طراحی و ساخت توربین بادی برای پمپاژ آب

حیسنعلی تاش شمس آبادی[۱،*]، سعید مینایی[۲]، آیت محمد رزداری[۳]، حسن کیانی[۴]، رقیه پورباقر[۴]

[*]۱- استادیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان _ hshamsabadi@yahoo.com

۲- دانشیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس

۳-دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک بیوسیستم دانشگاه شهرکرد

۴-دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

چکیده

بمنظور تأمین آب شرب دام‌ها در مراتع منطقه سیستان (زابل) طراحی و ساخت توربین بادی محور عمودی در نظر گرفته شد. طراحی اجزاء تشکیل دهنده این توربین بادی بر اساس حداکثر سرعت باد منطقه (۱۲۰ کیلومتر بر ساعت) شامل: پره‌های توربین با مقطع ایرفویل، محور اصلی، بازوهای نگهدارنده پره‌هاو یاطاقان است. قسمت‌هایی همچون پمپ تناوبی، کابل‌های مهارکننده سازه و دکل شبکه‌ای، پایه دکل، مکانیزم انتقال حرکت دورانی به رفت و برگشتی همزمان با ۹۰ درجه تغییر جهت نیرو و اجزاء متفرقه دیگر از جمله موارد انتخابی است. در این طرح قدرت مکانیکی توربین بادی برای بالا آوردن آب از چاه و نیز تعداد ساعت کار توربین و پمپ برای تأمین نیاز آبی روزانه محاسبه گردید. محاسبات در مورد پره توربین و بقیه قسمتها از طریق مهندسی معکوس صورت گرفت. نتایج نشان داد که توربین بادی مورد نظر نسبت به توربین‌های بادی مشابه دارای راندمان و گشتاور بیشتر و از نظر اقتصادی نیز مقرون بصرفه‌تر است و همچنین سادگی طرح ساختمان دستگاه و راندمان بالای آئرودینامیکی از شرایط طراحی توربین یاد شده است.این توربین بادی با ۱/۰۴ KWقدرت و نیز ۶ ساعت کار در روز قادر خواهد بود نیاز آبی۱۵۰۰ رأس دام با متوسط نیاز آبی (۷ لیتر در هر روز) را در دل مراتع تأمین کند بدون اینکه نیاز به برق یا موتورهای احتراقی باشد.

واژه‌های کلیدی: توربین بادی، پمپاژ آب، دام.

مقدمه

یک توربین بادی دستگاهی با قابلیت دریافت انرژی از باد و تبدیل آن از طریق یک محوربه انرژی مکانیکی است. این انرژی مکانیکی در بیشتر موارد به یک موتور الکتریکی منتقل می‌شود و در نهایت انرژی الکتریکی تولید می‌شود. استفاده از توربین بادی به منظور پمپاژ آب در مناطقی که بادهای انرژی‌زا (سرعت باد بیش از۵ متر بر ثانیه) به اندازه کافی وجود ندارد نیازمند توربین

عظیم الجثه و گران قیمت می‌باشد تا دریافت مقدار بیشتری از انرژی باد را میسر سازد(شمس آبادی و همکاران). بررسی خواص کمی و کیفی باد در محل مورد نظر برای بهره برداری از توربین بادی نشان می‌دهد که ۳۰ درصد اوقات باد انرژی‌زا و۷۰ درصد اوقات بادهای غالب وجود دارد. توربینهای بادی بهتر است در بالای برجی به دور از عوارض طبیعی یا مصنوعی قرار گیرند. تحقیقات نشان می‌دهد که در ارتفاعات، سرعت باد بیشتر است. بنابراین توربین بادی قادر خواهد بود تا از سرعت باد بیشتری برخوردار شده و قدرت بیشتری تولید نماید. توربین بادی دارای وزن است و در حین کار در بالای برجی به ارتفاع زیاد خالی از اشکال نخواهد بود. محاسبات و طراحی بر اساس اوقات وجود باد انرژی‌زا انجام گرفته است. دراین پروژه طراحی پره توربین با مقطع ایرفویل از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.ایرفویل شکل خاصی (دوک‌وار) از پره است که به واسطه‌ی ساختار فیزیکی با بوجود آوردن اختلاف فشار در اطراف خود نیروی لازم جهت به حرکت در آوردن پره را تأمین می‌کند. به منظور بهره برداری بهینه از یک توربین بادی برای پمپاژ آب در یک منطقه علاوه بر آگاهی از مشخصات باد، نکات زیر باید در نظر گرفته شود:

تعیین حداقل و حداکثر سرعت، جهت و قدرت باد در محل و دوام آنمیزان مصرف آب ـ تعداد ساعتهای وزش باد ـ برآورد مقدماتی از اندازه، نوع توربین، ارتفاع دکل، قطر پمپ و نوع آن، جابجایی پیستون ـ برآورد مواد مورد نیاز برای ساخت به منظور کاهش هزینه ـ نصب در محل بهره برداری و سرویس و نگهداری ـ قدرت و انرژی مورد نیاز

باید دانست که چه قدرتی و برای چه مدت از زمان لازم است در دسترس باشد. با در دست داشتن میزان سرعت، دوام و قدرت باد در محل و نیز معلوم بودن قدرت و انرژی مصرفی می‌توان اندازه‌های توربین بادی مناسب را تعیین کرد.

مواد و روش‌ها

شرایط انتخاب توربین بادی

در انتخاب یک نوع توربین بادی شرایط زیر باید در نظر گرفته شود:

ـ ضریب سرعت نوک (نسبت سرعت خطی نوک پره (u_t) به سرعت باد (V))

$$\lambda = \frac{u_t}{V} \qquad (۱)$$

ـ سادگی طرح و ساختمان دستگاه؛ بعبارت دیگر اقتصادی بودن، چه از نظر هزینه اولیه ساخت و راه اندازی و چه از نظر سرویس و نگهداری

ـ راندمان بالای آئرودینامیکی

هر چند در انتخاب یک طرح توربین بادی، سه عامل فوق نقش مهمی را ایفاء می نمایند، اما عوامل دیگری نیزنقش دارند، از جمله دسترسی به اطلاعات کافی و مواد اولیه ساختمانی طرح، دسترسی به شرایط مناسب برای آزمایش کردن طرح و امکانات آزمایشگاهی.

پارامتر λ ، در روتورهای سه پره با مقطع ایرفویل برای حرکت پمپ آب باید به اندازه‌ای باشد تا بتوان از حداکثر بازده انرژی باد ۰/۵۹۳ در سرعتهای دورانی مناسب پروانه استفاده کرده و بموازات آن توان بیشتری را از نیروی باد تولید کرد.

با ذکر دلایل زیر یک توربین بادی از نوع سیکلوجایرو برای طراحی انتخاب می‌گردد:

توربین بادی سیکلوجایرو و داریوس مطرح شده در دهه ۳۰ و ۸۰ میلادی با $\lambda = \frac{u_t}{V} \geq 5$ در مقایسه با توربین بادبانی($\lambda = 0.2 - 0.5$)،هلندی ($\lambda = ۳\text{-}۴$) و چند پره محور افقی ($\lambda \cong ۱$) برای طراحی انتخاب گردید. توربین بادی نوع داریوس هم به دلایلی همچون: مشکل ایجاد انحناء تیغه و تنظیم گام (Pitch)، ساخت پره به شکل ایرفویل با خاصیت فنری که با مشخصات NACA0012 مطابقت داشته باشد، کمیاب بودن آلیاژ فولاد آلومینیوم در ایران که جنس پره را تشکیل می‌دهد و مقرون به صرفه نبودن هزینه ساخت انتخاب نمی‌شود. مشکلات ساخت، پیچیدگی روتور، امکانات محدود و مشکل بالانس کردن تیغه های پره از جمله مواردی هستند که انتخاب توربین سیکلوجایرو را تأیید یا برجسته می‌نماید(غیور ب، ۱۳۶۳).

مشخصات ساختمانی توربین بادی منتخب

اجزاء توربین بادی منتخب از نوع سیکلوجایرو (شکل **۱**)عبارتند از:

یک محور اصلی، شش بازو (سه بازو در بالای پره‌ها و سه بازو در پایین آنها)، سه پره با مقطع ایرفویل، سه یا چهار کابل مهارکننده سازه و دکل شبکه‌ای، پایه، یاطاقان، مکانیزم انتقال حرکت دورانی به رفت و برگشتی همزمان با ۹۰ درجه تغییر جهت نیرو (جعبه دنده کاهنده دور و افزاینده گشتاور)، یک پمپ تناوبی (پیستونی) و اجزاء متفرقه دیگر.

محاسبات و طراحی لازم در مورد محور اصلی، بازوها، پره‌ها، یاطاقانها و ایستگاه پمپاژ توسط مهندسی معکوس انجام گرفت. ولی نوع پمپ، مکانیزم انتقال حرکت دورانی به رفت و برگشتی، جعبه دنده کاهنده دور و سیستم مهارکننده سازه، فقط انتخاب شدند.

شکل ۱. توربین بادی از نوع سیکلوجایرو

اصول طراحی پره ایرفویل

طراحی پره توربین با مقطع ایرفویل از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. به همین دلیل از کامپیوتر برای طراحی پروفیل ایرفویل و از تونل باد برای انجام آزمایشات نمونه ایرفویل و تعیین ضرایب لازم استفاده شد. نگارنده پروفیل مورد نظر به کمک کامپیوتر با استفاده از معادله پروفیل ایرفویل (معادله EPPLER211)که یک معادله درجه ۸ است ترسیم شد (معادله۲). همچنین به علت عدم دسترسی به تونل باد و نمونه ایرفویل از منابع و اطلاعات مختلف استفاده گردید.

$$\pm y = \frac{t}{0.2}(0.29690\sqrt{x} - 0.1260x - 0.35160x^2 + 0.28430x^3 - 0.10150d^4 \qquad (۲)$$

معادله (۲) متعلق به ایرفویل متقارن است با مشخصه‌های ضرایبNACA0012؛ یعنی ایرفویلی که حداکثر ضخامت آن $t_{\max} = 0.12c$ و نسبت به وتر قرینه است به علت در دسترس بودن اطلاعات مورد نیاز انتخاب گردید. محاسبات در مورد پره توربین و بقیه قسمتها در این پروژه باید از طریق مهندسی معکوس صورت گیرد(غیور ب، ۱۳۶۳).

محاسبه θ تابع ضمنی و مستقل از شعاع بازوی نگهدارنده پره

برای تعیین θ رابطه مربوط به آن را نوشته، با قرار دادن پارامترهای موجود در آن، مقدار θ حاصل می‌شود:

$$\frac{\mathbf{c}}{2\pi r}.C_L = 4(1-\cos\theta) \qquad (۳)$$

که در این رابطه تعداد پره $B=3$ ، طول وتر $C=1m$ شعاع بازوی نگهدارنده پره‌ها $r=1.5m$

$C_L = 0.9$

$$\frac{3\times 1}{2\pi\times 1/5}\times 0/95 = 4(1-\cos\theta) \Rightarrow \theta = 22^\circ \qquad (۴)$$

محاسبه زاویه گام پره

پره‌ها در محل اتصال به بازو تحت زاویه β ثابت می‌شوند. به عبارت دیگر در حین چرخش برای حداکثر استفاده از نیروی باد در محل اتصال تحت زاویه گام قرار خواهند گرفت. این موضوع در راندمان دستگاه تأثیر دارد و برای ما حائز اهمیت است؛ بنابراین طبق رابطه (۵) زاویه گام پره بدست می‌آید.

$$\beta = |\theta - \alpha| = |22 - 12| \Rightarrow \beta = 10^\circ \qquad (۵)$$

اندازه مناسب زاویه گام در محل اتصال بازوها به پره‌ها باعث می‌شود که ایرفویل خود را در مسیری که می‌پیماید، در مقابل حداکثر سطح جاروبی باد قرار دهد و انرژی بیشتری را از باد دریافت نماید.(Theodor B, 1967)

روش ساخت پره ایرفویل

برای ساخت پره دو روش ساخت پره با یونولیت (فوم) برای ارائه مدل فیزیکی و ساخت پره با فایبرگلاس یا آلومینیوم برای ارائه مدل تجربی پیشنهاد می‌شود.

در خصوص ساخت مدل تجربی، بعد از ترسیم مقطع ایرفویل، پره را با آلومینیومی که شکل‌پذیر است می‌سازند. بدین ترتیب که یک مقطع ایرفویل از چوب یا ورق آلومینیوم بریده و بعد با داشتن span (طول پره عمود بر مقطع ایرفویل) آن را در مقطع ایرفویل بریده شده شکل می‌دهند. محکم کاری و مقاوم بودن پره از اهمیت خاصی برخوردار است، زیرا در سرعتهای باد مورد نظر (تا ۱۰ متر بر ثانیه) و طول وتر (۱۰۰ سانتیمتر) کم بودن ضخامت پره ۱۲ سانتیمتر باعث می‌شود که از مسئله شکم دادن و تحت گشتاور قرار گرفتن پره حول محل اتصال بازو به پره جلوگیری شود، ولی در سرعتهای باد زیادتر از حد مزبور، باید تست شود. برای مقاوم کردن پره می توان از یک اسکلت با روکش ورق نازک آلومینیم استفاده کرد و دو قطعه از آن را توسط میله‌های عمودی که به فواصلی از هم قرار گرفته‌اند به وسیله جوش به هم متصل کرد. برای ایجاد نیروی رانش بیشتر، پره را با برزنت روکش می کنند تا بر اثر زبری روی برزنت، اصطکاک مابین مؤلفه‌های باد با پره زیاد شود(ثقفی م، ۱۳۷۲).

اصول طراحی بازوهای نگهدارنده پره‌ها

چون بازوها ثابت هستند و مانند میله یک سر گیردار عمل می‌نمایند بنابراین تنش برشی ناشی از پیچش در آن رخ نخواهد داد و فقط تنشهای فشاری و کششی و نیروهای محوری و برشی و گشتاور خمشی روی بازوها مؤثرند. به همین لحاظ می‌توان از میله توپر استفاده کرد، ولی چون وزن دستگاه افزایش می‌یابد بهتر است که محورهای توخالی را بکار ببریم. بدیهی است که در انتخاب نوع فلز مواردی از قبیل قابل دسترس بودن و بیش از حد وزین نبودن را باید در نظر گرفت.به همین دلیل از «فولاد توربینکاری شده» که درصد کربن آن بین ۰/۳۵ تا ۰/۴۵ و وزن مخصوص آن kg/m^3 ۷۸۰۰ است، می‌توان استفاده کرد (Theodor B, 1967).

نحوه اتصال بازوها به پره ایرفویل

محل اتصال بازوها باید در مرکز آئرودینامیکی ایرفویل (a_c) باشد. مطلبی که باید به آن توجه کرد، محکم و مقاوم بودن محل اتصال است که بتوان زاویه گام پره را هم با آن تنظیم و کنترل نمود. محل اتصال آن، توسط توپی با یک صفحه فلزی وبوسیله تعدادی پیچ و مهره محکم شده است. چون این نقطه باید مقاوم باشد، صفحه فلزی یا ورق گالوانیزه۳mm -۴ نوع AISI 304steel می‌تواند انتخاب گردد.

نحوه اتصال بازوها به محور اصلی

بازوها که روی هر پره یکی در بالا و دیگری در زیر ایرفویل قرار می‌گیرند به شکل سه خط متقاطع تحت زاویه۱۲۰ از یکدیگر به محور اصلی جوش داده شده اند.

اصول طراحی محور اصلی

به دلیل وارد آمدن تنشهای برشی بر سطح محور اصلی توربین و نیز به منظور سبکی دستگاه، برای ساخت محور از میله‌های فلزی توخالی (لوله) استفاده گردید.جنس محور توخالی از نوع Cold finished carbon-steel bar که در گروه Machinery steel قرار دارد، است. با قرار دادن تعداد ۲ یا ۳ یاطاقان در طول محور مقاومت لازم در برابر خمش و خیز محور نیز تأمین شد.

نصب یاطاقانها و انتخاب نوع آن

محور اصلی و پره‌های توربین و بازوها روی دکلی به ارتفاع حدود۶ متر قرار گرفته‌اند. در قسمت فوقانی دکل صفحه‌ای فلزی با صفحات معین قرار دارد که در وسط آن یک یاطاقان از نوعThrust Bearing Spherical Roller(کف گرد) یا Conical Bearingتعبیه شده و محور از درون آن می‌گذرد. به علت طویل بودن محور اصلی، یک یاطاقان در وسط و یک یاطاقان در انتهای محور نیز ممکن است نصب شود تا از پدیده خیز جلوگیری بعمل آید.

برج نگهدارنده توربینهای بادی

برجهای توربینهای بادی به طور کلی به دو دسته برجهایی که از فولاد پروفیل ساخته شده و به وسیله کابلهای مقید کننده، از اطراف به طور قائم روی زمین ثابت می‌شوند و برجهای خودایستا که به شکل خرپا از جنس فولاد ساختمانی یا فولاد پروفیل بوده و بدون کمک از اطراف روی یک پی (فونداسیون) بتونی ثابت می‌گردند، تقسیم می‌شوند.

به طور کلی برجهای نگهدارنده توربینهای بادی تحت تأثیر دو نیرو وزن توربین و ملحقات آن که برج را در جهت عمودی تحت فشار قرار می‌دهند و نیروی رانش توربین که تمایل دارد برج را در جهت وزش باد خم کند (نیروی باد) قرار می‌گیرند.در انتخاب و طراحی نوع برج لازم است محاسبات دقیق صورت گیرد تا در مقابل نیروهای ذکر شده ثابت و مقاوم بماند. البته باید بعد اقتصادی آن را نیز در نظر گرفت. یک توربین بادی در سرعت اسمی که قدرت زیادی تولید می‌کند، نیروی رانش قابل توجهی را ایجاد می-نماید.

طرح برج انتخاب شده برای توربین بادی از نوع شبکه‌ای و به شکل هرم مثلث القاعده بوده و به دلیل اینکه جنس آن از فولاد ساختمانی و نبشی سبک با قابلیت حمل و نقل و جابجایی آسان است، انتخاب می‌گردد. این برج مجهز به یک وینچ (جرثقیل دستی) برای کامل کردن ارتفاع برج، روتور و بادنما از طرف سطح شیبدار برج است. ایجاد فضای بیشتر در داخل برج و ساختمان میانی جرثقیل برای بیرون کشیدن پمپ و اجزاء آن به منظور سرویس و نگهداری مناسب بوده و امکان استفاده از وینچ را فراهم می‌نماید. همچنین برای متصل کردن اجزاء برج و توربین از سیستم وینچ استفاده می‌شود. این برج مجهز به یک نردبام بر روی سطح شیبدار آن نیز می‌باشد.

مونتاژ کردن برجهای شبکه‌ای به دو صورت انجام می‌شود:

ـ مونتاژ ایستاده: کارگری از پایین تا بالای برج، قطعات را به یکدیگر متصل نموده و پیچ و مهره‌ها را سفت می‌کند و تا بالای برج، عمل مونتاژ بصورت سرپا صورت می‌پذیرد.

ـ مونتاژ خوابیده: بر روی زمین (به طور خوابیده) عمل مونتاژ صورت گرفته، پس از پایان عمل مونتاژ بوسیله چندین متر طناب (سیم باکسیل) و دو عدد لوله ضربدری و یک دستگاه تراکتور یا خودرو، برافراشتن برج روی پی انجام می‌شود.

مونتاژ کردن خوابیده راحت تر است؛ بنابراین برای مونتاژ طرح، روش دوم انتخاب می‌گردد.

مشخصات و ابعاد برج نگهدارنده توربین بادی

در این بخش، انتخاب دکل و اندازه پمپ پیستونی متناسب با توربین طراحی شده، انجام می‌گیرد. بر همین اساس با مراجعه به کاتالوگ استرالیایی JOHN SHEARER که دارای مشخصات دکل و پمپهای مناسب توربین‌های بادی می‌باشد با توجه به مصرف آب روزانه حدود ۱۰ هزار لیتر و ارتفاع پمپاژ حدود ۲۵ متر انتخابها به شرح زیر خواهد بود:

جدول ۱–مشخصات و ابعاد برج نگهدارنده

قطر پمپ (میلیمتر)	کورس پیستون (سانتیمتر)	نسبت تغییر دور در جعبه دنده	ابعاد ساقهای اصلی دکل(میلیمتر)	ابعاد اتصالات افقی متصلبه ساق اصلی دکل(میلیمتر)	ابعاد مقطع بستها (میلیمتر)
۶۴	۱۹–۱۶	۳–۳/۸: ۱	۵۰×۵۰×۵	۲۵×۲۵× ۳	۲۵ ×۳

مشخصات و طرز آماده کردن فونداسیون توربین بادی

چون دکل توربین بادی دارای سه پایه می‌باشد بنابراین برای استقرار آن روی چاه بایستی مبادرت به احداث سه گودال در اطراف چاه نمود و استقرار برج باید به نحوی صورت گیرد که مرکز آن بر مرکز دهانه چاه منطبق نباشد. فواصل گودالها از مرکز چاه بسته به اندازه پمپ و ارتفاع دکل فرق می‌کند. بدین منظور جدول (۲) و برای کاربرد ارائه می‌شود(صادقیان م، بی تا).

فاصله مرکز دو گودال از یکدیگر:D

شعاع دایره اطراف چاه:R

جدول ۲–مشخصات فوندانسیون

R (متر)	D (متر)	ارتفاع دکل (متر)
۰/۸۵	۱/۵۰	۶
۱/۲۲	۲/۱۰	۹
۱/۶۲	۲/۸۰	۱۲
۲/۰۰	۳/۴۲	۱۵
۲/۴۰	۵/۸۰	۱۸

بنابراین برای اجرای طرح مورد نظر و اطمینان از مقاومت دکل در برابر بادهای شدید از ردیف دوم جدول استفاده کرده و دایره‌ای به مرکز چاه آب و به شعاع ۱/۲۲ متر رسم می‌شود که روی این دایره، محل گودالهای مخصوص پایه‌های دکل به فواصل خطی ۲/۱ متر مشخص می‌گردد. با توجه به مشخصات خاک، حفر گودالها به عمق ۱۰۰–۱۲۰ سانتی‌متر صورت می‌گیرد سپس یک میخ چوبی در کف و مرکز هر گودال فرو می‌کنیم. به طوری که حدود ۱۵ سانتی‌متر از کف خاکبرداری شده بیرون باشد. در این مرحله بتنی با ترکیب شن (۶۰ درصد)، ماسه (۳۰ درصد) و سیمان (۱۰ درصد) و مقدار لازم آب تا حد روانی، ساخته و در گودالها می‌ریزیم به طوری که کاملاً تا ارتفاع فوقانی میخهای چوبی را بپوشاند. باید سعی شود سطح بتن ریخته شده توسط ویبراتور کاملاً تراز گردد، سپس در بتن چند عدد مفتول نمره ۸ به طوری که از سطح بتون حدود ۱۵ سانتیمتر بیرون باشد گذاشته می‌شود. این بتون حدود بیست و چهار ساعت باید به همین وضع باشد تا خشک شود. بهتر است در این مرحله دو قطعه تیرآهن نمره ۱۰ روی دهانه چاه قرار داده به طوری که فاصله این دو تیرآهن از یکدیگر حدود ۱۰ سانتی‌متر باشد که سیلندر پمپ و اجزاء آن بتواند از بین این دو عبور نماید و از هر طرف حدود ۲۰ سانتی‌متر تا دهانه چاه فاصله داشته باشد سپس در دو طرف تیرآهن که روی زمین قرار گرفته بتون ریزی گردد. بعد از اینکه پایه‌های دکل آماده شده در داخل گودالها قرار گرفت به طوری که رأس دکل با مرکز چاه در یک امتداد قرار نگیرد، مقداری بتون تا حد خمیری ساخته همراه با مقداری سنگ در گودالها می‌ریزیم تا پر شوند. پس از بیست و چهار ساعت بتون سفت خواهد شد. در این حالت کار فونداسیون تمام است و آماده بهره‌برداری می‌باشد.

مشخصات چاه آب مورد استفاده توربین بادی

مشخصات چاهی که بر روی آن توربین بادی نصب می‌شود بدین شرح است:

–منطقه‌ای که چاه در آن حفر می‌شود بادخیز بوده و عاری از هرگونه عوارض طبیعی یا مصنوعی به شعاع ۹۰ – ۱۵۰ متر در سطح افق و ۵–۷ متر در ارتفاع باشد.

–حداقل عمق آب موجود در چاه ۳ متر بوده و چاه در قسمت انتها مجهز به دو یا سه رشته کانالهای افقی به قطر ۱ متر و به طول ۳–۵ متر باشد. برای جلوگیری از افت سریع سطح آب چاه در سرعتهای باد زیاد، کانالهای افقی در انتهای چاه عمودی حفر می‌شود.

–به منظور جلوگیری از ریزش چاه، داخل آن بایستی کول گذاری گردد. کولهای سیمانی به کمک قالبهای فلزی به ارتفاع ۳۰ ـ ۵۰ سانتی‌متر و به ضخامت ۵ ـ ۱۰ سانتی‌متر ساخته می‌شوند (صادقیان م، بی تا).

– نوع آب چاه تا حد امکان بایستی شیرین باشد؛ به عبارت دیگر قابل شرب برای دام یا آبیاری کشاورزی باشد.

ـ قطر دهانه چاه پس از طوقه‌چینی حداقل ۴۰ و حداکثر ۸۰ سانتی‌متر بیشتر نباشد؛ البته دهانه چاه پس از نصب کامل مبدل بادی به منظور جلوگیری از ریزش مواد خارجی پوشیده می‌شود.

انتخاب یک نوع جعبه دنده کاهنده دور و افزاینده گشتاور

جعبه دنده کاهنده دور، به نسبت ۳:۱ یا اندکی بیشتر با چرخنده مخروطی ساده لازمه کار است که در انتهای محور اصلی قرار می‌گیرد. محور خروجی به اندازه ۹۰ درجه نسبت به محور ورودی تغییر جهت یافته و در انتهای آن یک لنگ قرار می‌گیرد. ساق پمپ پیستونی توسط میله‌ای بلند به این لنگی متصل می‌شود؛ در واقع حرکت رفت و برگشتی پمپ پیستونی توسط همین لنگی (میل‌لنگ) انجام می‌گردد.

محاسبات طرح

برآورد قدرت مکانیکی توربین بادی برای بالا آوردن آب از چاه

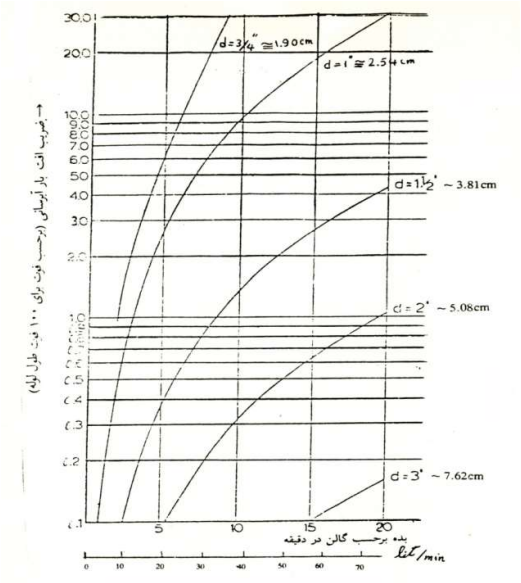
در هر سیستم آبکشی از چاه (پمپاژ آب) لازم است معلوم شود که پمپ در چه فاصله‌ای از سطح آب چاه قرار گرفته و همچنین ارتفاع محل تخلیه آب از سطح زمین یا محل قرارگیری پمپ آب چقدر است. حاصل جمع این دو مقدار «ارتفاع آبرسانی» را تعیین می‌نماید. به عبارت دیگر می‌توان گفت:

(۶) ارتفاع منبع ذخیره آب + فاصله قرارگیری پمپ آب تا سطح آب چاه = ارتفاع آبرسانی

پس ارتفاع آبرسانی عبارتست از کل ارتفاعی که پمپ باید قادر به رساندن آب باشد. بنابراین عمق نصب تلمبه (فاصله محل نصب پمپ تا سطح آب چاه) مقدار عددی صفر را داراست. هر چه عمق نصب پمپ به صفر نزدیکتر باشد، ارتفاع آبرسانی نیز افزایش خواهد یافت. به عبارت دیگر پمپ قادر خواهد بود که آب را از اعماق بیشتری به سطح زمین یا منبع ذخیره آب بالا آورد.

افت ارتفاع آبرسانی

در صورت وجود شرایط مناسب، با کار کردن پمپ، آب از داخل لوله بالا خواهد رفت. با افزایش بار پمپ (مقدار آبی که از داخل لوله عبور می‌کند) افت بار نیز افزایش خواهد یافت. شکل (۲) منحنی‌های افت بارآبرسانی یا «ضریب افت بارآبرسانی» را نشان می‌دهد. بنابراین برای اندازه‌گیری افت بار آبرسانی لازم است طول لوله، مقدار آب بر حسب گالن در دقیقه و قطر داخلی لوله را داشته باشیم. در نهایت برای محاسبه افت بار آبرسانی طبق رابطه زیر عمل می‌شود که واحدهای آن برحسب فوت است(ثقفی م، ۱۳۷۲).



شکل۲- منحنی افت بارآبرسانی

$$\text{افت بار آبرسان} = \text{ضریب افت بار} \times \text{طول لوله} \times \frac{1}{100} \qquad (۷)$$

منحنی‌های نشان داده شده در شکل (۷) برای لوله‌های فولادی است. افت بار لوله‌های پلاستیکی کمتر از لوله‌های فولادی است. افت بار شیرها، اتصالات، سه راهه و زانوها را نیز باید جداگانه حساب کرد. بعنوان مثال در سیستم پمپاژ مورد طراحی تعداد یک صافی و یک اتصال لوله به قطر ۶۵ میلیمتر و یک اتصال به سه راه بکار می‌رود که افت بارها چنین تعیین می‌شود:

$$\text{افت کلی} = \text{افت ناشی از فشار مایع برای بالا آوردن آب} + \text{افت ناشی از طول لوله} + \text{افتهای موضعی} \qquad (۸)$$

افت ارتفاع که ناشی از اصطکاک مایع (آب) با جداره داخلی لوله است، به زبری نسبی جداره داخلی لوله بستگی دارد و به ازای هر ۳۰ متر طول لوله ضریب افت بار کمتر از۳/۰۴۸cm می‌شود. چون طول لوله گذاری در سیستم پمپاژ طرح ۲۲/۵ متر می‌باشد بنابراین در این قسمت افتی نخواهیم داشت یا اگر داشته باشیم بسیار ناچیز است که می‌توان از آن چشم‌پوشی کرد.

ـ محاسبه افت در صافی

$$Q = A.V \qquad (۹)$$

Q: میزان دبی (m^3/s) A: سطح مقطع سیلندر پمپ (m^2): V: سرعت جریان آب در لوله (m/s)

$$V_1 = \frac{Q_{\max}}{A_1} = \frac{0/5\times10^{-3}(m^3/s)}{\pi(0/0635)^2/4(m^2)} \qquad (۱۰)$$

$$V_1 \cong 0/16\, m/s \qquad (۱۱)$$

بر اساس رابطه افت در صافی، ($H_{L1} = K\frac{V_1^2}{2g}$) که ضریب k مقدار عددی۵.۵= k را داراست، مقدار افت بار در صافی محاسبه می‌شود:

$$H_{L1} = K\frac{V_1^2}{2g} = 5/5 \times \frac{0/16^2}{2\times 9/81} \cong 8cm \qquad (۱۲)$$

ـ محاسبه افت در اتصال سیلندر پمپ به لوله متصل به آن

قطر سیلندر پمپ $d = 0/0635m$ و قطر لوله متصل آن $D = 2\frac{3}{4} \cong 0/07$ m است. بنابراین لازم است سرعت در لوله دوم را بدست آوریم.

$$A_1V_1 = A_2V_2 \Rightarrow V_2 = \frac{A_1}{A_2}V_1 = \frac{(0/0635)^2 \times 0/16}{(0/7)^2} \Rightarrow V_2 \cong 0/17m/s \qquad (۱۳)$$

سپس مقدار افت را طبق رابطه مربوط به آن به دست می‌آوریم:

$$H_{L2} = E_L = (\frac{V_1}{V_2} - 1)^2 (V_2^2/2g) = (\frac{0/16}{0/17} - 1)^2 \frac{0/17^2}{2\times 9/81} \Rightarrow m \cong 0 \qquad (۱۴)$$

پس افت در محل اتصال لوله به سیلندر پمپ نداریم.

ـ افت در سه راهی

طبق رابطه افت در سه راهی می‌توان نوشت:

$$H_{L3} = T_L = K\frac{V_2^2}{2g} = 0/5 \times \frac{0/17^2}{2\times 9/81} \cong 0 \qquad (۱۵)$$

ـ افت ناشی از فشار

معمولاً ۱۰٪ ارتفاع استاتیک آبرسانی را بعنوان افت فشار در نظر می‌گیرند که تقریباً معادل ۲/۵ متر به دست می‌آید.

بنابراین افت کل برابر خواهد بود با:

$$H_{Lt} = H_{L1} + H_{L2} + H_{L3} + H_{L4} \cong 2/5m \qquad (۱۶)$$

در نتیجه مقدار افت به ۲/۵ متر می‌رسد؛ بنابراین مقدار ارتفاع آبرسانی کل تقریباً ۲۵ متر در طراحی ایستگاه پمپاژ در نظر گرفته می‌شود.

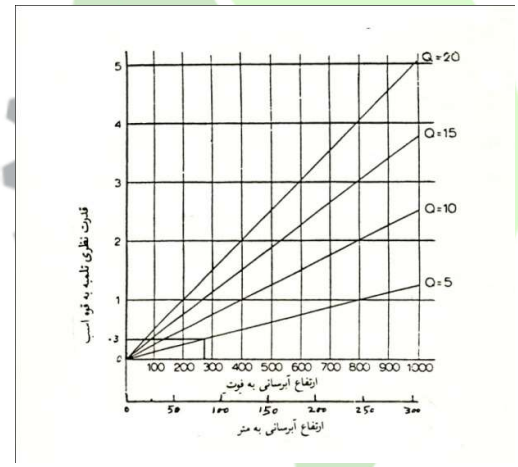
ابعاد طراحی پمپاژ مورد بررسی در جدول (۳) به این شرح است:

جدول ۳- ابعاد طراحی پمپاژ

دبی متوسط پمپ(لیتر در ثانیه)	طول لوله(متر)	ارتفاع آبرسانی(متر)	قطر لوله(متر)	اتصالات مربوط به سه راهه	اتصالات لوله‌ای
۰/۵	۲۲/۵	۲۵	۰/۰۶۵	۱	۱

برآورد قدرت پمپ آب و توربین بادی

اکنون می‌توان قدرت توربین بادی را برای به حرکت درآوردن این تلمبه بدست آورد. از روی شکل (۳) قدرت نظری تلمبه (بدون افت بار) برای دبی معین و ارتفاع آبرسانی مشخص بدست می‌آید. این قدرت برای ارتفاع آبرسانی ۸۰ فوت (۲۵ متر) و دبی ۰/۵ لیتر در ثانیه با راندمان پمپ ۶۰٪ تقریباً برابر ۰/۲۸ اسب بخار تعیین می‌شود



شکل ۳- قدرت نظری تلمبه به قوه اسب (HP)

حالا باید قدرتی را که توربین به تلمبه می‌دهد بدست آورد. برای توربینی که خوب طرح شده و نو باشد، راندمان توربین ۳۰ درصد می‌باشد ولی با توجه به امکان صحیح ساخته نشدن، راندمان را ۲۰ درصد در نظر می‌گیریم بنابراین قدرت مورد نیاز توربین بادی چنین خواهد شد:

(۱۷) ۰/۲۰ ÷ قدرت تلمبه = قدرت توربین بادی

برای مورد طراحی پمپاژ قدرت توربین به روش زیر تعیین می‌شود:

قدرت تلمبه ۰/۲۸ HP یا تقریباً ۰/۲۱ kw با در نظر گرفتن ۶۰٪ راندمان بدست آمد، بنابراین قدرت توربین بادی عبارت خواهد بود:

$$\text{قدرت توربین بادی} = 0/28 \div 0/2 \cong 1/4hp \approx 1/04kw \quad (۱۸)$$

به عبارت دیگر زمانی که این توربین بادی ۰/۵ لیتر آب را در یک ثانیه از لوله‌ای فولادی به قطر ۶۳ میلی‌متر و به طول ۲۲/۵ متر با یک اتصال مربوط به سه راهه، به ارتفاع آبرسانی کل ۲۵ متر بالا می‌برد دارای قدرت تقریباً ۱ کیلو وات خواهد بود. این قدرت در یک شرایط خاص بدست آمده و قدرت ماکزیمم نیست.

از روابط(۱۹)،(۲۰) برای بدست آوردن توان اسب آبی می‌توان استفاده کرد. کار مفید پمپ عبارت است از حاصلضرب میزان دبی آب در ارتفاع دینامیکی کل که با آن پمپاژ صورت می‌گیرد. معیار برآورد این کار، توان اسب آبی می‌باشد. یک توان اسب بخار برابر توان لازم در انتقال یک فوت مکعب بر ثانیه در اختلاف سطحی برابر ۸/۸ فوت (۷۶/۲۵ کیلوگرم متر بر ثانیه) می‌باشد و بطورطور کلی:

$$\text{توان اسب آبی} WHP=Q(\text{لیتر بر ثانیه}) \times h(\text{متر}) / ۷۵ \quad (۱۹)$$

$$WHP=Q(\text{گالن بر دقیقه}) \times h(\text{فوت}) / ۳۹۶۰ \quad (۲۰)$$

$$WHP=Q(\text{متر مکعب بر ساعت}) \times h(\text{متر}) / ۲۷۳ \quad (۲۱)$$

چون توانی بیشتر از این مقدار برای به کار انداختن پمپ لازم است و یا کارایی توربین کمتر از ۱۰۰ درصد می‌باشد پس:

$$\text{توان ترمزی} BHP=Q(\text{لیتر بر ثانیه}) \times h(\text{متر}) / ۷۵ \times \text{راندمان پمپ} \quad (۲۱)$$

توان اسب بخار ترمزی، توان ارائه شده بوسیله یک موتور الکتریکی یا توربین به محور پمپ برای انجام کار مفید می‌باشد و به عبارت دیگر:

$$\text{کارایی یا راندمان پمپ} = \frac{whp}{Bhp} \times 100 \quad (۲۲)$$

با محاسبه قدرت مورد نیاز پمپ و توربین بادی، اکنون باید معلوم شود این قدرت برای چند ساعت در روز و یا چند ساعت در ماه برای آب‌کشی از چاه که جوابگوی احتیاجات باشد لازم خواهد بود. با در دست داشتن مصرف آب یک روز و ضرب آن در تعداد روزهای ماه (۳۰) مصرف آب ماهانه بدست خواهد آمد. مصرف کنندگان آب، نزدیک به ۱۵۰۰ رأس گوسفند در مراتع محدوده فعالیت یک توربین بادی می‌باشد. با توجه به مصرف آب برای هر رأس گوسفند (۷ لیتر) در روز و ضرب آن در ۳۰ (تعداد روزهای ماه) مصرف آب ماهانه ۱۵۰۰ رأس گوسفند چنین خواهد شد:

(۲۳) متر مکعب در ماه 315= لیتر 315000=30 ×7×1500

یعنی در هر ماه $315m^3$ و در هر روز $10/5m^3$ آب مورد نیاز ۱۵۰۰ رأس گوسفند بالغ می‌باشد.

با توجه به دبی متوسط پمپ و بررسی در شرایط خاص $0/5lit/s$، در مدت یک ساعت معادل $0/5\times3600=1800lit/hr$ آب پمپ خواهد شد. بنابراین برای نیاز آبی روزانه ۱۵۰۰رأس گوسفند، تعداد ساعات کار توربین و پمپ طبق معادله (۲۴) تعیین می‌شود:

(۲۴) لیتر در روز 10500 = 7×1500= مصرف آب روزانه

(۲۵) ساعت در روز $6\cong1800\div10500$ = تعداد ساعت کار توربین و پمپ

یعنی اگر توربین بادی و پمپ در یک شبانه روز ۶ ساعت با قدرت ۱ کیلو وات کار کنند آب مورد نیاز ۱۵۰۰ رأس گوسفند تأمین می‌شود؛ بنابراین انرژی مورد نیاز در یک روز (۶ ساعت کار توربین) خواهد شد:

(۲۶) $1\times6=6kw.hr$

برآورد حجم مینیمم منبع ذخیره آب

همانطور که در بخش قبل ملاحظه شد با در دست داشتن $6kw.hr$ انرژی می‌توان با پمپی که ۰/۵ لیتر در ثانیه، دبی داشته باشد ۳۱۵ متر مکعب آب مورد نیاز حدود ۱۵۰۰ رأس گوسفند را در یک ماه با احتساب ۶ ساعت کار توربین و پمپ در شبانه روز تأمین نمود.

از آنجایی که سرعت باد همواره ثابت نیست، وقتی سرعت باد زیاد باشد دبی پمپ اندکی بیش از مقدار فوق خواهد بود و بالعکس. ممکن است موقعی به آب احتیاج باشد که اصلاً بادی نوزد به عبارت دیگر آبی پمپاژ نشود و نیز زمانی باد با حداکثر سرعت بوزد و دبی پمپ زیاد شود ولی به آب احتیاج نباشد. به منظور یکنواخت کردن نوسانات و اطمینان از دسترسی مستمر به آب مورد نیاز وجود یک منبع ذخیره آب ضروری است. با فرض اینکه ۱۰ روز در ماه باد نوزد، بایستی برای این مدت، آب در منبع ذخیره باشد تا مصرف کننده (دامدار) در طول ماه با مشکل کمبود آب مواجه نشود، بنابراین حجم مینیمم منبع ذخیره آب در یک ماه به طریق زیر بدست می‌آید.

(۲۷) حجم منبع ذخیره آب در یک ماه = 1500(رأس دام) ×7 (لیتر در روز) × 10 (روز در ماه) =$105m^3$ / ماه

اگر حجم مینیمم منبع ذخیره آب در یک هفته مدنظر باشد باید این عدد بر ۴ تقسیم گردد:

(۲۸) $105\div4\cong26m^3$

ایجاد منبع آب ۲۶ متر مکعبی و ذخیره کردن این مقدار آب برای مصرف هفتگی، هزینه زیادی را برای مصرف کننده (دامدار) در برنمی‌گیرد. برای اطمینان بیشتر در ضریب ۱/۲ ضرب کرده، مقدار حجم مینیمم منبع ذخیره آب برای یک هفته تعیین می‌گردد.

$$26 \times 1/2 \cong 30m^3 \quad (۲۹)$$

و بدین ترتیب ابعاد مخزن ۵×۳×۲ متر تعیین می‌گردد. جنس آن می‌تواند از نوع آب انبارهای قدیمی (از آجر و ملات با عایق‌بندی دقیق از داخل و بیرون) و یا مخزن فلزی (تانکر) باشد که در طرح مورد نظر منبع ذخیره آب فلزی انتخاب می‌گردد.

نتیجه گیری

توربین بادی سه پره با مقطع ایرفویل در ارتفاع ۶ متری از سطح زمین که سطح تماس آن با جریان باد برابر $7m^2$ (۲/۸ × ۲/۵) می‌باشد قرار گرفته است و قادر خواهد بود نیاز آبی ۱۵۰۰ رأس دام با مصرف آب روزانه (۷lit/day) را تأمین نماید. در صورتی که بادهای انرژی‌زا (بادهایی با زمان کمتر و انرژی بیشتر) ۳۰٪ اوقات وجود داشته باشند این توربین توان مورد نیاز روی پمپ آب را تأمین می‌نماید. در حالی که در مقابل ۷۰٪ اوقات بادهای غالب (بادهایی با زمان بیشتر و انرژی کمتر) درنظر گرفته شده یقیناً آب بیشتری استحصال خواهد شد که آب مازاد مورد مصرف کشاورزی در دل مراتع قرار می‌گیرد. از آنجایی که این سازه قرار است در حداکثر سرعت باد منطقه (۱۲۰km/hr) کار کند لذا از نظر استحکام و دوام این سازه براساس حداکثر سرعت باد منطقه طراحی و ساخته شده است. طبق این طراحی مشخصاتی سیستم بدین شرح است: سه عدد پره با مقطع ایرفویل از جنس ورق آلومینیوم به ضخامت mm ۲، شش بازو با مقطع دایره توخالی از جنس فولاد ماشینکاری شده با ۴۰ درصد کربن، یک محور اصلی به طول شش متر با مقطع دایره توخالی از جنس فولاد ماشینکاری شده با ۴۰ درصد کربن، یک یاطاقان از نوع .conical B، دکل به ارتفاع شش متر از نوع شبکه‌ای به شکل هرم مثلث‌القاعده از جنس فولاد گالوانیزه، فوندانسیون شامل سه گودال از جنس بتون آرمه، جعبه دنده کاهنده دور و افزاینده گشتاور با نسبت تغییر دور ۱: ۳/۸–۳، میل‌لنگ دو تکه با یاطاقان از نوع Needle Bearing با جابجایی ۲۰ سانتیمتر، پمپ تناوبی پیستونی یک اثره با دبی ۰/۵ لیتر بر ثانیه.

منابع

۱– شمس آبادی ح، محمدرزداری آ، کیانی ح، محمدرزداری و، ۱۳۹۲. کاربرد توربین های بادی در مناطق بادخیز کشور. چهارمین همایش بیوانرژی ایران، تهران.

۲– غیور ب، ۱۳۶۳. پروژه طرح توربین بادی

۳– ثقفی م، ۱۳۷۲. انرژی بادی و کاربرد آن در کشاورزی، چاپ اول، انتشارات دانشگاه تهران

۴- صادقیان م، بی تا. دستور العمل نصب تلمبه های بادی ، سازمان جنگلها و مراتع کشور

5- Theodor Baumeister: Standard Handbook for Mechanical Engineers, Seventh Edition, Mcgraw-hill book company, pp 6-27, 1967

Design and construction of wind turbines for water pumping

Hossein Ali Tash Shamsabadi[1*] Saeed Minaei[2] Ayat Mohammad Razdari[3] Hasan Kiani[4] Roghaye Poor Bagher[4]

1-Assistant Professor, Department of Biosystems Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources _hshamsabadi@yahoo.com

2- Associate Professor, Department of Biosystems Engineering, University of Tarbiyat Modares

3- MSc Student, Department of Biosystems Engineering, University of Shahre Kord

4- MSc Student, Department of Biosystems Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Abstract

Design and manufacturing vertical-axis wind turbine has been considered for providing drinking water for livestock in Sistan (Zabol) pastures. Simple device structure design and high aerodynamic efficiency are some conditions of the mentioned turbine design. According to the maximum speed of the area's wind (120k/h), the design of wing turbine components that are considered include: turbine blades with airfoil section, the main axis, blade retaining arms and bearings. Sections like periodic pump, structure-inhibitor cables and network offshore, base of the offshore, rotational motion transformation mechanism to reciprocating with 90-degree change of force direction and other miscellaneous components are other selective fields. Wind turbine mechanical power is calculated in this design for raise water from the well and turbine working hour as well as pump for supply daily water need. Calculation of the turbine blade and other parts has been done via reverse engineer in this project. Results show that the mentioned wind turbine has more efficiency and torque than other similar wind turbines and is more cost-saving via economic point of view. This wind turbine can supply water need of 1500 livestock with medium water need (7liter per day) in pastures without any need to electricity or combustion engines with 1.04KW power and 6-hour work in each day.

Keywords: wind turbine, water pumping, livestock