



# پمپ های سانتریفیوژ

نشریه تحقیق و توسعه  
شرکت آریا سپهر کیهان

Centrifugal pumps



# نشریه

## پمپ های سانتریفیوژ

نشریه تخصصی

سال یکم / شماره سوم / بهار ۱۳۹۱ / ۹۸ صفحه

|    |                                                 |
|----|-------------------------------------------------|
| ۲  | سرمقاله                                         |
| ۳  | نکاتی در زمینه طراحی پروانه                     |
| ۱۰ | اخبار جهان پمپ ۱                                |
| ۱۱ | موتورهای الکتریکی القایی سه فاز                 |
| ۱۴ | استاندارد NACE MR0175 / ISO 15156-1             |
| ۲۴ | مقدمه‌ای بر دینامیک سیالات محاسباتی             |
| ۲۷ | استاندارد ایزو ۵۱۹۹ (ویرایش سال ۲۰۰۲) – بخش دوم |
| ۳۷ | اخبار جهان پمپ ۲                                |
| ۳۸ | نیروها و گشتاورهای انشعابات (نازل ها) خارجی     |
| ۴۴ | انواع فرآیندهای جوشکاری                         |
| ۵۸ | لغت نامه                                        |
| ۶۱ | مباحثی در زمینه مدیریت                          |
| ۷۸ | شکست خستگی پروانه یا دیفیوزر                    |

نشانی: تهران، خیابان قائم مقام فراهانی، خیابان مشاهیر، کوچه زیبا، پلاک ۴ واحد ۶  
تلفن: ۰۲۱-۸۸۸۱۳۴۶۱-۳ فکس: ۰۲۱-۸۸۸۱۳۴۶۴  
صاحب امتیاز: شرکت آریا سپهر کیهان  
مدیر مسئول: آقای مهندس رسول پایدار نوبخت  
سردبیر: آقای مهندس عباس قلی نژاد

## سرمقاله

شکرگزار خداوند خویش هستیم که این مهم دست داد تا بتوانیم شماره سوم فصلنامه تخصصی پمپ سانتریفیوژ را به تمامی اهالی این صنعت بسیار وسیع و تاثیرگذار در رشد اقتصادی کشور، تقدیم نماییم. رشد روزافزون مخاطبان این نشریه و همچنین گستردگی موضوعات مرتبط با صنعت پمپ، ما را بر آن می‌دارد تا هرچه بیشتر، بر تلاش خود افزوده و همواره در پی وسعت‌بخشی به دامنه مطالب و افزودن بر دقت و جامعیت مطالب خود باشیم. در این شماره که تهیه آن جز با کمک تک‌تک اعضای گروه صنعتگران آریا سپهر کیهان میسر نبود، در ادامه روند بررسی استانداردها، به بررسی دو استاندارد اساسی و جامع مرتبط با صنعت پمپ و همچنین مواد کاربردی در حوزه نفت و گاز پرداخته شده است. در این شماره، سعی بر آن بوده است تا طیف وسیع‌تری از سلايق را پوشش داده و به بررسی مطالب بیشتری پرداخته شود. امید است که این شماره از نشریه پمپ سانتریفیوژ، مورد استقبال شما خوانندگان محترم قرار گرفته و همچنان با نظرات و پیشنهادات علمی خود، ما را بیش‌ازپیش دلگرم نمایید.

عباس قلی نژاد

مدیر تحقیق و توسعه

بهار ۹۱

## 📖 نکاتی در زمینه طراحی پروانه

### (برگرفته از کتاب پمپ‌های سانتریفیوژ نوشته یوهان فردریک گولیچ)

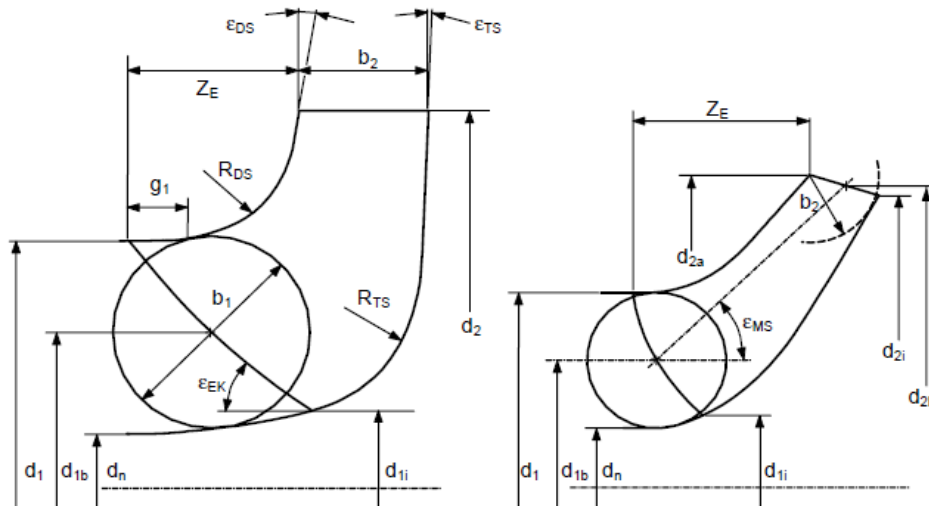
- برای طراحی یک پروانه ابتدا محاسبات به صورت یک‌بعدی صورت می‌گیرد. برای توسعه یک پروانه در این روش، محاسبه ابعاد اصلی و زوایای تیغه‌ها گام نخست می‌باشد. طراحی یک پروانه به روش گولیچ می‌تواند شامل مراحل زیر باشد:
- محاسبه ابعاد اصلی و زوایای تیغه‌ها به وسیله روش یک‌بعدی بر اساس روابط تجربی ضریب خطا و کارایی‌های هیدرولیکی (بر اساس پایگاه داده‌ها و تجربه)
  - ایجاد طراحی اولیه
  - به صورت دلخواه، استفاده از روش‌های شبه سه‌بعدی برای پیش‌بهینه‌سازی طراحی اولیه پروانه
- لازم به ذکر است از آنجایی که درگام پایانی که روش شبه سه‌بعدی می‌باشد از توزیع سرعت جهت تحلیل استفاده می‌شود و نیز از آنجایی که این توزیع سرعت با واقعیت تفاوت بسیاری دارد، گام پایانی کاملاً غیرضروری و دلخواه می‌باشد. پیش از طراحی دقیق یک پروانه، موارد زیر باید مدنظر قرار گیرند:
- محاسبات همواره بر اساس نقطه بهترین کارایی می‌باشد که به وسیله  $H_{opt}$ ,  $Q_{opt}$  در سرعت مخصوص  $n$  تعریف می‌شود. اگر نقطه عملیاتی از پیش برنامه‌ریزی شده یا دبی نامی  $Q_R$  در سیستم با نقطه بهترین کارایی یکی نشود، دبی نامی طراحی  $Q_{opt}$  باید به گونه‌ای انتخاب شود که شرایط  $0.8 < Q_R/Q_{opt} < 1.1$  را ارضا کند.
  - دبی بیشینه  $Q_{max}$  جهت کنترل خصوصیات پدیده کاویتاسیون باید تعریف شود. برای انجام این مورد، یک حالت عملیاتی شناخته شده باید برنامه‌ریزی شود.
  - شرایط مکش (NPSHa) تأثیرات بسیاری بر شرایط طراحی دارد.
  - در بسیاری از موارد، یک نمودار  $Q-H$  که در آن هد به طور پیوسته با کاهش دبی افزایش یابد، مورد نیاز است.
  - هد شات-اف<sup>۱</sup> ( $H_0$ ) معمولاً به دلیل محدودیت‌های فشار و هزینه در طراحی خط لوله محدود می‌باشد. در  $n_q < 40$  افزایش هدی تحت شرایط  $1.2 < H_0/H_{opt} < 1.25$  مورد نظر می‌باشد.
  - در پمپ‌های محوری و نیمه‌محوری  $n_q > 100$ ، هد و توان شات-اف ( $H_0, P_0$ ) باید تا حد ممکن پایین نگه داشته شوند، زیرا  $P_0$  زمانی که  $P_0 > P_{opt}$  اندازه موتور را تعیین می‌کند.
  - خصوصیات کاویتاسیون باید ۳ معیار زیر را تایید کند: (۱) پمپ باید در محدوده برنامه‌ریزی شده کار کند. (۲) سر و صدا و ارتعاشات کاویتاسیون باید محدود باشد. (۳) هیچ آسیبی از کاویتاسیون موجود نباشد.
  - جهت کاهش هزینه و اندازه پمپ، ضریب هد به آسانی نزدیک به حد بالایی انتخاب می‌شود.
  - با توجه به هزینه‌های انرژی و دلایل زیست محیطی، بیشترین کارایی ممکن باید مورد نظر باشد (لازم به ذکر است که هزینه‌های انرژی به صورت تقریبی ۲۰۰۰ تا ۵۰۰۰ دلار برای هر کیلووات می‌باشد)
  - قطعات هیدرولیکی در اثر ملزومات طراحی مکانیکی مثل: نوع پمپ، قسمت‌های طولی پمپ، قطر مورد نیاز شفت، محل قرارگیری پروانه، بالانس تراست محوری و غیره نیز تحت تأثیر قرار می‌گیرند.
  - روش‌های ساخت قطعات هیدرولیکی بر طراحی این قطعات تأثیر به سزایی دارد.

<sup>1</sup> Shut-off

## ۱. طراحی پروانه

## ۱.۱. طراحی قسمت مریدیونال

قسمتی که در راستای محور پروانه به صورت سرتاسری می‌باشد را قسمت مریدیونال می‌گویند. در شکل زیر تمامی پارامترهای طراحی برای قسمت مریدیونال را مشاهده می‌کنید:



شکل ۱- پارامترهای طراحی برای قسمت مریدیونال - سمت چپ پروانه شعاعی، سمت راست پروانه نیمه محوری

جهت طراحی قسمت مریدیونال، جزئیات مکان لبه حمله در کنار ابعاد  $(d_2, b_2, d_1, d_{1i}, d_n)$  که باید بر اساس محاسبات اولیه به‌دست آید، مورد نیاز می‌باشد. روش محاسبه امتداد محوری  $Z_E$  و شعاع انحنای شروع جلویی  $R_{DS}$  از رابطه زیر مورد محاسبه قرار می‌گیرند:

$$Z_E = (d_{2a} - d_1) \left( \frac{n_q}{n_{q,Ref}} \right)^{1.07} \quad (۱)$$

که خواهیم داشت:

$$R_{DS} = (0.6 \text{ to } 0.8) b_1 \quad (۲)$$

$$b_1 = \frac{1}{2} (d_1 - d_n) \quad (۳)$$

که در این روابط  $n_{q,Ref} = 74$  می‌باشد.

شرایط دبی ایدآل با حرکت دادن لبه حمله به سمت چشم پروانه به‌دست می‌آید. در این روش بارهای کم بر روی پره و متعاقباً تاخیر در نوسانات کم فشار ایجاد می‌شود و در نتیجه کاویتاسیون کاهش می‌یابد. لبه حمله در مسیر جریان خروجی نباید در محدوده انحنای زیاد قرار بگیرد، اما ترجیح داده می‌شود که قبل از نقطه شروع انحنای شروع جلویی قرار بگیرد. از این رو شعاع  $R_{DS}$  نباید مماس بر نقطه‌ای که به وسیله  $Z_E$  تعریف می‌شود باشد. اما قسمت کوتاه  $g_1 = (0.2 \text{ to } 0.3) * b_1$  تنها با یک افزایش کوچک در شعاع، جهت رسیدن به توزیع فشار مسطح ایجاد می‌شود. برای پمپ‌های کوچک، یا زمانی که یک امتداد محوری کوتاه در پروانه مدنظر می‌باشد، مقادیر بسیار کوچکتری برای  $Z_E$  و  $R_{DS}$  از روابط بالا مورد محاسبه قرار می‌گیرد.

زاویه  $\epsilon_{DS}$  که شکل شروع جلویی در خروجی پروانه را تعیین می‌کند، با توجه به سرعت مخصوص قابل تعیین می‌باشد. این زاویه جهت تاثیر بر پروفیل سرعت در خروجی پروانه قابل استفاده می‌باشد. برای سرعت‌های مخصوص کمتر از ۲۰، معمولاً این زاویه برابر با صفر انتخاب می‌شود. برای پروانه‌های شعاعی با سرعت‌های مخصوص بالاتر،  $\epsilon_{DS}$  بین ۱۵ تا ۲۰ درجه افزایش می‌یابد.

با دانستن پارامترهای  $R_{Ds}, d_2, b_2, d_1, g_1, \varepsilon_{Ds}, Z_E$  امکان کشیدن خط جریان خارجی که به وسیله منحنی آزاد تعریف و یا توسط خطوط صاف و کمان‌های دایروی سر هم می‌شوند، فراهم می‌شود.

زاویه  $\varepsilon_{Ts}$  که شکل شروید پستی در نزدیکی خروجی پروانه را تعیین می‌کند، می‌تواند مثبت یا منفی انتخاب شود. در سرعت‌های مخصوص کمتر از ۳۰ این زاویه صفر انتخاب می‌شود (بعضی از سازندگان این زاویه را منفی در نظر می‌گیرند). در سرعت‌های مخصوص بالا  $\varepsilon_{Ts}$  مثبت انتخاب می‌شود ( $\varepsilon_{Ts} < \varepsilon_{Ds}$ ).

خط جریان داخلی باید به شکلی باشد که سطح مقطع ( $A = 2\pi r b$ ) به صورت پیوسته در خط جریان متوسط تغییر کند. لبه حمله پره به صورت اولیه از انتخاب پارامترهای  $d_1, d_{1i}$  و  $Z_E$  و خط جریان داخلی طراحی شده به دست می‌آید. مکان لبه حمله بیشترین اثر را بر رفتار پمپ با دبی کم دارد. معیارهای زیر در چگونگی شکل‌گیری لبه حمله، مورد استفاده قرار می‌گیرد:

۱. در پمپ‌های چند طبقه با سرعت‌های مخصوص کمتر از ۲۵، زاویه  $\varepsilon_{EK}$  باید به اندازه کافی بزرگ طراحی شود تا از افت نمودار  $Q - H$  به سمت دبی صفر جلوگیری شود.

۲. برای پروانه‌هایی با ورودی محوری، زاویه  $\varepsilon_{EK}$  بین ۳۰ تا ۴۰ درجه انتخاب می‌شود.

۳. در صورتی که زاویه  $\varepsilon_{EK}$  بسیار کوچک انتخاب شود، ممکن است با مشکلاتی در زمینه کاویتاسیون در هاب و ناپایداری‌های نمودار  $Q - H$  مواجه شویم.

۴. در صورتی که زاویه  $\varepsilon_{EK}$  بسیار بزرگ انتخاب شود، می‌تواند سبب مقادیر کم  $d_{1i}$  و زوایای بسیار بزرگ پره  $\beta_{1B,i}$  در هاب شود.

همان‌طور که گفته شد، قسمت مریدیونال به طور موثری توزیع جریان در پهنای پره و در نتیجه افت‌های اغتشاشی، رفتار دبی‌های کم و پایداری نمودار  $Q - H$  را تعیین می‌کند.

معیارهایی که برای قسمت مریدیونالی باید بررسی شود:

- لبه حمله باید به خط جریان خارجی با بیشترین زاویه ممکن متصل شود تا از انسدادهای محلی در مواردی که پره‌ها پیچیده می‌باشند، جلوگیری شود.

- انحناى خط جریان‌های خارجی و داخلی و سطح مقطع های  $A = 2\pi r b$  باید در امتداد خط جریان میانگین به صورت پیوسته تغییر کند.

## ۱.۲ طراحی پره

طراحی پره جهت تعیین شکل پره در امتداد خط جریان‌های خارجی، داخلی و میانگین می‌باشد که زوایای داخلی و خارجی جهت تعیین شکل، از قسمت اول به دست آمده‌اند. یک پره، یک انحنای سه‌بعدی در راستای هر یک از محورهای چرخش را شرح می‌دهد: به عنوان مثال، در امتداد خط جریان خارجی که به وسیله قسمت مریدیونالی تعریف می‌شود. این انحنا می‌تواند به وسیله تصویرش بر روی قسمت مریدیونالی شرح داده شود. هر نقطه از این انحنا به وسیله مختصات  $r, z, \varepsilon$  در فضا تعریف می‌شود. با توجه به شکل شماره ۲ قسمت (a)، المانی از خط مرکز خارجی که بین نقاط ۵ و ۶ بر روی شعاع  $r_5$  و  $r_6$  می‌باشد را در نظر بگیرید. در قسمت مریدیونالی، این المان طولی برابر زیر دارد:

$$\Delta m = \sqrt{\Delta r^2 + \Delta z^2} \quad (4)$$

در شکل شماره ۲ قسمت‌های (b) و (e)، مکان نقاط ۵ و ۶ به وسیله شعاع و زاویه  $\Delta \varepsilon$  تعریف می‌شود. فاصله بین نقاط ۵ و ۶ از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\Delta g = \sqrt{\Delta r^2 + \Delta u^2} \quad (5)$$

طول المان خط جریان در فضا از طول المان در نمای مسطح  $\Delta g$  و امتداد آن در جهت محوری  $\Delta z$  (عمود بر نمای مسطح) به دست می‌آید:

$$\Delta L = \sqrt{\Delta g^2 + \Delta z^2} \quad (۶)$$

به وسیله معادلات ۴ و ۵، رابطه بین طول واقعی المان خط جریان  $\Delta L$  و تصویر آن  $\Delta m$  در قسمت مریدیونال و تصویر  $\Delta u$  در نمای مسطح از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\Delta L = \sqrt{\Delta g^2 + \Delta z^2} = \sqrt{\Delta r^2 + \Delta u^2 + \Delta z^2} = \sqrt{\Delta m^2 + \Delta u^2} \quad (۷)$$

فاصله  $\Delta L$ ،  $\Delta u$  و  $\Delta m$  با توجه به شکل شماره ۲ قسمت (c) یک مثلث راست گوشه را ایجاد می‌کند که دارای یک زاویه حقیقی  $\beta$  بین المان خط جریان  $\beta$  و جهت مماسی  $\Delta u$  است.

در صورتی که خط جریان به صورت گام‌به‌گام و با توجه به فرآیند گفته شده به نقشه و طرح تبدیل شود، اندازه‌ها و زوایای اصلی نسبت به جهت پیرامونی به دست می‌آیند. این فرآیند جهت طراحی مختصات طراحی در نمای مسطح از قسمت مریدیونالی تعریف شده استفاده می‌شود و یک پره توسعه‌یافته باید در این قسمت تعریف شود. در روش بالا مثلث‌های منحنی-الخط با مثلث‌های مستقیم‌الخط جابه‌جا می‌شوند. با انتخاب المان‌های کوچکتر، تقریب بهتری حاصل می‌شود.

از روش‌های متفاوت طراحی پره، روش کاپلان در قسمت زیر توضیح داده شده است (شکل ۲):

۱. بسته به پهنای پروانه، از یک تا پنج سطح چرخش اضافی به علاوه خط جریان داخلی و خارجی، در قسمت مریدیونال کشیده می‌شود. این سطوح می‌توانند به عنوان خط جریان قطعات با جریان یکسان باشند. در انتهای این قسمت، بردارهای عمود بر خطوط جریان کشیده می‌شوند. از این رو، پهنای بین دو خط جریان طوری تعیین می‌شود که یک جریان یکسان ( $\Delta Q = 2 * \pi * r * \Delta b * c_m$ ) از هر کانال عبور کند ( $c_m$  را ثابت فرض می‌کنیم).
۲. تمامی سطوح چرخش یا خطوط جریان به تعداد  $n$  المان مشابه با طول یکسان  $\Delta m$  تقسیم می‌شوند (به عنوان مثال این طول در حدود ۸ میلی‌متر در نظر گرفته می‌شود). با توجه به شکل شماره ۲ قسمت (a) نقاط  $a_1$  تا  $a_n$  و  $b_1$  تا  $b_n$  به دست می‌آیند.
۳. در توسعه پره با توجه به شکل شماره ۲ قسمت (d)،  $n$  خط مستقیم موازی با فاصله  $\Delta m$  از یکدیگر رسم شده‌اند. اندازه‌های  $L_{a,m}$ ،  $L_{b,m}$  و  $L_{c,m}$  از قسمت مریدیونالی توسعه یافته به دست می‌آیند. این ابعاد تصویر خطوط جریان را بر قسمت مریدیونالی تشکیل می‌دهند.
۴. طول خطوط جریان در جهت جانبی همچنان مجهول می‌باشد. با استفاده از چند محدودیت این پارامتر به آسانی قابل انتخاب می‌باشد. یک راه ممکن شامل تعریف قانون توسعه با توجه به شکل شماره ۳ می‌باشد. شروع با  $\beta_{z=0} = \beta_{2B}$  در نقطه A در شکل شماره ۲ قسمت (d)، طول جانبی  $\Delta u$  المان  $\Delta m$  از رابطه ۸ مورد محاسبه قرار می‌گیرد. برای هر قسمت  $j$  باید از مکان نقطه بعدی به دست آید.

$$\Delta u_j = \frac{\Delta m_j}{\tan \beta_j} \quad (۸)$$

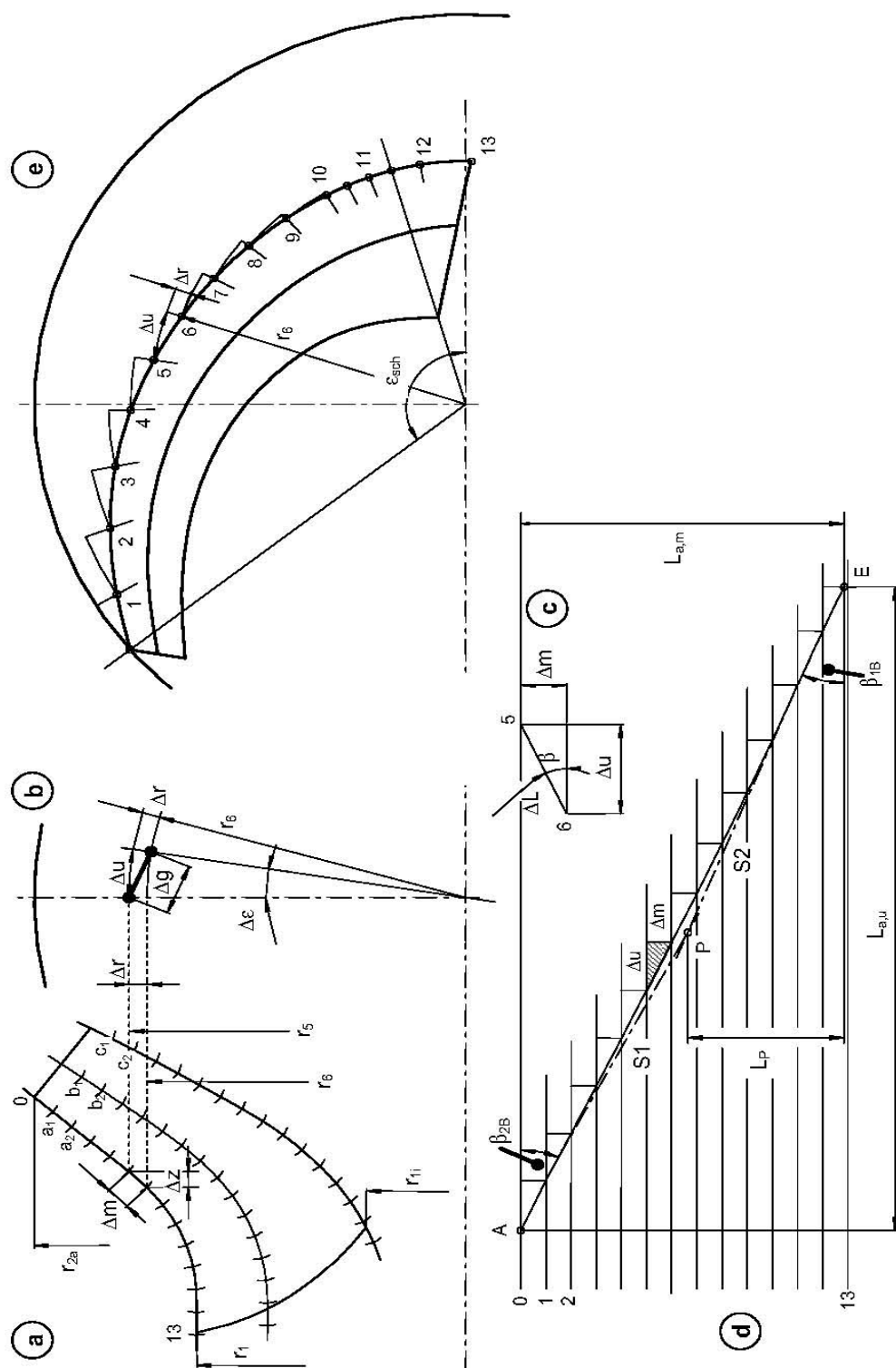
زوایا برای هر گام از قانون انتخاب‌شده، با توجه به زاویه‌ای که باید به عنوان تابع طول پره از  $\beta_{2B}$  تا  $\beta_{1B}$  توسعه یابد، به دست می‌آید. به طور کلی این رابطه را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$\beta_j = \beta_{2B} - y(x)(\beta_{2B} - \beta_{1B}) \quad (۹)$$

هر تابع تصادفی که شرایط  $y(0) = 0$  و  $y(1) = 1$  را ارضا کند، می‌تواند جایگزین  $y(x)$  شود. اگر توسعه زاویه‌ای خطی از  $\beta_{1B}$  تا  $\beta_{2B}$  مورد نظر باشد، تابع  $y(x)$  به صورت زیر مورد فرض قرار خواهد گرفت:

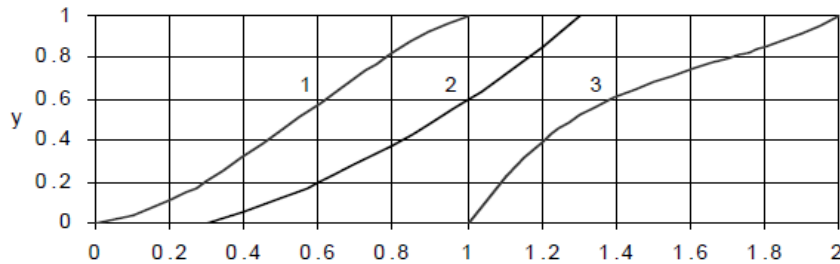
$$y(x) = \frac{1}{L_{a,m}} \sum_0^j \Delta m_j \quad (۱۰)$$

این روش همچنین می‌تواند در حالی مورد استفاده قرار بگیرد که زاویه خروجی در طول  $n_a$  قسمت ثابت باشد ( $\beta_j = \beta_{2B}$ ) برای  $n_a < j$  و یا زاویه ورودی در طول  $n_e$  قسمت ثابت باشد ( $\beta_j = \beta_{1B}$ ) برای  $j > n - n_e$ . با این وجود، رابطه شماره ۸۱ تنها برای قسمت میانی پره که زاویه از  $\beta_{2B}$  تا  $\beta_{1B}$  تغییر می‌کند، بیان شده است.



شکل ۲- طراحی پره با توجه به روش کاپلان





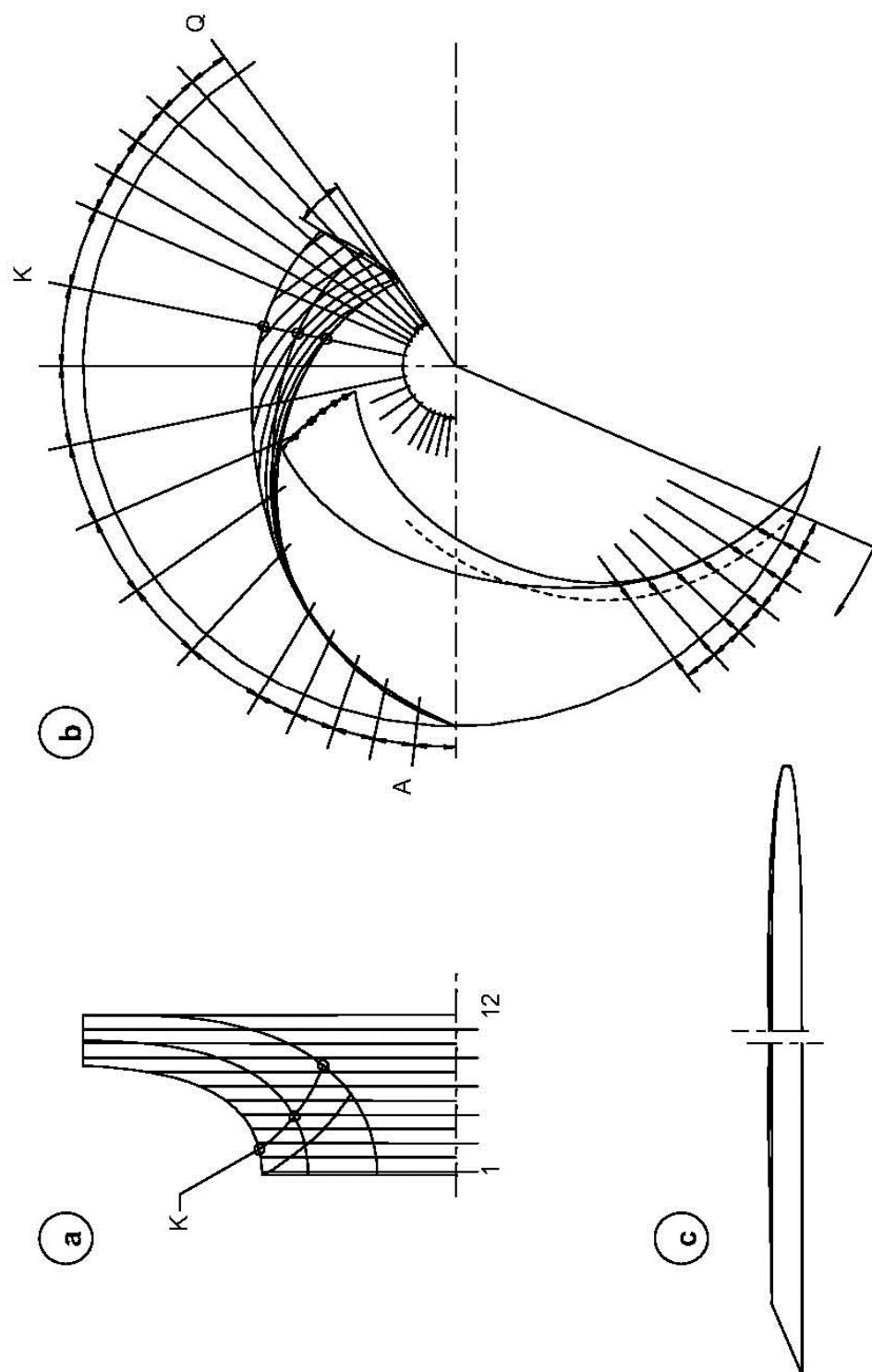
شکل ۳- انتخاب‌های ممکن در توسعه پره

۵. یک راه دیگر تعیین توسعه پره به صورت زیر می‌باشد: خط  $S_1$  از نقطه A با زاویه  $\beta_{2B}$  رسم می‌شود (شکل شماره ۲ قسمت (d)). نقطه E در فاصله  $L_{a,m}$  طوری انتخاب می‌شود که خط  $S_2$  که با زاویه  $\beta_{1B}$  شروع شده با خط  $S_1$  در نقطه P تقاطع داشته باشد. نسبت  $L_p/L_{a,m}$  بر روی طول پره و مقاطع عرض کانال تاثیر دارد. این نسبت باید طوری انتخاب شود که فواصل دلخواه پره  $a_1$  و  $a_2$  سبب ایجاد بارهای مجاز پره با توجه به معیارهای ذکر شده شود. سپس یک منحنی هموار، در هندسه تعریف شده به وسیله نقاط A و E و خطوط  $S_1$  و  $S_2$  جای می‌گیرد. این منحنی، توسعه پره انتخاب شده را شکل می‌دهد.
۶. هندسه پره باید در یک طرح و نقشه مسطح ارائه شود. نقاط ۱ تا ۱۳ در توسعه پره، مثلث‌هایی را با اضلاع  $\Delta u$  و  $\Delta m$  تعریف می‌کنند. این نقاط در شعاع  $r_1$  تا  $r_{13}$  قرار دارند. با شروع در شعاع خارجی، نقاط به شعاع‌های  $r_1$  و  $r_2$  و غیره با  $\Delta u$  و  $\Delta r$  انتقال می‌یابند (به شکل شماره ۲ قسمت (e) توجه فرمایید). این امر منتهی به نقاط ۱، ۲، ۳ و غیره در نمای مسطح می‌شود. اتصال این نقاط به یکدیگر خط جریان تصویر شده در نمای مسطح را تولید می‌کند.
۷. زاویه پیچش  $\varepsilon_{sch}$  ایجاد شده توسط پره در نمای مسطح، به زوایای پره  $\beta_{1B}$  و  $\beta_{2B}$ ، نسبت شعاع‌های  $d_1/d_2$  (از این‌رو سرعت مخصوص) و طول خط جریان در قسمت مریدیونالی بستگی دارد. زاویه پیچش پروانه‌های شعاعی معمولاً در محدوده جدول زیر قرار دارند:

جدول ۱- میزان زاویه پیچش بر حسب تعداد پره در پروانه‌های شعاعی

| تعداد پره ها | زاویه $\varepsilon_{sch}$ |
|--------------|---------------------------|
| ۵            | ۱۳۰ تا ۱۶۰ درجه           |
| ۶            | ۱۲۰ تا ۱۴۰ درجه           |
| ۷            | ۱۰۰ تا ۱۳۰ درجه           |

۸. گام‌های ۴ تا ۶ برای تمامی سطوح چرخش (خطوط جریان) انجام می‌شود.
۹. برای ایجاد نقاط کنترل کافی برای فرآیند تولید، قسمت شعاعی (شکل شماره ۴) در نمای مسطح کشیده شده و محل تقاطع با سطوح چرخش یا خطوط جریان به قسمت مریدیونالی انتقال می‌یابد. قسمت‌های شعاعی باید منحنی‌های همواری را در قسمت مریدیونالی، جهت جلوگیری از ایجاد سطوح مجعد در پره، ایجاد کنند. این منحنی‌ها همچنین می‌توانند خطوط صاف باشند.



شکل ۴- ارائه مختصات پروانه به وسیله خطوط صفحات ۰ تا ۱۲ و شعاع های A تا Q

۱۰. جهت ساخت می توان از خطوط کانتور نیز استفاده نمود. قسمت های هم فاصله ای در قسمت مریدیونالی وجود دارند که بر محور عمود می باشند (از شماره ۰ تا ۱۲). تقاطع این خطوط با خطوط جریان و قسمت های شعاعی به نمای مسطح انتقال داده شده و با یکدیگر متصل شده تا خطوط صفحات را تشکیل دهند. این خطوط منحنی های همواری را در نمای مسطح جهت جلوگیری از تولید پره های با سطوح موجدار ارائه می دهند.

۱۱. سطح پره طراحی شده در این روش شامل کمبر، سطوح مکش یا فشار می‌شود که بستگی به زوایای مورد استفاده در توسعه پروفیل پره دارد. پروفیل پره انتخاب شده می‌تواند در نقشه توسعه به عنوان یک قسمت عمود بر سطح پره کشیده شود تا تأثیرات آن بر جریان ورودی بهتر مشاهده شود.

۱۲. پروفیل پره به صورت توسعه‌یافته بر روی خط کمبر ارائه می‌شود (جایی که ضخامت آن به صورت تابعی از طول پره می‌باشد).

نوشته: عباس قلی‌نژاد

## اخبار جهان پمپ ۱

### گراندفوس بهترین در زمینه بهره‌وری

با افزایش ۲۳ درصدی بهره‌وری در دو سال، گروه گراندفوس جایزه بهره‌وری صنایع دانمارک را دریافت نمود. مسئولان شرکت گراندفوس، استفاده از تمامی کارمندان در فرآیندهای مربوطه را دلیل موفقیت خود در ایجاد بهره‌وری روبه رشد می‌دانند. از دید نیلز مولر جانسن معاونت شرکت گراندفوس، رابطه بسیار روشنی بین بهره‌وری و سطح رضایت شغلی کارکنان شرکت وجود دارد. از دید وی این کارکنان می‌باشند که نتایج را ساخته و شتاب فرآیند بهره‌وری را افزایش می‌دهند. جایزه بهره‌وری صنایع دانمارک طی کنفرانسی در ۸ می ۲۰۱۲ در شهر کلدینگ به کمپانی گراندفوس اهدا شد.



منبع خبر: <http://impeller.net>

## موتورهای الکتریکی القایی سه فاز

### ۱. مقدمه

اگر کاربرد مناسب و سهولت استفاده به عنوان معیارهای امتیازدهی به اختراعات بشر در نظر گرفته شوند اختراع موتورهای القایی باید با اختراع پیچ و روزه دارای یک امتیاز باشد. موتورهای الکتریکی به طور کلی و موتورهای القایی<sup>۱</sup> نه تنها همانند مبدل‌های انرژی الکترومکانیکی بسیار هوشمندانه هستند بلکه به همان میزان پراهمیت نیز می‌باشند زیرا تقریباً یک سوم انرژی الکتریکی تولید شده در نیروگاه‌ها توسط موتورهای القایی مصرف می‌شود. در صنعت مواقعی که به توان نسبتاً بزرگی نیاز باشد از موتورهای القایی سه فاز استفاده می‌گردد. دلایل اصلی محبوبیت موتورهای القایی سه فاز قابلیت اطمینان<sup>۲</sup> بالا (تعمیرات و نگهداری آسان) ارزان بودن و سهولت کاربرد آنهاست.

### ۲. ساختمان موتورهای القایی

موتورهای القایی سه فاز از دو قسمت اساسی تشکیل شده‌اند:

الف- قسمت ثابت (استاتور)<sup>۳</sup>

ب- قسمت دوار (رتور)<sup>۴</sup>

#### ۲.۱. استاتور موتورهای القایی سه فاز

استاتور این گونه ماشین‌ها دارای شیارهایی<sup>۵</sup> می‌باشد که درون آن‌ها سیم‌پیچ سه‌فازی تعبیه شده و با توجه به نحوه سیم‌پیچی استاتور در موتورهای القایی تعداد قطب‌ها تعیین می‌گردد. موتورهای القایی سه فاز می‌توانند ۲ قطبی، ۴ قطبی، ۶ قطبی و ... باشند به عنوان مثال می‌توان گفت که در موتور ۴ قطبی دو قطب مثبت (شمال) و دو قطب منفی (جنوب) وجود دارد.

#### ۲.۲. رتور موتورهای القایی سه فاز

رتورهای متداول در این گونه ماشین‌ها به قرار زیر است:

الف- رتور قفس سنجابی ساده<sup>۶</sup>

ب- رتور قفس سنجابی مضاعف<sup>۷</sup>

ج- رتور سیم‌پیچی<sup>۸</sup> شده

##### ۲.۲.۱. رتور قفس سنجابی ساده

متداول‌ترین رتور برای موتورهای القایی سه فاز رتور قفس سنجابی ساده می‌باشد. علت نام‌گذاری این رتور شباهت زیاد به قفس سنجاب می‌باشد این گونه رتورها از یکسری میله‌های مسی تشکیل شده‌اند که در شیارهای رتور جاسازی می‌شوند و همان‌طور که از شکل (۱) پیداست بدنه رتور (قسمت فلزی) که به صورت موزق ساخته می‌شود، در این شکل نشان داده نشده است.

<sup>1</sup> Induction motor

<sup>2</sup> Reliability

<sup>3</sup> Stator

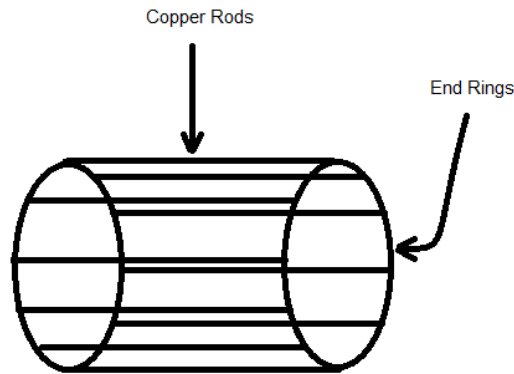
<sup>4</sup> Rotor

<sup>5</sup> Slots

<sup>6</sup> Squirrel Cage

<sup>7</sup> Double squirrel Cage

<sup>8</sup> Wound Rotor



شکل ۱. طرح‌واره‌ی ساده یک روتور قفس سنجابی که در دو انتهای میله‌ها توسط حلقه‌های انتهایی اتصال کوتاه شده‌اند

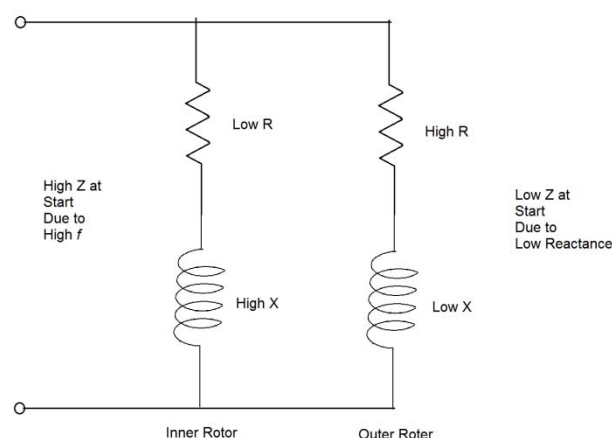
### ۲.۲.۲. رتور قفس سنجابی مضاعف

در برخی از موتورهای القایی سه فاز رتورهایی از نوع قفس سنجابی مضاعف وجود دارد و این‌گونه رتورها از دو سری میله تشکیل شده‌اند که به شرح ذیل می‌باشند:

- الف- سری اول میله‌ها از نوع برنج بوده و در نزدیک سطح رتور تعبیه می‌شوند و به میله‌های خارجی<sup>۱</sup> موسومند.
- ب- سری دوم میله‌ها از جنس مس بوده و در زیر سری اول و در داخل شیارهای رتور نصب می‌گردند و به میله‌های داخلی<sup>۲</sup> موسومند.

باید خاطر نشان ساخت که:

- ۱- مقاومت الکتریکی میله‌های برنجی یا خارجی (سری اول) از مقاومت میله‌های مسی (سری دوم) بیشتر است. (شکل ۲)
- ۲- چون میله‌های مسی یا میله‌های داخلی (سری دوم) به هم نزدیک‌ترند لذا راکتانس ناشی آن‌ها نسبت به میله‌های برنجی (میله‌های خارجی) بیشتر خواهد بود. رتورهای قفس سنجابی مضاعف مشخصه موتور را بهبود می‌بخشند. برای درک بهتر این موضوع به مطالب زیر توجه نمایید. در مقالات آینده در این خصوص بیشتر بحث خواهد شد.



شکل ۲. مدار یک رتور قفس سنجابی مضاعف

الف- فرکانس جریان رتور در لحظه راه‌اندازی زیاد است (معادل فرکانس منبع تغذیه موتور) هنگامی که سرعت موتور زیاد شد فرکانس جریان رتور هم کم می‌شود (نزدیک به صفر).

<sup>۱</sup> Outer Rods

<sup>۲</sup> Inner Rods

ب- در راه اندازی، میله های خارجی جریان بیشتری می کشند زیرا امپدانس کل آن ها کمتر است و چون مقاومت (R) در میله های خارجی از راکتانس (X) بیشتر است لذا ضریب توان مدار بالا است و ترکیبی از جریان زیاد و ضریب توان بالا گشتاور نسبتاً خوبی را ایجاد می کند.

ج- در سرعت های بالا تمامی جریان از میله های داخلی عبور می کند و در فرکانس های کم از راکتانس این میله ها، می توان صرف نظر کرد و مشخصه خوبی در سرعت های بالا پدیدار می شود.

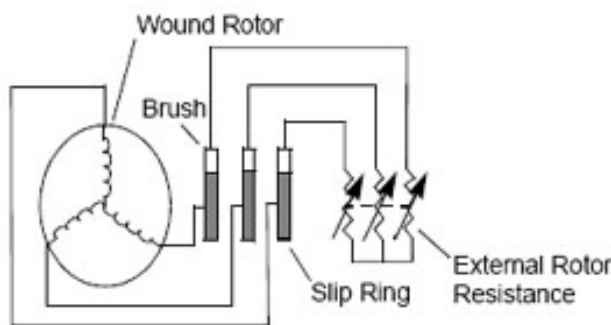
### ۲.۲.۳. رتورهای سیم پیچی شده

در این گونه رتورها، در شیارهای رتور سیم پیچ تعبیه شده است و می توان در این گونه رتورها مقاومت خارجی را از طریق حلقه های لغزان به سیم پیچ های رتور متصل ساخت. به این گونه مقاومت های خارجی گاهی رتوستای حلقه های لغزان نیز گفته می شود. در این گونه اتصالات به راحتی می توان مقاومت رتوستا را تغییر داد و مشخصه جالبی در لحظات راه اندازی و بهره برداری از ماشین بدست آورد. شکل (۳) طرحواره ساده ای این گونه رتورها را نشان می دهد. باید در این گونه رتورها نکات زیر را مد نظر قرار داد:

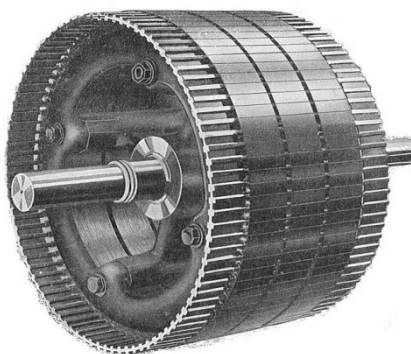
الف- سیم پیچ این رتورها باید سه فاز باشد.

ب- تعداد قطب های حاصله از این سیم پیچ باید با تعداد قطب های به دست آمده در استاتور مساوی باشد.

ج- تعداد شیارهای رتور و استاتور باید یکسان باشد.



شکل ۳. طرحواره ساده یک روتور سیم پیچی شده در موتور القایی سه فاز



شکل ۴. طرحواره یک رتور با قفس سنجابی در موتور القایی سه فاز

### منابع:

- [۱]: آستین هوفس، مبانی موتورهای الکتریکی و انواع آن ها، ویرایش سوم، انتشارات الزیویر، سال ۱۹۹۵.
- [۲]: پریسلز امانوئل، ترجمه دکتر مهرداد عابدی، مبانی ماشین های الکتریکی، انتشارات جهاد دانشگاهی صنعتی امیر کبیر، سال ۱۳۸۰.

نوشته: هوشمند اسماعیل زاده

## استاندارد NACE MR0175/ ISO 15156-1

### قسمت اول

استاندارد NACE MR 0175 استاندارد در زمینه مواد مورد استفاده در محیط‌های حاوی سولفید هیدروژن می‌باشد. از آن-جایی که عمر مفید و ضریب ایمنی پمپ‌های مورد استفاده در تجهیزات نفتی از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است، این استاندارد رابطه بسیار تنگاتنگی با صنعت پمپ‌سازی دارد. با توجه به حجم بالای این استاندارد، این استاندارد در چند قسمت، تقدیم خوانندگان محترم نشریه پمپ سانتریفیوژ می‌گردد. امید است که آشنایی هرچه بیشتر با این استاندارد، سبب ارتقاء هرچه بیشتر سطح کیفی محصولات داخلی گردد.

Petroleum and natural gas industries-  
Materials for use in H<sub>2</sub>S - containing  
environments in oil and gas  
Production - Part 1 : General principles  
for selection of cracking – resistant  
materials

### صنایع نفت و گاز

مواد مورد استفاده در محیط‌های حاوی سولفید هیدروژن در تولید نفت و گاز طبیعی

### قسمت اول – اصول کلی انتخاب مواد مقاوم در برابر ایجاد ترک

#### ۱. هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد تشریح اصول کلی و ارائه الزامات و توصیه‌هایی مبنی بر انتخاب مواد فلزی مورد استفاده در ساخت تجهیزات تولید نفت و گاز، تأسیسات شیرین‌سازی گاز طبیعی در محیط‌های حاوی سولفید هیدروژن می‌باشد به طوری که خرابی چنین تجهیزاتی می‌تواند سلامتی و ایمنی عموم مردم و کارکنان یا محیط زیست را به مخاطره بیندازد. این استاندارد می‌تواند به عنوان راهنمایی در زمینه جلوگیری از آسیب‌های ناشی از خوردگی تجهیزات نیز به کار برده شود. این استاندارد می‌تواند به عنوان مکمل الزامات مواد ارائه شده در دستورالعمل‌های طراحی، استانداردها یا مقررات مربوطه مناسب باشد، اما جایگزین آن‌ها نیست. این استاندارد کلیه سازوکارهای ایجاد ترک که می‌توانند توسط سولفید هیدروژن ایجاد شوند را بیان می‌کند. این موارد عبارتند از: ترک تنش سولفیدی، ترک ناشی از خوردگی تنش، ترک هیدروژنی، ترک پله‌ای، ترک هیدروژنی در راستای تنش، ترک منطقه نرم و ترک تنش هیدروژنی گالوانیک.

در جدول شماره ۱ فهرست جامعی از تجهیزاتی که در این استاندارد به کار برده می‌شوند از جمله استثنای مجاز آورده شده است. این قسمت از استاندارد در خصوص صلاحیت کیفی و انتخاب مواد، برای تجهیزات طراحی و ساخته شده با استفاده از معیارهای طراحی متداول کاربرد دارد. این قسمت از استاندارد لزوماً در خصوص تجهیزات مورد استفاده در فرایندها و تجهیزات پالایش یا پایین دستی کاربرد ندارد.

یادآوری: مواد فلزی انتخاب شده یا تأیید شده توسط این استاندارد نسبت به ایجاد ترک در محیط‌های حاوی سولفید هیدروژن در تولید نفت و گاز مقاوم می‌باشند اما لزوماً تحت کلیه شرایط کاری از ایمنی لازم برخوردار نمی‌باشند.

جدول شماره ۱

| این قسمت از استاندارد برای مواد مورد استفاده در تجهیزات زیر قابل استفاده می‌باشد                                                               | استثنای مجاز                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| تجهیزات حفاری ساختمانی و عملیاتی حفر چاه                                                                                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>تجهیزاتی که فقط در معرض گل حفاری یا ترکیبات تحت کنترل قرار دارند<sup>۱</sup></li> <li>مته‌های حفاری</li> <li>تیغه‌های قیچی<sup>۲</sup> مانند مخصوص بستن فوران‌گیرها</li> <li>سیستم‌های بالابر در حفاری</li> <li>پیچ‌ها</li> <li>کابل‌ها و تجهیزات وابسته به آن<sup>۳</sup></li> <li>غلاف‌های سطحی و میانی</li> </ul> |
| چاه‌ها - شامل تجهیزات زیر سطحی، تجهیزات حمل گاز، دهانه چاه‌ها و تجهیزات تعبیه شده در آن به منظور کنترل تولید سیال و یا تزریق (چند راه استخراج) | <ul style="list-style-type: none"> <li>پمپ‌های مکنده و لوله‌های مکش<sup>۴</sup></li> <li>پمپ‌های الکتریکی شناور</li> <li>سایر تجهیزات بالابر</li> <li>قطعات ورق</li> </ul>                                                                                                                                                                                  |
| خطوط جریان، خطوط جمع آوری، تأسیسات و امکانات فرآیند                                                                                            | تجهیزات و امکانات نگهداری و حمل نفت خام که در معرض فشار نسبی کمتر از ۴/۳ بار (۶۵ psi) قرار دارند                                                                                                                                                                                                                                                            |
| تجهیزات حمل آب‌ترش                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| تأسیسات پالایش گاز طبیعی                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| خطوط لوله ویژه انتقال مایعات، گاز و سیالات چند فازی                                                                                            | خطوط حمل گاز، به منظور مصارف خانگی                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |

## ۲. مراجع الزامی

مدارک الزامی زیر حاوی مقرراتی است که در متن این استاندارد به آن‌ها ارجاع داده شده است. بدین ترتیب آن مقررات جزئی از این استاندارد محسوب می‌شود. در مورد مراجع دارای تاریخ چاپ و یا تجدید نظر، اصلاحیه‌ها و تجدید نظرهای بعدی این مدارک مورد نظر نمی‌باشد. با این وجود بهتر است کاربران دینفع این استاندارد، امکان استفاده از آخرین اصلاحیه‌ها و تجدید نظرهای مدارک الزامی زیر را مورد بررسی قرار دهند. در مورد مراجع بدون تاریخ چاپ و یا تجدید نظر، آخرین چاپ و یا تجدید نظر آن مدارک الزامی ارجاع داده شده مورد نظر است. استفاده از مراجع زیر جهت به کارگیری این استاندارد الزامی است:

2-1- ISO 15156-2, Petroleum and natural gas industries – Materials for use in (H2S)

- Containing environments in oil and gas production – part 2: Cracking- resistant carbon and low alloy steels

2-2- ISO 15156-3, Petroleum and natural gas industries – Materials for use in (H2S)

<sup>۱</sup> در موارد و موقعیت‌هایی که نیاز به استحکام بالایی باشد تجهیزات حفاری ممکن است مطابق با الزامات این استاندارد طراحی و ساخته نشوند، در چنین حالتی مبنای اصلی بر جلوگیری از ترک تنش سولفیدی، کنترل محیط حفاری و عملیات حفر چاه می‌باشد. بدین معنا که متناسب با افزایش تنش‌های اعمال شده، سختی مواد به کار گرفته شده در ساخت تجهیزات افزایش یافته و در این حالت کنترل سیال حفاری از اهمیت فزاینده‌ای برخوردار است. در این شرایط حفاری می‌بایست با کنترل هیدرو استاتیک گل سر حفاری و دانسیته آن جهت به حداقل رساندن تشکیل کلوخ در سیال و با استفاده از یک یا چند فوره از دستورالعمل‌های زیر تحت کنترل قرار گیرد.

- ثابت نگه داشتن pH در حد ۱۰ یا بالاتر، به منظور خنثی‌سازی اثرات سولفید هیدروژن در محصولات حفاری
- استفاده از مواد شیمیایی جاذب سولفید
- استفاده از یک گل حفاری با پایه نفتی

<sup>۲</sup> فولادهای با استحکام بالا که در ساخت تیغه‌های قیچی مانند فوران‌گیرها استفاده شده است، در برابر بروز ترک تنش سولفیدی، بسیار ضعیف و حساس می‌باشند.

<sup>۳</sup> روان‌کننده‌های خطوط کابل و ابزار مرتبط و وابسته به آن نیز جزو موارد استثنا می‌باشند.

<sup>۴</sup> در مورد پمپ مکنده و لوله مکش، استاندارد مرجع NACEMR 0176 است.



- Containing environments in oil and gas production – part 3: Cracking- resistant CRAS  
(corrosion-resistant alloys) and other alloys

### ۳. تعاریف و اصطلاحات

در این استاندارد اصطلاحات و یا واژه‌ها با تعاریف زیر به کار می‌روند:

#### ۳.۱. فوران‌گیر(شیر مانع فوران BOP)<sup>۱</sup>

وسیله‌ای است مکانیکی و تحت فشار که به منظور کنترل سیالات چاه و گل حفاری در هنگام عملیات مورد استفاده قرار می‌گیرد.

#### ۳.۲. لحیم کردن سخت<sup>۲</sup>

اتصال فلزات به یکدیگر توسط ریختن یک لایه نازک (به ضخامت موئین) از یک فلز پرکننده غیرآهنی با نقطه ذوب پایین در فضای بین آن‌ها است.

#### ۳.۳. فولاد کربنی

آلیاژی است شامل آهن، حداکثر ۲ درصد کربن، حد اکثر ۱.۶۵ درصد منگنز و بعلاوه مقادیر جزئی باقی‌مانده‌ای از سایر عناصر به استثنای عناصری که تعمداً به منظور اکسیدزدائی در مقادیر مشخص به فولاد اضافه می‌شوند (معمولاً سیلیسیم و یا آلومینیوم).

یادآوری: فولادهای کربنی مورد استفاده در صنایع نفت معمولاً حاوی کمتر از ۸ درصد کربن می‌باشند.

#### ۳.۴. چند راهی استخراج<sup>۳</sup>

تجهیزاتی که به منظور کنترل سیال تولید شده و یا تزریق شده، در دهانه چاه نصب و تعبیه می‌گردد.

#### ۳.۵. کار سرد

تغییر شکل پلاستیکی فلز تحت شرایطی از دما و نرخ کرنش فلز که باعث سختی کرنشی می‌شود و معمولاً (نه ضرورتاً) در دمای محیط انجام می‌گیرد.

#### ۳.۶. آلیاژ مقاوم در برابر خوردگی<sup>۴</sup>

آلیاژهایی که در محیط‌های نفتی خورنده برای فولادهای کربنی دارای مقاومت مطلوبی از نظر خوردگی عمومی و موضعی می‌باشند.

#### ۳.۷. فریت

فازی در آلیاژهای پایه آهن با ساختار بلوری مکعبی مرکزدار (BCC) است.

#### ۳.۸. فولاد فریتی

فولادی است که ریز ساختار آن در دمای محیط عمدتاً دارای فاز فریت می‌باشد.

#### ۳.۹. سختی

مقاومت یک فلز در برابر تغییر شکل پلاستیک که معمولاً با نشانه‌گذاری در ابعاد، اندازه‌گیری می‌شود.

#### ۳.۱۰. ناحیه متأثر از حرارت<sup>۵</sup>

آن قسمت از فلز پایه که هنگام عملیات لحیم‌کاری، برش‌کاری، و یا جوشکاری ذوب نمی‌شود، اما در اثر حرارت ناشی از این عملیات، ریز ساختار و خواص آن تغییر می‌کند.

<sup>1</sup> Blowout preventer ( BOP)

<sup>2</sup> Braze , verb

<sup>3</sup> Christmas tree

<sup>4</sup> Corrosion-resistant alloy (CRA )

<sup>5</sup> Heat-affected zone (HAZ)

## ۳.۱۱. عملیات حرارتی

گرم و سپس سرد کردن یک فلز یا یک آلیاژ جامد به منظور ایجاد خواص مطلوب مورد نظر است. یادآوری: حرارت دادن منحصراً به منظور تغییر شکل (کار گرم)، عملیات حرارتی در نظر گرفته نمی‌شود.

۳.۱۲. ترک هیدروژنی<sup>۱</sup>

نوعی ترک سطحی است که در فولادهای کربنی و کم‌آلیاژ در زمانی که هیدروژن اتمی در فولاد نفوذ نموده و با هم ترکیب شده و در نقاط محبوس تشکیل مولکول گازی هیدروژن می‌دهد، اتفاق می‌افتد. یادآوری: ایجاد ترک، ناشی از فشار زیاد هیدروژن گازی در نقاط محبوس می‌باشد. برای تشکیل ترک‌های هیدروژنی نیازی به اعمال تنش‌های خارجی نمی‌باشد. مناطق محبوسی که منجر به ایجاد ترک هیدروژنی می‌شوند عموماً در فولادهایی با درجات خلوص بالا که دارای انبوهی از آخال‌های سطحی و یا مناطقی با ریز ساختار غیر همسان (برای مثال به صورت نواری) یافت می‌شوند که توسط جدایش عناصر آلیاژ و ناخالصی‌ها در فولاد تولید شده‌اند. این نوع ترک هیدروژنی به جوشکاری مربوط نمی‌شود.

۳.۱۳. ترک تنشی هیدروژنی<sup>۲</sup>

ترک ناشی از حضور توأم هیدروژن در فلز و تنش کششی (به صورت تنش اعمالی یا تنش باقی‌مانده در فلز) می‌باشد. یادآوری: ترک تنشی هیدروژنی به عنوان ترک‌های ایجاد شده در فلزاتی که نسبت به ترک تنشی سولفیدی حساس نمی‌باشند توصیف می‌شود اما هنگامی که به عنوان کاتد در یک اتصال گالوانیک با فلز دیگری که به صورت آند به شدت خورده می‌شود متصل شود، می‌تواند شکننده یا ترد شود. واژه ترک تنشی هیدروژنی گالوانیکی نیز برای این فرآیند مورد استفاده قرار می‌گیرد.

## ۳.۱۴. فولاد کم‌آلیاژ

فولادی است با درصد عناصر آلیاژی کمتر از ۵ درصد اما بیشتر از آنچه در مورد فولاد کربنی تعیین شده است.

## ۳.۱۵. ریز ساختار

ساختار داخلی یک فلز که در بررسی‌های متالوگرافی نمونه‌های آماده شده، نمایان می‌شود.

## ۳.۱۶. فشار جزئی

فشار حاصل از وجود یک جزء از گازهای تشکیل‌دهنده یک مخلوط گازی است، در صورتی که آن جزء به تنهایی دمایی یکسان و حجمی برابر حجم اشغال‌شده توسط کل مخلوط را دارا باشد. یادآوری: برای مخلوطی از گازهای ایده‌آل، فشار جزئی هر جزء برابر است با فشار کل مخلوط گازی ضربدر کسر مولی آن گاز در مخلوط (کسر مولی نیز برابر است با نسبت حجم آن جزء به حجم کل مخلوط).

## ۳.۱۷. تنش باقی‌مانده

تنش موجود در یک قطعه صرف نظر از نیروهای خارجی و یا گرادیان‌های حرارتی است.

۳.۱۸. ترک خوردگی در نواحی نرم<sup>۳</sup>

نوعی ترک تنشی سولفیدی است که در فولاد دارای یک ناحیه نرم موضعی<sup>۴</sup> با استحکام تسلیم پایین رخ می‌دهد. یادآوری: تحت بارهای اعمال شده به سبب شرایط کاری و تجمع کرنش‌های پلاستیکی در مواضع نرم، استحکام این نواحی ممکن است کاهش یافته و بنابر این حساسیت به ایجاد ترک از نوع ترک تنشی سولفیدی در یک ماده مقاوم به ترک تنشی سولفیدی نیز افزایش یابد. بیشتر نواحی نرم در نقاط جوش در فولادهای کربنی مشاهده شده است.

## ۳.۱۹. عملیات در شرایط ترش

<sup>۱</sup> hydrogen-induced cracking (HIC)

<sup>۲</sup> Hydrogen stress cracking (HSC)

<sup>۳</sup> Soft zone cracking (SZC)

<sup>۴</sup> Soft zone

قرار گرفتن در محیط‌های نفتی حاوی سولفید هیدروژن، که بتواند باعث ایجاد ترک توسط سازوکارهای شرح داده شده در این استاندارد شود را گویند.

### ۳.۲۰ ترک پله‌ای<sup>۱</sup>

ترک ایجاد شده در فولاد در اثر پیشرفت ترک‌های هیدروژنی در مقاطع نزدیک و در تماس با آن است. یادآوری: این واژه ظاهر ترک را توصیف می‌نماید. به هم پیوستن ترک‌های هیدروژنی برای ایجاد ترک پله‌ای به کرنش موضعی میان ترک‌ها و تردی فولاد مجاور ناشی از هیدروژن حل شده، بستگی دارد. عموماً ترک هیدروژنی و ترک پله‌ای در صفحات فولادی با استحکام کم که در تولید لوله‌ها و مخازن کاربرد دارند پدیدار می‌شود.

### ۳.۲۱ ترک خوردن در اثر خوردگی تنش<sup>۲</sup>

ترک خوردن فلز به دلیل تأثیر هم‌زمان فرآیندهای آندی خوردگی موضعی و وجود تنش‌های کششی (باقی‌مانده و یا اعمال شده) در حضور آب و سولفید هیدروژن می‌باشد. یادآوری: وجود کلریدها و یا اکسیدکننده‌ها و افزایش دما می‌تواند باعث افزایش آسیب‌پذیری فلزات در برابر فرآیند حمله آندی باشد.

### ۳.۲۲ ترک هیدروژنی در راستای تنش<sup>۳</sup>

ترک‌های کوچکی که تقریباً در راستای عمود بر جهت تنش اصلی (باقی‌مانده و یا اعمال شده) شکل می‌گیرد، این ترک‌ها غالباً کوچک و مستقل از یکدیگر "به صورت نردبانی" بوده و از پیوستن ترک‌های (گاهی کوچک) ایجاد شده از قبل به وجود می‌آیند.

یادآوری: نمای ترک خوردن می‌تواند به صورت ترک تنش سولفیدی به وجود آمده توسط تأثیرات هم‌زمان تنش خارجی و کرنش موضعی در اطراف ترک‌های هیدروژنی دسته‌بندی گردد. این پدیده در فلز پایه لوله‌ای که به صورت عمودی جوشکاری شده و در ناحیه متأثر از حرارت ناشی از جوشکاری در مخازن تحت فشار رخ می‌دهد یک پدیده نسبتاً نامتداول است که عموماً در لوله‌هایی از جنس فولاد فریتی با استحکام پایین و فولادهای مورد استفاده در ساخت مخازن تحت فشار مشاهده می‌شود.

### ۳.۲۳ ترک تنش سولفیدی<sup>۴</sup>

ترک خوردن فلز در اثر تأثیر هم‌زمان خوردگی و تنش کششی (باقی‌مانده و یا اعمال شده) در حضور آب و سولفید هیدروژن است.

یادآوری: ترک تنش سولفیدی نوعی از ترک تنش هیدروژنی می‌باشد که شامل ترد شدن فلز توسط هیدروژن اتمی است که از واکنش خوردگی اسیدی بر سطح فلز به وجود می‌آید. جذب هیدروژن در حضور سولفیدها بیشتر می‌شود و اتم هیدروژن موجود می‌تواند در فلز نفوذ کرده و باعث کاهش چقرمگی و افزایش حساسیت در برابر ترک خوردن شود. مواد فلزی با استحکام بالا و نواحی سخت‌شده در اثر جوشکاری مستعد ترک تنش سولفیدی هستند.

### ۳.۲۴ جوشکاری

عمل اتصال و به هم پیوستن دو یا چند قطعه فلزی با استفاده از حرارت و یا اعمال فشار، با و یا بدون اضافه کردن فلز پرکننده به منظور ایجاد هم جوشی موضعی یکنواخت فلزات پایه و سپس انجماد محل اتصال است.

### ۳.۲۵ استحکام تسلیم

حد تنش مواد که بر اساس انحراف تعیین‌شده‌ای از نسبت تنش به کرنش نشان داده می‌شود.

<sup>1</sup> Stepwise cracking (SWC)

<sup>2</sup> stress corrosion cracking (SCC)

<sup>3</sup> Stress – oriented hydrogen – induced cracking (SOHIC)

<sup>4</sup> Sulfide stress cracking (SSC)

یادآوری: میزان انحراف توسط روش افست (معمولاً در کرنش ۲ درصد) یا روش کشیدگی کامل در شرایط بارگذاری (عموماً در کرنش ۵ درصد) تعیین می‌شود.

#### ۴. علائم اختصاری

در این استاندارد علائم اختصاری زیر با تعاریف شرح داده شده کاربرد دارند:

- فوران گیر BOP
- آلیاژ مقاوم در برابر خوردگی CRA
- ناحیه متأثر از حرارت HAZ
- ترک هیدروژنی HIC
- ترک تنش هیدروژنی HSC
- ترک خوردن در اثر خوردگی تنش SCC
- ترک هیدروژنی در راستای تنش SOHIC
- ترک پله ای SWC
- ترک تنش سولفیدی SSC
- ترک نواحی نرم SZC

#### ۵. اصول و قواعد عمومی

کاربرد این قسمت از استاندارد و قسمت‌های دوم و سوم بر اساس ارزیابی و مستندسازی شرایط و موقعیت‌هایی است که مواد ممکن است در معرض آن قرار بگیرند و انتخاب این مواد نیازمند تبادل اطلاعات (به عنوان مثال الزامات یا شرایط کاری) بین کاربر تجهیزات و تأمین‌کنندگان مواد یا تجهیزات است.

یادآوری: تأمین‌کننده تجهیزات ممکن است نیازمند تبادل اطلاعات با سازندگان دستگاه‌ها، تأمین‌کنندگان و یا تولیدکنندگان مواد باشد. کیفیت مطلوب، در واقع دستیابی به سطحی از کیفیت است که تضمین‌کننده ایمنی یک ماده برای استفاده تحت شرایط کاری برابر و یا تعدیل یافته (نسبت به شرایطی که در آن سطح کیفی تعریف شده است) باشد. کاربران تجهیزات، می‌بایست تطابق شرایط کاری مورد نظر را با شرایطی که در این استاندارد تعریف شده تضمین نمایند. در صورت لزوم کاربر تجهیزات باید با گروه‌های دیگر راجع به شرایط کاری مشورت نماید. این استاندارد به منظور ارزیابی کیفی و انتخاب مواد مناسب در طراحی و ساخت تجهیزاتی مورد استفاده قرار می‌گیرد که بر پایه معیار طراحی الاستیک متداول طراحی و ساخته شده باشند. استفاده از این استاندارد در اجرای طرح‌هایی بر مبنای معیار طراحی پلاستیک مناسب نبوده و کاربران بایستی الزامات دیگری را نیز مورد ارزیابی قرار دهند.

#### ۶. ارزیابی و تعریف شرایط کاری به منظور انتخاب مواد

۶.۱ قبل از انتخاب یا ارزیابی کیفی مواد، کاربران تجهیزات بایستی شرایط کاری را که مواد ممکن است در معرض آن قرار گیرند تعریف و ارزیابی و مستند نمایند. این شرایط تعریف شده بایستی در برگرفته شرایط محیط‌های مورد نظر و نیز محیط‌های دیگری که مواد به صورت ناخواسته در اثر بروز اشکالات یا از بین رفتن روش‌های حفاظتی، مواد با آن‌ها مواجه می‌شوند، باشد. بررسی و تعیین مقدار عوامل شناخته شده‌ای که باعث تضعیف مواد در برابر ایجاد ترک به وسیله سولفید هیدروژن می‌شوند بایستی مورد توجه ویژه‌ای قرار گیرد. این عوامل موثر بر تضعیف مواد فلزی در برابر ترک خوردن ناشی از سولفید هیدروژن به جز خواص خود ماده، عبارتند از

فشار جزئی سولفید هیدروژن، pH موثر، غلظت کلرید و دیگر هالیدهای حل شده، حضور گوگرد عنصری و یا دیگر اکسیدکننده‌ها، دما، اثرات گالوانیکی، تنش‌های مکانیکی و مدت زمان قرار گرفتن در معرض فاز آبی مایع.

۶.۲. شرایط کاری مستند شده لازم است برای یک یا چند منظور ذیل مورد استفاده قرار گیرد:

- فراهم آوردن مبانی انتخاب مواد از پیش ارزیابی شده مقاوم در برابر ترک خوردن در اثر خوردگی تنشی/ ترک تنشی سولفیدی (بند ۷)
- فراهم آوردن مبانی انتخاب و ارزیابی کیفی مواد بر مبنای تجربیات عملی (بند ۸.۲)
- تعریف الزامات آزمایشگاهی به منظور ارزیابی کیفی یک ماده در شرایط محیطی حاوی سولفید هیدروژن نسبت به یک یا چند مورد از موارد ذیل ترک تنشی هیدروژنی یا ترک نواحی نرم، ترک پله‌ای، ترک هیدروژنی در راستای تنش، ترک هیدروژنی، ترک تنشی سولفیدی و ترک در اثر خوردگی سولفیدی ناشی از عوامل گالوانیکی (بند ۸.۳)
- فراهم آوردن مبانی ارزیابی مجدد حساسیت آلیاژهای موجود مورد استفاده در ساخت با استفاده از بندهای (۷، ۸.۲، ۸.۳)، در حالتی که شرایط کاری واقعی یا مورد نظر تغییر کرده باشند.

## ۷. انتخاب مواد از پیش ارزیابی شده مقاوم در برابر ترک خوردن در اثر خوردگی تنشی/ ترک تنشی سولفیدی در

### حضور سولفیدها

فولادهای کربنی و کم‌آلیاژ مقاوم به ترک‌تنشی سولفیدی می‌توانند از مواد از پیش ارزیابی شده مندرج در قسمت دوم این استاندارد انتخاب شوند. آلیاژهای مقاوم به خوردگی در برابر ترک‌تنشی سولفیدی و ترک خوردن در اثر خوردگی تنشی و آلیاژهای دیگر می‌توانند از مواد از پیش ارزیابی شده مندرج در قسمت سوم این استاندارد انتخاب شوند. عموماً انجام آزمون‌های کیفی بر مواد از پیش ارزیابی شده در این روش ضرورتی ندارد. مواد فهرست شده مطابق تجربه یا آزمون‌های آزمایشگاهی، کارایی قابل قبولی تحت شرایط متالورژیکی، محیطی و مکانیکی دارند. کاربران تجهیزات بایستی نسبت به انجام آزمون‌های اختصاصی بر روی مواد مورد مصرف با در نظر گرفتن پتانسیل بروز خطاهای اجتناب‌ناپذیر دقت کافی داشته باشند (به یادآوری بند ۱ رجوع شود).

یادآوری: حاصل تجربیات ارائه شده در الزامات استاندارد NACE MR 0175 در فهرست‌های مواد مورد ارزیابی اولیه قرار گرفته در استانداردهای ISO 15156-2 و ISO 15156-3 (سال ۲۰۰۳) نیز درج شده است.

## ۸. بررسی کیفی مواد در شرایط کاری با وجود سولفید هیدروژن

### ۸.۱. مستندسازی و توصیف مواد

ماده‌ای که به منظور ارزیابی کیفی مورد بررسی قرار می‌گیرد بایستی تعریف و مستندسازی گردد. به گونه‌ای که هر یک از ویژگی‌های آن که به نظر می‌رسد بر کارایی در محیط‌های حاوی سولفید هیدروژن موثر هستند، تعیین و تعریف گردند. تolerانس و حدود تغییراتی که می‌تواند در خواص ماده به وجود آید بایستی تشریح و مستند شود. خواص متالورژیکی شناخته شده‌ای که بر کارایی مواد در محیط‌های حاوی سولفید هیدروژن موثر می‌باشند، عبارتند از ترکیب شیمیایی ماده، روش ساخت، شکل محصول، استحکام، سختی، مقدار کار سرد، شرایط عملیات حرارتی و ریز ساختار.

### ۸.۲. بررسی کیفی بر پایه تجارب عملی

یک ماده را می‌توان بر مبنای تجارب موجود مستند، مورد بررسی کیفی قرار داد. توصیف ماده باید مطابق با الزامات بند (۸.۱) باشد. توصیف شرایط کاری که در آن تجربه کسب شده است باید با الزامات بند فرعی (۶.۱) مطابق باشد. طول مدت کسب تجربه مستند شده بایستی حداقل ۲ سال بوده و ترجیحاً در برگیرنده بررسی همه‌جانبه با استفاده از تجهیزات لازم در این زمینه باشد. شرایط کاری مورد نظر نباید از شرایط مندرج در مدارک موارد تجربی مستند شده سخت‌گیرانه‌تر باشد.

### ۸.۳. بررسی و تعیین کیفیت بر پایه آزمون‌های آزمایشگاهی

#### ۸.۳.۱. کلیات

شرایط انجام آزمون فقط می‌تواند شبیه و نزدیک شرایط کار واقعی باشد. آزمون‌های آزمایشگاهی بر اساس این استاندارد ملی به منظور دستیابی به اهداف زیر انجام می‌شود:

- بررسی کیفی مواد فلزی جهت تعیین مقاومت آن‌ها در برابر ترک تنشی سولفیدی و و یا ترک خوردن در اثر خوردگی تنشی تحت شرایط کاری مساوی یا آسان‌تر نسبت به شرایط اعمال شده در بررسی‌های اولیه مواد مشابه فهرست شده در قسمت‌های دوم و سوم این استاندارد.
- بررسی کیفی مواد فلزی به منظور تعیین مقاومت آن‌ها در برابر ترک تنشی سولفیدی و ترک خوردن در اثر خوردگی تنشی تحت شرایط کاری با محدودیت‌های دیگر. به طور مثال: بررسی کیفی در شرایطی که میزان سولفید هیدروژن بالاتر از مقدار قابل قبول باشد، در شرایط کاهش تنش و یا دمایی کمتر یا در pH پایین‌تر.
- بررسی کیفی فولادهای کربنی و کم‌آلیاژ به منظور تعیین مقاومت در برابر ترک هیدروژنی در راستای تنش، ترک هیدروژنی و یا ترک نواحی نرم.
- بررسی کیفی آلیاژهای مقاوم در برابر خوردگی و یا دیگر آلیاژها به منظور تعیین مقاومت آن‌ها در برابر ترک تنشی هیدروژنی ناشی از شرایط گالوانیکی.
- تنظیم و ارائه گزارشی مستند از نتایج حاصل از بررسی کیفی ماده با توجه به شرایط اعمال شده مرتبط در آزمون‌ها و نه شرایط در نظر گرفته شده در ارزیابی کیفی اولیه در قسمت‌های دوم و سوم این استاندارد.

#### ۸.۳.۲. نمونه‌برداری از مواد برای انجام آزمون‌های آزمایشگاهی

روش نمونه‌برداری از مواد جهت انجام آزمون‌های آزمایشگاهی بایستی مورد تایید کاربر تجهیزات قرار گرفته باشد.

- نمونه‌های آزمون بایستی نماینده محصول تجاری باشد.
- در مواردی که یک ماده از چند سری ساخت جداگانه با دستورالعمل یکسان نمونه‌برداری شده باشد، ارزیابی باید بر مبنای خواصی باشد که بر رفتار ترک خوردن آن در محیط‌های حاوی سولفید هیدروژن موثر هستند (به بند ۸.۱ رجوع شود). هنگام انتخاب نمونه‌ها برای آزمون مطابق با قسمت‌های دوم و سوم استاندارد ISO15156 سهم هر یک از این خواص باید در نظر گرفته شود. مواد در شرایط متالورژیکی که بیشترین حساسیت به ترک خوردن در محیط‌های حاوی سولفید هیدروژن را دارند، باید برای انتخاب نمونه‌های آزمون مورد استفاده قرار گیرند.
- منابع تهیه مواد، روش آماده‌سازی و شرایط سطحی نمونه‌ها برای آزمون بایستی مستند شوند.

#### ۸.۳.۳. انتخاب روش‌های آزمون آزمایشگاهی

- روش‌های آزمون به منظور بررسی پدیده‌های ترک تنشی سولفیدی، ترک هیدروژنی، ترک هیدروژنی در راستای تنش و ترک نواحی نرم در فولادهای کربنی و کم‌آلیاژ بایستی منطبق با الزامات مشروح در استاندارد ISO15156-2 باشد.
- روش‌های آزمون به منظور بررسی پدیده‌های گالوانیکی بر روی آلیاژهای مقاوم به خوردگی و دیگر آلیاژها بایستی منطبق بر استاندارد ISO15156-3 باشد.

#### ۸.۳.۴. شرایط اعمال شده در طول مدت آزمون

برای ارزیابی کیفی فولادهای کربنی و کم‌آلیاژ در محیط‌های کاری ترش یا شرایط محدودتر، محیط‌های آزمون استاندارد و شرایط آزمون‌های مکانیکی باید طبق استاندارد ISO15156-2 انتخاب شوند.

برای ارزیابی کیفی آلیاژهای مقاوم به خوردگی یا آلیاژهای دیگر در شرایط کاری محدودتر متناسب با هر نوع آلیاژ، محیط‌های آزمون استاندارد و شرایط آزمون‌های مکانیکی بایستی طبق استاندارد ISO15156-3 انتخاب شوند.

به منظور بررسی کیفی مواد جهت استفاده در شرایط کاری خاص، کاربران تجهیزات بایستی اطمینان حاصل نمایند که شرایط آزمون و نتایج حاصل از آن برای شرایط کاری ویژه تعیین شده مناسب می‌باشند. همه شرایط در نظر گرفته شده جهت آزمون بایستی حداقل به همان اندازه سخت‌گیرانه باشد که در شرایط عملی به عنوان قابلیت بروز نقص امکان به وقوع پیوستن آن تعریف شده است (به بند ۶.۱ مراجعه شود).

همچنین pH در محیط آزمون نیز باید برابر pH شرایط عملی باشد. چگونگی انتخاب محیط آزمون و شرایط آزمون‌های مکانیکی مطابق با شرایط کاربردی تعیین شده، باید توسط کاربران مستند شود.

#### ۸.۳.۵. معیار پذیرش

حدود قابل قبول در نتایج آزمون بایستی همانند آنچه برای هر روش آزمون در استانداردهای ISO15156-2 و ISO15156-3 آمده است، تعریف شوند.

### ۹. گزارش روش انتخاب یا بررسی کیفی مواد

مواد انتخاب شده و یا بررسی شده از نظر کیفی، بر طبق این قسمت از استاندارد باید با ارائه گزارش تعریف شده در زیر بند (۹.۱) از فهرست زیر به همراه یکی از زیر بندهای دیگر از این فهرست مستند گردند.

۹.۱. ارزیابی شرایط کاری برای تمام مواد (به بند ۶.۱ مراجعه شود).

۹.۲. برای موادی که بر مبنای بررسی کیفی اولیه در برابر ترک تنش‌سولفیدی و یا ترک خوردگی در اثر خوردگی سولفیدی انتخاب شده‌اند (به بند ۷ رجوع شود)، ذکر بندهای مربوطه در استانداردهای ISO15156-2 و ISO15156-3 الزامی است.

۹.۳. برای مواد انتخاب شده بر اساس تجارب موجود، مستندات شامل موارد زیر خواهد بود:

- تشریح مکانیزم‌های ایجاد ترک در هر بررسی و انتخابی که صورت پذیرفته است.
- مواد استفاده شده (به بند ۸.۱ مراجعه شود)

۹.۴. برای موادی که بر اساس انجام آزمون‌های آزمایشگاهی ارزیابی کیفی و انتخاب شده‌اند مستندات شامل موارد زیر خواهد بود:

- تشریح مکانیزم‌های ایجاد ترک در هر آزمون و انتخابی که صورت پذیرفته است.
- مواد انتخاب شده برای انجام آزمون‌های آزمایشگاهی (به بند ۸.۱ مراجعه شود)
- تشریح چگونگی انتخاب نمونه، روش نمونه‌برداری و آماده‌سازی نمونه‌های آزمون (به بند ۸.۳.۲ مراجعه شود)
- چگونگی انتخاب محیط آزمون و شرایط آزمون فیزیکی برای ارزیابی کیفی (به بند ۸.۳.۳ مراجعه شود)
- ارائه نتایج آزمون که مطابقت با استانداردهای ISO15156-2 و ISO15156-3 را تایید می‌کند (به بند ۸.۳ مراجعه شود)

## مراجع

- [1] ANSI NACE1 Standard MR0175, Metals for sulfide stress cracking and stress corrosion cracking resistance in sour oilfield environments
- [2] ANSI NACE Standard TM0177, Laboratory testing of metals for resistance to sulfide stress cracking and stress corrosion cracking in H<sub>2</sub>S environments
- [3] ANSI NACE Standard TM0284, Evaluation of pipeline and pressure vessel steels for resistance to hydrogen induced cracking
- [4] NACE Standard MR0176, Metallic materials for sucker-rod pumps for corrosive oilfield environments
- [5] EFC2 Publication 16, Guidelines on materials requirements for carbon and low alloy steels for H<sub>2</sub>S containing environments in oil and gas production
- [6] EFC Publication 17, Corrosion resistant alloys for oil and gas production: guidelines on general requirements and test methods for H<sub>2</sub>S service

نوشته: عباس قلی‌نژاد



## مقدمه‌ای بر دینامیک سیالات محاسباتی

دینامیک سیالات محاسباتی<sup>۱</sup> یک ابزار مبتنی بر محاسبات کامپیوتری جهت شبیه‌سازی رفتار سیستم‌هایی شامل جریان سیال، انتقال حرارت و سایر فرآیندهای فیزیکی وابسته است. این ابزار با حل معادلات جریان سیال در یک فرم خاص، بر روی یک ناحیه مورد نظر و با اعمال شرایط مرزی مشخص، جریان سیال را پیش‌بینی می‌کند.

### - تاریخچه دینامیک سیالات محاسباتی

سال‌های زیادی است که از کامپیوتر برای حل مساله جریان سیال استفاده می‌شود و برنامه‌های بسیاری به منظور حل مسائل مختلف نوشته شده است. از اواسط سال ۱۹۷۰، ریاضیات پیچیده مورد نیاز برای تعمیم این الگوریتم‌ها شروع به رشد کرد و حل‌گرهای همه‌کاره<sup>۲</sup> توسعه یافتند. این حل‌گرها در اوایل دهه ۸۰ شروع به ظاهر شدن کردند و چیزی که نیاز داشتند، کامپیوترهای قدرتمند، درک عمیق از دینامیک سیالات و همچنین زمان بسیار زیاد برای برپایی شبیه‌سازی بود. در نتیجه، تقریباً می‌توان گفت که از ابزار دینامیک سیالات محاسباتی منحصر در امور تحقیقاتی بسیار ضروری استفاده می‌شد. پیشرفت‌های اخیر در قدرت کامپیوتر، به همراه گرافیک قدرتمند و به‌کارگیری مدل‌های سه‌بعدی، فرآیند تهیه یک مدل دینامیک سیالات محاسباتی و تحلیل نتایج را آسان‌تر کرده و زمان مورد نیاز و بنابراین هزینه شبیه‌سازی را به شدت کاهش داده است. حل‌گرهای پیشرفته، دارای الگوریتم‌هایی می‌باشند که حل نیرومند میدان جریان را در زمان مناسب فراهم می‌آورند. در نتیجه ابزار دینامیک سیالات مناسبی، یک جایگزین نسبتاً دقیق و مقرون به‌صرفه برای آزمایش‌های تجربی مدل‌های مقیاس‌شده آزمایشگاهی می‌باشد که از مزایای کاملاً روشن آن این است که تغییرات مورد نیاز را می‌توان سریعاً به شبیه‌سازی اعمال کرد.

### - ریاضیات دینامیک سیالات محاسباتی

معادلات مکانیک سیالات که بیش از یک قرن پیش شناخته شده‌اند، تنها برای حل تعداد محدودی از مسائل جریان به شیوه تحلیلی قابل استفاده می‌باشند. این راه‌حل‌های شناخته شده برای درک جریان سیال فوق‌العاده مفیدند اما به ندرت می‌توان از آن‌ها به‌طور مستقیم در تجزیه و تحلیل و یا طراحی‌های مهندسی استفاده کرد. از این رو در تحلیل‌های مهندسی رویکردهای دیگری مورد استفاده قرار می‌گیرد.

مجموعه‌ای از معادلات که فرآیندهای انتقال جرم و اندازه حرکت را توصیف می‌کنند، به عنوان معادلات ناویر-استوکس<sup>۳</sup> شناخته می‌شوند. این معادلات دیفرانسیل جزئی، در اوایل قرن نوزدهم استخراج شدند و هیچ‌گونه حل تحلیلی بسته شناخته شده‌ای ندارند اما می‌توان آن‌ها را گسسته‌سازی و به صورت عددی حل کرد.

چگونگی گسسته‌سازی معادلات به‌وسیله شبکه عددی تعیین می‌شود که اساساً نمایش گسسته‌ای از حوزه هندسی است که مسائل می‌بایست بر روی آن حل شود. در واقع شبکه، حوزه حل را به تعداد محدودی زیردامنه (المان‌ها و حجم‌های کنترل) تقسیم می‌کند.

روش‌های حل متفاوتی در این کدهای دینامیک سیالات محاسباتی مورد استفاده قرار می‌گیرند. عموماً رویکردهای گسسته-سازی معادلات جهت حل عددی مسائل دینامیک سیالات محاسباتی به سه گروه تقسیم می‌شوند:

<sup>1</sup> Computational fluid dynamics

<sup>2</sup> Multipurpose CFD solver

<sup>3</sup> Navier-Stokes

## ۱. روش تفاضل محدود<sup>۱</sup>

این روش قدیمی‌ترین رویکرد حل عددی معادلات جزیی می‌باشد و اعتقاد بر این است که اولین بار توسط اولر در قرن هجدهم معرفی شده است. همچنین این رویکرد آسان‌ترین روش برای استفاده در حل مسائلی با هندسه‌های ساده است. نقطه شروع، استفاده از معادلات بقاء به فرم دیفرانسیلی است. حوزه حل به وسیله یک شبکه پوشش داده می‌شود. در هر نقطه از شبکه، معادلات دیفرانسیل به کمک سری تیلور و تبدیل مشتقات به ضرایبی از مقادیر موجود در نقاط اطراف، تقریب زده می‌شود. همچنین هر زمانی لازم باشد، می‌توان برای به دست آوردن مقدار متغیرها در مکان‌هایی غیر از گره‌های شبکه، از روش درونیابی استفاده کرد. نتیجه حاصل، یک معادله جبری در هر گره از شبکه است که در آن مقدار متغیر در گره مورد نظر و تعداد مشخصی از گره‌های مجاور آن به عنوان مقادیر مجهول ظاهر می‌شوند.

در کل، روش تفاضل محدود در شبکه‌های سازمان یافته<sup>۲</sup> به کار گرفته می‌شود. در شبکه‌های سازمان یافته، این روش خیلی ساده و موثر است. خصوصاً این که دست‌یابی به طرح‌هایی با مراتب بالاتر بر روی شبکه‌های منظم خیلی آسان‌تر است. اما یکی از معایب روش تفاضل محدود این است که ارضای قوانین بقاء به آسانی رخ نمی‌دهد. همچنین محدود بودن کاربرد آن برای هندسه‌های ساده نیز در هنگام شبیه‌سازی جریان‌های پیچیده، یکی دیگر از معایب عمده این روش می‌باشد.

## ۲. روش حجم محدود<sup>۳</sup>

روش حجم محدود از فرم انتگرالی معادلات بقا به عنوان نقطه شروع استفاده می‌کند. در این رویکرد، حوزه حل به تعداد محدودی از حجم‌های کنترل هم‌مرز تقسیم می‌شود و معادلات بقا به صورت انتگرالی به هر حجم کنترل اعمال می‌شود. در مرکز هندسی هر حجم کنترل، یک گره محاسباتی قرار دارد که مقدار متغیرهای جریان باید در آن نقطه محاسبه شود. در صورت لزوم از روش درونیابی برای بیان مقادیر متغیرها در سطوح حجم کنترل بر اساس مقادیر گره محاسباتی مرکزی استفاده می‌شود. انتگرال‌های سطحی و حجمی با استفاده از فرمول‌های عددی مناسب تقریب زده می‌شوند. در نتیجه، می‌توان یک معادله جبری برای هر حجم کنترل به دست آورد که از حل آن‌ها تصویر کاملی از رفتار جریان به دست خواهد آمد. روش حجم محدود می‌تواند با هر نوع شبکه‌ای سازگار باشد و از این رو برای هندسه‌های پیچیده مناسب است. این روش یکی از رایج‌ترین تکنیک‌های گسسته‌سازی در سیالات به‌شمار می‌رود. اشکال این روش این است که تقریب‌های مرتبه بالاتر از دو را به سختی می‌توان در هندسه‌های سه‌بعدی گسترش داد.

## ۳. روش المان محدود<sup>۴</sup>

روش المان محدود در بسیاری از موارد شبیه به روش حجم محدود است. حوزه مورد نظر به تعدادی از حجم‌های گسسته یا المان‌های محدود تقسیم می‌شود که عموماً غیرسازمان یافته می‌باشند. در مسائل دوبعدی، المان‌ها معمولاً به شکل مثلث یا چهارضلعی می‌باشند. در حالی که معمولاً در مسائل سه‌بعدی از المان‌های چهاروجهی یا شش وجهی استفاده می‌شود. ویژگی متمایز این روش این است که معادلات قبل از انتگرال‌گیری بر روی حوزه مورد نظر، در یک تابع وزن ضرب می‌شوند. در ساده‌ترین روش المان محدود، حل مساله در هر المان به وسیله یک تابع شکل خطی که پیوستگی متغیرها، روی مرزهای مشترک المان‌ها را ارضا می‌کند، تقریب زده می‌شود. چنین تابع شکلی می‌تواند با استفاده از مقادیر آن در گوشه‌های المان ساخته شود. تابع وزن معمولاً فرم مشابهی با تابع شکل دارد.

<sup>1</sup> Finite difference

<sup>2</sup> structured

<sup>3</sup> Finite volume

<sup>4</sup> Finite element

این تقریب سپس درون انتگرال وزنی قانون بقاء جایگزین می‌شود و معادلاتی که باید حل شوند با مساوی صفر قرار دادن مشتق انتگرال نسبت به مقادیر گره‌ای به دست می‌آید. این فرآیند متناظر است با انتخاب بهترین جواب از بین مجموعه توابع مجاز. در نتیجه یک دسته از معادلات جبری غیرخطی به دست خواهد آمد. یک مزیت مهم روش المان محدود، توانایی تطبیق آن با هندسه‌های دلخواه است.

### – کاربردهای دینامیک سیالات محاسباتی

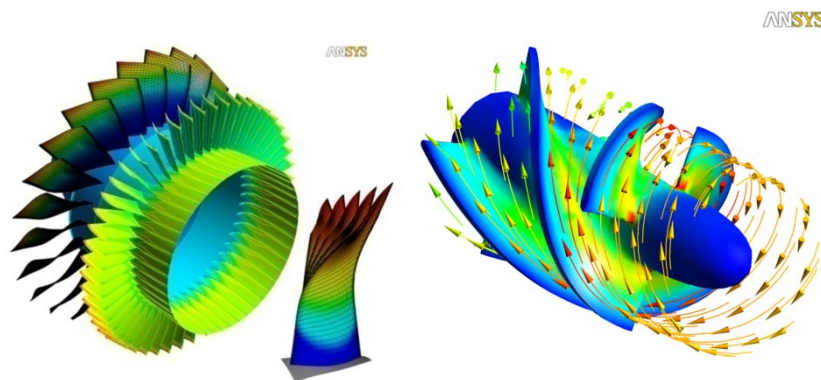
مهندسين و دانشمندان از این روش در زمینه‌های گسترده‌ای استفاده می‌کنند. برای نمونه می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- صنایع فرآیندی
- خدمات ساختمانی
- ایمنی و سلامت
- صنایع موتور
- الکترونیک
- محیط زیست
- انرژی و قدرت
- پزشکی

یک فرآیند دینامیک سیالات محاسباتی به چهار مرحله تقسیم می‌شود:

۱. ایجاد هندسه و شبکه
۲. تعریف فیزیک مدل
۳. حل مساله
۴. نمایش نتایج در پس پردازنده

در شماره بعدی نشریه، به بررسی نرم‌افزار کاربردی انسیس سی اف ایکس<sup>۱</sup> می‌پردازیم.



شکل ۱- نمونه‌ای از تحلیل‌های انجام شده به وسیله نرم‌افزار انسیس

### مرجع

- [۱]: محمدعلی کاظمی لاری- سالار خواجه‌پور- فرزاد کیانی- محمد اکبری، مدل‌سازی و تحلیل دینامیک سیالات محاسباتی به کمک نرم-افزار انسیس، انتشارات عابد، تهران، سال ۱۳۹۰

نوشته: عباس قلی‌نژاد

<sup>1</sup> ANSYS CFX

## استاندارد ایزو ۵۱۹۹ (ویرایش سال ۲۰۰۲) - بخش دوم

این مقاله که به صورت اختصاصی در بخش تحقیق و توسعه این شرکت گردآوری شده است، ترجمه کاملی از استاندارد ایزو ۵۱۹۹ ویرایش سال ۲۰۰۲ میلادی می باشد که به دلیل حجم بالای آن، در چند شماره از فصل نامه به چاپ می رسد. در شماره گذشته فصل نامه، به بررسی کلیات و مباحث اولیه این استاندارد پرداخته شد. در این قسمت به بخش دوم این استاندارد می پردازیم. امید است که این مقاله بتواند کمکی به شناخت هرچه بیشتر این استاندارد توسط صنعت گران کشور باشد.

### ۱.۱. نیروها و گشتاورهای خارجی وارد بر فلنچ ها (مکش و رانش)

خریدار باید نیروها و گشتاورهای وارد بر پمپ که توسط لوله کشی ایجاد شده را محاسبه کرده و کنترل نماید که از مقادیر مجاز تجاوز نکند. وقتی بارها از حد مجاز بیشتر شود، راه حلی باید بین خریدار و سازنده/تامین کننده مورد توافق قرار گیرد. روشی که در پیوست پیشنهاد شده است برای پمپ هایی با کوپلینگ های انعطاف پذیر استفاده می شود، مگر در حالتی که روش دیگری بین خریدار و سازنده/تامین کننده مورد توافق قرار گیرد.

### ۱.۲. فلنچ انشعابات

محفظه فلنچ ها باید در ابعادی باشد که فلنچ ها با ایزو ۷۰۰۵ مطابقت نمایند. اگر روش های استاندارد سازندگان پمپ مستلزم ضخامت فلنچ و قطری بزرگتر از آنچه به صورت نامی تعریف شده باشد، باید فلنچ بزرگتری تهیه شود اما باید طبق تعریف سوراخ کاری و روکش کاری شود. از نشستن خوب سرپیچ ها در جلو و مهره ها در پشت فلنچ ها باید مطمئن شد. سوراخ پیچ ها باید با توجه به خط مرکزی تنظیم شوند.

### ۱.۳. پروانه ها

#### ۱.۳.۱. طراحی پروانه

طراحی پروانه های بسته، نیمه باز یا باز باید با توجه به کاربردشان انتخاب شوند. پروانه های ریخته گری شده یا جوشکاری شده باید به استثناء رینگ های سایشی، قطعه ای یک تکه باشند. پروانه های ساخته شده به روش های دیگر در موارد خاص برای پروانه های با عرض خروجی کم یا دیگر موارد خاص مجاز می باشند. به هر حال این موضوع نیازمند توافق با خریدار می باشد.

#### ۱.۳.۲. حفاظت و استحکام پروانه

پروانه ها باید در هنگام گردش در جهت خواسته شده، در برابر جابه جایی های جانبی و محوری مستحکم باشند.

#### ۱.۳.۳. تنظیمات محوری

اگر تنظیم فاصله محوری پروانه لازم باشد، تمهیداتی در خارج پروانه مورد نیاز است. اگر تنظیم به وسیله حرکت محوری روتور به دست آید، باید به تأثیرات خطر آفرین ممکن وارد بر روی آب بند مکانیکی توجه کرد.

### ۱.۴. رینگ های سایشی یا اجزای معادل آن ها

رینگ های سایشی باید در جایی که مناسب است به کار روند. وقتی رینگ های سایشی قرار می گیرند باید قابل تعویض و جدید شدن باشند و به صورتی ایمن محکم شوند تا از چرخش آن ها جلوگیری شود.

### ۱.۵. لقی های متحرک

وقتی لقی های متحرک بین اجزاء ثابت و متحرک تعیین می شوند، ملاحظات در مورد شرایط کاری و خصوصیات مواد استفاده شده (مثل سختی و مقاومت سائیدگی) برای این اجزاء باید در نظر گرفته شوند.

فواصل باید در ابعادی باشند که از تماس در حین شرایط عملیاتی جلوگیری کنند و ترکیب مواد انتخاب شده امکان خوردگی و فرسایش را کم کند.

## ۱.۶. شفت و بوش شفت

### ۱.۶.۱. کلیات

شفت باید از نظر ساین و استحکام، مطلوب و مناسب باشد تا:

- (الف) توان اسمی عامل محرک را انتقال دهد
- (ب) عملکرد بد آببند یا پکینگ را کم کند
- (ج) امکان سایش و گیرپاژ را کم کند
- (د) تا ملاحظات در جهت بارهای شعاعی دینامیک و استاتیک، سرعت بحرانی و روش‌هایی برای راه‌اندازی و بارهای اینرسی را دربرداشته باشد.

### ۱.۶.۲. زبری سطح

زبری سطح شفت یا بوش شفت در محفظه آببندی، آببند مکانیکی و آببند روانکار، در صورت وجود نباید بیشتر از  $0.8 \mu m Ra$  باشد مگر در حالتی که به مقادیر دیگری در آببند نیاز باشد. ملاحظات بسیاری در مواردی که درجه کمتری از زبری سطح ( $0.4 \mu m Ra$ ) برای آببندهای مکانیکی که در شفت‌های دینامیکی محوری یا آببندهای غلاف به کار می‌روند، باید مدنظر باشد. اندازه‌گیری زبری سطح باید با توجه ایزو ۳۲۷۴ باشد.

### ۱.۶.۳. انحراف شفت

انحراف محاسبه شده شفت در صفحه شعاعی در قسمت بیرونی جعبه آببندی (یا در سطح آببند مکانیکی) به وسیله بارهای شعاعی به وجود آمده در خلال عملکرد پمپ تحت شرایط زیر نباید از  $50 \mu m$  تجاوز کند:

(الف) در محدوده عملکردی مجاز پمپ

(ب) در محدوده عملکردی مجاز پمپ با حداکثر قطر پروانه

شرایط (الف) همواره به کار برده می‌شود، شرایط (ب) نیازمند توافق می‌باشد

هنگام محاسبه و تعیین انحراف شفت، پکینگ نباید مدنظر قرار بگیرد.

### ۱.۶.۴. قطر

قطر قسمت‌های شفت یا بوش شفت در تماس با آببندهای شفت باید با توجه به ایزو ۳۰۶۹ باشد که کاربردی است.

### ۱.۶.۵. لنگی شفت

ساخت و مونتاژ شفت و بوش آن در صورت نصب، باید این اطمینان را حاصل کند که لنگی شفت در صفحه شعاعی در قسمت خارجی پوسته آببند شفت نباید برای قطرهای خارجی نرمال کوچکتر از  $50 mm$  بزرگتر از  $50 \mu m$  باشد و نباید بزرگتر از  $80 \mu m$  برای قطر خارجی اسمی بین  $50 mm$  تا  $100 mm$  و نباید بزرگتر از  $100 \mu m$  برای قطرهای خارجی بزرگتر از  $100 mm$  باشد.

### ۱.۶.۶. جابه‌جایی محوری

جابه‌جایی محوری روتور که به وسیله پاناقان‌ها انجام می‌شود نباید تأثیر مخربی بر عملکرد آببندهای مکانیکی داشته باشد.

### ۱.۶.۷. محافظت و آببند کردن بوش شفت

بوش‌های شفت در صورت تعبیه باید در برابر حرکات محوری و محیطی به محور محکم شوند. این موضوع همچنین می‌تواند برای بوش آببندهای مکانیکی کارتریجی به کار رود.

آببندی باید برای جلوگیری از نشتی بین شفت و بوش شفت به کار رود. جایی که امکان خوردگی شفت وجود دارد، ترتیبی باید داده شود که مطمئن شویم شفت در معرض سیال نباشد.

### ۱.۶.۸. ترکیب بوش‌های شفت

در پمپی که برای پکینگ طراحی شده است، انتهای بوش شفت، در صورت نصب، باید تا آن سوی سطح خارجی پیرو آببند ادامه یابد. در پمپ‌هایی که برای آببندهای مکانیکی طراحی شده‌اند، بوش شفت باید تا آن سوی صفحه انتهایی آببند ادامه یابد. در پمپ‌هایی که از یک آببند یدکی یا یک بوش خفه‌کننده استفاده می‌شود، بوش شفت باید تا آن سوی صفحه انتهایی آببند ادامه یابد. نشتی بین شفت و بوش نمی‌تواند با نشتی سطوح آببندهای مکانیکی یا پکینگ‌ها اشتباه شود. ترکیب بوش شفت برای آببندهای مکانیکی خارجی یا آببندهای مکانیکی چند تایی به طور کامل باید توصیف شود.

#### ۱.۶.۹ محکم کردن یاتاقان محوری

کلیپس‌های دایروی یا به عبارتی رینگ‌های خورشیدی در تماس مستقیم با یاتاقان‌ها نباید برای انتقال تراست از شفت به قسمت داخلی یاتاقان محوری استفاده شوند. مهره‌های پشت‌بند و واشرهای پشت‌گیر فنی در این موارد ترجیح داده می‌شوند.

#### ۱.۷ یاتاقان‌ها

##### ۱.۷.۱ کلیات

یاتاقان‌های غلتشی با طراحی استاندارد، عموماً مورد استفاده قرار می‌گیرند. در مواردی خاص دیگر انواع یاتاقان‌ها باید استفاده شوند.

##### ۱.۷.۲ عمر یاتاقان‌های غلتشی

یاتاقان‌های غلتشی باید با توجه به ایزو ۷۶ و ایزو ۲۸۱-۱ درجه‌بندی و انتخاب شوند. عمر نامی ابتدایی ( $L_{10}$ ) باید حداقل ۱۷۵۰۰ ساعت باشد (زمانی که در محدوده عملیاتی مجاز عمل کند). برای پمپ‌های مکش از انتها، سازنده/تهیه‌کننده باید محدوده فشار داخلی را به صورت تابعی از بار بیشینه برای رسیدن به عمر یاتاقان محاسبه شده حداقل ۱۷۵۰۰ ساعت، تعیین کند.

##### ۱.۷.۳ دمای یاتاقان

سازنده/تامین‌کننده پمپ باید در صورت لزوم گرمایش یا سرمایش لازم جهت نگه داشتن دمای یاتاقان در محدوده داده شده را مشخص نماید.

##### ۱.۷.۴ روان‌کاری

دستورالعمل‌های عملکرد باید شامل اطلاعات نوع روان‌کار مورد استفاده و تناوب استفاده از آن باشد.

##### ۱.۷.۵ طراحی محفظه یاتاقان

برای جلوگیری از افت یا آلودگی روغن، اتصالات و اشری یا قلاویزی برای جداسازی سیال سرمایشی یا گرمایشی از روان‌کار، نباید مورد استفاده قرار گیرند.

تمامی دریچه‌ها در محفظه یاتاقان باید طوری طراحی شوند که از ورود آلودگی و خروجی روانکار تحت شرایط عملیاتی نرمال جلوگیری کند.

در محیط‌های خطرناک، هر وسیله‌ای برای آببند کردن محفظه یاتاقان باید طوری طراحی شود که عامل جرقه‌زنی نباشد.

درمورد روان‌کاری روغن، یک سوراخ تخلیه روغن با دریوش باید ایجاد شود.

اگر محفظه یاتاقان به عنوان یک منبع روغن باشد، نشان‌دهنده سطح روغن یا تغذیه روغن با سطح ثابت باید استفاده شود. نشانه پیشنهادی برای سطح روغن یا ثابت‌کننده سطح روغن باید دائمی و قابل مشاهده باشد و باید طوری باشد که ثابت بودن یا متغیر بودن سطح را نشان دهد.

وقتی یاتاقان‌های باز گریس‌خور استفاده می‌شود، محل تخلیه گریس باید فراهم شود.

در محل یاتاقان‌ها، امکان مشاهده دما و ارتعاش، در صورت درخواست خریدار باید فراهم گردد.

#### ۱.۸ آب بند شفت

##### ۱.۸.۱ کلیات

برای پمپ‌های منطبق با ایزو ۲۸۵۸، طراحی پمپ باید اجازه استفاده از یک یا بیشتر از راه‌های زیر را فراهم سازد:

- پکینگ نرم
- آببند مکانیکی تک
- آببند مکانیکی چند تایی

برای انواع دیگر پمپ‌ها که شفت پمپ باید آببند شود، طراحی پمپ باید طوری باشد که اجازه استفاده از یک یا چند راه را دهد.

استفاده از آب بندهای کارتریژی برای پمپ‌ها اجازه داده می‌شود. انواع طراحی‌های خنک‌کاری، که در موارد خاص مورد استفاده قرار می‌گیرند، در پیوست E مشاهده می‌شود.

ابعاد حفره آببند باید با توجه به ایزو ۳۰۶۹ باشد به جز شرایط عملکردی که چیز دیگری را تحمیل کند.

طرح‌هایی برای ذخیره، جمع‌آوری و تخلیه تمامی نشتی‌ها از مناطق آببندها باید موجود باشد.

#### ۱.۸.۲. محدوده عملیاتی برای انتخاب

محدوده عملیاتی اصلی برای انتخاب آببند مکانیکی و پکینگ‌های نرم:

- خواص شیمیایی و طبیعت سیال پمپ‌شونده
- کمترین و بیشترین فشار آببندی مورد انتظار
- دما و خواص فیزیکی سیال در آببند
- شرایط عملکرد مخصوص (شامل استارت، خاموش‌شدن، شوک‌های مکانیکی و حرارتی، سیکل‌های تمیزکاری و استرلیزه کردن و.....)

- سرعت و قطر شفت

- معیارهای مکمل برای آببندی مکانیکی، جهت گردش پمپ است.

#### ۱.۸.۳. آببندهای مکانیکی

##### ۱.۸.۳.۱. نوع و ترکیب

این استاندارد جهانی طراحی اجزای آببند مکانیکی را پوشش نمی‌دهد، اما اجزاء باید برای تحمل شرایط تعریف شده در صفحه داده‌ها مناسب باشند.

ترکیب آببندهای مکانیکی (تک، دوگانه، بالانس و یا نامتعادل) باید در صفحه داده‌ها تعریف شوند. اگر پمپ سیالی را در نزدیکی نقطه جوش خود پمپ کند، فشار در نزدیکی محفظه آببند باید به طور کاملی بالاتر از فشار ورودی باشد، یا دما در نزدیکی و مجاورت آببند باید کاملاً پایین‌تر از دمای بخار (جهت جلوگیری از بخار شدن در سطوح آببند) باشد.

اگر ترکیب آببند تحت فشار دابل به کار رود (پشت‌به‌پشت یا پشت سرهم)، مایع سرد بین آببندها باید با فرآیند و فشار بالاتر از فشار آببند سازگار باشد.

اگر یک آببند پشت به پشت نصب شود، باید مطمئن شد که رینگ ثابت سمت پروانه طوری محکم شده است که در اثر افت فشار سیال مانع، نمی‌تواند جابه‌جا شود.

برای پمپ‌هایی که در دمای زیر صفر درجه سانتی‌گراد عمل می‌کنند، می‌توان سیستم مایع محافظ را به کار برد که خود می‌تواند از تشکیل یخ جلوگیری کند.

##### ۱.۸.۳.۲. مواد

مواد مناسب برای اجزای آببند باید طوری انتخاب شوند که خوردگی، سائیدگی، دما، تنش‌های مکانیکی و حرارتی و غیره را تحمل کنند. برای آببندی‌های مکانیکی، قسمت‌های فلزی تحت اثر سیال پمپ‌شونده باید حداقل کیفیت موادی همانند پوسته پمپ، با در نظر داشتن خواص مکانیکی و مقاومت خوردگی را داشته باشند.

## ۱.۸.۳.۳. ویژگی‌های ساختاری

تمهیدات لازم جهت مرکز قرار دادن صفحه انتهایی آب‌بند و سوراخ محفظه آب‌بند باید فراهم گردد. مدنظر قرار دادن قطر داخلی یا خارجی، روش مناسبی برای رسیدن به این هدف می‌باشد.

صفحه پشت آب‌بند باید صلبیت لازم را جهت جلوگیری از تاب برداشتن داشته باشد. محفظه آب‌بند و صفحه انتهایی، شامل پیچ‌های ثابت، باید برای فشار عملیاتی مجاز در دمای کاری و بار مورد نیاز برای نشستن و اشتر طراحی شوند.

واشر بین محفظه آب‌بند و رینگ آب‌بند ثابت یا صفحه انتهایی آب‌بند باید به صورت خارجی محدود شده یا طراحی معادلی برای جلوگیری از خروج سیال داشته باشد.

تمامی اجزاء ثابت آب‌بند، شامل صفحه انتهایی آب‌بند، باید از تماس ناگهانی با شفت یا بوش و یا از چرخش محافظت شوند. وقتی اجزای آب‌بندی ثابت با شفت یا بوش شفت تماس پیدا کند، سطح در تماس با شفت باید کاملاً سخت و مقاوم خوردگی باشد. باید برجستگی‌های تیز جهت جلوگیری از زیان به آب‌بند در حین جا زدن، حذف شوند.

تلائم‌های ماشین‌کاری محفظه آب‌بند و صفحه انتهایی آب‌بند باید به میزانی باشد تا لنگی صفحه را در رینگ آب‌بند ثابت آب‌بند مکانیکی تا میزان بالاترین مقدار مجاز اعلام شده به وسیله سازنده آب‌بند، محدود کند.

اگر بوش خفه‌کننده جهت کاهش نشستی در از بین رفتن کامل آب‌بند در صفحه انتهایی فراهم شود، فاصله قطری، به میلیمتر، بین بوش و شفت باید در عمل در حالت کمترین باشد اما در هیچ موردی نباید بزرگتر از فرمول زیر باشد :

$$d/100 + 0.2$$

که در این رابطه d قطر شفت می‌باشد.

در جایی که باید نشستی وجود نداشته باشد، استفاده از یک آب‌بند کمکی ضروری می‌باشد. محفظه آب‌بند باید طوری طراحی شود که از محبوس شدن هوا که پدیده‌ای بسیار معمول می‌باشد، جلوگیری کند.

اگر این امر میسر نباشد محفظه آب‌بند باید برای کاربر قابل تخلیه باشد. روش انجام این امر در کتابچه راهنمای بهره‌برداری آورده شده است.

محل ورودی‌های سیال و در صورت لزوم خروجی از محفظه آب‌بند باید برای آب‌بندهای مکانیکی مناسب باشد. حتی در مواردی که اتصال مورد نیاز نباشد، سوراخ‌هایی باید سوراخ‌کاری شده و درپوش بر روی آن‌ها گذاشته شود.

## ۱.۸.۳.۴. مونتاژ و تست

برای مونتاژ و تست قسمت ۷.۱ را مشاهده کنید.

در یک تست فشار هیدرواستاتیک آب‌بند مکانیکی نباید در معرض فشاری بیشتر از حد مجاز فشار آب‌بند قرار گیرد. خریدار باید قبل از سفارش، از این موضوع که اگر سطوح آب‌بندها برای عملکرد با آب مناسب نمی‌باشد، مطلع شود.

## ۱.۸.۴. کاسه نمدها

تدارکات لازم جهت نصب یک حلقه بسیار نازک باید فراهم شود. اتصالات در جایی که نیاز است می‌تواند توسط سازنده/تهیه‌کننده یا خریدار تعیین شود. فضای وسیعی جهت پکینگ دوباره بدون حذف یا دمونتاز هیچ قطعه‌ای از اجزاء حفاظ‌ها یا آب‌بندها، باید ممکن باشد. اجزای آب‌بندها باید به صورت مثبت نگه داشته شده حتی اگر پکینگ فشردگی خود را از دست بدهد.

## ۱.۸.۵. لوله کشی یدکی برای کاسه‌نمدها و آب‌بندهای مکانیکی

۱.۸.۵.۱. پمپ باید طوری طراحی شود که با یک لوله‌کشی یدکی که ممکن است برای آب‌بند شفت در شرایط مخصوص نیاز شود، مطابقت داشته باشد.

## ۱.۸.۵.۲. لوله‌کشی یدکی ممکن است برای شرایط زیر نیاز شود:

طبقه‌بندی الف) سرویسی که شامل سیالات فرآیندی یا سیالاتی می‌شود که وارد فرآیند می‌شوند:

- سیال در گردش، اگر از مسیرهای داخلی نباشد
- سیال تزریق (شستشو)



- سیال مانع
- سیال تحت فشار
- طبقه‌بندی ب) سرویس برای سیالاتی که وارد فرآیند نمی‌شوند:
- گرمایش
- سرمایش
- سیال ضربه‌گیری
- کوئچ

#### ۱.۸.۶. طراحی مکانیکی لوله‌کشی یدکی

محدوده تامین و جزئیات لوله‌کشی یدکی و جزئیات اتصالات آن برای سرویس‌های خارجی، باید مورد توافق بین خریدار و سازنده/تهیه‌کننده باشد، ترجیحا باید مطابق با پیوست F باشد.

پس از تعیین، سیستم لوله‌کشی، شامل تمامی متعلقات، باید توسط سازنده/ تامین‌کننده پمپ تهیه شده و در صورت امکان به طور کامل بر روی پمپ مونتاژ شود.

لوله‌کشی باید طوری طراحی شود که اجازه حذف را برای تمیزکاری و تعمیر نگهداری بدهد و نیز باید به میزان کافی، جهت جلوگیری از آسیب‌های ارتعاشاتی تحت شرایط عادی و فعالیت‌های تعمیر و نگهداری تقویت شده باشد.

قطر داخلی لوله در کمترین حالت باید ۸ میلی‌متر و ضخامت دیواره آن ۱ میلی‌متر باشد. قطرها و ضخامت‌های بالاتر مورد دلخواه می‌باشد.

فشار و دمای نامی سیستم لوله‌کشی یدکی که سیالات فرآیندی به وسیله آن‌ها در گردش است نباید از فشار و دمای پوسته کمتر باشد. جنس لوله‌کشی باید طوری باشد که در برابر خوردگی ایجاد شده توسط سیال در گردش و شرایط محیطی مقاوم باشد.

سرویس لوله‌کشی باید برای دمای نامی و فشار طراحی مناسب طراحی شود.

محل تخلیه آب و خروجی نشتی‌ها باید در نقاط بسیار پایین، جهت تخلیه کامل، تعبیه شوند. لوله‌کشی باید طوری طراحی شود که از محبوس شدن گاز جلوگیری شود.

سرویس‌های حاوی بخاری باید به صورت ورود از بالا و خروج از کف باشند. به طور کلی دیگر سرویس‌ها باید به صورت ورود از کنار یا کف و خروج از بالا باشند.

در صورت تامین یک اریفیس محدود، قطر آن ترجیحا نباید کوچکتر از ۳ میلی‌متر باشد.

با استفاده از اریفیس‌های قابل تنظیم، کمینه جریان پیوسته باید تامین شود.

#### ۱.۹. برچسب‌ها

##### ۱.۹.۱. پلاک‌ها

پلاک‌ها باید از مواد مقاوم در برابر خوردگی، مناسب با شرایط محیطی ساخته شوند و نیز به طور محافظت‌شده‌ای به پمپ متصل شوند.

کمترین اطلاعات مورد نیاز بر روی پلاک‌ها باید نام و آدرس سازنده/تهیه‌کننده، شماره شناسایی پمپ(به عنوان مثال شماره سریال محصول)، مدل و اندازه باشد.

فضای بیشتر این پلاک باید به اطلاعات بیشتری مثل نرخ جریان، هد کلی پمپ، سرعت پمپ، قطر پروانه(حالت بیشینه و حالت نصبی)، فشار و دمای کاری مجاز بیشینه پمپ و یا دیگر نشانه‌های مورد نیاز تعلق یابد.

##### ۱.۹.۲. جهت چرخش

جهت چرخش باید در مکان مشخصی با یک فلش مناسب در یک فرم دائمی نشان داده شود.

## ۱.۱.۰. کوپلینگ‌ها

پمپ باید به صورت نرمال توسط یک کوپلینگ انعطاف‌پذیر به درایور خود نصب شود. کوپلینگ باید در ابعادی باشد که بیشینه گشتاور درایور مورد نظر را انتقال دهد. محدودیت‌های سرعت کوپلینگ باید با تمامی سرعت‌های درایور پمپ مورد نظر مطابقت داشته باشد.

یک کوپلینگ فاصله‌انداز با قطعه واسط، زمانی استفاده می‌شود که لازم باشد روتور پمپ بدون جابه‌جایی درایور، دمنواژ شود. طول کوپلینگ فاصله‌انداز به فاصله مورد نیاز بین دو انتهای شفت برای دمنواژ وابسته می‌باشد. فاصله دو انتهای شفت باید مطابق با یک استاندارد جهانی مثل ایزو ۲۸۵۸ باشد.

اگر اجزای کوپلینگ با یکدیگر در تماس باشند، محل مونتاژ صحیح باید با یک نشانه دائمی و واضح نشان داده شود. کوپلینگ-ها و فاصله‌اندازها باید دارای یک درجه بالانس یکسان مثل پروانه پمپ باشند.

غیرهم‌محوریت (انحراف) مجاز زاویه‌ای، محوری و شعاعی نباید از حد مجازی که توسط سازنده کوپلینگ داده شده است تجاوز کند. کوپلینگ‌ها باید در شرایطی انتخاب شوند که شرایط کاری مثل دما، اختلاف گشتاورها، تعداد استارت‌ها، بارهای لوله و صلیبت پمپ و صفحه فوندانسیون آن مورد محاسبه قرار گیرد.

گارد مناسب کوپلینگ باید تهیه گردد. این حفاظ و گارد باید با توجه به قوانین ایمنی جهانی طراحی شوند.

اگر پمپ بخواهد بدون درایور تحویل شود، موارد زیر باید بین سفارش‌دهنده و سازنده طی توافقاتی انتخاب شود:

الف) سیستم گرداننده: نوع، قدرت، ابعاد، جرم، روش سوار شدن (استقرار)

ب) کوپلینگ: نوع، سازنده، ابعاد، ماشین‌کاری، حفاظ

پ) محدوده سرعت و توان ورودی

## ۱.۱.۱. فوندانسیون (شاسی)

### ۱.۱.۱.۱. کلیات

در جایی که کاربردی باشد، ابعاد فوندانسیون باید با توجه به استاندارد جهانی باشد.

در صورتی که فوندانسیون به کار رفته برای پمپ‌های مطابق با ایزو ۲۸۵۸، مطابق با ایزو ۳۶۶۱ نباشد، باید مورد توافق قرار گیرد.

فوندانسیون باید طوری طراحی شود که نیروهای خارجی وارد بر انشعابات پمپ بدون تجاوز از مقادیر ارائه شده برای انحراف شفت داده شده در پیوست B باشد.

جنس فوندانسیون و نصب آن باید مورد توافق بین خریدار و سازنده باشد.

### ۱.۱.۱.۲. فوندانسیون‌های بدون ملاط (شاسی‌های بدون دوغاب‌ریزی)

شاسی‌های بدون دوغاب‌ریزی باید به میزان کافی جهت تحمل بارهای تشریح شده در قسمت ۴.۶ برای نصب آزاد و نصب به وسیله بولت بر روی فوندانسیون بدون ملاط سیمانی، دوام داشته و صلب باشند.

### ۱.۱.۱.۳. فوندانسیون‌های سیمانی (شاسی‌های دوغاب‌ریزی شده)

فوندانسیون‌های نیازمند ملاط باید طوری طراحی شود که از صحت دوغاب‌ریزی آن اطمینان حاصل شود، به عنوان مثال از محبوس شدن هوا باید جلوگیری شود.

در جایی که سوراخ‌ها بر روی سیمان مورد نیاز باشد، قطر این سوراخ‌ها نباید کوچکتر از ۱۰۰ میلی‌متر باشد.

### ۱.۱.۱.۴. طراحی فوندانسیون (طراحی شاسی)

تمهیداتی جهت تخلیه نشستی و خروجی‌های دیگر باید بر روی شاسی در کاربردهایی که سیالات خطرناک و کاربردهای مورد درخواست خریدار می‌باشد، مد نظر قرار گیرد. حداقل شیب ۱:۱۰۰ باید در جهت دریچه تخلیه رعایت شود.

اتصالات جهت تخلیه باید دارای سوراخ حداقل ۲۵ میلی‌متر با لبه برآمده به سمت پمپ بوده تا سبب تخلیه کامل شود.

### ۱.۱.۱.۵. مونتاژ پمپ و درایور بر روی فوندانسیون (شاسی)

- ۱.۱۱.۵.۱. تمهیداتی جهت تنظیم عمودی درایور و برای تعادل پمپ، باید در نظر گرفته شود. این تنظیم نباید کمتر از ۳ میلی‌متر بوده و باید به وسیله فاصله‌انداز و لایه فلزی ایجاد شود.
- ۱.۱۱.۵.۲. در صورتی که سفارش‌دهنده، کوپلینگ یا درایور را تامین کند، باید ابعاد مورد نیاز جهت نصب را برای سازنده/تامین‌کننده مهیا کند.
- اگر درایور توسط سازنده/تامین‌کننده پمپ سوار نشود، پیش‌تر باید یک فاصله‌انداز قابل حذف، برای تنظیم ارتفاع خط مرکز در صورت آن‌که نیاز به فاصله‌انداز یا لایه فلزی بیش از ۲۵ میلی‌متر باشد، باید تهیه شود. سوراخ‌های ثابت‌کننده درایور پیش از تایید دیگر موارد نباید سوراخ‌کاری شوند.
- ۱.۱۲. ابزار مخصوص
- هر ابزاری که برای تنظیم، مونتاژ یا دیمونتاژ پمپ مورد نیاز است باید توسط سازنده/تامین‌کننده تهیه شود.

## ۲. مواد

### ۲.۱. انتخاب مواد

مواد به طور عادی در صفحه داده‌ها اظهار می‌شوند. اگر مواد توسط خریدار انتخاب شوند اما سازنده/تامین‌کننده بر این نظر باشد که مواد دیگری مناسب‌تر می‌باشند، باید به صورت پیشنهاد دیگری توسط سازنده/تامین‌کننده با توجه به شرایط عملیاتی تعریف شده در داخل صفحه داده‌ها، ارائه شود.

برای سیالات خطرناک، سازنده/تامین‌کننده باید مواد مناسبی را با توافق سفارش‌دهنده پیشنهاد دهد. مواد غیرقابل شکل-پذیر (غیر چکش‌خوار) نباید برای قسمت‌های تحت فشار پمپ‌هایی که برای سیالات اشتعال‌پذیر طراحی شده‌اند، مورد استفاده قرار گیرند.

برای شرایط دما بالا یا پایین (بالای ۱۷۵ درجه سانتی‌گراد یا زیر منفی ۱۰ درجه سانتی‌گراد)، سازنده/تامین‌کننده پمپ باید ملاحظات اساسی را با توجه به طراحی مکانیکی، مورد نظر قرار دهد. برای مواد مورد استفاده در آب‌بند مکانیکی بخش ۴.۱۳.۳.۲ را ملاحظه نمایید.

### ۲.۲. ترکیب و کیفیت مواد

ترکیب شیمیایی، خواص مکانیکی، رفتار حرارتی و فرآیندهای جوشکاری باید مطابق با استانداردهای مناسب مواد باشد. زمانی که تست‌ها و گواهی‌نامه‌ها برای خواص اشاره شده در بالا مورد نیاز می‌شود، فرآیند باید مورد توافق بین خریدار و تامین‌کننده قرار گیرد.

### ۲.۳. تعمیرات

تعمیرات به وسیله جوشکاری یا دیگر فرآیندها باید به طور معینی وابسته به استانداردهای مناسب مواد باشد. تعمیر نشستی‌ها و نقص‌های موجود در قسمت‌های ریخته‌گری شده تحت فشار توسط درپوش‌گذاری، چکش‌زدن، نقاشی یا پرکردن ممنوع می‌باشد.

## ۳. تست‌ها و بازرسی‌های کارگاهی

### ۳.۱. کلیات

- ۳.۱.۱. یک یا تمامی بازرسی‌ها و تست‌های مطرح شده در زیر می‌تواند توسط خریدار درخواست شود و زمانی که مورد درخواست باشد باید در صفحه داده‌ها تعریف شود. بسیاری از این تست‌ها می‌تواند دارای گواهی‌نامه و مدرک باشد. صفحه نتایج تست‌های گواهی‌دار باید توسط بازرس و نماینده سازنده/تامین‌کننده امضاء شود. گواهی‌نامه‌ها باید توسط قسمت کنترل کیفیت سازنده/تامین‌کننده صادر شوند.

۳.۱.۲. زمانی که بازرسی تعیین می‌شود، بازرس خریدار باید اجازه انجام کارهای سازنده/تامین‌کننده را در زمان‌های مورد توافق دوجانبه بدهد و همچنین امکانات و داده‌های منطقی جهت یک بازرسی رضایت‌بخش باید فراهم شود.

### ۳.۲. بازرسی

۳.۲.۱. قسمت‌های تحت فشار نباید جز در مورد آستر ضدخوردگی، پیش از اتمام تست و بازرسی، رنگ شوند.

۳.۲.۲. بازرسی‌های زیر می‌تواند مورد نیاز باشد:

الف) امتحان اجزاء قبل از مونتاژ

ب) آزمایش داخلی پوسته و رینگ‌های سایشی پس از تست عملکرد

پ) ابعاد نصب

ت) اطلاعات بر روی پلاک اسم

ج) لوله‌کشی یدکی و تجهیزات اضافی

### ۳.۳. تست‌ها

۳.۳.۱. کلیات

خریدار باید میزان مشارکت دلخواه خویش را در تست‌ها تعیین کند.

الف) تست‌های دارای گواهی به این معناست که یک توقف در برنامه زمان‌بندی محصول انجام شده و تست‌ها با حضور سفارش‌دهنده (خریدار) انجام می‌شود. این موضوع به طور معمول نیازمند تست‌های دبل می‌باشد.

ب) تست‌های مشاهده‌ای به این معناست که خریدار نیازمند یادآوری زمان تست می‌باشد. به هر حال تست بر اساس برنامه زمان‌بندی انجام می‌شود، که در صورت عدم حضور خریدار، مراحل توسط سازنده/تامین‌کننده ادامه می‌یابد. چون یک تست برنامه‌ریزی شده است، خریدار باید زمان بیشتری از زمان انتظار برای یک تست گواهی‌دار را منتظر بماند.

۳.۳.۲. تست مواد

گواهی‌نامه تست‌های زیر باید در صورت درخواست یا دستور خریدار در دسترس باشند:

الف) ترکیبات شیمیایی: با توجه به استاندارد تعریف‌شده توسط سازنده یا نمونه مذاب

ب) خواص مکانیکی: با توجه به استاندارد تعریف شده توسط سازنده یا نمونه مذاب و رفتار حرارتی

پ) حساسیت به تخریب دانه‌بندی داخلی مواد

ت) تست‌های غیرمخرب (نشتی، التراسونیک، نفوذکننده‌های رنگی، ذرات مغناطیسی، رادیوگرافی، شناسایی اسپکتروسکوپی و غیره....)

۳.۳.۳. تست هیدرواستاتیک

۳.۳.۳.۱. تمامی قسمت‌های تحت فشار، شامل بست‌هایشان باید با آب تمیز در دمای محیط (۱۵ درجه سانتی‌گراد برای

کربن‌استیل) مورد تست هیدرواستاتیک قرار گیرند. تست هیدرواستاتیک زمانی رضایت‌بخش است که فشار

تست حداقل در حدود ۱۰ دقیقه بدون هیچ نشتی قابل مشاهده‌ای ثابت باشد. نشتی‌ها و اشراها در دریچه‌های

موقتی به شرطی قابل قبول می‌باشد که مانعی برای مشاهده دیگر نشتی‌ها نشود.

۳.۳.۳.۲. مراقبت زیادی باید در انتخاب طرح دریچه‌ها شود تا از بار اضافی و یا مانع برای قسمت‌های تحت تست با اثر

افزایش و یا کاهش تنش و تغییر شکل ناشی از فشار تست جلوگیری شود.

۳.۳.۳.۳. فشار تست برای تمامی قسمت‌های تحت فشار که در معرض سیال پمپ‌شونده قرار می‌گیرند شامل بخش (a)

(قسمت ۴.۱۳.۵.۲) لوله‌کشی یدکی، باید حداقل ۱.۵ برابر بیشینه فشارکاری مجاز پمپ باشد.

۳.۳.۳.۴. فشار تست برای بوش‌ها و لوله‌کشی‌های یدکی با توجه به بخش (B) (قسمت ۴.۱۳.۵.۲) باید حداقل ۱.۵ برابر

بیشینه فشار کاری مجاز باشد.

۳.۳.۳.۵. جایی که یک قطعه تست می‌شود باید در دمایی باشد که مقاومت ماده زیر مقاومت ماده در دمای اتاق باشد. فشار تست هیدرواستاتیک باید ۱.۵ برابر بیشینه فشارکاری مجاز تنظیم شده با دمای اتاق باشد که با استفاده از منحنی فشار دما برای اجزاء به دست می‌آید. به جز اینکه تست هیدرواستاتیک در دمای بالابرده شده انجام شود. صفحه داده‌ها باید شامل فشارهای حقیقی تست هیدرواستاتیک باشد.

۳.۳.۳.۶. اگر یک تست هیدرواستاتیک برای یک پمپ کاملاً مونتاژ شده تعریف شود، از فشار بیش از اندازه بر روی اتصالات کمکی مثل پکینگ‌های آب‌بندی یا آب‌بندهای مکانیکی باید خودداری شود. نشستی از پکینگ‌های نرم یا آب‌بندهای مکانیکی موقتی مورد قبول می‌باشد.

۳.۳.۴. تست عملکرد

۳.۳.۴.۱. روش تبدیل برای تست سیالاتی به جز آب سرد تمیز و برای شرایط عملیاتی متفاوت باید بین خریدار و سازنده/تامین‌کننده مورد توافق قرار گیرد.

۳.۳.۴.۲. تست‌های عملکرد هیدرولیکی باید مطابق با ایزو ۹۹۰۶ باشند. خریدار و سازنده/تامین‌کننده باید بر روی درجه تست توافق داشته باشند.

۳.۳.۴.۳. در صورت لزوم، تست NPSH باید مطابق با ایزو ۹۹۰۶ انجام شود.

۳.۳.۴.۴. در حین تست‌های عملکرد، شرایط اضافی زیر نیز باید کنترل شوند:

- ارتعاشات

- دمای یاتاقان

- نشستی آب‌بند

۳.۳.۴.۵. در صورت نیاز به تست صدا، تست صدای انتقال داده شده به وسیله هوای منتشر شده توسط پمپ مطابق با ایزو ۳۷۴۴، ایزو ۳۷۴۶، ایزو ۹۶۱۴-۱ یا ایزو ۹۶۱۴-۲ با توافق بین خریدار و سازنده/تامین‌کننده، باید انجام شود.

### ۳.۴. بازرسی نهایی

هدف بازرسی نهایی آن است که کنترل شود که وسیله تامین‌شده به صورت صحیح و کامل، مطابق با دستور سفارش-دهنده (خریدار) که شامل شناسایی اجزاء، رنگ آمیزی، محافظت و مستندسازی می‌باشد، باشد.

نوشته: عباس قلی‌نژاد

## اخبار جهان پمپ ۲

### فروش ۱۶ میلیاردی پمپ‌های صنعتی آسیا در ۲۰۱۲

فروش پمپ‌های صنعتی در سال ۲۰۱۲ در آسیا از مرز ۱۶ میلیارد دلار خواهد گذشت. آسیا بر بیش از ۴۰ درصد سهم بازار فروش پمپ در دنیا حساب می‌کند. این در شرایطی است که قیمت یک پمپ در چین در حدود ۶۵ درصد پمپ مشابه خود از لحاظ کیفیت در آمریکا، ژاپن یا اروپا می‌باشد. با این حال، در سال گذشته، کمپانی‌های آسیایی تنها توانستند ۳۰ درصد بازار فروش پمپ را نصیب خود کنند. فاصله زیادی میان قیمت‌های وابسته به کیفیت و توانایی پمپ‌سازان آسیایی در رقابت با دیگر همتایان جهانی آن‌ها وجود دارد. پمپ‌های مطابق با استاندارد API 674 با قیمتی نزدیک به قیمت جهانی خود فروخته می‌شوند. این درحالی است که پمپ‌های با توان عملیاتی پایین، با قیمتی در حدود ۴۰ درصد قیمت جهانی خود به فروش می‌رسند. به سبب همین تفاوت قیمت‌ها، سال ۲۰۱۲ سال بسیار خوبی برای صنعت پمپ‌سازی آسیا پیش‌بینی می‌شود.

#### صنایع استفاده‌کننده

|                    |             |
|--------------------|-------------|
| ۱۰۳۳ (میلیون دلار) | شیمیایی     |
| ۱۰۹                | الکترونیک   |
| ۲۱۹                | کنترل غذایی |
| ۲۰۲                | غذا         |
| ۳۱۶                | فلزی        |
| ۳۸۴                | معدن        |
| ۶۱۵                | نفت و گاز   |
| ۲۳۷۶               | دیگر صنایع  |
| ۱۷۴                | دارویی      |
| ۱۸۹۰               | تولید قدرت  |
| ۳۸۶                | چوب و کاغذ  |
| ۸۸۷                | پالایشگاه   |
| ۱۱۵۱               | سنگ         |
| ۳۰۴۰               | فاضلاب      |
| ۳۱۸۲               | آب          |
| ۱۵۹۶۴              | مجموع       |

منبع خبر: <http://impeller.net>

## نیروها و گشتاورهای انشعابات (نازل‌ها) خارجی

### (برگرفته از استاندارد API 610)

- پمپ‌های افقی ساخته شده از فولاد یا آلیاژهای فولادی و شاسی‌های آن‌ها و پمپ‌های معلق عمودی، باید جهت عملکردی رضایت‌بخش، با توجه به معیارهای ذکر شده در جدول‌های ۱ و ۲، طراحی شوند. در پمپ‌های افقی دو اثر از بارهای نازل در نظر گرفته می‌شوند: شکستگی پوسته پمپ و هم‌راستا نبودن شفت و موتور.
- گشتاورها و نیروهای مجاز برای پمپ‌های خطی عمودی، باید ۲ برابر مقدار موجود در جداول ۱ و ۲ برای کانال‌های تخلیه خروجی باشد.
- برای پوسته پمپ‌هایی که از موادی به جز فولاد و یا آلیاژهای فولادی ساخته شده و یا پمپ‌هایی که نازل آن‌ها بزرگتر از DN400 باشد، فروشنده باید میزان بار نازل را با توجه به جداول ۱ و ۲ تهیه نماید.

#### جدول ۱- بارهای نازل

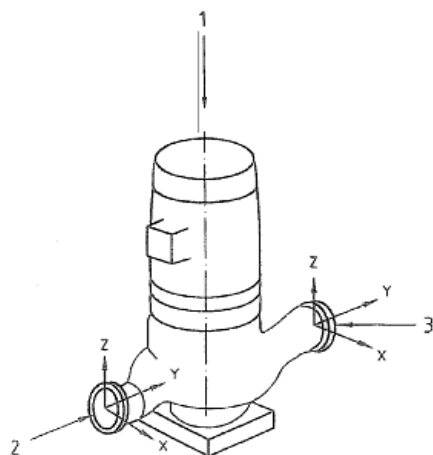
| واحدهای استاندارد (SI) |      |      |      |      |      |       |       |       |    |
|------------------------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|----|
| اندازه نامی فلنج (DN)  |      |      |      |      |      |       |       |       |    |
| کمتر از ۵۰             | ۸۰   | ۱۰۰  | ۱۵۰  | ۲۰۰  | ۲۵۰  | ۳۰۰   | ۳۵۰   | ۴۰۰   |    |
| نیرو (نیوتن)           |      |      |      |      |      |       |       |       |    |
| هر انشعاب بالایی       |      |      |      |      |      |       |       |       |    |
| ۷۱۰                    | ۱۰۷۰ | ۱۴۲۰ | ۲۴۹۰ | ۳۷۸۰ | ۵۳۴۰ | ۶۶۷۰  | ۷۱۲۰  | ۸۴۵۰  | FX |
| ۵۸۰                    | ۸۹۰  | ۱۱۶۰ | ۲۰۵۰ | ۳۱۱۰ | ۴۴۵۰ | ۵۳۴۰  | ۵۷۸۰  | ۶۶۷۰  | FY |
| ۸۹۰                    | ۱۳۳۰ | ۱۷۸۰ | ۳۱۱۰ | ۴۸۹۰ | ۶۶۷۰ | ۸۰۰۰  | ۸۹۰۰  | ۱۰۲۳۰ | FZ |
| ۱۲۸۰                   | ۱۹۳۰ | ۲۵۶۰ | ۴۴۸۰ | ۶۹۲۰ | ۹۶۳۰ | ۱۱۷۰۰ | ۱۲۷۸۰ | ۱۴۸۵۰ | FR |
| هر انشعاب کناری        |      |      |      |      |      |       |       |       |    |
| ۷۱۰                    | ۱۰۷۰ | ۱۴۲۰ | ۲۴۹۰ | ۳۷۸۰ | ۵۳۴۰ | ۶۶۷۰  | ۷۱۲۰  | ۸۴۵۰  | FX |
| ۵۸۰                    | ۸۹۰  | ۱۱۶۰ | ۲۰۵۰ | ۳۱۱۰ | ۴۴۵۰ | ۵۳۴۰  | ۵۷۸۰  | ۶۶۷۰  | FY |
| ۸۹۰                    | ۱۳۳۰ | ۱۷۸۰ | ۳۱۱۰ | ۴۸۹۰ | ۶۶۷۰ | ۸۰۰۰  | ۸۹۰۰  | ۱۰۲۳۰ | FZ |
| ۱۲۸۰                   | ۱۹۳۰ | ۲۵۶۰ | ۴۴۸۰ | ۶۹۲۰ | ۹۶۳۰ | ۱۱۷۰۰ | ۱۲۷۸۰ | ۱۴۸۵۰ | FR |
| هر انشعاب انتهایی      |      |      |      |      |      |       |       |       |    |
| ۸۹۰                    | ۱۳۳۰ | ۱۷۸۰ | ۳۱۱۰ | ۴۸۹۰ | ۶۶۷۰ | ۸۰۰۰  | ۸۹۰۰  | ۱۰۲۳۰ | FX |
| ۷۱۰                    | ۱۰۷۰ | ۱۴۲۰ | ۲۴۹۰ | ۳۷۸۰ | ۵۳۴۰ | ۶۶۷۰  | ۷۱۲۰  | ۸۴۵۰  | FY |
| ۵۸۰                    | ۸۹۰  | ۱۱۶۰ | ۲۰۵۰ | ۳۱۱۰ | ۴۴۵۰ | ۵۳۴۰  | ۵۷۸۰  | ۶۶۷۰  | FZ |
| ۱۲۸۰                   | ۱۹۳۰ | ۲۵۶۰ | ۴۴۸۰ | ۶۹۲۰ | ۹۶۳۰ | ۱۱۷۰۰ | ۱۲۷۸۰ | ۱۴۸۵۰ | FR |
| گشتاور (نیوتن * متر)   |      |      |      |      |      |       |       |       |    |
| هر انشعاب              |      |      |      |      |      |       |       |       |    |
| ۴۶۰                    | ۹۵۰  | ۱۳۳۰ | ۲۳۰۰ | ۳۵۳۰ | ۵۰۲۰ | ۶۱۰۰  | ۶۳۷۰  | ۷۳۲۰  | MX |
| ۲۳۰                    | ۴۷۰  | ۶۸۰  | ۱۱۸۰ | ۱۷۶۰ | ۲۴۴۰ | ۲۹۸۰  | ۳۱۲۰  | ۳۶۶۰  | MY |
| ۳۵۰                    | ۷۲۰  | ۱۰۰۰ | ۱۷۶۰ | ۲۵۸۰ | ۳۸۰۰ | ۴۶۱۰  | ۴۷۵۰  | ۵۴۲۰  | MZ |
| ۶۲۰                    | ۱۲۸۰ | ۱۸۰۰ | ۳۱۳۰ | ۴۷۱۰ | ۶۷۵۰ | ۸۲۱۰  | ۸۵۴۰  | ۹۸۲۰  | MR |

جدول ۲- بارهای نازل

| واحدهای عرف ایالات متحده |      |      |      |      |      |      |     |           |    |
|--------------------------|------|------|------|------|------|------|-----|-----------|----|
| اندازه نامی فلنچ (NPS)   |      |      |      |      |      |      |     |           |    |
| ۱۶                       | ۱۴   | ۱۲   | ۱۰   | ۸    | ۶    | ۴    | ۳   | کمتر از ۲ |    |
| نیرو (پوند)              |      |      |      |      |      |      |     |           |    |
| هر انشعاب بالایی         |      |      |      |      |      |      |     |           |    |
| ۱۹۰۰                     | ۱۶۰۰ | ۱۵۰۰ | ۱۲۰۰ | ۸۵۰  | ۵۶۰  | ۳۲۰  | ۲۴۰ | ۱۶۰       | FX |
| ۱۵۰۰                     | ۱۳۰۰ | ۱۲۰۰ | ۱۰۰۰ | ۷۰۰  | ۴۶۰  | ۲۶۰  | ۲۰۰ | ۱۳۰       | FY |
| ۲۳۰۰                     | ۲۰۰۰ | ۱۸۰۰ | ۱۵۰۰ | ۱۱۰۰ | ۷۰۰  | ۴۰۰  | ۳۰۰ | ۲۰۰       | FZ |
| ۳۳۰۰                     | ۲۹۰۰ | ۲۶۰۰ | ۲۲۰۰ | ۱۵۶۰ | ۱۰۱۰ | ۵۷۰  | ۴۳۰ | ۲۹۰       | FR |
| هر انشعاب کناری          |      |      |      |      |      |      |     |           |    |
| ۱۹۰۰                     | ۱۶۰۰ | ۱۵۰۰ | ۱۲۰۰ | ۸۵۰  | ۵۶۰  | ۳۲۰  | ۲۴۰ | ۱۶۰       | FX |
| ۲۳۰۰                     | ۲۰۰۰ | ۱۸۰۰ | ۱۵۰۰ | ۱۱۰۰ | ۷۰۰  | ۴۰۰  | ۳۰۰ | ۲۰۰       | FY |
| ۱۵۰۰                     | ۱۳۰۰ | ۱۲۰۰ | ۱۰۰۰ | ۷۰۰  | ۴۶۰  | ۲۶۰  | ۲۰۰ | ۱۳۰       | FZ |
| ۳۳۰۰                     | ۲۹۰۰ | ۲۶۰۰ | ۲۲۰۰ | ۱۵۶۰ | ۱۰۱۰ | ۵۷۰  | ۴۳۰ | ۲۹۰       | FR |
| هر انشعاب انتهایی        |      |      |      |      |      |      |     |           |    |
| ۲۳۰۰                     | ۲۰۰۰ | ۱۸۰۰ | ۱۵۰۰ | ۱۱۰۰ | ۷۰۰  | ۴۰۰  | ۳۰۰ | ۲۰۰       | FX |
| ۱۹۰۰                     | ۱۶۰۰ | ۱۵۰۰ | ۱۲۰۰ | ۸۵۰  | ۵۶۰  | ۳۲۰  | ۲۴۰ | ۱۶۰       | FY |
| ۱۵۰۰                     | ۱۳۰۰ | ۱۲۰۰ | ۱۰۰۰ | ۷۰۰  | ۴۶۰  | ۲۶۰  | ۲۰۰ | ۱۳۰       | FZ |
| ۳۳۰۰                     | ۲۹۰۰ | ۲۶۰۰ | ۲۲۰۰ | ۱۵۶۰ | ۱۰۱۰ | ۵۷۰  | ۴۳۰ | ۲۹۰       | FR |
| گشتاور (پوند * فوت)      |      |      |      |      |      |      |     |           |    |
| هر انشعاب                |      |      |      |      |      |      |     |           |    |
| ۵۴۰۰                     | ۴۷۰۰ | ۴۵۰۰ | ۳۷۰۰ | ۲۶۰۰ | ۱۷۰۰ | ۹۸۰  | ۷۰۰ | ۳۴۰       | MX |
| ۲۷۰۰                     | ۲۳۰۰ | ۲۲۰۰ | ۱۸۰۰ | ۱۳۰۰ | ۸۷۰  | ۵۰۰  | ۳۵۰ | ۱۷۰       | MY |
| ۴۰۰۰                     | ۳۵۰۰ | ۳۴۰۰ | ۲۸۰۰ | ۱۹۰۰ | ۱۳۰۰ | ۷۴۰  | ۵۳۰ | ۲۶۰       | MZ |
| ۷۲۰۰                     | ۶۳۰۰ | ۶۱۰۰ | ۵۰۰۰ | ۳۵۰۰ | ۲۳۱۰ | ۱۳۳۰ | ۹۵۰ | ۴۶۰       | MR |

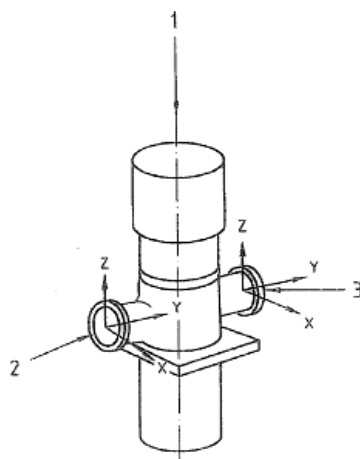
- توسط سیستم مختصات نشان داده شده در شکل‌های ۱ تا ۵، مختصات مورد استفاده در نیروها و گشتاورهای جداول ۱ و ۲ را مشاهده می‌کنید.





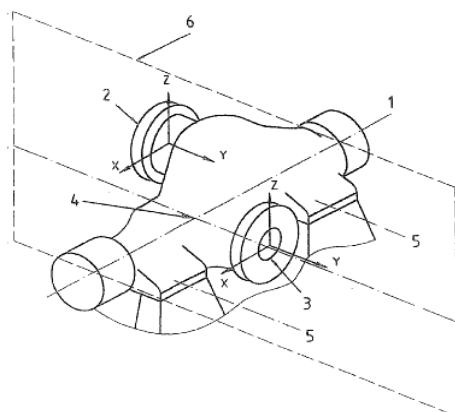
- 1 shaft centreline
- 2 discharge
- 3 suction

شکل ۱- پمپ عمودی خطی



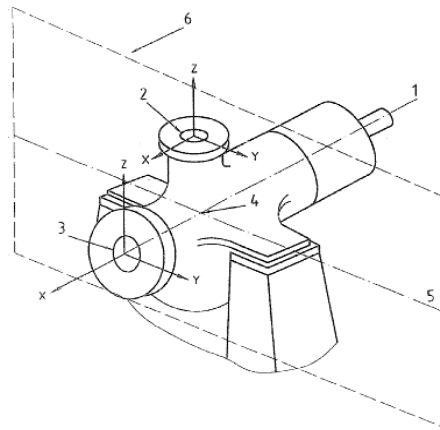
- 1 shaft centreline
- 2 discharge
- 3 suction

شکل ۲ - پمپ عمودی معلق محفظه دابل



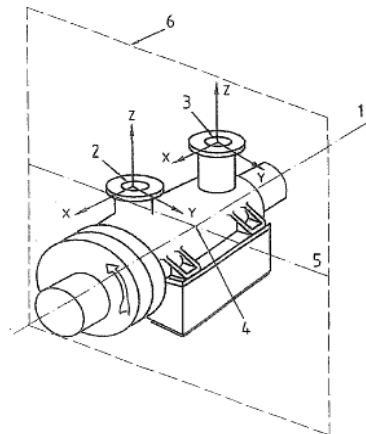
- 1 shaft centreline
- 2 discharge nozzle
- 3 suction nozzle
- 4 centre of pump
- 5 pedestal centreline
- 6 vertical plane

شکل ۳- پمپ افقی با دریچه مکش و تخلیه کناری



- 1 shaft centreline
- 2 discharge nozzle
- 3 suction nozzle
- 4 centre of pump
- 5 pedestal centreline
- 6 vertical plane

شکل ۴- پمپ افقی با دریچه مکش از انتها و دریچه تخلیه از بالا



- 1 shaft centreline
- 2 discharge nozzle
- 3 suction nozzle
- 4 centre of pump
- 5 pedestal centreline
- 6 vertical plane

شکل ۵- پمپ افقی با دریچه بالایی

## ۲. روش‌های محاسبه بارهای نازل (معیارهای طراحی لوله‌کشی)

### ۲.۱. پمپ‌های افقی

اشکال مورد قبول در لوله‌کشی نباید سبب ایجاد عدم هم‌راستایی پمپ و الکتروموتور شوند. اشکال لوله‌کشی که سبب ایجاد مولفه بار نازل در محدوده تعریف‌شده در جدول (۱) می‌شوند، میزان انحراف پوسته را به میزان نصف مقادیر معیارهای طراحی فروشنده پمپ محدود کرده و به ما این اطمینان را می‌دهد که میزان جابه‌جایی شفت کمتر از ۲۵۰ میکرومتر خواهد بود. تک‌تک مولفه نیروها و گشتاورهای وارد بر فلنج نازل پمپ، نباید از محدوده ذکر شده در جدول شماره (۱) با فاکتور بیشتر از ۲ تجاوز کنند.

نیروهای کاربردی برآیند  $(F_{RSA}, F_{RDA})$  و گشتاورهای کاربردی برآیند  $(M_{RSA}, M_{RDA})$  که بر روی هر فلنج نازل پمپ وارد می‌شوند باید روابط زیر را ارضاء کنند.

$$\left[ \frac{F_{RSA}}{1.5 * F_{RST4}} \right] + \left[ \frac{M_{RSA}}{1.5 * M_{RST4}} \right] \leq 2 \quad (1)$$

$$\left[ \frac{F_{RDA}}{1.5 * F_{RDT4}} \right] + \left[ \frac{M_{RDA}}{1.5 * M_{RDT4}} \right] \leq 2 \quad (۲)$$

گشتاورها و نیروهای مولفه‌های کاربردی که بر هر یک از فلنچ‌های نازل‌های پمپ اعمال می‌شوند باید به مرکز پمپ برگردان شوند. شدت نیروی کاربردی برآیند  $(F_{RCA})$ ، گشتاور کاربردی برآیند  $(M_{RCA})$  و گشتاور کاربردی باید در روابط زیر صدق کنند:

$$F_{RCA} < 1.5(F_{RST4} + F_{RDT4}) \quad (۳)$$

$$|M_{YCA}| < 2(M_{YST4} + M_{YDT4}) \quad (۴)$$

$$M_{RCA} < 1.5(M_{RST4} + M_{RDT4}) \quad (۵)$$

که در آن:

$$F_{RCA} = [(F_{XCA})^2 + (F_{YCA})^2 + (F_{ZCA})^2]^{0.5} \quad (۶)$$

و در آن:

$$F_{XCA} = F_{XSA} + F_{XDA} \quad (۷)$$

$$F_{YCA} = F_{YSA} + F_{YDA} \quad (۸)$$

$$F_{ZCA} = F_{ZSA} + F_{ZDA} \quad (۹)$$

$$M_{RCA} = [(M_{XCA})^2 + (M_{YCA})^2 + (M_{ZCA})^2]^{0.5} \quad (۱۰)$$

که در آن:

$$M_{XCA} = M_{XSA} + M_{XDA} - [(F_{YSA})(zS) + (F_{YDA})(zD) - (F_{ZSA})(yS) - (F_{ZDA})(yD)]/1000 \quad (۱۱)$$

$$M_{YCA} = M_{YSA} + M_{YDA} - [(F_{XSA})(zS) + (F_{XDA})(zD) - (F_{ZSA})(xS) - (F_{ZDA})(xD)]/1000 \quad (۱۲)$$

$$M_{ZCA} = M_{ZSA} + M_{ZDA} - [(F_{XSA})(yS) + (F_{XDA})(yD) - (F_{YSA})(xS) - (F_{YDA})(xD)]/1000 \quad (۱۳)$$

فاکتور ۱۰۰۰ که در روابط بالا مشاهده می‌شود، ضریب تبدیل میلی‌متر به متر و یا اینچ به فوت می‌باشد که در واحدهای انگلیسی از ۱۰۰۰ به ۱۲ تغییر می‌کند.

مقادیر بار نازلی که از مقادیر به دست آمده توسط روابط بالا بیشتر شود، باید بین خریدار و فروشنده مورد توافق قرار گیرد.

## ۲.۲. پمپ‌های عمودی در خط

پمپ‌های عمودی در خط تنها به وسیله لوله‌کشی تقویت می‌شوند که در حدود دو برابر مقدار بار لوله‌کشی که در جداول آورده شده است، مقاومت دارند. در صورتی که این بارها سبب یک تنش اساسی بزرگتر از ۴۱ نیوتن بر میلی‌متر مربع در خروجی نشود. روابط ۱۴، ۱۵ و ۱۶ برای تخمین میزان تنش اساسی، تنش طولی و تنش برشی با توجه به نازل، استفاده می‌شوند. برای سیستم SI خواهیم داشت:

$$\sigma_p = \left( \frac{\sigma}{2} \right) + \left( \frac{\sigma^2}{4} + \tau^2 \right)^{0.5} < 41 \quad (۱۴)$$

$$\sigma_l = \left[ \frac{1.27 * F_Y}{D_0^2 - D_i^2} \right] + \left[ 10200 * D_0 (M_x^2 + M_z^2)^{0.5} \right] / (D_0^4 - D_i^4) \quad (۱۵)$$

$$\tau = \frac{[1.27 * (F_x^2 + F_z^2)^{0.5}]}{D_0^2 - D_i^2} + \frac{[5100 * D_0 (|M_Y|)]}{(D_0^4 - D_i^4)} \quad (۱۶)$$

برای سیستم USC خواهیم داشت:

$$\sigma_p = \left( \frac{\sigma}{2} \right) + \left( \frac{\sigma^2}{4} + \tau^2 \right)^{0.5} < 5990 \quad (۱۷)$$

$$\sigma_l = \left[ \frac{1.27 * F_Y}{D_0^2 - D_i^2} \right] + \left[ 122 * D_0 (M_x^2 + M_z^2)^{0.5} \right] / (D_0^4 - D_i^4) \quad (۱۸)$$

$$\tau = \frac{[1.27 * (F_x^2 + F_z^2)^{0.5}]}{D_0^2 - D_i^2} + \frac{[61 * D_0 (|M_Y|)]}{(D_0^4 - D_i^4)} \quad (۱۹)$$

که در آن ها  $\sigma_p$  تنش اصلی بر حسب مگاپاسکال،  $\sigma_l$  تنش طولی بر حسب مگاپاسکال،  $\tau$  تنش برشی بر حسب مگاپاسکال،  $F_x$  نیروی وارد بر محور  $x$ ،  $F_Y$  نیروی وارد بر محور  $Y$ ،  $F_z$  نیروی وارد بر محور  $z$ ،  $M_x$  گشتاور حول محور  $x$ ،  $M_Y$  گشتاور حول محور  $Y$ ،  $M_z$  گشتاور حول محور  $z$  و  $D_0$  و  $D_i$  نیز قطرهای خارجی و داخلی نازل بر حسب میلی متر می باشند.

نوشته: عباس قلی نژاد

## 📖 انواع فرآیندهای جوشکاری

در این مقاله به بررسی انواع فرآیندهای جوشکاری و توضیح مفصل ۳ فرآیند حیاتی جوشکاری قوس الکتریکی با گاز محافظ (MIG)، جوشکاری قوس تنگستن تحت پوشش گاز محافظ (TIG) و جوشکاری با قوس الکتریکی و الکتروود پوشش‌دار می‌پردازیم. امید است که این مقاله جهت یادآوری پارامترهای مهم فرآیند جوشکاری، نکات کلیدی و تئوری‌های موثر مفید واقع شود.

### ۱. فرآیندهای جوشکاری

در یک تقسیم‌بندی کلی، پدیده اتصال حرارتی به فرآیندهای زیر، تقسیم‌بندی می‌شود:

- جوشکاری با پرتوی الکترونی
- لحیم‌کاری سخت در کوره<sup>۱</sup>
- جوشکاری قوس الکتریکی با گاز محافظ (MIG)<sup>۲</sup>
- لحیم‌کاری سخت با شعله<sup>۳</sup>
- جوشکاری قوس الکتریکی با گاز محافظ (TIG)<sup>۴</sup>
- جوشکاری با پرتوی لیزر<sup>۵</sup>
- لحیم‌کاری غوطه‌وری<sup>۶</sup>
- جوشکاری با قوس پلاسما<sup>۷</sup>
- نقطه جوش برجسته<sup>۸</sup>
- جوشکاری با قوس الکتریکی و الکتروود پوشش‌دار<sup>۹</sup>
- نقطه جوش<sup>۱۰</sup>
- جوشکاری زیرپودری<sup>۱۱</sup>
- لحیم‌کاری مدارات الکترونیکی<sup>۱۲</sup>

با توجه به این طبقه‌بندی، در زیر به بررسی اجمالی هر یک از این فرآیندها می‌پردازیم:

#### ۱.۱. جوشکاری قوس الکتریکی با گاز محافظ (MIG)

این نوع جوشکاری، یک روش جوشکاری با قوس الکتریکی است که الکتروود مصرف‌شدنی داشته و پوششی از یک گاز خنثی، محفظه جوشکاری را حفاظت می‌کند. واژه MIG از عبارت Metal Inert Gas گرفته شده است.

##### ۱.۱.۱. ویژگی‌های فرآیند

- در این فرآیند، الکتروود علاوه بر ایجاد قوس الکتریکی، به عنوان سیم‌جوش، ذوب شده و درز جوش را پر می‌کند،
- پوششی از گاز محافظ در این روش استفاده می‌شود،

<sup>1</sup> Furnace Brazing

<sup>2</sup> MIG

<sup>3</sup> Gas torch braze welding

<sup>4</sup> TIG

<sup>5</sup> Laser Beam Welding

<sup>6</sup> Metal bath dip soldering

<sup>7</sup> Plasma Arc Welding

<sup>8</sup> Projection Welding

<sup>9</sup> Shielded Metal Arc Welding

<sup>10</sup> Spot Welding

<sup>11</sup> Submerged Arc Welding

<sup>12</sup> Wave Soldering

- گرده جوش حاصل، یکنواخت است،
- در این عملیات، گل جوش به وجود نمی‌آید،
- این فرآیند معمولاً برای جوشکاری اتوماتیک مورد استفاده قرار می‌گیرد.



شکل ۱- نمونه‌ای از جوش به روش MIG

#### ۱.۱.۲ ماشین و تجهیزات

تجهیزات مورد نیاز در این روش عبارتند از:

- یک ماشین جوشکاری که جریان الکتریکی قابل تنظیم برای الکتروود را تامین می‌کند
- یک مکانیزم جلوبرنده سیم‌جوش که الکتروود را با سرعت قابل تنظیم هدایت می‌کند
- یک تفنگ جوشکاری که در دست اپراتور قرار دارد و سیم جوش از داخل آن به طرف موضع جوش رانده می‌شود
- کپسول گاز محافظ که آرگون و هلیوم از در دسترس‌ترین این گازها می‌باشند. دی‌اکسیدکربن نیز به دلیل قیمت مناسب، در این روش کاربرد زیادی دارد.

#### ۱.۱.۳ قابلیت‌های فرآیند

در صورتی که فضای کافی جهت هدایت و حرکت تفنگ جوشکاری وجود داشته باشد، تقریباً هر فرم اتصالی را می‌توان با این روش، جوشکاری نمود. ضخامت قطعاتی که با این روش جوشکاری می‌شوند، معمولاً بین ۰.۱۲۵ تا ۱ اینچ می‌باشند. در شرایط خاص، این ضخامت از ۰.۰۲ تا ۲.۵ اینچ متغیر می‌باشد.

#### ۱.۱.۴ کیفیت جوشکاری

کیفیت این نوع جوشکاری، تقریباً مشابه کیفیت دیگر روش‌های جوشکاری با قوس الکتریکی و حتی بهتر است. عیوب ممکن در این روش، در جدول زیر مشاهده می‌شود:

جدول ۱- عیوب روش جوشکاری MIG

| نوع عیب              | علل ممکن                                                                          | اثرات نامطلوب                                           |
|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| ترک                  | تنش‌های مکانیکی، تنش‌های حرارتی، وجود ناخالصی در عناصر آلیاژی قطعه کار یا سیم جوش | کاهش استحکام قطعه، جوشکاری نامطلوب                      |
| حفره (تخلخل)         | ناکافی بودن گاز محافظ، به تله افتادن گاز درون درز جوش                             | کاهش استحکام جوشکاری                                    |
| گرده جوش خشن         | جریان بالای الکتریکی                                                              | ظاهر بد                                                 |
| عدم ذوب کامل سیم جوش | سطوح کثیف قطعه کار، سرعت زیاد جوشکاری                                             | کاهش استحکام استاتیک، احتمال ایجاد تنش، جوشکاری نامطلوب |

#### ۱.۱.۵ انواع گازهای محافظ

در جدول زیر انواع گازهای محافظ در این روش و مزایا و ویژگی‌های هر یک را مشاهده می‌نمایید:

جدول ۲- انواع گازهای محافظ، مزایا و ویژگی‌های آن‌ها

| نوع گاز       | ویژگی‌ها و کاربردها                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|---------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| آرگون         | <ul style="list-style-type: none"> <li>- بهترین گاز برای جوشکاری انواع فلزات</li> <li>- مناسب برای جوشکاری با جریان الکتریکی پایین</li> <li>- برقراری آسان قوس الکتریکی، ایجاد قوسی پایدار و یکنواخت</li> <li>- مناسب برای جوشکاری فولاد نرم، آلومینیوم، تیتانیوم و فولادهای آلیاژی</li> </ul> |
| هلیوم         | <ul style="list-style-type: none"> <li>- امکان برقراری جریان گاز به اندازه ۱.۵ تا ۳ برابر جریان گاز آرگون</li> <li>- جوشکاری سریع فولاد نرم و تیتانیوم</li> <li>- ناحیه متأثر از حرارت با استفاده از این گاز کوچکتر می‌شود</li> <li>- مناسب برای جوشکاری فولاد زنگ نزن و مس</li> </ul>         |
| دی‌اکسید کربن | <ul style="list-style-type: none"> <li>- معمولاً به عنوان گاز مخلوط شونده با گازهای دیگر به کار می‌رود</li> <li>- مناسب برای جوشکاری فولادهای کربنی و کم آلیاژ</li> </ul>                                                                                                                      |

۱.۱.۶ اثرات جوشکاری MIG بر خواص ماده

جدول ۳- اثرات جوشکاری MIG بر خواص ماده

| خواص ماده | اثرات جوشکاری MIG بر خواص ماده                                                                                        |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| مکانیکی   | احتمال سخت شدن قطعه کار، کاهش استحکام خستگی، ایجاد انقباض در قطعه کار، نرم شدن قطعه کار، اعوجاج و پیچیدگی در قطعه کار |
| فیزیکی    | احتمال افت کیفیت ظاهری و ایجاد ترک و تخلخل                                                                            |
| شیمیایی   | احتمال کاهش مقاومت خوردگی در ناحیه جوشکاری شده                                                                        |

۱.۱.۷ جنس قطعه کار

اغلب فلزات را می‌توان به این روش جوشکاری نمود. سیم‌جوش نیز در قابلیت جوشکاری مواد مختلف موثر می‌باشد. بنابراین انتخاب سیم‌جوش نیز از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد.

جدول ۴- قابلیت جوشکاری MIG

| جنس قطعه کار  | قابلیت جوشکاری                    |       |       |       |
|---------------|-----------------------------------|-------|-------|-------|
|               | عالی                              | خوب   | متوسط | ضعیف  |
| فولاد نرم     | *****                             | ***** | ***** | ***** |
| چدن           | *****                             | ***** | ***** | ***** |
| فولاد زنگ نزن | *****                             | ***** | ***** | ***** |
| آلومینیوم     | *****                             | ***** | ***** | ***** |
| مس            | *****                             | ***** | ***** | ***** |
| منیزیم        | *****                             | ***** | ***** | ***** |
| تیتانیوم      | *****                             | ***** | ***** | ***** |
|               | *: محدوده ممکن    #: محدوده معمول |       |       |       |

۱.۱.۸ ویژگی‌های سیم‌جوش

سیم‌جوش‌های مصرفی در این فرآیند بر دو نوع ساده و مغزدار بوده و از آلیاژهای مختلف ساخته می‌شوند. در جدول زیر انواع جنس سیم‌جوش‌ها و موارد کاربردشان را مشاهده می‌کنید:

جدول ۵- انواع سیم جوش ها و موارد کاربردشان

| جنس سیم جوش             | ویژگی ها و کاربرد                                                        |
|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| منگنز و سیلیسیم         | مناسب برای جوشکاری با گاز محافظ دی اکسید کربن                            |
| آلومینیوم               | مناسب برای جوشکاری با گاز محافظ آرگون و هلیوم                            |
| فولاد کم آلیاژ          | مناسب برای جوشکاری حساس و دقیق روی فولادهای کم کربن با گاز دی اکسید کربن |
| مواد سنتزی با مغز پودری | برای جوشکاری های خاص و ایجاد اتصالاتی با ترکیبات خاص                     |
| سیم جوش اکسید کننده     | جوشکاری بر سطوح زنگ زده و فولادهای نیم کشته                              |

## ۱.۱.۹. پارامترهای عملیاتی جوشکاری MIG

سرعت جوشکاری به جنس قطعه کار و جنس سیم جوش بستگی دارد. به عنوان مثال در جدول ۱۰، ویژگی های جوشکاری یک قطعه از جنس فولاد کم کربن با الکترودی از جنس فولاد کم کربن را مشاهده می نمایید:

جدول ۶- ویژگی های جوشکاری یک قطعه از جنس فولاد کم کربن با الکترودی از جنس فولاد کم کربن

| سرعت جوشکاری<br>(اینچ در دقیقه) | قطر سیم جوش<br>( اینچ ) | سرعت پیش روی<br>سیم جوش<br>(اینچ در دقیقه) | نوع اتصال                  |
|---------------------------------|-------------------------|--------------------------------------------|----------------------------|
| ۴۵                              | ۰.۰۴۵                   | ۵۰۰                                        | اتصال گوشه به فرم دایره ای |
| ۴۶.۶                            | ۰.۰۳۰                   | ۳۴۰-۳۸۰                                    | اتصال لب به لب دایره ای    |
| ۱۰                              | ۰.۰۳۰                   | ۳۰-۱۶۰                                     | اتصال گوشه ساده            |
| ۶۰                              | ۰.۰۶۲۵                  | ۲۳۴                                        | اتصال روی هم               |
| ۱۶                              | ۰.۰۴۵                   | ۳۰۰                                        | اتصال T                    |
| ۷                               | ۰.۰۴۵                   | ۴۰۰                                        | اتصال لب به لب             |

## ۱.۱.۱۰. عوامل موثر در نتیجه فرآیند جوشکاری

عوامل زیر بر نتیجه فرآیند جوشکاری موثر می باشند:

- مقدار جریان الکتریکی
- نوع جریان الکتریکی
- ولتاژ، میزان پیش گرم و حرارت جوشکاری
- میزان گاز محافظ در موضع جوشکاری
- تمیز بودن سطوح جوشکاری
- سرعت جوشکاری
- جنس سیم جوش و اندازه آن
- قابلیت هدایت الکتریکی قطعه کار
- نوع اتصال
- جنس و ویژگی قطعه کار



## ۱.۱.۱۱. توان مورد نیاز در جوشکاری

میزان توان مورد نیاز در جوشکاری به روش MIG به عوامل متعددی چون سرعت پیشروی الکتروود و قطر آن و مواردی این-چنینی بستگی دارد. در جدول ۱۱، ویژگی‌های جوشکاری یک قطعه از جنس فولاد کم‌کربن با الکتروودی از جنس فولاد کم-کربن را مشاهده می‌کنید:

جدول ۷- ویژگی‌های جوشکاری یک قطعه از جنس فولاد کم‌کربن با الکتروودی از جنس فولاد کم‌کربن

| جریان الکتریکی<br>(آمپر) | قطر سیم جوش<br>(اینچ) | سرعت پیشروی سیم جوش<br>(اینچ در دقیقه) | نوع اتصال                  |
|--------------------------|-----------------------|----------------------------------------|----------------------------|
| ۲۸۰-۳۰۰                  | ۰.۰۴۵                 | ۵۰۰                                    | اتصال گوشه به فرم دایره‌ای |
| ۱۷۰-۱۹۰                  | ۰.۰۳۰                 | ۳۴۰-۳۸۰                                | اتصال لب به لب دایره‌ای    |
| ۸۰-۸۵                    | ۰.۰۳۰                 | ۳۰-۱۶۰                                 | اتصال گوشه ساده            |
| ۳۸۰                      | ۰.۰۶۲۵                | ۲۳۴                                    | اتصال روی هم               |
| ۲۰۰                      | ۰.۰۴۵                 | ۳۰۰                                    | اتصال T                    |
| ۲۷۵                      | ۰.۰۴۵                 | ۴۰۰                                    | اتصال لب به لب             |

## ۱.۱.۱۲. محاسبات زمان جوشکاری در روش MIG

زمان جوشکاری به طول درز جوش، تعداد پاس‌های مورد نیاز و سرعت جوشکاری بستگی دارد. تعداد پاس‌ها نیز به پهنای درز جوش وابسته است. وقتی پهنای درز جوش زیاد باشد، لازم است الکتروود را به صورت زیگزاگ حرکت داده تا پهنای درز جوش به‌درستی پر شود.

در شرایطی که  $L$  طول محل جوشکاری بر حسب اینچ،  $R$  سرعت جوشکاری بر حسب اینچ در دقیقه و تعداد پاس‌ها  $N$  باشد، خواهیم داشت:

$$\text{time for one pass} = \frac{L}{R}$$

$$\text{total time} = \frac{L}{R} * N$$

## ۱.۲. جوشکاری قوس تنگستن تحت پوشش گاز محافظ (TIG)

در عملیات جوشکاری با قوس الکتریکی و الکتروود تنگستنی با پوشش گاز محافظ<sup>۱</sup>، قوس الکتریکی بین یک الکتروود مصرف‌نشده از جنس تنگستن و قطعه کار برقرار می‌شود و سیم جوش جداگانه به محل درز جوش هدایت می‌گردد. در این عملیات باید گاز محافظ خنثی و جریان الکتریکی یکنواختی در موضع جوشکاری برقرار باشند.

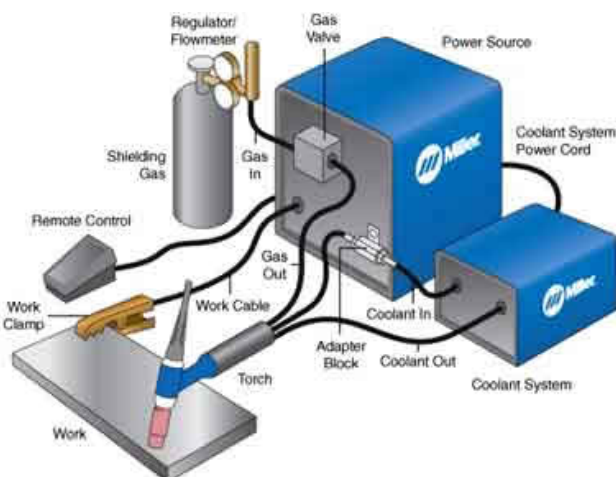
## ۱.۲.۱. ویژگی‌های فرآیند

- در این فرآیند از یک الکتروود تنگستنی مصرف‌نشده برای برقراری قوس استفاده می‌شود.
- در این فرآیند، گازهای محافظ آرگون و هلیوم به کار می‌روند.
- کیفیت جوشکاری با این فرآیند بسیار خوب می‌باشد.
- گل جوش و پراکندگی ذرات جوش در این فرآیند به‌وجود نمی‌آید.
- برای جوشکاری دستی قطعات نازک مناسب می‌باشد.

## ۱.۲.۲. ماشین و تجهیزات

تجهیزات مورد نیاز برای جوشکاری به روش TIG عبارتند از: یک واحد تامین انرژی الکتریکی، آب خنک‌کننده، گاز محافظ، یک تفنگ جوشکاری دستی، سیم جوش و پدال کنترل پایی. با استفاده از پدال کنترل پایی، اپراتور می‌تواند جریان الکتریکی را متناسب با جوشکاری تنظیم نماید.

<sup>1</sup> Tungsten Inert Gas



شکل ۲- تجهیزات مورد نیاز در جوشکاری به روش TIG

### ۱.۲.۳. فرم الکتروود

انتهای الکتروودهای جوشکاری در روش TIG فرمهای متنوعی دارد. الکتروودهای نوک تیز و سرکروی، پر مصرفتر از بقیه انواع الکتروودها می باشند. برای ساخت الکتروودهای سرکروی، ابتدا این الکتروودها را به صورت نوک تیز ساخته، به طوری که طول قسمت مخروطی آنها سه تا شش برابر قطر الکتروود باشد. با گرم شدن این الکتروود، نوک تیز آن ذوب شده و به صورت کروی درمی آید و هماهنگ با جریان الکتریکی اعمالی، فرم کروی ایده آل به دست می آید.

جدول ۸- فرم الکتروودها و کاربردهایشان

| کاربردها                                                                                                                                                                                                                                     | فرم الکتروود تنگستنی |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- در جوشکاری با جریان الکتریکی مستقیم با پلاریته مستقیم کاربرد دارد.</li> <li>- قوس الکتریکی را به محل مورد نظر هدایت می کند</li> <li>- برای جوشکاری درزهای باریک و محل های تنگ مناسب است.</li> </ul> | نوک تیز              |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- در جوشکاری با جریان الکتریکی مستقیم با پلاریته معکوس به کار می رود.</li> <li>- می تواند بیشترین جریان الکتریکی را هدایت کند.</li> </ul>                                                             | سر کروی              |

### ۱.۲.۴. انواع تفنگ های روش TIG

تفنگ های این روش جوشکاری، برای جوشکاری دستی و در دو نوع خنک شونده با هوا<sup>۱</sup> و خنک شونده با آب<sup>۲</sup> ساخته می شوند. برای جوشکاری ظریف و سبک تا ۱۵۰ آمپر، از تفنگ های خنک شونده با هوا و برای جوشکاری های سنگین یا جریان الکتریکی تا ۶۰۰ آمپر، از تفنگ های خنک شونده با آب استفاده می گردد. توان جوشکاری هر تفنگ روی آن درج می شود.

### ۱.۲.۵. جنس الکتروود و اندازه آن

اندازه الکتروود باید با دقت و بر اساس جنس قطعه کار، جریان الکتریکی و ضخامت قطعه کار تعیین گردد. تنگستن خالص از ارزانه ترین الکتروودها می باشد. در بعضی از الکتروودها، عناصری مثل زیرکونیوم و توریم اضافه می گردد. این عناصر سب بهبود کارایی الکتروود می شود. جدول زیر انواع الکتروودها را بر حسب کاربردشان نشان می دهد:

<sup>۱</sup> Air cooled

<sup>۲</sup> Water Cooled

جدول ۹- انواع الکترودها بر حسب کاربردشان

| جنس الکتروده      | ویژگی و کاربرد                                                                                                                                                    |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| تنگستن خالص       | - مناسب برای جوشکاری با جریان الکتریکی پایین<br>- برای جوشکاری عمومی و با حساسیت کمتر                                                                             |
| تنگستن- توریم     | - برقراری قوس الکتریکی با این الکتروده بدون پاشش و جرقه است<br>- پایداری قوس با این الکتروده بهتر است<br>- فرم نقطه انتهایی جوش با این الکتروده خوب و یکنواخت است |
| تنگستن- زیرکونیوم | - جلوگیری از آلوده شدن محل جوش<br>- فرم نقطه انتهایی جوش با این الکتروده، خوب و یکنواخت است<br>- برای جوشکاری با جریان الکتریکی متناوب پایین                      |

## ۱.۲.۶. گاز محافظ

آرگون از پرمصرف‌ترین گازهای محافظ در جوشکاری به این روش می‌باشد. ویژگی و کاربرد سه نوع گاز محافظ در جدول زیر آورده شده است:

جدول ۱۰- ویژگی و کاربرد سه نوع گاز محافظ

| نوع گاز محافظ      | ویژگی و کاربرد                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| آرگون              | - هزینه پایین و مناسب جهت جوشکاری انواع فلزات<br>- مناسب برای جریان‌های الکتریکی پایین<br>- برقراری راحت قوس الکتریکی، یکنواخت و پایداری آن<br>- مورد استفاده در جوشکاری فولاد نرم، آلومینیوم و تیتانیوم                                                                       |
| هلیوم              | - امکان برقراری جریان گاز تا ۳-۱.۵ برابر آرگون<br>- جوشکاری سریع‌تر فولاد نرم و تیتانیوم<br>- ایجاد ناحیه متأثر از جوش باریک‌تر و نفوذ بیشتر جوش<br>- امکان برقراری قوس متراکم و گرم‌تر<br>- امکان افزایش سرعت جوشکاری تا ۴۰-۳۰ درصد<br>- مناسب جهت جوشکاری فولاد زنگ‌نزن و مس |
| مخلوط آرگون- هلیوم | - برای ایجاد قوس الکتریکی گرم‌تر در جوشکاری آلومینیوم<br>- مورد استفاده در عملیات جوشکاری اتوماتیک<br>- مناسب برای جوشکاری آلومینیوم                                                                                                                                           |

## ۱.۲.۷. قابلیت‌های فرآیند

این جوشکاری، قابلیت اتصال لب به لب، روی هم، گوشه و لبه‌دار را فراهم می‌کند. کیفیت جوش حاصل، تا حد زیادی به آماده‌سازی لبه‌های قطعه‌کار، بستگی دارد.

## ۱.۲.۸. کیفیت جوشکاری TIG

با در نظر گرفتن مواردی چون: تمیز نگه‌داشتن موضع جوشکاری و دیگر تجهیزات، اطمینان از انتخاب صحیح تجهیزات جوشکاری و پارامترهای فرآیند، استفاده از تکنیک صحیح جوشکاری و جنس سیم‌جوش و الکتروده، می‌توان از بروز عیوب جوشکاری نظیر ترک، حفره، گرده جوش کثیف و برجسته و عدم ذوب کامل، جلوگیری کرد.

جدول ۱۱- انواع عیوب و علل ممکن از جوشکاری TIG

| نوع عیب                | علل ممکن                                                                           | اثرات نامطلوب                                                   |
|------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| ترک                    | - تنش‌های مکانیکی<br>- تنش‌های حرارتی<br>- وجود مشکلات متالورژیکی                  | - استحکام ناکافی محل جوش                                        |
| حفره                   | - ناکافی بودن گاز محافظ<br>- به تله افتادن گاز در محل جوش<br>- جریان الکتریکی بالا | - استحکام ناکافی محل جوش                                        |
| گرده جوش کثیف و برجسته | - نفوذ آب یا هوا در محل عبور گاز محافظ<br>- جریان الکتریکی بالا                    | - ظاهر بد محل جوش<br>- جوش شکننده<br>- ایجاد حفره یا ترک در جوش |
| عدم ذوب کامل           | - سطوح کثیف قطعه کار<br>- سرعت بالای جوشکاری<br>- جریان الکتریکی پایین             | - کاهش استحکام استاتیکی<br>- ایجاد نقاط تمرکز تنش               |

۱.۲.۹. اثرات جوشکاری TIG بر خواص ماده

بعضی از اثرات این نوع جوشکاری بر خواص مواد، در جدول زیر ارایه شده است:

جدول ۱۲- اثرات جوشکاری TIG بر خواص ماده

| خواص ماده | اثرات جوشکاری بر خواص ماده                                                                                                                                                                                |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| مکانیکی   | - ممکن است باعث سخت شدن ماده شود.<br>- ممکن است باعث کاهش استحکام خستگی قطعه شود.<br>- قطعه کار احتمالاً دچار پیچیدگی می‌شود.<br>- ممکن است باعث نرم شدن ماده شود<br>- در قطعه کار انقباض به وجود می‌آید. |
| فیزیکی    | - کیفیت ظاهری بد<br>- احتمال ایجاد حفره یا ترک                                                                                                                                                            |
| شیمیایی   | - احتمال کاهش مقاومت در برابر خوردگی                                                                                                                                                                      |

۱.۲.۱۰. جنس قطعه کار

معمولاً فلزات غیر آهنی نظیر آلومینیوم، منیزیم، تیتانیوم و فلزات دیرگداز، با این روش، جوشکاری می‌شوند. البته می‌توان فولاد زنگ نزن، چدن و فولاد نرم را نیز با این روش، جوشکاری نمود.

جدول ۱۳- قابلیت جوشکاری TIG

| جنس قطعه کار                    | قابلیت جوشکاری |       |       |       |
|---------------------------------|----------------|-------|-------|-------|
|                                 | عالی           | خوب   | متوسط | ضعیف  |
| فولاد نرم                       | *****          | ***** | ***** | ***** |
| چدن                             | *****          | ***** | ***** | ***** |
| فولاد زنگ نزن                   | *****          | ***** | ***** | ***** |
| آلومینیوم                       | *****          | ***** | ***** | ***** |
| مس                              | *****          | ***** | ***** | ***** |
| تیتانیوم                        | *****          | ***** | ***** | ***** |
| *: محدوده ممکن **: محدوده معمول |                |       |       |       |

## ۱.۲.۱۱. عوامل موثر در نتیجه فرآیند جوشکاری

در صورتی که جوشکار به اندازه کافی ماهر باشد، می‌تواند یک گرده جوش صاف و یکنواخت به‌وجود آورد. این نوع جوشکاری، عموماً برای اتصال قطعات نازک به کار می‌رود. ویژگی‌هایی که بر قابلیت این نوع جوشکاری موثر می‌باشند عبارتند از:

- فرم قطعه کار
- ضخامت قطعه کار
- نوع آلیاژ
- مقاومت الکتریکی
- هدایت گرمایی
- انبساط در اثر گرما
- سختی و استحکام
- ویژگی اکسیدشدن ماده

عوامل موثر بر کیفیت جوشکاری به روش TIG عبارتند از:

- جریان و ولتاژ الکتریکی
- نوع جریان الکتریکی
- میزان گاز محافظ در موضع جوشکاری
- تمیز بودن سطوح قطعه کار
- سرعت جوشکاری و رسوب سیم‌جوش در درز جوشکاری
- جنس الکترود و فرم سر آن
- هدایت الکتریکی قطعه کار
- طراحی اتصال
- جنس و ویژگی‌های قطعه کار

## ۱.۲.۱۲. توان مورد نیاز

در جدول زیر، محدوده جریان الکتریکی مجاز برای الکترودهای با قطرهای متفاوت ارائه شده است. قطر الکترود باید با دقت انتخاب شود. قطر الکترود بستگی به جنس قطعه کار، جریان الکتریکی و ضخامت قطعه کار دارد.

جدول ۱۴- محدوده جریان الکتریکی مجاز برای الکترودهای با قطرهای متفاوت

| قطر الکترود | جریان مستقیم   |               | جریان متناوب   |                                            |
|-------------|----------------|---------------|----------------|--------------------------------------------|
|             | پلاریته مستقیم | پلاریته معکوس | الکترود تنگستن | الکترود تنگستنی با عناصر زیرکونیوم و توریم |
| ۰.۰۱۰       | حداکثر ۱۵      | NR            | حداکثر ۱۵      | حداکثر ۱۵                                  |
| ۰.۰۲۰       | ۵-۲۰           | NR            | ۵-۱۵           | ۵-۲۰                                       |
| ۱/۱۶        | ۷۰-۱۵۰         | ۱۰-۲۰         | ۵۰-۱۰۰         | ۷۰-۱۵۰                                     |
| ۳/۳۲        | ۱۵۰-۲۵۰        | ۱۵-۳۰         | ۱۰۰-۱۶۰        | ۱۴۰-۲۳۵                                    |
| ۱/۸         | ۲۵۰-۴۰۰        | ۲۵-۴۰         | ۱۵۰-۲۱۰        | ۲۲۵-۳۲۵                                    |
| ۳/۱۶        | ۵۰۰-۷۵۰        | ۵۵-۸۰         | ۲۵۰-۳۵۰        | ۴۰۰-۵۰۰                                    |
| ۱/۴         | ۷۵۰-۱۰۰۰       | ۸۰-۱۲۵        | ۳۲۵-۴۵۰        | ۵۰۰-۶۳۰                                    |

### ۱.۲.۱۳. محاسبات زمان جوشکاری در روش TIG

زمان جوشکاری به طول درز جوش، تعداد پاس‌های مورد نیاز و سرعت جوشکاری بستگی دارد. تعداد پاس‌ها نیز به پهنای درز جوش وابسته است. وقتی پهنای درز جوش زیاد باشد، لازم است الکتروود را به صورت زیگزآگ حرکت داده تا پهنای درز جوش به‌درستی پر شود.

در شرایطی که  $L$  طول محل جوشکاری بر حسب اینچ،  $R$  سرعت جوشکاری بر حسب اینچ در دقیقه و تعداد پاس‌ها  $N$  باشد، خواهیم داشت:

$$\text{time for one pass} = \frac{L}{R}$$

$$\text{total time} = \frac{L}{R} * N$$

### ۱.۳. جوشکاری با قوس الکتریکی و الکتروود پوشش‌دار

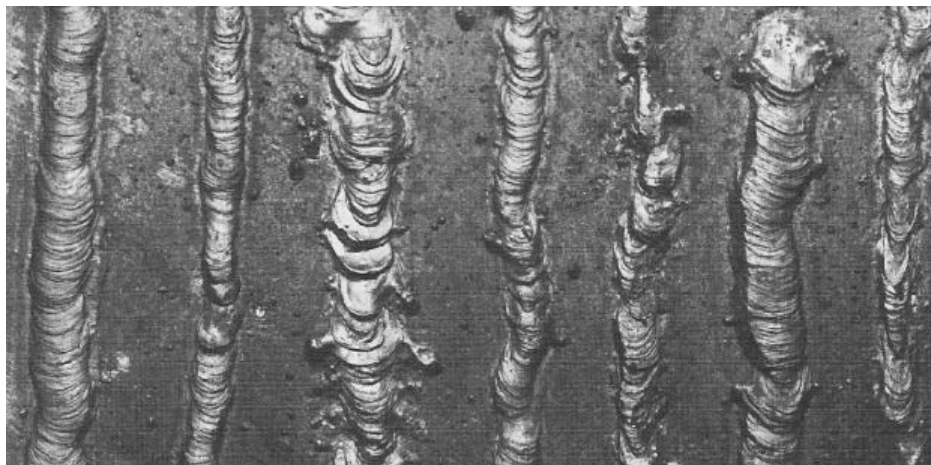
در عملیات جوشکاری با قوس الکتریکی و الکتروود پوشش‌دار که به اختصار SMAW نامیده می‌شود، قوس الکتریکی بین یک الکتروود فلزی مصرف‌شدنی پوشش‌دار و قطعه کار برقرار می‌شود. در اثر حرارت حاصل از قوس الکتریکی، پوشش جامد الکتروود به‌صورت گاز درآمده و یک حفاظ گازی در پیرامون محل جوشکاری ایجاد می‌کند. قسمتی از این پوشش نیز ذوب شده و به صورت گل جوش روی گرده جوش می‌نشیند.

#### ۱.۳.۱. ویژگی‌های فرآیند

- در این روش از یک الکتروود میله‌ای مصرف‌شدنی استفاده می‌شود.
- پوشش روی الکتروود، در اثر حرارت ذوب شده و روی گرده جوش رسوب می‌کند.
- مقداری از پوشش الکتروود نیز در اثر حرارت به صورت گاز درآمده و فضای جوشکاری را حفاظت می‌کند.
- جریان ثابتی به هنگام جوشکاری مصرف می‌شود.
- کیفیت ظاهری جوش و استحکام آن به مهارت اپراتور در ثابت نگه‌داشتن طول قوس الکتریکی و سرعت جوشکاری بستگی دارد.

#### ۱.۳.۲. فرم اتصال جوش

در شکل زیر انواع جوش‌ها را که از چپ به راست، به ترتیب به صورت جوش قابل قبول، جوش با آمپر پایین، جوش با آمپر بالا، جوش با طول قوس کوتاه، جوش با طول قوس بلند، جوش با سرعت جوشکاری کم و جوش با سرعت جوشکاری زیاد می‌باشند را مشاهده می‌کنید:



شکل ۳- نمایشی از انواع فرم‌های جوشکاری با قوس الکتریکی و الکتروود پوشش‌دار

### ۱.۳.۳. ماشین و تجهیزات

تجهیزات مورد نیاز در این روش عبارتند از : ماشین جوشکاری قوس الکتریکی که یک جریان الکتریکی ثابت تولید کرده و به الکتروود ارسال می‌کند، کابل اتصال به بدنه که قطعه کار را به ماشین جوشکاری متصل می‌کند و همچنین ابزار نگهداری الکتروود. میزان جریان الکتریکی به قطر الکتروود وابسته است. معمولاً برای هر ۰.۰۰۱ اینچ قطر الکتروود باید ۱ آمپر جریان صرف نمود. البته نوع پوشش و جنس الکتروود نیز در میزان جریان الکتریکی موثر است.



شکل ۴- نمایی از تجهیزات جوشکاری با قوس الکتریکی و الکتروود پوشش‌دار

### ۱.۳.۴. الکتروود

قطر الکتروودهای مورد مصرف در این فرآیند، معمولاً بین ۵/۱۶ تا ۱/۱۶ اینچ و طول آن‌ها نیز ۹، ۱۴ و ۱۸ اینچی می‌باشد. جنس الکتروود باید متناسب با جنس قطعه کار انتخاب شود. الکتروودهای پوشش‌دار معمولاً از فولاد نرم، فولاد زنگ‌زن، نیکل و برنز ساخته می‌شوند. کدگذاری الکتروودها، در جدول زیر با موارد کاربردشان نشان داده شده است. در این کدگذاری‌ها، حرف انگلیسی نشانه الکتروود، دو عدد اول از سمت چپ نشانه‌دهنده استحکام کششی بر حسب کیلوپاسکال، عدد بعدی نشانه‌دهنده وضعیت جوشکاری و عدد آخر نشانه‌دهنده نوع جریان الکتریکی می‌باشد.

جدول ۱۵- کدگذاری الکتروودها

| کد الکتروود    | کاربردها                                                                                |
|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| E6010<br>E6011 | عمق نفوذ زیاد، قوس الکتریکی قوی و انتقال قوس و مواد مذاب به‌صورت پاششی                  |
| E6012<br>E6013 | عمق نفوذ متوسط، انتقال مواد مذاب به‌صورت قطره‌ای، جوشکاری ورق‌های فلزی                  |
| E6020          | انتقال قوس و مواد مذاب به‌صورت پاششی، عمق نفوذ متوسط، ایجاد گل جوش متخلخل و لانه زنبوری |

در جدول زیر، انواع مواد مصرفی در پوشش الکتروودهای فولادی نرم به همراه کاربرد آن‌ها ارائه شده است.

جدول ۱۶- انواع مواد مصرفی در پوشش الکترودهای فولادی نرم به همراه کاربرد آن‌ها

| مواد به‌کاررفته در پوشش الکتروود فولادی نرم | کاربردها                                             |
|---------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| کلسیم کربنات                                | - ایجاد گاز محافظ<br>- تمیزکننده سطح                 |
| تیتانیم دی‌اکسید                            | - سازنده گل جوش<br>- تثبیت‌کننده قوس الکتریکی        |
| میکا                                        | - تثبیت‌کننده قوس الکتریکی                           |
| پودر آهن                                    | - ایجادکننده تماس جوشکاری<br>- افزایش سرعت رسوب مذاب |
| فرومگنز                                     | - آلیاژساز<br>- اکسیژن‌زدا                           |

## ۱.۳.۵. قابلیت‌های فرآیند

با این روش می‌توان انواع اتصالات رایج نظیر اتصال لب به لب، اتصال روی هم، اتصال و اتصال لبه‌دار را جوشکاری نمود. تنها محدودیت این روش جوشکاری، دستی بودن این روش می‌باشد. ضخامت قطعه کار ممکن است از ۰.۱۲۵ تا ۱۲ اینچ باشد.

## ۱.۳.۶. کیفیت و عیوب جوشکاری با قوس الکتریکی و الکتروود پوشش‌دار

در جدول زیر، ۵ عیب رایج در این روش جوشکاری به همراه علل احتمالی و اثرات نامطلوب آن‌ها ارایه شده است:

جدول ۱۷- ۵ عیب رایج در جوشکاری با قوس الکتریکی و الکتروود پوشش‌دار به همراه علل احتمالی و اثرات نامطلوب آن‌ها

| عیب                  | علل احتمالی                                                                           | اثرات نامطلوب                                  |
|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| ترک                  | - تنش‌های مکانیکی<br>- تنش‌های حرارتی<br>- ورود ناخالصی در آلیاژ قطعه کار یا الکتروود | - جوش ترک‌دار قابل قبول نبوده و باید تکرار شود |
| حفره‌های زیرسطح      | - سطوح کثیف قطعه کار<br>- حبس شدن گاز در مذاب                                         | - کاهش استحکام جوش                             |
| گرده جوش خشن و ناصاف | - جریان الکتریکی زیاد                                                                 | - ظاهر بد                                      |
| عدم ذوب کامل         | - سطوح کثیف قطعه کار<br>- سرعت جوشکاری زیاد                                           | - کاهش استحکام جوش<br>- ایجاد نقاط تمرکز تنش   |
| آخال <sup>۱</sup>    | - حبس شدن گل جوش یا دیگر آلودگی‌ها در مذاب                                            | - کاهش استحکام جوش                             |

## ۱.۳.۷. اثرات جوشکاری با قوس الکتریکی و الکتروود پوشش‌دار بر خواص ماده

<sup>1</sup> Inclusion



جدول ۱۸- اثرات جوشکاری با قوس الکتریکی و الکتروود پوشش‌دار بر خواص ماده

| خواص ماده | اثرات فرآیند بر خواص ماده                                                                                                                                                                                                             |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| مکانیکی   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- احتمال سخت‌شدن ماده</li> <li>- احتمال کاهش استحکام خستگی</li> <li>- احتمال ایجاد انقباض در قطعه کار</li> <li>- احتمال نرم‌شدن ماده</li> <li>- احتمال پیچیدگی و اعوجاج در قطعه کار</li> </ul> |
| فیزیکی    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- ظاهر بد</li> <li>- احتمال ایجاد ترک یا تخلخل در محل جوش</li> </ul>                                                                                                                           |
| شیمیایی   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- احتمال کاهش مقاومت خوردگی در ناحیه جوشکاری شده</li> </ul>                                                                                                                                    |

## ۱.۳.۸. جنس قطعه کار

این روش جوشکاری تقریباً به فلزات آهنی اختصاص دارد. قابلیت جوشکاری فولاد نرم، فولاد زنگ‌نزن و چدن به روش جوشکاری با قوس الکتریکی و الکتروود پوشش‌دار در حد متوسط تا عالی می‌باشد.

## ۱.۳.۹. عوامل موثر در نتیجه فرآیند

عوامل مهم در کیفیت جوشکاری با قوس الکتریکی و الکتروود پوشش‌دار عبارتند از:

- جریان الکتریکی و ولتاژ جوشکاری
- نوع جریان الکتریکی
- عملکرد پوشش محافظ در پیرامون قوس و روی گرده جوش
- تمیز بودن منطقه جوشکاری
- سرعت جوشکاری و سرعت رسوب کردن مذاب
- هدایت الکتریکی قطعه کار
- طرح اتصال دو قطعه
- جنس و خواص قطعه کار
- توان مورد نیاز

در جدول زیر، توان مورد نیاز به‌صورت جریان الکتریکی مصرفی، برای جوشکاری فولاد کم‌کربن ارائه شده است. جریان مصرفی به سرعت رسوب کردن مذاب، قطر الکتروود و نوع الکتروود بستگی دارد.

جدول ۱۹- جوشکاری فولاد کم‌کربن با الکتروود فولادی کم‌کربن

| جریان مصرفی (آمپر) | قطر الکتروود (اینچ) | سرعت رسوب مذاب (اونس/ساعت) | کد الکتروود |
|--------------------|---------------------|----------------------------|-------------|
| ۲۰۰                | ۳/۱۶                | ۸۸                         | E6011       |
| ۲۲۵                | ۳/۱۶                | ۶۶                         | E6012       |
| ۲۶۰                | ۳/۱۶                | ۸۷                         | E7014       |
| ۲۴۰                | ۳/۱۶                | ۸۳                         | E7018       |
| ۲۷۰                | ۳/۱۶                | ۱۳۴                        | E7024       |

## ۱.۳.۱۱. محاسبات زمان

زمان جوشکاری به طول درز جوش، تعداد پاس‌های مورد نیاز و سرعت جوشکاری بستگی دارد. تعداد پاس‌ها نیز به پهنای درز جوش وابسته است. وقتی پهنای درز جوش زیاد باشد، لازم است الکتروود را به صورت زیگزاگ حرکت داده تا پهنای درز جوش به‌درستی پر شود. در شرایطی که  $L$  طول محل جوشکاری بر حسب اینچ،  $R$  سرعت جوشکاری بر حسب اینچ در دقیقه و تعداد پاس‌ها  $N$  باشد، خواهیم داشت:

$$\text{time for one pass} = \frac{L}{R}$$
$$\text{total time} = \frac{L}{R} * N$$

## مراجع

- [۱]: روبرت اچ تاد- ترجمه مهندس اکبر شیرخورشیدیان، فرآیندهای تولید، نشر طراح، سال ۱۳۹۰
- [۲]: پویا نجم سهیلی- فرزاد نجم سهیلی، تکنولوژی روش‌های جوشکاری، نشر فدک ایساتیس، سال ۱۳۹۰

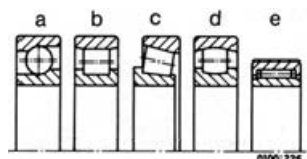
نوشته: عباس قلی‌نژاد

## لغت نامه

از آنجایی که صنعت پمپ یکی از پیشرفته‌ترین و پیچیده‌ترین صنایع در جهان به شمار می‌رود، دایره لغات تخصصی این صنعت، هر روزه در حال گسترش و پیشرفت می‌باشد. با گسترش روزافزون فناوری اطلاعات و امکان استفاده از اطلاعات دیگر شرکت‌های پیشرو، دانش فهم و استفاده از این لغات تخصصی، بیش از پیش مد نظر می‌باشد. یکی از لغت‌نامه‌های مرجع در صنعت پمپ، لغت‌نامه شرکت KSB می‌باشد که از لحاظ ساختار و جزئیات، بی‌نظیر می‌باشد. در این مطلب به بررسی تعدادی از لغات مرتبط با پمپ و صنعت آن، که در این کتاب آورده شده است، می‌پردازیم:

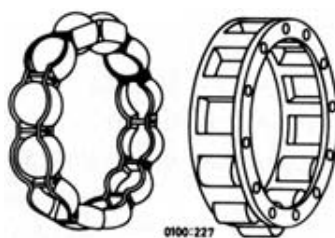
### - یاتاقان بدون اصطکاک یا غلتشی<sup>۱</sup>

یک یاتاقان غلتشی که برای حمایت از شفت به کار می‌رود، از ریل یا صفحات یاتاقان و تعدادی المان چرخشی که می‌توانند در اشکال مختلف کرووی استوانه‌ای، مخروطی یا بشک‌های شکل بوده و عموماً به همراه یک قاب است که از تماس قطعات غلتشی مجاور یکدیگر جلوگیری می‌کند، تشکیل می‌شود.



شکل ۱- انواع اشکال المان‌های چرخشی (a) توپی، (b) سیلندری، (c) مخروطی، (d) بشک‌ای، (e) سوزنی

بسته به جهت نیرو، وجه تمایزی بین یاتاقان‌های عرضی (شعاعی) و یاتاقان‌های طولی (تراست) وجود دارد و طراحی‌هایی مابین مثل یاتاقان‌های شعاعی شیار عمیق<sup>۲</sup> برای هر دو نیروی شعاعی و محوری، کاربرد دارد.



شکل ۲- قاب‌های یاتاقان‌های غلتشی، (a) قاب ورق فولادی برای گوی‌ها، (b) قاب صلب برای استوانه‌ها

شکل ۴، ترکیب عمومی یاتاقان‌های شفت را برای یک پمپ فشار پایین با یاتاقان‌های شعاعی شیار عمیق نشان می‌دهد. در یاتاقان‌های شعاعی، المان‌های چرخشی بین دو غلاف یا حلقه می‌چرخند و در یاتاقان‌های محوری این المان‌ها بین دیسک‌ها می‌چرخند.

ضریب اصطکاک یاتاقان‌های غلتشی ۲۵ تا ۵۰ درصد پایین‌تر از یاتاقان‌های ساده می‌باشد. از دیگر مزایای یاتاقان‌های غلتشی، عملکرد صحیح و دقیق این یاتاقان‌ها می‌باشد. این مورد به دلیل فواصل نزدیک‌تر، نیازمندی به فواصل کمتر، تعمیر و نگهداری آسان‌تر و عدم مشکلات روان‌کاری می‌باشد. از معایب این یاتاقان‌ها می‌توان به حساسیت به بارهای ناشی از شوک و صدای بالا در حین فعالیت اشاره نمود. از طرفی این یاتاقان‌ها از یاتاقان‌های ساده، گران‌تر می‌باشند.

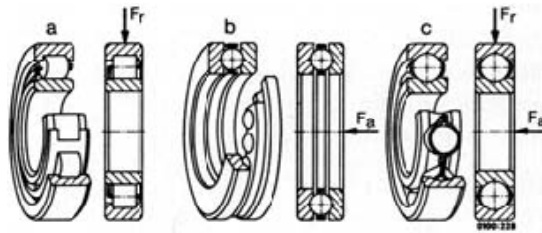
ظرفیت بار و طول عمر یاتاقان‌های غلتشی، مطابق با استاندارد DIN 622 می‌باشند. وجه تمایزی بین موارد زیر وجود دارد:

- ظرفیت بار دینامیکی (طول عمر کارکرد)، که تعداد ساعات عملیات یا چرخشی می‌باشد که یاتاقان بدون هیچ‌گونه نشانه‌ای از خستگی فلزی در اجزای خود باشد.

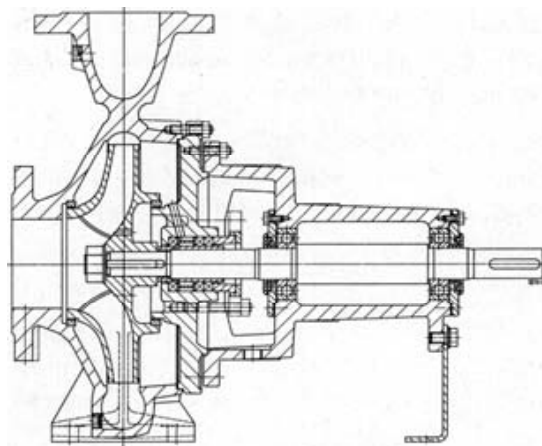
<sup>1</sup> Anti-Friction Bearing

<sup>2</sup> radial deep-groove ball bearings

- ظرفیت بار استاتیکی، که نیروی بار استاتیکی است که سبب تغییر شکل دائمی بر روی قسمت‌های چرخشی در نقطه تماس و بدون آسیب‌رسانی به عملکرد یاتاقان می‌شود. محاسبه ظرفیت استاتیکی و دینامیکی یاتاقان ترجیحا مطابق با استاندارد DIN 622 یا توصیه‌های سازنده یاتاقان، انجام می‌شود.



شکل ۳- یاتاقان‌های غلتشی برای بارهای در جهات مختلف، یاتاقان غلتشی سیلندری برای بارهای شعاعی، یاتاقان‌های محوری شیار عمیق برای بارهای محوری، یاتاقان‌های شعاعی شیار عمیق برای بارهای شعاعی و محوری



شکل ۴- یاتاقان‌های غلتشی در یک پمپ سانتریفیوژ

با افزایش سرعت چرخش، نیروهای گریز از مرکز خارجی بر المان‌های چرخشی اثر می‌کنند. با افزایش میزان افت‌های اصطکاکی، دمای عملکرد یاتاقان افزایش می‌یابد. از این رو هر یاتاقان استاندارد دارای حد بالایی سرعت چرخش می‌باشد. این سرعت حدی به راحتی از روابطی که توسط سازنده یاتاقان در کاتالوگ آن آورده شده است، به صورت تابعی از نوع یاتاقان غلتشی، ابعاد، نوع روان کاری و بار قابل محاسبه می‌باشد.

به دلیل حرکت تماسی غلتشی المان‌های چرخشی، هیچ جدایش کاملی بین سطوح درگیر و نوار روان کاری تحت فشار، که در یاتاقان‌های ساده وجود دارد، موجود نمی‌باشد. روان کاری معمول به وسیله روغن یا گریس با غلظت دلخواه، کافی می‌باشد. سازنده یاتاقان معمولاً توصیه‌های روان کاری که شامل اثر دمای عملیاتی یاتاقان، ثبات فرسودگی گریس و روغن‌های توصیه شده در شرایط عملیاتی غالب و نیاز عمومی به پرکردن سطح روان کار، می‌شود را فراهم می‌سازد. در حال حاضر، تمایلات به سمتی است که بتوان از روان کاری مادام‌العمر استفاده نمود تا با یکبار روغن کاری اولیه، یاتاقان تا پایان عمر کاری خود نیازی به روغن کاری نداشته باشد.

انواع گریس‌های زیر برای روان کاری یاتاقان‌های غلتشی مورد استفاده قرار می‌گیرند:

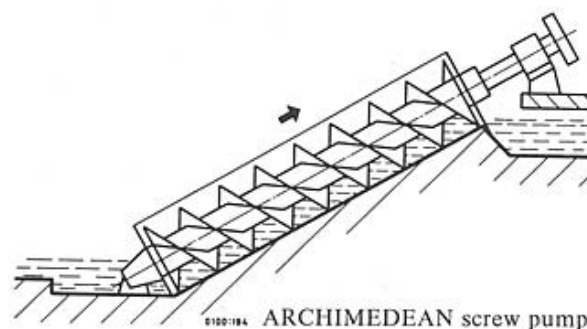
- گریس‌های صابونی آهکی (کلسیم): این یاتاقان‌ها ضدآب می‌باشند. پرکردن این نوع گریس نیازمند فواصل زمانی مکرری می‌باشد. دمای عملیاتی آن‌ها از ۲۰- درجه سانتی‌گراد تا ۵۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.
- گریس‌های صابونی قلیایی: دارای خواص روان کاری خوبی بوده، اما آب را جذب می‌کنند (در صورت نفوذ آب به سیستم، شسته می‌شوند). دمای عملیاتی آن‌ها از ۳۰- درجه سانتی‌گراد تا ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

- گریس‌های صابونی لیتیومی: این یاتاقان‌ها ضدآب بوده و می‌توانند بار زیادی را تحمل کنند. دمای عملیاتی آن‌ها از ۳۰- درجه سانتی‌گراد تا ۱۲۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.
  - گریس‌های صابونی ترکیبی (باریم- کلسیم یا لیتیم- منیزیم- استرونتیوم): این یاتاقان‌ها ضدآب بوده و دارای هیچ‌گونه محدودیتی در عملکرد خود نمی‌باشند. اما این یاتاقان‌ها دارای قیمت بسیار بالای می‌باشند. دمای عملیاتی آن‌ها از ۲۵- درجه سانتی‌گراد تا ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.
- روان‌کارهای جامد نیز در کاربردهایی خاص به کار می‌روند:
- گرافیت: معمولاً در ترکیب با دیگر روان‌کارها وجود دارد. در دمای عملیاتی زیر ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد عمل می‌کند در غیر این صورت خطر اکسیدشدن وجود دارد.
  - دی‌سولفید مولیبدنوم: به صورت تجاری به شکل پودر مخلوط با خمیر، گریس یا روغن، موجود می‌باشد. دارای ضریب اصطکاک پایین می‌باشد. به شکل پودر در دمای عملیاتی بین ۱۸۰- درجه سانتی‌گراد تا ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

#### - پمپ‌های پیچی ارشمیدسی<sup>۱</sup>

این پمپ یک پمپ بالابرنده با فشار ثابت می‌باشد که سیال را به ارتفاع مورد نظر و با کمک پیچ (حلزونی)، انتقال می‌دهد (حلزونی واقعی مطابق با وسیله‌ای برای آبیاری است که توسط ارشمیدس اختراع شده است). این پیچ یا همان حلزونی از تمامی جهات باز بوده و می‌تواند تا چندین متر طول داشته باشد. این پیچ معمولاً از صفحات فولادی ساخته شده و می‌تواند تا تعداد ۳ لبه داشته باشد. قطعه مورد نظر در یک مجرای نیم‌دایره شیب‌دار، با شیب ۳۰ درجه می‌چرخد. پیچ، حجم محدود آب را در هر بار چرخش از مخزن پایین‌دستی آب جمع کرده (حجم آب به وسیله زاویه شیب، قطر و گام پیچ تعیین می‌شود) و آن را با سرعت چرخشی نسبتاً کم (کمتر از ۱۰۰ دور بر دقیقه) به انتهای مجرا انتقال می‌دهد. بسته به عمق غوطه‌وری انتهای پیچ، حجم جریان پمپ پیچی، خود را در محدودیت‌ها، به وسیله اختلاف عمق سیالات در تک‌تک کانال‌های پیچ، تنظیم می‌کند. این روش عملکرد، تضمین می‌کند که پیچ با حداقل نیمی از قطر کانال ورودی به صورت ثابت، در سیال مستغرق می‌باشد، و همچنین فاصله زیادی بین دیواره کانال و لبه‌های پیچ جهت کاهش افت‌های ناشی از نشتی، وجود ندارد.

یاتاقان پایینی در این پمپ، یک یاتاقان زیرآبی است که باید توسط آب‌تازه یا گریس روان‌کاری شود. یاتاقان بالایی که همچنین نیروهای محوری را جذب می‌کند، یک یاتاقان غلتشی می‌باشد.



شکل ۵- پمپ پیچی ارشمیدسی

یک گیربکس به انتهای بالایی پیچ پمپ وصل می‌شود که توانایی پمپاژ آب‌های سطحی بسیار آلوده یا فاضلاب یا حتی شن را در صورت طراحی شدن جهت این امر دارد. هد این پمپ می‌تواند تا ۶ متر با کارایی بین ۶۰ تا ۸۰ درصد بسته به میزان ظرفیت پمپ، و قطر پیچ که می‌تواند به چند متر برسد باشد.

نوشته: عباس قلی‌نژاد

<sup>1</sup> ARCHIMEDEAN Screw Pump

## 📖 مباحثی در زمینه مدیریت

### برگرفته از مجموعه مقالات مرکز آموزش و تحقیقات صنعتی ایران

متن زیر برگرفته از مجموعه مقالات مرکز آموزش و تحقیقات صنعتی ایران می‌باشد. در این مقاله، ابتدا مبحث تکنولوژی مدیریت در دنیای امروز مورد بررسی قرار گرفته و در ادامه گریزی کوتاه به مبحث مدیریت تغییر و بهبود سازمان زده شده است. روش‌های نوین مدیریت از مباحث دیگری است که در این متن به آن پرداخته شده است. در انتها نیز به مطالبی در مورد مهارت‌های مدیریتی پرداخته شده است.

#### ۱. تکنولوژی مدیریت در دنیای امروز

مهم‌ترین تفاوت دنیای امروز با دیروز، سرعت تحولات تکنولوژیک می‌باشد. دنیا در حال تغییر است و سرعت این تغییر روز به روز بیشتر می‌شود. تکنولوژی‌های جدیدی ظهور می‌کنند. تکنولوژی مدیریت یکی از انواع جدید آن است. در واقع مدیریت دانش یک مدیریت استراتژیک است و لازمه‌اش نیز آن است که مدیریت عالی، منحصرأ از فرصت‌های ارائه شده توسط فناوری اطلاعات برای اهداف کاری بهره‌برداری کامل نماید. اگر بخواهیم بدانیم که چگونه نیازهای آموزشی قشر عظیم نیروی کار شاغل در سازمان‌ها مورد سنجش و ارزیابی قرار می‌گیرد، به این نتیجه می‌رسیم که برای تدوین و طراحی برنامه‌هایی کارساز و اثربخش و مؤثر، نیازمند اطلاعاتی وسیع و همه جانبه و به‌هنگام در ارتباط با نیازها هستیم. اهداف نیازسنجی باید مشخص و مراحل آن انجام شود. شناسایی حیطه وسیعی از هدف‌ها، آن‌ها را برحسب اهمیت رتبه‌بندی و شناسایی شکاف‌های بین وضع موجود و وضع مطلوب، تعیین اولویت‌ها برای عمل، از جمله اهداف است.

پیشرفت تکنولوژی بالاخص در حوزه اطلاعات و ارتباطات محیطی، سازمان‌های عصر حاضر را به شدت دست‌خوش تغییرات نموده است. در بطلان بسیاری از باورهای گذشته اکنون تردیدی نیست که باورهای جدیدی جایگزین باورهای ناکارآمد گذشته شده‌اند. اکنون بقای سازمان‌ها در گروی به‌روزرسانی پیش‌فرض‌های ذهنی مدیران آن‌ها است.

تکنولوژی اطلاعات اساساً یک تغییر کلی و جامع است. در آموزش تکنولوژی دو عامل مهم وجود دارد: یکی نیازهای جامعه و تغییرات سیاسی، اقتصادی و اجتماعی که در آن رخ می‌دهد. عامل دیگر مسائل داخلی مثل کمبود فیزیکی، کارگاه، آزمایشگاه و غیره است که برنامه‌ریز باید به آن‌ها توجه کند.

تکنولوژی اصلی‌ترین عامل تولید ثروت است و ثروت چیزی بیشتر از پول است که می‌تواند عواملی همچون ارتقای دانش، سرمایه فکری، استفاده مؤثر از منابع، حفظ منابع طبیعی و سایر عوامل مؤثر در ارتقای استاندارد و کیفیت زندگی را شامل شود. می‌توان گفت مدیریت سیستمی است که بکارگیری تکنولوژی را ممکن می‌سازد و شامل مسئولیتی است که این فعالیت‌ها را در راستای خدمت به بشر و برآورده ساختن نیازهای مشتری قرار می‌دهد. مزایای تکنولوژی هنگامی تحقق می‌یابند که نتیجه آن به دست مشتری برسد. مشتری می‌تواند فرد، شرکت، یا یک نهاد دولتی باشد. اختراعی که در قفسه نهاده شود تولید ثروت نمی‌کند. تکنولوژی هنگامی به تولید ثروت منجر می‌شود که یا تجاری شود و یا در مسیر تحقق استراتژیک یا عملیاتی یک سازمان به کار بسته شود و در نتیجه با تکنولوژی به عنوان بذر اولیه تولید ثروت برخورد می‌شود که با پرورشی صحیح و محیطی مناسب، این بذر اولیه به درخت تنومندی تبدیل می‌شود. سایر عوامل مؤثر دیگر سبب حاصل‌خیزتر شدن و برآوردن نیازهای آن محسوب می‌شوند.

مدیریت تکنولوژی مدیران را در تلاش‌هایشان برای بهبود بهره‌وری، افزایش اثربخشی و تقویت جایگاه رقابتی هدایت می‌کند. این مدیریت در سطح ملی بیشتر بر نقش سیاست‌های عمومی در پیش‌برد علم و تکنولوژی متمرکز است و تأثیرات کلی تکنولوژی بر جامعه و به ویژه نقش آن در توسعه اقتصادی پایدار را مورد بحث قرار می‌دهد. مدیریت تکنولوژی در سطح ملی مقولاتی همچون تأثیر تکنولوژی بر سلامتی و ایمنی و پیامدهای زیست محیطی آن را دربرمی‌گیرد. سیاست‌های تکنولوژی در

سطح دولت و سازمان در واقع چارچوبی برای استفاده از تغییرات تکنولوژیک در جهت منافع جامعه و کارکنان سازمان هستند. در مباحث مدیریت تکنولوژی تلاش می‌شود به سؤالات زیر پاسخ داده شود:

تکنولوژی چگونه خلق می‌شود؟ چگونه می‌توان آن را برای ایجاد فرصت‌های کسب و کار به کار بست؟ چگونه می‌توان استراتژی تکنولوژی را با استراتژی کسب و کار یکپارچه نمود؟ چگونه می‌توان از تکنولوژی برای کسب مزیت رقابتی استفاده کرد؟ تکنولوژی چگونه می‌تواند انعطاف‌پذیری سیستم‌های تولیدی و خدماتی را بهبود بخشد؟ چگونه می‌توان سازمان‌هایی طراحی نمود که با تحولات تکنولوژیک سازگار باشند؟ چه وقت باید به سراغ تکنولوژی رفت و چه وقت باید آن را کنار نهاد؟ تمامی این سرفصل‌ها در یکدیگر تنیده و بافت مدیریت تکنولوژی را تشکیل می‌دهند. این مقولات دارای پیامدهای مهمی برای مدیران و مهندسان هستند. مهندسان با مؤلف‌های فیزیکی تکنولوژی سر و کار دارند ولی باید بتوانند تکنولوژی را با سیستم‌های اقتصادی و بازار مرتبط سازند. مدیران نیز باید بتوانند پیامدهای تکنولوژی را برای کسب و کار خود پیش‌بینی کنند. مهمترین دلایل توجه به مدیریت تکنولوژی در دنیای کنونی عبارتند از سرعت گرفتن تحولات تکنولوژیک، تغییر در قلمرو، تغییر در رقابت و شکل‌گیری بلوک‌های تجاری. در نتیجه استفاده از تکنولوژی آموزشی مناسب، مورد کاوی<sup>۱</sup>، کارگاه آموزشی، ابزارها و روش‌های مورد استفاده در برنامه‌های آموزشی، برای ایجاد جذابیت بیشتر و افزایش ضریب توسعه است. ضمن اینکه موارد فوق، ابزار بسیار مؤثری در تثبیت مفاهیم و تمرینی برای بکارگیری آن‌ها در حین عمل محسوب می‌شود.

مدیران امروزی در محیطی پرابهام، پویا و متحول کار می‌کنند. یکی از بارزترین خصوصیات عصر حاضر، تغییرات و تحولات شگرف و مداوم در طرز تفکر، ایدئولوژی، ارزش‌های اجتماعی، روش‌های انجام کار و بسیاری از پدیده‌های دیگر زندگی است. علوم مختلف در چند دهه اخیر بیش از هر دوران دیگر در طول تاریخ بشر، پیشرفت کرده است. فناوری به‌طور مداوم و باشتابی بی‌مانند در حال تحول و پیشرفت است و ارتباطات جدید، امکان هرگونه تماس را از هر نقطه جهان به نقطه دیگر در کوتاه‌ترین مدت و با کمترین هزینه میسر ساخته است. استفاده از انواع رایانه‌های پیشرفته و نیروی کار رایانه‌ای در سازمان‌ها و محیط‌های کار، نمونه‌هایی از تغییرات به شمار می‌آیند. آثاری که دستگاه‌های پردازش الکترونیکی و نیروی کار رایانه‌ای در عملکرد سازمان‌ها و زندگی بشر امروز و آینده خواهند گذاشت، به تنهایی آن‌چنان زیاد و عظیم است که برخی از نویسندگان بزرگ در تاریخ تمدن انسان را بعد از انقلاب کشاورزی و انقلاب صنعتی، انقلاب الکترونیکی خوانده‌اند.

کثرت تغییراتی که سازمان‌ها و افراد با آن‌ها روبه‌رو هستند، از چنان فشار و نیرویی برخوردار است که همچون سیلی خروشان، هر نوع مقاومتی را در هم کوبیده و همه را با خود به جلو می‌برد. به بیان دیگر، وسعت و تنوع نیروی تغییری که بر پیکر سازمان‌های امروزی وارد می‌آید آنقدر زیاد است که برای آنها چاره‌ای جز انطباق با این تغییرات باقی نمی‌گذارد. تعدادی از نویسندگان حوزه مدیریت، نیروها و فشارهای تغییر را تحت چهارعنوان زیر طبقه‌بندی و خلاصه کرده‌اند:

- تغییر فناوری: در حال حاضر، آهنگ تغییر فناوری سریع‌تر از هر زمان دیگری است.
  - علم و دانش: به سبب وسعت دامنه علم، رشته‌های جدیدی از علوم موجود منشعب شده و در صحنه علم ظاهر شده‌اند.
  - کهنگی محصول و خدمت: محصولات، برنامه‌ها و روش‌های ارائه خدمات، تحت تاثیر تغییرات فناوری و پیشرفت علم و دانش، کهنه و منسوخ می‌شوند.
  - تغییر اجتماعی: انتظارات و ارزش‌های فکری کارکنان نسبت به نسل‌های گذشته تغییر کرده است.
- عوامل بالا گوشه‌ای از تغییرات بی‌شماری است که مدیران امروز با آن‌ها مواجه‌اند. لازم به تاکید است که این تغییرات با چنان سرعت فزاینده‌ای حادث می‌شوند و آن‌چنان متعدد و متنوعند که گاه نظام‌های اجتماعی و اداری قادر به همگامی و انطباق با آن‌ها نیستند. به همین دلیل، امروزه بزرگ‌ترین مسئله‌ای که هر سازمان با آن رو به روست، مسئله تحول و دگرگونیست. از این‌روست که مدیریت تغییر یکی از مهم‌ترین مباحث علم مدیریت به شمار می‌رود.

<sup>1</sup> Case Study

از طرف دیگر، قبول تحول و تحقق بخشیدن به آن از مهم‌ترین لازمه‌های بقا و رشد هر سازمان است، زیرا هر سازمانی، نظامی فرعی از یک نظام اجتماعی و یک نظام بزرگتر جهانی است و هنگامی که مجموع یک نظام در حال تحول و پیشرفت است، نظام‌های فرعی نیز ناگزیر باید خود را با تحولاتی که در نظام بزرگتر پدید آمده است، همگام و هماهنگ کنند، با توجه به مطلب فوق می‌توان گفت که مدیران امروزی با دو مسئله اساسی رو به رو هستند.

مسئله اول این است که چگونه سازمان خود را در جهتی توسعه دهند که بهتر بتواند با تغییرات و تحولات محیط هماهنگ شود، مسئله دوم این‌که چگونه انرژی و منابع انسانی سازمان را در جهتی هدایت کنند که ضمن تحقق اهداف سازمان و انجام مأموریت‌های سیستم، نیازهای کارکنان نیز تامین شود.

در چند دهه اخیر، مدیران روز به روز بیشتر متوجه این حقیقت شده‌اند که کوشش‌های پراکنده و جزء به جزء برای حل مسائل پیچیده سازمانی، کافی نیست. امروزه برنامه‌ریزی همه جانبه و وسیع‌تری لازم است، به نحوی که راهبردهای هماهنگ‌شده‌ای را برای پرورش فضای سازمانی، روش کار، روابط افراد، نظام‌های ارتباطی و اطلاعاتی در برداشته باشد و با شرایط و الزامات قابل پیش‌بینی و غیرقابل‌پیش‌بینی سال‌های آینده منطبق و سازگار باشد. به سبب این نیاز است که بهبود سازمان یا به عبارت دیگر، مساعی سیستماتیک برای تغییر برنامه‌ریزی شده، پای به عرصه وجود نهاده و امروزه از اهمیتی ویژه در علم مدیریت برخوردار است.

#### ❖ معنی و مفهوم بهبود سازمان

بهبود سازمان به نوعی تجدید نظر اصولی در سازمان دلالت دارد. تجدید نظری که بر نظام‌های ارزشی، اعتقادات و طرز تفکر موجود در داخل سازمان به گونه‌ای اثر گذارد که سازمان بتواند خود را با شتاب فزاینده تغییر، بهتر منطبق و هماهنگ کند، این اصطلاح چنان که از معنی ظاهری آن پیداست، به بهبود و پرورش توانایی‌های سازمان توجه دارد. تا حدی که سازمان بتواند به سطح مطلوبی از عملکرد و ایفای نقش برسد و این سطح را حفظ کند. بهبود سازمان، جریان مداوم مشکل‌گشایی است و انجام آن مستلزم همکاری اعضای سازمان و کارشناسان علوم رفتاری است. از دید بهبود سازمان، حتی سازمان‌هایی هم که در حال حاضر در سطح رضایت‌بخش عمل می‌کنند، جایی برای بهبود و پیشرفت بیشتر دارند. بهبود سازمان، فرآیندی از تغییر برنامه‌ریزی شده‌است که بیشتر در اطراف تغییر فرهنگ سازمانی دور می‌زند. تغییر برنامه‌ریزی شده علاوه بر ساختار سازمان، فرآیندهای حساس اطلاعاتی، تصمیم‌گیری، برنامه‌ریزی و ارتباطات را نیز در بر می‌گیرد. همچنین انتقال از یک فرهنگ سازمانی مقاوم در برابر تغییر به فرهنگی که برنامه‌ریزی برای مقابله و تطبیق با تغییرات را تشویق کند نیز از جمله مواردی است که بهبود سازمان به آن توجه دارد.

#### ❖ اهداف برنامه‌های بهبود سازمان

به طور کلی در فعالیتهای بهبود سازمان اهداف زیر دنبال می‌شود:

- پرورش نظامی مستعد برای رشد و خودسازی
- افزایش سلامت و اثربخشی سازمان اعم از کل سازمان یا قسمتی از سازمان و یا نظام‌های موقت مانند کمیته‌ها و امثال آن‌ها.
- ایجاد فضایی که در آن رقابت ناسالم بین گروه‌ها و واحدهای سازمان کاهش یافته و همکاری و اشتراک مساعی بین آن‌ها افزایش یابد.
- ایجاد فضایی که در آن برخوردها و تضادها تحت کنترل درآید و به‌خوبی اداره شود.
- ایجاد فضایی که در آن تصمیم‌گیری بیشتر براساس اطلاعات صورت گیرد، نه بر اساس نقش سازمانی یا سمت
- ادغام و یکسان‌سازی اهداف فردی با اهداف سازمانی
- تغییر فرهنگ گروهی و سازمانی به گونه‌ای که مقاومت در برابر تغییر را به حداقل برساند و برنامه‌ریزی و آینده نگری را تشویق کند.
- پرورش دادن گروه‌های کارآمد



- آموزش و پرورش افراد به ویژه مدیران و افرادی که دارای مشاغل حساس هستند.
- ایجاد فضایی که در آن کارکنان بتوانند عقاید و ایده‌های خود را آزادانه ابراز کنند و در حل مسائل گروهی و سازمانی مشارکت داشته باشند.
- ایجاد نظام تشویق پاداش که هم به تامین اهداف و ماموریت‌های سازمان توجه داشته باشد و هم به پیشرفت و رشد شخصی کارکنان
- کمک به مدیران در پیاده کردن روشی که مدیریت بر مبنای هدف اعمال شود نه مدیریت بر اساس عملکرد گذشته و هدف‌های نامرتبط با وظایف و مسئولیت‌ها
- ایجاد روحیه خودهدایتی و خودنظمی در افراد و گروه‌ها

## ۲. روش‌های نوین مدیریت

آنچه در ادامه می‌خوانید متن فیلمی آموزشی با عنوان پرواز بوفالوها می‌باشد که در آن آقای جیمز پلاسکو به معرفی روش‌های نوین مدیریت پرداخته است.

می‌خواهم در مورد تغییرات دنیا کنونی که به شکل چشم‌گیری بر روش کسب و کار تاثیر گذاشته است و روش برخوردی که برای باقی ماندن و ادامه بقا در قرن بیستم و یکم به آن نیازمندیم، سخن بگویم. من چهل و سه سال است که در بازار کار هستم و سی سال اول آن را دقیقاً می‌دانستم که چه باید بکنم. وظیفه من به عنوان رهبر شرکت و عنوان مدیر سازمان بسیار روشن بود می‌بایست برنامه‌ریزی، سازماندهی و کنترل را با هم انجام داده و مطمئن می‌شدم که امور به همان شکل که انتظار می‌رفت انجام شود. تصمیم‌گیری در سازمان با من بود. اگر کار خاصی در سازمان می‌بایست انجام می‌پذیرفت، من باید مطمئن می‌شدم که فرد مناسب اقدام صحیحی را در زمان مناسب انجام داده است.

این روش در سی سال اول زندگی کار من کما بیش جواب داد. سپس حادثه‌ای رخ داد که سبب شد در روش هدایت و پیش-برد شرکت و همچنین عملکردم در کلاس‌هایی که تدریس می‌کردم و نظرات مشورتی که به افراد می‌دادم، تجدیدنظر کنم. مرگ یکی از دوستان همکارم موجب شد تا پرسش‌هایی را با خود مطرح کنم. به خود گفتم که چرا با این شدت کار می‌کنم؟ چرا این میزان از وقتم را صرف کار می‌کنم؟ آیا من با این سخت کوشی در صدد ایجاد کار بزرگی هستم؟ یا تلاش من برای ایجاد یک مجلس ختم بزرگ است؟ بنابر این هیچ‌گاه از این تلاش‌ها لذتی نخواهم برد. آیا من با این شدت تلاش می‌کنم تا خودم لذت ببرم؟ یا تلاش می‌کنم زمینه خوبی برای بازماندگانم به وجود بیاورم؟

بنابر این تصمیم گرفتم که اوضاع را عوض کنم و این سوال بسیار مشکل را با خود مطرح ساختم: چند شرکت در جهان در یک دوره ده ساله ضریب بازدهی سهامشان حداقل بیست درصد یا بیشتر بوده است؟ در سراسر جهان تنها ۲۴ شرکت را یافتیم که به چنین شاخص مالی سخت و بلند مرتبه‌ای دست یافته بودند. من اخیراً با مدیران این شرکت‌ها صحبت کرده و دو موضوع را کشف نمودم: نخست آن که نوع صنعت و کار فرقی نمی‌کند و موضوع محصول مطرح نیست، چرا که این ۲۴ شرکت یکی در کار صنایع پزشکی بود و یکی خدمات نظافتی انجام می‌داد و برخلاف انتظار، دیگری یک شرکت کامپیوتری بود و دیگری دکل‌های حفاری نفت اجاره می‌داد. بنابر این نوع کار و محصول مهم نیست، آن چه که بیش از همه مهم است نوع رهبری مدیریتی است. زیرا اساساً این ۲۴ مدیر و رهبر شرکت‌های یاد شده بودند که با بقیه مدیران تفاوت داشتند.

دوم آن که این ۲۴ مدیر در حالی که در مقایسه با دیگران متفاوت هستند در بین خود آن‌ها نیز تفاوت وجود دارد. برخی از این‌ها شخصیت‌هایی کاریزماتیک هستند. یعنی هنگامی که به مکانی وارد می‌شوند فضای موجود را به تملک خود درمی‌آورند. حال آن‌که سایرین دارای شخصیت‌هایی قابل توجه نیستند. برخی از آن‌ها استراتژیست‌هایی با درایت و ارزشمند بودند و برخی دیگر حتی به سختی می‌توانستند یک کلمه حرف بزنند.

بدین ترتیب هیچ روش واحدی به عنوان روش رهبری مدیریتی وجود نداشت. هیچ‌کس قابل مشابَه‌سازی نبود. هیچ‌کس نبود که همانند او باشم. من می‌بایست روش خود را می‌یافتم. در نتیجه طی سیزده سال گذشته در چنین سیر و سفری بودم. من در

این سفر در جستجوی عوامل پیدایش رهبری مدیریتی حقیقتا تاثیرگذار بودم. بی‌شک آن چه سبب می‌گردد که رهبری مدیریتی یک تشکیلات بسیار موفق باشد، رهبری برای یک فصل یا یک سال نیست. بلکه رهبری برای یک دهه و بیش از آن است. یک مدیر موفق باید بدون مستهلک کردن خود کارهای بزرگ انجام دهد و سازمانی را بنیان گذارد که مدیر و تمام کارکنان آن به خاطر کار زندگی نمی‌کنند. بلکه به خاطر زندگی کار می‌کنند. آن‌ها از بازی فوتبال و مسابقات فوتبال، مراسم فارغ التحصیلی، جشن تولد و تمامی مراسم جزئی که سبب می‌گردد که این کار ارزشمند باشد، لذت می‌برند، البته من در این سیر و سفر، سه حقیقت تلخ را نیز کشف کردم، سه حقیقتی که به طرز اجتناب‌ناپذیری راهگشا هستند.

نخستین حقیقت این است که موفقیت دائم حق انسان است، اگر چه موفقیت مرا به جایی که هم‌اینک هستم رسانده است اما مرا به آن جایی که می‌خواهم باشم، نمی‌رساند. قبرستان شرکت‌ها پر است از استخوان‌های سازمان‌هایی که این حقیقت را درک نکرده‌اند و یا اگر درک کرده‌اند بسیار دیر متوجه شده‌اند. به عنوان نمونه‌ای مهم شرکت آی‌بی‌ام<sup>۱</sup> را در نظر بگیرید. در اوایل دهه ۸۰ این شرکت به عنوان شرکتی با بهترین مدیریت در سطح جهانی شناخته می‌شد. این شرکت بیش از هر شخص یا شرکت دیگری در جهان سود برد. اما حقیقت این است که همان چیزهایی که آن را به بهترین تبدیل کرده و سبب کمالش شد، مثل بهترین طراحی، بهترین ساخت، فروش وسیع سیستم‌های بزرگ، عامل شکستش شد. زیرا تغییری در این عوامل ایجاد نگردید در نتیجه چیزهایی که در دهه ۷۰ و ۸۰ به موفقیت شرکت منجر گردید، خود عامل شکست آن در دهه ۹۰ شد. من می‌توانم نمونه‌های بسیاری را یکی پس از دیگری ارائه کنم و حقیقت این است که از میان ۱۰۰ شرکتی که بزرگ‌ترین در سطح جهان محسوب می‌شوند، ۷۶ شرکت در طی ۱۰ سال گذشته نتوانستند هزینه‌های سرمایه خود را نیز تامین کنند. این است آن چیزی که ما را به این جا رسانده است اما ما را به جایی که می‌خواهیم برویم نمی‌رساند. آن چه را در مورد شرکت‌ها صدق می‌کند در مورد افراد نیز صادق است. شما شاهد آن چه که در شرایط دیروز کارا بوده و به موفقیت دیروز منجر شد هستید.

موفقیت دیروز نیز این امکان را به ما می‌دهد که امروز هم تلاش کنیم. اما دنیای امروز اساسا با دنیای دیروز متفاوت است، اگر همچنان به شیوه گذشته عمل کنیم، در دنیای امروز قطعاً با مشکل مواجه خواهیم شد. بی‌شک فردا نیز دنیای متفاوتی در پیش خواهد بود، اگر همچنان به شیوه‌های گذشته پایبند باشیم با توجه به تغییر دنیا فردا شکست قطعی است.

در این جا به دومین حقیقت تلخ می‌رسیم. من در طول زندگی، دیگران را مسئول مشکلات می‌دانستم. هنگامی که امور بر وفق مراد نبودند، که این امر نیز بسیار اتفاق افتاده است، شخص دیگری مقصر آن محسوب می‌شد. در نگاه من این دیگران خطاکار بودند. به سهولت و آسانی می‌گفتم که این مقررات دولتی، لعنتی هستند که اصلاً مناسب و کامل نیستند، مقرراتی که ناظران و مجریان آن به نظر من مشتکی بوروکرات هستند که اساساً ما را درک نمی‌کنند. مقصر مشتریان بودند که ارزش محصولات و خدمات ارائه شده توسط مرا درک نمی‌کردند. مقصر رقبایی بودند که محصولات خود را به بهایی پایین‌تر از قیمت تمام‌شده عرضه می‌کردند تا بازار را قبضه کنند. مقصر کارکنان بودند که نمی‌دانستند کار را چگونه انجام دهند و اساسی کار نمی‌کردند و مدعی بودند که به وظایف خود عمل می‌کنند، بلکه همواره مقصر آن‌ها بودند. این شیوه بسیار ساده، آسان و موثر بود، البته تا زمانی که دریافتم مشکل اساسی سازمان خود من هستم. واقعیت آن است که مجموعه‌ای از رویدادها به روشنی این موضوع را تایید می‌کنند. من بسیار خوب، عادی و محسوس می‌دانم که چه کار باید بکنم اما نمی‌توانم انجام آن را شاهد باشم. بنابر این مشکل اصلی سازمان خود من هستم، دیگران مشکل و مسئله نیستند.

اوائل خواستار آن بودم که گله‌ای از بوفالوها داشته باشم. بوفالوها حیوانات جالبی هستند، همگی وفادار به یک پیشرو هستند و آن چه را که به آن‌ها گفته می‌شود، دقیقاً انجام می‌دهند. آیا این جالب نیست که لحظه‌ای به این بیندیشید شما افرادی دارید که به شما وفادارند، آیا وفاداری جالب نیست؟ افرادی داریم که دقیقاً آن چه به آن‌ها گفته شده است انجام می‌دهند، آیا این چیزی نیست که ما خواستاریم؟

<sup>1</sup> IBM

بوفالوها بسیار بزرگ و عظیم‌الجثه هستند. وقتی آن‌ها به منطقه‌ای کوچ می‌کنند، تمامی منطقه را اشغال می‌کنند رئیس بوفالوها بودن بسیار خوشایند است هرچند با پاره‌ای از ناملایمات نیز همراه است. بوفالوها پرسش نمی‌کنند آن‌ها فقط دنباله‌روی می‌کنند.

کافی است که بوفالوی جلودار را شناسایی نموده و به سمت پرتگاه هدایت کنید. چه اتفاقی خواهد افتاد؟ تمامی گله در پی او حرکت خواهد کرد. بوفالوها تا زمانی که چیزی به آن‌ها نگفته شده است، حرکتی نخواهند کرد. تا وقتی که به آن‌ها گفته نشود که چه کار بکنند، در گوشه‌ای می‌ایستند و انتظار می‌کشند، آن‌ها منتظر دستورات هستند، در بسیاری از سازمان‌ها هم افراد بسیاری را دیده‌ام که با بی‌عملی منتظر دریافت دستورات می‌مانند. اما کافی است قدری توجه کنند که با این ایستادن در اطراف و منتظر ماندن برای دریافت دستورات رئیس، چه فرصت‌هایی را از دست داده‌اند.

تا آن‌جا که می‌دانم در سازمان من نیز چنین بوده است. همان گونه که عاقبت بوفالو، قوطی کنسرو در قفسه فروشگاه‌ها است، سرانجام سازمان‌های بوفالویی نیز قرار گرفتن در فهرست سازمان‌های فراموش شده خواهد بود. حقیقت این است که سازمان‌های بوفالویی با ایستادن در اطراف و منتظر فرمان رئیس ماندن، قادر به ادامه حیات نخواهد بود پس به این نتیجه رسیدم که ما نیازمند تشکیلات دیگری هستیم. ترجیح می‌دهم به جای یک گله وابسته بوفالوها، گروهی متکی به یکدیگر داشته باشم.

همان‌گونه که می‌دانید غازها پرندگان کوچک و جالبی هستند. هر غاز می‌داند که باید به همان‌جایی برود که مجموعه قصد دارد به آن‌جا برود. از آن‌جایی که غاز پیشرو به سبب وزش باد در مسیر حرکت زودتر از دیگران خسته می‌شود به عقب گروه باز می‌گردد و غاز دیگری از بخش میانی مجموعه به جای او پرواز کرده و در راس سایرین قرار می‌گیرد.

این بدان معناست که هر غازی دقیقاً می‌داند که دسته غازها به کجا می‌رود، آیا اکثر سازمان‌ها چنین هستند؟ آیا در اکثر سازمان‌ها کارکنان می‌دانند کل سازمان به کجا می‌رود؟ متأسفانه باید بگویم که من طی جستجوها و سفرهای خود در سراسر دنیا شمار بسیار محدودی را این‌چنین یافته‌ام. هر غاز می‌باید آماده باشد تا در صورت ضرورت گام پیش‌نهادده و مسئولیت جلو-دار بودن را بپذیرد، آیا این در سازمان‌ها واقعیت دارد؟ آیا در سازمان هر فردی مشتاق است گام پیش‌نهادده و مسئولیت را بپذیرد؟ احتمالاً پاسخ این پرسش منفی است. حقیقت این است که غازها نسبت به وضعیت یکدیگر حساس هستند.

اساساً از خصوصیات یک سازمان کارا این است که اعضاء نسبت به یکدیگر متعهد باشند. غازها به خوبی درک می‌کنند که نسبت به سرنوشت یکدیگر مسئولند. آن‌ها به سرنوشت همدیگر اهمیت می‌دهند و بنابراین اگر یک غاز به هنگام مسافرت بیمار شود و یا تیری به او اصابت کند و فرو افتد، دسته‌ای از غازها به همراه او به سمت پایین پرواز کرده و او را تغذیه و از او حمایت می‌کنند تا بهبود یابد. آیا اکثر سازمان‌ها چنین هستند؟ آن گونه که پی بردم، بیشتر سازمان‌ها همانند افراد بیگانه‌ای هستند که هریک سعی دارند به شکل بدی اهداف شخصی خود را محقق سازند. حقیقت این است که بیشتر سازمان‌ها برای نبردی که صد سال پیش پایان‌یافته طراحی شده‌اند. حقیقت این است که در زمینه تشکیلات و سازماندهی هنوز هم به اندازه غازها هوشیار نیستیم.

شواهد و مدارک در این خصوص بسیارند. حقیقت این است که ما همچنان روش سازماندهی گذشته را دنبال می‌کنیم. این‌ها همگی حقایق بسیار جالبی هستند که من بعداً موفق به کشف آن‌ها شدم و در گذشته توجهی بدان نداشتم. زمانی که تصمیم گرفتم تشکیلات متفاوتی داشته باشم، هیچ یک از این حقایق را نمی‌دانستم ولی بعداً موفق به درک آن‌ها شدم. به هر حال حقیقتی را که می‌دانستم این بود که مجموعه غازها از طریق همکاری متقابل اعضاء حرکت می‌کنند به طوری که نسبت پیشرفت مجموعه غازها به سمت مقصد می‌تواند ۱۷۱ درصد بیش از حرکت فردی غازها باشد.

دقیقاً به همین علت است که من خواستار آن هستم که به جای گله‌ای از بوفالوهای وابسته، دسته‌ای از غازها را داشته باشیم. به همین خاطر به بوفالوهای خود فرمان پرواز دادم. حدس بزنید چه اتفاقی افتاد؟ هیچ اتفاقی نیفتاد به طوری که تاکید هر چه بیشتر من منجر به مقاومت هر چه بیشتر آن‌ها شد. در این هنگام به سومین حقیقت تلخ پی بردم. سومین حقیقت تلخ این است که برای تغییر در سازمان، قبل از هر چیز من باید تغییر کنم. بیش از هر چیز مسئله به من و تغییر من مربوط است. بزرگ‌ترین مانع در مسیر تغییر، دیگران نیستند، بلکه من هستم.

این روند، روند بسیار دشواری بود و این در حقیقت دشوارترین موضوعی بوده که من طی ۵۸ سال گذشته به آن پی برده‌ام. تنها موضوع و دشوارترین موضوعی که آموخته‌ام، این است که خود را تغییر دهم. این امر بسیار مهم است. آیا شما می‌دانید چه کسی در جاده گرد و خاک ایجاد می‌کند؟ ماشین جلویی، چه کسی خاک می‌خورد؟ آن کس که در عقب حرکت می‌کند. چه تعدادی از شما در بازار موقعیت درجه اول را داشته‌اید؟ و چه تعداد از شما جایگاه شماره یک را در اختیار داشته‌اید؟ حال به من مزه خاک خوردن را بگویید. چالش اصلی آن است که بیاموزیم چگونه بوفالوهای خود را به پرواز در آوریم. اما چگونه؟ پاسخ آن است ما باید بیاموزیم که کارکنان باید مدیریت کنند، بیاموزیم که مدیر متفاوتی باشیم، بیاموزیم که افراد متفاوتی باشیم. و این سخت‌ترین ماموریتی است که شما می‌توانید تصور کنید. تغییر دادن خطوط بر روی کاغذ و دستور دادن به فرد دیگری برای تغییر، سهل و آسان است اما تغییر در عمل بسیار دشوار است. توجه کنید این موضوع وابسته به تعریفی کاملاً متفاوت از واژه‌ای است که واگذاری اختیار نامیده می‌شود.

از واژه واگذاری اختیار، بسیار استفاده شده است. در مطبوعات غرب به ویژه مطبوعات تجاری غرب بسیار رایج است. وقتی دقت می‌کنید، پی می‌برید که به طور مرتب و مکرر در مورد این کلمه سخن گفته می‌شود.

اجازه بدهید من تعریفی را در این زمینه ارائه کنم، تعریفی که در نتیجه آن واگذاری اختیار در چارچوب یادگیری اعطای مدیریت به کارکنان معنی پیدا خواهد کرد. معنای واگذاری اختیار این است که شما به کسی اختیار نمی‌دهید. واگذاری اختیار از بالا به پایین صورت نمی‌گیرد. واگذاری اختیار از درون به بیرون است. واگذاری اختیار زمانی است که کارکنان برای اقدامات خود مسئول باشند. واگذاری اختیار زمانی است که هر یک از پرسنل می‌گویند من می‌خواهم مسئول باشم این بسیار جالب است. پرسنلی که می‌خواهند مسئول باشند کارمندانی که می‌گویند ما مسئولیم، آن‌هایی که مسئولیت پذیرند این معنی حقیقی واگذاری اختیار است. حال قدری بر واژه واگذاری اختیار تمرکز کنید. واژه واگذاری اختیار امری است درونی، چیزی نیست که از بیرون بر یک سازمان دیکته شود. واگذاری اختیار بدان معنی نیست که هر چه را دوست دارید انجام بدهید. واگذاری اختیار این‌گونه نیست که در ساعت ۱۰ در اداره حاضر شوید و ساعت ۱۲ اداره را ترک کنید. اینها معنی واگذاری اختیار نیست. آیا واگذاری اختیار این است که شما کاری را به کسی واگذار کنید و سپس اداره را ترک کنید و بگویید بسیار خوب، این مسئولیت شماست! من می‌خواهم به تفریح بروم؟ این اصلاً معنای واگذاری اختیار نیست. واگذاری اختیار توجه بیشتر به مشتریان است. واگذاری اختیار، تمرکز بر آن است که کارهای درست برای مشتریان انجام شود.

نخستین کار گفتگوی مستقیم با مشتریان است. یکی از مسائل سازمان‌های اجرایی این است که ارتباط با مشتریان به صورت متمرکز در بخش خدمات مشتریان است. تنها فروشندگان با مشتریان در تماس‌اند و ممکن است بخش شکایات با مشتریان تماس داشته باشند، اما کس دیگری با مشتریان در تماس نیست. یکی از نخستین کارهایی که یکی از مدیران موفق در شرکت خود انجام داد آن بود که پس از دریافت شکایات از مشتریان، آن‌ها را برای افرادی که محصول را می‌ساختند می‌فرستاد. وی می‌خواست که آن‌ها خود به مشکل خود پاسخ دهند. او می‌گفت: این من هستم که باید به مشکل پاسخ دهم، این بخش مشتریان نیست که باید به مشکل پاسخ دهد. بلکه شما سازندگان باید به مشتری پاسخ دهید که چرا این محصول خوب نیست و چرا ظاهر خوبی ندارد و چرا بسته‌بندی به شکل مناسبی انجام نشده است؟ شما باید توضیح دهید که چرا کارکرد آن خوب نیست و سپس شما باید آن را اصلاح کنید. بنابر این ضروری است که کارکنان را رودرو و چهره به چهره با مشتریان قرار دهید، این نخستین مطلب است.

دومین مطلب آن است که باید افراد را از واقعیت‌های مالی و کسب و کار سازمان خود مطلع سازید، من تصور می‌کنم که بسیار از افراد معتقدند که مدیران پول زیادی به جیب می‌زنند. حقوق‌های غیرقابل قبول و چیزهایی مختلفی را دریافت می‌کنند که هزینه آن‌ها سبب افزایش هزینه سایرین می‌شود این نیز حقیقت ندارد.

بسیاری از افراد درک نمی‌کنند که موفقیت مالی در کسب و کار چگونه به دست می‌آید. ما به آن‌ها این مسائل را نیاموخته‌ایم. ما تمامی اطلاعات مالی خود را بسیار سری نگه‌داری می‌کنیم. بنابراین کارکنان بر اساس حدس و گمان پیش‌بینی می‌کنند و حدس و گمان آن‌ها نیز همواره ناصحیح است. شما اطلاعات رقابتی را مخفی نگه می‌دارید و آن‌ها را مطلع نمی‌سازید. ما به

آن‌ها اجازه نمی‌دهیم که بدانند موفقیت چگونه حاصل می‌شود، ما به آن‌ها اجازه نمی‌دهیم حقایق شرکت را بدانند و این آگاهی ندادن به آن‌ها و درجریان قرار ندادن آن‌هاست که در نتیجه آن‌ها نیز نمی‌توانند مشکلات را دریابند. این وحشتناک است و اداره کار این‌چنین ممکن نیست. بدین سبب است که آن‌ها خواهان تغییر نیستند. ما باید اطلاعات را در اختیار افراد قرار دهیم و در خصوص استفاده از روش منظمی در انجام این مهم سخن بگوییم. یادآوری می‌کنم که این مسئله‌ای بسیار اساسی است. افراد از تغییر، خصوصاً تغییر اجباری متنفرند. اما آن‌ها به تغییر اختیار عشقی می‌ورزند. به طوری ترغیب می‌شوند به مردم بگویند که این تغییر من است و تغییر شما نیست. در این ارتباط پنج واقعیت وجود دارد که من به آن‌ها خواهم پرداخت. نخستین واقعیت چیزی است که من آن را موازنه ارزش می‌نامم. بسیاری از ما در جهانی متولد شده‌ایم و رشد کرده‌ایم که در آن به دنبال نتایج مالی بوده‌ایم. بر نتایج اقتصادی تمرکز داشته‌ایم. چگونه پول بیشتری به دست آوریم؟ سود بیشتر یا سهم بیشتری از بازار؟ و مرتباً ترازنامه و اطلاعات مربوط به سهم بازار را مطالعه و بررسی می‌کنیم. واقعیت این است که در دست داشتن بخشی از بازار و کسب در آمد تنها زمانی محقق می‌شود که شما رضایت مشتری را داشته باشید.

اجازه بدهید دوباره تکرار کنم، این بسیار مهم است که بدانیم تنها راه ایجاد درآمد در دراز مدت و در اختیار داشتن بخشی از بازار، جلب رضایت مشتری است. مهم نیست که شما به چه نوع کسب و کاری مشغول هستید، مهم نیست که پیشه و حرفه شما حمل و نقل زباله، خدمات نظافتی، کامپیوتر و یا صنایع پزشکی باشد. در هر صورت تنها راه دستیابی به موفقیت‌های اقتصادی جلب رضایت مشتری است.

شواهد موجود در این زمینه بسیار زیاد است. شواهد بسیار زیادی نیز وجود دارد که جلب رضایت مشتری، تنها از طریق (-رضایت کارایی) کارکنان خواهد بود و این تنها راه حل است.

من به جای استفاده از کلمه رضایت از عبارت رضایت کارایی استفاده نموده‌ام. زیرا حقیقت این است که بیش از ۹۰ سال تحقیقات آکادمیک نتوانسته است رابطه مثبتی را بین رضایت و کارایی نشان دهد. رضایت کارکنان مربوط به کارایی آن‌ها نیست. کارکنانی که از هر جهت نیازهای آن‌ها تامین می‌باشد، لزوماً بهتر یا بیشتر تولید نخواهند کرد. معادله این نیست و طبیعت نیز چنین عمل نمی‌کند. انسان‌ها نیز این چنین عمل نمی‌کنند. به هر حال معادله این است که کارگران مولد، از رضایت‌مندی بیشتری برخوردارند. حال معنای مولد بودن قدری متفاوت است. مولد بودن که خود واژه در خور توجهی است به معنای سخت‌کوشی و ساخت قطعات بیشتر و فروش بیشتر نیست. مفهوم مولد بودن مترادف با احساس خاصی است. هنگامی که افراد خود احساس کنند که کار را به درستی انجام داده‌اند و در عین حال مشتری نیز همین احساس را به زبان آورد در این هنگام احساس مولد بودن در فرد پیدا خواهد شد. این زمانی است که آن‌ها راضی خواهند بود. بنابراین اگر واقعاً می‌خواهیم در پیشه‌های گوناگون خود موفق باشیم و صاحب شرکتی با اقتصاد پویا باشیم و اگر خواستار موفقیت اقتصادی هستیم تنها راه دستیابی به چنین موفقیتی ایجاد شرایطی است که افراد در آن از احساس مولد بودن برخوردار باشند. احساس کنند که کار درستی انجام داده‌اند و مشتریان نیز این احساس را تایید کنند. این بدان معنا است که ما باید انرژی و تلاش خود را در مسیر چنین فعالیتی هدایت کنیم.

از خود بپرسید که طی هفته گذشته چه مقدار از وقتتان صرف نگرانی در مورد عواقب مالی و چه مقدار از آن صرف ایجاد شرایطی جهت مولد بودن افراد در سازمان شده است. نظر من این است که بیشتر وقت شما صرف نگرانی نسبت به نتایج اقتصادی فعالیت‌ها شده است و وقت ناچیزی را صرف ایجاد کارایی و رضایت نموده‌اید. نخستین حقیقت مهم و بسیار مهم که وظیفه مدیران و رهبران می‌باشد، تمرکز بر شرایطی است که می‌تواند به مولد بودن افراد و شرکت منجر شود.

دومین واقعیت این است که وظیفه هر فرد در سازمان، تمرکز در ایجاد شرایطی است که هرکس بتواند برای موفقیت مشتری تمامی توان خود را به کار گیرد. مشتریان موفقیت را این گونه تعریف می‌کنند: موفقیت اجتماعی، موفقیت اقتصادی، موفقیت در بازار و چیزی که من موفقیت شخصی می‌نامم. حال دومین سوال مهمی که می‌خواهم در مورد آن فکر کنید، این است که ما چگونه عمل کنیم تا در خدمت این چهار موفقیت باشیم؟ با در نظر گرفتن این چهار اصل، شما در کسب و کار خود برای موفقیت چه می‌کنید؟ هنگامی که در مورد معنای این‌ها فکر می‌کنید درمی‌یابید که این مجموعه بیانگر آن است که حقیقتاً ما

باید آن چه را که آن‌ها احتیاج دارند، انجام دهیم. ما همگی باید تلاش کنیم تا کسب و کار آن‌ها و نیازهای آن‌ها را درک کرده و سپس آن‌ها را در تحقق اهدافشان یاری کنیم و این کار باید از طریق درک و فهم، بینش و توانایی‌هایمان صورت پذیرد. از این راه به افراد کمک می‌کنیم تا رضایت مشتریان را جلب کنند. این موضوع فوق‌العاده حساس و بسیار مهم است. این موضوع حقیقتاً مبین آن است که ما باید خواست آن‌ها را درک کنیم. سپس آن چه را که برای رسیدن آن‌ها به اهدافشان لازم می‌باشد، مشخص کنیم که این خود روش مهمی در سنجش کسب و کار ماست. هنگامی که به سازمان خود نظر می‌کنید، این پرسش را مورد توجه قرار دهید که چه مقدار از فعالیت‌هایی که در کسب و کار ما صورت می‌پذیرد در خدمت این امور است؟ از خود بپرسید چه میزان از وقت شما و چه میزان از وقت افراد صرف آن امور می‌شود. در مقابل چه میزان از وقت شما صرف پرداختن به کارهای داخلی سازمان می‌شود؟ چه میزان از وقت شما صرف امور بودجه‌ای، کارهای بازاریابی و مرور فعالیت‌ها می‌شود؟

من فکر می‌کنم در خواهید یافت که بیشتر وقت شما صرف مسائل داخلی سازمان می‌شود تا حل و فصل مشکلات مشتریان، مشکل همین‌جاست و این یک بیماری است. این بیماری فراگیری است که کار را تهدید می‌کند و به معنای صرف زمان در درون به جای بیرون است. بنابر این نکته مهم این است که ما نیازمندیم تا همگی تمام توان خود را بر موفقیت مشتری متمرکز کنیم. لازم است توان و اندیشه تمامی افراد را در خصوص موفقیت قطعی و تضمین شده مشتریانمان متمرکز کنیم. این طبیعتاً ما را به نتیجه بعدی می‌رساند.

همان‌گونه که می‌دانیم، اکثر ما در اعمال مدیریت از بالا به پایین بسیار کار آزموده‌ایم. که چگونه دستور دهیم، چگونه پاسخ دهیم، چگونه به افراد بگوییم چه کار کنند، ما آموخته‌ایم از بالا به پایین اعمال مدیریت کنیم. حقیقت این است که اگر ما می‌خواهیم مدیریتی موثر اعمال کنیم، می‌بایست بیاموزیم که به شکل افقی مدیریت کنیم. قصد ما آن است که چنین کنیم و تنها راه مدیریت از جانب مشتری به درون سازمان است.

ما باید سازمانی به وجود آوریم که در آن مشتری رئیس باشد. رئیس پیشین رئیس نیست. این مشتری است که ریاست می‌کند، نه آن شخصی که در گوشه دفتر می‌نشیند. برای انجام این مهم باید سلسله مراتب موجود را به فراموشی بسپاریم. تنها سازمان‌هایی که در می‌یابند چگونه مشتری را مبدل به رئیس کنند، به سبب هزینه و کیفیت و خدمات در دهه نخست قرن ۲۱ ادامه حیات خواهند داد. انجام این مهم مستلزم حذف سلسله مراتب است، ما باید به سمت سازمان‌هایی حرکت کنیم که سلسله مراتب مدیریت عمودی را حذف کرده و سیستم‌های جدید را جایگزین آن سازند. در طول تجزیه و مطالعات خود دو سیستم ارزشمند را یافته‌ام که عبارتند از: توافق‌نامه داخلی برنامه عملیاتی و کارنامه کار. بر اساس هر دو روش یاد شده فشارهای دائمی برای تغییر به وجود می‌آید. این همان چیزی است که بدان نیاز دارید و این پایه به‌کارگیری این دو سیستم است و آن چه را ما خواستار آن هستیم تمرکز و نظم است. واقعیت این است که ما نمی‌توانیم برای همه‌کس همه‌چیز باشیم. باید در زمینه‌هایی تمرکز کنیم که بهترین هستیم. برای روشن‌تر شدن مطلب لازم است پنج اصلی را که مدیران باید در این رابطه به کار برند توضیح دهیم.

انتقال مالکیت و صاحب کاربودن و انتقال تصمیم‌گیری در مورد آن‌ها و این که هر چیز استاندارد شود. ایجاد شرایط مالکیت کار و به وجود آوردن سیستم‌هایی که باید به کار بسته شود. چند سیستم وجود دارد که اساسی و مهم هستند. این سیستم‌ها باید به وجود آید تا در نتیجه شرایط صاحب کار بودن مهیا گردد. کارکنان پاسخ مثبت دهند و سمت‌گیری مدیریت از مشتریان به طرف سازمان شود.

- سیستم توافق‌نامه برنامه عملیاتی: یعنی انعقاد توافقات بلند مدت و کوتاه مدت کار با مشتری. توافقات بلند مدت همکاری با مشتریان می‌بایست با تمامی همکاران داخلی سازمان پیوند خورده باشد. اگر به خاطر داشته باشید گفتیم که مشتریان کوچک به همراه یکدیگر با مشتریان بزرگ پیونده خورده‌اند.

- سیستم اطلاعاتی دو کار انجام می‌دهد: نخست آن که سبب می‌گردد تا شما بازتاب به هنگامی را از سوی مشتریان دریافت کنید، دوم این که موجب ارائه اطلاعات مالی روشن و واضح می‌شود. این سیستم اطلاعاتی مالی روشن و

واضح به گونه‌ای است که تمام اطلاعات موجود را در دسترس کلیه افرادی که بدان نیاز دارند، می‌گذارد. ما تمایل داریم که اطلاعات را مخفی نگه داریم، در حالی که این اطلاعات باید در سازمان پخش شود تا مورد استفاده تمامی افراد قرار گیرد.

- سیستم تشویق: سیستم تشویق باید توسط کارکنان طراحی شود. ممکن است احمقانه به نظر آید ولی چه کسی بهتر می‌داند که چه چیزی موجب انگیزش شما می‌شود؟ اگر بخواهیم که شما را برانگیزیم از چه کسی باید بپرسیم؟ معلوم است از خود شما، آیا این راهی است که ما برای انگیزش در محیط کارمان انتخاب کرده‌ایم؟ مطلقاً خیر. بنابر این کلیه مسئله این است که از خود افرادی که می‌خواهیم تشویق شوند، بپرسیم چه چیز باعث انگیزش آن‌ها می‌شود؟ برای این کار دو چیز اساسی لازم است: نخست داشتن دستورالعمل‌های سازمانی، زیرا ما نمی‌خواهیم در خزانه را باز کنیم تا پول‌ها را به باد دهیم. هدف ما این نیست. دوم اندیشیدن تمهیداتی برای درک واقعیت مسائل مالی. آیا شما دلتان نمی‌خواهد یک میلیون پوند درآمد داشته باشید؟ وقت آن است که ببینیم داشتن درآمد یک میلیون پوندی یعنی چه؟ بهتر است نگاهی به واقعیت وضعیت فعلی کسب و کارمان بکنیم تا متوجه شویم که داشتن در آمد یک میلیون پوند چه شرایطی دارد؟ ما چگونه وضعیت مالی را در این کار سامان دهیم تا شما به درآمد یک میلیون پوندی برسید؟ من عاشق این هستم که شما در آمدی یک میلیون پوندی داشته باشید، چون اگر شما این درآمد را داشته باشید، فکر می‌کنم که من هم دارای یک چنین درآمدی خواهم بود. بنابر این من خیلی این موضوع را دوست دارم. نکته اساسی این است که به افراد آموزش داده شود که واقعیت کسب و کار چیست به نحوی که درک کنند داشتن درآمد یک میلیون پوندی یا صدها هزار پوندی شرایط و الزاماتی دارد.

- سیستم انتخابی: این سیستم همکاران و مشتریان را درگیر می‌کند و هر دو گروه را شامل می‌شود. برای مثال ما از مشتریان بانک دعوت می‌کنیم که بیایند تا با افرادی که می‌خواهیم به عنوان کارمندان اعتبارات، صندوقدار، مدیران شعب استخدام کنیم، مصاحبه نهایی را انجام دهند. زیرا آن‌ها هستند که باید به وسیله این افراد خدمات نهایی را دریافت کنند.

- چرا آن‌ها نگویند که چه شخصی کجا باشد؟ آیا آن‌ها بهتر از هر کس دیگری افرادی را که قرار است در خدمت آن‌ها باشند تشخیص نمی‌دهند؟ بنابر این ما از مشتریان و همکاران دعوت می‌کنیم در فرآیند انتخاب دخالت کنند. ما نیازمند فرآیندی هستیم که مشتریان و همکاران در انتخاب و به کارگیری افراد دخالت کنند. جایی که عملکرد افراد افقی ارزیابی می‌شود و نه عمودی، ما حقیقتاً باید به سمتی برویم که نیازهای شرکت به شکل افقی اداره شود.

- سیستمی که در آن تمامی افراد در حال یادگیری مداوم باشند. تمامی افراد چه صندوقدار بانک و چه کارمند اعتبارات باید در حال یادگیری باشند. مدیران موفق برای تحقق این امر یک برنامه آموزشی طراحی کرده‌اند که با مشتریان و همکاران‌شان درباره آن که چگونه عملکردشان را بهبود بخشند و بهتر در خدمت آنان باشند گفتگو کرده‌اند.

این سیستم‌ها حقیقتاً حیاتی هستند و به قدری اساسی می‌باشند که موفقیت آینده کسب و کار شما بدان وابسته است. بنابر این دومین وظیفه خطیر مدیر به عنوان رهبر، به کارگیری سیستم‌هایی است که موجب فضای احساس مالکیت کار می‌شود.

مربی‌گری افراد برای بهتر شدن مشتریان و از آن مهم‌تر، بهتر شدن خودشان. نکته اساسی مدیریت، مفهوم مربی‌گری است و وظیفه اصلی مربی آن است که رشد کارکنان خود را هدایت کند و به آنان کمک کند تا توانایی‌های شخصی‌شان را رشد دهند به نحوی که به مشتریان خود بهتر خدمت کنند. مربی این کار را با پرسیدن دو سوال انجام می‌دهد. این مطلب واقعاً مشکل است. زیرا مهم‌ترین، سخت‌ترین و بالاترین واقعیت و حقیقتی که باید یاد بگیریم جواب دادن یا دستور دادن نیست بلکه سوال کردن است. این برای من و بیشتر مدیران سخت است، چون

فکر می‌کنیم در موقعیتی هستیم که باید پاسخ‌های بزرگ داشته باشیم در مسئولیتی قرار داریم که باید سریع‌ترین مدیر تصمیم‌گیر باشیم.

برای مدیری که از هر کس دیگری سریع‌تر تصمیم می‌گیرد، بسیار سخت است که این رویه را عوض کند و از این موضوع فاصله بگیرد. اما دو سوال است که باید پرسیده شود: اول آن برای مشتریان چه باید باشید؟ این سوال بسیار اساسی است. بنابر این کمک کنید که همه بفهمند که وظیفه‌شان کمک به مشتری است. دومین سوال آن که برای خودتان چه می‌توانید باشید؟ زیرا بیشتر افراد انتظارات کمی برای خودشان دارند. آن‌ها نمی‌توانند خودشان را به عظمتی که می‌توانند داشته باشند ببینند. وظیفه مربیان آن است که کمک کنند افراد نمیرند و با پشیمانی‌ها زندگی نکنند.

همه ما می‌توانیم بهتر باشیم و ما به آن‌ها کمک می‌کنیم که این را ببینند. این همان وظیفه ما یعنی مربی‌گری است. من به همان میزان که به اختیار داشتن و کنترل عشق می‌ورزم، به مسئول بودن نیز عشق می‌ورزم و به رشد افراد علاقه‌مند هستم. در چند سال گذشته آموخته‌ام که از این طریق لذت ببرم. بنابر این سومین وظیفه اساسی آموختن مربی‌گری است. از همه مهم‌تر مربی‌گری افراد برای بهتر شدن خودشان است.

آخرین نکته اساسی آموختن است. یعنی همان‌طور که خود به سرعت یاد می‌گیرم باید دیگران را هم بیاموزم. ما نیازمند آموختنیم زیرا نیازمند آنیم که متفاوت باشیم. تا وقتی تفاوت پیدا نکنیم تغییری اتفاق نمی‌افتد و برای تحقق آن اساساً دو فرایند نقش اساسی را ایفا می‌کنند:

نخستین فرآیند شکل‌دهی توافق‌نامه‌های برنامه عملیاتی تعیین اهداف اجرایی و اقدامات مربوط به آن است. در آغاز باید به نگاه استراتژیک دریابیم که برای مشتریان‌مان چگونه باشیم و سپس با تعیین برنامه آینده برنامه حال را جهت رسیدن به آن آینده تنظیم کنیم.

پس روند کار، آغاز از آینده و سپس تعیین وضعیت کنونی است. با توجه به آینده مورد نظر این پرسش که برای مشتریان چگونه باید باشیم مشخص خواهد شد. مجموعه فرآیند بر سه موضوع اساسی متکی است:

- وظایف و مسئولیت‌های مورد توافق ما چیست؟
  - نقش تصمیم‌گیری‌ها چیست؟ چه کسی چه تصمیمی را اتخاذ می‌کند؟
  - هر یک از ما برای دستیابی به چنین اهدافی چه اقداماتی را در کوتاه مدت انجام می‌دهیم؟
- آن چه را که هریک از ما از نظر جمعی و از نظر فردی در سازمان انجام می‌دهیم حقیقتاً چیزهایی است که یک سازمان شفاف برای ما ایجاد خواهد کرد. توافق یاد شده بر مبنای دو پرسش استوار است: اول آن که مهم‌ترین مسئولیت‌های من و گروه من برای تحقق موفقیت مشتری چیست؟ مهم‌ترین بایدها چیست؟ درخواست مشتریان ما چیست؟ ثانیاً من چه خواهم کرد؟ نقش من برای موفقیت هر چه بیشتر گروه در خصوص موفقیت مشتری چیست؟ نقش من برای گروه و فرد چیست؟
- تمامی این‌ها زمانی موثر است که شما فرآیند اصلی را که فرآیند ثبت نتایج و تهیه کارنامه است در اختیار داشته باشید. این سوال مطرح است که ایجاد تغییر در یک سازمان بدون بروز بحران مالی چگونه خواهد بود. نخستین کاری که باید انجام دهید بهره‌گیری از فرآیند توافق‌نامه برنامه اجرایی جاری است و این عبارت است از مواجه ساختن کارکنان با خواست‌های مشتری به صورت مستمر به طوری که خود بخشی از نیازهای تغییر را پاسخ‌گو باشند. دومین فرآیند، خود نیازهای دیگری را در زمینه تغییر ایجاد می‌کند.

نخستین مرحله احساس رضایت کارکنان است. زیرا همان‌گونه که می‌دانید در صورت نبودن رضایت در میان کارکنان به نتایج بلند مدت اقتصادی دست نخواهیم یافت. بنابر این نخستین پرسش مهم این است که چه کار مثبتی را در زمینه رضایت همکاران انجام دهیم.



دومین پرسش مهم این است که در مجموع کار ما چقدر مثبت است؟ شما می‌بایست کاری انجام دهید که بیشتر کارکنان انجام می‌دهند. من شرایط را ایجاد خواهم کرد و این کاری فردی و شخصی است چرا که من مسئولیت شخصی انجام کارها را دارا هستم.

سومین نکته مهم این است که سودآوری آن چقدر خواهد بود؟ هدف چنین تجربه‌ای سودآوری است. چهارمین و مهم‌ترین موضوع، مسئله ارزیابی و سنجش است. سنجش بسیار مهم است. به طور نمونه شما می‌توانید با توجه به نتایج ارزیابی و سنجش کنید. بنابراین اولین موضوع مهم سنجش نتایج و دومین موضوع، سنجش بهترین عملکردهاست. شرکتی را اداره می‌کنم که موفق است و از لحاظ اقتصادی نیز موفق می‌باشد و به سرعت در حال رشد است و تصور می‌کنم که اقدامات اجرایی خوبی هم انجام داده‌ایم. بنابر این وقتی در سال گذشته تصمیم گرفتیم که مشاغل را بسنجیم دست خود را بلند کردم تا اولین نفر باشم. گروهی تشکیل دادیم و بررسی کردیم که چه عواملی سبب پیدایش یک مدیر عامل خوب می‌شود. سپس بررسی کردیم که چه کسانی بهترین مدیران کل هستند. نخستین چیزی که یافتیم این بود که بهترین مدیر فردی است در ژاپن، او ریاست یک شرکت ۵ میلیارد دلاری لوازم یدکی اتومبیل را در ژاپن به عهده دارد. او از ما دعوت کرد و ما به جا رفتیم و یک هفته را در آن جا گذرانیدیم. من یک هفته را در توکیو برای مطالعه عملکرد او گذراندم و هنگامی که کار ما به پایان رسید، مجموعه گروه ما عملکرد ما با عملکرد او مقایسه کرد. نتیجه آن بود که عملکرد من ۴۶ درصد عملکرد وی بود. فرایند سنجش و ارزیابی، روند بسیار خوبی است و در واقع بهترین محرکی است که افراد را به جلو سوق می‌دهد. اما چهارمین حقیقت تلخ این است که برای این سیر و سفر در آینده طرح و نقشه مشخص وجود ندارد. شما نمی‌توانید آن چه را که برای کمپانی دات شل مفید بوده است تکرار کنید. اساساً نمی‌توان از کسی تقلید کرد زیرا طرحی کلی موجود نیست و شما باید طرح خود را ابداع کنید. این کار بسیار مهمی است که موفقیت وابسته به آن است چنانچه جوهر مسئولیت فردی با تعهد در آمیزد، قطعاً آن چه باید بشود می‌شود. حقیقتاً امیدوارم که پیام من به شما کمک کند و برخی از این درس‌ها را به سازمان‌های خود ببرید و به افرادی دیگر منتقل کنید.

### ۳. مهارت‌های مدیریت

از مهارت‌های مدیریت، می‌توان به مورد زیر اشاره نمود:

- فائق آمدن بر کارکنان خشمگین: خشم نیرویی است که می‌تواند یک سازمان را به سوی بهبودی سوق دهد یا آن که می‌تواند نیرویی باشد که به توانمندی سازمان در دستیابی به اهداف خود در سطحی معمولی نیز آسیب وارد کند. کدامیک از این نتایج روی خواهد داد و به وقوع خواهد پیوست نحوه برخورد مدیر با یک کشمکش یا ناسازگاری و خشم شرایط و چگونگی اوضاع و نیز جو حاکم را رقم می‌زند. انواع مختلف از شرایط خشم ناسازگاری یا کشمکش وجود دارد که مدیران ممکن است در هر زمانی با آن مواجه شوند. هریک از این شرایط تفاوت ناچیزی با دیگری دارد و ممکن است برای کنار آمدن با آنها نیاز به مجموعه‌ای از مهارت‌های مختلف باشد. برای نمونه:

- یک کارمند خشمگین با کارمند دیگر در ستیز است.
  - یک کارمند خشمگین با مدیر در ستیز یا تعارض است.
  - یک کارمند از فردی در سازمان دیگری خشمگین است.
  - دو جناح یا دو دسته که به روال عادی و به صورت عادت در حالت تدافعی یا تهاجمی قرار دارند.
- ما در نظر داریم چشم‌اندازی به سوی کارکنان خشمگین داشته باشیم. کارکنانی که تحت دستور و فرمان شما (به عنوان مدیر دستگاه) اداره می‌شوند و در راستای قلمرو و حوزه مدیریت شما قرار دارند. خشم توأم با نوعی سردی و بی‌احساسی. آگاه باشید خشمی که شما ناظر آن هستید و به چشم می‌بینید آسان‌تر از خشمی است که به وسیله کارکنان به صورت غیرآشکار و غیرصریح ایجاد می‌شود. باید بدانید که بخش عمده‌ای از خشم کارکنان مستقیماً به مدیر ابراز نمی‌شود و به زبان نیز نمی‌آید. این نمونه خشم و عصبانیت است که برای سازمان شما مخرب است. بخصوص از آنجایی این نمونه از خشم به صورت پنهانی

در قالب فعالیت‌هایی همچون خیانت غیرمنتظره، عدم همکاری، شایعه پراکنی و کارآیی ضعیف خود را آشکار خواهد ساخت. یک وظیفه مهم مدیر هوشیاری نسبت به روش‌ها است که بیان می‌دارد که به صورت پنهانی است و این نوع خشم خود را در لایه‌های درونی شخصیت افراد مشخص نگه داشته و در همان‌جا سکنی گزیده است. هرچند عهده‌دار شدن مسئولیت، شناسایی و فایق آمدن بر خشم‌های پنهانی بسیار سخت است ولی باید قبول داشت که بخش اعظم و مهم در این رابطه ایجاد محیطی است که در پناه آن بتوان چنین تعارضی را حل و فصل کرد.

اصول اساسی:

۱. شرایط خشم و عصبانیت، بازتابی مخرب در بر خواهد داشت. بخصوص زمانی که با شرایط پیش‌گفته به سرعت و به صورتی موثر و کارآمد برخورد نشود. وقتی با شرایط ویژه به‌طور مناسب برخورد شود تمایل گروه به بهبود و قدرتمند شدن بیشتر خواهد شد.
  ۲. زمانی که این طور به نظر می‌رسد که احتمال دارد کارکنان خشمگین بخواهند یک مسئله خاص بیان شود آن‌ها در جستجوی چیز دیگری هستند که آن‌ها نسبت به آن چیز به دیده برابر یا مساوی یا چیزی مهم‌تر می‌نگرند.
  ۳. کارکنان به دقت مراقبند که ببینند شما چگونه رفتار خشمگینی که به سمت شما به عنوان مدیر اعمال شده را مهار می‌کنید. توانایی شما برای رهبری و هدایت امر به نوع رفتار شما و تفسیری که از شما به عمل می‌آید بستگی دارد.
  ۴. اکثر افراد نسبت به خشم و عصبانیت به صورت مستقیم واکنش نشان می‌دهند و این واکنش کسانی را هدف قرار می‌دهد که موجب خشم آن‌ها شده‌اند. این واکنش همراه با زدوخورد، کتک کاری و بگومگو است. به همین خاطر است که نوعی واکنش درونی (حاکمی از بیزاری) وجود دارد که مهار نشده است و به نتیجه معکوس گرفتن از یک اقدام توأم با رفتاری تهاجمی پرخاشگرانه، ستیزه‌جویانه و دفاع از خود منجر می‌شود و یا آن‌که نتیجه کار اجتناب، دوری، پرهیزکردن و خودداری از هر نوع درگیری است. تنها در موارد نادر است که این واکنش‌های درونی (حاکمی از بیزاری) به مواجهه موثر توأم با خشم و عصبانیت منجر می‌شود.
- راهکارهای مقابله با رفتارهای خشمگینانه:

۱. وقتی یکی از کارکنان خشم خود را ظاهر ساخت سعی کنید هرچه سریع‌تر با آن کنار آیید.
  ۲. وضعیت‌های خاص نیاز به بحث و گفت و گوی خصوصی در سایه آرامش دارد بخصوص که برخی افراد مایل نیستند احساسات خود را در یک جلسه عمومی کارکنان ابراز دارند.
  ۳. همیشه به کارکنان اجازه دهید تا صحبت کنند. حرف آنان را قطع نکنید. اگر در صحبت کردن با شما دچار تردید و دودلی شده‌اند، با استفاده از آهنگ ملایم کلام و نیز نشان دادن رفتار غیرمداغانه آن‌ها را تشویق به صحبت کنید.
  ۴. اگر احساس کنید که کارمند شما از صحبت کردن درباره موضوعی مردد و آشفته است می‌توانید با روش خاص خود او را از نگرانی رها سازید.
  ۵. ابتدا به احساسات کارکنان توجه نشان دهید نه مسائلی که اساس و مبنای جریحه‌دار شدن احساسات آنان گردیده است. از جملاتی که بیانگر همدلی شماست استفاده کنید.
  ۶. قبل از اینکه نظر یا برداشت خود را درباره موقعیت ایجاد شده بیان دارید، فرد مقابل را مطمئن سازید که به او خوب گوش فرا داده‌اید.
  ۷. اگر برداشت شما و کارمندان یکی نیست استنباط خود را به گونه‌ای بیان دارید که کارمند شما احساس کند هر دو در کنار هم هستید نه مقابل یکدیگر.
  ۸. شیوه‌ای که مذاکره‌کنندگان ماهر از آن استفاده می‌کنند، ایجاد حسن تفاهم و به توافق رسیدن است. قبل از اینکه وارد بحث شوید زمینه‌هایی را بیابید که هر دو در مورد آن توافق دارید.
  ۹. در پایان این چنین بحث‌هایی بررسی کنید که کارکنان چه احساسی دارند. الگوی معمول عبارت است از:
- اول به احساسات آنان توجه کنید.

- به موضوع و حل مشکل بپردازید.
- احساس کارکنان را بازنگری کنید.

این نکته فراموش نشود، فردی که عصبانی و خشمگین است به سرعت آن حالت را از دست نمی‌دهد و نیاز به زمان دارد.

#### ۴. نقش خلاقیت در مدیریت

از زمانی که علم مدیریت و سازمان در اوایل سال ۱۹۰۰ به سرعت بسط یافت، تکاملی درباره ماهیت و وظیفه سازمان‌ها و معیار اثربخشی سازمانی پدیدار گشت. این مفاهیم در تعامل پویا و همگام با موسسات و کمپانی‌های بزرگ جوامع جهانی رو به رشد، رشد نموده و تکامل یافت. در طول تاریخ یک صد ساله نیز مفاهیم ناب و اصلی درباره افراد، سازمان‌ها، کارگران، مدیران، سیستم‌ها و شبکه‌ها رشد پیدا نموده و باعث شکل‌دهی به اندیشه و رفتار مدیران، کارکنان و سیاست‌گذاران گردید. دنیای امروز دنیای سازمان‌هاست و نیروی انسانی به عنوان با ارزش‌ترین منابع سازمانی، متولیان آن محسوب می‌شوند.

امروزه بیش از هر زمان مشخص شده است که رشد و توسعه سازمان‌ها و در پی آن جوامع در گروی استفاده صحیح از نیروی انسانی است. در حال حاضر سازمان بشری مانند گذشته نیست بویژه نیروی کار به طور قابل توجهی در حال تغییر است. این‌رو لازم است مدیران، خود را با الگوها و گرایشات مختلف هماهنگ نموده و آماده باشند تا آن‌ها را بر هم منطبق نمایند. بی‌شک در جهان پر شتاب و سرشار از تحول و رقابت امروز آنچه موجبات تحقق مزیت رقابتی سازمان‌ها را تضمین می‌کند، نیروی انسانی با کیفیت، خلاق و پویاست.

مدیران خلاق و مبتکر، مدیرانی هستند که از ابتکار، اعتماد به نفس، تمرکز ذهنی، انعطاف‌پذیری و ... برخوردارند. این گروه از مدیران تمایل به همرنگی و همگونی داشته و دچار عادت زدگی نبوده و از انتقاد و شکست‌پذیری نمی‌ترسند. آنان به خود و جامعه نگاه منفی ندارند زیرا منفی‌نگری خود به خود مانع رشد، پیشرفت، خلاقیت و کارایی و ... می‌شود. در این ضمن ارائه تعاریفی از مدیریت، ابتکار و خلاقیت، ویژگی‌های مدیران خلاق و مبتکر مدنظر قرار می‌گیرد:

- در ابتدا باید پرسیم مدیریت چیست؟

کریتنر مدیریت را چنین تعریف کرده است: مدیریت عبارت است از فرآیندی برای حل مسائل مربوط به تامین هدف‌های سازمانی به نحو مطلوب از طریق استفاده موثر و کارآمد از منابع کمیاب در محیطی که در حال تغییر است. این تعریف مسائل جامعی را در خود جای داده است و مسلماً برای حل مسائل سازمان نمی‌شود تنها به این تعریف عمل کرد. لذا برای نتیجه دادن این تعریف باید از ابتکار و خلاقیت نیز بهره‌مند شد زیرا بارها دیده شده با وجود در اختیار داشتن تمامی امکانات سازمان برای رسیدن به اهداف، یک خلاء و یا به اصطلاح گرهی در رسیدن به اهداف مانع شده و تنها با یک ذهن خلاق و مدیریت مبتکر گره گشوده می‌شود. هر گاه بحث در خصوص مدیریت و مدیران پیش می‌آید ذهن‌ها به سمت تعریف کلیشه‌ای زیر معطوف می‌شود.

مدیریت یعنی، برنامه‌ریزی، سازماندهی، رهبری و هدایت سازمانی و در آخر نظارت و ارزشیابی. آیا می‌توان با موارد مزبور به اهداف سازمان دست پیدا کرد و به نتیجه دلخواه رسید. مسلماً مواردی پیش خواهد آمد که جز با ابتکار و خلاقیت مدیر حل نخواهد شد.

- ابتکار و خلاقیت چیست؟

ابتکار نوع خاصی از عمل است و فرد مبتکر بی‌آنکه طبق دستوری رفتار کرده باشد، می‌تواند کارهای ارزشمندی ارائه دهد. افراد مبتکر و خلاق گویی قبلاً به کار دعوت شده‌اند. ابتکار و خلاقیت به عنوان یک نیاز عالی‌ه بشری در تمام ابعاد زندگی او مطرح است و عبارت است از: تحولات دامن‌دار و جهشی در فکر و اندیشه انسان، به طوری که دارای توانایی ترکیب عوامل قبلی با روش‌های جدید است.

نوآوری و خلاقیت بیشتر یک فعالیت فکری و ذهنی است و به معنای توانایی ترکیب ایده‌ها در یک روش منحصر به فرد یا ایجاد پیوستگی بین ایده‌هاست. مهارت و توانایی در به‌کار بردن خلاقیت، ظرفیت استقامت و صبر را افزایش می‌دهد و این

مسئله باعث می‌شود که مفهوم شکست در مدیریت تغییر کند. شکست به سادگی نمایانگر فاصله‌هایی بین آرمان‌ها و واقعیت‌هاست. شکست فرصتی برای فراگیری واقعیت موجود و درک صحیح و دقیق آن است که می‌تواند استراتژی‌هایی را که طبق برنامه پیش‌بینی شده عمل نکرده‌اند، تصحیح کند و آرمان را دقیق‌تر و مشخص‌تر تعریف کند. این را بدانیم که شکست‌ها، ابداً نمایانگر ضعف و یا کم ارزشی افکار و توانایی ما نیستند. انسان موجودی پیچیده است و به سادگی نمی‌توان رفتار و منش او را تحلیل کرد. او در عین حال که از تغییر می‌هراسد، آن را نیز دنبال می‌کند.

مهارت و توانایی استفاده از خلاقیت اساساً وضعیت ما را نسبت به واقعیت‌های موجود تغییر می‌دهد. به طوری که وضعیت موجود را نه تنها دشمن بلکه دوست خود به شمار می‌آوریم. نگاهی هوشمندانه و دقیق به واقعیت‌های موجود بسیار اهمیت دارد و انسان باید تصویری شفاف و واضح از آرمان‌های خود داشته باشد.

#### - ویژگی‌های مدیر خلاق

مدیران از نظر خلاقیت متفاوت‌اند. مدیر خلاق کسی است که هر مسئله را از دیدگاه‌های گوناگون بررسی می‌کند، او معمولاً نسبت به وضعیت موجود احساس نارضایتی می‌کند، یا به طور کلی معتقد است که روش‌های جاری انجام کار را می‌توان بهبود بخشید. ویژگی‌های زیر در مدیر خلاق می‌توان یافت:

- ❖ او، مسائل و وضعیت‌هایی را می‌بیند که قبلاً مورد توجه قرار نگرفته است و فکرهای بکری را ارائه می‌دهد.
- ❖ ایده‌ها و تجربیات حاصل از منابع گوناگون را به هم ربط داده و آن‌ها را بر مبنای مزیتشان مورد بررسی قرار می‌دهد.
- ❖ معمولاً چندین راه و روش برای حل هر موضوع معین کرده و به عبارتی دارای سلامت فکر است.
- ❖ نسبت به پیش‌فرض‌های قبلی تردید می‌کند، محدود به رسم و عادت نمی‌شود به عبارت دیگر استقلال فکری دارد.
- یعنی ضمن قبول روش‌های قبلی همیشه در ذهن خود این موضوع را مطرح می‌کند که علاوه بر روش‌های موجود، روش‌های دیگری نیز وجود دارد.
- ❖ به طور سریع از نیروهای احساسی، ذهنی و بینشی مدد می‌گیرد و آن‌ها را مورد استفاده قرار می‌دهد و به ربط بین موضوعات می‌پردازد.
- ❖ در فکر و عمل از انعطاف بالایی برخوردار است. منظور از انعطاف فکری آن است که اگر فکر و اندیشه‌ای بهتر از فکر خود دید، آن را می‌پذیرد.
- ❖ مدیران خلاق، انسان‌های هدفمندی هستند، یعنی براساس تصادف و اتفاق زندگی نمی‌کنند.

#### - ویژگی‌های شخصیتی مدیران خلاق

ویژگی‌های شخصیتی هر فرد منحصر به خود آن شخص می‌باشد. در واقع این ویژگی‌ها همان خصایصی هستند که شخص به صورت ارثی از والدین خود کسب می‌کند. برخی از آن‌ها عبارتند از:

- ❖ تیز هوش‌تر از دیگران است.
- ❖ علاقه او به مسائل علمی، هنری، فرهنگی و اجتماعی بیشتر و دامنه اطلاعات او در این زمینه وسیع‌تر است.
- ❖ درباره مسائل انتزاعی، در مقایسه با مسائل عینی و ملموس، بهتر و عمیق‌تر می‌اندیشد.
- ❖ بیشتر به ارتباط موضوعات نسبت به هم توجه می‌کند.
- ❖ در مقایسه با افراد تیزهوش که تفکر همگرایی دارند، در افکار و تخیلات خود بیشتر غوطه‌ور است.
- ❖ نسبت به مسائل اجتماعی و سیاسی حساس است و همیشه وضعیت فعلی خود را زیر سوال برده و به فکر بهبود آن است.
- ❖ از آن دسته از معیارها، رسوم و ارزش‌های اجتماعی، که به نظر قابل قبول نیستند، کمتر پیروی می‌کند و بیشتر متکی به قضاوت شخصی خودش است هر چند که به فکر بهبود این اندیشه‌ها است.
- ❖ انعطاف‌پذیر و بیانش دارای طنز است.
- ❖ دوست دارد در مباحثه عقیده خود را بیان کند، ولی اصراری به تحمیل عقاید خود ندارد.

- ❖ بسیار کنجکاو است.
  - ❖ محافظه کار نیست و بیشتر خطر می کند.
  - ❖ خودخواه نیست.
  - ❖ به سرنوشت دیگران اهمیت می دهد.
  - ❖ استقلال طلب است و دوست ندارد از راه و روش دیگران پیروی کند.
  - ❖ ثبات عاطفی بیشتری دارد.
  - ❖ شخصیت او رشد یافته تر است و اختلال کمتری دارد.
  - ❖ اعتماد به نفس خوبی دارد و در مقابل ناکامی ها کمتر دلسرد و مایوس می شود.
  - ❖ بر غرایز خود تسلط بیشتری دارد.
  - ❖ نسبت به زندگی خود و دیگران احساس مسئولیت می کند و معتقد است که در زندگی رسالتی به عهده او گذاشته شده است.
  - ❖ در فکر و عمل از اصالت و نوآوری بیشتری برخوردار است.
- البته خلاقیت و خصوصاتی که بیان کردیم لازم و ملزوم یا علت و معلول یکدیگرند.
- مراحل خلاقیت
- برای ایجاد خلاقیت و اجرا و نتیجه گیری از آن مراحل باید طی شود که بدون گذراندن این مراحل چیزی به نام خلاقیت پدید نخواهد آمد. خلاقیت شامل چهار مرحله زیر می باشد که عبارتند از:
- ❖ مرحله آمادگی
- در این دوره، ابتدا شخص در مورد موضوع یا مسئله مورد نظرش به جستجوی اطلاعات می پردازد و سعی می کند موضوع را به خوبی بشکافد تا ریشه آن را دریابد. همچنین سعی می کند پیش فرض های ذهنی درست و غلط درباره موضوع را شناسایی کرده تا در نهایت به ایده های مختلفی دست یابد. هر چند که باید بینش مناسبی نسبت به فکر جدید داشته باشد و نسبت به موضوع حساس باشد.
- ❖ مرحله بصیرت (روشنی)
- بعد از سپردن موضوع به ضمیر ناخودآگاه، مدیر باید حواس خود را با امواج و فرکانس های ارسالی از آن منبع لایزال و پر قدرت تنظیم و در واقع چشم به راه و گوش به زنگ باشد تا اشاره های رسیده را جذب، ثبت و درک کند. در این مرحله است که مدیر در یک لحظه متوجه راه حل می شود.
- ❖ مرحله آزمایش و ارزش گذاری
- راه حلی که به ذهن مدیر رسیده در واقع راه حل کلی است که لازم است ابتدا آزمایش و سپس مطابق وضع مورد نیاز، شکل داده شود و نهایتاً کاربردهای مختلف آن مشخص گردد. بسیاری از مدیران منفعل اصرار دارند قبل از آن- که اقدامی صورت دهند، آن قدر صبر کنند تا شرایطی مطلوب و صددرصد دلخواه فراهم آید. دستیابی به کمال مطلق بسیار مطلوب است، ولی چیزی که ساخته یا طراحی شده دست انسان باشد به هیچ وجه کامل نبوده و نمی تواند باشد، پس انتظار برای فراهم آمدن شرایط ایده آل، انتظاری است که تا ابد به درازا می کشد و در اصل انتظار بیهوده ای خواهد بود.
- در اینجا دو نکته وجود دارد که به مدیریت کمک می کند از اشتباهات فاحشی که معلول انتظارات برای رسیدن به شرایط ایده آل است، پرهیز کند:
- هیچ وقت مشکلات و موانع آینده را از نظر دور نکنید. هر اقدام تهورآمیز، خطرات، ناملایمات و آینده نامعلوم به همراه دارد.
  - آماده باشید که موانع و مشکلات را در حین بروز رفع کنید.

هنر انسان موفق این نیست که بتواند احتمال وقوع همه مشکلات را بدهد و خود را آماده رفع آنان بسازد، بلکه هنر آن است که بتواند راه حلی در حین مواجه شدن با آنها نیز بیابد. دل را به دریا بزنید چون ما نمی‌توانیم خود را در برابر تمام مشکلات و مسائل بیمه کنیم.

تهیه و تنظیم: عباس قلی‌نژاد

## شکست خستگی پروانه یا دیفیوزر

### (برداشتی از کتاب پمپ‌های سانتریفیوژ نوشته یوهان فردریک گولیچ)

از شکست حاصل از خستگی پره‌های پروانه، شرودها یا پره‌های دیفیوزر، می‌توان با استفاده از تکنولوژی‌های جدید جلوگیری کرد. این مورد به ندرت مورد بررسی قرار می‌گیرد. در برخی مواقع در پمپ‌های با دبی بالا، وقتی در طراحی یا ساخت دقت نشود، این نوع از شکست اتفاق می‌افتد. دلایل اصلی شکست پره یا شroud می‌تواند از موارد زیر باشد:

- فاصله بسیار کم بین پره‌های پروانه و پره‌های دیفیوزر
  - ضخامت ناکافی شroud
  - عیوب کیفی از قبیل عدم وجود فیلت بین پره‌ها و شroud و یا کوتاه بودن این فیلت‌ها، عیوب ریخته‌گری، تردی ماده به خاطر عملیات حرارتی ناکافی (چقرمگی ناکافی).
  - امکان افزایش بیش از حد نوسانات فشار به وسیله پمپ و سیستم
  - تشدید بین یک فرکانس طبیعی پروانه با یک تحریک اکوستیکی یا هیدرولیکی.
- تحلیل دقیق برهم‌کنش روتور و استاتور و نوسانات فشار تقریباً غیرممکن است (حتی اگر قطعات به‌وسیله برنامه اجزا محدود مورد تحلیل قرار گیرد) به خاطر آن‌که بار هیدرولیکی پروانه ناشی از توزیع غیریکنواخت و ناپایدار فشار غیر قابل تعریف می‌باشد. این بارها نه تنها وابسته به جریان داخل پروانه، حلزونی و فضای خالی دیواره‌های کناری پروانه، بلکه وابسته به طبیعت اکوستیکی و احتمال نوسانات در سیستم نیز می‌باشند.
- به منظور توسعه یک رویه تجربی برای ارزیابی نیروهای پروانه و دیفیوزر، برای انتخاب ضخامت‌های پره و شroud یا برای تحلیل خرابی، مدل تیر ساده تحت یک بار یکنواخت ممکن است به عنوان یک نقطه آغاز مورد استفاده قرار گیرد. طبق این مدل، پره‌های پروانه یا دیفیوزر بسته به یک تیر دو سر گیردار و پروانه یا دیفیوزر باز با یک تیر یک سر گیردار و یک سر آزاد مدل می‌شوند.

محاسبات مطابق با جدول ۱ و ۲ بر پایه مفروضات زیر می‌باشد:

- ۱- مقطع انتهایی پره در خروجی پروانه به عنوان تیر دو سر گیردار با عرض  $x = 5e$  و طول  $L = b_2$  (e برابر با ضخامت پره بدون پروفیل است) تصور می‌شود. اگر پره پروفیل داشته باشد، ضخامت میانگین پره  $e_m$  برای تعیین مدول مقطع استفاده می‌شود:  $e_m$  با رابطه T.3.3 تعریف می‌شود.
- ۲- پره‌های پروانه در معرض بار یکنواخت پایدار که تشکیل شده است از نیروی گریز از مرکز مطابق با رابطه T.1.2 و اختلاف فشار روی پره ( $\psi_{Load}$ ) مطابق با رابطه T.1.1، قرار دارند. بار هیدرولیکی پره می‌تواند از توزیع فشار روی پره به‌دست آید (مثلاً CFD). این نیرو در جهت مخالف نیروی گریز از مرکز می‌باشد و در نتیجه  $\psi_{Load}$  منفی می‌باشد (رابطه T.1.5). در دیفیوزرها نیروی گریز از مرکز وجود ندارد و  $\psi_{Load}$  مثبت است. در ادامه  $\psi_{Load} = 0.1$  فرض می‌شود.
- ۳- نیروهای پایدار ناشی از انتقال کار و اثرات گریز از مرکز تنش میانگین  $\sigma_m$  را مطابق رابطه T.1.6 ایجاد می‌کنند، که بیان‌کننده بیشینه تنش در انتهای سرهای درگیر می‌باشد.
- ۴- نوسانات فشار معیاری برای ناپایداری و فشارهای ثانویه عمل‌کننده روی مقطع پره مورد نظر می‌باشند. کمترین فاصله بین پروانه و دیفیوزر، بیشترین نوسانات فشار را دارد. مطابق با داده‌های تجربی به‌دست آمده از مقاله نوسانات فشاری در پمپ‌های سانتریفیوژ [۱]، رابطه T.1.3 ممکن است مورد استفاده قرار گیرد. نوسانات فشار به‌دست آمده تقریبی برای  $Q/Q_{opt} = 0.6$  در مرجع [۲] به‌دست آمده است.

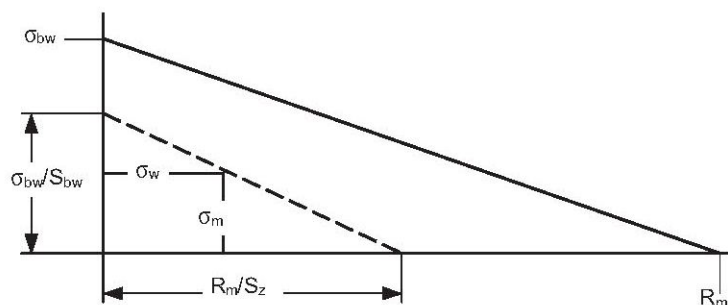
۵- اغتشاش فشار، تنش‌های خمشی ثانویه  $\sigma_w$  مطابق با رابطه T.1.7 ایجاد می‌کند. به منظور تعیین تنش‌های حداکثر که مرتبط با تولید ترک‌های خستگی می‌باشد، تنش نامی بدست آمده از رابطه T.1.4 باید در فاکتور بریدگی  $\alpha_k$  ضرب شود.

۶- فاکتور بریدگی توسط دو پارامتر تعیین می‌شود:

الف) شعاع فیلت  $r_f$  بین پره‌ها و شرو. رابطه T.1.7 به صورت  $\alpha_k = f(r_f/e)$  بیان شده است. اگر شعاع فیلت معلوم نباشد، فاکتور بریدگی باید حداقل  $\alpha_k = 2$  در نظر گرفته شود. اگر گوشه‌ها تقریباً تیز باشند،  $\alpha_k = 4$  قرار دهید.  
ب) کیفیت ریخته‌گری، عیوب واضح ریخته‌گری. برآیند فاکتورهای بریدگی وابستگی به سائز عیب و موقعیت آن در ارتباط با سطح ریخته‌گری دارد. یک ارزیابی دقیق عیوب ریخته‌گری از منظر معیار مکانیکی شکست مورد نیاز می‌باشد و قانون مشخصی نمی‌توان تعیین کرد. مقادیر زیر ممکن است فرض شود:

|                  |                                       |
|------------------|---------------------------------------|
| $\alpha_k = 4$   | کیفیت ریخته‌گری پایین                 |
| $\alpha_k = 2$   | کیفیت ریخته‌گری متوسط                 |
| $\alpha_k = 1.5$ | کیفیت ریخته‌گری بالا با $r_f/e > 0.5$ |

۷- تنش ثانویه مجاز  $\sigma_w$  اجزا وابسته به تنش میانگین  $\sigma_m$  مطابق با شکل ۱ می‌باشد. مطابق با رابطه T.1.8 و شکل ۱ ضریب اطمینان در مقابل خستگی  $S_{bw} = 2$  و ضریب اطمینان در مقابل گسست نیرویی  $S_z$  معرفی شده است. این ضرایب بر طبق افزایش طول نهایی<sup>۱</sup> ماده انتخاب شده است. مقادیر مربوط به مواد گوناگون در جدول خواص چدن و فولاد ریخته‌گری فهرست شده است.



شکل ۱- دیاگرام گودمن برای تعیین اندازه تنش مجاز  $\sigma_w$  به عنوان تابعی از تنش میانگین  $\sigma_m$

۸- اگر تنش خمشی ثانوی از رابطه T.1.7 برابر با تنش مجاز داده شده از رابطه T.1.8 باشد و اگر تنش میانگین از رابطه T.1.6 بدست آید، معادله به‌دست آمده می‌تواند برای سرعت مجاز نوک پره  $u_{2,a}$  حل شود. با استفاده از ضرایب فشار از شکل ۳ و رابطه زیر هد مجاز در هر طبقه می‌تواند محاسبه شود.

$$\psi_{opt} = 1.21e^{-0.77n_q/n_{q,Ref}} = 1.21e^{-0.408\omega_s}; n_{q,Ref} = 100; \omega_s = \frac{n_q}{52.9} \quad (1)$$

لازم به ذکر است که  $\omega_s$  سرعت مخصوص عمومی نامیده می‌شود.

۹- شرودهای پروانه در معرض نیروهای گریز از مرکز است. یک دیسک با ضخامت ثابت بیشینه تنش مماسی  $\sigma_t$  در مرز سوراخ مرکزی همان‌طور که در رابطه T.1.10 داده شده است، تجربه می‌کند. از آنجا که مدل ساده دیسک با ضخامت ثابت نمی‌تواند توزیع پیچیده تنش در یک پروانه را مدل کند، فاکتورهای ایمنی  $S_{zz}$  مورد نیاز می‌باشد (به تفاوت  $S_z$  در سطور بالا و  $S_{zz}$  توجه شود). این فاکتورها با توجه به افزایش طول نهایی ماده (جدول ۶ را مشاهده

<sup>1</sup> Ultimate elongation



نمایید) انتخاب شده‌اند. اگر رابطه T.1.10 برای  $u_2$  حل شود، محدودیت دیگری برای سرعت نوک پره بدست می‌آید.

۱۰- اگر پره‌های پروانه در معرض بارهای دینامیکی باشند، این بارها باید برای شرودها نیز منظور شود. دو نوع بار دینامیکی قابل تصور می‌باشد:

الف) وقتی پره پروانه واگرا می‌شود، توزیع فشار در پروانه تغییر می‌کند. این موضوع بر فشارهای ثانویه بالای گام پره  $t_2$  همانطور که در شکل جدول ۲ نشان داده شده است دلالت می‌کند.

ب) به علاوه، نوسانات فشار در جریانی که در فضای خالی دیواره‌های کناری پروانه وجود دارد، می‌تواند تولید شود. این نوسانات می‌توانند به دلیل تغییر شعاعی لقی‌های آب‌بندی (موقعیت خارج از مرکز روتور)، یا وقتی شروع و یا پوسته پمپ ماشین‌کاری نشده‌اند، ایجاد شوند. و یا همچنین می‌توانند به دلیل ناهم‌محوری بین نیمه بالایی و پایینی پوسته در پمپ‌های محوری با پوسته دوتکه<sup>۱</sup> باشد. اغتشاشات فشاری ممکن است به وسیله اثرات سیستم تقویت شود.

بار دینامیکی شرودها مطابق رابطه T.2.2 فرض می‌شود.

۱۱- فشار استاتیکی در فضای سمت دیواره پروانه  $p_{RS}$  از فشار در کانال‌های پروانه  $p_{La}$  بیشتر می‌شود. برآیند اختلاف فشار، یک تنش خمشی  $\sigma_m$  در شرودها ایجاد می‌کند. اختلاف فشار بین  $p_{La}$  و  $p_{RS}$  در شعاع خروجی پروانه صفر و با حرکت به سمت مرکز افزایش می‌یابد، که می‌توان از رابطه T.14.2.5 آن را تعیین کرد. این رابطه از روابط ۲ و ۳ بدست می‌آید. فشار در سمت دیواره پروانه برابر است با:

$$P_{RS} - p_1 = \rho u_2^2 / 2 \{ \psi_p - k^2 (1 - r^{*2}) \} \quad (2)$$

تصور می‌شود فشار در کانال‌های پروانه متناسب با افزایش شعاع، از ورودی به خروجی افزایش می‌یابد. می‌توان نوشت:

$$P_{La} - p_1 = \rho u_2^2 / 2 \psi_p \{ 1 - [(r^* - r_1^*) / (1 - r_1^*)] \} \quad (3)$$

مطابق با رابطه T.2.6،  $r^*$  ممکن است تصور شود که مرکز جرم مثلث تعریف شده با  $t_2$  (گام پره در خروجی پروانه) و  $a_2$  (حداقل فاصله پره‌ها در خروجی پروانه) باشد. برای تعریف  $a_2$  به ضمیمه ۱ رجوع شود. معمولاً شکست‌های شروود مشاهده شده می‌تواند به طور کلی توسط این مثلث توصیف شود. بار پایدار شروود برآیند تفاضل بین روابط ۲ و ۳ می‌باشد (رابطه T.2.5).

۱۲- اختلاف فشار  $p_{RS} - p_{La}$  یک تنش خمشی متوسط پایدار  $\sigma_m$  مطابق با رابطه T.2.8 تولید می‌کند. طول معادل  $L_{aq}$  بین دو پره از متوسط  $t_2$  و  $a_2$  انتخاب شده است:  $L_{aq} = \frac{1}{2} (t_2 + a_2)$ . که می‌تواند به وسیله رابطه T.2.7 بیان شود.

۱۳- نیروهای گریز از مرکز، تنش‌هایی عمود بر این تنش‌های خمشی ایجاد می‌کنند. بنابراین می‌توان از آن‌ها چشم‌پوشی نمود. در رابطه T.2.10 می‌توان از  $\sigma_m$  به عنوان تنش ترکیبی استفاده نمود.

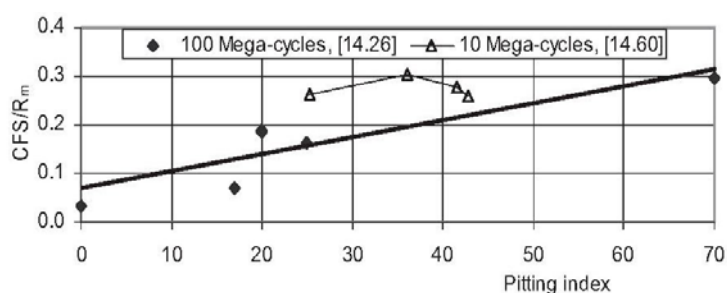
۱۴- مشابه با محاسبات پیشنهاد شده برای پره‌ها در جدول ۱، سرعت مجاز نوک پره مناسب برای یکپارچگی شرودها می‌تواند از رابطه T.2.11 مورد استفاده قرار گیرد. در رابطه مذکور، سرعت مجاز نوک پره بر مبنای استحکام خستگی ماده انتخاب شده تعیین می‌شود.

استحکام خستگی  $\sigma_{bw}$  (یا حد دوام) به پارامترهای مختلفی وابسته می‌باشد:

- تنش‌های اوج در جاهایی که سطح مقطع یا شکل اجزا تغییر می‌کند تأثیر زیادی روی استحکام خستگی دارد. این اثرات توسط فاکتورهای تمرکز تنش و یا بریدگی در نظر گرفته می‌شود.
- یک نمونه با سطح زبر، استحکام خستگی کمتری نسبت به سطح صاف دارد. استحکام خستگی یک سطح ریخته‌گری شده در حدود ۳۰ الی ۵۰ درصد کمتر از سطح نمونه پولیش شده می‌باشد.

<sup>1</sup> Axially split

- مواد: مواد شکل پذیر<sup>۱</sup> از مواد ترد بهتر هستند، چرا که تنش‌های اوج در ریشه ترک به وسیله تغییر شکل موضعی پلاستیکی کاهش می‌یابد. بنابراین پروانه، دیفیوزر و یا محورهای با بارهای زیاد باید حداقل ضریب افزایش طول نهایی  $A > 18\%$  داشته باشند (بهتر است که  $A > 25\%$  باشد).
- عیوب مواد (به‌ویژه در ریخته‌گری) استحکام خستگی را همانند یک بریدگی، خراب می‌کند. مواد ریخته‌گری اغلب استحکام خستگی کمتری نسبت به مواد فورج و آهن‌گری شده دارند. به منظور دستیابی به استحکام خستگی بهینه، ساختار میکروسکوپی ماده باید همگن و با حداکثر ممکن همواری دانه‌بندی باشد. رسوبات در مرزهای دانه‌بندی نامناسب می‌باشند. در مرجع [۳] تأثیر سایز دانه به وسیله مثالی از ماده اینکونل ۷۱۸ با استحکام کششی  $R_m = 1300$  نیوتن بر میلی‌متر مربع آورده شده است: وقتی سایز دانه از  $0.01$  به  $0.15$  افزایش می‌یابد، استحکام فرسایش خستگی<sup>۲</sup> در  $10^8$  سیکل در آب دریا از  $400$  نیوتن بر میلی‌متر مربع به  $240$  نیوتن بر میلی‌متر مربع کاهش می‌یابد.
- خوردگی به طور فزاینده‌ای استحکام خستگی را کاهش می‌دهد. وقتی از اجزا فلزی در آب استفاده می‌شود، استحکام خستگی همیشه کاهش می‌یابد. بنابراین استحکام خستگی اندازه‌گیری شده در هوا نباید بدون تصحیحاتی در آب مورد استفاده قرار گیرد. در آب دریا کاهش استحکام خستگی واقعاً قابل ملاحظه می‌باشد. استحکام خستگی با مقاومت در مقابل خوردگی محلی افزایش می‌یابد.
- در طول تست‌های خستگی در آب یا آب دریا، حد دوام (منطقه مجانب منحنی تنش بر حسب تعداد سیکل‌ها) معمولاً بدست نمی‌آید تا جایی که برون‌یابی برای حد بی‌نهایت سیکل‌ها بسیار مشکل می‌شود. برای مثال تست‌های گزارش شده در مرجع [۳] برای فولادهای پر آلیاژ و برنزها در آب دریا حتی بعد از  $10^8$  سیکل بار اجازه تعریف حد دوام را نمی‌دهد. نمونه‌های پولیش شده از مواد مورد مطالعه بعد از  $10^8$  سیکل تحت بار دچار شکست شده‌اند. شکل ۲ اطلاعات تست در  $10^8$  و  $10^7$  سیکل را نشان می‌دهد. تأثیر قدرتمند مقاومت به خوردگی و تعداد سیکل‌ها را می‌توان از این اطلاعات بدست آورد. استحکام فرسایش خستگی برخی از انواع برنزها در مرجع [۳] تست شده است که در محدوده  $\sigma_{bw}/R_m$   $0.11$  تا  $0.13$  می‌باشد (شامل مقاومت در برابر نیکل).
- تنش‌های باقیمانده در اجزا تا آنجا که امکان دارد باید پایین نگه داشته شود. تنش‌های کششی باقیمانده (مثلاً تنش‌های ایجاد شده در سطح به واسطه سنگ‌زنی) استحکام خستگی را کاهش می‌دهد. تنش‌های فشاری باقی‌مانده نزدیک سطح (مانند ساچمه پاشیدن<sup>۳</sup>) استحکام خستگی را افزایش می‌دهد.



شکل ۲ - استحکام فرسایش خستگی نمونه‌های فولاد ضد زنگ پولیش شده در آب دریا.

شاخص خوردگی حفره به وسیله رابطه داده شده در ضمیمه ۲ تعریف می‌شود.  $R_m$  استحکام کششی نهایی می‌باشد.

به خاطر تأثیر پارامترهای گوناگون بحث شده در بالا، مقادیر بسیار مختلف استحکام خستگی برای یک ماده در کتب مرجع می‌توان یافت. اطلاعات بر اساس شرایط تست ارائه می‌شوند. بنابراین اگر غیرممکن نباشد، بسیار مشکل است که مقادیر

<sup>1</sup> Ductile

<sup>2</sup> Corrosion fatigue strength

<sup>3</sup> Shot peening

معناداری برای استحکام خستگی پروانه‌ها و دیفیوزرها تعریف کرد. استحکام خستگی اندازه‌گیری شده تحت شرایط تست مختلف قابل‌مقایسه با هم نیستند. دسته‌بندی مواد بر اساس استحکام خستگی تنها در شرایط تست کاملاً کنترل شده مشخص معنادار خواهد بود.

برای محاسبه هد مجاز نشان داده شده در شکل‌های ۴ تا ۸،  $\sigma_{bw}/R_m$  ۰.۳ فرض شده است. استحکام فرسایش خستگی در آب دریا را می‌توان در محدوده  $\sigma_{bw}/R_m$  ۰.۱۲ تا ۰.۱۵ انتظار داشت. اما این سطح تنها برای فولادهایی که در برابر آب دریا مقاومت دارند، دستیافتنی است.

سرعت‌های مجاز نوک پره برای انواع متداول مواد از جداول ۱ و ۲ با فرض عرض خروجی پروانه مطابق با رابطه ۴ محاسبه شده است. با ضرایب فشار رابطه ۱ هد مجاز هر طبقه در نقطه بهترین کارایی در شکل‌های ۴ تا ۸ ترسیم شده است.

$$b_2^* = 0.017 + 0.262 \frac{n_q}{n_{q,Ref}} - 0.08 \left( \frac{n_q}{n_{q,Ref}} \right)^2 + 0.0093 \left( \frac{n_q}{n_{q,Ref}} \right)^3 ; n_{q,Ref} = 100 ; \quad (4)$$

برای پروانه‌های شعاعی و جریان مختلط  $b_2^*$  برابر است با:

$$b_2^* = b_2 / d_{2a}$$

فرضیات زیر برای این محاسبات و شکل‌ها در نظر گرفته شده است (وقتی این اطلاعات را مورد استفاده قرار می‌دهید، مفروضات باید در نظر گرفته شود):

(۱) محاسبات به کار رفته در ارتعاشات اجباری، برای رزنانس‌های بین فرکانس طبیعی پروانه و تحریک اکوستیکی یا هیدرولیکی به کار گرفته نمی‌شود.

(۲) عرض خروجی پروانه از رابطه ۴: عرض ورودی دیفیوزر از رابطه  $b_3 = 1.15 b_2$

(۳) ضرایب فشار از رابطه ۱

(۴) استحکام کششی  $R_m$  کمترین مقدار جدول ۶

(۵) استحکام خستگی  $\sigma_{bw}/R_m$  ۰.۳ می‌باشد. این سطح استحکام خستگی برای آب آشامیدنی و آب تغذیه بویلر کاربرد دارد. خواص آب تعریف شده می‌باشد. این خصوصیات نباید برای آب دریا به کار رود. اگر  $\sigma_{bw}/R_m$  بین ۰.۱۲ تا ۰.۱۵ برای آب دریا فرض شود، هد مجاز در هر طبقه به طور واضح کمتر از مقادیر نشان داده شده در شکل‌های ۴ تا ۸ خواهد بود.

(۶) ضریب ایمنی در برابر شکست خستگی  $S_{bw}$  ۲ می‌باشد.

(۷) ضریب ایمنی برای تنش میانگین  $S_z$  از جدول ۶ ( $S_z$  با کاهش افزایش طول نهایی، افزایش می‌یابد).

(۸) ضریب ایمنی در مقابل شکست بارگذاری تحت نیروهای گریز از مرکز در شroud  $S_{zz}$  از جدول ۶ ( $S_{zz}$  با کاهش افزایش طول نهایی، افزایش می‌یابد).

(۹) ضریب بریدگی (تمرکز تنش)  $\alpha_k$  برابر ۲ می‌باشد.

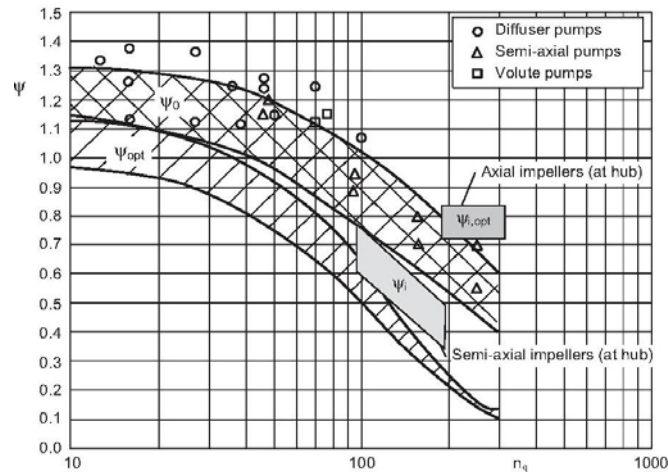
(۱۰) ضخامت نسبی میانگین پره پروانه  $e_m^*$  ۰.۰۱۵ می‌باشد: برای پره‌های دیفیوزر ۰.۰۱۶ و برای شrouدها  $e_{RS}^*$  ۰.۰۲۲۵ می‌باشد.

(۱۱) فاصله بین پره‌های دیفیوزر و پروانه  $d_3^*$  ۱.۰۴ می‌باشد.

(۱۲) بار میانگین پره ( $\psi_{Load}$ ): برای پروانه ۰.۱ و برای دیفیوزر ۰.۴۵ می‌باشد.

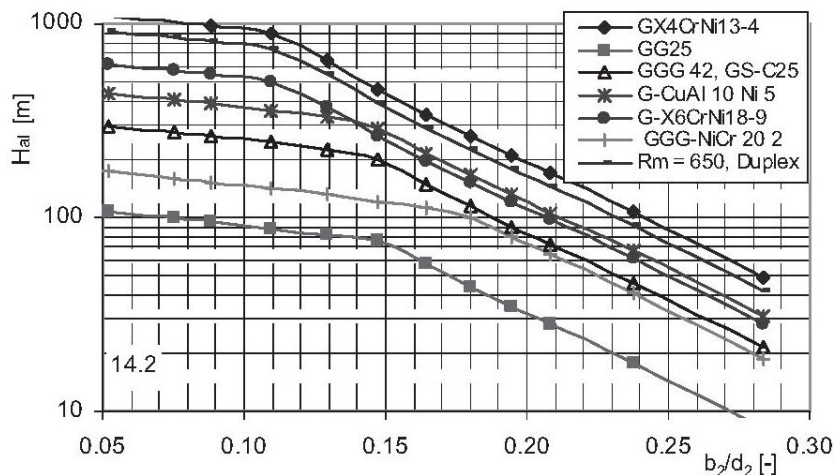
(۱۳) اختلاف فشار میانگین بارگذاری برای پره‌ها ( $\psi_{RS}$ ): ۰.۱ می‌باشد.

(۱۴) هدهای مجاز ترسیم شده در شکل‌های ۴ تا ۸ برای نقاط بهترین راندمان معتبر می‌باشند.



شکل ۳- ضرایب فشار (مقادیر برای هاب بر طبق مرجع [۴])

ضرایب ایمنی انتخاب شده در بالا به نظر خیلی زیاد می‌باشند، چرا که اطلاعات دقیقی از بارهای مفروض وجود ندارد و مدل‌های تنشی استفاده شده بسیار ساده می‌باشند. به علاوه، ضرایب ایمنی باید عملکرد در شرایط خارج از طراحی و همچنین عیوب ریخته‌گری و ناپایداری‌های مربوط به مقاومت فرسایش خستگی را پوشش دهند. شکل‌های ۴ تا ۸ حقایق زیر را بیان می‌کنند:



شکل ۴- هد مجاز  $H_{al}$  بر مبنای محدودیت استحکام پره پروانه‌های بسته: قابل کاربرد در  $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$  و

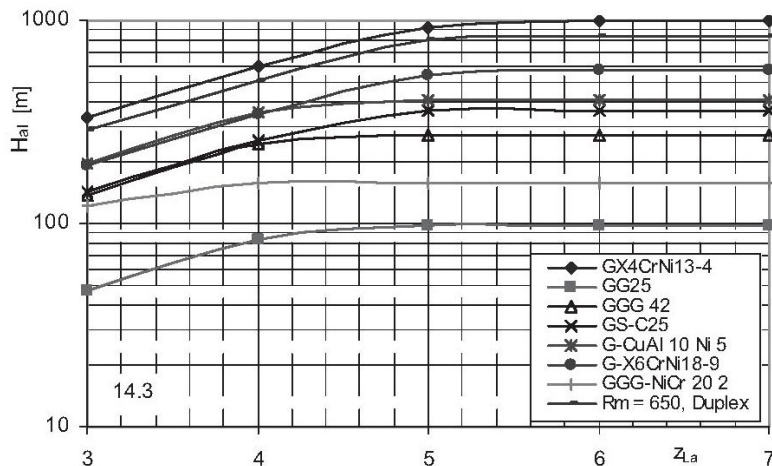
مشخصه‌های آب W1، W2، W5 و W6، ضمیمه ۴

- با رشد پهنای خروجی پروانه و در نتیجه افزایش سرعت مخصوص، هد مجاز به شدت کاهش می‌یابد.
- تا سرعت‌های مخصوص ( $n_q$ ) حدود ۳۰، پروانه‌هایی برای هدهای تا ۱۲۰۰ متر ساخته شده است.
- همان‌گونه که شکل ۳ نشان داده است، به خاطر افزایش گام پره  $t_2$  در خروجی پروانه، هد مجاز با کاهش تعداد پره‌ها، کاهش می‌یابد. تجربه صحت این موضوع را تأیید می‌کند.
- اگر چندین فاکتور نامطلوب با هم ترکیب شوند، هد مجاز می‌تواند به طور فزاینده‌ای از مقادیر نشان داده شده در شکل‌های ۴ تا ۸ کمتر باشد. به عنوان مثال، شکست‌های شروید پروانه در یک پمپ طبقاتی با هد هر طبقه کمتر از ۲۰۰ متر (با  $d_3^*$  مساوی با ۱۰۲۵) اتفاق افتاده است، چرا که فیلتهای بین پره‌ها و شراد تقریباً تیز بوده است و ضخامت شروید به خاطر حرکت ماهیچه هنگام ریخته‌گری از مقادیر طراحی شده کمتر شده است. با  $\alpha_k$  برابر ۴ و

$e_{RS}$  در حدود ۰.۰۱۲ و محاسبات مطابق با جدول ۲ هد مجاز ۱۸۰ متر بدست می‌آید. بنابراین خرابی با این پروانه-

ها به وسیله محاسبات به خوبی قابل پیش‌بینی می‌باشد.

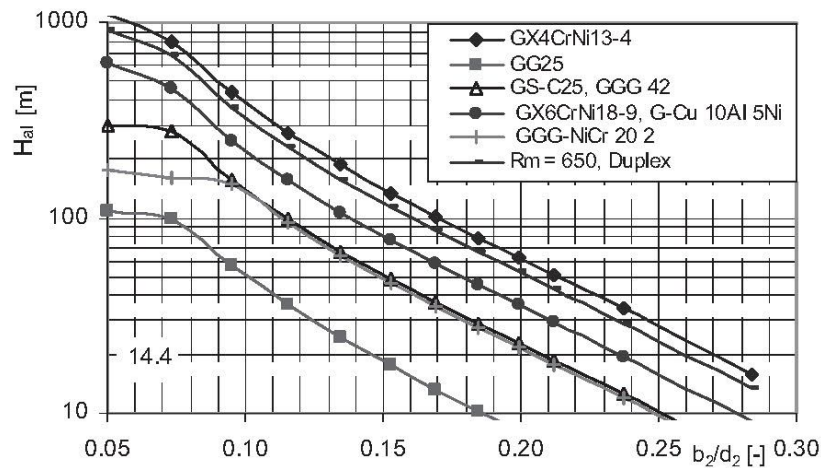
- پروانه و دیفیوزرهای باز نسبت به انواع بسته، هد کمتری دارند.
- توجه: به خاطر حد دوام پایین‌تر، هد مجاز هر طبقه در آب دریا، قطعاً کمتر از مقادیر داده شده در شکل‌های ۴ تا ۸ می‌باشد. در هدهای بالا، شroud بزرگتر و ضخامت‌های پره بیشتر ممکن است برای آب دریا مورد نیاز باشد.



شکل ۵- هد مجاز  $H_{al}$  بر مبنای محدودیت بارگذاری شroud پروانه‌ها؛ قابل کاربرد در  $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$  و

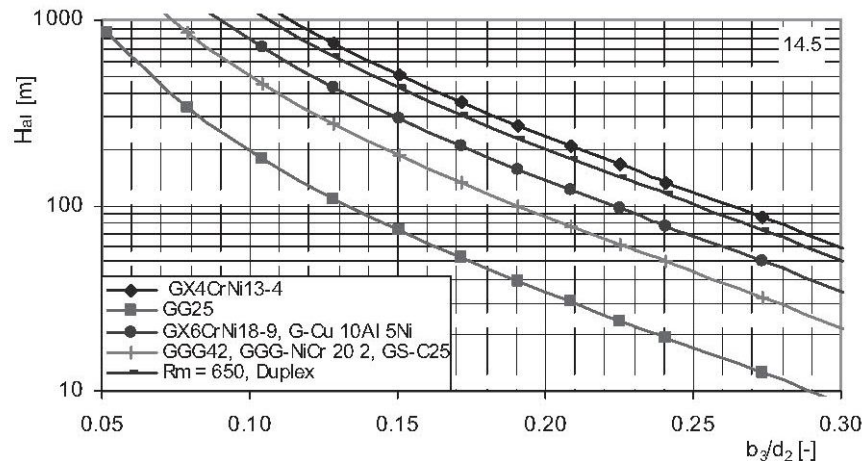
مشخصه‌های آب W1، W2، W5 و W6، ضمیمه ۴

محاسبات مطابق با جداول ۱ و ۲ و اطلاعات داده شده در شکل‌های ۴ تا ۸، ارزیابی ریسک شکست خستگی پروانه‌ها و دیفیوزرها را آسان می‌کند. اما، وقتی از این روش استفاده می‌شود باید عدم قطعیت‌ها و مفروضات در نظر گرفته شود.



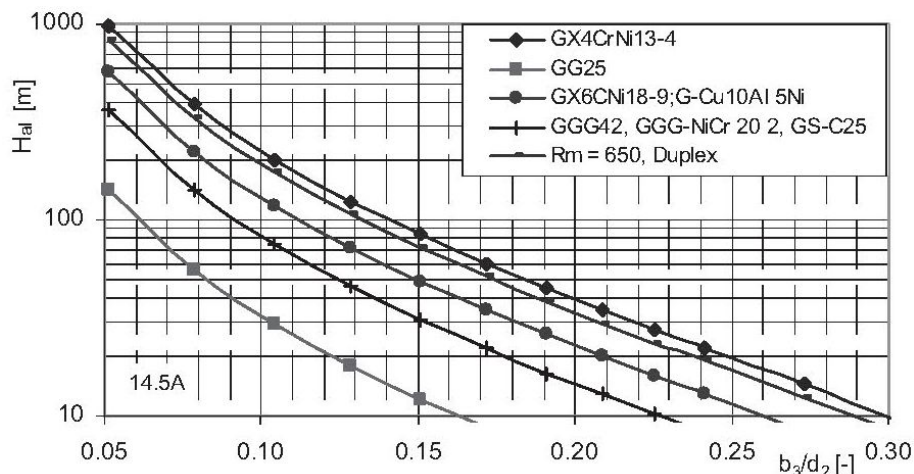
شکل ۶- هد مجاز  $H_{al}$  بر مبنای محدودیت بار پره پروانه‌های باز؛ قابل کاربرد در  $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$  و

مشخصه‌های آب W1، W2، W5 و W6، ضمیمه ۴



شکل ۷- هد مجاز  $H_{al}$  بر مبنای محدودیت بار پره دیفیوزرهای بسته: قابل کاربرد در  $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$  و مشخصه‌های آب W1، W2، W5 و W6، ضمیمه ۴

در کاربردهایی که محدودیت‌های داده شده در منحنی‌های شکل ۴ تا ۸ برای مواد مختلف فراتر می‌رود، تحلیل عمیق‌تری مورد نیاز می‌باشد. بالعکس، با طراحی مناسب، تحلیل و کنترل کیفیت، اجزا می‌توانند هدهای مجاز بیشتری نسبت به شکل‌های ۴ تا ۸ داشته باشند.



شکل ۸- هد مجاز  $H_{al}$  بر مبنای محدودیت بار پره دیفیوزرهای باز: قابل کاربرد در  $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$  و مشخصه‌های آب W1، W2، W5 و W6، ضمیمه ۴

اگر هد مورد نیاز هر طبقه از مقادیر مجاز محاسبه شده از جداول ۱ و ۲ بیشتر باشد، راه‌حل‌های زیر ممکن است مورد توجه قرار گیرد:

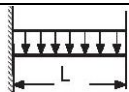
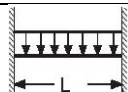
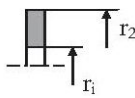
- (۱) ضخامت ماده را افزایش دهید.
- (۲) ماده‌ای قوی‌تر: استحکام کششی  $R_m$  بالاتر، شکل‌پذیری بالاتر (تغییر شکل نهایی).
- (۳) ماده‌ای با مقاومت به خوردگی بهبود داده شده را انتخاب کنید (حد دوام بالاتر).
- (۴) تلاش کنید محاسبه دقیق‌تری از بار به عنوان ورودی تحلیل تنش اجزا محدود داشته باشید.
- (۵) فاصله بین پره‌های دیفیوزر و پروانه (فاصله B در شکل ۹) را به منظور کاهش تنش‌های تحریک، افزایش دهید.
- (۶) کیفیت ریخته‌گری و پرداخت را بهبود دهید: کاهش تنش‌های باقیمانده، بازنگری عملیات حرارتی (سایز دانه‌بندی، همگنی ماده، رسوبات).

## (۷) طراحی را اصلاح کنید: شعاع فیلتر بیشتر به منظور کاهش فاکتور بریدگی

شکست‌های شرود پشته نسبت به شرود جلویی بیشتر مشاهده شده است. به علاوه، آخرین طبقه پمپ‌های طبقاتی در معرض ریسک بیشتری نسبت به سایر طبقات هستند. می‌توان با توجه به موارد زیر این حقایق را توصیف کرد:

- شرود پشته نیروهای پره را به هاب انتقال می‌دهد و بنابراین در معرض تنش‌های متوسط و ثانویه بزرگتری قرار دارد.
- شرود جلویی معمولاً تا اندازه‌ای مخروطی و شیب‌دار می‌باشد و ممکن است نسبت به شرود پشته محکم‌تر باشد. این موضوع وابستگی زیادی به شکل واقعی مقطع مریدونالی و ضخامت‌های مواد انتخاب شده دارد.
- نوسانات فشار در محفظه خروجی و سیستم می‌تواند تحریک پروانه طبقه آخر را افزایش دهد (به ویژه وقتی رزناس-های آکوستیکی وجود داشته باشند).
- به استثناء طبقه آخر، چرخش سیال در فضای دیواره کناری پروانه در قسمت پشته کمتر از قسمت جلوی شرود می‌باشد و باعث افزایش بار مطابق با رابطه  $T.2.5$  می‌شود.
- همچنین تنش‌ها در شرود، تحت تأثیر نیروهای استاتیکی و دینامیکی محوری که بر شرودهای پروانه وارد می‌شوند، می‌باشند.

جدول ۱- بارگذاری پره پروانه یا دیفیوزر

|        |                                                                                                                                                                                                               |                                                                                   |                                                                                                |                                                                                        |                                               |
|--------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| رابطه  | پروانه یا دیفیوزر باز                                                                                                                                                                                         | پروانه یا دیفیوزر بسته                                                            |                                                                                                |                                                                                        | خمش یک تیر بوسیله یک بار یکنواخت معادل        |
| -      |                                                                                                                              |  | اختلاف فشار استاتیکی یا دینامیکی                                                               |                                                                                        |                                               |
| T.1.1  | $\psi_{Load} = \frac{2(p_{DS}-p_{SS})}{\rho u_2^2}$                                                                                                                                                           |                                                                                   | $\Delta p_{stat} = \frac{\rho}{2} u_2^2 \psi_{Load}$                                           |                                                                                        | بار استاتیکی پره                              |
| T.1.2  | $\Delta p_z = \rho_{Mat} \omega^2 r e \cos \beta_{2B}$                                                                                                                                                        |                                                                                   |                                                                                                |                                                                                        | بار استاتیکی ناشی از نیروی گریز از مرکز       |
| T.1.3  |                                                                                                                              | $\Delta p^* = \frac{0.008}{(d_3^*-1)^{0.9}}$                                      | $\Delta p_{dyn} = \frac{\rho}{2} u_2^2 \Delta p^*$                                             |                                                                                        | بار دینامیکی پره                              |
| T.1.4  | $\sigma = \frac{M}{W} = F_T \frac{\Delta p}{2} \left( \frac{L}{e_m} \right)^2$                                                                                                                                | $W = \frac{x}{6} e_m^2$                                                           | $M = F_T \frac{x \Delta p L^2}{12}$                                                            |                                                                                        | ممان خمشی M،<br>مدول عرضی W،<br>تنش خمشی σ    |
| -      | $\psi_{Load}$                                                                                                                                                                                                 | Y                                                                                 | L                                                                                              | F <sub>T</sub>                                                                         |                                               |
| T.1.5  | منفی گذاشته شود.                                                                                                                                                                                              | عمل نیروی گریز از مرکز                                                            | 4                                                                                              | b <sub>2</sub>                                                                         | 1<br>پروانه: بسته                             |
|        |                                                                                                                                                                                                               |                                                                                   |                                                                                                |                                                                                        | 6<br>پروانه: باز                              |
|        | مثبت گذاشته شود.                                                                                                                                                                                              | بدون نیروی گریز از مرکز                                                           | 0                                                                                              | b <sub>3</sub>                                                                         | 1<br>دیفیوزر: بسته                            |
|        |                                                                                                                                                                                                               |                                                                                   |                                                                                                |                                                                                        | 6<br>دیفیوزر: باز                             |
| T.1.6  | $\sigma_m = F_T \frac{\rho}{4} u_2^2 \left( \frac{b_2^*}{e_m^*} \right)^2 \left\{ \psi_{Load} + Y e_m^* \frac{\rho_{mat}}{\rho} \right\}$                                                                     |                                                                                   |                                                                                                |                                                                                        | تنش میانگین پره<br>σ <sub>m</sub> پروانه      |
| T.1.7  | r <sub>f</sub> = شعاع فیلت<br>بین پره و شروود                                                                                                                                                                 | $\alpha_k = 1.2 \left( \frac{e}{r_f} \right)^{0.15}$                              | $\sigma_w = F_T \alpha_k \Delta p^* \frac{\rho}{4} u_2^2 \left( \frac{b_2^*}{e_m^*} \right)^2$ |                                                                                        | پره پروانه: تنش<br>خمشی ثانویه σ <sub>w</sub> |
| T.1.8  | $\sigma_{bw,al} = \frac{\sigma_{bw}}{S_{bw}} \left( 1 - \frac{\sigma_m}{R_m} S_z \right)$                                                                                                                     |                                                                                   |                                                                                                |                                                                                        | تنش خمشی ثانویه<br>مجاز σ <sub>bw,al</sub>    |
| T.1.9  | $u_{2,al} = 2 \frac{e_m^*}{b_2^*} \sqrt{\frac{\sigma_{bw}}{F_T \rho \left\{ S_{bw} \alpha_k \Delta p^* + S_z \frac{\sigma_{bw}}{R_m} \left( \psi_{Load} + Y e_m^* \frac{\rho_{mat}}{\rho} \right) \right\}}}$ |                                                                                   |                                                                                                |                                                                                        | سرعت محیطی مجاز<br>پروانه                     |
| T.1.10 |                                                                                                                            |                                                                                   |                                                                                                | تنش مماسی در r <sub>i</sub> ناشی از<br>نیروی گریز از مرکز در یک<br>دیسک با سوراخ مرکزی |                                               |

X در رابطه T.1.4 عرض تیر مورد نظر می‌باشد؛ در هنگام محاسبه تنش، X حذف می‌شود.

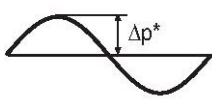
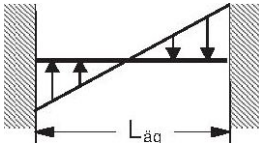
S<sub>bw</sub>: فاکتور ایمنی در برابر شکست خستگی است؛ S<sub>z</sub>: فاکتور ایمنی در برابر شکست بارگذاری است؛ α<sub>k</sub>: فاکتور بریدگی است؛ ν: نسبت پواسون است (عموماً 0.3)؛

ρ<sub>mat</sub>: دانسیته ماده پروانه است؛

σ<sub>bw</sub>: استحکام خستگی (حد دوام) است؛\*: مقادیر تقسیم شده بر d<sub>2</sub> است.



جدول ۲- بارگذاری شروود پروانه

|        |                                                                                                                                                                        |                                                                                      |                                                                                       |                                                                                    |                                            |
|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| رابطه  |                                                                                                                                                                        |                                                                                      |                                                                                       |                                                                                    |                                            |
| -      |                                                                                       |                                                                                      |                                                                                       |  | فشارهای ثانویه بر<br>شروود پروانه          |
| T.2.1  | $\psi_{Rs} = \frac{2(p_{Rs}-p_{La})}{\rho u_2^2}$                                                                                                                      |                                                                                      | $\Delta p_{stat} = \frac{\rho}{2} u_2^2 \psi_{Rs}$                                    |                                                                                    | بار استاتیکی شروود<br>پروانه               |
| T.2.2  | $\Delta p^* = \frac{0.008}{(a_3^*-1)^{0.9}}$                                                                                                                           |                                                                                      | $\Delta p_{dyn} = \frac{\rho}{2} u_2^2 \Delta p^* \left( 2 \frac{x}{t_2} - 1 \right)$ |                                                                                    | بار دینامیکی                               |
| T.2.3  | $\sigma = \frac{M}{W} = \frac{\Delta p}{10} \left( \frac{Laq}{e_{Rs}} \right)^2$                                                                                       | $W = \frac{x}{6} e_{Rs}^2$                                                           | $M = \frac{x \Delta p Laq^2}{60}$                                                     |                                                                                    | ممان خمشی M،<br>مدول عرضی W،<br>تنش خمشی σ |
| T.2.4  | e برابر است با ضخامت پره (بدون پروفیل) برای e <sub>Rs</sub> یک مقدار<br>میانگین قرار داده می شود که Δr = 5e <sub>Rs</sub>                                              |                                                                                      |                                                                                       | $e_{Rs} = 1.25 e$                                                                  | ضخامت شروود پروانه<br>e <sub>Rs</sub>      |
| T.2.5  | $\psi_{Rs} = R_G \psi \left\{ 1 - \frac{r^*-r_1^*}{1-r_1^*} \right\} - k^2 (1 - r^{*2}) \approx 0.1$                                                                   |                                                                                      |                                                                                       |                                                                                    | بار استاتیکی شروود<br>پروانه               |
| T.2.6  | $r^* = 1 - \frac{2\pi}{3zLa} \sin \frac{a_2}{t_2} \cos \frac{a_2}{t_2} \approx 0.9$                                                                                    |                                                                                      |                                                                                       |                                                                                    | شعاع موثر (مرکز بار)                       |
| T.2.7  | $L_{aq}^* = \frac{Laq}{d_2} = \frac{\pi}{2ZLa} (1 + 0.8 \sin \beta_{2B}) \approx 0.67 \frac{\pi}{zLa}$                                                                 |                                                                                      |                                                                                       |                                                                                    | فاصله معادل بین دو<br>پره                  |
| T.2.8  | $t_2^* = \frac{t_2}{d_2} = \frac{\pi}{zLa}$                                                                                                                            | $\sigma_m = \frac{\rho}{4} u_2^2 \left( \frac{L_{aq}^*}{e_{Rs}^*} \right) \psi_{Rs}$ |                                                                                       |                                                                                    | تنش میانگین σ <sub>m</sub>                 |
| T.2.9  | $\sigma_w = \alpha_k \frac{\rho}{20} u_2^2 \left( \frac{L_{aq}^*}{e_{Rs}^*} \right)^2 \Delta p^*$                                                                      |                                                                                      |                                                                                       |                                                                                    | تنش خمشی ثانویه<br>σ <sub>w</sub>          |
| T.2.10 | $\sigma_{bw,al} = \frac{\sigma_{bw}}{S_{bw}} \left( 1 - \frac{\sigma_m}{R_m} S_Z \right)$                                                                              |                                                                                      |                                                                                       |                                                                                    | تنش خمشی ثانویه<br>مجاز σ <sub>bw,al</sub> |
| T.2.11 | $u_{2,al} = 2 \frac{e_{Rs}^* z La}{\pi} \sqrt{\frac{\sigma_{bw}}{\rho \left\{ S_{bw} \alpha_k \frac{\Delta p^*}{5} + S_Z \frac{\sigma_{bw} \psi_{Rs}}{R_m} \right\}}}$ |                                                                                      |                                                                                       |                                                                                    | سرعت محیطی مجاز<br>پروانه                  |

x در رابطه T.2.3 عرض تیر مورد نظر می باشد؛ در هنگام محاسبه تنش، x حذف می شود.

S<sub>bw</sub>: فاکتور ایمنی در برابر شکست خستگی است؛ S<sub>Z</sub>: فاکتور ایمنی در برابر شکست بارگذاری است؛ α<sub>k</sub>: فاکتور بریدگی است؛ p<sub>mat</sub>: دانسیته ماده پروانه است؛ σ<sub>bw</sub>: استحکام خستگی (حد دوام) است؛ \* : مقادیر تقسیم شده بر d<sub>2</sub> است.

جدول ۳- ضخامت‌های پره و شرود

| رابطه                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                   |                                                                                      |                                                                                                                                         |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| T.3.1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | $e_{min} = 0.015 d_2$<br>$u_{Ref} = 100 \text{ m/s}$                              | $e = 0.02 \left( \frac{u_2}{u_{Ref}} \right)^{0.2} d_2$                              | ضخامت نامی پره (بدون پروفیل)                                                                                                            |
| -                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |  |                                                                                      | پروانه‌های بسته                                                                                                                         |
| T.3.2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | $e_2 = e/2$                                                                       | ضخامت لبه ورودی                                                                      |                                                                                                                                         |
| T.3.3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | $e_m = 0.5(e_2 + e) = 0.75 e$                                                     | ضخامت میانگین پره برای محاسبه مطابق با جدول ۱                                        |                                                                                                                                         |
| T.3.4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | e از رابطه<br>T.3.1                                                               | $e_{Rs} = 1.25 e$                                                                    | ضخامت شرود                                                                                                                              |
| T.3.5                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                   | $e_a = e$                                                                            | ضخامت پره در خط جریان خارجی                                                                                                             |
| T.3.6                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                   | $e_i \leq 2e_a$                                                                      | ضخامت پره در خط جریان داخلی (شرود پستی یا هاب).<br>توجه: برای جلوگیری از مشکلات ریخته‌گری، $e_i$ نباید خیلی<br>بزرگتر از $e_{Rs}$ باشد. |
| -                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                   | $e_m = 1.125 e$                                                                      | ضخامت میانگین پره برای محاسبه مطابق با جدول ۱                                                                                           |
| T.3.7                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | $e_3 = 0.01 d_2$                                                                  | ضخامت لبه ورودی                                                                      |                                                                                                                                         |
| T.3.8                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | $e_m = e_3 (1+5 \tan \delta)$                                                     | ضخامت میانگین پره برای محاسبه مطابق با جدول ۱                                        |                                                                                                                                         |
| -                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | $\delta$ : زاویه بین مکش و سمت فشار پره‌های<br>دیفیوزر - $\delta \geq 5^\circ$    |  |                                                                                                                                         |
| <ul style="list-style-type: none"><li>با طراحی و تولید دقیق به نظر می‌رسد توصیه‌های این جدول دست بالا باشد، اما باید رزونانس‌های بین فرکانس‌های طبیعی پروانه و تحریک‌های هیدرولیکی و آکوستیکی را در نظر گرفت. در کاربردهای آب دریا با هد بالا، ممکن است ضخامت‌های بیشتر در نظر گرفته شود.</li><li>حداقل ضخامت مورد نیاز برای عملیات ریخته‌گری باید مورد توجه قرار گیرد.</li><li>برای پروانه‌های ریخته‌گری حداقل <math>e = 0.015 d_2</math> می‌باشد.</li></ul> |                                                                                   |                                                                                      |                                                                                                                                         |

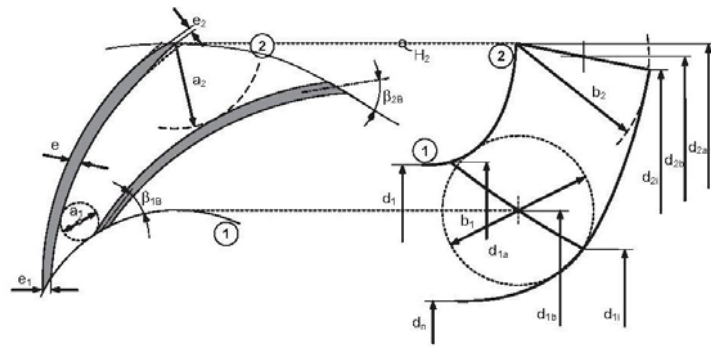
## ضمیمه ۱: معرفی ابعاد هندسی پروانه و دیفیوزر

## پارامترهای ابعادی

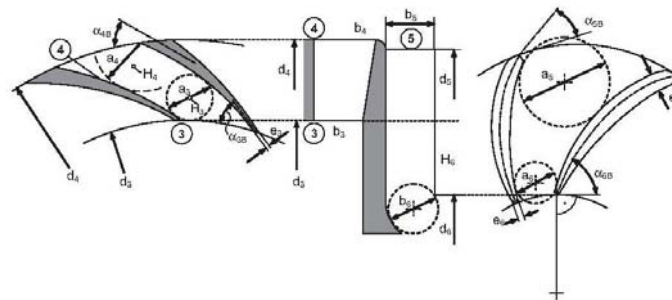
- a: فاصله بین پره‌ها  
 e: ضخامت پره  
 $\beta$ : زاویه بین بردار سرعت نسبی و منفی بردار سرعت محیطی - زاویه پره  
 b: عرض کانال در مقطع مریدونالی  
 $b_2$ : پهنای پروانه در خروجی  
 $d_1$ : قطر لبه ورودی پره پروانه  
 $d_2$ : قطر لبه خروجی پروانه  
 $d_n$ : قطر هاب پروانه  
 $\alpha$ : زاویه بین جهت بردار سرعت مطلق و سرعت محیطی  
 $S_{ax}$ : فاصله محوری بین شروید پروانه و پوسته  
 $X_{ov}$ : همپوشانی دیسک‌های پروانه / دیفیوزر  
 $Q_{s3}$ : جریان ناشی داخل آببندی طبقات  
 $Q_{sp}$ : جریان ناشی در آببندی ورودی پروانه (مثلاً رینگ سایشی)

## زیرنگاشت‌ها:

- 1: لبه ورودی پره پروانه (فشار پایین)  
 2: لبه خروجی پره پروانه (فشار بالا)  
 3: لبه ورودی پره دیفیوزر یا دماغه حلزونی  
 4: لبه خروجی دیفیوزر  
 5: لبه ورودی پره برگشتی  
 6: لبه خروجی پره برگشتی  
 B: زاویه پره (پروانه، دیفیوزر، دماغه حلزونی)  
 sp: آببند حلقوی



## پره های پروانه



## ضمیمه ۲: معرفی شاخص خوردگی حفره‌ای:

در صورتی که ترکیب شیمیایی فلز شامل عناصر کرم، مولیبدن، مس، تنگستن و نیتروژن باشد، مقاومت به خوردگی در مقابل کلراید افزایش می‌یابد. غالباً رابطه زیر به عنوان معیاری برای ارزیابی خطرات خوردگی موضعی به کار می‌رود:

$$PI = Cr - 14.5C + 3.3 Mo + 2 Cu + 2W + 16N \quad , [Cr, C, Mo, \dots \%] \quad (5)$$

شاخص خوردگی حفره‌ای<sup>۱</sup> فقط برای فولادهای پرآلیاژ کاربرد دارد. نباید برای آلیاژهای پایه نیکل مورد استفاده قرار گیرد. با افزایش این شاخص، مقاومت به خوردگی موضعی و ترک خوردگی سولفیدی افزایش می‌یابد. در بعضی مراجع روابط مختلفی برای این شاخص ذکر شده است که هنگام انتخاب مواد بر اساس این شاخص می‌بایست مد نظر قرار داد.

---

<sup>1</sup> Pitting index

## ضمیمه ۳: جداول خواص مواد پرکاربرد

## جدول ۴- خواص چدن و فولاد ریخته‌گری

|                                 |                            |                     | Cast iron           | Nodular cast iron    | Ni-Resist           | Cast steel          |                     |          |
|---------------------------------|----------------------------|---------------------|---------------------|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------|
| DIN 17006                       |                            |                     | GG-25<br>GJL-250    | GGG-40<br>GJS-400-15 | GGG-NiCr<br>20-2    | GS-C25<br>GP240GH   | GX8<br>CrNi 12      |          |
| Material-no. (DIN, EN)          |                            |                     | 0.6025              | 0.7040               | 0.7660              | 1.0619              | 1.4107              |          |
| ASTM                            |                            |                     | A278 30             | A536-60-40-18        | A439 Type D2        | A216 Gr WCB         | A217 Gr CA-15       |          |
| Unified numbering system UNS    |                            |                     | F 12401             |                      |                     | J 03002             | J 91150             |          |
| Chemical composition            | C                          | %                   | 3.4                 | 3                    | 3                   | 0.21                | < 0.1               |          |
|                                 | Cr                         |                     | -                   | -                    | 1-2.5               | 0.3                 | 11.5-12.5           |          |
|                                 | Ni                         |                     | -                   | -                    | 18-22               | -                   | 0.8-1.5             |          |
|                                 | Mo                         |                     | -                   | -                    | -                   | -                   | 0.2-0.5             |          |
|                                 | Cu                         |                     | -                   | -                    | <0.5                | -                   | -                   |          |
|                                 | Si                         |                     | -                   | -                    | 1.5-3               | 0.4                 | < 1                 |          |
|                                 | Mn                         |                     | -                   | -                    | 0.5-1.5             | 0.5-0.8             | < 1                 |          |
| Microstructure                  |                            |                     |                     | Perlitic             | Ferritic            | Austenitic-Carbide  | Bainite             | Ferritic |
| Yield strength                  | R <sub>p0.2</sub>          | N/mm <sup>2</sup>   | -                   | 250                  | 210-250             | 240                 | > 500               |          |
| Tensile strength                | R <sub>m</sub>             | N/mm <sup>2</sup>   | 245                 | 400                  | 370-480             | 420-600             | > 590               |          |
| Elongation                      | A                          | %                   | -                   | > 15                 | 7-20                | 22                  | > 16                |          |
| Young's modulus                 | E                          | N/mm <sup>2</sup>   | 1.1×10 <sup>5</sup> | 1.72×10 <sup>5</sup> | 1.2×10 <sup>5</sup> | 2.1×10 <sup>5</sup> | 2.1×10 <sup>5</sup> |          |
| Vickers hardness HV 30          | HV                         |                     | 180-240             | 130-180              | 140-200             | 130-270             | 170-240             |          |
| Density                         | ρ <sub>mat</sub>           | kg/m <sup>3</sup>   | 7300                | 7100                 | 7400                | 7800                | 7700                |          |
| Specific heat capacity          | c <sub>p</sub>             | J/kg K              | 540                 |                      |                     | 460                 | 460                 |          |
| Thermal expansion               | α                          | 10 <sup>-6</sup> /K | 9                   | 12.5                 | 18.7                | 12.6                | 10.5                |          |
| Thermal conductivity            | λ                          | W/m K               | 48                  | 36                   | 12.6                | 45                  | 26                  |          |
| Machinability                   |                            |                     | Very good           |                      |                     | Good                | Good                |          |
| Weldability                     |                            |                     | Very poor           | Poor                 | Poor                | Good                | Limited             |          |
| Safety factors for chapter 14.1 | S <sub>z</sub>             |                     | 10                  | 4                    | 4                   | 4                   | 2                   |          |
|                                 | S <sub>zz</sub>            |                     | 18                  | 10                   | 15                  | 8                   | 5                   |          |
| Cavitation erosion              | Relative to 1.4317 (CA6NM) |                     | 11                  | 5.5                  | 4.1                 | 4.7                 | 1.5                 |          |
| Loss due to abrasion            |                            |                     | 1.7                 | 2                    | 1.9                 | 1.8                 | 1.2                 |          |
| Relative costs                  |                            |                     | 0.25                | 0.35                 | 0.4                 | 0.55                | 0.8                 |          |

جدول ۵- خواص فولادهای ریخته‌گری پرآلیاژ (۱)

| Type                               |                   |                     | Martensitic            |                         | Austenitic                |                          |                            |
|------------------------------------|-------------------|---------------------|------------------------|-------------------------|---------------------------|--------------------------|----------------------------|
| DIN 17006                          |                   |                     | GX4CrNi<br>13-4        | GX4<br>CrNiMo<br>16-5-2 | GX2CrNi<br>19-11          | GX2<br>CrNiMo19-<br>11-2 | GX2CrNi<br>MoNb<br>17-13-4 |
| Material-no. (DIN, EN), [N.15]     |                   |                     | 1.4317                 | 1.4411                  | 1.4309                    | 1.4409                   | 1.4446                     |
| ASTM: A743 Grade                   |                   |                     | CA 6NM                 | CB 7Cu2                 | CF-3                      | CF-3M                    |                            |
| AISI                               |                   |                     |                        |                         | 304L                      | 316L                     |                            |
| Unified numbering system UNS:      |                   |                     | J 91540                |                         | J 92500                   | J 92800                  |                            |
| Chemical<br>composition            | C                 | %                   | < 0.06                 | < 0.06                  | < 0.03                    | < 0.03                   | < 0.03                     |
|                                    | Cr                |                     | 12-13.5                | 15-17                   | 18-20                     | 18-20                    | 16.5-18.5                  |
|                                    | Ni                |                     | 3.5-5                  | 4-6                     | 9-12                      | 9-12                     | 12.5-14.5                  |
|                                    | Mo                |                     | < 0.7                  | 1.5-2                   | -                         | 2-2.5                    | 4-4.5                      |
|                                    | Cu                |                     | -                      | -                       | -                         | -                        |                            |
|                                    | N                 |                     | -                      | -                       | < 0.2                     | < 0.2                    | 0.12-0.22                  |
|                                    | Nb                |                     | -                      | -                       | -                         | -                        |                            |
| Microstructure                     |                   |                     | Ferritic - Martensitic |                         | Austenitic                |                          |                            |
| Pitting index                      | PI                | Eq.(14.8)           | 14                     | 21                      | 20                        | 25                       | 34                         |
| Yield strength                     | R <sub>p0.2</sub> | N/mm <sup>2</sup>   | > 550                  | > 540                   | > 185                     | > 195                    | > 210                      |
| Tensile strength                   | R <sub>m</sub>    | N/mm <sup>2</sup>   | 760-960                | 760-960                 | 440-640                   | 440-640                  | 440-640                    |
| Elongation                         | A                 | %                   | > 15                   | > 15                    | > 30                      | > 30                     | > 20                       |
| Young's modulus                    | E                 | N/mm <sup>2</sup>   | 2.1×10 <sup>5</sup>    | 2.1×10 <sup>5</sup>     | 1.93×10 <sup>5</sup>      | 1.93×10 <sup>5</sup>     | 1.93×10 <sup>5</sup>       |
| Vickers hardness HV30              | HV                |                     | 240-300                | 260-320                 | 130-200                   | 130-200                  | 130-180                    |
| Density                            | ρ <sub>mat</sub>  | kg/m <sup>3</sup>   | 7700                   | 7800                    | 7880                      | 7900                     | 7900                       |
| Specific heat capacity             | c <sub>p</sub>    | J/kg K              | 460                    | 460                     | 530                       | 530                      | 530                        |
| Thermal expansion                  | α                 | 10 <sup>-6</sup> /K | 10.5                   | 11                      | 16.8                      | 15.8                     | 16                         |
| Thermal conductivity               | λ                 | W/m K               | 26                     | 17                      | 15.2                      | 14.5                     | 13.5                       |
| Machinability                      |                   |                     | Good                   | Good                    | Good                      | Good                     | Good                       |
| Weldability                        |                   |                     | Good                   | Good                    | Good (with low C-content) |                          |                            |
| Safety factors for<br>chapter 14.1 | S <sub>z</sub>    |                     | 2                      | 2                       | 2                         | 2                        | 2                          |
|                                    | S <sub>zz</sub>   |                     | 5                      | 5                       | 5                         | 5                        | 5                          |
| Cavitation erosion                 | Relative to       |                     | 1.0                    | 0.8                     | 1.5                       | 1.5                      | 1.5                        |
| Loss due to abrasion               | 1.4317            |                     | 1.0                    | 1.0                     | 1.3                       | 1.3                      | 1.4                        |
| Relative costs                     | (CA6NM)           |                     | 1.0                    | 1.2                     | 1.1                       | 1.5                      | 1.4                        |

جدول ۶- خواص فولادهای ریخته‌گری پرآلیاژ (۲)

| Type                               |                                  |                     | Duplex steels            |                              |                          | Super-Austenitic         |                             |
|------------------------------------|----------------------------------|---------------------|--------------------------|------------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| DIN 17006                          |                                  |                     | GX2CrNi<br>MoN<br>22-5-3 | GX2CrNi<br>MoCuN<br>25-6-3-3 | GX2CrNi<br>MoN<br>25-6-3 | GX2<br>NiCrMo<br>28-20-2 | GX2NiCr<br>MoCuN<br>29-25-5 |
| Material-no. (DIN, EN) [N.15]      |                                  |                     | 1.4470                   | 1.4517                       | 1.4468                   | 1.4458                   | 1.4587                      |
| ASTM: A890 Grade:                  |                                  |                     | CD3MN                    | 4B                           | 3A                       |                          |                             |
| AISI                               |                                  |                     |                          |                              |                          |                          |                             |
| Unified numbering system UNS:      |                                  |                     | J 92205                  | J 92205                      | J 93371                  |                          |                             |
| Chemical<br>composition            | C                                | %                   | < 0.03                   | < 0.03                       | <. 0.03                  | < 0.03                   | < 0.03                      |
|                                    | Cr                               |                     | 21-23                    | 24.5-26.5                    | 24.5-26.5                | 19-22                    | 24-26                       |
|                                    | Ni                               |                     | 4.5-6.5                  | 5-7                          | 5.5-7                    | 26-30                    | 28-30                       |
|                                    | Mo                               |                     | 2.5-3.5                  | 2.5-3.5                      | 2.5-3.5                  | 2-2.5                    | 4-5                         |
|                                    | Cu                               |                     | -                        | 2.75-3.5                     | -                        | < 2                      | 2-3                         |
|                                    | N                                |                     | 0.12-0.2                 | 0.12-0.22                    | 0.12-0.25                | < 0.2                    | 0.15-0.25                   |
|                                    |                                  |                     | -                        | -                            |                          | -                        | -                           |
| Microstructure                     |                                  |                     | Ferritic - Austenitic    |                              |                          | Super-Austenitic         |                             |
| Pitting index                      | PI                               | Eq.(14.8)           | 34                       | 44                           | 38                       | 35                       | 48                          |
| Yield strength                     | R <sub>p0.2</sub>                | N/mm <sup>2</sup>   | > 420                    | > 480                        | > 480                    | > 165                    | > 220                       |
| Tensile strength                   | R <sub>m</sub>                   | N/mm <sup>2</sup>   | 600-800                  | 650-850                      | 650-850                  | 430-630                  | > 480                       |
| Elongation                         | A                                | %                   | > 20                     | > 22                         | > 22                     | > 30                     | > 30                        |
| Young's modulus                    | E                                | N/mm <sup>2</sup>   | 2.0×10 <sup>5</sup>      | 2.1×10 <sup>5</sup>          | 2.1×10 <sup>5</sup>      | 1.93×10 <sup>5</sup>     | 1.93×10 <sup>5</sup>        |
| Vickers hardness HV30              | HV                               |                     | 180-250                  | 200-270                      | 200-270                  | 130-200                  | 150-220                     |
| Density                            | ρ <sub>mat</sub>                 | kg/m <sup>3</sup>   | 7700                     | 7700                         | 7700                     | 8000                     | 8000                        |
| Specific heat capacity             | c <sub>p</sub>                   | J/kg K              | 450                      | 450                          | 450                      | 500                      | 500                         |
| Thermal expansion                  | α                                | 10 <sup>-6</sup> /K | 13                       | 13                           | 13                       | 14.5                     | 14.5                        |
| Thermal conductivity               | λ                                | W/m K               | 18                       | 17                           | 17                       | 16                       | 17                          |
| Machinability                      |                                  |                     | Fair                     | Fair                         | Fair                     | Fair                     | Fair                        |
| Weldability                        |                                  |                     | Good                     | Good                         | Good                     | Good                     | Good                        |
| Safety factors for<br>chapter 14.1 | S <sub>z</sub>                   |                     | 2                        | 2                            | 2                        | 2                        | 2                           |
|                                    | S <sub>zz</sub>                  |                     | 5                        | 5                            | 5                        | 5                        | 5                           |
| Cavitation erosion                 | Relative to<br>1.4317<br>(CA6NM) |                     | 1.1                      | 1.0                          | 1.0                      | 1.5                      | 1.3                         |
| Loss due to abrasion               |                                  |                     | 1.2                      | 1.1                          | 1.1                      | 1.4                      | 1.3                         |
| Relative costs                     |                                  |                     | 1.5                      | 2                            | 1.6                      | 2.3                      | 2.6                         |

جدول ۷- خواص فولادهای ریخته‌گری پرآلیاژ (۳)

|                                    |                                  |                     | Super-duplex steels                  |                           |                           | Wear ring material    |
|------------------------------------|----------------------------------|---------------------|--------------------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------|
|                                    |                                  |                     | GX3CrNiMo<br>WCuN 27-6-3-1           | GX3CrNiMo<br>CuN 26-6-3-3 | GX4CrNiMo<br>CuN 24-6-5-3 | GX120CrMo<br>29-2     |
| Material-no. as per SEW 410 [N.21] |                                  |                     | 1.4471                               | 1.4515mod                 | 1.4573                    | 1.4138                |
| ASTM: A890 Grade:                  |                                  |                     | 6A<br>CD3MWCuN                       |                           |                           |                       |
| Chemical composition               | C                                | %                   | < 0.03                               | < 0.03                    | 0.04                      | 0.9-1.3               |
|                                    | Cr                               |                     | 25.5-28                              | 25-26                     | 22-25                     | 27-30                 |
|                                    | Ni                               |                     | 5.5-8                                | 6-7.5                     | 4.5-6.5                   | -                     |
|                                    | Mo                               |                     | 3-4                                  | 3-3.5                     | 4.5-6                     | 2-2.5                 |
|                                    | Cu                               |                     | 0.8-1.3                              | 1                         | 1.5-2.5                   | -                     |
|                                    | N                                |                     | 0.15-0.28                            | 0.17-0.25                 | 0.15-0.25                 | -                     |
|                                    |                                  |                     | 1 W                                  | 1 W                       |                           |                       |
| Microstructure                     |                                  |                     | Ferritic,<br>Austenitic,<br>each 50% | Ferritic,<br>Austenitic   | Ferritic,<br>Austenitic   | Ferritic,<br>Carbides |
| Pitting index                      | PI                               | Eq.(14.8)           | 45                                   | 43                        | 47                        | -                     |
| Yield strength                     | R <sub>p0.2</sub>                | N/mm <sup>2</sup>   | > 480                                | > 480                     | > 485                     | -                     |
| Tensile strength                   | R <sub>m</sub>                   | N/mm <sup>2</sup>   | 650-850                              | 650-850                   | 690-890                   | -                     |
| Elongation                         | A                                | %                   | > 22                                 | 22                        | > 22                      | -                     |
| Young's modulus                    | E                                | N/mm <sup>2</sup>   | 2.1×10 <sup>5</sup>                  | 2.1×10 <sup>5</sup>       | 2.1×10 <sup>5</sup>       | 2.1×10 <sup>5</sup>   |
| Vickers hardness                   | HV                               | Hardened            |                                      |                           |                           |                       |
|                                    |                                  | Annealed            | 200-260                              | 200-260                   | 200-320                   | 260-330               |
| Density                            | ρ <sub>mat</sub>                 | kg/m <sup>3</sup>   | 7700                                 | 7800                      | 7800                      | 7700                  |
| Specific heat capacity             | c <sub>p</sub>                   | J/kg K              | 450                                  | 450                       | 450                       | 500                   |
| Thermal expansion                  | α                                | 10 <sup>-6</sup> /K | 13                                   | 14                        | 14                        | 9.5                   |
| Thermal conductivity               | λ                                | W/m K               | 17                                   | 15                        | 15                        | 19                    |
| Machinability                      |                                  |                     | Fair                                 |                           |                           |                       |
| Weldability                        |                                  |                     | Good                                 | Good                      | Limited                   | No                    |
| Cavitation erosion                 | Relative to<br>1.4317<br>(CA6NM) |                     | 0.9                                  | 1.0                       | 0.9                       | 1.0                   |
| Loss due to abrasion               |                                  |                     | 1                                    | 1.1                       | 0.9                       | 0.9                   |
| Relative costs                     |                                  |                     | 2                                    | 2                         | 2                         |                       |
| Application                        | pH                               |                     | > 2.5                                | > 4                       | > 2.5                     | >7                    |
|                                    |                                  |                     | Sea water, FGD                       |                           |                           | Wear rings            |



جدول ۸- خواص چدن‌های ضد سایش

|                                     |                                  |                     | GX300CrNiSi<br>9-5-2                                               | GX300CrMo<br>15-3                                      | GX300CrMo<br>27-1   | GX150CrNi<br>Mo 40-6                                 |
|-------------------------------------|----------------------------------|---------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------|------------------------------------------------------|
| Material-no. (DIN, EN)              |                                  |                     | 0.9630                                                             | 0.9635                                                 | 0.9655              | 1.4475                                               |
|                                     |                                  |                     | DIN 1695                                                           |                                                        |                     |                                                      |
| ASTM                                |                                  |                     | A532                                                               |                                                        |                     |                                                      |
| Chemical composition<br>in per cent | C                                | DIN 1695            | 2.5-3.5                                                            | 2.3-3.1                                                | 3-3.5               |                                                      |
|                                     | C                                | reduced             | -                                                                  | 2.4-2.6                                                | 1.5-1.8             | 1.4-1.7                                              |
|                                     | Cr                               |                     | 8-10                                                               | 14-17                                                  | 23-28               | 39.5-42                                              |
|                                     | Ni                               |                     | 4.5-6.5                                                            | < 0.7                                                  | < 1.2               | 5-7                                                  |
|                                     | Mo                               |                     | < 0.5                                                              | 1-3                                                    | 1-2                 | 2-3                                                  |
|                                     | Cu                               |                     | -                                                                  | -                                                      | -                   | < 1.2                                                |
|                                     | N                                |                     | -                                                                  | -                                                      | -                   | 0.1-0.2                                              |
|                                     | Si                               |                     | 1.5-3.2                                                            | 0.2-0.8                                                | 0.2-1               | -                                                    |
| Microstructure                      |                                  |                     | Chromium carbide in martensitic, perlitic,<br>austenitic structure |                                                        |                     | Ferritic, Aus-<br>tenitic, Car-<br>bide,<br>each 33% |
| Pitting index                       | PI                               | Eq.(14.8)           | -                                                                  | -                                                      | -                   | 31                                                   |
| Tensile strength                    | $R_m$                            | N/mm <sup>2</sup>   | 500-600                                                            | 450-1000                                               | 450-1000            |                                                      |
| Elongation                          | A                                | %                   | -                                                                  | -                                                      | -                   |                                                      |
| Young's modulus                     | E                                | N/mm <sup>2</sup>   | $1.96 \times 10^5$                                                 | $1.72 \times 10^5$                                     | $1.72 \times 10^5$  |                                                      |
| Vickers hardness                    | HV                               | Hardened            | 600-750                                                            | 700-900                                                | 600-800             |                                                      |
|                                     |                                  | Annealed            | Natural hard                                                       | < 400                                                  | < 400               |                                                      |
| Density                             | $\rho_{mat}$                     | kg/m <sup>3</sup>   | 7700                                                               | 7700                                                   | 7600                |                                                      |
| Thermal expansion                   | $\alpha$                         | 10 <sup>-6</sup> /K | 14.5                                                               | 13                                                     |                     |                                                      |
| Thermal conductivity                | $\lambda$                        | W/m K               | 13.8                                                               | 13.8                                                   |                     |                                                      |
| Machinability                       |                                  |                     | Very poor                                                          | With reduced C-content<br>after annealing good         |                     |                                                      |
| Weldability                         |                                  |                     |                                                                    |                                                        |                     |                                                      |
| Loss due to abrasion<br>[14.41]     | Relative to<br>1.4317<br>(CA6NM) |                     | 0.08                                                               | 0.04                                                   | 0.07                | 0.1                                                  |
| Relative costs                      |                                  |                     | 1.1                                                                | 1.1                                                    | 1.25                | 1.65                                                 |
| Application                         | Fluid                            |                     | Neutral with respect to cor-<br>rosion                             |                                                        | Weakly<br>corrosive | Fairly<br>corrosive,<br>Eq. (14.9)                   |
|                                     | Service                          |                     | Slurry and<br>dredge<br>pumps                                      | Bauxite, ore, or carbon slurries;<br>sand laden sewage |                     |                                                      |

جدول ۹- خواص آلیاژهای مس و نیکل

| Type                               |                                  |                     |                      | Tin<br>bronze       | Inoxida             | Monel<br>K500        | Hastelloy<br>C  |
|------------------------------------|----------------------------------|---------------------|----------------------|---------------------|---------------------|----------------------|-----------------|
| DIN 17006                          |                                  |                     | G-CuSn<br>5ZnPb      | G-CuSn 10           | G-CuAl<br>10Ni      | NiCu30Al             | NiMo16Cr<br>15W |
| Material-no. (DIN, EN)             |                                  |                     | 2.1096.01            | 2.1050.01           | 2.0975.01           | 2.4374               | 2.4819          |
| ASTM:                              |                                  |                     | B584<br>C83600       | B427<br>C90700      | B148 958            |                      | A574<br>N10276  |
| Unified numbering system UNS:      |                                  |                     | C83600               | C90700              | C95800              | N05500               | N10276          |
| Pitting index                      | PI                               | Eq.(14.8)           | -                    | -                   | -                   | -                    | 70              |
| Chemical<br>composition            | Cu                               | %                   | 84-86                | 88-90               | 76                  | 30                   | Cr 15-17        |
|                                    | Ni                               |                     | 2.5                  | 2                   | 4-6.5               | Rest                 | 51-64           |
|                                    | Al                               |                     | -                    | -                   | 8.5-11              | 2-4                  | Mo 15-17        |
|                                    | Sn                               |                     | 4-6                  | 9-11                | -                   | -                    | W 3-4.5         |
|                                    | Zn                               |                     | 4-6                  | -                   | -                   | -                    | -               |
|                                    | Fe                               |                     | -                    | -                   | 3.5-5.5             | 0.5-2                | 4-7             |
|                                    | Pb                               |                     | 4-6                  | -                   | -                   | -                    | C < 0.015       |
|                                    | Mn                               |                     | 3                    | 3                   | 3                   | -                    | 1               |
| Yield strength                     | R <sub>p0.2</sub>                | N/mm <sup>2</sup>   | 90                   | 130                 | 270                 | 590                  | 280             |
| Tensile strength                   | R <sub>m</sub>                   | N/mm <sup>2</sup>   | 220                  | 270                 | 600                 | 600-880              | 700             |
| Elongation                         | A                                | %                   | 16                   | 18                  | 12                  | 12                   | 35              |
| Young's modulus                    | E                                | N/mm <sup>2</sup>   | 0.85×10 <sup>5</sup> | 1.0×10 <sup>5</sup> | 1.2×10 <sup>5</sup> | 1.79×10 <sup>5</sup> |                 |
| Vickers hardness<br>HV30           | HV                               |                     | 60                   | 80                  | 140                 | 170-230              |                 |
| Density                            | ρ <sub>mat</sub>                 | kg/m <sup>3</sup>   | 8700                 | 8700                | 7600                | 8500                 | 8900            |
| Specific heat capacity             | c <sub>p</sub>                   | J/kg K              |                      | 400                 | ≈400                | ≈525                 |                 |
| Thermal expansion                  | α                                | 10 <sup>-6</sup> /K | 17                   | 20                  | ≈17                 | ≈15                  |                 |
| Thermal conductivity               | λ                                | W/m K               | 58                   | 45                  | ≈50                 |                      |                 |
| Weldability                        |                                  |                     |                      |                     | Very<br>good        |                      |                 |
| Safety factors for<br>chapter 14.1 | S <sub>z</sub>                   |                     | 4                    | 4                   | 4                   | 4                    | 2               |
|                                    | S <sub>zz</sub>                  |                     | 10                   | 10                  | 10                  | 10                   | 5               |
| Cavitation erosion                 | Relative to<br>1.4317<br>(CA6NM) |                     | 5 ?                  | 4.5 ?               | 1 ?                 | 1 ?                  | 1 ?             |
| Loss due to abrasion               |                                  |                     | 2.5                  | 2.2                 | 1.6                 | 1.3                  | 1.2             |
| Relative costs                     |                                  |                     | 1.0                  | 0.9                 | 1.2                 | 5.0                  | 1.8             |

#### ضمیمه ۴: کیفیت‌های آب

عموماً کیفیت آب به صورت W1 تا W6 به صورت زیر تعریف می‌شود. جهت محدودیت‌های هر تعریف به مرجع [1.1] بخش 14.4.1 مراجعه شود.

W1. آب خورنده ضعیف Weakly corrosive water

W2. آب سطحی و لجن Surface water and sewage

W3. آب دریا بدون  $H_2S$  یا  $O_2$ ،  $H_2S$  یا  $O_2$  Sea water without  $H_2S$  or  $O_2$

W4. آب دریا با  $H_2S$ ،  $H_2S$  Sea water with  $H_2S$

W5. Partially demineralized water

W6. Demineralized water

#### مراجع

- [1]: Gülich JF, Bolleter U: Pressure pulsations in centrifugal pumps. ASME J Vibr Acoustics 114 (1992) 272-279
- [2]: Offenhäuser H: Druckschwankungsmessungen an Kreiselpumpen mit Leitrad. VDI Ber 193 (1973) 211-218
- [3]: Sedricks AJ, Money KL: Corrosion fatigue properties of Nickel-containing materials in seawater. NiDI Druckschrift Nr 1258, 1977.
- [4]: Hergt P: Hydraulic design of rotodynamic pumps. In: Hydraulic Design of Hydraulic Machinery. Rada Krishna (Hrsg), Avebury, Aldershot, 1997

نوشته: رسول پایدار نوبخت



# شرکت آریا سنجش

(با مسئولیت محدود)

تولید کننده پمپ های صنایع نفت و  
پتروشیمی، صنایع و معادن ، آب و فاضلاب  
مطابق با استاندارد API 610 و ISO 5199

آدرس دفتر مرکزی: تهران، خیابان قائم مقام فراهانی، خیابان مشاهیر، کوچه زیبا، پلاک ۴، طبقه سوم، واحد ۶  
تلفن: ۰۲۱-۸۸۸۱۳۴۶۱-۳ فکس: ۰۲۱-۸۸۸۱۳۴۶۴

آدرس کارخانه: تبریز، کوی صنعتی سهند، پلاک ۴  
تلفکس: ۰۴۱۱-۴۲۰۱۳۰۰

[www.aryask.com](http://www.aryask.com)  
[info@aryask.com](mailto:info@aryask.com)