

بررسی و ارزیابی راندمان پمپاژ آب در موتورخانه های سنتی و مدرن کشاورزی استان خوزستان

منوچهر فتحی مقدم^۱، بابک لشکرآرا^۲ و علی آرمان^۳

چکیده

مصرف بی‌رویه انرژی اثر نامطلوبی بر رشد و توسعه اقتصادی یک کشور دارد. تأمین مصرف فزاینده انرژی مستلزم سرمایه‌گذاری بیشتر در بخش انرژی، واردات فناوری، و بالاخره کاهش پتانسیل تولید انرژی را بدنبال خواهد داشت. هدف از این تحقیق نشان دادن حجم عظیمی از انرژی الکتریکی است که به دلیل تلفات زیاد ناشی از بهره‌برداری ضعیف الکتروپمپ‌های آبرسانی در موتورخانه های سنتی و مدرن نسبت به یک بهره‌برداری استاندارد از دست می‌رود. در این تحقیق شاخص راندمان بهره‌برداری فعلی استان خوزستان برای سیستم‌های پمپاژ سنتی و مدرن بطور جداگانه اندازه‌گیری و با شاخص راندمان استاندارد و قابل انتظار آنها مقایسه شده است. نتایج نشان می‌دهد که با استاندارد کردن طراحی و بهره‌برداری از ایستگاه‌های پمپاژ و همچنین اعمال مدیریت و برنامه‌ریزی در بهره‌برداری از منابع آب و انرژی کشور می‌توان سالانه ۶/۰۷ درصد در مصرف انرژی الکتریکی کل کشور صرفه‌جویی نمود و هزینه تولید برق را در سال حدود ۱۷۸۶ میلیارد ریال با نرخ داخلی و یا ۴۰۱۹ میلیارد ریال با نرخ بین‌المللی کاهش داد.

کلید واژه‌ها: شاخص راندمان استاندارد، راندمان بهره‌برداری، ایستگاه پمپاژ

مقدمه

صنعت و کشاورزی جهت انتقال استفاده می‌شوند. عدم وجود دستورالعمل و استاندارد مشخص در طراحی، انتخاب، نصب و بهره‌برداری از سیستم‌های پمپاژ آبرسانی موجب شده تا این سیستم‌ها بخصوص در بخش کشاورزی سنتی کشور با راندمان بسیار پائینی بهره‌برداری شده و مقدار زیادی از انرژی الکتریکی که می‌تواند برای مصارف ضروری تر در نظر گرفته شود بصورت افت در این سیستم‌ها از بین برود. با توجه به مصرف بیش از ۲۰ درصد انرژی الکتریکی تولیدی در جهان توسط سیستم‌های پمپاژ (۹)، و به لحاظ محدود بودن منابع و نیروگاه‌های تولید کننده انرژی الکتریکی، هرگونه تحقیق و یا ارائه‌های طریقی در جهت کاهش اتلاف انرژی الکتریکی سیستم‌های پمپاژ علی‌الخصوص در زمان کنونی که مشکل گرم شدن و

قسمت اعظم آب مورد نیاز کشاورزی در مناطق خشک و نیمه خشک از منابع زیرزمینی و سطحی تأمین شده که بجز قنات‌ها و چشمه‌ها استخراج آنها بدون استفاده از پمپ امکان پذیر نیست (۲). همچنین در اکثر سیستم‌های آبیاری بارانی و قطره‌ای کاربرد پمپ اجتناب ناپذیر است. استفاده از پمپ در صنعت ضروری تر از کشاورزی بوده و تقریباً تمام انتقال و چرخش آب در صنعت توسط پمپ صورت می‌پذیرد. کاربرد و موارد استفاده وسیع و گوناگون پمپ‌ها در صنعت و کشاورزی موجب تحولات و پیشرفت‌های زیادی در صنعت پمپ‌سازی شده و همه ساله پمپ‌های متنوع در ابعاد و طرح‌های گوناگون برای مقاصد مختلف به بازار عرضه می‌شوند. اما آنچه مورد توجه این تحقیق است شامل پمپ‌های پروانه داری است که اکثراً در

۱- دانشیار گروه سازه‌های آبی دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه

شهید چمران اهواز (fathi49@gmail.com)

۲- به ترتیب دانشجوی دکتری و دانشجوی کارشناسی ارشد گروه

سازه‌های آبی دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز

تاریخ دریافت: ۸۴/۸/۱۷

تاریخ پذیرش: ۸۶/۹/۱۹

استفاده از مشخصات اسمی این سیستم ها (ارائه شده توسط کارخانجات سازنده) محاسبه و مقایسه گردید. بر اساس تجربه و بازدید از موتورخانه ها، شرایط بهره برداری از موتورخانه های کشت و صنعت ها در کشاورزی مدرن و مکانیزه بطور متوسط هم سطح موتورخانه های آب مراکز صنعتی است، به همین دلیل از آمار مصرف برق در بخش صنعتی جهت حجم صرفه جویی انرژی الکتریکی در موتورخانه های مکانیزه استفاده شده است. زیرا حجم استفاده از این موتورخانه ها در صنعت به مراتب بیشتر از کشاورزی است. در پایان، عوامل و علل کاهش راندمان مورد بررسی و پیشنهاداتی در جهت استاندارد نمودن بهره برداری ارائه شده است.

مدل های بهره برداری: استفاده از مدل های

صرفه جوئی و رعایت استانداردهای طراحی نقش بسزائی در کاهش مصرف انرژی ایستگاه های پمپاژ داشته، طول عمر بهره برداری بیشتری را با هزینه کمتر تضمین می نماید (۲۱). در رابطه با کاهش مصرف انرژی در موتورهای برقی طرح های مختلفی در کشورهای پیشرفته به اجرا در آمده است. از جمله طرح بکارگیری موتورهای با دور متغیر در سیستم های پمپاژ کشور آلمان و همچنین برقراری طرح معافیت های مالیاتی در کشور انگلستان برای سرمایه گذاری در کاهش مصرف انرژی الکتریکی می باشد (۱۰). بر اساس تحقیقات انجام شده، به کارگیری موتورهای دور متغیر برای فقط ۳۵ درصد الکتروپمپ های نصب شده در صنایع کشور آلمان موجب صرفه جویی ۱۶ میلیارد کیلووات ساعت انرژی در سال خواهد شد. مؤسساتی مانند یورپمپ^۱ در اروپا و موسسه هیدرولیک^۲ آمریکا راهکارهایی جهت کاهش مصرف انرژی و هزینه های بهره برداری ارائه نموده اند (۱۰). کمیسیون جامعه اروپا هر ساله کنفرانسی جهت

تغییر اقلیم کره زمین ناشی از مصرف بی رویه انرژی مطرح است می تواند از اهمیت ویژه ای برخوردار باشد. با توجه به موارد فوق هدف این تحقیق بدست آوردن شاخص های فعلی راندمان بهره برداری سیستم های پمپاژ مدرن (مورد بهره برداری در کشت و صنعت ها) و سیستم های پمپاژ سنتی (مورد بهره برداری توسط زارعین در کشاورزی سنتی) و مقایسه آنها با شاخص های استاندارد راندمان بهره برداری می باشد. ایستگاه های پمپاژ سنتی انتخاب شده برای این مطالعه عمدتاً از رودخانه کارون آبیگری و در محدوده ۴۰ کیلومتری شمال و جنوب شهر اهواز قرار دارند. برای بررسی راندمان سیستم های پمپاژ مدرن، از ۵ ایستگاه پمپاژ شرکت های بهره برداری سازمان آب و برق خوزستان واقع در مناطق مختلف این استان استفاده گردید. وجود رودخانه های پر آب کشور در استان خوزستان و موقعیت جغرافیائی و اقلیمی آن باعث شده است تا بخش عمده ای از صنعت آب کشور به این استان اختصاص و آن را به صورت یکی از قطب های مهم کشاورزی و صنعتی در سطح کشور مطرح نماید. به همین دلیل بررسی راندمان ایستگاه های پمپاژ مورد مطالعه در خوزستان می تواند الگوی مناسبی از وضعیت راندمان بهره برداری فعلی از ایستگاه های پمپاژ در سطح کشور باشد. بحث در مورد مقدار و هزینه انرژی الکتریکی مصرف شده و صرفه جویی شده ناشی از بهره برداری استاندارد موتورخانه ها از اهداف نهائی این تحقیق است. برای نیل به هدف فوق، راندمان کلی الکتروپمپ ها شامل راندمان هیدرولیکی، مکانیکی، حجمی و الکتریکی در سیستم پمپاژ (پمپ، موتور و سیستم لوله کشی) اندازه گیری شده است. با استفاده از مقادیر اندازه گیری شده، شاخص های فعلی بهره برداری برای سیستم های پمپاژ مدرن و سنتی محاسبه شده است. سپس شاخص های استاندارد بهره برداری با

1- Europump

2- Hydraulic Institute

که به ترتیب از آنها تحت عنوان "نبرد"^۲ و "بیز"^۳ نیز یاد خواهد شد. سیستم استاندارد "بیز"، برای سیستم های پمپاژ کوچک (مصارف صنعتی و خانگی)، و سیستم استاندارد "نبرد" بیشتر برای سیستم های آبرسانی بزرگ در کشاورزی مکانیزه توصیه می گردد. بطور خلاصه استاندارد "بیز" بیشتر توجه به موتور، پمپ، و ضمامم لوله کشی داشته در صورتی که استاندارد "نبرد" دلیل انتقال طولانی آب در کشاورزی مکانیزه بیشتر به قطر، طول و طرح بندی لوله ها در سیستم دهش و مکش توجه دارد (۱۵ و ۱۸).

تاثیر تغییرات فشار (ارتفاع دهش و یا مکش) روی راندمان پمپ، مبنای انتخاب پمپ در سیستم استاندارد "بیز" است. بنابراین پمپی انتخاب می شود که نوسانات فشار (مکش یا دهش) به دلایل مختلف از جمله نوسانات فصلی سطح آب روی راندمان تاثیر زیادی نداشته باشد. اینگونه پمپ ها معمولاً در رده پمپ های گریز از مرکزی قرار گرفته، دارای منحنی راندمان مسطح بوده، و بسته به نقطه کار پمپ در ارتفاع طراحی معمولاً با راندمان ۵۵ تا ۷۷ درصد بهره برداری می شوند (۱۵). مطالعات انجام شده نشان می دهد که رعایت استاندارد "بیز" می تواند موجب افزایش راندمان بهره برداری بمقدار ۱۲ الی ۱۴ درصد گردد (۱۰). این در شرایطی است که معمولاً کشاورزان بدلیل پشتیبانی مالی دولت کمتر انگیزه لازم برای بکار بردن پمپ مناسب با راندمان بالا دارند (۱۵).

در مقایسه با استاندارد "بیز"، بنظر می رسد که استاندارد "نبرد" بیشتر برای پمپ های بزرگ با ظرفیت آبدی بالا کارایی داشته باشد زیرا افت مجاز با قواعد "نبرد"، ۰/۳ تا ۰/۴ متر در هر ۱۰۰ متر طول و با استاندارد "بیز"، ۳/۵ تا ۹/۵ متر برای

تبادل نظر در مورد سیاست گذاری انرژی در اروپا برپا و نشریاتی در رابطه با قانون گذاری در مصرف انرژی منتشر می نماید (۱۲). به موازات این فعالیت ها، در ایالات متحده نیز همواره گزارشات مختلفی در مورد مصرف بهینه و سیاست گذاری در مصرف و قیمت انرژی الکتریکی توسط سازمان های مختلف از جمله توسط سازمان انرژی خورشیدی منتشر می شود (۲۳).

جهت مشخص شدن نقش طراحی و بهره برداری استاندارد از سیستم های پمپاژ و اثر آن در بهبود راندمان و کاهش مصرف انرژی، در زیر نمونه موردی تحقیقاتی که در سال ۱۹۹۶ در کشور هندوستان انجام شده ارائه می گردد (۱۳). بر اساس آمار ارائه شده در سال ۱۹۹۵، برق مصرف شده توسط الکتروپمپ های آبیاری هندوستان برابر ۲۸ درصد از کل فروش برق بوده و نرخ افزایش مصرف برق الکتروپمپ های آبیاری ۱۲ درصد در سال می باشد (۱۳). مطالعات صحرایی و پروژه های تحقیقاتی نشان می دهد که با یک سری اقدامات ساده از قبیل انتخاب الکتروپمپ ها و لوله های با قطر مناسب می توان سهم مصرف برق الکتروپمپ های آبیاری را در هندوستان ۳۰-۵۰ درصد کاهش داد (۱۸ و ۱۹). سازمان جهانی انرژی^۱ استانداردهایی جهت طراحی و بهره برداری از پمپ های آبیاری ارائه نموده که رعایت آنها موجب افزایش راندمان الکتروپمپ ها و صرفه جوئی در مصرف برق بمقدار ۱۲۹ میلیون دلار در سال در هندوستان شده است (۱۳ و ۲۰).

بطور کلی استانداردهای وضع شده در کشور هندوستان از دو سیستم استاندارد زیر تبعیت می نماید. یکی استاندارد بانک ملی توسعه کشاورزی و روستایی و دیگری سازمان استاندارد هندوستان

2- NABARD: National Bank for Agricultural and Rural Development
3- BIS: Bureau of Indian Standards

1- International Energy Initiative

های هیدرولیکی، مکانیکی، و الکتریکی می باشد. برای نیل باین هدف، افت‌های ناشی از عیوب مختلف لوله های مکش و دهش و همچنین اثرات نامطلوب غیر استاندارد بودن آن ها به حساب راندمان کلی ایستگاه پمپاژ منظور شده است. برای این کار یک افت استاندارد با توجه به طول، قطر، جنس، و ضمامم لوله کشی از جداول و نمودارهای موجود (۱۴) محاسبه و به ارتفاع آبرسانی پمپ ها جهت محاسبه ارتفاع کلی پمپاژ اضافه شده است.

برای بررسی راندمان سیستم های پمپاژ مدرن از ۵ ایستگاه پمپاژ شرکت های بهره برداری سازمان آب و برق خوزستان واقع در مناطق مختلف این استان شامل ایستگاه اوان (روی رودخانه کرخه در شمال غربی استان)، ویس (روی رودخانه کارون در شمال اهواز)، کوت امیر (روی رودخانه کارون در جنوب اهواز)، سیبلی (روی رودخانه دز در شمال دزفول)، و نگاز (روی کانال های انحرافی شرکت کشت و صنعت کارون در شمال شوشتر) استفاده گردید (۵، ۶، ۷ و ۸).

برای بررسی راندمان موتورخانه های سنتی نیز، پس از بررسی و مطالعه آمار سازمان آب و برق و همچنین بازدیدهای مقدماتی، تعداد زیادی موتور پمپ برای این تحقیق انتخاب گردید. اما با توجه به شرایط کار موتور پمپ ها و محدودیت زیاد وسائل اندازه گیری از جمله اندازه گیری دبی، عملاً فقط امکان اندازه گیری برای تعداد ۴۱ مورد موتور پمپ که به صورت منفرد توسط کشاورزان محلی در اطراف شهر اهواز روی رودخانه کارون نصب و بهره برداری می شوند، میسر گردید. به هر حال این تعداد محدود تا انجام یک تحقیق گسترده تر می تواند نماینده شرایط کار و راندمان بهره برداری موتور پمپ های سنتی در بخش کشاورزی استان خوزستان باشد. محاسبات برای راندمان موتور خانه های مدرن و سنتی به طور جداگانه در زیر ارائه می گردد.

همان طول در نظر گرفته شده است (۱۳ و ۱۵). در نتیجه قواعد "نبرد" برای کاهش افت، لوله‌هایی با قطر خیلی بزرگتر نسبت به استاندارد "بیز" توصیه می نماید که باعث هزینه اولیه زیاد می شود. اما در عوض کاهش مصرف انرژی را در طول عمر بهره برداری تضمین می نماید. در نتیجه استاندارد "نبرد" مناسب پمپ های مختلط و محوری می باشد که دارای دبی زیاد اما ارتفاع آبرسانی بسیار کمتری نسبت به پمپ های گریز از مرکزی هستند. تحلیل هزینه های دوره عمر بهره برداری نشان می دهد که حتی قطر بهینه لوله نیز به مدت کارکرد پمپ بستگی دارد.

شرایط فرهنگی و اقتصادی نقش بسزائی در کاربرد و کار آیی استانداردها دارد. برای بهره برداری و انتخاب پمپ و قطر لوله مناسب به دانش فنی و استفاده بهینه از امکانات نیاز است که معمولاً کشاورزان به عنوان آخرین مصرف کننده از آن اطلاع کافی ندارند. با این وجود مطالعات در هندوستان نشان می دهد که با رعایت استانداردها می توان راندمان بهره برداری از سیستم های پمپاژ را ۲۰-۱۵ درصد افزایش داد (۱۳ و ۱۶). با توجه به نقش اساسی فرهنگ جامعه در بهبود کیفیت بهره برداری و با استناد به تشابه فرهنگی ایران و هندوستان، مسلماً برقراری و رعایت استانداردها در طراحی، نصب و بهره برداری از ایستگاه های پمپاژ موجب بهبود راندمان و صرفه جویی قابل توجهی در مصرف انرژی الکتریکی در ایران خواهد شد. در این رابطه، نتایج و شاخص های ارائه شده در تحقیق حاضر بستری مناسب جهت توجیه و لزوم استاندارد نمودن بهره برداری از سیستم های پمپاژ فراهم می نماید.

مواد و روش ها

همانطور که قبلاً اشاره شد هدف از این تحقیق بررسی راندمان کلی پمپاژ آب در موتور خانه های مدرن و سنتی کشاورزی با در نظر گرفتن تمام افت

جدول ۱- مشخصات فعلی بهره برداری از الکتروپمپ های ایستگاه های پمپاژ مدرن

نام ایستگاه	تعداد	نوع پمپ	آبدهی Q (m^3/s)	ارتفاع کلی آبرسانی H (m)	آمپر مصرفی (A)	ولتاژ برق (V)	$\cos\phi$	توان مصرف شده (kW)	توان خروجی	راندمان (درصد)	راندمان وزنی $\sum \eta(Q)$
اوان	۴ پمپ بزرگ		۱/۵۴	۲۱/۶	۵۶۰	۶۸۰	۰/۹۰	۵۹۴	۳۳۲	۵۵/۹	۳۴۴
	۳ پمپ متوسط		۰/۶۶	۱۰/۴	۱۵۳	۶۸۵	۰/۹۰	۱۶۳	۶۸/۶	۴۲/۱	۸۳/۳
ویس	۵ پمپ بزرگ		۲/۴۳	۱۳/۵	۶۳	۶۳۰۰	۰/۸۵	۵۸۴	۳۲۸	۵۶/۱	۶۸۰
	۴ پمپ بزرگ		۱/۵۷	۱۸/۵	۹۳	۳۴۵۰	۰/۸۷	۴۸۳	۲۹۰	۶۰/۱	۳۷۷
کوت امیر	۴ پمپ بزرگ		۲/۵۵	۱۸/۳	۹۰	۶۴۰۰	۰/۸۱	۸۰۸	۴۶۷	۵۷/۸	۵۹۰
	۴ پمپ متوسط		۰/۶۴	۱۸/۳	۲۵	۶۰۰۰	۰/۸۴	۲۱۸	۱۱۷	۵۳/۶	۱۳۷
سیبلی	۳ پمپ بزرگ		۱/۱۷	۶/۵	۲۷۰	۳۸۰	۰/۹۰	۱۶۰	۷۶/۱	۴۷/۵	۱۶۷
	۲ پمپ متوسط		۰/۵۲	۶/۵	۱۱۰	۳۸۰	۰/۸۷	۶۳/۰	۳۳/۸	۵۳/۷	۵۵/۹
نگاز	۲ پمپ کوچک		۰/۳۳	۶/۵	۷۲	۳۸۰	۰/۸۷	۴۱/۳	۲۱/۵	۵۱/۹	۳۴/۳

نتایج و بحث

الف- موتورخانه های مدرن: کلیه اندازه گیری ها و محاسبه راندمان ایستگاههای پمپاژ مورد مطالعه در جدول ۱ آورده شده است. اندازه گیری ها شامل دبی و ارتفاع کلی آبرسانی با استفاده از دبی سنج (مولینه و یا دبی سنج ایستگاه پمپاژ) و دوربین نقشه برداری انجام گردید. آمپر و ولتاژ مصرفی از تابلوهای برق اتاق کنترل و $\cos\phi$ از برجسب موتور الکتریکی برداشت شده است. لازم به توضیح است که الکتروپمپ های موجود یک ایستگاه بسته به نیاز به نوبت در مدار بهره برداری قرار می گیرند. در نتیجه برای شرکت دادن شرایط کل پمپ های یک ایستگاه اندازه گیری ها بدفعات انجام و متوسط مشخصات کاری پمپ های یک نمونه در ردیف

های جدول ۱ وارد شده است. در ستون های بعدی جدول ابتدا با استفاده از ستون های دبی (Q) و ارتفاع کلی آبرسانی (H)، با وزن مخصوص آب ($\gamma = 10000$ نیوتن بر متر مکعب)، توان داده شده به آب از رابطه توان آب (P_{out}) بر حسب کیلووات به شرح زیر (۱ و ۱۴) محاسبه گردید:

$$P_{out} = \gamma QH \quad (1)$$

سپس با استفاده از ولتاژ (V) و متوسط آمپر مصرفی (I) پمپ ها، توان مصرف شده الکتریکی (P_{in}) از رابطه زیر بر حسب کیلووات محاسبه شد (۲۲).

وزنی طراحی برای هر نمونه پمپ نیز با همان روش بالا محاسبه و سپس با استفاده از رابطه ۴ راندمان شاخص طراحی پمپاژ (η_i) برای ایستگاه های مورد مطالعه برابر $78/8\%$ محاسبه گردید. از آنجائی که محاسبه این شاخص برای پمپ های مورد مطالعه، بر مبنای اطلاعات و مشخصات ارائه شده از طرف تعداد زیادی کارخانه معتبر پمپ سازی جهان می باشد، از شاخص "راندمان پمپاژ استاندارد" می توان به عنوان یک شاخص استاندارد طراحی جهت رسیدن به یک راندمان پمپاژ ایده آل در مقیاس بین المللی استفاده نمود. باید توجه داشت که چون در زمان طراحی و انتخاب پمپ مناسب، راندمان الکتروموتور نیز منظور شده است، راندمان پمپاژ استاندارد همانند راندمان پمپاژ فعلی در بر گیرنده تمام افت ها و راندمان های مکانیکی، حجمی، و هیدرولیکی در موتور و پمپ می باشد.

ب- موتورخانه های سنتی: کلیه اندازه گیری ها و محاسبه راندمان ایستگاه های پمپاژ مورد مطالعه در جدول ۳ آورده شده است. دبی با استفاده از یک لوله پیتو واسنجی شده در دهانه لوله دهش و ارتفاع آبرسانی توسط دوربین نقشه برداری اندازه گیری گردید. بدلیل عدم وجود تابلوهای برق در ایستگاه های پمپاژ غیر مکانیزه، آمپر مصرفی توسط آمپر متر قلابدار اندازه گیری، و با ولتاژ $V=380$ و $\cos\phi = 0.9$ توان مصرف شده الکتریکی (P_{in}) بر حسب کیلووات محاسبه گردید. با استفاده از ستون های دبی (Q) و ارتفاع کلی آبرسانی (H)، توان داده شده به آب (P_{out}) بر حسب کیلووات به دست آمده، راندمان و راندمان وزنی به روش یاد شده در بخش قبل محاسبه و برای هر موتورپمپ در جدول ۳ وارد گردید. سپس با استفاده از رابطه ۴، مقدار متوسط شاخص راندمان بهره برداری فعلی برای پمپاژ آب برای موتورخانه های سنتی برابر $\eta_i = 42/5\%$ محاسبه گردید.

$$P_{in} = \sqrt{3} VI \cos\phi \quad (2)$$

از نسبت توان داده شده به توان مصرف شده طبق رابطه زیر، راندمان کلی بهره برداری (η) برای هر نمونه از الکتروپمپ های موجود در ایستگاه ها ی مورد مطالعه محاسبه و در جدول وارد شده است (۱۱ و ۱۷).

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \quad (3)$$

از آنجایی که الکتروپمپ های کوچکتر بدلیل حجمی دارای افت بیشتر و راندمان کمتری نسبت به الکتروپمپ های بزرگتر هستند، به راندمان هر پمپ به نسبت دبی و تعداد آنها در یک ایستگاه وزن داده شد و حاصلضرب دبی-تعداد - راندمان، تحت عنوان راندمان وزنی [$\eta(nQ)$] برای هر نمونه پمپ در ستون انتهائی جدول ۱ وارد شده است (n)، تعداد پمپ های یک نمونه در ایستگاه). با این شیوه، راندمان کلی (η_i) تمامی ایستگاه های پمپاژ آبرسانی مورد بهره برداری با استفاده از نسبت جمع ستون راندمان وزنی به جمع دبی پمپاژ شده کلیه ایستگاه ها طبق رابطه زیر برابر $55/4\%$ محاسبه شد:

$$\eta_i = \frac{\sum[\eta(nQ)]}{\sum(nQ)} \quad (4)$$

برای نشان دادن مقدار تلفات بیهوده ایستگاه های پمپاژ مکانیزه مورد مطالعه، شاخص دیگری تحت عنوان "راندمان پمپاژ استاندارد" ارائه و محاسبه گردید. برای تعیین "راندمان پمپاژ استاندارد"، مشخصات بهره برداری این الکتروپمپ ها از روی کاتالوگ کارخانه سازنده آنها استخراج و در جدول ۲ مرتب شده است. توان مصرفی طراحی از برچسب موتور، و توان خروجی طراحی از دبی و ارتفاع آبرسانی طراحی با استفاده از رابطه ۱ محاسبه و در جدول آورده شده است. راندمان و راندمان

"شاخص استاندارد راندمان" برای موتورخانه های سنتی استفاده نمود. با توجه به سهم بالای خوزستان از پمپاژ آب کشور در بخش های کشاورزی و صنعتی، ایستگاه های پمپاژ مدرن و سنتی مورد مطالعه، نمونه های مناسبی از شرایط بهره برداری سیستم های پمپاژ این دو بخش در سطح کشور هستند. در نتیجه شاخص های ارائه شده تحت عنوان "راندمان پمپاژ فعلی" و "راندمان پمپاژ استاندارد" می توانند بعنوان الگو و مبنای برنامه ریزی های طرح استاندارد و بهینه سازی پمپاژ آب کشور مورد توجه قرار گیرند.

نتیجه گیری

با توجه به اثرات نامطلوب مصرف بی رویه انرژی بر رشد و توسعه اقتصادی کشور و پیامدهای وابستگی آن، هدف از این تحقیق تخمین مقدار انرژی الکتریکی است که به دلیل تلفات زیاد ناشی از راندمان پایین بهره برداری نسبت به یک

بر اساس همان استدلالی که در بخش سیستم های پمپاژ مدرن آورده شد، می توان از شاخص "راندمان پمپاژ استاندارد" برای نشان دادن مقدار تلفات مازاد ایستگاه های پمپاژ سنتی نیز استفاده نمود. با این تفاوت که به همان دلیل حجمی نمی توان انتظار چنان راندمان استاندارد بالایی (در حد ۷۸/۸) از این پمپ ها که دارای دبی متوسطی حدود ۲۰ درصد دبی پمپ های بزرگ مدرن هستند، داشت. بخصوص اینکه پمپ های سانتریفیوژی که با فشار بیشتر در موتورخانه های سنتی استفاده می شوند از نظر طراحی کلاً راندمان کمتری نسبت به پمپ های جریان محوری و مختلطی که با دبی زیاد در موتورخانه های مدرن استفاده می شوند دارا هستند. به هر حال از آنجائی که امکان بدست آوردن مشخصات نامی و استاندارد سیستم های پمپاژ برای محاسبه شاخص استاندارد موتورخانه های سنتی میسر نگردید، از شاخص استاندارد موتورخانه های مدرن با اعمال یک ضریب اصلاحی به مقدار ۹۵ درصد استفاده و تا انجام تحقیقات گسترده تری در این زمینه می توان از مقدار ۷۵ درصد به عنوان

جدول ۲- مشخصات استاندارد الکتروپمپ های ایستگاه های پمپاژ مدرن

نام ایستگاه	تعداد و نوع پمپ	آبدهی Q (m^3/s)	ارتفاع کلی H (m)	آبرسانی	موتور مصرفی (kwh)	توان خروجی (kwh)	راندمان (درصد)	راندمان وزنی $\sum \eta(Q)$
اوان	۴ پمپ بزرگ	۱/۷۴	۲۵	۲۵	۵۲۰	۴۳۵	۸۳/۷	۵۸۳
	۳ پمپ متوسط	۱/۰۱	۱۱	۱۱	۱۴۰	۱۱۱	۷۹/۴	۲۴۱
ویس	۵ پمپ بزرگ	۲/۵۰	۱۵	۱۵	۵۱۰	۳۷۵	۷۳/۵	۹۱۹
کوت امیر	۴ پمپ بزرگ	۱/۷۷	۳۰	۳۰	۵۷۰	۵۳۱	۹۳/۱	۶۵۹
	۴ پمپ بزرگ	۳/۰۰	۲۴	۲۴	۱۰۰۰	۷۲۰	۷۲	۸۶۴
سیبلی	۴ پمپ متوسط	۰/۷۵	۲۴	۲۴	۲۴۰	۱۸۰	۷۵	۲۲۵
	۳ پمپ بزرگ	۱/۱۰	۱۰	۱۰	۱۳۲	۱۱۰	۸۳/۳	۲۷۵
نگاز	۲ پمپ متوسط	۰/۵۵	۱۰	۱۰	۶۵	۵۵	۸۴/۶	۹۳/۱
	۲ پمپ کوچک	۰/۲۸	۱۰	۱۰	۳۷	۲۸	۷۵/۷	۴۲/۴

جدول ۳- مشخصات فعلی بهره برداری از الکتروپمپ های ایستگاه های پمپاژ ستی

ردیف	نام و محل ایستگاه	آبدهی Q (m ³ /s)	ارتفاع کلی آبرسانی H (m)	مصرفی آمپر (A)	شده مصرف توان (kw)	توان خروجی (kw)	راندمان (درصد)	راندمان $\sum \eta(nQ)$ وزنی	راندمان
۱	ک ش س ر	۰/۳۵۰	۹/۱	۱۰۰	۵۹/۲۴	۳۱/۸۵	۵۳/۸	۱۸/۸۲	
۲	"	۰/۳۳۰	۹/۲	۹۰	۵۳/۳۱	۳۰/۳۶	۵۶/۹	۱۸/۷۹	
۳	"	۰/۳۵۷	۹/۲	۱۰۰	۵۹/۲۴	۳۲/۸۴	۵۵/۴	۱۹/۷۹	
۴	"	۰/۳۷۰	۹/۳	۱۰۰	۵۹/۲۴	۳۴/۴۱	۵۸/۱	۲۱/۴۹	
۵	"	۰/۳۳۰	۹/۱	۱۰۰	۵۹/۲۴	۳۰/۰۳	۵۰/۷	۱۶/۷۳	
۶	ک ش س ج	۰/۱۵۰	۸/۹	۵۵	۳۲/۵۸	۱۳/۳۵	۴۱/۰	۶/۱۵	
۷	"	۰/۱۹۰	۸/۸	۶۵	۳۸/۵۰	۱۶/۷۲	۴۳/۴	۸/۲۵	
۸	"	۰/۲۰۱	۸/۹	۷۵	۴۴/۴۳	۱۷/۸۹	۴۰/۳	۸/۰۹	
۹	"	۰/۱۸۰	۹/۰	۸۰	۴۷/۳۹	۱۶/۲۰	۳۴/۲	۶/۱۵	
۱۰	"	۰/۰۸۰	۷/۴	۳۶	۲۱/۳۳	۵/۹۲	۲۷/۸	۲/۲۲	
۱۱	"	۰/۲۰۳	۸/۲	۷۰	۴۱/۴۷	۱۶/۶۵	۴۰/۱	۸/۱۵	
۱۲	"	۰/۱۶۴	۸/۱	۷۰	۴۱/۴۷	۱۳/۲۸	۳۲/۰	۵/۲۵	
۱۳	"	۰/۱۰۲	۹/۱	۴۵	۲۶/۶۶	۹/۲۸	۳۴/۸	۳/۵۵	
۱۴	ک ج س ر کورت عبدالله	۰/۱۳۵	۹/۴	۸۵	۵۰/۳۵	۱۲/۶۹	۵۲/۲	۳/۴۰	
۱۵	"	۰/۲۳۰	۹/۱	۸۰	۴۷/۳۹	۲۰/۹۳	۴۴/۲	۱۰/۱۶	
۱۶	"	۰/۱۶۶	۷/۲	۵۷	۳۳/۷۶	۱۱/۹۵	۳۵/۴	۵/۸۸	
۱۷	"	۰/۱۸۵	۸/۸	۶۰	۳۵/۵۴	۱۶/۲۸	۴۵/۸	۸/۴۷	
۱۸	"	۰/۱۵۰	۹/۴	۶۰	۳۵/۵۴	۱۴/۱۰	۳۹/۷	۵/۹۵	
۱۹	"	۰/۱۱۴	۹/۲	۴۰	۲۳/۶۹	۱۰/۴۹	۴۴/۳	۵/۰۵	
۲۰	غزاویه کوچک	۰/۰۹۷	۶/۲	۶۰	۳۵/۵۴	۶/۰۱	۱۶/۹	۱/۶۴	
۲۱	"	۰/۱۷۳	۶/۳	۹۰	۵۳/۳۱	۱۰/۹۰	۲۰/۴	۳/۵۴	
۲۲	"	۰/۲۰۰	۷/۰	۶۰	۳۵/۵۴	۱۴/۰۰	۳۹/۴	۷/۸۸	
۲۳	"	۰/۱۵۶	۷/۴	۶۰	۳۵/۵۴	۱۱/۵۴	۳۲/۵	۵/۰۷	
۲۴	غزاویه بزرگ	۰/۳۴۵	۷/۷	۹۵	۵۶/۲۷	۲۶/۵۷	۴۷/۲	۱۶/۲۹	
۲۵	"	۰/۳۴۳	۷/۹	۹۵	۵۶/۲۷	۲۷/۱۰	۴۸/۲	۱۶/۵۲	
۲۶	"	۰/۳۵۴	۷/۸	۸۰	۴۷/۳۹	۲۷/۶۱	۵۸/۳	۲۰/۶۳	
۲۷	موران	۰/۳۴۰	۷/۴	۸۰	۴۷/۳۹	۲۵/۱۶	۵۳/۱	۱۸/۰۵	
۲۸	"	۰/۲۴۰	۱۲/۱	۹۰	۵۳/۳۱	۲۹/۰۴	۴۵/۵	۱۳/۰۷	
۲۹	"	۰/۲۶۰	۱۲/۰	۱۰۰	۵۹/۲۴	۳۱/۲۰	۵۲/۷	۱۳/۶۹	
۳۰	"	۰/۱۸۰	۹/۲	۹۰	۵۳/۳۱	۱۶/۵۶	۳۱/۱	۵/۵۹	
۳۱	"	۰/۱۴۳	۹/۳	۹۰	۵۳/۳۱	۱۳/۳۰	۲۴/۹	۳/۵۷	
۳۲	"	۰/۱۲۰	۱۱/۸	۸۰	۴۷/۳۹	۱۴/۱۶	۲۹/۹	۳/۵۹	
۳۳	غزاویه بزرگ	۰/۱۲۰	۶/۴	۴۰	۲۳/۶۹	۷/۶۸	۳۲/۴	۳/۸۹	
۳۴	"	۰/۱۰۰	۶/۲	۴۵	۲۶/۶۶	۶/۲۰	۲۳/۳	۲/۳۳	
۳۵	"	۰/۱۵۲	۶/۳	۴۵	۲۶/۶۶	۹/۵۸	۳۵/۹	۵/۴۶	
۳۶	ک ج س ج منشام التمیر	۰/۰۵۸	۹/۶	۹۵	۵۶/۲۷	۵/۵۷	۹/۹	۰/۵۷	
۳۷	"	۰/۰۷۲	۱۰/۲	۹۵	۵۶/۲۷	۷/۳۴	۱۳/۱	۰/۹۴	
۳۸	جنگل	۰/۰۸۹	۱۰/۴	۱۰۰	۵۹/۲۴	۹/۲۶	۱۵/۶	۱/۳۹	
۳۹	"	۰/۱۲۰	۱۰/۲	۹۷	۵۷/۴۶	۱۲/۲۴	۲۱/۳	۲/۵۶	
۴۰	کمیته امداد	۰/۱۴۰	۱۰/۹	۸۰	۴۷/۳۹	۱۵/۲۶	۳۲/۲	۴/۵۱	
۴۱	"	۰/۱۱۸	۱۱/۱	۸۰	۴۷/۳۹	۱۳/۱۰	۲۷/۶	۳/۲۶	

ک=کارون ش=شمالی س=سمت ر=راست چ=چپ ج=جنوبی

درصد خواهد رسید. بر اساس همین فرضیه در جدول ۴، با ضرب تمام ۱۱/۸ درصد مصرف برق در کشاورزی به در صد امکان صرفه جویی در ایستگاه های سنتی، و همچنین ۳۰ درصد کل ۳۱/۸ درصد مصرف برق در بخش صنعتی ایران به در صد امکان صرفه جویی در ایستگاه های مدرن، کل درصد صرفه جویی سالانه برق در قبال بهینه سازی سیستم های پمپاژ آب (مدرن و سنتی) ۶/۰۷ درصد از کل فروش برق ایران تخمین زده شده است (جدول ۴).

بر اساس آمار سالهای ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۱ موجود در گزارش صنعت برق خوزستان (۴)، مصرف برق در بخش های کشاورزی و صنعتی رو به افزایش است (شکل ۱). به همین دلیل از ارقام آخرین سال آماری موجود یعنی سال ۱۳۸۱ برای تخمین مقدار صرفه جویی ریالی ناشی از بهینه سازی ایستگاه های پمپاژ استفاده شده است. بر اساس همین آمار کل فروش انرژی برق کشور در سال ۱۳۸۱ معادل ۱۰۵۰۸۶ میلیون کیلووات ساعت، که ۳۳۴۶۹ میلیون کیلووات ساعت از این مقدار (۳۱/۸ درصد) در بخش صنعت و ۱۲۴۳۵ میلیون کیلووات ساعت در بخش کشاورزی (۱۱/۸ درصد) مصرف شده است. بر اساس رقم کل مصرف انرژی در ایران، ستون میلیون کیلووات صرفه جویی ناشی از بهینه سازی برای ایستگاه های مدرن و سنتی در جدول ۴ محاسبه شده است.

هزینه یک کیلووات ساعت انرژی الکتریکی بر اساس نرخ های پایه اقتصادی فروش برق در ایران معادل ۲۸۰ ریال (۳)، و در سطح بین المللی بطور متوسط معادل ۶/۷۵ سنت یا حدود ۶۳۰ ریال تخمین زده می شود (۱۲ و ۲۳). مبالغ فوق بدون احتساب ضریب ماه و ضریب ساعت می باشد. زیرا معدل وزنی ضرایب مزبور برای کل سال برابر یک خواهد شد.

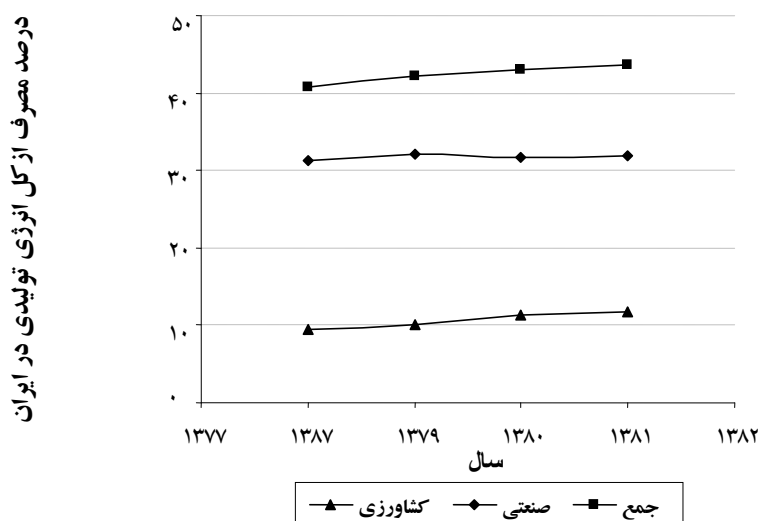
بهره برداری استاندارد، در ایستگاه های پمپاژ از بین می رود. شاخص راندمان استاندارد بهره برداری برای سیستم های پمپاژ مدرن ۷۸/۸ درصد و برای سیستم های پمپاژ سنتی با اعمال یک ضریب ۹۵ درصد برابر ۷۵ محاسبه گردید. همچنین "شاخص راندمان فعلی بهره برداری" برای سیستم های پمپاژ مدرن و سنتی بترتیب برابر ۵۵/۴ و ۴۲/۵ درصد تخمین زده شد. با فرض امکان دستیابی به یک راندمان ایده آل استاندارد، مقدار صرفه جویی انرژی الکتریکی با استفاده از ارقام فوق برای سیستم های پمپاژ مدرن و سنتی بترتیب ۲۳/۴ و ۳۲/۵ درصد محاسبه و در جدول ۴ وارد شده. در نتیجه، با یک بهره برداری استاندارد، مقدار تلفات انرژی در این و تورخانه ها تقریباً به نصف تلفات فعلی تقلیل پیدا خواهد کرد.

از آنجایی که تشکیلات و سطح فنی بهره برداری از ایستگاه های پمپاژ مدرن هم سطح بهره برداری از سیستم های پمپاژ بخش صنعتی در کشور است، بدلیل استفاده بیشتر از این ایستگاه ها در بخش صنعتی، در این تحقیق از سهم مصرف برق بخش صنعتی ایران برای محاسبه حجم صرفه جویی برق در ایستگاه های مدرن استفاده شده است. به همین ترتیب از سهم مصرف برق بخش کشاورزی برای محاسبه حجم صرفه جویی برق در موتورخانه های سنتی استفاده شده است. زیرا بهره برداری از این موتورخانه ها محدود به بخش کشاورزی است.

بر اساس آمار ارائه شده (۳ و ۴)، چنانچه فرض شود تمام مصرف برق در بخش کشاورزی و همچنین ۳۰ درصد مصرف برق در بخش صنعتی به طور مستقیم و غیر مستقیم صرف تامین انرژی برای سیستم های پمپاژ می شود، سهم مصرف برق در سیستم های پمپاژ (مدرن و سنتی) به نسبت کل مصرف انرژی برق (کشاورزی، صنعتی، تجاری، عمومی و غیره) در ایران به شاخص جهانی ۲۰

جدول ۴- انرژی الکتریکی و هزینه صرفه جویی شده در سال ناشی از بهره برداری استاندارد موتورخانه های پمپاژ مدرن و سنتی

موتورخانه های پمپاژ آب	شاخص راندمان فنی بهره برداری	شاخص راندمان براداری	شاخص استاندارد بهره برداری	درصد صرفه جویی انرژی هر بخش	درصد سهم برق مصرفی از کل ایران	درصد صرفه جویی انرژی در کل ایران	صرفه جویی در سال	صرفه جویی در سال
مدرن	۵۵/۴	۷۸/۸	۲۳/۴	۳۱/۸	۲/۲۳	۲۳۴۴	۶۵۶	۶۵۶
سنتی	۴۲/۵	۷۵	۳۲/۵	۱۱/۸	۳/۸۴	۴۰۳۵	۱۱۳۰	۱۱۳۰
جمع	-	-	-	۴۳/۶	۶/۰۷	۶۳۷۹	۱۷۸۶	۱۷۸۶



شکل ۱- درصد مصرف سالانه انرژی الکتریکی در بخش های کشاورزی و صنعتی (۴)

عمر مفید سیستم پمپاژ و بهبود شرایط زیست محیطی نیز در قبال بهینه سازی تامین می شود. **پیشنهادات:** برای کاهش تلفات انرژی و رسیدن به مرز بهره برداری استاندارد از سیستم های پمپاژ، لازم است به طور هماهنگ و در تمام ابعاد فنی و آموزشی و حتی فرهنگی برنامه ریزی گردد. این برنامه ها شامل طیف وسیعی از اقدامات از قبیل انجام بازدیدهای دوره ای، آموزش های فنی و بهره برداری بهینه، تعمیرات مرحله ای و تهیه لوازم

با توجه به ارقام فوق، با استاندارد نمودن بهره برداری از سیستم های پمپاژ آب کشاورزی و صنعتی می توان سالانه ۶۳۷۹ میلیون کیلووات ساعت صرفه جویی در مصرف برق و یا ۱۷۸۶ میلیارد ریال کاهش هزینه سالانه در تولید برق کشور با نرخ داخلی داشت. چنانچه نرخ بین المللی هزینه تولید برق اعمال شود، هزینه صرفه جویی بالغ بر ۴۰۱۹ میلیارد ریال در سال خواهد شد. علاوه بر مبالغ فوق، صرفه جویی های جانبی از قبیل طول

نصب و بهره‌برداری از سیستم های پمپاژ امکان سرویس دهی، تهیه قطعات، آموزش و ترویج فناوری ساده تر و سریع تر، و نتایج حاصله به سرعت موجب ارتقاء راندمان بهره‌برداری خواهد شد. در این رابطه باید به شرایط آبیگری، موقعیت ایستگاه، سیستم مکش و دهش، استفاده از موتور و پمپ مناسب، و عدم تداخل اثر سازمان های مختلف در انتقال آب از رودخانه تا انتهای مزرعه، توجه خاص گردد.

سیاسگزاری

بدینوسیله از دانشگاه شهیدچمران اهواز و همکاری دفتر تحقیقات و استاندارهای مهندسی آب سازمان آب و برق خوزستان در انجام تحقیق تشکر و قدردانی می گردد.

یدکی را در بر می گیرد. بنابراین توصیه می شود هر چه سریعتر دفاتری در سازمان های متولی بهره برداری از منابع آب کشور تشکیل و نسبت به ارائه استانداردهایی با توجه به فرهنگ و شرایط محلی جهت بهره برداری از منابع آب و انرژی کشور اقدام گردد. در این رابطه شاخص های ارائه شده در این تحقیق برای راندمان فعلی بهره برداری و راندمان استاندارد بهره برداری می توانند مبنا و هدف در ارائه استانداردهای بهره برداری قرار گیرند. از آن جایی که نقش و رعایت استاندارد در کشور هندوستان با فرهنگ و فناوری قابل قیاس باعث ارتقاء راندمان سیستم های پمپاژ به مقدار ۱۴ درصد گشته، مطمئناً کاربرد این طرح در ایران نیز به نتیجه مطلوب خواهد رسید. با استاندارد شدن انتخاب،

منابع

۱. تنکابنی، س. م. ۱۳۸۲. صنعت پمپ، فصلنامه تخصصی، شماره اول، ۱۲۶ ص.
۲. خوش کیش، ح. ۱۳۸۱. مبانی و کاربرد انواع پمپ ها، انتشارات فنی حسینیان، چاپ چهارم، ۵۹۲ ص.
۳. دفتر برنامه ریزی انرژی. ۱۳۷۸. ترازنامه انرژی، معاونت امور انرژی وزارت نیرو، ۱۲۹ ص.
۴. دفتر برنامه ریزی برق. ۱۳۸۱. صنعت برق خوزستان. سازمان آب و برق خوزستان، ۱۳۸ ص.
۵. شرکت بهره برداری از شبکه های آبیاری کرخه و شاوور. ۱۳۷۶. ایستگاه پمپاژ ویس، سازمان آب و برق خوزستان، ۲۱۱ ص.
۶. شرکت بهره برداری از شبکه های آبیاری کرخه و شاوور. ۱۳۷۸. ایستگاه پمپاژ شماره یک اوان، سازمان آب و برق خوزستان، ۲۳۶ ص.
۷. شرکت تولید و بهره برداری آب جنوب شرق. ۱۳۸۱. تکنولوژی تولید، کوت امیر، اهواز، ۷۲۶ ص.

۸. فتحی مقدم، م. ۱۳۸۶. بررسی و بهینه سازی راندمان الکتروپمپ ها با تاکید بر سیستم های پمپاژ شرکت های بهره برداری وابسته به سازمان آب و برق خوزستان، گزارش نهائی طرح تحقیقاتی، مدیریت تحقیقات و استانداردهای مهندسی آب سازمان آب و برق خوزستان، ۹۱ ص.
۹. گمارپور، ک. ۱۳۸۲. رساله کارشناسی ارشد، گروه آبیاری، دانشگاه شهید چمران اهواز، ۱۱۹ ص.
10. Boothra, K.C., and Bajaj, N.K. 1994. Energy conservation in agricultural electric pumping system; in Girish and Shantanu, 1996. Agricultural pumping efficiency in India: Role of standards, Prayas, Energy for Sustainable Development, 3 (1): 1-17.
11. Daugherty, R.L., and Franzini, J.B. 1977. Fluid Mechanics With Engineering Applications, McGraw-Hill Book Company, New York: 564 p.
12. Gillet, W. 2004. On the share of renewable energy in the EU, Legislation: COM 366 final, Commission of the European Community, presented in the 4th Annual Conference on Local Energy Action, 20-21 October 2004, Brussels, Belgium: 1-5, <http://www.managenergy.net/products/R608.htm>.
13. Girish S., and Shantanu, D. 1996. Agricultural pumping efficiency in India: Role of standards", Prayas, Energy for Sustainable Development, 3 (1): 1-17.
14. Hicks, T.U., and Edwards, T.W. 1971. Pump Application Engineering, 1st Edition, McGraw-Hill Book Company, 435 p.
15. IS 10804, 1994. Indian Standard, Recommended Pumping System for agricultural Purposes; in Girish and Shantanu, 1996. Agricultural pumping efficiency in India: Role of standards, Prayas, Energy for Sustainable Development, 3 (1): 1-17.
16. Jain, P.C. 1994. Energy conservation awareness through high efficiency of utilization in pumping system; in Girish and Shantanu, 1996. Agricultural pumping efficiency in India: Role of standards, Prayas, Energy for Sustainable Development, 3 (1): 1-17.
17. Karassik, I.J., Krutzsch, W.C., Fraser, W.H., and Messina, J.P. 1976. Pump Handbook, 1st ed., McGraw-Hill Book Company, 895 p.
18. NABARD. 1984. Anonymous: Pilot project studies for quality control of agricultural pump sets; in Girish and Shantanu, 1996. Agricultural pumping efficiency in India: Role of standards, Prayas, Energy for Sustainable Development, 3 (1): 1-17.
19. Patel, S.M. and Pandey, M.K. 1993. Report on complete rectifications of agricultural pumps in Gujarat state; in Girish and Shantanu, 1996. Agricultural pumping efficiency in India: Role of standards, Prayas, Energy for Sustainable Development, 3 (1): 1-17.
20. Planning Commission. 1995. Annual report on the working of State Electricity Boards and Electricity Departments, Power and Energy Division, Planning Commission, Government of India, 199 p.

21. Sanks, R.L., Tchobanoglous G., Bosserman B.E., and Jones G.M. 1998. Pumping Station Design”, 2nd ed, Butterworths, Boston, 495 p.
22. Shepherd, D.G. 1956. Principles of Turbomachines, MACMILLAN Publishing Co. Inc., New York, 463 p.
23. Solarbuzz Inc Survey. 2001. Anonymous: <http://www.solarbuzz.com/Solar-Prices.htm>.