تعاریف مایع

سیال نیوتنی و سیال غیرنیوتنی

در این مقاله می خواهیم به طبقه بندی سیال نیوتنی و غیرنیوتنی با استفاده از مفهوم ویسکوزیته و لزجت بپردازیم. می‌دانیم که ویسکوزیته سیالات مختلف، به نوع سیال بستگی زیادی دارد. با توجه به تعریف ویسکوزیته (Viscosity) لزجت را مقاومت سیال نسبت به جاری شدن می نامند.
ابتدا به صورت دقیق به بیان تعریف سیال نیوتنی و سیال غیرنیوتنی می پردازیم. در ادامه تعریف جامعی از سیالات غیرنیوتنی را ارائه می‌کنیم و در انتها انواع مختلف سیال غیر نیوتنی و ویژگی های آنها را با ذکر مثال مورد بررسی قرار می دهیم.

سیال نیوتنی

سیال نیوتنی به سیالی گفته می شود که ویسکوزیته تنها به دما و فشار بستگی دارد و به نیرویی که به آن اعمال می‌شود وابسته نیست. همچنین رابطه میان تنش و نرخ کرنش به صورت خطی است

ویسکوزیته مایعات با افزایش دما به سرعت کاهش می یابد.

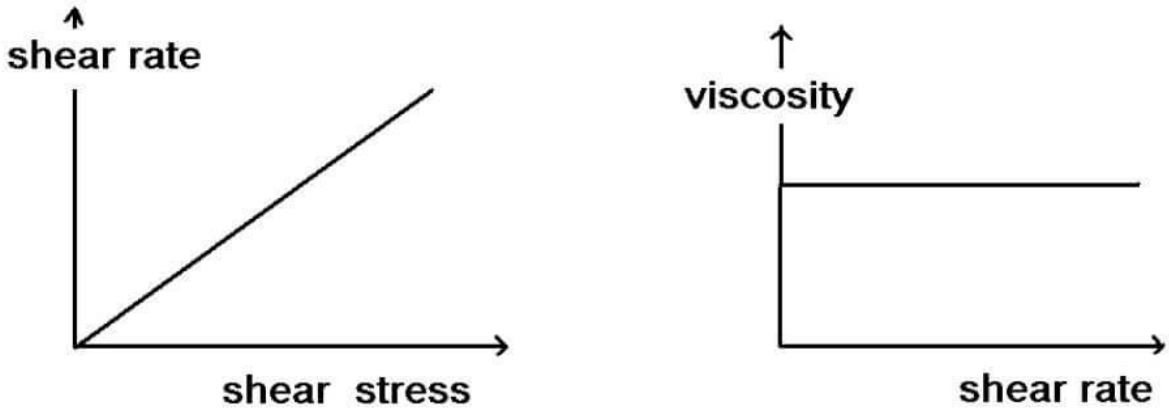
مایعات نیوتنی تنش برشی خطی و متناسب با گرادیان سرعت یا نرخ برش می دهند.

آب و بیشتر مایعات نیوتنی هستند.

اگر به دو سیال آب و هوا که همه ما به صورت روزمره با آنها سروکار داریم، بپردازیم ، در خواهیم یافت که غلظت آب نسبت به هوا بیشتر است و به راحتی جاری می شود و در هر ظرفی به شکل همان ظرف در می آید. این سیالات را به افتخار فیزیکدان معروف اسحاق نیوتن به عنوان سیالات نیوتنی (Newtonian Fluids) می نامند.

ویسکوزیته دو سیال آب و هوا در صورتی که دما و فشار این نوع از سیالات تغییر نکند، ثابت می ماند. از همین رو به آنها سیال نیوتنی گفته می‌شود. در سیال نیوتنی ویسکوزیته تنها به دما و فشار بستگی دارد و به نیرویی که به آن اعمال می‌شود وابسته نیست.

در تعریف سیال نیوتنی باید به این نکته توجه شود که رابطه میان تنش و نرخ کرنش به صورت خطی است. بنابراین رابطه میان تنش و کرنش برای یک سیال نیوتنی را می توان به صورت زیر نمایش داد. همچنین توجه شود که در رابطه زیر نرخ کرنش برشی با گرادیان سرعت نشان داده شده است.



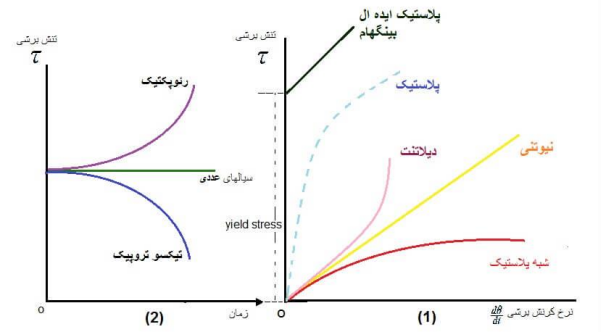
سیال غیرنیوتنی

سیال غیر تیوتنی به سیالی گفته می شود که در آنها رابطه بین تنش برشی و گرادیان سرعت غیر خطی است .

همچنین ویسکوزیته سیال غیر نیوتنی با اعمال نیرو به آن تغییر می کند.

سیالاتی را که در آنها رابطه بین تنش برشی و گرادیان سرعت غیر خطی است و از قانون لزجت نیوتنی پیروی نمی‌کنند، سیالات غیر نیوتنی می‌نامند. همچنین ویسکوزیته سیال غیر نیوتنی با اعمال نیرو به آن تغییر می کند. به طور کلی سیالات غیر نیوتنی به دو دسته تقسیم می شوند:

1. **سیالات غیرنیوتنی مستقل از زمان**
2. **سیالات غیرنیوتنی وابسته به زمان**



مایعات غیر نیوتنی

برخی از مایعات، مانند دوغاب های مبتنی بر آب با ذرات ریز، از رابطه ساده بین تنش برشی و سرعت برش پیروی نمی کنند (دوغاب غیر ته نشین را مقایسه کنید).

به آنها مایعات غیر نیوتنی می گویند.

برخی از مایعات غیر نیوتنی دارای خاصیت منحصر به فردی هستند که تا زمانی که یک حداقل تنش برشی خاص اعمال نشود، جریان ندارند.

این حداقل تنش برشی به عنوان تنش تسلیم شناخته می شود

در ابتدا به بررسی دسته اول سیالات غیر نیوتنی می‌پردازیم که ویسکوزیته آن ها تنها به مقدار نیروی وارد شده وابسته است و به زمان اعمال نیرو بستگی ندارد. از این نوع سیالات می‌توان به

- **سیالات دیلاتانت**
- **شبه پلاستیک**
- **بینگهام**

اشاره کرد، در ادامه به بررسی و معرفی هر کدام از انواع سیال غیرنیوتنی خواهیم پرداخت.

سیال دیلاتنت

زمانی که این سیال غیرنیوتنی در حالت عادی است و هیچ تنش و نیرویی به آن اعمال نمی شود ، خواص آن بسیار مشابه با مایعات است و دقیقا همان چیزی است که انتظارش را دارید. ولی اگر نیروی زیادی به آن اعمال شود ویسکوزیته آن افزایش می‌یابد و رفتاری مانند یک جامد از خود نشان می دهد.

سیالات دیلاتانت رفتار Shear Thickening دارند، یعنی این نوع از سیالات با افزایش تنش برشی مقاومتشان افزایش می یابد. به عنوان مثالی از سیال دیلاتانت می‌توان **به نشاسته در آب و خاک رس** اشاره کرد.

سیال شبه پلاستیک

سیالات شبه پلاستیک در هنگام اعمال نیرو خواصی دقیقا برعکس خواص سیال دیلاتانت از خود نشان می دهند. در واقع هرچه نیروی اعمالی بیشتر باشد بسیار روان‌تر و ویسکوزیته آن ها کمتر می شود.

سیالات غیر نیوتنی از نوع شبه پلاستیک (Pseudoplastic) ، رفتاری از نوع تضعیف شونده یا Shear Thining دارند و لزجت آنها با افزایش نرخ برش کاهش می یابد. نمونه‌هایی از سیالات شبه پلاستیک می توان به **مرکب چاپ، محلول شیردهی، امولسیون ها، گریس ، صابون ،رنگ و سس کچاپ** اشاره کرد.

سیال بینگهام

نوع دیگری از سیالات غیرنیوتنی مستقل از زمان نیز وجود دارد که به عنوان سیال بینگهام (Bingham Fluid) شناخته می شود. **این نوع سیال برای جاری شدن و جریان یافتن، نیاز به یک مقدار مشخص تنش اولیه هستند**. در واقع یک آستانه تنش برشی برای آن‌ها تعریف شده که قبل از آنکه میزان تنش برشی به این آستانه برسد، هیچ جریانی دیده نمی‌شود و بعد از آن، سیال شروع به جریان یافتن می‌کند. این سیالات را سیالات پلاستیک می‌نامند. سیال بینگهام به نوعی از سیالات پلاستیک گفته می‌شود که ویسکوزیته آن‌ها ثابت باقی می‌ماند.

رفتار این سیال تحت تنش های کمتر از تنش تسلیم رفتار جامد را از خود نشان می دهد و تحت تاثیر تنش های بالاتر از آن رفتار سیال دارد، **مانند خمیر دندان و کامپوزیت های سیلیکا-پلیمری.**

سیالات غیرنیوتنی وابسته به زمان

در این قسمت به نوعی از سیالات غیرنیوتنی می پردازیم که **ویسکوزیته و لزجت آن ها به زمان اعمال نیرو وابسته است.** این نوع سیال غیرنیوتنی شامل سیالات رئوپکتیک (Rheopectic) و تیکسوتروپیک (Thixotropic) می شوند.

رئوپکتیک و تیکسوتروپیک، سیالاتی هستند که به زمان وابسته هستند و ویسکوزیته آن‌ها هنگام وارد شدن یک نیرو و تنش برشی در طول زمان، تغییر می‌کند.

سیال رئوپکتیک

ویسکوزیته سیالات رئوپکتیک در صورتی که در طول یک زمان تحت تنش قرار بگیرند، افزایش می‌یابد. در واقع همچون جامدات می‌توان برای این سیالات نیز یک حافظه تنشی در نظر گرفت **که مقدار ویسکوزیته آن‌ها در یک جریان و با گذشت زمان افزایش می‌یابد.**

در واقع اگر نیرویی به صورت ناگهانی به سیال رئوپکتیک وارد شود، تغییری در این سیال غیرنیوتنی ایجاد نمی‌شود و باید مدتی از زمان سپری شود تا اثر آن مشخص گردد و در نتیجه نیروی وارد شده سیال سفت شود و ویسکوزیته آن افزایش پیدا کند. از **جوهر پرینتر و خامه به** عنوان مثالی از این سیالات می توان نام برد.

باید توجه شود که در این گونه سیالات برای ثابت نگه داشتن نرخ کرنش در طول زمان، به علت افزایش ویسکوزیته باید تنش برشی نیز با گذشت زمان افزایش یابد.

سیال تیکسوتروپیک

نوع دیگر از سیالات غیر نیوتنی که ویسکوزیته آن به زمان وابسته است سیال تیکسوتروپیک است. این سیالات، خواصی دقیقا مخالف با خواص سیالات رئوپکتیک دارند. بنابراین با **اعمال نیرو در طول زمان به این نوع از سیالات، ویسکوزیته آن‌ها کاهش می‌یابد و روان‌تر می‌شوند. عسل** به عنوان یک سیال تیکسوتروپیک شناخته می شود.

در حالت کلی سیالات تیکسوتروپیک در تنش برشی ثابت با گذشت زمان رقیق می شود یا به عبارت دیگر با گذشت زمان برای ثابت نگه داشتن گرادیان سرعت تنش برشی کمتری لازم دارد و سیالات رئوپکتیک در تنش برشی ثابت با گذشت زمان غلیظ می شوند. یا به عبارت دیگر با گذشت زمان برای ثابت نگه داشتن گرادیان سرعت تنش برشی بیشتری لازم است.

Step by step calculation

1. SG دانسیته مایع را تعیین کنید. اگر چگالی نامشخص باشد، می توان آن را با استفاده از فرمول یا نوموگراف تعیین کرد.

به جز چگالی، ویژگی های یک مایع با ویسکوزیته آن تعیین می شود.

2.مایعات تا زمانی که نیرویی به آنها وارد شود به طور مداوم تغییر شکل می دهند. می گویند جریان دارند.

هنگامی که یک جریان در یک مایع اتفاق می افتد، با اصطکاک داخلی ناشی از انسجام مولکول ها مخالفت می کند.

این اصطکاک داخلی خاصیت مایعی به نام ویسکوزیته است.

3. سرعت بحرانی را با استفاده از جدول و منحنی محاسبه کنید. قطر لوله را طوری انتخاب کنید که سرعت لوله بالاتر از سرعت بحرانی باشد.

اگر سرعت خیلی کم باشد، تلفات، سایش و همچنین خطر انسداد افزایش می یابد.

4. کل هد تخلیه را که مجموع سر تخلیه استاتیکی (ارتفاع مکش)، تلفات سیستم لوله و فشار تخلیه لوله (فشار مورد نیاز) است، محاسبه کنید.

تلفات در سیستم لوله شامل تلفات اصطکاک و تلفات ناشی از اتصالات مانند خم لوله و شیر و غیره است.

تلفات اصطکاک را می توان با استفاده از نمودار تعیین کرد. **اگر غلظت بیش از 15 درصد حجمی باشد**، مقدار باید با استفاده از نمودار ضریب تصحیح تنظیم شود. برای پمپاژ دوغاب باید **خم لوله با شعاع زیاد و شیرهایی با جریان آزاد انتخاب شود**. به این ترتیب می توان از تلفات اتصالات چشم پوشی کرد

هنگام تخمین اصطکاک کل

5. در حال حاضر نقطه مورد نیاز مشخص شده است.

اگر غلظت جامد از 15 درصد حجمی بیشتر شود، سر تخلیه پمپ (فشار مکش) باید کاهش یابد.

با تقسیم ارتفاع مورد نیاز با ضریب کاهش، هد پمپ آب تمیز معادل بدست می آید

6. اکنون پمپ را می توان بر اساس مقادیر جریان و هد بالا انتخاب کرد.

نوع شرایط نصب مورد نظر نیز باید در نظر گرفته شود. هزینه های عملیاتی کلی، از جمله سایش، تعمیر و نگهداری و مصرف انرژی به همان اندازه مهم هستند که باید در نظر گرفته شوند.

7. مصرف برق مربوطه، آب تمیز در مقابل دوغاب.

منحنی‌های قدرت پمپ‌ها بر اساس آب تمیز است و این منحنی‌ها باید در وزن مخصوص دوغاب ضرب شوند تا مقدار مربوطه برای پمپاژ دوغاب به دست آید.

به طور معمول تغییرات در دوغاب را می توان انتظار داشت وبنابراین موتور باید نسبتا بزرگ باشد.

شرکت اسپیکو موتوری با 20 درصد حاشیه توان اضافی را برای کاربردهای دوغاب توصیه می کند

مثال

اندازه پمپ را در معدن زغال سنگ محاسبه کنید که دوغاب زغال سنگ را از معدن پمپاژ می کند.

داده های مشتری:

ولتاژ 380 ولت 50 هرتز

حداکثر دمای آب 40 درجه

غلظت مواد جامد بر حسب حجم Cv = 30%

چگالی مواد جامد: kg/m3 SGs = 1,8 1800

دبی درخواستی: Q = 50 لیتر در ثانیه

هد ژئودتیک: H = 22 متر

قطر لوله: 150 میلی متر

طول لوله: L = 50 متر

اندازه جامدات: d85 = 1

برای این مقادیر در مثال یاد شده مانند ذیل بررسی صورت می گیرد

وزن مخصوص (SG) دوغاب

ابتدا وزن مخصوص دوغاب را تعیین کنید. از فرمول زیر یا نوموگراف که در جدول ان داده شده استفاده کنید.

وزن مخصوص دوغاب از ترکیب چگالی یک ماده جامد خاص است که با چگالی آب مخلوط شده است .

مثال: چگالی شن معمولاً 2600 کیلوگرم بر متر مکعب است. و وزن مخصوص ان SG شن و ماسه 2.6 است.

یا SGsl = 1 + Cv (SGs – 1)

SGsl =SGs:[SGs – Cm(SGs –1)]

SGsl = وزن مخصوص دوغاب

SGs = وزن مخصوص جامدات

Cv = غلظت مواد جامد بر حسب حجم

Cm = غلظت مواد جامد بر حسب وزن

مثال

وزن مخصوص (SG) دوغاب را محاسبه کنید

SGsl = 1 + 0,3 (1,8 - 1) = 1,24

همچنین می توانید از نوموگراف در صفحه بعد استفاده کنید
و وزن مخصوص دوغاب رانیز از این جدول بدست اوریم

حالا ما به سرعت سیال نیاز داریم Vcr

قطر لوله را انتخاب می کنیم برای این مورد قطر ”6=150 را در نظر می گیریم و با توجه به قطر ذرات 1 میلیمتر عدد 2.4 برای سرعت در لوله 150 بدست می اید حداقل سرعت در لوله برای بسته نشدن لوله

با توجه به وزن مخصوص مواد جامد در دوغاب که در این مورد SGs= 1.8 است از جدول ضریب روانی برای این دوغاب ضریت روانی برای این دوغاب را پیدا می کنیم 0.7 می شود این عدد را در حد اکثر ضریب لوله ضرب کرده 1.7=0.7*2.4 متر بر ثانیه ضریت بحرانی سیال بدست می اید 1.7که کمتر از این باشد لوله مسدود می شود

حالا باید سرعت واقعی را از فرمول دیل بدست اورد

V=Q/A V= 50/1000 /(3.14*0.075*0.075) =2.8 ms سرعت واقعی 2/8متر در ثانیه است

A = سطح مقطع لوله برحسب متر

Q = دبی مورد نیاز که 50 لیتر بر ثانیه بوده که باید متر بر ثانیه تبدیل شود

حالا باید میزان استهکاک در طول لوله را محاسبه کرد از جدول ذیل میزان متر در 1000 متر را با توجه به سایز لوله و طول لوله بدست می اوریم طول 50 متر برای لوله 150 ضریب 60 بدست می اید که یعنی هر 100 متر 6 متر تلفات دارد که در با توجه به طول 50 متر 3 متر به ان اضافه می شود و چون 30 در صد حجمی مواد دارد از جدول اصلاح ضریت دیل عدد 1.5 بدست می اید که این استهلاک را باید در این ضریت ضرب کرد و تلفات واقعی را بدست اورده و به طول خواست شده اضافه نمود

4.5=1.5*3 و 4.5+22= 26.5 متر ارتفاع قابل محاسبه بدست می اید

حالا با توجه به ارتفاع مورد نیاز دوغاب بایستی ضریب دیگری را بنام HR بدست اورد تا ارتفاع دوغاب را باتوجه به آب محاسبه کرد

با توجه به جدول فاکتور k و قطر ذرات =1 میلمتر و وزن مخصوص مواد جامد ضریب بدست امده 0.04 می شود k=0.04 for HR

HR=1-K(Cv:20)=1-0.04*30:20=0.94

Hwc=Htotal:0.94=28.2 m

حالا باید پمپ را انتخاب کنیم که در ارتفاع 28.2 متری 50 لیتر در ثانیه دبی اب داشته باشد

حالا برا ی قدرت موتور نیز باید موارد ذیل را در محسبات قرار داد

مثال

قدرت موتور را بررسی کنید

بررسی کنید که موتور پمپ دارای حاشیه قدرت برای کنترل چگالی بالاتر باشد.

جدول نشان می دهد که حداکثر توان شفت مجاز برای موتور انتخابی بین 30 تا 45 کیلو وات است و منحنی عملکرد نشان می دهد که برای آب تمیز در نقطه کار درخواستی به توان شفت 22.5 کیلووات نیاز داریم.

$$P_{insl} = SG_{sl} \times P_{incw}$$

قدرت دوغاب = قدرت بدست امده برای اب ضربدر وزن مخصوص دوغاب

1.24 x 22,5 = 27,9 = کیلو وات است

مقدار بسیار کمتر از حداکثر توان ورودی مجاز است که نقطه وظیفه درخواست شده است،

اما در صورت وجود تغییرات در هد پمپ، بررسی کنید که مقدار آن زیر حد توان برای کل منحنی باشد.

حداکثر قدرت برای شفت = 25 کیلو وات برای منحنی انتخاب شده. Pinmaxsl = 25 x 1,24 = 31 kW

هنوز حاشیه توان کافی وجود دارد.

پمپ انتخابی:با توجه به استاندارد الکترو موتور ها بهتر است با ضریب بالا یعنی 37 کیلووات انتخاب شود

بطور تقریب در انتخاب یک پمپ دوغاب با توجه به منحنی داده شده که بر اساس آب ترسیم شده است اعداد بدست امده باید با توجه به وزن مخصوص دوغاب قابل انتقال در نظر گرفته شود

ابتدا ارتفاع مورد درخواست را در وزن مخصوص ان ضرب می کنیم تا ارتفاع مورد نیاز بر مبنای اب بدست اید و سپس بر اساس دبی درخواستی در ارتفاع بدست آمده قدرت مورد نیاز را از منحنی مربوط به اب بدست می آوریم و اعداد بدست آمده را در ضریب چگالی ان ضرب می کنیم

هر عددی که محاسبه شد با توجه به نوساناتی که ممکن برای سیال ایجاد شود برای اطمینان قدرت فوق را 20% اضافه می کنیم

برای محاسبات فوری با دقت 90 در صد بصورت ذیل عمل می کنیم

یا SGsl = 1 + Cv (SGs – 1)

SGsl =SGs:[SGs – Cm(SGs –1)]

از فرمول بالا وزن مخصوص دوغاب را محاسبه می کنیم این عدد بدست امده را ضریب قدرت و ارتفاع در نظر می گیریم یعنی ارتفاع خواسته شده که براساس اب در منحنی مشخص شده را دراین ضریب ضرب می کنیم تا ارتفاع معادل اب این دوغاب بدست اید و از روی منحنی قدرت لازم را پیدا می کنیم و سپس این قدرت را در این ضریب ضرب کرده تا حداقل قدرت مورد نیاز بدست اید

Pinsl = SGsl x Pincw

باید توجه داشت برای انتقال این سیال با حجم شن و ماسه ریز که تغیرات غلظت حجمی را دارد باید قدرت موتور را با حدود 20% بالتر در نظر گرفت بصورتی که در رنج استاندارد الکتروموتور ها قرار داشته باشد

فرمولهای مهم مورد استفاده در رابطه با تفاوت غلظت و تفاوت قطر پروانه تفاوت دور دردقیقه تفاوت ابدهی و تفاوت ارتفاع و تفاوت راندمان

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2} \qquad \frac{p_1}{p_2} = \left[\frac{N_1}{N_2}\right]^3 \qquad \frac{H_1}{H_2} = \left[\frac{N_1}{N_2}\right]^2$$

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{D_1}{D_2} \qquad \frac{p_1}{p_2} = \left[\frac{D_1}{D_2}\right]^3 \qquad \frac{H_1}{H_2} = \left[\frac{D_1}{D_2}\right]^2$$

Q۱، H۱، P۱= بده، ارتفاع و توان در سرعت N۱ یا قطر پروانه D۱ هستند.

Q۲، H۲، P۲= بده، ارتفاع و توان در سرعت N۲ یا قطر پروانه D۲ هستند.

$$P = \frac{Q \times H}{102 \times n_1 \times n_2}$$

که در آن Q، دبی بر حسب لیتر در ثانیه، H ارتفاع پمپاژ بر حسب متر، η۱ بازده پمپ، η۲ بازده موتور و P توان مصرفی هر پمپ بر حسب کیلووات می‌باشد. راندمان پمپ‌ها با توجه به منحنی مشخصه آنها و برای هر ارتفاع پمپاژ قابل حصول می‌باشد. راندمان الکتروموتورها نیز در کاتالوگ شرکت سازنده ارائه شده است.

AZ no power curve as it is slurry pump, you could check the table to quickly check or caluclated by yourself

Shaft Power= H x Q X Sm / 102 / µ

H : Head meters
Q: is flow unit by l/s
Sm: is Specific gravity like 1.2 and so on
µ : is efficient
like 70%, here should be calculated by 0.7

n=120f/p
n:rpm f: Frequency p: poles (2 , 4, 6, 8, 10, 12,)

توان پمپ $P_H = \gamma QH$

بازده پمپ $\eta = \frac{P_H}{P_{pump}} = \frac{\gamma QH}{P_{pump}}$

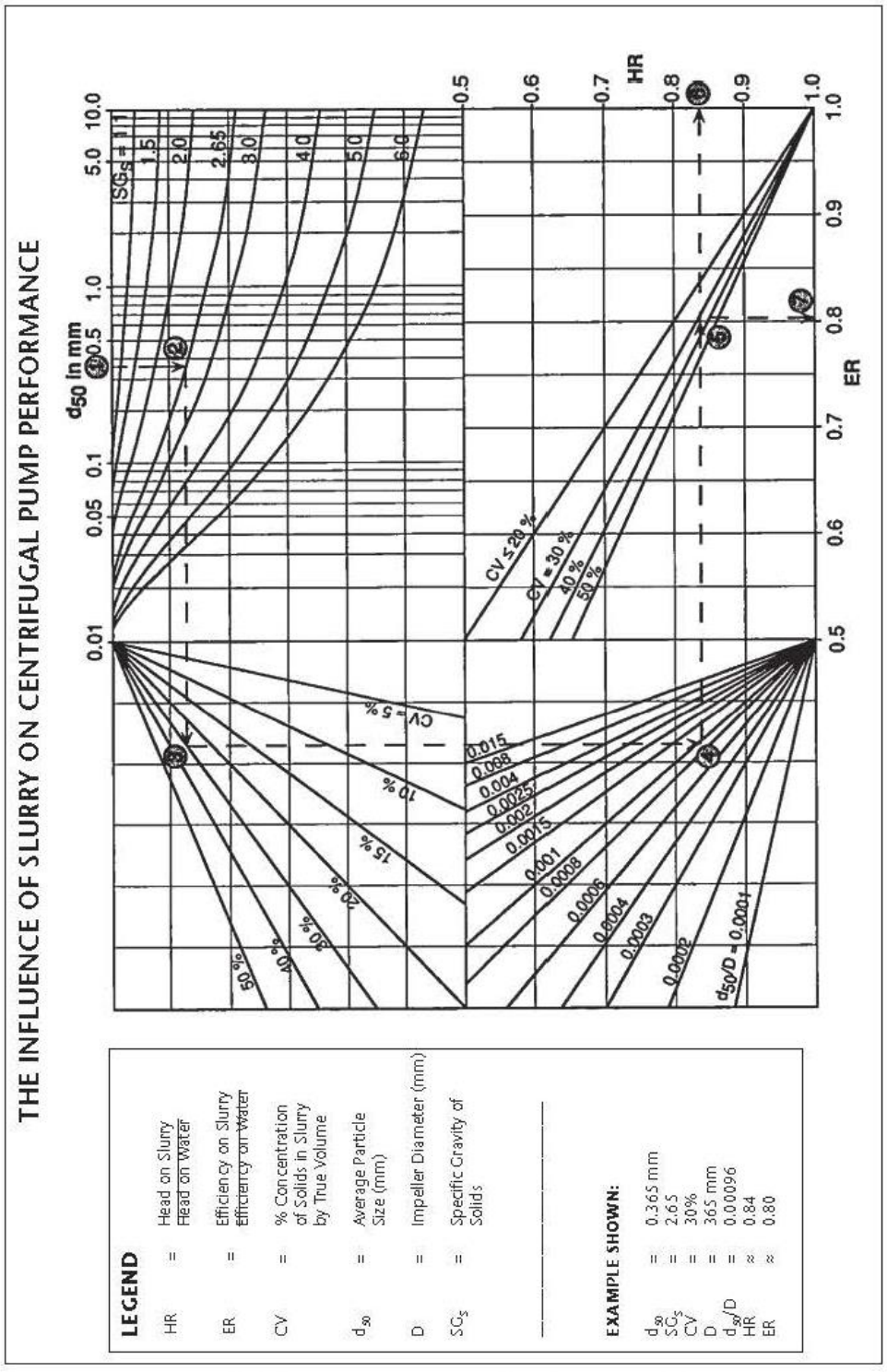


Figure 2-3 Performance of Centrifugal Pumps on Slurry

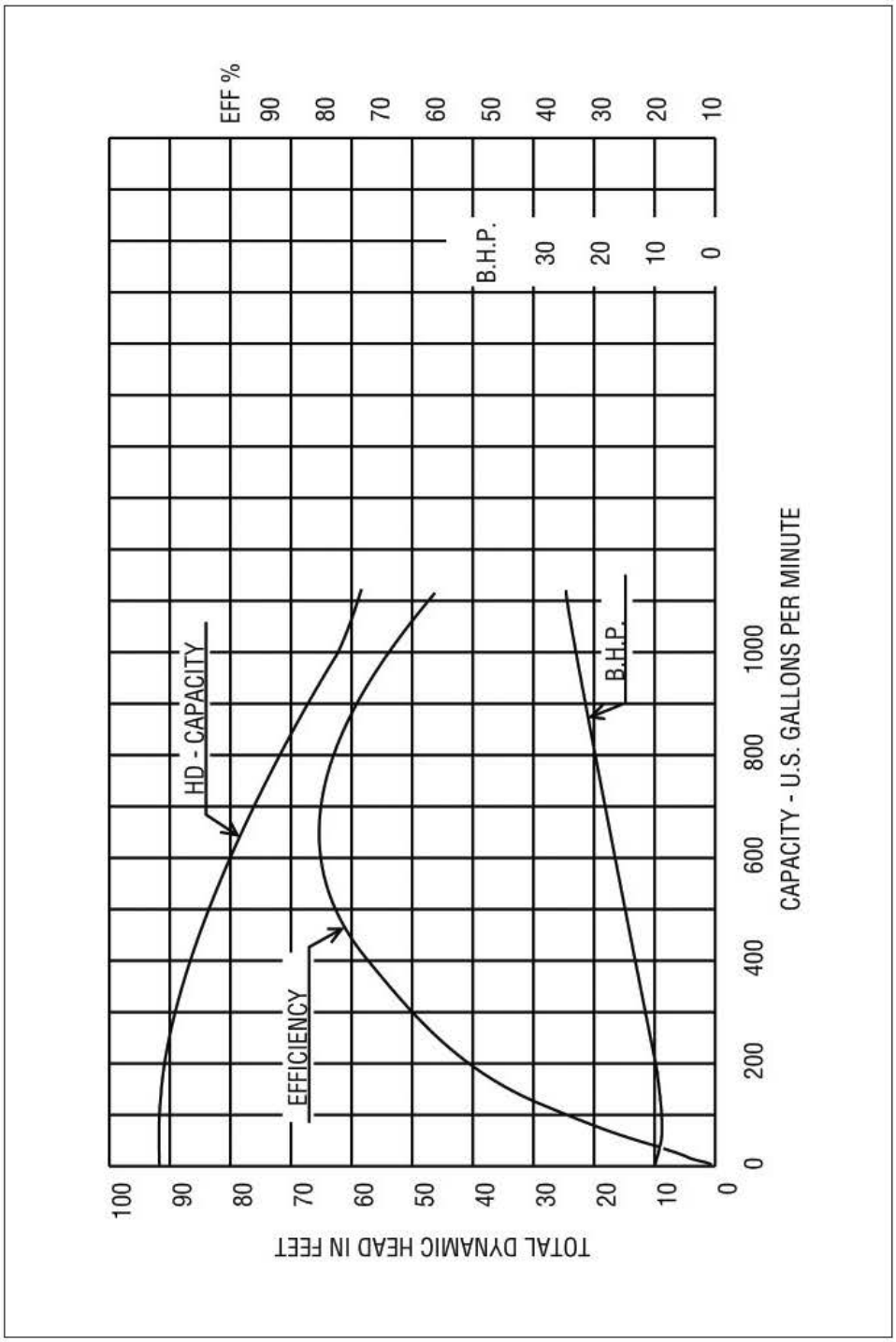


Figure 2-4 Typical Pump Performance Test Graph On Water

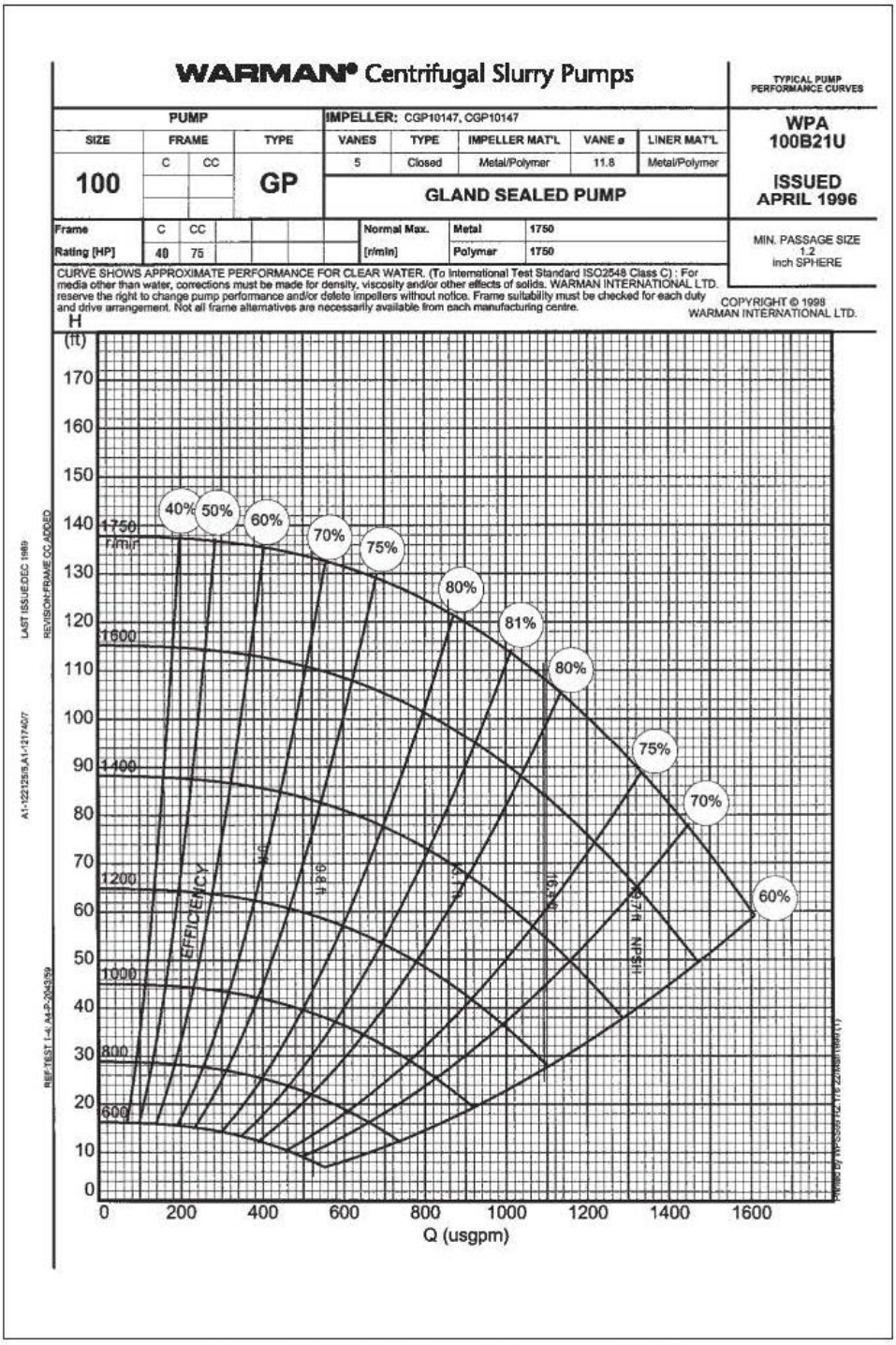


Figure 2-5 Typical Pump Performance Graph