یابد. در حدود ۵۰% و ۱۲۰% جریان نقطه بهترین راندمان (BEP)، جهت تغییر شکل محور پمپ نسبت به خط محور آب شکن یا زبانه حلزونی ۹۰ درجه است.

در محفظه حلزونی دوگانه (شکل ۳) یک دیواره یا حلزون دوم در محفظه تعبیه می‌شود تا قسمتی از سیال مستقیماً به خروجی حلزونی پمپ هدایت شود به نحوی که نتواند روی پروانه تأثیر بگذارد. لذا نیروهای نامتعادل اطراف پروانه به نحو همگنی توزیع شده و اثر همدیگر را روی پروانه



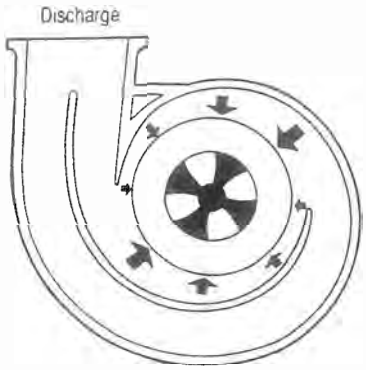
شکل ۱ - جهت معمول بار عکس‌العملی شعاعی در پمپ حلزونی



شکل ۲ - بار عکس‌العملی شعاعی در مقابل آبدهی در پمپ حلزونی

خنثی می‌کنند. بار خالص نامتعادل به هر حال وجود دارد اما بسیار کمتر از مقداریست که در محفظه‌ای با یک حلزون ایجاد می‌شود هندبوک‌ها چنین تصوری ایجاد می‌کنند که چون در حلزون دوگانه پاساژهای سیال از نظر ابعادی

۱- آب شکن Cutwater

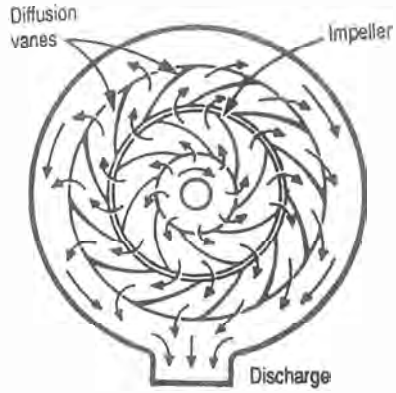


شکل ۳ - بارهای هیدرولیک شعاعی - حلزون دوگانه در پمپ یک طبقه

متقارن هستند نیروهای مساوی شعاعی در هر لحظه در جهت مخالف هم عمل می‌کنند و در نتیجه متعادل می‌شوند. از آنجاکه حلزونها به طریق ریخته‌گری تولید می‌شوند و عملیات ماشینکاری بندرت در آنها انجام می‌گیرد معمولاً سطوح نامتقارن و ناهموار دارند در نتیجه تعادل هیدرولیکی کامل ایجاد نمی‌شود. در مجموع اثر نیروهای شعاعی در حلزون دوگانه به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد.

۳ - بارهای هیدرولیک شعاعی - طراحی دیفیوزر

انواع پمپ‌های دارای دیفیوزر نیز در این مبحث مطرح می‌شوند. حلزونی‌های کوچک که به صورتی متقارن پروانه را احاطه کرده‌اند باعث تعادل بیشتر نیروهای عکس‌العملی شعاعی می‌شوند (شکل ۴).به‌منظور تأمین این تعادل اهمیت دارد که



شکل ۴ - بارهای هیدرولیک شعاعی - طراحی دیفیوزر

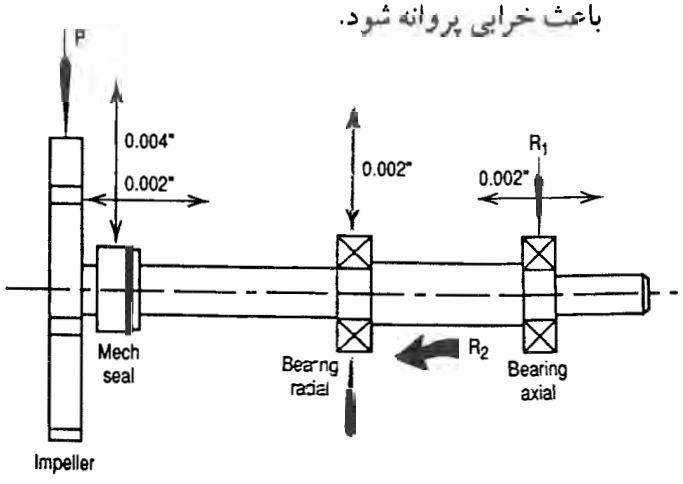
سیال خروجی از پاساژهای دیفیوزر، به فوریت و بصورتی یکنواخت ترکیب شود و به خروجی پمپ برسد. در غیر اینصورت ضربه‌های هیدرولیک و اتلاف حاصل از بازچرخش[1] باعث عدم تعادل نیروهای شعاعی در خروج از دیفیوزر می‌شود و روی پروانه اثر می‌گذارد. با در نظرگرفتن این مسائل پره‌های کانالهای متقارن به‌نحوی در حلقه دیفیوزر نصب می‌شوند که در پمپ‌های چند طبقه جریان خروجی دیفیوزرها، به صورت یکنواخت وارد پروانه طبقه بعدی شود. معمول است که در آخرین طبقه، جریان در یک محفظه ترکیب شده و به صورت محوری از حلقه دیفیوزر به خارج هدایت شود، در نتیجه نیروهای نامتعادل در پروانه توزیع نخواهد شد.

۴ - لقی شعاعی پروانه نسبت به محفظه

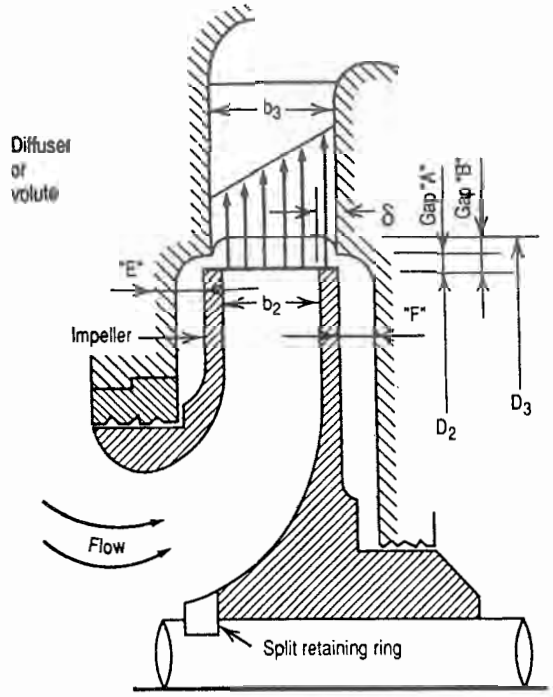
برای جلوگیری از خمش ناخواسته در محور پمپ در نقاط کارکرد بحرانی و در نتیجه به هم

۱ - بازچرخش Recirculation

خوردن لقی‌ها و صدمه دیدن آببند مکانیکی و یاتاقان‌ها، باید در تعیین ابعاد محور، بار هیدرولیک شعاعی (P) و خیز محور مورد توجه قرار گیرد (شکل ۵). برآیند نیروهای عکس‌العمل (R_2 , R_1) ممکن است باعث خیز محور به مقداری بزرگتر از لقی حلقه سایشی شود. این مسئله عامل بالقوه سایش سریع حلقه‌های سایشی، خرابی یاتاقان‌ها و بریدن محور در اثر پدیده خستگی خواهد بود. کم بودن فاصلهٔ شعاعی پروانه و محفظه، هنگامی که باکیفیت پایین ریخته گری و باز چرخش در آبدهی کم، همراه شود محتمل‌ترین عامل شکستن پروانه و نوک پره‌های دیفیوزر است. بسیاری از مهندسین معتقدند باکاهش فاصلهٔ شعاعی بین پروانه و دیفیوزر یا حلزونی (فاصلهٔ "B" در شکل ٦) بازده افزایش می‌یابد. این تصور نادرست است و کاهش فاصله شعاعی ممکن است باعث خرابی پروانه شود.



شکل ۵ – بارهای خمش محور – عوامل هیدرولیکی و مکانیکی در طرح پمپ بصورت تیرطره

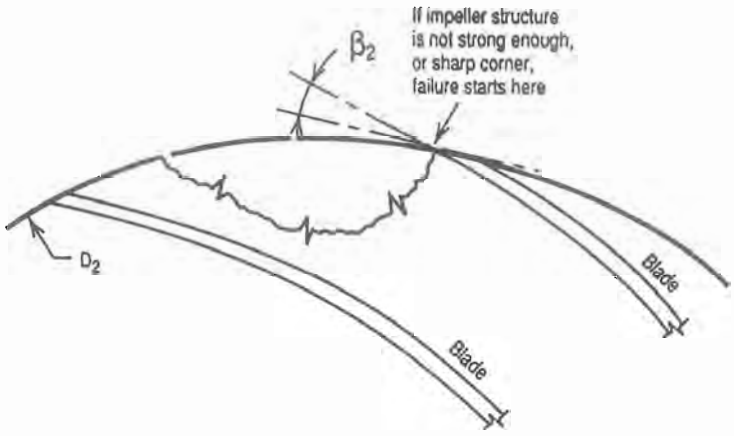


شکل ٦ – نامگذاری فواصل شعاعی در شکل شماتیک موقعیت پروانه نسبت به دیفیوزر

هنگامی که پرهٔ پروانه از مقابل پره ثابت (دیفیوزر، زبانه حلزونی یا آبشکن) عبور کند ضربه هیدرولیکی ایجاد می‌شود این پدیده را می‌توان از نوسان فشار یا ارتعاش روتور متوجه شد. تأثیر آشکار فاصله شعاعی در تپش [1] فشار ناشی از تواتر عبور پره‌ها[2] و ایجاد نیروی شعاعی، در اغلب تحلیل‌های ارتعاش مورد بحث قرار گرفته است. ارتعاش حاصل از عبور پره‌ها ممکن است به صدمات زیر منجر گردد :

-1 Pulsation

۲ Vane passing frequency



شکل ۷ – صدمه حاصل از خستگی در پروانه در اثر تپش فشار ناشی از لقی شعاعی نامناسب

۴ ـ ۱ ـ شکستن لبه‌های کناری پروانه متداولترین صدمه است (شکل ۷)، بی‌توجهی به این نشانه‌گاهی ممکن است به خرد شدن کامل پروانه یا حتی تمام مجموعهٔ روتور منجر شود که باعث پنهان ماندن عامل اصلی خرابی خواهد شد.

۴ ـ ۲ ـ شکستن لبه‌های ورودی دیفیوزر (حلزونی) که ممکن است باعث خرابی بیشتر در اجزاء پایین دست پمپ مانند شیرکنترل و غیره شود (شکل ۸).

۴ ـ ۳ ـ مهرهٔ پروانه در پمپ‌های یک مکشه و دیگر اتصالات مانند پیچ‌های محفظه آببندی شل می‌شود.

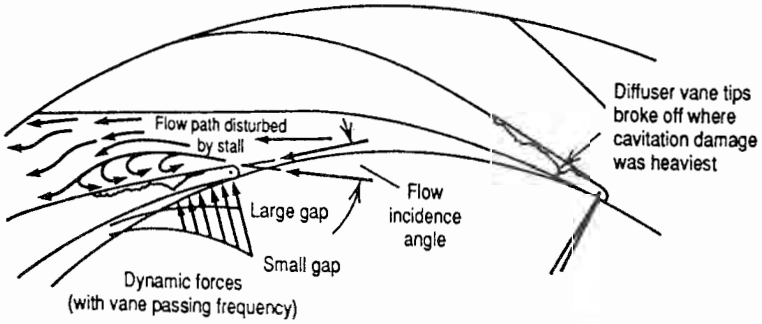
۴ ـ ۴ ـ اجزاء لوله کشی‌های جانبی مانند مسیر تمیزکاری آببند یا مسیر گردش آب خنک‌کننده در اثر تپش فشار می شکند.

۴ ـ ۵ ـ بریدن محور که بطور کلی در پمپ‌های دو مکشه در کناره‌های پروانه اتفاق می‌افتد.

۴ ـ ۶ ـ خرابی یاتاقان‌های محوری، بخصوص در پمپ‌های دو مکشه، زیرا در این نوع پمپ‌ها یاتاقان‌ها برای بارهای محوری ضعیف، طراحی می‌شوند.

۴ ـ ۷ ـ تپش فشار قوی ممکن است باعث شود سیستم کنترل بدرستی عمل ننماید.

۴ ـ ۸ ـ نشت در آببند مکانیکی پدید خواهد آمد.



شکل ۸ – خرابی دیفیوزر (حلزونی) در اثر تپش فشار ناشی از لقی شعاعی نامناسب

۵- روشهای اصلاح تواتر عبور پره

تحقیقات اخیر نشان داده است که ماشین کاری دقیق لبه‌های حلزونی یا دیفیوزر که باعث افزایش فاصله "B" شود در حالی که فاصلهٔ "A" ثابت بماند، می‌تواند تواتر عبور پره را به شدت کاهش دهد. نیروهای هیدرولیک در پمپ با افزایش فاصله مذکور ۸۰ الی ۸۵ درصد کاهش می‌یابد. هر چه فاصله بزرگتر باشد، جریان بیشتری می‌تواند قبل از آنکه در اثر برخورد به پره‌های دیفیوزر یا زبانه حلزونی دچار تلاطم شود از پروانه خارج شود. در نظر گرفتن فاصلهٔ شعاعی به میزانی در حدود ۶ درصد شعاع پروانه از طرف اغلب طراحان پذیرفته شده است. در این حالت ارتفاع متوسطی در هر طبقه بدست می‌آید. برای دستیابی به ارتفاع‌های بالاتر از هر طبقه (۳۵۰ متر، ۱۶۰۰ فوت یا بیشتر) میزان ۸ درصد یا بیشتر استفاده می‌شود. مقادیر معمول در پمپ‌های حلزونی (بدون دیفیوزر) در حدود ۸ تا ۱۲ درصد است که به سرعت ویژه نقطه طراحی و ارتفاع هر طبقه بستگی دارد. اگر حداقل لقی نوک پره‌ها در پمپ کافی نباشد، لازم است قسمتی از آب‌شکن یا حلزون محفظه سنگ زده شود تا لقی مناسب ایجاد شود. آب‌شکن نباید پخ شود اما ممکن است در حداکثر عرض تا ۵ میلی‌متر سنگ زده شود. آب شکن‌ها در حلزون دوگانه باید ۱۸۰ درجه اختلاف داشته باشند. اگر نوک لبه‌های ورودی حلزونی یا دیفیوزر کوتاه‌تر شود، بازده کلی پمپ افت پیدا نمی‌کند. حتی به علت حذف بعضی از پدیده‌های جاذب انرژی، افزایش اندکی در بازده پیش خواهد آمد. سطح بالای نوفه، ضربه و ارتعاش حاصل از تواتر عبور پره‌ها و همچنین واماندگی ایجاد شده در ورودی دیفیوزر مهمترین این پدیده‌هاست. میزان توصیه شده برای فاصله شعاعی در شکل ۹ نشان داده شده است.

نوع طراحی پمپ	فاصله "A"	فاصلهٔ "B" – درصد شعاع پروانه		
		حداقل	متداول	حداکثر
دیفیوزر	۱/۲۵ میلیمتر	٪ ۴	٪ ۶	٪ ۱۲
حلزونی	۱/۲۵ میلیمتر	٪ ۶	٪ ۱۰	٪ ۱۲

R_2 شعاع پروانه و R_3 شعاع دیفیوزر یا حلزونی می‌باشد $B = 100 (R_3 - R_2) / R_2$

توجه: اگر تعداد پره‌های پروانه و تعداد پره‌های دیفیوزر (حلزونی) هر دو فرد باشد فاصله شعاعی باید در حدود ۴ برابر بزرگتر شود.

شکل ۹ – فاصله شعاعی توصیه شده بین پروانه و محفظه پمپ

لقی نوک پره‌ها (فاصله "B" در شکل ٦) دامنه و قدرت ضربه هیدرولیک حاصل از تواتر عبور پره را کنترل می‌کند. لقی صفحهٔ روی پره‌های پروانه (فاصلهٔ "A") شدت تپش فشار در پشت توپی پروانه و صفحه عقبی پروانه را کنترل می‌کند. این تپش به نیروهای دینامیک قوی در جهت محوری و با فرکانس‌های پایین تبدیل می‌شود. پدیده بازچرخش در رانش پروانه ممکن است در شرایط بخصوص باعث قطع و وصل بازچرخش در مکش شود. بعلاوه برای افزایش فاصله شعاعی می‌توان از پروانه‌هایی با قابلیت و توانایی بیشتر و با طرح‌های گوناگون استفاده نمود:

۵ - ۱ - در پمپ‌های دارای حلزون دوگانه از پروانه‌هایی با تعداد پرهٔ فرد استفاده شود. از بکار بردن پروانه با تعداد پرهٔ زوج در حلزون دوگانه و یا دیفیوزری با تعداد پرهٔ زوج اجتناب کنید.

۵ - ۲ - گسترش صفحه میانی در پروانه‌های دومکشه به طرف قطر خارجی که باعث مقاوم‌تر شدن ساختمان پروانه می‌شود.

۵ - ۳ - یک در میان چیدن پره‌های طرف راست و چپ پروانه دومکشه برای کاهش ضربه‌های هیدرولیک و کم کردن تواتر عبور پره.

۵ - ۴ - حفظ لقی محوری مناسب بین خروجی پروانه و ورودی دیفیوزر (حلزونی).

۵ - ۵ - کاهش لقی شعاعی (فاصله "A") بین صفحات پروانه و محفظه تا حدود ۱/۲۵ میلیمتر.

۵ - ٦ - افزایش ضخامت دیواره‌های پروانه.

۵ - ۷ - پروانه‌هایی که انتهای پره‌های آنها پخ یا گرد شده باشد ممکن است باعث ایجاد ضربهٔ قوچ شود. حتی در مواردی که فاصلهٔ "B" تا آب‌شکن مناسب باشد، پره‌های گرد شده باعث آشوب در حلزونی می‌شوند. انتهای پره‌ها باید مطابق روشهایی که در مباحث ویژه طراحی پروانه مطرح می‌شود ساخته شود.

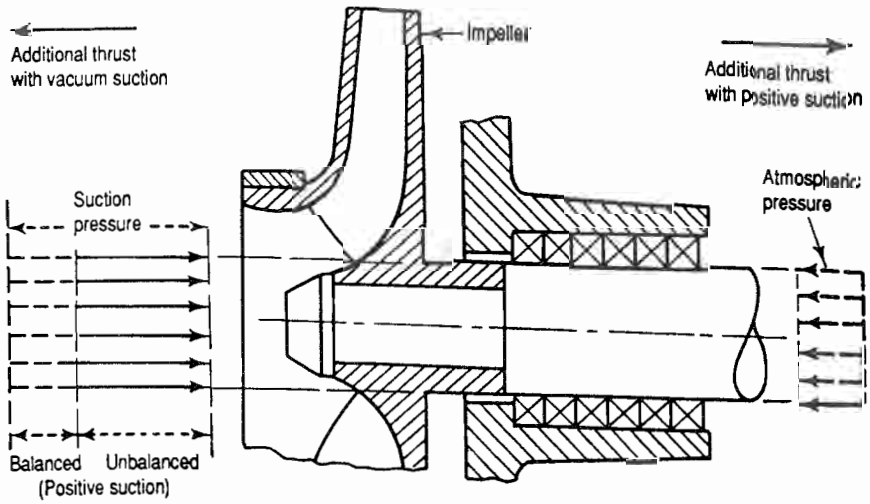
۶ - بریدن محور

بریدن محور ممکن است در پمپ های دومکشه که فاصلهٔ بین یاتاقان‌ها زیاد است روی دهد. مورد غیرعادی در این حالت آنست که در اکثر موارد محل بریدن شفت بلافاصله بعد از پروانه قرار دارد در حالی که در این موقعیت تنش پیچشی وجود ندارد. اما وزن کوپلینگ ممان خمشی منفی در یاتاقان داخلی ایجاد می‌کند که منجر به ایجاد ممان خمشی بزرگتر و تأثیر خستگی در صفحه‌ای نزدیک لبهٔ پروانه روی محور می‌شود. کشش‌های متوالی یا تنش‌های دیگری که در این نقطه متمرکز شده، ممکن است باعث شکستن‌های متوالی محور باشد. باید تلاش نمود که هر دو نوع نیروهای خمشی را کاهش داد.

اغلب با اصلاحات ساده‌ای می‌توان تنش خمشی و شکست در محور راکاهش داد اگر وزن کوپلینگ یک سرآزاد[1] کاهش یابد مشکل خمش تا حدود زیادی کم می‌شود. بسیاری از سازندگان موتور، کوپلینگ مورد نیاز را بزرگ در نظر می‌گیرند در حالی که در موتورهایی با توان متوسط اگر کوپلینگ یک شماره کوچکتر در نظر گرفته شود وزن آن ۴۰ تا ۴۵ کیلوگرم کمتر خواهد بود.

۷- مسائل نیروی محوری در پمپ‌های یک طبقه

به دلیل عدم تعادل محوری فشار در پمپ‌ها، بارهای محوری ایجاد می‌شود. در پمپ یک مکشه، با پروانهٔ یک سرآزاد فشار مکش بر سطح توپی پروانه وارد می‌شود. فشار اتمسفر که در سطح معادل وارد می‌شود، در مقابل فشار مکش مقاومت می‌کند. بنابراین هنگامی که فشار مکش کمتر یا بیشتر از فشار اتمسفر باشد عدم تعادل اتفاق خواهد افتاد (شکل ۱۰)، در پمپ دومکشه یاتاقان‌ها در دو طرف پروانه بوده و محور از چشم پروانه عبور می‌کند. در نتیجه نیروهای محوری مربوط به فشار مکش در دو طرف تقریباً برابر است و فقط آشوب[2] در جریان به وجود می‌آید



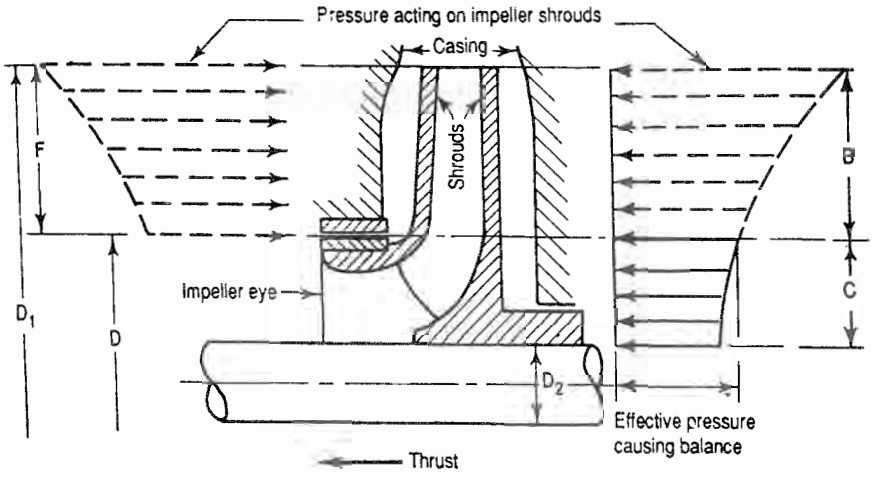
شکل ۱۰ – تأثیر فشار مکش بر نیروی محوری در پمپ یک طبقه با پروانهٔ یک سر آزاد

1 Overhung

-2 disturbanc

پروانه پمپ گریز از مرکز یک مکشه معمولی عامل ایجاد نیروی محوری است. این نیروی محوری، ناشی از تأثیر فشار رانش بر پشت صفحه عقبی و پشت صفحه جلویی پروانه است (شکل ۱۱). سطح پشت صفحه جلویی، سطح بین قطر خارجی و قطر چشم پروانه یا حلقه سایشی خواهد بود. همین حالت در پشت صحفه عقبی پروانه نیز برقرار است اما به جای قطر حلقه سایشی در این مورد قطر محور مطرح است که بسیار کوچکتر است. بنابراین سطح تحت فشار در پشت صفحه عقبی پروانه بسیار بزرگتر است. اثر خالص فشار روی سطح بزرگتر بوده و ناشی از اختلاف فشاری است که توسط پروانه ایجاد می‌شود.

در تمام پمپ‌ها بقیه نیروی محوری که متعادل نشده است باید توسط یاتاقان‌های محوری تحمل شود. به منظور انتخاب اندازهٔ صحیح یاتاقان محوری، محاسبهٔ دقیق مقدار بار محوری اهمیت دارد.



شکل ۱۱ – اثرات فشار رانش بر نیروی محوری در پمپ‌های یک طبقه با پروانهٔ یک سرآزاد

مراجع :

CENTRIFUGAL PUMP SOURCEBOOK
by: JOHN W.DUFOUR
& WILLIAM E.NELSON

کارکرد پمپها در شرایط سخت

مجتبی جباری مقدم
صنایع پمپ‌سازی ایران

□ خوردگی وسایش

هزینهٔ سالانه خوردگی و حفاظت علیه آن در دنیا سرسام آور است. شرکتها میلیونها دلار در سال خرج محافظت از خوردگی جوی و همچنین خوردگی ناشی از انتقال مواد می‌نمایند. افراد پس‌انداز سالانه خود را صرف رنگ نمودن خانه و ماشین می‌نمایند. اگر خوردگی مطرح نبود اقتصاد کشورها بطور کلی متفاوت بود. اگر انتخاب مناسب مواد و طراحی صحیح اجزاء و تعمیرات پیشگیری انجام گیرد، هزینه‌ها در صنایع می‌تواند بطور قابل ملاحظه‌ای کاهش یابند. جهت تعیین اصول خوردگی در پمپ‌ها، حالات مختلف خوردگی وسایش که می‌تواند در یک پمپ رخ دهد در شکلهای ۱ و ۲ نشان داده شده است.

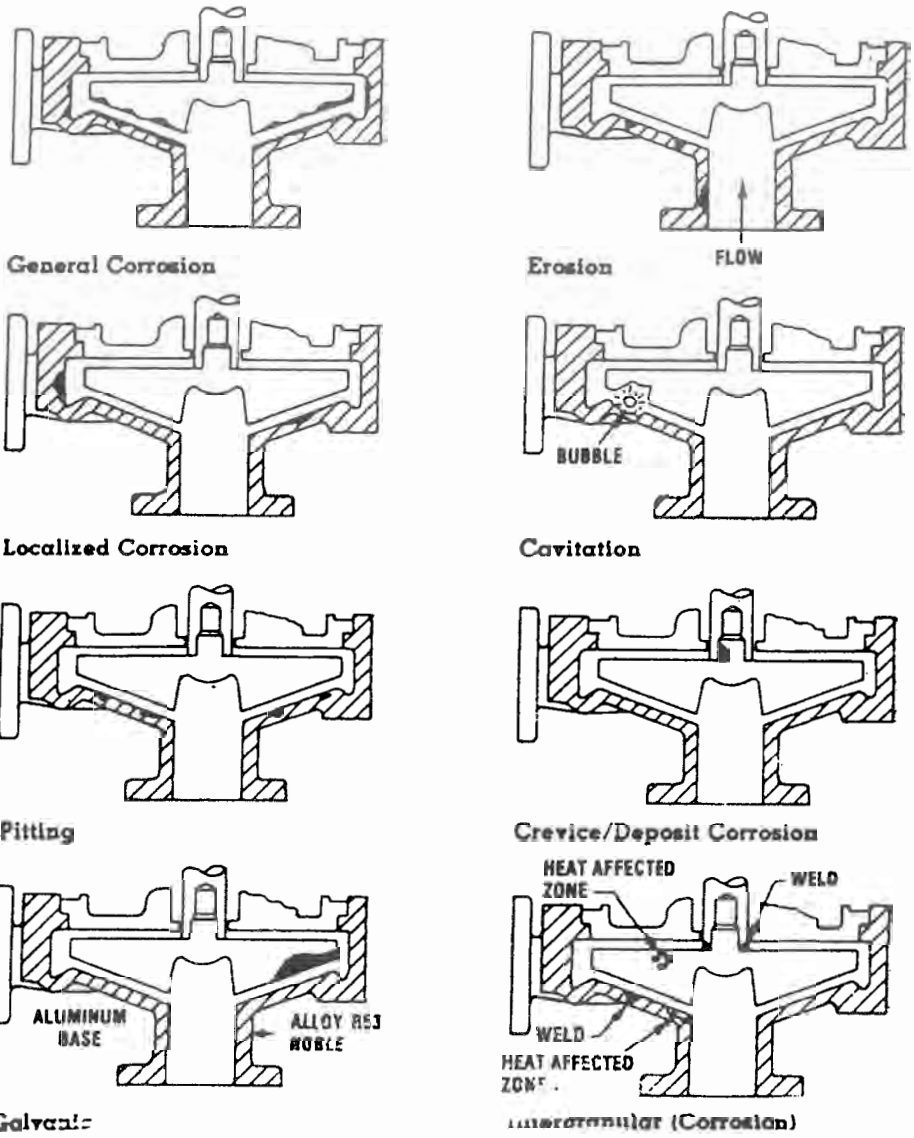
در اینجا لازم است خاطرنشان کنیم انتخاب مواد به عوامل متعددی بستگی دارد

۱ - هزینه ۲ - مقاومت به خوردگی ۳ - در دسترس بودن
۴ - استحکام ۵ - قابلیت ساخت ۶ - ظاهر مواد

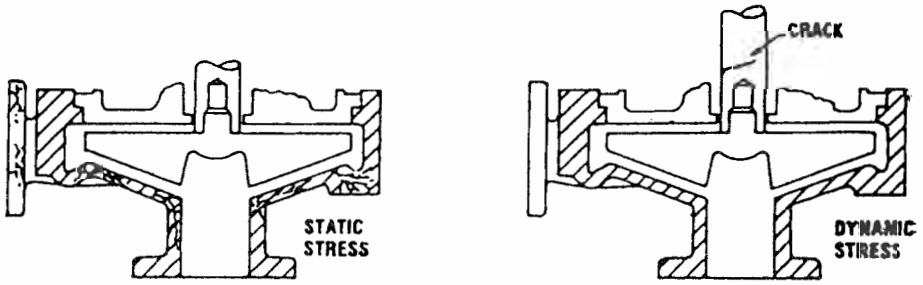
□ مواد مورد پمپاژ:

در ابتدا به نحوهٔ تقسیم‌بندی ماده مورد پمپاژ می‌پردازیم که به پنج گروه زیر می‌رسیم

۱ - خورنده ۲ - ساینده ۳ - سمّی
۴ - آتش‌زا و منفجره ۵ - غلیظ



شکل ۱
Mechanics of Corrosion



شکل ۲
Cracking Phenomena

در مورد پمپ عوامل دیگری نیز مؤثر هستند

۱ - شرایط عمل و شیوه مکش
۲ - سرویس پیوسته یا متناوب
۳ - نوع آببندی محور
۴ - سری یا موازی بسته شدن پمپ‌ها
۵ - نوع مایع
۶ - افزایش دما

عوامل فوق به طور کلی روی میزان خوردگی مواد مؤثر بوده و انتخاب مواد مناسب، بستگی به محاسبه دقیق فاکتورهای فوق دارد. به علاوه هرگونه تغییر در عملیات یا پروسه می‌تواند منجر به تغییر در تعادل خوردگی گردد.

خوردگی عمومی

خوردگی در قطعات ریخته‌گی از دیواره‌هائی که در تماس با مادهٔ مورد پمپاژ هستند شروع می‌شود ضمناً مسئلهٔ خوردگی با در نظر گرفتن سرعت، فشار و طبیعت مایع مورد پمپاژ، پیچیده‌تر می‌شود

الف - محصولات ناشی از خوردگی خود بعنوان یک محافظ عمل می‌کنند. این وضعیت در فولادهای آستنیتی دیده می‌شود. مواد خورده شده از فولاد در سطح فولاد قرارگرفته و بعنوان لایه محافظ عمل می‌کند در این شرایط سایش می‌تواند باعث کنار رفتن لایه محافظ شده و باعث خوردگی مجدد گردد.

ب - مواد خورده شده ممکن است قابل حل در مایع مورد پمپاژ باشند. این مسئله را می‌توان در فولادهایی که در داخل مایع حاوی اکسیژن قرار دارند نشان داد.

ج - حالت خاص: خوردگی یکنواخت و کنترل شده‌ای که به طور مصنوعی با کنترل PH محلول انجام می‌گیرد در پمپ‌ها شناسائی خوردگی کلّی با سرعت و فشار در ارتباط مستقیم قرار دارد این نوع خوردگی در سطح قطعات بصورت حفره‌هائی که تحت تأثیر سرعت بوجود آمده‌اند ظاهر می‌شود. این تغییرات می‌تواند توسط ذرات جامد درون مایع بوجود آمده و یا خوردگی شیمیائی باعث این عیب گردد که آزمایشات دقیق می‌تواند در تعیین نوع خوردگی مؤثر باشد.

سایش به دو شیوه عمل می‌کند

۱ - سایش خورنده: در این شیوه مایع عاری از ذرات جامد بوده و سرعت مایع باعث ایجاد یک جریان سایشده و متلاطمی می‌شود که ناشی از ناخالصی‌های سطحی بوده و موجب سایش می‌گردد. از یک سرعت معینی سایش خورنده، شروع می‌گردد.

۲ - سایش مکانیکی: برخورد ذرات ساینده ناشی از جریان مایع روی سطح اثر می‌گذارد این ذرات قابلیت کندن اکسیدهای تشکیل شده در سطح را دارند. در این شیوه کاهش سرعت مایع کمک زیادی نخواهد کرد

زاویه برخورد ذرات در این حالت یک نکتهٔ مهم بشمار می‌آید. بهترین راه حل فیلتر نمودن ذرات است یک مثال خوب برای این نوع سایش، حفره‌ها و شیارهای موجود روی آببندهای مکانیکی است. این شیارها می‌توانند به هم پیوسته، یک کانال ایجاد نموده و عیوب عمده‌ای را بوجود آورند.

از هم پاشیدن حبابها و جذب مجدد آنها (کاویتاسیون) در پره‌های پروانه صدماتی به شکل حفره‌های مجتمع و کنار هم را باعث می‌گردد. برای جلوگیری از این صدمات

۱ - شرایط کارکرد پمپ را کنترل کنید

۲ - در صورت امکان NPSH را افزایش دهید

۳ - از مواد مقاوم در مقابل کاویتاسیون استفاده نمائید

۴ - یک اینديوسر (inducer) جایگذاری نمائید.

از هم پاشیدن سریع حبابها (کاویتاسیون) احتمالاً شوکهائی به قدرت 64000psi تولید می‌نماید و این مقدار بیشتر از استحکام بسیاری از مواد می‌باشد. اینچنین تنش‌هائی باعث تغییر فرم پلاستیکی در فلزات شده که در سطح پروانه‌ها و محفظه‌ها به صورت خطوط لغزش ظاهر می‌گردد.

از هم پاشیدن حبابها باعث خشن شدن فلزات نیز می‌گردد. این سطوح خشن خود باعث ایجاد جوانه‌زنی حبابهای جدید می‌شود. در نظر گرفتن چند نکته موجب کاهش این مشکل می‌شود.

الف - تصحیح طرح برای به حداقل رساندن تغییرات فشار دینامیکی

ب - استفاده از مواد مقاوم به سایش و کاویتاسیون

ج - صاف نمودن سطح قطعه ریخته گی، تا نواحی جوانه‌زنی حباب کاهش یابند

د - استفاده از لاستیک و پلاستیک در سطح که مقاومت بیشتری به جذب شوکهای ناشی از انفجار حبابها دارند. ضایعات کاویتاسیون معمولاً در ناحیه مابین دهانهٔ پروانه و نوک پره‌ها دیده می‌شوند عوامل متعددی باعث حفره‌ای شدن سطح فلز می‌گردد

این نوع از آسیب قطعه به صورت موضعی بوده و باعث ایجاد حفره‌هائی که در عرض و عمق به یک اندازه هستند می‌گردد. همچنانکه عرض زیاد می‌شود عمق نیز افزایش می‌یابد و ایجاد یک حفره می‌نمایند. حفره‌ها، خصوصیات زیرا را دارا می‌باشند

۱ - شناسائی آنها مشکل است زیرا با مواد خورده شده پوشیده می‌شوند
۲ - حفره‌دار شدن معمولاً به زمان نسبتاً طولانی احتیاج دارد
۳ - حفره‌ها معمولاً در جهت نیروی جاذبهٔ زمین رشد می‌کنند
۴ - حفره‌دار شدن خود باعث تشدید حفره‌دار شدن بعدی می‌گردد
۵ - حفره‌دار شدن با توقف یک سیستم همراه است برای مثال پمپ در تحت شرایط پمپاژ آب دریا بخوبی کار خواهد کرد. در صورت توقف پمپاژ حفره‌دار شدن شروع می‌گردد

خوردگی بین دانه‌ای

فلزات و آلیاژها شامل کریستالهای جهت‌دار می‌باشند که در جریان تبدیل حالت مذاب به جامد بوجود می‌آیند. این کریستالها در یک نظم اتمی که به اسم ساختمان کریستالی شناخته می‌شود قرار دارند در طی انجماد زمانیکه کریستالها بهم می‌رسند لبه‌های آنها تشکیل یک مرز می‌دهد که شکل یک شبکه را به خود می‌گیرد این مرزها عیبهای بیشتری نسبت به خود دانه می‌توانند داشته باشند. بنابراین در محیط‌های مختلف خورنده، آسیب در این ناحیه متمرکز می‌گردد این نوع خوردگی به عنوان خوردگی بین دانه‌ای شناخته شده است

پمپ‌های شیمیائی مدرن

جهت آببندی کامل برای پمپاژ مطمئن مایعات خطرناک به دو طرح از پمپهای شیمیائی می‌رسیم در اغلب کارخانجات مدرن از پمپ‌های سانتریفوژیک مرحله‌ای استفاده می‌شود هزینه کم و سادگی طرح و تعمیرات راحت، دلایل احتمالی استفاده از این پمپ‌ها در کارخانجات شیمیائی می‌باشند
تجهیزات پمپ به دو دسته تقسیم می‌شوند

۱ - در تماس با مواد شیمیائی ۲ - تحت سایش مکانیکی

۱ - تجهیزات در تماس با مواد شیمیائی

الف) پروانه ب) محفظه ج) محور

الف) پروانه : پروانه با طرح باز مناسب‌ترین طرح برای پمپ‌های شیمیائی می‌باشد ضخامت ۲ الی ۳ میلی‌متر از سطح پروانه در معرض خوردگی شیمیائی قرار داشته لذا ضخامت ۶ میلی‌متر را برای

افزایش عمر در مقابل خوردگی در نظر می‌گیرند. البته در تئوری ضخامت ۳ ـ ۲ MM برای پروانه کافی است در حالیکه بجهت خوردگی و سایش تا ٦ میلی‌متر در نظر می‌گیرند. افزایش ضخامت پروانه باعث کوچک شدن کانال عبور مایع گردیده و منحنی راندمان نیز نزول می‌کند.

ب) محفظه: در این قسمت باید از سوراخکاری در رو و بی‌دررو غیرضروری روی محفظه، حدالامکان اجتناب گردد. هرگونه سوراخ باعث تشدید خوردگی وسایش می‌شود. البته یک سوراخ تخلیه در پائین‌ترین نقطه محفظه ضروری است. و اشرهای کاغذی محفظه نیز که باعث آببندی مواد مورد پمپاژ داخل پمپ می‌گردند باید بدقت انتخاب شوند. طوری که هم در مقابل مایع مورد پمپاژ و هم در برابر دمای ایجاد شده مقاوم باشند

ج) محور: محور بصورت یکپارچه تولید می‌شود انتخاب مواد محور باید طوری صورت گیرد که با مواد محفظه و پروانه سازگاری داشته باشد.

در ارتباط با هزینهٔ بالای بعضی آلیاژهای مقاوم، برای ساخت محور می‌توان از روش جوشکاری اصطکاکی استفاده نمود و دو تکهٔ محور با آلیاژهای متفاوت را با هم دیگر جوش داد.

یعنی قسمتی از محور که در ارتباط با مایع مورد پمپاژ است از آلیاژهای ویژه و قسمت دیگر از فولاد کربنی استفاده گردد

برای پمپ‌های معمولی وجود بوش روی محور قابل قبول می‌باشد ولی برای پمپ‌های شیمیائی به سه دلیل زیر، بوش توصیه نمی‌گردد زیرا:

۱ ـ آببندی دیگری بین بوش و محفظه پروانه بدلیل احتمال نشت لازم می‌شود

۲ ـ قطر زیربوش کاهش یافته بنابراین ساختمان ضعیفی ایجاد می‌گردد

۳ ـ بعد از یک خوردگی طولانی، جدا نمودن بوش از محور امکان‌پذیر نمی‌باشد

برای کاربردهای ویژه که مسئله سایش وجود دارد سطح محور در زیر ناحیه آببندی توسط پاشش مواد استلیت [1] سخت‌کاری سطحی می‌گردد این عمل باعث سخت شدن سطح محور از ۲۰۰ الی ٦۰۰ برنیل شده و باعث کاهش اثر سایش می‌گردد

---

۱ ـ استلیت: آلیاژ کبالت (٦۵ % ـ ۲۰ %) ـ کرم (۳۲ ـ ۱۱)% تنگستن (۵ ـ ۲)% که روی فلزات توسط پاشش یا ذوب اعمال شده و سطح آنرا بسیار سخت و مقاوم در برابر حرارت می‌نماید

۴ - تجهیزات تحت سایش مکانیکی

یاتاقانها برای تحمل فشارهای بالا طراحی شده‌اند. نکته مهم پخش نیرو بین یاتاقانها با در نظرگرفتن فشارهای محوری و شعاعی می‌باشد. یاتاقان جلویی از نوع رولربیرینگ که بیشترین نیروی شعاعی پروانه را تحمل می‌کند و یاتاقان عقبی از نوع بلبیرینگ برای تحمل نیروی محوری می‌باشد

روانکاری یاتاقانها در پمپ‌های شیمیائی از اهمیت بسزائی برخوردار می‌باشد. یک روغن کاری عاری از مواد زائد و باکیفیت، ضروری است. خطر نفوذ مورد پمپاژ، به یاتاقان در صورت عیب در آببندی بسیار زیاد است جهت جلوگیری از نفوذ مواد شیمیائی به تجهیزات یاتاقان از یک مایع پخش‌کن قبل از یاتاقان روی محور معمولاً استفاده می‌گردد

در بعضی حالات لازم است که پمپ گرم نگه داشته شود. شیوه‌های گرم کردن پمپ بسیار متنوع می‌باشند یکی از عمومی‌ترین حالات استفاده از بخار برای گرمایش است ساختمان پمپ‌های شیمیائی استاندارد این اجازه را به ما می‌دهد که به راحتی از سیستم گرمایش در محفظه مکش و محفظه خلزونی توسط بخار استفاده کنیم

کاربردهای عمده این نوع از پمپها

الف : مواد غلیظ : که در دمای محیط بسختی پمپ می‌شوند

ب : سولفورها : این مواد در دمای محیط به شکل جامد هستند بنابراین برای پمپ کردن تا دمای ذوب باید حرارت داده شوند

ج : بعضی محصولات احتمال دارد در دمای محیط رسوب کریستالی در آنها ظاهر شود

در این موارد بخاردهی باید کنترل گردد و قبل از راه‌اندازی به سیستم بخاردهی انجام گیرد و مطمئن شویم که به دمای پمپاژ رسیده‌ایم برای اطمینان بیشتر بخار باید به طور مرتب به سیستم تزریق شود

کارکرد پمپ در دمای بالا

در شکلهای استاندارد پمپ‌ها، برای دماهای تا ۱۸۰°c نیاز به تغییراتی در تکیه‌گاهها نیست ولی در دماهای بالای ۱۸۰°c برای انبساط احتمالی که در بین تکیه‌گاهها و خط مرکزی محور اتفاق می‌افتد پیش‌بینی هائی در نظرگرفته می‌شود انبساط بیش از حد باعث انحراف از خط مرکزی محور شده ایجاد عیوبی در قطعات گردنده می‌نماید

خنک کاری یاتاقانها

دمای زیاد در بدنهٔ پمپ احتمال افزایش درجه حرارت در یاتاقان جلوئی را بدلیل وجود انتقال حرارت، بالا می‌برد. برای جلوگیری از هرگونه، آسیب توصیه می‌گردد در زیر قسمت روغنکاری از یک سیستم خنک کاری استفاده شود

نوع مواد پمپها

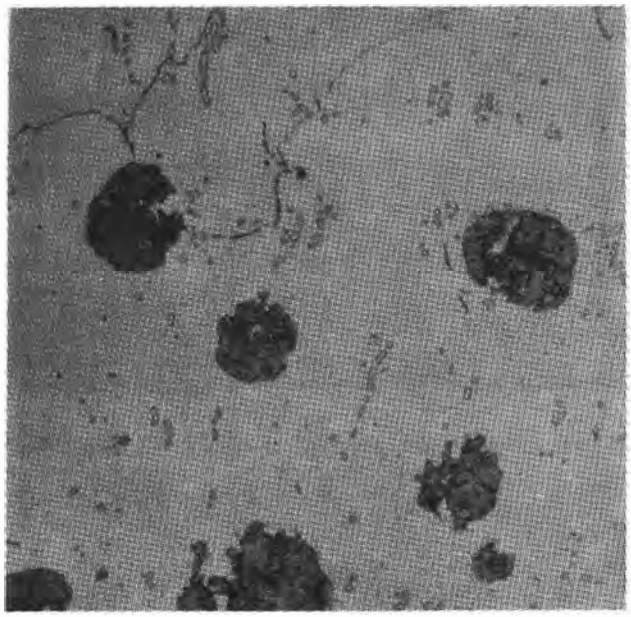
غالباً توجه به مواد مقاوم به خوردگی با توجه به فاکتورهای هزینه، قابل دسترس بودن و خواص مکانیکی مد نظر قرار می‌گیرند. در اینجا برای بررسی بیشتر مواد به ذکر چند آلیاژ که در ریخته گری قطعات پمپهای شیمیائی، آب دریا و مواد ساینده، اشاره می‌گردد

چدن آستنیتی گرافیت کروی Ni - Resist D - 2

این چدن نسبت به چدن گرافیت تیغه‌ای GG - 25 از خواص مکانیکی بمراتب بهتری برخوردار می‌باشد استحکام و ازدیاد طول در اثر عملیات حرارتی به نحوه قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابند و افزایش نیوبیوم (Nb) جوش‌پذیری این آلیاژ را بهبود می‌بخشد. Niresist D - 2 برای قطعات تحت فشار در درجه حرارت ۳۵۰ الی ۶۰ - استفاده می‌شود. این آلیاژ درخوردگی قلیائی خاکی حتی در درجه حرارت بالا مقاومت زیادی دارد در تمام دنیا استفاده از چدن آستینی برای پمپ‌ها و شیرها در تأسیسات نمک زدائی از آب دریا توصیه می‌شود

ترکیب شیمیائی Niresist D2

% C	% Si	% MN	% Ni	Cr
3	1.7 - 3.0	0.7 - 1.5	18 - 22	2.5 - 4.5



Ni-Resist D-2
Magnification approx 350 : 1
etched with nital

شکل ۳ - ساختمان متالوگرافی :
زمینهٔ آستنیتی با گرافیت کروی با کاربیدهای کرم بعد از عملیات حرارتی

جدول ۱

Min. values at room temperature			to DIN 1694 (Oct. 1966 edition)	KSB (mean values from a series of readings)
Yield point	$R_{p\ 0,2}$	[N/mm²]	206	271
Tensile strength	R_m	[N/mm²]	373	454
Elongation at rupture	A_5	[%]	8	15,1
Notch thougness	A_v(DVM)	[J]	13,7	
Hardness HB 30			140 – 200	

خواص مکانیکی Niresist D - 2

چدن آلیاژی مقاوم به سایش Noribard NH 153

این آلیاژ یک چدن کرم مولیبدن‌دار مارتنزیتی هست که مقاومت به سایش و استحکام کششی نسبتاً بالائی را دارا است این آلیاژ از گروه چدنهای سفید می‌باشد و دارای مزیت ویژه‌ای می‌باشد یعنی بعد از ریخته‌گری توسط آنیل کردن نرم شده و براحتی ماشین کاری می‌شود. بعد از اتمام ماشینکاری قطعات می‌توانند تحت عملیات حرارتی قرار گرفته و تا ۱۰۰۰ HV و یکرز سخت شوند.

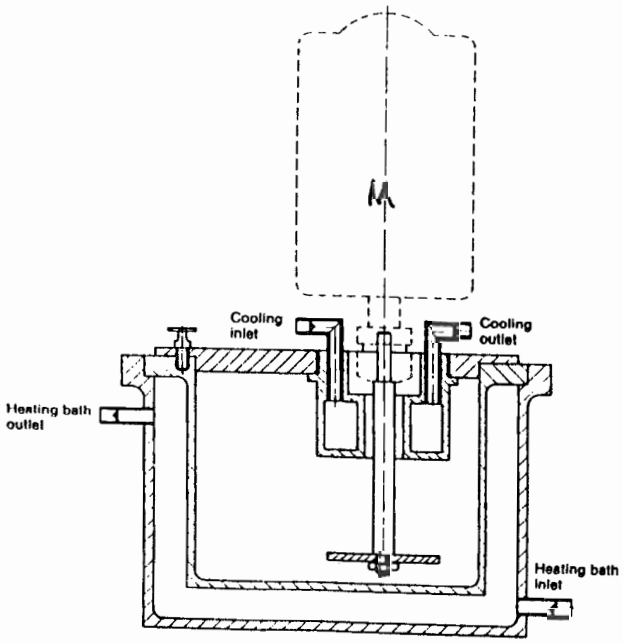
ترکیب شیمیائی

% Mo	% Ni	% Mn	% Si	% C
2.4 - 2.8	14 - 18	0.5 - 0.8	0.3 - 0.8	2.4 - 2.8

Norihard NH153 به عنوان یکی از مواد اساسی در خط تولید سازندگان پمپ در دنیا مطرح می‌باشد این آلیاژ قابل جوشکاری نیست. کاربرد آن برای مایع‌های ساینده که حاوی مقدار زیادی مواد جامد می‌باشند هست مثال : صنایع اکسید آلومینیوم (دوغ آب بوکسیت) صنایع فولاد (آب و لجن زینترکاری) صنایع شکر و صنایع شیمیائی (شیرآهک - آب شستشو) صنایع استخراجی و صنایع فلزکاری (آب شستشو حاوی خاکستر، غبار یا غبار سنگ‌زنی و کراندوم)

لوازم تست سایش

استفاده از یک مدل ساده برای تست سایش که در آن یک بشقابک از جنس مورد آزمایش در یک مخلوط آب و ماسه که رفتار سایشی ماده مورد نظر را در یک زمان نسبتاً کوتاه بدست می‌دهد توسط این روش امکان مقایسه یک آلیاژ با سایر آلیاژها توسط آزمایش فراهم می‌آید در حالتی که مادهٔ خورنده در دسترس آزمایشگاه نباشد. یا در وضعیتی که عملیات قابل مشابه سازی در آزمایشگاه نیست آزمایش در خود کارگاه واقعی در خطوط لوله یا جای مناسب دیگر انجام می‌شود. بدین صورت که بشقابک به شکلی مناسب که در محل کارگاه در خطوط لوله جای بگیرد ساخته می‌شود. اندازه‌گیری جریان مواد خورنده، دما، ترکیب مواد خورنده و یک سری توزین منظم نمونه مورد آزمایش در واحد زمان انجام می‌گیرد. این اندازه‌گیری‌ها مقاومت به خوردگی و سایش را به ما نشان خواهد داد.



شکل ۴

مراجع:

1. Indian pumps

2. material technology KSB

پمپ‌های عمودی

مهندس بابک رضوی‌اقدم
شرکت صنایع پمپ سازی ایران
خانم پونه عرفانی

«قسمت اول»

□ مقدمه:

پمپهای عمودی[1] به علت تنوع کاربردشان در صنعت نظیر جمع‌آوری سیلاب، چربی‌گیری از آبهای روغنی، تخلیهٔ فاضلاب و سیرکولاسیون آب خنک کننده مورد استفادهٔ فراوان قرار می‌گیرند. علی‌رغم کاربرد گستردهٔ این نوع پمپها به مسائل مهندسی فراوانی برخورد می‌شود. روتور موتور پمپهای عمودی به صورت ثقلی پایدار نیست. عملکرد روتور پمپهای عمودی نسبت به پمپهای افقی پیچیده‌تر است. تأثیر نیروی‌های ژیروسکوپی باعث ایجاد صدمات در روتور و محفظهٔ پمپ گشته در نتیجه مشکلات افزایش می‌یابند. به طور کلی کنترل سیال ورودی به مقطع مکش پمپ تنها تابع نوع محفظهٔ پمپ نیست بلکه به طرح محل نصب پمپ نیز بستگی دارد.

تمام قسمتهای پمپ عمودی در تماس با سیال پمپ شونده می‌باشند در نتیجه باید از مواد مقاوم در برابر خوردگی ساخته شوند. به این ترتیب تحت شرایط عملکرد مساوی مواد مورد مصرف برای ساخت پمپ عمودی بصورت قابل ملاحظه‌ای از پمپ افقی گرانتر است. مسائل تعمیرات و نگهداری پمپهای عمودی نسبت به پمپهای افقی به صورت محسوس متفاوت می‌باشد. قطعات بسیار زیادی لازم است تا یک پمپ[2] توربینی عمودی تعمیر گردد. به عنوان نمونه جهت تأمین فشار یک طبقه از پمپ[3] افقی جریان شعاعی نیاز به پمپ عمودی ۴ طبقهٔ جریان مختلط

1 Vertical pumps 2 Vertical Turbine Pump
3 radial flow

می‌باشد. صدمات و خسارات و تعمیرات دوره‌ای در پمپهای عمودی نسبت به پمپ افقی بیشتر است مخصوصاً زمانی که سیال پمپ شونده شامل مواد ساینده نظیر شش مواد رسوب‌گذار و مواد خورنده باشد.

دمونتاژ یک پمپ عمودی به علت خوردگی پیچها، سایش شفت، خمیدگی شفت و همچنین وجود قطعات شکننده، مشکل است. آنالیز ارتعاش در پمپهای عمودی در اکثر موارد غیرممکن است. علاوه براین از سرویس خارج کردن، بیرون آوردن و انجام تعمیرات روی یک پمپ عمودی بسیار پرهزینه خواهد بود.

دامنهٔ تغییرات طرحهای پمپ بسیار گسترده می‌باشد. اختلافات اساسی در طرحها شامل قطر شفت و ساختمان آن، طول و میزان لقی محلهای قرار گرفتن بوشها و یاتاقانها، مجموعهٔ پروانه‌ها، ساختمان محفظه، جهت نیروی محوری (به طرف بالا و به طرف پائین)، انتخاب سرعت و کیفیت ساخت می‌باشد. در کاربردهای با ظرفیت بالا و حساس باید حداکثر کیفیت مدنظر قرار گیرد. زمانی که پمپ جهت استفاده در مصارف غیر حساس طرح می‌گردد، مهندسان کمتر دقت به خرج می‌دهند. همین مسئله بعلاوهٔ وجود مسائل مختلف مربوط به نگهداری پمپ، باعث افزایش هزینه‌های بهره‌برداری می‌گردد.

۱ - تئوری پمپهای عمودی :

در طراحی پمپهای عمودی مورد مصرف صنایع شیمیائی و نفت، دو طرح اساسی مدنظر قرار می‌گیرد :

۱ - ۱ - پروانهٔ جریان شعاعی :

همانطور که در شکل (۱)نشان داده شده است در این طرح سیال در صفحه‌ای که موازی با محور دوران است وارد به چشم پروانه گشته و از صفحه‌ای عمود بر آن خارج می‌گردد. در این حالت انرژی منتقل شده به سیال کاملاً به صورت گریز از مرکز می‌باشد. مقطع محفظه می‌تواند به صورت حلزونی یا دیفیوزر باشد. محفظه قطعه‌ای است با شیارهای محوری که توسط پیچ به قطر خارجی محفظه‌های دیگر متصل می‌گردد. مشخصهٔ هیدرولیکی پمپهای جریان شعاعی عموماً به صورت فشار بالا و آبدهی پائین تعیین می‌گردد. پمپهای جریان شعاعی عموماً تحت سرعتهای تا 3600 سیکل بر دقیقه و بیشتر عمل می‌کنند.

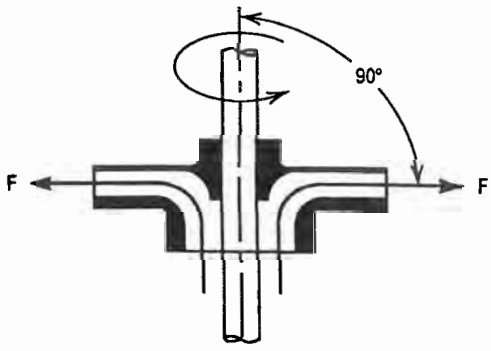


Figure 1 Radial-flow impeller —specific speed range 500–3600.

۱ - ۲ - پروانهٔ توربینی عمودی :

همانطور که در شکل (۲) نشان داده شده است در این طرح سیال در صفحه‌ای موازی با محور دوران، وارد پروانه گشته و از صفحه‌ای که با آن زاویه‌ای بین 45° تا 80° می‌سازد، خارج می‌گردد، در این طرح انرژی منتقل شده به سیال به صورت ترکیبی از نیروی گریز از مرکز و جابجائی محوری می‌باشد. طرح محفظه عموماً به صورت دیفیوزر است. مشخصهٔ این نوع پمپها به صورت زیر است :

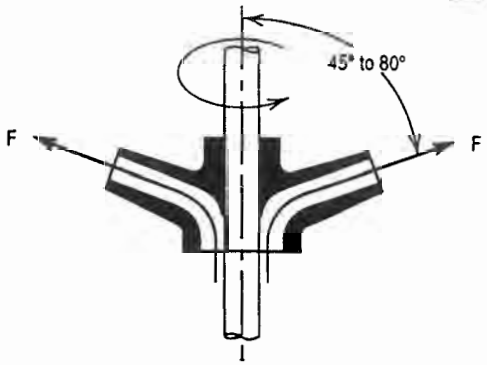


Figure 9.2 Mixed-flow impeller —specific speed range 3600–8000.

- فشار هیدرولیک به ازاء هر طبقه 10 الی 150 فوت .
- ظرفیت بیش از 30000 گالن بر دقیقه
- سرعت نرمال بالاتر از 1760 سیکل بر دقیقه

۲ - جزئیات ساختمان پمپ :

پمپهای عمودی از سه بخش اصلی تشکیل یافته است.

۲ - ۱ - مجموعهٔ محرک [1]

این مجموعه شامل یک الکتروموتور با تکیه‌گاهی ریخته‌گری شده است که مجموعهٔ محفظه به آن متصل می‌گردد. در طرحهای پمپهای ساخت کشور امریکا وزن پمپ و کلیه عکس‌العملهای محوری پمپ توسط یاتاقان محوری الکتروموتور تحمل می‌گردد. اغلب سازندگان اروپائی یک یاتاقان محوری در پمپ در نظر می‌گیرند.

۲ - ۲ - مجموعهٔ شفت و لولهٔ قائم :[2]

لوله قائم مجموعهٔ محفظهٔ پمپ را از مجموعهٔ محرک آویزان نموده و بعنوان هادی جریان از پمپ به مجرای تخلیه عمل می‌کند. در داخل لولهٔ قائم شفت قرار دارد که نیروی محرک را از موتور به پروانه‌های پمپ منتقل می‌سازد. بوشها و یاتاقانهای شفت متناوباً توسط سیالی که پمپ می‌شود، روانکاری می‌گردد. در برخی از طرحها، خط لولهٔ روغن مجزا جهت روانکاری یاتاقانهای شفت مورد استفاده قرار می‌گیرد.

1 Head and driver assembly

2 column and shatf assembly

۲-۳- مجموعهٔ محفظهٔ پمپ

پمپ کامل شامل یک محفظه و یک پروانه می‌باشد.

۳- کاربرد پمپهای عمودی :

همانطور که در شکلهای (۳) و (۴) نشان داده شده است بسیاری از پمپهای عمودی به صورت جریان شعاعی بسته[1] می‌باشند. این طرح دارای لولهٔ قائم و مجموعهٔ شفت کوتاه می‌باشد. این نوع پمپها بر مبناء جهت جریان سیال در محفظهٔ پمپ طبقه‌بندی می‌گردند همانطور که ملاحظه می‌شود در هر دو طرح پوشش خارجی، محفظهٔ پمپ و سیال را در برگرفته است.

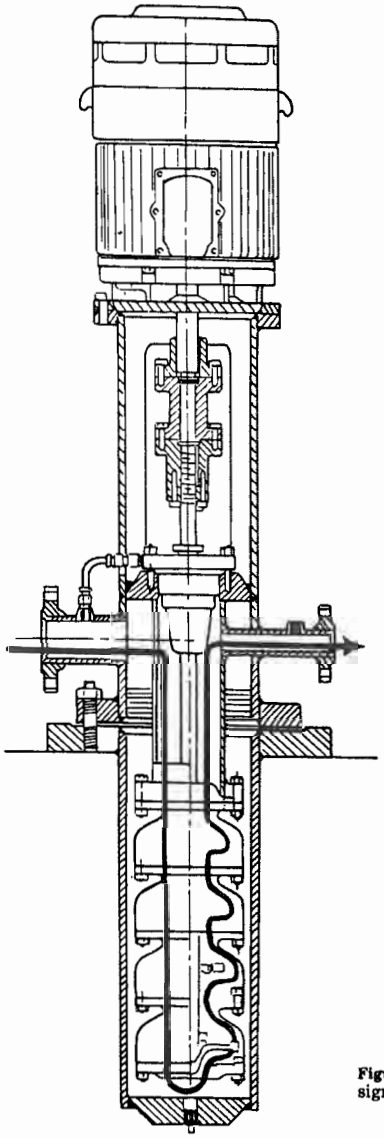


Figure 3 Normal casing design—canned type pump.

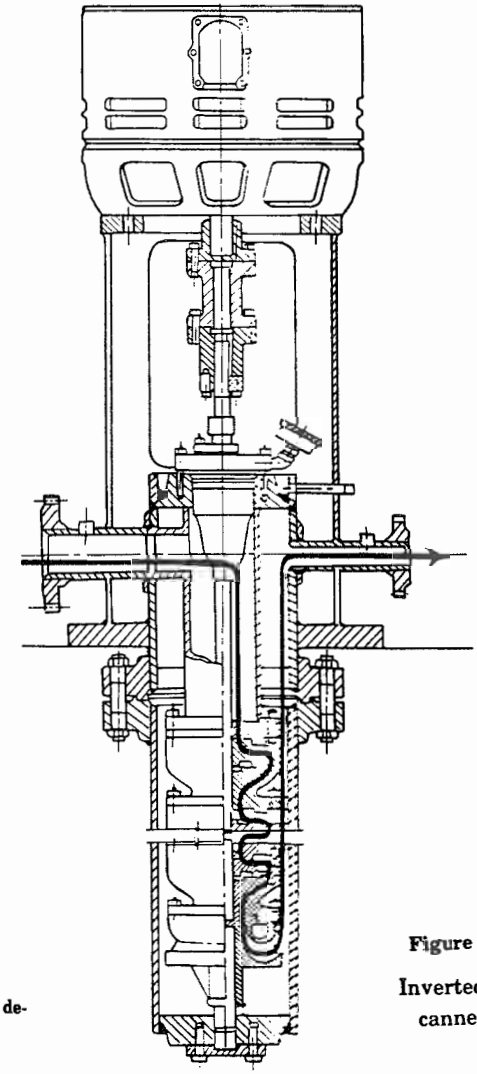


Figure 4
Inverted casing design—canned type pump.

1 Radial - flow canned

۳ - ۱ - طرح نرمال محفظه[1]: در این طرح سیال، در حالی که با پوشش خارجی مجموعهٔ محفظه در تماس است، از قسمت انتهائی پمپ وارد نازل مقطع مکش پمپ شده و به سمت بالا جریان یافته و تحت فشار خروجی پمپ به مجرای تخلیه وارد می‌گردد. پوشش محفظه و محیط خارجی پمپ همواره تحت فشار مقطع مکش پمپ قرار دارند. طرح به گونه‌ای است که حلقهٔ آببندی در مقابل فشار خروجی عکس‌العمل نشان می‌دهد، که این مسئله هم به عنوان مزیت و هم به عنوان عیب طرح، محسوب می‌گردد.

با افزایش اختلاف بین فشار خروجی و فشار بخار اشباع از ایجاد شوک در قسمت آببندی جلوگیری بعمل می‌آید. با این حال در طرح قطعات آببندی مسائلی بوجود خواهد آمد.

۳ - ۲ - طرح محفظهٔ معکوس[2]: در این طرح سیال در نزدیکی کلّه گی وارد مقطع مکش پمپ شده و بسمت پائین مجموعهٔ پمپ جریان یافته، سپس وارد پوشش خارجی پمپ گشته و از طریق مقطع خروجی به بیرون تخلیه می‌گردد. پوشش محفظهٔ و محیط خارجی پمپ در معرض فشار تخلیهٔ پمپ قرار دارند. این طرح به دلایل زیادی استفاده از پمپ‌های عمودی را به جای پمپهای افقی (با NPSH پائین) توجیه‌پذیر می‌نماید. در این طرح قسمت آببندی تحت تأثیر فشار مقطع مکش کار می‌کند. به هنگام پمپاژ سیال تحت شرایط نزدیک به نقطهٔ جوش، امکان بروز شوک در نزدیکی سطح قسمت آببندی وجود خواهد داشت. احتمال ورود هوا به سیستم امکان‌پذیر است.

۴ - اختلاف منحنی پمپ

منحنی مشخصهٔ پمپهای عمودی بستهٔ جریان شعاعی مانند پمپهای افقی مشابه می‌باشد. منحنی مشخصهٔ پمپهای عمودی توربینی با پمپهای افقی مشابه، کاملاً متفاوت بوده و لازم است دقیقاً مورد مطالعه قرارگیرد.

تفاوتهای مذکور را می‌توان به دو صورت زیر طبقه‌بندی نمود:

۱ - فشار پمپ در حالت فلکه بسته می‌تواند 2 تا 3 برابر فشار اسمی پمپ باشد. به همین جهت باید جریان عبوری از پمپ را به صفر رسانده و فشار مقطع خروجی را دقیقاً تست نمود.

۲ - توان مصرفی الکتروموتور در حالت فلکه بسته ماگزیمم می باشد. پرهٔ پمپ جریان مختلط، هم جریان محوری و هم جریان شعاعی ایجاد می‌کند. در نتیجه توان مصرفی با افزایش ابدهی تقریباً ثابت است. در

1 Normal casing design

2 invert casing design

پمپهای سانتریفوژ استاندارد، توان مصرفی با افزایش آبدهی افزایش یافته و ظرفیت الکتروموتور بر مبناء نقطهٔ تقاطع منحنی مقاومت سیستم و منحنی ارتفاع - آبدهی پمپ تعیین می‌گردد. در این حالت توان الکتروموتور ۱۱۰ درصد توان مورد نیاز در جریان نامی بدست می‌آید. در حالی که در پمپهای عمودی ظرفیت الکتروموتور بر مبنای آبدهی پائین‌تر تعیین می‌گردد.

۵ - NPSH مورد نیاز پمپهای عمودی

اغلب پمپها بر مبناء کارکرد در نقطهٔ بهترین راندمان (BEP) انتخاب می‌شوند. $NPSH_r$[1] در محدودهٔ ۱۰ ± درصد نقطهٔ (BEP) ثابت است. در پمپهای توربینی عمودی با افزایش جریان، $NPSH_r$ بشدت افزایش می‌یابد، اگر NPSH یک پمپ عمودی در نقطهٔ BEP برابر 35ft باشد، در انتهای منحنی 60ft خواهد بود. زمانی که عمق سیال در استخر کم است این موضوع بسیار خطرناک می‌باشد. $NPSH_a$[2] در یک استخر روباز برابر است با فشار بارومتریک بعلاوهٔ عمق سیال منهای افتهای فشار در مقطع مکش و ورودی پمپ.

$NPSH_r$ با افزایش یا کاهش عمق سیال در استخر افزایش یا کاهش می‌یابد. بدیهی است افزایش عمق استخر هزینهٔ ساخت آنرا افزایش می‌دهد. به همین دلیل در طراحی استخر باید موارد فوق کاملاً مدنظر قرار گیرد.

در اغلب کاربردهای پمپ توربینی عمودی خصوصاً در آبهای متلاطم، مجرای خروجی پمپ به کانال روباز منتهی می‌گردد. $NPSH_a$ برای یک پمپ شناور نصب شده در استخر حدوداً ۳۶ تا ۳۷ فوت (۱۱ تا ۱۱/۳ متر) می‌باشد. این مقدار زمانی که عمق استخر حدود ۱۲ فوت (۳/۶۵ متر) بوده و ۲ تا ۳ فوت آب بالای مقطع مکش پروانه وجود داشته باشد، تأمین می‌گردد.

۶ - عمق غوطه‌وری[3]:

مهمترین پارامتر مؤثر در نصب پمپهای توربینی عمودی عمق مقطع مکش پمپ در داخل سیال است. به زبان ساده عمق غوطه‌وری عبارتست از اختلاف ارتفاع استاتیک بین سطح آزاد و مقطع مکش پمپ. به این ترتیب عمق غوطه‌وری و NPSH دو پارامتر متفاوت از هم می‌باشند. به منظور جلوگیری از ایجاد گرداب در مقطع ورودی لازم است پمپ در عمق مناسب نصب شده و سرعت سیال ورودی به مقطع مکش کمتر از 4ft/s (۱/۲۲m/s) باشد. کافی نبودن عمق نصب پمپ باعث ایجاد گرداب و نفوذ هوا در مقطع مکش

1 required net positive sucton head

2 available net positive suction head

3 submergence

گردیده و در نتیجه در اثر ایجاد ارتعاش، منحنی مشخصهٔ پمپ تغییر یافته و از عمر مفید پمپ کاسته می‌شود. به طور کلی با افزایش آبدهی پمپ عمق نصب افزایش و با کاهش آبدهی پمپ، کاهش می‌یابد.

سرعت عملکرد پمپ مهمترین عامل در ملاحظات مربوط به پمپ توربینی عمودی می‌باشد. به این ترتیب با کاهش سرعت عملکرد مدت زمان کارکرد بدون نقص پمپ افزایش می‌یابد.

از طرفی کاهش سرعت عملکرد هزینهٔ ساخت پمپ و الکتروموتور را افزایش می‌دهد. به همین دلیل در کاربردهای مختلف لازم است سرعت عملکرد به دقت مورد بررسی قرار گیرد.

۷ - طراحی استخر

طرح استخری که پمپ در آن نصب می‌گردد عامل بسیار مهمی در عملکرد پمپ عمودی می‌باشد. جریان سیال عبوری از پمپهای عمودی نسبت به پمپهای افقی کمتر تحت کنترل قرار می‌گیرد. اطلاعات لازم جهت طراحی استخر پمپ شامل فاصلهٔ پمپ از دیوارهای جانبی و کف استخر می‌باشد. بدیهی است دبی سیال عبوری از پمپ نمی‌تواند تنها عامل تعیین کننده جهت طراحی باشد. لازمه یک طرح خوب اینست که سیال در مسیر جریان خود تا مقطع مکش پمپ با لبه‌های تیز که باعث ایجاد گرداب در آن می‌گردند، برخورد نکند. کاویتاسیون باعث کاهش ظرفیت، ایجاد صدا، بالا رفتن هزینهٔ تعمیرات و نگهداری می‌گردد. در حالتی که چند پمپ همزمان نصب می‌گردند لازم است از طرف سازندهٔ پمپ مدلی ساخته شود و بهترین حالت نصب پیشنهاد گردد. بدیهی است تغییر طرح استخر پس از بهره‌برداری بسیار مشکل است. برخی موارد ساده جهت طراحی استخر در زیر آمده است :

۱ - در حالی که سطح سیال در داخل استخر در حداقل مقدار خود قرار دارد سرعت سیال را در کانالهای استخر را ۰/۵ تا ۱ فوت بر ثانیه در نظر بگیرید. سرعت سیال حتی در شرایطی که پمپ با هد خروجی پائین مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد، نباید بیش از ۱/۵ ft/s (۰/۴۶m/s) گردد.

۲ - از تغییر جهت ناگهانی جریان اجتناب کنید. دیوارهای استخر، ستونهای پمپهای نصب شده و مجرای ورودی استخر می‌توانند عامل ایجاد تلاطم در جریان باشند. پمپ باید به یک مقطع شیپوره مانند صاف، با فاصلهٔ مساوی نسبت به تمام دیوارها متصل گردد.

۳ - تغییر شیب ناگهانی در کف استخر در محدوده‌ای حداقل ۵ برابر قطر شیپوره مجاز نمی‌باشد. افزایش فواصل دیوارها نسبت به پمپ کارآئی پمپ را افزایش می‌دهد.

۴ - زمانی که سیال به پمپ می‌رسد باید جریان آن دقیقاً موازی دیوارهای استخر باشد.

۵ - از نصب ستون و قید و بندهای مقطعی در اطراف پمپ ممانعت بعمل آید. در صورت لزوم جهت جلوگیری از ایجاد گرداب، باید آنها را در یک امتداد آرایش داد.

۶ - در حالت بهره‌برداری همزمان از چند پمپ لازم است مقطع کانال ورودی عمود بر محور عبوری از مرکز پمپ باشد.

۷ - سرعت در ورودی شیپورهٔ [1] مقطع مکش پمپ نباید بیش از ۴ft/s (۱/۲۲m/s) باشد. سرعت مقطع ورودی توسط فرمول تجربی زیر بدست می‌آید.

$$V_e = \frac{0.321 \times Q}{0.785 \times D^2}$$

که در آن

V_e = سرعت در پروانه برحسب ft/s

Q = دبی جریان برحسب gal/nin

D = قطر شیپورهٔ مکش برحسب in

شکلهای (۵) و (۶) برخی موارد مورد بحث را نشان می‌دهند.

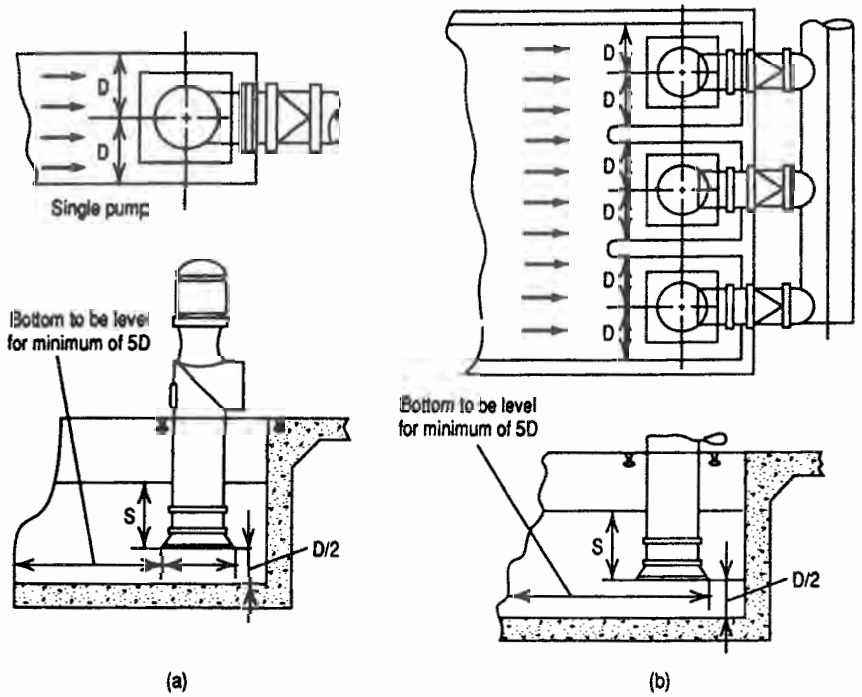


Figure 5 Recommended sump designs. (*a*) Single pump installation; (*b*) multiple pump installation.

1 pump suction bell mouth

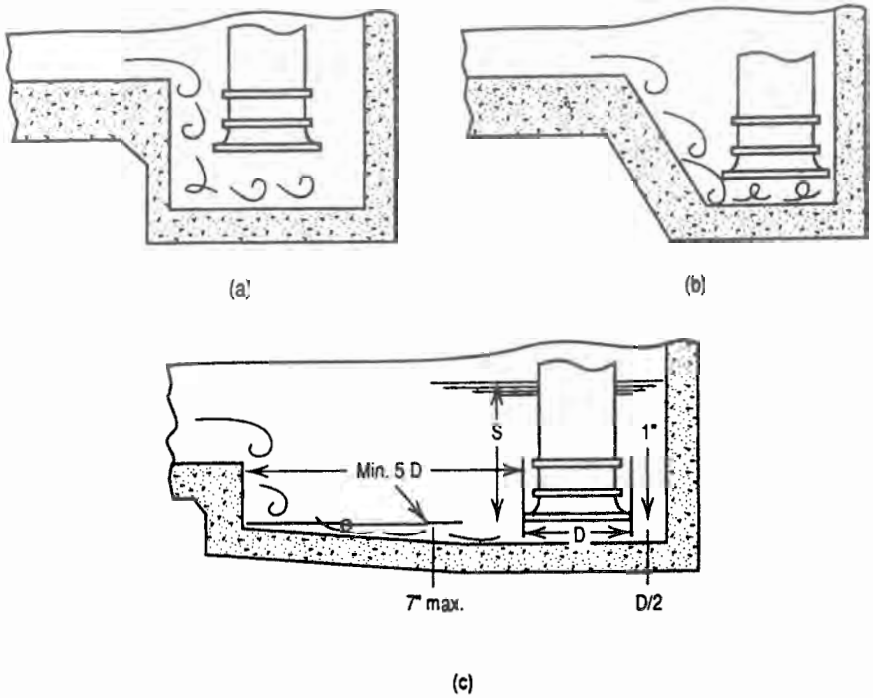


Figure 6 Effects of sump bottom design: (*a*) bad; (*b*) bad; (*c*) good.

۸ - تلاطم[1]

زمانی که بین سطح مایع و مقطع مکش گرداب بوجود می‌آید هوا یا بخار اجازه پیدا می‌کند تا بدرون پمپ راه یابد. بدلیل اینکه ایجاد گرداب NPSH مورد نیاز را بشدت کاهش می‌دهد، بسیار خطرناک است. ورود تنها ۲ درصد هوا باعث کاهش راندمان پمپ به میزان ۱۰ % می‌گردد. میزان عمق نصب لازم، جهت جلوگیری از ایجاد گرداب، تابعی از سرعت سیال در مقطع مکش پمپ می‌باشد.

یک فرمول ساده برای عمق نصب پمپ به صورت زیر ارائه می‌گردد.

به ازاء سرعت معادل ۲ فوت بر ثانیه در مقطع مکش پمپ، حداقل عمق نصب معادل $۱\frac{۳}{۴}$ تا ۲ برابر قطر شیپورهٔ مکش می‌باشد. به هنگام نصب پمپ باید میزان عمق نصب و NPSH برابر یا بیشتر از میزان مورد نیاز باشد.

1 vortexing

۹ - راه حل سریع جهت رفع مشکلات گرداب :

در مصارف آبرسانی از یک حلقهٔ چوبی یا پلاستیکی نصب شده، در اطراف پمپ می‌توان به عنوان خنثی کنندهٔ گرداب، استفاده نمود. همانطور که در شکل (۷) نشان داده شده چتر مکش می‌تواند به حلقهٔ فوق مجهز گردد. در صورتی که طرح پمپ به صورت دو مکشهٔ تک طبقه باشد مقطع مکش بالائی نیاز به متعلقات فوق دارد.

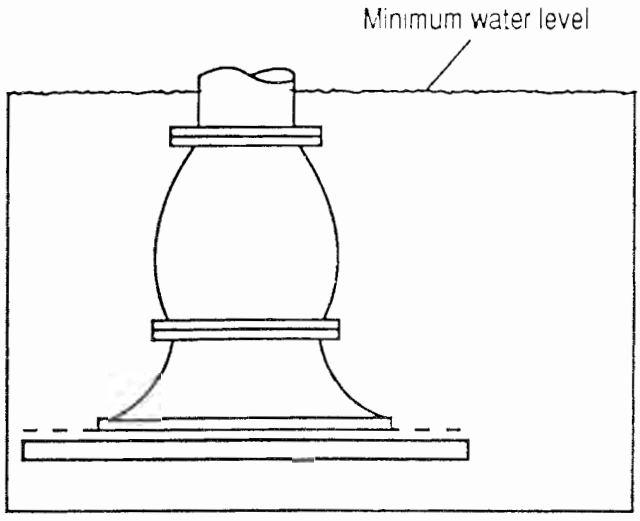


Figure 7 Suction umbrella added to bell mouth.

ادامه دارد ■

مراجع :

CENTRIFUGAL PUMP SOURCEBOOK
by: JOHN W.DUFOUR
& WILLIAM E.NELSON

ارتباط کاویتاسیون و سرعت ویژهٔ پمپ

مهندس سیدبهزاد مبین
سرپرست طراحی هیدرولیکی
شرکت صنایع پمپ سازی ایران

در این مقاله چند مورد از محاسبات مربوط به پمپ‌های گریز از مرکز مانند سرعت ویژه، کاویتاسیون و قطر پروانه به روشهای ساده و تقریبی مورد اشاره قرار می‌گیرد.

سرعت ویژه - تعاریف متعددی در مورد سرعت ویژه بیان شده است که هدف همهٔ آنها تعیین معیاری برای مقایسه عملکرد پمپ‌های مختلف می‌باشد. در مورد پمپ‌هایی که دارای تشابه هندسی بوده و در شرایط عملکرد یکسانی کار می‌کنند می‌توان در معادلات مربوط به ضرایب آبدهی و ارتفاع عامل قطر پروانه را با تقسیم مجذور معادله (۱) بر توان سه چهارم معادله (۲) حذف کرد:

$$C_Q = \frac{Q}{nD^3} \qquad (۱)$$

$$C_H = \frac{Ht}{n^2D^2} \qquad (۲)$$

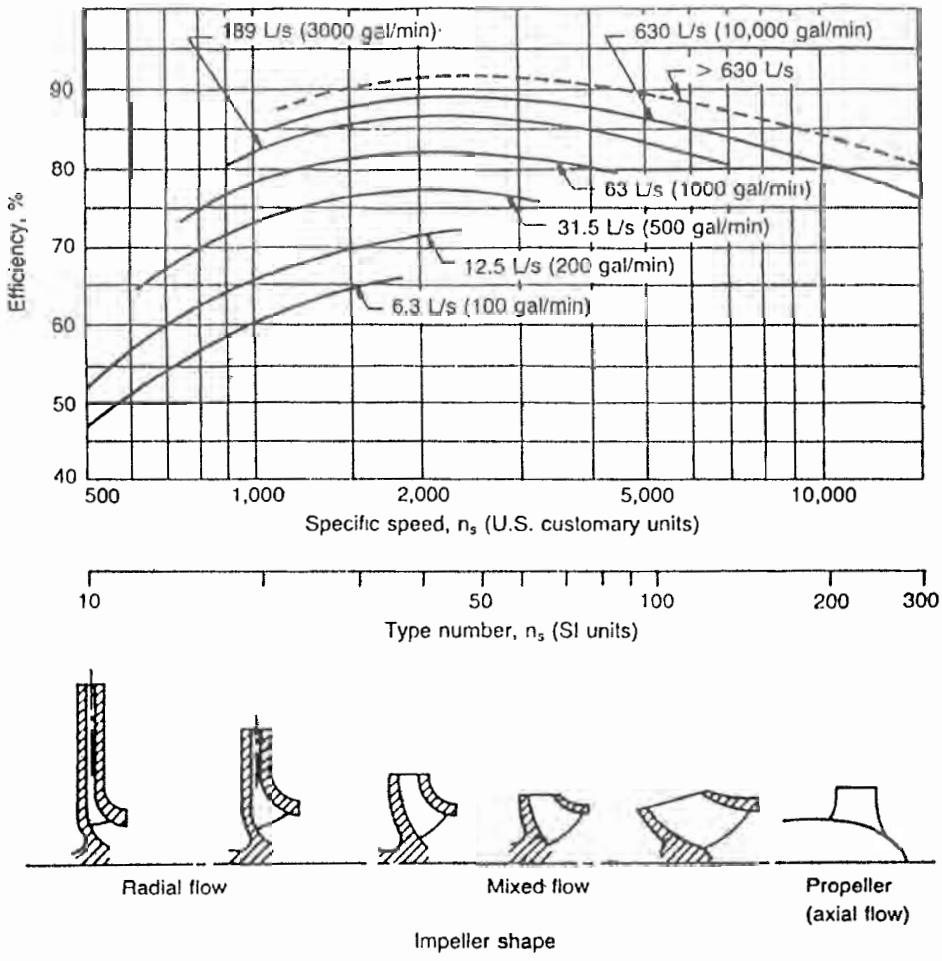
$$n_S = \frac{C_Q^{1/2}}{C_H^{3/4}} = \frac{(Q/nD^3)^{1/2}}{(Ht/n^2D^2)^{3/4}} = \frac{nQ^{1/2}}{H_t^{3/4}} \qquad (۳)$$

در این عبارت n_s سرعت ویژه است که در اروپا عدد نوع (Type number) نیز گفته می‌شود. n دور در دقیقه (رادیان بر ثانیه استفاده نمی‌شود)، Q آبدهی (معمولاً برحسب مترمکعب بر ثانیه و گاهی برحسب لیتر بر ثانیه یا مترمکعب برساعت) و H_t ارتفاع دینامیک کل برحسب متر است. این معادله علی‌رغم آنکه از نظر ابعادی صحیح نمی‌باشد در سیستم آحاد امریکایی نیز به همین صورت بکار می‌رود. n_s سرعت ویژه، n دور بر دقیقه، Q آبدهی برحسب گالن در دقیقه و H_t ارتفاع دینامیک کل برحسب فوت منظور می‌شود. ظرایب تبدیل سرعت ویژه برحسب واحدهای مختلف در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱ – ضرایب تبدیل مقادیر سرعت ویژه برحسب یک دسته از واحدها به مقدار معادل برحسب واحدهای دیگر

N	rpm	rpm	rpm	rpm	rpm
Q	L/s	m^3/s	m^3/h	gpm	ft^3/s
H	m	m	m	ft	ft
	۱	۰/۰۳۱۶	۱/۸۹۸	۱/۶۲۳	۰/۰۷۷۱
	۳۱/۶۲	۱	۶۰	۵۱/۶۴*	۲/۴۳۷
	۰/۵۲۷	۰/۰۱۶۷	۱	۰/۸۶۱	۰/۰۴۰۶
	۰/۶۱۲	۰/۰۱۹۴	۱/۱۶۲	۱	۰/۰۴۷۲
	۱۲/۹۸	۰/۴۱۰	۲۴/۶۳	۲۱/۱۹	۱

* اگر سرعت ویژه براساس (N = rpm و $Q = m^3/s$ و H = m) بیان شود مقدار معادل آن براساس N (rpm = و Q = gpm و H = ft) باضرب مقدار متریک در ۵۱/۶۴ بدست می آید.



شکل ۱ – بازده پمپ‌های گوناگون نسبت به سرعت ویژه و آبدهی

برای هر پمپ در سرعت دوران معین، سرعت ویژه براساس آبدهی و ارتفاع در نقطه بهترین بازده (bep) در نظر گرفته می‌شود. هنگام استفاده از معادله (۳) در مورد پمپ‌های دو مکشه نصف آبدهی منظور می‌شود، مگر آنکه روش دیگری توصیه شده باشد. در پمپ‌های چند طبقه ارتفاع هر یک از طبقات در نظر گرفته می‌شود. تغییرات قابل قبول در بازده ماکزیمم، براساس تغییر در اندازه، ظرفیت و سرعت ویژه در مورد پمپ‌های گریز از مرکز یک طبقه و یک مکشه در شکل ۱ نشان داده شده است.

نحوهٔ تغییر در شکل پروانه، متناسب با افزایش سرعت ویژه نیز در این شکل مشخص شده است. با افزایش اندازه پمپ، بازده افزایش می‌یابد زیرا تلفات اصطکاکی در پاساژهای پمپ کاهش یافته و تلفات حجمی نیز کم می‌شود. بالاترین بازده در پمپ یک طبقه یک مکشه با محفظه حلزونی حاصل می‌شود.

بطور کلی در سرعت دوران معین :

- اگر مقدار n_s کم باشد (سرعت ویژه کوچکتر از ۳۰ [۱۵۰۰]) باید Q کم و H زیاد باشد.
- اگر مقدار n_s متوسط باشد (سرعت ویژه بین ۳۰ [۱۵۰۰] تا ۸۰ [۴۰۰۰]) Q و H باید مقادیر متوسطی باشد.
- اگر مقدار n_s زیاد باشد (سرعت ویژه بزرگتر از ۸۰ [۴۰۰۰]) باید Q زیاد و H کم باشد.

مثال – استفاده از سرعت ویژه در انتخاب پمپ

مسئله – جریانی با شدت $0/01\ m^3/s$ [۱۵۸gpm] باید تا ارتفاع ۲۰m [۶۶ft] پمپ شود. پمپ توسط الکتروموتوری با سرعت ۱۷۵۰ دور در دقیقه به حرکت در می‌آید. چه نوع پمپ گریز از مرکز مناسب است و بازده آن در چه حدودی خواهد بود؟

حل – از معادلهٔ ۳ ($n_s = nQ^{1/2}/H^{3/4}$) سرعت ویژه بدست می‌آید

$$n_s = \frac{1750 \times (158)^{1/2}}{66^{3/4}} = 950 \qquad n_s = \frac{1750 \times (0/01)^{1/2}}{20^{3/4}} = 18/5$$

مطابق شکل ۱ پمپ گریز از مرکز شعاعی مناسب خواهد بود و بازده مورد انتظار در حدود ۶۱ درصد است.

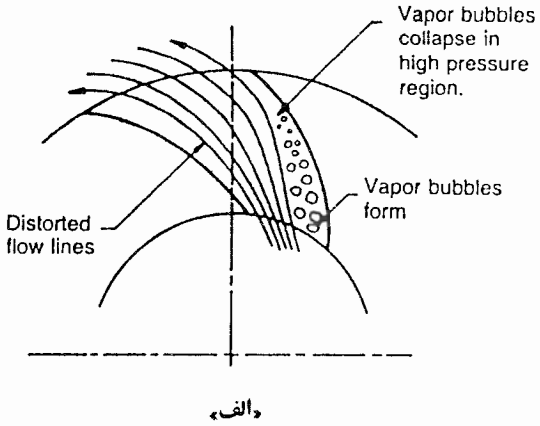
کاویتاسیون و بارمکش مثبت خالص

کاویتاسیون یکی از پیچیده‌ترین مسائل در عملکرد پمپ‌ها بشمار می‌آید و باعث صدمه دیدن پمپ و افت مشخصه‌های آن می‌گردد.

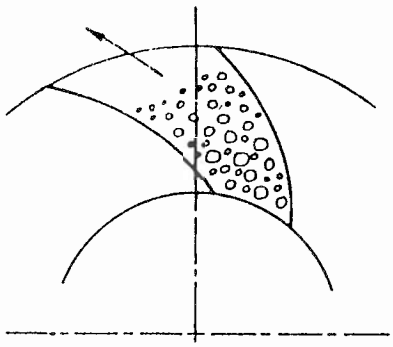
کاویتاسیون و اثرات آن

کاویتاسیون یک خطر بالقوه است، بخصوص هنگامی که پمپ در دورهای بالا و یا در ظرفیت‌های خیلی بیشتر و یا بسیار کمتر از نقطه بهترین بازده (bep) کار کند. کاویتاسیون باعث کاهش آبدهی و بازده شده و ممکن است گاهی سبب تخریب سریع پمپ شود. کاویتاسیون در پمپ زمانی اتفاق می‌افتد که فشار مطلق در مکش پمپ تا کمتر از فشار بخار سیال مورد پمپاژ کاهش یابد. آنگاه تشکیل حبابهای بخار در

ورودی پروانه شروع می‌شود (شکل ۲ ـ الف) همچنانکه حبابها در پروانه پیش می روند به ناحیه‌ای که فشار بیشتر است وارد شده و با شدت می‌ترکند. اگر ترکیدن حباب روی سطح جسم جامد روی دهد، جریان سیالی که برای پرکردن خلاء حاصل از ترکیدن حباب، با فشار و سرعت زیاد به حرکت درآمده است، به یک ناحیه بسیار کوچک ضربه می‌زند. تمرکز فشار باعث خوردگی و فرسایش سطح می‌گردد. همچنین در جایی که سرعت موضعی جریان زیاد است امکان وقوع کاویتاسیون وجود دارد، این حالت در پروانه‌هایی با پره‌های باریک و شیرهای نزدیک به بسته شدن پیش می‌آید.



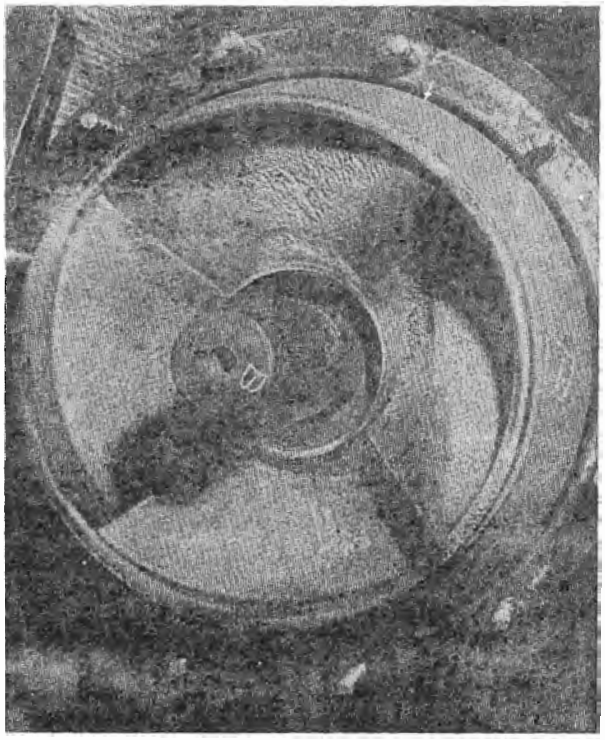
«الف»



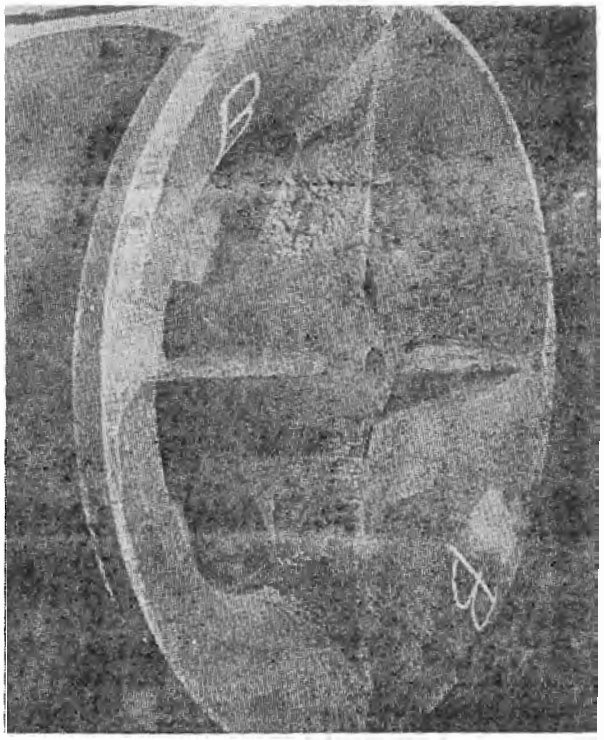
«ب»

شکل ۲ – تشکیل حبابهای بخار در پروانه الف) کاویتاسیون جزئی ب) کاویتاسیون کلی

پروانه شکل ۳ ـ الف به دلیل کم بودن NPSH خورده شده است. تخریب شیپوره مکش در شکل ۳ ـ ب تأثیر جریانهای گردابی است که به علت کارکرد پمپ در ۳۵ % آبدهی نقطه بهترین بازده روی داده است. به نظر می‌رسد که خوردگی و فرسایش تحت تأثیر عوامل شیمیایی شدت یافته است و یا افزایش ناگهانی فشار باعث بالا رفتن درجه حرارت در آن ناحیه شده و سرعت خوردگی را افزایش داده است.



«الف» a



«ب» b

شکل ۳ – اثر تخریب کاویتاسیون در یک پمپ عمودی الف) پروانه ب) شیپوره مکش

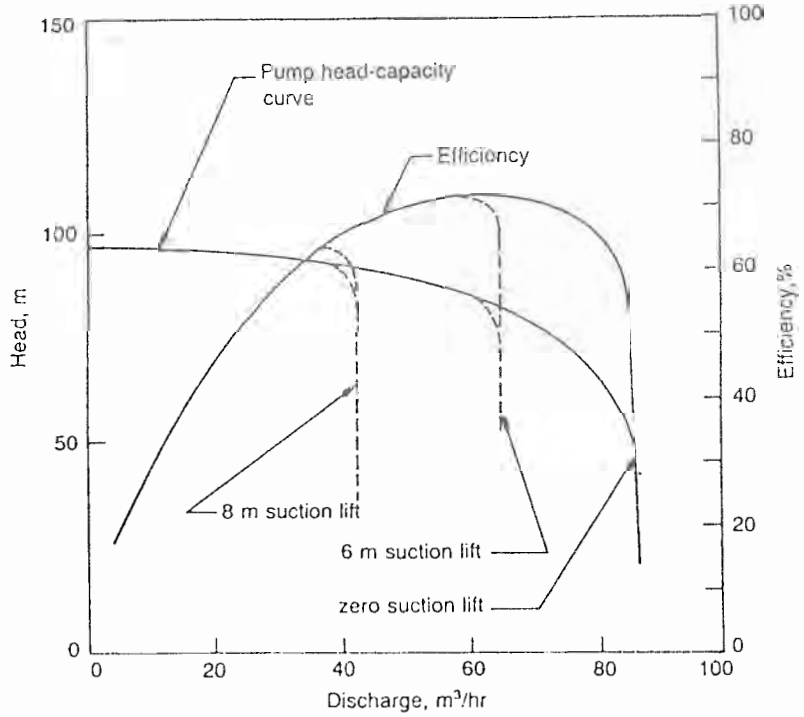
کاویتاسیون علاوه برخوردگی و فرسایش باعث ارتعاش و سر و صدا (نوفه) می‌گردد. نوفه در اثر ترکیدن حبابها هنگام وارد شدن در ناحیه پرفشار ایجاد می‌شود و ارتعاش ناشی از عدم تعادل و امواج ایجاد شده در هنگام وقوع کاویتاسیون است.

تأثیر کاویتاسیون در عملکرد پمپ،

اگر در پمپی که سرعت ویژه آن کمتر از ۳۰ [۱۵۰۰] است کاویتاسیون رخ دهد چنانکه از شکل ۴ مشخص است افت شدید و ناگهانی در آبدهی، ارتفاع، بازده و توان اتفاق می‌افتد. لازم به ذکر است که تشکیل حباب در آبدهی کمتری نسبت به آبدهی که در آن کاویتاسیون کامل رخ می‌دهد، اتفاق می‌افتد.

در پمپ‌هایی با سرعت ویژه بین ۳۰ [۱۵۰۰] تا ۸۰ [۴۰۰۰] منحنی مشخصه پمپ تا نقطه قطع کامل جریان سیال بتدریج افت می‌کند.

در پمپ هایی با سرعت ویژه بزرگتر از ۸۰ [۴۰۰۰] نقطه افت قطعی مشخص نیست.



شکل ۴ – منحنی مشخصه پمپ با کاویتاسیون در ارتفاع مکش‌های مختلف. به سرعت شروع کاویتاسیون توجه کنید.

بار مکش مثبت خالص (NPSH)

برای تعیین وضعیت وقوع کاویتاسیون، بارمکش مثبت خالص موجود ($NPSH_A$) در چشم پروانه محاسبه شده و با بارمکش مثبت خالص لازم ($NPSH_R$) که توسط سازندهٔ پمپ مشخص شده است مقایسه می‌شود تا امکان ایجاد کاویتاسیون به حداقل برسد. بار دینامیک مطلق در چشم پروانه ($NPSH_A$) با محاسبهٔ عوامل زیر تعیین می‌شود تأثیر فشار بارومتریک، ارتفاع مکش، افت ارتفاع در نتیجه توربولانس و اصطکاک در لوله مکش و فشار بخار آب در دمای موجود. آب همیشه حاوی مقداری هوای نامحلول است اما غلظت آن بندرت قابل تخمین است لذا تأثیر اندکی دارد و بطور معمول از اثر آن صرفنظر می‌شود. با توجه به شکل ۵ و ۶، $NPSH_A$ توسط معادله ۴ تعیین می‌شود

$$NPSH_A = H_{bar} + h_s - H_{vap} - h_{ent} - h_{fs} - \sum h_m \qquad (۴)$$

که در آن H_{bar} فشار بارومتریک، h_s ارتفاع مکش استاتیک در چشم پروانه (اگر سطح آب پایین‌تر از پمپ باشد علامت آن منفی در نظر گرفته می‌شود.)، h_{ext} افت در ورودی، h_{fs} افت اصطکاکی در لوله‌مکش، $\sum h_m$ مجموع افت‌های موضعی در اتصالات و شیرها، تمام موارد برحسب متر ستون آب است. ارتفاع ناشی از سرعت در چشم پروانه در معادله ۴ منظور نشده است زیرا قسمتی از ارتفاع دینامیک مطلق

است که به طور معمول در محاسبهٔ $NPSN_R$ در نظر گرفته می‌شود.

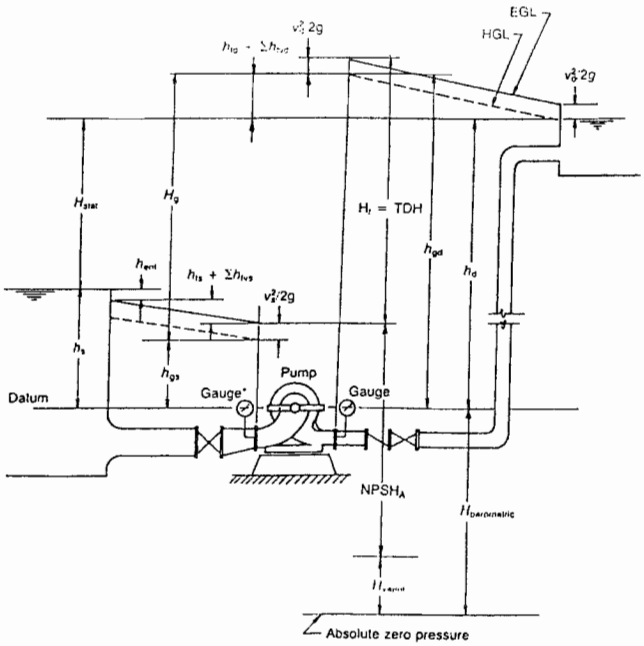
یادآور می‌شود که :

- فشار بارومتریک باید براساس ارتفاع از سطح دریا اصلاح شود.
- توفان ممکن است باعث کاهش فشار بارومتریک تا حدود ۱/۷ ٪ شود.
- دمای آب به شدت برفشار بخار تأثیر می‌گذارد.

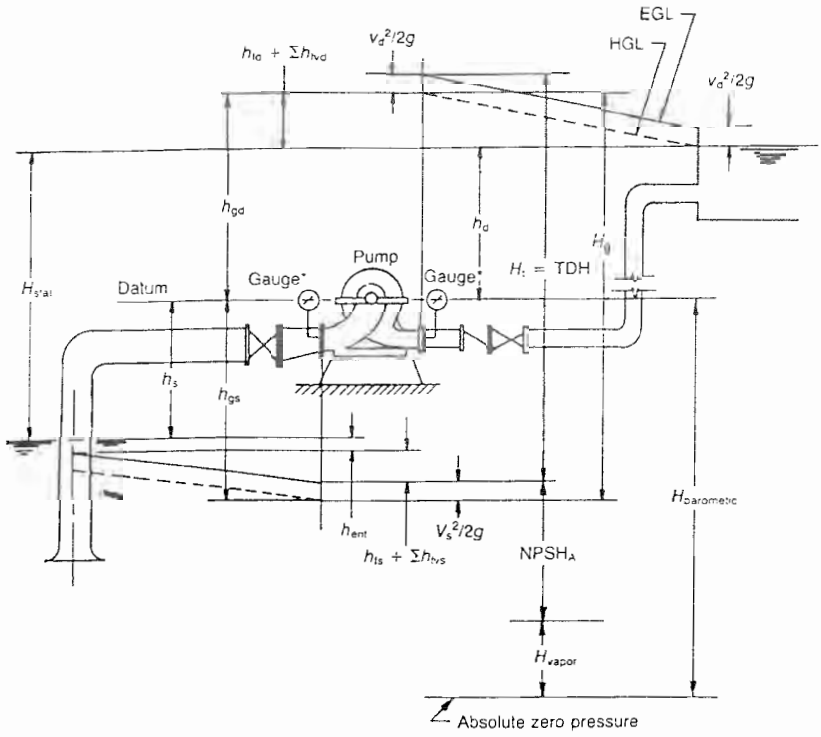
به علت عدم دقت در محاسبات $NPSH_A$ معمول است که حداقل ۰/۶ متر [۲ فوت] یا ۲۰ ٪ $NPSH_A$ به عنوان ضریب اطمینان در نظر گرفته شود.

بارمکش مثبت خالص لازم ($NPSH_R$) برای پمپ

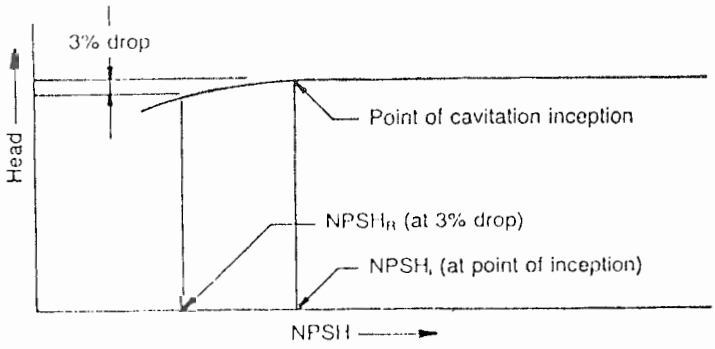
$NPSH_R$ از طریق آزمایش روی پمپ‌هایی که از نظر هندسی مشابه بوده و در سرعت دوران و آبدهی ثابت ولی با ارتفاع مکش متغییر کار می‌کنند تعیین می‌شود. فرض می‌شود هرگاه به نحوی در مکش پمپ اختناق ایجاد شود. گسترش کاویتاسیون با ۳ ٪ افت در ارتفاع مشخص می‌شود. این موضوع در شکل ۷ نشان داده شده است. می‌دانیم که شروع کاویتاسیون پیش از افت ۳ ٪ ارتفاع، اتفاق می‌افتد. کاویتاسیون اساساً می‌تواند پیش از آنکه هرگونه افت در ارتفاع قابل تشخیص باشد، گسترش یابد. در واقع فرسایش در ۱ ٪ کاهش ارتفاع (با تعداد اندکی حباب) با سرعت بیشتری نسبت به ۳ ٪ کاهش ارتفاع (با تعداد زیادی حباب) انجام می‌گیرد. در حقیقت در یک پمپ در حال کاویتاسیون با ورود هوا به لوله مکش و ایجاد حبابهای فراوان از فرسایش جلوگیری می‌شود.



شکل ۵ – نمادگذاری در مورد پمپی با ارتفاع مکش مثبت . (*) فشارسنج‌ها برای نشان دادن فشار تئوریک روی فلنج‌های ورودی و خروجی نصب شده است.



شکل ٦ – نمادگذاری در مورد پمپی با ارتفاع مکش منفی. (*) فشارسنج‌ها برای نشان دادن فشار تئوریک روی فلنج‌های ورودی و خروجی نصب شده است.



شکل ۷ – نقاط بحرانی با مکش مثبت خالص که از نتایج آزمایش پمپ مشخص شده است.

با این حال ۳ % تغییر در ارتفاع روش استانداردی است که توسط اغلب سازندگان پمپ برای تعیین $NPSH_R$ بکار می‌رود. لذا ممکن است در نتیجه پذیرش کورکورانه داده‌های کاتالوگ، فرسایش شدید در پمپ رخ دهد. در شرایط بحرانی و در مواردی که کار مداوم پمپ اهمیت دارد باید از سازنده درخواست شود که نتایج آزمایش $NPSH_R$ را ارائه نماید. معمولاً برای هر پمپ $NPSH_R$ به صورت یک منحنی پیوسته رسم می‌شود (شکل ۸). از آنجاکه کیفیت تولید و صافی سطوح پروانه تأثیر قابل توجهی بر $NPSH_R$ دارد منحنی‌های متعددی رسم می‌شود.

ثابت کاویتاسیون

نسبت بارمکش مثبت خالص در نقطه بررسی کاویتاسیون $NPSH_i$ (شکل ۷) به باردینامیک کل به نام ثابت کاویتاسیون توما (Thoma) شناخته می‌شود.

$$\sigma = \frac{NPSH_i}{H_t} = \text{Constant} \qquad (۵)$$

که در آن H_t بار دینامیک کل برحسب متر است. در پمپ‌های چند طبقه، بار دینامیک کل بر هر طبقه منظور می‌شود. در اکثر مقالات مقدار $NPSH_R$ پمپ به صورت نادرست به جای $NPSH_i$ بکار می‌رود. از $NPSH_R$ نمی‌توان استفاده کرد زیرا در واقع کاویتاسیون در آن نقطه اتفاق افتاده است. بعلاوه باید خاطر نشان کرد که هیچ رابطهٔ مشخصی بین $NPSH_A$ در حد ۳ % و مقدار $NPSH_i$ وجود ندارد.

از آنجاکه سرعت ویژه شاخصی برای وضعیت منحنی مشخصه محسوب می‌شود می‌توان به تقریب σ (و در نتیجه $NPSH_R$) را به سرعت ویژه ربط داد. رابطهٔ بین سرعت ویژه، ثابت کاویتاسیون توما و بازده پمپ در مورد پمپ‌های یک طبقه به صورتی که توسط "روشی" (Rutschi) بیان شده است در شکل ۱۰ نشان داده شده است. در مورد پمپ‌های یک مکشه :

$$\sigma = \frac{k\ n_s^{4/3}}{10^6} \qquad (٦)$$

مقادیر K در جدول ۲ نشان داده شده است. معادلات ۵ و ٦ فقط برای ایجاد زمینه ارائه شده‌اند و در تصمیمات طراحی نباید بکار روند. برای نیازها و شرایط عملکرد مخصوص اطلاعات مربوط به $NPSH_R$ باید از سازنده پمپ اخذ شود.

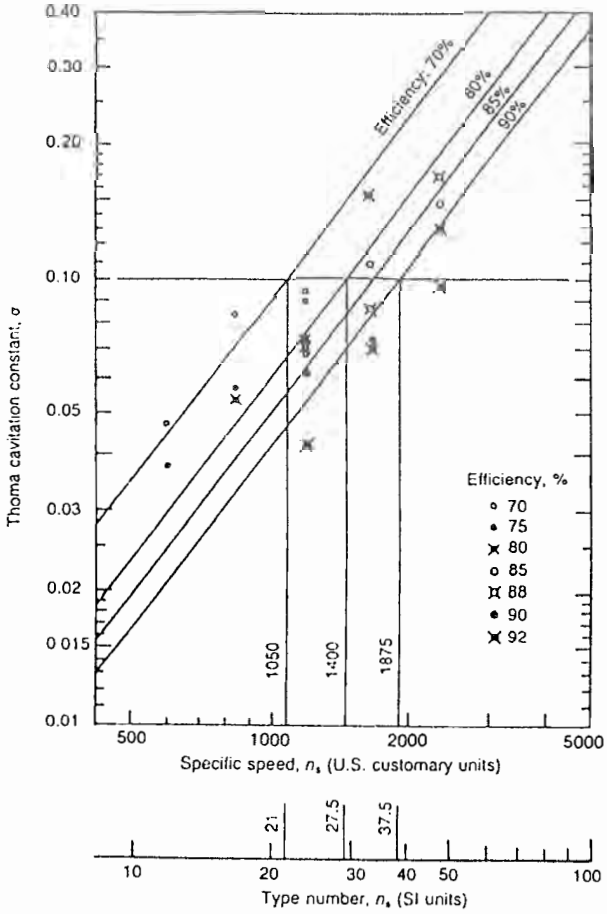
جدول ۲ – مقادیر K برای معادله ٦+

بازده پمپ (%)	واحدهای متریک =	واحدهای امریکایی *
۷۰	۱۷۲٦	۹/۴
۸۰	۱۲۱۰	٦/۳
۹۰	۷۹٦	۴/۳

+ در پمپ‌های دومکشه، نصف آبدهی در محاسبات منظور می‌شود.

= واحدهای مترمکعب در ثانیه، متر و دور در دقیقه

* واحدهای گالن در دقیقه، فوت و دور در دقیقه



شکل ۱۰ - ثابت کاویتاسیون در مقابل سرعت ویژه پمپ

مثال ۲ - برآورد $NPSH_i$ و $NPSH_A$

مسئله: پمپ شکل ۸ در ارتفاع دینامیک کل ۳۶/۵ متر [۱۲۰ فوت] و سرعت دوران ۱۱۷۰ دور در دقیقه جریانی به شدت ۵۰۰ مترمکعب در ساعت [۲۲۰۰ گالن در دقیقه] را تأمین می‌کند. فرض می‌شود پمپ در سطح دریا و در دمای $15^{\circ}C$ ($59^{\circ}F$) کار می‌کند و مجموع افت در مکش ۲ متر است (۶/۶ فوت).

۱ - $NPSH_i$ لازم را تعیین کنید، ۲ - $NPSH_i$ محاسبه شده را با مقدار $NPSH_R$ مشخص شده در شکل مقایسه کنید، ۳ - ارتفاع مکش مجاز را تعیین کنید.

حل: ۱ - $NPSH_i$، با مساوی قراردادن معادلات ۵ و ۶ خواهیم داشت

$$NPSH_i = \frac{H_t\, K\, n_s^{4/3}}{10^6}$$

n_s را از معادله $(n_s = nQ^{1/2} H^{-3/4})$ محاسبه می‌کنیم. چون منحنی مشخصه پمپ در شکل ۸ مربوط به پمپ حلزونی با پروانه دومکشه است، نصف آبدهی در محاسبه n_s منظور می‌شود. در بازده ۸۲ % مقدار K از جدول ۲ برابر ۱۱۴۰ خواهد بود.

$$n_s = ۱۱۷۰ \times \left(\frac{۲۵۰}{۳۶۰۰}\right)^{۱/۲} \times (۳۶/۵)^{-۳/۴} = ۲۰/۸$$

$$n_s = ۱۱۷۰ \times (۱۱۰۰)^{۱/۲} \times (۱۲۰)^{-۳/۴} = ۱۰۷۰$$

$$NPSH_i = \frac{۳۶/۵ \times ۱۱۴۰ \times (۲۰/۸)^{۴/۳}}{۱۰^{۶}} = ۲/۳۸m$$

$$NPSH_i = \frac{۱۲۰ \times ۶ \times (۱۰۷۰)^{۴/۳}}{۱۰^{۶}} = ۷/۸۸ft$$

۲ - مقایسه $NPSH_i$ و $NPSH_R$، مقدار محاسبه شده ۴% بیشتر از مقدار ۲/۲۸ متر (۷/۴ فوت) است که از شکل ۸ بدست می‌آید.

۳ - برآورد ارتفاع مکش مجاز، بازنویسی معادله ۴ برحسب ارتفاع مکش به رابطه زیر منجر می‌شود

$$h_s = NPSH_A - H_{bar} + H_{vap} + h_{ent} + h_f + \sum h_m$$

در این مسئله مقدار سه جملهٔ آخر ۲ متر (۶/۶ فوت) فرض شده است. با جاگذاری مقدار $NPSH_i$ به جای $NPSH_A$ مقدار h_s برابر خواهد بود با :

$$h_s = ۲/۳۸ - ۱۰/۳۳ + ۰/۱۷ + ۲/۰ = -۵/۷۸m$$

$$h_s = ۷/۸۸ - ۳۳/۹ + ۰/۵۸ + ۶/۶ = -۱۸/۸ft$$

علامت منفی h_s به این معنی است که مکش می‌تواند بالاتر از سطح آب باشد. اما از مقدار عددی آن باید حدود ۰/۶ متر (۲ فوت) کم شود. $NPSH_A$ باید همواره بزرگتر از $NPSH_R$ باشد.

دقت ظاهری نتایج مثال ۲ ممکن است گمراه کننده باشد. باید توجه داشت که، اولاً در شکل ۱۰ نتایج آزمایش از بهترین خط گذرانده شده در منحنی تا حدود ۲۵ % انحراف دارند. ثانیاً ضریب K در جدول ۲ تغییرات شدیدی نسبت به بازده دارد (حدود ۳۰ % تغییر در بازده مقدار k را به نصف تقلیل می دهد) و بالاخره بازده پمپ (که K کاملاً به آن بستگی دارد) حداقل در حدود ۲ % نوسان دارد. بنابراین خطای محاسبات کمتر از ۳۰ یا ۴۰ درصد نخواهد بود و نمی‌توان نتایج را حتی به عنوان جوابهای تقریبی پذیرفت.

کاویتاسیون در نقطه کار

اگر پمپ در ارتفاع کم و با شدت جریانی که به طور قابل ملاحظه‌ای بزرگتر از ظرفیت آن در نقطه بهترین بازده (bep) است کار کند، رابطه ۷ تقریباً در آن صادق است.

$$\frac{\text{NPSH}_R \text{ در نقطه کار}}{\text{NPSH}_R \text{ در نقطه بهترین بازده}} = \left(\frac{Q \text{ در نقطه کار}}{Q \text{ در نقطه بهترین راندمان}}\right)^n \qquad (۷)$$

که در آن توان n بین ۱/۲۵ تا ۳ تغییر می‌کند. این تغییر به طراحی پروانه بستگی دارد. در اغلب پمپهای آب و فاضلاب n بین ۱/۸ تا ۲/۸ است. در نقطه بهترین بازده NPSH_R با افزایش سرعت ویژه افزایش می‌یابد. در مورد پمپ‌های فشار قوی گاهی لازم است که با محدود کردن سرعت و یا کاهش ارتفاع نصب پمپ نسبت به سطح آزاد آب NPSH مناسب در نقطه کار فراهم شود.

منحنی‌های مشخصه پمپ

در اغلب منحنی‌های پمپ‌ها، ارتفاع دینامیک کل H (برحسب متر یا فوت) بازده E (به درصد) و توان ورودی P (برحسب کیلووات یا اسب بخار) در محورهای مختصات در مقابل آبدهی Q (برحسب مترمکعب در ساعت یا ثانیه و یا گالن در دقیقه یا میلیون گالن در روز) رسم می‌شود.

منحنی‌های مشخصه بی‌بعد

منحنی‌های بی‌بعد پمپ ها با بیان ارتفاع، آبدهی، توان ورودی و بازده به صورت درصدی از مقادیر مذکور در نقطه بهترین بازده بدست می‌آید. این منحنی‌ها در موارد زیر مفید واقع می‌شود.

۱ - برای محاسبهٔ مشخصات هیدرولیک پمپ‌هایی که از یک نوع هستند.

۲ - ارزیابی عملکرد پمپ‌هایی با سرعت‌های ویژه مختلف و کاربردهای گوناگون

شکل کلی این منحنی‌ها تابع سرعت ویژه، حالت و تعداد پره‌های پروانه و شکل محفظه است. همانطور که در شکل ۱۱ نشان داده شده است. شیب منحنی ارتفاع - آبدهی با افزایش سرعت ویژه تندتر می‌شود. به شکل منحنی توان در شکل ۱۱ - الف توجه کنید. همچنانکه ارتفاع به زیر نقطه بهترین بازده میل می‌کند، توان لازم افزایش می‌یابد. بنابراین احتمال اضافه بارکشیدن موتور در پمپ‌هایی با سرعت ویژه کم و منحنی ارتفاع - آبدهی (H - Q) تخت بیشتر است. بطور معمول در منحنی این پمپ‌ها نواحی کار نامتعادل به چشم می‌خورد. در حالی که به علت شکل منحنی مشخصه در شکل ۱۱، پمپ‌های جریان محوری و جریان مختلط

در محدوده کار خود دچار اضافه بار نمی‌شوند. در منحنی‌های H - Q مربوط به پمپ‌هایی با سرعت ویژه زیاد، امکان دارد یک فرورفتگی ایجاد شود که به طراحی پروانه بستگی دارد. باید از کار طولانی پمپ در این محدوده اجتناب شود.

با افزایش سرعت ویژه تأثیر آن برتوان ورودی مشخص می‌شود. در پمپ‌های جریان شعاعی (سرعت ویژه حدود ۳۵) انرژی ورودی با کاهش جریان کم می‌شود. در پمپ جریان مختلط (سرعت ویژه حدود ۸۵) توان ورودی تقریباً ثابت است در پمپ‌هایی که سرعت ویژه بزرگتر از ۱۲۵ است توان جذبی سیال در ضمن کاهش آبدهی تا صفر، به صورت پله‌ای بالا می‌رود. بنابراین در پمپ‌های جریان محوری و مختلط تدابیری برای بی‌بار کردن پمپ (مانند لوله‌های کنارگذر با شیرهای اطمینان) لازم است تا هنگام بالا رفتن ارتفاع مانع ایجاد اضافه بار روی محرکهٔ پمپ شود. گاهی به صرفه است که به عوض نصب تجهیزات جلوگیری از اضافه بار، نسبت به انتخاب موتور بزرگتر اقدام شود. در صورت وجود تردید در این مورد باید تحلیل اقتصادی دقیق در مورد تمام روشهای ممکن بعمل آید.

مثال ۳ ـ برآورد ابعاد پمپ

مسئله : آب با شدت جریان ۰/۲ مترمکعب در ثانیه (۳۱۶۶ گالن در دقیقه) و با سرعت دوران ۱۱۵۰ دور در دقیقه باید تا ارتفاع ۳۰ متر (۹۸/۴ فوت) پمپاژ شود. تعیین کنید

۱) نوع پمپ ، ۲) قطر پروانه

حل : ۱) نوع پمپ : سرعت ویژه را از رابطهٔ $[n_s = nQ^{1/2} H^{-3/4}]$ حساب می‌کنیم. نوع پمپ با سرعت ویژه آن ارتباط دارد.

$n_s = ۱۱۵۰ \times (۰/۲)^{1/2} \times (۳۰)^{-3/4} = ۴۰/۱$

$ns = ۱۱۵۰ \times (۳/۱۶۶)^{1/2} (۹۸/۴)^{-3/4} = ۲۰۷۱$

بنابر شکل ۸ ـ ۱۰ پمپی با پروانه جریان مختلط ملخی یا مارپیچی لازم خواهد بود.

۲) قطر پروانه : با مراجعه به شکل ارتفاع فلکه بسته معمول برای پمپی با سرعت ویژه در حدود ۴۰ تقریباً ۱/۴ برابر مقدار bep آن برآورد می‌شود. در فلکه بسته ارتفاع حاصل از پمپ متناسب است با $U^2/2g$ که در آن U سرعت محیطی پروانه است. با فرض اینکه ارتفاع در bep ۳۰ متر (۹۸/۴ فوت) است می‌توان نوشت :

$H = \frac{U^2}{2g} = ۱/۴ \times ۳۰ = ۴۲$ $\qquad$ $H = \frac{U_2}{2g} = ۱/۴ \times ۹۸/۴ = ۱۳۷/۸ ft$

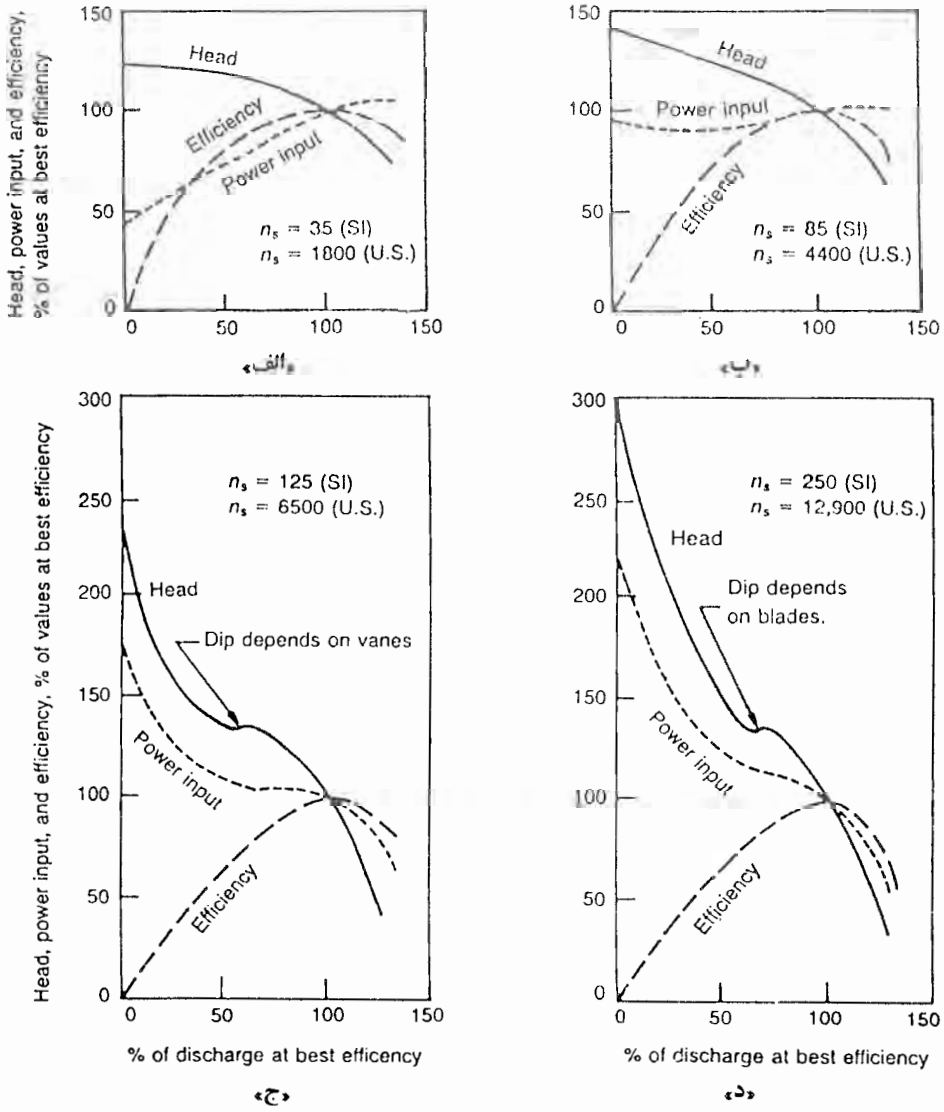
$U = \sqrt{۴۲ \times ۲ \times ۹/۸۱} = ۲/۸۷ m/s$ $\qquad$ $U = \sqrt{۱۳۷/۸ \times ۲ \times ۳۲/۲} = ۹۴/۲ ft/s$

$U = \pi D\omega/۶۰$ $\qquad$ $U = \pi D\omega/۶۰$

$D = ۶۰U/\pi\omega$ $\qquad$ $D = ۶۰U/\pi\omega$

$= \frac{۶۰ \times ۲۸/۷}{۳/۱۴ \times ۱۱۵۰} = ۰/۴۷۷ m$ (قطر پروانه) $\qquad$ $\frac{۶۰ \times ۹۴/۲}{۳/۱۴ \times ۱۱۵۰} = ۱/۵۶ ft$

$= ۱۸/۸ in$



شکل ۱۱ – منحنی‌های مشخصه بی بعد نمونه برای پمپ‌های گریز از مرکز

الف) جریان شعاعی ب) جریان مختلط ج) جریان مختلط د) جریان محوری

مراجع :

– Pumping Station Design.

یادداشت:

تهران: خیابان ولیعصر ـ نبش میرداماد ـ برجهای اسکان، برج ۲ ـ طبقه اول ـ تلفن ۸۰۸۸۱۰۰ فاکس «۲۲۷۸۹۴۲»
تبریز: صندوق پستی ۱۳۵ ـ ۵۱۸ تلفن ۶ ـ ۴۵۶۷۲۳ تلگرافی «پمپیران تبریز» فاکس ۴۵۶۵۵۴