مجله علمی ترویجی انجمن مهندسان مکانیک ایران
ISSN: 1605-9719
سال ۲۷، شماره ۱۲۲، صفحات ۵۰–۵۵

امکان‌سنجی استفاده از آب باران در ساختمان شهری و بهینه‌سازی پارامترهای مؤثر

مریم ممی‌زاده[۱]، ناصر کردانی[۲و*]

[۱]کارشناسی مهندسی مکانیک، گروه مهندسی مکانیک، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه مازندران، بابلسر
[۲]استادیار گروه مهندسی مکانیک، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه مازندران، بابلسر
*مسئول مکاتبات: naser.kordani@umz.ac.ir

چکیده

باران به‌عنوان یک منبع طبیعی آب به‌طور معمول بی‌استفاده از بین می‌رود و می‌توان از این منبع طبیعی برای تولید برق خانگی بهره برد. با استفاده از توربین کوچکی در محفظه ضد آب در درون لوله ناودانی ساختمان‌ها، می‌توان از انرژی ذخیره شده باران استفاده برد. در انتهای فوقانی محفظه توربین از یک قیف استفاده شده تا با همسو نمودن جریان،آب به پره‌های توربین برخورد کند و ژنراتور متصل به توربین، انرژی الکتریکی تولید نماید. هدف از این پژوهش بررسی و امکان‌سنجی استفاده از توربین در مسیر لوله آب ناودانی و بهینه‌سازی پارامترهای مهم به‌منظور تولید برق خانگی است. بدین منظور ساختمان شهری ۵ طبقه که میانگین ارتفاع ساختمان‌های شهری است، در نظر گرفته شد و همچنین توربینی که مورد بررسی قرار گرفت، از نوع پلتن هست. پره‌های توربین پلتن به صورت دو قاشقک هستند.با فرض راندمان ۸۰ درصد ژنراتور، توانی به اندازه ۱۰/۲۹۲۷ وات از توربین محاسبه گردید. همچنین مقدار بهینه قطر خروجی قیف ۲ میلی‌متر،عرض قاشقک ۶/۸ میلی‌متر، عمق قاشقک ۲/۴ میلی‌متر، طول قاشقک ۶ میلی‌متربرای توربین موردنظر به‌دست آمد.

واژگان کلیدی

توربین پلتن
انرژی باران
استفاده بهینه از آب باران
تولید انرژی الکتریکی از آب باران
انرژی الکتریکی خانگی

تاریخچه مقاله

تاریخ دریافت ۱۳۹۷/۰۴/۱۷
تاریخ پذیرش ۱۳۹۷/۰۹/۲۰

۱ مقدمه

باران یکی از نعمت‌های الهی است که به صورت رایگان در اختیار انسان قرار می‌گیرد. هر ساله در فصول سرد سال و به خصوص در مناطق شمالی ایران، میزان قابل توجهی از بارش وجود دارد.

توربین آبی یک محرک اولیه است که انرژی پتانسیل آب را به انرژی مکانیکی دورانی تبدیل کرده و از چرخش توربین آبی، ژنراتور هم محور آن نیز به گردش در آمده و انرژی الکتریکی تولید می‌گردد. استفاده از انرژی آبی از دوران گذشته هم وجود آسیاب کردن گندم استفاده می‌کردند. در اوایل قرن نوزدهم، آمریکایی‌ها و اروپایی‌ها از چرخ‌های آبی جهت تأمین توان مورد نیاز ماشین‌های خود استفاده می‌کردند. در اواخر قرن نوزدهم، انرژی آب در حال ریزش جهت تولید توان الکتریکی مورد استفاده قرار گرفت. اولین نیروگاه برقابی دنیا در سال ۱۸۷۹ در آبشار نیاگارا ساخته شد [۱].

در راستای استفاده و بهره‌برداری از این منبع رایگان مطالعات وسیعی انجام شده است. می‌توان به چند مورد که در آنها از آب بارانبرای تولید انرژی الکتریکی استفاده شده، اشاره کرد.

در مطالعه‌ای به منظور استفاده از آب باران برای تولید انرژی الکتریکی، از آب آبشاری و طوفانی در حال تخلیه از آب باران، از چرخ توربینی استفاده شده است. این چرخ توربین در انتهای خروجی لوله تخلیه قرار گرفته و دینامی به آن متصل است که انرژی پتانسیل و جنبشی آب آبشاری باران را به انرژی الکتریکی تبدیل کند. ذکر شده که چرخ توربین و دینام، هر دو در درون لوله تخلیه تعبیه می‌شوند. بر اساس مقدار بارش باران، آب اضافی باران قبل از رسیدن به توربین از طریق یک سرریز تخلیه می‌شود [۲].

در مطالعه دیگری دستگاه تولید برق از آب باران، از یک تیغه توربین کوچک تشکیل شده است که در درون یک ژنراتور قرار می‌گیرد. آب باران از پشت بام یک ساختمان جمع‌آوری شده و در منبعی ذخیره می‌شود. سپس در گاتر ناودان‌های مخصوص و در بالای لوله ناودانی از طریق قیف آب به تیغه توربین برخورد می‌کند و ژنراتور متصل به آن انرژی الکتریکی تولید می‌نماید. متأسفانه در این طرح باید گاتر ناودان‌های مخصوص زیادی نصب شوند تا این‌که آب را به یک تیغه واحد و توربین برخورد دهند [۳].

در سال ۲۰۰۵، رنه گمبار[1] پیشنهاد استفاده از دستگاهی[2] را در درون لوله ناودانی ساختمان داده است. پس از جمع شدن باران در بالای سقف خانه‌ها و عبور از فیلتر روی ناودانی که از ورود برگ‌ها و مواد اضافی به لوله ناودانی جلوگیری می‌کند، آب وارد دستگاه می‌شود. در این پیشنهاد توربین‌های آبی کوچکی به فاصله‌های معین از یکدیگر درلوله ناودانی قرار می‌گیرند. به هر کدام از توربین‌ها ژنراتورهای کوچک و نیز به هر کدام از ژنراتورها، ترانسفورماتور متصل است. پره‌ها تا حد امکان از مواد سبک و ضدزنگ ساخته شده‌اند. از باتری یا وسیله‌ای دیگر برای ذخیره‌سازی انرژی استفاده می‌شود. رنه گمبار این پیشنهاد را به عنوان یک تولید داخلی در زمینه تامین انرژی خانگی مطرح کرده است [۴].

در مطالعه دیگری، با توجه به هزینه اولیه و همچنین تعمیر و نگهداری زیاد طرح‌های قبلی، سیستمی پیشنهاد شده است که در درون لوله ناودانی قرار می‌گیرد و دارای نازلی است که با توجه به میزان بارش باران توانایی کنترل حجم آب را دارد. این سیستم خود دارای لوله‌ای است که بتوان در

[1]Rene Gombar [2]wassermühlartige

ساختمان‌هایی که از قبل به سیستم تخلیه آب باران مجهز شده‌اند، بدون هزینه اضافی، به لوله ناودانی نصب شوند. هزینه ساخت و نگه‌داری این سیستم نسبت به طرح‌های قبلی کمتر و مقرون به‌صرفه‌تر است [۵].

در مطالعه‌ای دیگر، سیستم تولید انرژی شامل محفظه توربین است، به گونه‌ای که قیفی در انتهای فوقانی محفظه توربین قرار داده شده و ژنراتور نیز متصل به توربین است. آب باران به روتور ژنراتور برخورد کرده و انرژی برق تولید شده به وسیله ژنراتور توسط کابل برق برای ذخیره‌سازی و یا استفاده به‌صورت مورد نظر، منتقل می‌شود. وجه‌تمایز این طرح با پیشنهادهای دیگر این است که، از قیف برای برخورد دادن آب باران به روتور استفاده شده است. چون این طرح به صورت مجزا از یکدیگر هستند، می‌توان تمام قطعات را جایگزین کرد. همچنین می‌تواند با اندازه‌های بزرگتر برای ساختمان‌ها یا برنامه‌های بزرگتر تولید شود [۶].

هدف تمام طرح‌های فوق، تولید انرژی برق از آب باران به وسیله توربین و ژنراتور بوده است. تفاوت‌های آنها با یکدیگر شامل، مکان قرارگیری نازل و یا قیفی که آب را به توربین برخورد می‌دهند، نحوه ذخیره‌سازی آب باران، استفاده از فیلتر، استفاده از چندین توربین در طول لوله ناودانی و محفظه توربین هست. در این پژوهش نیز سعی بر آن است، راهکاری برای استفاده از آب باران و تبدیل آن به انرژی برق با هزینه کم و تجهیزات اولیه ارائه شود.

با قرار دادن یک توربین آبی کوچک در مسیر لوله ناودانی ساختمان‌ها می‌توان انرژی الکتریکی تولید کرد. به این‌گونه که آب باران توسط منبعی در بالای سقف ساختمان‌های شهری جمع‌آوری می‌شود و پس از عبور از فیلتر بالای لوله ناودانی، به توربین می‌رسد. در طول لوله ناودانی و قبل از رسیدن آب به توربین، از یک قیف استفاده می‌شود تا از این طریق سرعت آب به هنگام برخورد به توربین افزایش پیدا کند. بدین منظور از یک توربین پلتن[1] مقیاس کوچک استفاده شده است.

دلیل اینکه این نوع توربین برای پژوهش انتخاب شده، این است که توربین پلتن ضربه‌ای است و در آن تغییر فشار بوجود نمی‌آید و می‌توان به‌وسیله یک نازل سرعت آب را افزایش داده و از این طریق آب را به پره‌ها برخورد داد. که در این حالت آب با نیروی زیادی به کف پره‌ها برخورد می‌کند و نیروی لازم برای چرخش توربین را بوجود می‌آورد. پره‌ها در توربین پلتن به شکل دو قاشقک[2] هستند که توسط خط‌الرأس تیزی به هم چسبیده‌اند [۷].

۲ روابط حاکم

در تئوری توربوماشین‌ها برای توربین پلتن توان ورودی به‌صورت زیر به‌دست می‌آید [۷]:

$$P_{in} = m \times g \times \frac{H}{t} = \rho \times g \times V \times \frac{H}{t} \qquad (۱)$$

$$P_{in} = \rho \times g \times H \times Q \qquad (۲)$$

توان ایجاد شده در روی چرخ توربین از نظر تئوریک با توجه به اینکه جت آبی با سرعت $(V_j - r \times w)$ به وسط پره برخورد خواهد نمود، به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

نیروی وارده به وسط پره

$$F = \rho \times Q \times (V_j - r \times w) \times (1 - \cos\beta) \qquad (۳)$$

گشتاور وارده به وسط پره

$$T = F \times r \qquad (۴)$$

$$T = \rho \times r \times Q \times (V_j - r \times w) \times (1 - \cos\beta) \qquad (۵)$$

توان خروجی از توربین

$$dP_{out}/du = T \times w \qquad (۶)$$

$$= \rho \times r \times Q \times w \times (V_j - r \times w) \times (1 - \cos\beta) \qquad (۷)$$

که در آن $U = \frac{\pi \times D \times N}{60}$ ، سرعت خطی قاشقک و r فاصله مرکز توربین تا خط مرکز فواره است. مقدار توان تئوری ماکزیمم در $\beta = 180^\circ$ درجه قرار دارد [۷]. بنابراین:

$$P_{out\ max} = 2 \times \rho \times Q \times U \times (V_j - U) \qquad (۸)$$

با توجه به معادله، ملاحظه می‌شود که توان تئوریک توربین ضربه‌ای برحسب سرعت قاشقک U به شکل سهمی بوده و زمانی مقدار آن به حداکثر خواهد رسید که:

$$dP_{out}/du = \rho \times Q \times (V_j - 2 \times U)(1 - \cos\beta) = 0 \qquad (۹)$$

$$U = \frac{V_j}{2} \qquad (۱۰)$$

بنابراین زمانی که سرعت قاشقک، نصف سرعت جت آبی است، حداکثر توان خروجی به دست خواهد آمد.

۳ روش انجام کار

آب باران از روی سقف شیبدار جمع شده و در بالای لوله ناودانی که به صورت عمودی قرار گرفته از یک فیلتر استفاده شده است تا از ورود برگ و مواد اضافی دیگر به لوله ناودانی جلوگیری کند. در درون لوله ناودانی توربین پلتن تعبیه شده است و در انتهای فوقانی محفظه توربین از یک قیف استفاده می‌شود تا آب را به پره‌های توربین برخورد دهد. در نتیجه نیروی وارد شده از طرف آب به پره‌های توربین، توربین می‌چرخد و ژنراتور متصل به آن انرژی الکتریکی تولید می‌کند. در این پژوهش یک ساختمان ۵ طبقه مسکونی که هر طبقه آن ۲ واحد و پارکینگ در پیلوت هست، در نظر گرفته شده که مساحت هر واحد ۱۰۰ متر مربع است.

با توجه به اصول مهندسی و بر مبنای ارتفاع استاندارد هر طبقه، ارتفاع ساختمان محاسبه می‌شود [۸]:

- ارتفاع هر طبقه ۲/۹۰ متر
- فاصله سقف تا کف بعدی ۴۰ سانتی متر

[1] Pelton [2] Bucket

- ارتفاع زیر شیروانی ۱/۵ متر
- ارتفاع پارکینگ ۲/۴۰ متر

ارتفاع کل ساختمان ۲۰/۴ متر می‌گردد. ارتفاع ریزش آب تا توربین ۲۰ متر فرض شده است. یعنی سیستم تولید انرژی در فاصله ۴۰ سانتی‌متری سطح زمین و در داخل لوله ناودانی قرار می‌گیرد.

با توجه به ابعاد ساختمان در نظر گرفته شده، مساحت سقف شیبدار ساختمان محاسبه می‌شود:

- پیشامدگی سقف ۳۰ سانتی متر
- پیشامدگی شیب ۵۰ سانتی متر
- ارتفاع رأس سقف شیبدار ۱/۵ متر
- طول هر واحد ۱۰ متر

مساحت سقف شیبدار ۲۳۰ متر مربع به دست می‌آید.

متوسط بارش سالانه در مناطق پرباران ایران را می‌توان براساس گزارش‌های سازمان هواشناسی به‌دست آورد. این مقدار برای شهر پرباران آستارا ۱۶۷۵ میلی‌متر و شهر بندر انزلی ۱۶۵۲ میلی‌متر گزارش شده است [۹]. سازمان هواشناسی متوسط بارش سالانه در گیلان را ۱۱۰۰ میلی‌متر اعلام کرده است [۱۰]. در این پژوهش، مقدار متوسط بارش سالانه برای شمال کشور، ۱۵۰۰ میلی‌متر فرض شده است که امکان نصب و استفاده از این سیستم تولید انرژی خانگی در مناطق پرباران ایران وجود داشته باشد. بنابراین با داشتن میزان متوسط بارش سالانه و همچنین مساحت سقف شیبدار ساختمان مفروض، می‌توان حجم آبی که به صورت متوسط سالانه بر روی این ساختمان باریده می‌شود را محاسبه کرد که مقدار آن ۳۴۵ متر مکعب خواهد بود.

با فرض اینکه توربین به مدت ۴ ساعت و در ساعت‌های اوج بار (۲۰ـ۲۴) هر روز کار کند، می‌توان توان ورودی به توربین را به‌ترتیب طبق رابطه (۲)، به‌دست آورد.

$$Q = V/t = ۶۵/۶۳۹۲ \times ۱۰^{-۶}\ \mathrm{m^۳/s} \qquad (۱۱)$$

$$P_{in} = \rho \times g \times H \times Q = ۱۲/۸۷۸\ \mathrm{w} \qquad (۱۲)$$

انرژی پتانسیل گرانشی آب ذخیره شده که در نتیجه بارش باران بر روی سقف شیبدار به‌دست آمده است، به‌هنگام حرکت در طول لوله ناودانی و قبل از رسیدن به توربین به انرژی جنبشی تبدیل می‌شود. با صرف نظر از افت انرژی، سرعت جت آبی در ورودی قیف محاسبه می‌شود [۱۱]:

$$M \times g \times H = \frac{۱}{۲} \times M \times V_j'^{\,۲} \qquad (۱۳)$$

$$V_j = \sqrt{۲ \times g \times H} = ۱۹/۸\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} \qquad (۱۴)$$

در معادله بالا V_j' سرعت آب در ورودی قیف و V_j سرعت جت آبی در خروجی قیف است.

در طول لوله ناودانی و در انتهای فوقانی محفظه توربین از یک قیف استفاده می‌شود تا آب را به پره‌های توربین برخورد دهد. به‌هنگام تغییر سطح مقطع در قیف ضریب سرعت در جت آب خروجی در نظر گرفته نشده است. بدین دلیل که آب در لوله ناودانی همواره پر نیست و نمی‌توان از معادله پیوستگی در تغییر سطح مقطع نازل استفاده کرد و فرض شده که سرعت جت آبی در ورودی نازل و خروجی از آن با هم برابر هست ($V_j' = V_j$). مقدار توان تئوری ماکزیمم در $\beta = ۱۸۰^\circ$ درجه واقع می‌گردد:

$$P_{out\ max} = ۲ \times \rho \times Q \times U \times (V_j - U) \qquad (۱۵)$$

هنگامی که سرعت قاشقک نصف سرعت جت آبی است، حداکثر مقدار توان خواهد بود:

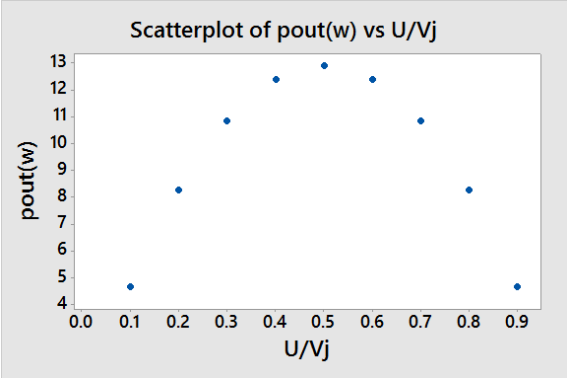
$$U = \frac{V_j}{۲} = w \times \frac{D}{۲} = ۹/۹۰۴۵\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} \qquad (۱۶)$$

مقدار توان تئوری ماکزیمم محاسبه می‌شود: $P_{out\ max} = ۱۲/۸۶۶$ w. با فرض این‌که راندمان خروجی ژنراتور ۰/۸ باشد:

$$P_{out\ max} \times ۰/۸ = ۱۰/۲۹۲۸\ \mathrm{w}$$

مقدار توان خروجی از ژنراتور برابر ۱۰/۲۹۲۸ وات خواهد بود.

پیش از این گفته شده که با مشتق‌گیری از معادله P_{out} نسبت به U و با توجه به رابطه (۹) می‌توان به حداکثر مقدار توان خروجی تئوریک رسید و با استفاده از روابط ریاضی و در رابطه (۱۰) مشاهده شد، زمانی که $\frac{U}{V_j} = \frac{۱}{۲}$ باشد، توان خروجی توربین حداکثر مقدار خواهد بود. در شکل ۱ نیز مشاهده می‌شود که تغییرات P_{out} نسبت به $\frac{U}{V_j}$ به صورت سهمی درجه ۲ هست و زمانی که نسبت $\frac{U}{V_j}$، ۰/۵ باشد، حداکثر توان خروجی را می‌دهد.



شکل ۱: توان خروجی بر حسب نسبت سرعت قاشقک به سرعت جت آبی

۴ عوامل مؤثر در راندمان توربین آبی

عوامل مؤثر در راندمان توربین آبی را می‌توان به دو دسته پارامترهای هندسی و پارامترهای فیزیکی دسته‌بندی کرد. پارامترهای هندسی مؤثر در راندمان و توان خروجی از توربین آبی موارد زیر هستند [۱۲].

۱. سرعت دورانی w
۲. قطر گام D
۳. تغییر در دبی (قطر دهانه خروجی قیف)
۴. ابعاد قاشقک
۵. تعداد قاشقک
۶. فاصله نازل تا قاشقک

۱.۴ بررسی سرعت دورانی و قطر گام

با توجه به ابعاد لوله ناودانی و همچنین مشخصات ژنراتور مورد استفاده، می‌توان برای w و D محدوده‌ای مشخص کرده و مقادیری پیشنهاد داد.

$$U = w \times \frac{D}{۲} \qquad (۱۷)$$

طبق رابطه (۱۷) هر مقداری از w و D که حاصلضرب $w \times \frac{D}{۲}$ ، مقدار U باشد حداکثر توان خروجی از توربین را به‌دست می‌دهد.

در جدول ۱ با ثابت در نظر گرفتن سایر پارامترهای مربوطه و همان شرایط مورد بررسی مقادیری برای w و D پیشنهاد شده و توان خروجی هرکدام ارائه گردیده است.

جدول ۱: مقادیر پیشنهاد شده w و D و ارائه توان خروجی

w (rpm)	D (m)	P_{out} (w)
۷۵۰	۰/۲۵۲۲۲۹	۱۲/۸۶۶۶
۱۰۰۰	۰/۱۸۹۱۷۲	۱۲/۸۶۶۶
۱۵۰۰	۰/۱۲۶۱۱۵	۱۲/۸۶۶۶
۲۰۰۰	۰/۰۹۴۵۸۶	۱۲/۸۶۶۶
۲۵۰۰	۰/۰۷۵۶۶۹	۱۲/۸۶۶۶

۲.۴ بررسی دبی (قطر دهانه خروجی قیف)

از آنجا که ارتفاع ثابت در نظر گرفته شده است، بنابراین سرعت جت ثابت بوده و مقدار بازشدگی قیف وابسته به دبی آبی است که وارد توربین می‌شود. همچنین مقدار دبی آب بر اساس میزان ریزش باران تغییر یافته و به این شیوه می‌توان d_j را محاسبه نمود [۱۳].

$$Q = \frac{\pi}{۴} \times V_j \times {d_j}^{۲} \qquad (۱۸)$$

$$d_j = \sqrt{۴ \times \frac{Q}{V_j \times \pi}} = ۲/۰۵۴ \times ۱۰^{-۳}\ \mathrm{m} \qquad (۱۹)$$

به طور تقریبی مقدار قطر خروجی قیف ۲ میلی‌متر در نظر گرفته می‌شود.

۳.۴ محاسبه ابعاد قاشقک

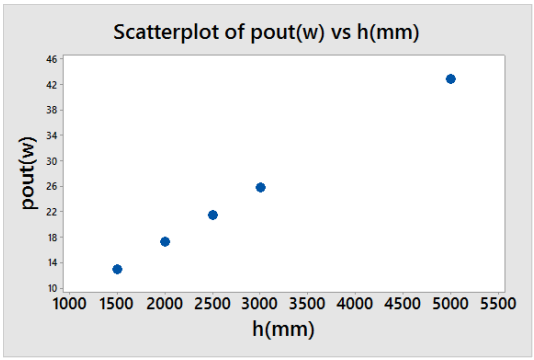
با توجه به داشتن قطر خروجی قیف، ابعاد قاشقک به دست می‌آید [۱۱].

$$\begin{aligned} B_w &= ۳/۴ \times d_j = ۶/۸\ \mathrm{mm} \\ B_d &= ۱/۲ \times d_j = ۲/۴\ \mathrm{mm} \\ B_l &= ۳ \times d_j = ۶\ \mathrm{mm} \end{aligned} \qquad (۲۰)$$

بنابراین می‌توان ابعاد بهینه توربین را بسته به شرایط آب و هوایی منطقه و با توجه به وسایل و تجهیزات مورد استفاده به‌دست آورد. پارامترهای فیزیکی موثر بر عملکرد توربین، دبی ورودی به توربین و ارتفاع ریزش آب هستند [۱۲].

۴.۴ بررسی دبی

تأثیر میزان متوسط بارش سالانه (دبی ورودی به توربین) بر روی توان خروجی توربین بررسی می‌گردد. با ثابت نگه داشتن سایر پارامترهای موثر در توان خروجی و تغییر دادن متوسط بارش سالانه مقدار P_{out} به‌دست می‌آید. بدین منظور میزان متوسط بارش سالانه در چندین کشور پرباران مطالعه شده است. این مقدار برای کشور فیلیپین ۲۰۵۰ میلی‌متر [۱۴]، شبه‌جزیره مالزی ۲۵۰۰ میلی‌متر [۱۵]، مالایا ۲۵۴۰ میلی‌متر [۱۴]، کلمبیا ۳۲۴۰ میلی‌متر [۱۱] و در شرق مالزی ۵۰۸۰ میلی‌متر است [۱۵]. اعداد زیر که به مقادیر واقعی موجود نزدیک است، بررسی شده‌اند.



شکل ۲: توان خروجی بر حسب متوسط بارش سالانه

با توجه به شکل ۲ مشاهده می‌شود که استفاده از این سیستم تولید انرژی الکتریکی خانگی در مناطقی که میزان قابل توجهی باران می‌بارد مقرون به‌صرفه خواهد بود.

۵.۴ بررسی ارتفاع

با توجه به روابط (۱) و (۲) قابل مشاهده است که افزایش مقدار پارامتر فیزیکی ارتفاع، باعث افزایش مقدار توان ورودی به توربین و همچنین طبق رابطه (۱۲) باعث افزایش سرعت جت آبی و در نتیجه، افزایش توان خروجی از توربین می‌شود. این بدین منظور است که هرچقدر ارتفاع ساختمان بیشتر باشد، می‌توان مقدار انرژی الکتریکی بیشتری تولید کرد.

۱.۵.۴ پمپ

به‌منظور تولید انرژی بیشتر، پیشنهاد به‌کارگیری یک پمپ در انتهای لوله ناودانی و به هنگام خروج آب از توربین داده می‌شود. پمپی مناسب برای این ارتفاع در نظر گرفته می‌شود و عملکرد آن و هزینه مصرف برق برای پمپاژ آب در ساعات معین مورد بررسی قرار می‌گیرد. برای انتخاب پمپ مناسب ابتدا باید دو مقدار هد و مقدار دبی پمپ آب مشخص شود. ارتفاع ساختمان ۲۰/۴ متر هست که هد پمپ آب را نشان می‌دهد. برای به‌دست آوردن دبی به ازای‌هر واحد مسکونی، ۴۰۰ لیتر در ساعت در نظر گرفته می‌شود. در این حالت مصرف کل ساختمان ۴۴۰۰۰ لیتر در ساعت است که معادل ۴ مترمکعب بر ساعت خواهد بود [۱۶]. با توجه به هد پمپ آب و دبی که به‌دست آمد، بر اساس منحنی مشخصه پمپ آبی خانگی پنتاکس، پمپ آبی CB100/00 پیشنهاد می‌شود [۱۷].

حال مقرون به‌صرفه بودن استفاده از پمپ به‌منظور پمپاژ آب باران بالای سقف مورد بررسی قرار می‌گیرد. با فرض این‌که توربین به مدت ۴ ساعت در ساعت اوج‌باری کار کند، محاسبه می‌شود که در این مدت، چه مقدار حجم

آب از بالای سقف تخلیه شده و به پایین می‌ریزد. همین مقدار حجم آب باید توسط پمپ به بالای سقف پمپاژ شود.

$$V = Q \times t = ۰/۹۴۵ \ \mathrm{m}^۳ \qquad (۲۱)$$

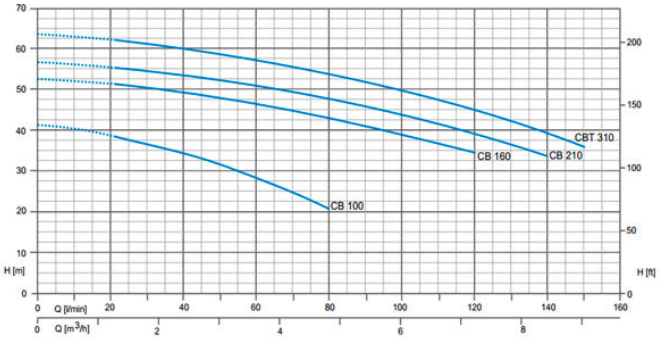
با مراجعه به مشخصات فنی پمپ، قدرت موتور پمپ ۰/۷۴ کیلووات ساعت و حداکثر دبی که می‌تواند پمپاژ کند ۴/۵ متر مکعب بر ثانیه هست [۱۸]. بنابراین حجم آب ۰/۹۴۵ مترمکعب را در مدت یک ساعت و با قدرت ۱۵۵/۴ وات ساعت پمپاژ می‌کند. توان تولید شده از طریق توربین ۱۰/۲۹۲۷ وات است که در ساعت اوج بار تولید می‌شود. هزینه مصرف پمپ در ساعات کم‌باری را به دست آورده و با هزینه مقدار انرژی که توسط توربین در ساعات اوج بار تولید شده، مقایسه می‌شود. طبق تعرفه وزارت نیرو هزینه هر کیلووات در ساعات کم‌باری ۲۲۵/۹۵ ریال و در ساعات اوج بار ۴۵۰ ریال در ماه‌های آبان، آذر و دی است [۱۹].

$$۰/۱۵۵۴ \times ۲۲۵ = ۳۴/۹۶۵ \qquad (۲۲)$$

هزینه مصرف پمپ در ساعات کم‌باری ۳۴/۹۶۵ ریال خواهد بود.

$$۰/۰۱۰۲۹۲۸ \times ۴ \times ۴۵۰ = ۱۸/۵۲۷۰ \qquad (۲۳)$$

هزینه انرژی تولید شده توسط توربین در ساعات اوج بار، ۱۸/۵۲۷۰ ریال است. با توجه به هزینه‌های به دست آمده، این نتیجه حاصل می‌شود که استفاده از پمپ در این سیستم تولید انرژی از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیست.



شکل ۳: منحنی مشخصات پمپ آب پنتاکس

۵ نتیجه‌گیری

بررسی‌ها نشان دادند که استفاده از توربین پلتن مقیاس کوچک در راستای لوله ناودانی با صرف نظر از افت انرژی و با فرض راندمان ۸۰ درصد ژنراتور، توانی به اندازه‌ی ۱۰/۲۹۲۷ وات ارائه می‌دهد. برای شرایط درنظر گرفته شده ساختمان و منطقه آب و هوایی مورد بررسی با توجه به مقدار دبی ریزشی بر توربین مقدار بهینه قطر خروجی قیف، ۲ میلی‌متر به دست آمد. ابعاد قاشقک توربین پلتن نیز محاسبه شد که مقدار عرض قاشقک ۶/۸ میلی‌متر، عمق قاشقک ۲/۴ میلی‌متر، طول قاشقک ۶ میلی‌متر به دست آمد. مشاهده شد هر مقداری از w و D که حاصلضرب $\frac{D}{۲} \times w$ مقدار ۹/۹۰۴۵ باشد، بیشترین توان خروجی از توربین را به‌دست می‌دهد که براساس این محدودیت ابعاد لوله ناودانی و همچنین مشخصات ژنراتور، مقادیری برای w و D پیشنهاد شد. همچنین به‌منظور تولید مقدار انرژی بیشتر، پیشنهاد استفاده از یک پمپ برای بازگرداندن آب باران تخلیه شده از ناودانی داده شد و با بررسی‌های انجام شده، مشخص شد که این کار صرفه اقتصادی ندارد.

با توجه با اعداد و فرمول‌هایی که در بخش‌های قبلی ارائه شده، می‌توان به این نتیجه رسید که اگر سیستمی به‌صورت ارائه‌شده در این پژوهش برای ساختمان‌های شهری در نظر گرفته شود، با هزینه اولیه کم از آب باران که به صورت رایگان در اختیار انسان قرار می‌گیرد، می‌توان انرژی الکتریکی هرچند کم اما در ساعت اوج بار به‌دست آورد.

فهرست نشانه‌ها

β	زاویه خروجی آب از قاشقک با خط افقی ($^\circ$)
ρ	چگالی آب ($\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^۳}$)
A	مساحت سقف شیبدار ($\mathrm{m}^۲$)
B_d	عمق قاشقک (mm)
B_l	طول قاشقک (mm)
B_w	عرض قاشقک (mm)
D	قطر گام (m)
d_j	قطر دهانه قیف (mm)
F	نیروی وارده به وسط پره (N)
g	شتاب جاذبه گرانش ($\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^۲}$)
H	ارتفاع ساختمان (m)
h	متوسط بارش سالانه (mm)
P_{in}	توان ورودی توربین (w)
$P_{out\ max}$	توان خروجی توربین (w)
Q	دبی آب ($\frac{\mathrm{m}^۳}{\mathrm{s}}$)
r	شعاع گام (m)
T	گشتاور وارده به وسط پره ($\mathrm{N \cdot m}$)
t	زمان کارکردن توربین (s)
U	سرعت قاشقک ($\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$)
V	حجم آب بالای سقف شیبدار ($\mathrm{m}^۳$)

V_j' سرعت آب در ورودی قیف $(\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}})$

V_j سرعت جت آبی در خروجی قیف $(\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}})$

مراجع

[1] Naseri, M. Abbasi. Identification and control of small hydroelectric power plants (distributed generation), 2009.

[2] Przybyla, J. Electricity generating device driven byrain-water, 1999.

[3] Verzicht, D. E. Auf Nennung. Turbine driven by rain water from roof - consists of turbine blade in electricity generator in downpipe, which is driven by rain water, 1994.

[4] Gombar, R. Electrical energy generation system for use on building uses rainwater running off sloping roof, 2005.

[5] J. Y. Cuzin, E. Tournes. fuel system of a turbine frome a rainwater, 2015.

[6] Kallet, L. rainwater powered electricity generator, 2008.

[7] Gorji, M. *Turbomachinery*. University of Technology Noushirovani Babol Publications, 2010.

[8] Reference, Civil Engineering. Municipality criteria and key points in architectural design. http://www.30vil.net. Accessed: 2014-03-4.

[9] wikipeidia. Bandar anzali-astara. https://fa.wikipedia.org. Accessed: 2018-01-29.

[10] isnna. The average annual rainfall of gilan was estimated. http://gilan.isnna.ir. Accessed: 2018-01-26.

[11] donya-e eqtesad. Iran is the 19th country of the world. http://donya-e-eqtesad.com. Accessed: 2018-01-25.

[12] Derakhshan, Shahram, Bagheri, Mohammad, and Abdolahnejad, Ehsan. Numerical and experimental study of the effects of physical and the geometrical parameters on efficiency of a micro-pelton turbine. *Modares Mechanical Engineering*, 14(2):150–158, 2014.

[13] Manjanutha, N, Kuldeepak, K, and Thammaih, G. Design of a pelton wheel turbine for micro hydro power plant. in *5th International Conference on Science, Technology and Management, New Delhi*, pp. 447–454, 2016.

[14] rooyeshnews. Precipitation change statistics in 20 regions of the world. http://rooyeshnews.com. Accessed: 2012-01-22.

[15] malaysia. Malaysia climate. http://malaysia365.ir. Accessed: 2015-01-16.

[16] masterico. The best and easiest way to choose a home water pump. http://www.masterico.com. Accessed: 2018-01-29.

[17] damatajhiz. pentax pupm. http://damatajhiz.com. Accessed: 2018-01-29.

[18] tasisat. Pump dual propeller pentax cbt100/01. http://tasisat.ir. Accessed: 2018-01-29.

[19] of Energy, Ministry. electricity tariffs and their general conditions. http://tariff.moe.gov.ir. Accessed: 2016-07-22.