

## آب و انرژی

### Water and Energy

پیوند آب و انرژی به معنای ارتباط دو طرفه و استفاده از یکی برای تولید دیگری است. به بیان دیگر، از آب برای تولید انرژی به‌ویژه برق بهره می‌گیرند و از منابع انرژی و سوختی نیز برای تأمین و عرضه آب سود می‌جویند. پیوند آب و انرژی در حکم رویکردی در جهت توسعه پایدار، تلاش می‌کند با در نظر گرفتن منابع موجود آب و انرژی، روند رو به رشد تقاضا و کنش‌های حفاظتی محیط زیست، تعادل را در چرخه عرضه و تقاضا برقرار کند.

آب و انرژی به‌صورتی جدایی‌ناپذیر در زندگی روزمره و نیز در صنایع مختلف مصرف می‌شوند. افزایش جمعیت، تغییرات آب و هوایی، و رقابت در تأمین سوخت، به افزایش تقاضای آب و انرژی انجامیده است. با توجه به روند افزایشی تقاضا برای آب و انرژی، تأمین این دو عامل مهم یکی از عمده‌ترین چالش‌های پیش روی جوامع و بخش صنعت به شمار می‌آید [۱]. آب نقش عمده‌ای در تولید و تبدیل انرژی بازی می‌کند. ازسوی دیگر، مراحل استحصال، انتقال، تصفیه و بهره‌برداری از آب نیازمند انرژی است. باید گفت این ارتباط به‌صورت چرخه‌ای بسته تعریف نمی‌شود؛ یعنی، آب مصرفی برای تولید انرژی، در روند مصرف انرژی مصرف نمی‌شود.

### رابطه بین آب و انرژی

همان‌طور که در تأمین و عرضه انرژی وجود آب بسیار مؤثر است، منابع انرژی نیز در سراسر زنجیره تأمین آب نقش ایفا می‌کنند. ازاین‌رو، یکی از ملاحظات مربوط به زنجیره آب و انرژی، میزان آب‌بری یا انرژی‌بری است. این مورد عبارت است از حجم کل یک مصرف‌کننده استفاده‌شده (یعنی آب یا انرژی) در چرخه‌حیاتی یک محصول [۲].

در اغلب فرایندهای تولید و تبدیل انرژی، آب نقش عمده‌ای بازی می‌کند. در تولید سوخت‌های فسیلی، شامل ذغال، نفت یا گاز طبیعی، آب در مراحل استخراج، انتقال و فراوری به‌کار گرفته می‌شود. تولید برق حرارتی از سوخت

فسیلی نیز نیازمند مصرف آب برای فرایند خنک‌سازی است. به‌همین ترتیب، تولید سوخت‌های زیستی فرایندهایی آب‌برند (نیازمند به آب دارند). تولید انرژی برقی با وجود رودخانه و یا مخازن آبی امکان‌پذیر است. در تولید انرژی از منابع تجدیدپذیری چون انرژی خورشیدی، آب برای خنک کردن و شست‌وشوی پنل‌های خورشیدی مصرف می‌شود [۱].

زنجیره عرضه و تأمین آب از منبع آغاز می‌شود. آب از طریق تلمبه از منابع زیرزمینی استخراج و برای مصارف خانگی، تجاری و یا آبیاری کشتزارها به مصرف‌کننده انتقال می‌یابد. در مواردی، آب پس از استخراج تحت فرایند تصفیه قرار می‌گیرد تا برای مصرف آماده شود. آب پس از مصرف، با تخلیه به چاه و یا از طریق تبخیر به محیط زیست بازمی‌گردد. در بعضی موارد، آب مصرفی مجدداً تصفیه و برای بازمصرف به چرخه مصرف بازگردانده می‌شود. در تمامی مراحل یادشده، انرژی مورد نیاز برای استحصال، انتقال، تصفیه، خالص‌سازی و بهره‌برداری از آب، مقدار چشمگیری است.

بنابر نتایج مطالعات آماری، در طی دهه‌های اخیر، تقاضا برای آب و انرژی روند افزایشی پیموده و با توجه به افزایش جمعیت، این روند در سالهای آتی همچنان رو به رشد خواهد بود [۲]. در این میان، کشورهای توسعه‌یافته سهم بیشتری در مصرف آب و انرژی دارند. با توجه به اینکه توزیع آب و انرژی به‌صورت عادلانه صورت نگرفته و هنوز بخش زیادی از جمعیت جهانی از دستیابی به آب تمیز و انرژی، به‌ویژه برق، بی‌نصیب‌اند، رشد روزافزون تقاضا برای آب و انرژی سبب رشد چشمگیر دامنه کمبود و کمیابی آن خواهد شد؛ به‌طوری‌که رفع این کمبود یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های جوامع بشری در بخش صنعت و مصارف خانگی به شمار می‌رود.

در این میان، با توجه به افزایش تقاضای جهانی برای آب و انرژی و محدودیت منابع موجود، به‌منظور برقراری توازن در عرضه و تقاضا، مفهوم بهینه‌سازی تولید و مصرف آب و انرژی با هدف دستیابی به توسعه پایدار در قالب مفهوم پیوند

یا رابطه آب و انرژی تعریف شده است.

یکی از راه‌حل‌های سنتی در تولید و تأمین انرژی معمولاً مصرف سوخت‌های فسیلی است. آب را از منابع آبی زیرزمینی نیز تأمین می‌کنند. با در نظر گرفتن محدودیت‌های موجود در منابع طبیعی و آثار جبران‌ناپذیر استخراج بی‌رویه منابع بر محیط زیست، ارائه راه‌حل‌های جایگزین برای تأمین آب و انرژی همواره مورد توجه جوامع بشری و دولت‌ها بوده است.

تاکنون، روش‌های گوناگونی را پژوهشگران و دانشمندان در نهادهای تحقیقاتی و دانشگاه‌ها برای کاهش مصرف آب و انرژی و بهینه‌سازی تبدیل انرژی ابداع و تدوین کرده‌اند. در این روش‌ها، با بهره‌گیری از فناوری‌های نو به بررسی سامانه‌های تولید و مصرف آب و انرژی به‌طور همزمان و مستقل از یکدیگر می‌پردازند [۳]. به‌منظور صرفه‌جویی در مصرف ذخایر، راهکارهایی برای تولید، تبدیل و ذخیره انرژی از منابع تجدیدپذیر نیز بررسی و ابداع شده است. نتایج پژوهش‌ها حاکی از آن‌اند که مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر می‌تواند کاهش گسیل و انتشار گازهای گلخانه‌ای انجامد [۴]. کاهش آلاینده‌های عامل اثر گلخانه‌ای آثار زیانبار آینده آب‌وهوایی محدود و از بروز تغییرات شدید اقلیمی جلوگیری می‌کند. در زمینه کاهش مصرف آب، روش‌های بازچرخانی و بازمصرف آب و گسترش بهره‌برداری از منابع آب نامتعارف از مباحث مورد توجه و راهکارهای به‌کار گرفته شده، به‌ویژه در بخش صنعت است. از آنجاکه هیچ جایگزینی برای آب وجود ندارد، مسئله امنیت آن یکی از مهم‌ترین چالش‌های امروز به شمار می‌آید، به‌طوری‌که مسئله امنیت آب حیاتی‌تر از موضوع امنیت انرژی برآورد شده است [۵].

### امنیت آب و انرژی

آب در تمامی مراحل تولید انرژی و برق مصرف می‌شود.

پیشرفت‌های اخیر به تمرکز و توجه جهانی بر رابطه بین زیرساخت‌های آب و انرژی منجر شده است. خشکی و کمبود آب در سال‌های اخیر، اسباب محدودیت‌های شدید و کاهش بازدهی در عملکرد نیروگاه‌ها و تولید انرژی را فراهم آورده است.

نظر به بروز بحران‌های جهانی انرژی، آب و محیط زیست، امنیت آب و انرژی از اهمیت خاصی برخوردار است. امنیت آب عبارت است از دستیابی به آب با کمیت و کیفیتی قابل قبول، سالم، دسترس‌پذیر، ایمن و از لحاظ اقتصادی به صرفه، برای تأمین سلامت، معیشت و تولید [۱]. در موضوع امنیت آب، تخصیص منابع آب باید از لحاظ اقتصادی کارآمد و به صرفه و از نظر فنی، عملی و نیز از نظر اجتماعی، عادلانه باشد.

امنیت انرژی عبارت است از تأمین و عرضه مداوم، مطمئن، دسترس‌پذیر و از لحاظ اقتصادی به صرفه حامل‌های انرژی. مؤلفه‌های مخاطره‌آمیز امنیت انرژی عبارت‌اند از تهدیدات اقتصادی، زیست محیطی و جغرافیای سیاسی (ژئوپلیتیکی) ناظر بر بازارهای جهانی انرژی [۱]. از جمله تهدیدهای امنیت انرژی جهانی می‌توان عدم ثبات سیاسی کشورهای تولیدکننده انرژی، دخالت‌های انسانی و دستکاری در منابع انرژی، رقابت‌های جهانی بر سر منابع انرژی، حمله و تهاجم به زیرساخت‌های تأمین انرژی و وقوع بلایای طبیعی را برشمرد. این عوامل سبب شده‌اند مسئله امنیت انرژی با محوریت حقوقی و سیاسی بیش از پیش به موضوعی اجتماعی و اقتصادی تبدیل شود.

در تأمین امنیت انرژی تداوم عرضه آسان، و در دسترس بودن انرژی ایمن بسیار مهم است. منابع انرژی از لحاظ منطقه جغرافیایی از تنوع و گوناگونی برخوردارند. باید گفت که در تأمین جریان نفت و گاز ثبات و عدم تغییر سیاست‌های منطقه‌ای در درازمدت از مولفه‌ها و عوامل مؤثر بر تأمین امنیت انرژی به شمار می‌آیند. با در نظر گرفتن

## آب و انرژی

از این منابع و افت سطح آب‌های زیرزمینی شده است. طی دو دهه گذشته، شواهد آشکاری مبنی بر استخراج بیش از حد آب‌های زیرزمینی نمایان شده و عمق سفره‌ها با شتاب بیشتری نسبت به تجدید شدنشان از طریق نفوذ آب باران و جریان آب سطح زمین، کم می‌شود. پایین افتادن سطح آب‌های زیرزمینی به معنای کاهش ذخیره آبی منابع آب است. از این رو، استخراج آب نیازمند صرف انرژی بیشتری خواهد بود تا آب را از عمق بیشتر و مسافت بیشتری انتقال دهد.

تأمین انرژی و امنیت عرضه آن تحت تأثیر مستقیم آثار تغییرات آب‌وهوایی مانند افزایش دما، کاهش سطح آب، افزایش شدت و دامنه توفان و امواج گرمایی اند [7]. این گونه تغییرات آب‌وهوایی برای بخش انرژی تهدید به شمار می‌آیند. به سخن دیگر، تغییرات اقلیمی می‌تواند امنیت انرژی را به خطر اندازد و سبب تغییر کیفیت آب و یا قطع ناگهانی آن شود. مثلاً، افزایش دمای محیط و آب به کاهش بازدهی و تضعیف عملکرد نیروگاه‌ها و کاهش بازدهی انتقال برق می‌انجامد و حتی در مواردی می‌تواند نیروگاه را به تعطیلی موقت بکشاند. تغییرات آب‌وهوایی سبب تغییرات الگوی بارشی و کاهش سطح آب ذخایر زیرزمینی نیز می‌شود. افزایش تعداد و شدت وقوع سیلاب‌ها در نزدیکی نیروگاه‌ها از یک سو باعث ویرانی واحدهای تولید برق و تخریب زیرساخت‌های انتقال نیرو می‌شود، و از سوی دیگر با آسیب رساندن به مسیرهای حمل‌ونقل ریلی و جاده‌ای سوخت، در انتقال آن وقفه و تأخیر ایجاد می‌کنند.

با توجه به کمبود آب در ذخایر زیرزمینی، تبدیل آب شور به آب شیرین در واحدهای نمک‌زدایی آب یکی از راهکارهای کاربردی به شمار می‌آید. مصرف انرژی زیاد در واحدهای شیرین‌سازی آب و هزینه تمام شده گزاف آب یکی از چالش‌های موجود در امنیت آب به شمار می‌رود. از دیگر عوامل مؤثر بر تداوم امنیت آب، می‌توان به

تهدیدهای یادشده، جایگزینی منبع انرژی سوخت‌های فسیلی با انرژی‌های نو و تجدیدپذیر راه‌حل بلندمدت، ارزان و پایدار برای دستیابی به امنیت انرژی به شمار می‌آید [6]. دسترسی ارزان به انرژی در عملکرد اقتصادی جوامع نقش بسزایی بازی می‌کند. توزیع نابرابر منابع انرژی در میان کشورها و نیاز مبرم به دسترسی گسترده به منابع آب و انرژی به آسیب‌پذیری‌های چشمگیری منجر شده است.

رابطه ناگسستگی آب و انرژی می‌تواند بر میزان دستیابی به امنیت در بخش آب و انرژی تأثیر بگذارد. به بیان دیگر، بین دستیابی به امنیت در یک بخش و چگونگی و میزان توسعه در بخش دیگر رابطه برقرار است. مثلاً، امنیت انرژی با کمبود منابع آبی به خطر خواهد افتاد، زیرا تولید نیروی برق حرارتی و نیروی برقابی به وجود آب وابسته‌اند. بر همین منوال، قطع عرضه انرژی با بروز اختلال در استخراج آب، تصفیه و انتقال آن، بر تداوم امنیت آب مؤثر خواهد بود. دستیابی به درک و دریافت درست از رابطه بین آب و انرژی می‌تواند در چگونگی تخصیص منابع به‌منظور برقراری امنیت آب و انرژی رهگشا باشد. در این میان، مدل‌سازی یکپارچه‌ای از زنجیره آب و انرژی می‌تواند به تجزیه و تحلیل و پیش‌بینی قابلیت‌های این پیوند کمک کند. مدل‌سازی این رابطه مستلزم دخیل کردن مؤلفه‌های ارتباطی زنجیره انسان و محیط زیست و آثار متقابل و پیچیده آن است. این مؤلفه‌ها عوامل انسانی چون جمعیت، مهاجرت، اقتصاد منطقه و تقاضای انرژی، و نیز عوامل زیست محیطی شامل اقلیم جهانی و منطقه‌ای و منابع طبیعی آب و انرژی، را دربر می‌گیرند [3].

در زنجیره عرضه انرژی، دسترسی‌پذیری آب اهمیت خاصی در تداوم امنیت انرژی دارد. کمبود آب سبب کاهش اعتماد در تأمین انرژی، افزایش قیمت انرژی و کاهش دامنه فراوری سوخت، و در نهایت کاهش تولید سوخت می‌شود. در کشور ما، افزایش تقاضای آب منجر به افزایش برداشت

دسترس‌پذیری منابع انرژی اشاره کرد. تولید آلودگی منابع آب ناشی از تولید و تبدیل انرژی، امنیت آب را به مخاطره می‌اندازد. سامانه‌های آب عمدتاً مصرف‌کنندگان نهایی انرژی، به‌ویژه برق به شمار می‌روند. این انرژی از مصرف سوخت‌های فسیلی حاصل می‌شود. از این‌رو، در دسترس بودن انرژی یکی از مهم‌ترین ارکان توسعه اقتصادی و راه‌اندازی بخش صنایع جوامع به شمار می‌رود.

### مدخل‌های مرتبط

برای مطالعه بیشتر به مدخل‌های زیر رجوع شود:

انرژی و محیط زیست؛ انرژی تجدیدپذیر؛ سوخت‌های فسیلی، اثرات زیست محیطی؛ بهینه‌سازی انرژی.

### کتابشناسی

1. Bauer, D [et al]. The Water-Energy Nexus: Challenges and Opportunities, US Department of Energy, USA, 2014.
2. Marsh, D.D., The Water-Energy Nexus: A Comprehensive Analysis in the Context of New South Wales, Sydney, 2008.
3. Feng, K. [et al]. Comparison of Bottom-Up and Top-Down Approaches to Calculating the Water Footprints of Nations. Econ. Syst. Res. 23, 2011.
4. Renewable Energy in the Water, Energy & Food Nexus, IRENA (International Renewable Energy Agency), 2015.
5. Pfaffin, J., and Ziegler, E., Encyclopedia of Environmental Science and Engineering, Fifth Edition, Stumm, W. [et al]., Chapter 85. Water, 2013.
6. Pfaffin, J., and Ziegler, E., Encyclopedia of Environmental Science and Engineering, Fifth Edition, Hoffman, K.C., and Mollenkamp, F.W., Chapter 21. Energy Sources-Alternatives, 2013.
7. Pfaffin, J., and Ziegler, E., Encyclopedia of Environmental Science and Engineering, Fifth Edition, Dresnack, R., Chapter 22. Environmental Assessments and Related Impacts, 2013.

محمد حسن پنجه‌شاهی؛ مونا قرانی

استاد تمام دانشکده نفت دانشگاه تهران، دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی سیستم‌های انرژی دانشگاه صنعتی خواجه نصیر