



WHITE PAPERS

ASK-RD-ENG-016

R&D Department

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

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

توجه!

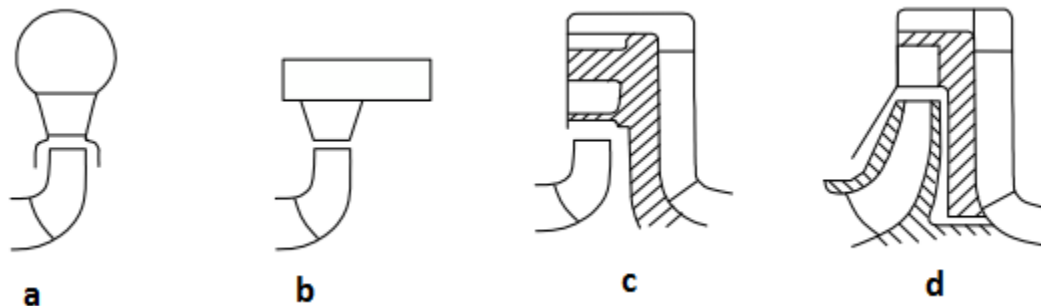
مقالات تخصصی با عنوان White Papers جهت افزایش دانش عمومی پمپ ها در بخش تحقیق و توسعه این شرکت نگارش شده است. استفاده از این مقالات رایگان می باشد و لازم است جهت استفاده از محتویات آن به موارد ذیل توجه فرمایید:

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

مقدمه ای بر طراحی دیفیوزر

دیفیوزر های شعاعی با کانال بازگشت و بدون آن

وظیفه ی دیفیوزر در پمپ های سانتریفیوژ، تبدیل انرژی جنبشی خروجی پره به فشار استاتیکی با کمترین اتلافات ممکن است. انواع آرایش مورد استفاده ی دیفیوزرها در شکل ۱ نشان داده شده است. در پمپ های یک طبقه، دیفیوزر جریان را به پایین دست حلزونی یا کلکتور حلقوی تخلیه می کند. در طبقه ی آخر پمپ های چند طبقه نیز همین روند تکرار می شود. دیفیوزرهای پمپ های چند طبقه، جز در طبقه ی آخر، با کانال هایی که جریان را به طبقه ی بعد هدایت می کنند یک واحد را تشکیل می دهند.



شکل ۱

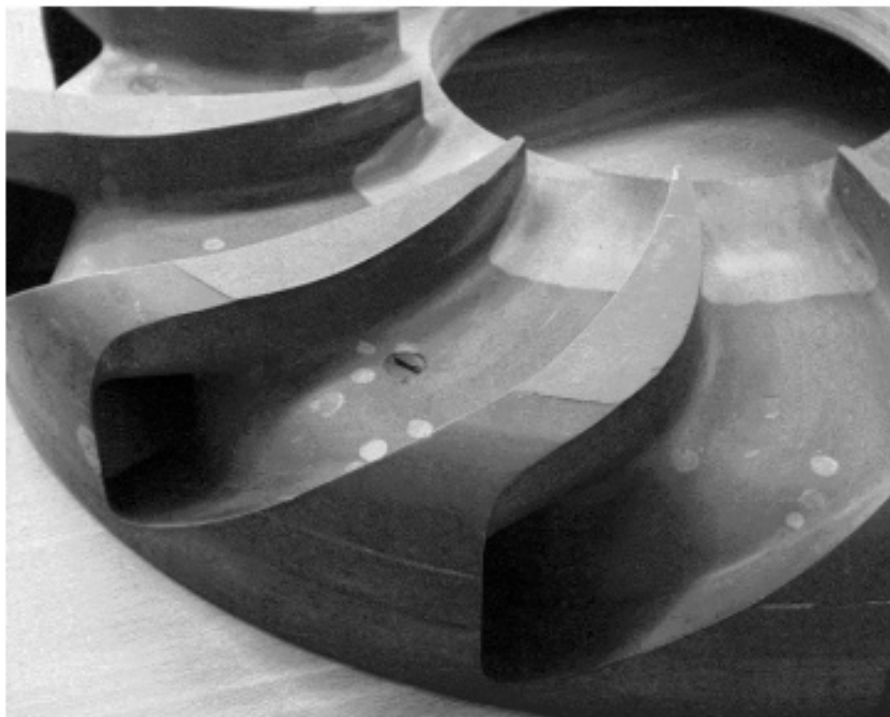
دیفیوزرها و کانال های بازگشت پمپ های چند طبقه در انواع مختلفی ساخته می شوند. در حالی که ورودی همه ی انواع دیفیوزرها و کانال های مربوط به آن ها در اساس طراحی بسیار مشابه یکدیگرند، آرایش هندسه ی جریان خروجی از دیفیوزر به پره های بازگشت به روش های متفاوتی انتخاب می شود:

۱. دیفیوزر و پره های بازگشت به گونه ای طراحی شوند که یک کانال پیوسته را شبیه زانویی سه بعدی مطابق شکل ۲ تشکیل دهند. این نوع طراحی کمترین اتلافات هیدرولیکی را در پی دارد ولی هزینه ی طراحی و ساخت آن بالاست. با استفاده از شیوه های مدرن 3D-CAD و ساخت کنترل شده به روش عددی این هزینه ها کاهش می یابد.
۲. دیفیوزر و کانال بازگشت توسط یک حلقه ی بی پره از هم جدا باشد. در شکل ۱ قسمت C این طراحی نشان داده شده است. سیالی که به صورت شعاعی از دیفیوزر خارج می شود، توسط این حلقه ۱۸۰ درجه از مسیر منحرف شده و وارد کانال های بازگشت شعاعی می شود.
۳. جریان به صورت جانبی از کانال دیفیوزر خارج می شود و با ۹۰ درجه انحراف وارد کانال بازگشت می شود. این طراحی در شکل ۱ قسمت d نشان داده شده است.

سه شیوه ی بیان شده، در آرایش های متنوعی تولید می شوند که نمونه هایی از آن ها در شکل ۳ نشان داده شده است.

قطر خارجی دیفیوزرها (d_{1e}) معمولا ۳۰ تا ۵۰ درصد بزرگتر از قطر خارجی پره است. دیفیوزرهای کوچک تر در کاربردهایی مانند پمپ های غوطه ور به کار می روند. در شکل ۴ کوچکترین دیفیوزر ساخته شده نشان داده شده است که در آن قطر خارجی دیفیوزر منطبق بر قطر خارجی پره است. پس از انجام تست های مختلف مشخص شد که بازده این پره تنها ۲ درصد کمتر از بازده دیفیوزرهای معمولی است. همچنین این دیفیوزر نیروی تراست محوری کمتری تولید می کند که منجر به کاهش قطر پیستون

بالانس و دبی بالانس می شود. ارتعاشات سیستم تغییر محسوسی نمی کند ولی منحنی دبی-هد با ناپایداری حائل کمی مواجه می شود.



شکل ۲

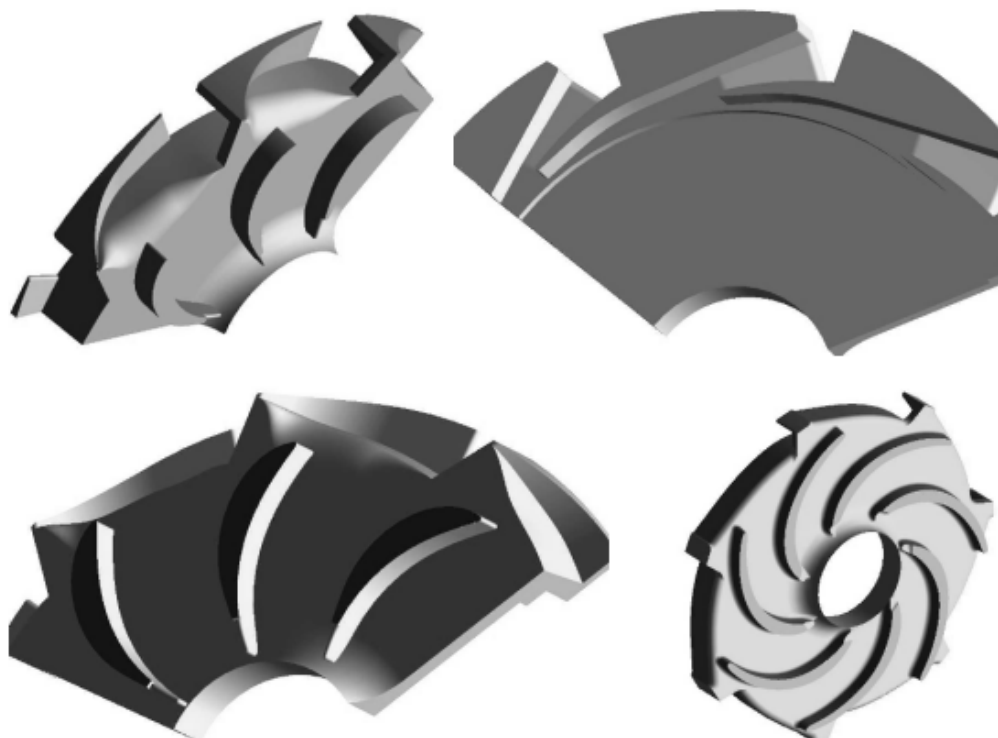
در زیر پیرامون طراحی دیفیوزر با پره های بازگشتی بحث خواهد شد. مقادیر لازم برای طراحی ان عبارتند از:

• دبی حجمی (Q_{Le})

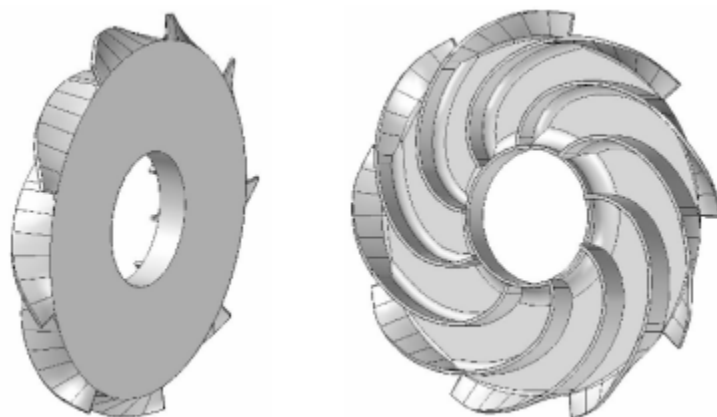
جهت دستیابی به نقطه ی بهترین عملکرد، دیفیوزر باید بر اساس دبی حجمی Q_{opt} طراحی شود. لذا جریانی که به دیفیوزر می رسد برابر است با:

$$Q_{Le} = Q_{opt} + Q_E + Q_{S3}$$

که در آن Q_E دبی حجمی سیال جهت بالانس نیروی تراست و Q_{S3} دبی حجمی نشتی از آب بند های میان طبقه است



شکل ۳



شکل ۴

• قطر ورودی (d_3)

بین پره (impeller) و پره های دیفیوزر (vanes) یک لقی باید وجود داشته باشد که نوسانات فشار را محدود کند و نیروهای هیدرولیکی را در حد قابل قبول حفظ کند. به این لقی فاصله ی B گویند. قطر ورودی دیفیوزر از رابطه ی زیر به دست می آید:

برای $n_q < 40$:

$$\frac{d_3}{d_2} \geq 1.015 + 0.08 \left(\frac{\rho H}{\rho_{REF} H_{REF}} - 0.1 \right)^{0.8}$$

برای $n_q > 40$:

$$\frac{d_3}{d_2} = 1.04 + 0.001(n_q - 40)$$

که در آن ρ_{REF} و H_{REF} مقادیر مرجع بوده و به ترتیب برابرند با ۱۰۰۰ متر و ۱۰۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب.

شایان ذکر است، کمترین میزان لقی بین دو پره باید ۲ میلیمتر باشد.

• سرعت ورودی

مولفه ی جانبی سرعت مطلق در خروجی پره (C_2) از رابطه ی زیر محاسبه می شود:

$$C_{2u} = \frac{gH}{\eta_h u_2} + \frac{u_{1m} c_{1u}}{u_2}$$

سپس با استفاده از روابط زیر مولفه های سرعت در ورودی دیفیوزر تعیین می شود:

$$C_{3u} = C_{2u} \frac{d_2}{d_3}$$

$$C'_{3m} = \frac{Q_{Le} \tau_3}{\pi b_3 d_3}$$

$$\tan \alpha'_3 = \frac{C'_{3m}}{C_{3u}}$$

که در آن τ_3 ضریب انسداد پره ی دیفیوزر است و از رابطه ی زیر به دست می آید:

$$\tau_3 = \frac{1}{1 - \frac{Z_{Le} e_3}{\pi d_3 \sin \alpha_{3B} \sin \lambda_{Le}}}$$

که درباره ی ترم های آن در بخش های بعدی توضیح داده خواهد شد. α'_3 نیز زاویه ی جریان در ورودی دیفیوزر با انسداد است.

• زاویه ورودی

پره های دیفیوزر باید با زاویه ی α_{3B} نسبت به محور جانبی تنظیم شوند. این زاویه بر حسب زاویه ی دسترسی و زاویه ی حمله ای در محدوده ی $i_3 = \pm 3^\circ$ از رابطه ی زیر محاسبه انتخاب می شود:

$$\alpha_{3B} = \alpha'_3 + i_3$$

• تعداد پره های دیفیوزر (Z_{Le})

تعداد پره های دیفیوزر باید با توجه به تعداد پره ها ($impeller$) تعیین شود تا از نیروهای هیدرولیکی بیش از حد و نوسانات فشار جلوگیری کند. هنگام انتخاب تعداد پره های دیفیوزر ضروری است که رابطه ی زیر ارضا شود:

$$m = |Z_{Le} \times v_3 - Z_{La} \times v_2| \quad , \quad m \neq 0, m \neq 1$$

تعداد پره های دیفیوزر در کنار قطر خارجی و پهنای گلویی آن، از عوامل موثر در تعیین هندسه و طول دیفیوزر هستند که خود عوامل تعیین کننده ای در کاهش اتلافات هیدرولیکی دیفیوزر می باشند. با توجه به قابلیت ریخته گری یا ماشینکاری، کانال های خیلی باریک نامطلوبند. به همین دلیل سه پارامتر تعداد پره های دیفیوزر، قطر خارجی و پهنای گلویی آن مستقل از هم قابل تعیین نیستند.

تعداد پره های معمول مورد استفاده عبارتند از:

۱. برای سرعت مخصوص های حدود ۲۰ تا ۳۵، ۷ پره و ۱۲ پره ی دیفیوزر

۲. برای سرعت های مخصوص زیر ۲۰، ۵ پره و ۸ پره ی دیفیوزر

پارامترهایی مثل قطر خارجی پره و سرعت جانبی در آن نقطه نیز در تعیین این تعداد بی تاثیر نیستند. در مواردی با سرعت مخصوص خیلی بالا یا پمپ های بزرگ، گاهی ۱۵ پره نیز برای دیفیوزر انتخاب می شود. تعداد پره های دیفیوزر پیشنهادی با توجه به تعداد پره در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱

Z_{La}	5			6	7				
Z_{Le}	7	8	12	10	9	10	11	12	15
مواردی که با حروف درشت تر نوشته شده اند برای ارتعاشات کمتر مناسب تر هستند.									

در مواردی که ریسک رزونانس بین فرکانس ویژه ی پره و فرکانس تحریک وجود داشته باشد، از مواردی که طی آن $m=2$ می شود نیز باید پرهیز کرد.

• عرض ورودی (b_3)

عرض ورودی باید بزرگتر از عرض پره در خروجی انتخاب شود. نسبت این دو معمولا در محدوده ی ۱/۰۵ تا ۱/۳ انتخاب می شود تا از افت های شوک ناشی متناسب نبودن کانال های پره و دیفیوزر جلوگیری شود.

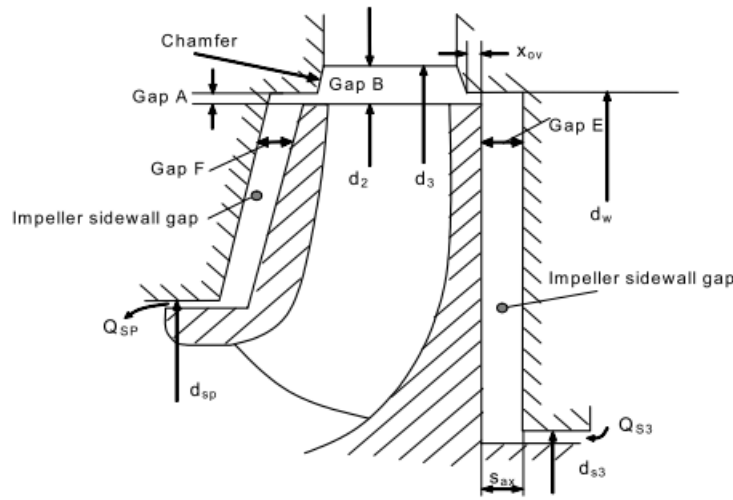
انبساط حرارتی در پمپ های چند طبقه حائز اهمیت است. اگر نسبت $\frac{b_3}{b_2}$ خیلی کوچک انتخاب شود، برای جلوگیری از اتلافات ناشی از شوک و نیروهای تحریک هیدرولیکی زیاد از پخ زدن (مطابق شکل ۵) استفاده می شود. اگر نسبت $\frac{b_3}{b_2}$ خیلی بزرگ انتخاب شود، بازگردش جریان و همچنین هد شات آف افزایش می یابد اگر نسبت $\frac{b_3}{b_2}$ نزدیک به ۱ انتخاب شود، ریسک صاف بودن منحنی هد-دبی کاهش می یابد.

انتخاب عرض ورودی دیفیوزر بر روی همپوشانی^{۱۰۷} شروود های پره و پره ی دیفیوزر نیز موثر است. توصیه می شود فاصله ی کناری پره از جریان اصلی دور باشد تا از تراست محوری هنگام ورود جریان بازگردش به فاصله ی کناری پره جلوگیری شود. فاصله ی بین شروود ها باید در رابطه ی $0.007 \text{ to } 0.01 r_2$ و همپوشانی باید در رابطه ی $2 \text{ to } 3 A$ (A عرض فاصله ی A در شکل ۵ است) صدق کند.

• عرض گلوبی (a_3)

با عرض ورودی و تعداد پره ی دیفیوزر معلوم، عرض گلوبی تاثیر بسیاری در تعیین نقطه ی بهترین عملکرد را دارد. عرض گلوبی همچنین تاثیر فراوانی روی مقدار بازگردش جریان و همچنین هدشات آف دارد. رابطه ی زیر عرض گلوبی را به گونه ای تعیین می کند که قانون بقای ممنتوم ارضا شود:

$$a_3 = f_{a3} \frac{d_3}{2} \left(\exp \frac{2QLe}{ZLe b_3 d_2 c_2 u} - 1 \right)$$



شکل ۵

که در آن f_{a3} ضریب تصحیحی است که مقداری بین ۱/۱ تا ۱/۳ دارد. این ضریب به این معناست که مقدار کاهش سرعت جریان اعمال شده بزرگتر از مقداری است که توسط قانون بقای ممنتوم محاسبه می شود. اگر دبی جریان بیشتر از دبی بهینه باشد، مقدار ضریب تصحیح بزرگتر از ۱ نیز تقریباً مقدار خوبی است. برای پره های خیلی پهن و در سرعت مخصوص های پایین بعضی از مواقع لازم است که ضریب تصحیح کوچکتر از ۱ انتخاب شود تا بهترین عملکرد به دست آید.

روش جایگزین برای محاسبه ی عرض گلوبی دیفیوزر، استفاده از نسبت کاهش سرعت به جای قانون بقای ممنتوم است. نسبت کاهش سرعت با رابطه ی $\frac{c_3 q}{c_2}$ بیان می شود و در محدوده ی ۰/۷ تا ۰/۸۵ باید انتخاب شود. با انتخاب نسبت کاهش سرعت، عرض گلوبی از رابطه ی زیر محاسبه می شود:

¹⁰⁷ overlap

$$a_3 = \frac{Q_{Le}}{Z_{Le} b_3 \sqrt{c_{2m}^2 + c_{2u}^2}} \left(\frac{c_{3q}}{c_2} \right)$$

به دلیل تاثیر عرض گلویی بر مشخصه های نیمه بار و اضافه بار، انتخاب ضریب تصحیح یا انتخاب نسبت کاهش سرعت یک مسئله ی بهینه سازی است که هیچ قانون کاربردی ای برای آن وجود ندارد. اگر سرعت جریان در گلویی کاهش چشمگیری داشته باشد، در دبی خیلی زیاد استال رخ داده و منحنی هد-دبی ناپایدار می شود. از طرفی کاهش ناکافی سرعت در گلویی به معنای اتلاف بازده است و در حالت نیمه بار می تواند منجر به جدایش جریان بعد از موعده شود که باعث صاف شدن منحنی هد-دبی است.

• قطر خارجی دیفیوزر (d_{Le})

جهت کاهش هزینه ها، قطر خارجی دیفیوزر هر قدر کمتر باشد بهتر است. از طرفی مینیموم کردن اتلافات هیدرولیکی، نیازمند دیفیوزری با طول و فضای کافی جهت گردش جریان است. به همین دلیل برای انتخاب قطر خارجی دیفیوزر باید مصالحه ای بین هزینه ها و بازده انجام شود.

مقدار قطر خارجی مورد نیاز با افزایش دبی (یا به عبارت دیگر با افزایش سرعت مخصوص) افزایش می یابد. برای پمپ های چند طبقه رابطه ی زیر برقرار است:

$$d_{Le} = d_2 \times [(0.15 \text{ to } 1.15) + 0.01n_q]$$

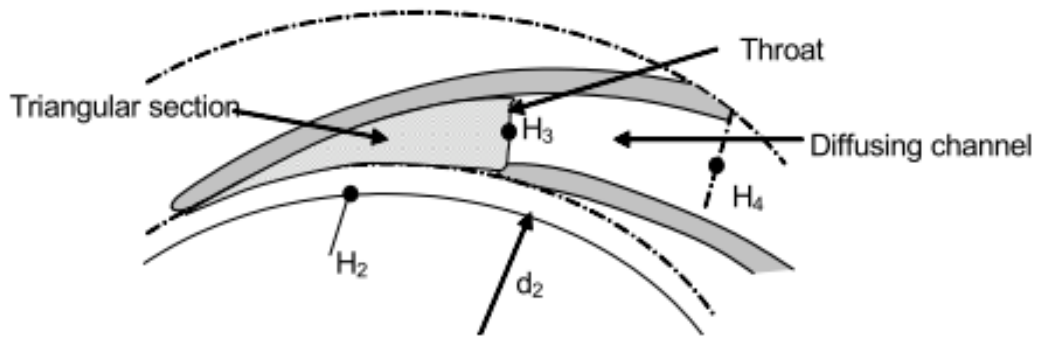
حد بالای رابطه ی فوق زمانی مورد استفاده قرار می گیرد که بازده ارجحیت بیشتری نسبت به سایز پمپ دارد. اگر دیفیوزر جریان را به حلزونی تخلیه می کند، می توان قطر خارجی آن را کوچکتر در نظر گرفت. همچنین جهت کاهش نیروی تراست شعاعی کانال های دیفیوزر باید همپوشانی کافی را داشته باشند.

• کانال پخش جریان

مطابق شکل ۶ در پایین دست گلویی کانالی مشابه یک دیفیوزر هرمی وجود دارد. ماکزیمم زاویه ی مجاز دهانه ی دیفیوزر، بازیابی فشار و اتلافات با توجه به بند زیر تعیین می شوند.

با توجه به شکل ۷ برای دیفیوزر مورد نظر معادله ی برنولی نوشته می شود:

$$\frac{p_2 - p_1}{\frac{1}{2}\rho c_1^2} = 1 - \frac{c_2^2}{c_1^2} - \frac{\Delta p_{v,1-2}}{\frac{1}{2}\rho c_1^2} = 1 - \frac{1}{A_R^2} - \xi_{1-2}$$



شکل ۶

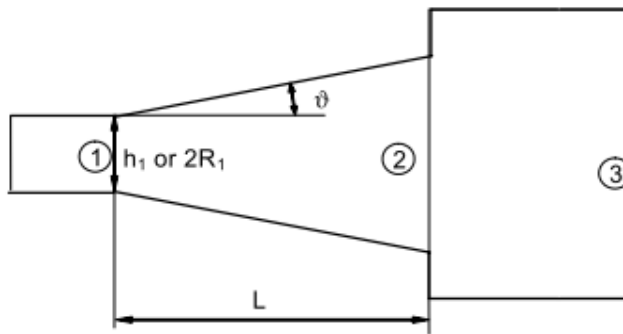
بازیابی فشار دیفیوزر معمولاً با ضریب بی بعد C_p مشخص می شود:

$$C_p = \frac{p_2 - p_1}{\frac{1}{2}\rho c_1^2} = 1 - \frac{1}{A_R^2} - \xi_{1-2} = C_{pid} - \xi_{1-2}$$

C_{pid} بازیابی فشار در حالت ایده آل (بدون اتلافات) است ولی در دیفیوزرهای واقعی مقداری اتلافات انرژی اجتناب ناپذیر وجود دارد که با رابطه $\Delta p_{v,1-2} = \frac{1}{2}\rho \xi_{1-2} c_1^2$ محاسبه می شود. در شکل های ۸ و ۹ مقدار C_p به ترتیب برای دیفیوزر مسطح و کانونی ارائه شده است. در این نمودارها C_p^* مقدار نسبت مساحت های بهینه را برای طول دیفیوزر معلوم مشخص می کند و C_p^* طول بهینه را برای مساحت های معلوم مشخص می کند. دیفیوزرها معمولاً برای طول بهینه و در نسبت مساحت کوچکتر از ۳ طراحی می شوند.

در نتیجه ی موارد بیان شده، ضریب اتلافات بین سطوح مقطع ۱ و ۳ از رابطه ی زیر به دست می آید:

$$\xi_{1-3} = 1 - \frac{1}{A_R^2} - C_p(1 - \xi_{2-3})$$



شکل ۷

شایان ذکر است اگر فرض شود که تمامی انرژی خروجی دیفیوزر مفید است آنگاه ξ_{2-3} برابر صفر است.

بازده دیفیوزر از رابطه ی زیر محاسبه می شود:

$$\eta_D = \frac{c_p}{1 - \frac{1}{A_R^2}}$$

اکنون وقت آن است که کمی به دینامیک سیال در دیفیوزر پرداخته شود. ضخامت لایه ی مرزی ایجاد شده با پیشروی در مقابل گرادین مثبت فشار در مسیر جریان افزایش می یابد. کاهش سرعت بیش از حد باعث جدایش جریان روی دیواره می شود. وابسته به مقدار کاهش سرعت ۴ رژیم جریان در دیفیوزر وجود دارد:

۱. پایین تر از خط $a-a$: جریان پیوسته می ماند. (حالت A در شکل ۱۰ و ناحیه ی A در شکل ۱۱)
۲. اگر ضخامت لایه ی مرزی از مقدار مشخصی بیشتر شود، استال موضعی تناوبی رخ می دهد. (حالت B در شکل ۱۰ و ناحیه ی B در شکل ۱۱)
۳. با کاهش بیشتر سرعت جدایش جریان به صورت کامل در یک طرف اتفاق می افتد. (حالت C در شکل ۱۰ و ناحیه ی C در شکل ۱۱)
۴. واگرایی بیش از حد دیواره های دیفیوزر باعث جدایش کامل جریان در هر دو طرف آن می شود و در نتیجه سیال مانند جت از دهانه ی دیفیوزر به بیرون پرتاب می شود. (حالت D در شکل ۱۰ و ناحیه ی D در شکل ۱۱)

زاویه ی پخش شدن مجاز عبارت است از:

$$\theta_{al} = 16.5^\circ \sqrt{\frac{R_1}{L}}$$

عبارت فوق در واقع بیانگر رابطه ی منحنی $a-a$ در شکل ۱۱ است. شایان ذکر است که زاویه ی پخش شدن مجاز یک عدد ثابت نیست و بستگی به پارامترهای هندسی دیفیوزر (مخصوصاً طول آن) دارد. اتلافات دیفیوزر نیز از روابط زیر به دست می آید:

$$\xi_{Le} = \xi_{2-3} + \left(\frac{c_{3q}}{u_2}\right)^2 \left\{ 0.3 \left(\frac{c_2}{c_{3q}} - 1\right)^2 + 1 - c_p - \frac{1 - \xi_{ov}}{A_R^2} \right\}$$

$$\xi_{2-3} = (c_f + 0.0015)(a_3^* + b_3^*) \frac{\pi^3 (\varphi_2 b_2^*)^2}{8(Z_{Le} a_3^* b_3^*)^3} \left(1 + \frac{c_2}{c_{3q}}\right)^3$$

با انتخاب $\frac{b}{h_1} = 1$ بیشترین میزان بازیابی فشار قابل دستیابی است. در غیر این صورت انتخاب این نسبت در بازه ی $0.8 < \frac{b}{h_1} < 2$ نیز انتخابی مناسب است. برای دیفیوزر با سطح مقطع دلخواه، نسبت ورودی معادل و زاویه ی پخش شدن معادل به ترتیب از روابط زیر به دست می آید:

$$R_{1eq} = \sqrt{\frac{A_1}{\pi}}$$

$$\tan \theta_{eq} = \frac{R_{1eq}}{L} \left(\frac{A_2}{A_1} - 1\right)$$

اگر دیفیوزر به صورت محوری گسترش یابد آنگاه $\theta_b = \theta_a$ و در نتیجه $\tan \theta_a = \frac{a_4 - a_3}{2L_{3-4}}$ ولی دیفیوزرها معمولاً به صورت منحنی وار گسترش می یابند تا با طول بیشتر هم بازیابی فشار بیشتری را ممکن سازند و هم افت ها را در قطر خارجی مشخص کاهش دهند. آزمایشات نشان می دهد که خمیدگی ۲۵ درجه، می توان نتایج مربوط به دیفیوزر های صاف را به دیفیوزرهای منحنی تعمیم داد. البته استثنایی هم در این زمینه وجود دارد و آن هنگامی است که جریان ناپایا لایه ی مرزی نازک تری را موجب شود. در این مورد انحنا ی دیفیوزر تاثیر منفی روی جریان می گذارد و عرض خروجی تنها با آزمون و خطا قابل محاسبه است.

• ضوابط دیفیوزر

پس از اینکه تمامی پارامترهای فوق تعیین شد و هندسه ی دیفیوزر نیز به دست آمد، ضوابط زیر باید مورد بررسی قرار گرفته و صحت آن تایید شود:

۱. بازیابی فشار بهینه برای دیفیوزری با طول L_{3-4} معلوم هنگامی به دست می آید که نسبت مساحت زیر برقرار باشد:

$$A_{R,opt} = 1.05 + 0.184 \frac{L_{3-4}}{Re_q}$$

که در آن:

$$Re_q = \sqrt{\frac{a_3 b_3}{\pi}}$$

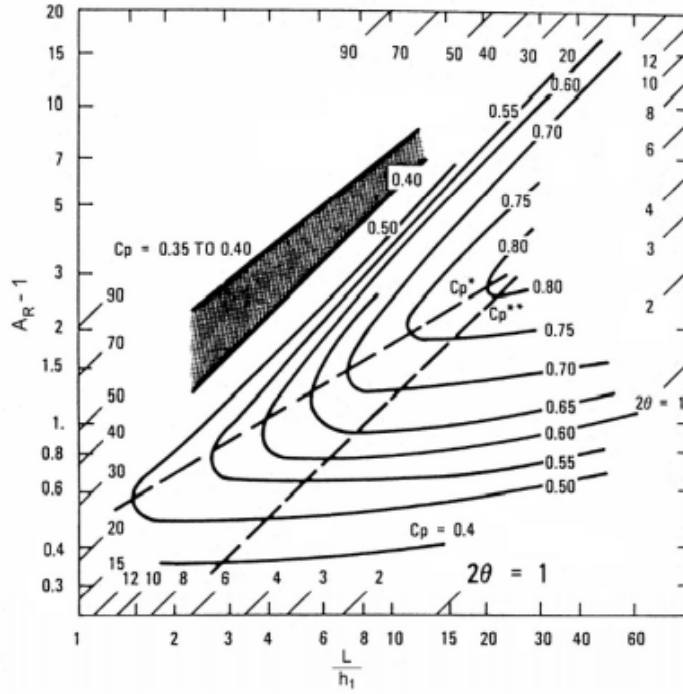
با این نسبت مساحت ضریب بازیابی فشار برابر است با:

$$c_{p,opt} = 0.36 \left(\frac{L_{3-4}}{Re_q} \right)^{0.26}$$

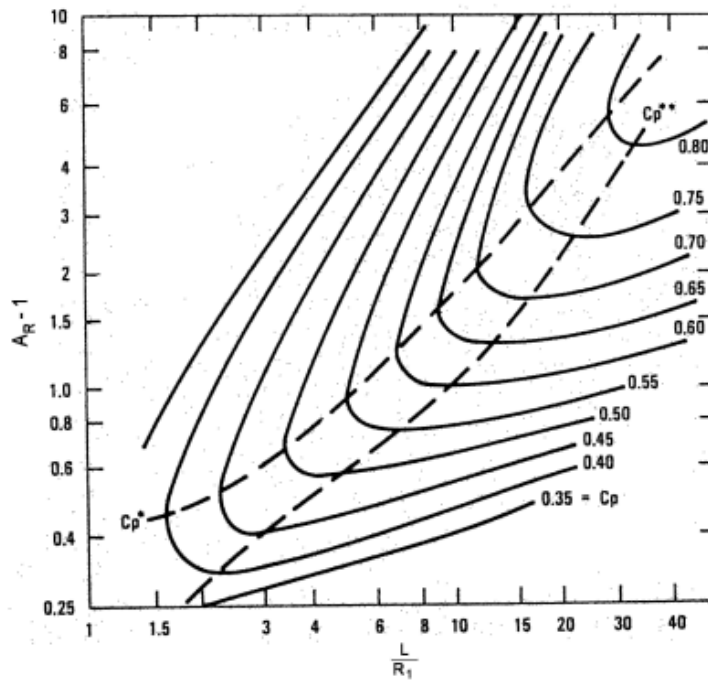
۲. نسبت کاهش سرعت باید در بازه ی زیر باشد:

$$0.7 < \frac{c_{3q}}{c_2} < 0.85$$

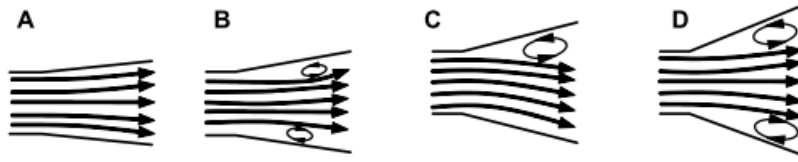
البته در مواردی که سرعت مخصوص کوچکتر از ۱۲ باشد، مقادیر بزرگتر نسبت کاهش سرعت نیز مجاز است.



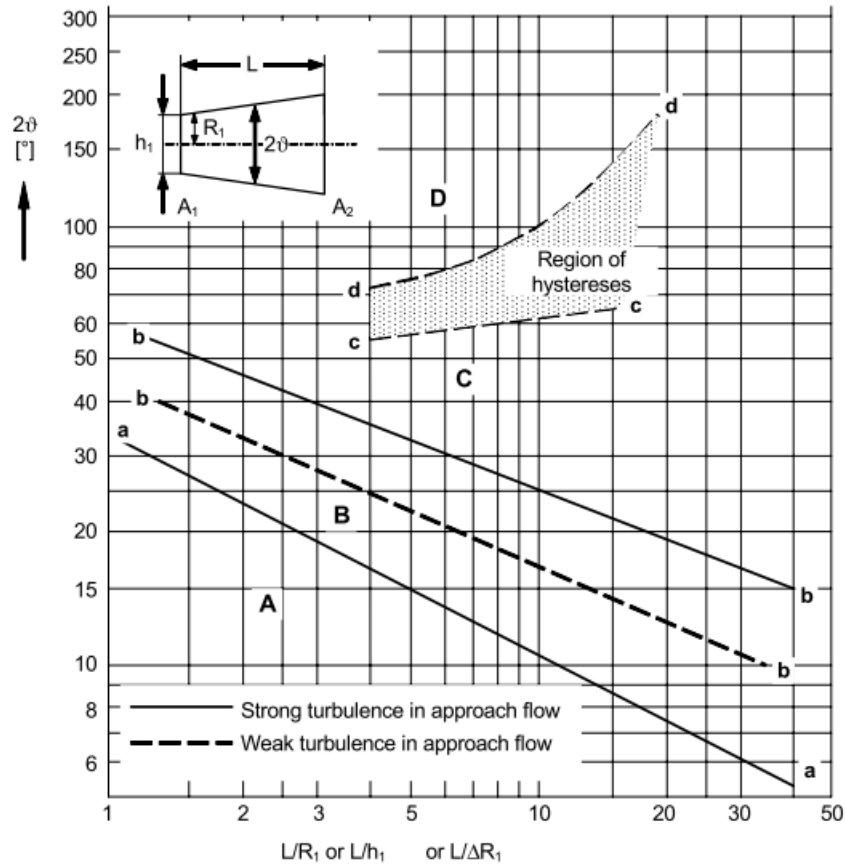
شکل ۸



شکل ۹



شکل ۱۰



شکل ۱۱

۳. نسبت طول به عرض گلویی در بازه ی زیر باشد:

$$2.5 < \frac{l_{3-4}}{a_3} < 6$$

۴. نسبت عرض ورودی به عرض گلویی باید در محدوده ی زیر باشد:

$$0.8 < \frac{b_3}{a_3} < 2$$

سطح مقاطع خیلی صاف چندان مطلوب نیستند ولی در بعضی مواقع در سرعت مخصوص پایین و پره ی عریض غیر قابل پرهیزند.

۵. مساحت خروجی کانال های پخش کننده (A_4) برای پمپ های چند طبقه باید طوری طراحی شود که انرژی جنبشی در خروجی دیفیوزر در بازه ی زیر باشد:

$$0.02 < \frac{c_4^2}{2gH_{opt}} < 0.04$$

این امر سبب می شود که افت ها در جریان بالادست کاهش یابد. در کنار این ضابطه، ضابطه ی دیگری قرار دارد که طی آن نسبت سرعت خروجی به سرعت ورودی باید در بازه ی زیر باشد:

$$0.85 < \frac{c_4}{c_{1m}} < 1.25$$

• پره های بازگشت

سرعت جریان خروجی از پره های بازگشت (c_{6m}) باید کمتر از سرعت ورودی به پره (*impeller*) بعدی (c_{1m}) باشد تا جریان شتاب هموار و ملایمی داشته باشد. پس:

$$\frac{c_{6m}}{c_{1m}} = 0.85 \text{ to } 0.9$$

بنابراین عرض b_6 از رابطه ی زیر محاسبه می شود:

$$b_6 = \frac{Q_{Le}}{\pi d_6 c_{6m}}$$

مسیر جریان بین کانال بازگشت و ورودی پره (*impeller*) باید جهت شتاب دهی پیوسته طراحی شود. به همین دلیل عرض ورودی پره های بازگشت (b_5) می تواند مساوی با عرض خروجی آن در نظر گرفته شود. مولفه ی مریدیونال سرعت ورودی از رابطه ی زیر به دست می آید:

$$c_{5m} = \frac{Q_{Le}}{\pi d_5 b_5}$$

سرعت c_4 با استفاده از مقادیر b_4 و a_4 از رابطه ی پیوستگی به دست می آید. روابط زیر برای محاسبه ی مولفه های سرعت در ورودی پره های بازگشت و همچنین زاویه ی خمش جریان در آن ناحیه به کار می رود:

$$c_{5u} = \frac{c_{4u} r_{4m}}{r_{5m}}$$

$$\alpha_5 = \tan^{-1} \frac{c_{5m}}{c_{5u}}$$

شایان ذکر است که برای دستیابی به زاویه ی جریان مطلوب در خروجی پره های بازگشت، مقداری اغراق در محاسبه لازم است. مثلاً اگر زاویه ی جریان ۹۰ درجه لازم است، در محاسبات از زاویه ای بین ۹۴ تا ۹۵ درجه استفاده شود. همچنین اگر ایجاد جریان چرخشی برای پره ی بعدی مورد نظر طراح باشد، می توان از رابطه ی زیر استفاده کرد:

$$\alpha_6 = \sin^{-1} \frac{a_6}{t_6}$$

منابع و مراجع

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