فصلنامه تحقیقات مکانیک کاربردی
جلد ۷، شماره ۳ ، زمستان ۱۳۹۴

امکان سنجی نصب نیروگاه‌های برق آبی کوچک بر روی خطوط شبکه آب رسانی شهر تهران

علی محمدی[۱]، محمد وشتانی[۲]

[۱]کارشناسی برق قدرت، دانشگاه آزاد خمینی شهر، دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت استراتژیک، دانشگاه آزاد شاهرود iliya1390@gmail.com
[۲] کارشناس ارشد مهندسی عمران، آب، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده عمران

چکیده

مناطق شیب دار، همچون شهر تهران، که دارای خطوط انتقال آب بسیار قوی نیز هستند، از جمله پتانسیل های قوی برای نصب میکرو توربین های آبی هستند. امروزه بیش از ۳۰ درصد انرژی برق در کشورهای پیشرفته از طریق میکرو توربین های آبی تامین می شود. وجود اختلاف ارتفاع بین مخازن و شیب خطوط لوله ، هد فشاری قوی را برای تولید برق فراهم آورده است. این مطالعه به بررسی امکان نصب میکرو توربین پلتون بر روی خطوط انتقال آب در ۱۲ نقطه در شهر تهران پرداخته است. با سنجش پارامترهای مربوط به این توربین، میزان هد فشاری، دبی آب ورودی به شیرهای فشار شکن یا مخازن و موقعیت نقاط این امکان سنجی صورت می پذیرد. بر اساس نتایج به دست آمده از این تحقیق تمام ۱۲ نقطه مورد مطالعه توانی بالاتر از ۲۰۰-۱۸۰ کیلووات فراهم می کنند، که نشان دهنده مقرون به صرفه بودن نصب میکرو توربین پلتون در این محل ها می باشد. در مواردی که مقدار توان محاسبه شده بیش از ۵۰۰ کیلو وات بوده است (در ۵ محل از ۱۲ نقطه مورد مطالعه) نصب توربین ها کاملا اقتصادی بوده و می تواند به عنوان یک منبع تامین انرژی و سرمایه قوی برای سازمان آب شهر تهران به شمار آید.

واژه های کلیدی

میکرو توربین، ژنراتور، شبکه آبرسانی تهران، نیروگاه برق آبی

مقدمه

تکنولوژی استفاده از نیروی برق آبی به عنوان انرژی تجدیدشدنی از نظر تاریخی پیش ازبهره برداری ازسوخت های فسیلی وجود داشته و در سالهای اخیر بیش از ۲۰ درصد برق جهان را تولید می کند. در ایستگاه برق آبی انرژی آب به صورت رایگان در دسترس است. این ویژگی جذاب همیشه به گون‌های توسط هزینه های بالای سرمایه گذاری اولیه جهت ساخت نیروگاه، بخصوص هزینه های ساختمانی نیروگاه، تحت تاثیر قرار گرفته است. میکرو نیروگاه های برق آبی یک امکان بالقوه برای تولید برق می باشد که مشکلات زیست محیطی ناچیزی به همراه دارد. این سبک تولید برق بر خلاف نیروگاه های بزرگ که اساسا مستلزم ساخت سدهای مخزنی هستند در مسیر آبی که از هر منبع مرتفعی به پایین جریان دارد قرار می گیرند و چون منابع انرژی های طبیعی را مهارکرده ،سپس انرژی الکتریسیته را به برق تبدیل می کند خود منبع هیچ آلودگی زیست محیطی نیست.

نمونه مورد نظر برای این پژوهش نیروگاه های برق آبی است که از امکان بالقوه بالایی برای پیشرفت در ایران برخوردار است. اساس این پژوهش سنجش بازیافت انرژی پتانسیل آب در مسیر خطوط شبکه آبرسانی و کانال های انتقال آب است. وظیفه بهره وری، انتقال و توزیع آب در ایران به عهده شرکت های آب منطقه ای و شرکت های آب و فاضلاب شهری و روستایی است. منابع آب از لحاظ جغرافیایی در بالادست و در ارتفاع بالا قرار دارند که این امر سبب تجمیع انرژی پتانسیل در آب می شود، در حال حاضر برای کاهش این انرژی از شیرهای فشارشکن استفاده می شود، اما این روش سبب هرز روی انرژی موجود می شود، در حالی‌که این انرژی می تواند به عنوان یکی از منابع تولید برق کشور به حساب آید. [۳]

هنوز پتانسیل زیادی از تولید انرژی برق آبی در کشورهای توسعه نیافته وجود ندارد و این به هرحال با توسعه آن کشور ها بدون شک در آینده مورد استفاده قرار خواهد گرفت. در ایران بر اساس تحقیقات اولیه امکان تولید حدود ۳۰۰۰ مگا وات انرژی برق آبی در خطوط آب رسانی وجود دارد که در صورت نصب تجهیزات و مدیریت صحیح منابع می توان این مقدار یا درصد بالایی از آن را وارد چرخه تولید انرژی کشور نمود. این مطالعه به بررسی امکان انجام پروژه نصب میکروتوربین های آبی، بر روی شبکه آبرسانی تهران می پردازد.

مکانیسم نیروگاه های برق آبی

قبل از بحث در باره انواع توربین های مورد استفاده، توضیحات مختصری در باره کلیات روند کار در نیروگاه های برق آبی داده می-شود. فاصله عمودی بین منبع ذخیره کننده بالایی و سطح توربین ها هد(Head) نامیده می‌شود. آبی که از این ارتفاع به سمت پایین می-ریزد یک انرژی جنبشی به دست می آورد که به پره های توربین

منتقل می شود. در این رابطه سه نوع طرح نیروگاه آبی با توجه به سایز و ارتفاع مخزن با تجهیزات متفاوت وجود دارد:

- مخزن با ارتفاع بالا یا ذخیره ای: محل ذخیره سازی معمولاً در مدت زمان بیش از ۴۰۰ ساعت پر می‌شود.
- مخزن با ارتفاع متوسط: که محل ذخیره سازی معمولاً در مدت زمان بین ۲۰۰-۴۰۰ ساعت پر می‌شود.
- حرکت رودخانه ای: که محل ذخیره سازی کمتر از ۲ساعت پر می‌شود و دارای ارتفاع۳-۱۵ متر است. [۲،۱۰]

توربین های مورد استفاده در هر یک از طرحهای فوق با هم متفاوت خواهند بود .نوع توربین به ارتفاع آب و حجم مخزن بستگی داشته که می توان آنها را به انواع زیر تقسیم بندی کرد:

- توربین پلتون(Pelton):این توربین برای ارتفاع های آب ۱۸۴-۱۸۴۰ متر استفاده می‌شود و شامل یک روتور چرخی سطلی با جریان آب ورودی قابل تنظیم می‌باشد.
- توربین فرانسیس(Francis): این توربین برای ارتفاع های آب ۳۷-۴۹۰ متر استفاده می‌شود و دارای جریان آب ورودی متغییر می‌باشد.
- توربین کاپلان (Caplan):این توربین برای جریانهای رودخانه ای و ارتفاع های آب تا ۶۱ متر استفاده می‌شود و دارای روتور با جریان آب محوری و با زاویه تیغه های متغییر می‌باشد. [۱]

واحد های نیرو گاهی برق آبی این قابلیت را دارند که به سرعت روشن شوند و دیگر برتری آن در این است که تلفات انرژی در آن در هنگام توقف ناچیز است. این پارامتر مثبت است، در نتیجه مناسب برای تولید در زمانهای بار حداکثر با حداقل هزینه هستند که در کنار واحد های بخاری مورد استفاده قرار می گیرند. با کنترل از راه دور این واحد ها می توان زمان لازم از لحظه راه‌اندازی تا زمان اتصال به شبکه برای این واحد ها را به ۲ دقیقه تقلیل داد. در زمان های خاصی که آب در دست رس کم است و یا زمانی که تولید توسط سیستم آبی مورد نیاز نیست می توان از ماشین های برقی مورد استفاده در واحد به صورت موتور استفاده کرده و توسط شبکه تغذیه شوند. قدرت بدست آمده توسط سیستم برق آبی در حالت کلی با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$P = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H$$

Q :نرخ جریان آب عبوری از توربین (بر حسب متر مکعب بر ثانیه)، ρ : چگالی آب (برابر ۱۰۰۰ متر مکعب بر ثانیه)، g : شتاب جاذبه(برابر ۹/۸۱ متر بر مجذور ثانیه)، H :ارتفاع سطح آب (تفاوت ارتفاع آب درسطح بالایی نسبت به سطح پایینی) (برحسب متر). با جایگذاری در رابطه بالا خواهیم داشت:

P=9.81 QH

آنچه در این پژوهش مدنظر است استفاده از توربین های نوع پلتون می باشد، علت انتخاب این است که:

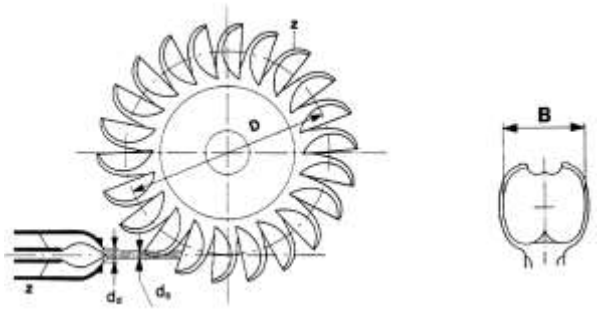
- امکان ساخت آن در کشور وجود دارد، نمونه هایی از آن در سطح کشور از جمله شبکه آبرسانی مشهد فعال است
- هزینه ساخت آن به نسبت انواع دیگر پایین تر است
- به علت کوچک بودن، امکان نصب آن در بسیاری از نقاط در شبکه آبرسانی وجود دارد.
- نسبت به انواع دیگر هزینه تعمیرات و نگهداری پایین تری دارد.
- دانش فنی زیادی برای استفاده و نگهداری آن نیاز نیست (به علت سادگی طرح و اجرا)[۲،۳]

میکرو توربین پلتون:

توربین های پلتون برای هد بین چند متر تا چند صد متر و دبی آب چند لیتر در ثانیه تا چند صد لیتر در ثانیه مناسب هستند. با احتساب بازده ژنراتور می‌توان برای محاسبه توان الکتریکی خروجی از رابطه تقریبی زیر استفاده کرد:

$$P = \frac{H.Q}{102} \times 900$$

P (kW)توان خروجی ، Q (m^3/sec) دبی آب و H (m) هد میکرو نیروگاه آبی هستند. مسأله اصلی در توربین های پلتون تعداد و اندازه نازل ها، اندازه گام چرخ و در نتیجه سرعت دورانی آن است. [۱،۸،۱۰]



شکل۱: پارامترهای طراحی میکروتوربین پلتون

برای یک توربین پلتون واقعی مقداری نیروی از دست رفته وجود دارد، بنابراین کارایی آن با ضریب زیر به دست می آید، سرعت مطلق از نازل:

$$\eta_h = 0.96$$

$$u_1 = \frac{\mu_n}{2c_{1u}} = \frac{0.96}{2\times 1} = 0.48$$

$$d_{jet} = \sqrt{\frac{4.Q}{z.\pi.c_{1u}}}$$

$$c_{1u} = \sqrt{2.g.H_n}$$

که در آن z تعداد نازل ها، H_n هد فشاری، Q دبی می باشد (در این نوشتار تعداد نازل ها یک نازل در نظر گرفته می شود)

با استفاده از روابط زیر ابعاد مورد نیاز بدست می آید:

$$D = \frac{d_{jet}}{0.1}$$

$$N = 37.7\frac{\sqrt{H_n}}{D}$$

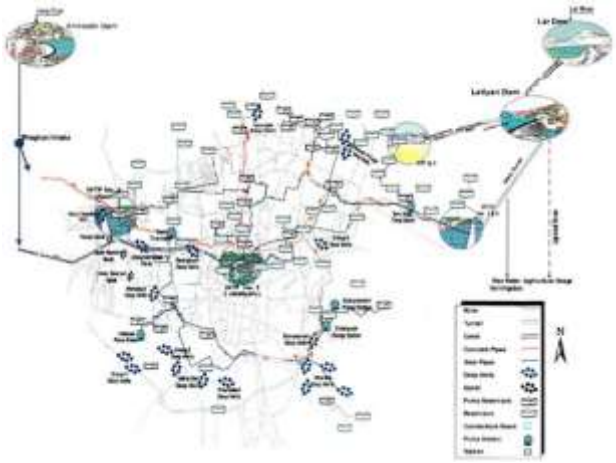
که در آن d_{jet} قطر جت، D قطر گام چرخ و N سرعت دورانی است. یک نمونه از میکرو توربین پلتون در شکل۱ مشاهده می شود. این توربین قابلیت استفاده در نیروگاه های با ظرفیت چند صد کیلووات و چند مگاوات را دارد. [۱،۴،۵]

شبکه آب رسانی تهران:

شرکت آب و فاضلاب استان تهران مسئولیت توزیع آب شرب و بهداشتی و جمع آوری بهداشتی فاضلاب مناطق شهری استان تهران را برعهده دارد. اگر چه این استان با ۱۸۹۰۰ کیلومتر مربع مساحت حدود ۱،۲ درصد وسعت کشور را تشکیل می دهد، ولی با داشتن حدود ۱۴ میلیون نفر جمعیت که ۹۲٪ آن را جمعیت شهری تشکیل می دهد، حدود ۲۰٪ جمعیت کشور را در خود جای داده است. اصول سیستم آب رسانی در تهران مطابق با شکل ۲ زیر است، محل نصب توربین های مورد نظر این پژوهش موازی با شیرهای فشار شکنی است که در شبکه توزیع قرار دارند.

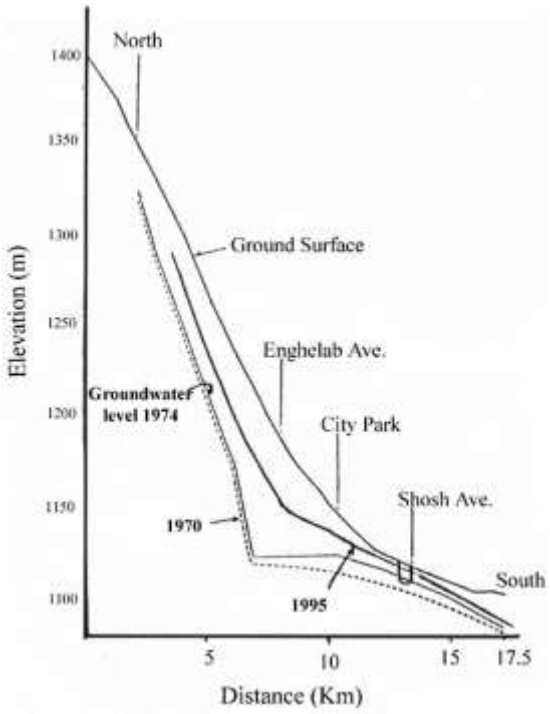
شکل۲: نمای شماتیک سیستم آب رسانی

شکل شماره ۳ نقشه مخازن آبی موجود در تهران را نشان می دهد و شکل شماره ۴ نمودار تفاوت ارتفاع بین نقاط کلیدی شهر تهران از شمال تا جنوب را نشان می دهد که چیزی بالغ بر ۲۰۰ متر اختلاف ارتفاع در شهر وجود دارد از این تفاوت ارتفاع به خوبی می توان برای ایجاد انرژی برق آبی از شبکه لوله کشی آب شهر استفاده نمود. همانگونه که پیشتر اشاره شد این اختلاف ارتفاع انرژی پتانسیل بالایی ایجاد می کند که سبب آسیب به شبکه آب رسانی می شود، که مهندسان برای کاهش این اثر از شیرهای فشار شکن در گره های شبکه استفاده نموده اند. نگهداری و تعمیرات و هزینه اضافه نمودن این شیرها در دراز مدت مبلغ قابل توجهی است، ضمن اینکه انرژی پتانسیل موجود نیز که می تواند منبع بسیار موثری برای تولید برق باشد نیز در این روش کاملا هدر می رود. از این رو می توان از میکرو توربین های پلتون به صورت بای پس در سیستم استفاده نمود.



شکل۳: نقشه پراکندگی مخازن آبی موجود در شهر تهران

بر اساس آنچه در شکل ۴ دیده می شود اختلاف ارتفاع ها برای ایجاد هد مناسب برای تولید میزان قابل قبول برق در توربین های پلتون کفایت می کند. برای بررسی دقیق تر این امکان اطلاعات ۱۴ نقطه از مخازن یا شیرهای فشار شکن موجود در شهر تهران، جمع آوری شده و مورد بررسی امکان سنجی قرار می گیرد.



شکل۴: تفاوت ارتفاع مکان های شاخص تهران از شمال تا جنوب شهر

جدول۱- اطلاعات مربوط به ۱۲ نقطه مورد بررسی و مشخصات توربین های مورد نیاز و توان قابل استحصال

شماره شیر یا مخزن	دبی ورودی (m^3/s)	هد فشاری (m)	توان قابل استحصال (kW)	مشخصات توربین مورد نیاز		
				قطر جت (mm)	قطر گام چرخ (mm)	سرعت دورانی (rpm)
۱	۰/۵۵	۱۱۰	۵۳/۸۲	۱۲/۳	۱۲۲/۸	۳۲۲
۲	۰/۷	۱۰۵	۶۴/۵۲	۱۴	۱۴۰/۱	۲۷۶
۳	۱	۱۴۰	۱۲/۲۹	۱۵/۶	۱۵۶	۲۸۶
۴	۱/۲	۱۰۰	۱۰/۸۲	۱۸/۶	۱۸۵/۷	۲۰۳
۵	۰/۸۵	۳۵	۲۶۲/۵	۲۰/۳	۲۰۳/۲	۱۱۰
۶	۰/۷	۶۰	۳۷/۵۸	۱۶/۱	۱۶۱/۲	۱۸۱
۷	۰/۷۵	۵۵	۳۶/۹۷	۱۷	۱۷۰/۵	۱۶۴
۸	۱/۱	۷۰	۶۷/۴۱	۱۹/۴	۱۹۴/۴	۱۶۲
۹	۱/۲	۳۰	۳۱/۶۴	۲۵/۱	۲۵۱	۸۲
۱۰	۰/۵۵	۶۵	۳۱/۴۴	۱۴	۱۴۰	۲۱۷
۱۱	۰/۴۵	۵۰	۱۹/۵۳	۱۳/۵	۱۳۵/۲	۱۹۷
۱۲	۰/۴۵	۵۰	۱۹/۵۳	۱۳/۵	۱۳۵/۲	۱۹۷

بحث و بررسی نتایج:

آنچه در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفته است بررسی امکان نصب توربین های پلتون بر ۱۲ شیر یا مخزن در شهر تهران است که اطلاعات آنها در جدول شماره ۱ آورده شده است. محل قرارگیری این نقاط در شکل ۵ آورده شده است.

شکل ۵: موقعیت ۱۲ نقطه مورد بررسی برای نصب میکروتوربین

همانگونه که مشاهده می شود، این نقاط در همه بخش های شمالی تا جنوبی وجود دارد، که موقعیت مناسبی برای ایجاد اختلاف ارتفاع در خطوط انتقال را فراهم می کند. این مساله سبب ایجاد هد فشاری مناسب برای به صرفه بودن نصب میکرو توربین می نماید.

نتایج بررسی ها نشان می دهد میکرو توربین های با توان بیش از ۱۸۰-۲۰۰ کیلو وات بر روی خطوط انتقال آب دارای بازده مناسب هستند. اما برای بررسی دقیق تر و شناخت دقیق خصوصیات ژنراتور، ویژگی های فیزیکی توربین و سایر پارامترها نیاز است که مطالعات و بررسی های فنی اقتصادی صورت گیرد. همچنین نیاز است برای تعیین دقیق تر پارامترهای فیزیکی توربین و ژنراتور از متخصصان امر مشاوره گرفته شود. اطلاعات نقاط برداشت شده توسط کارشناسان اداره آب و فاضلاب منطقه‌ای تهران (مولفان مقاله) برداشت شده و در جدول ۱ ارائه شده است.

در نقاط ۳،۴،۱،۲ و ۸ که مقدار توان قابل تولید بیش از ۵۰۰ کیلو وات است، نصب توربین ها به طور قطعی مقرون به صرفه است و می تواند به عنوان نیروگاه های برق آبی کوچک، پر بازده در چرخه تولید انرژی کشور وارد شود. [۷،۸،۹]

اما مطالعات اولیه موید این نکته است که استفاده از میکرو توربین های پلتون بر روی خطوط انتقال آب در ۱۲ نقطه مشخص شده امری ممکن می باشد، که علاوه بر کاهش استهلاک خطوط و لوله های انتقال آب، به عنوان منبع تامین انرژی نیز مورد استفاده قرار می گیرد و می توان از این ۱۲ توربین به عنوان نیروگاه های کوچک برق آبی بهره جست. [۱،۹]

نتیجه گیری:

در این مطالعه به امکان سنجی نصب میکرو توربین های آبی بر روی خطوط انتقال آب شهر تهران پرداخته شد. در این راستا ۱۲ نقطه مخازن یا شیرهای فشارشکن به عنوان نمونه انتخاب شدند. بر اساس مطالعات انجام شده بر روی سایر تحقیقات، امکان نصب میکرو توربین های پلتون در این محل ها از سایر انواع آن بیشتر بود. اطلاعات مربوط به این ۱۲ نقطه نشان داد که این خطوط برای نصب میکرو توربین های پلتون کاملا مناسب هستند و نصب توربین در این نقاط توان ۱۹۸ تا ۱۲۳۵ کیلو وات را فراهم می کند، که بر اساس مشخصات مربوط به این توربین ها، نصب در خطوط انتقال نقاطی برای ایجاد این مقدار توان کاملا بهینه و مقرون به صرفه است. مطالعات تکمیلی و بررسی های فنی اقتصادی برای تکمیل نتایج این تحقیق ضروری می باشد.

پیشنهاد می شود، دو مطالعه تکمیلی برای بررسی های اقتصادی و سنجش پارامترهای مکانیکی توربین های مورد نظر انجام شود.

منابع:

[1] Thake, J., 2000. The Micro-hydro Pelton Turbine Manual"; ITDG Publishing.

[2] Williams, W., 1995. Pumps As Turbines: A User's Guide; Intermediate Technology Publications.

[3] Nechleba, M., 1957. Hydraulic Turbines, Their Design and Equipment; Artia Prague Publishing.

[4] Moffat, R.J., 1982. Contributions To The Theory of Single-Sample Uncertainty Analysis"; ASME Journal of Fluids and Engineering, 104, 250–260.

[5] Maher, P., Smith, N., 2001. PICO HYDRO FOR VILLAGE POWER. A Practical Manual for Schemes up to 5 kW in Hilly Areas" UK Department for International Development (DfID), Edition 2.

[6] Jackson, J., 1982. State-of-the-art in mini-hydro electrical design", Renewable Energy Review Journal, 4(2), 47-55.

[7] Razak, J.A. 2010. Application of cross-flow turbine in off-grid Pico-hydro renewable energy systems", Proceeding of the American-Math 10 Conference on Applied Mathematics, pp. 519- 526.

[8] Khurana, S., Singh, H., 2012. Effect of cavitation on hydraulic turbines-A review", International Journal of Current Engineering and Technology, 2(1), 172-177.

[9] Chennani, M., Salhi, I., Doubabi, S., 2008. Study of the regulation of a micro-hydro-electric power plant prototype", International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology, 5(61), 79-84.

[۱۰] نوربخش، سید احمد،۱۳۸۸. توربوماشین ها، ویرایش دوم، انتشارات دانشگاه تهران.