

طراحی سیستم تلمبه‌ی آب از چاه با کاربری انرژی باد

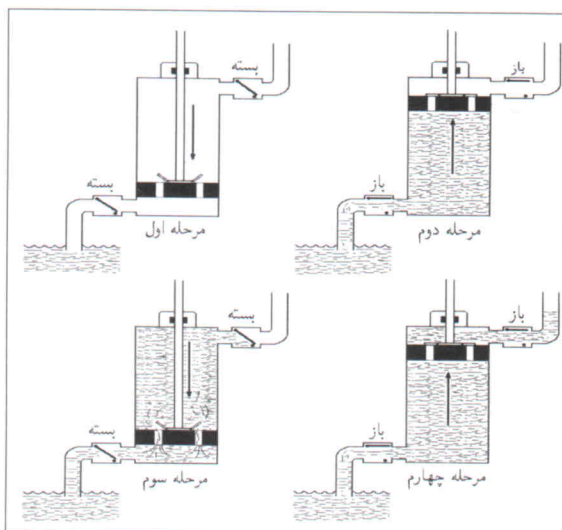
محمدرضا صفائی (استاد)
محمد دانشور کاخکی (کارشناس)
دانشکده‌ی مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی شریف

انتقال آب از چاه برای مقاصد کشاورزی با روش‌های گوناگونی انجام می‌شود. در این پژوهش می‌کوشیم با تأمین آب مورد نیاز کشاورزی از چاه را، با کاربری انرژی نهفته در وزش باد و طراحی پمپ تلمبه‌ی کم‌هزینه‌ی مناسب و نیز بدون مصرف سایر انرژی‌های هزینه‌بر مورد بررسی قرار دهیم. بدین منظور یک پمپ تلمبه‌ی ساده‌ی آبی طراحی و در داخل آب چاه قرار دادیم، و نیز با وسایل مکانیکی مختلف حرکت دورانی پروانه را به حرکت رفت و برگشتی داخل تلمبه تبدیل کردیم. بدین ترتیب، آب بدون مصرف هرگونه انرژی هزینه‌بر به سطح زمین انتقال می‌یابد. در این رابطه، نحوه‌ی محاسبه و طراحی اجزاء سیستم و نقشه‌های مرتبط نیز ارائه شده است.

مقدمه

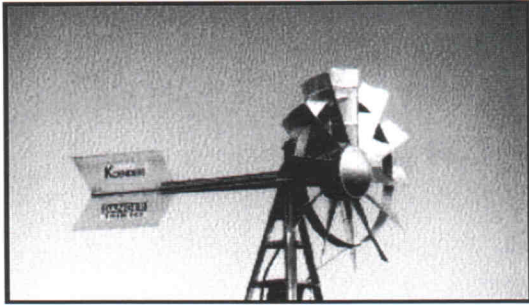
آب چاه این توان کاهش می‌یابد. جالب است بدانیم کاربرد اینگونه تلمبه‌ها، با اعمال نیروی دستی، چند دهه‌ی قبل در ایران برای انتقال آب از آب‌انبار به حوض منازل بسیار متداول بوده است. محدودیت دیگر این‌گونه پمپ‌ها خالی شدن آب پمپ هنگام وقفه در کار پمپاژ و لزوم پرکردن مجدد به روش دستی است. با توجه به هزینه‌ی نسبتاً بالای پمپ‌های دورانی در مقایسه با پمپ‌های تلمبه‌ی [۱]، در این پژوهش، هدف ما طراحی یک سیستم پمپاژ تلمبه‌ی بدون دو محدودیت فوق است. در این خصوص می‌کوشیم تا با طراحی یک تلمبه‌ی مناسب که همانند پمپ‌های دورانی در درون آب چاه قرار می‌گیرد توان مورد نیاز برای رفت و برگشت پیستون داخل سیلندر پمپ

در بخش کشاورزی، تأمین آب مورد نیاز کشت حیاتی است و نیز کاهش هزینه‌های ثابت و جاری آبیاری از اهمیت ویژه‌ی برخوردار است. یکی از روش‌های ارزان دستیابی به آب، کاربری انرژی رایگان نهفته در وزش باد است. طراحی مناسب پمپ انتقال آب از چاه بر مبنای سادگی روش دریافت و تبدیل انرژی باد، موجب کاهش هزینه‌های ساخت سیستم می‌شود. به‌طور کلی کاربری دونوع پمپ مرسوم است. پمپ‌های دورانی^۱ و پمپ‌های رفت و برگشتی تلمبه‌ی [۱]، [۲] در هر دو روش، ابتدا انرژی وزشی باد توسط پروانه (روتور) به انرژی مکانیکی دورانی افقی تبدیل می‌شود. همچنین با استفاده از پمپ دورانی ابتدا حرکت دورانی افقی با گیربکس مناسب تبدیل به دوران عمودی می‌شود و با افزایش دور توسط گیربکس مجدداً به پمپ دورانی داخل چاه منتقل می‌شود. در روش رفت و برگشتی تلمبه‌ی، حرکت دورانی افقی محور پروانه فقط با کاربرد متناسب میل‌لنگ ساده به حرکت رفت و برگشت عمودی تبدیل می‌شود. تلمبه‌های رفت و برگشتی سنتی را بالای چاه نصب می‌کنند و ابتدا با حرکت عمودی پیستون به طرف بالا و ایجاد خلاء، آب چاه به محفظه‌ی پمپ (سیلندر) کشیده می‌شود و سپس با برگشت پیستون به طرف پایین و مسدود شدن دریچه‌ی مکش، پمپاژ آب به طرف بالا انجام می‌شود. [۲] عملکرد رفت و برگشتی (تلمبه‌ی) پمپ با سیستم ایجاد خلاء در شکل ۱ مشخص شده است.



شکل ۱. عملکرد پمپ تلمبه‌ی سنتی.

به‌علت نیاز به دستگاه تغییر جهت دور و افزایش سرعت دور گردش، کاربرد پمپ دورانی در مقایسه با پمپ تلمبه‌ی از هزینه ساخت بالاتری برخوردار است. قابلیت پمپ رفت و برگشتی با ایجاد خلاء برای مکش آب از چاه حداکثر ۱۰ متر است که با افزایش عمق



شکل ۲. تصویر روتور.

روتور و پره‌های مبدل انرژی باد

اصلی‌ترین قسمت روتور، پره‌های آن است که به یک توبی مرکزی متصل می‌شوند. پره‌ها مهم‌ترین بخش یک توربین‌اند و شکل آن‌ها بر کارایی توربین تأثیرگذار است. تعداد و وزن پره‌ها بر انعطاف‌پذیری و میزان قدرت سیستم تأثیرگذار است. پره‌های سبک باعث بهبود کارایی سیستم می‌شوند، و نیز باید به دو عامل استحکام و هزینه‌ی مواد اولیه و ساخت آن توجه داشت.^[۸]

قدرت توربین بادی اساساً طبق رابطه‌ی ۱ محاسبه می‌شود:^[۶]

$$P = \frac{1}{4} \rho C_p \eta_1 \eta_2 \pi R^2 V^3 \quad (1)$$

که در آن متغیرها عبارت‌اند از:

$$\rho = \text{چگالی هوا}$$

$$V = \text{سرعت باد}$$

$$R = \text{قطر پره}$$

$$C_p = \text{ضریب عملکرد}$$

$$\eta_1 = \text{راندمان گیربکس}$$

$$\eta_2 = \text{راندمان سیستم مکانیکی یا ژنراتور.}$$

یکی از معیارهای مهم انتخاب روتور «ضریب عملکرد» آن است. کارایی یک توربین بادی، یا ضریب عملکرد (ضریب نیرو) آن، طبق معیار بتز برابر با ۵۹۲۵/۰ است. مناسب‌ترین توربین بادی ۵۹/۲۵٪ از انرژی بادی را به انرژی مکانیکی دورانی تبدیل می‌کند. ضریب عملکرد طبق رابطه‌ی ۲ محاسبه می‌شود:

$$C_p = \frac{P_a}{\eta_1 \eta_2 \rho \pi R^2 V_r^3} = \frac{P_a}{P} \quad (2)$$

که در آن C_p با ضریب عملکرد مبدل بادی، η کارایی، μ چگالی هوا، R شعاع روتور، V_r سرعت باد، P_a قدرت واقعی دستگاه و P قدرت در دسترس است. بیشتر توربین‌های بادی فقط ۲۰ تا ۴۰ درصد از P را جذب می‌کنند. کارایی انرژی توربین بادی نیز بستگی به سرعت زاویه‌ی C_M دارد و طبق رابطه‌ی ۳ محاسبه می‌شود:^[۶]

$$C_M = \frac{C_p}{\lambda} \quad (3)$$

را از طریق انرژی وزشی باد تأمین شود. ضمناً هنگام طراحی این پمپ، کاربرد قطعات ساده با حداقل هزینه مدنظر است.

باد و عمق چاه

براساس اطلاعات جمع‌آوری شده از سازمان آب و سازمان هواشناسی کشور، و نیز با توجه به کمینه بودن عمق چاه و حداکثر زمان وزش باد، مناطق سواحل شمال و جنوب کشور برای کاربری سیستم طراحی شده پیشنهاد می‌شود. در جدول ۱ میانگین و بیشینه‌ی سرعت وزش باد درج شده است.

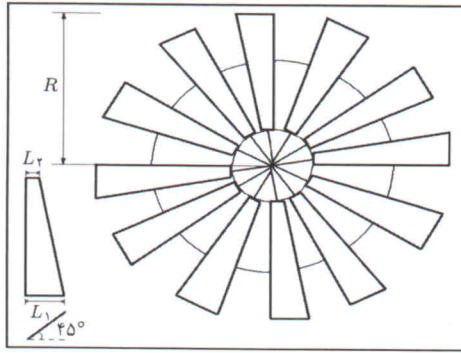
مبدل انرژی باد

مبدل انرژی باد (توربین بادی) تشکیل شده است از:^[۴-۶]

- روتور که طراحی آن براساس اصول آیرودینامیک انجام شده است، و اصلی‌ترین بخش آن پره‌ها هستند که در یک توبی مرکزی جاسازی می‌شوند.
- سیستم انتقال قدرت که از مجموعه اجزاء مکانیکی برای تبدیل حرکت دورانی به حرکت رفت و برگشتی مورد لزوم پیستون پمپ تشکیل می‌شود.
- سازه‌ی برج پایه که نگاه‌دارنده‌ی روتور و تجهیزات انتقال قدرت در ارتفاع مناسب است برای بهره‌برداری از باد با سرعت مناسب است (شکل ۲).

جدول ۱. میانگین و بیشینه‌ی سرعت در سواحل شمال و جنوب.^[۷]

شمال	میانگین سرعت (M/S)	بیشینه‌ی سرعت (M/S)
بابلسر	۲٫۵	۹۱
رامسر	۳٫۱	۵۴
نوشهر	۳	۴۹
بندر انزلی	۳٫۸	۵۸
بندر ماهشهر	۸٫۵	۴۳
بندر دیر	۷٫۱	۴۱
بوشهر	۸٫۶	۵۸
میناب	۲٫۹	۴۹
بندر لنگه	۷٫۲	۴۹
ابوموسی	۷٫۱	۳۹
بندر عباس	۵٫۶	۵۸
کیش	۷٫۷	۴۹
سیری	۷٫۴	۴۳
چابهار	۵٫۹	۴۰



شکل ۳. جانمایی پره‌ها در پروانه.

نیروهای وارد شده به روتور

نیروی باد هنگام برخورد به پره‌های پروانه دو مؤلفه: یکی در جهت باد و دیگری عمود بر جهت باد، ایجاد می‌کند. مؤلفه‌ی اول (نیروی فشاری) توسط پایه‌ی برج خنثی می‌شود و مؤلفه‌ی دیگر (نیروی حرکت‌دهنده) باعث حرکت دورانی پروانه می‌شود. این دو مؤلفه‌ی نیرو طبق رابطه‌ی ۹ (برای نیروی فشاری)، و رابطه‌ی ۱۰ (برای نیروی حرکت‌دهنده) محاسبه می‌شود: [۹]

$$D = C_d \left(\frac{\rho}{\gamma}\right) AV^2 \quad (9)$$

$$L = C_p \left(\frac{\rho}{\gamma}\right) AV^2 \quad (10)$$

که در آن‌ها A سطح روتور، V سرعت باد، ρ چگالی هوا، و C_p و C_d به ترتیب ضرایب مربوط به L و D پره‌های مختلف است که براساس شکل پره و از روی جداول موجود تجربی تعیین می‌شوند. براساس روابط ارائه شده می‌توان ابعاد پره‌ها را برای ایجاد توان‌های مختلف به دست آورد. برای مثال در ادامه چگونگی انجام محاسبات برای تعیین قطر پروانه ارائه شده است.

محاسبات قطر پروانه

در این خصوص پیش فرض‌های زیر لازم است:

- کورس پیستون: ۲۰ سانتی‌متر؛
- سرعت چرخش پروانه: ۴۵ دور در دقیقه؛
- بازدهی تجهیزات مکانیکی مبدل جریان هوا: ۰٫۸؛
- میانگین سرعت باد: ۶ متر بر ثانیه؛
- قطر سیلندر: ۱۰ سانتی‌متر.

حال به ازای دبی‌های مختلف آب و عمق‌های متفاوت چاه، می‌توان با استفاده از رابطه‌های ۱۰-۱۴ قطر پروانه را محاسبه کرد. [۶] برای خروج یک لیتر آب باید سطح آب داخل لوله‌ی انتقال آب (به قطر ۱۰

نسبت سرعت چرخش از طریق رابطه‌ی ۴ محاسبه می‌شود:

$$\lambda = \frac{\omega R}{V_r} \quad (4)$$

که در آن λ نسبت سرعت، ω سرعت زاویه‌ی، R شعاع روتور، و V_r سرعت باد است. میزان دسترسی به باد طبق معادله‌ی ۵ مشخص می‌شود.

$$ke_1 = \frac{V_r^2}{\gamma} \quad (5)$$

میزان هوایی که در واحد زمان از سطح روتور می‌گذرد نیز طبق رابطه‌ی ۶ محاسبه می‌شود:

$$\hat{m} = \rho AV_r = \rho R^2 V_r \quad (6)$$

بنابراین، بیشینه‌ی نیروی باد برابر است با:

$$P = \hat{m} ke_1 \quad (7)$$

پارامترهای موثر در طراحی روتور عبارت‌اند از: [۹]

- قطر روتور: براساس میزان نیروی مورد نیاز انتخاب می‌شود (جدول ۲).

- ضخامت پره‌ها: این پارامتر با استفاده از رابطه‌ی ۸ محاسبه می‌شود:

$$C = \frac{16\pi R(R/r)}{9\lambda^2 B} \quad (8)$$

که در آن C ضخامت پره، R شعاع روتور و r فاصله‌ی متوسط پره از مرکز دوران، λ سرعت گردش و B تعداد پره‌ها است.

- تعداد پره‌ها: براساس کارهای تجربی انجام شده و نیز آزمایش‌های تونل باد تعداد دوازده پره بهینه است. [۶ و ۹]

- شکل پره‌ها: این پارامتر بستگی دارد به میزان کارایی و هزینه‌ی ساخت پره‌ها، که در این پژوهش با توجه به هدف کاهش هزینه، شکل دوزنقه انتخاب می‌شود (شکل ۳). برای دستیابی به بیشینه‌ی بازدهی و سطح جاروب، ابعاد پره‌ی انتخاب شده در شکل ۳ عبارت‌اند از: [۶] زاویه‌ی پره: ۴۵ درجه

$$L_1 = \frac{2\pi R}{\cos 45^\circ} = 2\sqrt{2}\pi R$$

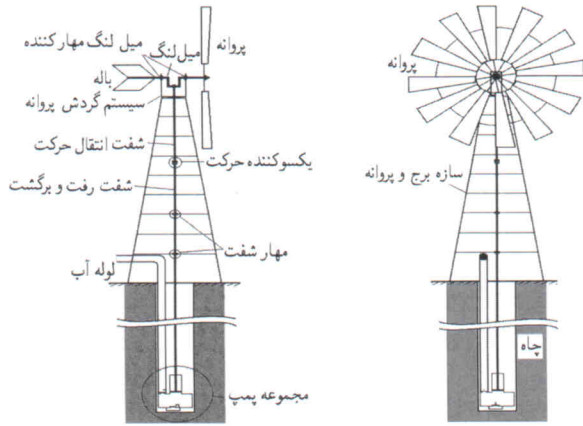
$$L_2 = \frac{2\pi R}{6\cos 45^\circ} = \frac{\sqrt{2}}{3}\pi R$$

جدول ۲. رابطه‌ی قطر روتور با توان توربین.

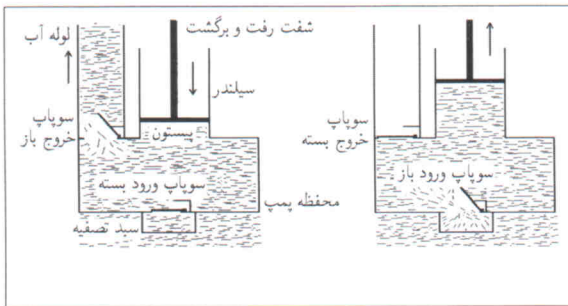
قطر روتور (متر)	۱	۲	۳	۴	۵
توان توربین (کیلووات در ساعت)	۱۰۰-۵۰	۵۰۰-۲۵۰	۱۰۰۰-۵۰۰	۲۰۰۰-۱۰۰۰	۳۰۰۰-۲۰۰۰

جدول ۳. رابطه‌ی آب‌دهی سیلندر با عمق چاه و قطر پروانه.

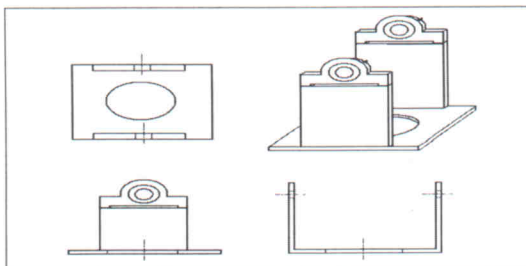
۵			۴			۳			۲			۱			آب‌دهی سیلندر (L/s)
۱۵	۱۰	۵	۱۵	۱۰	۵	۱۵	۱۰	۵	۱۵	۱۰	۵	۱۵	۱۰	۵	عمق چاه (m)
۳,۰۳	۳,۰۳	۳,۰۳	۲,۷۱	۲,۷۱	۲,۷۱	۲,۳۵	۲,۳۵	۲,۳۵	۱,۹۲	۱,۹۲	۱,۹۲	۱,۳۶	۱,۳۶	۱,۳۶	قطر پروانه



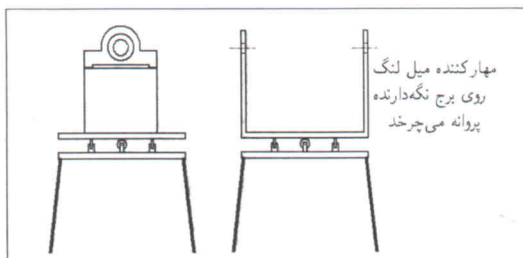
شکل ۴. نمودار کلی سیستم.



شکل ۵. مجموعه پمپ.



شکل ۶. مهارکننده‌ی میل‌لنگ.



شکل ۷. سیستم گردش مجموعه پروانه در جهت باد.

سانتی‌متر) به اندازه‌ی ۱۲٫۷ سانتی‌متر بالا بیاید (رابطه‌ی ۱۲).

$$x = \frac{1000}{5 \times 5 \times \pi} = 12,7 \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \text{وزن آب جابه‌جاشده در هر ثانیه} &= d \times 0,05^2 \times \pi \times 1000 \times \\ O &= 78,5 \times d \times O \text{ (کیلوگرم)} \quad (12) \end{aligned}$$

که در آن O برابر دبی آب (لیتر بر ثانیه) و d برابر عمق چاه (متر) است. براساس رابطه‌ی ۱۲ می‌توان مفید مورد نیاز در مبدا جریان هوا را محاسبه کرد (رابطه‌ی ۱۳).

$$\begin{aligned} P(w) &= \\ \frac{78,5 \times d \times O \times 0,127}{1} &= 9,9695 \times d \times O \quad (13) \end{aligned}$$

شعاع پروانه را می‌توان با استفاده از رابطه‌ی ۱۴ محاسبه کرد:

$$\begin{aligned} P(w) &= 0,6 \times C_p \times \eta \times A \times V_{rpm} = 0,6 \times \\ 0,4 \times 0,8 \times 3,14 \times R^2 \times 45 &= 27,13 R^2 \quad (14) \end{aligned}$$

معمولاً در ادبیات موضوع C_p برابر ۰٫۴ در نظر گرفته می‌شود. [۶] بنابراین، شعاع تیپ پروانه براساس رابطه‌ی ۱۵ محاسبه می‌شود.

$$\begin{aligned} R &= \sqrt{\frac{9,9695 \times d \times O}{27,13}} = \\ 0,6062 \times \sqrt{d \times O} \quad (15) \end{aligned}$$

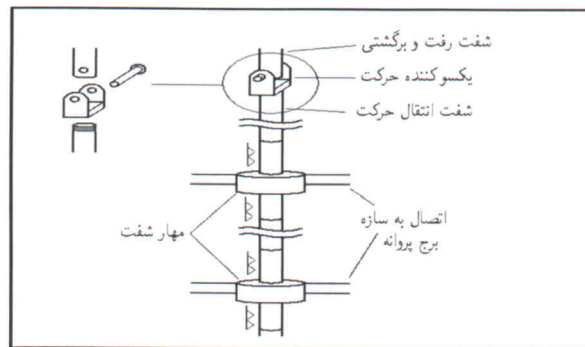
جدول ۳ براساس رابطه به دست آمده تکمیل شده است. سیستم طراحی شده به تفکیک در شکل‌های ۴ الی ۹ ارائه شده که شامل چهار بخش: پروانه، پمپ، سازه‌ی نگه‌دارنده و تجهیزات انتقال حرکت است.

استفاده از نرم‌افزار مناسب برای طراحی پروانه‌ها نرم‌افزارهای مختلفی برای طراحی پروانه وجود دارند. برخی از این نرم‌افزارها را می‌توان برای طراحی مکانیکی و برخی دیگر را برای طراحی آئرودینامیکی پروانه مورد استفاده قرار داد. در طراحی مکانیکی مواردی از قبیل جنس مواد مورد استفاده و مقاومت پروانه‌های طراحی شده در برابر

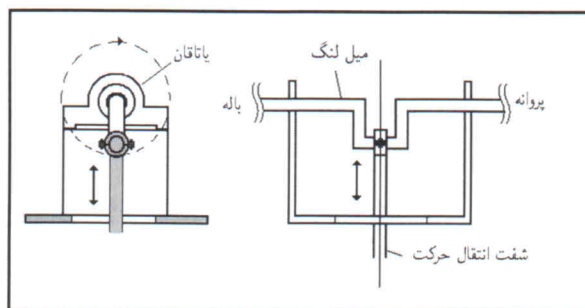
بازدهی پروانه مد نظر قرار می‌گیرد. تعدادی از نرم‌افزارهای مورد استفاده برای طراحی آئرو دینامیکی عبارت‌اند از: PAM-FLOWT، Flow، Cycom، ACD، CFX-BladeGen که همگی قابلیت شبیه‌سازی عملکرد پروانه مختلف تحت شرایط متفاوت را دارند. [۱۰-۱۳]

نتیجه‌گیری

- با طراحی پمپ و سیستم ساده‌ی تبدیل حرکت دورانی به رفت و برگشتی، از انرژی رایگانِ نهفته در وزش باد استفاده می‌شود.
- سیستم در سواحل شمال و جنوب کشور که به دلایل ژئوفیزیکی اکثراً بادخیز هستند، کاربری مناسبی دارد.
- در سواحل کشور عمق منابع آب زیرزمینی کم است و سیستم کارایی مناسبی دارد.
- طراحی به صورت ساده انجام شده است، چنان‌که کاربران با دانش فنی مختصر بتوانند نسبت به ساخت آن اقدام کنند.
- سیستم بدون هزینه‌های معمول انرژی قابل استفاده، و نگهداری آن بسیار کم هزینه است.
- واحدهای صنعتی علاقه‌مند می‌توانند با توجه به مطالب و نقشه‌های ارائه شده نسبت به تولید انبوه سیستم اقدام کنند.
- هزینه‌ی ساخت پمپ تلمبه‌ی طراحی شده در مقایسه با پمپ‌های دورانی کم‌تر است.



شکل ۸. یکسو کننده‌ی حرکت.



شکل ۹. میل لنگ مهارکننده.

نیروهای مختلف وارده بررسی می‌شود. یکی از نرم‌افزارهایی که می‌توان از آن برای طراحی مکانیکی استفاده کرد نرم‌افزار ANSYS است. در طراحی آئرو دینامیکی نیز ابعاد و مقاطع پروانه برای بیشینه ساختن

پانویس

1. centrifugal
2. reciprocating

منابع

1. <http://www.survivalunlimited.com/water-pumps.htm> (June 23, 2004).
2. Catalogue of Advanced Energy Group - Quality alternative energy equipment and complete support for your projects, URL: www.poweriseverything.com (June 8, 2004).
3. How the hand or motor driven pump works.htm, Citation URL: <http://www.poweriseverything.com/product/> (June 9, 2004).
4. Ozgener, O., A Review of Blade Structures of SWTs in the Aegean Region and Performance Analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. **9**, pp. 85-99 (2005).
5. Ozgener, O. and Hepbasli, A. Current status and future directions of wind energy applications in Turkey. *Energy Source*. **24**, pp. 1117-29 (2002).
6. The Wind Turbine, Components and Operations, Bonus Energy Newsletter, (Autumn 1999).
7. سایت اینترنتی سازمان هواشناسی کشور: <http://www.weather.ir/farsi/index.asp> (۱۲ آبان ۱۳۸۳).
8. Ackermann, T. and Soder, L. An overview of wind energy-status, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. **6**, pp. 67-128 (2002).
9. Jischke, M. C., On The Aerodynamics of Windmill Blades. *Proc. Okla. Acad. Sci.* **56**, pp. 121-124 (1976).
10. Whitney, D. E., Liaison Scientist, Object-Oriented Cad And Expert Blade Design at Rolls-

- Royce. Propulsion Systems Engineering, Rolls-Royce plc, (2002).
11. http://www.esi-group.com/SimulationSoftware/Aerodynamics_Aero_acoustics (Jan, 18th, 2005).
 12. <http://club.cycom.co.uk/tutwind/turbine.html> (Jan, 18th, 2005).
 13. http://www.esi-group.com/SimulationSoftware/Aerodynamics_Aero_acoustics.html (Jan, 18th 2005).