Archive of SID

2021, Vol.8, No.1, Pages 11 to 18
Journal of Water and Sustainable Development

آب و توسعه پایدار

۱۴۰۰، سال هشتم، شماره ۱، صفحات ۱۱ تا ۱۸
نشریه آب و توسعه پایدار

Article Type: Applied

نوع مقاله: کاربردی

Investigation of Water Consumption with Water and Energy Nexus Approach in Iranian Combined Cycle Power Plants

S. Ghodrati[1], N. Kargari[2*], F. Farsad[3], A.H. Javid[4], A.R. Kani[5]

1,3- Student and Assistant Professor, Department of Environment (Land Assessment and Planning), Science and Research Branch of Islamic Azad University, Iran. 2- Assistant Professor, Department of Environment, Islamic Azad University, Takestan Branch, Iran. 4- Associate Professor, Department of Water and Wastewater, Science and Research Branch of Islamic Azad University, Iran. 5- Assistant Professor, Department of Energy Engineering, Science and Research Branch of Islamic Azad University, Iran..

*(Corresponding Author Email: n.kargari@tiau.ac.ir)

Received: 10-09-2020
Accepted: 22-11-2020

Abstract

Electricity generation and water consumption are intertwined. With increasing population and increasing economic development, the need for energy increases and as a result, water consumption issues in energy systems will become much more complex. Most power generation technologies require water for cooling, steam turbines and power plants. The amount of water required for different types of power generation technologies is different. This study examines the amount of water consumed by Iran's combined cycle power plants and identifies the close relationship between the amount of electricity production and the amount of water used to generate electricity and helps to improve the conditions for environmental protection by managing water and energy consumption. In this study, library studies and similar studies in Iran and the world were conducted and the coefficients and methods for calculating the amount of water consumed were extracted. The amount of water consumption of each power plant was obtained by multiplying the amount of electricity generation and WCF related to the dry cooling system and the type of power plant using natural gas fuel. Finally, the data obtained from the calculations were compared with the actual data of the water consumption in the electricity generation process (demin water). Studies showed that the use of international water consumption coefficients estimates very different results compared to real data. Therefore, the use of water consumption coefficients for Iran can not be used.

Keywords: Water Consumption, Electricity Generation, Combined Cycle Power Plants, Water and Energy Nexus.

بررسی مصرف آب با رویکرد پیوند آب و انرژی در نیروگاه‌های چرخه ترکیبی ایران

سرور قدرتی[1]، نرگس کارگری[2*]، فروغ فرساد[3]، امیرحسین جاوید[4]، علیرضا حاجی ملاعلی کنی[5]

۱و ۳- به ترتیب دانشجو و استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، گروه محیط‌زیست (ارزیابی و آمایش سرزمین)، ایران. ۲- استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تاکستان، گروه محیط‌زیست، ایران. ۴- دانشیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، گروه آب و فاضلاب، ایران. ۵- استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، گروه مهندسی انرژی، ایران.

*(نویسنده‌ی مسئول، E-Mail:n.kargari@tiau.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۶/۲۰
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۹/۰۲

چکیده

تولید برق و مصرف آب درهم تنیده است. با افزایش جمعیت و افزایش توسعه اقتصادی، نیاز به انرژی افزایش می‌یابد و در نتیجه مسائل آب مصرفی در سامانه‌های انرژی بسیار پیچیده‌تر خواهد شد. اکثر فناوری‌های تولید برق برای خنک‌کننده، توربین‌های بخار و بهره‌برداری از نیروگاه‌ها به آب احتیاج دارند. میزان آب مورد نیاز انواع مختلف فناوری‌های تولید برق متفاوت است. این پژوهش میزان آب مصرفی توسط نیروگاه‌های چرخه ترکیبی ایران را بررسی کرده و رابطه تنگاتنگ میزان تولید برق و میزان آب مصرفی جهت تولید برق را شناسایی کرده و با مدیریت مصرف آب و انرژی به بهبود شرایط در راستای حفظ محیط‌زیست کمک می‌نماید. در این پژوهش ابتدا به مطالعات کتابخانه‌ای و بررسی مطالعات مشابه در ایران و جهان پرداخته شد و ضرایب و روش‌های محاسبه میزان آب مصرفی از آن‌ها استخراج شد. میزان آب مصرفی هر نیروگاه از حاصل ضرب میزان تولید برق و WCF مربوط به سیستم خنک‌کننده خشک و نوع نیروگاه با سوخت گاز طبیعی به‌دست آمد. در نهایت داده‌های به‌دست آمده از محاسبات با داده‌های واقعی آب مصرفی در فرآیند تولید برق (آب دمین) مقایسه شد. بررسی‌ها نشان داد استفاده از ضرایب مصرف آب بین‌المللی نتایج بسیار متفاوتی را در مقایسه با داده‌های واقعی برآورد می‌کنند. لذا استفاده از ضرایب مصرف آب برای کشور ایران قابل استفاده نمی‌باشد.

واژه‌های کلیدی: مصرف آب، تولید برق، نیروگاه‌های چرخه ترکیبی، پیوند آب و انرژی.

DOI: 10.22067/jwsd.v8i1.88604

www.SID.ir

Archive of SID

زمینه و هدف

آب و انرژی دارای رابطه دو طرفه و تنگاتنگ هستند که با یکدیگر برهم کنش دارند. با افزایش تقاضای آب و انرژی، ارتباط این دو در سال‌های آینده در هم تنیده‌تر خواهد شد. هم آب و هم انرژی، حق و نیاز بشر و کالای اقتصادی هستند. آب برای استخراج، تولید، تبدیل، انتقال و مصرف انرژی ضروری است. می‌توان به آب لازم در نیروگاه‌ها، ساخت مواد و تجهیزات مورد استفاده در بخش انرژی و ... اشاره نمود. تأمین انرژی به‌عنوان جزء لاینفک نیازهای بشر، با مصرف آب در هم تنیده است. با افزایش جمعیت و افزایش توسعه اقتصادی، نیاز به انرژی افزایش می‌یابد و در نتیجه مسائل آب مصرفی در سامانه‌های انرژی بسیار پیچیده‌تر خواهد شد. انرژی در درون واحدهای تولیدی برای حرکت ماشین‌های دوار، گرمایش، خنک‌کاری، تصفیه و تخلیه و یا بازگردانی آب و گرمایش و سرمایش ساختمان‌ها به‌کار می‌رود. انرژی در بیرون از واحدهای تولیدی برای نقل و انتقال مواد و محصولات استفاده می‌شود. طبق گزارش آژانس بین‌المللی انرژی، ۱۰٪ از برداشت آب دنیا به بخش انرژی اختصاص دارد که قسمت عمده آن برای نیروگاه‌ها و تولید سوخت‌های فسیلی و زیست توده استفاده می‌شود. از طرفی ازآنجایی‌که تقاضای انرژی در آینده افزایش خواهد یافت، در بخش نیروگاهی لازم است که فناوری‌های خنک‌کاری پیشرفته با مصرف آب کمتر، جایگزین شوند. اما افزایش تقاضای سوخت‌های زیستی و برق هسته‌ای باعث افزایش سطح برداشت و مصرف آب می‌شود (WWAP، ۲۰۱۴).

توجه به مسئله آب و انرژی ضروری است، زیرا مسائلی از جمله رشد جمعیت، تغییرات آب و هوایی و خشکسالی‌های ناشی از آن، مدیریت سیستم‌های انرژی و آب را پیچیده‌تر می‌کند. یونیسف تخمین می‌زند تا سال ۲۰۵۰، افزایش جمعیت شهری برای اکثر کشورهای در حال توسعه، بیش از ۵۰ درصد رشد خواهد داشت. رشد سریع جمعیت و شهرها همراه با توسعه اقتصادی جهانی، فشار زیادی را بر منابع محدود در این سیاره وارد می‌کندکه منابع محدود شامل آب، انرژی، غذا، زمین و اکوسیستم‌ها می‌باشند. بحران آب یک ریسک در حال حاضر و آینده است. با افزایش تقاضا برای منابع محلی، افزایش مقیاس و نوع منابع آلودگی و تغییرات اقلیمی موجب تغییر الگوهای آب و هوایی و در نتیجه موجب افزایش احتمال وقوع خشکسالی، سیل و بلایای طبیعی می‌شود. تا سال ۲۰۳۵، تقاضای انرژی اولیه جهان در مقایسه با سال ۲۰۱۰، ۴۰ درصد افزایش خواهد یافت. صرفه‌جویی در مصرف آب و انرژی یکی از مهمترین زمینه‌های توسعه پایدار در سراسر جهان خواهد شد. صرفه‌جویی در انرژی می‌تواند فشار را بر منابع آب کاهش دهد، زیرا آب مورد نیاز برای تولید انرژی می‌تواند ذخیره شود یا دوباره استفاده شود و افزایش بهره‌وری آب همچنین می‌تواند مقدار انرژی مصرف شده برای حمل و نقل، تولید حرارت و تصفیه آب را کاهش دهد (Jiangyu و همکاران، ۲۰۱۷).

آگاهی عمومی از کمبود آب در ایران در سال‌های اخیر به میزان قابل توجهی افزایش یافته است. کاهش سطح آب در دریاچه‌ها و تالاب‌های مختلف مانند دریاچه ارومیه اغلب مورد بحث قرار می‌گیرد. بیش از ۹۰ درصد برداشت سالانه آب در ایران توسط بخش کشاورزی برای آبیاری و دامداری استفاده می‌شود. بخش کشاورزی عمده مصرف‌کننده آب در ایران و به تبع آن بخشی است که بیشتر تحت تاثیر تنش آب قرار دارد. بر این اساس، پیوند بین آب و کشاورزی در ایران مورد بحث است و قبلاً نیز به‌طور گسترده مورد بحث قرار گرفته است. در مقایسه با بخش کشاورزی، سهم آب مصرفی بخش انرژی بسیار کمتر است. با این حال، کمبود آب در حال حاضر از تولید برق در ایران نشأت می‌گیرد. با کاهش در دسترس بودن منابع آب، جنبه‌های امنیت انرژی و تخصیص آب در آینده نزدیک اهمیت بیشتری پیدا می‌کند (Terrapon و همکاران، ۲۰۱۸).

آب در تولید برق نقش مهمی دارد، به‌نحوی‌که بیش از ۸۰ درصد از آب بخش صنعت در نیروگاه‌های کشور مصرف می‌شود. می‌توان بیان کرد آب برای این نیروگاه‌ها به اندازه سوخت اهمیت دارد. باتوجه‌به شرایط موجود بحران آب در کشور و واقع شدن کشور ما در ناحیه گرم و خشک توجه به پیوند آب و انرژی در نیروگاه‌ها دارای اهمیت زیادی است.

عمده مصرف آب در نیروگاه‌ها، در سامانه‌های خنک‌کننده، جبران نشتی آب در سیکل بویلرها، سامانه تزریق آب به توربین‌های گاز برای خنک کاری هوای ورودی، سیستم آتش‌نشانی و حتی سامانه‌های حذف آلاینده‌ها از گازهای خروجی دودکش می‌باشد(عوامی، ۱۳۹۷).

با توجه به اینکه سیاست وزارت نیرو، احداث نیروگاه‌های چرخه ترکیبی می‌باشد(ترازنامه انرژی، ۱۳۹۵)، در این تحقیق سعی می‌شود اهمیت میزان آب مصرفی در نیروگاه‌های چرخه ترکیبی کشور بررسی شود.

اهمیت آب و انرژی در صنعت

آب در صنعت تولید انرژی در بخش‌های ذیل استفاده می‌شود:

- بسیاری از فرآیندهای تبدیل برای خنک‌کاری به آب نیاز دارند. آب لازم برای خنک‌کاری در چگالنده نیروگاه‌هایی که سامانه خنک‌کاری آن‌ها از نوع چرخه باز است، نمونه‌ای از این نوع کاربرد محسوب می‌شود.
- بسیاری از فرآیندهای تبدیل از آب به‌عنوان ماده اولیه استفاده

www.SID.ir

Archive of SID

می‌کنند. از این نوع کاربرد می‌توان به آب موجود در چرخه اصلی نیروگاه بخار و آب مورد نیاز واکنش‌های شیمیایی و محلول‌ها اشاره نمود.

• تولید و استخراج انرژی به آب نیاز دارند. در برخی موارد در فرآیند استخراج نفت، آب‌های همراه تولید می‌شود.

تمام این کاربردها به‌صورت مستقیم در شاخص آب مجازی در صنعت تولید مواد و انرژی تأثیر می‌گذارند. علاوه‌براین عوامل مستقیم، این شاخص به عوامل غیرمستقیم متعددی ارتباط دارد. مقدار آبی که برای تولید انرژی مورد نیاز صنایع در بخش‌های بالادستی صرف می‌شود و یا مقدار آبی که برای ساخت تجهیزات و دستگاه‌های مورد نیاز صنعت به‌کار می‌رود، نمونه‌ای از این ارتباط‌های غیرمستقیم است. عوامل غیرمستقیم مرزهای وسیع‌تر از فرآیند تولید در واحد صنعتی دارند. بنابراین ارتباط آب و انرژی در صنعت هم در داخل و هم در خارج از جعبه آب (سامانه آب درون واحد صنعتی) است. شدت مصرف آب بیانگر حجم آب مصرفی به ازاء یک واحد ارزش افزوده ناخالص تولیدی است که فشار اقتصاد بر منابع آبی را اندازه می‌گیرد و نشانگر سیاست‌های بهره‌وری منابع است (عوامی، ۱۳۹۷).

پیوند آب، انرژی در صنعت تولید برق

رشد روزافزون جمعیت و توسعه صنعتی سبب افزایش تقاضای الکتریسته و افزایش مصرف آب شده است. از طرفی، تغییرات آب و هوایی می تواند برروی مقدار آب تجدیدپذیر در دسترس مؤثر باشند. تولید الکتریسیته و آب به شدت به یکدیگر وابسته هستند. آب در دیگ بخار چرخه رانکلین در نیروگاه‌های بخار، به بخار با دمای تقریبی ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱۷۰ بار تبدیل می‌شود. این بخار با به گردش درآوردن توربین، برق تولید می‌کند. سپس این بخار در چگالنده به آب تبدیل می‌شود تا دوباره وارد چرخه تولید برق شود. بخار به‌عنوان سیال عامل در چرخه بسته درون نیروگاه حرکت می‌نماید. بخار درون چگالنده نیروگاه‌های بخار، توسط سامانه خنک‌کاری باز یا بسته، خنک می‌شوند. تشکیل لجن‌ها، در چرخه بخار سبب می‌شود بخشی از آب به‌صورت جریان دوریز از چرخه خارج شودد. علاوه‌بر این، معمولاً مقداری بخار به‌صورت نشتی تلف می‌شود. کلیه اتلاف‌ها با آب جبرانی جایگزین می‌شود. این مقدار آب در مقایسه با آب نیروگاه‌های متداول در آمریکا برابر ۰/۰۲ (m3/MWh) است. مقدار عمده برداشت و مصرف آب در صنعت برق در سامانه خنک‌کاری نیروگاه‌ها است. هر چقدر بازده حرارتی نیروگاه بیشتر باشد، مقدار نیاز به خنک‌کاری در آن کاهش می‌یابد. لذا برداشت و مصرف آب کاهش خواهد یافت. انواع سامانه‌های خنک‌کاری شامل یک بار گذر، تر، خشک و استخری است. مقدار برداشت آب در سامانه خنک‌کاری‌تر به مراتب از سامانه خنک‌کاری یک بارگذر کمتر است. درحالی‌که مقدار مصرف آب در سامانه خنک‌کاری‌تر بیشتر است. در سامانه خنک‌کاری استخری برداشت آب کم است. اما مصرف آب به دلیل تبخیر سطحی حتی از سامانه خنک‌کاری‌تر بیشتر است. در سامانه‌های خنک‌کاری نظیر برج‌های خنک‌کننده‌تر و استخری، حجم زیادی از آب به‌صورت بخار تلف می‌شود (عوامی، ۱۳۹۷).

برای پاسخ به افزایش تقاضای برق و جایگزینی نیروگاه‌های فرسوده فعلی، نیروگاه چرخه ترکیبی به دلیل بازده بالاتر در برنامه‌های سیاستی وزارت نیرو لحاظ شده است. با افزایش بازده نیروگاه‌ها، مقدار تقاضا برای خنک‌کاری نیز کاهش می‌یابد. با نفوذ نیروگاه‌های چرخه ترکیبی در صنعت تولید برق ایران، مقدار آب مورد نیاز برای خنک کاری کاهش می‌یابد. برای توسعه ظرفیت نیروگاهی با استفاده از سوخت فسیلی، نیروگاه‌های چرخه ترکیبی با بازده بالا، هزینه کمتر و مصرف آب کمتر پیشنهاد شده است. لازم است کلیه نیروگاه‌های قدیمی که معمولاً بازده پایینی دارند و مصرف آب آن‌ها بالاست، به تدریج از مدار تولید خارج شوند (عوامی، ۱۳۹۷).

نقش آب در نیروگاه‌های بخاری

همانگونه که می‌دانیم آب همانند مایه حیات در بدن انسان در نیروگاه‌ها به‌عنوان مایه و یا عامل انتقال انرژی در دو جنبه نقش‌آفرینی می‌نماید.

الف) در چرخه بخار به‌عنوان مایه انتقال انرژی، حرارت را از سوخت مصرفی در بویلرها و یا منابع حرارتی دیگر گرفته و با انتقال آن به پرهای توربین بخار، تبدیل به انرژی جنبشی و در نهایت از طریق ژنراتور تبدیل به انرژی الکتریکی می‌نماید.

ب) در سیستم‌های خن کن و یا کندانسورها، به‌عنوان سیالی که انرژی حرارتی را جذب نموده و به کمک تجهیزات تعادلی همچون رادیاتورها ، فن‌ها و ... به محیط انتقال می‌دهد (عیسی‌پور و عابدی، ۱۳۹۳).

مصارف آب در نیروگاه‌ها

مصارف آب در نیروگاه به گونه‌های مختلف می‌باشد، باتوجه‌به نوع برج خنک‌کن و همچنین نوع رژیم شیمی چرخه آب و بخار متفاوتاست، مصارف عمده آب در نیروگاه‌ها را می‌توان به شرح ذیل دسته‌بندی نمود:

الف) آب ورودی به تصفیه‌خانه برای تأمین آب دمین

ب) آب مصرفی در سرویس

ج) مصرف شرب

ه) فضای سبز (عیسی‌پور و عابدی، ۱۳۹۳).

www.SID.ir

Archive of SID

مروری بر مطالعات پیشین

Venkatesh و Larsen (۲۰۱۵) امکانات آب شهری را بررسی کردند به اهمیت و بهبود بهره‌وری انرژی در عملیاتشان توجه کردند. همچنین به آب جهت تولید انرژی، به‌عنوان عامل ضروری نگاه می‌کنند. فاکتورهای مدنظر عبارتند از: مسائل اقتصادی، اهداف محیط‌زیستی، خود تصویری، تقاضاهای عمومی و غیره. نروژ که از فراوانی انرژی پاک و سبز و آب شیرین برخوردار است و از نظر درآمد ناخالص داخلی یکی از ثروتمندترین کشورهای جهان است، باید به‌طور جدی به بهره‌وری انرژی در آب آشامیدنی شهری بپردازد. در سال‌های اخیر سیاستمداران، محققان و تصمیم‌گیرندگان در سازمان‌های دولتی، توپ را به سرعت در این مسیر قرار دادند (Venkatesh و Larsen، ۲۰۱۵) Mariano و Ignacio (۲۰۱۵) تحقیقی با عنوان پیوند آب و انرژی در تولید سوخت‌های زیستی و تجدید پذیر مبتنی بر برق انجام دادند. در این مقاله پیوند آب و انرژی برای فرآیندهای تجدید پذیر ارزیابی شده است (Ignacio وMariano، ۲۰۱۵). Okadera و همکاران (۲۰۱۵) از روش استاندارد بالا به پایین با استفاده از یک چارچوب ورودی-خروجی استفاده کردند. نتایج نشان می‌دهد عرضه انرژی می‌تواند به منابع آب در استان‌های همسایه وابسته باشد. تولیدکنندگان خارجی ۸۰ درصد از ردپای آب در منابع انرژی را تأمین می‌کند، اگرچه تنها ۳۵ درصد از منابع انرژی وارد شده است. اگر استان لیائونینگ وابستگی خارجی خود را کاهش دهد، بازگیری منابع آب موجود در استان از ۸۶ درصد به ۹۱ درصد افزایش می‌یابد. برای تضمین امنیت انرژی منطقه‌ای در آینده، مهم است مدیریت منابع آب را به طور موثر از طریق تولید برق و با تخصیص منابع آب در میان بخش‌ها مدیریت کرد (Okadera و همکاران، ۲۰۱۵).

Vilanova و Balestieri (۲۰۱۵) استفاده از برق برای تولید و تأمین آب در برزیل را ارزیابی کردند. پنج دسته از شاخص‌ها عبارت بودند از: سرانه، تلفات آب، انرژی، گازهای گلخانه‌ای (GHG[1]) و مالی/اقتصادی که در تعریف ارزش‌های شهری استفاده می‌شود. نتایج نشان می‌دهد سیستم‌های تامین آب حداقل در سال ۲۰۱۲ به میزان ۱/۹٪ کل مصرف برق در برزیل و از دست دادن آب ۲۷٪ از آب و انرژی در سیستم‌های تأمین آب از برزیل است.

Lee و همکاران (۲۰۱۷) تحقیقی جهت بررسی مقایسه‌ای در مورد شدت انرژی و اثرات محیط‌زیستی در ارتباط با خطرات آب در سطح جهانی انجام دادند. این مطالعه با هدف بررسی نتایج کمی از پیوند باتوجه‌به شدت انرژی و اثرات محیط‌زیستی (به‌طور عمده انتشار گازهای گلخانه‌ای) در سیستم‌های موجود در چرخه آب شهری انجام شده است.

Fernandez و همکاران (۲۰۱۷) با استفاده از روش مدل‌سازی بین رشته‌ای شامل ارتباط یک مدل هیدرولوژیکی (LISFLOO) و یک مدل سیستم برق (Dispa-SET) به اندازه‌گیری پیوند آب و انرژی در سیستم‌های برق هیدروترمال پرداختند. طی این تحقیق مقدار هزینه‌های تولید، اثرات محیط‌زیستی، مصرف آب و خروج آب و همچنین تنش آب در مکان‌های مختلف نیروگاه در طول یک سال تعیین شد.

Chunyan و همکاران (۲۰۱۷) به تجزیه و تحلیل مبتنی بر تکنولوژی پیوند آب و انرژی و انتشار از صنعت فولاد چین با توسعه رویکرد مبتنی بر تکنولوژی پرداختند. توسعه تکنولوژی پیشرفته و بهبود کیفیت مواد اولیه می‌تواند انتشار گازهای SO_2 و NOX را تا ۵۷٪ و ۲۵٪ کاهش دهد.

Jiangyu و همکاران (۲۰۱۷) تحقیقی با عنوان پیوند آب و برق: بررسی روش ها و ابزار برای ارزیابی کلان را انجام دادند. در این پژوهش بر تجزیه و تحلیل کمی پیوند آب و انرژی، عدم ارائه چارچوب منحصر به فرد جهت مطالعه پیوند آب و انرژی تأکید شد.

X.D و G.Q (۲۰۱۷) مصرف آب صنعتی که ناشی از زیرساخت نیروگاه خورشیدی است بیش از یک مرتبه بالاتر از مقادیر قبلی نشان داده شده است. این مقدار تقریباً دو برابر چرخه عمر صنعتی برداشتن آب شیرین برای سیستم تولید برق معمولی زغال سنگ برای مقدار واحد برق تولید شده است.

Khozondar (۲۰۱۷) میزان مصرف آب برای تولید برق در نیروگاه‌های ترکیه را بررسی کردند. اهداف اصلی این مطالعه شناسایی مقدار آب مصرفی برای تولید ۱ گیگاوات ساعت برق برای هر نوع سوخت مورد استفاده در ترکیه و بررسی راه‌های کاهش مصرف آب در نیروگاه‌هایی است که انتظار می‌رود در آینده نزدیک ساخته شود. روش مورد استفاده در این پژوهش بهره‌گیری از نرم‌افزار LEAP می‌باشد. براساس نتایج به‌دست آمده بیشترین مصرف آب در برج‌های خنک‌کننده تر و کمترین آن در برج‌های خنک‌کننده خشک می‌باشد.

Larsen و Drews (۲۰۱۹) از یکسری شاخص‌ها در خصوص مصرف آب باتوجه‌به داده‌های مطالعات پیشین استفاده کردند. مصرف آب برای سیستم انرژی اروپا در بازه زمانی ۲۰۱۵-۱۹۸۰ در نظر گرفته شده و نتایج حاکی از آن است که "رویکرد مبتنی بر گروه" توانایی ارائه تخمین محکم از مصرف سالانه آب توسط سیستم‌های انرژی برای تجزیه و تحلیل در سطح کشور و سطح منطقه را دارد.

عیسی‌پور و عابدی (۱۳۹۳) تحقیقی با عنوان بررسی مصرف آب در نیروگاه‌های حرارتی و ارائه راهکارهای اصلاح الگوی مصرف این پژوهش راهکارهای اصلاح الگوی مصرف را با مد نظر قراردادن حفظ کارآیی و قابلیت نیروگاه‌ها ارائه می‌نماید.

www.SID.ir

Archive of SID

روش بررسی

• روش انتخاب نیروگاه های سیکل ترکیبی نمونه:

باتوجه‌به اینکه سیاست‌های کشور در راستای احداث نیروگاه‌های سیکل ترکیبی می‌باشد، کلیه این نوع نیروگاه‌ها که در مدار هستند، از گزارش‌های تولید شده در سال ۱۳۹۷ شرکت توانیر استخراج شدند و در مجموع ۲۶ مورد از نیروگاه‌های سیکل ترکیبی به نام‌های: نیروگاه سیکل ترکیبی گناوه، دماوند، سرو(چادرملو)، آبادان، فارس، شریعتی، رجایی، منتظرقائم، شهدای پیروز بهبهان، پرند، شوباد، زواره، خوی، نیشابور، گیلان، سمنگان، شیرکوه، شیروان، کرمان، یزد، تابان یزد، شهید سلیمی، قم، سنندج، کازرون و پره سر انتخاب شدند. سپس اطلاعات مربوط به پارامترهای مهم در انتخاب نیروگاه نمونه شامل: موقعیت جغرافیایی، مدل و تیپ توربین، نوع سوخت مصرفی، میزان تولید برق، قدرت نامی، سال بهره‌برداری و نوع سیستم‌های خنک‌کننده از گزارش‌های توانیر استخراج شد. در نهایت برای انتخاب نیروگاه‌های نمونه باتوجه‌به پارامترهای سال بهره‌برداری و نوع سیستم خنک‌کننده که اثرگذاری بیشتری در نتایج میزان آب مصرفی دارند، ۹ نیروگاه شامل: گیلان، فارس، خوی، یزد، کرمان، دماوند، زواره، چادرملو و شیرکوه به‌عنوان نمونه جهت بررسی موضوع پژوهش حاضر انتخاب شدند.

• برآورد میزان مصرف آب در نیروگاه‌های چرخه ترکیبی:

اطلاعات مورد نیاز جهت بررسی پیوند آب و انرژی، شامل میزان آب مصرفی توسط نیروگاه‌های سیکل ترکیبی جهت تولید برق می‌باشد. در این پژوهش ابتدا به مطالعات کتابخانه‌ای و بررسی مطالعات مشابه در ایران و جهان پرداخته شد. باتوجه‌به اینکه میزان آب مصرفی نیروگاه‌ها شامل ۳ بخش آب صنعتی مورد استفاده در فرآیند تولید (آب دمین)، آبیاری فضای سبز و آب شرب است و تنها اطلاعات مربوط به میزان آب مصرفی در فرآیند تولید در دسترس می‌باشند و این داده‌ها به دلیل تغییرات بسیار اندک، به‌صورت میانگین پنج سال اخیر در شرکت تولید نیروی برق حرارتی استفاده می‌شوند. در این پژوهش داده‌های واقعی با داده‌های به‌دست آمده از تخمین با بهره‌گیری از ضرایب انتشار بررسی شدند. بنابراین ضرایب و روش‌های محاسبه میزان آب مصرفی از مطالعات مختلف استخراج شد. توجه به نوع سیستم خنک‌کننده، ضرایب مورد استفاده در پژوهش که از مطالعات خارجی استخراج شده است، مختص به آب مصرفی در فرآیند می‌باشند.

ضریب مصرف آب (WCF[۲]) براساس سیستم‌های خنک‌کننده فناوری‌های مختلف تولید برق از عوامل مهم در تعیین میزان مصرف آب در نیروگاه‌ها است. مطالعات در مورد نیاز آب در سیستم‌های خنک‌کننده محدود است، زیرا اطلاعات دقیق در دسترس نیست. WCFها برای نیروگاه‌ها می‌توانند بااستفاده‌از داده‌های میدانی یا مدل‌ها محاسبه شوند (khozondar، ۲۰۱۷).

برای تعیین میزان مصرف آب نیروگاه‌های نمونه، از نوع سوخت و سیستم خنک‌کننده مبتنی بر WCF استفاده می‌شود. ضرایب مصرف آب در مطالعات Khozondar (۲۰۱۷) و Macknick و همکاران (۲۰۱۱) با توجه به نوع نیروگاه، سوخت مصرفی و نوع سیستم‌های خنک‌کننده استخراج و در جداول (۱ و ۲) ارائه شد.

جدول ۱- ضرایب مصرف آب در انواع نیروگاه‌ها (Macknick و همکاران، ۲۰۱۱)

نوع سوخت	نوع سیستم خنک‌کننده	WCF(m3/Gwh)
هسته‌ای	برج خنک‌کننده تر	۲۵۴۳
	یکبار گذر	۱۰۱۸
	برج خنک‌کننده خشک	-
گاز طبیعی	برج خنک‌کننده تر	۷۴۹
	یکبار گذر	۳۷۸
	برج خنک‌کننده خشک	۷/۵
زغالی	برج خنک‌کننده تر	۲۶۰۰
	یکبار گذر	۹۴۶
	برج خنک‌کننده خشک	۱۰۶
بیوگاز	برج خنک‌کننده تر	۸۸۹
	برج خنک‌کننده خشک	۱۳۲
زمین گرمایی	برج خنک‌کننده تر	۵۲۹۹
	برج خنک‌کننده خشک	۵۱۱
PV	-	۹۸

جدول ۲- ضرایب مصرف آب در نیروگاه‌های گازسوز (Khozondar، ۲۰۱۷)

نوع سوخت	نوع سیستم خنک‌کننده	تکنولوژی	WCF (gal/Mwh)		
			میانگین	حداقل	حداکثر
گاز طبیعی	برج	چرخه ترکیبی	۲۵۳	۱۵۰	۲۸۳
		بخار	۱۲۰۳	۹۵۰	۱۴۶۰
		چرخه ترکیبی با ccs	۴۹۶	۴۸۷	۵۰۶
	یکبارگذر	چرخه ترکیبی	۱۱۳۸۰	۷۵۰۰	۲۰۰۰۰
		بخار	۳۵۰۰۰	۱۰۰۰۰	۶۰۰۰۰
	حوضچه	چرخه ترکیبی	۵۹۵۰	۵۹۵۰	۵۹۵۰
	خشک	چرخه ترکیبی	۲	۰	۴
	Inlet	بخار	۴۲۵	۱۰۰	۷۵۰

• محاسبه میزان مصرف آب:

جهت محاسبه مقادیر میزان آب مصرفی نیروگاه‌ها در فرآیند با استفاده از ضرایب مصرف آب، از رابطه (۱) استفاده شد. PPWC میزان مصرف آب (m۳)، GEN مقدار برق تولید شده (GWh) در

www.SID.ir

Archive of SID

هر نیروگاه، WCF ضریب مصرف آب است که براساس نوع سوخت و نوع سیستم خنک‌کننده (m3/GWh) تعیین می‌شود. i نیروگاه با سیستم خنک‌کننده خاص با هر نوع سوخت، j نیروگاهی با نوع سوخت خاص، M تعداد نیروگاه با سیستم خنک‌کننده خاص با هر نوع سوخت، و N تعداد نیروگاه با نوع سوخت خاص می‌باشد (Khozondar، ۲۰۱۷).

$$PPWC = \sum_j^N \sum_i^M (GEN_{i,j} \times WCF_{i,j}) \quad (۱)$$

در نهایت میزان آب مصرفی نیروگاه‌های نمونه از حاصل‌ضرب میزان تولید برق با استفاده از هر دو ضرایب میزان آب مصرفی و باتوجه‌به نوع سیستم خنک‌کننده خشک، نوع نیروگاه چرخه ترکیبی و با سوخت گاز طبیعی به‌دست آمد و برای اطمینان از مقادیر به دست آمده، نتایج با داده‌های واقعی از میزان آب دمین مقایسه شد.

یافته‌ها

۱- محاسبه میزان آب مصرفی با استفاده از ضریب مصرف آب براساس انواع نیروگاه‌ها:

با استفاده از رابطه (۱) و ضریب ارائه شده در جدول (۳)، میزان آب مصرفی هر نیروگاه با توجه به میزان تولید برق و WCF مربوط به سیستم خنک‌کننده خشک از نوع نیروگاه با سوخت گاز طبیعی (Khozondar، ۲۰۱۷) به‌دست آمد (جدول ۳). مقایسه میزان مصرف آب در نیروگاه‌های منتخب با استفاده از ضرایب مصرف آب براساس انواع نیروگاه‌ها در شکل (۱) ارائه شدند.

جدول ۳- نتایج محاسبه میزان آب مصرفی بر طبق آمار تولید برق سال ۹۶ (شرکت مادر تخصصی توانیر و شرکت مادر تخصصی تولید نیروی برق حرارتی، ۱۳۹۶)

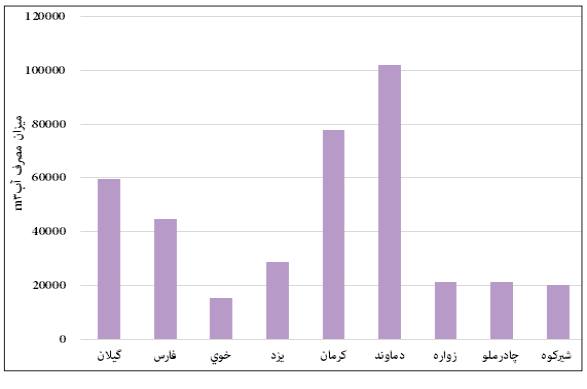
نام نیروگاه‌های سیکل ترکیبی	میزان تولید برق (Gwh)	WCF (m^3/Gwh)	میزان مصرف آب (m^3)
گیلان	۷۹۴۲	۷/۵	۵۹۵۶۵
فارس	۵۹۵۲		۴۴۶۴۰
خوی	۲۰۵۷		۱۵۴۲۷/۵
یزد	۳۸۲۷		۲۸۷۰۲/۵
کرمان	۱۰۳۵۳		۷۷۶۴۷/۵
دماوند	۱۳۵۸۲		۱۰۱۸۶۵
زواره	۲۸۳۷		۲۱۲۷۷/۵
چادرملو	۲۸۲۶		۲۱۱۹۵
شیرکوه	۲۶۸۶		۲۰۱۴۵

۲- محاسبه میزان آب مصرفی با استفاده از ضریب مصرف آب براساس نیروگاه‌های گازسوز:

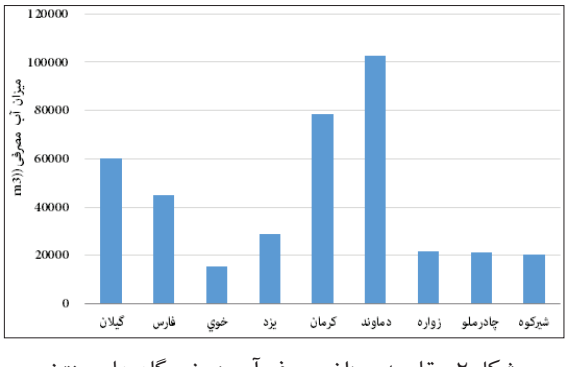
با استفاده از رابطه (۱) و ضریب ارائه شده در جدول (۴) میزان آب مصرفی هر نیروگاه با توجه به میزان تولید برق و WCF مربوط به سیستم خنک‌کننده خشک از نوع نیروگاه با سوخت گاز طبیعی (Macknick و همکاران، ۲۰۱۱) به‌دست آمد (جدول ۴). مقایسه میزان مصرف آب در نیروگاه های منتخب با استفاده از ضرایب مصرف آب براساس نیروگاه‌های گازسوز در شکل (۲) ارائه شده است.

جدول ۴- نتایج محاسبه میزان آب مصرفی براساس آمار تولید برق سال ۹۶

نام نیروگاه‌های سیکل ترکیبی	میزان تولید برق (مگا وات ساعت)	ضریب مصرف آب (m3/mwh)	میزان آب مصرفی (m^3)
گیلان	۷۹۴۲۰۰۰	۷/۵	۶۰۱۲۷/۴۵
فارس	۵۹۵۲۰۰۰		۴۵۰۶۱/۵۲
خوي	۲۰۵۷۰۰۰		۱۵۵۷۳/۱۷
یزد	۳۸۲۷۰۰۰		۲۸۷۸۴/۲۵
کرمان	۱۰۳۵۳۰۰۰		۷۸۳۸۰/۶۹
دماوند	۱۳۵۸۲۰۰۰		۱۰۲۸۲۶/۸۷
زواره	۲۸۳۷۰۰۰		۲۱۴۷۸/۴۱
چادرملو	۲۸۲۶۰۰۰		۲۱۳۹۵/۱۳
شیرکوه	۲۶۸۶۰۰۰		۲۰۳۳۵/۲۲



شکل ۱- مقایسه میزان مصرف آب در نیروگاه‌های منتخب با استفاده از ضرایب مصرف آب براساس انواع نیروگاه‌ها



شکل ۲-مقایسه میزان مصرف آب در نیروگاه های منتخب بااستفاده‌از ضرایب مصرف آب براساس نیروگاه‌های گازسوز

www.SID.ir

Archive of SID

۳- میزان آب مصرفی در فرآیند تولید برق (آب دمین):

داده‌های واقعی به‌دست آمده از متوسط میزان آب مصرفی فرآیند (آب دمین) از گزارش‌های آماری صنعت برق در جدول (۵) ارائه شده است.

جدول ۵- متوسط میزان آب مصرفی در فرآیند تولید (m۳) در ۵ سال اخیر در نیروگاه‌های نمونه (شرکت مادر تخصصی توانیر و شرکت مادر تخصصی تولید نیروی برق حرارتی، ۱۳۹۶)

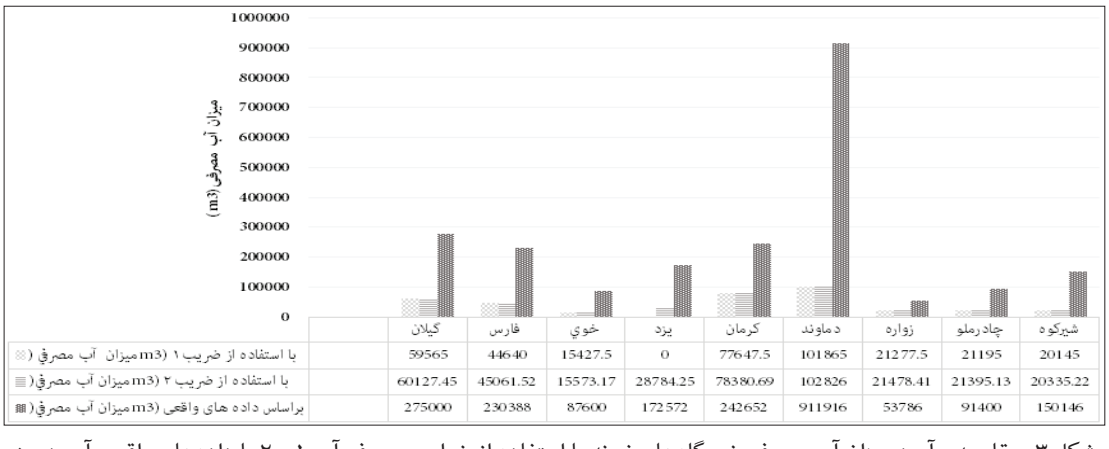
نام نیروگاه‌های سیکل ترکیبی	میزان آب مصرفی (m^3)		
	با استفاده از ضریب انواع نیروگاه‌ها	با استفاده از ضریب‌نیروگاه‌های گازسوز	براساس داده‌های واقعی
گیلان	۵۹۵۶۵	۶۰۱۲۷/۴۵	۲۷۵۰۰۰
فارس	۴۴۶۴۰	۴۵۰۶۱/۵۲	۲۳۰۳۸۸
خوی	۱۵۴۲۷/۵	۱۵۵۷۳/۱۷	۸۷۶۰۰
یزد	۲۸۷۰۲/۵	۲۸۷۸۴/۲۵	۱۷۲۵۷۲
کرمان	۷۷۶۴۷/۵	۷۸۳۸۰/۶۹	۲۴۲۶۵۲
دماوند	۱۰۱۸۶۵	۱۰۲۸۲۶/۸۷	۹۱۱۹۱۶
زواره	۲۱۲۷۷/۵	۲۱۴۷۸/۴۱	۵۳۷۸۶
چادرملو	۲۱۱۹۵	۲۱۳۹۵/۱۳	۹۱۴۰۰
شیرکوه	۲۰۱۴۵	۲۰۳۳۵/۲۲	۱۵۰۱۴۶

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست آمده از محاسبه میزان آب مصرفی نیروگاه‌های نمونه بااستفاده‌از ضرایب مصرف در مطالعات خارجی با داده‌های واقعی از میزان آب مصرفی نیروگاه‌ها در شکل (۳) مقایسه شدند. بررسی‌ها نشان داد استفاده از ضرایب مصرف آب بین‌المللی نتایج بسیار متفاوتی را در مقایسه با داده‌های واقعی برآورد می‌کنند. بنابراین استفاده از چنین ضرایبی برای کشور ایران قابل استفاده نمی‌باشد.

تقاضای برق در کشور ایران رو به افزایش است. به‌گونه‌ای که تعداد مشترکین برق از ۲۱۵۴۶ هزار مشترک در سال ۱۳۸۶ به ۳۲۸۳۱/۱ هزار مشترک در سال ۱۳۹۴ رسیده است. در همین راستا تولید ناویژه برق از ۲۰۳۹۸۶ گیگاوات ساعت در سال ۱۳۸۶ به ۲۸۰۶۳۴ گیگاوات ساعت رسیده است. علاوه‌بر افزایش تعداد مشترکین و افزایش تولید برق در این بازه زمانی، تولید سرانه برق نیز از ۲۸۵۸/۳ گیگاوات ساعت در سال ۱۳۸۶ به ۳۵۶۲/۶ افزایش یافته است که نشان دهنده تغییر الگوی مصرف در سطح کشور می‌باشد. بنابراین باتوجه‌به روند فوق انتظار می‌رود با افزایش تقاضای برق، نیاز به احداث نیروگاه‌های جدید افزایش می‌یابد و به دنبال آن افزایش مصرف آب جهت تولید برق اتفاق خواهد افتاد. درحالی‌که کشور با بحران آب روبه‌رو است. لذا توجه به مدیریت پیوند آب و انرژی بسیار ضروری است.

جهت مقایسه با مطالعات سایر کشورها می‌توان به مطالعه انجام شده در کشور ترکیه اشاره کرد. مقیاس در نظر گرفته شده در این پژوهش سطح ملی می‌باشد. بررسی‌ها نشان داد متداول‌ترین سیستم خنک‌کننده در نیروگاه‌های ترکیه، سیستم خنک‌کننده مرطوب است که بیشترین میزان آب را در میان سایر سیستم‌های خنک‌کننده مصرف می‌کند. کل مصرف آب در سال ۲۰۱۶، ۱۸۷ میلیون متر مکعب و WI^3 برای سال ۲۰۱۶، ۶۹۳ مترمکعب در هر گیگاوات ساعت تعیین شده است. در این تحقیق سناریوهای مختلف بررسی شده که مطابق با یکی از آن‌ها حتی اگر استفاده از سیستم‌های خنک‌کننده خشک به میزان زیادی در مصرف آب کاهش ایجاد کند، به دلیل اختلاف ظرفیت گرمایی بین آب و هوا، بازده کمی دارند. همچنین، این سیستم‌ها هزینه سرمایه بالاتری نسبت به سیستم‌های مرطوب دارند. لازم به ذکر است شرایط نیروگاه‌های ایران با سایر کشورها از نظر راندمان و کیفیت و ترکیب سوخت کاملاً متفاوت هستند و در کشورهای دیگر به خصوص آمریکا عمدتاً از نوع نیروگاه‌های زغال‌سنگی استفاده می‌شود و در کشورهای اروپایی نیروگاه‌های حرارتی مثل ایران ندارند و بیشتر از برق تجدیدپذیر استفاده می‌کنند. بنابراین مقایسه کشور ایران با سایر کشورها، مقایسه صحیحی نخواهد بود.



شکل ۳- مقایسه برآورد میزان آب مصرفی نیروگاه‌های نمونه با استفاده از ضرایب آب ۱ و ۲ با داده‌های واقعی آب دمین

www.SID.ir

Archive of SID

پی‌نوشت

1-Greenhouse Gases
2-Water consumption factor
3-Water Intensity

منابع

امینی، ف. صابر فتاحی، ل. سلیمانپور، پ. گل قهرمانی، ن. شفیع زاده، م.ع. توانپور، م. فرمد، م. و خودی، م. ۱۳۹۵. ترازنامه انرژی. معاونت امور برق و انرژی، دفتر برنامه ریزی و اقتصاد کلان برق و انرژی.

عوامی، ا. ۱۳۹۷. پیوند آب و انرژی در صنعت (مبانی، روش‌ها و کاربردها). جلد اول. موسسه انتشارات علمی. چاپ اول. تهران، ایران.

عیسی‌پور، ع. و عابدی، ش. ۱۳۹۳. بررسی مصرف آب در نیروگاه‌های حرارتی و ارائه راهکارهای اصلاح الگوی مصرف. هفتمین کنفرانس نیروگاه‌های برق، بندرعباس، ایران.

وزارت نیرو. ۱۳۹۶. شرکت مادر تخصصی توانیر و شرکت مادر تخصصی تولید نیروی برق حرارتی. گزارش آمار تفصیلی صنعت برق ایران ویژه تولید نیروی برق. نشریه آمار تفصیلی صنعت برق ایران ویژه تولید نیروی برق.

Chunyan W., Ranran W., Edgar H. and Yi L. 2017. A technology-based analysis of the water-energy emission nexus of China's steel industry. Resources, Conservation & Recycling, 124:116–128.

El-khozondar B. 2017. Investigating The Use Of Water For Electricity Generation At Turkish Power Plants, Department of Environmental Engineering, Hacettepe University, 06800, Beytepe, Ankara, Turkey. Degree of Master of Science, Science and Engineering of Hacettepe University.

Fernández R,1., Kavvadias K.I. and Hidalgo G. 2017. Quantifying the water-power linkage on hydrothermal power systems: A Greek case study,". Applied Energy, 203: 240–253.

Jiangyu D., Shiqiang W., Guoyi H., Weinberg J., Xie X., Wu X., Song X., Jia B., Xue W. and Yang Q. 2017." Water-energy nexus: A review of methods and tools for macro-assessment," .Applied Energy, 210: 393-408.

Lee M.A., Keller A., Chiang P., Den W., Wang H., Hou CH., Wu J., Wang X. and Yan J. 2017. Water-energy nexus for urban water systems: A comparative review on energy intensity and environmental impacts in relation to global water risks. Applied Energy, 205: 589–601.

Larsen M. and Drews M. 2019. Water use in electricity generation for water-energy nexus analyses: The European case. Science of The Total Environment, 651(2): 2044-2058.

Macknick J., Newmark R., Heath G.,and Hallett K. 2011. A Review of Operational Water Consumption and Withdrawal Factors for Electricity Generating Technologies, national Renewable Energy laboratory, NREL/TP-6A20-50900.

Mariano M. and Ignacio E.G. 2015. Water–energy nexus in biofuels production and renewable based power. Sustainable Production and Consumption, 2: 96–108.

Okadera T., Geng Y., Fujita T., Dong H., Liu Z., Yoshida N. and Kanazawa T. 2015. Evaluating the water footprint of the energy supply of Liaoning Province, China: A regional input–output analysis approach. Energy Policy, 78: 148–157.

Terrapon-Pfaff J., Thomas F. and Leshtenbohner S. 2018. The Water-Energy Nexus in Iran (Water-Related Challenges for the Power Sector), Fredrich Ebert stiftung, 1-21.

Vilanova M. and Balestieri J. 2015. Exploring the water-energy nexus in Brazil: The electricity use for water supply, Energy, 85: 415-432.

Venkatesh G. and Larsen H. 2015. Water-energy nexus in urban water utilities: a brief Norwegian outlook, Vann-energi nexus i urbane vannverk: et norsk perspektiv. VATTEN–Journal of Water Management and Research, 71: 101–109.

WWAP (United Nation World Water Assessment Programme).2014. Water and Energy, Paris, UNESCO.

www.SID.ir