



AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE

ویرایش یازدهم
سال ۲۰۱۰

آموزش استاندارد API 610

گفتار سوم: انتخاب نوع پمپ

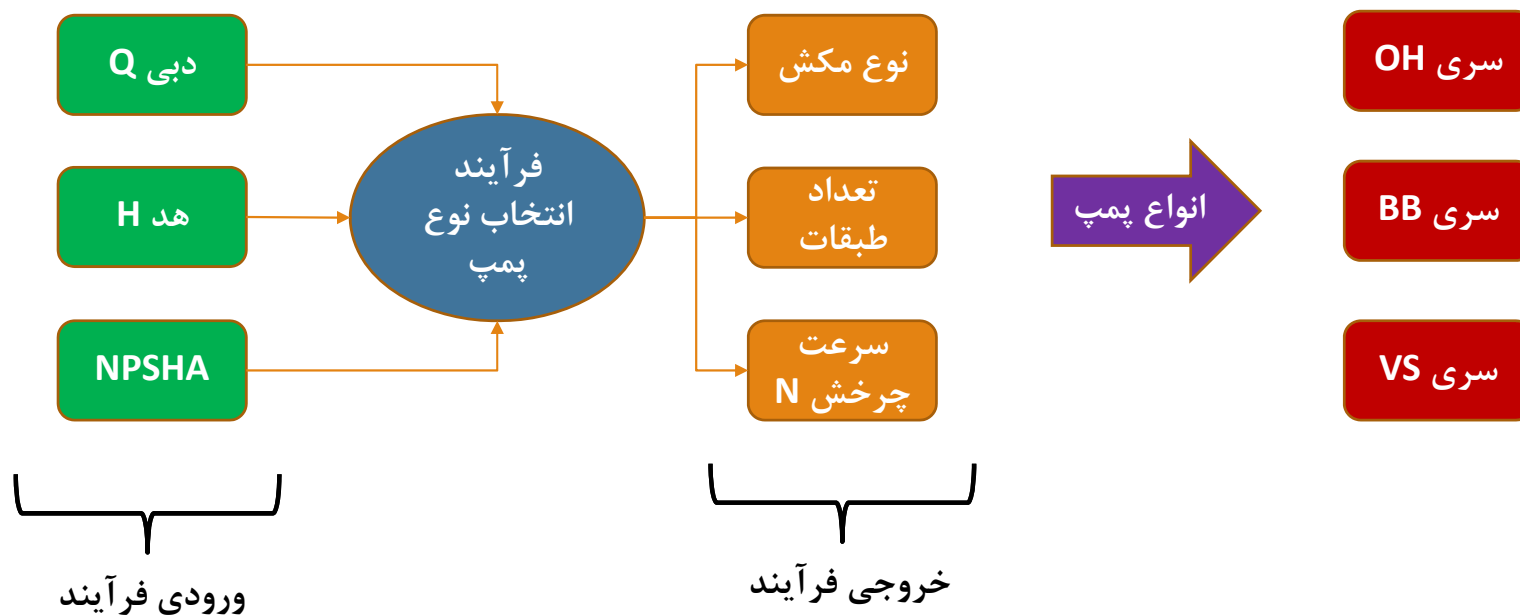
PUMP TYPE SELECTION

فرآیند انتخاب نوع پمپ

- تمامی انواع پمپ های معرفی شده در استاندارد جهت تأمین مناسب شرایط هیدرولیکی درخواست شده می باشند. در واقع برای هر شرایط هیدرولیکی بخصوص (دبی، هد و NPSHA) تمامی انواع پمپ ها مناسب نمی باشند. هدف از این فرآیند، انتخاب صحیح نوع پمپ با توجه به شرایط هیدرولیکی مورد نیاز می باشد.
- خروجی این فرآیند ممکن است شامل بیش از یک نوع پمپ باشد. در این حالت انتخاب نهایی نوع پمپ، وابسته به مسائل اقتصادی و بهره برداری پمپ خواهد بود.
- فرآیند انتخاب پمپ با استفاده از روابط سرعت مخصوص n_s و سرعت مخصوص مکش S و ملاحظات استاندارد می باشد.

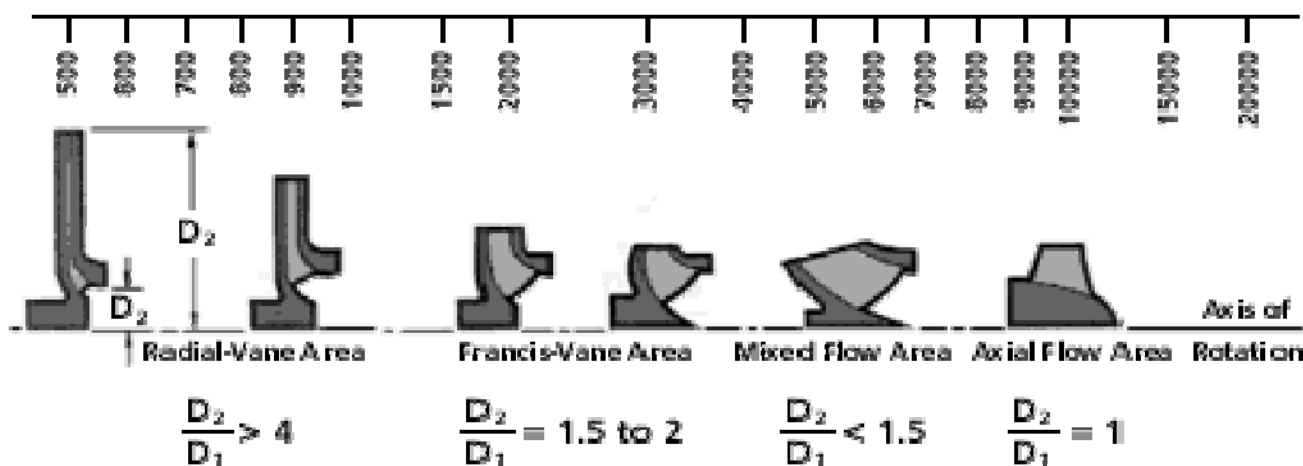
$$S = nq^{0,5} / \text{NPSH}^{0,75} \quad n_s = nq^{0,5} / H^{0,75}$$

فرآیند انتخاب نوع پمپ



سرعت مخصوص

برای پمپ های سانتریفیوژ جریان شعاعی و فرانسسیس، سرعت مخصوص پمپ عددی بین ۱۰ تا ۷۷ می باشد. در سیستم USC (دبی بر حسب گالن در دقیقه و هد بر حسب فوت) محدوده سرعت مخصوص پمپ های سانتریفیوژ بین ۵۰۰ تا ۴۰۰۰ می باشد.



سرعت مخصوص

مثال ۱: سرعت مخصوص پمپ سانتریفیوژی با دبی ۸۰۰ متر مکعب بر ساعت و هد ۵۵ متر در نقطه BEP و سرعت چرخش ۱۴۵۰ دور بر دقیقه چقدر خواهد بود؟

$$n_s = \frac{N\sqrt{Q}}{H^{0.75}} = \frac{1450 \times \sqrt{(800/3600)}}{55^{0.75}} \rightarrow n_s = 33.8 \quad \text{حل:}$$

مثال ۲: در مثال ۱ اگر پروانه پمپ دومکشه باشد، سرعت مخصوص چقدر خواهد بود؟

حل: برای پروانه پمپ های دومکشه، نصف دبی پمپ در رابطه سرعت مخصوص گذاشته می شود:

$$n_s = \frac{N\sqrt{Q}}{H^{0.75}} = \frac{1450 \times \sqrt{(400/3600)}}{55^{0.75}} \rightarrow n_s = 23.9$$

مثال ۳: در مثال ۱ و ۲، اگر علاوه بر پروانه دومکشه، پمپ سه طبقه باشد، سرعت مخصوص چقدر خواهد بود؟؟؟

سرعت مخصوص مکش

○ جهت کارکرد مطمئن و اجتناب از خطرات کاویتاسیون در پمپ های سانتریفیوژ، سرعت مخصوص مکش باید کمتر از ۲۱۰ (در سیستم USC کمتر از ۱۱۰۰۰) باشد.

○ مثال ۴: سرعت مخصوص مکش پمپ سانتریفیوژی با دبی ۱۵۰ متر مکعب بر ساعت و NPSHr ۳٫۸ متر در نقطه BEP و سرعت چرخش ۱۴۵۰ دور بر دقیقه چقدر می باشد؟

$$S = \frac{N\sqrt{Q}}{NPSH^{0.75}} = \frac{1450 \times \sqrt{(150/3600)}}{3.8^{0.75}} \rightarrow S = 108.7$$

حل:

○ مثال ۵: در مثال ۴، حداقل NPSHr قابل دستیابی با بهینه سازی طراحی پروانه پمپ چقدر خواهد بود؟

حل: سرعت مخصوص مکش پمپ نباید از ۲۱۰ بیشتر شود. با بهینه سازی طراحی پروانه پمپ، کمینه مقدار NPSHr برابر خواهد بود با:

$$S = \frac{N\sqrt{Q}}{NPSH^{0.75}} \rightarrow 210 = \frac{1450 \times \sqrt{(150/3600)}}{NPSH^{0.75}} \rightarrow NPSHr = 1.58 \text{ m}$$

سرعت مخصوص مکش

مثال ۶: در مثال ۴، در صورتی که $NPSH_a$ در دسترس در سایت، ۰٫۸ متر باشد، چه راهکارهایی برای کاهش $NPSH_r$ پیشنهاد می دهید؟

حل: از آنجا که در مثال ۵، کمینه $NPSH$ مورد نیاز پمپ ۱٫۵۸ متر بدست آمد، برای کاهش بیشتر $NPSH_r$ می توان سرعت چرخش پمپ را کاهش داد و یا اینکه از پروانه دومکشه و یا تلفیقی از هر دو استفاده نمود:

حالت اول: پروانه دومکشه و سرعت چرخش ۱۴۵۰ دور بر دقیقه

$$S = \frac{N\sqrt{Q}}{NPSH^{0.75}} \rightarrow 210 = \frac{1450 \times \sqrt{(75/3600)}}{NPSH^{0.75}} \rightarrow NPSH_r = 0.995 \text{ m}$$

حالت دوم: پروانه تک مکشه و سرعت چرخش ۹۶۰ دور بر دقیقه

$$S = \frac{N\sqrt{Q}}{NPSH^{0.75}} \rightarrow 210 = \frac{960 \times \sqrt{(150/3600)}}{NPSH^{0.75}} \rightarrow NPSH_r = 0.91 \text{ m}$$

سرعت مخصوص مکش

حالت سوم: پروانه دومکشه و سرعت چرخش ۹۶۰ دور بر دقیقه

$$S = \frac{N\sqrt{Q}}{NPSH^{0.75}} \rightarrow 210 = \frac{960 \times \sqrt{(75/3600)}}{NPSH^{0.75}} \rightarrow NPSHr = 0.57 \text{ m}$$

همانطور که ملاحظه می شود، تنها با تلفیق کاهش سرعت و استفاده از پروانه دومکشه، امکان تأمین $NPSH$ مورد نیاز وجود دارد. باید به خاطر داشت این محاسبات تئوریک می باشند و ممکن است در عمل به دلیل ضعف در طراحی و یا ملاحظات ساخت و تولید امکان دستیابی دقیق به اعداد محاسبه شده وجود نداشته باشد. اما این محاسبات پایه ای کمک می کند تا درک و تصور بهتری از نحوه انتخاب صحیح پمپ های سانتریفیوژ داشته باشید.

نگاه اجمالی به انواع پمپ API 610

نوع پمپ	تک طبقه	دو طبقه	طبقاتی	تک مکشه	دو مکشه	Radially Split	Axially Split	تطابق با استاندارد
OH1	X			X		X		ندارد
OH2	X			X		X		دارد
OH3	X			X		X		دارد
OH4	X			X		X		ندارد
OH5	X			X		X		ندارد
OH6	X			X		X		دارد
BB1	X	(X)			X		X	دارد
BB2	X	X		X	X	X		دارد
BB3			X	X	X		X	دارد
BB4			X	X		X		ندارد
BB5			X	X		X		دارد

نگاه اجمالی به انواع پمپ API 610

نوع پمپ	تک طبقه	دو طبقه	طبقاتی	تک مکشه	دو مکشه	Radially Split	Axially Split	تطابق با استاندارد
VS1	X	X	X	X		X		دارد
VS2	X			X		X		دارد
VS3	X			X		X		دارد
VS4	X	(X)	(X)	X		X		دارد
VS5	X			X		X		دارد
VS6	X	X	X	X		X		دارد
VS7	X			X		X		دارد

الزامات استاندارد در فرآیند انتخاب پمپ

- مطابق با بند ۶,۱,۱۵ پمپ های با هد هر طبقه بیشتر از ۲۰۰ متر و توان هر طبقه بیشتر از ۲۲۵ کیلووات، پمپ های با انرژی بالا high-energy pumps می باشند و باید توجه ویژه ای در طراحی آن کرد. (بنابراین تا آنجا که امکان دارد جهت اجتناب از پیچیدگی طرح، از انتخاب این پمپ ها اجتناب گردد)
- مطابق با بند ۶,۱,۱۶ برای پمپ های با دور بیشتر از ۳۶۰۰ دور بر دقیقه و توان بیشتر از ۳۰۰ کیلووات در هر طبقه، باید توجه ویژه ای در طراحی آن کرد. (بنابراین تا آنجا که امکان دارد جهت اجتناب از پیچیدگی طرح، از انتخاب این پمپ ها اجتناب گردد)
- همانطور که در جدول شماره ۳ استاندارد اشاره شده است، پمپ های سری OH1، OH4، OH5 و BB4 در تطابق کامل با این استاندارد نمی باشند. لذا تا آنجا که امکان دارد از انتخاب این نوع پمپ ها اجتناب گردد.
- مطابق با بند ۶,۳,۹ استاندارد، در شرایط زیر باید پمپ های Radially Split انتخاب کرد:
 - دمای سیال پمپ شونده بیشتر از ۲۰۰ درجه سانتیگراد (۴۰۰ درجه فارنهایت) یا بیشتر باشد (اگر شوک حرارتی محتمل باشد، حد پایین تر دما باید در نظر گرفته شود).
 - سیال با دانسیته مخصوص زیر ۰,۷ در دمای پمپاژ
 - فشار خروجی بیشتر از ۱۰۰ بار

قطر پروانه و هد پمپ

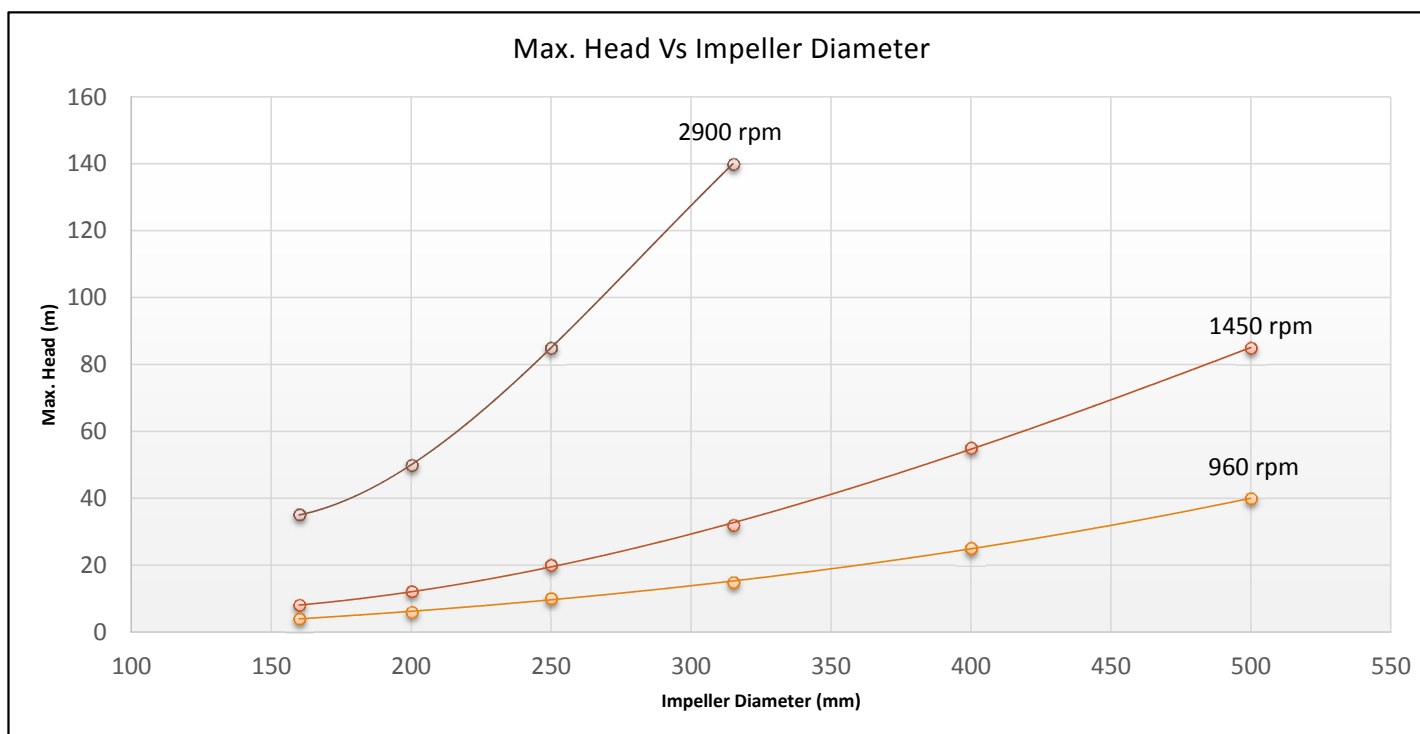
در جدول زیر ماکزیمم هدهای قابل دستیابی در قطرهای مختلف پروانه و بر اساس سرعت های چرخش مختلف نشان داده شده است.

اعداد ارائه شده در این جدول برای بسیاری از سازندگان دنیا معتبر و قابل استناد می باشد.

ماکزیمم هد پمپ به متر			قطر پروانه
2900 rpm	1450 rpm	960 rpm	mm
۳۵	۸	۴	۱۶۰
۵۰	۱۲	۶	۲۰۰
۸۵	۲۰	۱۰	۲۵۰
۱۴۰	۳۲	۱۵	۳۱۵
۱-	۵۵	۲۵	۴۰۰
۱-	۸۵	۴۰	۵۰۰

جدول شماره ۱: ماکزیمم هدهای قابل دستیابی در قطرهای مختلف پروانه و بر اساس سرعت های چرخش مختلف
(۱) برای قطرهای ۴۰۰ میلیمتر به بالا، سرعت چرخش ۲۹۰۰ دور بر دقیقه به دلیل ملاحظات ارتعاشی توصیه نمی شود.

قطر پروانه و هد پمپ



قطر پروانه و هد پمپ

مثال ۱۰: برای پمپ سانتریفیوژی با دبی ۲۵۰ متر مکعب بر ساعت و هد ۴۳ متر، قطر مناسب پروانه در دورهای مختلف چقدر خواهد بود؟

حل: با استفاده از جدول شماره ۱، برای هد ۴۳ متر در دور ۹۶۰ دور بر دقیقه، قطر پروانه بیش از ۵۰۰ میلیمتر خواهد بود. در دور ۱۴۵۰ دور بر دقیقه، قطر پروانه بیشتر از ۳۱۵ و کمتر از ۴۰۰ میلیمتر خواهد بود و برای دور ۲۹۰۰ دور بر دقیقه، قطر پروانه بین ۱۶۰ و ۲۰۰ میلیمتر می باشد.

مثال ۱۱: سازنده ای برای دبی ۱۴۳ متر مکعب بر ساعت و هد ۲۳۰ متر، پمپ سانتریفیوژ طبقاتی با ۵ طبقه و دور ۲۹۰۰ دور بر دقیقه پیشنهاد نموده است. قطر پروانه های آن چقدر باید باشد؟

حل: از آنجا که سازنده پیشنهاد پمپ طبقاتی با ۵ طبقه نموده است، لذا با فرض یکسان بودن پروانه طبقات، هد هر طبقه ۴۶ متر خواهد بود و از جدول شماره ۱، قطر پروانه های آن بین ۱۶۰ تا ۲۰۰ میلیمتر خواهد بود.

مثال هایی از انتخاب نوع پمپ

مثال ۱۲: برای دبی ۳۰۰ متر مکعب بر ساعت، هد ۱۱۰ متر و NPSHA برابر با ۳,۴ متر، بهترین پمپ افقی را انتخاب کنید؟

حل: در ابتدا یک پمپ تک طبقه و تک مکشه در نظر می گیریم. با توجه به جدول شماره ۱ (جدول هد و قطر پروانه)، دور ۳۰۰۰ دور بر دقیقه در نظر گرفته می شود. در این حالت قطر پروانه بین ۲۵۰ و ۳۱۵ میلیمتر خواهد بود.

همچنین به عنوان یک پیش فرض، NPSH3 را برابر با ۲,۴ متر در نظر می گیریم.

سرعت مخصوص و سرعت مخصوص مکش برابر است با :

$$n_s = \frac{N\sqrt{Q}}{H^{0.75}} = \frac{3000 \times \sqrt{(300/3600)}}{110^{0.75}} \rightarrow n_s = 25.5$$

$$S = \frac{N\sqrt{Q}}{NPSH^{0.75}} = \frac{3000 \times \sqrt{(300/3600)}}{2.4^{0.75}} \rightarrow S = 449.1$$

همانطور که ملاحظه می شود سرعت مخصوص مکش در محدوده مجاز نمی باشد.

مثال هایی از انتخاب نوع پمپ

به عنوان دومین تلاش، سرعت پمپ را از ۳۰۰۰ دور بر دقیقه به ۱۵۰۰ دور بر دقیقه کاهش می دهیم.

$$n_s = \frac{N\sqrt{Q}}{H^{0.75}} = \frac{1500 \times \sqrt{(300/3600)}}{110^{0.75}} \rightarrow n_s = 12.7$$

$$S = \frac{N\sqrt{Q}}{NPSH^{0.75}} = \frac{1500 \times \sqrt{(300/3600)}}{2.4^{0.75}} \rightarrow S = 224.6$$

باز هم سرعت مخصوص مکش در محدوده مجاز نمی باشد.

به عنوان سومین تلاش و به منظور کاهش هرچه بیشتر سرعت مخصوص مکش، پمپ را دومکشه انتخاب می کنیم:

$$n_s = \frac{N\sqrt{Q}}{H^{0.75}} = \frac{1500 \times \sqrt{(150/3600)}}{110^{0.75}} \rightarrow n_s = 9.01$$

$$S = \frac{N\sqrt{Q}}{NPSH^{0.75}} = \frac{1500 \times \sqrt{(150/3600)}}{2.4^{0.75}} \rightarrow S = 158.8$$

همانطور که ملاحظه می شود در این بار سرعت مخصوص در محدوده مجاز نمی باشد.

مثال هایی از انتخاب نوع پمپ

بنابراین پمپ مورد نیاز نباید با دور ۳۰۰۰ دور بر دقیقه باشد و نباید تک طبقه باشد و باید دو یا چند طبقه باشد.
به عنوان چهارمین تلاش، یک پمپ دوطبقه با دور ۱۵۰۰ دور بر دقیقه و دومکشه انتخاب می کنیم.

$$n_s = \frac{N\sqrt{Q}}{H^{0.75}} = \frac{1500 \times \sqrt{(150/3600)}}{(110/2)^{0.75}} \rightarrow n_s = 15.16$$

$$S = \frac{N\sqrt{Q}}{NPSH^{0.75}} = \frac{1500 \times \sqrt{(150/3600)}}{2.4^{0.75}} \rightarrow S = 158.8$$

بنابراین پمپ مورد نظر باید از نوع BB2 دو طبقه و دومکشه باشد.

مثال هایی از انتخاب نوع پمپ

حداقل مقدار NPSH3 قابل دستیابی برابر خواهد بود با :

$$S = \frac{N\sqrt{Q}}{NPSH^{0.75}} \rightarrow 210 = \frac{1500 \times \sqrt{(150/3600)}}{NPSH^{0.75}} \rightarrow NPSH3 = 1.65 \text{ m}$$

پس به طور خلاصه مشخصات فنی پمپ انتخابی به شرح ذیل می باشد:

* پمپ سری BB2 دو طبقه با مکش دابل در طبقه اول و دور ۱۵۰۰ دور بر دقیقه و قطر پروانه تقریبی ۴۰۰ میلیمتر با حداقل NPSH برابر با ۱٫۶۵ متر.

محاسبه سائز مکش و رانش و دبی End Curve

- بیشینه سرعت سیال در فلنج خروجی پمپ معمولاً بین ۷ تا ۱۰ متر بر ثانیه می باشد. برای پمپ هایی که در سرعت طراحی خود کار نمی کنند، این عدد ممکن است کمتر و یا تا اندازه ای بیشتر باشد.

- در سرعت های بالای ۱۰ متر بر ثانیه، امکان ایجاد انسداد جریان وجود دارد.

$$V = \frac{354 \times Q}{D^2}$$

- برای پمپ های با قطر پروانه بزرگتر و یا سرعت دورانی ۳۰۰۰ دور بر دقیقه

و یا دبی های کمتر از ۳۰۰ متر مکعب بر ساعت، بیشینه سرعت سیال در فلنج

خروجی ممکن است تا ۱۰ متر بر ثانیه هم برسد.

- برای پمپ های با دبی بیش از ۵۰۰ متر مکعب بر ساعت و یا سرعت دورانی

کمتر از ۱۵۰۰ دور بر دقیقه، و یا پروانه های با قطر کوچکتر، بیشینه سرعت

سیال در فلنج خروجی ممکن است بیشتر از ۷ تا ۸ متر بر ثانیه نباشد.

- در صورتی که سرعت کاری پمپ بسیار کمتر از سرعت طراحی پمپ باشد،

سرعت سیال در فلنج خروجی ممکن است کمتر از ۵ متر بر ثانیه هم باشد.

V : سرعت سیال بر حسب متر بر ثانیه

Q : دبی بر حسب متر مکعب بر ساعت

D : قطر فلنج بر حسب میلیمتر می باشد.

بیشینه سرعت مجاز در فلنج رانش،
تعیین کننده دبی End Curve می باشد.

محاسبه سائز مکش و رانش و دبی End Curve

مثال: سازنده ای دبی نقطه انتهای منحنی پمپی با سائز فلنج خروجی ۴ اینچ را برابر با ۶۰۰ متر مکعب بر ساعت گزارش داده است. سرعت سیال در این دبی چند متر بر ثانیه می باشد؟

$$\text{حل: } V = \frac{354 \times Q}{D^2} = \frac{354 \times 600}{100^2} = 21.24 \text{ m/s}$$

لذا با توجه به سرعت ۲۱٫۲۴ متر بر ثانیه، به نظر می رسد دبی گزارش شده واقعی نمی باشد.

مثال: مطلوب است تخمین دبی End Curve قابل قبول در مثال فوق؟