

آب و انرژی

Water and Energy

ارتباط آب و انرژی یک ارتباط دو طرفه و تنگاتنگ است که بر روی هم نیز برهم کنش دارند.

تأمین آب مورد نیاز فعالیت‌های بشر، نیازمند صرف انرژی در بخش‌های مختلف نظیر جمع‌آوری و استحصال، انتقال، تصفیه (آب و پساب)، توزیع، و ذخیره‌سازی است و تأمین انرژی مورد نیاز بشر، در مراحل مختلف استخراج، فرآوری، تبدیل و انتقال آن، نیازمند مصرف آب است؛ لذا در سال‌های اخیر، با توجه به کمبود منابع آب شیرین و افزایش تقاضای بشر برای انرژی، مسائل آب برای سامانه‌های انرژی و انرژی برای سامانه‌های آبی نیز تحلیل و ارزیابی می‌شود. این مسائل شامل نرخ آب مورد نیاز، کیفیت و مقدار پساب تولیدی، تأثیرات برداشت آب بر روی زیست‌بوم‌های پیرامون و انرژی مورد نیاز برای تأمین آب است.

آب عنصری اساسی در کره زمین و مورد نیاز فعالیت‌های حیاتی انسان و بسیاری از موجودات زنده است؛ بنابراین عملکرد زیست‌بوم‌های طبیعی، به آب وابسته است. طبق آخرین تخمین‌ها، بیش از 70 درصد کره زمین از آب پوشیده شده است. از این مقدار آب 2/5 درصد آب شیرین (با درجه سختی کم) است که حدود 2 درصد آن، یخ‌زده است و حدود 0/5 درصد آن به صورت آب تازه قابل بهره‌برداری است که در رودخانه‌ها، دریاچه‌ها، منابع آبی، و باران قرار گرفته‌اند [1].

به‌طور میانگین در جهان، حدود 70 درصد آب تازه در دسترس برای مصارف کشاورزی و 22 درصد در مصارف صنعتی می‌شود [2]. در میان نواحی جغرافیایی جهان در مواد و انرژی بیشتر برای تصفیه، انتقال و توزیع آب استفاده می‌شود؛ لذا سال 2010، کمترین و بیشترین سرانه برداشت آب، به ترتیب مربوط به آفریقا و امریکای شمالی است [1].

تأمین انرژی به‌مثابه جزء لاینفک تأمین نیازهای بشر، با مصارف آب درهم تنیده است؛ همچنین از آب برای توسعه صنعتی کشاورزی و تولید ثروت استفاده می‌شود. تأمین آب به‌عنوان نیاز اساسی بشر، نیازمند مدیریت و تأمین منابع طبیعی آب است که این امر در تمدن‌های بشری، نیازمند مصرف انرژی به اشکال مختلف است؛ لذا تحلیل

سیستم‌های به‌هم پیوسته شامل ادراک و نگاهت صحیح اتصالات بین انرژی، آب، کربن، آب و هوا، کشاورزی، زیست‌بوم‌ها، اقتصاد و جامعه در این بخش ضرورت دارد. تعیین اولویت این مسائل، نوع و سطح مدیریت لازم برای مدیریت چالش‌های راهبردی در این مسائل، بسیار اهمیت دارد.

ارتباط متقابل آب و انرژی

کمبود منابع آب برای تأمین تقاضای آب در نواحی مختلف جهان متفاوت است. از مقدار کل منابع آب تازه، 60 درصد آن در اختیار کشورهای برزیل، روسیه، چین، کلمبیا و کنگو است [3]. سایر کشورها دچار کمبود آب هستند و بیشتر افراد در مکان‌هایی زندگی می‌کنند که با کمبود آب یا کیفیت پایین آب مواجه هستند. کمیابی آب در آفریقا، خاور میانه، هند، و چین وجود دارد [3]. کمبود آب، ناشی از عدم تعادل بین منابع و مصارف آب است. هدایت و انتقال آب و مدیریت عرضه منابع آبی مشکلات بزرگ‌تری خواهند بود. افزایش مقدار برداشت از منابع آبی، توأم با افزایش جمعیت، سبب ایجاد تقاضای بیشتر برای آب شده است.

برای تأمین آب مورد نیاز جوامع برای مصارف کشاورزی، صنعتی و خانگی نیاز به مصرف انرژی است. این انرژی برای استحصال، تصفیه، انتقال آب و استفاده مجدد از آن نیاز است. با افزایش جمعیت و توسعه اقتصادی جوامع در مناطق متمرکز نیاز به تأمین آب با کیفیت در سال‌های آتی افزایش می‌یابد؛ لذا مسائل انرژی مرتبط با تأمین آب مورد نیاز بشر نیز بسیار حائز اهمیت خواهد شد.

انرژی مورد نیاز برای تأمین آب مورد تقاضای بشر، صنعتی می‌شود [2]. در میان نواحی جغرافیایی جهان در مواد و انرژی بیشتر برای تصفیه، انتقال و توزیع آب استفاده می‌شود؛ لذا علاوه بر انرژی مورد نیاز گرمایی و الکتریکی، برای واحدهای تصفیه آب شیرین، سامانه‌های انتقال و توزیع آب، نیازمند استفاده از پمپ برای جبران افت فشار خود هستند.

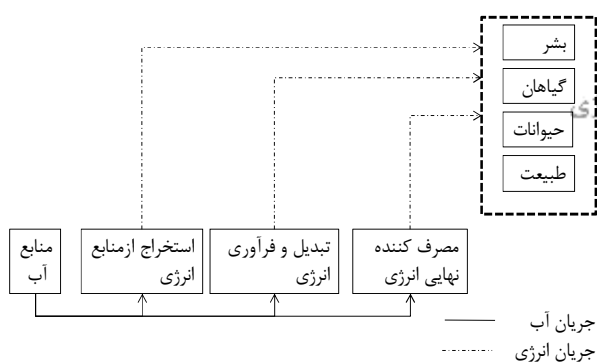
انرژی مورد نیاز، برای این بخش نیز مقدار فراوانی را به خود اختصاص می‌دهد که معمولاً به شکل الکتریسیته است. با در نظر گرفتن راندمان کامل برای پمپ، برای بالا بردن 100 متر مکعب آب در دقیقه، به ارتفاع 100 متر به توانی بیش از 1/5 مگاوات نیاز است [4].

می‌توان دستگاه‌های آب‌شیرین‌کن اضافه نمود. براین اساس در یک سامانه تولید همزمان، علاوه بر انرژی، آب شیرین نیز تولید می‌شود؛ بدین ترتیب می‌توان از انرژی تلف شده در این سامانه‌ها برای تأمین انرژی مورد نیاز آب‌شیرین‌کن‌ها بهره‌برداری کرد [6]. انواع فناوری‌های آب‌شیرین‌کن نظیر اسمز معکوس، تبخیر چندمرحله‌ای، و غیره می‌توانند در سامانه‌های تولید همزمان ترکیب شوند. نحوه کارکرد بهینه این سامانه‌ها، به نحوی که تقاضای برق، حرارت، سرمایه‌ش و آب شیرین مورد نیاز را تأمین کنند، موضوع بسیار مهمی است که در طراحی این دستگاه لازم است، مد نظر قرار گیرد.

نقش آب در سامانه‌های انرژی

سامانه‌های انرژی، در بخش‌های تولید، فرآوری، تبدیل، انتقال، ذخیره‌سازی، مصرف‌کننده نهایی هر یک به‌نوعی به آب با کیفیت خاصی نیاز دارند؛ از طرف دیگر، پساب تولیدی از عملیات این سامانه‌ها بر روی کیفیت آب، مؤثر است؛ همچنین میزان آب برداشتی از منابع را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. شکل 1 نمودار مفهومی جریان آب در سامانه‌های انرژی را نشان می‌دهد. به‌صورت کلی، مهم‌ترین مسائل مربوط به آب در سامانه‌های انرژی عبارت‌اند از:

الف) بسیاری از فرآیندهای تبدیل در سیستم‌های انرژی برای خنک‌کاری، نیاز به آب دارند. یکی از مهم‌ترین فرآیندهای تبدیل، تولید برق از منابع فسیلی و



شکل 1. نمودار مفهومی جریان آب برای انرژی.

برای مثال مقدار مصرف برق برای تأمین آب مورد نیاز در ایالت کالیفرنیا در کشور آمریکا در سال 2010، برابر 7/7 درصد از کل برق مصرفی بوده است [4]. بخش‌های عرضه و منابع آب، انتقال، تصفیه آب، توزیع آب، تصفیه فاضلاب به ترتیب برابر 172، 312، 1000، 2012 گیگاوات ساعت در سال 2010 برق مصرف کرده‌اند [4]. همچنین آب‌شیرین‌کن‌ها نیز یکی از گزینه‌های به‌شدت انرژی‌بر در زنجیره تأمین آب هستند که بین 100 تا 500000 کیلووات ساعت، برای تصفیه هر میلیون گالن آب انرژی نیاز دارند [4].

از طرف دیگر، آب برای استخراج، تولید، تبدیل، انتقال و مصرف انرژی ضروری است. برخی از مثال‌ها عبارت‌اند از: آب مصرفی در تولید برق در نیروگاه‌ها [5]. آب مصرفی برای ساخت مواد و تجهیزات مورد استفاده در بخش انرژی. با افزایش جمعیت و توسعه اقتصادی، نیاز به انرژی افزایش می‌یابد؛ لذا آب مورد نیاز برای تولید انرژی نیز افزایش می‌یابد؛ بنابراین، سطح و نرخ آب مورد نیاز برای تأمین انرژی و ارزش آن در تولید انرژی حائز اهمیت می‌شود. همچنین مقدار زیادی آب برای تولید انرژی در فرآیندهای شیمیایی و خنک‌کاری صرف می‌شود که اکثر این آب‌ها، به حوزه‌های آبریز برگردانده می‌شوند. از نظر زیست‌محیطی مقدار آلاینده‌گی و افزایش دمای مجاز آنها بایستی کنترل شود؛ همچنین پتانسیل آبی می‌تواند منبعی برای تولید انرژی برق آبی باشد. در نتیجه مسائل آب مصرفی در سیستم‌های انرژی بسیار پیچیده‌تر خواهد شد؛ بنابراین تجهیزات و فناوری‌هایی که در زنجیره تولید انرژی در بخش‌های استخراج، فرآوری و تصفیه، و تبدیل انرژی به‌کار می‌روند، نیاز به مصرف آب دارند. انواع کاربردهای عمده مواد و انرژی آب شامل سیستم‌های تولید بخار برای مصارف گرمایش، انواع آب خنک‌کاری که برای تأمین بار سرمایه‌ش، آب برای شستشوی تجهیزات، آب در جایگاه یک ماده‌ای شیمیایی در واکنش‌های شیمیایی مورد نیاز می‌شود؛ لذا انواع تجهیزات مانند برج‌های خنک‌کن، مبادله‌کن‌های حرارتی، واکنشگرهای شیمیایی، اسکرابرها، و غیره از آب استفاده می‌کنند؛ همچنین به سامانه‌های تولید همزمان برق و گرما

آب و انرژی

جدول 1. مصارف عمده آب در تولید انرژی اولیه

نوع سوخت	موارد کاربرد آب
بر پایه نفت خام و گاز طبیعی	حفاری، کامل کردن چاه، تزریق به مخزن برای افزایش ضریب بازیافت آن، استخراج شن‌های نفتی، تصفیه و فرآوری حامل‌های انرژی اولیه
زغال‌سنگ	برش و جلوگیری از انتشار گرد و غبار در استخراج و حمل، شستشو برای افزایش کیفیت زغال‌سنگ، احیای دوباره بستر معادن، حمل و نقل دوغاب زغال‌سنگ در مسافت‌های طولانی.
سوخت‌های زیستی	آبیاری، استخراج تر، شستشو و خنک‌کاری در واحدهای تولیدی
انرژی هسته‌ای	استخراج، پالایش، تبدیل
انرژی زمین‌گرمایی	حفاری، استخراج، استحصال گرما به‌وسیله سیال واسط

رفته در هر بخش بستگی دارد؛ برای مثال این مقدار، به‌صورت متوسط در دنیا برای تولید زغال‌سنگ، فرآورده‌های نفتی، گاز طبیعی، برق نیروگاه آبی، برق نیروگاه بادی به‌ترتیب برابر 0/164، 1/058، 0/109، 5/4 متر مکعب به‌ازای هر گیگاژول محتوای انرژی تولیدی است [1]. با در نظر گرفتن ضریب آب، می‌توان میزان آب لازم برای تولید نیاز انرژی کشور را تخمین زد که این مقادیر در جدول 2 آمده است.

جدول 2. آب مورد نیاز برای تولید حامل‌های انرژی نهایی در ایران [11].

نوع حامل انرژی نهایی	مقدار مصرف (پتاژول)	آب مورد نیاز به‌ازای واحد تولید (متر مکعب بر گیگاژول)	تخمین صرف آب (میلیون متر مکعب)	سهم آب مورد نیاز از کل آب مورد نیاز بخش انرژی (درصد)
برق	88/56	1/79	158/5	28/7
گاز طبیعی	488/7	0/109	53/3	9/6
زغال‌سنگ	3/24	0/164	0/53	0/09
نفت خام و فرآورده‌های نفتی	320/76	1/058	339/4	61/5
مجموع	901/26		551/7	

مداخل مرتبط

آب، اقتصاد؛ آب، روش‌های تصفیه؛ آب، کاربردهای صنعتی؛ آلودگی آب؛ آلودگی گرمایی؛ اطلس انرژی برقی؛ انرژی

تجدیدپذیر است [7]. برای مثال می‌توان به آب مورد نیاز برای سیال چگالنده نیروگاه‌های تولید برق با چرخه باز خنک‌کاری اشاره کرد [8].

ب) همچنین بسیاری از فرآیندهای تبدیل در سامانه‌های انرژی، از آب به‌مثابه ماده اولیه استفاده می‌کنند. آب موجود در چرخه کاری نیروگاه‌های بخار و آب لازم برای واکنش‌های شیمیایی و محلول‌ها در صنایع پتروشیمی، مهم‌ترین مثال‌های این بخش هستند [9]؛

ج) تولید انرژی و استخراج از منابع انرژی نیز نیاز به آب دارند که برخی از نمونه‌های آن عبارت‌اند از: آب مورد نیاز برای کشت گیاهان، مختص تولید انرژی، آب مورد استفاده از نیروگاه‌های برق‌آبی، آب مورد نیاز برای استخراج انرژی‌های فسیلی؛

د) از طرف دیگر استخراج از منابع انرژی نیز پساب تولید می‌کند که کیفیت آن، از نظر زیست‌محیطی، بر روی محیط پیرامون تأثیر می‌گذارد. یکی از مهم‌ترین چالش‌ها در این بخش، مدیریت آب‌های همراه نفت است.

نقش آب در تولید انرژی

آب لازم برای تولید انرژی، بر روی میزان آب در دسترس تأثیر می‌گذارد؛ برای مثال ذخیره آب در مخازن نیروگاه‌های برق آبی، به‌مدت طولانی می‌تواند بر روی مصارف پایین‌دست آن نیروگاه و بوم‌سامانه پیرامون نیروگاه تأثیر گذارد؛ همچنین کیفیت آب، به‌صورت فیزیکی و شیمیایی، تحت تأثیر قرار می‌گیرد؛ از طرف دیگر مقدار آب در دسترس می‌تواند به‌مثابه ریسکی برای طرح‌های انرژی تلقی شود که نیاز به مقادیر زیادی آب دارند. جدول 1 مصارف عمده آب در بخش تولید انرژی اولیه را بیان می‌دهد.

برای تخمین مقدار آب لازم برای تولید انرژی، مقدار برداشت و مصرف آب در فرآیندهای تولید و استخراج انواع حامل‌های انرژی مطالعه می‌شود. ضریب آب (Water factor) یا رد پای آب (Water footprint)، حجم کل آب شیرین است که به‌صورت مستقیم و یا غیرمستقیم، برای تولید انرژی به‌کار می‌رود [10]. مقدار میانگین رد پای آب، برای تولید حامل‌های انرژی نهایی، به نوع فناوری‌های به‌کار

برقایی، آب؛ بازدهی آب؛ بحران آب؛ تجارت آب مجازی؛
توربین آبی؛ مدیریت آب.

کتابشناسی

- [1] Water for energy". World Energy Council, 2010.
- [2] Water for people, water for life". UNESCO, 2003.
- [3] "Water Facts and Trends". World business Council for Sustainable development (WBCSD), 2009.
- [4] "Water and energy nexus: a literature review, water in the west". Stanford University, 2013.
- [5] Sovacool, B.K., Sovacool, K.E. "Identifying future-electricity-water tradeoffs in the United States". Energy Policy, vol. 37, Iss 7, 2009.
- [6] Lianying, W.; Yangdong, H.; Congjie G. "Optimum design of cogeneration for power and desalination to satisfy the demand of water and power". *Desalination*, vol. 324, 2013.
- [7] Ackerman, F., Fisher, J. "Is there a water-energy nexus in electricity generation? Long-term scenarios for the western United States". Energy Policy, vol. 59, 2013.
- [8] Macknick Jordan.; et al. "A review of operational water consumption and withdrawal factors for electricity generating technologies". Technical Report NREL/TP-6A20-50900, 2011.
- [9] Santhosh, A.; Farid, A.M.; Youcef-Toumi, K. "Real-time economic dispatch for the supply side of the energy-water nexus", *Applied Energy*, vol. 122, 2014.
- [10] Hoekstra, Arjen Y.; et al. *The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard*. Washington D.C.: Earthscan, 2011.
- [11] دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی وزارت نیرو. «ترازنامه انرژی سال 1392». تهران: وزارت نیرو، 1394.

اکرم عوامی

پژوهشگاه مواد و انرژی