

# کاهش مصرف انرژی در پمپ‌های سانتریفوژ

روح اله ترابی - مدیر بخش پشتیبانی فنی و آموزش شرکت ابارا ایران  
پست الکترونیک : r.torabi@ebarairan.com

سیستم های پمپاژ بطور متوسط نزدیک به ۲۰٪ برق تولیدی جهان را مصرف می کنند و در بسیاری از صنایع بین ۲۵ تا ۵۰٪ از کل مصرف انرژی مربوط به پمپ ها می باشد. در سرزمین ما از یک سو، کمبود و محدودیت منابع آبی و در نتیجه نیاز به شبکه‌ای گسترده برای انتقال آب به نقاط دوردست و از دیگر سو وجود منابع سرشار نفت و گاز و لزوم توسعه سریع و همه جانبه برای استفاده هرچه بهتر از آن ها، ما را ناگزیر به ایجاد سیستم‌های وسیع و کارآمد پمپاژ در این صنایع نموده است. در مقاله حاضر مهمترین و عملی ترین راهکارها در جهت کاهش مصرف انرژی در پمپ های سانتریفوژ مورد استفاده در صنایع آب، فاضلاب، نفت و گاز مورد بررسی قرار گرفته است. مطالعات مختلف نشان داده است که با بهینه سازی خطوط لوله، پمپ ها و سیستم های کنترل آنها می توان بین ۳۰ تا ۵۰٪ در مصرف انرژی آنها صرفه جویی نمود.

## ۱- هزینه انرژی در پمپ ها

مجموع هزینه های پمپ در طول عمر مفید ( $LCC^1$ ) آن بصورت رابطه زیر قابل بیان است:

$$LCC = C_{in} + C_{inst} + C_e + C_{op} + C_{or} + C_{dt} + C_c + C_v$$

پارامترهای مورد اشاره در عبارت فوق عبارتند از:  
 $C_{in}$ : هزینه های اولیه شامل هزینه خرید پمپ، هزینه نقشه ها و مدارک همراه پمپ، هزینه تست و بازرسی پمپ و

هزینه قطعات یدکی می باشد.

$C_{inst}$ : هزینه های نصب شامل هزینه حمل پمپ به محل نصب، هزینه های عمرانی، جراثیم، فونداسیون و هزینه هم محور کردن پمپ و موتور می باشد.

$C_e$ : هزینه های مربوط به انرژی می باشد. مقدار برق مصرفی الکتروپمپ ها وابسته به مقدار راندمان آن می باشد.

$C_{op}$ : هزینه های عملکرد شامل هزینه اپراتور پمپ (نظارت و عملکرد) و سیستم های مونیتورینگ می باشد.

$C_{or}$ : هزینه های تعمیر و نگهداری شامل هزینه مربوط به تعمیر کلی (اورهال) و هزینه قطعات یدکی می باشد.  
 $C_{dt}$ : هزینه های عدم کارکرد پمپ بوده و شامل هزینه هایی است که بخاطر بوجود آمدن ایراد در عملکرد پمپ به مجموعه (کارخانه، سیستم پمپاژ و ...) وارد می آید.  
 $C_c$ : هزینه های زیست محیطی شامل هزینه هایی است که بخاطر ایجاد آسیب به آب و خاک، ورود پساب به محیط زیست و ... ایجاد می شود.

$C_v$ : هزینه از رده خارج کردن پمپ پس از طی عمر مفید می باشد.

مقدار توان مصرفی ( $C_e$ ) یک الکتروپمپ را می توان طبق رابطه زیر محاسبه نمود:

$$P = \frac{Q \times H}{367 \times \eta_m \times \eta_p}$$

که در آن  $P$  توان جذبی بر حسب کیلووات،  $H$  هد پمپ بر حسب متر،  $Q$  دبی پمپ بر حسب متر مکعب در ساعت،  $\eta_m$  راندمان موتور و  $\eta_p$  راندمان پمپ می باشد. راندمان پمپ متاثر از عوامل متعددی شامل افت فشارهای اصطکاکی، اغتشاش جریان، ایجاد گردابه ها و ... می باشد که باعث اتلاف انرژی سیال پمپ شونده و در نتیجه کاهش راندمان می شوند. این تلفات را میتوان بصورت زیر دسته بندی نمود:

- تلفات هیدرولیکی: ناشی از اصطکاک، اغتشاش و ...
- تلفات ناشی داخلی: ناشی از برگشت جریان خروجی به قسمت ورودی پروانه
- تلفات دیواره ها: ناشی از برخورد سیال به دیواره های پروانه، حلزونی و ...
- تلفات ناشی خارجی: ناشی از نشت سیال به محیط بیرون از طریق نوارهای آب بندی و درز بین لوله ها
- تلفات مکانیکی: عبارت است از مجموع تلفات ناشی از اصطکاک مکانیکی در یاتاقانها، کاسه نمدها، واشرهای آب بندی و غیره.

مطابق شکل ۱ در پمپ های سانتریفوژ، منحنی هد-دبی بصورت نزولی بوده و مقدار حداکثر هد در نقطه دبی صفر<sup>۲</sup> پمپ رخ می دهد. منحنی توان-دبی بصورت صعودی می باشد، به این ترتیب هر چه آبدهی پمپ افزایش یابد مقدار توان مصرفی الکتروپمپ نیز افزایش می یابد. به هنگام انتخاب الکتروپمپ مناسب استفاده از منحنی راندمان اهمیت زیادی پیدا می کند. منحنی راندمان-دبی دارای یک نقطه بیشینه ( $BEP^3$ ) است که معمولاً سعی میشود

نقطه کار پمپ در آن قرار گیرد.

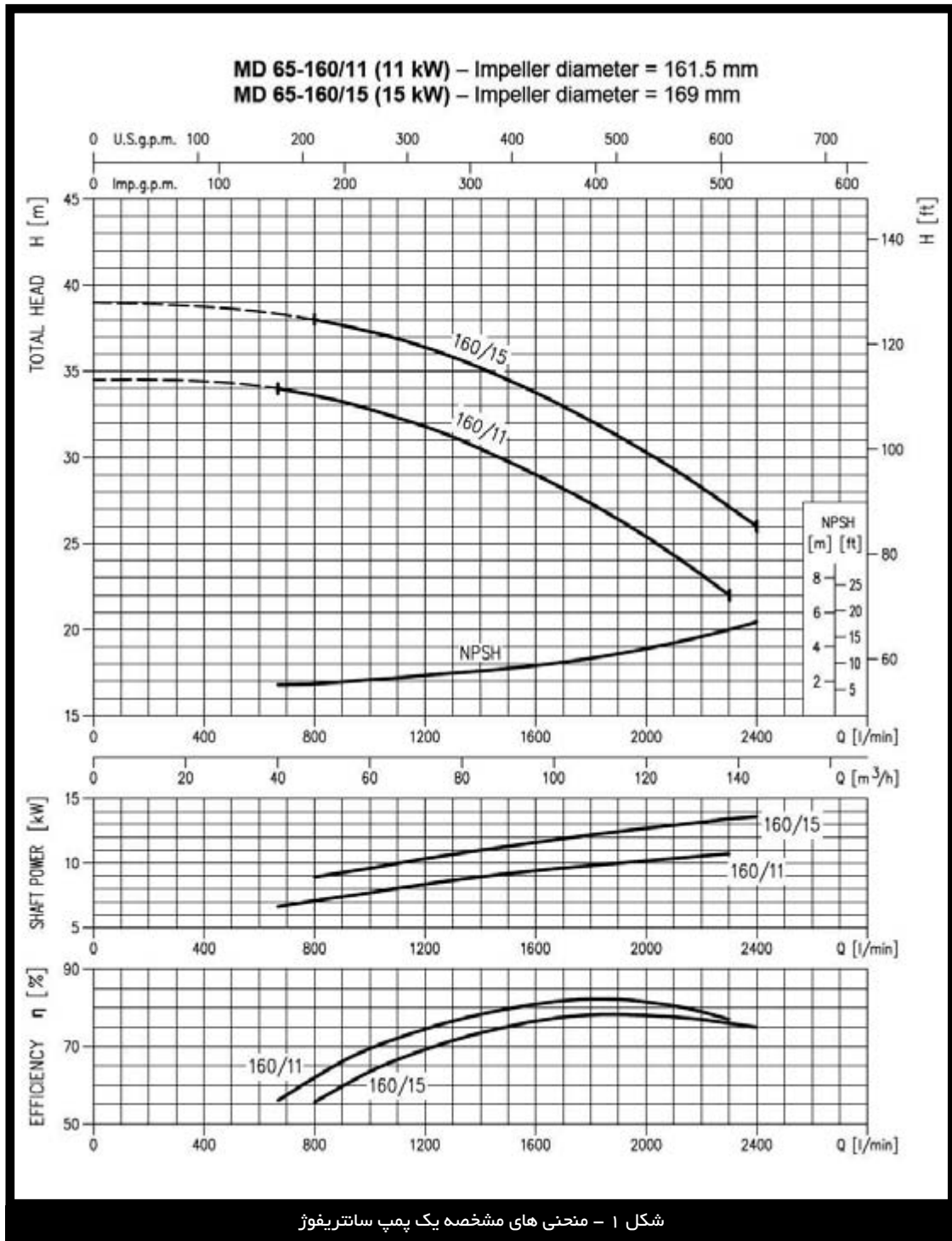
همانگونه که از شکل شماره ۲ پیداست در یک پمپ سانتریفوژ نمونه، نسبت هزینه انرژی به کل هزینه ها نزدیک به ۵۰٪ درصد می باشد. حال آنکه هزینه اولیه خرید تنها حدود ۱۰٪ هزینه ها را شامل می شود. به همین خاطر به هنگام خرید یک الکتروپمپ باید بیش از آنکه به هزینه اولیه خرید توجه می شود، مستفاد راندمان که مشخص کننده مقدار مصرف انرژی است مد نظر قرار گیرد.

**مثال ۱:** الکتروپمپ شناوری که قادر به پمپاژ ۱۶۰ متر مکعب در ساعات آب به ارتفاع ۱۱۰ متر می باشد و راندمان موتور و پمپ آن به ترتیب ۸۵٪ و ۷۵٪ باشد طبق رابطه توان پمپ، حدود ۷۵ کیلووات برق مصرف می نماید. در صورتیکه پمپ فوق ۸۰۰۰ ساعت در سال کار نماید، مقدار برق مصرفی آن ۶۰۰ مگاوات ساعت در سال خواهد بود. با احتساب قیمت ۷۷۰ ریال برای تولید هر کیلووات ساعت برق، هزینه برق مصرفی الکتروپمپ فوق سالیانه بیش از ۴۶ میلیون تومان خواهد بود! جالب این جاست که قیمت الکترو پمپ فوق در حدود ۵ میلیون تومان می باشد در حالیکه نزدیک به ۱۰ برابر قیمت اولیه خرید آن، هر سال هزینه مصرف برق دارد.

## ۲- روش های بهینه سازی مصرف انرژی

### ۱-۲ - کارکرد پمپ در نقطه بهترین راندمان

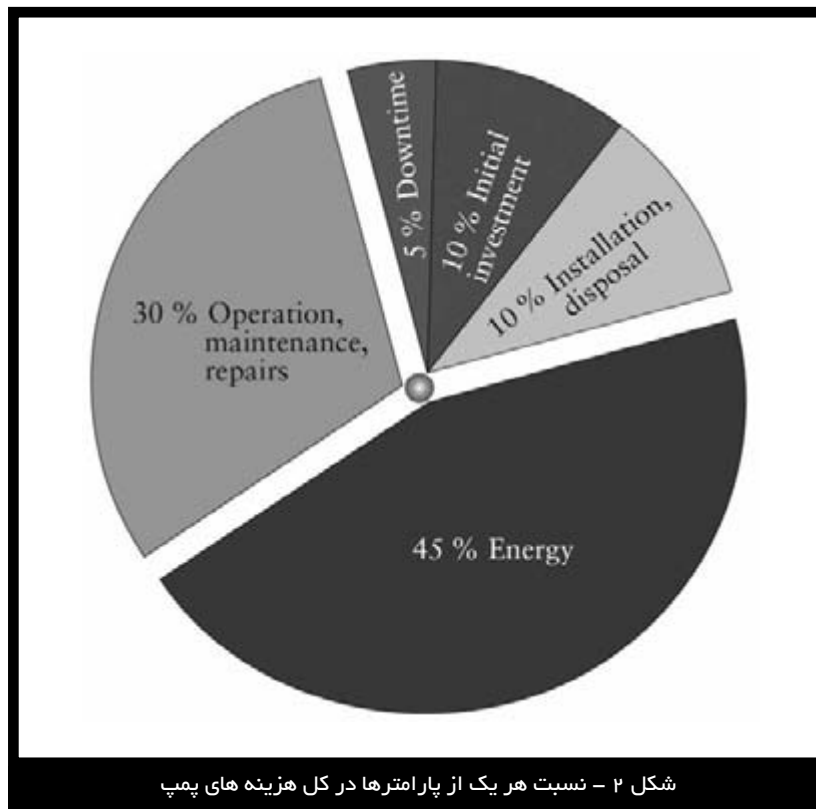
به هنگام انتخاب پمپ برای ایستگاه باید دقت داشت تا پمپی انتخاب شود که نقطه کار آن در شرایط کاری نزدیک به نقطه بهترین راندمان قرار گیرد. به عنوان مثال از پمپ مدل MD 65-160/11 که منحنی عملکرد آن در شکل ۱ نمایش داده شده است باید در سیستمی استفاده کرد که هد مقاوم سیستم بین ۲۵ تا ۳۰ متر باشد. در اینصورت پس از نصب پمپ، آبدهی سیستم در حدود ۹۰ تا ۱۲۰ مترمکعب در ساعت خواهد بود. راندمان پمپ در این شرایط ۸۳٪ می باشد. اما در صورتیکه این پمپ در سیستمی نصب شود که نیاز به ۳۴ متر هد دارد، مقدار آبدهی پمپ به ۴۰ مترمکعب در ساعت کاهش خواهد یافت. علیرغم آنکه در این حالت مقدار آمپر مصرفی پمپ حداقل است اما راندمان پمپ نیز به ۵۵٪ تقلیل یافته است. حال آنکه با انتخاب پمپی بزرگتر از آن، مثل MD 65-160/15 (منحنی بالایی در شکل ۱) میتوان در هد ۳۴ متر شاهد ۹۵ مترمکعب در ساعت آب با راندمان پمپاژ ۷۶٪ بود.



شکل ۱ - منحنی‌های مشخصه یک پمپ ساترفوژ

۲-۲ - استفاده از پمپ‌های با سایز مناسب در بسیاری از پروژه‌ها، مهندس طراح یا مجری برای اطمینان از صحت محاسبات و عملکرد درست طرح، اقدام به انتخاب پمپ با مشخصاتی بالاتر از حد نیاز می‌نمایند و سپس با استفاده از شیر تنظیم جریان یا خط کنار گذر اقدام به تنظیم هد و دبی می‌نمایند. این مساله جدا از آنکه باعث

در حالتی که نقطه کار پمپ از نقطه بهترین راندمان فاصله بگیرد عوارض مختلفی برای پمپ بوجود می‌آید که باعث کاهش عمر پمپ یا اختلال در امر پمپاژ خواهد شد. شکل ۳ عوارض مختلفی را که بخاطر عملکرد پمپ در نقاطی دور از نقطه بهترین راندمان رخ می‌دهد نمایش داده است.



شکل ۲ - نسبت هر یک از پارامترها در کل هزینه های پمپ

با توجه به شرایط مرزی اعمال شده به دفعات در نقاط شبکه حل می شود تا جواب نهایی حاصل شود. این جواب نشان دهنده میدان سرعت و فشار در کل هندسه خواهد بود. به این ترتیب نتیجه تغییر ایجاد شده در هندسه پمپ در میدان سرعت و فشار بدست آمده مورد مطالعه قرار می گیرد تا معلوم گردد تغییر ایجاد شده مثبت بوده یا خیر.

**مثال ۳:** در مورد پمپ ذکر شده در مثال ۱ (بخش ۲) در صورتی که بتوان با استفاده از روش های فوق، راندمان پمپ را از ۷۵٪ به ۸۵٪ ارتقا داد طبق محاسبات مربوط به مصرف انرژی، مقدار توان جذبی آن ۶۶ کیلووات می شود و هزینه برق مصرفی سالیانه آن از مقدار ۴۶ میلیون به ۴۱ میلیون تومان کاهش خواهد یافت. به این ترتیب ۱۰٪ افزایش راندمان پمپ باعث می شود هر سال ۷۲ مگاوات ساعت صرفه جویی انجام پذیرد که رقم ریالی آن به اندازه قیمت خرید همان پمپ خواهد بود.

#### ۲-۴ - استفاده از چک لیست کنترلی

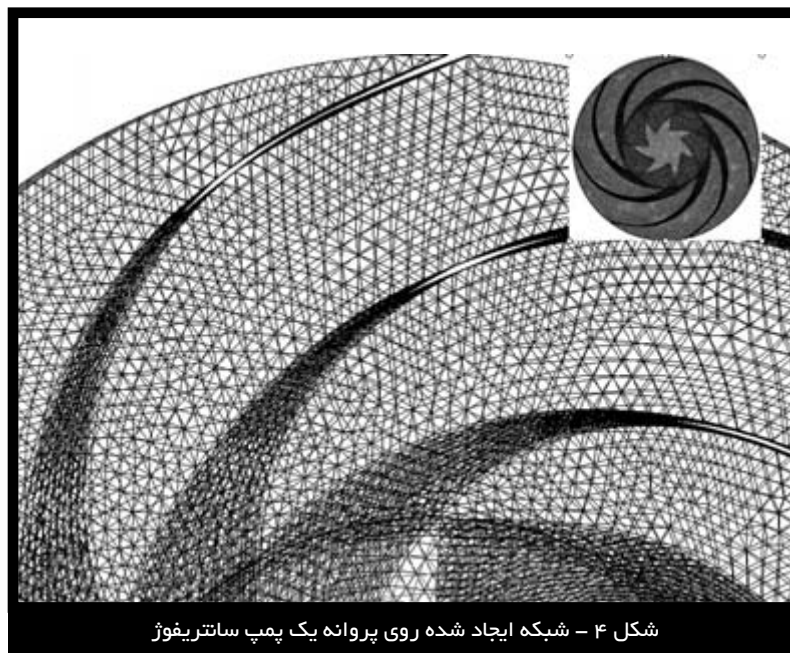
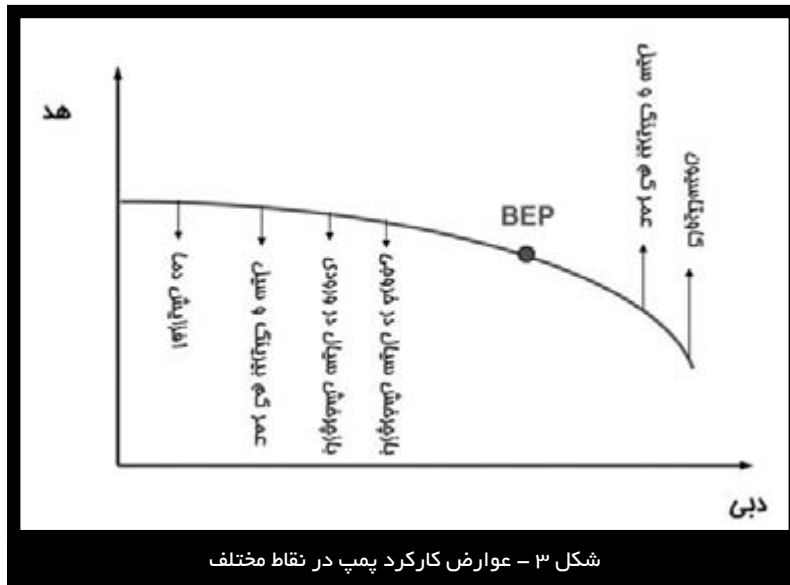
برای اطمینان از اینکه به هنگام انتخاب پمپ و در حین کارکرد همه موارد مربوطه در نظر گرفته شده است می توان از چک لیست زیر استفاده نمود.

می شود پمپ در نقطه ای دورتر از نقطه "بهترین راندمان" کار کرده و عمر آن کاهش یابد باعث افزایش فوق العاده هزینه برق مصرفی خواهد گردید.

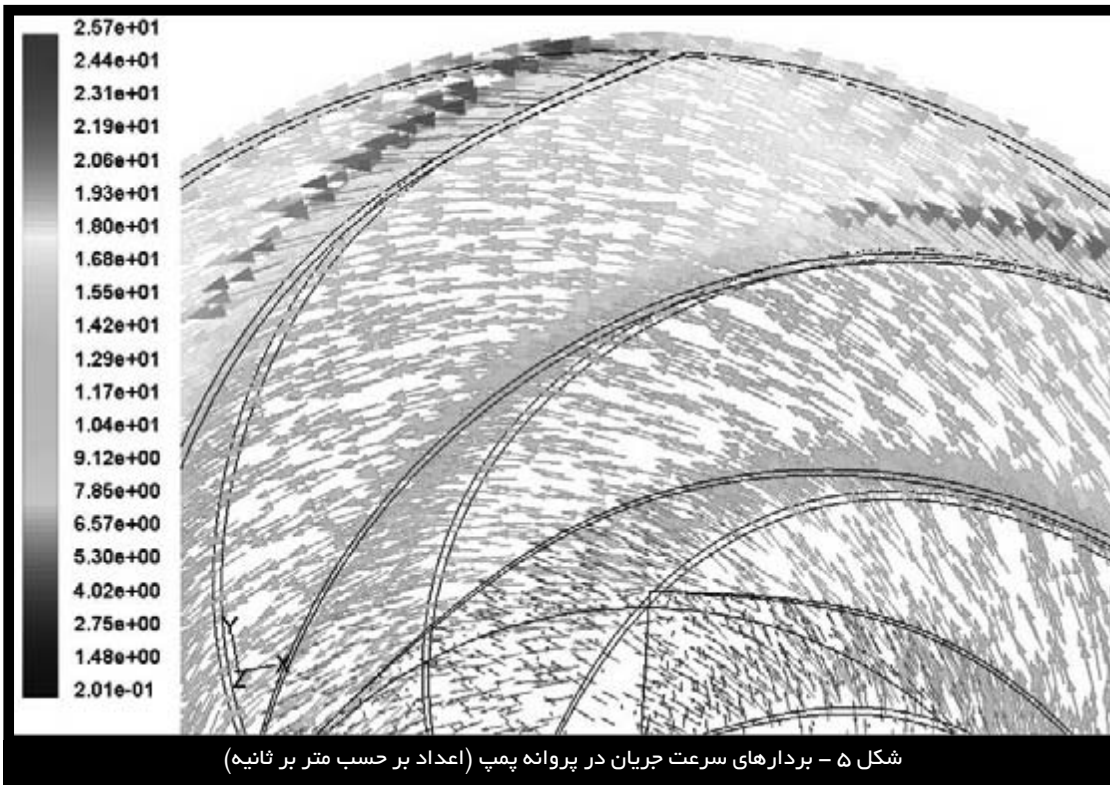
**مثال ۲:** افزایش مقدار هد و دبی به میزان ۱۰٪ در پمپ مثال ۱ حتی اگر منجر به کاهش راندمان پمپ نشود، سالیانه بیش از ۱۲۵ مگاوات ساعت افزایش مصرف برق دارد که معادل ۹/۵ میلیون تومان (نزدیک به ۲ برابر قیمت پمپ) خواهد بود.

#### ۲-۳ - استفاده از پمپ های با راندمان بالا

به مرور زمان و با رشد تکنولوژی، نسل جدید پمپ های سانتریفوژ دارای راندمان بالاتری نسبت به پمپ های قدیمی می باشند. روش های مختلفی برای بهینه سازی پمپ های موجود، در مراکز صنعتی و دانشگاهی مورد استفاده قرار می گیرد که در آن میان استفاده از روش "حل عددی و CFD" بعلت هزینه پایینتر نسبت به روش تست تجربی از اقبال بیشتری برخوردار بوده است. در این روش در ابتدا هندسه موجود به صورت سه بعدی در یک نرم افزار مدل سازی تشکیل شده، سپس شبکه بندی صورت می گیرد (شکل ۴) و آنگاه معادلات مربوط به جریان سیال



- کلیه هزینه های جانبی مربوط به "دوره عمر پمپ" محاسبه شده است.
- تامین پمپ و تجهیزات جانبی مطابق با ملاحظات مربوط به هزینه های LCC انجام شده است.
- جنس پمپ با توجه به سیال پمپ شوند و شرایط محیط انتخاب شده است.
- ساینز پمپ بزرگتر از ساینز مورد نیاز نباشد.
- مقدار آمپر مصرفی پمپ بطور مرتب چک شده و ثبت می شود.
- در دهانه مکش پمپ از شیر، زانویی و دیگر اتصالات استفاده نشده است.
- بعلت تلفات زیاد انرژی، استفاده از شیرهای فشار شکن و لوله کنارگذر برای تنظیم هد و دبی به حداقل رسیده است.
- نوع موتور محرکه پمپ با توجه به شرایط محیطی انتخاب شده است.
- راندمان موتور انتخاب شده مناسب است.
- سیستم مونیتورینگ مناسب برای پایش عملکرد پمپ در نظر گرفته شده است.
- از سیستم "نگهداری پیشگیرانه" مناسب استفاده



شده است.

- برای شروع به کار پمپ سیستم راه انداز مناسب در نظر گرفت شده است.
- لقی اجزاء داخلی پمپ در حد مناسب می باشد.
- سیستم پمپاژ فعلی کاملاً آنالیز شده تا در آینده و در صورت امکان بهینه شود.

## پانویس

- 1 - Life Cycle Cost
- 2 - Shut off point
- 3 - Best Efficiency Point

## مراجع

- ۱- ترابی روح اله، پایان نامه کارشناسی ارشد، "تحلیل سه بعدی جریان و بهینه سازی حلزونی پمپ سانتریفوژ"، دانشکده فنی دانشگاه تهران، ۱۳۸۳.
- ۲- نوربخش، سیداحمد؛ "پمپ و پمپاژ"، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ نهم، ۱۳۸۵.
- ۳- ترابی، روح اله؛ "تحلیل سیستم های پمپاژ با استفاده از روش هزینه های دوره عمر پمپ"، مجموعه مقالات دومین همایش ملی آب و فاضلاب با رویکرد بهره برداری، مهرماه ۱۳۸۷.
- ۴- سایت شرکت پمپ ابارا ([www.ebara.ir](http://www.ebara.ir))