

## دانلود مقاله ماشین سه فاز

جهت مشاهده [دانلود مقاله ماشین سه فاز](#) به پایین همین صفحه مراجعه نمایید

تعداد صفحات : 52 صفحه

برای دریافت اینجا کلیک کنید

فرمت WORD قابل ویرایش



ماشین سه فاز

مقدمه

بحث انرژی از دو دیدگاه اقتصادی و زیست محیطی حائز اهمیت است . بهینه سازی مصرف انرژی به این معنی است که بتوان با استفاده از تجهیزات و یا مدیریت بهتر همان کار را ولی با مصرف انرژی کمتر انجام بدهیم .

صرفه جوئی انرژی می تواند با استفاده از تجهیزات بهتر نظیر : عایق بندی مطلوب ، افزایش راندمان سیستمهای حرارتی، و بازیابی تلفات حرارتی بدست آید از طرف دیگر اعمال مدیریت انرژی، بمنظور درک سیستمهای موجود و طریقه استفاده از آنها، میتواند در کاهش مصرف انرژی نقش مهمی داشته باشد. در سیاست گذاری انرژی باید سازمانها رویکرد سیستمی داشته باشند. برای مثال در بهینه سازی مصرف انرژی الکتریکی هدف تنها کاهش هزینه های انرژی یک یا چند الکتروموتور مشخص نیست، بلکه باید آثار اقدامات مورد نظر روی سایر سیستمها نیز بدقت مورد توجه قرار گیرد. در یک بنگاه اقتصادی صرفه جوئی انرژی میتواند موجب برتری رقابتی بنگاه گردد.

در اغلب بخشهای صنعتی انرژی الکتریکی مهمترین منبع انرژی صنعت بشمار می رود . از آنجا که موتورهای الکتریکی، مصرف کننده اصلی انرژی الکتریکی در کارخانجات صنعتی میباشند. لذا بهینه سازی مصرف انرژی در موتورهای الکتریکی که موضوع مقاله است از اهمیت ویژه ای برخوردار خواهد بود . برای درک اهمیت بهینه سازی مصرف انرژی به این مورد اشاره می کنیم که اگر راندمان موتورهای الکتریکی الفائی موجود در اروپا تنها به میزان ۱% افزایش یابد، هزینه مصرف انرژی الکتریکی به میزان ۱/۶ میلیارد دلار در سال کاهش خواهد یافت

آمار منتشر شده از سوی وزارت نیرو نشان می دهد در سال ۱۳۷۳ ، ۲۸/۵% از کل انرژی الکتریکی مصرف شده در ایران توسط موتورهای الکتریکی بوده است[F1]. البته این میزان در کشورهای صنعتی تا ۶۵% می رسد و شاخص خوبی برای نشان دادن سطح صنعتی شدن یک کشور می باشد[۱۰] . اهداف بهینه سازی مصرف انرژی را میتوان بصورت زیر بیان نمود:

§ استفاده منطقی از انرژی

§ حفظ منابع انرژی

§ اصلاح میزان مصرف انرژی در بخشهای مصرف کننده انرژی

§ کاهش گازهای گلخانه ای و آلودگی هوا

§ اصلاح وضعیت موجود

§ کسب برتری رقابتی در بنگاههای اقتصادی

می توان اقدامات مختلفی برای صرفه جویی انرژی الکتریکی در موتورهای صنعتی بعمل آورد. در حالت کلی این اقدامات به دو دسته تقسیم میشود:

۱- اقدامات مربوط به طراحی موتور

۲- اقدامات مربوط به بهره برداری از موتورها

اقدامات مربوط به بهره برداری از موتورها را نیز میتوان به دو دسته تقسیم نمود:

۱- اقدامات روی موتور، نظیر تهویه، روغنکاری، و بارگذاری

۲- استفاده از درایو یا کنترل کننده دور موتور

در این مقاله نخست روشهای بهینه سازی مصرف انرژی در موتورهای الکتریکی را مورد بحث قرار می دهیم سپس کاربرد درایوها در کنترل موتورهای الکتریکی و تاثیری که آنها می تواند در صرفه جویی مصرف انرژی بگذارند مورد بررسی قرار خواهد گرفت .

۱- مصرف انرژی در موتورهای الکتریکی

در سالهای اخیر بهینه سازی مصرف انرژی در صنایع بدلائل اقتصادی و زیست محیطی اهمیت بیشتری یافته و موجب شده است که اقدامات عملی گسترده ای در این زمینه بعمل آید. علی رغم اینکه یکی از بزرگترین مصرف کنندگان انرژی الکتریکی در بخش صنعت موتورهای الکتریکی می باشند ، لیکن در زمینه افزایش بازدهی مبدلهای انرژی الکتریکی به مکانیکی مستقر در صنایع اقدامات عملی چندانی بعمل نیامده است. بدیهی است که افزایش بازدهی محرك های صنعتی نه تنها از نظر اقتصادی مورد توجه استفاده کنندگان می باشد بلکه در برنامه ریزی انرژی در سطح ملی نیز حائز اهمیت است .

مطالعات انجام شده در صنایع ایران حکایت از وضعیت نابسامان انتخاب و بهره برداری از موتورهای الکتریکی دارد [F1]. بر اساس این تحقیقات اغلب موتورها بزرگتر از میزان نیاز انتخاب شده و در شرایط بدی نگهداشت میشوند. استفاده از موتورهای با راندمان بالا در ایران رایج نبوده و گزارش موثری از استفاده از درایو جهت صرفه جویی انرژی در دست نیست. کاربردهای صنعتی بسیاری می توان یافت که موتورها در بازدهی بسیار پایین تر از مقدار حداکثر قرار دارند . بعنوان مثال در یکی از کارخانجات صنعتی کشورمان در يك مورد ، متوسط توان مصرفی در يك موتور القائی سه فاز صنعتی تنها ۲۸٪ توان نامی اندازه گیری شده است [F1]. بدیهی است پایین بودن توان خروجی، تا این حد تاثیرات منفی قابل توجهی بر بازدهی و ضریب توان موتور خواهد داشت .

از سوی دیگر دولت نیز نتوانسته است در ترویج فرهنگ استفاده بهینه از انرژی الکتریکی توفیقات خوبی داشته باشد. بعنوان مثال وزارت نیرو و سازمانهای وابسته به آن که مشخصا در زمینه بهینه سازی مصرف انرژی الکتریکی در سطح کلان عمل میکند هنوز در ارتباط با کاهش مصرف داخلی نیروگاهها اقدام موثری بعمل نیاورده است. در حالیکه پتانسیل صرفه جویی انرژی الکتریکی زیادی در نیروگاهها وجود دارد.

۲- موانع در سیاست گذاری انرژی

در ایران موانعی که سر راه بهینه سازی مصرف انرژی الکتریکی وجود دارد را میتوان بصورت زیر دسته بندی نمود:

- سیاست دولت در پرداخت سوبسید به صنایع
- عدم آگاهی مدیران صنایع از روشهای صرفه جویی انرژی الکتریکی
- ضعف دانش فنی مهندسين مرتبط با بهینه سازی مصرف انرژی
- نگرانی از ضریب اطمینان درایو و آثار منفی آن روی شبکه و موتور
- نداشتن یک رویکرد سیستمی در استفاده از موتورهای با راندمان بالا
- ۳- انتخاب موتور مناسب

موتورهای القائی سه فاز و يك فاز به دلیل تنوع مصرف در کاربردهای زیادی مورد استفاده قرار می گیرند. مشخصه های بارمکانیکی ناشی از کاربرد و مورد مصرف می باشد. بدیهی است موتور در صورتی می تواند بار مکانیکی متصل به آن را تامین کند که مشخصه عملکردی موتور منطبق بر مشخصه بار مکانیکی باشد .

### ۳-۱- تطابق موتور و بار

همانطور که در بالا اشاره شد موتور و بار دارای مشخصه های خاص خود می باشند . منظور از تطابق بین موتور و بار انطباق بین مشخصه های موتور و مشخصه های بار متصل به محور موتور میباشد .

مشکل اصلی در صنایع کشور آن است که در اغلب موارد تطابق مطلوبی بین مشخصه های بار و موتور وجود ندارد. توان اغلب موتورها بیش از بار متصل به محور شان می باشد و با توجه به اینکه قیمت تمام شده موتور متناسب با توان آن می باشد، لذا بدیهی است انتخاب موتور با توان بیش از نیاز بار، علاوه بر افزایش هزینه اولیه موتور موجب افزایش سایر هزینه ها از قبیل کابل کشی و نصب و راه اندازی و تعمیر خواهد شد .

از طرف دیگر در صورتیکه موتور انتخاب شده بزرگتر از حد لازم باشد در این صورت موتور در حالت بار کامل و یا نزدیک به بار کامل کار نکرده و لذا بازدهی آن پایین تر از مقدار حداکثر آن خواهد بود . و خود این امر اشکالات جدی در بهینه سازی مصرف انرژی ایجاد خواهد کرد .

در موتورهای القائی سه فاز در صورت کاهش میزان بازدهی موتور ، به ویژه به میزان کمتر از ۸۰% بار کامل ، شاهد کاهش قابل توجه در بازدهی موتور خواهیم بود . متأسفانه در اکثر موارد به این نکته توجه نشده و تنها تاثیر نامطلوب انتخاب موتور بزرگتر از حد لازم بر هزینه اولیه مورد توجه قرار می گیرد . در صورتیکه محاسبات انجام شده حاکی از آن است که تاثیر انتخاب نامناسب موتور بر هزینه های متغیر (هزینه اتلاف انرژی اضافی) قابل توجه و بمراتب بیش از افزایش هزینه ثابت اولیه می باشد .

يك مثال این موضوع را روشن خواهد کرد :

مثال : فرض می کنیم برای انجام يك کار مکانیکی ، موتور القائی سه فاز با توان خروجی ۱۱۰ کیلو وات مناسب باشد و بجای آن موتور با توان ۱۳۲ کیلو وات انتخاب شود . اطلاعات زیر را مورد توجه قرار می دهیم :

- بازدهی موتور در بار کامل =  $2/94\%$

- بازدهی موتور در  $2/82\%$  بار کامل =  $5/92\%$

- طول عمر مفید موتور = ۱۵ سال

- ضریب کارکرد =  $8/0$

با انجام کمی محاسبات می توان نتیجه گرفت که مصرف انرژی در طول ۱۵ سال بمقدار  $600/937$  کیلو وات

ساعت افزایش پیدا خواهد کرد. مطالب فوق این واقعیت را بیان می کند که انتخاب موتور مناسب به لحاظ اقتصادی حائز اهمیت فراوان بوده و لذا تطابق بین بار و موتور از اهمیت ویژه ای برخوردار است. انتخاب موتور بزرگتر از حداقل مورد نیاز به دلایل زیر غیر اقتصادی می باشد:

- ۱- با افزایش توان موتور قیمت آن یعنی هزینه اولیه افزایش می یابد.
- ۲- با افزایش توان موتور هزینه های نگهداری و تعمیرات آن افزایش می یابد.
- ۳- با افزایش توان موتور بدلیل پایین آمدن ضریب بار، بازدهی موتور کاهش یافته و بدین ترتیب انرژی تلف شده افزایش می یابد.

### ۳-۲- موتورهای با راندمان بالا (Energy Efficient Motors)

گرچه قیمت موتورهای با راندمان بالا بیشتر از موتورهای استاندارد است، ولی در اغلب کاربردها استفاده از آنها کاملاً اقتصادی است. مخصوصاً در کاربردهائی که:

- مدت زمان روشن بودن موتور بیش از زمان خاموش بودن آن باشد
- مدت زمان روشن بودن موتور بیش از ۲۰۰۰ ساعت در سال باشد
- گشتاور بار نسبتاً ثابت بوده و موتور بدرستی به بار تطبیق شده باشد.

استفاده از موتورهای با راندمان بالا توصیه میشود. بارهائی چون میکسرها، نقاله ها و فیدرها از این نوع هستند. اهمیت موضوع وقتی آشکار میشود که توجه کنیم که هزینه انرژی مصرفی یک الکتروموتور در طول عمر مفید آن ۱۰ تا ۲۰ برابر قیمت موتور است [۱۶]. موتورهای با راندمان بالا علاوه بر صرفه جوئی انرژی معمولاً مزیت‌های دیگری نیز دارند. برای مثال آنها جریان های بیشتری را در هنگام راه اندازی تحمل میکنند و حرارت و نویز کمتری تولید میکنند. هر چند که

موتورهای با راندمان بالا تنها ۲ تا ۳ درصد راندمان را بهبود میدهند، اما اگر در انتخاب و بکارگیری آنها بجای یک موتور کل سیستم در نظر گرفته شود، اثر بخشی کار بالا خواهد رفت. با رویکرد سیستمی به موضوع و در نظر گرفتن عوامل دیگر نظیر هزینه های تعمیر و نگهداشت و بهره برداری میتوان به کارائی این موتورها بیشتر پی برد. میزان صرفه جوئی انرژی در صورت استفاده از موتور با راندمان بالا، به جای موتورهای استاندارد از رابطه زیر قابل محاسبه است:

در رابطه فوق hp توان موتور بر حسب اسب بخار،  $a$  ضریب بار (در صد از بار کامل تقسیم بر ۱۰۰)،  $hr$  ساعات کار در طول سال،  $c$  متوسط قیمت انرژی (قیمت هر کیلووات ساعت انرژی)،  $\eta_{std}$  راندمان موتور استاندارد (%)، و  $\eta_{ee}$  راندمان موتور با راندمان بالا (%). است.

توصیه میشود هنگام خرید موتور و یا سفارش ساخت ماشین به سازندگان ماشین از موتورهای با راندمان بالا استفاده گردد. همچنین معمولاً اقتصادی است که بجای سیم پیچی کردن موتورهای سوخته و استفاده مجدد از آنها، از موتورهای با راندمان بالا استفاده گردد. زمان بازگشت سرمایه (به سال) در خرید این نوع موتورها، بطور ساده عبارت خواهد بود از:

### ۴- اقدامات مورد نیاز برای بهبود عملکرد سیستمهای مرتبط با الکتروموتورها

یک موتور معمولاً با اجزا و سیستمهای دیگر در ارتباط است. برای بهبود عملکرد الکتروموتورها لازم است سیستمهای مرتبط با موتور نیز در نظر گرفته شود. این سیستمها شامل شبکه برق، کنترل کننده های موتور، الکتروموتور و سیستم انتقال نیرو میگردد.

#### ۴-۱- کیفیت توان Power Quality

مسائل کیفیت توان شبکه شامل کلیه اختلالات شبکه برق مثل عدم تقارن در ولتاژ، افت ولتاژ، چشمک زدن، اسپایک، سیستم ارت بد، هارمونیکها و نظایر آن میشود [۵]. از آنجا که کیفیت توان تاثیر زیادی در اتلاف انرژی دارد، لازم است یک مهندس مجرب وضعیت شبکه برق تاسیسات را زیر نظر داشته باشد.

#### ۴-۲- تثبیت ولتاژ شبکه

تا آنجا که ممکن است باید ولتاژ اعمالی به موتور نزدیک به ولتاژ کار موتور باشد. گرچه تغییرات ۱۰٪ در ولتاژ موتور مجاز است اما از نقطه نظر اتلاف انرژی میزان انحراف از ولتاژ نامی موتور باید کمتر از ۵٪ باشد. تغییر ولتاژ موتور موجب افت ضریب قدرت، عمر مفید موتور و راندمان میگردد [۶]. شکل (۱) بررسی تاثیر تغییرات ولتاژ اعمالی به موتور روی تورک، جریان راه اندازی، جریان بار کامل، راندمان و ضریب قدرت

اگر ولتاژ موتور بیش از ۵٪ کاهش پیدا کند، راندمان بین ۲ تا ۴ درصد افت پیدا کرده و دمای موتور حدود ۱۵ درجه افزایش می یابد و این افزایش دما عمر عایق موتور را کاهش خواهد داد. در شکل (۲) عمر موتور در دماهای کار مختلف و با کلاسهای عایقی مختلف نشان داده شده است. شکل (۲): بررسی تاثیر دمای کلافهای موتور روی عمر مفید آن برای موتورهای با کلاس عایقی مختلف ۴-۳- عدم تقارن فاز

عدم تقارن فاز باید کمتر از ۱٪ باشد. عدم تقارن فاز بصورت زیر توسط NEMA تعریف شده است: برای مثال اگر ولتاژهای فاز بترتیب ۴۶۲ و ۴۶۳ و ۴۵۵ ولت باشد. متوسط ولتاژ سه فاز برابر با ۴۶۰ ولت میشود و در صد عدم تقارن بصورت زیر محاسبه خواهد شد: ۴-۴- ضریب قدرت

ضریب قدرت پائین موجب افزایش جریان کابلها و ترانسفورماتورها و افت ولتاژ شده و بدین ترتیب باعث کاهش ظرفیت سیستم تغذیه میشود [۷]. ضریب قدرت پائین ناشی از بار کم در شفت موتور است. در شکل (۳) منحنیهای ضریب قدرت برای بارهای مختلف و رنجهای توانی متفاوت موتورها آمده است [۸]. بوضوح مشاهده میشود با کاهش بار موتور ضریب قدرت تغییرات قابل توجهی میکند. شکل (۳): تغییرات ضریب قدرت متناسب با بار موتور ۵- روشهای عملی برای افزایش بازدهی موتور

اشاره شد که بالا بردن بازدهی متوسط موتورهای القایی به لحاظ اقتصادی از اهمیت ویژه ای برخوردار است. بدیهی است نحوه عمل و دستیابی به نتایج مطلوب وابسته به نوع و اندازه موتور، شرایط بارگذاری، نحوه نگهداری و غیره بوده و لذا نمی توان دستور العمل کلی برای ارتقاء بازدهی کلیه موتورهای القایی ارائه داد. بطور کلی اقدامات لازم برای بالا بردن بازدهی موتورهای القایی را می توان به دو دسته تقسیم نمود. دسته اول تمهیداتی است که در زمان طراحی و ساخت موتور باید بکار گرفت. دسته دوم شامل مجموعه اقدامات عملی جهت بالا بردن بازدهی موتورهای القایی در حال کار در صنایع می شود.

اقدامات عملی ساده ای منجر به افزایش راندمان کار می گردد به عنوان مثال مقدار معمول جریان بی باری در موتورهای القایی سه فاز در محدوده ۲ تا ۵ درصد جریان نامی موتور است. ولی در بررسی های بعمل آمده مشاهده شده است که در اکثر موارد جریان بی باری موتور بیشتر از این مقدار بوده و در برخی موارد تا ۱۲٪ جریان نامی افزایش یافته است. این افزایش در جریان بی باری موتور بعلت عدم نگهداری صحیح از موتور است. در اکثر موارد این شرایط نامطلوب در حالات بارگذاری نیز مشاهده می شود. به این معنی که با اعمال بار مکانیکی غیر مفید به محور موتور، بصورت اصطکاکهای مکانیکی ناشی از عدم نگهداری صحیح، موجب

میشود که موتور بار اعمال شده را در جریان الکتریکی بیشتری تامین می کند . و در واقع بخشی از توان الکتریکی ورودی صرف تامین بار و قسمت دیگر آن برای غلبه بر اصطکاک مکانیکی مصرف می شود .

بدین ترتیب موارد زیر را در ارتباط با تلفات اهمی موتور میتوان بیان کرد :

۱- تلفات اهمی موتور متغیر بوده و تابعی از میزان و نحوه بارگذاری موتور می باشد .

۲- در بسیاری از موارد عدم نگهداری صحیح از قسمت‌های چرخان موتور به ویژه بلبرینگ محور موتور ، موجب ایجاد بار مجازی ناشی از افزایش اصطکاک مکانیکی شده و لذا جریان ورودی موتور در حالت بی باری و بار از حد مطلوب و اعلام شده توسط سازنده بیشتر خواهد شود

۳- افزایش جریان ورودی موتور موجب بالا رفتن تلفات اهمی و حرارت ایجاد شده در سیم پیچ شده و لذا درجه حرارت اطراف سیم پیچ افزایش خواهد یافت .

از مشخصات بارز تلفات مکانیکی موتور دشواری محاسبه میزان و تعیین منابع آن است . بخش عمده تلفات مکانیکی در قسمت های چرخان موتور بوده و ناشی از اصطکاک و بار می باشد و لذا میزان تلفات مکانیکی تا حد زیادی وابسته به شرایط نگهداری موتور دارد . با روغن کاری مناسب و بموقع بلبرینگ و نظافت قسمت‌های چرخان موتور و همچنین اطمینان از بالانس بودن م

حور ، میتوان تلفات مکانیکی موتور را به حداقل رساند بدین ترتیب در ارتباط با تلفات مکانیکی موتور میتوان موارد زیر را اظهار داشت :

۱- میزان تلفات مکانیکی تابعی از شرایط نگهداری موتور می باشد .

۲- با انجام اقدامات مناسب در نگهداری موتور می توان تلفات مکانیکی را بسادگی در مقدار حداقل خود نگه داشت.

۳- تلفات مکانیکی نیز منجر به افزایش درجه حرارت بویژه در قسمت‌های چرخان موتور می شود .

انواع تلفات موتور بدون توجه به نوع آن منجر به ایجاد حرارت می شود بدین ترتیب خنک کاری موتور بویژه در شرایطی که موتور زیر بار است از اهمیت ویژه ای برخوردار است . بالا رفتن درجه حرارت موتور باعث کاهش عمر مفید آن می شود .

در موارد زیادی مشاهده شده است که بدلیل عدم رعایت نکات ساده و مهم در نگهداری موتور باعث کاهش بازدهی سیستم خنک کن شده و درجه حرارت موتور در حالت بار نامی افزایش پیدا کند . در این گونه موارد گاهی اوقات بجای رفع اشکال نگهداری، اقدام به جایگزین کردن موتور با توان بیشتر می شود که این امر خود منجر به کاهش بازدهی سیستم و اتلاف انرژی خواهد شد .

بر اساس تجارب شرکت پرتو صنعت نوع دیگری از اشکالات مربوط به سیم پیچی موتورهای معیوب توسط افراد غیر متخصص می شود. مشاهدات ما نشان می دهد که در برخی از موارد موتور بدفعات مورد سیم پیچی قرار می گیرد . عدم رعایت نکات فنی در عایق بندی موتور سیم پیچی شده و همچنین استفاده از ابزار و آلات غیر اصولی در درآوردن سیم پیچی سوخته شده موتور نتایج بدی بدنبال دارد .

بعنوان يك اصل تجربی موتورهای که به این شیوه سیم پیچی مجدد می شوند برای کار با اینورتر یا کنترل کننده دور موتور مناسب نیستند. اغلب این موتورها بدلیل آسیب هایی که به مدار مغناطیسی آنها در حین سیم پیچی وارد می شود از جریان بی باری بالاتر از حد معمول برخوردار بوده و عایق بندی آنها برای کار با اینورتر مناسب نمی باشد . این نوع موتورها حرارت بیشتری نسبت به موتورهای سالم دارند و تلفات انرژی زیادی ایجاد می کنند . ضمناً این موتورها بمراتب آسیب پذیرتر از موتورهای فابریک می باشند . توصیه می شود در سیم پیچی موتورهای آسیب دیده از تکنیسین های مجرب و ابزارآلات مناسب استفاده شود . ضمناً تا

زمانیکه اطمینان از فرآیند کار حاصل نشده باشد از استفاده از این نوع موتورها همراه با کنترل کننده دور موتور اجتناب گردد .

توصیه می شود اگر قصد تعویض این نوع موتورها را دارید و یا میخواهید موتورهای جدیدی تهیه کنید، موتورهای تهیه کنید که را

ندمان بالاتری داشته باشند.

۶- دستور العملهای لازم برای بهبود عملکرد موتورهای الکتریکی

اشاره شد که عوامل موثر در بازدهی موتورهای الکتریکی را می توان بصورت زیر بیان نمود :

– عوامل موثر در مراحل طراحی و ساخت

– عوامل موثر در بهره برداری

بررسی عوامل موثر فوق خارج از حوصله این مقاله است. یک مطالعه خوب از عوامل فوق توسط آقای دکتر اوروعی در سال ۱۳۷۳ انجام گرفته است . [F1] در اینجا بطور خلاصه به عوامل موثر در بهره برداری از موتور که به افزایش بازدهی آنها منجر خواهد شد اشاره میشود. در جدول (۱) خلاصه ای از عوامل موثر در بازدهی موتورهای الکتریکی آمده است .

جدول (۱) عوامل موثر در بازدهی موتورهای الکتریکی

همان طور که مشاهده می شود مجموعه اقدامات ساده فوق خصوصاً اقداماتی که به عوامل وابسته به شرایط نگهداری موتور می شود می تواند منجر به صرفه جویی اقتصادی قابل توجهی شود .

برای اطمینان یافتن از اینکه بازدهی موتورهای مستقر در صنایع و سایر کاربردها در حد مطلوب قرار دارد می توان نسبت به تدوین شناسنامه صنعتی برای هر موتور ( و بویژه موتورهای بزرگ) اقدام نموده و با ثبت اطلاعات مورد نظر از جمله موارد زیر بازدهی این موتور ها را مورد بررسی قرار داد :

– میزان بار (درصد از بار کامل)

– میزان تغییرات بار ( درصد از بار کامل)

– میزان تغییرات سرعت (درصد از سرعت سنکرون)

– میزان تغییرات ولتاژ شبکه (درصد از ولتاژ نامی)

توصیه میشود کارخانجاتی که در آنها تعداد موتور مورد استفاده زیاد می باشد نسبت به جمع آوری اطلاعات فوق و اقدامات اصلاحی اقدام نمایند.

۷- دسته بندی اقدامات لازم برای بهینه سازی مصرف انرژی

برای روشن شدن تاثیر اقدامات مختلف برای افزایش بازدهی موتورهای الکتر

یکی در جدول (۲) نتایج قابل انتظار این اقدامات برای دسته ای از موتورهای القایی با توان خروجی ۲/۲ تا ۳۰ کیلو وات نمایش داده شده است [F1] .

جدول (۲) : اقدامات مختلف برای افزایش بازدهی موتورهای الکتریکی با توان ۲/۲ تا ۳۰ کیلو وات .

۸- تکنولوژی الکترونیک قدرت و درایوهای AC

تکنولوژی الکترونیک قدرت (Power Electronics)، بهره وری و کیفیت فرایندهای صنعتی مدرن را بی وقفه بهبود میبخشد. امروزه با کمک همین تکنولوژی امکان استفاده از منابع انرژی غیرآلاینده بازیافتی (Renewable Energy)، نظیر باد و فتو ولتائیک فراهم شده است. تخمین زده میشود که با استفاده از الکترونیک قدرت، حدود

۱۵ تا ۲۰ درصد امکان صرفه جوئی انرژی الکتریکی وجود دارد [۱۷]. در واقع با کاهش بیوقفه قیمت ها در عرصه الکترونیک قدرت زمینه برای حضور آنها در کاربردهای صنعتی، حمل و نقل و حتی خانگی فراهم میگردد.

نیروی محرک بیشتر پمپها و فن ها موتورهای القایی هستند که در دور ثابت کار میکنند. لیکن در سالهای اخیر با پیشرفتهای انجام گرفته در زمینه تکنولوژی الکترونیک قدرت، استفاده از موتورهای القایی قفس سنجابی همراه با کنترل کننده دور موتور (AC DRIVE یا اینورتر یا بطور ساده درایو) رو به گسترش است. درایوها دستگاههایی هستند که توان ورودی با ولتاژ و فرکانس ثابت را به توان خروجی با ولتاژ و فرکانس متغیر تبدیل میکنند. باید توجه کرد که دور یک موتور

تابعی از فرکانس منبع تغذیه آن است. برای این منظور یک درایو نخست برق شبکه را به ولتاژ DC تبدیل کرده و سپس آنرا با استفاده از یک اینورتر مجدداً به ولتاژ AC با فرکانس و ولتاژ متغیر تبدیل میکند. در شکل (۴) قسمت‌های اصلی یک درایو ولتاژ پائین نشان داده شده است. همانطور که مشاهده میکنید قسمت اینورتر متشکل از سوئیچهای قدرتی است که در سالهای اخیر تغییرات تکنولوژیک زیادی پیدا کرده اند. در واقع با معرفی سوئیچهای قدرتی چون IGBT با قیمت‌های رو

به کاهش، زمینه برای عرضه درایوهای با قیمت مناسب فراهم شد. در هر حال خاطر نشان میکنیم که شکل موج خروجی درایو ترکیبی از پالسهای DC با دامنه ثابت است. این موضوع موجب میشود که خود درایو منشا اختلالاتی در کار موتور شود. برای مثال کیفیت شکل موج خروجی درایو میتواند سبب اتلاف حرارتی اضافی ناشی از مولفه های هارمونیک فرکانس بالا در موتور شده و یا موجب نوسانات گشتاور Torque Pulsation در موتور گردد. با این حال درایوهای امروزی بدلیل استفاده از سوئیچهای قدرت سریع این نوع مشکلات را عملاً حذف کرده اند.

شکل (۴): ساختمان یک کنترل کننده دور موتور ( فقط قسمت‌های قدرت نشان داده شده است).  
کنترل کننده های دور موتورهای الکتریکی هر چند که ادوات پیچیده ای هستند ولی چون در ساختمان آنها از مدارات الکترونیک قدرت استاتیک استفاده می شود و فاقد قطعات متحرک می باشند، از عمر مفید بالایی برخوردار هستند. مزیت دیگر کنترل کننده های دور موتور توانایی آنها در عودت دادن انرژی مصرفی در ترمزهای مکانیکی و یا مقاومت های الکتریکی به شبکه می باشد. در چنین شرائطی با استفاده از کنترل کننده های دور مدرن می توان از اتلاف این نوع انرژی جلوگیری نمود. بطوریکه در برخی کاربردها قیمت انرژی بازیافت شده از این طریق، در کمتر از یکسال معادل هزینه سرمایه گذاری سیستم بازیافت انرژی می شود.

#### ۹- کنترل کننده های دور موتور

تا اینجا درمورد مجموعه اقداماتی که برای بهینه سازی مصرف انرژی میتوانستیم روی موتورهای الکتریکی اعمال کنیم بحث شد. اشاره شد که در کشور ایران در سال ۷۳ بیش از ۳۵ درصد مصرف انرژی در موتورهای الکتریکی بخش صنعت بوده است. البته این مقدار در کشورهای صنعتی تا ۶۵ درصد نیز میرسد. این امر اهمیت بهینه سازی مصرف انرژی در موتورهای الکتریکی را نشان میدهد. در این قسمت از مقاله در مورد تاثیر استفاده از کنترل کننده های دور موتور در کاهش مصرف انرژی صحبت خواهیم کرد. سعی میکنیم با استفاده از تعدادی مثال اهمیت

موضوع را نشان دهیم. بطور خلاصه در کاربردهای صنعتی زیادی، صرفه جوئی که با استفاده از کنترل کننده دور موتور در مصرف انرژی حاصل میشود بمراتب بیشتر از اقدامات برشمردده در قسمت‌های قبلی مقاله است. استفاده از موتورهای مجهز به کنترل کننده دور موتور، امکان اعمال تغییرات لازم در سرعت موتور فن و یا پمپ را بطور دائم فراهم آورده و بدین ترتیب می توان با توجه به فرآیند مورد نظر از اتلاف انرژی ایجاد شده در تنظیم کننده های مکانیکی جلوگیری نمود. با استفاده از درایو موتور به بار تطبیق داده شده، و هر گونه نیاز به



خاموش و روشن کردن موتور و یا ادوات تنظیم کننده نظیر شیر یا دمپر حذف می گردد . همچنین کنترل سرعت دقیق و متعاقب آن توان خروجی قابل

دسترسی بوده و با توجه به استفاده از مدارات الکترونیکی ، استهلاک قسمتهای کنترل کننده در حد بسیار پایین خواهد بود . تصمیم گیری در مورد استفاده از موتور با کنترل کننده دور متغییر بستگی به نوع کاربرد مورد نظر دارد . از آنجا که هزینه اولیه این سیستمها (کنترل کننده دور موتور) بیش از سایر روشها می باشد و با توجه به اینکه صرفه جوئی ناشی از بالا بودن بازدهی تنها بصورت کاهش هزینه راهبری نمایان می شود، لذا استفاده از موتورهای مجهز به کنترل

کننده دور در طول زمان منجر به صرفه جوئی اقتصادی می شود . معمولاً بسته به نوع کاربرد زمان بازگشت سرمایه گذاری بین یک تا سه سال متغیر خواهد بود . متاسفانه در اکثر موارد مهمترین عامل در انتخاب محرك قیمت اولیه است. بدین معنی که سیستم بر مبنای کمینه سازی هزینه اولیه انتخاب می شود. در حالیکه در طول عمر مفید آن هزینه قابل توجهی صرف انرژی تلف شده و یا تعمیر و نگهداری می شود .

در شکل(۵) میزان استفاده از کنترلرهای دور متغیر نشان داده شده است.

کنترل کننده های دور موتور انواع مختلفی دارند. آنها قادرند انواع موتورهای AC و DC را کنترل کنند. قیمت کنترلرها وابسته به نوع تکنولوژی بکار رفته در ساختمان آنها میباشد. ساده ترین روش کنترل موتورهای AC روش تثبیت نسبت ولتاژ به فرکانس(یا کنترل  $V/F$  ثابت) میباشد. اینک این روش، بطور گسترده در کاربردهای صنعتی مورد استفاده قرار میگیرد. این نوع کنترلرها از نوع اسکالر بوده و بصورت حلقه باز با پایداری خوب عمل میکنند. مزیت این روش سادگی سیستمهای کنترلی آن است. در مقابل این نوع کنترلرها برای کاربردهای با پاسخ سریع مناسب نمیشوند.

روباتها و ماشینهای ابزار نمونه هایی از کاربردهای با دینامیک بالا هستند. در این کاربردها روشهای کنترلی برداری استفاده میشود. در روشهای کنترلی برداری با تفکیک مولفه های جریان استاتور به دو مولفه تورک ساز و فلو ساز، و کنترل آنها با استفاده از رگولاتورهای PI ترتیبی داده میشود که موتور AC نظیر موتور DC کنترل شود. و بدین ترتیب تمام مزایای موتور DC از جمله پاسخ گشتاور سریع آنها در موتورهای AC نیز در دسترس خواهد بود. برای مثال پاسخ گشتاور در روشهای برداری حدود  $10 - 20ms$  و در روشهای کنترل مستقیم گشتاور(Direct Torque Control) این زمان حدود  $5ms$  است. اینک روشهای کنترل برداری متعددی پیاده سازی شده است که بررسی آنها خارج از حوصله این مقاله است. در هر حال نوع کنترلر مطلوب، متناسب با کاربرد انتخاب میگردد. در شکل(۶) خلاصه ای از انواع روشهای کنترل موتورهای AC نمایش داده شده است.

شکل(۶): خلاصه ای از انواع روشهای کنترل موتورهای AC

۱۰- مزایای استفاده از کنترل کننده های دور موتور

مزایای استفاده از کنترل کننده های دور موتور هم در بهبود بهره وری تولید و هم در صرفه جوئی مصرف انرژی در کاربردهای نظیر فنها ، پمپها، کمپروسورها و دیگر محرکه های کارخانجات ، در سالهای اخیر کاملاً مستند سازی شده است. کنترل کننده های دور موتور قادرند مشخصه های بار را به مشخصه های موتور تطبیق دهند. این اسباب توان راکتیو ناچیزی از شبکه میکشند و لذا نیازی به تابلوهای اصلاح ضریب بار ندارند. در زیر به مزایای استفاده از کنترل دور موتور اشاره میشود:

۱- در صورت استفاده از کنترل کننده های دور موتور بجای کنترلرهای مکانیکی، در کنترل جریان سیالات، بطور مؤثری در مصرف انرژی صرفه جوئی حاصل میشود. این صرفه جوئی علاوه بر پیامدهای اقتصادی آن موجب کاهش آلاینده های محیطی نیز میشود.

۲- ویژگی اینکه کنترل کننده های دور موتور قادرند موتور را نرم راه اندازی کنند موجب میشود علاوه بر کاهش تنشهای الکتریکی روی شبکه ، از شوکهای مکانیکی به بار نیز جلوگیری شود. این شوکهای مکانیکی میتوانند باعث استهلاک سریع قسمت‌های مکانیکی ، بیرینگها و کوپلینگها، گیربکس و نهایتاً قسمتهائی از بار شوند. راه اندازی نرم هزینه های نگهداری را کاهش داده و به افزایش عمر مفید محرکه ها و قسمت‌های دوار منجر خواهد شد.

۳- جریان کشیده شده از شبکه در هنگام راه اندازی موتور با استفاده از درایو کمتر از ۱۰٪ جریان اسمی موتور است.

۴- کنترل کننده های دور موتور نیاز به تابلوهای اصلاح ضریب قدرت ندارند.

۵- در صورتی که نیاز بار ایجاب کند با استفاده از کنترل کننده دور ، موتور میتواند در سرعت‌های پائین کار کند . کار در سرعت‌های کم منجر به کاهش هزینه های تعمیر و نگهداشت ادواتی نظیر بیرینگها، شیرهای تنظیم کننده و دمپرها خواهد شد.

۶- يك کنترل کننده دور قادر است رنج تغییرات دور را ، نسبت به سایر روش‌های مکانیکی تغییر دور، بمیزان قابل توجهی افزایش دهد. علاوه بر آن از مسائلی چون لرزش و تنش‌های مکانیکی نیز جلوگیری خواهد شد.

۷- کنترل کننده های دور مدرن امروزی با مقدرات نرم افزاری قوی خود قادرند راه حل‌های متناسبی برای کاربردهای مختلف صنعتی ارائه دهند.

۱۱- مدیریت بهینه سازی مصرف انرژی و نقش کنترل کننده های دور موتور

امروزه در کشورهای صنعتی الزامات زیست محیطی از یکسو و رقابت بنگاه‌های اقتصادی از سوی دیگر ، مدیریت بهینه سازی انرژی را در صورت يك امر غیر قابل اجتناب در آورده است. مجموعه اقداماتی که برای صرفه جوئی انرژی در کارخانجات صورت میگیرد شامل مواردی چون جایگزینی موتورهای الکتریکی با انواع موتورهای با بازدهی بالا، استفاده از کنترل کننده های دور موتور در کاربردهائی که اتلاف انرژی در آنها زیاد است، بازیافت انرژی از پروسه های حرارتی و نظایر آنها میشود. نتایج اعمال چنین اقداماتی نشان میدهد در موارد زیادی ، و بخصوص در جاهائی که از فن‌ها ، پمپها، و کمپروسورها در فرایند تولید استفاده میشود، بکارگیری کنترل کننده های دور موتور علاوه بر انعطاف پذیر نمودن کنترل فرایند، تاثیر قابل توجهی در کاهش مصرف انرژی داشته است. در بسیاری از موارد زمان بازگشت سرمایه بین يك تا سه سال میباشد. کمتر از ۱۰٪ موتورها مجهز به درایو هستند. در حالیکه در بیش از ۲۵٪ آنها استفاده از درایو توجیه اقتصادی دارد[۱۶].

بر اساس مطالعات انجام گرفته توسط اتحادیه اروپا [۱۰] تا سال ۲۰۰۵ میلادی پتانسیل صرفه جوئی انرژی بالغ بر ۶۳٫۵ TWh در صنایع کشورهای عضو اتحادیه اروپا وجود دارد. که از این میزان بیش از ۴۴٫۷ TWh آن توجیه اقتصادی دارد. این میزان صرفه جوئی انرژی تنها در سایه استفاده از موتورهای با راندمان بالا و درایو بدست میاید. که سهم درایو در صرفه جوئی دارای توجیه اقتصادی حدود ۶۳٪ است. نتایج چنین مطالعاتی را بطور خلاصه در جدول(۳) مشاهده میکنید.

جدول(۳): پتانسیل فنی و اقتصادی صرفه جوئی انرژی با استفاده از موتورهای با راندمان بالا(EEM) و کنترل دور(VSD) در کشورهای عضو اتحادیه اروپا تا سال ۲۰۰۵

مطالعه فوق با تفکیک بار پتانسیل اقتصادی صرفه جوئی انرژی را نیز در اتحادیه اروپا مشخص نموده است. که نتایج آنرا در شکل(۷) مشاهده میکنید.

شکل(۷): پتانسیل صرفه جوئی اقتصادی در کشورهای عضو اتحادیه اروپا به تفکیک نوع بار

۱۲- پمپها و فن‌ها

چیزی حدود ۴۰ درصد انرژی مصرفی در بخش صنعت در پمپها و فنها مصرف میشود. برای مثال در انگلستان ترکیب مصرف کنندگان انرژی در موتورها و در کاربردهای صنعتی بصورت زیر است [۱۵].

شکل (۸): میزان انرژی مصرفی توسط بارهای مختلف در انگلستان

اغلب این سیستمها از موتورهای القایی با روتور قفس سنجابی استفاده میکنند. و خروجی توسط ادواتی چون شیرهای تنظیم کننده و دمپرها کنترل میشوند. متاسفانه مقادیر قابل توجهی انرژی توسط این فنها و پمپها تلف میشوند. موتورهای بکار رفته در اغلب این ادوات از مقدار مورد نیاز بزرگتر بوده و سیستمهای مکانیکی تنظیم کننده جریان سیالات در آنها بسیار تلفاتی میباشند. به این عوامل باید هزینه های قابل توجه تعمیر و نگهداشت نیز اضافه شود. با توجه به اینکه هزینه های خرید پمپ معمولاً کمتر از ۵ درصد هزینه های بهره برداری آن در طول عمر سیستم پمپ است، کیفیت بهره برداری عامل مهمتری در تصمیم گیری برای انتخاب سیستمهای پمپ بشمار میرود.

شکل (۹): مقایسه انرژی مصرفی کنترل فلو با شیر و درایو

انتخاب پمپها معمولاً بر اساس حداکثر دبی مورد انتظار صورت میگیرد. در حالیکه اغلب اوقات هرگز فلو ماکزیمم مورد استفاده قرار نمیگیرد. این امر منجر به بزرگ شدن پمپها شده و بدین ترتیب مقدمات کار برای اتلاف انرژی و استهلاک هر چه سریعتر سیستمهای پمپ فراهم میشود. اگر یک پمپ در دور نامی خود کار کند و دبی خروجی پمپ به مصرف برسد سیستم در راندمان مطلوب خود کار خواهد کرد. اما اگر تنها ۵۰ درصد دبی حداکثر مورد نیاز باشد چه اتفاقی

خواهد افتاد؟ بدیهی است که در این حالت نیز موتور در دور نامی خود کار خواهد کرد و توان مصرفی اضافی توسط موتور تلف خواهد شد. از سوی دیگر برای کنترل دبی خروجی لازم خواهد بود از ادوات مقاومتی نظیر شیر خفه کن استفاده گردد. با استفاده از کنترل کننده های دور موتور میتوان جریان سیالات در پمپها را با اعمال تغییر دور موتور، کنترل نمود. امروزه این روش بدلیل انعطاف پذیری و صرفه جویی اقتصادی قابل توجه جایگزین روشهای سنتی متکی بر تنظیم جریان سیال با استفاده از شیرهای تنظیم کننده مکانیکی و دمپرها میشود. در شکل (۹) تفاوت دو روش در میزان مصرف انرژی نشان داده شده است.

۱۳- قوانین افینیتی در کاربردهای پمپ و فن

قوانین افینیتی در کاربردهای پمپ و فن های سانتریفوژ پایه نظری صرفه جویی انرژی با استفاده از درایو هستند. بر طبق این قوانین و در یک پمپ یا فن سانتریفوژ، روابط زیر حاکم است:

$$Q \sim N \quad \text{فلو یا حجم : } Q, \text{ سرعت : } N$$

$$H \sim N^2 \quad \text{هد یا فشار : } H$$

$$P \sim N^3 \quad \text{توان ورودی : } P$$

با توجه به شکل (۱۰) فلو/ ولوم بصورت خطی با دور پمپ/ فن تغییر میکند. برای مثال اگر دور موتور نصف شود فلو نیز نصف خواهد شد. از طرف دیگر با توجه به منحنی وسط فشار یا هد متناسب با مربع دور تغییر میکند. در این حالت اگر دور موتور نصف شود، فشار یا هد چهار برابر کاهش پیدا کرده و به ۲۵٪ خواهد رسید. منحنی سمت راست نشان میدهد که اگر دور موتور نصف شود مصرف توان ۸ برابر کاهش پیدا کرده و به ۱۲,۵٪ خواهد رسید

شکل (۱۰): نمایش تصویری قوانین افینیتی در کاربردهای پمپ و فن سانتریفوژ

به خاطر میسپاریم با استفاده از کنترل کننده های دور موتور و کاهش تنها ۱۵ درصد دور میتوان به میزان ۴۰ درصد در مصرف انرژی صرفه جویی کرد. حال اجازه بدهید کمی دقیقتر به رفتار یک پمپ توجه کنیم. شکل (۱۱) مشخصات یک سیستم پمپ را نشان میدهد. هد استاتیک عبارتست از اختلاف ارتفاع پمپ و تانک مقصد.

بدیهی است که اگر یک پمپ نتواند به این ارتفاع غلبه کند دبی خروجی صفر خواهد بود. مولفه دوم هد اصطکاکی است. که در واقع بیانگر توان مورد نیاز جهت غلبه بر تلفات ناشی از عبور سیال از لوله ها، شیرها، زانوها و دیگر اجزای سیستم لوله کشی میباشد. این تلفات کلا وابسته به سرعت عبور سیال بوده و غیر خطی است. با اضافه کردن دو منحنی، منحنی سیستم بدست میاید.

در شکل (۱۲) منحنی های سیستم و منحنی پمپ باهم نشان داده شده است. نقطه کار یک پمپ محل تلاقی منحنی پمپ و منحنی سیستم می باشد. با توجه به این منحنی ها روشن میشود که میزان فلو در این سیستم ۸۰۰ لیتر در ثانیه و هد ۶۰ متر میباشد. اگر بخواهیم نقطه کار را تغییر بدهیم لازم خواهد بود چیزی به سیستم اضافه نمائیم.

یک روش متداول در اینجا استفاده از شیر خفه کن است. در شکل (۱۳) تاثیر عملکرد شیر خفه کن در نقطه کار پمپ را مشاهده میکنید. در واقع شیر اصطکاک مسیر سیال را افزایش داده و باعث افت فلو میگردد. با وجود اینکه با حضور شیر فلو به ۶۰۰ لیتر در ثانیه کاهش پیدا کرده ولی در توان مصرفی سیستم تغییر محسوسی ایجاد نشده است. حال نگاهی دقیقتر به موضوع خواهیم داشت. همانطور که در شکل (۱۴) مشاهده میکنید، برای دستیابی به فلو مورد نظر از دو روش کنترل فلو با استفاده از شیر و کنترل با استفاده از درایو استفاده شده است. در روش کنترل فلو با شیر میزان توان مصرفی ۰,۸۷۵ درصد و در کنترل فلو با درایو توان مصرفی ۰,۴۲ درصد توان نامی میباشد. برای مثال اگر توان نامی پمپ ۱۰۰KW باشد. تفاوت توان مصرفی دو روش برابر خواهد بود با:

$$100\text{KW} \times 0.875 - (100\text{KW} \times 0.42) = 45.5\text{KW}$$

شکل (۱۴) مقایسه توان مصرفی یک سیستم پمپ در دو حالت: الف) کنترل فلو با استفاده از شیر خفه کن (شکل سمت چپ). ب) کنترل فلو با استفاده از درایو (شکل سمت راست).

شکل (۱۵) - میزان مصرف انرژی در یک پمپ در پنج حالت: با استفاده از شیر برگشتی، با استفاده از شیر خفه کن، با قطع و وصل پمپ، با استفاده از کپلینگ هیدرولیک، با استفاده از کنترل کننده دور موتور

هر چند که در سیستمهایی که هد استاتیک بالا ئی دارند با تغییر دور، راندمان پمپ هم به میزان زیادی تغییر میکند، ولی مزایای دیگر درایو استفاده از آن را بخوبی توجیه میکند. برای مثال میزان فشار هیدرولیک وارد شده به پره های پمپ سانتریفوژ با مجذور سرعت افزایش مییابد. این نیروها به بیرینگهای پمپ اعمال شده و عمر مفید آنها را کاهش خواهد داد. خاطر نشان میشود که عمر بیرینگها بطور معکوس با توان هفتم سرعت متناسب است. از سویی دیگر با کاهش دور نویز و نوسانات سیستم نیز کاهش پیدا میکند.

در شکل (۱۵) میزان مصرف انرژی در یک پمپ در پنج حالت: با استفاده از شیر برگشتی، با استفاده از شیر خفه کن، با قطع و وصل پمپ، با استفاده از کپلینگ هیدرولیک، و با استفاده از کنترل کننده دور موتور نمایش داده شده است. با توجه به این شکل تاثیر قابل توجه کنترل کننده دور موتور در کاهش انرژی مصرفی، نسبت به روشها، مشاهده میشود. در روش شیر برگشتی متناسب با نیاز مقداری از دبی خروجی پمپ به وروی آن عودت داده میشود. بدیهی است که در این حالت توان مصرفی برای هر دبی خروجی ثابت خواهد بود.

امروزه در کشورهای پیشرفته بعنوان یک برخورد اولیه در کاهش سریع مصرف انرژی، مجهز نمودن این نوع فنها و پمپها به درایو میباشد.

نکاتی که باید در طراحی سیستمهای پمپ مورد توجه قرار گیرند عبارتند از:

- سیستم را بزرگ انتخاب نکنید. حتی اگر بعدها نیاز به توسعه پیدا کردید. باز مطلوب آن است که بعدا کنار سیستم موجود پمپ بیشتری اضافه کنید

- توجه کنید که هزینه های خرید پمپ در مقایسه با هزینه های انرژی آن در طول عمر پمپ ناچیز است. پس پمپهای با راندمان بالا را استفاده کنید.  
- از درایو برای کنترل فلو استفاده کنید

- بجای استفاده از یک پمپ بزرگ از تعدادی پمپ کوچک بطوریکه مجموع آنها ظرفیت مورد نیاز را تامین نماید، استفاده کنید. بدین ترتیب میتوانید در صورت عدم نیاز به ظرفیت اضافی آن را از مدار خارج کنید.

۱۴- مثال از محاسبات صرفه جوئی انرژی در فن

برای روشن شدن تاثیر استفاده از درایو در کاربرد فن به مثال زیر توجه میکنیم. نخست اشاره میکنیم به قوانین حاکم بر فن که موسوم به قوانین افینیتی (Affinity Laws) میباشد:

$$\text{Eq. 1: } (N1 / N2) = Q1 / Q2$$

$$\text{Eq. 2: } (N1 / N2)^2 = P1 / P2$$

$$\text{Eq. 3: } (N1 / N2)^2 = T1 / T2$$

$$\text{Eq. 4: } (N1 / N2)^3 = HP1 / HP2$$

در معادلات فوق N معرف سرعت، Q معرف میزان جریان سیال، T معرف گشتاور، HP معرف توان مصرفی و P معرف فشار است.

حال فرض میکنیم یک فن با موتور ۲۵۰hp با راندمان ۹۵% موجود است. و سیکل کار آن را در هر هفته بصورت زیر در نظر میگیریم:

بدون استفاده از درایومیزان انرژی مصرفی در هر هفته برابر است با:

با استفاده از درایومیزان انرژی مصرفی در هر هفته برابر است با:

میزان صرفه جوئی انرژی در سال برابر است با:

و اگر ارزش هر کیلووات ساعت انرژی را ۴ سنت در نظر بگیریم ارزش انرژی صرفه جوئی شده برابر خواهد بود با:

۱۵- یک مطالعه موردی در ایران:

گزارشی از وضعیت فعلی فنهای پیش گرمکن خط ۲ سیمان آبیگ و بررسی امکان صرفه جوئی انرژی در آنها گزارش زیر توسط مرکز تحقیقات سیمان آبیگ آماده شده است:

فنها در صنعت سیمان کاربرد گسترده ای دارند. و برای انتقال گازهای ناشی از فرایند تولید سیمان و یا انتقال مواد از آنها استفاده میشود. از آنجائی که شرائط فرایندی با توجه به تغییرات پارامترهای آن ثابت نمی باشد. در نتیجه میزان تولید گازهای ناشی از فرایند با توجه به تغییرات پارامترهای آن ثابت نمی باشد. در نتیجه میزان تولید گازهای فرایندی نیز متغیر بوده و لازم ست این امر با تغییر هوادهی فنها تحت کنترل باشد. از متداول ترین روشهای کنترلی که برای فلوی گاز در فن ها تا بحال مورد استفاده قرار گرفته است، کنترل فلو توسط دریچه در ورودی فن میباشد. اگر چه این روش، طریقه ای موثر در کنترل فلو بوده اما در مصرف انرژی تاثیر قابل ملاحظه ای نداشته است. در صورتی که کنترل فلوی گاز با استفاده از کنترل دور فن، علاوه بر کارائی بهتر بمیزان زیادی در مصرف انرژی الکتریکی فن صرفه جوئی انرژی ایجاد خواهد کرد.

بعنوان مطالعه موردی فن های پیش گرمکن واحد ۲ سیمان آبیگ مورد بررسی قرار میگیرد. بمنظور آنکه بتوان میزان بالقوه انرژی قابل صرفه جوئی در این فن ها بدست آید از دو روش:

۱- محاسبه توان با استفاده از پارامترهای بدست آمده از فرایند

۲- اندازه گیری توان موتور درایو

استفاده کرده و یک بررسی مقایسه ای بین ایندو بعمل می آوریم. برای محاسبه توان از رابطه معمول آن: استفاده کرده ایم. پارامترهای مورد نیاز برای محاسبه نیز در فرایند و در شرائط نرمال بهره وری اندازه گیری

شد.

$$Q = 327,000 \text{ m}^3/\text{h} \text{ فلوی گاز}$$

$P1 = -560 \text{ mm WG}$  فشار هوا قبل از دریچه (شرایط فرایند)

$P1 = -1100 \text{ mm WG}$  فشار هوا بعد از دریچه و قبل از فن

$P2 = -10 \text{ mm WG}$  فشار هوا بعد از دریچه (شرایط فرایند)

وضعیت دریچه ۲۲٪ و دور موتور برابر با دور نامی ۹۹۰ RPM ، و توان نامی موتور فن ۱۲۰۰ KW با راندمان ۰,۸ بود. در این شرایط میزان توان مصرفی فن با استفاده از پارامترهای بهره برداری و با توجه به  $P \square$  فرایند : و با استفاده از  $P \square$  فن، یعنی تفاوت فشار ورودی و خروجی فن، توان مصرفی عبارت است از :  
و مقدار خوانده شده توسط دستگاه واتمتر برای هر دو فن شماره ۲۵ و ۲۶ (فن های پیش گرمکن ) بصورت زیر بود:

$$P35 = 1260 \text{ KW}$$

$$P36 = 1210 \text{ KW}$$

مقایسه دو مقدار توان فن ( محاسبه شده و اندازه گیری شده) حداقل دو مسئله را روشن میکند:

۱- صحت محاسبات انجام شده ( عدد ۱۲۱۲ در مقابل ۱۲۶۰ و یا ۱۲۱۰ ).

۲- استفاده از دریچه باعث افزایش  $P \square$  فن شده و این امر باعث افزایش توان مصرفی فن شده است.

مورد فوق بخوبی نشان میدهد که حذف دریچه ورودی و استفاده از کنترل دور میتواند شرایط کار فن را به شرایط فرایند نزدیکتر کرده و در آنصورت در مصرف انرژی فن کاهش قابل ملاحظه ای مشاهده خواهد شد. نهایتاً بر روی فن شماره ۲۶ کنترل دور نصب شد و در حالیکه دور فن روی ۶۸۰ RPM تنظیم شده بود شرایط فرایندی مشابه با حالت بدون کنترل دور فراهم شده و تولید نیز به حالت نرمال رسید. در این حالت شرایط دریچه ۱۰۰٪ باز و مقدار توان مصرفی موتور ۵۶۰ KW قرائت گردید. همانگونه که انتظار داشتیم با استفاده از کنترل دور توانستیم توان فن را به شرایط بهره برداری قبل رسانده و توان مصرفی را بمیزان زیاد کاهش دهیم. انتظار میرود با توجه به میزان سرمایه گذاری انجام شده جهت تهیه کنترل دور مورد نیاز، زمان بازگشت سرمایه ۲ سال باشد.

۱۶- سیستمهای تهویه مطبوع

موضوع صرفه جویی انرژی در دنیای رقابتی امروز حتی آثار خود را در سیستمهای تهویه مطبوع هتلها نیز خود را مطرح کرده است. در این مکانها امکان صرفه جویی انرژی تا مرز ۵۰ درصد روی سیستمهای HVAC یا سیستمهای حرارتی و هواسازی و تهویه مطبوع ، وجود دارد. و سرمایه گذاری اولیه در مدت دو سال از محل صرفه جویی انرژی قابل بازیابی میباشد.

۱۷- ماشین تزریق پلاستیک

در يك ماشین تزریق پلاستیک استفاده از کنترل کننده دور موتور میتواند تا ۵۰ درصد صرفه جویی در مصرف انرژی بدنبال داشته باشد [۲]. برای روشن شدن این مطلب به دیاگرام زیر توجه میکنیم:

شکل (۱۶) مصرف انرژی در يك سيكل كاري ماشین تزریق پلاستیک- بدون استفاده از درایو در دیاگرام فوق مصرف انرژی در يك سيكل كاري نشان داده شده است. این حالت نرمال کار ماشین بوده و در این وضعیت از درایو استفاده نشده است. با استفاده از کنترل کننده دور موتور میتوان توان تلفاتی ماشین را بمیزان قابل توجهی کاهش داد. مضافاً اینکه در این صورت ماشین خیلی نرمتر کار کرده و از شوکهای مکانیکی اجتناب خواهد شد. خود این امر منجر به کاهش هزینه های تعمیر و نگهداشت ماشین میشود . در دیاگرام زیر توان مصرفی ماشین در حالت کار با کنترل کننده دور موتور نمایش داده شده است:

شکل (۱۷) مصرف انرژی در یک سیکل کاری ماشین تزریق پلاستیک- با استفاده از درایو با مقایسه دو دیاگرام مشاهده میشود که مصرف انرژی از ۴۲ کیلووات ساعت به ۲۷ کیلووات ساعت تقلیل پیدا کرده است.

۱۸- صرفه جوئی انرژی در تاسیسات آب و فاضلاب

شرکت Vacon سازنده درایوهای AC گزارش کرده است [۱۲] که در سیستم تصفیه فاضلاب شهر گرومز سوئد با استفاده از درایو ۴۰,۵٪ صرفه جوئی انرژی بدست آمده است. این درحالی است که در سیستم فوق و با استفاده از درایو مصرف مواد شیمیائی نیز ۵۳٪ کاهش پیدا کرده است. اینک شرکت Vacon راه حل‌های جامعی در تاسیسات آب و فاضلاب ارائه میدهد. این راه حل‌ها شامل طراحی این تاسیسات، انتخاب درایو، و محاسبات صرفه جوئی انرژی میشود [۱۳]. برای اطلاعات بیشتر در این زمینه با شرکت پرتو صنعت تماس بگیرید.

۱۹- کمپرسورها

شرکت اطلس کوپکو موفق شده است با استفاده از درایو مصرف انرژی کمپرسورهای تولیدی خود را بمیزان ۳۵٪ کاهش دهد. در کنار این دستاورد مهم اطلس کوپکو توانسته است با استفاده از درایو فشار کمپرسور را با دقت و پایداری بیشتری کنترل کند، جریان راه اندازی را محدود نماید و ضریب قدرت را به بیش از ۹۵٪ برساند. و بدین ترتیب این کمپرسورها نیازی با خازنهای اصلاح ضریب قدرت ندارند. از سال ۱۹۹۴ بعد که اطلس کوپکو این کمپرسورها را معرفی کرده است توانسته است بازار کمپرسورهای دنیا را تسخیر کند. این رویکرد سیستمی در طراحی و ارائه محصول با کیفیت، نمونه خوبی از افزایش مزیت رقابتی یک بنگاه اقتصادی میباشد.

۲۰- نیروگاهها

در نیروگاهها پتانسیل قابل توجهی برای صرفه جوئی انرژی وجود دارد. مصرف داخلی نیروگاههای بخاری میتواند بین ۵ تا ۱۴ درصد انرژی تولید شده توسط نیروگاه باشد. این میزان انرژی عمدتاً در ID فن، FD فن، فید پمپ، فنهای کولینگ تاورف پمپهای سیرکولاسیون و خنک کن مصرف میشود. یک مطالعه موردی از نیروگاههای هند نشان میدهد [۱۴] که از مجموع ۲۲ واحد نیروگاهی ۲۱۰ مگاواتی، با بکارگیری درایو در فنهای ID و یا پمپهای BFP، سالانه بالغ بر ۱۵۸ میلیون کیلووات ساعت انرژی، به ارزش ۱۱,۳ میلیون دلار صرفه جوئی انرژی حاصل میگردد. این در حالی است که ارزش سرمایه گذاری ولیه ۷/۲۵ میلیون دلار بوده است. و بدین ترتیب میتوان انتظار داشت که در کمتر از ۳/۲ سال سرمایه گذاری اولیه مستهلک شده و عواید سرشاری نصیب نیروگاهها گردد. در جدول (۴) خلاصه ای از این بررسی را مشاهده میکنید.

جدول (۴): بررسی نتایج استفاده از درایو در برخی از کاربردهای با مصرف انرژی بالا بمنظور کاهش مصرف داخلی نیروگاهها در کشور هند

۲۱- سیمان

در ایران حدود ۹٪ انرژی الکتریکی صنعتی در صنایع سیمان مصرف میشود. مطالعاتی که در سال ۲۰۰۲ توسط آقای علیرضا شیرازی در صنایع سیمان انجام گرفت نشان داد [۱۲] که میزان مصرف انرژی در این صنایع نسبت به استانداردهای جهانی آن خیلی بالا است. در شکل (۱۸) شدت انرژی الکتریکی مورد نیاز در صنایع سیمان ایران برای تولید هر تن سیمان با بهترین حالت جهانی آن نشان داده شده است. و در جدول (۵) خلاصه ای از این مطالعه نشان داده شده است.

شکل (۱۸): پتانسیل صرفه جوئی در مصرف انرژی الکتریکی در صنایع سیمان ایران در مقایسه با بهترین حالت جهانی آن (Kwh/Ton)

اطلاعات فوق نشان می‌دهد که در هر کارخانه سیمان می‌توان حدود ۱,۵ میلیون دلار در هر سال در مصرف انرژی الکتریکی صرفه‌جوئی نمود و اگر تعداد خطوط تولید سیمان را در حال حاضر ۶۰ خط تولید در نظر بگیریم میزان مصرف انرژی الکتریکی در صنایع سیمان سالانه بالغ بر ۹۰ میلیون دلار خواهد بود. برای بدست آوردن این نتایج ارزش هر کیلووات ساعت انرژی الکتریکی ۶ سنت در نظر گرفته شده است. هر چند که این مقدار صرفه جوئی انرژی تنها با استفاده از درایو بدست نمی‌آید ولی استفاده از درایو سهم عمده‌ای در این صرفه جوئی خواهد داشت.

## ۲۲- قابلیت‌های کنترل کننده های دور موتور مدرن

درایوهای مدرن امروزی بر اساس تکنولوژی مدولار ساخته میشوند. این امر هم در قسمت‌های سخت افزاری و هم در قسمت‌های نرم افزاری درایو رعایت میشود. ساختار مدولار قابلیت بر آورده سازی بسیاری از نیازهای مشتری را دارد. اغلب این درایوها از تکنولوژی کنترل برداری بهره میگیرند. این روش کنترل امکان کنترل

موتور را با دقت و دینامیک زیاد فراهم می‌آورد. بطوریکه این درایوها اینک قادرند درست نظیر درایوهای DC رفتار نمایند. آنها را میتوان در کاربردهای کنترل سرعت و یا کنترل گشتاور بسهولت مورد استفاده قرارداد. بطوریکه سادگی و استحکام موتورهای القایی درکنار این درایوها مجموعه‌ای مطمئن و کارا از آنها میسازد. هر چند که این درایوها از تکنولوژی الکترونیک قدرت پیچیده استفاده میکنند اما بدلیل استاتیک بودنشان هزینه‌های نگهداشت زیادی به صنعت تحمیل نمی‌کنند.

درایوهای مدرن قادرند بطور اتوماتیک فلو ی مغناطیسی در موتور را در سطح بهینه ان نگهدارند. این ویژگی در جاهائی که بار موتور کم است منجر به صرفه جوئی انرژی خواهد شد.

درایوهای مدرن امروزه در کاربردهای فیدبک و سرو نیز بسهولت بکار گرفته میشوند. ساختار مدولار آنها بگونه‌ای است که میتوان متناسب با کاربرد از کارتهای اختیاری استفاده نمود. این کارتها امکان تطبیق درایو با کاربرد مشتری را فراهم می‌آورند. در کنار این مقدرات سخت افزاری باید به برنامه‌های نرم افزاری متعددی نیز اشاره نمود، که معمولاً توسط سازندگان درایو برای نیازهای مختلف صنعتی ارائه میشود. استفاده از این برنامه‌های کاربردی بسیار ساده بوده و کاربر میتواند برنامه دلخواه خود را انتخاب و در داخل درایو قرارداد. درایوهای امروزی میتوانند بسیاری از فیلد باسهای موجود را پشتیبانی کنند. امروزه پروفی باس به عنوان یک فیلدباس (Open) ، در بسیاری از کاربردهای صنعتی متداول شده است. سازندگان درایو با استفاده از پروفایل Profi Drive بسهولت سازگاری خود را با پروفی باس برقرار میسازند. درایوها علاوه بر ماموریت‌های اصلی خود قابلیت‌های بیشمار دیگری نیز دارند که از جمله میتوان به موارد زیر اشاره نمود:

- حفاظت کامل الکتروموتور در مقابل اضافه جریان و نوسانات ولتاژ

- انعطاف پذیری در کنترل پروسه

- سازگاری با نیازهای کاربردی موتور

سیستم نرم افزاری درایوهای ساخت شرکت Vacon از دو لایه تشکیل شده است. لایه اول نرم افزار سیستم و لایه دوم جهت توسعه نرم افزارهای کاربردی کاربر اختصاص یافته است. با کمک این لایه کاربر میتواند با کمک ابزار گرافیکی و با استفاده از زبانهای رایج برنامه نویسی برنامه‌های کاربردی خود را توسعه دهد. وکن تنها به همین اکتفا نکرده و با آماده نمودن صدها برنامه کاربردی به کاربر کمک میکند بسهولت برنامه کاربردی مورد نظر را در درایو نصب نموده و از آنها استفاده نماید. بعنوان نمونه میتوان به نرم افزارهای کاربردی زیر اشاره نمود:



۲۲-۱- نرم افزار کاربردی کنترل پمپ و فن

همانطور که از نام آن پیداست، این برنامه کاربردی جهت کنترل یک یا چند فن یا پمپ بکار میرود. این نرم افزار بطور اتوماتیک متناسب با فلوی مورد نظر یک یا چند پمپ را روشن کرده و فلو را کنترل میکند. برنامه بطور اتوماتیک تمام پمپ ها را در پررود زمانی مشخص بکار میگیرد.

۲۲-۲- نرم افزار کاربردی کنترل سطح پیشرفته

این نرم افزار کاربردی جهت کنترل دقیق سطح سیال در مخازن بکار میرود. این نرم افزار نیز بطور اتوماتیک تعدادی پمپ را مدیریت میکند.

۲۲-۳- نرم افزار کنترلی Master Follower

این برنامه قادر است تورک مورد نیاز بار را در تعدادی موتور تسهیم نماید. این موتورها متفقا یک بار را درایو میکنند. و این برنامه ناظر به هماهنگی دقیق آنها در تامین گشتاور مورد نیاز بار است

۲۳- درایوهای دور متغیر VACON مصداقی از درایوهای مدرن

کنترل کننده های دور موتور ساخت شرکت وکن نمونه کاملی از درایوهای مدرن امروزی است [۳]. درایوهای وکن دارای ساختاری کاملا مدولار بوده و به کاربر اجازه میدهد با استفاده از نرم افزار قدرتمند داخلی، که بر اساس استاندارد IEC 611131-3 کار میکند، برنامه های خود را توسعه دهد. بدین ترتیب این درایو قادر است در کاربردهای زیادی نقش یک PLC را نیز بازی کرده و به کاربر اجازه میدهد بسهولت برای کاربردهای خود راه حل ارائه دهد. علاوه بر این قابلیت، شرکت وکن در اقدامی بی سابقه با طراحی و توسعه صدها برنامه کاربردی مختلف برای کاربردهای صنعتی، بهره برداری از درایوهای خود را کاملا منعطف نموده است. اینها بخشی از ویژگیهای منحصر بفردی است که درایوهای وکن را تبدیل به نمادی از درایو حرفه ای برای هزاره جدید نموده است. توصیه میکنیم برای آشنائی بیشتر با این درایوهای قدرتمند با شرکت پرتو صنعت تماس بگیرید.

۲۴- مسائلی که درایوهای دور متغیر بوجود میآورند.

هر چند که درایوها مزایای زیادی دراند ولی در انتخاب و بکارگیری آنها باید دقت کافی به عمل آید. خصوصا اگر درایوهای مورد بحث توانهای بالائی داشته و تولید کارخانه به عملکرد آنها کاملا مرتبط باشد. در واقع تحقیقات نشان داده است که نگرانی از ضریب اطمینان درایو بعنوان یکی از موانع اصلی در عدم رغبت صنایع به استفاده از آنها در صرفه جوئی انرژی میباشد [۱۰].

درایوهای ولتاژ متوسط (Medium Voltage Drives) از تکنولوژی ساخت پیچیده ای برخوردارند. اینها معمولا ترکیبی از الکترونیک قدرت، کنترل، میکرو کامپیوترها، ترانسفورماتورها و فیلترها میباشند. پر واضح است که ارزیابی این اجزا و انتخاب درایو نهائی امری دشوار و نیازمند زمان و بسیج کارشناسان متخصص خواهد بود. با این حال چهارچوب ساده زیر میتواند خریداران درایو را در ارزیابی و انتخاب درایو مورد نظرشان یاری دهد. در این چهارچوب پیچیدگیهای داخلی درایو مورد توجه قرار نمیگیرد. بلکه سعی میشود از آثار جانبی درایو عملکرد آن مورد ارزیابی قرارگیرد. بر این اساس مطابق شکل (۱۹) مسائل جانبی درایو را طبقه بندی نموده و ملاکهای برای ارزیابی آنها تعیین میکنیم.

شکل (۱۹): چهارچوب پیشنهادی برای ارزیابی درایوهای ولتاژ متوسط با توجه به آثار جانبی آنها  
ملاك اول تضمین میکند که شبکه برق کارخانه تحت تاثیر عملکرد درایو قرار نگیرد. این موضوع وقتی اهمیت بیشتر پیدا میکند که توان درایوهای مورد بحث زیاد بالا باشد. اعوجاجهای ناشی از عملکرد درایو روی شبکه میتواند عملکرد سایر دستگاههای حساس کنترلی را مختل سازد، تداخل در خطوط مخابراتی کارخانه ایجاد نماید، و یا توان راکتیو از شبکه کشیده شود. و واکنش سازمانهای برق منطقه ای را بدنبال داشته باشد. خلاصه ای از روشهای مختلف جهت کاهش هارمونیکهای ناشی از عملکرد بارهای غیر خطی و از جمله درایو در جدول (۶) آمده است.

میزان تاثیر روی THID تاثیر روی هارمونیکها ملاحظات سازگاری با IEEE519

راکتور AC یا DC 29%-45%

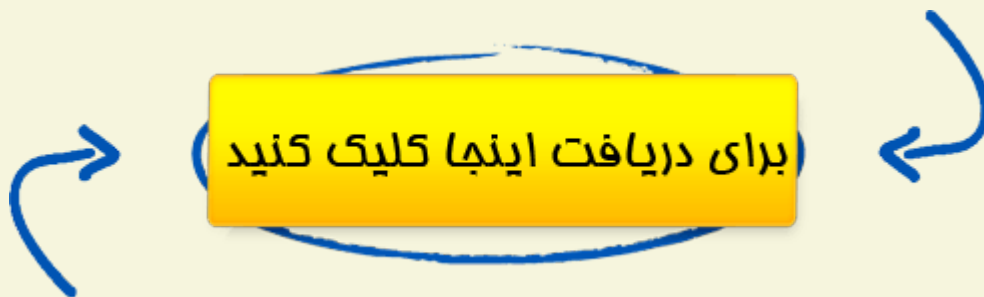
- مرتبه پائین
- کمترین قیمت
- راکتورهای AC حالات گذرای ورودی را محدود میکنند
- مسئله افت ولتاژ روی چک خیر
- ترانسفورماتور ایزوله ۴۵% - کم قیمت خیر

فیلترهای غیر فعال Trap  
 Tuned 20% مورد نظر - قیمت متوسط  
 - کاستن از آستانه تحریک  
 سیستم

Broadband  
 Low pass 5% مورد نظر - خیلی گران  
 - کاستن از آستانه تحریک سیستم  
 - کاهش پایداری سیستم بله بصورت محدود

دیوایس اکتیو VFD با ورودی اکتیو مرتبه پائین - گران  
 - ضرب قدرت را بهبود میدهد  
 - از IGBT استاندارد استفاده می کند بله  
 فیلتر اکتیو مرتبه پائین - گران  
 - MTBF کم  
 - افزایش هارمونیکهای مرتبه بالا  
 - ضرب قدرت را بهبود میدهد بله

سیستمهای چند پالس: ۱۲، ۱۸، ۲۴ پالس ۲۴% - قیمت متوسط  
 - حساس به عدم تقارن جریان خیر  
 ۱۸ پالس ۵% < - بالاترین MTBF  
 - مقاوم در برابر شرایط گذرا  
 - حساس به عدم تقارن جریان بله



#### مقالات مرتبط

- [مقاله در مورد رابطه باورهای دینی و ازدواج موفق](#)
- [مقاله در مورد بررسی لایحه قضا دائی و حذف برخی عناوین مجرمانه](#)
- [مقاله در مورد مدیریت خانواده](#)

از این سایت ها نیز دیدن نمایید

- ترنس لاین ، مرجع مقالات تخصصی فارسی ایران
- گت پیپر ، منبع مقالات انگلیسی و فارسی
- دانش رسان ، بیش از 1.5 میلیون مقاله فارسی