



# WHITE PAPERS

---

ASK-RD-ENG-057

R&D Department

ARYA SEPEHR KAYHAN (ASK) | SHAHID SALIMI INDUSTRIAL CITY, TABRIZ, IRAN

شرکت آریا سپهر کیهان با نام اختصاری ASK، طراح و تولیدکننده پمپ های گریز از مرکز و روتاری و ارائه دهنده راهکارهای بهینه سازی سیستم های فرایندی و پمپاژ می باشد.

---

## توجه!

مقالات تخصصی با عنوان White Papers جهت افزایش دانش عمومی پمپ ها در بخش تحقیق و توسعه این شرکت نگارش شده است. استفاده از این مقالات رایگان می باشد و لازم است جهت استفاده از محتویات آن به موارد ذیل توجه فرمایید:

- 1- انتشار مجدد مطالب مقالات (به شکل اولیه و بدون تغییر در ساختار محتوایی و ظاهری) با ذکر منبع، بلامانع است.
- 2- استفاده تجاری از محتویات مقالات در نشریات مجاز نمی باشد.

## کیفیت تولید پمپ های سانتریفیوژ

گسترده‌گی انواع پره ها، دیفیوزرها و حلزونی های مورد استفاده در صنعت، با توجه به شکل پیچیده شان، به استفاده از روش های متعدد ریخته گری منجر می شوند. معمولا اجزای ریخته گری انحراف های ابعادی قابل تصویری نسبت به نقشه ی مربوطه دارند. دلیل این انحراف، انقباض غیر یکسان قطعه ی ریخته گری شده در هنگام سرد شدن، جابجایی مدل و تلورانس های قالب و قطعه است. علاوه بر این به دلیل مقیاس گذاری مقداری اتلاف در متریال به وجود می آید. این مشکل هنگام ساخت مدل با در نظر گرفتن مقدار کمی لقی مرتفع می شود.

هد و بازده پمپ به طرز قابل ملاحظه ای به کیفیت سطح، دما، متریال مورد استفاده، نحوه ی قالبگری و شستشو و روکش ریخته گری وابسته است. تلورانس های ریخته گری اجزای هیدرولیکی پمپ فاکتور بسیار مهمی در رسیدن به مشخصه های مورد نظر پمپ است. این تلورانس ها روی بازده، ارتعاشات و نویز، ترک خوردگی پره و میزان ریسک آسیب های احتمالی ناشی از کاویتاسیون موثرند. برای دامنه ی عملکرد خارج از بازگردش بار جزئی روش تعیین کمی (مقداری) مناسبی جهت بررسی تاثیر تلورانس های مختلف روی مشخصه های پمپ وجود دارد که در حوصله ی این مقاله نیست.

دقت تعیین شده برای مشخصه های پمپ ناچارا منجر به ماکزیمم انحراف مجاز (در محدوده ی نامعینی های چنین محاسباتی) در پهنای خروجی پره، زوایای پره و مساحت گلویی کلکتور می شود. در مقابل، تخمین تاثیر انحراف هندسه از هندسه ی اصلی بر پره ها و یا سطح مرودینالی چندان ساده نیست.

از آنجا که دقت بالاتر به معنای استفاده از روش های پره هزینه تر ریخته گری و در نتیجه زمان اضافی در روکش کردن است، تلورانس ها با توجه به کاربرد پمپ انتخاب می شوند. به همین منظور سه کلاس کیفیت در جدول ۱ معرفی شده است. در نظر گرفتن نکات زیر در کنار این جدول ضروری است:

۱. در سرعت مخصوص های کم مساحت گلویی دیفیوزر یا حلزونی با تلورانس های کم و در سرعت مخصوص های زیاد تلورانس پره بسیار مهم است.
۲. سرعت  $U_2$  یا هد در هر طبقه ی پمپ به عنوان مقیاسی برای بارهای پایا و نیروهای هیدرولیکی تحریک پایا اندازه گیری می شود.
۳. سرعت جانبی  $U_1$  به عنوان مقیاسی برای آسیب های ناشی از کاویتاسیون اندازه گیری می شود.
۴. توان مصرفی به عنوان معیاری از انرژی و هزینه ی نگهداری پمپ و همچنین تحریکات نویز و ارتعاشات اندازه گیری می شود. زیرا در بار جزئی توان بازگردش تماما تبدیل به آشفستگی می شود.

هرکدام از این ضوابط با توجه به کاربرد و شرایط و نیازمندی های غالب می تواند عامل تعیین کننده ای برای کلاس کیفیت باشد. این نکته حائز اهمیت است که هرکدام از این ضوابط مستقل از سایرین ارزیابی شود. سخت گیرانه ترین ضابطه یا نیازمندی استفاده شده کلاس کیفیت را تعیین می کند. مثلا اگر نیاز به محدودیت زیاد در ارتعاشات وجود داشته باشد و از آن طرف تلورانس های نسبتا بزرگی روی منحنی های عملکرد به کار گرفته شده باشد و حتی توان مصرفی پمپ بسیار پایین باشد، کلاس کیفیت بالایی باید انتخاب شود.

جدول ۱

| کلاس کیفیت  |                               | G1            | G2            | G3            |                                     |   |
|---|-------------------------------|---------------|---------------|---------------|-------------------------------------|---|
| تلورانس<br>$Q_g, H_g, \eta$<br>با توجه به<br>ISO 9906 | $t_Q$                         | $\pm 5\%$     | $\pm 8\%$     | $\pm 9\%$     | تلورانس دبی                         |   |
|   | $t_H$                         | $\pm 3\%$     | $\pm 5\%$     | $\pm 7\%$     | تلورانس هد                          |   |
|   | $t_P$                         | $+4\%$        | $+8\%$        | $+9\%$        | تلورانس توان مصرفی                  |   |
|   | $t_\eta$                      | $0(-3\%)$     | $-5\%$        | $-7\%$        | تلورانس بازده                       |   |
| API 610   | $v_u$                         | 3             | -             | -             | mm/s<br>(RMS)                       | ارتعاشات  |
| ISO 10816-7   | $v_u$                         | 3             | 3.7           | 5.6           |                                     |   |
| خروجی   | $u_2$                         | $>90$         | 40-90         | $<40$         | m/s                                 | سرعت جانبی  |
| ورودی   | $u_1$                         | $>50$         | 15-50         | $<15$         |                                     |   |
| هد  | $H_{st}$                      | $>400$        | 80-400        | $<80$         | m                                   | هد در هر طبقه<br>در BEP                               |
| توان  | P                             | $>3000$       | 300-3000      | $<300$        | kW                                  | توان مصرفی  |
| پارامتر   |                               | تلورانس       |               |               | وسيله اندازه<br>گیری                | مهم برای  |
| پهنای خروجی<br>پره                                    | $b_2$                         | $\pm 2.5\%$   | $\pm 3.5\%$   | $\pm 5\%$     | لغزش سنج                            | هد<br>پایداری<br>تحریک<br>ارتعاشات                    |
| فاصله ی پره ها<br>در خروجی                            | $a_2$                         | $\pm 2.5\%$   | $\pm 3.5\%$   | $\pm 5\%$     | کولیس، دیسک<br>دایروی               |   |
| زاویه ی خروجی   | $\beta_{2B}$                  | $\pm 4\%$     | $\pm 7\%$     | $\pm 10\%$    | گیج، ماشین<br>اندازه گیری<br>مختصات |   |
| زاویه ی ورودی   | $\beta_{1B}$<br>$\alpha_{3B}$ | $\pm 1^\circ$ | $\pm 2^\circ$ | $\pm 3^\circ$ | گیج، ماشین<br>اندازه گیری<br>مختصات | طول حفره<br>NPSH <sub>i</sub><br>NPSH <sub>3</sub>    |
| فاصله ی پره ها<br>در ورودی                            | $a_1$                         | $\pm 3\%$     | $\pm 4\%$     | $\pm 6\%$     | کولیس، دیسک<br>دایروی               | NPSH <sub>3</sub><br>در $Q > Q_{SF}$                  |
| پروفیل ورودی  |                               | $\pm 4\%$     | $\pm 8\%$     | -             | گیج پروفیل                          | NPSH <sub>i</sub>                                     |
| پروفیل خروجی  |                               | $\pm 5\%$     | $\pm 10\%$    | -             | گیج پروفیل                          | هد<br>نوسانات فشار                                    |
| ضخامت پره   | e                             | $\pm 7\%$     | $\pm 10\%$    | $\pm 15\%$    | لغزش سنج،<br>کولیس                  | هد<br>تنش   |
| مساحت گلوبی<br>دیفیوزر یا<br>حلزونی                   | $A_{3q}$                      | $\pm 5\%$     | $\pm 7\%$     | $\pm 10\%$    | کولیس، دیسک<br>دایروی، گیج          | دبی حجمی در<br>BEP<br>بازده<br>هد shut-off<br>پایداری |
| فاصله ی پره   | $a_3$                         | $\pm 5\%$     | $\pm 7\%$     | $\pm 10\%$    |                                     |   |
| پهنا  | $b_3$                         | $\pm 5\%$     | $\pm 7\%$     | $\pm 10\%$    |                                     |   |

در جدول ۱ تلورانس های هندسی برای سه کلاس کیفیت مختلف لیست شده است. از این جدول نکات زیر قابل برداشت است:

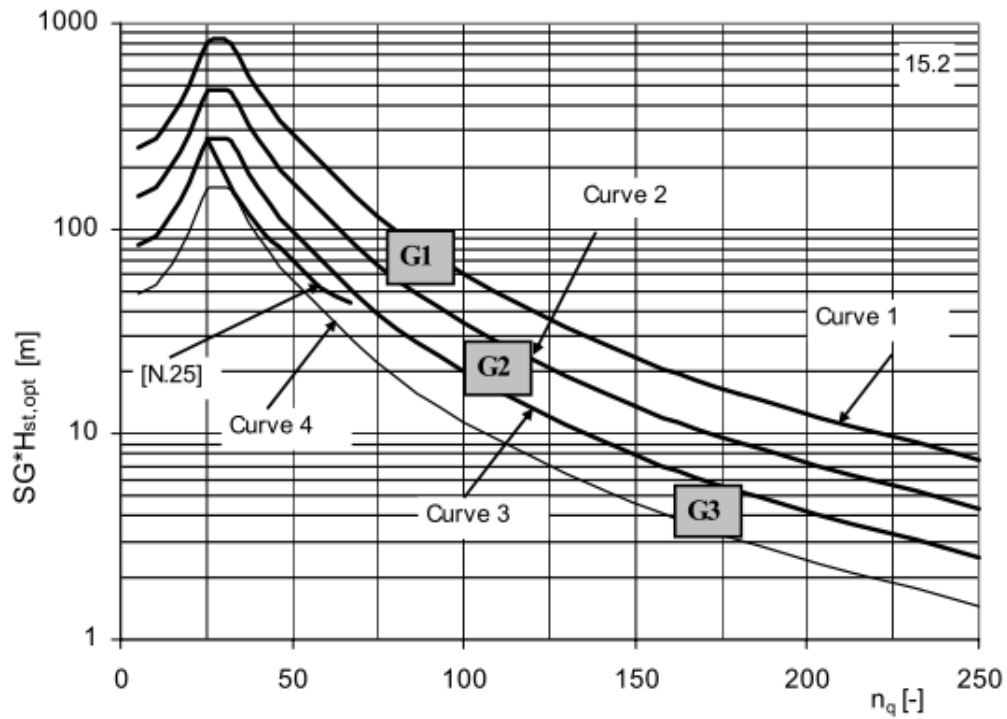
۱. اطلاعات داده شده تنها برای پمپ های شعاعی و نیمه محوری با سرعت مخصوص کمتر از ۱۵۰ صادق است و قابل استفاده برای پمپ های جریان محوری نمی باشد
۲. ابعاد ماشین کاری شده (مثل قطر خارجی پره) در جدول مذکور بیان نشده است. زیرا دقت ماشین کاری کمتر از چند دهم میلیمتر است.
۳. از آنجا که زاویه ی خروجی پره ( $\beta_{2B}$ ) در دامنه ی گسترده ای تغییر می کند، تلورانس آن نیز به صورت درصدی و نه به صورت درجه بیان می شود. از آن طرف زاویه ی  $\beta_{1B}$  در دامنه ی کوچکی تغییر می کند و از همین رو در واحد درجه بیان شده است.
۴. تلورانس پهنای خروجی پره  $b_2$ ، به میانگین تمامی کانال ها به علاوه ی اختلاف بین هر کانال که در تحریک ارتعاشات (بالانس هیدرولیکی) حائز اهمیت است، اعمال می شود. به دلیل تغییرات قابل ملاحظه ی پهنای خروجی در هر گام (مخصوصاً در پمپ هایی با تعداد پره ی کم)، این تلورانس میانگین انحراف در کانال های مشابه است.
۵. تاثیرات تلورانس های ریخته گری هم به این تلورانس ها اضافه می شود یا آن را جبران می کند. به همین دلیل مقادیر تلورانس داده شده باید به عنوان مقادیر تقریبی شمرده شوند. به طور مثال، اگر زاویه ی خروجی خیلی کوچک و پهنای پره در خروجی خیلی بزرگ باشد، هنوز هم با استفاده از این تلورانس ها می توان مقدار تقریبی را لحاظ کرد.
۶. برای مقادیر بزرگ  $H_{St}$  یا  $P$  همواره باید به انحرافات دو پارامتر  $\beta_{2B}$  و  $b_2$  از یک کانال به کانالی دیگر در هر گام توجه اکید شود. مقادیر انحرافات باید آنقدر کوچک باشند که مانع بروز ارتعاشات در پمپ شود.
۷. اگر قطعات بر طبق کلاس کیفیت استاندارد برای ریخته گری سفارش داده شده باشند، دامنه ی تلورانس ها در صورتی از آن استاندارد استنباط می شود که دامنه ی آن وسیع تر از دامنه ی جدول ۱ نباشد.
۸. در بعضی از موارد تلورانس های نامتقارن توصیه می شود. مثلاً برای  $b_2$ ،  $0/-4\%$  در صورتی که هیچ حاشیه ای برای هد ارائه نشده باشد یا باز هم برای  $b_2$ ،  $0/-2\%$  تا از مشخصه های ناپایدار پرهیز شود. موارد مشابهی برای پارامترهای  $\beta_{2B}$  و  $a_2$  وجود دارد.
۹. فاصله ی پره ها ( $a_2$ ) سرنخی پیرامون دقت موقعیت پره حین ریخته گری می دهد. پهنای  $a_1$  در گلوبی پره تاثیر بسزایی روی منحنی  $NPSH_3$  در دبی های بالا دارد.
۱۰. اندازه گیری های مربوط به هندسه ی شروود جلو و پشت و پره ها و کانال های دیفیوزر نسبتاً پیچیده است. اگر این اندازه گیری ها به هیچ وجه بدون خرابی قطعه ممکن نیستند باید از ماشین اندازه گیری مختصات و یا نمونه ها استفاده کرد. به همین دلیل انحرافات از هندسه ی مورد نظر به سختی تشخیص داده می شود. به همین دلیل برآورده کردن تلورانس های داده شده در جدول ۱ هیچ تضمینی برای موفقیت نیست.
۱۱. ارزیابی زبری هر پمپ با توجه به اصول تئوری قابل تعیین است. این زبری وابسته به عدد رینولدز جریان و سایز پمپ است. مثلاً برای آب داغ کمتر از روغن است. اطلاعات موجود در جدول ۱ تقریبی از زبری مورد نیاز است.
۱۲. برای سرعت های جانبی در ورودی بیش از ۵۰ متر بر ثانیه تنها وجود حباب های خیلی ریز کلویتاسیون مورد قبول است. برای سرعت های جانبی در ورودی بیش از ۷۵ متر بر ثانیه نباید هیچ حبابی مشاهده شود. در این حالت تطبیق دقیق با پروفیل ورودی پره بسیار حائز اهمیت است. زیرا کوچکترین انحراف باعث کلویتاسیون می شود. تکنیک های مخصوص ماشینکاری غیر قابل چشم پوشی توصیه شده عبارتند از:

- I. سمباده زنی دقیق ورودی پره با استفاده از نمونه پروفیل (نمونه انگشتی) و نمونه هایی برای سطح مکش (نمونه مخروطی)
- II. ماشینکاری تخلیه ی الکتریکی
- III. عملیات فرزکاری NC و متعاقب آن سمباده زنی جهت حذف اثرات ماشین کاری در نواحی غیرقابل دسترس.

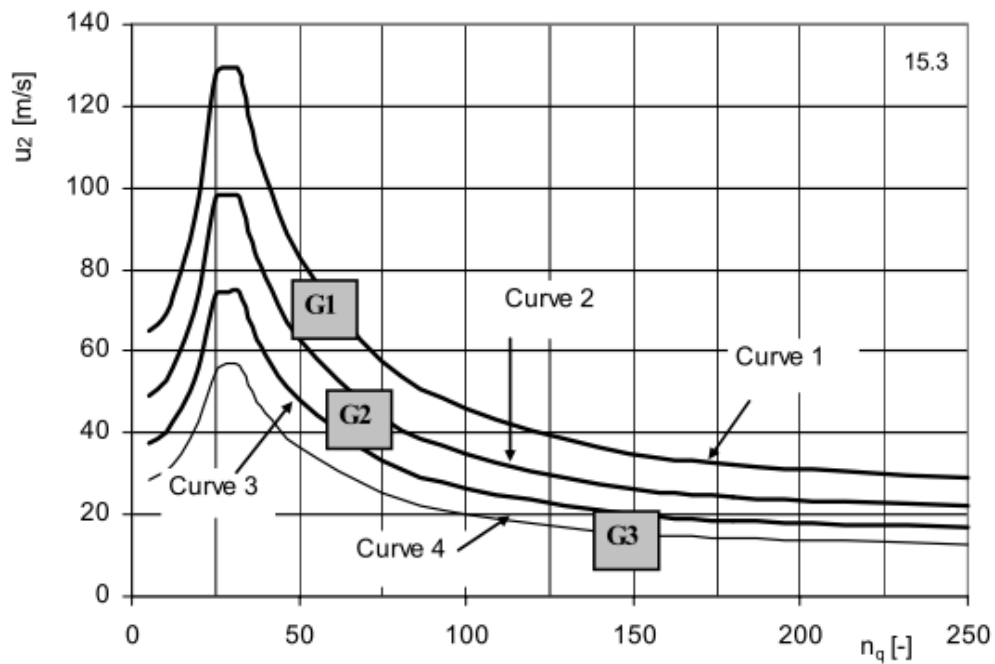
یک پره ی تولید شده باید تحت یک بررسی نهایی با نمونه قرار گیرد. در بعضی موارد بحرانی، اپراتور برای اثبات بی کاویتاسیون کار کردن پمپ برای هر پره تست جداگانه ای با  $NPSH_A$  مشخصی طلب می کند تا کاویتاسیون را در ورودی مشاهده کند. این امر نیازمند تستی جداگانه با هزینه ی بالاست.

۱۳. تلورانس پروفیل ورودی پره داده شده در جدول ۱ با توجه به انحراف ضخامت پره ی مورد نظر تعیین می شود. مقادیر داده شده در جدول تنها میانگینی به عنوان نشانه است. واضح است که هندسه ی پروفیل باید ملایم و صاف و پایا باشد. لبه ی جلویی کم ضخامت که با سطح مقعر پره ادامه می یابد دلیل جدایش جریان و کاویتاسیون است. به همین دلیل پروفیل ورودی پره در سطوح مکش و فشار باید محدب باشد تا از اثرات ناشی از برخورد جریان را کم کند.

در ادامه به مرور ۵ شکل می پردازیم. در شکل ۱ تعریف کلاس های کیفیت بر اساس هد در هر طبقه ارائه شده است. در شکل ۲ تعریف کلاس های کیفیت بر اساس سرعت  $U_2$  در هر طبقه ارائه شده است. در شکل ۳ تعریف کلاس های کیفیت بر اساس توان در هر طبقه ارائه شده است. در شکل ۴ یک نمونه ی مخروطی که برای ارزیابی هندسه ی پره در ورودی به کار می رود، نشان داده شده است. این نمونه به عنوان سطح مقطع یک مخروط و سطح مکش طراحی می شود. زاویه ی مخروط به گونه ای انتخاب شده است که نمونه، پره را در زاویه ی حدود ۹۰ درجه ملاقات کند. در شکل ۵ نمونه انگشتی نشان داده شده است. نمونه ی انگشتی برای ارزیابی پروفیل لبه ی جلویی پره به کار می رود.

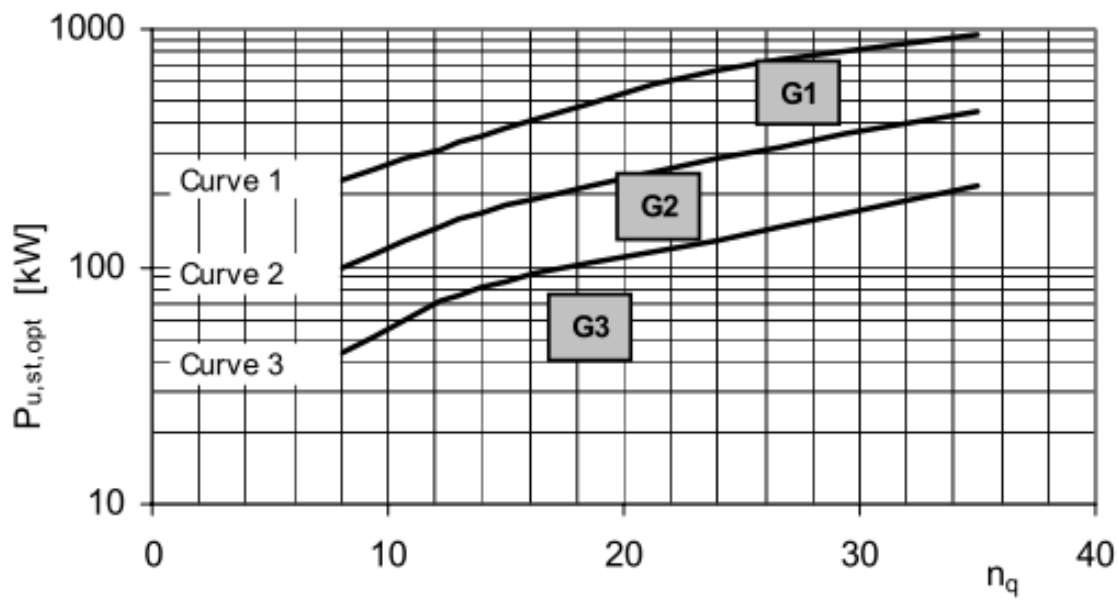


شکل ۱ - تعریف کلاس های کیفیت بر اساس هد در هر طبقه

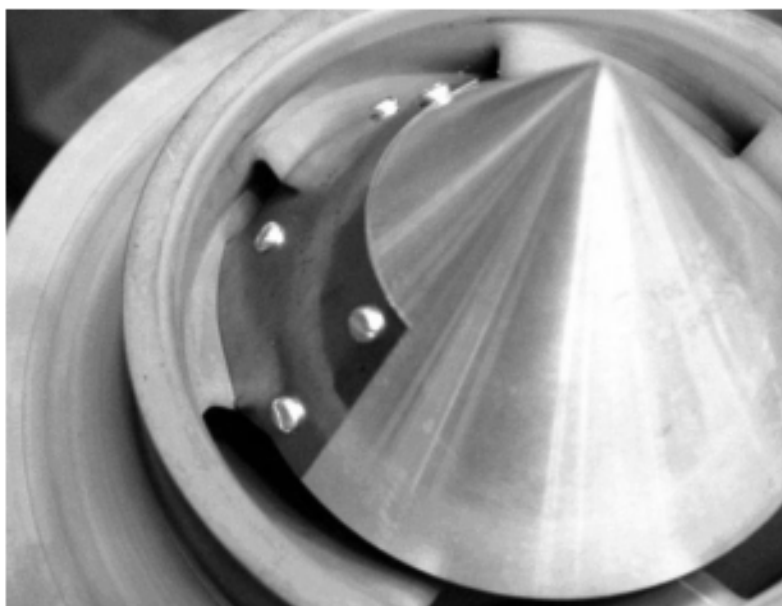


شکل ۲ - تعریف کلاس های کیفیت بر اساس  $u_2$





شکل ۳- تعریف کلاس های کیفیت بر اساس توان در هر طبقه



شکل ۴- نمونه مخروطی



شکل ۵- نمونه انگشتی

جدول ۲ حاوی نیازمندی های تکمیلی کیفیت اجزای ریخته گری می باشد که رعایت آنها برای آن یکپارچگی اجزا به خوبی بازده و ارتعاشات کافی می باشد. جهت جلوگیری از شکست ناشی از خستگی، برای پره ها یا اندیوسر هایی با وظیفه ی سنگین ضخامت پره و شعاع پخ بین پره ها و شروود کافی بسیار حائز اهمیت است.

جدول ۲

| کلاس  | G1   | G2  | G3  |
|---|--|---|---|
| شروود پره                                     | ماشین کاری   | ماشین کاری  | ریخته گری <sup>۱</sup>  |
| زبری (تست روگو- مشاهده)                       | N8   | N8 to N9  | N9 to N10   |
| فرآیند ریخته گری برای پره و دیفیوزر           | ریخته گری بسته هسته سرامیکی                          | ریخته گری با کیفیت هسته سرامیکی   | ریخته گری ماسه ای   |
| شعاع پخ                                       | بررسی آن بسیار مهم است<br>low notch effect           | بررسی شود   | به صورت بصری بررسی شود  |
| تغییرات ضخامت شروود پره و کانال های هیدرولیکی | بررسی آن بسیار مهم است<br>به تحریک ارتعاشات توجه شود | ابعادی بررسی شود  | به صورت بصری بررسی شود  |
| بررسی ریخته گری پره و دیفیوزر                 | بررسی ترک سطحی <sup>۲</sup><br>تست نفوذ رنگ          | بررسی بصری کامل (در صورت نیاز از درون بین استفاده شود).<br>سطح از باقیمانده های ماسه یا سرباره پاک شود. | بررسی بصری کامل (در صورت نیاز از درون بین استفاده شود).<br>سطح از باقیمانده های ماسه یا سرباره پاک شود. |

۱ اگر هیچ محدودیتی برای ارتعاشات در نظر گرفته نشده باشد.

۲ بررسی ترک سطحی: اگر جنس قطعه مغناطیسی است، تست مغناطیسی و اگر جنس قطعه غیر مغناطیسی باشد، تست نفوذ رنگ انجام شود.

### جمع بندی

- کلاس کیفیت مقیاسی است که با آن میزان آنالیز مهندسی و الزامات ساخت با توجه به کاربر پمپ و نیازمندی های مد نظر صاحب آن سنجیده می شود.
- ضوابط متعددی برای انتخاب کلاس کیفیت اعمال شده وجود دارد که این امکان را فراهم می سازد که به جنبه های مختلف تصمیم گیری پرداخته شود.
- سختگیرانه ترین ضابطه یا نیازمندی، کلاس کیفیت را تعیین می کند.

### مراجع و منابع

Centrifugal pumps, Johhan F.Gulich, Springer, Leipzig, 2007.