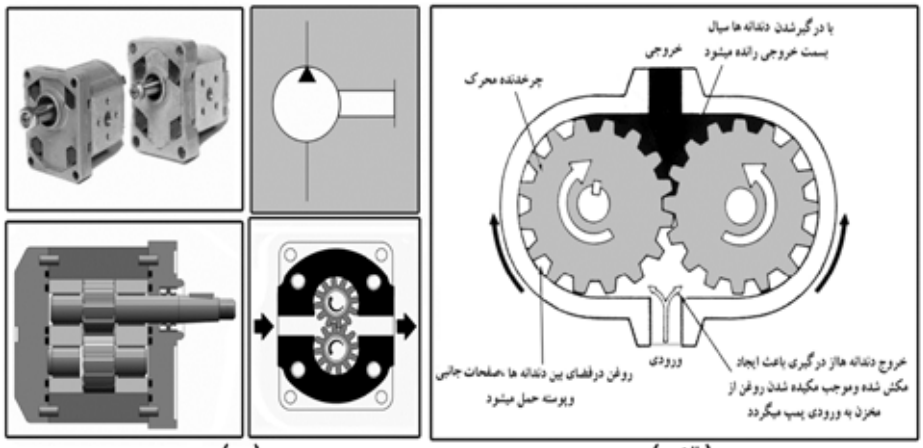
سیستمهای هیدرولیک دارای مصرف عام بوده و بیشترین کاربرد آنها در ماشینهای ابزار و تجهیزات متحرک می‌باشد. ولی در مقابل، بدلیل کاهش شدید بازدهی در اثر سائیدگی، هزینه‌های تعمیر و نگهداری زیادی را به همراه دارند. بازده حجمی پمپ‌های چرخدنده‌ای به طور قابل توجهی متاثر از افتهای نشتی[1] است که در اثر سایش در نواحی زیر بوجود می‌آید: ۱- نشتی بین دندانه و پوسته ۲- نشتی بین دندانه‌ها ۳ - نشتی از طرفین

پمپ‌های چرخدنده خارجی[2]

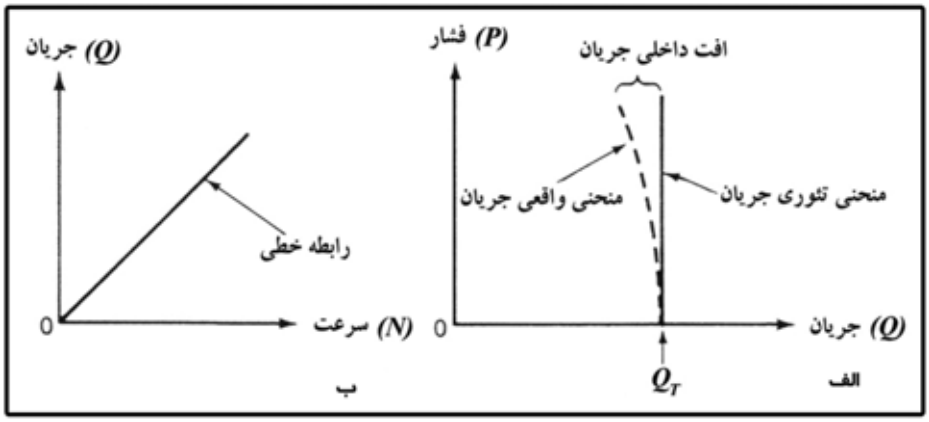
در پمپ‌های چرخدنده خارجی(شکل ۳-۵ الف)، دوران یکی از چرخدنده‌ها بوسیلهٔ سیستم محرک تامین گشته و دیگری بواسطهٔ آن چرخدنده بحرکت در می‌آید. فضای بین دندانه‌ها، پوسته و صفحات جانبی، محفظه‌هائی از روغن را تشکیل می‌دهند. در ناحیه‌ای که دندانه‌ها از درگیری خارج شده و حجم محفظه افزایش می‌یابد(فضای مکش) فشار از فشار اتمسفر کمتر می‌شود. در نتیجه سیال موجود در مخزن تحت فشار اتمسفر فضای بین دندانه‌ها را پر می‌کند. ناحیه تخلیه در سمتی قرار دارد که دندانه‌ها با یکدیگر درگیر می‌شوند. در نتیجهٔ کاهش حجم بوجود آمده در این ناحیه و بدلیل آب‌بندی داخلی پمپ در مقابل نشتی، روغن به سمت مجرای خروجی رانده می‌شود. در شکل۳-۵ (ب) نمای برش خورده‌ای از یک پمپ‌دنده خارجی نشان داده شده است. در این نوع پمپ‌ها بین سر دندانه‌ها و پوستهٔ پمپ لقی بسیار کمی(کمتر از .in ۰/۰۰۱) وجود دارد. در نتیجه همواره مقداری از روغن به سمت مجرای ورودی نشت نموده و سبب می‌شود که مقدار جریان واقعی پمپ از میزان جریان تئوری کمتر گردد.



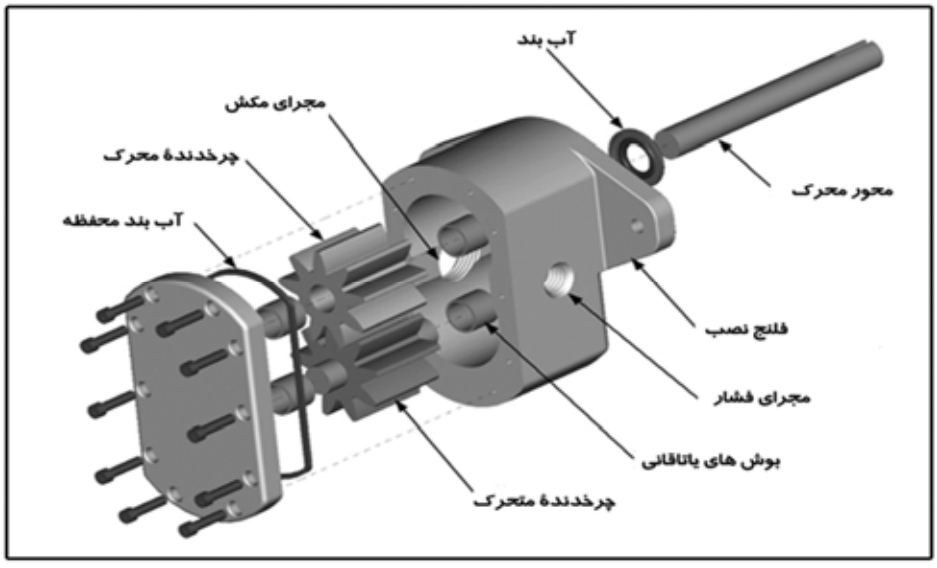
شکل ۳

۵ - ساختمان داخلی و اصول عملکرد نوعی پمپ چرخدنده خارجی

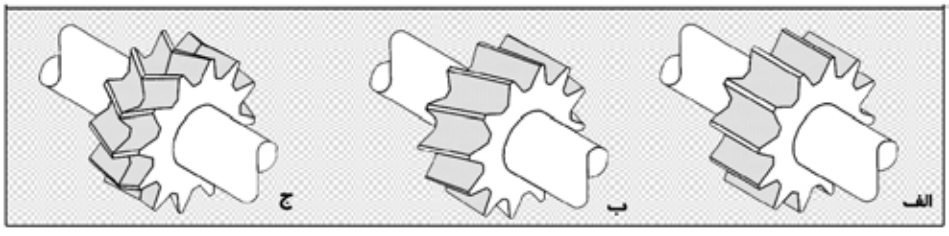
1 - Leakage
2 - External gear pump



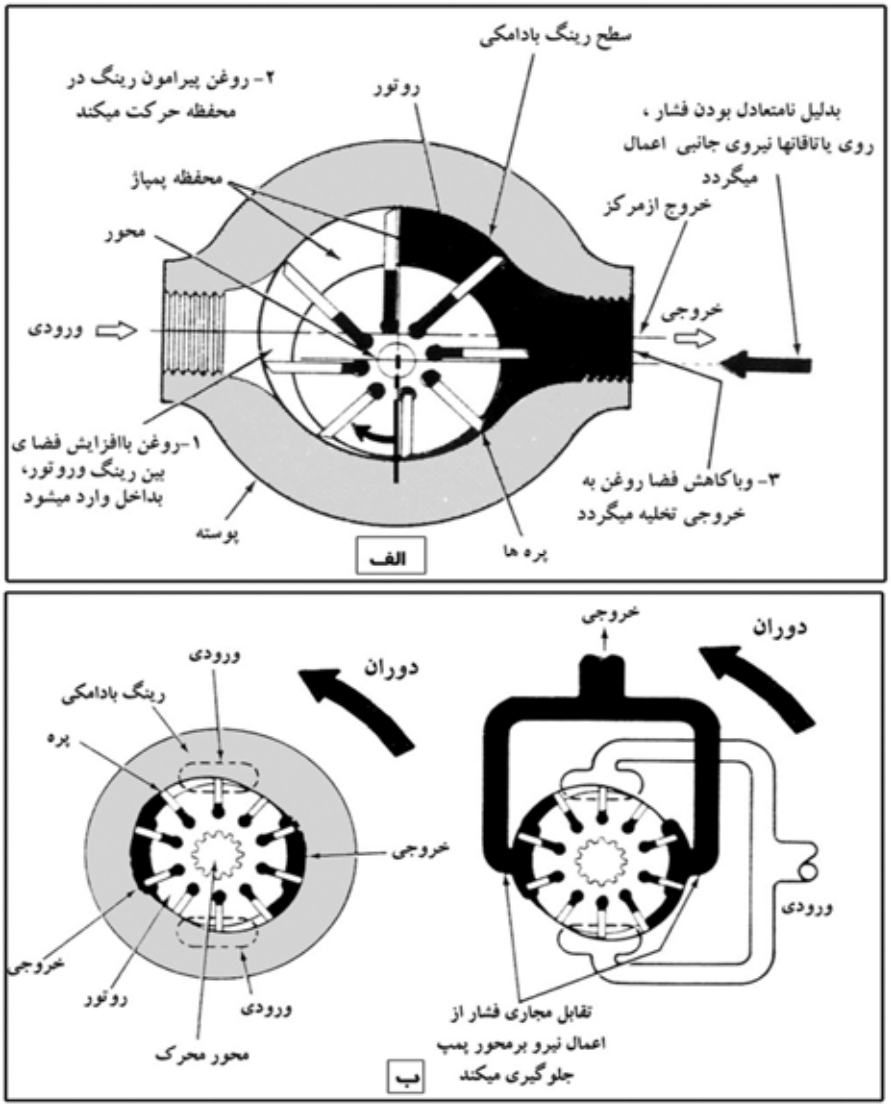
شکل ۳- ۶ الف) منحنی فشار بر حسب جریان در سرعت ثابت پمپ ب) منحنی جریان بر حسب سرعت



شکل ۳ – ۷ تصویر انفجاری یک پمپ چرخدنده خارجی ساده



شکل ۳- ۸ انواع چرخدنده‌های مورد استفاده در پمپ‌های چرخدنده‌ای
الف) ساده ب) مارپیچ چ) جناغی

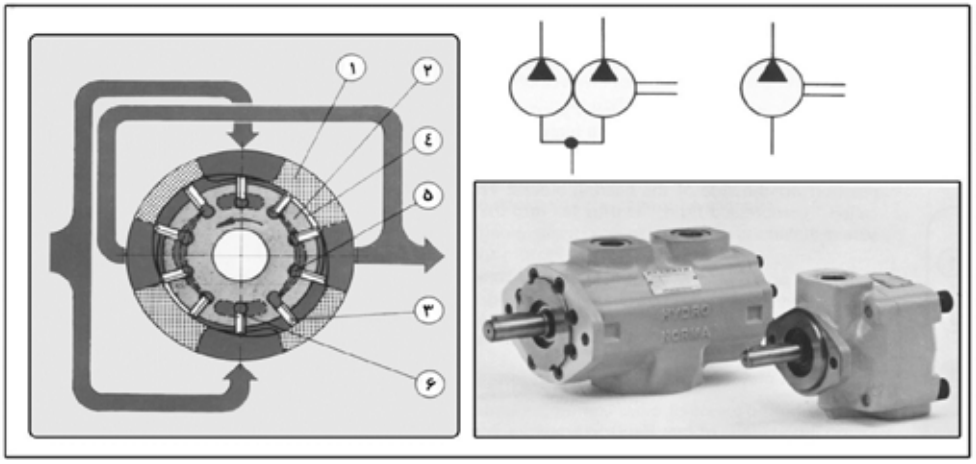


شکل ۳ – ۱۲ الف) اصول عملکرد پمپ پره‌ای نا متعادل

ب) اصول عملکرد پمپ پره‌ای متعادل

مطابق شکل ۳-۱۲ (الف)، نامتقارن بودن فشار در پمپ‌های پره‌ای(مانند پمپهای چرخدنده خارجی) بر یاتاقانها نیروی جانبی وارد می‌آورد. در پمپهای پره‌ای متقارن(شکل ۳-۱۲ ب)، شکل بیضوی پوسته سبب می‌شود که مجاری ورودی و خروجی نظیر به نظیر در مقابل یکدیگر قرار گرفته و تعادل کامل هیدرولیکی حاصل شود. این امر موجب از بین رفتن بار جانبی بر یاتاقانها شده و پمپ را برای کار در فشارهای بالا مناسب می‌گرداند. البته عدم قابلیت تغییر در جابجائی از معایب اینگونه پمپ‌ها بشمار می‌آید. در شکل ۳-۱۳ نحوهٔ عملکرد پمپ پره‌ای

بهمراه نمونه‌های تکی و دوبل این نوع پمپ‌ها نشان داده شده است. یک واحد پمپ پره‌ای معمولاً در ظرفیتهای تا ۶۰ gpm (در طراحیهای خاص تا ۱۰۰ gpm) و حداکثر فشار ۳۰۰۰ psi قابل دسترس می‌باشد. در شکل ۳-۱۴ نوعی از پمپهای پره‌ای با جابجائی متغیر مجهز به سیستم جبران کنندهٔ فشار نشان داده شده است.

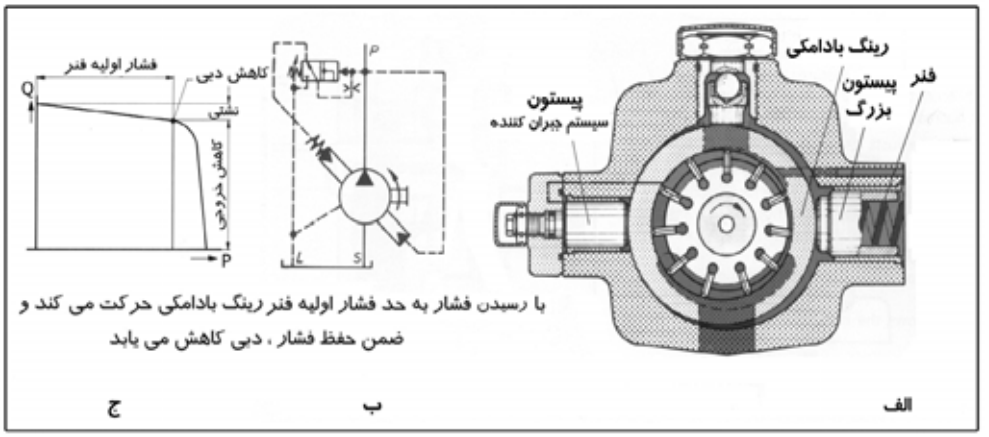


شکل ۳ – ۱۳ نحوهٔ عملکرد پمپ پره‌ای متعادل – دو نمونه از پمپ‌های پره‌ای تکی و دوبل

چنانچه فشار در خروجی تا حدی افزایش یابد که رینگ بادامکی در نتیجه اعمال نیروی پیستون هیدرولیکی در مقابل نیروی جبران کنندهٔ فنر به سمت راست حرکت کند، میزان خروج از مرکز کاهش می‌یابد(بازاء فشار صفر در خروجی، حداکثر خروج از مرکز بوجود خواهد آمد). با توجه به نمودار شکل ۳-۱۴ (ج)، در اثر افزایش پیوستهٔ فشار در خروجی، میزان خروج از مرکز کاهش یافته و در نهایت به صفر خواهد رسید که این امر باعث قطع کامل جریان خروجی پمپ می‌گردد. پمپ‌های مجهز به سیستم جبران کنندهٔ فشار ذاتاً در مقابل افزایش فشار محافظت می‌شوند. هنگامیکه فشار به مقدار ***"فشار شکست"***[1] برسد، نیروی فنر جبران کننده با نیروی پیستون هیدرولیکی برابر می‌گردد. ادامهٔ افزایش فشار موجب فشرده شدن بیشتر فنر جبران کننده گشته تا نهایتاً در ***فشار"قطع جریان"***[2] خروج از مرکز به صفر برسد. در چنین شرایطی جریان در خروجی به صفر رسیده و ضمن جلوگیری از اتلاف توان، از میزان گرم شدن سیال نیز کاسته می‌گردد.

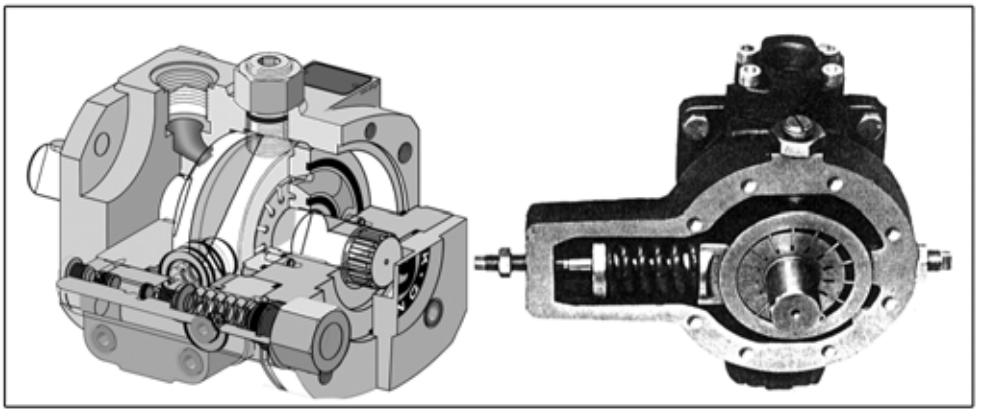
1 - $P_{Cut\ off}$

2 - $P_{Dead\ head}$



شکل ۳ – ۱٤ الف) پمپ پره‌ای جابجایی متغیر با مکانیزم جبران کنندهٔ فشار ب) علامت سمبلیک ج) نمودار جریان بر حسب فشار در پمپ پره‌ای مجهز به سیستم جبران کننده فشار

شکل ۳–۱۵ نماهای برش خورده‌ای از دو نوع پمپ پره ای مجهز به سیستم جبران کنندهٔ فشار را نشان می‌دهد.



شکل ۳ – ۱۵ نماهای برش خورده از دو نوع پمپ پره ای مجهز به سیستم جبران کنندهٔ فشار

پمپهای پیستونی

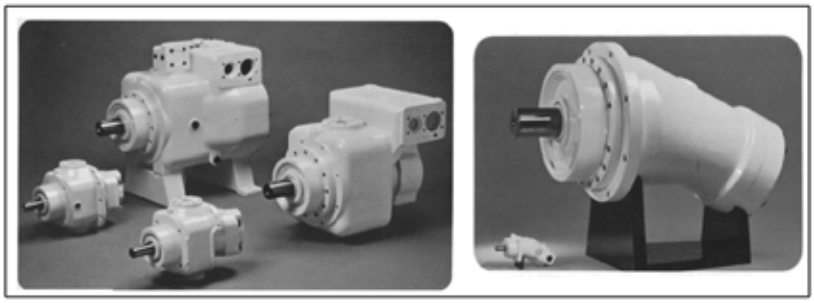
پمپهای پیستونی دارای مکانیزم دورانی هستند که اصول عملکرد آنها در پمپ نمودن سیال همانند پمپهای رفت و برگشتی است با این تفاوت که بجای یک سیلندر و پیستون دارای تعداد زیادی سیلندر و پیستون می‌باشند. با چرخش مکانیزم دورانی، پیستونها داخل سیلندر رفت و برگشت نموده و روغن را بداخل محفظه سیلندر کشیده و سپس آن را به داخل سیستم پمپ می‌نمایند.

این پمپها دارای دونوع اصلی پیستونی محوری[1] وپیستونی شعاعی[2] هستند ودرطرحهای جابجائی ثابت وجابجائی

1 - Axial piston pump
2 - Radial piston pump

متغیر دردسترس می‌باشند. پمپهای پیستونی محوری وشعاعی نوع جابجائی متغیرمعمولاً بزرگتروسنگین‌تر هستند. زیرا سیستمهای کنترل داخلی مانند سیستم کنترل جابجایی و بخش سرو نیز به ساختمان آنها اضافه می‌شود.

پمپهای پیستونی با دارا بودن بالاترین نسبت توان به وزن، از گرانترین انواع پمپها بوده و در صورت آببندی دقیق پیستونها، می‌توانند بالاترین بازدهی را داشته باشند. در این پمپها معمولاً جریان بدون ضربان بوده و بدلیل اعمال نشدن بار جانبی بر پیستونها دارای عمر طولانی هستند. البته بواسطهٔ طرح پیچیده، تعمیرات آنها با مشکلاتی مواجه است. در شکل ۳-۱۶ چند نمونه پمپ پیستونی نشان داده شده است.



شکل ۳ - ۱۶ چند نمونه پمپ پیستونی

پمپ پیستونی محوری با محور خمیده[1]

مطابق شکل ۳-۱۷ (الف) در بلوک سیلندر مجموعه پیستونهائی بر روی محیط دایره‌ای مستقر شده که توسط محور محرک دوران می‌نمایند. خط مرکزی بلوک سیلندر نسبت به خط مرکزی محور محرک در موقعیت زاویه‌ای مشخص قرار می‌گیرد. میله‌های پیستون توسط اتصالات کروی[2] به فلنج محور محرک متصل هستند بطوریکه تغییر فواصل بین فلنج مذکور و بلوک سیلندر، موجب حرکت رفت و برگشتی پیستونها در داخل سیلندر می‌شود. یک اتصال یونیورسال[3] بلوک سیلندر را به محور محرک مرتبط می‌نماید.

با توجه به شکل ۳-۱۷ (ب) تنظیم جابجائی حجمی[4] پمپ بوسیلهٔ تغییر زاویه امکان‌پذیر است. زاویهٔ فوق از صفر تا ۳۰° قابل تغییر بوده که بازاء صفر درجه جریان خروجی وجود نخواهد داشت و در ۳۰° مقدار جریان به حداکثر خواهد رسید. پمپهای پیستونی جابجائی متغیر دارای مکانیزم تغییر زاویه می‌باشند اما انواع با جابجائی ثابت آنها معمولاً در زوایای ۲۳° یا ۳۰° عمل می‌کنند.

شکل ۳-۱۸ پمپ پیستونی با محور خمیده از نوع جابجایی متغیر را نشان می‌دهد که تنظیم زاویه انحراف آن بوسیلهٔ مکانیزم دستی صورت می‌پذیرد. در بعضی از انواع، قابلیت معکوس شدن جهت جریان نیز وجود دارد.

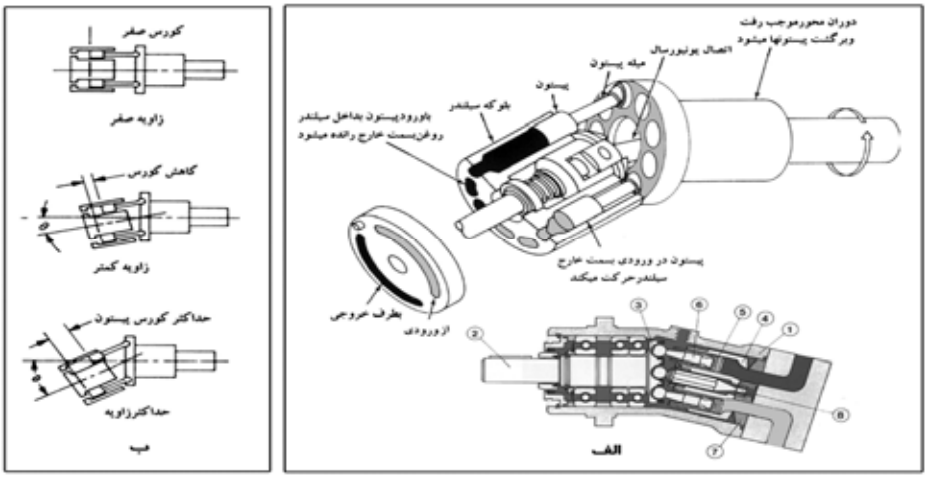
---

1 - Axial piston pump (bent-axis type)

2 - Ball & socket joints

3 - Universal link

4 - Volumetric displacement



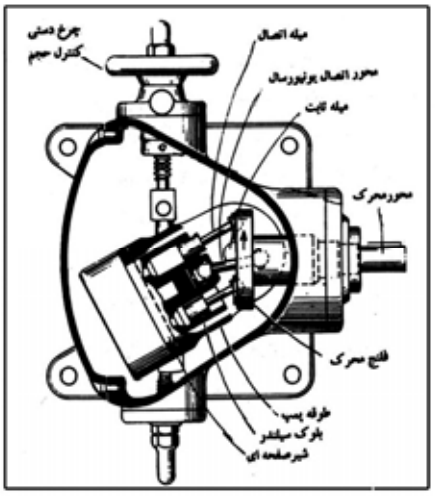
شکل ۳ – ۱۷ الف) پمپ پیستونی محوری با محور خمیده ب) تنظیم جابجایی حجمی با تغییر زاویه

پمپ پیستونی محوری با صفحهٔ زاویه‌گیر [1]

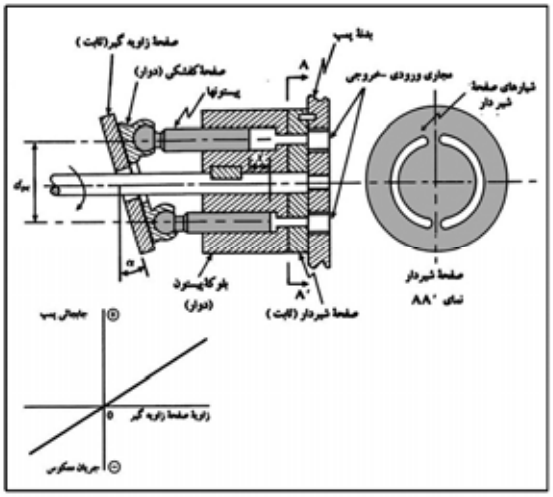
نمای شماتیک پمپ پیستونی محوری با صفحه زاویه‌گیر در شکل ۳–۱۹ نشان داده شده است. در این نوع پمپ‌ها محور بلوک سیلندر و محور محرک در امتداد خط مرکزی قرار دارند. به هنگام چرخش بلوک سیلندر، پیستون‌ها بدلیل پیروی از وضعیت صفحهٔ زاویه‌گیر حرکت رفت و برگشتی می‌نمایند. مجاری ورود و خروج روغن از طریق صفحهٔ جدا کننده با بلوک سیلندر در ارتباط هستند. پیستون‌ها هنگام حرکت به طرف داخل و خارج سیلندرهای مربوطه، بترتیب از مقابل مجاری خروجی و ورودی صفحهٔ جدا کننده عبور می‌کنند.

پمپهای پیستونی محوری را می‌توان با خاصیت جابجایی متغیر نیز طراحی نمود. در نوع جابجایی متغیر وضعیت صفحهٔ زاویه‌گیر بوسیلهٔ مکانیزمهای دستی، سرو و یا از طریق سیستم جبران‌کننده تنظیم می‌گردد. حداکثر زاویه مربوط به صفحهٔ زاویه‌گیر ۱۷/۵ درجه است. در شکل ۳–۲۰ دو نمونه از پمپ پیستونی محوری با جابجایی متغیر مجهز به سیستم جبران‌کنندهٔ فشار مشاهده می‌شود. در شکل ۳–۲۱ نحوهٔ عملکرد سیستم جبران کننده فشار در پمپ پیستونی محوری نشان داده شده است.

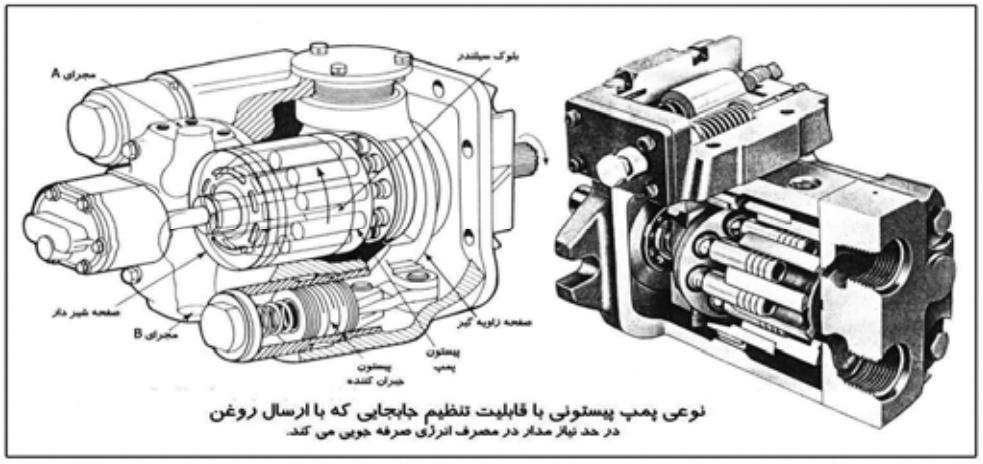
1 - Swash plate



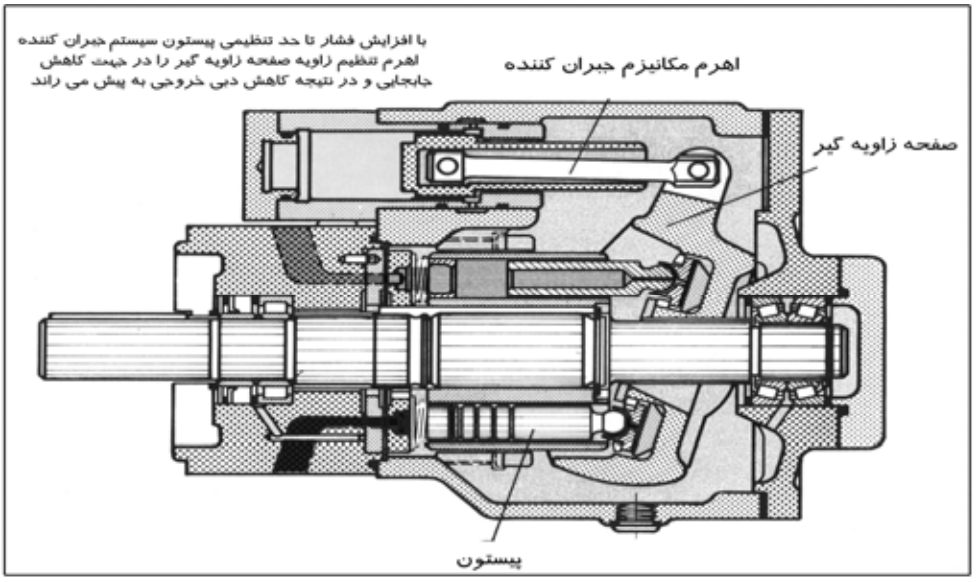
شکل ۳ – ۱۸ پمپ پیستونی با محور خمیده با قابلیت تنظیم جابجای بکمک مکانیزم دستی



شکل۳ – ۱۹ پمپ پیستونی محوری با صفحهٔ زاویه‌گیر(اصول عملکرد – منحنی مشخصه)



شکل ۳ – ۲۰ دو نمونه پمپ پیستونی محوری با جابجایی متغیر مجهز به سیستم جبران کنندهٔ فشار

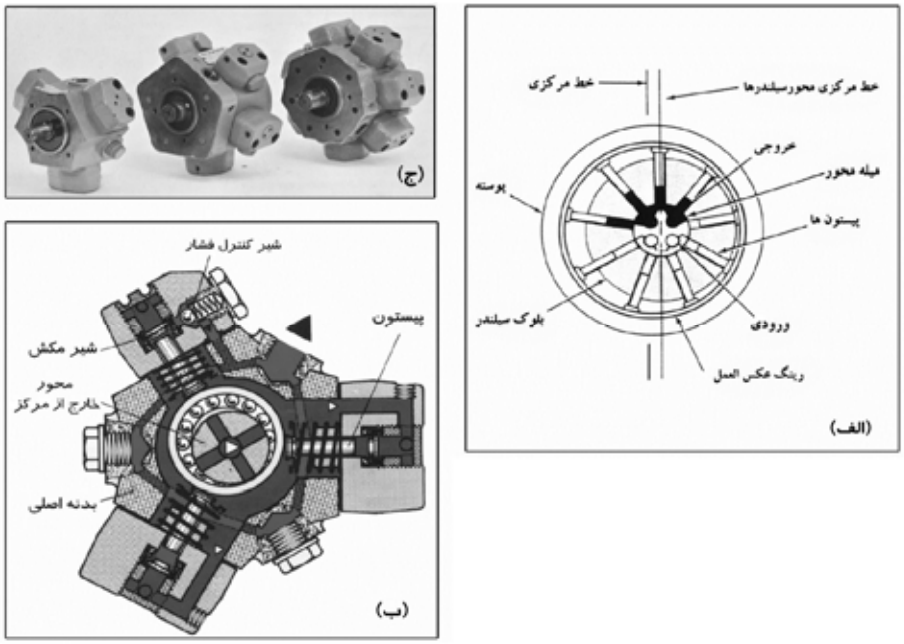


شکل ۳ – ۲۱ نحوهٔ عملکرد سیستم جبران کنندهٔ فشار در پمپ پیستونی محوری

پمپ پیستونی شعاعی[1]

در این نوع پمپ، پیستونها در یک آرایش شعاعی در بلوک سیلندر مستقر بوده و عمود بر محور مرکزی دارای حرکت رفت و برگشتی هستند. پیستونها می‌توانند استوانه‌ای و یا کروی باشند. ساختمان و چگونگی عملکرد پمپ پیستونی شعاعی[2] در شکل ۳-۲۲ نشان داده شده است که شامل بلوک سیلندر بهمراه پیستونهای مربوطه، رینگ عکس‌العمل[3] و یک شیر در قسمت مرکزی روتور می‌باشد. پیستونها در نتیجه نیروی گریز از مرکز و فشار سیال(در پشت آنها) همواره با سطح رینگ عکس‌العمل در تماس می‌باشند. جهت پمپ نمودن سیال بایستی رینگ عکس‌العمل در وضعیت خارج از مرکز نسبت به محور روتور قرار داشته باشد. در نتیجهٔ چرخش بلوک سیلندر و وجود خارج از مرکزی، پیستونهای یک طرف(نیمهٔ پایین) به سمت خارج و پیستوهای طرف دیگر به سمت داخل سیلندر(به طرف مرکز روتور) حرکت می‌نمایند. در ناحیه‌ای که پیستونها از مرکز روتور فاصله می‌گیرند مکش لازم بوجود می‌آید و سیال می‌تواند از طریق مجرای ورودی شیر مرکزی به درون سیلندرهای مربوطه هدایت گردد. زمانی که پیستون از موقعیت حداکثر خارج از مرکزی عبور می‌کند، باید تابع رینگ عکس‌العمل بداخل سیلندر حرکت نماید. کاهش حجم ایجاد شده در نتیجهٔ جابجایی پیستون، سیال را به طرف مجرای خروجی شیر مرکزی می‌راند. در انواع جابجایی متغیر، در اثر تغییر کورس پیستونها(بواسطه تنظیم خروج از مرکز رینگ عکس‌العمل)، جابجائی حجمی پمپ تغییر می‌یابد.

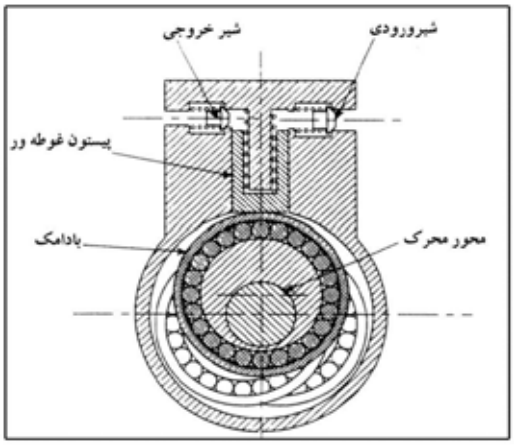
1 - Radial piston pump
2 - Pintle – ported radial piston pump
3 - Reaction ring



شکل ۳-۲۲ الف) عملکرد پمپ پیستونی شعاعی ب) ساختمان داخلی ج) چند نمونه پمپ پیستونی شعاعی

پمپهای پلانجر[1]

در این نوع پمپها که تا حدی شبیه پمپهای پیستونی دورانی هستند، پیستونها در فضای بالای یک محور بادامکی(شامل تعدادی رولربرینگ خارج از مرکز) در آرایش خطی قرار گرفته‌اند(شکل ۳-۲۳). ورود و خروج جریان سیال به سیلندرها از طریق سوپاپ انجام می‌شود. از مشخصات این پمپها بازده حجمی بالا و قابلیت انجام کار در فشارهای تا ۱۰۰ bar و دبی‌های تا ۶۰۰ liters/min را می‌توان نام برد. نوع جابجایی ثابت این نوع پمپها کاربرد بیشتری دارد. باید توجه نمود که جابجائی مجاری ورودی و خروجی در اینگونه پمپها امکان‌پذیر نمی‌باشد. با توجه به سیستم عملکرد، این پمپ‌ها دارای دو ویژگی هستند که پمپ‌های دیگر فاقد آن می‌باشند. اول آنکه آب‌بندی دقیق‌تری بین مجاری ورودی و خروجی آنها وجود دارد که امکان افزایش فشار بدون افزایش نشتی یا لغزش داخلی را فراهم می‌آورد.



شکل ۳ – ۲۳ پمپ پلانجر

1 - Plunger pumps

مزیت دوم آن است که روانکاری اجزاء متحرک(بجز پیستون و سیلندر) می‌تواند مجزا بوده و بصورت مستقل از روغنی که پمپ می‌شود انجام گردد. در نتیجه این امر امکان پمپاژ روغنهایی که خواص روانکاری ضعیف دارند، فراهم می‌گردد.

مقادیر بازده‌های حجمی و کلی در این پمپها همانند پمپهای پیستونی محوری و شعاعی است.

بازده پمپها[1]

بازده یک پمپ بطور کلی به میزان تلرانسها و دقت بکار رفته در ساخت، وضعیت مکانیکی اجزاء و بالانس فشار بستگی دارد. در یک پمپ ایده‌آل، لقی[2] بین اجزاء درگیر بصورت تئوری صفر در نظر گرفته می‌شود. در عمل لقی‌ها باید حتی الامکان کوچک باشند تا امکان ایجاد فیلم نازک روغن به منظور روانکاری اجزاء لغزشی وجود داشته باشد. اطلاعات لازم مربوط به بازده پمپها توسط سازندگان ارائه می‌گردد.

بازده کلی یک پمپ با مقایسه قدرت قابل دسترس در خروجی و توان مصرفی در ورودی محاسبه شده و به بازده حجمی و مکانیکی تقسیم می‌گردد.

۱- بازده حجمی[3]

مقدار حجم سیال خروجی پمپ بازاء یک دور دوران محور با استفاده از هندسه محفظه پمپاژ محاسبه می‌شود. البته میزان دبی خروجی در عمل همواره کمتر از مقدار محاسباتی(مقدار تئوری) است. میزان نزدیک بودن مقادیر تئوری و واقعی توسط بازده حجمی بیان می‌شود. بازده حجمی در اثر تغییرات سرعت، فشار و همچنین با توجه به ساختمان پمپ تغییر می‌کند و بیانگر میزان نشتی در پمپ است. بازده حجمی معرفی شده توسط سازندگان مربوط به حالاتی است که پمپ در شرایط تلرانسی طراحی شده، شرایط کاری و فشار طراحی قرار داشته باشد.

۲- بازده مکانیکی[4]

بازده مکانیکی مشخص کنندهٔ میزان اتلاف انرژی در اثر عواملی نظیر اصطکاک در یاتاقانها و اجزاء درگیر و همچنین اغتشاش در سیال می‌باشد. بازده مکانیکی پمپها معمولاً بین ۹۰ تا ۹۵ درصد است.

۳- بازده کلی[5]

بازده کلی مشخص کنندهٔ کل اتلاف انرژی بوده و برابر با حاصلضرب بازده حجمی و مکانیکی می‌باشد. تعریف بازده حجمی، بازده مکانیکی و رابطهٔ بین آنها در جدول زیر خلاصه شده است.

1 - Pump performance
2 - Clearance
3 - Volumetric efficiency
4 - Mechanical efficiency
5 - Overall efficiency