

## معرفی و کاربرد کنترل کننده های دور موتور در صرفه جویی انرژی

### 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 با مصرف انرژی کمتر انجام بدهیم. صرفه جویی 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 جویی 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 از اهمیت ویژه ای برخوردار خواهد بود.

### بهینه سازی مصرف انرژی در الکتروموتورهای صنعتی با استفاده از کنترل کننده های دورموتور

بیش از ۶۵ درصد انرژی الکتریکی، در صنایع، در موتورهای الکتریکی مصرف می شود. فن ها، پمپ ها، و کمپرسورها، بارهای اصلی موتورهای الکتریکی هستند. می توان اقدامات مختلفی برای صرفه جویی انرژی الکتریکی در الکتروموتورهای صنعتی بعمل آورد. در حالت کلی این اقدامات به دو دسته تقسیم می شود:

1- اقدامات مربوط به طراحی موتور

2- اقدامات مربوط به بهره برداری از موتورها

تولید کنندگان موتور اینک موفقیت های خوبی در زمینه طراحی و ساخت موتورهای با راندمان بالا بدست آورده اند. هر چند که قیمت این موتورها بالاتر است، ولی محاسبات ساده ای نشان می دهد که استفاده از این موتورها بسیار اقتصادی تر از انواع قدیمی ترشان است اقدامات مربوط به بهره برداری از موتورها را نیز می توان به دو دسته تقسیم نمود:

- اقدامات روی موتور، نظیر تهویه، روغن کاری
- بارگذاری

فن ها و پمپ ها عمده ترین بارهای موتورهای الکتریکی هستند. این ها از ادواتی نظیر دمپر ها و یا شیرهای خفه کن برای تنظیم دبی استفاده می کنند. اما این روش ها انرژی را تلف می کنند. عملکرد این تجهیزات را می توان به راننده اتومبیلی تشبیه نمود که برای کاهش سرعت، در حالی که پدال گاز را تا آخر فشرده است، از پدال ترمز استفاده می کند.

### انواع روش های کنترل جریان فلو در فن ها و پمپ ها

ابتدا انواع روش های کنترلی در پمپ ها و فن های سانترفیوژ را مورد بررسی قرار می دهیم سپس برتری کنترل کننده الکترونیکی را نسبت دیگر کنترل کننده های مکانیکی مورد ارزیابی قرار میگیرد.

### انواع روش های کنترل جریان فلو در پمپ های سانترفیوژ

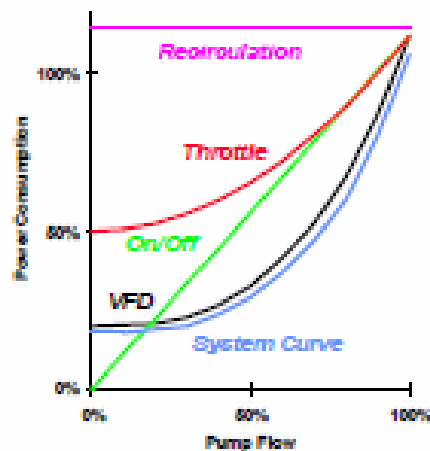
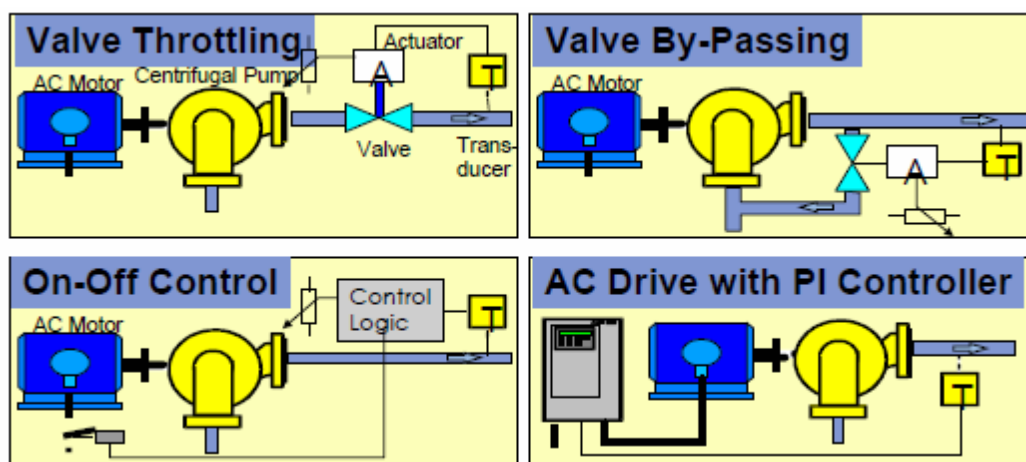
1- کنترل با شیر دستی

2- کنترل بای پاس

3- کنترل روشن و خاموش

4- کنترل کننده دور الکترونیکی

شکل زیر مقایسه مصرف انرژی در روش های مختلف کنترل جریان سیال در پمپ را نشان میدهد.



## انواع روش های کنترل جریان هوا در فن سانتریفوژ

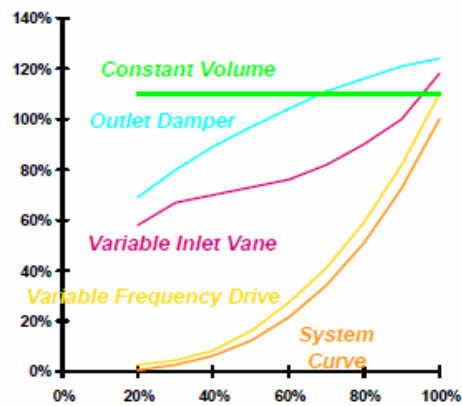
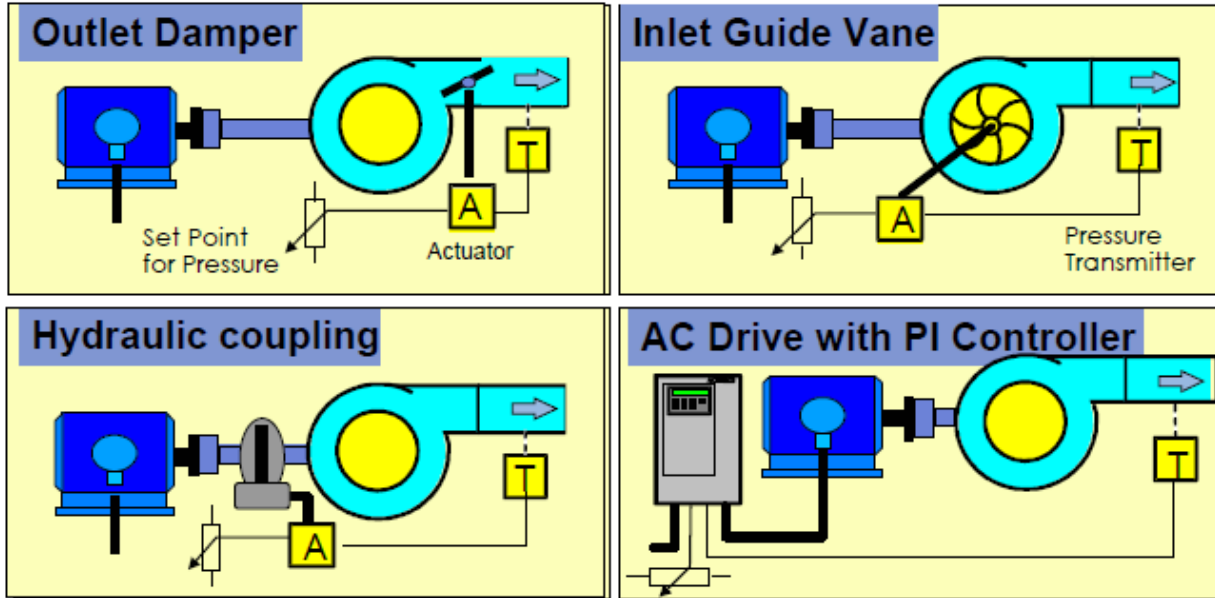
1- کنترل دمپر خروجی

2- کنترل پروانه فن

3- کنترل هیدرو لیکی

4- کنترل الکترونیکی

منحنی زیر مقایسه مصرف انرژی در روش های مختلف کنترل جریان هوا را نشان می دهد.



در این بخش به معرفی و اثر کنترل کننده های دور در کاهش مصرف انرژی پرداخته میشود.

### درایوهای VFD و نحوه کنترل سرعت موتور AC

بدلیل افزایش کاربرد موتورهای القایی در صنعت کنترل این موتورها اهمیت ویژه های پیدا کرده است. درایو الکتریکی در موتورهای الکتریکی عبارت است از سیستمی که سرعت و گشتاور یک موتور الکتریکی را کنترل می کند. درایو VFD یک سیستم برای کنترل کردن سرعت چرخش یک موتور AC با کنترل کردن فرکانس و ولتاژ تغذیه اعمال شده به موتور الکتریکی است.

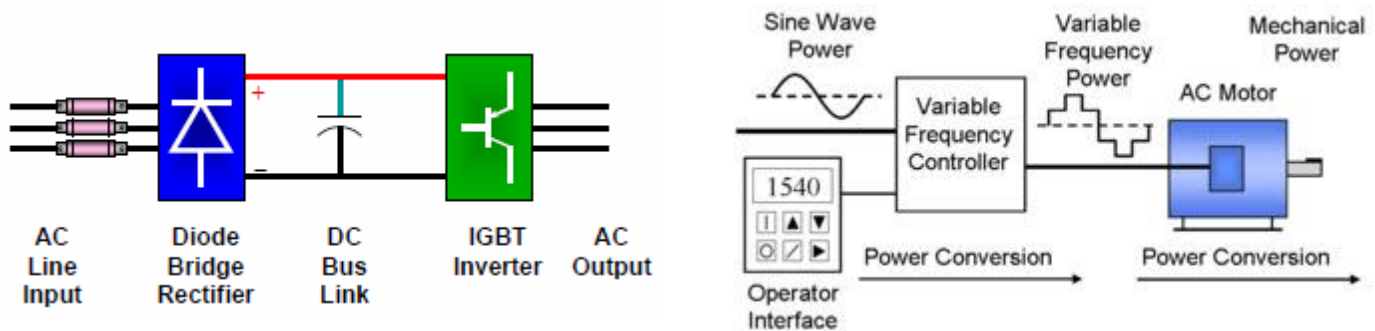
VFD به نامهای AFD (درایو فرکانس قابل تنظیم) یا VSD (درایو سرعت متغیر) نیز خوانده می شود. همچنین به مدارهای اینورتری که دارای فرکانس و ولتاژ خروجی قابل تغییر باشند درایو الکتریکی گفته می شود. این درایو بر این اصل عمل می کند که سرعت سنکرون یک موتور AC به فرکانس تغذیه آن موتور بستگی دارد و همچنین بر اساس رابطه زیر به تعداد قطبهای آن موتور.

$$RPM = \frac{120 \times f}{p}$$

در این رابطه RPM دور بر دقیقه است، F فرکانس تغذیه موتور (فرکانس خروجی درایو) و P تعداد قطب های موتور الکتریکی تحت کنترل می باشد. سرعت گردش موتور های سنکرون بر طبق رابطه فوق است و در موتورهای القایی سرعت رتور کمی کمتر از این سرعت سنکرون است. به طور مثال در یک موتور ۶۰ هرتز و ۴ قطب، دور موتور سنکرون برابر ۱۸۰۰ دور بر در دقیقه و در موتور القایی تحت بار این سرعت حدوداً برابر ۱۷۵۰ دور در دقیقه خواهد بود. (اختلاف به دلیل وجود لغزش در موتور است.)

### معرفی بر سیستم VFD:

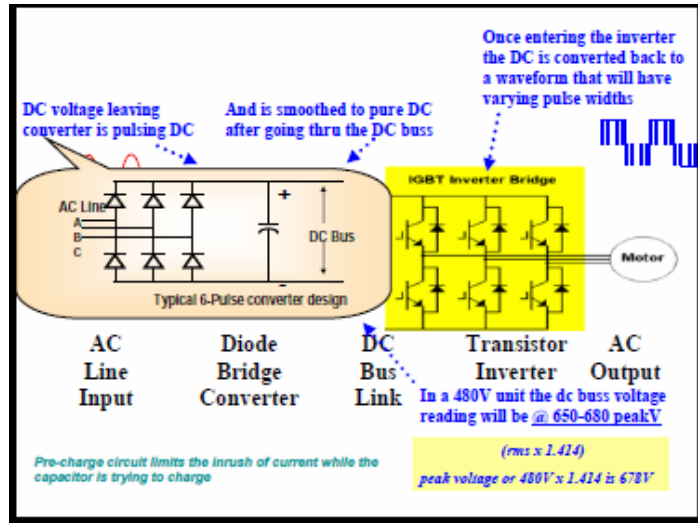
موتورهای استفاده شده در سیستم VFD معمولاً سه فاز هستند. شکل زیر بلوکی از این سیستم را نشان داده است. سیستم کنترل کننده فرکانس به وسیله اپراتور فرمان گرفته و توان AC را به یک توان AC با فرکانس متغیر تبدیل می کند.



در این حالت ابتدا سیگنال AC به DC تبدیل شده و سپس دوباره توسط اینورتر به AC تبدیل می شود. ولتاژ اعمال شده طبق مشخصه موتور به این موتور الکتریکی باید دارای رابطه زیر باشد که n عدد ثابتی است.

$$n = v/f$$

مثلاً یک موتور با مشخصه عملکرد 460 ولت و فرکانس 60 هرتز چنانچه فرکانسش به 30 هرتز تغییر کرد می باید ولتاژش نیز به 230 ولت کاهش یابد تا ضریب n ثابت بماند. برای کنترل این فرآیند از مدولاسیون PWM استفاده می شود.



## پرسش و پاسخ در مورد کنترل کننده های دور

### اینورتر چیست؟

اینورتر یا درایو AC به دستگاهی گفته می شود که به کمک آن می توان سرعت یک موتور سه فاز را کنترل کرد، بدون آنکه قدرت و گشتاور موتور کاهش یابد. اینورترها در ظرفیتهای مختلف ساخته می شوند مثلاً برای یک موتور با توان 20 اسب بخار باید از اینورتر HP ۲۰ استفاده کرد.

### انواع اینورتر از نظر ورودی کدامند؟

از نظر ورودی اینورترها به دو دسته تک فاز و سه فاز تقسیم می گردند. البته خروجی همه آنها سه فاز است. معمولاً برای اینورترهای با توان بالای 3 اسب فقط از ورودی سه فاز استفاده می گردد.

### انواع اینورترها از نظر کاربرد کدامند؟

از نظر کاربرد اینورترها به دسته های مختلفی تقسیم می شوند. برای راه اندازی پمپ ها، فن ها، آسانسور، جرثقیل، نوارهای نقاله، دستگاههای اکسترودر و ... از اینورتر استفاده می شود. برای پمپ و فن از اینورترهای با گشتاور متغیر و برای آسانسور و نوار نقاله و جرثقیل از اینورتر با گشتاور ثابت و برای اکسترودرها از اینورتر با فیدبک سرعت (انکودر-PG) استفاده می شود.

### مزایای استفاده از اینورترها چیست؟

کاهش انرژی مصرفی و لذا کاهش هزینه برق، کاهش جریان راه اندازی و در نتیجه طولانی شدن عمر موتور، امکان تغییر سرعت موتور، امکان تغییر جهت حرکت موتور، داشتن حفاظت در برابر اضافه بار، امکان کار موتور در شرایطی که ولتاژ ورودی متغیر است، امکان کنترل از راه دور، ایجاد سرعت بیشتر از سرعت نامی موتور، برنامه ریزی کردن حرکت.

### اینورتر چگونه مصرف برق را کاهش می دهد؟

اینورتر به صورت هوشمند میزان بار وارده به موتور را تشخیص داده و متناسب با همان بار، به موتور جریان می دهد و این جریان در بسیاری از مواقع از جریان نامی موتور کمتر است.

### کدام اینورتر کیفیت دارد؟

اینورترهایی که دارای استانداردهای CE,UL,CUL باشند، مورد تأیید صنایع اروپا و آمریکا بوده و از نظر کیفیت مناسب می باشند.

## معرفی درایو یا اینورتر

دستگاهی الکترونیکی است که بوسیله آن می توان سرعت موتورهای سه فاز را تغییر داد . از دیگر کاربردها و مزایای آن می توان به موارد زیر اشاره کرد:

- تنظیم کننده سرعت موتور
- تغیر دهنده جهت دور به راحتی و بدون نیاز به کنتاکتور
- روشن و خاموش نمودن موتور بدون نیاز به قطع و وصل برق اصلی
- کاهش ضربه های مکانیکی و در نتیجه افزایش طول عمر مفید قسمت مکانیکی
- حفاظت موتور در مقابل افزایش ولتاژ و جلوگیری از آسیب دیدن موتور
- راه اندازی نرم موتور بدون هیچگونه ضربه به قسمت های مکانیکی مثل کویلینگها ، گیر بکسها ، تسمه ها ، زنجیرها و ... و در نتیجه افزایش طول عمر مفید موتور و سایر قسمت های مکانیکی را به دنبال خواهد داشت.
- حفاظت موتور در برابر اضافه بار: در این حالت چنانچه بار موتور از مقدار معمول مجاز بیشتر شود ، اینورتر موتور را خاموش می نماید و به کاربر پیام اضافه بار نشان می دهد.
- جلوگیری از گرم کردن و در نهایت سوختن موتور در کاربرد هایی که موتور به طور مداوم چپگرد و راستگرد و یا خاموش می شود.
- کاهش هزینه برق مصرفی: به دلیل آنکه موتور یک بار راکتیو از شبکه برق میکشد چنانچه از درایو برای راه اندازی و کنترل موتور استفاده گردد چون درایو دارای یک بانک خازنی می باشد این بار راکتیو را جبران می نماید و تنها بار اکتیو را از شبکه برق مصرف می نماید، بنابراین جریان مصرفی بسیار کاهش می یابد. همچنین چون در بسیاری از کاربردها انرژی زیادی برای راه اندازی لازم است موتور انتخاب شده را با توان بالاتری انتخاب می کنند بنابراین میزان جریان زیادتری هم در حین کار از شبکه استفاده می کند. چنانچه از اینورتر استفاده شود ، اینورتر به صورت کاملا اتوماتیک این جریان را در حین راه اندازی به مقدار لازم افزایش و در حین کار به مقدار لازم کاهش می دهد ، بنابراین به طور کلی هزینه برق مصرفی کاهش چشم گیری خواهد داشت.
- کاهش جریان راه اندازی: در بسیاری از کاربردها به هنگام راه اندازی ، موتور جریان بسیار بالایی از شبکه می کشد و موجب کاهش ولتاژ شبکه و ایجاد صدماتی به تاسیسات برق رسانی و سایر دستگاهها می گردد . این جریان به 6 برابر جریان نامی موتور می رسد که بسیار نا مطلوب می باشد. چنانچه از اینورتر استفاده شود این اضافه جریان بسیار اندک خواهد شد ( حداکثر ۱/۲ برابر ) به عنوان مثال اگر یک موتور با جریان نامی 10 آمپر کار کند در هنگام راه اندازی این جریان به 60 آمپر می رسد و در صورت استفاده از اینورتر این جریان حداکثر به 12 آمپر می رسد. کاهش جریان موتور به صورت اتوماتیک در

هنگامی که بار موتور کم می شود . این قابلیت به غیر از کاهش هزینه برق مصرفی موجب افزایش طول عمر مفید موتور خواهد شد.

- امکان استفاده از برق تکفاز 220 ولت به جای سه فاز 380 ولت برای راه اندازی موتور سه فاز حداکثر با توان 3 اسب بخار (۲/۲ کیلو وات). به این معنا که می توان با برق خانگی یک موتور سه فاز را کاملاً به صورت عادی راه اندازی نمود.
- قابلیت داشتن دورهای مختلف به صورت حافظه ای . تبدیل یک موتور یک دور به یک موتور چند دور با سرعتهای دلخواه
- امکان ایجاد فشار ثابت در کاربرد پمپها : به این ترتیب که با تغییر دور موتور فشار مورد نظر را ثابت نگه میدارد. به عنوان مثال فشار آب یک مخزن را ثابت نگه می دارد بنابراین در هنگام مصرف آب دور موتور به صورت خودکار زیاد می شود و در هنگامی که آب مصرف نمی گردد دور موتور به صورت خودکار کاهش می یابد . بنابراین دور موتور با مقدار مصرف تغییر می نماید بنابراین آب با فشار ثابت به تمام نقاط می رسد.

### کاربردهای یک اینورتر

استفاده از اینورترها بر روی پمپ و فن و کمپرسورها در طی سال های اخیر بسیار گسترش یافته است . استفاده از آنها برای کنترل دور موتورهای مزایای زیادی دارد که مهمترین آنها عبارتند از:

- عدم نیاز به دستگاههای کنترل دبی مکانیکی .
- ذخیره انرژی تا 80%
- نبودن شوک راه اندازی
- افزایش عمر مفید قطعات مکانیکی

از اینورترها در سه ناحیه استفاده می گردد:

- فعالیتهای گشتاور ثابت مثل میکسرها , اکسترودرها , نوارهای نقاله و ...
- فعالیتهای توان ثابت مثل کشش و دستگاههای ماشینی
- فعالیتهای گشتاور متغیر مثل فن و پمپ

که بیشترین صرفه جویی انرژی در کاربردهای گشتاور متغیر حاصل می شود.

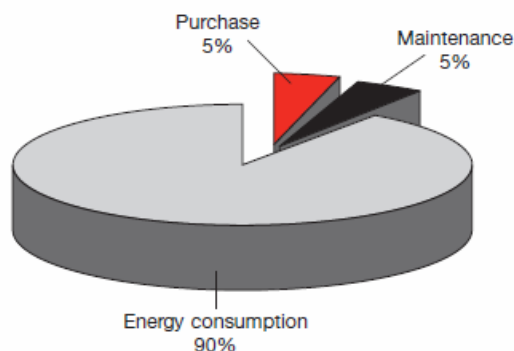
### پمپها و فن ها

چیزی حدود 40 درصد انرژی مصرفی در بخش صنعت در پمپ ها و فن ها مصرف میشود. اغلب این سیستمها از موتورهای القائی با روتور قفس سنجابی استفاده میکنند. و خروجی توسط ادواتی چون شیرهای تنظیم کننده و دمپرها کنترل میشوند. متأسفانه مقادیر قابل توجهی انرژی توسط این فن ها و پمپ ها تلف میشوند .موتورهای

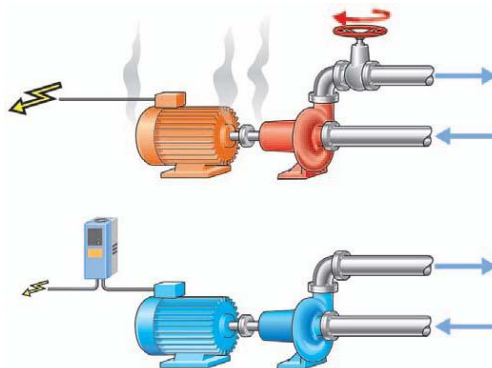


بکار رفته در اغلب این ادوات از مقدار مورد نیاز بزرگتر بوده و سیستمهای مکانیکی تنظیم کننده جریان سیالات در آنها بسیار تلفاتی میباشند.

به این عوامل باید هزینه های قابل توجه تعمیر و نگهداشت نیز اضافه شود. با توجه به اینکه هزینه های خرید پمپ معمولا 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.



انتخاب پمپ ها معمولا بر اساس حداکثر دبی مورد انتظار صورت میگیرد. در حالیکه اغلب اوقات هرگز فلوی ماکزیمم مورد استفاده قرار نمیگیرد. این امر منجر به بزرگ شدن پمپ ها شده و بدین ترتیب مقدمات کار برای اتلاف انرژی و استهلاک هر چه سریعتر سیستم های 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 50 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 پمپ ها را با اعمال تغییر دور موتور، کنترل نمود. امروزه این روش بدلیل انعطاف پذیری و صرفه جوئی اقتصادی قابل توجه جایگزین روشهای سنتی متکی بر تنظیم جریان سیال با استفاده از شیرهای تنظیم کننده مکانیکی و دمپرها شده است. در شکل زیر تفاوت دو روش در میزان مصرف انرژی نشان داده شده است. شکل زیر کنترل جریان فلو در پمپ را با استفاده از شیر دستی و کنترل دور الکترونیکی را نشان میدهد.



## قوانین افینیتی در کاربردهای پمپ و فن

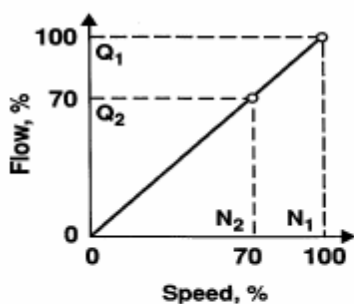
قوانین افینیتی در کاربردهای پمپ و فن های سانتریفوژ پایه نظری صرفه جوئی انرژی با استفاده از درایو هستند . بر طبق این قوانین و در یک پمپ یا فن سانتریفوژ، روابط زیر حاکم است:

✓ فلو یا حجم با توان اول سرعت متناسب است.

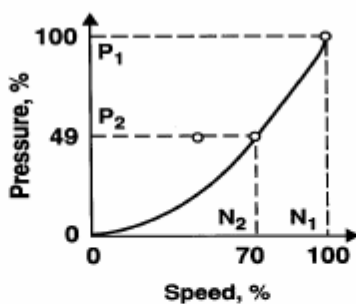
✓ فشار با توان دوم سرعت متناسب است.

✓ توان با توان سوم سرعت متناسب است.

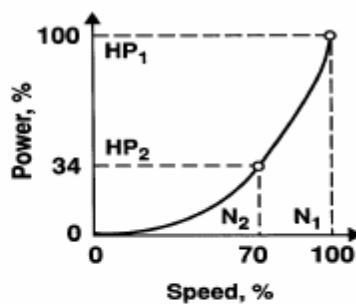
رابطه زیر تغییرات فشار و فلو یا حجم و توان ورودی با تغییرات سرعت موتور را نشان میدهد.



$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{N_2}{N_1}$$



$$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2$$



$$\frac{HP_2}{HP_1} = \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^3$$

N = Speed  
Q = Flow  
P = Pressure  
HP = Horsepower

با توجه به شکل بالا فلو بصورت خطی با دور پمپ یا فن تغییر میکند، فشار با مربع دور تغییر میکند و توان با مکعب دور تغییر می کند. برای مثال در اینحالت اگر دور موتور نصف شود، فشار یا هد چهار برابر کاهش پیدا کرده و به ۲۵ درصد خواهد رسید. منحنی سمت راست نشان میدهد که اگر دور موتور نصف شود مصرف توان ۸ برابر کاهش پیدا کرده و به ۱۲/۵ درصد خواهد رسید.

## مثال از محاسبات صرفه جوئی انرژی در فن

برای روشن شدن تاثیر استفاده از درایو در کاربرد فن به تشریح یک مثال میپردازیم. نخست مجددا اشاره میکنیم به قوانین حاکم بر فن که موسوم به قوانین افینیتی (Affinity Laws) می باشند:

Eq. 1:  $(N1 / N2) = Q1 / Q2$

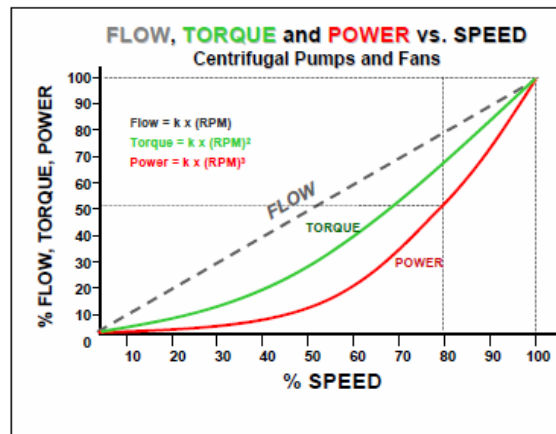
Eq. 2:  $(N1 / N2)^2 = P1 / P2$

Eq. 3:  $(N1 / N2)^2 = T1 / T2$

Eq. 4:  $(N1 / N2)^3 = HP1 / HP2$

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

در شکل زیر چنانچه سرعت پمپ ۸۰ در صد کاهش یابد در این صورت با استفاده از کنترل کننده دور و بر اساس قانون افینیتی توان مصرفی حدود ۵۰ درصد کاهش می یابد و اگر سرعت ۵۰ درصد کاهش یابد توان مصرفی ۱۲/۵ در صد خواهد شد.



(0/8 \* 0/8 \* 0/8 = 0/512, or 51/2% power consumed)

(0/5 \* 0/5 \* 0/5 = 0/125, or 12/5% power consumed)

شکل زیر مقایسه صرفه جویی انرژی در پمپ ها و فن ها را با استفاده از کنترل دمپر و ولو با کنترل کننده دور را نشان میدهد.

