نشریه حفاظت منابع آب و خاک، سال نهم، شماره چهارم، تابستان ۱۳۹۹

ISSN 2251-7480

امکان‌سنجی توسعه نیروگاه‌های برقابی در خطوط آبرسانی با بهره‌گیری از روش تحلیل سلسله مراتبی*

رژین ضیایی پور رودسری[1**] و محمدرضا بهشتی[2]

۱**) دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آل‌طه، تهران، ایران.

نویسنده مسئول مکاتبات: ziaeirojin@yahoo.com

۲) استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آل‌طه، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۶/۰۷ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۲/۲۶

چکیده

یکی از روش‌های کارآمد در مدیریت بهره‌برداری از شبکه‌های آبرسانی شهری، کنترل فشار مازاد موجود در برخی از نقاط این سامانه‌ها است. بدین منظور، بهره‌گیری از پتانسیل ارتفاعی موجود در خطوط اصلی انتقال آب ثقلی به صورت تولید انرژی برقابی می‌تواند رهیافت مناسبی جهت مدیریت فشار آب در شبکه و استفاده بهینه از جریان عبوری، قلمداد گردد. در این مقاله، با استفاده از شبیه‌سازی هیدرولیکی جریان در شبکه آبرسانی مورد بررسی و استخراج پارامترهای هیدرولیکی مهم نظیر بارآبی خالص موجود در محل‌های محتمل نصب توربین آبی، دبی جریان ورودی به مخازن ذخیره آب شرب و با در نظر گرفتن وضعیت توپوگرافی مسیر انتقال جریان و تراز ارتفاعی نقاط (تعیین گرادیان هیدرولیکی)، توان تولیدی در نه سایت برقابی منتخب مورد محاسبه قرارگرفت و در ادامه به منظور تصمیم‌گیری جهت اولویت‌بندیِ ساخت و بهره‌برداری از پتانسیل‌های برقابیِ پیشنهادی و ارائه رهنمود به بهره‌برداران، سرمایه‌گذاران و متولیان امر از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره سلسله مراتبی بر مبنای پنج معیاراصلی فنی، اقتصادی، سیاسی- اجتماعی، پدافندغیرعامل و محیطزیستی استفاده گردید و با اخذ پرسشنامه‌های تهیه شده، سایت‌های برقابی منتخب رتبه‌بندی شدند. براساس تجزیه و تحلیل پاسخ‌های بدست آمده از طریق پرسشنامه و وزن‌دهی به هریک از معیارها و زیرمعیارها (توسط مقایسه زوجی) در محیط نرم‌افزار *Expert Choice* مشخص گردید که معیار فنی در رتبه اول، معیار اقتصادی در رتبه دوم، معیار محیطزیست در رتبه سوم، پدافند غیرعامل در رتبه چهارم و معیارسیاسی- اجتماعی در رتبه پنجم قرار گرفت. طبق نتایج بدست آمده، سایت‌های نیروگاهی در مخزن۱۱۸۳، مخزن۱۴۵۳و مخزن۵۷ به ترتیب با ظرفیت نصب۳۱۰۰، ۴۱۰۷، ۱۰۷۲ کیلووات در اولویت‌های اول تا سوم احداث و بهره‌برداری در شبکه آبرسانی مورد نظر، قرار گرفتند.

کلید واژه‌ها: امکان‌سنجی؛ تحلیل سلسله مراتبی؛ تصمیم‌گیری چند معیاره؛ سامانه آبرسانی؛ نیروگاه برقابی خرد

مقدمه

استفاده از تکنولوژی انرژی برقابی به‌عنوان یکی از انرژی‌های تجدیدپذیر از نظر تاریخی پیش از بهره‌برداری از سوخت‌های فسیلی وجود داشته و در سال‌های اخیر بیش از ۲۰ درصد برق جهان را تأمین کرده است (*Yousei et al.,2010*).

بحث انرژی برقابی به‌عنوان یکی از شاخص‌های توسعه در جهان مطرح است و به این ترتیب برنامه‌ریزی برای تامین انرژی و روش‌های تهیه آن بر سیاست‌های کلان ملی و منطقه‌ای تاثیر بسزایی دارد. به‌طور کلی انرژی برقابی در دنیا با بهره‌گیری از مخازن پشت سدها و نیز جریان رودخانه‌های دائمی که دارای آبدهی قابل توجه و پتانسیل ارتفاعی مطلوبی هستند، صورت می‌پذیرد. با این

* برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد

حال، در برخی از سیستم‌های انتقال آب (بصورت ثقلی) که دارای بارآبی (فشار هیدرولیکی) مازاد و دبی مناسب در طول مسیر خود می‌باشند، امکان تولید انرژی برقابی وجود دارد. تصمیم‌گیری در خصوص موقعیت احداث نیروگاه‌های برقابی در سیستم‌های انتقال آب (شهری و برون شهری) علاوه بر نیاز به شناخت شرایط فنی و اجراییِ حاکم برآن، تابع عوامل متعددی می‌باشد. روش فرآیند سلسله مراتبی با توجه به‌سادگی، انعطاف‌پذیری، به کارگیری معیارهای کیفی و کمی به طور همزمان و نیز قابلیت بررسی سازگاری در قضاوت‌ها می‌تواند در بررسی موضوعات مربوط به برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای کاربرد مطلوب داشته باشد. اولین قدم در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی ایجاد یک ساختار سلسله مراتبی از موضوع مورد بررسی می‌باشد که در آن هدف ها، معیارها، گزینه‌ها و ارتباط بین آنها نشان داده می‌شود. چهار مرحله بعدی در این روش شامل محاسبه وزن (ضریب اهمیت) معیارها و زیرمعیارها، محاسبه وزن (ضریب اهمیت) گزینه‌ها، محاسبه‌ی امتیاز نهایی گزینه‌ها و بررسی سازگاری منطقی قضاوتها می‌باشد. از این مرحله به بعد، عملیات ریاضیِ تحلیل سلسله مراتبی برای رسیدن به تصمیم بهینه با استفاده از نرم‌افزار *Expert Choice* انجام شده است.

مدل منابع و مصارف آب شهری تهران با روش پویایی سیستم برای ارزیابی روند منابع و مصارف و عوامل تاثیرگذار بر آن تهیه و توسعه داده شده است. آنها اندرکنش‌های منابع آب شهری با جنبه‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی تامین و تقاضای آب توسط مدل پویایی سیستم پیاده‌سازی و نتایج تحلیل پویایی سیستم آب شهری تهران برای شرایط فعلی و آینده ارائه شده است (صلوی تبار و همکاران، ۱۳۸۵). همچنین مدلی تلفیقی (شبیه‌سازی- بهینه‌سازی)، برای طراحی و بهره‌برداری از مخازن برقابی (از نوع جریانی) بر مبنای روش روندیابی متوالی جریان (مدل شبیه‌سازی) و الگوریتم ژنتیک (مدل بهینه‌سازی) در قالب یک بسته نرم‌افزاری تحت عنوان *HYDROSOM* برای حداکثر نمودن مقدار انرژی پیک تولیدی سالانه در نیروگاه برقابی با توجه به قیود، گزارش شده است (بهشتی و همکاران، ۱۳۸۷). با هدف بیان نحوه عملیاتی کردن ارزیابی یکپارچه منابع آب، تحلیل سیستم منابع آب دشت مشهد در نتیجه اقدامات و سیاست‌های اتخاذ شده در فرآیند برنامه‌های توسعه اقتصادی کشور را با استفاده از روش پویایی سیستم مورد بررسی قرار دادند. در طی فرآیند مدلسازی با رویکرد پویایی سیستم‌ها، با شناخت از سیستم و با استفاده از شاخص‌هایی که مبتنی بر ایده حلقه‌های کارایی تحت عنوان تنش منبع، بهره‌وری اقتصادی منبع و متوسط نیاز آبی دشت معرفی و استراتژی‌های دشت در راستای پایداری منطقه تبیین گردید (حسینی و باقری، ۱۳۹۲). با استفاده از سنجش پارامترهای هیدرولیکی نظیر میزان بار آبی، دبی جریان ورودی به شیرهای فشارشکن یا مخازن و موقعیت این نقاط، به بررسی امکان نصب میکرو توربین پلتون بر روی خطوط انتقال آب در ۱۲ نقطه در شهر تهران پرداخته شد (محمدی و وشتانی، ۱۳۹٤). رویکردهای مدیریتی منابع آب سیستان را به روش سلسله مراتبیِ فازی، اولویت‌بندی نمودند. آنها در مطالعه خود، رویکردهای مدیریتی، اقتصادی و اجتماعی، فنی و محیط‌زیست را در سال آبی ۹٤-۱۳۹۳ در نظر گرفتند (شهرکی و همکاران، ۱۳۹۵). برای تعیین ظرفیت بهینه یک سیستم انتقال آب به منظور استحصال انرژی برقابی، یک مدل دینامیک بهینه‌سازی ارائه نمودند. این مدل، تخصیص مناسب بارآبی موجود در سیستم آبرسانی به ساختگاه‌های پتانسیل برقابی در طول مسیر خطوط انتقال آب را تعیین نمود. هم‌چنین، قابلیت‌های کاربردی مدل آنها توسط یک نمونه سیستم آبرسانی به چهار شهر تشریح گردید (*Afshar et al.,1990*). روش تحلیل سلسله مراتبی را در شبیه‌سازی مطالعات خشکسالی به کار گرفتند (*Keyes and Palmer,1993*). از این روش به عنوان یک ابزار تحلیل تصمیم در مدیریت کم‌آبی استفاده نمود (*Fletcher,1998*). در سیستم چندمخزنه به

منظور تولید نیروی برقابی از پویایی سیستم استفاده نمود و به منظور بررسی کارایی سیستم از دو شاخص برای مدلسازی بهره‌برداری از سیستم قابلیت اطمینان و آسیب‌پذیری بهره بردند (*Teegavarapu and Simonovic, 2000*). از روش پویایی سیستم در تعیین میزان تولید انرژی برقابی، توسعه کشاورزی در تعیین میزان تولید انرژی برقابی، توسعه کشاورزی، انتخاب الگوی کشت، مولفه‌های محیط‌زیستی در جنوب شرقی ترکیه استفاده کردند(*Saysel and Barlas, 2002*). تولید انرژی توسط نیروگاه‌های برقابی کوچک بر روی خطوط آبرسانی، در منطقه پیمونته در شمال غرب ایتالیا را مورد ارزیابی قرار دادند. آنها برای ارزیابی پتانسیل و توجیه اقتصادی نصب نیروگاه‌های برقابی کوچک در آن منطقه از قابلیت‌های سامانه اطلاعات جغرافیایی (*GIS*)، مدل‌های رقومی (*DTM*) و بانک اطلاعاتی تاسیسات شبکه آبرسانی استفاده نمودند(*Sofia et al., 2011*). بررسی پتانسیل بازیافت انرژی با استفاده از نیروگاه‌های برقابی کوچک و ارزیابی مکان‌های بالقوه و مستعد بازیابی انرژی در زیرساخت‌های آب و فاضلاب در مناطق بریتانیا و ایرلند پرداخته‌اند (*Corcoran et al., 2013*). بازیافت انرژی در سیستم‌های انتقال آب توسط چهار پمپ با مشخصات مختلف را ارزیابی نمودند، تا برق مصرفی سالانه محاسبه شود. در این مقاله مقایسه بین سیستم‌های مختلف توربین برای همه حالت‌های قابل تنظیم و راه حل بهینه‌سازی با استفاده از اثربخشی توان نیروگاه مورد بحث قرار می‌گیرد (*Carravetta et al., 2014*). راه حل ترکیبی و واحد استفاده از نیروگاه‌های برقابی در یک سیستم آبرسانی را با استفاده از روش الگوریتم جستجوی هارمونی ارائه نمودند. بدین‌ترتیب آنها، عملکرد شبکه آبرسانی را برای تولید انرژی برقابی توسعه دادند. آنها از الگوریتم جستجوی هارمونی (HSA) برای مدیریت بهینه سامانه آبرسانی با رویکرد تولید هیدروانرژی بهره بردند (*Kougias et al., 2014*). اثرات خشکسالی در تولید انرژی برقابی و نیز نحوه تاثیر تغییرات اقلیمی بر تولید انرژی برقابی با توجه به شروع خشکسالی در کشورهای جنوب شرقی آسیا را مورد بررسی قرار دادند تا بتوانند قبل از شروع تغییرات اقلیمی و خطرات این فاجعه، با یک برنامه و مدیریت یکپارچه اقدامات لازم را انجام دهند (*Shadman et al., 2016*). با توجه به اینکه تاکنون روشهای متعددی در مدیریت برای تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره مطرح شده است که هر یک از آنها دارای معایبی از جهت زمان، هزینه و جمود فکری بوده و با درنظر گرفتن ماهیت تحقیق حاضر که تصمیم‌گیری در خصوص انتخاب پتانسیل‌های برقابی مطلوب در سامانه آبرسانی (از میان گزینه‌های مورد بررسی) می‌باشد، لذا از روش تحلیل سلسله مراتبی (*AHP*) در این تحقیق استفاده شده است (طبق بررسی‌های بعمل آمده در منابع داخلی و خارجی، این روش تاکنون برای امکانسنجی پتانسیل های تولید انرژی برقابی به ویژه در سیستم‌های آبرسانی شهری مورد بررسی قرار نگرفته است و از این نظر تحقیق حاضر می‌تواند گام موثری در راستای شناسایی چنین پتانسلی‌هایی برای تولید مضاعف انرژی پاک برقابی و توسعه زیرساخت‌ها در مدیریت کلان شهری باشد). لازم به ذکر است، این روش نه تنها محاسن روش‌های فوق را در بردارد بلکه به لحاظ منطق ریاضی آن، قابلیت تلفیق معیارهای کمی و کیفی را برای مقایسه گزینه‌های متعدد دارد و میزان سازگاری و ناسازگاری تصمیم در این روش با دقت بالایی قابل برآورد می‌باشد. همچنین در این تحقیق، معیارهای اصلی تاثیرگذار بر روی تعیین نقاط دارای پتانسیل استحصال انرژی برقابی در سیستم‌های آبرسانی برای نخستین بار در این تحقیق معرفی و مورد بررسی قرار خواهند گرفت و از سوی دیگر، تلفیق مدل پیشرفته هیدرولیکی *WATER GEMS* و تحلیل سلسله مراتبی (*AHP*) به منظور شناسایی ظرفیت‌های محتمل توسعه نیروگاه‌های خرد برقابی روی خطوط آبرسانی شهری از دیگر جنبه‌های نوآوری تحقیق حاضر می‌باشد که تاکنون در تحقیقات پیشین بدین شکل مدنظر قرار

نگرفته است.

مواد و روش‌ها

مناطق شیب‌دار شهر تهران که دارای خطوط انتقال آب گسترده‌ای هستند، از جمله پتانسیل‌های مناسب برای نصب میکرو توربین‌های آبی به شمار می‌روند (محمدی و وشتانی، ۱۳۹٤). در این مقاله، خطوط اصلی انتقال ثقلی آب بین مخازن تحت پوشش تصفیه‌خانه‌های آب شرب‌شماره دو و شش (که زیر مجموعه شرکت آبفای منطقه سه و آبفای شهرها و شهرک‌های غرب تهران می‌باشند) به منظور شناسایی پتانسیل‌های استحصال انرژی برقابی انتخاب شده‌اند (شکل ۱). با بررسی مناطق مختلف آبرسانی در کلانشهر تهران به ویژه خطوط اصلی آبرسان بین مخازن، ملاحظه گردید که عمده مخازن واقع در منطقه غرب و شمال غرب تهران از پتانسیل گذرِ حجمی جریان مناسب، بار آبی بالا در قیاس با سایر محدوده‌ها برخوردار هستند. خطوط آبرسانی مورد بررسی در این مقاله، به‌لحاظ دبی عبوری ماهانه و وضعیت توپوگرافی مطلوب در طول مسیر انتقال آب، از پتانسیل مناسبی جهت تولید انرژی برقابی برخوردار هستند. بنابراین سعی گردیده از خطوط اصلی انتقال آب که دارای دبی بسیار کم بوده و یا در برخی از ماههای سال فاقد جریان عبوری می‌باشند، برای تحلیل و امکان‌سنجی تولید انرژی برقابی صرف نظر گردد.

شکل ۱. موقعیت محدوده مطالعاتی سامانه آبرسانی بین مخازن غرب شهر تهران

برای شناسایی، ابتدا ساختگاه‌های محتمل تولید انرژی برقابی‌در خطوط لوله انتقال (ثقلی) جریان آب پاک شمال غرب تهران از تصفیه‌خانه ششم و غرب تهران از تصفیه‌خانه دوم (کن) به طرف مخازن پایین‌دست با توجه به پتانسیل ارتفاعی مطلوب و جریان دائمی شناسایی شدند. الگوی توزیع آب بین مخازن پایین‌دست تصفیه‌خانه‌های ششم و دوم در ۱۲ ماه (در افق طرح سال۱٤۱۰) مورد بررسی قرار گرفت. با استفاده از دیاگرام الگوی توزیع ماهانه تامین نیاز آبی مخازن، با وارد کردن اطلاعات مربوط به لوله‌های موجود (شامل قطر، جنس، تراز ارتفاعی گره‌های محاسباتی، محل اتصال لوله در شبکه و مقادیر جریان عبوری) در نرم‌افزار *WaterGemsV8i*، مقادیر فشار هیدرولیکی جریان در هریک از خطوط انتقال به شرح جدول ۱ محاسبه شده است. از قابلیت‌های مهم بسته نرم‌افزاری فوق می‌توان به افزایش دقت نتایج بدست آمده از محاسبات، توانایی مدل‌سازی کلیه مولفه‌های شبکه‌های تحت فشار آبرسانی، توانایی حل سیستم آبرسانی در حالت‌های جریان ماندگار و غیرماندگار براساس حل همزمان معادلات پیوستگی جرم و انرژی، سرعت بالا در حل معادلات حاکم بر جریان، امکان استفاده از خروجی‌های مناسب در قالب نمودارها و جداول متنوع، مدل سازی کیفی جریان آب و انجام تحلیل‌های مربوط به آن، انجام فرآیند واسنجی مدل هیدرولیکی به روش داروین (الگوریتم ژنتیک)، توانایی شبیه‌سازی همزمان سناریوهای مختلف سامانه آبرسانی، قابلیت اتصال و تبادل داده با برنامه‌های ترسیمی و سنجش اطلاعات جغرافیایی نظیر *AUTO CAD* و *Arc GIS* و ... را نام برد. بطور کلی در تمامی نرم‌افزارهای تحلیل هیدرولیکی سیستم آبرسانی قبلی (نظیر *EPANET, LOOP* ،*Water Cad*)، طراح باید برای ورود اطلاعات اولیه خود یک سری محاسبات دستی و مقدماتی را روی نقشه‌های مربوطه انجام می‌داد که این مراحل بسیار وقت‌گیر، خسته‌کننده و در بعضی موارد باعث بروز خطای محاسباتی و انسانی می‌گردید ولی نرم‌افزار *WaterGemsV8i* توانایی انجام و انتقال نتایج حاصل از محاسبات را دارا می‌باشد.

همچنین، توان بدست آمده توسط سیستم برقابی در حالت کلی از رابطه۱ بصورت زیر محاسبه می‌شود:

$$p = \gamma . Q . \eta . H_D \qquad (۱)$$

که در آن:

P: توان نیروگاه بر حسب کیلو وات

Q: دبی ورودی به توربین بر حسب مترمکعب بر ثانیه

$\boldsymbol{\gamma}$: وزن مخصوص آب بر حسب کیلو نیوتن بر متر مکعب

H_D: ارتفاع دینامیک بر حسب متر

$\boldsymbol{\eta}$: راندمان نیروگاه(مجموعه توربین و ژنراتور)

ارتفاع دینامیک (بار آبی خالص) روی توربین آبی به صورت ذیل برآورد می‌گردد:

$$H_D=H_S-H_F \qquad (۲)$$

H_S : اختلاف ارتفاع بین مخازن برحسب متر

H_F : افت اصطکاکی یا افت فشار در مسیر انتقال جریان داخل لوله برحسب متر که از رابطه تجربی زیر محاسبه می‌شود:

$$H_F = 1.212 \times 10^{10} \frac{(\frac{Q}{C})^{1.852}}{D^{4.84}} \times L \qquad (۳)$$

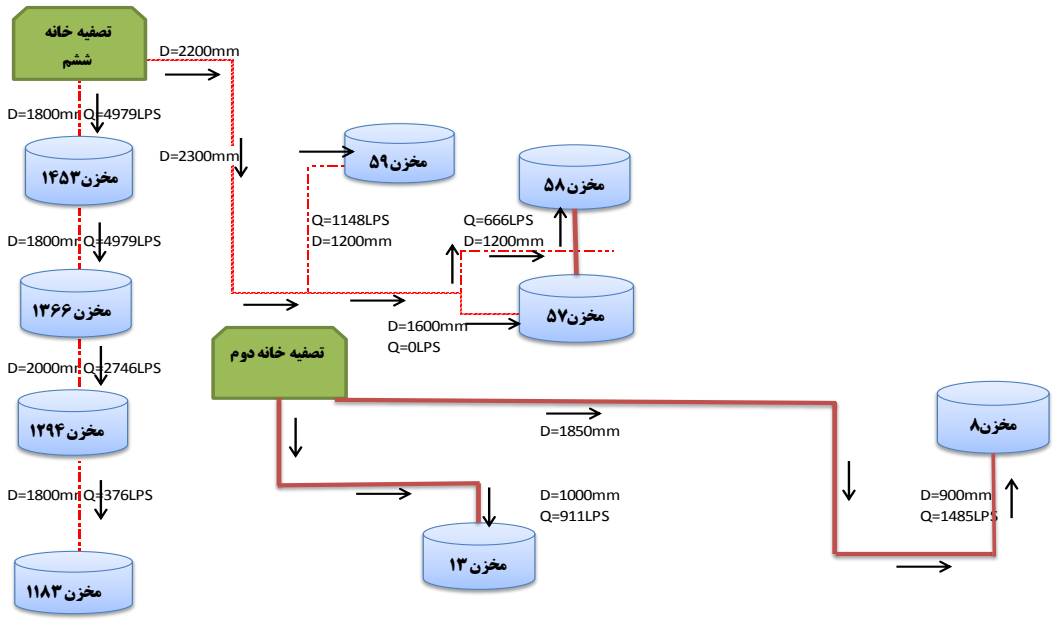
C: ضریب هیزن ویلیامز (ضریب هیزن به جنس لوله بستگی دارد، برای فولاد و بتن این ضریب ۱۰۰ و چدن داکتیل ۱۱۰ در نظر گرفته شده است.)

D: قطر داخلی لوله بر حسب میلی متر

L: طول لوله بین نقطه تامین و تحویل آب بر حسب متر

به عنوان نمونه، الگوی توزیع ماهانه تامین نیاز آبی مخازن شمالغرب و غرب تهران از تصفیه‌خانه‌های دوم و ششم در مرداد ماه (برای افق ۱٤۱۰) در شکل ۲ آورده شده است. همچنین در شکل ۳ ساختار مدل هیدرولیکی توسعه

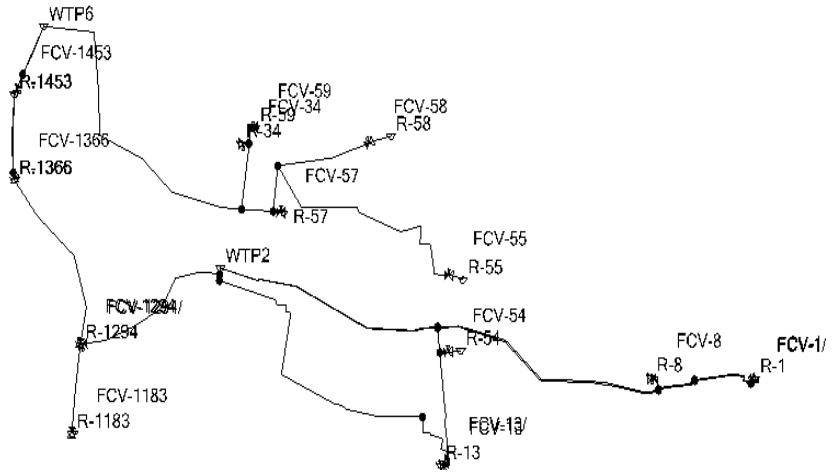
داده شده در محیط نرم‌افزار *WaterGemsV8i* ارائه شده است.



شکل ۲. فلودیاگرام توزیع ماهانه نیاز آب شرب مخازن غرب و شمال غرب تهران در مردادماه- افق طرح سال ۱۴۱۰ (تامین آب از تصفیه‌خانه‌های دوم و ششم)

جدول ۱. الگوی توزیع ماهانه پتانسیل تولید انرژی برقابی در موقعیت ساختگاه‌های مورد بررسی

	ساختگاه برقابی / ماه	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
سایت مخزن۱۳	دبی(لیتر بر ثانیه)	۹۷۵	۱۴۱۵	۱۵۱۷	۱۶۹۳	۹۱۱	۱۳۰۰	۱۱۷۳	۵۴۵	۵۹۳	۴۳۴	۵۲۰	۵۵۰
	بار آبی خالص(متر)	۸۳	۷۹	۸۳	۸۱	۸۵	۸۴	۸۵	۸۴	۸۴	۸۴	۸۴	۸۴
	توان تولیدی(کیلو وات)	۶۳۲	۸۷۸	۹۸۴	۱۰۶۵	۶۰۳	۸۵۰	۷۷۴	۳۷۳	۴۰۶	۲۹۹	۳۵۵	۳۷۷
سایت مخزن ۵۹	دبی(لیتر بر ثانیه)	۸۷۰	۹۲۷	۹۹۴	۱۱۰۸	۱۱۴۸	۱۰۵۱	۹۷۸	۹۳۸	۸۹۸	۸۸۸	۹۰۹	۹۷۰
	بار آبی خالص(متر)	۹۵	۹۵	۹۵	۹۴	۹۵	۹۵	۹۵	۹۵	۹۵	۹۵	۹۵	۹۵
	توان تولیدی(کیلو وات)	۶۵۲	۶۹۳	۷۳۸	۸۲۱	۸۵۴	۷۸۱	۷۲۹	۷۰۱	۶۷۲	۶۶۳	۶۷۸	۷۲۱
سایت مخزن۵۸	دبی(لیتر بر ثانیه)	۳۹۱	۴۱۷	۴۴۷	۴۹۸	۶۶۶	۴۷۳	۴۴۰	۴۲۲	۴۰۴	۷۵۸	۷۷۴	۱۵۵۷
	بار آبی خالص(متر)	۹۶	۹۶	۹۶	۹۵	۹۶	۹۵	۹۶	۹۶	۹۶	۹۵	۹۵	۹۳
	توان تولیدی(کیلو وات)	۲۹۴	۳۳۵	۳۳۵	۳۷۲	۴۹۹	۳۵۴	۳۳۰	۳۱۷	۳۰۴	۵۶۵	۵۷۶	۱۱۳۱
سایت مخزن ۸	دبی(لیتر بر ثانیه)	۱۱۲۶	۱۲۸۷	۱۲۸۷	۱۴۳۵	۱۴۸۵	۱۲۶۱	۱۲۶۵	۱۲۱۵	۱۱۶۳	۱۱۵۱	۱۱۷۶	۱۲۵۶
	بار آبی خالص(متر)	۱۸	۱۸	۱۸	۱۶	۱۵	۱۶	۱۷	۱۷	۱۷	۱۸	۱۷	۱۷
	توان تولیدی(کیلو وات)	۱۵۹	۱۸۶	۱۸۶	۱۸۰	۱۷۲	۱۷۲	۱۶۸	۱۶۲	۱۵۸	۱۵۹	۱۶۰	۱۶۶
سایت مخزن۵۷	دبی(لیتر بر ثانیه)	۶۴۷	۶۹۰	۷۴۰	۸۲۵	۰	۷۸۲	۷۲۷	۶۹۸	۶۶۹	۶۶۱	۶۷۶	۰
	بار آبی خالص(متر)	۱۶۶	۱۶۶	۱۶۶	۱۶۶	۱۶۶	۱۶۶	۱۶۶	۱۶۶	۱۶۶	۱۶۶	۱۶۶	۱۶۶
	توان تولیدی(کیلو وات)	۸۴۴	۸۹۹	۹۶۴	۱۰۷۲	۰	۱۰۱۷	۹۴۷	۹۱۰	۸۷۲	۸۶۰	۸۷۹	۰
سایت مخزن۱۴۵۳	دبی(لیتر بر ثانیه)	۳۸۶۳	۴۴۱۱	۴۲۹۷	۴۳۷۱	۴۷۹۹	۳۴۱۷	۳۵۹۸	۳۶۹۵	۳۷۹۲	۳۴۵۸	۳۴۰۲	۳۲۱۷
	بار آبی خالص(متر)	۱۰۶	۱۰۵	۱۰۶	۱۰۶	۱۰۵	۱۰۶	۱۰۶	۱۰۶	۱۰۶	۱۰۶	۱۰۶	۱۰۶
	توان تولیدی(کیلو وات)	۳۲۰۸	۳۶۵۲	۳۵۶۰	۳۶۲۰	۴۱۰۷	۲۸۴۴	۲۹۹۳	۳۰۷۱	۳۱۶۵	۲۸۷۸	۲۸۳۳	۲۶۸۰
سایت مخزن۱۳۶۶	دبی(لیتر بر ثانیه)	۳۸۶۳	۴۴۱۱	۴۲۹۷	۴۳۷۱	۴۷۹۹	۳۴۱۷	۳۵۹۸	۳۶۹۵	۳۷۹۲	۳۴۵۸	۳۴۰۲	۳۲۱۷
	بار آبی خالص(متر)	۸۶	۸۶	۸۶	۸۶	۸۵	۸۶	۸۶	۸۶	۸۶	۸۶	۸۶	۸۶
	توان تولیدی(کیلو وات)	۲۶۰۴	۲۹۶۳	۲۸۸۸	۲۹۳۷	۳۳۳۰	۲۳۰۹	۲۴۲۹	۲۴۹۳	۲۵۵۷	۲۳۳۷	۲۲۹۹	۲۱۷۷
سایت مخزن۱۲۹۴	دبی(لیتر بر ثانیه)	۲۱۷۰	۲۶۰۶	۲۳۶۳	۲۲۱۴	۲۷۴۶	۱۳۷۱	۱۶۹۵	۱۸۶۹	۲۰۴۳	۱۷۲۸	۱۶۳۴	۱۳۲۷
	بار آبی خالص(متر)	۷۶	۷۱	۷۱	۷۱	۷۱	۷۲	۷۱	۷۱	۷۱	۷۱	۷۱	۷۲
	توان تولیدی(کیلو وات)	۱۲۱۱	۱۴۴۶	۱۳۱۵	۱۲۳۵	۱۵۲۱	۷۷۱	۹۵۰	۱۰۴۶	۱۱۴۱	۹۶۸	۹۱۶	۷۴۶
سایت مخزن۱۱۸۳	دبی(لیتر بر ثانیه)	۳۳۷۷	۳۷۹۴	۳۶۲۸	۳۴۴۱	۳۷۶۰	۳۶۱۷	۲۹۶۶	۲۹۵۳	۳۱۴۰	۳۰۲۹	۲۹۲۸	۲۳۰۰
	بار آبی خالص(متر)	۱۰۶	۱۰۴	۱۰۵	۱۰۵	۱۰۴	۱۰۸	۱۰۷	۱۰۷	۱۰۶	۱۰۷	۱۰۷	۱۰۹
	توان تولیدی(کیلو وات)	۲۷۹۷	۳۱۰۰	۲۹۸۱	۲۸۴۵	۳۰۷۶	۳۰۶۰	۲۴۸۶	۲۴۷۶	۲۶۱۹	۲۵۳۵	۲۴۵۷	۱۹۶۰



شکل ۳. مدل هیدرولیکی توسعه داده شده برای شبیه‌سازی سیستم آبرسانی از تصفیه‌خانه‌های دوم و ششم تهران به مخازن هدف

معیارها و زیرمعیارهای موثر در انتخاب فرآیند اولویت بندی ساختگاه های برقابی از طریق مطالعه مراجع و مصاحبه با متخصصان مشخص شد. در مرحله بعد این معیارها در قالب پرسشنامه توسط گروه خبرگان شامل کارشناسان و مشاوران شرکت‌های متخصص و اساتید دانشگاه تکمیل گردید. پرسشنامه شامل ۱۸ ماتریس مقایسه زوجی بود. در این ماتریس‌ها، میزان اهمیت زیرمعیارهای مربوطه به هریک از معیارها نسبت به معیار مربوطه و میزان اهمیت گزینه های مورد نظرنسبت به معیارها و زیر معیارها مورد ارزیابی قرار گرفت. نحوه امتیازدهی به پارامترها در ماتریس‌های مقایسه زوجی به این صورت است که در این ماتریس‌ها، پارامتر به صورت دو به دو با یکدیگر مقایسه شده و طبق جدول۲ امتیازدهی می‌شوند(*Saaty,2000*).

جدول ۲. مقیاس اهمیت نسبی معیارها (Saaty, 2000)

وزن های ترجیحی/سطح اهمیت	تعریف	توضیحات
۱	ترجیح برابر	دو فعالیت مشارکت یکسانی نسبت به هدف دارند.
۳	ترجیح متوسط	تجربیات و قضاوت بطور ملایم یک فعالیت را به دیگر فعالیتها ترجیح میدهد.
۵	ترجیح قوی	تجربیات و قضاوت بطور قوی یا ویژه،یک فعالیت را به دیگر فعالیت ها ترجیح داده می شود.
۷	ترجیح خیلی قوی	یک فعالیت به طور خیلی قوی نسبت به دیگر فعالیت ها ترجیح داده می شود.
۹	ترجیح بی نهایت	ترجیح یک فعالیت نسبت به دیگر فعالیت ها در حداکثر درجه ممکن است.
۲و۴و۶و۸	مقادیر بینابینی	برای بیان ترجیحات بین مقادیر بالاست.
معکوس		معکوس هریک برای بیان مقایسات معکوس استفاده می شود.

پس از تکمیل پرسشنامه توسط گروه خبرگان، میانگین نظرات کارشناسان به عنوان وزن هر پارامتر شناخته می‌شود. در مرحله بعد سلسله مراتب مقایسه‌ها ساخته می‌شود که در بالاترین بخش هدف تصمیم‌گیری قرار می‌گیرد که در اینجا تعیین موقعیت‌های برتر جهت استحصال انرژی برقابی در سامانه آبرسانی شهری است و بعد از آن معیارها و زیر معیارها قرار می‌گیرند و در پایین‌ترین بخش، گزینه‌ها قرار دارند. معیارهایی که در تعیین موقعیت های برتر جهت استحصال انرژی برقابی در سامانه آبرسانی شهری مدنظر قرار گرفته‌اند، عبارتند از: معیار فنی، اقتصادی، محیط‌زیست، پدافند غیرعامل و سیاسی-اجتماعی. احداث واحدهای برقابی سبب بروز برخی تاثیرات محیط زیستی می‌شود که با توجه به ابعاد و مقیاس آنها متفاوت است. تصمیم‌گیران می‌توانند علاوه بر معیارهای دیگر از طریق شاخص‌های محیط‌زیستی نیز برای تعیین ظرفیت مناسب نیروگاه برقابی استفاده نمایند. مهمترین دلایل تاثیرات منفی می‌تواند احداث نیروگاه و زیرساخت‌های مورد نیاز باشد. تاثیرات منفی بر اقلیم، می‌تواند شامل زیر آب رفتن زمین‌های مرغوب کشاورزی، تخریب زیستگاه‌های حیوانات بومی، از بین رفتن محل رویش برخی گونه‌های گیاهی باشد. احداث واحدهای برقابی کوچک بر سایر شاخص‌های محیط

زیستی مانند کیفیت و آلودگی آب تاثیر گذاشته است. تصمیم‌گیری در خصوص احداث واحدهای برقابی منوط به اولویت‌بندیِ شاخص‌های تاثیرپذیریِ محیط زیستی و سایر ملاحظات سیاستگذاران است. برای بررسی شاخص زیست‌محیطی؛ دو زیر معیار تخریب اکوسیستم و آلایندگی آب، در ابتدای فرآیند تحقیق، مدنظر قرار گرفت. لکن از آنجایی که موضوع تحقیق به بررسی احداث نیروگاه‌های برقابی روی خطوط لوله انتقال آب پاک درون شهری می‌پردازد، لذا بحث ایجاد آلودگی در آب (به دلیل بسته بودن مجرای عبور انتقال آب) منتفی است و در نتیجه تنها اثر شاخصِ محیط‌زیستی مربوط به احتمال تخریب درختان در فضاهای سبز شهری در موقعیتِ احداث سازه نیروگاه برقابی می‌باشد و بدین جهت معیار محیط‌زیستی در تحلیل نهاییِ سلسله مراتبی بدون زیرمعیار در نظر گرفته شد. کما اینکه در آنالیز پرسشنامه‌های جمع آوری شده از متخصصین نیز مشخص گردید که دو زیرمعیار اولیه در نظر گرفته شده برای شاخص محیط‌زیستی (تخریب اکوسیستم و آلایندگی آب) دارای امتیاز (یا وزن) یکسانی هستند. همچنین به علت وسیع بودن ابعاد هریک از معیارهای تعریف شده، به منظور دستیابی به نتایج بهتر برای هریک از معیارها، زیرمعیارهایی نیز تعریف شد. زیرمعیارهایی که در ارزیابی فنی مورد توجه قرار گرفتند عبارتند از: زیرمعیارهای هیدرولیکی، اجرایی، بهره‌برداری و نگهداری. در ارزیابی اقتصادی ساختگاه‌های‌مورد مطالعه، زیر معیارهایی که مورد استفاده قرار گرفتند: سود، نرخ بازگشت سرمایه و هزینه نهایی. در ارزیابی وضعیت پدافند غیرعامل ساختگاه‌های منتخب، امنیت نیروگاه برقابی، استمرار آبرسانی به مصارف پایین‌دست، امکان شناسایی توسط عوامل تهدیدکننده و در ارزیابیِ معیار سیاسی- اجتماعی نیز تداخل با معارضین ملکی و تلاقی با تاسیسات زیربناییِ سایر ارگان‌ها مورد توجه قرار گرفته است. سطح گزینه‌ها شامل ساختگاه‌های تولید انرژی برقابی است که باید مقایسه و ارزیابی گردند. در این مطالعه، نه ساختگاه تولید انرژی برقابی در خطوط اصلی انتقال آبِ زیرمجموعه تصفیه‌خانه‌های شش و دو تهران به عنوان گزینه‌های مساله تصمیم‌گیری انتخاب شده‌اند که عبارتند از: سایت مخزن ۱۳، سایت مخزن ۵۹ شهران، سایت مخزن ۵۸ سردار جنگل، سایت مخزن ۸، سایت مخزن۵۷ جنت آباد، سایت مخزن متعادل کننده فشار ۱٤٥۳ (شهرک ثامن‌الائمه)، سایت مخزن متعادل کننده فشار۱۳٦٦ (در محدوده بزرگراه شهید خرازی)، سایت مخزن متعادل‌کننده فشار ۱۲۹٤ (بزرگراه آزادگان)، سایت مخزن ۱۱۸۳ غرب (تهرانسر). در شکل شماره ٤، ساختار درختی (نهایی) معیارهای تصمیم‌گیری برای مقایسه میان فناوری نیروگاهی با ۱٦ معیار در پنج گروه اصلی فنی، سیاسی-اجتماعی، زیست‌محیطی، اقتصادی و پدافند غیرعامل نشان داده شده است.

مقایسات زوجی، وزن‌های نسبی و وزن‌های نهایی با استفاده از نرم‌افزار *Expert Choice* محاسبه گردید. یکی از مزایای مهم فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، اندازه‌گیری و کنترل سازگاری هر ماتریس است. شاخص ناسازگاری I.I به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$I.I=\frac{\lambda_{MAX}-n}{n-1} \qquad (٤)$$

II: شاخص ناسازگاری

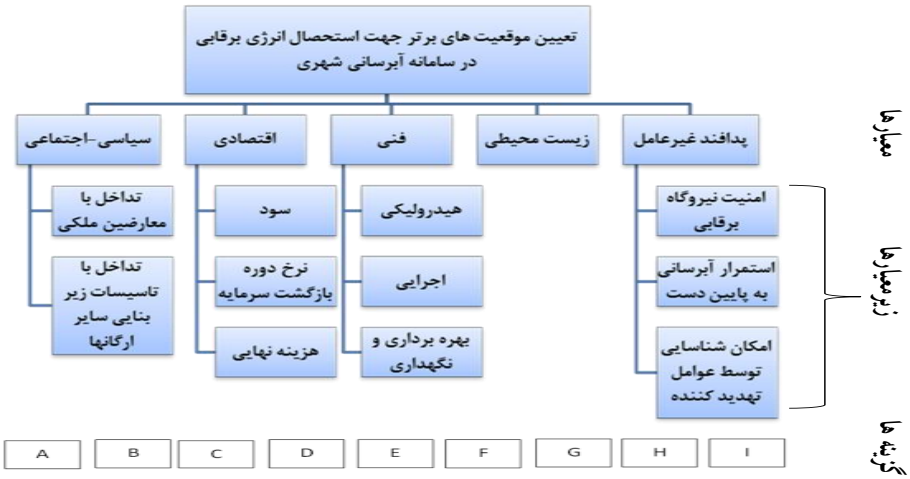
N:طول ماتریس

γ_{max}: حداکثر مقدار ویژه ماتریس

با تقسیم مقدار I.I بر I.I.R میزان نرخ ناسازگاری محاسبه می‌شود. در صورتی که شاخص ناسازگاری کمتر از ده درصد باشد، محاسبات مورد تایید قرار می‌گیرد. در غیر اینصورت تحلیل باید مجددا صورت گیرد (*I.I.R* عبارت است از شاخص ناسازگاری ماتریس تصادفی،که از محاسبه مقادیر شاخص ناسازگاری برای ماتریس‌هایی که اعداد آنها کاملا تصادفی اختیار شده، محاسبه می‌گردد). مقادیر این شاخص برای ماتریس‌های n بعدی مطابق جدول ۳ است.

جدول ۳. شاخص ناسازگاری ماتریس‌های تصادفی

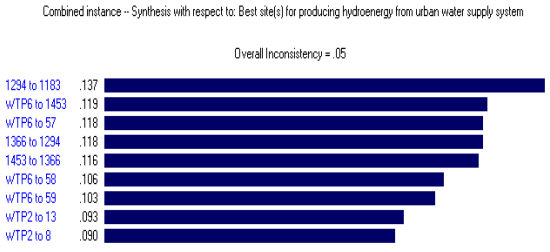
N	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷	۸	۹	۱۰
I.I.R	۰	۰	۰/٥۸	۰/۹	۱/۱۲	۱/۲٤	۱/۳۲	۱/٤۱	۱/٤٥	۱/٤٥



شکل ٤. ساختارسلسله مراتبی توسعه داده شده برای امکان‌سنجی ساختگاه‌های برقابی در تحقیق حاضر

نتایج و بحث

همانطور که در شکل ٥ مشاهده می‌شود، ساختگاه مخزن۱۱۸۳ بالاترین رتبه را نسبت به هدف کلی بدست آورده و به عنوان بهترین ساختگاه جهت نصب توربین آبی مشخص شد.



شکل ٥. اولویت‌بندی گزینه‌های ساختگاه تولید برق نسبت به هدف کلی

در جدول٤ اوزان مربوط به معیارها و زیرمعیارهای مختلف به دست آمده، ارائه شده است. براساس نتایج حاصل از این تحقیق، از میان شاخص‌های مربوط به معیار فنی؛ هیدرولیکی، اجرایی و بهره‌برداری و نگهداری به‌ترتیب با اوزان۰/٤٥٥، ۰/۰٤۲ و ۰/٦۰۲، بیشترین اهمیت را به خود اختصاص داده‌اند. در بین زیرمعیارهای پدافند غیرعامل، معیارهای استمرار آبرسانی به پایین‌دست، امنیت برقابی، امکان شناسایی توسط عوامل تهدیدکننده به‌ترتیب با اوزان۰/٦٦۰، ۰/۲۲٤، و۰/۱۱۷ بیشترین امتیاز را بدست آورده‌اند. در بین زیرمعیارهای اقتصادی، دوره بازگشت سرمایه، سود و هزینه نهایی با اوزان ۰/٥۲۹ و۰/٤۷۱ بیشترین اهمیت را به خود اختصاص دادند (جدول ٤). وزن نسبی گزینه‌ها نسبت به معیارها در جدول٥ ارائه شده است. در شکل٥، رتبه‌بندی گزینه‌های مختلف ساختگاه‌در ارتباط با معیارها نشان داده شده است. بیشترین حساسیت معیارها نسبت به هدف کلی، به ترتیب فنی (۳۸/٤٪)، اقتصادی (۲٦/۸٪)، محیط‌زیست (۱٥/۱٪)، پدافند غیرعامل (۱۳٪) و سیاسی- اجتماعی (٦/۸٪)بوده است. به‌عبارت دیگر، در اولویت‌بندی معیارهای امکانسنجیِ نصب نیروگاه برقابی کوچک بر روی شبکه آبرسانیِ زیرمجموعه تصفیه‌خانه‌های دوم و ششم، معیار فنی بیشترین تاثیر را داشته است و ساختگاه مخزن ۱۱۸۳ رتبه اول را بدست آورده و ساختگاه‌های مخزن ۱۲۹٤، مخزن۱٤٥۳، مخزن ٥۷، مخزن۱۳٦٦، مخزن ٥۸، مخزن ٥۹، مخزن ۱۳ و مخزن ۸ در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند.

جدول ٤. وزن نرمال معیارها و زیرمعیارهای موردنظر

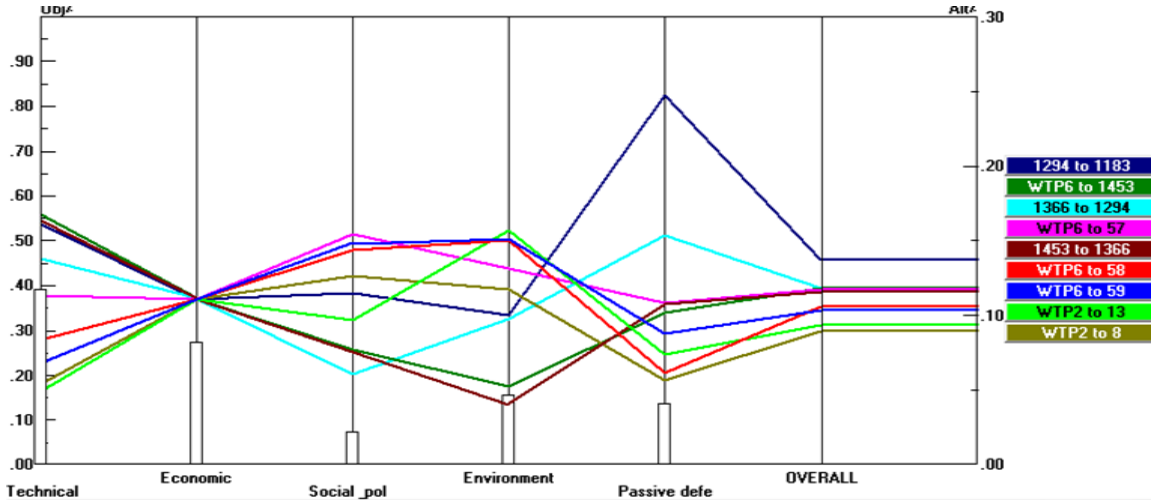
معیارها	زیرمعیارها	وزن نرمال زیرمعیارها	وزن نرمال معیار اصلی
فنی	هیدرولیکی	۰/۵۵٤	۰/۳۸٤
	اجرایی	۰/۲٤۰	
	بهره برداری و نگهداری	۰/۲۰٦	
زیست محیطی	–	–	۰/۱۵۱
پدافند غیرعامل	امنیت نیروگاه برقابی	۰/۲۲٤	۰/۱۳
	استمرار آبرسانی به پایین دست	۰/٦٦	
	امکان شناسایی توسط عوامل تهدیدکننده	۰/۱۱۷	
اقتصادی	سود	۰/۳۸٤	۰/۲٦۵
	نرخ دوره بازگشت سرمایه	۰/٤۲۲	
	هزینه نهایی	۰/۱۹۳	
سیاسی- اجتماعی	تداخل با معارضین ملکی	۰/٤۷۱	۰/۰٦۸
	تداخل با تاسیسات زیر بنایی سایر ارگانها	۰/۵۲۹	

جدول ۵. وزن نسبی گزینه‌های مورد بررسی برای توسعه واحد نیروگاهی نسبت به معیارها

معیارها	سایت مخزن ۱۳	سایت مخزن ۵۹	سایت مخزن ۵۸	سایت مخزن۸	سایت مخزن۵۷	سایت مخزن ۱٤۵۳	سایت مخزن۱۲۹٤	سایت مخزن ۱۱۸۳	سایت مخزن۱۳٦٦
فنی	۰/۵	۰/۰٦۹	۰/۰۸٤	۰/۰۵۵	۰/۱۱۳	۰/۱٦۷	۰/۱۳۸	۰/۱٦۱	۰/۱٦۳
زیست محیطی	۰/۱۵۷	۰/۱۵۱	۰/۱۵۱	۰/۱۱۸	۰/۱۳۱	۰/۰۵۳	۰/۰۹۸	۰/۱۰۱	۰/۰٤۱
پدافند غیر عامل	۰/۰۷٤	۰/۰۸۸	۰/۰٦۲	۰/۰۵۷	۰/۱۰۹	۰/۱۰۲	۰/۱۵٤	۰/۲٤۸	۰/۱۰۷
اقتصادی	۰/۱۱۱	۰/۱۱۱	۰/۱۱۱	۰/۱۱۱	۰/۱۱۱	۰/۱۱۱	۰/۱۱۱	۰/۱۱۱	۰/۱۱۱
سیاسی-اجتماعی	۰/۰۹۷	۰/۱٤۹	۰/۱٤٤	۰/۱۲۷	۰/۱۵٤	۰/۰۷۸	۰/۰٦۱	۰/۱۱۵	۰/۰۷٦

تحلیل حساسیت به طور کلی، حساسیت نتایج آنالیز را نسبت به تغییر در مقادیرِ اولویت معیارها و زیرمعیارها نشان می‌دهد. در شکل ٦، حساسیت گزینه‌های مختلف مورد بررسی برای توسعه واحدهای برقابی نسبت به معیارهای فنی؛ اقتصادی، ریست محیطی، پدافند غیرعامل و سیاسی- اجتماعی درنظر گرفته شده نشان داده شده است. همانطور که در این نمودارها مشاهده می‌شود، نصب نیروگاه برقابی در سایت مخزن ۱۱۸۳ بیشترین حساسیت را نسبت به معیار پدافند غیرعامل دارد و هم‌چنین سایت مخزن ۱۳، مخزن ۱٤۵۳ و مخزن ۵۷ به ترتیب بیشترین حساسیت را نسبت به معیارهای محیط‌زیست، فنی و سیاسی- اجتماعی دارند. در این شکل، نمودار ستونی میله‌ای وزن‌های نسبی هریک از معیارها را نشان می‌دهد که از روی محور عمودیِ سمت چپ و وزن‌های نسبی هریک از گزینه‌ها از محور سمت راست قرائت می‌شوند.

در شکل ٦، مشاهده می‌شود که با تغییر وزن یک معیار در سطوح٪۳۸/٤، ٪۱۵/۱، ٪۱۳و ٪٦/۸ وزن کلی معیارهای دیگر تغییر می‌کند و گزینه‌ها جابه جا می‌شوند. این تغییر باید در حالی صورت گیرد که وزن سایر معیارها ثابت بماند. در این مرحله مشخص می‌شود که مدل تحلیل سلسله مراتبی نسبت به تغییر در وزن معیارهای فنی، محیط‌زیست، سیاسی- اجتماعی حساس می‌باشد و با افزایش ٪۲۰ در هر یک از معیارها، احداث نیروگاه برقابی به‌ترتیب در ساختگاه مخزن ۱٤۵۳، ساختگاه مخزن ۵۸ و ساختگاه مخزن۷ به‌عنوان گزینه‌های برتر انتخاب می‌شوند. در معیارهای اقتصادی و پدافند غیرعامل، گزینه‌ها بسیار نزدیک به یکدیگر می‌باشند.



شکل ٦. تحلیل حساسیت گزینه‌های مورد بررسی نسبت به معیارهای مختلف درنظر گرفته شده

در این تحقیق، معیارهای مختلفی با توجه به کارکرد و اهمیت توسعه واحدهای برقابی جهت اولویت‌بندی احداث این تاسیسات در سامانه‌های آبرسانی شهری، در نظر گرفته شد. طبق نتایج حاصل از تحلیل سلسله مراتبی، معیار فنی بیشترین امتیاز را جهت اولویت‌بندی ساختگاه‌ها برای نصب توربین آبی در قیاس با سایر معیارهای مورد نظر بدست آورد. بنابراین، معیار فنی در تصمیم‌گیری و انتخاب بهترین ساختگاه نسبت به معیار اقتصادی تاثیر بیشتری داشته است و معیار اقتصادی نیز، در قیاس با معیارهای محیط‌زیست، پدافند غیرعامل، سیاسی-اجتماعی دارای بیشترین اثرگذاری می‌باشد و همانطور که در نمودار شکل ٥ مشاهده می‌شود در اولویت‌بندی توسعه واحدهای برقابی، نصب توربین در سایت مخزن ۱۱۸۳ رتبه اول را بدست آورده و سایت مخازن۱٤٥۳، ٥۷، ۱۲۹٤، ۱۳٦٦، ٥۸، ٥۹، ۱۳ و مخزن ۸ به ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. به این دلیل که معیارهای فنی و اقتصادی بیشترین تاثیر را در انتخاب بهترین ساختگاه داشتند. همانطور که در شکل٦ مشاهده می‌شود، ساختگاه مخزن۱۱۸۳بیشترین حساسیت را نسبت به معیار پدافند غیرعامل دارد. در این نمودار، با افزایش درصد وزنی معیار پدافند غیرعامل، ساختگاه مخزن۱۱۸۳ همچنان در رتبه اول قرار گرفته و افزایش وزن این معیار تاثیری در رتبه‌بندی این ساختگاه نشان نمی‌دهد. اما با افزایش وزن معیار سیاسی-اجتماعی از ۰/۰٦۸ به ۰/٤، اولویت‌بندی ساختگاه‌ها جابه‌جا شده و گزینه‌ای در اولویت قرار می‌گیرد که این معیار در انتخاب آن تاثیر بیشتری داشته باشد. تغییر وزن معیار اقتصادی تاثیری در اولویت‌بندی گزینه‌ها نشان نمی‌دهد. اما با افزایش وزن معیار فنی از ۰/۳۸٤ به۰/۹، اولویت ساختگاه‌ها جابه‌جا می‌شود. با افزایش وزن معیار محیط زیست نیز از ۰/۱٥ به ۰/٥ اولویت‌بندی ساختگاه‌ها تغییر خواهد کرد. تحلیل حساسیت انجام شده نشان داد که بیشترین حساسیت مربوط به معیار فنی می‌باشد. در انتها، پیشنهاد می‌گردد با توجه به اهمیت و کاربرد موضوع پژوهش حاضر در صنعت آب کشور و ضرورت تولید انرژی پاک مطمئن، از سایر روش‌های رایج تصمیم‌گیری چندمعیاره نظیر *TOPSIS* و *VIKOR* جهت پتانسیل‌یابی تولید انرژی برقابی روی خطوط آبرسانی تحت فشار استفاده گردد و نتایج آن بصورت مقایسه با روش بکار رفته در این مقاله ارائه گردد.

فهرست منابع

صلوی تبار، ع.، ضرغامی، م. و ابریشم چی ، ا . ۱۳۸۵. مدل پویایی سیستم در مدیریت آب شهری تهران. نشریه آب و فاضلاب، ۳ (۵۹): ۱۲-۲۸.

بهشتی، م.، صدقی، ح.و بابازاده، ح. ۱۳۸۷، توسعه مدل تلفیقی شبیه‌سازی و بهینه‌سازی طراحی و بهره‌برداران از مخازن برقابی، مجموعه مقالات دومین کنفرانس ملی سد و نیروگاه‌های برقابی.

حسینی، ا. و باقری، ع. ۱۳۹۲. مدل‌سازی پویایی سیستم منابع آب دشت مشهد برای تحلیل استراتژی‌های توسعه پایدار. نشریه آب و فاضلاب، ٤ (٢٤): ۲۸-۳۹.

شهرکی، ع.، شهرکی، ج. و هاشمی منفرد، آ. ۱۳۹۵، بررسی رویکردهای مدیریتی بهره‌برداری منابع آب منطقه سیستان با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP). پژوهش‌های مدیریت عمومی، شماره ۳۱: ۹۸-۷۳.

محمدی، ع. و وشتانی، م. ۱۳۹٤. امکان سنجی نصب نیروگاه‌های برقابی کوچک بر روی خطوط شبکه آبرسانی شهر تهران، فصلنامه تحقیقات مکانیک، شماره ۷ (۳): ۵-۱.

Afshar, A., Jemaa. Ben Jemaa. and Miguel , A. 1990. Optimization of hydropower plant integration in water supply system. Journal of Water Resources Planning and Management, 1990.116:665-675.

Keyes, A. M. and R. N. Palmer, The Role of object oriented simulation models in the drought preparedness studies, water management in the 90s, a time for Innovation, proceedings of 20th annual WRPMD Conference, American Society of Civil Engineers, New York, N. Y., 1993.

Fletcher, R., 1998. low –density , agrarian-based urbanism: a comparative view. Institute of Advanced Studies Insights. 2 (4), 2-19.

Kougias, I., Patsialis, T., Theodossiou, N. and Ganoulis, J. 2014. Hydropower projects within a municipal water supply system: optimum allocation and management using Harmony search.

Teegavarapu, R. and Simonovi, S. 2000. Short-term operation Model for coupled Hydropower Reservoirs. Journal of water Resources planning and management, 98-106.

Saysel, A., Barlas, Y. and Yenigun, O. 2002.Environmental Sustainability in an agriculture development Project:a system dynamics approach. Journal of Environmental management, 247-260.

Sofia, G., Tarolli, P., Cazorzi, F., Dalla Fontana, G. (2011). An objective approach for feature extraction: distribution analysis and statistical descriptors for scale choice and channel network identification. Hydrology and Earth system sciences, 15 (5): 1387-1402.

Carravetta, A. and Fecarotta, o., Delgiudice, G. and Ramos, H. 2014. Energy recovery in water systems by PATs: a comparisons among the different installation schemes. Procedia Engineering, IWA70:275-

Corcoran,L., Coughlan,p.,and Mcnabola,A. 2013.Energy recovery potential using micro hydropower in water supply networks in the UK and Ireland .journal of water science and technology :water supply, iwa13.2:552-560.

Saaty, T. L. 2000. Fundamentals of decision making and priority theory, 2nd Ed., PA: Rws Pub, Pittsburgh.

[16]-Shadman,F., Sadeghipour,S., Moghavvemi, M.and Saidur,R2016.Drought and energy Security in key Asian countries. Renewable and Sustainable energy reviews 53:50-58.

Yousefi, H., Noorollahi, Y., Ehara, S., I toi R., Yousefi, A., Fujimitsua, Y., Nishijimaa Resources Map of Iran, Geothermics 39, 2010, pp. 140-151.

ISSN 2251-7480

Feasibility study of hydro power schemes development in urban water supply systems by Analytic Hierarchy Process method (Case study: part of the Greater Tehran's water mains network)

Rojin Ziaeipourroudsari[1*] and Mohammadreza Beheshti[2]

1*) M. Sc., Water resources Engineering and Management, Al-Taha University, Tehran, Iran.
Corresponding author email: ziaeirojin@yahoo.com
2) Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Al-Taha University, Tehran, Iran.

Received: 29-08-2019 Accepted: 15-05-2020

Abstract

Preserving the environment and making fossil fuels viable for energy production, as well as power grid losses and low efficiency of thermal power plants, have drawn human attention to the use of alternative and renewable resources of energy such as hydro energy. One of the most effective approaches to operational management of the urban water supply networks is to control the surplus hydraulic pressure in some parts of the system. Therefore, utilizing the potential head along main gravity pipelines route to recover energy can be considered as a favourable strategy for optimum flow control and management of the water pressure in the network. In this study, by applying hydraulic simulation of a given water supply network, the important hydraulic parameters such as available net pressure head in various locations of water pipeline and water reservoirs inflow have been derived Hence, by considering these essential parameters and taking into account the topographic status of water transmission route and hydraulic grade line elevation at each point, the power output was calculated at nine selected hydropower sites. In addition, to Prioritizing the construction and operation of the proposed hydropower potentials and providing useful guidance to authorities, investors and executive managers, a multi-criteria decision-making analysis based on the analytic hierarchy process was conducted according to five key criteria including technical, economic, social, passive defence and environmental aspects. Hence, a comprehensive multi-criteria model based on AHP and questionnaires has been developed to rank hydro energy production in proposed sites in a water supply network. By analysing the expert questionnaires and weighting to each of the criteria and sub-criteria (pairwise comparison) in the Expert Choice software, it was found that the technical, economic, environmental, passive defence and social criteria were ranked in first to fifth place, respectively. The results showed that micro hydropower potential sites in R.1183, R.1453 and R.57 reservoirs with installed capacity of 3100, 4107 and 1072 KW respectively, were ranked in the first to third priority of construction in the studied water supply network.

Keywords: Analytic hierarchy process, Feasibility, Micro Hydropower plant, Multi-criteria decision-making