

باسمه تعالی

گزارش پروژه درس تحلیل سیستم‌های انرژی

دانشگاه صنعتی شریف

دانشکده مهندسی انرژی

عنوان

تکنولوژی واترژنی (پیوند آب-انرژی)

استاد

جناب آقای دکتر رجبی

دانشجویان

محمد بیات

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی انرژی

mohammad.bayat@energy.sharif.edu

ساحل سعادت

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی انرژی

sahel.saadati@energy.sharif.edu

بهمن ماه ۱۴۰۰

## چکیده

اصطلاح پیوند آب و انرژی (Watergy) توسط اتحادی برای صرفه‌جویی در انرژی به منظور توصیف ارتباط قوی بین آب و انرژی در سیستم‌های آب شهری ابداع شد. رویکرد پیوند آب و انرژی به شهرها کمک می‌کند تا از طریق بهبودهای فنی و مدیریتی در سیستم‌های تامین آب و تصفیه فاضلاب، صرفه‌جویی قابل توجهی در انرژی، آب و پول به دست آورند و کارایی‌هایی را ایجاد کنند که خدمات باکیفیت را با حداقل آب و انرژی به مصرف‌کنندگان ارائه دهد. بهره‌وری در بخش آب شامل استفاده نهایی از آب - مانند توالت‌های کارآمد، دوش‌های کم جریان و کاهش پیک تقاضا - و همچنین بهره‌وری در تامین آب است. اصول پیوند آب و انرژی (Watergy) در شهرهای متعددی در سراسر جهان به کار گرفته شده‌است و نشان می‌دهد که اقدامات بهره‌وری آب به سرعت بازپرداخت می‌شود و پاداش‌های زیادی از جمله بهبود فوری در خدمات آب، افزایش تحویل آب، کاهش مصرف آب و انرژی، و درآمد بیشتر برای ارتقاء سیستم و مشتری جدید را به همراه دارد. اتصالات فرصت‌ها در تمام مراحل یک سیستم تامین آب فراوان است. نویدبخش‌ترین مناطق برای مداخله در سیستم‌های تامین آب عبارت‌اند از: بهبود سیستم پمپاژ، مدیریت نشت، خودکارسازی عملیات سیستم، و نظارت منظم (ترجیحاً با اندازه‌گیری دقیق استفاده نهایی). این بهبودها اغلب در عرض چند ماه هزینه خود را پرداخت می‌کنند، اکثر آن‌ها این کار را در یک سال انجام می‌دهند و تقریباً همه هزینه‌های خود را در عرض سه سال بازیابی می‌کنند. سیستم پمپاژ بسیار مهم است، زیرا هر لیتر آبی که از سیستم عبور می‌کند هزینه انرژی قابل توجهی را نشان می‌دهد، هزینه‌ای که با هر لیتر از دست رفته به دلیل نشت افزایش می‌یابد. بهبود پمپاژ از اقدامات کم‌هزینه‌تر مانند استارت‌های نرم برای موتورهای، برش پروانه‌ها (زمانی که پمپ‌ها دارای اندازه زیاد هستند) و موتورهای سیم‌پیچ مجدد، تا اقدامات هزینه بالاتر مانند جایگزینی پمپ‌های ناکارآمد با پمپ‌های کارآمد متغیر است. اتوماسیون سیستم باعث صرفه‌جویی در مصرف آب می‌شود. ، انرژی و هزینه‌های عملیاتی، خدمات را بهبود می‌بخشد و عمر تجهیزات را افزایش می‌دهد. اتوماسیون، عملکردهای عملیاتی را در زمان واقعی در پاسخ به شرایط در حال تغییر مدیریت می‌کند. به عنوان مثال می‌توان به بهینه‌سازی فشار در شبکه، راه‌اندازی آلارم در مواقع اضطراری و خاموش کردن پمپ‌ها اشاره کرد. نظارت منظم بر اجزای سیستم، عملیات و عملکرد به منظور ردیابی عملکرد و ارزیابی آن در برابر مجموعه‌ای از معیارها و اهداف ضروری است. مدیریت موثر نشت می‌تواند مقادیر زیادی آب و انرژی را ذخیره کند. نرخ نشتی را می‌توان با کنترل‌های خودکار که فشار را در شبکه به خصوص در شب کاهش می‌دهد، به طور چشمگیری کاهش داد. مدیریت فشار عموماً مقرون به صرفه‌تر از تعمیرات گران قیمت ناشی از نشتی‌های متعدد در لوله‌های مدفون است [۱].

**کلمات کلیدی:** آب، انرژی، همبست، واترژی، مدلسازی یکپارچه آب و انرژی، پیوند آب و انرژی.

## فهرست مطالب

۱	..... مقدمه
۵	..... ۲. ارتباط میان آب و انرژی
۷	..... ۲-۱. مفهوم واترژی
۸	..... ۲-۲-۱. شش اصل موجود بین دو جریان آب و انرژی در یک سیستم
۹	..... ۲-۳. رویکردهای فنی و مدیریتی به پیوند آب و انرژی (Watergy)
۱۲	..... ۴-۲. تامین مالی واترژی با پیمانکار
۱۲	..... ۵-۲. دیدگاه‌های پیوند آب و انرژی
۱۳	..... ۵-۲-۱. مصرف انرژی در زیرساخت‌های آب
۱۳	..... ۵-۲-۲. مصرف آب در زیرساخت‌های انرژی
۱۴	..... ۲-۶. اهمیت آب و انرژی در صنعت
۱۵	..... ۲-۷. پیوند آب، انرژی در صنعت تولید برق
۱۶	..... ۲-۸. پیوند آب، انرژی در صنعت فولاد
۱۷	..... ۲-۹. پیوند آب، انرژی و غذا
۱۸	..... ۲-۱۰. ماهیت پیوند آب و انرژی
۱۹	..... ۲-۱۰-۱. ماهیت زیست‌محیطی
۲۲	..... ۲-۱۰-۲. ماهیت فن‌آوری
۲۶	..... ۲-۱۰-۳. ماهیت اجتماعی و اقتصادی
۲۷	..... ۲-۱۰-۳-۱. شاخص‌های ارزیابی اقتصادی، آب و انرژی سیستم‌های کشاورزی
۲۸	..... ۲-۱۰-۴. ماهیت سیاسی
۲۹	..... ۲-۱۱. بررسی رویکرد WEF Nexus
۳۲	..... ۲-۱۲. موانع رایج برای بهره‌وری انرژی و آب
۳۴	..... ۳. نتیجه‌گیری
۳۶	..... مراجع

## فهرست جداول و اشکال و روابط

شکل ۱	.....	۲
جدول ۱	.....	۴
شکل ۲	.....	۶
شکل ۳	.....	۷
شکل ۴	.....	۸
شکل ۵	.....	۱۰
شکل ۶	.....	۱۱
شکل ۷	.....	۱۲
جدول ۲	.....	۱۸
نمودار ۱	.....	۱۷
نمودار ۲	.....	۲۱
نمودار ۳	.....	۲۴
شکل ۸	.....	۲۵
شکل ۹	.....	۲۵
رابطه ۱	.....	۲۷
رابطه ۲	.....	۲۷
رابطه ۳	.....	۲۷
رابطه ۴	.....	۲۷
رابطه ۵	.....	۲۷
شکل ۱۰	.....	۲۹
شکل ۱۱	.....	۳۰
شکل ۱۲	.....	۳۱
شکل ۱۳	.....	۳۱
شکل ۱۴	.....	۳۲

## ۱. مقدمه [۱] و [۲]

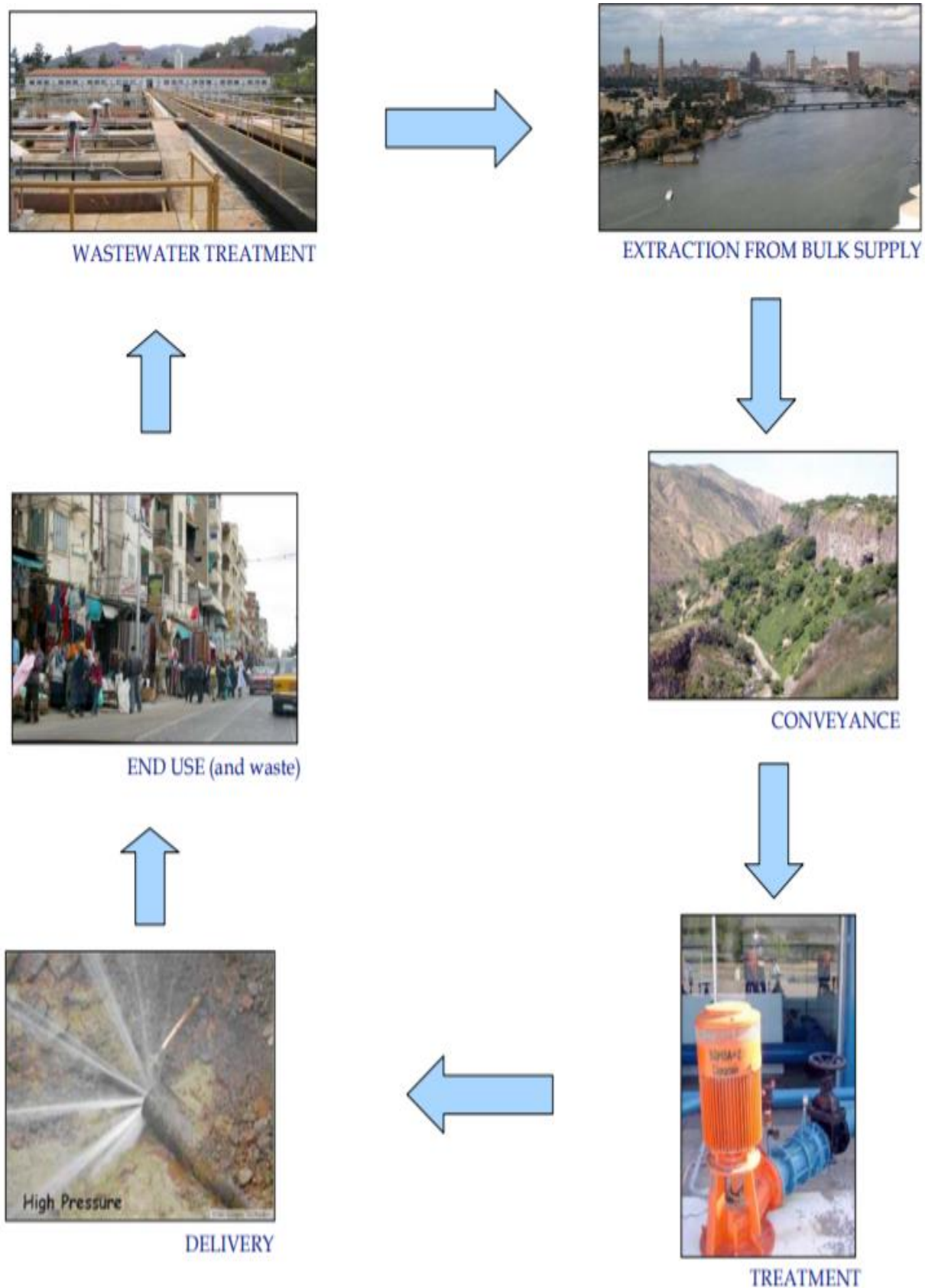
پیوند آب و انرژی (Watergy) توسط اتحاد آمریکایی برای صرفه جویی در انرژی برای توصیف ارتباط قوی بین آب و انرژی در سیستم‌های آب شهری ابداع شد. رویکرد پیوند آب و انرژی (Watergy) به شهرها کمک می‌کند تا صرفه‌جویی قابل توجهی در انرژی، آب و پول از طریق بهبودهای فنی و مدیریتی داشته باشند و کارایی ایجاد کنند که خدمات باکیفیت با حداقل آب و انرژی را به مصرف کنندگان ارائه دهد. پیوند آب و انرژی از دو منبع ارزشمند و محدود به بهترین شکل استفاده می‌کند: آب و انرژی.

با رشد جمعیت و افزایش تقاضا برای آب و انرژی، اهمیت پرداختن به ارتباط آب و انرژی برای دستیابی به توسعه پایدار بیش از پیش شده است. تعادل بین عرضه منابع آب متعارف (که شامل آب باران، آب سطحی و آب زیرزمینی می‌باشد) و تقاضای آب نیازمند فراهم بودن و در دسترس بودن آب است. تنها ۰.۲٪ از منابع آب جهان آب شیرین است و از این مقدار تنها ۰.۳٪ در دسترس برای توزیع می‌باشد.

در مناطقی که هر یک از منابع محدود است، آب و انرژی (Watergy) منبع ارزشمندی است که در انتظار بهره‌برداری است، آنقدر مقرون به صرفه است که زمان لازم برای پرداخت خود بهبودها معمولاً از چند ماه تا سه سال متغیر است. پس‌انداز حاصل، بودجه بیشتری را برای خدمات عمومی حیاتی باقی می‌گذارد. برای کسانی که مسئولیت مالی خدمات عمومی محلی را بر عهده دارند، بهره‌وری در تامین انرژی و آب یکی از محدود گزینه‌های مقرون به صرفه موجود برای پاسخگویی به تقاضاهای رو به رشد برای خدمات حیاتی مانند برق، آب و تصفیه فاضلاب است. علاوه بر صرفه جویی مستقیم در انرژی و آب، بهبود بهره‌وری در تاسیسات آب شهری باعث کاهش چشمگیر هزینه‌های عملیاتی و اغلب بهبود خدمات می‌شود.

رابطه یکپارچه بین آب و انرژی به طور گسترده درک نشده است یا به اندازه کافی از طریق رویکردهای بهره‌وری هماهنگ و کل نگر مورد استفاده قرار نمی‌گیرد. رابطه آب-انرژی بر این واقعیت استوار است که تصفیه آب برای مصرف انسان و انتقال آب تصفیه شده به مصرف کننده یک کار بسیار انرژی‌بر است. هر لیتر آبی که از یک سیستم عبور می‌کند هزینه انرژی قابل توجهی را نشان می‌دهد. شکل (۱) گام‌های عمده‌ای را نشان می‌دهد که در تأمین آب تمیز برای شهروندان شهری و تصفیه فاضلاب برای تخلیه ایمن انجام می‌شود، که هر یک به مقدار قابل توجهی و قابل اندازه‌گیری انرژی نیاز دارند. اهمیت انرژی نسبی مراحل مختلف به عواملی مانند توپوگرافی بین منبع آب و مقصد آن (به ویژه تغییر ارتفاع)، فاصله از منبع آب عمده، یکپارچگی شبکه اصلی (لوله‌های تامین) و شبکه‌های ثانویه (لوله‌های توزیع) بستگی دارد. در سطح جهانی، انرژی در میان سه اقلام اصلی هزینه برای شرکت‌های آب قرار دارد که اغلب پس از هزینه‌های نیروی کار در رتبه دوم قرار می‌گیرد. در کشورهای در حال توسعه، انرژی معمولاً بالاترین هزینه مرتبط با تامین آب است.

تامین آب و تصفیه فاضلاب نیز زیرساختی فشرده است و به پمپاژ، تصفیه و سیستم‌های انتقال گران قیمت نیاز دارد. دسترسی به آب را می‌توان از طریق بهره‌وری بسیار سریع‌تر و ارزان‌تر از زیرساخت‌های جدید گسترش داد و نیاز به سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های اضافی را به تعویق انداخت.



شکل ۱. چرخه حیات تامین آب

همچنین، تصمیمات سرمایه‌گذاری در آب و فاضلاب که بهره‌وری انرژی را نادیده می‌گیرند، یک اثر دومینویی دارند که باعث افزایش سرمایه‌گذاری در بخش‌های دیگر مانند نیروگاه‌ها، سرمایه‌گذاری برای استخراج و انتقال سوخت اضافی و هزینه‌های زیست‌محیطی مرتبط با انتشار هوا و کاهش ذخایر آب و هیدروکربن می‌شود. دستور کار توسعه‌ای که ظرفیت زیرساخت‌های موجود را از طریق کارآیی، قبل از تشویق ساخت و ساز جدید به حداکثر می‌رساند، مقرون به صرفه‌ترین و پایدارترین راه برای رفع نیاز رو به رشد به آب پاک است.

با گنجاندن کارایی در سیستم‌های زیرساختی موجود و برنامه‌ریزی شده، می‌توان هزینه‌ها را کنترل کرد، ارائه خدمات را بهبود بخشید و دسترسی را افزایش داد بدون اینکه لزوماً به هزینه خدمات اضافه شود. بخشی از آنچه که باعث می‌شود تامین آب به چنین فرآیند انرژی‌بری تبدیل شود و همچنین آب شیرین گران‌بها را هدر دهد، این است که بسیاری از سیستم‌های توزیع در سراسر جهان نشتی دارند. حتی بسیاری از شهرها در کشورهای کاملاً صنعتی به دلیل قدیمی بودن زیرساخت‌ها، نرخ نشت بالایی دارند. هر گاه آب در اثر نشت از بین برود، انرژی و هزینه انرژی موجود در آن آب، از پمپاژ، تصفیه و انتقال آب نیز از بین می‌رود. هنگامی که آب قبل از رسیدن به مصرف‌کننده نهایی از بین می‌رود - که در بسیاری از کشورها بیشترین تلفات رخ می‌دهد - هزینه‌های تولید آب مرتبط قابل جبران نیست.

در کشورهای در حال توسعه، به طور معمول یک سوم تا یک دوم حجم آب تولید شده به دلیل نشت و ناکارآمدی سیستم از بین می‌رود. برای مثال، در آمریکای لاتین، یک سوم آبی که وارد سیستم‌های توزیع در مکزیک می‌شود، قبل از رسیدن به مصرف‌کننده از بین می‌رود. در برزیل میانگین ضرر ۴۴ درصد است.

شهرهای هند به طور متوسط نیمی از آب خود را به دلیل نشت از دست می‌دهند، این رقم در شهرهای بزرگ حدود ۴۰ درصد است، اما در شهرهای کوچک‌تر بین ۵۰ تا ۶۰ درصد بیشتر است. در آفریقای جنوبی اکثر شهرهای بزرگ نیز به طور متوسط حدود ۴۰ درصد ضرر دارند. پیوند آب و انرژی (Watergy) می‌تواند کاهش چشمگیری در چنین تلفاتی ایجاد کند که برای پر کردن شکاف رو به رشد بین نیاز به آب و ظرفیت تأمین آن لازم است. برای مثال، آبی که در حال حاضر به دلیل نشت در مکزیک از دست می‌رود، رشد تقاضای مورد انتظار برای شش سال آینده را پوشش می‌دهد، نیازهای آینده را برآورده می‌کند و کمبودهای فعلی را کاهش می‌دهد تا سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌ها به تعویق بیفتد، و منابع محدود آب و انرژی را افزایش دهد.

جدول (۱) اجزای متعددی را که در تامین آب و تصفیه فاضلاب دخیل هستند که صرف نظر از استفاده نهایی از انرژی استفاده می‌کنند، خلاصه می‌کند.

جدول ۱. سیستم‌های آب و فاضلاب که از انرژی استفاده می‌کنند.

STAGE	OPERATION	ENERGY-USING SYSTEMS
EXTRACTION	Deep well extraction	Submersible or shaft turbine deep well pumping systems
	Extraction from a surface source	Horizontal or vertical centrifugal pumping systems
TREATMENT	Chemical (disinfection and clarification)	Piston-type dosing pumps
	Physical (e.g. filtration and sedimentation)	Pumping systems, fans, agitators, centrifugal blowers
PIPING BETWEEN SOURCE AND DISTRIBUTION NETWORK	Sending the drinking water to the distribution grid	Submersible or shaft turbine deep well pumping systems; horizontal or vertical centrifugal pumping systems
	Booster pumping	Horizontal or vertical centrifugal pumping systems used to increase pressure of water going into the distribution system or to pump water to a higher elevation.
DISTRIBUTION  STORM AND SANITARY SEWER SYSTEMS	Distribution to end users	Horizontal or vertical centrifugal pumping systems
	Piping of sewage and/or rainwater	Horizontal or vertical centrifugal pumping systems
	Wastewater treatment and disposal	Pumping systems, fans, agitators, centrifugal blowers
SUPPORT SYSTEMS	Support functions associated with the utility building(s)	Lighting systems, HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning), etc.



## ۲. ارتباط میان آب و انرژی

آب و انرژی اساساً به یکدیگر مرتبط می‌باشند. در بنیادی‌ترین حالت، تولید انرژی به آب نیاز دارد و برداشت، انتقال، تصفیه و توزیع آب نیازمند انرژی است. در گذشته دلایل کمی برای فهم ماهیت این ارتباطات وجود داشت که عمدتاً به دلیل این پیش‌فرض بوده است که آب تهدیدی برای امنیت انرژی به شمار نمی‌آید و انرژی نیز برای امنیت آب تهدیدی ایجاد نمی‌کند. امروزه این پیش‌فرض به چالش کشیده شده است.

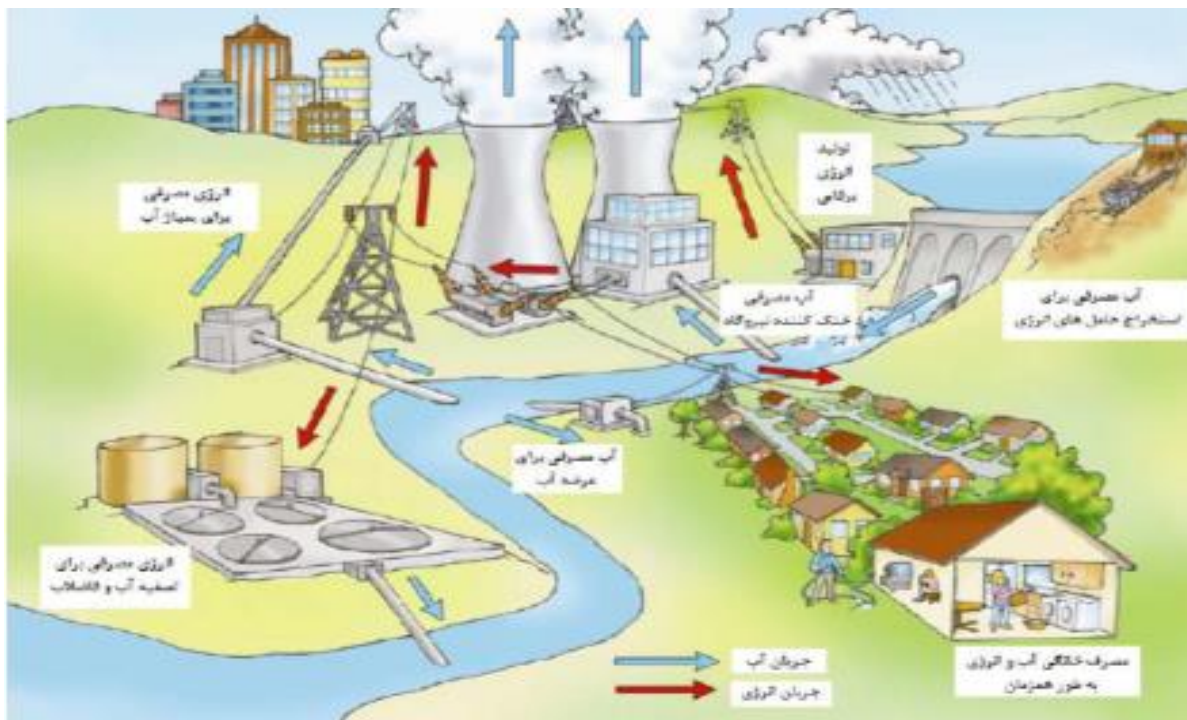
تغییر در صنعت، افزایش تقاضا، خشکسالی و تغییر اقلیم باعث شده تا توجه زیادی به ارتباط میان آب و انرژی شود. سیستم‌های آب و انرژی برای زندگی نوین ضروری می‌باشند و به صورتی جدایی‌ناپذیر به یکدیگر پیوند خورده‌اند. تولید و عرضه آب به انرژی نیاز دارد. اگر سیستم انرژی یک شهر از کار بیفتد، اطمینان‌پذیری خدمات آب به سرعت تنزل می‌یابد و امنیت و سلامت جامعه نیز در معرض تهدید قرار می‌گیرد [۳].

۷ درصد از تولیدات انرژی در جهان برای مدیریت تأمین آب سالم استفاده می‌شود. همچنین حدود ۱ تا ۱۸ درصد مصرف برق در شهرها به عملیات مرتبط با آب اختصاص دارد، که سهم عمده این انرژی جهت گرمایش آب در منازل استفاده می‌شود. این مسئله اهمیت و تاثیر استفاده از آب را بر مصرف انرژی نشان می‌دهد. از نظر امنیت انرژی، آب برای تولید برق در جامعه صنعتی ضروری و لازم می‌باشد. در ایالت متحده آمریکا حدود ۳۹ درصد از کل آب شیرین استخراج شده در نیروگاه‌های حرارتی جهت تولید برق استفاده می‌شود. در نیروگاه‌های حرارتی مصرف آب بالا می‌باشد.

نیروگاه‌های حرارتی در استرالیا سهم عمده‌ای در تولید انرژی دارند که به علت کمبود آب، ژنراتورها از آب بازچرخانی شده به عنوان یک منبع جایگزین و قابل اطمینان استفاده می‌کنند [۴]. امروزه رشد تقاضای آب، تقاضای انرژی و اثرات زیست‌محیطی مرتبط با برداشت بیش از اندازه آب، تخلیه فاضلاب و انتشار گازهای گلخانه‌ای، سبب یکپارچه‌سازی آب و انرژی گردیده است. بنابراین تنها یک رویکرد یکپارچه بر حسب برنامه-ریزی، مدل‌سازی و با اشتراک‌گذاری داده‌ها در درون و بین بخش‌های آب و انرژی قادر به ایجاد آینده پایدار برای هر دو بخش خواهد بود [۵].

پیوند آب و انرژی بیانگر یک مسئله مهم در بحث امنیت منابع، تجارت و محیط‌زیست می‌باشد که توجه به آن به طور قابل ملاحظه‌ای در سال‌های اخیر افزایش یافته است. در نظرسنجی که توسط پروژه افشا کربن انجام گرفت، ۸۲ درصد از شرکت‌های مرتبط با انرژی و ۷۳ درصد از شرکت‌های خدمات رفاهی از آب به عنوان منبعی مهم در کسب و کار یاد کرده‌اند [۶]. آژانس بین‌المللی انرژی برای اولین بار در تاریخ خود در سال ۲۰۱۲، میلادی به بحث آب و انرژی در سند چشم‌انداز انرژی پرداخت [۷]. بانک جهانی برای کمک به دولت کشورهای در حال توسعه بر اساس پیوند آب و انرژی و در رابطه با منابع آب و سرویس‌های انرژی، عبارت انرژی تشنه را تعریف کرده است [۸].

در شکل (۲) شمای کلی نحوه تاثیرگذاری آب و انرژی بر یکدیگر نمایش داده شده است.



شکل ۲. شمای کلی نحوه تاثیرگذاری منابع آب و انرژی بر روی یکدیگر

آب و انرژی به شدت به هم وابسته‌اند؛ آب به منظور شیرین‌سازی، سختی‌گیری، پمپاژ و تصفیه فاضلاب به انرژی وابسته است. انرژی نیز در تمامی مراحل استخراج (سوخت‌های فسیلی)، فراورش، انتقال، تبدیل و مصرف انرژی به آب وابسته است [۲۷]. شدت مصرف در تمامی مراحل عنوان شده فوق به محل قرارگیری واحد صنعتی و تکنولوژی مورد استفاده وابسته است. مصرف انرژی در صنعت عموماً به دو شکل الکتریکی و حرارتی (شامل گاز، مازوت و گازوییل) است. این حامل‌های انرژی، محصولات فرآوری شده از نفت خام و یا ذخایر گاز طبیعی می‌باشند. تقریباً در تمامی مراحل استخراج نفت خام و گاز طبیعی آب مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در آمار مربوط به میزان استفاده آب، از دو مفهوم برداشت آب و مصرف آب استفاده می‌شود. طبق تعریف سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده آمریکا برداشت آب به معنی استخراج آب از منابع زیرزمینی و یا منحرف کردن آب‌های سطحی جهت استفاده توسط انسان می‌باشد. مصرف آب نیز بخشی از آب برداشت شده است که به دلایلی همچون تبخیر، ترکیب با مواد، ترکیب در محصول تولیدی، استفاده توسط انسان و دام و یا تلافیات ناخواسته (مانند نشت) از دسترس خارج می‌شود [۲۸].

افزایش بهره‌وری منابع از ضروریات توسعه پایدار در جهان امروز است. با گسترش بحران آبی جهانی، مفاهیمی چون تجارت آب و آب مجازی، در کنار شاخص‌های اقتصادی وارد تصمیم‌گیری‌های کلان تجاری شد. سپس علاوه بر روش‌های مرسوم محاسبه آب، روشی با عنوان ردپای آب توسعه یافت که شاخصی از میزان آب مصرفی در فرایند تولید یک کالا (کشاورزی یا صنعتی) از دیدگاه چرخه عمر است. از دیگر سو ارزیابی ردپای کربن محصولات صنعتی در جهت کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای، کاهش استفاده از سوخت‌های فسیلی و تقلیل اثرات تغییر اقلیم در اغلب کشورها الزامی است. مفهوم تجارت کربن در تبادلات بین‌المللی به منظور کاهش ردپای زیست محیطی فرایندهای صنعتی اعمال شده و موجب تشویق کشورها در توسعه استفاده از منابع انرژی پاک و تجدیدپذیر شده است.

در شکل (۳) ارتباط آب و انرژی قابل مشاهده است. آب و انرژی هریک منابع مستقلی دارند که در تلفیق با هم ارتباط آب و انرژی را شکل می‌دهند [۹].

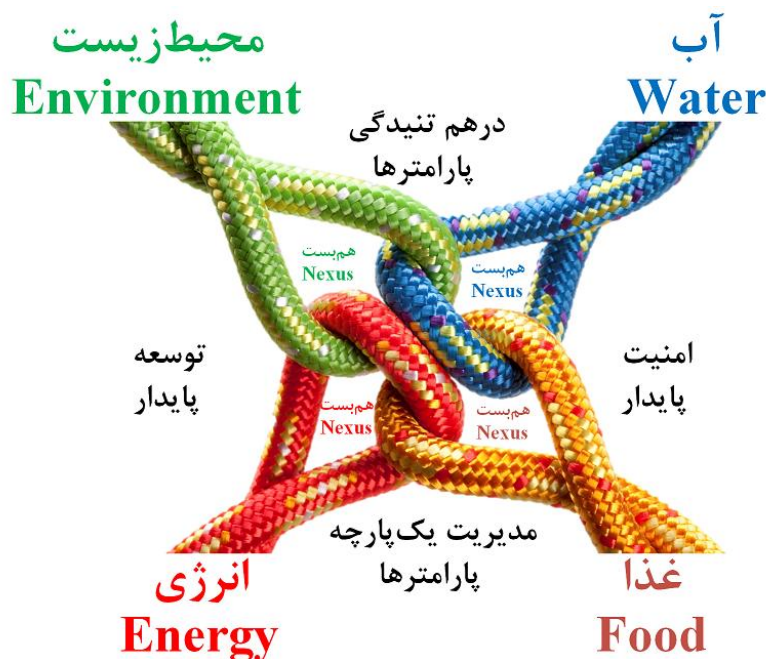


شکل ۳. ارتباط آب و انرژی

## ۲-۱. مفهوم واترژی [۱۰]

یکی از عباراتی که در بیان پیوند، همبست یا همان ارتباط آب و انرژی (Water-Energy Nexus) در برخی تحقیقات به کار گرفته شده، پیوند آب و انرژی (Watergy) است که درهم‌تنیدگی این دو جریان را نشان می‌دهد. رویکرد واترژی، بیانگر یکپارچگی دو جریان آب و انرژی و همبستگی آن‌ها است. در تحقیقات مختلف از این رویکرد بیشتر برای تحلیل فناوری‌های بخشی از سیستم‌های آب یا بخشی از سیستم‌های انرژی، مانند شبکه آبرسانی شهری، بخش ساختمان و به ویژه فناوری‌های گرمایش و سرمایش در سیستم گلخانه‌ها استفاده شده است. برای استفاده‌ی یکپارچه از آب و انرژی در سیستم ابداعی گروه خود در گلخانه، با عنوان گلخانه‌ی واترژی، از این رویکرد برای بهینه‌سازی مصرف آب در سیستم‌های سرمایش و گرمایش و به طور همزمان تولید آب در گلخانه بهره برده است. گلخانه‌ی واترژی یکی از نمونه‌های مورد مطالعه از پروژه‌ی واترژی است که توسط اتحادیه‌ی اروپا برای بررسی و تثبیت عرضه‌ی غیرمتمرکز آب، انرژی و غذا در نمونه‌های مختلف در سه کشور هلند، آلمان و اسپانیا اجرا شده است. در تحقیقات دیگر نیز از مفهوم واترژی بهره برده شده است. جیمز و همکاران از مفهوم واترژی (پیوند آب و انرژی) برای بهینه‌سازی انرژی در شبکه آب شهری استفاده کرده‌اند. در گزارش آن‌ها آمده است که بهینه‌سازی مصرف آب و به طور همزمان کاهش مصرف انرژی را در شبکه شهری به همراه دارد. دمنزابت و همکاران نیز بهینه‌سازی همزمان آب و انرژی در ساختمان را با رویکرد واترژی اجرا و معرفی کرده‌اند. تحقیقات آن‌ها که برای طرح جامع مدیریت انرژی فدرال اجرا شده است، بهینه‌سازی انرژی در اثر بهینه‌سازی آب را با رویکرد

واترژی نشان می‌دهد. در این تحقیقات، واترژی برای بیان شکل‌های مختلف ارتباط آب و انرژی، مانند شکل (۴) بهینه‌سازی مصرف انرژی در اثر بهینه‌سازی مصرف آب یا بالعکس، بازدهی مصرف آب و انرژی یا موارد دیگر مورد استفاده قرار گرفته است.



شکل ۴. همبست آب و انرژی و غذا و محیط زیست

## ۲-۲-۱. شش اصل موجود بین دو جریان آب و انرژی در یک سیستم [۱۰]

تعریف و به کارگیری سیستم واترژی برای مدلسازی یکپارچه آب و انرژی بر اساس شش اصل زیر که بین دو جریان آب و انرژی در یک سیستم لازم می‌باشد، توسعه داده شده است :

- رابطه‌ی الزامی : اولین شرط تشکیل سیستم مرجع واترژی وجود دو جریان آب و انرژی در بخش‌های مختلف سیستم در کنار هم است.
- رابطه‌ی انرژی برای آب و آب برای انرژی : در سیستم واترژی جریان آب در فرایندهای تولید و تبدیل انرژی استفاده می‌شود و بالعکس انرژی در فرایندهای مربوط به آب مورد استفاده قرار می‌گیرد. به طور مثال در نیروگاه تولید برق، آب برای تولید انرژی استفاده شده و در واحدهای تصفیه‌ی آب و یا فاضلاب، انرژی برای تأمین آب مورد نیاز استفاده می‌شود. این ارتباط آب و انرژی بیانگر رابطه‌ی «آب برای انرژی و انرژی برای آب» در سیستم واترژی است.
- رابطه‌ی مستقیم : این رابطه بیانگر مصرف بیشتر (یا کمتر) جریان آب در اثر مصرف بیشتر (یا کمتر) جریان انرژی در سیستم است و بالعکس، که معمولاً به دلیل تولید بیشتر یک فناوری یا واحد برای افزایش کلی تولید سیستم اتفاق می‌افتد.
- رابطه‌ی جایگزینی آب و انرژی : از مهمترین ویژگی‌های سیستم واترژی، امکان جایگزینی مقدار جریان‌های آب و انرژی با یکدیگر در سیستم است. این اتفاق به وسیله‌ی تحول فناوری اتفاق می‌افتد. این موضوع اهمیت تحول فناوری در سیستم‌ها را برای جایگزینی مقدار مصرف آب با انرژی

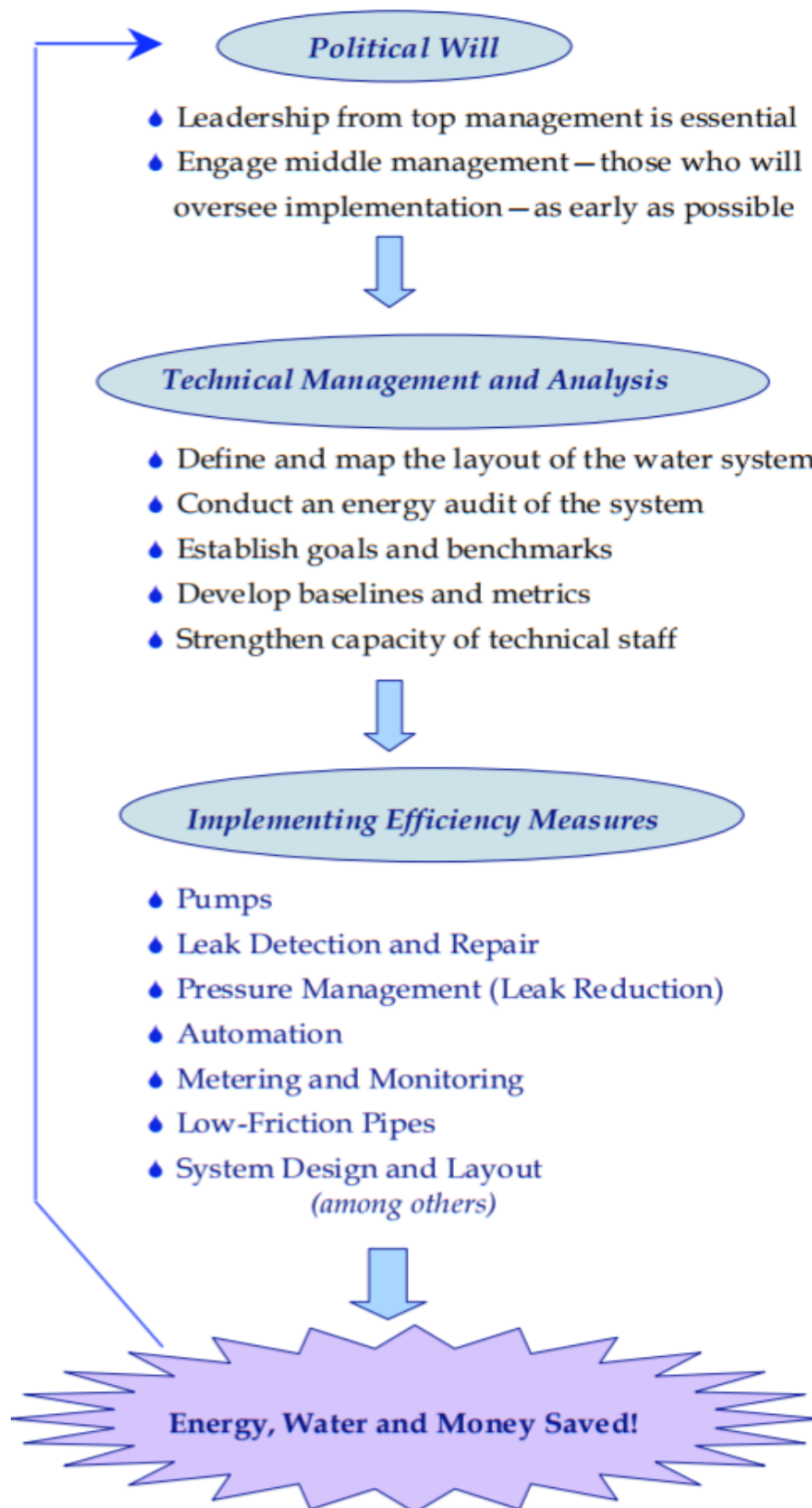
- و بالعکس میرساند. مصرف بیشتر برق برای بازیابی فاضلاب در سیستم جهت کاهش مصرف منابع آب تازه و به کارگیری منابع نامتعارف آب، نمونه‌ای از این جایگزینی است.
- بهینه‌سازی همزمان آب و انرژی در سیستم : در سیستم واترژنی بهینه‌سازی مصرف در زیر سیستم انرژی، موجب صرفه‌جویی در مصرف آب سیستم می‌شود و بالعکس.
  - ارتباط آب و انرژی در بخش خدمات خروجی از سیستم : در سیستم واترژنی در آخرین لایه سیستم (بخش تقاضا، تولید محصول یا خدمات و...) که هدف اصلی از ایجاد سیستم است، درحالی که محصول نهایی تولید می‌شود، این دو جریان به صورت خدمات آب و انرژی در کنار هم مصرف می‌شوند که خروجی مطلوب سیستم را ارائه دهند.

## ۲-۳. رویکردهای فنی و مدیریتی به پیوند آب و انرژی (Watergy) [۱]

تا جایی که شهرداری‌ها و شرکت‌های آب به کارایی در بخش آب فکر می‌کنند، اغلب به مدیریت جانبی تقاضا یا صرفه‌جویی پس از رسیدن آب به خواص مصرف‌کننده نهایی محدود می‌شود. همانطور که توسط مطالعات ارائه شده است، فرصت‌های بهره‌وری متعددی در مراحل مختلف قبل از رسیدن آب به مقصد نهایی آن وجود دارد. در تجربه اتحاد پیوند آب و انرژی برای صرفه‌جویی در انرژی، که به بیش از ۴۰ شرکت آب کمک کرده تا برنامه‌های واترژنی را اجرا کنند، هیچ دو پروژه واترژنی مشابه نیستند. شکل خاصی که یک پروژه واترژنی به خود خواهد گرفت به عوامل محلی بی‌شماری مانند کمبود آب، جغرافیا، ساختارهای تعرفه‌ای برای آب و برق، فرهنگ و نحوه مدیریت و مدیریت تامین آب بستگی دارد. با این حال، در طول سال‌ها، اتحادیه از تجربه عملی خود در تسهیل پروژه‌های واترژنی در سراسر جهان برای ایجاد یک رویکرد کلی برای ایجاد بهبودهای پایدار در بهره‌وری آب استفاده کرده است. این رویکرد در شکل (۵) نشان داده شده است و در این بخش سه مرحله در فرآیند - ایجاد اراده سیاسی، مدیریت فنی و تحلیل و اجرای اقدامات کارآیی - توضیح داده شده است.

### الف. ایجاد اراده سیاسی

تغییر پایدار در هر نهادی نیازمند اراده سیاسی در سطح مدیریت ارشد است. در زمینه بهره‌وری مصرف نهایی آب، یک کالای عمومی، اراده جامعه نیز می‌تواند برای موفقیت یا شکست تلاش برای بهبود بهره‌وری تامین آب یا تصفیه فاضلاب حیاتی باشد. این امر به ویژه زمانی صادق است که از مصرف‌کنندگان خواسته می‌شود در نتیجه مداخله هزینه‌ها یا مسئولیت‌های اضافی را بر عهده بگیرند، اگرچه این امر به طور کلی برای بهبودهای متمرکز بر خود سیستم تامین آب صادق نخواهد بود.



شکل ۵. مراحل رویکرد واترژری (Watergry)



## ب. مدیریت فنی و تجزیه و تحلیل

اولین گام فنی به سمت یک سیستم کارآمد این است که اطمینان حاصل شود که طرح فیزیکی سیستم توزیع آب یا تصفیه فاضلاب به طور دقیق در هر دو شکل گرافیکی و به صورت توصیفی ثبت شده است. در حالت ایده‌آل، طرح سیستم در یک سیستم اطلاعات جغرافیایی وارد می‌شود و به پایگاه داده مهندسی و پایگاه داده اطلاعات صورتحساب برای سیستم پیوند می‌یابد. این سطح از پیچیدگی در همه مکان‌ها امکان‌پذیر نخواهد بود، اما در هر صورت نمی‌توان یک سیستم را به طور موثر مدیریت کرد مگر اینکه مرزهای آن مشخص شود و پارامترهای فنی و مکان همه اجزای آن توضیح داده شود. اگر سیستم به خوبی تعریف نشده باشد، یا طرح شماتیک موجود اخیراً به روز نشده باشد، می‌توان این کار را به عنوان بخشی از حسابرسی کارایی دقیق در سیستم انجام داد.

## ج. اجرای معیارهای کارایی

می‌توان بر چهار حوزه موثر مداخله برای بهبود بهره‌وری آب و فاضلاب در یک سیستم اشاره کرد :

- پمپاژ
- مدیریت نشت
- اتوماسیون سیستم
- اندازه‌گیری و نظارت

هدف، ارائه یک نمای کلی از رایج‌ترین مداخلات، به جای بررسی جزئیات عملیاتی در اجرای آن‌ها است. شکل (۶) تصویری از برخی اقدامات معمولی و انرژی (Watergy) را ارائه می‌دهد.

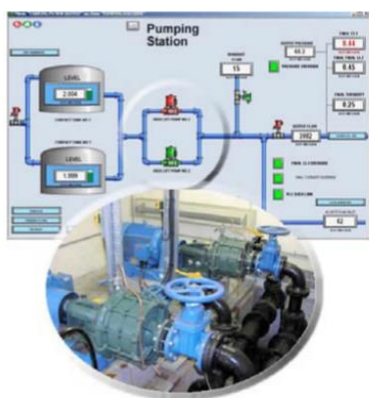


مدیریت نشت



اندازه‌گیری و نظارت

اتوماسیون سیستم



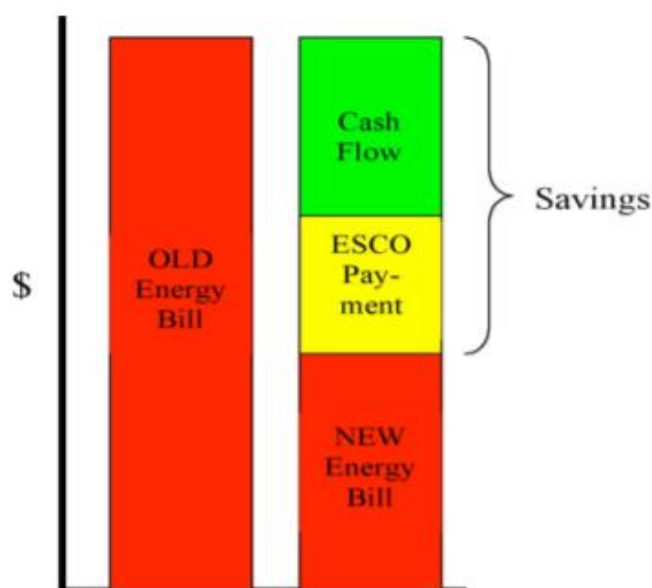
بهبود راندمان سیستم پمپ



شکل ۶. برخی از مداخلات و انرژی (Watergy)

## ۲-۴. تامین مالی واترژي با پيمانكار [۱]

در حالی که راه‌های زیادی برای تامین مالی پروژه‌های بهره‌وری انرژی وجود دارد، در مورد مؤسسات عمومی یا آن‌هایی که در خدمت منافع عمومی هستند، قرارداد عملکرد در بسیاری از کشورها رایج شده است. زیرا کالاها و خدمات مرتبط با پروژه از پس‌اندازهای حاصل از آن پرداخت می‌شوند. این به شهرداری این امکان را می‌دهد تا بدون نیاز به هزینه‌های اولیه، بهبودها را تامین مالی کند. قراردادهای اجرا با قراردادهای سنتی متفاوت است زیرا شرکت طرف قرارداد بر اساس صرفه جویی واقعی حاصل از اجرای پروژه واترژي (Watergy)، به جای قیمت قرارداد ثابت (به شکل ۷ نگاه کنید) جبران می‌شود. قراردادهای عملکرد ذاتاً انعطاف‌پذیر هستند و می‌توانند به گونه‌ای ساختاردهی شوند که به بهترین نحو با نیازهای طرف‌های درگیر مطابقت داشته باشند.



شکل ۷. پرداخت قرارداد پروژه را از هزینه‌های کاهش یافته انرژی

## ۲-۵. دیدگاه‌های پیوند آب و انرژی [۲]

دیدگاه‌های مختلفی برای بررسی پیوند آب و انرژی وجود دارد که فرصت‌های متفاوتی را برای افزایش کارایی و کاهش اثرات زیست‌محیطی فراهم می‌کند. این ارتباط می‌تواند از دیدگاه‌های زیر مورد بررسی قرار گیرد:

- مصرف انرژی در زیرساخت‌های آب، که روی سیستم‌های عرضه آب تمرکز می‌کند.
  - مصرف آب در زیرساخت‌های انرژی، که روی نیروگاه‌های تولید انرژی تمرکز می‌کند.
- آب و انرژی به عنوان بخشی از سیستم شهری که به تحلیل کلی اثرات و تغییرات کلی سیستم در نظام عرضه و تقاضا آب و انرژی می‌پردازد. همچنین می‌توان مطالعات را از دیدگاه مقیاس طبقه‌بندی نمود. برخی از تحقیقات روی مصرف آب و انرژی یک فن‌آوری خاص یا مصرف نهایی متمرکز می‌شوند.



## ۲-۵-۱. مصرف انرژی در زیرساخت‌های آب [۱۱] و [۱۲] و [۱۳] و [۱۴] و [۱۵]

زنجیره تامین آب، مصرف آب و دفع فاضلاب در هر یک از مراحل خود انرژی مصرف می‌کند. این مراحل شامل برداشت، انتقال، تصفیه، توزیع، مصارف نهایی، جمع‌آوری و تصفیه فاضلاب می‌باشند. ارتباطات میان آب و انرژی شامل، انرژی مصرف شده جهت تامین آب مانند نمک‌زدایی، پمپاژ و استخراج آب زیرزمینی، انرژی مصرف شده جهت انتقال آب، انرژی مورد نیاز جهت تصفیه آب، پمپاژ با هدف توزیع آب، تقاضای انرژی در مصارف نهایی مانند آب گرم و دستگاه‌های مرتبط با آب، انرژی مورد نیاز جهت تصفیه فاضلاب و در نهایت انرژی بازیابی شده در هاضم‌های بی‌هوازی می‌باشد.

میزان مصرف انرژی در خدمات آب شهری به عواملی مانند توپوگرافی، فاصله از محل برداشت آب و تخلیه فاضلاب، کیفیت آب خام، فن‌آوری تصفیه و ضوابط بهداشتی محیطی بستگی دارد. مصرف انرژی در زیرساخت‌های آب توسط شماری از مولفین از دیدگاه تغییر اقلیم بررسی شده است. سیستم‌های آب در برابر تغییرات اقلیم آسیب‌پذیر هستند در حالی که به سبب مصرف انرژی تولید شده بر پایه سوخت‌های فسیلی، خود نیز به مسئله تغییر اقلیم دامن می‌زنند. فرآیندهای تصفیه بیوشیمیایی و مصرف مواد اولیه نیز بر حجم گازهای گلخانه‌ای می‌افزایند برداشت آب از منابع سطحی و زیرزمینی بدون استفاده از انرژی تقریباً غیر ممکن است. به منظور استفاده از منابع آب زیرزمینی، به ازای پمپاژ هر متر مکعب آب از عمق ۱۰۰ تا ۲۰۰ فوت به ۱۴ / ۰ تا ۲۴ / ۰ کیلووات ساعت انرژی مصرف می‌شود. انجام تصفیه‌های مر سوم بر روی آب برای تامین کیفیت شرب نیز چیزی در حدود ۳۶ / ۰ کیلووات ساعت انرژی مصرف می‌کند. تصفیه معمول منابع آب فقط در مناطقی قابل استفاده است که منابع آب سطحی و زیرزمینی کافی در دسترس باشد. اخیراً به دلیل رشد بیش از حد جمعیت و صنعتی شدن سریع، آب شیرین‌کن به عنوان جایگزینی برای پر کردن شکاف بین تقاضا و عرضه آب شیرین مورد استفاده قرار گرفته است. نمک زدایی یک روش تصفیه آب غیرمعارف است که برای بازیابی آب شیرین از آب‌های سطحی و زیرزمینی که دارای غلظت جامد محلول‌اند، استفاده می‌شود. در اوایل دهه ۱۹۵۰، نمک زدایی به طور عمده توسط فن‌آوری‌های نمک زدایی حرارتی مانند آب شیرین‌کن چند مرحله‌ای، تبخیر چند منظوره و فشرده‌سازی بخار مکانیکی انجام می‌شد که مقادیر زیادی از انرژی حرارتی را مصرف می‌کردند. با پیشرفت تکنولوژی اسمز معکوس، این فناوری در مقایسه با فناوری‌های آب شیرین‌کن حرارتی مقبولیت بیشتری کسب نموده و اکنون یک فناوری پیشرو در صنعت آب شیرین‌کن در سراسر جهان چه در کاربردهای کوچک و چه در مقادیر بزرگ است.

## ۲-۵-۲. مصرف آب در زیرساخت‌های انرژی [۱۶] و [۱۷] و [۱۸] و [۱۹]

امنیت انرژی در جهان به دسترسی آب وابسته می‌باشد. زیرا تقریباً تمامی فن‌آوری‌های تولید انرژی مانند هسته‌ای، حرارتی و برق‌آبی نیازمند مقدار زیاد آب هستند. آب در تمامی مراحل تولید انرژی مانند استخراج، پالایش و فرآوری سوخت‌های فسیلی، تولید نیروی برق، انتقال و ذخیره مورد نیاز است. تغییر و اصلاح زیرساخت‌های انرژی به کاهش انتشار کربن و نیز کاهش مصرف آب کمک شایانی می‌کند. به عنوان مثال در چین با جایگزینی فن‌آوری‌های تولید برق کم کربن و استفاده از منابع تجدیدپذیر می‌توان بیش از ۷۹ درصد از کل انتشار کربن و ۵۰ درصد از مصرف آب را به ازای هر کیلووات ساعت تولید برق، کاهش داد. همچنین انرژی مورد استفاده در صنایع تولیدی منجر به مصرف مقادیر زیادی آب می‌شود که عموماً به دلیل کمبود

داده از آن صرف نظر می‌شود. به عنوان مثال مقدار آب مورد نیاز جهت تولید بخار مورد نیاز در صنایع تولیدی ایالات متحده آمریکا تقریباً برابر ۱,۳۴ میلیون مترمکعب در سال می‌باشد که حدوداً با مصرف خانگی شهر لس آنجلس برابر است.

منابع انرژی فسیلی را می‌توان به دو نوع منابع متعارف و غیرمتعارف تقسیم‌بندی نمود. برداشت از منابع متعارف، با روش‌ها و فناوری‌های مرسوم امکان‌پذیر است ولی برداشت از منابع نامتعارف نیازمند فناوری‌های پیشرفته‌تری است و در نتیجه، هزینه بهره‌برداری از آن‌ها نیز بالاتر است. منابع نامتعارف امروزی ممکن است، چند سال دیگر در اثر پیشرفت فناوری دیگر نامتعارف محسوب نشوند. به عنوان مثال از منابع متعارف گاز طبیعی، گازهای همراه نفت خام (فلر) و گازهای غیرهمراه (دارای منابع مستقل و عموماً از جنس متان) و از منابع غیرمتعارف گاز طبیعی مانند منابع گاز شیل، متان همراه ذغال‌سنگ، گازهای واقع در اعماق بسیار زیاد و هیدرات‌های گازی را می‌توان نام برد.

میزان مصرف آب در نیروگاه‌ها به تکنولوژی تولید برق (نوع نیروگاه)، نوع فرآیندهای کمکی از جمله سیستم خنک‌کاری و نوع سوخت وابسته است. مصرف آب در نیروگاه‌های گازی و سوخت سبک نسبت به نیروگاه‌های با سوخت سنگین کمتر است، زیرا هیچ‌گونه تصفیه سوخت لازم نیست. اصلی‌ترین روش‌های خنک‌کننده در نیروگاه‌های تولید برق، خنک‌کننده یک‌بارگذر، خنک‌کننده برج (تر و خشک) و خنک‌کننده رادیاتور حلقه بسته است.

رشد روزافزون جمعیت و توسعه صنعتی سبب افزایش تقاضای الکتریسته و مصرف آب شده است. از طرفی، تغییرات آب و هوایی می‌تواند بر روی مقدار آب تجدیدپذیر در دسترس مؤثر باشند. تولید الکتریسته و آب به شدت به یکدیگر وابسته هستند. آب در دیگ بخار چرخه رانکین 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 به عنوان سیال عامل در چرخه بسته درون نیروگاه حرکت می‌نماید. بخار درون چگالنده‌های نیروی بخار، توسط سامانه خنک‌کاری باز یا بسته خنک می‌شوند. تشکیل لجن‌ها، در چرخه بخار سبب می‌شود بخشی از آب به صورت جریان دور ریز از چرخه خارج شود. علاوه بر این معمولاً مقداری بخار به صورت نشتی تلف می‌شود. مقدار عمده برداشت و مصرف آب در صنعت برق در سامانه خنک‌کاری نیروگاه‌ها است. هر چقدر بازده حرارتی نیروگاه بیشتر باشد، نیاز به خنک‌کاری در آن کاهش می‌یابد. لذا برداشت و مصرف آب کاهش خواهد یافت.

## ۲-۶. اهمیت آب و انرژی در صنعت [۲۰]

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 به عنوان ماده اولیه استفاده 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 به صورت مستقیم در شاخص آب مجازی در صنعت تولید مواد و انرژی تأثیر می‌گذارند. علاوه بر این 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 به کار 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.

## ۷-۲. پیوند آب، انرژی در صنعت تولید برق [۲۰]

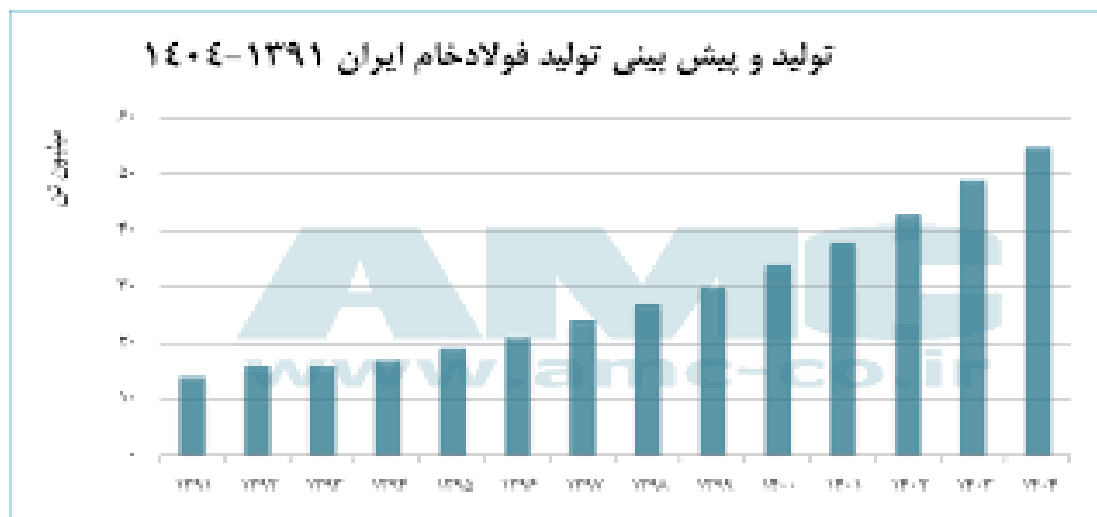
رشد روزافزون جمعیت و توسعه صنعتی سبب افزایش تقاضای الکتریسته و افزایش مصرف آب شده است. از طرفی، تغییرات آب و هوایی می‌تواند بر روی مقدار آب تجدیدپذیر در دسترس مؤثر باشند. تولید الکتریسته و آب به شدت به یکدیگر وابسته هستند. آب در دیگ بخار چرخه رانکین در نیروگاه‌های بخار، به بخار با دمای تقریبی ۵۰۰ درجه 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 به عنوان 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 به صورت جریان دور ریز از چرخه خارج شود. علاوه بر این، معمولاً مقداری بخار به صورت نشتی تلف می‌شود. کلیه اتلاف‌ها با آب جربانی جایگزین می‌شود. این مقدار آب در مقایسه با آب نیروگاه‌های متداول در آمریکا برابر  $0.2 \text{ m}^3/\text{MWh}$  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 خنک‌کاری تر به مراتب از سامانه خنک‌کاری یک بار گذر کمتر است. در حالی که مقدار مصرف آب در سامانه خنک‌کاری تر بیشتر است. در سامانه خنک‌کاری استخری برداشت آب کم است. اما مصرف آب به دلیل تبخیر سطحی حتی از سامانه خنک‌کاری تر بیشتر است. در سامانه‌های خنک‌کاری نظیر برج‌های خنک‌کننده تر و استخری، حجم زیادی از آب به صورت بخار تلف می‌شود. 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 خنک‌کاری 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 بالا است، به تدریج از مدار تولید خارج شوند.

## ۲-۸. پیوند آب، انرژی در صنعت فولاد [۱۰]

صنعت فولاد، صنعتی به شدت انرژی‌بر و همچنین به شدت آب‌بر است. در ایران، تولیدکننده‌های بزرگ فولاد در مناطق گرم و خشک قرار گرفته‌اند که اهمیت بررسی یکپارچه آب و انرژی را بیش از پیش کرده است.

آب و انرژی، جریان‌های حیاتی در سیستم‌های مختلف از جمله صنعت فولاد هستند. صنعت فولاد با مصرف بالای آب در واحدهای گندله‌سازی، احیای مستقیم، کوره قوس و نورد، یکی از صنایع تأثیرپذیر از محدودیت منابع آب است. در سالهای اخیر شرکت‌های فولادسازی کشور به شکل‌های مختلف با چالش کمبود آب مواجه بوده‌اند (خاموش شدن نیروگاه‌های بخار تولید برق در کارخانه ذوب آهن اصفهان یا سایر کارخانه‌های فولاد در تابستان، به علت نبود دسترسی کافی به آب نمونه‌ای از این چالش‌هاست). بر اساس اطلاعات و آمار ترازنامه انرژی کشور، صنعت آهن و فولاد، از انرژی برترن صنایع کشور (البته بدون احتساب نیروگاه‌ها و پالایشگاه‌ها که از جامل‌های انرژی به عنوان خوراک استفاده می‌کنند). صنعت فولاد در ایران حدود ۶/۵ مترمکعب آب به‌ازای تولید هر تن فولاد مصرف می‌کند. از این‌رو اکنون با اهمیت روزافزون موضوع آب، صنعت به شدت آب‌بر معرفی شده است. همچنین تولید هر تن فولاد از سنگ معدن تا مرحله نهایی تولید، حدود ۵۲۰ مترمکعب گاز و حدود ۹۸۰ کیلووات ساعت برق به روش احیای مستقیم مصرف می‌کند. کشور ایران در منطقه گرم و خشک خاورمیانه قرار گرفته که با مشکل جدی محدودیت دسترسی به منابع آب مواجه است. کارخانه‌های تولید فولاد در دنیا اغلب در کنار آب‌های آزاد بنا نهاده شده‌اند اما در ایران دو تولیدکننده بزرگ فولاد کشور (شرکت فولاد مبارکه با تولید سالانه حدود ۵/۵ میلیون تن فولاد و شرکت ذوب آهن اصفهان با تولید حدود ۲/۵ میلیون تن در سال) در منطقه گرم و خشک مرکزی ایران قرار گرفته‌اند. این دو شرکت در مجموع حدود ۴۰٪ از تولید فولاد ایران را به خود اختصاص داده‌اند. در سال‌های اخیر در برخی فصول گرم سال به دلیل کمبود منابع آب در این مناطق، این کارخانه‌ها زیر ظرفیت کار می‌کنند که ضرر بسیاری برای آنها به همراه دارد. بر اساس برنامه راهبردی وزارت صنعت، معدن و تجارت کشور، ایران برنامه تولید ۵۵ میلیون تن فولاد را برای سال ۱۴۰۴ هدف گذاری کرده است بر این اساس با محاسباتی کلی بر اساس داده‌های طرح جامع فولاد، برای دستیابی به این هدف، ایران نیازمند حدود ۲۹۵ میلیون مترمکعب مصرف آب و افزایش ظرفیت نیروگاه‌های کشور به میزان ۵۶۳۰ مگاوات و انشعاب گاز به ظرفیت ۱۸۰۰۰ میلیون مترمکعب در سال است. این در حالی است که در نیروگاه‌ها نیز به ازای تولید هر مگاوات ساعت برق حدود ۲/۸ مترمکعب آب در سیکل خنک‌کننده‌تر استفاده می‌شود (نمودار ۱).



نمودار ۱. پرداخت قرارداد پروژه را از هزینه‌های کاهش یافته انرژی

## ۲-۹. پیوند آب، انرژی و غذا [۲۹]

با توسعه صنعتی شدن جوامع، استفاده روزافزون از انرژی بر پایه تولید و مصرف سوخت‌های فسیلی سبب تغییرات اقلیمی، گرمایش جهانی، عدم امنیت در عرضه انرژی، انحراف از اکوسیستم محلی و آلودگی‌های زیست محیطی شده است. استفاده از انرژی برای تولید، حمل و نقل و توزیع غذا و نیز استحصال، پمپاژ، جمع‌آوری و تصفیه آب مورد نیاز روز به روز در حال افزایش است. در جهان امروز، پیوند آب، انرژی و غذا به عنوان یک هم‌پیوندی اقتصادی - اجتماعی با ابعاد مختلف، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. به‌طوری که نیاز روزافزون به این کالای اقتصادی - اجتماعی در همه ابعاد زندگی بشر باعث شده است تا این مجموعه به عنوان کالایی نادر و کمیاب در دسترس جوامع محدودتری دارند قرار بگیرد. این مهم در مناطقی با اقلیم خشک و نیمه‌خشک که منابع آب تجدید پذیر و بیش‌تر نمود پیدا کرده و ضرورت تأمین امنیت آب را به عنوان زنجیره آغازین این مجموعه بیش از پیش آشکار کرده است. پیش‌بینی‌های جهانی نشان می‌دهد، با توجه به رشد جمعیت، توسعه اقتصادی، پیشرفت فناوری، توسعه شهرنشینی تقاضای روبه رشد برای غذا و رژیم‌های متنوع غذایی، تغییرات اقلیم، تخریب منابع و کمبود آب، تقاضا برای آب شیرین، انرژی و غذا در دهه‌های آینده افزایش خواهد یافت که موجب افزایش فشار بر این سه بخش و افزایش اهمیت پیوند آب - انرژی - غذا خواهد شد. نکته مهم در رابطه امنیت آب، امنیت غذا و امنیت انرژی آن است که این چرخه از آب شروع شده و با به‌کارگیری انرژی جهت تولید، در نهایت به غذا ختم خواهد گردید. اما افزایش مساحت مناطق شهری و مسکونی از یک سو و همچنین افزایش بخش‌های حمل‌ونقل، تجاری، صنعتی و کشاورزی از سوی دیگر علاوه بر نیاز به مصرف انرژی، نیاز این بخش‌ها به آب و تأمین امنیت آب را نیز به طور چشمگیری افزایش داده است. در نتیجه بایستی لزوم به‌کارگیری هرچه کاراتر آب و انرژی مورد توجه قرار گیرد. از سوی دیگر بحث آبرسانی غیرقابل پیش‌بینی بوده و به عنوان یک چالش جدی در رابطه امنیت آب، امنیت غذا و امنیت انرژی مطرح است.

رویکرد پیوند آب، انرژی و غذا یک چشم انداز کلی از پایداری است که تلاش می‌کند تا تعادل میان اهداف مختلف، منافع و نیازهای مردم و محیط زیست را بر اساس کمی‌سازی روابط آب، انرژی و غذا از طریق مدل سازی‌های کیفی و کمی و همچنین پیشبرد تحقیقات برای مدل سازی یکپارچه و مدیریت برای ارائه استراتژی‌های مهم توسعه پایدار در جهان پویا و پیچیده امروز را برقرار سازد. رابطه آب، غذا و انرژی، در صورتی که منجر به تولید محصول نهایی گردد، ممکن است مسئله ضایعات حاصل از مصرف محصولات کشاورزی تولید شده را در خود داشته باشد. به گونه‌ای که بخش اعظمی از محصولات کشاورزی تولید شده به ویژه در کشورهای در حال توسعه پس از مصرف به پسماند و دورریز تبدیل خواهند گردید که نه تنها امکان مصرف مجدد نخواهند داشت بلکه امکان بهره‌برداری مجدد از آن‌ها در فرآیند تولیدی نیز وجود نخواهد داشت. بنابراین طبق جدول (۲) در هم‌پیوندی میان آب، غذا و انرژی، محصول نهایی که با صرف مقادیر زیادی آب و انرژی تولید شده است به پسماندی بی‌ارزش تبدیل خواهد گردید که این مسئله لزوم توجه در تولید محصول متناسب با نیاز جوامع را مشخص می‌سازد.

جدول ۲. پیوند امنیت آب - انرژی - غذا

امنیت آب	امنیت انرژی	امنیت غذا
موجود بودن آب	عرضه انرژی برای تامین تقاضا	موجود بودن غذا
سلامت آب	در دسترس بودن فیزیکی عرضه	قابلیت در دسترس بودن غذا
مقرون به صرفه بودن آب	تامین تقاضا با نرخ پایدار	بهره برداری از غذا

## ۲-۱۰. ماهیت پیوند آب و انرژی [۲]

با توجه به مطالب عنوان شده از هر دو دیدگاه مصرف انرژی در زیرساخت‌های آب و مصرف آب در زیرساخت‌های انرژی در می‌یابیم که آب و انرژی دارای پیوندی عمیق و ناگسستنی هستند. با افزایش فشارهای ناشی از خشکسالی، تغییر اقلیم، تغییر در صنعت و افزایش تقاضا، تعامل بین بخش‌های آب و انرژی تشدید شده و پیامدهای ناشی از پیوند آب و انرژی محسوس‌تر می‌شود. پیوند آب و انرژی ماهیتی چند بعدی دارد و به ابعاد زیست‌محیطی، فن‌آوری، سیاسی، اقتصادی و اجتماعی طبقه‌بندی می‌شوند.

آب و انرژی از حضور در محیط زیست طبیعی تا مصرف نهایی با یکدیگر ارتباط دارند. این ارتباط به دو شکل مستقیم و غیرمستقیم می‌باشد. ارتباط مستقیم مصرف مستقیم آب یا انرژی در تولید آب یا انرژی است. اما ارتباط غیرمستقیم دربردارنده مصرف غیرمستقیم آب یا انرژی برای فراهم آوردن مواد و خدمات طی بهره‌برداری و نگهداری سیستم‌های آبی یا تولید انرژی است. ارتباط مستقیم آب و انرژی را در سه بخش تولید بالادستی (دریافت آب و انرژی از طبیعت)، بخش انتقالی و توزیع (پایین‌دستی) توصیف می‌کند. در بخش اول، ارتباط آب و انرژی در تأمین انرژی، تأمین آب به طور عمده و نمک‌زدایی منابع آب شور و غیره دیده می‌شود. در بخش دوم یا بخش انتقالی این ارتباط در انتقال و توزیع انرژی، انتقال و توزیع آب،

جمع‌آوری پساب و غیره است. در بخش سوم یا بخش نزدیک‌تر به مصرف‌کننده نهایی، می‌توان این ارتباط را در تأمین آب و انرژی برای خرده‌مصرف‌کنندگان، تصفیه فاضلاب، پساب و غیره دید. به غیر از ارتباطی که در هر بخش بین آب و انرژی وجود دارد، بین دو کلاس یا دو بخش نیز ممکن است این ارتباط به وجود آید، به عنوان مثال، آب بازچرخانده شده در بخش مصرف، به منظور سردکننده در نیروگاه تولید انرژی که در بالادست قرار دارد استفاده شود. ارتباط درونی و ذاتی بین دو بخش، همبست نامیده می‌شود.

با وجود ارتباط بسیار بین بخش آب و انرژی، این دو بخش به صورت جداگانه قانون‌بندی و مدیریت می‌شوند. در بیشتر مواقع حکومت‌ها و شرکت‌های خصوصی برای تأمین آب در آینده، با فرض اینکه انرژی اجرای کار موجود باشد و یا در بخش تولید انرژی، با فرض موجود بودن آبی که هر لحظه مقدار آن متغیر است، برنامه‌ریزی می‌کنند، غافل از اینکه این دو بخش اثر شدیدی بر یکدیگر دارند و در بعضی مناطق فشار بر روی یک بخش، سبب فشار بر بخش دیگر خواهد شد. آسیب‌پذیری ارتباط آب و انرژی در ترکیب با رشد جمعیت، که سبب افزایش تقاضا برای آب و انرژی میشود (به ویژه در کشورهای در حال توسعه) و تغییر اقلیم که سبب دوره‌های طولانی مدت خشکسالی و وخیم‌تر شدن مسأله کمبود آب می‌شود، اهمیت بیشتری پیدا کرده است. بنابراین، مهم خواهد بود که در برنامه‌ریزی‌ها، سیاست‌ها و تصمیم‌گیری‌های کلان که بر پایه تحقیقات می‌باشد، به هر دو جنبه ارتباط آب و انرژی دقت شود. تولید آب شیرین با هدف کاربرد در بخش‌های شرب، کشاورزی و صنعت از طریق نمک‌زدایی آب شور دریا و یا آب‌های لب‌شور چندسالی است به یکی از منابع آب در برخی کشورها و از جمله ایران تبدیل شده‌است. نوار ساحلی جنوب کشور به لحاظ نزدیکی به دریاهای آزاد و در دسترس بودن آب شور دریا مورد توجه بسیاری از سیاست‌گذاران بخش آب قرار گرفته است. بنابر آمار و اطلاعات سازمان برنامه و بودجه، میزان آب استحصال از آب شیرین‌کن‌ها در استان هرمزگان در حال افزایش است. همچنین، بر اساس برنامه ششم توسعه مصوب اسفندماه سال ۱۳۰۵، دولت مکلف است حداقل ۳۹ درصد آب آشامیدنی مناطق جنوبی کشور را از طریق شیرین کردن آب دریا تا پایان اجرای قانون برنامه تأمین نماید. تأسیسات نمک‌زدایی در بسیاری موارد بدون در نظر گرفتن ملاحظات زیست محیطی، فنی و اقتصادی، و اجتماعی به سرعت در این منطقه جایابی و ساخته شده و بر وضعیت تأمین آب منطقه تأثیر می‌گذارد. هزینه عمده در واحد صنعتی نمک‌زدایی چه در مرحله تولید آب شیرین و در مرحله چاره‌جویی برای شوراب حاصل شده مربوط به مصرف انرژی است. این انرژی به صورت الکتریکی و ترموالکتریک از نیروگاه‌ها قابل تأمین است.

## ۲-۱۰-۱. ماهیت زیست‌محیطی [۲۱] و [۲۲]

جنبه زیست‌محیطی نقطه شروع بحث در خصوص ماهیت پیوند آب و انرژی است. زیرا محیط‌زیست سرمنشا منابع آب و انرژی است. بنابراین جنبه زیست‌محیطی، پس‌زمینه‌ای را برای بسیاری از این ارتباطات فراهم می‌کند. اولین بعد زیست‌محیطی، تغییر اقلیم است که به سبب انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از فعالیت‌های انسانی رو به افزایش است. یکی از دلایل اصلی تغییر اقلیم احتراق سوخت‌های فسیلی جهت تولید برق می‌باشد. تغییر اقلیم عدم قطعیت زیادی را برای آینده پشتوانه آب ایجاد می‌کند که بر امنیت درازمدت آب و انرژی تاثیرگذار خواهد بود. همچنین سیاست‌های کاهش تغییر اقلیم نظیر جنگل‌کاری مرتبط با تولیدات برق، می‌تواند سبب افزایش اثرات آبی در صنعت برق شود. خشکسالی دومین جنبه زیست‌محیطی

و دلیل اصلی تمرکز بر ارتباط بین آب و انرژی در سال‌های اخیر می‌باشد. اگر چه ایران کشوری مستعد خشکسالی می‌باشد، در توسعه زیرساخت‌ها و مصرف آب و انرژی به مقادیر محدود این منابع طبیعی، خصوصاً آب، توجهی نمی‌شود.

اکوسیستم‌ها به منظور ادامه حیات به آب احتیاج دارند که به سبب خشکسالی، سهم آب اکوسیستم‌ها کم شده است و به سبب تغییرات اقلیم از این مقدار نیز کمتر خواهد شد. همچنین افزایش تقاضای آب و انرژی سبب انتشار بیشتر گازهای گلخانه‌ای شده است.

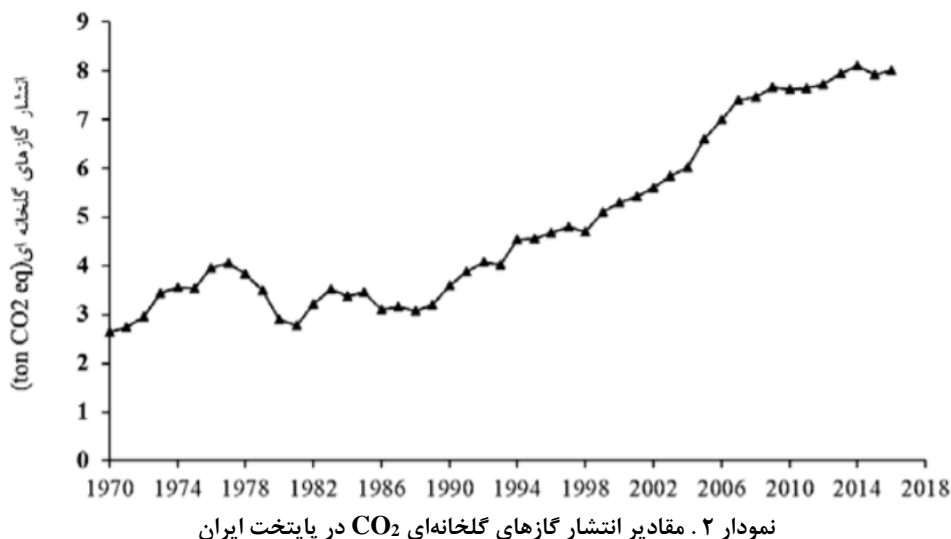
صنعت آب به شیوه‌های مختلفی مانند منابع جایگزین تامین آب، به کارگیری سیستم‌های پیشرفته تصفیه فاضلاب جهت بازچرخانی آب، ساخت سیستم‌های نمک‌زدایی و استفاده از فن‌آوری‌های دارای مصرف آب کمتر به این خشکسالی پاسخ می‌دهند. برخی از این اقدامات به صورت غیرقابل اجتنابی سبب افزایش مصرف برق می‌شوند که خود سبب افزایش انتشار کربن می‌شود و در نهایت به تغییر اقلیم دامن خواهد زد. با کاهش منابع آب، تضادها و توافق‌ها بین مصرف‌کنندگان افزایش می‌یابد. این مصرف‌کنندگان شامل صنایع آب، صنایع برق، بخش کشاورزی و محیط‌زیست می‌باشند که هر یک برای آب مطالبه قانونی، مشروع و حیاتی دارند. در زمان کمبود آب، خواسته یا ناخواسته یک اولویت‌بندی بین مصرف‌کنندگان در بخش‌های مختلف انجام می‌شود. تا به امروز این گونه بوده است که قربانی کردن طبیعت به عنوان ساده‌ترین راه انتخاب شده است.

زیرا قطع تامین آب و برق پیامدهای سیاسی زیادی را به همراه خواهد داشت. بنابراین لازم است برای جلوگیری از چنین رویدادهایی، پیشتر راهکارهای مناسب جهت حفاظت از آب و انرژی اتخاذ گردد. سیاست‌گذاری برای حفاظت از محیط‌زیست می‌تواند به ایجاد عدم تعادل آب و انرژی در جای دیگری منجر شود. به عنوان مثال، کنترل‌های سخت‌گیرانه زیست‌محیطی جهت ارتقا سلامت اکوسیستم‌ها نیازمند افزایش کیفیت تصفیه جریان خروجی پیش از تخلیه است که تصفیه‌های پیشرفته و پرمصرف‌تر از نظر انرژی را به دنبال خواهد داشت. در مقابل در فقدان فشارهای سیاسی و عدم اعمال ضوابط زیست‌محیطی، محیط‌زیست آسیب بیشتری می‌بیند و پیامدهای پیوند آب و انرژی حساس‌تر می‌گردد. به عنوان مثال در کشورهای در حال توسعه برداشت از آب زیرزمینی در مناطق روستایی تنظیم نمی‌شود و قیمت برق نیز بسیار پایین‌تر است که هر دو شرط فوق به مصرف بی‌رویه دامن می‌زند و منجر به آسیب بیشتر محیط‌زیست خواهد شد. در مناطق شهری که قیمت برق بالاتر است و صنایع نیازمند تصفیه فاضلاب خروجی هستند، عدم نظارت و فقدان فشار سیاسی به تخلیه فاضلاب تصفیه نشده به محیط سبب کاهش سلامت اکوسیستم می‌شود.

در طول چند دهه گذشته، تغییرات اقلیمی ناشی از افزایش مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای به یکی از نگرانی‌های زیست‌محیطی تبدیل شده است، به طوری که در حوضه مدیریت منابع آب، بررسی پدیده تغییر اقلیم و وضعیت زیست‌محیطی یکی از چالش‌های اصلی در مدیریت پایدار شده است. بسیاری از دانشمندان معتقدند که افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای به طور قابل توجهی باعث گرم شدن جهانی و تغییر اقلیم می‌شود. تغییرات اقلیمی ناشی از افزایش گازهای گلخانه‌ای باعث تغییراتی در دمای هوا، رژیم بارش، سرعت باد و تابش ورودی به سطح زمین می‌شود. با توجه به آمار سال ۲۰۱۵، در یک رتبه‌بندی جهانی، ایران هشتمین کشور در تولید گازهای گلخانه‌ای است. بر اساس بررسی‌های انجام شده در



پایتخت ایران، مقدار انتشار گازهای گلخانه‌ای به صورت نمودار (۲) آورده شده است. در این نمودار، مقادیر انتشار گازهای گلخانه‌ای در سال‌های ۲۰۱۷ و ۲۰۰۷، ۱۹۹۷، به ترتیب ۴,۷۹ ton CO<sub>2</sub> eq و ۶,۹۲ و ۸ تخمین زده شده است که بیانگر افزایش ۴۵ درصدی در دهه ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۷ و افزایش ۱۵/۶ درصدی در دهه ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۷ است.



بر این اساس، توافقی‌نامه پاریس ۲۰۱۵ با هدف کاهش سریع انتشار گازهای گلخانه‌ای در جهان تصویب شد که ایران نیز با امضای این توافق‌نامه، کاهش ۱/۳ درصدی گازهای گلخانه‌ای را تعهد کرده است. برای رسیدن به این هدف در کشور، لازم است منابع انتشار گازهای گلخانه‌ای به دقت بررسی شود. یکی از منابع انتشار گازهای گلخانه‌ای، مصرف انرژی برای تخصیص آب در بخش‌های مختلف مصارف است. در دهه‌های اخیر، با افزایش جمعیت و توسعه صنعت، مصارف شرب، صنعت و کشاورزی به شدت افزایش یافته است. بنابراین در دسترس بودن منابع آب کافی برای تأمین این مصارف دارای اهمیت زیادی است. علاوه بر این، با توجه به اینکه منابع آب مورد استفاده در فعالیت‌های مختلف، نیاز به مصرف انرژی دارد، مصرف انرژی در بسیاری از نقاط جهان افزایش یافته است. در نقاط مختلف دنیا، رابطه بین آب و انرژی به ویژه مصرف انرژی در آب توجه زیادی را به خود جلب کرده است به طوری که در بسیاری از مطالعات اخیر، اهمیت انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از مصرف انرژی در بخش آب تأکید شده است. به عنوان مثال در ایالت متحده آمریکا، پنج درصد از کل انتشار گازهای گلخانه‌ای مربوط به استفاده از انرژی در بخش آب است که این مقدار در بسیاری از کشورها به مراتب بیشتر است.

امروزه، با توجه اینکه در بسیاری از کشورها قوانین جدیدی برای پایش انتشار گازهای گلخانه‌ای در بخش آب وضع شده است، اما همچنان این مسئله، یکی از نگرانی‌هایی است که در حال افزایش است. فردریچ و همکاران، مصرف انرژی در صنعت آب را با استفاده از روش ارزیابی چرخه زندگی بررسی کردند، نتایج بررسی‌های آن‌ها نشان داد که بیشترین مصرف انرژی در بخش پمپاژ آب به وقوع می‌پیوندد. بنابراین در مدیریت تقاضای آب، مقدار مصرف انرژی در استخراج آب‌های زیرزمینی قابل توجه است، به طوری که در ایالات متحده آمریکا تقریباً یک تا دو درصد از کل برق تولیدی صرف استخراج آب‌های زیرزمینی می‌شود. همچنین، ولف و همکاران، مقدار انرژی موردنیاز برای

استخراج هـ-ر میلی-ون گ-الن آب زیرزمین-ی در کالیفرنیا- را ۵۴،۰ - ۲،۳ مگاوات ساعت برآورد کردند. انرژی مورد نیاز برای استخراج آب‌های زیرزمینی از اعماق زمین، معمولاً از طریق الکتریسیته یا سوخت‌های دیزلی تأمین می‌شود. سوخت‌های دیزلی از گذشته تا به امروز، یکی از منابع مهم انرژی در موتورپمپ‌ها، برای پمپاژ آب‌های زیرزمینی بوده است که نسبت به موتورپمپ‌های الکتریکی باعث انتشار قابل توجهی از گازهای گلخانه‌ای می‌شود. بنابراین، برداشت بی‌رویه از منابع آب‌های زیرزمینی علاوه بر احتمال شور شدن سفره‌های آب زیرزمینی در اثر پیشروی یا بالا آمدن آب شور و نشست زمین، باعث افزایش مصرف انرژی و به موازات آن افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای نیز می‌شود که در راستای مدیریت پایدار کشورها و کاهش میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای، سعی شده است پمپ‌های الکتریکی جایگزین پمپ‌های دیزلی شود. استفاده از پمپ‌های الکتریکی، علاوه بر کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی، باعث افزایش راندمان انرژی نیز می‌شود. در کشور ایران نیز شورای اقتصاد در سال ۱۳۹۳ با توجه به غالب بودن استفاده از سوخت‌های دیزلی در بخش کشاورزی، طرحی را با هدف کاهش مصرف دیزل و بهبود شرایط اقتصادی و زیست‌محیطی در چاه‌های کشاورزی به تصویب رساند که در این طرح، انرژی‌های تجدیدپذیر (خورشید و باد)، شبکه برق سراسری و موتورهای گازسوز جایگزین سوخت‌های دیزلی در چاه‌های کشاورزی خواهد شد. بررسی‌های آماری انجام شده در آبخوان‌های کشور بیانگر این مطلب است که با توجه به اجرایی شدن سیاست برقی کردن چاه‌ها، هنوز هم تعداد قابل توجهی از چاه‌های بهره‌برداری از آب زیرزمینی به صورت دیزلی هستند. برق مورد استفاده در موتور پمپ‌های الکتریکی معمولاً از طریق شبکه برق سراسری تأمین می‌شود. بنابراین، در مناطق دوردست که امکان اتصال به شبکه برق سراسری وجود ندارد، برقی کردن چاه‌ها با مشکل مواجه می‌شود. از طرفی، با توجه به اثرات منفی زیست‌محیطی استفاده از سوخت‌های فسیلی، پژوهشگران زیادی به استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر روی آوردند. برای پمپاژ آب می‌توان از چند منبع انرژی تجدیدپذیر استفاده کرد که انرژی فتوولتائیک خورشیدی یکی از این موارد است. در حال حاضر، با افزایش آگاهی‌ها درباره بحران‌های زیست‌محیطی و انرژی موجود در جهان، سیستم‌های پمپاژ انرژی خورشیدی توجه بسیاری از برنامه‌ریزان و قانون‌گذاران را به خود جلب کرده است. به طوری که در چند سال اخیر مطالعات زیادی در زمینه طراحی و توسعه سیستم‌های پمپاژ آب خورشیدی انجام شده است. این سیستم‌ها حتی در مناطقی با شرایط آب و هوایی برفی نیز قابل استفاده هستند.

## ۲-۱۰-۲. ماهیت فن‌آوری [۲۱] و [۹]

ماهیت فن‌آوری بیانگر ارتباطات فیزیکی بین آب و انرژی می‌باشد. در صنعت برق، فن‌آوری‌های تولید و منابع جایگزین انرژی مقادیر متفاوتی آب مصرف کرده و مقادیر متفاوتی از گازهای گلخانه‌ای را منتشر می‌سازند. مقدار آب مورد نیاز در انواع سیستم‌های خنک‌کننده نیز متفاوت است. در صنعت آب، فن‌آوری‌های تأمین منابع آب بسیار انرژی‌بر می‌باشند. فن‌آوری‌هایی نظیر نمک‌زدایی، بازچرخانی آب، انتقال آب و استخراج آب زیرزمینی، مصرف انرژی بالایی دارند. با کمتر شدن منابع آب در دسترس به سبب خشکسالی، قوانین و کنترل‌های سخت‌گیرانه‌تر و درازمدت تغییر اقلیم، استفاده از این فن‌آوری‌ها غیر قابل اجتناب می‌گردد. در

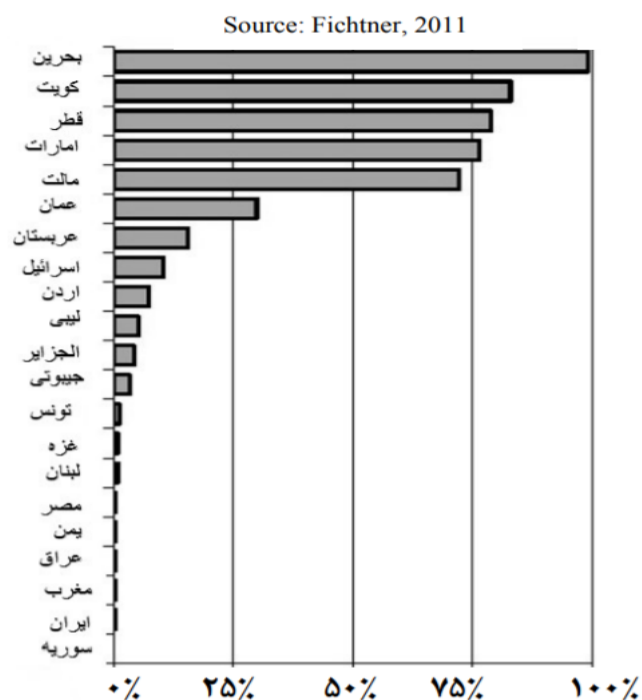
برخی شرایط سیستم‌های غیرمتمرکز مانند منابع ذخیره آب باران، وابستگی به منابع آب اصلی را کاهش می‌دهد، اما ممکن است سبب افزایش مصرف انرژی گردد. فن‌آوری‌های مورد استفاده برخی مشکلات مانند تشدید تغییرات اقلیم را به دنبال خواهد داشت. در راهکارهای کاهش تغییرات اقلیم و کاهش سایر مشکلات زیست‌محیطی که ممکن است به وجود آید، فن‌آوری از دو جهت حائز اهمیت است. در جوامع مدرن مهم است که انتخاب یک فن‌آوری سبب تقویت تامین و کاهش تقاضا گردد.

همچنین باید به این نکته توجه داشت که ممکن است یک سیستم با مصرف انرژی بهینه، آب بیشتری مصرف کند یا در مقابل یک سیستم با مصرف آب بهینه، انرژی بیشتری مصرف نماید. بنابراین هنگام استفاده از فن‌آوری‌های مختلف باید در نظر داشت که ترکیب فن‌آوری‌ها در هر دو صنعت چه تبعاتی می‌توانند به دنبال داشته باشند. گاهی تلاش در یک صنعت با تلاش در صنعت دیگر خنثی شده یا کمتر می‌شود. بنابراین اثر برآیند استفاده از ترکیب فن‌آوری‌ها بر مصرف آب و برق باید در هر دو صنعت در نظر گرفته شود.

امروزه پیامدهای تغییر اقلیم، افزایش روزافزون تقاضا و محدودیت منابع موجب شده موضوعات امنیت آب، امنیت انرژی و حفظ منابع زیست‌محیطی در تصمیم‌گیری‌های کلان اقتصادی و سیاسی، دارای اولویت استراتژیک و تعیین‌کننده‌ای باشند. آب در اکثر نقاط کره زمین در دسترس است اما در بیشتر نقاط، کمبود آب آشامیدنی مشاهده می‌شود. نیاز به آب با توجه به رشد روزافزون جمعیت، به سرعت در حال افزایش است و منابع آب شیرین موجود، نمی‌توانند همه نیازهای انسانی را برآورده سازند. شرایط خشکسالی به خصوص در سال‌های اخیر در مناطق مختلف ایران به ویژه جنوب کشور منجر به کاهش دسترسی به آب آشامیدنی شده است. در این مناطق اغلب آب شیرین به صورت جاری وجود نداشته و تأمین آب از طریق حفر چاه‌های بسیار عمیق امکان‌پذیر است. این موضوع علاوه بر هزینه‌های گزاف، مشکل غیربهداشتی و شور بودن آب‌های زیرزمینی را نیز در بردارد. از طرفی تأمین آب آشامیدنی از طریق انتقال آب از شهرهای بزرگ به مناطق محروم مشکلات دیگری شامل هزینه بالای انتقال و احداث شبکه آبرسانی دارد که این امر را غیراقتصادی می‌نماید.

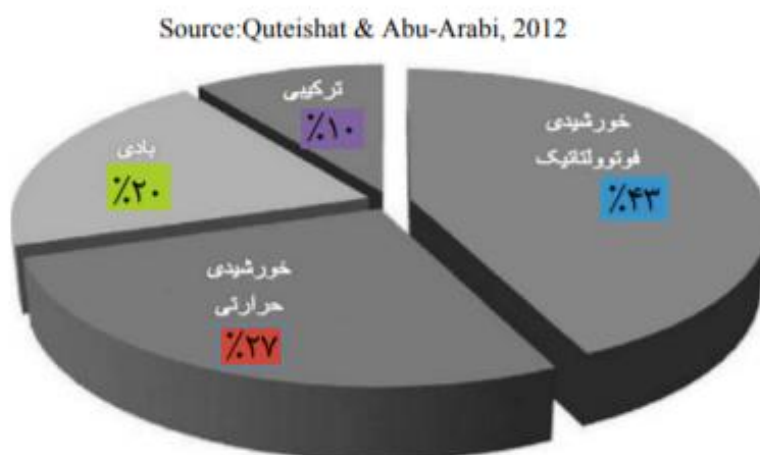
ازجمله تمهیدات کاهش و سازگاری با تغییر اقلیم تصفیه آب دریا یا آب زیرزمینی با استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر است که در سال‌های اخیر سرمایه‌گذاری‌های فراوانی در این زمینه صورت گرفته است. با وجود اینکه بیش از سه چهارم حجم آب شیرین‌سازی شده جهان در خاورمیانه تولید می‌شود، سهم کشور ما از این مقدار ناچیز است.

با توجه به بحران کم‌آبی، مشکلات استفاده از سوخت‌های فسیلی و پتانسیل موجود در زمینه انرژی‌های تجدیدپذیر، استفاده از سیاست‌های یکپارچه مدیریتی در مدیریت منابع جهت بهینه‌سازی و افزایش همزمان کارایی این دو منبع حیاتی، بیش از پیش ضروری می‌نماید. واقع شدن در ناحیه خاورمیانه، رقابت برای دستیابی به انرژی پاک جهت تأمین آب سالم و کاهش وابستگی به سوخت‌های زوال‌پذیر را دو چندان کرده است (نمودار ۳).



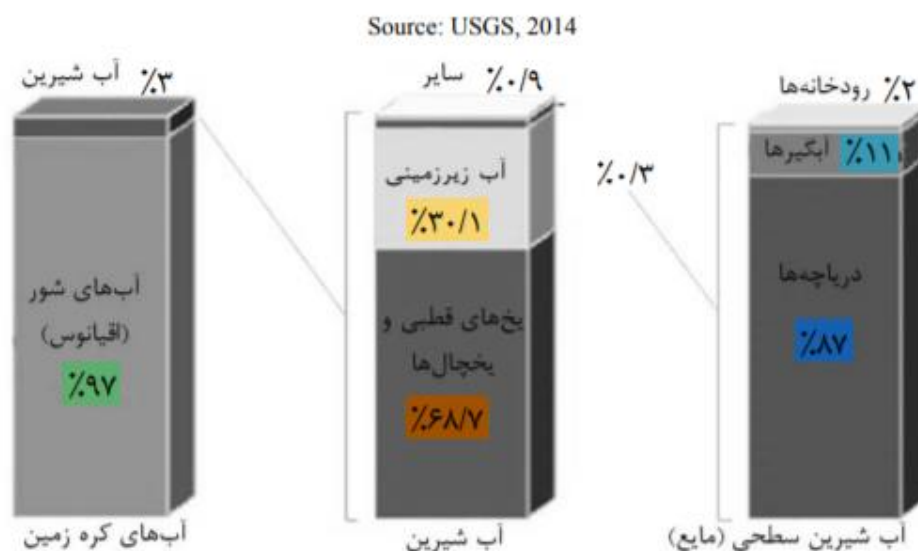
نمودار ۳. سهم نیاز آبی ملی تأمین‌شده با نمک‌زدایی برای کشورهای خاورمیانه

با توجه به شرایط اقلیمی ایران، وضعیت فعلی تأمین و مصرف آب و افزایش تقاضای آب شیرین به خصوص در مناطق جنوبی و مرکزی ایران، استفاده از فناوری‌های نوین برای تأمین آب از منابع آب شور و لب شور از ضروریات کشور است. نمک‌زدایی از آب‌های شور در مقایسه با استفاده مجدد از فاضلاب جهت تأمین آب نوشیدنی دارای مزیت نسبی است. هر چند عمده واحدهای رایج آب‌شیرین‌کن صنعتی که به طور وسیعی در نقاط مختلف استفاده می‌شوند، مصرف انرژی بالایی داشته و به طور مستقیم یا غیرمستقیم از سوخت‌های فسیلی بهره می‌برند. در حال حاضر در همه جا استفاده از این روش تأمین آب، اقتصادی نبوده و در کاربرد روش مذکور، بررسی و امکان‌سنجی گزینه‌های مختلف تأمین آب و انتخاب گزینه بهتر جهت تأمین آب شیرین ضروری است. با توجه به رشد سریع جمعیت، پراکنش نامناسب آب شیرین، بالا رفتن نیاز خانوارها، رابطه مستقیم آب سالم و سلامت فردی، ارتقای مقررات و استانداردهای زیست‌محیطی در مورد پساب میادین نفت و گاز، معادن و نیروگاه‌ها، پیشرفت‌های تکنولوژیکی و امکان ساخت نیروگاه‌های هیبرید تولید آب و انرژی و و از همه مهم‌تر، کاهش ذخایر آب‌های شیرین زیرزمینی و شور شدن این منابع، توسعه این روش نه تنها اقتصادی، بلکه سودآور نیز هست. شکل (۸) در صد نسبی کاربرد انرژی‌های غیرفسیلی در فناوری‌های امروزی نمک‌زدایی را نشان می‌دهد.



شکل ۸. توزیع کاربرد انواع انرژی‌های تجدیدپذیر در نمک‌زدایی

کمبود آب شیرین در دنیا به نحوی است که تنها ۲۰ درصد از جمعیت جهان به آب بهداشتی دسترسی دارند و بقیه از این نعمت بی‌بهره‌اند. همانطور که طبق شکل (۹) مشخص است عمده آب‌های موجود در زمین به صورت آب شور بوده یا دور از دسترس هستند. آب سطحی بیشترین سهم تأمین نیاز آب شیرین در کشور را داراست. در نواحی که نوسانات بارش زیاد است، سدهای بزرگ برای تأمین امنیت آبی بیشتر ساخته شده و در محوریت برنامه‌ریزی منابع آب قرار دارند. این درحالی است که خشکسالی‌های اخیر باعث شده ذخایر سدها بدون جایگزینی کاهش یافته و این امنیت منابع به خطر افتد.



شکل ۹. توزیع آب‌های موجود در زمین

بنابراین، با روند رو به رشد فشار کشورهای مختلف علاوه بر یافتن جایگزین وارد بر سیستم ارتباط آب و انرژی محلی، برای منابع سوخت زوال‌پذیر، ناگزیر به اجرای راهکارهای استفاده از منابع آب جایگزین مانند آب تولید شده در معادن، میادین نفت و گاز، پساب شهری، آب دریا، آبخوان‌های شور برای کاربری‌های مختلف هستند. استفاده از گزینه‌های مستقل از بارش، مانند تصفیه آب دریا، امنیت منابع و تضمین بیشتری ایجاد می‌سازد.

## ۳-۱۰-۲. ماهیت اجتماعی و اقتصادی [۲۱] و [۲۳]

آب و برق از نیازهای بنیادین جامعه هستند و ارتباط بین آب و انرژی، ابعاد اجتماعی بزرگ و اجتناب‌ناپذیری دارد. برای برخی بخش‌های جامعه این ماهیت نمود بیشتری دارد، زیرا مستقیماً تحت تاثیر پیوند آب و انرژی قرار دارند. به عنوان مثال سیستم‌های آبیاری در پایین دست یک نیروگاه برقابی در معرض ریسک از دست دادن سهم آب در مواقع خشک‌سالی هستند. چنین مسائلی سبب تنش بین استان‌ها و کشورهای مختلف می‌گردد. تغییر اقلیم نیز به صورت غیرمستقیم آسیب‌هایی را به جامعه در خصوص پیوند آب و انرژی وارد می‌کند. تغییر اقلیم به صورت اجتناب‌ناپذیری بر چگونگی و مقدار مصرف آب و انرژی در جوامع اثرگذار است. به عنوان مثال استفاده از سیستم‌های تهویه هوا در آب و هوای گرم‌تر افزایش می‌یابد که نیازمند مقادیر بیشتر آب و انرژی می‌باشد.

نگرش اجتماعی به آب و برق ممکن است به تقویت پیوند آب و انرژی منجر شود. درک عمومی از ارزش آب و برق با میزان مصرف ارتباط دارد. در صورتی که آب و برق کم‌ارزش تلقی گردند، تمایل کمی برای حفاظت از آن‌ها وجود خواهد داشت. درک عمومی از ارزش آب و انرژی با پیاده‌سازی برنامه‌های مدیریت تقاضا در صنعت آب، برنامه‌های آگاه‌سازی استفاده کارآمد از انرژی در صنعت برق، و اصلاحات قیمت‌گذاری تغییر خواهد کرد.

همچنین ممکن است درک عمومی از ارزش آب و انرژی با قیمت آن همخوانی نداشته باشد. به عنوان مثال در مناطقی که آب به تازگی قیمت‌گذاری شده یا افزایش قیمت داشته است، عموم مردم با آکراه نسبت به پرداخت بهای آن در مقایسه با بهای برق اقدام می‌کنند. قیمت پایین آب و انرژی نمی‌تواند بازتاب‌کننده ارزش بالای آن برای عموم جامعه باشد. پایین بودن قیمت برق در مناطق روستایی می‌تواند سبب برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی شود. همین مسئله در خصوص مصرف بی‌رویه آب و انرژی در مناطق شهری نیز صدق می‌کند. همچنین قیمت پایین آب و انرژی انگیزه سازمان‌ها را جهت بهبود سیستم‌های آب و انرژی کاهش می‌دهد. به عنوان مثال سالانه مقادیر زیادی آب به واسطه نشت قبل از رسیدن به دست مصرف‌کننده از شبکه توزیع خارج می‌گردد. با این حال به سبب قیمت ناچیز آب و هزینه بالای نشت‌یابی، انگیزه کافی در سازمان‌ها برای جلوگیری از این مسئله وجود ندارد.

همچنین یک بعد اجتماعی در آگاهی نسبت به فن‌آوری‌های به کار رفته در دو صنعت آب و برق وجود دارد. به عنوان مثال در مواردی تصمیم به ساخت سیستم‌های نمک‌زدایی اعتراضات عمومی و گروه‌های حفاظت از محیط‌زیست را در خصوص پیامدهای انرژی مصرفی به دنبال داشته است. توسعه برنامه‌های بازچرخانی آب خصوصاً در مورد مصارف آشامیدنی، نیازمند مدیریت دقیق آگاهی عمومی در خصوص جریان

خروجی تصفیه شده قابل شرب است. به عنوان مثال می‌توان به مخالفت مصرف کنندگان با طرح‌های ارائه شده جهت بازچرخانی آب برای تامین مصارف شرب اشاره کرد. همچنین باید توجه داشت این فن‌آوری مصرف انرژی بالاتر نسبت به تصفیه‌های متداول دارد. در صنعت برق دیدگاه‌های محکمی در خصوص فن‌آوری‌های مناسب جهت رفع نیازهای آینده در عین کاهش انتشار کربن وجود دارد. از جمله این فن‌آوری‌ها می‌توان به انرژی هسته‌ای، انرژی‌های تجدیدپذیر، فن‌آوری زغال سنگ پاک، زمین گرمایی، بیومس و هیدروژن اشاره نمود. باید در نظر داشت که نیاز آبی هر یک از این فن‌آوری‌ها با دیگری متفاوت است.

عموم جامعه با بکارگیری برنامه‌های اطلاع‌رسانی و آموزشی و گزارش‌های رسانه‌ای در خصوص خشکسالی و تغییر اقلیم با مشکلات آب و انرژی آشنا می‌شوند. این مشکلات زمینه ساز آگاهی بیشتر از ارتباطات بین فعالیت‌های منفرد بر مشکلات منطقه‌ای و جهانی می‌شود. آگاهی نسبت به ارزش آب و انرژی رو به افزایش است. میزان آگاهی به رویارویی با چالش‌ها و عدم قطعیت‌های رو به رشد ناشی از ارتباط آب و انرژی کمک شایانی خواهد کرد.

## ۲-۱۰-۳-۱. شاخص‌های ارزیابی اقتصادی، آب و انرژی سیستم‌های کشاورزی [۲۴]

شاخص‌های انرژی و اقتصادی سیستم‌های کشاورزی به صورت رابطه‌های ۱-۴ تعریف می‌شود:

$$(۱) \quad \frac{\text{انرژی خروجی}}{\text{انرژی ورودی}} = \text{کارایی انرژی}$$

$$(۲) \quad \text{بهره‌وری انرژی} = \frac{\text{عملکرد محصول اقتصادی}}{\text{انرژی ورودی}} \left( \frac{Kg}{Mj} \right)$$

$$(۳) \quad \text{بهره‌وری آب} = \frac{\text{عملکرد محصول اقتصادی}}{\text{انرژی ورودی}} \left( \frac{Kg}{m^3} \right)$$

$$(۴) \quad \text{هزینه تولید} - \text{درآمد محصول} = \text{درآمد خالص}$$

$$(۵) \quad \frac{\text{درآمد محصول}}{\text{هزینه تولید}} = \text{نسبت درآمد به هزینه}$$

تأمین آب پاک با صرف انرژی حداقل از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. با توجه به محدودیت منابع آب شیرین بهداشتی و هزینه‌های بالای تأمین و بهره‌برداری از منابع موجود، استفاده از انرژی رایگان خورشیدی در استحصال آب پاک از آب شور در مناطق مستعد، توجه بسیاری را به خود جلب کرده است. با توجه به بحران کم‌آبی، مشکلات استفاده از سوخت‌های فسیلی و پتانسیل موجود در زمینه انرژی‌های تجدیدپذیر، استفاده از سیاست‌های یکپارچه مدیریتی در مدیریت منابع جهت بهینه‌سازی و افزایش همزمان کارایی این دو منبع حیاتی، بیش از پیش ضروری می‌نماید.

## ۲-۱۰-۴. ماهیت سیاسی [۲۳]

بعد سیاسی از این جهت حائز اهمیت است که می‌تواند بر میزان نمود پیوند آب و انرژی در جنبه‌های دیگر تاثیرگذار باشد. در بعد اقتصادی و اجتماعی، سیاست‌های برخاسته از اصلاحات قیمت‌گذاری، ارتباط بین آب و انرژی را تشدید می‌نماید.

در بعد زیست‌محیطی، کنترل‌های سخت‌گیرانه‌تر در خصوص تخلیه پساب، نیازمند تصفیه‌های با مصرف انرژی بالاتر است که با اهداف کاهش انتشار کربن در تضاد خواهد بود. در مقابل فقدان سیاست‌های آب و انرژی و ضعف در قوانین، افزایش مصرف برق، بهره‌برداری بیش از حد از آب زیرزمینی و خروجی پساب بدون تصفیه مناسب را به همراه دارد. سیاست‌های آب و انرژی در حال حاضر به صورت مجزا توسعه داده شده و اجرا می‌شوند.

حتی در درون یک صنعت سیاست‌های زیست‌محیطی مورد غفلت واقع می‌شوند، زیرا ممکن است سبب کاهش درآمد شوند. هر دو صنعت باید از یک سیاست یکپارچه با انعطاف‌پذیری کافی جهت مدیریت چالش‌های به وجود آمده ناشی از ماهیت پیوند آب و انرژی برخوردار باشند. خصوصاً که با خشکسالی‌های متوالی و افزایش تقاضا و تغییر اقلیم، اثرات این پیوند رو به افزایش است. بنابراین پیوند آب و انرژی ماهیتی چند بعدی دارد و هر یک از این ابعاد نیز بر یکدیگر اثر می‌گذارند.

با توجه به اینکه بخش کشاورزی در ایران، سومین مصرف‌کننده برق پس از بخش‌های خانگی و صنعتی است و پس از حمل و نقل، بزرگترین مصرف‌کننده گازوئیل در کشور است و از طرفی به دلیل بحران آب و رشد سریع سیستم‌های آبیاری تحت فشار، بررسی میزان مصرف آب و انرژی در ایستگاه‌های پمپاژ کشاورزی موجود و ارائه راهکارهایی جهت بهبود بهره‌وری مصرف آب و انرژی، ضروری به نظر می‌رسد.

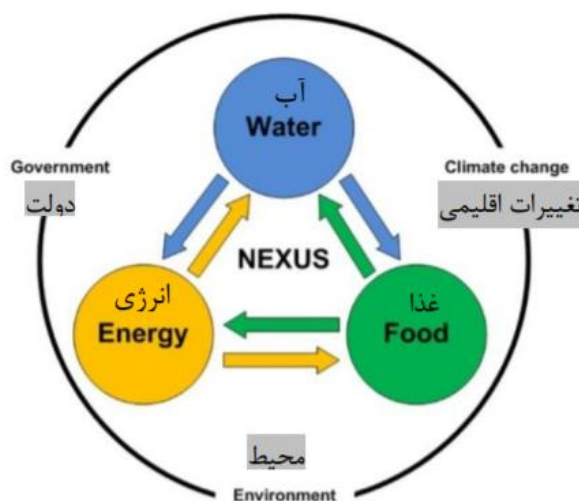
علت اصلی کاهش بازده در ایستگاه‌های پمپاژ مزارع به علت مستهلک بودن سیستم، عدم وجود فونداسیون مناسب و در نتیجه عدم ثبات و استقرار مناسب پمپ یا انتخاب اشتباه پمپ یا واحد توان است. بنابراین اجرای فونداسیون مناسب و انتخاب پمپ و موتور متناسب با ظرفیت و فشار سیستم می‌تواند از عوامل اصلی بهبود بازده ایستگاه‌های پمپاژ باشد.

میانگین حجم آب مصرفی در مزارع سیب‌زمینی در آبیاری نشتی و بارانی به ترتیب ۸۱۱۷۱ و ۱۲۸۸ متر مکعب در هکتار بود. در حالی که میزان عملکرد محصول سیب‌زمینی در این دو سیستم به ترتیب ۹۸/۶ و ۶۸/۶ تن در هکتار بود. با توجه به صرفه‌جویی ۲۹/۸ درصدی در مصرف آب در سیستم بارانی نسبت به روش سطحی و افزایش ۸۱/۹ درصدی در عملکرد محصول، امکان افزایش کارایی مصرف آب فراهم می‌شود، از طرفی در مناطقی که با محدودیت آب مواجه هستند و لازم است که در مصرف آب صرفه‌جویی شود، استفاده از سیستم آبیاری بارانی علیرغم افزایش هزینه سیستم به دلیل پایداری درآمد مزرعه در درازمدت، دارای توجیه اقتصادی می‌باشد. همچنین با توجه به رشد سریع آبیاری تحت فشار در کشور و انرژی‌بر بودن این سیستم‌ها، بایستی معیارهای مناسب جهت تعیین راندمان انرژی مشخص و نظارت جدی در انتخاب پمپ و موتور متناسب با ظرفیت و فشار سیستم در این نوع سیستم‌ها صورت گیرد.



## ۲-۱۱. بررسی رویکرد WEF Nexus [۲۵] و [۲۶]

نحوه استفاده و تأمین غذا، انرژی و آب رابطه‌ای جدا نشدنی با هم دارند. مطابق با تقاضای جهانی برای آب، غذا و انرژی و روند افزایش آن تأمین این منابع جدانشدنی و مرتبط با هم چندان میسر نشده و اطمینان چندانی به تأمین آنها نیست، یک روش زمان‌بر جوامع جهانی تلاش‌های تحقیقاتی خود را برای مطالعه سلسله پیوندی آب، غذا و انرژی در یک چارچوب کل‌نگرانه به کار گرفتند با این هدف که اهداف توسعه پایدار ارائه شده از سوی جامعه ملل تأمین گردد. آب، انرژی و امنیت غذایی در سطح جهانی را می‌توان از طریق یک رویکرد ارتباطی به دست آورد، رویکردی که مدیریت و باکمیت را در سراسر بخش‌ها و مقیاس‌ها ادغام می‌کند. یک رویکرد ارتباطی می‌تواند از انتقال به اقتصاد سبز حمایت کند که هدف آن، در میان سایر موارد، در بهره‌وری استفاده از منابع و انسجام سیاست بیشتر است. با توجه به افزایش ارتباطات بین بخش‌ها در فضا و زمان، کاهش نگرانی اقتصادی، اجتماعی و محیطی منفی می‌تواند کارایی کلی منابع را افزایش دهد، مزایای بیشتری را تأمین کند و حقوق بشر را برای آب و غذا تأمین کند. در یک رویکرد مبتنی بر رابطه، سیاست‌گذاری و تصمیمی متداول در سیلوها به این ترتیب رویکردی را که سبب کاهش ترکیبات و ایجاد همکاری در میان بخش‌ها می‌شود، متوقف می‌کند (شکل ۱۰).



شکل ۱۰. نمودار شماتیک WEF Nexus

- امنیت آب در اهداف توسعه هزاره به عنوان "دسترسی به آب آشامیدنی سالم و بهداشت" تعریف شده که هر دوی آنها اخیراً به یک حق انسانی تبدیل شده‌اند، در حالی که بخش عمده‌ای از تعاریف امنیت آب در دست نیست دسترسی به آب برای سایر کاربردهای انسانی و اکوسیستم از دیدگاه ارتباطی نیز بسیار مهم است.
- امنیت انرژی به عنوان "دسترسی به خدمات تمیز، قابل اعتماد و مقرون به صرفه برای پخت‌وپز و گرمایش، نورپردازی ارتباطات و کاربردهای تولیدی" تعریف شده است و به عنوان دسترسی فیزیکی بدون وقفه انرژی با توجه به نگرانی‌های محیطی مقرون به صرفه است.

– تأمین مواد غذایی توسط سازمان غذا و کشاورزی به عنوان "دسترسی به غذای کافی و سالم برای رفع نیازهای غذایی و تنظیم غذا برای یک زندگی سالم و فعال" تعریف شده است. غذای مناسب نیز به عنوان یک حق انسانی تعریف شده است.

دیدگاه ارتباطی، درک وابستگی‌های متقابل در بخش‌های آب، انرژی و غذا را افزایش می‌دهد و سیاست‌ها را در نگرانی‌های دیگر مانند آب‌وهوا و تنوع زیستی تحت تأثیر قرار می‌دهد. چشم انداز ارتباطی به حرکت به جلو از سیلوها و برج‌های عاج کمک می‌کند که راه‌حل‌های بین رشته‌ای را کنار بگذارند، در نتیجه فرصت‌هایی برای پاسخ‌های دو طرف سودمند و افزایش پتانسیل همکاری بین و در میان تمام بخش‌ها فراهم می‌شود. هر کس در تمام رشته‌ها باید فکر کند و از دیدگاه ارتباطات به منظور تحقق بخشیدن به تأثیر کامل همکاری مستقیم و غیرمستقیم که می‌تواند منجر به عمل شود.

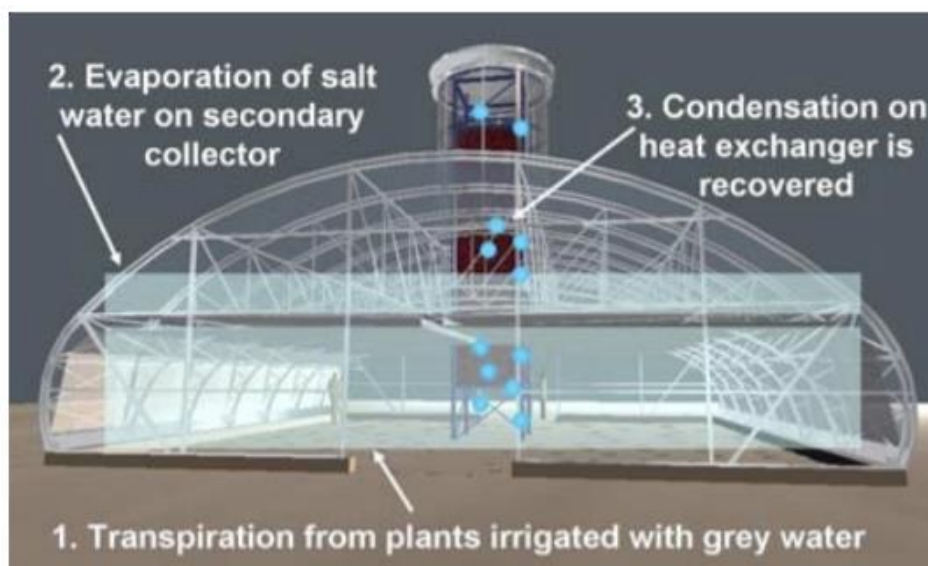
پروژه پیوند آب و انرژی (Watergy) دو نمونه اولیه را برای استفاده از یک کلکتور خورشیدی جدید هوای مرطوب پیشنهاد می‌کند. اولی یک گلخانه بسته برای جذب انرژی حرارتی خورشیدی، بازیافت آب، نمک‌زدایی آب و استفاده پیشرفته در باغبانی است. این سیستم قبلاً در Estación Experimental de Cajamar در آلمریا (اسپانیا) ساخته شده است (شکل ۱۱) و از پاییز ۲۰۰۴ کار می‌کند. این سیستم امکان کنترل آب و هوای داخل گلخانه بسته و همچنین بستن چرخه آب را با بازیابی تمام تبخیر و تعرق گیاهان فراهم می‌کند. این امکان بسیار جالبی را برای مدیریت پایدار آب در باغبانی فشرده باز می‌کند، زیرا گلخانه آبیاری شده با آب خاکستری نه تنها به وسیله‌ای برای تولید میوه بلکه آب شفاف نیز تبدیل می‌شود. از طرف دیگر، اگر آب خاکستری از سیستم خارج شود، گلخانه می‌تواند با استفاده مجدد از آب مقطر بازیافت شده، مصرف آب خود را تا حد زیادی کاهش دهد (شکل ۱۲ و ۱۳).



شکل ۱۱. Estación Experimental de Cajamar، اسپانیا.



شکل ۱۲. طرح گردش هوا در داخل نمونه اولیه PT1

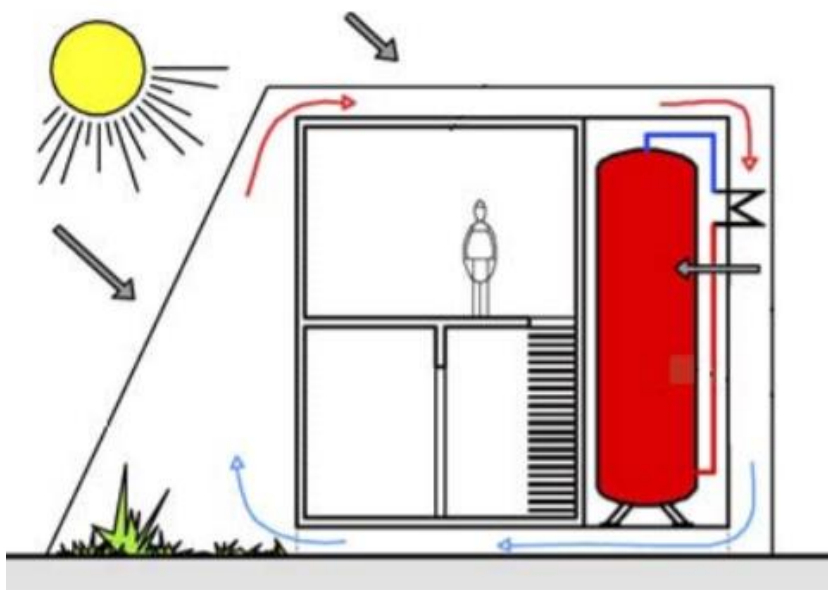


شکل ۱۳. طرح چرخه آب در نمونه اولیه PT1

نمونه دوم (شکل ۱۴) در برلین (آلمان) ساخته شده است و ساختمانی با منبع گرما و همچنین آب شفاف است. در این حالت گلخانه بسته به ساختمان متصل می‌شود و آب خاکستری باقی‌مانده آن را تصفیه می‌کند. گلخانه علاوه بر عملکرد اصلی خود به عنوان جمع‌کننده خورشیدی و تقطیر آب، میوه‌ها را تامین می‌کند و می‌تواند با هوای باقی‌مانده از ساختمان تغذیه شود. جمع‌آوری کارآمدتر انرژی حرارتی خورشیدی در سیستم و ذخیره فوری آن امکان آب و هوای غیرفعال ساختمان را فراهم می‌کند. در زمینه معماری پایدار، سیستم و انرژی به این معنی است که این مفهوم انرژی صفر با مفهوم استبداد آب تکمیل می‌شود. پروژه و انرژی ادغام گلخانه‌ها در مناطق شهری را در همزیستی

با خانه‌ها پیشنهاد می‌کند. این گلخانه به عنوان بخشی از یک سیستم کلکتور خورشیدی هوای مرطوب جدید گنجانده شده است که در آن فرآیند جمع‌آوری گرما امکان تصفیه آب خاکستری و توسعه زیست‌توده خوراکی را فراهم می‌کند.

این سیستم آب با کیفیت بالاتری نسبت به روش‌های تصفیه بیولوژیکی استاندارد تولید می‌کند. گلخانه بخشی از سطح جمع‌کننده است، اما مزایای بیشتری را به عنوان یک فضای زندگی تکمیلی و یک سیستم تولید مواد غذایی یکپارچه ارائه می‌دهد. تصفیه آب باقی‌مانده شهری به روشی خودمختار و محلی، دو احتمال مورد علاقه را در مدیریت پایدار آب باز می‌کند. از یک طرف، تمرکززدایی از تامین آب را می‌توان با سیستم‌های خودکفا در نظر گرفت که بتوانند چرخه آب خود را به صورت محلی ببندند. همراه با جمع‌آوری آب باران، این سیستم می‌تواند مبنایی برای یکپارچگی کامل تامین آب و تصفیه فاضلاب باشد. از سوی دیگر، کشاورزی فشرده را می‌توان از مصرف بی‌رویه آب رها کرد و باعث افزایش پایداری گلخانه‌هایی شد که قادر به تولید آب مقطر و همچنین میوه هستند. گلخانه بسته همچنین به دلیل جدا شدن از حشرات و امکان غنی سازی  $CO_2$  هوا برای افزایش فتوسنتز، وسیله‌ای برای بهبود کیفیت تولید است.



شکل ۱۴. طرح جمع‌آوری گرما در نمونه ثانویه PT2

## ۲-۱۲. موانع رایج برای بهره‌وری انرژی و آب [۱]

برای برخی، کارایی به اندازه کافی قانع‌کننده به نظر می‌رسد که پذیرش جهانی آن باید به سادگی یک امر مسلم باشد. در واقع موانع جدی برای پذیرش گسترده روش‌ها و فناوری‌های کارآمدتر وجود دارد که می‌توان آن‌ها را به پنج دسته اصلی دسته‌بندی کرد:

۱. عدم آگاهی : مردم تغییری در جهت کارایی ایجاد نمی‌کنند مگر اینکه از دلایل هزینه و فایده برای انجام این کار آگاه باشند. این امر به ویژه در مورد استفاده از بهره‌وری انرژی در تامین آب صادق است، زیرا کسانی که روزانه در بخش آب فعالیت می‌کنند، عادت ندارند بر انرژی تمرکز کنند.

۲. گریزی از ریسک : انحراف از روال معمول با خطر، واقعی یا درک شده، مانند بار اضافی بر کارکنان یا ریسک مالی همراه است. ترس از تغییر مبنایی منطقی دارد و شکستن آن مستلزم این است که به ترس‌ها توجه شود و مزایای تغییر به وضوح خطرات آن بیشتر باشد.

۳. تغییر : ممکن است حاکی از مشکل در وضعیت موجود باشد. این غیرمعمول نیست که کارکنان در برابر ایده‌ها و رویه‌های جدید مقاومت کنند، زیرا این احساس را دارند که پیشنهادات برای تغییر مستلزم انتقاد از عملکرد و توانایی آن‌ها است.

۴. یارانه : اگرچه یارانه‌ها در ارائه خدمات ضروری به فقرا نقش دارند، اما زمانی که آن‌ها برنامه‌ریزی یا اجرا نشده باشند، اغلب انگیزه‌های هزینه ذاتی کارایی را تا حد زیادی کاهش می‌دهند. برخی از یارانه‌ها غیررسمی هستند، مانند تایید ضمنی دزدی آب یا برق توسط مقامات.

۵. کارایی تامین مالی : تعداد کمی از اقدامات و انرژی هزینه کمی دارد. برای کسانی که به هزینه‌های سرمایه‌ای نیاز دارند، رویکردهای قرارداد عملکرد هزینه‌های پروژه را از طریق صرفه‌جویی در هزینه آب و انرژی پرداخت می‌کنند. کسانی که به بهبود بهره‌وری فکر می‌کنند اغلب درک درستی از مکانیسم‌های قرارداد عملکرد ندارند، به ویژه آگاهی از اینکه می‌توانند در بخش آب اعمال شوند. در برخی کشورها، مسائل تامین مالی با عرضه ناکافی ارائه دهندگان خدماتی که قادر به انعقاد قرارداد عملکرد هستند، ترکیب می‌شود، یا تامین کنندگان وجود دارند اما صنعت آنقدر نوپا است که اعتماد به آن‌ها وجود ندارد. این عدم اعتماد معمولاً به ناتوانی این شرکت‌ها در تامین مالی پروژه تبدیل می‌شود، زیرا اعتبار اثبات نشده آن‌ها یا به کلی از دسترسی آن‌ها به وام محروم می‌شود یا شرایط ضعیفی دارند. از سوی دیگر، در برخی از کشورها، دولت‌های شهری سوابق خوبی در زمینه مدیریت مالی صحیح یا رعایت قراردادها ندارند، که باعث می‌شود ارائه‌دهندگان خدمات کارآمد تمایلی به عقد قرارداد با شهرداری‌ها نداشته باشند.

### ۳. نتیجه‌گیری

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 به عنوان 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 به کار 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 زیست‌توده استفاده می‌شود.

از طرفی از آنجایی که 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.

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 می‌کند که 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. 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 پیش از این نیز به طور 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. آب در تولید برق نقش مهمی دارد، به نحوی که 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. با توجه به 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، جربان‌نشتی 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. با توجه به اینکه سیاست وزارت نیرو، احداث نیروگاه‌های چرخه ترکیبی می‌باشد.

## مراجع

- [۱] The Alliance to Save Energy Judith A. Barry, February 2007, WATERGY: Energy and Water Efficiency in Municipal Water Supply and Wastewater Treatment Cost-Effective Savings of Water and Energy.
- [۲] سالار، امیرحسین، ۱۳۹۶، مدل‌سازی پیوند آب و انرژی با تمرکز بر بخش عرضه و تقاضا در سیستم‌های آب شهری، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.
- [۳] Bazilian, M., Rogner, H., Howells, M., Hermann, S., Arent, D., Gielen, D., Steduto, P., Mueller, A., Komor, P. and Tol, R. S. J. (2011) 'Considering the energy, water and food nexus: Towards an integrated modelling approach', Energy Policy. Elsevier, 39(12), pp. 7896–7906.
- [۴] Nair, S., George, B., Malano, H. M., Arora, M. and Nawarathna, B. (2014) 'Water–energy–greenhouse gas nexus of urban water systems: Review of concepts, state-of-art and methods', Resources, Conservation and Recycling. Elsevier, 89, pp. 1–10. doi: 10.1016/j.resconrec.2014.05.007.
- [۵] Goldstein, N. C., Newmark, R. L., Whitehead, C. D., Burton, E., McMahon, J., Ghatikar, G. and May, D. (2008) 'The energy-water nexus and information exchange: challenges and opportunities', International Journal of Water. Inderscience Publishers, 4(1–2), pp. 5–24.
- [۶] CDP. (2013). Global Water Report 2013, Moving Beyond Business as Usual: A Need for a Step Change in Water Risk Management.
- [۷] IEA. (2012). World Energy Outlook 2012.
- [۸] UNWater. (2014). World Water Day 2014: Water and Energy .
- [۹] آرش قدیمی، حامد قدیمی، مجید احتشامی، راهبرد مدیریت یکپارچه آب و انرژی در تأمین امنیت آبی در شرایط خشکسالی.
- [۱۰] احمد حسین‌نژاد، یدالله سبوحی، جلال‌الدین شایگان، مدل یکپارچه سیستم واترژنی (آب-انرژی) برای ارزیابی ترکیب بهینه فناوری در صنعت فولاد.
- [۱۱] Cohen, R., Wolff, G. and Nelson, B. (2004) 'Energy down the drain: the hidden costs of California's water supply', in Energy down the drain: the hidden costs of California's water supply. NRDC/Pacific Institute.
- [۱۲] Kenway, S. J., Priestley, A. and McMahon, J. M. (2007) 'Water, Wastewater, Energy and Greenhouse Gasses in Australia's Major Urban Systems', in Reuse 2007: 3rd AWA Water Reuse and Recycling Conference. Australian Water Association.



- [۱۳] Flower, D. J. M., Mitchell, V. G. and Codner, G. P. (2007) 'Urban water systems: drivers.
- [۱۴] Gude, VG., (2011) "Energy consumption and recovery in reverse osmosis", Desalination and Water Treatment.
- [۱۵] کریمی، سید محمدرضا؛ طالبی، سیدعباس، ۱۳۹۸، پیوند آب و انرژی در کارخانجات تولید تایر (مطالعه موردی کویر تایر)، دومین همایش ملی مدیریت مصرف آب، دانشگاه تهران.
- [۱۶] Feng, K., Hubacek, K., Siu, Y. L. and Li, X. (2014) 'The energy and water nexus in Chinese electricity production: A hybrid life cycle analysis', Renewable and Sustainable Energy Reviews. Pergamon, 39, pp. 342–355. doi: 10.1016/j.rser.2014.07.080.
- [۱۷] Walker, M. E., Lv, Z. and Masanet, E. (2013) 'Industrial steam systems and the energywater.
- [۱۸] Rantanen, M., (2014) "Efficient Use And Consumption Of Water In Power Generation", Power Plant Technology, Wärtsilä Power Plants in Finland.
- [۱۹] عوامی، ا. ۱۳۹۷. پیوند آب و انرژی در صنعت (مبانی، روش و کاربردها). جلد اول. موسسه انتشارات علمی. چاپ اول. تهران.
- [۲۰] سرور قدرتی، نرگس کارگری، فروغ فرساد، امیرحسین جاوید، علیرضا حاجی ملاعلی کنی، بررسی مصرف آب با رویکرد پیوند آب و انرژی در نیروگاه‌های چرخه ترکیبی ایران.
- [۲۱] Marsh, D. M. and Sharma, D. (2007) 'Energy-water nexus: An integrated modeling approach', International Energy Journal. Regional Energy Resources Information Centre, Asian Institute of Technology, Bangkok, 8(4), pp. 235–242.
- [۲۲] هیدی محمودپور، سمیه جنت‌رستمی، ارزیابی زیست‌محیطی استخراج منابع آب‌های زیرزمینی با رویکرد رابطه آب و انرژی.
- [۲۳] Hamiche, A. M., Stambouli, A. B. and Flazi, S. (2016) 'A review of the water-energy nexus', Renewable and Sustainable Energy Reviews. Pergamon, 65, pp. 319–331. doi: 10.1016/j.rser.2016.07.020.
- [۲۴] محمد کریم زاده، امین علیزاده، حسین انصاری، محمد قربانی، محمد بنایان اول، بهینه‌سازی بهره‌وری آب و کارایی انرژی در انتخاب الگوی کشت.
- [۲۵] محمدرضا گودرزی، رضا پیریائی، میر رحیم موسوی، درک پیوند آب-غذا-انرژی و مدیریت برای بهره‌وری از منابع آب موجود.

[۲۶] Guillermo Zaragoza, Martin Buchholz, Patrick Jochumb, Jerónimo Pérez-Parra, Watergy project: Towards a rational use of water in greenhouse agriculture and sustainable architecture.

[۲۷] Henderson, R., ( 2016) “Water Consumption in US Petroleum Refineries”, Prepared For Argonne National Labs, Jacobs Consultancy.

[۲۸] Louis, E., Otts, JR., ( 1963 ) “Water Requirements of the Petroleum Refining Industry”, Geological Survey Water-Supply Paper 1330-G, United States Government Printing Office, Washington.

[۲۹] محمد صیادی، امید سلطانی، سید فرهاد موحدی، ارائه یک مدل مفهومی از پویایی هم‌پیوندی آب - انرژی - غذا در ایران: رویکرد سیستمی.