

گفت و آبگوشت

دو فصلنامه اندیشکده تدبیر آب ایران

سال سیزدهم، شماره چهل، بهار و تابستان ۱۴۰۴

ویژهنامه «در تنگنای آب و برق»

ویژهنامه
«در تنگنای آب و برق»



سرخ سردبیر | سند چشم‌انداز جمهوری اسلامی در افاق ۱۴۰۴ هجری شمسی | خشکسالی ساختاری در ایران | قلب تپنده
سیاره؛ کوه‌ها و یخچال‌های طبیعی و ضرورت حفاظت آنها | وضعیت منابع آب زیرزمینی کالیفرنیا؛ گزارش به‌روزرسانی
نیم‌سالانه | خورشید در سایه بحران؛ راه نجات یا تکرار یک تجربه تلخ؟ | بحران برق در ونزوئلا؛ فروپاشی، پیامدها و
تلاش برای بازسازی | بهره‌برداری از انرژی خورشیدی در هند؛ سیاست‌ها، دستاوردها و چالش‌ها | ریسک‌های آبیاری
با استفاده از پمپ‌های خورشیدی برای برداشت آب زیرزمینی | از اوج تا افول؛ بررسی سیاست‌ها و چالش‌های طرح
سامانه‌های خورشیدی خانگی در بنگلادش | انرژی خورشیدی؛ راه‌حلی برای پایداری منابع آب زیرزمینی | معرفی کتاب



گفت‌و‌گوی آب

دوفصلنامه گفت‌و‌گوی آب
سال سیزدهم، شماره چهل، بهار و تابستان ۱۴۰۴

صاحب امتیاز: اندیشکده تدبیر آب ایران
سر دبیر: سید احمد علوی
امور اجرایی نشریه: تهیه شده در کارگروه ارتباطات اندیشکده تدبیر آب ایران
طراحی و صفحه آرایی: نوید چهدی

نشانی: خیابان فتحی شقاقی، بین خیابان چلستون و سیدجمال‌الدین اسدآبادی،
پلاک ۴۵، طبقه ۴
تلفن: ۸۸۷۰۲۰۱۳-۸۸۷۰۲۸۰۵
www.iwpri.ir

کلیه حقوق این نشریه محفوظ و متعلق به اندیشکده آب ایران می‌باشد.
مسئولیت محتوای مقالات بر عهده نویسندگان است.

اندیشکده تدبیر آب ایران از آبان‌ماه سال ۱۳۹۱ به عنوان یکی از زیرمجموعه‌های کمیسیون کشاورزی و آب اتاق بازرگانی و صنایع و معادن و کشاورزی کرمان به منظور توسعه ظرفیت‌ها و ایجاد فضای تعامل و گفت‌و‌گو میان ارکان مختلف جامعه، محیط کسب و کار و تشکیلات بخشی و فرابخشی مدیریت آب در کشور در مسیر بهبود حکمرانی آب تأسیس گردیده است.





فهرست مطالب

سخن سردبیر

۰۴

سند چشم‌انداز جمهوری اسلامی در افق ۱۴۰۴ هجری شمسی

۰۵

خشکسالی ساختاری در ایران

۰۷

قلب تپنده سیاره

۱۰

وضعیت منابع آب زیرزمینی کالیفرنیا: گزارش به‌روزرسانی نیم‌سالانه (می ۲۰۲۵)

۱۲

خورشید در سایه بحران: راه نجات یا تکرار یک تجربه تلخ؟

۱۵

بحران برق در ونزوئلا: فروپاشی، پیامدها و تلاش برای بازسازی

۱۷

بهره‌برداری از انرژی خورشیدی در هند: سیاست‌ها، دستاوردها و چالش‌ها

۲۰

ریسک‌های آبیاری با استفاده از پمپ‌های خورشیدی برای برداشت آب زیرزمینی

۲۳

از اوج تا افول: بررسی سیاست‌ها و چالش‌های طرح سامانه‌های خورشیدی خانگی در بنگلادش

۲۸

انرژی خورشیدی: راه‌حلی برای پایداری منابع آب زیرزمینی

۳۱

معرفی کتاب تخصیص آب زیرزمینی، مدیریت فشارهای فزاینده بر کمیت و کیفیت

۳۴

ویژه‌نامه

فصل‌نامه اندیشکده تدبیر آب ایران
سال سیزدهم، شماره چهل، بهار و تابستان ۱۴۰۴

گفت و گو در زمانه خاموشی و بی آبی

سختن سردییر

در روزگاری نه چندان دور، آب و برق نه مسئله بودند، نه دغدغه. کافی بود شیر را باز کنید یا کلید را بزنید تا «خدمت‌رسانی» معنا شود. اما اکنون در میانه تیرماه، نه شیر مطمئن است و نه کلید برق. آنچه هست، نوری است که گاه نمی‌تابد، آبی که گاه حتی به طبقه دوم هم نمی‌رسد و تنها صدایی است که گهگاه به گوش می‌رسد! در چنین شرایطی گفته می‌شود که اگر هر شهروندی روی بام خانه‌اش پنلی بگذارد، مسئله حل می‌شود؛ اگر هر ساکن طبقه‌دومی یا بالاتر، پمپ نصب کند، دیگر گلایه‌ای نخواهد ماند. گویی راه‌حل نهایی بحران زیرساختی در کشور، فراخوان‌های سراسری برای خودکفایی خانوادگی است. آینده‌ای که قرار بود در آن هیچ مشکلی وجود نداشته باشد و سندی (سند چشم‌انداز ۱۴۰۴) که قرار بود ما را به قله رهنمون نماید، حال خود مورد تردید و نیازمند مرور و ترمیم است؛ و در این میانه متولیان امر تنها با «فراخوان‌های جمعی» شهروندان را به اتخاذ «راهکارهای فردی» در مواجهه با بحران‌ها دعوت می‌کنند.

در این شماره فصلنامه گفت و گو، از تجربه کشورهای نوشته‌ایم که پیش از ما، تاریکی را تجربه کرده‌اند: از بحران برق در ونزوئلا تا پایداری خورشیدی در بنگلادش، از آبخوان‌های نیمه‌جان کالیفرنیا تا دل‌نگرانی‌ها درباره پمپ‌های خورشیدی که به جای نجات، منابع آب را می‌مکند. در چنین بزنگاهی، بر این باوریم که بیش از هر چیز نیازمند بازسازی زبان مشترک هستیم؛ زبانی که در آن، مسئولیت ملی با رفتار فردی اشتباه گرفته نشود، و گفت و گو جایگزین تبلیغ و گزافه‌گویی گردد. امید می‌رود که حتی در خاموشی و بی‌آبی، صداهایی برای گفت و گو باقی‌مانده باشد!

سعید سلیمانیا



سند چشم‌انداز جمهوری اسلامی در افق ۱۴۰۴ هجری شمسی

سعید سلیمانیها

در افق این چشم‌انداز، ایران کشوری است:

- ۱- توسعه‌یافته با جایگاه اول اقتصادی، علمی و فناوری در سطح منطقه آسیای جنوب غربی با تأکید بر جنبش نرم‌افزاری و تولید علم، رشد پرشتاب و مستمر اقتصادی، ارتقاء نسبی سطح درآمد سرانه و دستیابی به اشتغال کامل؛
- ۲- الهام‌بخش، فعال و مؤثر در جهان اسلام با تحکیم الگوی مردم‌سالاری دینی، توسعه کارآمد، جامعه اخلاقی، نواندیشی و پویایی فکری و اجتماعی، تأثیرگذاری در همگرایی اسلامی و منطقه‌ای؛
- ۳- با هویت اسلامی-ایرانی، الهام‌بخش در جهان با تعامل سازنده و مؤثر در روابط بین‌الملل؛
- ۴- برخوردار از سلامت، رفاه، امنیت غذایی، تأمین اجتماعی، فرصت‌های برابر، توزیع مناسب درآمد، نهاد مستحکم خانواده، به دور از فقر، تبعیض و بهره‌مند از محیط‌زیست مطلوب؛
- ۵- دست‌یافته به جایگاه اول در منطقه در زمینه‌های اقتصادی، علمی و فناوری با تأکید بر جنبه‌های زیر:

- نرخ رشد اقتصادی بالا و مستمر؛
- ارتقای بهره‌وری؛
- گسترش آموزش، پژوهش و نوآوری؛
- عدالت اجتماعی و رفع فقر؛
- سلامت، اشتغال و رفاه؛
- افزایش قدرت رقابت اقتصادی.

افق ۱۴۰۴؛ آینده‌ای که از راه رسید!

با فرارسیدن سال ۱۴۰۴، بسیاری از نگاه‌ها دوباره به یکی از مهم‌ترین اسناد راهبردی کشور دوخته شد: سند چشم‌انداز جمهوری اسلامی ایران در افق ۱۴۰۴. سندی که حدود بیست سال پیش، تصویر آینده‌ای توسعه‌یافته، پایدار و الهام‌بخش را برای ایران ترسیم کرد؛ اما حالا که آن آینده به امروز ما بدل شده، شاید بد نباشد لحظه‌ای درنگ کنیم و بپرسیم: چقدر به آن تصویر نزدیک شده‌ایم؟

نخست باید گفت که در متن سند چشم‌انداز، به طور مستقیم نامی از «آب» و «انرژی» برده نشده است، اما عباراتی همچون توسعه پایدار، امنیت اقتصادی، رفاه عمومی، زیرساخت‌های حیاتی، محیط‌زیست و فناوری بی‌تردید مفاهیمی هستند که این دو حوزه حیاتی را در دل خود جای می‌دهند. این زبان کلی، البته زمینه تفسیرهای گوناگونی را هم فراهم کرده است. برای نمونه، آیا در آن زمان عدالت اجتماعی که در سند ذکر شده، عدالت در دسترسی به منابع آب را نیز شامل می‌شد؟ یا اساساً این مسئله در افق ذهنی تدوین‌کنندگان، چندان برجسته نبوده است؟ پاسخ به این پرسش را شاید بتوان در برنامه‌های توسعه پنج‌ساله و به ویژه از برنامه چهارم توسعه

به بعد یافت؛ جایی که سند چشم‌انداز به عنوان چارچوب بالادستی بر آن سایه افکنده است. چرا که اهداف مشخص‌تری در زمینه کاهش شدت مصرف انرژی، ارتقای بهره‌وری آب در کشاورزی و گسترش انرژی‌های تجدیدپذیر مطرح شده‌اند. در این یادداشت، نه قصد بررسی همه‌جانبه چشم‌انداز را داریم و نه ورود به ارزیابی‌های فنی برنامه‌های توسعه پنج‌ساله (البته انجام چنین امری ضروری بوده و به ما امکان می‌دهد تا سنجشی نسبت به میزان تحقق اهداف، روندهای انحرافی و شکاف‌های سیاستی و اجرایی داشته باشیم). تنها می‌خواهیم مقایسه‌ای گذرا میان شرایط آب و انرژی در زمان تدوین این سند (۱۳۸۴) و وضعیت امروزان در سال ۱۴۰۴ داشته باشیم؛ مقایسه‌ای که خود گویای بسیاری از واقعیت‌ها است.

این نوشتار قصد سرزنش گذشته را ندارد، بلکه بیشتر دعوت به تأمل است؛ تأملی درباره اینکه چگونه برنامه‌ریزی بلندمدت بدون پایش دقیق و اصلاح مستمر، به سندی بی‌جان و دور از واقعیت بدل شد. آینده‌ای که با آرمان شروع شد، اکنون به واقعیتی سخت و پیچیده رسیده است. اما شاید امروز هم برای اصلاح مسیر خیلی دیر نباشد - اگر که با نگاه صادقانه‌تری به گذشته و آینده خود بنگریم.



شاخص کلیدی	وضعیت در ۱۳۸۴ (آغاز سند)	وضعیت در ۱۴۰۴ (افق چشم‌انداز)	تحلیل روند
تراز منابع آب زیرزمینی	شروع افت محسوس ولی قابل کنترل	حدود ۹۰ درصد دشت‌های کشور با تراز منفی؛ تخلیه بی‌رویه ادامه دارد	وخامت بیشتر
سرانه آب تجدیدپذیر	حدود ۱۷۰۰ متر مکعب/نفر/سال	کمتر از ۱۰۰۰ متر مکعب/نفر/سال (در آستانه بحران)	کاهش شدید
بهره‌وری آب کشاورزی	حدود ۰/۹ - ۰/۸ کیلوگرم تولید خشکیار به ازای ۱ متر مکعب	حدود ۱ - ۱/۱؛ پیشرفت اندک	پیشرفت کم
شدت مصرف انرژی (انرژی/تولید ناخالص)	بالا و رو به افزایش	از بالاترین‌ها در جهان، بدون کاهش معنادار	شکست در اصلاح
ظرفیت انرژی تجدیدپذیر نصب‌شده	کمتر از ۵۰ مگاوات	حدود ۱۵۰۰ - ۱۲۰۰	عقب‌ماندگی چشمگیر
نظام یارانه انرژی و آب	گسترده و بدون هدفمندی	همچنان گسترده، با اصلاحات محدود	اصلاح ناقص
پایش منابع آب و انرژی	سامانه‌های ناقص و سنتی	گسترش نسبی پایش، فقدان انسجام اطلاعاتی و عملکرد مؤثر	ناکافی
همگرایی سیاست‌های انرژی و آب	بسیار ضعیف	ناکافی؛ اجرای نادر طرح‌های مشترک	نیازمند تحول

یادآوری: ارقام ذکرشده در جدول، مبتنی بر آمارهایی است که در گفتارها، نوشتارها و نشست‌های عمومی و تخصصی مطرح شده‌اند.

خشکسالی ساختاری^۱ در ایران

ایران در شرایطی بهار ۱۴۰۴ را پشت سر گذاشت که با یکی از دشوارترین و طولانی‌ترین دوره‌های خشکسالی در دهه‌های اخیر روبرو است. سال آبی ۱۴۰۳-۱۴۰۴ با ثبت پنجمین سال متوالی بارش کمتر از نرمال، ابعاد تازه‌ای از بحران منابع آب را آشکار ساخت؛ بحرانی که پیامدهای آن از مزارع و دامپروری‌ها تا صنایع، نیروگاه‌ها و حتی سفره‌خانوارها را تحت تأثیر قرار داده است.

وضعیت، احتمال خاموشی‌ها را در فصل گرما افزایش داده و نیاز به واردات یا افزایش تولید برق فسیلی را بیشتر کرده است.

گسترش گرد و غبار؛ از خوزستان تا شمال کشور
یکی دیگر از پیامدهای خشکسالی، کاهش شدید پوشش گیاهی و افزایش تعداد و وسعت کانون‌های گرد و غبار است. در سال جاری نه تنها خوزستان، سیستان و بلوچستان و استان‌های مرکزی کشور، بلکه مناطقی از شمال ایران مانند گلستان و مازندران نیز با پدیده گرد و غبار مواجه شدند. خشک شدن تالاب‌ها (از جمله میانکاله و خلیج گرگان) و کاهش بارش در این مناطق، به شکل‌گیری یا فعال شدن کانون‌های جدید گرد و غبار منجر شده است.

اقتصاد در فشار: اولین قربانی، کشاورزی
پیامدهای خشکسالی صرفاً زیست‌محیطی نیستند. وابستگی بالای اقتصاد ایران به منابع آب تجدیدپذیر، در کنار برداشت بی‌رویه از منابع زیرزمینی، باعث شده که نوسانات اقلیمی، تأثیری فراتر از انتظار بر شاخص‌های اقتصادی و اجتماعی کشور داشته باشند. بررسی‌های اولیه نشان می‌دهد که در نتیجه کمبود آب و انرژی، فشار مضاعف بر منابع زیرزمینی و محدودیت‌های اعمال‌شده بر کشاورزی، تولیدات کشاورزی کشور ممکن است بین ۷ تا ۱۰ درصد کاهش یابد. این افت، خود را در قالب کاهش عرضه مواد غذایی، افزایش قیمت خوراک دام و محصولات مصرفی خانوارها نشان خواهد داد.

جمع‌بندی

سال آبی ۱۴۰۳-۱۴۰۴ نه تنها یکی از خشک‌ترین سال‌های ثبت‌شده در حافظه اقلیمی ایران بوده، بلکه یادآور گرفتارآمدن کشور در دوره‌ای از خشکسالی ساختاری است؛ دوره‌ای که در آن، با تغییر رویکرد در حکمرانی منابع طبیعی و از طریق اقداماتی نظیر کاهش برداشت و تنظیم تقاضا، بازنگری در الگوی کشت و بهره‌وری آب، احیای منابع آب زیرزمینی و تالاب‌ها و در سیاست‌های سازگار با شرایط اقلیمی جدید، می‌توان در مسیر ترمیم شکاف پایدار بین ظرفیت منابع و حجم مصرف گام برداشته و از تشدید بحران و پیامدهای چندلایه آن جلوگیری کرد. در جداول زیر، داده‌های مربوط به وضعیت سدهای مهم و ریزش‌های جوی در استان‌های کشور خلاصه شده است.

بارندگی کمتر، دمای بالاتر، تبخیر بیشتر

بر پایه داده‌های اقلیمی، میزان بارندگی کشور در سال آبی جاری با کاهشی بیش از ۴۰ درصد نسبت به میانگین بلندمدت، به حدود ۱۵۰ میلی‌متر رسید. این افت بارش، اگر چه در مناطق مختلف کشور شدت متفاوتی داشته، اما در مجموع ایران را به یکی از خشک‌ترین سال‌های خود در دهه‌های اخیر وارد کرده است. به گفته رئیس مرکز ملی تغییر اقلیم و مدیریت بحران خشکسالی، دمای متوسط کشور در این سال حدود ۱ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته و این افزایش دما با افزایش نرخ تبخیر همراه بوده است؛ به طوری که برآورد می‌شود به ازای هر یک درجه افزایش دما، حدود ۷ درصد تبخیر بیشتر رخ می‌دهد.

در دهه گذشته، متوسط بارندگی سالانه ایران از حدود ۲۵۰ میلی‌متر به ۲۲۰ میلی‌متر کاهش یافته است. این کاهش، وقتی در وسعت سرزمینی ۱,۶۴۸,۱۹۵ کیلومتر مربعی کشور ضرب شود، معادل کاهش ورودی جوی به میزان تقریبی ۵۰ میلیارد مترمکعب در سال خواهد بود، حجمی نزدیک به کل ظرفیت مخازن سدهای کشور. با احتساب افزایش تبخیر، منابع تجدیدپذیر آب کشور ممکن است تا ۱۰ تا ۱۵ میلیارد مترمکعب کاهش یابند.

تصاویر منتشرشده از وضعیت سدهای مهم کشور از جمله سد کرج و سد لیان- که از منابع کلیدی تأمین آب تهران هستند- در رسانه‌ها و شبکه‌های اجتماعی، چهره ملموسی از بحران منابع سطحی کشور ارائه داده‌اند. گزارش‌های رسمی نیز از کاهش ۱۶ تا ۲۸ درصدی حجم ذخایر آب در سدهای کشور حکایت دارد. این کاهش ذخایر، عملاً بر الگوی کشت نیز سایه انداخته و به محدودیت در کاشت برخی محصولات آب‌بر مانند شلتوک و ذرت، به ویژه در استان‌هایی مانند خوزستان و فارس منجر شده است.

سدهای خالی، نیروگاه‌های نیمه فعال

در حوزه انرژی نیز کاهش بیش از ۵۰ درصدی تولید نیروگاه‌های برقایی فشار مضاعفی بر شبکه برق وارد کرده، به ویژه در سالی که کشور هم‌زمان با ناترازی شدید گاز و برق مواجه است. این

۱. خشکسالی ساختاری مفهومی فراتر از خشکسالی اقلیمی یا مقطعی است و زمانی به کار می‌رود که تقاضای آب در یک منطقه یا کشور، به طور پایدار و مزمّن از منابع تجدیدپذیر موجود بیشتر شده باشد؛ حتی در سال‌هایی که بارندگی «نرمال» یا «خوب» است، باز هم کمبود آب ادامه دارد.

گزارش هفتگی شاخص های مهم آب و برق (بارش و سدها)

وضعیت کلی مخازن سدهای کشور تا ۱۷ خرداد ماه سال آبی ۱۴۰۴-۱۴۰۳ (میلیارد مترمکعب)									
ورودی از ابتدای سال آبی تاکنون				خروجی از ابتدای سال آبی تاکنون			حجم آب موجود مخازن		
سال جاری	سال گذشته	اختلاف (%)	سال جاری	سال گذشته	اختلاف (%)	سال جاری	سال گذشته	اختلاف (%)	پوشدگی (%)
۲۱,۱۴	۳۶,۴۰	-۴۲	۱۹,۳۵	۲۳,۶۱	-۱۸	۲۶,۲۳	۳۴,۸۷	-۲۵	۵۱

وضعیت برخی از سدهای مهم (شرب - کشاورزی) تا ۱۷ خرداد ۱۴۰۴ - احجام به میلیون متر مکعب

[illegible]

ریزش‌های جوی از اول مهر لغایت ۱۶ خرداد ماه سال آبی ۱۴۰۴-۱۴۰۳

ارتفاع کل ریزش‌های جوی کشور معادل ۱۴۳ میلیمتر می‌باشد. این مقدار بارندگی نسبت به میانگین دوره‌های مشابه درازمدت (۲۳۳,۵ میلیمتر) ۳۹ درصد کاهش و نسبت به دوره مشابه سال آبی گذشته (۲۳۹,۳ میلیمتر) ۴۰ درصد کاهش را نشان می‌دهد.

میزان بارندگی تجمعی استانی از ابتدای سال آبی تا روز ۱۶ خرداد ۱۴۰۴-۱۴۰۳ (میلیمتر)
مرتب شده بر اساس درصد اختلاف با نرمال

استان	سال آبی جاری (میلیمتر)	مقدار بارش متوسط درازمدت (۵۷ ساله) (میلیمتر)	درصد اختلاف سال آبی جاری با متوسط درازمدت (۵۷ ساله)	مقدار بارش سال آبی گذشته (میلیمتر)	درصد اختلاف سال آبی جاری با سال آبی گذشته
سیستان و بلوچستان	۲۰.۲	۹۳.۸	-۷۸	۱۵۱.۲	-۸۷
هرمزگان	۳۷.۸	۱۶۷.۵	-۷۷	۱۶۰	-۷۶
بوشهر	۱۱۳.۲	۲۴۷.۹	-۵۴	۲۰۹	-۴۶
خوزستان	۱۸۱.۱	۳۵۹.۲	-۵۰	۴۲۱.۱	-۵۷
کهگیلویه و بویراحمد	۳۴۲.۲	۶۵۳.۶	-۴۸	۷۳۱.۶	-۵۳
یزد	۵۱.۱	۹۴.۷	-۴۶	۱۴۲.۸	-۶۴
تهران	۱۴۶.۲	۲۵۹.۵	-۴۴	۲۱۰.۵	-۳۱
فارس	۱۶۴.۵	۲۹۵.۴	-۴۴	۲۵۲.۷	-۳۵
خراسان جنوبی	۶۰.۶	۱۰۷.۷	-۴۴	۱۳۶.۹	-۵۲
خراسان شمالی	۱۳۷.۸	۲۴۳.۲	-۴۳	۲۶۲	-۴۷
کرمان	۷۲.۲	۱۲۴.۳	-۴۲	۱۳۶.۱	-۴۳
البرز	۲۲۵.۲	۳۸۱.۹	-۴۱	۳۶۷.۴	-۳۹
اصفهان	۹۰.۱	۱۵۱.۳	-۴۰	۱۶۵.۸	-۴۶
قم	۹۷.۶	۱۵۸	-۳۸	۱۵۸	-۳۸
مرکزی	۱۷۰.۶	۲۷۰.۲	-۳۷	۲۷۸.۸	-۳۹
چهارمحال و بختیاری	۴۰۶.۸	۶۴۱	-۳۷	۵۶۶.۱	-۲۸
سمنان	۷۱.۳	۱۰۹.۵	-۳۵	۹۱.۸	-۲۲
ایلام	۲۸۶.۴	۴۳۱.۳	-۳۴	۵۲۷	-۴۶
خراسان رضوی	۱۲۲.۳	۱۷۸.۲	-۳۱	۱۶۱.۷	-۲۴
لرستان	۴۰۶.۲	۵۵۵.۶	-۲۷	۶۳۰.۷	-۳۶
گلستان	۳۰۱.۹	۴۰۰.۶	-۲۵	۴۷۲.۶	-۳۶
اردبیل	۲۲۱.۱	۲۸۵.۲	-۲۲	۳۰۷.۵	-۲۸
کردستان	۳۳۷.۷	۴۲۸.۵	-۲۱	۴۸۵.۶	-۳۰
قزوین	۲۴۶.۶	۳۱۲	-۲۱	۲۶۲.۶	-۶
کرمانشاه	۳۶۷.۴	۴۵۹.۵	-۲۰	۵۴۱.۱	-۳۲
آذربایجان شرقی	۲۱۴.۸	۲۶۶.۵	-۱۹	۳۰۰.۶	-۲۹
آذربایجان غربی	۲۷۹.۲	۳۳۱	-۱۶	۳۹۶.۶	-۳۰
همدان	۲۸۴.۲	۳۳۹	-۱۶	۳۹۵.۲	-۲۸
مازندران	۴۵۹.۴	۵۰۴.۵	-۹	۵۴۸.۵	-۱۶
زنجان	۲۸۷.۴	۲۹۳.۶	-۲	۲۶۷.۹	۷
گیلان	۸۶۳.۵	۷۹۹.۸	۸	۷۶۳.۸	۱۳
کل کشور	۱۴۳.۰	۲۳۳.۵	-۳۹	۲۳۹.۳	-۴۰



قلب تپنده سیاره

کوه‌ها و یخچال‌های طبیعی و ضرورت حفاظت آنها

درآمد

کوه‌ها و یخچال‌های طبیعی که از آن‌ها با عنوان «منبع هوایی آب» یا «برج‌های آبی» یاد می‌شود، نقش بی‌بدیلی در حفظ حیات در کره زمین دارند. آنها منبع آب شیرین میلیاردها نفر هستند و خدمات اساسی را فراهم می‌سازند که از آب آشامیدنی، دفع بهداشتی فاضلاب، کشاورزی، تولید انرژی و سلامت اکوسیستم‌ها پشتیبانی می‌کند. با این همه، این پدیده‌های طبیعی شکوهمند به سبب تغییر اقلیم و فعالیت‌های انسانی ناپایدار در معرض تهدید جدی قرار دارند، از این رو باید به حفاظت آنها اولویت داده شود. گزارش جهانی آب سازمان ملل متحد در سال ۲۰۲۵ با عنوان «کوه‌ها و یخچال‌های طبیعی: برج‌های آبی»، بر اهمیت فراوان این مناطق و ضرورت رسیدگی بی‌درنگ به چالش‌هایی که با آن مواجه هستند تمرکز دارد. نوشتار حاضر به نقش، اهمیت و وضعیت کنونی کوه‌ها و یخچال‌ها و همچنین تهدیداتی که با آن مواجه هستند می‌پردازد.

نقش و اهمیت کوه‌ها و یخچال‌های طبیعی در زمینه آب

کوه‌ها تقریباً ۲۴ درصد سطح زمین را می‌پوشانند و منشأ ۵۵ تا ۶۰ درصد آب شیرین سیاره زمین هستند. این برج‌ها، آب را

در ماه‌های سردتر به صورت برف و یخ ذخیره و زمانی که دما افزایش می‌یابد (با ذوب شدن برف و یخ)، آب را آزاد می‌کنند. این فرایند طبیعی، جریان رودخانه را تنظیم و آب زیرزمینی را تغذیه می‌کند و بدین ترتیب، تأمین همیشگی آب را برای مناطق پائین‌دست در طول سال تضمین می‌کند. یخچال‌های طبیعی، توده‌های عظیم یخ متراکم، این سیستم را با نقش آفرینی به عنوان مخازن طولانی‌مدت تقویت می‌کنند. ذوب آهسته یخچال‌ها، جریان رودخانه‌ها را در فصل‌های خشک که بارندگی کم است تداوم می‌بخشد، بنابراین برای مناطق مستعد کمبودهای فصلی آب بسیار حیاتی هستند.

اهمیت کوه‌ها و یخچال‌های طبیعی بسیار فراتر از محیط پیرامونی آنها است. نزدیک دو میلیارد نفر در سراسر جهان برای نیازهای اساسی خود مانند آب شرب، دفع بهداشتی فاضلاب و آبیاری مستقیماً به آب شدن یخ و برف کوه‌ها وابسته هستند. در آسیا، کوه‌های سر به فلک کشیده هیمالیا، آب رودخانه‌های بزرگی مانند گنگ، سند و یانگ‌تسه را تأمین و از امرار معاش صدها میلیون نفر پشتیبانی می‌کنند. در اروپا، رشته کوه آلپ، منبع تأمین آب رودخانه‌هایی مانند راین و دانوب است که کشاورزی، صنعت و شهرها را پشتیبانی می‌کند. بدون این منبع

با ثبات آب، جوامع انسانی و اکوسیستم‌ها تضعیف خواهند شد. غیر از تأمین آب، کوه‌ها و یخچال‌های طبیعی، رکن اساسی امنیت غذایی و انرژی جهان به شمار می‌آیند. دوسوم کشاورزی آبی جهان که غذای میلیارد نفر را تأمین می‌کند به رواناب کوهستانی متکی است. انرژی آبی حاصل از رودخانه‌های کوهستانی نیز سهم قابل توجهی از انرژی‌های تجدیدپذیر را در سراسر جهان به خود اختصاص می‌دهد. افزون بر این، این مناطق کانون‌های تنوع زیستی و میزبان گونه‌های منحصر به فردی هستند که به توازن اکولوژیکی کمک می‌کند. اگر نقش آنها را برای حیات، بنیادی بدانیم اغراق نکرده‌ایم.

تهدیدهایی که متوجه کوه‌ها و یخچال‌های طبیعی است

تغییر اقلیم مهم‌ترین تهدید برای کوه‌ها و یخچال‌های طبیعی به شمار می‌آید. از دهه ۱۹۷۰، یخچال‌های طبیعی جهان بیش از ۹۰۰۰ میلیارد تن یخ را از دست داده‌اند. نمونه‌های آن را می‌توان ذوب‌شدن سریع در مناطق آند (۳۰ تا ۵۰ درصد کاهش توده یخ از دهه ۱۹۸۰) و هندوکش (پیش‌بینی کاهش ۵۰ درصدی تا سال ۲۱۰۰) نام برد. این روند چرخه‌های آب را تغییر می‌دهد و سبب رخداد فراوان‌تر سیل، خشکسالی و زمین‌لغزش می‌شود و فراهمی بلندمدت آب را به خطر می‌اندازد.

فعالیت‌های انسانی این چالش‌ها را تشدید می‌کند. جنگل‌زدایی، استخراج معادن و پروژه‌های زیربنایی در مناطق کوهستانی سبب تخریب اکوسیستم‌ها، آلوده‌شدن منشأ آب و افزایش آسیب‌پذیری در برابر بلایا می‌شود. رواناب‌های صنعتی و کشاورزی بر آلودگی این منابع مهم می‌افزایند. حکمرانی ضعیف، تلاش‌های هماهنگ را برای حفاظت از این منابع ناکام می‌گذارد.

تهدید کمتر شناخته‌شده اما رو به رشد، رسوب کربن سیاه و ذرات دیگر بر روی سطوح یخچال است. توفان‌های ریزگرد یا آتش‌سوزی جنگل‌ها، یخ را تیره می‌کند و در نتیجه، قابلیت بازتاب آن را کاهش می‌دهد و آب‌شدن آن را تسریع می‌کند. پدیده «برف هندوانه‌ای»^۱ یا «خون یخچال»^۲ به شکل فزاینده‌ای در هیمالیا و قطب شمال مشاهده می‌شود.^۳

وضعیت کنونی کوه‌ها و یخچال‌های طبیعی

وضعیت کوه‌ها و یخچال‌ها نگران‌کننده است. گزارش سازمان ملل نشان می‌دهد که از سال ۱۹۷۵ تا به امروز، بیش از ۹۰۰۰ میلیارد تن از حجم یخچال‌های طبیعی کاهش یافته است؛ تنها در سال ۲۰۲۴، ۴۵۰ میلیارد تن از دست رفته است، این حجم معادل کشوری در اندازه آلمان است. در کوه‌های آند و

آلپ، یخچال‌های طبیعی به سرعت در حال عقب‌نشینی هستند و ممکن است تا پایان این قرن ناپدید شوند. پوشش برف نیز از سال ۱۹۷۹ تا ۲۰۲۲ به میزان ۷/۷۹ درصد کاهش یافته و کاهش بیشتری در پیش است. این تغییرات هم‌اینک نیز بر زندگی روزمره و معیشت مردم تأثیر گذاشته است.

در آسیای مرکزی، کوچک‌شدن یخچال‌های طبیعی، ریسک سیلاب‌های ناگهانی ناشی از دریاچه‌های یخچالی را افزایش می‌دهد و روستاهای پائین‌دست را تهدید می‌کند. در هیمالیا، کاهش توده یخچال‌های طبیعی، تأمین آب میلیارد‌ها انسان متکی به رودخانه‌هایی مانند گنگ را در معرض خطر قرار می‌دهد. در رشته کوه‌های راکی در آمریکای شمالی، کاهش حجم انباشت برف، آب مورد نیاز برای کشاورزی و شهرهای غرب ایالات متحده را کاهش می‌دهد.

ضرورت توجه به کوه‌ها و یخچال‌های طبیعی

ضرورت مبرم تمرکز بر کوه‌ها و یخچال‌های طبیعی، برآمده از اثرات فزاینده تغییر اقلیم و فشارهای انسانی است. افزایش دمای جهانی، یخچال‌های طبیعی را با سرعتی نگران‌کننده ذوب و چرخه طبیعی آب را مختل می‌کند. ذوب سریع یخچال‌ها در ابتدا جریان آب رودخانه‌ها را افزایش می‌دهد، در نتیجه سبب‌ساز سیل می‌شود که به جوامع محلی خسارت می‌زند و اراضی کشاورزی را از بین می‌برد. با گذشت زمان، کوچک‌شدن یخچال‌های طبیعی، موجودی آب را به ویژه در دوره‌های خشک که ذوب یخ بسیار مهم است کاهش می‌دهد. این روند، امنیت آب و غذای دو میلیارد نفر را که به این منابع وابسته هستند تهدید می‌کند.

گزارش سازمان ملل متحد هشدار می‌دهد که برخی مناطق، از جمله آند گرمسیری، غرب کانادا و کوه‌های آلپ سوئیس، به «اوج آب» رسیده‌اند. اوج آب به معنای نقطه‌ای است که در آن، به دلیل کاهش شدید حجم یخچال‌های طبیعی، جریان آب رودخانه‌ها شروع به کم‌شدن می‌کند. این وضعیت حاکی از کاهش منابع آب در آینده است که پیامدهای عمیقی برای کشاورزی، مراکز شهری و اکوسیستم‌ها خواهد داشت.

در سطح جهان، ذوب یخچال‌ها بین ۲۵ تا ۳۰ درصد در افزایش تراز دریاها نقش دارد و جمعیت ساحلی دور از کوه‌ها را در معرض خطر قرار می‌دهد. اثرات زنجیره‌وار ذوب یخچال‌ها بسیار گسترده است. زوال اکوسیستم‌های کوهستانی، تنوع زیستی را تضعیف می‌کند، ذخیره کربن را کاهش می‌دهد و دامنه‌ها را بی‌ثبات می‌کند و ریسک زمین‌لغزش‌ها را افزایش می‌دهد. ذوب‌شدن زمین‌های همیشه یخ‌زده، کربن ذخیره‌شده را آزاد و تغییر اقلیم را بدتر می‌کند. این قبیل پیامدهای به هم‌پیوسته توضیح می‌دهند که چرا بی‌درنگ باید به کوه‌ها و یخچال‌های طبیعی رسیدگی کرد، نه تنها برای امنیت آب، بلکه برای سلامت کلی سیاره زمین.

1. Watermelon snow
2. Glacier blood

۳. برف هندوانه‌ای یا خون یخچال پدیده‌ای است که در آن برف یا یخ به رنگ قرمز مایل به صورتی دیده می‌شود. این رنگ ناشی از حضور نوع خاصی از جلبک‌های سبز است که در محیط‌های سرد و برفی زندگی می‌کنند. این جلبک‌ها رنگدانه قرمزی تولید می‌کنند که سبب تیره‌تر شدن سطح برف یا یخ می‌شود. تیره‌تر شدن سطح برف یا یخ نیز سبب کاهش قابلیت بازتاب نور خورشید و در نتیجه افزایش جذب گرما و تسریع فرایند ذوب می‌شود

وضعیت منابع آب زیرزمینی کالیفرنیا: گزارش به روزرسانی نیم سالانه (می ۲۰۲۵)

استثنائاً پربارش ۲۰۲۳ کمک کرد. با این همه، پنج ماه نخست سال آبی ۲۰۲۵ در بیشتر بخش‌های ایالت به ویژه در دره مرکزی و مناطق جنوبی، به شکل چشمگیری خشک بود. در بعضی مناطق، مقدار بارندگی آن قدر کم بوده که تنها در ۱۰ درصد از سال‌های ثبت شده گذشته، بارندگی به این کمی دیده شده است. در مقابل، مناطق شمالی کالیفرنیا، بارندگی بالاتر از میانگین یا حتی رکوردشکن بود. این تفاوت‌های شدید، نوسان همیشگی اقلیم کالیفرنیا و نیاز فزاینده به مدیریت دینامیک منابع آب را به روشنی نشان می‌دهد.

اگر چه در پی شرایط نسبتاً پربارش سال گذشته، ترازهای آب زیرزمینی در بیشتر چاه‌ها پایدار شده یا افزایش یافته است، اما روندهای بلندمدت همچنان نگران‌کننده‌اند. در بازه ۲۰ ساله، ۴۹ درصد از چاه‌های سراسر ایالت روند اُفت را نشان می‌دهند و بیشترین اُفت‌ها در منطقه دریاچه تولر^۵ متمرکز بوده است.

فرونشست زمین که پیامد برداشت بیش از اندازه آب زیرزمینی است، در سال گذشته در برخی نواحی اندکی بهبود یافته (یعنی زمین کمی بالا آمده)، اما همچنان مسئله‌ای جدی به شمار می‌رود، به ویژه در دره مرکزی که این پدیده به زیرساخت‌ها آسیب زده و ظرفیت ذخیره‌سازی آب را کاهش داده است.

ذخیره آب زیرزمینی همچنان نسبت به دوره‌های خشکسالی و ترسالی بسیار حساس هستند و افزایش‌هایی که

قانون مدیریت پایدار منابع آب زیرزمینی کالیفرنیا^۱، که اکنون وارد دومین دهه پیاده‌سازی خود شده، همچنان چارچوب هدایت‌کننده اقدامات مدیریت آب زیرزمینی در مقیاس محلی است. این اقدامات برابر «برنامه پایداری منابع آب زیرزمینی»^۲ پیگیری می‌شوند و شامل پروژه‌هایی مانند تغذیه، کاهش تقاضا و افزایش کارایی هستند.

سازمان‌های محلی موسوم به «آژانس‌های پایداری آب زیرزمینی»^۳ مسئول اجرای این برنامه‌ها و پیگیری پیشرفت آن‌ها هستند. این کار با پایش شاخص‌های کلیدی مانند تراز آب زیرزمینی، میزان پمپاژ، و دیگر معیارهای مهم انجام می‌گیرد. برای پشتیبانی این کار، دپارتمان منابع آب کالیفرنیا به سرمایه‌گذاری در ابزارهای علمی مانند سامانه‌های ماهواره‌ای پایش فرونشست زمین (InSAR)، پایش تبخیر-تعرق، پیمایش الکترومغناطیسی هوابرد (AEM) و سامانه‌های مخابره بهنگام داده‌های تراز آب ادامه می‌دهد. همچنین، قسمت «پروژه‌ها و اقدامات مدیریت» در وبگاه قانون مدیریت پایدار آب زیرزمینی^۴، شفافیت را افزایش داده و از مدیریت تطبیقی پشتیبانی می‌کند.

بارش در سال آبی ۲۰۲۴ در مقایسه با میانگین ۵۰ سال گذشته در سطح متوسط قرار داشت و همین امر به تداوم تلاش‌ها برای تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی پس از سال آبی

1. Sustainable Groundwater Management Act (SGMA)

2. Groundwater Sustainability Plans (GSPs)

3. Groundwater Sustainability Agencies (GSAs)

4. SGMA Portal

5. Tulare Lake

در سال ۲۰۲۴-۲۰۲۳ مشاهده شد، تنها بخشی از افت‌های بلندمدت را جبران کرده است.

در سال آبی ۲۰۲۴، آژانس‌های پایداری آب زیرزمینی، مجموع استفاده آب را در ۹۸ حوضه حدود ۳۶ میلیارد متر مکعب گزارش کردند که از این میزان، حدود ۱۴ میلیارد متر مکعب- معادل ۴۰ درصد- از منابع آب زیرزمینی تأمین شده است. در مقابل، در سال‌های خشک اخیر یعنی سال‌های آبی ۲۰۲۱ و ۲۰۲۲، بیش از ۶۰ درصد از کل استفاده آب از طریق برداشت از منابع زیرزمینی تأمین شده بود. این تغییرات به روشنی نشان می‌دهد که در سال‌های خشک، وابستگی به منابع آب زیرزمینی به شکل چشمگیری افزایش می‌یابد. این وضعیت، آسیب‌پذیری سیستم تأمین آب ایالت در برابر خشکسالی و نقش تعیین‌کننده بارش در استفاده آب را در سطح ایالت برجسته می‌کند.

گزارش نیم‌سالانه حاضر بر پایه داده‌هایی تهیه شده است که تا آوریل ۲۰۲۵ در اختیار دپارتمان منابع آب قرار گرفته‌اند و بازتاب‌دهنده تأثیر چند سال نسبتاً پربارش پس از یک دوره خشکسالی است. با این همه باید توجه داشت که پاسخ آب زیرزمینی، فرایندی کند است و ممکن است ماه‌ها تا حتی سال‌ها طول بکشد تا تأثیر کامل تغییرات در شرایط آب‌های سطحی در آن نمایان شود. سند حاضر، تازه‌ترین گزارش از مجموعه گزارش‌های به روزرسانی نیم‌سالانه درباره وضعیت آب زیرزمینی است. گزارش پیشین در اکتبر ۲۰۲۴ منتشر شده بود.

یافته‌های کلیدی

پیاده‌سازی قانون مدیریت پایداری منابع آب زیرزمینی و سال‌های آبی ۲۰۲۴ و ۲۰۲۵

- آژانس‌های محلی پایداری آب زیرزمینی بیش از ۱۵۰۰ پروژه و اقدام مدیریتی را در برنامه‌های پایداری آب زیرزمینی خود گنجانده‌اند که بسیاری از آن‌ها در مراحل گوناگون برنامه‌ریزی و پیاده‌سازی قرار دارند. این پروژه‌ها شامل پروژه‌های تغذیه، کاهش تقاضا، افزایش کارایی، هماهنگی کاربری اراضی و موارد متعدد دیگر می‌شود.

- آژانس‌های پایداری منابع زیرزمینی در حال گسترش شبکه‌های پایش و استفاده از گزارش‌های سالانه برای رصد شاخص‌های کلیدی مانند تراز آب زیرزمینی، فرونشست زمین، الگوهای استفاده آب و حجم تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی هستند.

- دپارتمان منابع آب در ابزارهایی مانند InSAR، پیمایش‌های الکترومغناطیسی هوابرد، مدل‌سازی پیشرفته و سامانه‌های مخابره داده سرمایه‌گذاری می‌کند تا کیفیت داده‌ها را بهبود بخشیده و تصمیم‌گیری‌ها را بهتر پشتیبانی کند.

- قسمت «پروژه‌ها و اقدامات مدیریتی» در وبگاه قانون

مدیریت پایدار آب زیرزمینی، پروژه‌ها و اقدامات مدیریتی تعریف‌شده توسط آژانس‌های پایداری آب زیرزمینی را پیگیری و از شفافیت، گزارش‌دهی مطابق قانون و مدیریت تطبیقی پشتیبانی می‌کند.

- گزارش به روزرسانی ۲۰۲۵ آب زیرزمینی کالیفرنیا، داده‌های جدید حاصل از پیاده‌سازی قانون مدیریت پایداری آب زیرزمینی را در بر خواهد گرفت و راهنمایی‌های علمی به روزشده‌ای ارائه خواهد داد که با اهداف تاب‌آوری در برابر تغییر اقلیم و امنیت آبی همسو است.

- میزان بارش در سال آبی ۲۰۲۴ (اکتبر ۲۰۲۳ تا سپتامبر ۲۰۲۴) در حدود میانگین بلندمدت بود و به تداوم تلاش‌ها برای تغذیه آب زیرزمینی پس از سال آبی بسیار پربارش ۲۰۲۳ کمک کرد.

- پنج ماه نخست سال آبی ۲۰۲۵ (اکتبر ۲۰۲۴ تا فوریه ۲۰۲۵) در بخش زیادی از ایالت کالیفرنیا خشک بود، به ویژه در دره مرکزی، نواحی جنوبی و شهرستان‌های داخلی، به طوری که در برخی مناطق، میزان بارش در پائین‌ترین دهک تاریخی یا حتی در خشک‌ترین مقادیر ثبت‌شده قرار گرفت. در مقابل، مناطق شمالی کالیفرنیا استثنا بودند و بارش‌هایی فراتر از سطح نرمال تا سطح رکورد دریافت کردند. این وضعیت، تفاوت چشمگیر موجودی آب را در مناطق مختلف به وجود آورد.

ترازهای آب زیرزمینی

- مقایسه ترازهای آب زیرزمینی در پائیز ۲۰۲۳ و پائیز ۲۰۲۴ نشان می‌دهد که: ۷۰ درصد چاه‌ها دارای تراز آب تقریباً مشابه در هر دو سال بوده‌اند، ۱۸ درصد چاه‌ها افزایش تراز آب زیرزمینی را نشان می‌دهند و ۱۲ درصد چاه‌ها با کاهش تراز آب زیرزمینی مواجه بوده‌اند.

- در سطح ایالت، مقایسه ۱۰ ساله تراز آب زیرزمینی از پائیز ۲۰۱۴ تا پائیز ۲۰۲۴ نشان می‌دهد که در ۴۶ درصد چاه‌ها تراز آب زیرزمینی ۱/۵ متر یا بیشتر افزایش یافته است، در ۳۷ درصد چاه‌ها تراز آب نسبت به سال ۲۰۱۴ تغییری نکرده، و در ۱۷ درصد چاه‌ها تراز آب، ۱/۵ متر یا بیشتر افت کرده است. این نخستین بار در مقایسه‌های پائیزی ۱۰ ساله است که درصد موارد افزایش تراز آب از درصد موارد افت بیشتر شده‌اند، الگویی که با روند مشاهده‌شده در بهار ۲۰۲۴ نیز همخوانی دارد. این بهبودها با دهه نخست اجرای قانون مدیریت پایدار منابع آب زیرزمینی هم‌زمان بوده و به‌احتمال زیاد، ترکیبی از الگوهای بارشی پرباران اخیر و اقدامات مدیریتی برابر قانون را بازتاب می‌دهد.

- روندهای بلندمدت تراز آب زیرزمینی در بازه ۲۰

سال گذشته نشان می‌دهد که ۴۹ درصد از چاه‌های پایش‌شده با روند افت تراز آب مواجه بوده‌اند، در ۴۲ درصد چاه‌ها روند مشخصی مشاهده نشده است، و تنها در ۸ درصد چاه‌ها روند افزایش تراز آب ثبت شده است.

فرونشست زمین

- فرونشست فعال زمین در حوضه‌های آبریز ساکرامنتو (Sacramento)، سن‌واکین (San Joaquin) و دریاچه تولر (Tulare) مشاهده شده است.
- بین اکتبر ۲۰۲۳ تا اکتبر ۲۰۲۴، مساحتی در حدود ۷۷۷ کیلومتر مربع شاهد بالآآمدگی بیش از ۳ سانتی‌متر بوده است، در حالی که حدود ۵۶۹۸ کیلومتر مربع با فرونشست بیش از ۳ سانتی‌متر مواجه شده‌اند. هیچ‌کدام از مناطق مورد بررسی فرونشستی بیش از ۲۴ سانتی‌متر نداشته‌اند.

مدیریت آب زیرزمینی: برداشت، تغذیه و تغییر در ذخیره

- در سال‌های خشک‌تر مانند سال‌های آبی ۲۰۲۱ و ۲۰۲۲، سهم آب زیرزمینی بیش از ۷۰ درصد از کل استفاده آب در حوضه‌هایی بوده است که در وضعیت بیش‌برداشت بحرانی قرار داشته‌اند، در حالی که در دیگر حوضه‌ها این سهم تنها بین ۵۳ تا ۵۸ درصد گزارش شده است. در سال آبی ۲۰۲۳، استفاده آب زیرزمینی در حوضه‌های بحرانی به تنها ۲۸ درصد کاهش یافت، در حالی که دیگر حوضه‌ها هنوز حدود ۴۰ درصد استفاده آب خود را از منابع زیرزمینی تأمین کردند.
- در سال آبی ۲۰۲۴، حدود ۱۴ میلیارد متر مکعب برداشت آب زیرزمینی (یا پمپاژ آب زیرزمینی) در ۹۸ حوضه که گزارش سالانه خود را ارائه کردند، ثبت شد که این رقم نسبت به حدود ۱۲ میلیارد متر مکعب گزارش‌شده در سال آبی ۲۰۲۳ افزایش یافته است. دره مرکزی بیش از ۸۴ درصد از کل برداشت آب زیرزمینی کالیفرنیا را در سال آبی ۲۰۲۴ به خود اختصاص داده است.
- در سال آبی ۲۰۲۴، از میان ۹۸ حوضه‌ای که داده‌های سالانه را ارائه کردند، ۲۱ حوضه مجموعاً ۲/۳۴ میلیارد متر مکعب تغذیه مصنوعی آبخوان‌ها را گزارش کردند. این رقم نسبت به ۵ میلیارد متر مکعب در سال آبی ۲۰۲۳ کاهش یافته است. دره مرکزی تقریباً ۲ میلیارد متر مکعب از این میزان تغذیه را به خود اختصاص داده است.
- در سال آبی ۲۰۲۴، ذخیره آب زیرزمینی در ۹۸ حوضه آبریز، به میزان ۲/۷ میلیارد متر مکعب افزایش یافت.

در مقایسه، در سال آبی ۲۰۲۳ که سالی بسیار پربارش بود، ذخیره آب زیرزمینی در ۹۹ حوضه، ۱۰/۷ میلیارد متر مکعب افزایش داشته است.

- ذخیره آب زیرزمینی در دره مرکزی به شدت نسبت به دوره‌های خشکسالی و پربارش حساس است، به گونه‌ای که افزایش‌های اخیر در سال‌های ۲۰۲۴-۲۰۲۳ تنها بخشی از کاهش‌های بلندمدت را جبران کرده است. داده‌های ماهواره‌ای GRACE و اطلاعات دپارتمان منابع آب کالیفرنیا، شدت خالی‌شدن منابع آب زیرزمینی را برجسته می‌کنند، در حالی که داده‌های گزارش‌شده در برنامه‌های پایداری آب زیرزمینی، ارتباط معنادار میان اقدامات مدیریت در مقیاس محلی و روندهای مشاهده‌شده برقرار می‌کنند. این موضوع ضرورت پایش دقیق و مدیریت تطبیقی را در چارچوب قانون مدیریت پایدار آب زیرزمینی را پررنگ می‌کند.

وضعیت چاه‌ها و گزارش‌دهی داده‌ها

- در سال آبی ۲۰۲۴، کمترین تعداد نصب چاه‌های جدید خانگی (۲۴۲۵ مورد) و آبیاری (۷۰۴ مورد) در دهه گذشته به ثبت رسید.
- در سال آبی ۲۰۲۴، ۱۵۶ چاه خشک گزارش شد که کمتر از تعداد چاه‌های خشک گزارش‌شده در سال‌های آبی ۲۰۲۱ (۸۱۴ مورد)، ۲۰۲۲ (۱۴۹۴) و ۲۰۲۳ (۳۶۷) بوده است. با این که سال آبی ۲۰۲۳ سالی پربارش بود، اما در آغاز سال آبی ۲۰۲۴ همچنان گزارش‌هایی از خشک‌شدن چاه‌ها دریافت شده است.
- از میان بیش از ۹۰۰۰ چاه آب زیرزمینی که در سال آبی ۲۰۲۴ پایش شدند، ۲۴ درصد اندازه‌گیری‌های انجام‌شده ظرف ۳۰ روز پس از برداشت داده‌ها ارسال شده‌اند و تنها ۲ درصد از چاه‌ها مجهز به سامانه انتقال خودکار داده‌ها (داده‌برداری از راه دور) بوده‌اند که اطلاعات پیوسته و تقریباً هم‌زمان ارسال می‌کنند. دولت ایالتی همچنان به همکاری با دستگاه‌های محلی و مردم ادامه می‌دهد و در این راستا، شمار ایستگاه‌های مجهز به سامانه پایش از راه دور را از ۱۰۰ مورد در سال آبی ۲۰۲۲ به بیش از ۲۰۰ مورد در سال آبی ۲۰۲۴ افزایش داده است، تا طریق این ایستگاه‌ها، داده‌های لحظه‌ای و در دسترس عموم را به صورت گسترده‌تری گردآوری و ارائه کند.

مأخذ:

- California Department of Water Resources. California's Groundwater Conditions Semi-Annual Update: May 2025.



تجربه تلخ؟

خورشید در سایه بحران: راه نجات یا تکرار یک

در میانه تعطیلی‌های گسترده ناشی از بحران کم‌سابقه انرژی، نشستی تخصصی با حضور مدیران، کارشناسان و فعالان حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر برگزار شد؛ نشستی که بیش از آنکه به تکرار داده‌های فنی بپردازد، نگاهی ژرف به ریشه‌ها و راه‌حل‌های این بحران داشت و هشدارهایی جدی درباره آینده به میان آورد. دبیر نشست با اشاره‌ای به دو نقطه عطف در تاریخ معاصر ایران- قحطی بزرگ ۱۳۲۰ و ورود فناوری حفر چاه‌های عمیق در سال ۱۳۲۳- از سرنوشتی گفت که در آن یک فناوری نجات‌بخش به فاجعه‌ای ملی تبدیل شد. او هشدار داد که ممکن است همین سرنوشت، این بار در کمین فناوری خورشیدی باشد؛ اگر از هم‌اکنون به صورت هوشمندانه برای آن برنامه‌ریزی نشود.

۲۰ هزار مگاوات کسری برق؛ بحران یا فرصت؟

دکتر محمدجواد کریمی، معاون سازمان ساتبا با اشاره به پیش‌بینی کمبود ۲۰ هزار مگاواتی برق در سال جاری، انرژی‌های تجدیدپذیر را «مقرون به صرفه‌ترین» و «زیست‌محیطی‌ترین» راه‌حل برای خروج از این وضعیت معرفی کرد. با این حال، سهم کنونی انرژی پاک در کشور تنها حدود ۱۵۰۰ مگاوات است. او از برنامه‌ای برای افزایش این رقم به ۳۰ هزار مگاوات در میان‌مدت خبر داد، اما تأکید کرد که بدون تأمین مالی، هماهنگی نهادی و بسیج ملی، تحقق این هدف ممکن نیست.

نیروگاه خانگی خورشیدی؛ یک وعده بزرگ

مهندس صالحی، رئیس هیئت مدیره انجمن ساتکا با اعلام طرحی برای تجهیز یک میلیون خانه به نیروگاه خورشیدی، ظرفیت بالقوه‌ای معادل ۵ هزار مگاوات را مطرح کرد. اما او نیز هشدار داد که انرژی خورشیدی، به‌رغم ظرفیت بالا نمی‌تواند به تنهایی بار سنگین کسری برق را به دوش بکشد، به ویژه در کشوری که دومین ذخایر گازی جهان را دارد.

کشاورزی، قربانی خاموش بحران انرژی

بخش مهمی از نشست به رابطه پیچیده آب، انرژی و کشاورزی اختصاص داشت. مهندس نجفی با اشاره به سهم بالای کشاورزی در مصرف انرژی (تا ۴۷ درصد در برخی استان‌ها)، مصرف بالا و بازده پایین پمپاژ آب از چاه‌ها را یکی از گره‌های اصلی معرفی کرد. او از نیروگاه‌های خورشیدی به عنوان راهی برای کاهش هزینه‌ها و آلودگی یاد کرد، اما چالش‌هایی همچون هزینه اولیه بالا، پیچیدگی فرآیندهای اداری و نبود حمایت مؤثر را از موانع جدی برشمرد.

هشدار نسبت به تکرار تجربه‌های شکست خورده

دکتر عبداللهی، پژوهشگر حوزه آب و کشاورزی با لحنی هشدارآمیز گفت: «انرژی خورشیدی نباید به سرنوشت آبیاری تحت فشار دچار شود.» او تأکید کرد که هدف از توسعه خورشیدی باید تنها رفع ناترازی انرژی باشد، نه ابزاری برای تداوم بی‌ضابطه برداشت از منابع آبی. پیشنهاد او، احداث نیروگاه‌های متمرکز با سرمایه‌گذاری جمعی به جای واگذاری مستقیم به کشاورزان بود.

سناریوهای فنی جایگزین

یکی از مهم‌ترین محورهای این نشست، بررسی مدل‌های فنی برای تأمین برق پمپ‌های کشاورزی از طریق افزایش بهره‌وری مصرف بود. در همین راستا فلفلانی، با ارائه داده‌هایی کمی و بر مبنای فروض مشخص (عمق متوسط چاه: ۱۴۰ متر، دبی: ۲۰ لیتر در ثانیه، مصرف سالانه ۴۰۰,۰۰۰ کیلووات‌ساعت، نرخ رشد تعرفه ۳۰ درصد، نرخ تنزیل ۳۲ درصد)، سه سناریوی مداخله در تجهیزات پمپاژ را برای کاهش مصرف برق تحلیل کرد:

سناریو	شرح	صرفه جویی انرژی	هزینه سرمایه‌گذاری	دوره بازگشت سرمایه	مزایا	محدودیت‌ها / چالش‌ها
جایگزینی با پمپ شناور	حذف پمپ‌های شافت و غلاف و نصب پمپ شناور با راندمان بالاتر	۲۰ درصد	۷۰۰ میلیون تومان	۲ سال و ۱۱ ماه	راندمان بالا، کاهش استهلاک، قابلیت انطباق با خورشیدی	هزینه اولیه بالا، نیاز به تغییر ساختار
نصب اینورتر	کاهش دور موتور و کنترل توان مصرفی از طریق اینورتر	۱۴ درصد	۲۵۰ میلیون تومان	۳ سال	کنترل پذیری بهتر، افزایش عمر تجهیزات، هماهنگی با خورشیدی	نیاز به آموزش، حساسیت فنی و نگهداری
بهسازی پمپ شافت و غلاف موجود	تعمیر اساسی، اصلاح طراحی و بهبود راندمان پمپ‌های فعلی	۱۰-۲۰ درصد (بسته به وضعیت فعلی)	۱۰۰-۳۰۰ میلیون تومان	۲ تا ۳ سال	حفظ زیرساخت، هزینه کمتر، اجرای سریع	محدودیت در میزان صرفه جویی، بهبود محدود نسبت به دو سناریوی دیگر

وی نتیجه‌گیری کرد که بهینه‌سازی تجهیزات مصرفی، مکمل ضروری توسعه خورشیدی در کشاورزی است و در بسیاری از موارد می‌تواند بازدهی سرمایه‌گذاری را نیز بهبود بخشد.

فراتر از فناوری؛ نیاز به سیاست‌ورزی چندلایه

در جمع‌بندی نشست، همه سخنرانان بر این نکته اشتراک داشتند که بحران کنونی، محصول ناترازی فنی صرف نیست، بلکه حاصل شکاف در سیاست‌گذاری، نبود هماهنگی بین‌دستگاهی و بی‌توجهی به پیوست‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی است. انرژی خورشیدی، اگر چه راهکاری مهم و اجتناب‌ناپذیر برای نجات شبکه برق و کاهش وابستگی چاه‌ها به برق شبکه است، اما بدون اصلاح سیاست‌گذاری مصرف، بازنگری در یارانه‌ها، سرمایه‌گذاری زیرساختی و ب ویژه مدیریت منابع آب، می‌تواند به عاملی برای تشدید بحران بدل شود.

برای مطالعه گزارش کامل این نشست می‌توانید به تارنمای اندیشکده تدبیر آب ایران مراجعه نمایید.



بحران برق در ونزوئلا: فروپاشی، پیامدها و تلاش برای بازسازی

گاز طبیعی کار می‌کنند، تنها با ۱۵ درصد ظرفیت خود فعالیت دارند. کمبود سوخت، خرابی تجهیزات و مشکلات لجستیکی، مانع از ایفای نقش جایگزین این نیروگاه‌ها برای کاهش بار از دوش سد گوری شده است. نتیجه، خاموشی‌های گسترده در سراسر کشور است. به نظر تحلیلگران انرژی، سقوط تولید در سد گوری بدون نوسازی توربین‌ها و سرمایه‌گذاری خارجی برگشت‌پذیر نیست. تعمیرات کوتاه‌مدت جوابگو نیستند.

زیرساخت در آستانه فروپاشی

خاموشی‌های گسترده به بخش ثابت زندگی مردم ونزوئلا تبدیل شده‌اند. در برخی مناطق، قطعی برق روزانه ۱۰ تا ۱۲ ساعت به طول می‌انجامد. ایالت‌های زولیا (Zulia) و کارابوبو (Carabobo) از جمله مناطقی هستند که زیرساخت‌هایشان توان پاسخ‌گویی به خدمات پایه مانند تصفیه آب و ارتباطات را ندارند. در مارس ۲۰۲۵، قطع برق ۴۸ ساعته در پایتخت (کاراکاس)، سبب توقف کامل مترو و مختل شدن زندگی بیش از دو میلیون نفر شد. حتی برق تولیدشده نیز به‌طور کامل به مصرف‌کنندگان نمی‌رسد. سیستم انتقال برق کشور که عمر برخی خطوط آن به ۷۰ سال می‌رسد، تا ۳۰ درصد انرژی تولیدشده را در مسیر توزیع از دست می‌دهد. این یعنی حتی تولید محدود برق هم نمی‌تواند نیاز واقعی مصرف‌کنندگان را تأمین کند.

ونزوئلا، که روزگاری از قدرت‌های انرژی آمریکای جنوبی به شمار می‌آمد، اکنون درگیر بحرانی شدید و ساختاری در بخش برق است. خاموشی‌های مکرر تا ۱۲ ساعت در روز، زندگی روزمره مردم و فعالیت‌های اقتصادی را فلج کرده است. بیمارستان‌ها برای ادامه کار خود به ژنراتورهای دیزلی متکی شده‌اند و نهادهای دولتی در اثر فرسودگی زیرساخت‌ها به بن‌بست رسیده‌اند. با اینکه ونزوئلا بزرگ‌ترین ذخایر اثبات‌شده نفتی جهان را دارد، سال‌ها سوءمدیریت، فساد و انزوای بین‌المللی این کشور را به لبه پرتگاه کشانده است. این بحران صرفاً فنی نیست، بلکه نشانه‌ای از یک فروپاشی گسترده در ساختار حکمرانی کشور است.

ریشه‌های بحران

بحران برق ونزوئلا عمدتاً ناشی از فروپاشی دو منبع اصلی تولید برق است: انرژی برقابی و نیروگاه‌های حرارتی. سد گوری (Guri)، که ستون فقرات سیستم برق کشور محسوب می‌شود، زمانی بیش از ۶۰ درصد برق ملی را تأمین می‌کرد. اما از سال ۲۰۲۰ تاکنون، تولید آن به دلیل خشکسالی طولانی‌مدت و فرسودگی شدید تجهیزات، حدود ۴۰ درصد کاهش یافته است. به دلیل نبود نگهداری مناسب، توربین‌های این سد دچار نقص شده‌اند و بدون سرمایه‌گذاری خارجی قابل احیا نیستند. از سوی دیگر، نیروگاه‌های حرارتی که با سوخت دیزل و



دولت مادورو با اذعان به وخامت اوضاع، ساعات کاری نهادهای دولتی را به نصف کاهش داده است. در شهرهایی مانند ماراکایبو (Maracaibo)، بیمارستان‌ها تقریباً به طور کامل به ژنراتورهای دیزلی وابسته شده‌اند که مصرف آن‌ها نسبت به قبل از بحران، دو برابر شده است.

پاسخ شرکت ملی نفت: دورکاری و اولویت‌بندی انرژی
شرکت دولتی نفت ونزوئلا (PDVSA)، که موتور اقتصادی کشور محسوب می‌شود، برای کاهش مصرف برق اقدامات خاصی را آغاز کرده است. از مارس ۲۰۲۵، حدود ۳۵ درصد از کارکنان اداری این شرکت به صورت ترکیبی از محل کار و دورکاری فعالیت می‌کنند. این مدل ترکیبی، مصرف برق ساختمان مرکزی در کاراکاس را تا ۲۵ درصد کاهش داده است.

به گفته مدیرعامل شرکت، «دورکاری هم استمرار عملیات را تضمین می‌کند و هم سوخت را برای بخش‌های حیاتی حفظ می‌کند. ساختمان‌های اداری انرژی زیادی مصرف می‌کنند، در حالی که سهم چندانی در تولید ندارند.» شرکت ملی نفت پیش از این در سال ۲۰۲۲ برنامه آزمایشی دورکاری را اجرا کرده بود که باعث صرفه‌جویی ماهانه حدود ۱۵۰۰۰ بشکه گازوئیل شد. این تجربه به الگویی برای اجرای گسترده‌تر تبدیل شده است. دولت قصد دارد این مدل را به شرکت‌های دولتی دیگر نیز تعمیم دهد. این سیاست علاوه بر صرفه‌جویی انرژی، از نظر اقتصادی نیز مؤثر است. شعبه کلمبیایی شرکت با اجرای مدل مشابه، سالانه ۱۲ میلیون دلار در هزینه‌های عملیاتی صرفه‌جویی کرده است. با این حال، نگرانی‌هایی نیز مطرح است؛ از جمله کاهش بهره‌وری و ضعف زیرساخت اینترنت در ونزوئلا که می‌تواند اجرای مؤثر دورکاری را با چالش روبرو کند.

وجود دارد؛ از جمله راه‌اندازی مجدد بخش‌هایی از پالایشگاه آموای (Amuay) با تأمین ۵۰ میلیون دلار وام از چین. همچنین شرکت شورون (Chevron) که از تحریم‌های آمریکا معاف شده، حدود ۲۰۰ هزار بشکه در روز تولید دارد. این مشارکت، الگویی از همکاری بین‌المللی موفق در شرایط بحران را نشان می‌دهد.

گذشته بحران زده و ریشه‌های تاریخی

بحران امروز نتیجه سال‌ها سوء مدیریت است. برابر گزارش صندوق بین‌المللی پول، سرمایه‌گذاری در زیرساخت برق بین سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ حدود ۹۰ درصد کاهش یافته است. خاموشی سراسری سال ۲۰۱۹ که ۷ روز طول کشید، خسارت ۱/۵ میلیارد دلاری به اقتصاد وارد کرد.

میگل تینکر سالاس تاریخدان (Miguel Tinker Salas)، این بحران را ناشی از تصمیمات سیاسی می‌داند: «ملی‌سازی‌های دولت چاوز سبب ترس سرمایه‌گذاران و اولویت‌یافتن وفاداری سیاسی بر تخصص فنی شد.»

اتهام فساد نیز مطرح است. رافائل رامیرز (Rafael Ramirez)، مدیر سابق شرکت ملی نفت، مدعی است که بین سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۴، حدود ۳۰۰ میلیارد دلار از پروژه‌های زیرساختی منحرف شده است. این موضوع، حتی اگر رقم دقیق آن محل بحث باشد، بازتاب‌دهنده عمق بحران حکمرانی است.

عملیات نفتی ادامه دارد، اما تحت فشار

با وجود اقدامات صرفه‌جویانه در بخش اداری، عملیات اصلی شرکت نفت از جمله تولید، پالایش و صادرات نفت همچنان با اولویت بالا ادامه دارد. میزان تولید کنونی کشور حدود ۸۰۰ هزار بشکه در روز است، که بسیار کمتر از ۳ میلیون بشکه در سال ۲۰۱۰ است.

پالایشگاه‌هایی مانند پاراگوآنا (Paraguana) تنها با ۲۰ درصد ظرفیت کار می‌کنند، ولی تمرکز آن‌ها بر تولید گازوئیل برای نیروگاه‌های حرارتی است. همچنین عملیات در منطقه نفتی اورینوکو (Orinoco)، به دلیل نیاز به تزریق مستمر بخار، نیازمند برق پیوسته است. هرگونه وقفه در این روند می‌تواند به مخازن آسیب بزند و ضررهای جبران‌ناپذیر داشته باشد.

فعالان صنفی نسبت به فشار مضاعف بر کارکنان میدانی هشدار داده‌اند. آن‌ها باید سه شیفت کار کنند تا خلأهای ایجادشده را پر کنند. در مقابل، برخی تغییرات امیدبخش نیز



نقش تحریم‌ها در تشدید بحران

تحریم‌های آمریکا نقش مهمی در پیچیده‌تر شدن بحران ایفا کرده است. در سال ۲۰۲۵، تعرفه‌هایی بر ۵۰۰ هزار بشکه صادرات روزانه نفت ونزوئلا اعمال شد. همچنین معافیت شرکت شورون در آوریل منقضی می‌شود که تولید ۴۰ درصد از نفت کنونی را در معرض خطر قرار می‌دهد.

تحریم‌ها همچنین مانع از دسترسی ونزوئلا به تجهیزات حیاتی مانند توربین‌های زیربناس برای تعمیر سد گوری شده‌اند. چین به این تحریم‌ها اعتراض کرده و آن‌ها را نمونه‌ای از «سوءاستفاده سیاسی از امنیت انرژی» خوانده است. در پاسخ، ونزوئلا از ناوگان سایه شامل ۱۱۵ نفتکش برای دورزدن تحریم‌ها استفاده می‌کند. با این حال، تحریم‌ها بازار جهانی را نیز دگرگون کرده‌اند؛ برای نمونه شرکت ریلیانس هند (Reliance) واردات نفت از ونزوئلا را متوقف کرده است. معافیت موقت در سال ۲۰۲۴ حدود ۲/۱ میلیارد دلار برای ونزوئلا فراهم کرد، اما ۷۰ درصد از این مبلغ صرف بازپرداخت بدهی به شرکت روسی روزنف (Rosneft) شد و سهم اندکی برای بازسازی بخش انرژی باقی ماند.

پیامدهای اقتصادی و اجتماعی

بحران انرژی تأثیری ویرانگر بر اقتصاد ونزوئلا داشته است. اتاق بازرگانی کشور اعلام کرده است که تنها در بخش تولید، خاموشی‌ها سالانه ۳ میلیارد دلار زیان در پی دارند. در سال

۲۰۲۴، اقتصاد ۸ درصد کوچکتر شد و تورم به ۴۵۰ درصد رسید. به گفته برخی اقتصاددانان، هر ساعت قطعی برق، حدود ۰/۱ درصد از تولید سالانه صنعتی را از بین می‌برد. کسب و کارهای کوچک به شدت آسیب دیده‌اند و هزینه سوخت ژنراتورها بخش بزرگی از سود آن‌ها را بلعیده است.

در همین حال، کاهش ارزش بولیوار، قیمت واردات تجهیزات جایگزین مانند ژنراتورها را ۳۰۰ درصد افزایش داده است. شرکت‌های بزرگ نیز آسیب دیده‌اند؛ از جمله شرکت پلار (Polar) که سه کارخانه خود را در سال ۲۰۲۴ تعطیل و ۲۰۰۰ نفر را اخراج کرد. از سوی دیگر، قاچاق سوخت به شهرهای مرزی کلمبیا افزایش یافته و سوخت یارانه‌ای ونزوئلا به بازارهای غیرقانونی راه یافته است.

آینده چه خواهد بود؟

کارشناسان می‌گویند ونزوئلا برای بازسازی شبکه برق و رسیدن به ظرفیت قابل قبول، به ۲۰ میلیارد دلار سرمایه‌گذاری نیاز دارد. اما بودجه اختصاص‌یافته در سال ۲۰۲۵ تنها ۲۰۰ میلیون دلار است - یعنی تنها ۱ درصد از نیاز واقعی.

انرژی‌های تجدیدپذیر می‌توانند امیدی برای آینده باشند. ایالت لارا (Lara) از تابش خورشیدی مناسبی برخوردار است، اما نبود تخصص فنی و محدودیت واردات مانع توسعه این بخش شده است. سازمان ملل برآورد کرده است که با برنامه‌ریزی صحیح، ونزوئلا می‌تواند تا سال ۲۰۳۰، حدود ۳۰ درصد از وابستگی به برقایی را با انرژی‌های تجدیدپذیر جایگزین کند.

پیشنهادهایی برای همکاری بین‌المللی وجود داشته است - از جمله طرح ۱/۲ میلیارد دلاری با شرکت ترکیه‌ای کارپاورشیپ (Karpowership) برای تأمین برق از طریق نیروگاه‌های شناور - اما این مذاکرات نیز به بن‌بست رسیده‌اند. عدم قطعیت‌های حقوقی و سابقه مصادره اموال همچنان مانعی جدی برای سرمایه‌گذاران خارجی است، با وجود اینکه ونزوئلا منابع طبیعی گسترده‌ای در اختیار دارد.

جمع‌بندی

بحران برق ونزوئلا، تصویری هشداردهنده از کشوری است که با وجود دارایی‌های عظیم انرژی، در اثر سال‌ها سوء مدیریت، فساد و انزوا به ورطه سقوط کشیده شده است. بدون اصلاحات فوری، سرمایه‌گذاری کلان و همکاری بین‌المللی، ونزوئلا همچنان در چرخه‌ای از فروپاشی انرژی و رکود اقتصادی گرفتار خواهد ماند.

مأخذ:

- <https://discoveryalert.com.au/news/venezuela-power-crisis-2025-hydroelectric-infrastructure/>

بهره‌برداری از انرژی خورشیدی در هند: سیاست‌ها، دستاوردها و چالش‌ها



صنعت انرژی خورشیدی هند در مسیر رشد چشمگیری قرار دارد و این کشور قصد دارد تا سال ۲۰۳۰، ظرفیت انرژی تجدیدپذیر خود را به ۵۰۰ گیگاوات برساند که ۲۵۰ گیگاوات آن از انرژی خورشیدی تأمین خواهد شد. این توسعه که با اهداف ملی برای امنیت انرژی، تعهدات اقلیمی و دسترسی همگانی به انرژی پیش می‌رود، نه تنها یک ضرورت زیست‌محیطی است، بلکه عنصری کلیدی در توسعه اقتصادی و استقلال انرژی هند محسوب می‌شود. تا دسامبر ۲۰۲۴، ظرفیت نصب‌شده برق خورشیدی هند به ۹۷.۸۶ گیگاوات رسیده است که نشان‌دهنده پیشرفت قابل ملاحظه در دستیابی به این اهداف جاه‌طلبانه است.

سیاست‌ها و نیروهای پیشران

رشد سریع انرژی خورشیدی در هند نتیجه ترکیبی از سیاست‌های منسجم دولتی و محرک‌های اقتصادی بازار است. تمرکز دولت بر کربن‌زدایی و گذار به آینده‌ای پاک‌تر، نیروی محرکه اصلی این تحول است. طرح‌های شاخصی مانند طرح نخست‌وزیر برای تأمین برق رایگان از خورشید، که هدف آن نصب سامانه‌های خورشیدی بر روی پشت‌بام خانه‌ها برای تأمین برق ۱۰ میلیون خانوار است، نمونه‌ای از این رویکرد

است. این طرح نه تنها فقر انرژی را کاهش می‌دهد، بلکه نقش مهمی در توسعه برق خورشیدی نامتمرکز ایفا می‌کند و خانوارها را از مصرف‌کننده صرف به تولیدکننده و مصرف‌کننده هم‌زمان تبدیل می‌کند.

اصلاح مقررات، مشوق‌های مالی و نوآوری در تأمین مالی

علاوه بر سیاست‌های کلان، تلاش‌های قابل توجهی برای اصلاح چارچوب‌های قانونی و کاهش موانع اداری صورت گرفته است. «سیاست خورشیدی دهلی» با ساده‌سازی فرآیندهای صدور مجوز و ارائه مشوق‌های مالی جذاب، مانند یارانه‌های سرمایه‌ای و پاداش‌های مبتنی بر میزان تولید برق، گام مؤثری در این مسیر برداشته است. این الگو به سایر ایالت‌ها در تدوین مقررات سنجش تراز انرژی و توسعه سامانه‌های خورشیدی مشارکتی کمک کرده است.

مدل‌های نوآورانه تأمین مالی نیز به سرعت در حال گسترش هستند، از جمله طرح‌های پرداخت تدریجی، اجاره سامانه‌های خورشیدی، و مدل‌های تأمین مالی جمعی. این ابزارها با هدف افزایش دسترسی‌پذیری و مقرون‌به‌صرفه بودن انرژی خورشیدی، به ویژه برای خانوارهای کم‌درآمد و کسب‌وکارهای کوچک و متوسط، طراحی شده‌اند.

مشارکت‌های دولتی-خصوصی نیز نقش تحول‌آفرینی در گسترش سامانه‌های خورشیدی پشت‌بامی ایفا می‌کنند و با بهره‌گیری از حمایت دولت و کارآمدی بخش خصوصی، ریسک‌های مالی را کاهش داده و فرآیند استقرار سامانه‌های خورشیدی را تسریع می‌بخشند.

پیشرفت‌های فناوری

پیشرفت‌های فناوری نیز نقشی کلیدی در شتاب‌بخشی به رشد انرژی خورشیدی در هند ایفا می‌کنند. استفاده گسترده‌تر از فناوری‌های اینترنت اشیا و هوش مصنوعی در سامانه‌های خورشیدی، کارایی و عملکرد عملیاتی آن‌ها را افزایش داده است. این فناوری‌ها امکان پایش لحظه‌ای تولید و مصرف انرژی، نگهداری پیش‌بینی‌شده و بهینه‌سازی هوشمند جریان برق را فراهم می‌کنند. همچنین، توسعه و به‌کارگیری سامانه‌های ذخیره‌سازی انرژی باتری (BESS) برای جبران نوسانات طبیعی تولید انرژی خورشیدی اهمیت فراوانی دارد. پروژه‌های بزرگ ذخیره‌سازی انرژی، مانند سامانه ۱۰ مگاواتی باتری لیتیوم-یونی شرکت AES-Mitsubishi در روهینی، به تضمین تأمین برق پایدار و قابل اطمینان کمک شایانی می‌کنند.

دستاوردها و نتایج

نتایج عینی تلاش‌های هند در توسعه انرژی خورشیدی در رشد سریع ظرفیت نصب‌شده و پذیرش گسترده آن در بخش‌های مسکونی، تجاری و نیروگاهی مشاهده می‌شود. بخش مسکونی، به ویژه، با افزایش قابل توجهی در بهره‌برداری مواجه شده است که ناشی از یارانه‌های سرمایه‌ای و سیاست‌های مطلوب تهاثر برق تولیدی و مصرفی است. این مشوق‌ها نصب پنل‌های خورشیدی روی پشت‌بام را برای صاحبان خانه از نظر مالی جذاب‌تر کرده و به آن‌ها امکان می‌دهد برق پاک خود را تولید کرده و وابستگی به شبکه برق سنتی را کاهش دهند. بنگاه‌های تجاری نیز با انگیزه‌های اقتصادی قوی به سمت سرمایه‌گذاری در راهکارهای خورشیدی گرایش یافته‌اند تا هزینه‌های عملیاتی خود را مدیریت کرده و ریسک نوسانات قیمت برق شبکه را کاهش دهند. همزمان، پروژه‌های خورشیدی در مقیاس نیروگاهی نیز در سراسر کشور رونق یافته‌اند که نشانه موفقیت مناقصه‌های رقابتی و اعمال تعرفه‌های جذاب است.

برخی ایالت‌های هند، مانند راجستان با ظرفیت نصب‌شده ۱۷.۸ گیگاوات، پیشگامان انقلاب انرژی خورشیدی شده‌اند و از منابع طبیعی فراوان خود برای پروژه‌های بزرگ مقیاس و تشویق فعالانه نصب پنل‌های خورشیدی روی پشت‌بام‌ها بهره برده‌اند. گجرات نیز با ترویج گسترده پروژه‌های خورشیدی در مقیاس نیروگاهی و نامتمرکز، موفقیت‌های چشمگیری کسب کرده است.

راهکارهای انرژی تجدیدپذیر نامتمرکز، به ویژه شبکه‌های خورشیدی کوچک، نقش تحول‌آفرینی در رفع

چالش‌های تأمین برق در مناطق دورافتاده و روستایی هند ایفا می‌کنند. این راهکارهای محلی خورشیدی، روشی مقرون‌به‌صرفه و کارآمد برای گسترش دسترسی به انرژی در جوامع کمتر برخوردار فراهم می‌کند و پیچیدگی‌ها و هزینه‌های مرتبط با توسعه شبکه برق سراسری را کاهش می‌دهند. سازمان‌هایی مانند SELCO India موفقیت چشمگیری در اجرای نیروگاه‌های خورشیدی در روستاهای دورافتاده داشته‌اند. تأثیر انرژی خورشیدی به بخش‌های حیاتی مانند سلامت نیز می‌رسد و دسترسی به انرژی مطمئن برای تجهیزات پزشکی ضروری و ارتقاء کیفیت خدمات درمانی در مناطق دورافتاده را بهبود می‌بخشد.

چالش‌ها و کاستی‌ها

با وجود پیشرفت‌ها، بخش انرژی خورشیدی هند با چالش‌های مهمی روبرو است. یکی از نگران‌کننده‌ترین این چالش‌ها، افزایش حجم پسماندهای خورشیدی است. برآورد می‌شود در سال ۲۰۲۳، هند حدود ۱۰۰ هزار تن پسماند خورشیدی تولید کرده باشد که این رقم تا سال ۲۰۳۰ به ۶۰۰ کیلوتن و تا سال ۲۰۵۰ به حدود ۱۹ میلیون تن خواهد رسید. بخش عمده این پسماندها از پنل‌های خورشیدی کریستالی سیلیکونی ناشی می‌شود که حاوی مواد ارزشمندی مانند شیشه و آلومینیوم، و همچنین عناصر سمی مانند نقره، سرب و قلع هستند. دفع نادرست این پنل‌ها می‌تواند به نشت مواد سمی به خاک و منابع آب زیرزمینی منجر شود.

یکی از موانع اصلی در مسیر مدیریت پایدار پسماند خورشیدی، نبود زیرساخت‌های کافی و مقررات مؤثر برای مدیریت صحیح این نوع پسماند است. هرچند در سال ۲۰۲۲ پسماند خورشیدی تحت پوشش مقررات مدیریت پسماند الکترونیکی هند قرار گرفت، اما راهنماهای عملیاتی دقیق برای جمع‌آوری، فرآوری علمی و بازیافت سازگار با محیط‌زیست هنوز در مراحل مختلف تدوین یا در انتظار اجرای کامل هستند. در نتیجه، بخش قابل توجهی از پسماندهای خورشیدی فعلاً یا به مراکز دفن زباله عمومی منتقل می‌شوند یا به بخش غیررسمی بازیافت سپرده می‌شوند که فرآوری در آن غالباً بدون رعایت استانداردهای ایمنی و کنترل‌های زیست‌محیطی انجام می‌شود. علاوه بر این، صرفه اقتصادی پایین بازیافت رسمی نیز چالشی مهم به شمار می‌آید.

دیگر چالش‌ها عبارتند از:

- **آگاهی عمومی و تأمین مالی:** هزینه اولیه نسبتاً بالای نصب سامانه‌های خورشیدی و عدم آگاهی کافی نسبت به مزایای واقعی و بلندمدت انرژی خورشیدی، همچنان از بازدارنده‌های اصلی هستند.
- **موانع قانونی و اداری:** چارچوب‌های مقرراتی پیچیده، پراکنده و ناهماهنگ در ایالت‌های مختلف، فضای تصمیم‌گیری و سرمایه‌گذاری را غیرقابل

پیش‌بینی و پرریسک می‌سازد. اجرای کند و ناهماهنگ سیاست‌هایی مانند خرید برق مازاد و تاخیر در صدور مجوزها نیز موانع جدی محسوب می‌شوند.

● **چالش‌های اتصال به شبکه:** ماهیت متغیر تولید برق خورشیدی چالش‌های فنی قابل توجهی برای پایداری شبکه برق به همراه دارد و نیازمند ارتقای اساسی زیرساخت‌ها، فناوری‌های پیشرفته شبکه هوشمند و سامانه‌های کنترلی قدرتمند است. کمبود سامانه‌های ذخیره‌سازی انرژی در مقیاس بزرگ نیز این مشکل را تشدید می‌کند.

● **وابستگی‌های زنجیره تأمین و ریسک‌های ژئوپلیتیکی:** صنعت خورشیدی هند وابستگی قابل توجهی به واردات قطعات کلیدی، به ویژه از چین، دارد که آن را در معرض ریسک‌های جدی زنجیره تأمین، از جمله نوسانات قیمت‌های جهانی و بی‌ثباتی‌های ژئوپلیتیکی قرار می‌دهد.

● **نگرانی‌های مربوط به استفاده از زمین و اثرات محیط‌زیستی:** پروژه‌های خورشیدی در مقیاس وسیع نیازمند مساحت گسترده‌ای از زمین هستند که می‌تواند به تعارضاتی در زمینه استفاده از اراضی کشاورزی یا مناطق حساس زیست‌محیطی منجر شود. این پروژه‌ها همچنین نگرانی‌هایی درباره تأثیرات بر اکوسیستم‌های محلی، تنوع زیستی و منابع آب ایجاد می‌کنند.

چشم‌انداز آینده و راه‌حل‌ها

برای مدیریت مؤثر چالش‌ها و تضمین رشد پایدار بلندمدت، هند در حال بررسی و اجرای مجموعه‌ای از راهکارهای راهبردی است:

● **توسعه زیرساخت‌های بازیافت:** تلاش‌هایی مانند تفاهم‌نامه همکاری بین شرکت Attero و مؤسسه ملی انرژی خورشیدی هند (NISE) با هدف توسعه فناوری‌های نوآورانه بازیافت پنل‌های خورشیدی و تأسیس مراکز تحقیق و آزمایش تخصصی، نقش کلیدی دارند.

● **بهبود سیاست‌ها و مشوق‌ها:** ساده‌سازی و منطقی‌سازی فرآیندهای مقرراتی، تضمین هماهنگی بیشتر سیاست‌ها در سراسر ایالت‌ها و تقویت سازوکارهای مالی موجود، از جمله تسهیل دسترسی به وام‌های کم‌بهره، استفاده از اوراق قرضه سبز و طراحی یارانه‌های هدفمند، اهمیت بالایی دارند.

● **سرمایه‌گذاری در فناوری‌های شبکه هوشمند و ذخیره‌سازی انرژی:** سرمایه‌گذاری‌های قابل توجه در این زمینه‌ها برای بهبود یکپارچگی نیروگاه‌های خورشیدی بزرگ‌مقیاس در شبکه سراسری و تضمین پایداری و قابلیت اطمینان شبکه ضروری است.

● **تقویت تولید داخلی و نوآوری:** تقویت ظرفیت‌های تولید بومی برای قطعات کلیدی سامانه خورشیدی مانند سلول‌ها، ماژول‌ها و اینورترها، سبب ایجاد زنجیره‌های تأمین مقاوم‌تر، کاهش وابستگی به واردات، تقویت نوآوری داخلی و ایجاد فرصت‌های شغلی می‌شود.

● **مشارکت جامعه محلی و آموزش عمومی:** راه‌اندازی کمپین‌های گسترده آگاهی‌بخشی و آموزش عمومی برای رفع باورهای نادرست و ایجاد درک عمیق‌تر از مزایای فراوان انرژی خورشیدی، از جمله صرفه‌جویی‌های بلندمدت در هزینه‌ها و مزایای زیست‌محیطی، بسیار ضروری است.

● **مدیریت پایدار زمین و کشاورزی خورشیدی:** استفاده از روش‌های نوآورانه مانند طراحی‌های چندمنظوره (کشاورزی خورشیدی) و چیدمان‌های خاص برای هر زیست‌بوم می‌تواند به بهینه‌سازی بهره‌برداری از زمین و هم‌راستایی توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر با حفاظت محیط‌زیست کمک کند.

با پرداختن به این چالش‌های چندوجهی از طریق ترکیبی از اصلاحات سیاستی، نوآوری‌های فناورانه، مشوق‌های مالی و استراتژی‌های مدیریت پسماند، هند در موقعیت مناسبی برای تثبیت جایگاه خود به عنوان پیشتاز جهانی در گذار به انرژی پایدار قرار خواهد گرفت و به الگویی برای دیگر کشورهای در حال توسعه تبدیل خواهد شد.

منابع:

- Clean energy's dirty secret: the trail of waste left by India's solar power boom:
- <https://www.theguardian.com/global-development/2024/apr/18/india-clean-energy-solar-power-plant-panel-waste-recycling-pollution-regulation>
- Tackling Challenges and Scaling Solutions for a Solar-Powered India:
- <https://transitionsresearch.org/article/part-2tackling-challenges-and-scaling-solutions-for-a-solar-powered-india#:text=Despite%20their%20potential%2C%20challenges%20such%20as%20limited,critical%20to%20achieving%20India's%20ambitious%20solar%20targets.>
- The Dark Secret Behind India's Solar Plan:
- <https://www.bloomberg.com/news/articles/2017-03-15/the-dark-secret-behind-india-s-solar-plan-to-bring-power-to-all>
- Ankit Kumar et. al. Solar energy for all? Understanding the successes and shortfalls through a critical comparative assessment of Bangladesh, Brazil, India, Mozambique, Sri Lanka and South Africa. Energy Research & Social Science. Volume 48, February 2019, Pages 166–176.



ریسک‌های آبیاری با استفاده از پمپ‌های خورشیدی برای برداشت آب زیرزمینی^۱

پمپ‌های خورشیدی را برای استخراج آب زیرزمینی در نظر بگیرند، می‌توانند تصمیمات بهتری بگیرند؛ تصمیماتی که آبیاری هم به افزایش تولید غذا و کاهش فقر کمک می‌کند و هم تأثیرات ناخواسته یا منظورنشده را مورد توجه قرار می‌دهد. در سال ۲۰۱۹، انتشار کربن ناشی از کشاورزی، جنگلداری و دیگر کاربری‌های زمین، ۲۲ درصد از کل انتشار جهانی کربن را به خود اختصاص داد. آبیاری با آب زیرزمینی با استفاده از پمپ‌های خورشیدی این امکان را فراهم می‌کند که استفاده انرژی در بخش کشاورزی افزایش یابد، و از این رو برای کشورهای کم‌درآمد و با درآمد متوسط که زارعان کم‌درآمد با نیازهای فزاینده انرژی روبرو هستند، گزینه‌ای جذاب به شمار می‌آید.

در کشورهای کم‌درآمد و با درآمد متوسط، به طور کلی سه رویکرد برای آبیاری با استفاده از پمپ خورشیدی وجود دارد. نخستین رویکرد استفاده از پمپ خورشیدی مستقل است که با پنل خورشیدی کار می‌کند. این گزینه به ویژه برای مناطق فاقد دسترسی به شبکه برق مطمئن، و جاهایی که آبیاری یا رایج نیست یا به پمپ‌های دیزلی وابسته است مناسب است. پمپ‌های خورشیدی مستقل کوچک معمولاً کمتر از ۱۰ اسب بخار (۷/۵ کیلووات) توان دارند و برای استفاده فردی طراحی شده‌اند. پمپ‌های خورشیدی مستقل مشترک، آب مورد نیاز برای آبیاری را برای چندین زارع فراهم می‌کنند.

آبیاری با استفاده از پمپ‌های خورشیدی برای استخراج آب زیرزمینی با سرعتی چشمگیر در کشورهای کم‌درآمد و با درآمد متوسط در حال گسترش است. این روند، فرصت‌ها و ریسک‌هایی را پدید می‌آورد. در جنوب آسیا، تاکنون بیش از ۵۰۰,۰۰۰ پمپ خورشیدی مستقل کوچک نصب شده است. در منطقه جنوب صحرای آفریقا، نگاه مثبتی به پمپ‌های خورشیدی وجود دارد تا تولید غذا را افزایش داده و فقر را کاهش دهند. این خوش‌بینی وجود دارد که آبیاری خورشیدی می‌تواند به کشورهای کم‌درآمد و با درآمد متوسط در تحقق تعهدات کاهش اثرات تغییر اقلیم کمک کند، اما یافته‌های علوم رفتاری و شواهد اولیه نشان می‌دهند که محاسبه میزان کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در این زمینه پیچیده است و احتمالاً کمتر از چیزی است که فرض شده است.

احتمال می‌رود که پمپاژ آب زیرزمینی افزایش یابد. برای مدیریت بهتر ریسک‌های ناخواسته‌ای که منابع آب و زمین را تهدید می‌کند و جلوگیری از گرفتارشدن در مسیرهای ناپایدار، لازم است از نگاه جداگانه به زمین، آب و انرژی فاصله گرفت و از چارچوب‌های ارزیابی یکپارچه استفاده کرد. اگر سیاست‌گذاران هزینه‌ها و فایده‌های اجتماعی استفاده از

۱. نوشتار حاضر ترجمه مقاله زیر است:

Soumya Balasubramanya, et. Al. Risks from solar-powered groundwater irrigation. Science, 18 Jan 2024 Vol 383, Issue 6680.

رویکرد دوم شامل نصب پنل‌های خورشیدی (کوچک) متصل به شبکه برق در اراضی زراعی است که از پمپ‌های برقی استفاده می‌کنند. این گزینه مناسب مناطقی است که شبکه برق آن‌ها به خوبی نگهداری می‌شود و پمپ‌های برقی به آن متصل هستند. در این حالت، پنل‌های خورشیدی نصب شده در مزارع برق تولید کرده و آن را وارد همان شبکه‌ای می‌کنند که پمپ‌های برقی از آن تغذیه می‌شوند. در این حالت، مصرف برق مزرعه به صورت «تراز خالص» محاسبه می‌شود؛ یعنی اگر پنل خورشیدی برق بیشتری نسبت به مصرف پمپ تولید کند، کشاورز به همان اندازه از هزینه برقش کم می‌شود، و اگر مصرف پمپ بیشتر از برق تولید شده باشد، باید مابه‌التفاوت آن را پرداخت نماید. امکان‌پذیری این رویکرد به هزینه‌های اداری و فنی لازم برای نصب پنل‌های خورشیدی کوچک و پراکنده در مزارع مختلف بستگی دارد.

رویکرد سوم شامل تولید انرژی خورشیدی از طریق پروژه‌های بزرگ نیروگاه خورشیدی و تزریق آن به شبکه برق است. این پروژه‌ها مانند سایر طرح‌های تولید برق متصل به شبکه، معمولاً از طریق قرارداد خرید برق اجرا می‌شوند؛ قراردادی که در آن قیمت هر واحد برق تولیدی که شرکت برق از توسعه‌دهنده پروژه خریداری می‌کند مشخص می‌شود. امکان‌پذیری این روش نیز به توانایی توسعه‌دهنده در تأمین زمین کافی برای نصب صدها پنل خورشیدی بزرگ بستگی دارد. همچنین، موفقیت هر دو رویکرد متصل به شبکه به این وابسته است که شبکه برق بتواند ترکیب متغیری از انرژی‌های تجدیدپذیر و تجدیدنپذیر را دریافت و مدیریت کند.

استفاده فعلی و پیش‌بینی شده پمپ‌های خورشیدی در کشورهای کم‌درآمد و با درآمد متوسط عمدتاً بر پمپ‌های کوچک و مستقل متمرکز بوده است، چرا که این پمپ‌ها می‌توانند بدون توجه به وضعیت یا پوشش شبکه برق نصب شوند. در جنوب آسیا، دولت‌ها کمک‌های مالی قابل توجهی برای هزینه‌های اولیه پمپ‌ها ارائه می‌دهند و گاهی اوقات تأمین مالی را تسهیل می‌کنند. برای نمونه هند قصد دارد تا سال ۲۰۲۶، دو میلیون پمپ کوچک مستقل نصب و ۱/۵ میلیون پمپ برقی موجود را خورشیدی کند. بنگلادش تاکنون ۲۸۲۹ پمپ خورشیدی نصب کرده است که بیشتر آن‌ها از نوع پمپ‌های خورشیدی مستقل هستند. نپال نیز حدود ۲۰۰۰ پمپ کوچک و مستقل نصب کرده است.

در منطقه جنوب صحرای آفریقا، دولت‌ها بیشتر بر فراهم‌سازی محیط حمایتی تمرکز کرده‌اند، به ویژه از طریق کاهش مالیات واردات و مالیات‌های دیگر بر پمپ‌های خورشیدی کوچک و مستقل، و همچنین با تشویق تأمین‌کنندگان خصوصی به فروش و نصب این پمپ‌ها. ارائه گزارش فروش توسط فروشندگان به نهادهای ذیربط داوطلبانه است، بنابراین احتمال دارد که آمار فروش کمتر از میزان واقعی اعلام شده باشد؛ در نتیجه، درباره شمار پمپ‌های خورشیدی کوچک و

مستقل در حال کار در کشورهای مختلف، عدم قطعیت قابل توجهی وجود دارد. برآوردهای اولیه درباره اثرات پمپ‌های خورشیدی مستقل نشان می‌دهد که زارعان، بهبودهایی در تولید غذا، امنیت غذایی و معیشت خود تجربه می‌کنند که از شرایط ضروری برای کاهش فقر به شمار می‌روند.

دشواری ارزیابی

در هند برآورد می‌شود که انتشار کربن ناشی از پمپاژ آب زیرزمینی برای آبیاری، بین ۲ تا ۷ درصد از کل انتشار سالانه کربن در این کشور را تشکیل می‌دهد. تجربه هند در استفاده از آب‌های زیرزمینی برای افزایش تولید کشاورزی، به عنوان الگویی برای کشورهای جنوب صحرای آفریقا مطرح شده است، از این رو با بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی در این منطقه، احتمال افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای وجود دارد. جایگزینی کامل پمپ‌های برقی یا دیزلی با پمپ‌های خورشیدی می‌تواند به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای منجر شود. با این همه، این جایگزینی کامل، تضمین شده نیست و این منافع ممکن است باریسک‌هایی همراه باشد، به ویژه خالی شدن سفره‌های آب زیرزمینی.

برخی زارعان ممکن است

در صورتی که پیش‌تر، نیازهای آبیاری‌شان

برآورده نشده و افزایش مصرف انرژی برایشان

سودآور باشد، همزمان از پمپ قبلی و پمپ خورشیدی

جدید استفاده کنند. برخی دیگر نیز ممکن است تصمیم بگیرند از چند منبع انرژی به شکل ترکیبی بهره ببرند؛ برای نمونه اگر ظرفیت پمپ خورشیدی، آنان را از برداشت آب کافی برای تأمین نیازهای آبیاری بازمی‌دارد، پمپ دیزلی را همراه با پمپ خورشیدی به کار گیرند.

یا ممکن است کشاورزان ترجیح دهند به استفاده از دستگاهی ادامه دهند که بدون توجه به شرایط آب و هوایی کار می‌کند (البته می‌توان به پمپ‌های خورشیدی باتری ذخیره



انرژی متصل کرد، اما این کار هزینه تجهیزات را بدون حمایت دولتی نیز بالا هستند بیشتر می‌کند). همچنین، اگر زارعان چند قطعه زمین جدا از هم داشته باشد، جایگزینی کامل پمپ دیزلی با پمپ خورشیدی تنها زمانی ممکن است که هر قطعه زمین پمپ خورشیدی جداگانه‌ای داشته باشد، که این هم گزینه پرهزینه‌ای است.

افزون بر این، نحوه استفاده از زمین و انتخاب نهاده‌ها نیز ممکن است تغییر کند. برای نمونه، زارعان ممکن است سطح زیر کشت، تراکم کشت، نوع محصولات و میزان استفاده از مواد شیمیایی کشاورزی را تغییر دهند، به ویژه اگر استفاده خالص انرژی را افزایش دهند. همچنین تغییرات غیر مستقیم دیگری مانند مصرف سوخت برای حمل و نقل نهاده‌ها و محصولات نیز می‌تواند با استفاده از پمپ‌های خورشیدی مرتبط باشد. احتمال وقوع این تغییرات و شدت آن‌ها به نوع و مقدار انرژی که پیش از این استفاده می‌کردند، الگوی کشت، شیوه‌های فعلی کشاورزی، و ویژگی‌های فردی هر کشاورز بستگی دارد.

با این همه، چنین تغییراتی در نحوه استفاده از منابع باید مورد توجه قرار گیرند، اما پایش و اندازه‌گیری آن‌ها دشوار است، به ویژه در مورد پمپ‌های خورشیدی مستقل. اگر تمامی تغییرات بالقوه ناشی از به‌کارگیری سامانه‌های آبیاری خورشیدی در نظر گرفته شوند، ممکن است کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای کمتر از چیزی باشد که در ابتدا تصور می‌شد.

حتی اگر آبیاری با استفاده از انرژی خورشیدی به انتشار خالص صفر منجر شود- موضوعی که نوشتار حاضر آن را زیر سؤال می‌برد- ممکن است به تشدید خالی‌شدن سفره‌های آب زیرزمینی بینجامد و امکان بهره‌برداری میلیون‌ها چاهی را که هم‌اکنون نیز در معرض خشک‌شدن قرار دارند، با تهدید جدی مواجه کند. با گسترش استفاده از آبیاری خورشیدی، احتمال افزایش برداشت آب زیرزمینی زیاد است، چرا که هزینه پمپاژ

در این روش تقریباً صفر است؛ به بیان دیگر، انرژی ارزان و پاک می‌تواند به رونق بیشتر برداشت از منابع آب زیرزمینی در کشورهای کم‌درآمد و با درآمد متوسط، و حتی با درآمد بالاتر دامن بزند.

در مورد پمپ‌های خورشیدی مستقل، زارعان انگیزه چندانی برای کاهش برداشت آب زیرزمینی ندارند، چه اینکه پیش از آن از پمپ دیزلی یا برقی استفاده کرده باشند و چه نه، و چه اینکه نیازهای آبیاری آن‌ها قبلاً تأمین می‌شده یا نمی‌شده. شواهد موجود نیز این موضوع را تأیید می‌کند. البته، افزایش برداشت آب زیرزمینی می‌تواند نتیجه‌ای مطلوب برای بهبود امنیت غذایی و معیشت در پی داشته باشد، به ویژه اگر ویژگی‌های هیدروژئولوژیکی آب زیرزمینی منطقه، اجازه برداشت بیشتر را بدهد، مانند سفره‌های کم‌عمق موضعی که فصلی خالی و مجدداً پر می‌شوند.

در حالتی که پنل‌های خورشیدی کوچک و متصل به شبکه، در زمین کشاورزی که از پمپ‌های برقی استفاده می‌کنند نصب شود- گزینه‌ای که در جنوب آسیا توجه زیادی را جلب کرده است- راهکار «تراز خالص» برای محدودکردن یا کاهش برداشت آب زیرزمینی پیشنهاد شده است. در این روش، اگر کشاورزان برق بیشتری نسبت به مصرف پمپ تولید کنند، می‌توانند از شرکت برق اعتبار یا درآمد کسب کنند.

برآوردهای حاصل از مطالعات سناریومحور در هند- که با فرضیات متفاوت و در ایالت‌های گوناگون انجام شده‌اند- به نتایج متفاوتی درباره اینکه آیا تراز خالص می‌تواند به کاهش چشمگیر استفاده آب زیرزمینی شود یا نه، رسیده‌اند. مطالعات آزمایشی در برخی ایالت‌های هند که در آن‌ها مشوق‌های مالی مشابهی برای کاهش استفاده انرژی به کشاورزان ارائه شده است نشان داده‌اند که این مشوق‌ها تنها به کاهش اندک یا حتی بی‌تأثیر در رفتار پمپاژ منجر شده‌اند.

درک ظرفیت بالقوه تراز خالص برای کاهش برداشت آب زیرزمینی، برای گسترش این رویکرد در جنوب آسیا بسیار مهم است؛ زیرا تدارکات فنی و هزینه‌های مالی آن بالا است، و شرکت‌های برق نیز به دلیل یارانه‌ای بودن تعرفه‌های برق کشاورزی، امکان محدودی برای ارائه مشوق‌های کافی به کشاورزان دارند که از پنل‌های خورشیدی کوچک استفاده می‌کنند تا کاهش قابل توجهی در برداشت آب رقم بخورد.

شواهد جدید نیز نشان می‌دهد که مالکیت پمپ‌های خورشیدی- چه نوع مستقل و چه آن‌هایی که با شیوه تراز خالص استفاده می‌شوند، و چه از طریق برنامه‌های دولتی تأمین شده باشند یا بخش خصوصی- معمولاً به کشاورزان می‌رسد که از نظر اقتصادی و اجتماعی در وضعیت بهتری قرار دارند و توانایی دسترسی و خرید این تجهیزات را دارند. بنابراین، شناسایی راهکارهای عملی برای گسترش منافع آبیاری خورشیدی به کشاورزان که توان خرید پمپ را ندارند اهمیت زیادی دارد.



بهبود سیاست گذاری

برای اینکه آبیاری خورشیدی بتواند مشمول طرح‌های اعتبار کربن^۱ قرار بگیرد، به یک چارچوب ارزیابی یا محاسبه دقیق نیاز است که بتواند میزان کاهش گازهای گلخانه‌ای را به درستی برآورد کند. این چارچوب باید شامل این موارد باشد: تعیین سطح پایه انتشار گازها برای مقایسه؛ تعریف اقدامات ایمنی و الزامات محیط‌زیستی که باید رعایت و به طور منظم گزارش شوند (برای نمونه جلوگیری از بازگشت انتشار یا جابجایی آن به مناطق دیگر)؛ اثبات اینکه کاهش انتشار تنها به دلیل اجرای این طرح ممکن شده (یعنی بدون طرح چنین کاهشی رخ نمی‌داد)؛ و همچنین پایش منظم تغییرات در استفاده آب، انرژی و کاربری زمین.

چنین چارچوبی ممکن است نیاز داشته باشد «رد پای کربن» پل‌های خورشیدی را در طول عمر مفید آن‌ها نیز در نظر بگیرد. همچنین، فرصت درس‌آموزی از تجربه‌های گوناگون و گاه موفقیت‌آمیز و گاه ناموفق پروژه‌های کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای از طریق بهبود وضعیت جنگل‌ها و خلق اعتبار کربن وجود دارد. پیچیدگی‌های پیاده‌سازی این نوع طرح‌ها نشان می‌دهد که لازم است ارزیابی‌ها در مقیاس‌های مختلف (محلی، ملی و فراملی) انجام شود و همچنین انتظارات واقع‌بینانه‌ای از نتایج واقعی این پروژه‌ها وجود داشته باشد.

بهبود دامنه و کیفیت اطلاعات درباره تغییرات در استفاده آب، انرژی و زمین ضروری است. این مهم نیازمند گذار از رویکردهای جدا از هم و بخشی به رویکردهای یکپارچه است. استفاده از داده‌های سنجش از دور درباره تبخیر-تعرق واقعی، سطح اراضی آبیاری‌شده و نوع محصولات کشت‌شده می‌تواند سطح اطمینان گزارش‌ها را افزایش دهد و به شفاف‌سازی عدم قطعیت‌های موجود در این داده‌ها کمک کند و در نتیجه، حسابداری و ارزیابی در مقیاس‌های مختلف را امکان‌پذیر سازد.

برای بررسی و تأیید دقیق‌تر داده‌ها در میدان- به ویژه در آفریقا که هنوز اطلاعات کافی در بسیاری از مناطق وجود ندارد- شبکه مشاهدات زمینی در حال راه‌اندازی است. در همین راستا، گروهی از دانشگاه‌ها، کنسرسیوم مشترکی تشکیل داده‌اند تا رابطه بارش و تغذیه را بررسی و اطلاعات دقیق‌تر و اتکاپذیرتری درباره موجودی و نوسانات آب زیرزمینی فراهم کنند.

از آنجا که برداشت آب زیرزمینی در کشورهای کم‌درآمد و با درآمد متوسط به ندرت با کنترل اندازه‌گیری می‌شود، بیشتر برآوردها درباره میزان تغییرات در برداشت غیر مستقیم انجام

می‌گیرد؛ برای نمونه بر اساس ساعت‌های گزارش‌شده پمپاژ، مقدار سوخت مصرفی دیزل، یا در موارد نادر، میزان برق مصرفی ثبت‌شده کنترل. بهبود روش‌های اندازه‌گیری مستقیم برداشت آب زیرزمینی بسیار مهم است، زیرا نه تنها دقت داده‌ها را افزایش می‌دهد، بلکه به تعدیل بهتر روش‌های غیر مستقیم نیز کمک خواهد کرد.

از نظر اجتماعی و اقتصادی، یک راه‌حل کاربردی این است که از برنامه‌های موجود جمع‌آوری داده‌ها استفاده و آن‌ها را با یکدیگر یکپارچه کرد. برای نمونه، سازمان‌های ملی آمار در کشورهای کم‌درآمد و با درآمد متوسط می‌توانند از قبل برنامه‌های سالانه خود را برای جمع‌آوری اطلاعات اعلام کنند. این کار به وزارت‌خانه‌های کشاورزی، انرژی و آب فرصت می‌دهد تا برای همکاری برنامه‌ریزی کنند. با افزودن پرسش‌ها و شاخص‌های مربوط به استفاده آب، زمین و انرژی به آماربرداری‌ها می‌توان اطلاعات کامل‌تر و کاربردی‌تری تولید کرد که به تصمیم‌گیری بهتر در بخش‌های مختلف کمک می‌کند.

روش‌هایی مانند جمع‌آوری داده از راه دور یا با کمک مردم (برای نمونه از طریق اپلیکیشن‌ها یا گزارش‌های مردمی)



۱. به طرح‌هایی گفته می‌شود که برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای طراحی شده‌اند و در آن‌ها به افراد، شرکت‌ها یا پروژه‌هایی که میزان انتشار خود را کاهش می‌دهند یا از انتشار گازهای گلخانه‌ای جلوگیری می‌کنند، اعتبار تعلق می‌گیرد. اگر اجرای یک پروژه- برای نمونه استفاده از پمپ‌های خورشیدی به جای پمپ‌های دیزلی- سبب که انتشار دی اکسید کربن کاهش پیدا کند، می‌توان به ازای هر تن گاز گلخانه‌ای که کمتر تولید شده، یک «اعتبار کربن» دریافت کرد. این اعتبار مانند یک گواهی یا سند است که ثابت می‌کند کاهش واقعاً اتفاق افتاده است. هدف اصلی، تشویق به اجرای پروژه‌هایی است که به کاهش واقعی گازهای گلخانه‌ای کمک می‌کنند.

می‌تواند به مسئولان کمک کند تا بدون نیاز به روش‌های رسمی و پیچیده، مشکلات جدید را شناسایی کنند- به ویژه وقتی که دقت خیلی بالا ضروری نیست. همچنین، فناوری‌های جدید می‌توانند برخی از کمبودهای اطلاعاتی را برطرف کنند، به ویژه در کشورهایی که مراکز تهیه آمار، ظرفیت کافی برای جمع‌آوری داده‌های دقیق ندارند.

پمپ‌های خورشیدی مجهز به حسگر می‌توانند برای اندازه‌گیری میزان برداشت آب مورد استفاده قرار گیرند. اگر امکان ارسال داده‌ها از راه دور (تله‌متری) فراهم باشد و این داده‌ها به اشتراک گذاشته شوند، می‌توان منابع آب زیرزمینی را در مقیاس‌های وسیع‌تر و دقیق‌تر پایش و مدیریت کرد. در کنار این اقدام، پیگیری اقدامات قانونی و ساز و کارهای حکمرانی برای تعیین و اعمال محدودیت‌ها درباره انتشار گازهای گلخانه‌ای و برداشت آب نیز ضروری است. این کار به درک بهتر ما از میزان تناسب و اثربخشی ابزارهای مختلف کمک می‌کند.

یافته‌های حوزه کارآفرینی و طراحی بازار می‌تواند به بهبود سیاست‌ها در این زمینه کمک کنند که چگونه آبیاری با پمپ‌های خورشیدی مستقل می‌تواند به دست فقیرترین



کشاورزان برسد. در سال‌های اخیر در آسیا و منطقه جنوب صحرای آفریقا، شرکت‌های کوچک و بنیادهایی به وجود آمده‌اند که خدمات آبیاری را بر اساس درخواست، با استفاده از پمپ‌های خورشیدی یا دیزلی قابل حمل ارائه می‌دهند. این خدمات ویژه آن دسته از کشاورزانی است که زمین‌هایشان آن قدر کوچک است که نصب پمپ شخصی برایشان به صرفه نیست و همچنین امکان دسترسی به شبکه برق ندارند.

همکاری و هماهنگی دستگاه‌های دولتی خدمات ترویجی، اقدامات کارآفرینانه و شرکت‌های تولیدکننده پمپ می‌تواند هزینه‌های معامله^۱ را کاهش دهد و به شناسایی و گسترش خدمات مناسب برای کشاورزان کم‌درآمد کمک کند، خدماتی که بر پایه درک واقع‌بینانه شرایط و فرصت‌های هیدرولوژیکی، کشاورزی و اجتماعی- اقتصادی طراحی شده باشند. در محدوده‌های (کشاورزی) که به شبکه برق متصل هستند (مانند بسیاری از نقاط جنوب آسیا)، به روزرسانی و تقویت زیرساخت‌ها برای تسهیل ورود برق خورشیدی به شبکه برق می‌تواند در بلندمدت، دسترسی عادلانه‌تر را به انرژی فراهم کند.

توانایی کشورها در تنظیم مقررات، برنامه‌ریزی و نظارت بر رعایت مقررات انرژی و آب باید در کشورهای کم‌درآمد و با درآمد متوسط و همچنین کشورهای پردرآمدتر بهبود پیدا کند. رشد سریع استفاده از انرژی‌های پاک احتمالاً مشکلات آب زیرزمینی را بدتر خواهد کرد، صرف نظر از اینکه کشورها چقدر درآمد دارند یا چقدر توانایی نظارت و کنترل دارند. دلیل اصلی این موضوع این است که مدیریت منابع آب زیرزمینی در بیشتر نقاط جهان، به جز چند استثنا، بسیار ضعیف است.

رشد سریع استفاده از آبیاری خورشیدی، کار دولت‌ها و نهادها را سخت‌تر می‌کند، چون زمان کمی برای تطبیق‌دادن خود با تغییرات دارند. لازم است محدودیت‌های میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای و خالی‌شدن سفره‌های آب زیرزمینی در سطوح مختلف، از مزارع کوچک گرفته تا مناطق بزرگتر تعیین شود. این کار سبب می‌شود مسئولیت کنترل و اعمال مقررات بیشتر شود. با گروه‌هایی که از برق ارزان و آب رایگان سود می‌برند باید مقابله شود.

منابع مالی عمومی باید در جاهایی هزینه شوند که بازدهی بالایی دارند، مانند شبکه‌های پایش و یارانه‌های هدفمند و محدود به زمان که بتوانند رفتار مصرف‌کنندگان (برای نمونه انتخاب نوع غذا) و تولیدکنندگان (برای نمونه انتخاب نوع نهاده‌ها) را تغییر دهند. پیشرفت در علم داده، علوم رفتاری و کارآفرینی می‌تواند به سیاست‌گذاران کمک کند تا انتظارات واقع‌بینانه‌تری داشته باشند، منافع را عادلانه‌تر توزیع کنند و در روند گسترش آبیاری خورشیدی، ریسک‌ها را بهتر مدیریت کنند.

۱. به هزینه‌هایی گفته می‌شود که هنگام انجام یک معامله یا همکاری بین افراد، سازمان‌ها یا شرکت‌ها رخ می‌دهد. این هزینه‌ها شامل مواردی مثل وقت و انرژی صرف‌شده برای پیدا کردن طرف مقابل، مذاکره، تنظیم قرارداد، هماهنگی، نظارت بر اجرای توافقات و حل اختلافات است.



از اوج تا افول: بررسی سیاست‌ها و چالش‌های طرح سامانه‌های خورشیدی خانگی در بنگلادش^۱

توسط مشتریان، کاهش تدریجی یارانه و معرفی سامانه انرژی خورشیدی رایگان رقیب توسط دولت نسبت داده می‌شود.

رشد اولیه طرح

طرح سامانه‌های خورشیدی خانگی بزرگترین برنامه تأمین برق خورشیدی خارج از شبکه در جهان شناخته می‌شود. هدف اولیه این طرح که دستیابی به ۵۰,۰۰۰ خانه در طول پنج سال بود، پس از تنها سه سال محقق شد. در اوج خود، این طرح موفق به نصب بیش از ۸۰,۰۰۰ واحد در ماه شد. تا اوایل ۲۰۱۹، بیش از ۴/۱ میلیون سامانه خورشیدی خانگی مستقر شده بود که میلیون‌ها بنگلادشی را با برق کم‌کربن تأمین می‌کرد. اما این نتایج چشمگیر در زمان تأسیس شرکت توسعه زیرساخت‌ها در سال ۱۹۹۷ قابل پیش‌بینی نبود. نقش اصلی این شرکت دولتی، حمایت از پروژه‌های زیرساختی متوسط تا بزرگ، از جمله نیروگاه‌های بزرگتر انرژی‌های تجدیدپذیر بود و ورود آن به حوزه انرژی خورشیدی خارج از شبکه که در پی درخواست بانک جهانی صورت گرفت، از روی میل نبود و تا حدی تحمیلی به نظر می‌رسید.

گسترش سریع طرح از سال ۲۰۰۳ به بعد، با استفاده از طرح‌های نوآورانه اعتبارات کوچک و همچنین شبکه گسترده شرکا در قالب ساز و کار مشارکت عمومی-خصوصی امکان‌پذیر شد و ارائه خدمات را در سراسر کشور فراهم کرد. استفاده از این مدل بر پایه تأمین مالی خرد، طرح را برای بیش از یک دهه حفظ کرد و امکان افزایش سرمایه‌گذاری در انرژی خورشیدی خارج از شبکه را فراهم ساخت و خدمات حیاتی دسترسی به انرژی را به جوامع روستایی ارائه داد. طراحی اولیه مدل مشارکت عمومی-خصوصی بر آن بود که با اعطای یارانه‌ها و کمک‌های دولتی، به مدلی پایدار و متکی به خود بدل شود. این مدل بر افزایش شمار سازمان‌های همکار برای پیوستن

طرح سامانه‌های خورشیدی خانگی بنگلادش^۲ یکی از برجسته‌ترین طرح‌های برق‌رسانی خارج از شبکه خورشیدی^۳ در جهان به شمار می‌آید. با وجود موفقیت‌های اولیه خود، با چالش‌های قابل توجه و کاهش نصب جدید مواجه شده است. این نوشتار به بررسی تحولات این طرح، ساز و کارهای تأمین مالی آن، تأثیر سیاست‌ها و درس‌آموخته‌های آن می‌پردازد.

مقدمه

بنگلادش با چالش بزرگی در زمینه تأمین انرژی مقرون به صرفه، قابل اتکا، پایدار و مدرن برای تمامی شهروندان خود روبرو است. تقریباً ۴۰ میلیون نفر، یا حدود یک سوم جمعیت کشور به دلیل موقعیت جغرافیایی دورافتاده روستایی و سطح پائین توانایی مالی، فاقد دسترسی مطمئن به انرژی هستند. شرکت دولتی توسعه زیرساخت‌ها^۴ از زمان تأسیس خود در سال ۱۹۹۷، طرح سامانه‌های خورشیدی خانگی را با هدف دستیابی به دسترسی همگانی به انرژی از طریق برق‌رسانی روستایی اداره می‌کند. سامانه‌های خورشیدی خارج از شبکه، سهم قابل توجهی در کاهش کسری انرژی بنگلادش داشته‌اند. در این طرح در اوج آن در سال ۲۰۱۳، بیش از ۸۶۱,۰۰۰ واحد خورشیدی نصب شد و در سال ۲۰۱۸، در مجموع ۲۰ میلیون نفر یا تقریباً ۱۲/۵ درصد از جمعیت کشور در آن زمان، از برق تجدیدپذیر بهره‌مند شدند. با این همه، از سال ۲۰۱۵ به بعد، نصب‌های سالانه جدید به شکل چشمگیری کاهش یافت. این کاهش به عدم پرداخت وام‌ها

۱. نوشتار حاضر بر اساس مقاله زیر تهیه شده است:

Setting the sun on off-grid solar?: policy lessons from the Bangladesh solar home systems (SHS) programme. Laura Hellqvist and Harald Heubaum. CLIMATE POLICY 2023, VOL. 23, NO.

2. Solar home systems (SHS) programme

3. Off-grid solar (OGS)

4. Infrastructure Development Company Limited (IDCOL)

به این تلاش در طول زمان متکی بود. سازمان‌های همکار، مؤسسات تأمین مالی خرد فعال در مناطق محلی هستند که با تأمین مالی و کمک فنی از سوی شرکت توسعه زیرساخت‌ها، تأمین‌کنندگان سامانه‌های خورشیدی خانگی، فروشندگان محلی مورد نیاز برای نصب سامانه‌ها و مصرف‌کنندگان نهایی را که سامانه‌ها را بر اساس اعتبار خریداری می‌کنند، به یکدیگر پیوند می‌داد.

در ابتدا، مصرف‌کنندگان به دلیل ترس از عدم کارکرد سامانه‌های خورشیدی پس از خرید و نصب در خانه، باید برای پذیرش آن متقاعد می‌شدند. در پاسخ، شرکت توسعه زیرساخت‌ها کمپین بازاریابی عمومی را راه‌اندازی کرد که شامل تبلیغات تلویزیونی، بیلبوردهای کنار جاده‌ای و بروشورها بود و سازمان‌های همکار جدید خود را با آموزش و پشتیبانی سازمانی مانند موتورسیکلت و رایانه تقویت کرد. علاوه بر این، ساختار مشارکت عمومی - خصوصی به شرکت توسعه زیرساخت‌ها اجازه می‌داد تا از طریق سازمان‌های همکار، کمک‌های فنی و پشتیبانی مداوم را به مشتریان خود و خدمات پس از فروش را برای اطمینان از بسته خدمات کامل، از جمله نگهداری سامانه‌ها ارائه کند. در حال حاضر شرکت توسعه زیرساخت‌ها دارای ۵۶ سازمان همکار است. از این میان، گرامین شاکتی^۱ بزرگترین ارائه‌دهنده وام‌ها و اعتبارات کم‌بهره به مصرف‌کنندگان نهایی است و ۶۰ درصد از کل خدمات ارائه‌شده در این طرح را در اختیار دارد. موفقیت مشارکت عمومی - خصوصی تا حد زیادی به توانایی گرامین شاکتی در ایجاد شبکه‌ای از کارآفرینان محلی که نصب و خدمات را ارائه می‌دهند و طرح‌های اعتباری کم‌بهره توسط بانک گرامین بستگی داشت.

ساختار تأمین مالی طرح

طرح سامانه‌های خورشیدی خانگی، تأمین مالی اولیه را از بانک جهانی و صندوق جهانی محیط‌زیست در قالب حمایت اعتباری و کمک بلاعوض دریافت کرد. پس از آن، شرکت توسعه زیرساخت‌ها از نهادهای مالی مختلف توسعه از جمله آژانس همکاری بین‌المللی آلمان (GIZ)، بانک توسعه آلمان (KfW)، بانک توسعه آسیا (ADB)، بانک توسعه بین‌المللی آمریکا (IDB)، همیاری جهانی برای رویکرد مبتنی بر نتایج (GPOBA)، آژانس همکاری بین‌المللی ژاپن (جایکا)، آژانس توسعه بین‌المللی ایالات متحده (USAID) و وزارت توسعه بین‌الملل (DFID)، حمایت مالی دریافت کرد که امکان گسترش و استمرار طرح را فراهم آورد. رویکرد شرکت توسعه زیرساخت‌ها بر تأمین مالی مبتنی بر نتیجه استوار بود. این رویکرد شامل جذب اهداکنندگان خصوصی و سازمان‌های غیر دولتی می‌شد تا زیرساخت‌های بازار را تحت پوشش کمک‌های مالی اهداکنندگان ایجاد کند. شرکت توسعه زیرساخت‌ها کمک‌ها و کمک‌های بلاعوض دریافتی از اهداکنندگان را در

قالب کمک‌های مالی خرید سرمایه به سازمان‌های همکار خود هدایت می‌کرد. این اقدام با هدف ایجاد یک خط اعتباری برای تأمین مالی مجدد وام‌های خرد آن‌ها صورت می‌گرفت. کمک‌های بلاعوض، با کاهش قیمت سامانه‌های خورشیدی خانگی برای مشتریان، به پذیرش بیشتر سامانه‌های خارج از شبکه در مناطق دورافتاده کمک شایانی می‌کرد. مدل مالی نوآورانه شرکت توسعه زیرساخت‌ها، نقش محوری در گسترش بی‌سابقه پذیرش سامانه‌های خورشیدی خانگی در سراسر بنگلادش ایفا کرد و به افرادی که معمولاً واجد شرایط وام یا اعتبار از بانک‌های تجاری نیستند، امکان تأمین مالی مقرون به صرفه سیستم خورشیدی خانگی را می‌داد.

از ۶۹۶ میلیون دلار سرمایه‌گذاری اهداکنندگان در شرکت توسعه زیرساخت‌ها، ۶۰۰ میلیون دلار به صورت وام و ۹۶ میلیون دلار باقیمانده توسط کمک‌های بلاعوض پوشش داده شد. ساختار وامی که برای سازمان‌های همکار تنظیم شده بود، دوره دوازده ساله را شامل می‌شد. این ساختار وام شامل یک دوره دو ساله استراحت، جدول زمانی ده ساله برای بازپرداخت و نرخ بهره ۶ درصد بود. علاوه بر این، به سازمان‌های همکار، امکان تأمین مالی مجدد تمام اعتبارات اعطاشده به خانوارها داده می‌شد. در این حالت، سازمان‌های همکار، وام کم‌بهره برای شش تا هشت سال با نرخ بهره ۹-۶ درصد دریافت می‌کند و ۸۰-۷۰ درصد این اعتبار به کاربر نهایی تعلق می‌گیرد. این ساختار به شکل قابل توجهی به سازمان‌های همکار کمک کرد تا سهم بازار خود را تقویت و رشد دهند. این مدل اعتباری که با یارانه‌های شرکت توسعه زیرساخت‌ها در قالب کمک‌های مالی خرید امکان‌پذیر شد، با این هدف طراحی شد که بازار سامانه‌های خورشیدی خانگی در نهایت خودپایدار شود و بدون یارانه و با رقابت سالم در این بخش عمل کند.

پرداخت اعتبارات به سازمان‌های همکار و یارانه‌های بعدی که هزینه سامانه‌های خورشیدی خانگی را برای مشتریان کاهش می‌داد، به تدریج با گذشت زمان کاهش یافت، زیرا مدل تأمین مالی طرح سامانه‌های خورشیدی خانگی در بلندمدت پایدار نبود. یارانه ۹۰ دلاری که در آغاز برنامه در سال ۲۰۰۳ برای هر سامانه ارائه می‌شد، به تدریج کاهش یافت و در سال‌های ۲۰۱۳-۲۰۱۴ به ۲۰ دلار برای نصب‌های زیر ۳۰ وات رسید. پس از کاهش یارانه و افزایش متعاقب آن در قیمت سامانه‌های خورشیدی، شمار نصب‌ها کاهش یافت. مشتریان اکنون به دنبال جایگزین‌های تجاری ارزان‌تر بودند یا از سال ۲۰۱۵، امیدوار بودند از گسترش سریع شبکه جدید و همچنین سامانه رایگان جدید خارج از شبکه دولت بنگلادش بهره‌مند شوند. در سال ۲۰۱۸، فروش به تنها ۱۰۰۰ واحد در ماه کاهش یافت و برنامه را به آستانه فروپاشی رساند. برای آنکه طرح سامانه خورشیدی خانگی بتواند در چارچوب و رسالت کنونی خود ادامه پیدا کند، به تغییرات اساسی نیاز دارد.

سیاست‌های رقیب و افول طرح

دلایل متعددی را می‌توان برای توضیح کاهش سرمایه‌گذاری در بازار و فروپاشی تقریباً کامل طرح برشمرد. این دلایل عبارتند از: نخست، عدم ایجاد بازار رقابتی سامانه خورشیدی خارج از شبکه؛ دوم، چارچوب نهادی ضعیف؛ و سوم، عرضه سامانه‌های رایگان خارج از شبکه و متصل به شبکه توسط دولت، که به عنوان رقیبی برای طرح‌های موجود عمل می‌کردند.

از آنجایی که شرکت توسعه زیرساخت‌ها تنها تأمین‌کننده مالی در بازار بنگلادش بود، بخش بانکداری تجاری در تأمین مالی طرح مردم باقی ماند. این وضعیت به اشباع بازار از سمت تقاضا منجر شد و سازمان‌های همکار را مجبور کرد تا به دنبال فرصت‌ها در جاهای دیگر باشند. همچنین، عدم توسعه کافی بازارهای سرمایه، مانعی جدی در ورود بازیگران جدید و شکل‌گیری رقابت مؤثر بود.

چارچوب نهادی ضعیف که قادر به اعمال مقررات نبود، مانع سرمایه‌گذاری خصوصی و حرکت به سمت تأمین مالی سبز در بنگلادش شد. این وضعیت همچنین تمایل سرمایه‌گذاران خصوصی را به پذیرش ریسک در پروژه‌های خارج از شبکه با افق زمانی طولانی‌تر کاهش داد و از شکل‌گیری یک بخش تجاری مستقل قابل دوام جلوگیری کرد. از آنجایی که تجاری‌سازی سامانه‌های خورشیدی خانگی طبق برنامه انجام نشد، ارائه‌دهندگان قانونی خدمات و فناوری، آن‌گونه که انتظار می‌رفت، ظهور نکردند. در عوض، افزایش تصاعدی شمار بازیگران بازار خصوصی بدون نظارت و با هزینه کم، چالش بزرگی بود. فروش بدون نظارت پنل‌های بی‌کیفیت وارداتی، اعتماد مصرف‌کننده را به انرژی خورشیدی به عنوان یک انتخاب قابل دوام، به دلیل کارایی کمتر و طول عمر به مراتب کوتاه‌تر پنل‌ها از بین برد.

سوماً، دولت بنگلادش پروژه‌های دیگری را نیز برای گسترش دسترسی به انرژی در مناطق روستایی فاقد انرژی و دستیابی به اهداف برنامه توسعه اجتماعی-اقتصادی بلندپروازانه خود راه‌اندازی کرد. رویکرد نامتوازن دولت به برق‌رسانی روستایی، چالش‌های قابل توجهی را برای پایداری طرح دیرینه سامانه خورشیدی خانگی ایجاد کرد. دولت بنگلادش در سال ۲۰۱۲، پروژه خورشیدی ۵۰۰ مگاواتی خود را برای افزایش انرژی‌های تجدیدپذیر از طریق شبکه‌های کوچک خورشیدی، پشت‌بام‌های خورشیدی و آبیاری خورشیدی آغاز کرد. از سال ۲۰۱۵ به بعد، دولت بنگلادش به شکل غیرمنتظره‌ای بر گسترش دسترسی به انرژی از طریق توسعه شبکه در مناطق تحت پوشش سامانه‌های خورشیدی خانگی فشار آورد. در همین راستا، سامانه رایگان خارج از شبکه موسوم به شبکه ایمنی نیز به طور همزمان معرفی شد. این سامانه رایگان بر پایداری طرح سامانه‌های خورشیدی خانگی تأثیر گذاشت، زیرا به کاهش شدید تمایل طرف‌های ذینفع برای

ثبت نام و دریافت وام برای تأمین مالی آن منجر شد. علاوه بر این، ۱/۲ میلیون مشتری که قبلاً به طرح وام سه‌ساله برای مالکیت سامانه خورشیدی خانگی متعهد شده بودند، از آن زمان در پرداخت‌های ماهانه وام خود خودداری کرده‌اند، که به زنجیره‌ای از بدهی‌ها منجر شده که از مصرف‌کنندگان آغاز شد و به سازمان‌های همکار و سپس به شرکت توسعه زیرساخت‌ها رسید.

تنظیم سیاست برای ترسیم مسیر آینده

زیرساخت‌های انرژی نیازمند برنامه‌ریزی بلندمدت است و در بیشتر مناطق روستایی که قادر به اتصال به شبکه نیستند، نخستین مرحله در مسیر دسترسی به انرژی، بهره‌گیری از سامانه خارج از شبکه است. سامانه‌های خارج از شبکه نقش مهمی در برق‌رسانی این مناطق ایفا می‌کنند، چرا که به عنوان عاملی تسهیل‌گر در آشکارسازی تقاضای پنهان و ارتقای پایداری سامانه‌های بزرگ‌مقیاس‌تر در آینده عمل می‌کنند. علاوه بر این، شواهد نشان می‌دهد که در مقایسه با شرایطی که وام‌ها و یارانه‌های جزئی برای دستیابی به سامانه‌های خارج از شبکه ارائه شده است، ارائه رایگان این سامانه‌ها، انگیزه‌های چندانی را برای دستیابی به نرخ‌های بالاتر برق‌رسانی خورشیدی به وجود می‌آورد. برای نمونه، خانوارهای اوتارپرادش هند که سامانه رایگان را در طرح دولتی دریافت کردند، کمتر تمایل به ارتقا به سامانه‌های خورشیدی بزرگتر داشتند، بنابراین پیشرفت آینده در مسیر دسترسی به انرژی و توسعه بازار را مهار می‌کنند. هدف پیشرفت در نردبان انرژی، در حال حاضر در طراحی برنامه‌های دولت بنگلادش که سامانه‌های رایگان خارج از شبکه را عرضه می‌کنند، ادغام نشده است.

کیفیت فنی پائین سامانه‌ها و خدمات، مجموعه‌ای دیگر از عوامل بازدارنده اصلی در پذیرش سامانه‌های خورشیدی در جوامع روستایی است. اخیراً دولت بنگلادش به این موضوع در استانداردهای جامع کیفیت فنی خود برای بخش فوتوولتائیک خورشیدی، که در نقشه راه انرژی ۲۰۴۱-۲۰۲۱ آمده اذعان کرده است. اجرای مؤثر این استانداردها تضمین می‌کند که ارائه‌دهندگان سامانه‌های خورشیدی خارج از شبکه، خدمات با کیفیت بالا را از ابتدا در طول چرخه عمر سامانه، از جمله نگهداری، تعویض باتری و سایر خدمات پس از فروش را برای سال‌های آینده تضمین می‌کنند. همان گونه که تجربه تاکنون نشان داده است، در غیر این صورت نگهداری سیستم دست و پا گیر می‌شود، به اعتماد مشتری به کیفیت فنی سامانه‌ها لطمه می‌زند و منجر به خودداری در بازپرداخت وام یا توقف کامل استفاده از سامانه‌ها می‌شود. بنابراین، برنامه‌ریزی اساسی دولت برای انرژی‌های تجدیدپذیر باید نیاز به حمایت نهادی پایدار و بلندمدت را به عنوان جنبه کلیدی طرح‌های برق‌رسانی خارج از شبکه در نظر بگیرد.



انرژی خورشیدی: راه‌حلی برای پایداری منابع آب زیرزمینی

دره سان‌واکین، کالیفرنیا

انجام شود. برای دستیابی به این هدف، کالیفرنیا باید ظرفیت بهره‌برداری از انرژی خورشیدی را به میزان قابل توجهی افزایش دهد. دره سان‌واکین به دلیل پتانسیل بالای منبع خورشیدی و زمین در دسترس، از بهترین مکان‌ها شناخته شده است.

در حال حاضر، ظرفیت خورشیدی این دره حدود ۳ گیگاوات است و ۲۰ گیگاوات دیگر در دست راه‌اندازی قرار دارد. با این همه، پتانسیل این منطقه می‌تواند تا ۳۰ گیگاوات برسد و آن را به قطب مهم آینده انرژی تجدیدپذیر کالیفرنیا تبدیل سازد. با وجود این پتانسیل، گسترش بهره‌برداری از انرژی خورشیدی در دره سن‌واکین با چالش‌های مهمی به ویژه از نظر ظرفیت انتقال مواجه است. زیرساخت‌های موجود انتقال در ضلع غربی دره متمرکز شده است، از این رو پروژه‌های خورشیدی در این محدوده توزیع می‌شوند.

ساخت خطوط جدید انتقال، پرهزینه و زمان‌بر است و بدون سرمایه‌گذاری قابل توجه، توانایی این منطقه برای دستیابی به اهداف لایحه SB 100 محدود خواهد شد. برای رسیدگی به این موضوع، در فرایندهای برنامه‌ریزی انرژی در سطح ایالت باید ملاحظات استفاده از اراضی گنجانده شود تا اطمینان حاصل شود که زیرساخت‌های جدی انتقال در محدوده‌هایی ساخته خواهد شد که احتمال دارد اراضی زراعی دیگر آبیاری نمی‌شوند.

دره سان‌واکین که کانون کشاورزی کالیفرنیا شناخته می‌شود، اینک در آستانه یک گذار سرنوشت‌ساز قرار گرفته است. این منطقه در پی پیاده‌سازی قانون مدیریت پایداری آب زیرزمینی (SGMA)، با چالش‌های قابل توجهی روبرو می‌شود که ناشی از الزام استفاده پایداری از منابع آب زیرزمینی در این قانون است. در نتیجه پیاده‌سازی قانون تا سال ۲۰۴۰، نزدیک به ۴۰۰,۰۰۰ هکتار از اراضی زراعی آبی دیگر آبیاری نخواهد شد، از این رو اقتصاد محلی تهدید خواهد شد و دردهای محیط‌زیستی مانند ریزگرد و علف‌های هرز به وجود خواهد آمد. با این همه، راه‌حلی امیدوارکننده را می‌توان در گسترش انرژی خورشیدی جست. این نوشتار به بررسی این موضوع می‌پردازد که چگونه همسویی توسعه بهره‌برداری از انرژی خورشیدی با تلاش‌هایی که در راستای پایداری منابع آب زیرزمینی صورت می‌گیرد می‌تواند اقتصاد منطقه‌ای را تقویت و اهداف تعیین‌شده درباره انرژی‌های تجدیدپذیر در کالیفرنیا را محقق کند و اثرات محیط‌زیستی را کاهش دهد.

آینده انرژی خورشیدی در دره سن‌واکین

هدفگذاری بلندپروازانه درباره انرژی تجدیدپذیر در کالیفرنیا در لایحه موسوم به SB 100، مستلزم آن است که تا سال ۲۰۴۵، ۱۰۰ درصد فروش برق از منابع تجدیدپذیر یا کربن صفر

ویژه‌نامه

فصل‌نامه اندیشکده تدبیر آب ایران

سال سیزدهم، شماره چهارم، بهار و تابستان ۱۴۰۴

صفحه ۳۱

یکپارچگی با قانون مدیریت پایدار آب زیرزمینی: شناسایی اراضی مناسب برای انرژی خورشیدی

پیاده‌سازی قانون مدیریت پایدار آب زیرزمینی، فرصت منحصر به فردی را برای هم‌افزایی تدابیر این قانون با توسعه بهره‌برداری از انرژی خورشیدی فراهم می‌آورد. به نسبتی که بهره‌برداران آب زیرزمینی در راستای کاهش تقاضا حرکت می‌کنند تا توازن در حوضه‌های آب زیرزمینی برقرار شود، قطعات بزرگی از اراضی کشاورزی از مدار تولید خارج خواهد شد. توسعه بهره‌برداری از انرژی خورشیدی، کاربری جایگزین مناسبی برای این اراضی خواهد بود و می‌تواند بازده اقتصادی داشته باشد و اثرات محیط‌زیستی مانند تولید ریزگرد و تکثیر علف‌های هرز را کاهش دهد.

در مطالعات قبلی نهادهای مختلف، محدوده‌های مناسب در دره سن‌واکین برای توسعه انرژی خورشیدی با حداقل تعارض با زیستگاه‌های پرارزش یا اراضی زراعی درجه یک شناسایی شده است.

این مطالعات پتانسیل توسعه انرژی خورشیدی را در اراضی کشاورزی که از مدار تولید خارج می‌شوند، به ویژه در محدوده‌هایی که زیرساخت‌های انتقال وجود دارد برجسته می‌کنند. برای نمونه در پارک خورشیدی وستلندز (Westlands) در شهرستان کینگز، تبدیل این قبیل اراضی زراعی به تولید انرژی خورشیدی آغاز و نخستین پروژه ۲۵۰ مگاواتی در اوایل سال ۲۰۲۲ تکمیل شد.

با این همه، مکان‌یابی پروژه‌های خورشیدی باید به دقت برنامه‌ریزی شود تا از تعارضات اکولوژیکی و فرهنگی پیشگیری شود. هماهنگ‌سازی برنامه‌ریزی‌گذار به انرژی خورشیدی با تصمیمات کاربری اراضی برای اطمینان از اینکه توسعه خورشیدی در محدوده‌هایی گسترش می‌یابد که منافع را به حداکثر می‌رساند و همزمان اثرات محیط‌زیستی را به حداقل می‌رساند بسیار مهم خواهد بود. سازمان‌های پایداری آب زیرزمینی (GSA) و برنامه‌ریزان در سطح شهرستان می‌توانند نقش کلیدی در شناسایی زمین‌هایی که از تولید خارج می‌شوند و همکاری با برنامه‌ریزان انرژی برای اولویت‌بندی گسترش خطوط انتقال در این محدوده‌ها ایفا نمایند.

ملاحظات اطمینان از نتایج مثبت

انتقال از کشاورزی به انرژی خورشیدی، پتانسیل منافع چندگانه را برای دره سن‌واکین دارد، از جمله اشغال‌زایی، کاهش ریزگرد، و حفظ زیستگاه. با این همه، این منافع، تضمین‌شده نیست و به برنامه‌ریزی و هماهنگی دقیق نیاز دارد.

اشتغال و اثرات اجتماعی و اقتصادی

کاهش مشاغل کشاورزی به دلیل آیش اراضی، از نگرانی‌های مهم برای ساکنان دره سن‌واکین به شمار می‌آید. توسعه انرژی خورشیدی می‌تواند با اشتغال‌زایی جدید در ساخت و نصب

مزارع خورشیدی، بخشی از این شکاف را پر کند. برای نمونه در پروژه وستلندز، حدود ۳۵۰ کارگر استخدام شدند که بیشتر آنها از ساکنان محلی بودند. با این همه، بیشتر مشاغل خورشیدی موقتی بوده و تنها در مرحله ساخت برقرار هستند. برای اطمینان از فرصت‌های شغلی درازمدت، جریان مستمر پروژه‌های خورشیدی، با پشتیبانی اهداف بلندپروازانه توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر کالیفرنیا ضرورت دارد.

برنامه‌های توسعه نیروی کار نیز برای آماده‌سازی ساکنان محلی برای مشاغل صنعت خورشیدی ضروری خواهد بود. برنامه‌های آموزشی، به‌ویژه برنامه‌هایی که برای کارگران سابق کشاورزی طراحی شده‌اند، می‌تواند به پرکردن شکاف مهارت‌ها و فراهم‌سازی مسیرهایی برای مشاغل پایداری و سودآورتر در پیشه‌های مرتبط با توسعه خورشیدی کمک کند.

پرکردن شکاف‌های مالی

خارج‌شدن اراضی کشاورزی از تولید، عواید مالیاتی را در معرض ریسک قرار می‌دهد، زیرا اراضی آیش‌شده درآمد کمتری نسبت به اراضی کشاورزی مولد دارند. بهره‌برداری از انرژی خورشیدی فرصتی برای حفظ ارزش اراضی و تقویت اقتصاد محلی به شمار می‌آید. با این همه، تأثیر متقابل کاهش مالیات پروژه‌های خورشیدی کالیفرنیا و قانون ویلیامسون، که مالیات اراضی کشاورزی را کاهش می‌دهد (به منظور حفظ اراضی برای استفاده کشاورزی)، وضعیت را پیچیده می‌کند. در حالی که پروژه‌های خورشیدی ممکن است عواید مالیاتی را به میزان قابل توجهی افزایش ندهند، اگر اجزای پروژه از داخل شهرستان خریداری شوند، می‌توانند عواید مالیاتی فروش را افزایش دهند.

پیامدها: کیفیت هوا و زیبایی

دره سن‌واکین از جمله مناطقی است که بدترین کیفیت هوا را در کشور دارد و جوامع محلی نگران تأثیرات بالقوه ساخت تأسیسات خورشیدی هستند. با این همه، صنعت خورشیدی با به کارگیری الگوهای موفق مانند حفظ پوشش زمین و استفاده از موانع برای جلوگیری از گرد و غبار در طول ساخت، گام‌های مهمی در مدیریت گرد و غبار برداشته است. این اقدامات حتی می‌تواند گرد و غبار را در مقایسه با اراضی زراعی آیش‌شده یا مولد کاهش دهد.

دغدغه زیبایی نیز به سبب تغییر چشم‌انداز در اثر پروژه‌های خورشیدی بزرگ‌مقیاس وجود دارد. مؤلفه‌های طراحی استراتژیک، مانند موانع پوشش گیاهی می‌تواند به کاهش اثرات بصری کمک کنند و همزمان منافع محیط‌زیستی نیز فراهم آورند.

زیستگاه و سلامت خاک

بهره‌برداری از انرژی خورشیدی می‌تواند با زیستگاه‌ها

که کارگران را برای مشاغل صنعت خورشیدی آماده می‌کند همکاری کنند.

در نهایت، دستگاه‌های ایالتی باید حمایت مالی را بابت منافع چندگانه توسعه مزارع خورشیدی، مانند احیای زیستگاه و کاهش گرد و غبار را در نظر بگیرند. ساده‌سازی فرایندهای صدور مجوز پروژه‌های خورشیدی نیز می‌تواند گذار به سیستم انرژی تجدیدپذیر را تسهیل کند.

جمع‌بندی

دره سن‌واکین نقش مهمی در آینده انرژی‌های تجدیدپذیر کالیفرنیا ایفا خواهد کرد. با همسویی توسعه انرژی خورشیدی و تلاش‌ها برای پایداری آب زیرزمینی، این منطقه می‌تواند ثبات اقتصادی را تقویت کند، اهداف انرژی تجدیدپذیر ایالت را محقق سازد و اثرات محیط‌زیستی را کاهش دهد. با این همه، دستیابی به این نتایج مستلزم برنامه‌ریزی هماهنگ در سطوح مختلف دولت، با کمک توسعه‌دهندگان خورشیدی و جوامع محلی است. با سیاست‌ها و سرمایه‌گذاری‌های درست، این منطقه می‌تواند از قانون کشاورزی به قطب تولید انرژی پاک تبدیل شود و آینده‌ای پایدار را برای ساکنان آن و به طور کلی ایالت رقم بزند.

مأخذ:

- **Solar Energy and Groundwater in the San Joaquin Valley.** How Policy Alignment Can Support the Regional Economy. Andrew Ayres, Annabelle Rosser, Ellen Hanak, Alvar Escriva-Bou, Darcy Wheeles, Mitchell De Leon, Curtis Seymour, and Abigail Hart. Public Policy Institute of California. October, 2022.

همزیستی داشته باشد، اگر پروژه‌ها به گونه‌ای مکان‌یابی شوند که محدوده‌های حفاظت‌شده پرارزش را تحت تأثیر قرار ندهند. تطبیق فرایندهای برنامه‌ریزی و هماهنگی میان برنامه‌ریزان کاربری اراضی و توسعه‌دهندگان می‌تواند این اطمینان را به وجود آورد که توسعه بهره‌برداری از انرژی خورشیدی، سد راه کریدورهای زیستگاهی نمی‌شود. عناصر طراحی ساختگاه مانند گیاهکاری می‌تواند سلامت خاک را بازگرداند و از حیات وحش محلی پشتیبانی کند. برای نمونه در یکی از پروژه‌های مزرعه خورشیدی کالیفرنیا، شیوه‌های مدیریت زیستگاه برای حفاظت از گونه‌های در معرض خطر مانند روباه و موش کانگورویی یکپارچه شده است.

بهره‌برداری از حداکثر منافع پایداری انرژی و آب زیرزمینی: فرصت‌ها

برای تحقق کامل پتانسیل انرژی خورشیدی در دره سان‌واکین، به یکپارچگی بیشتر میان برنامه‌ریزی انرژی در سطح ایالت و برنامه‌ریزی کاربری اراضی در سطح محلی نیاز است. کمیسیون انرژی کالیفرنیا (CEC) تلاش‌هایی را برای جمع‌آوری اطلاعات محیط‌زیستی و کاربری اراضی برای استفاده در فرایندهای برنامه‌ریزی انرژی آغاز کرده است. علاوه بر این، اختیارات جدید کمیسیون انرژی برای تصویب پروژه‌های بزرگ انرژی تجدیدپذیر می‌تواند به تسریع توسعه در محدوده‌های مناسب کمک کند.

برنامه‌های پرورش نیروی کار باید برای ساکنان کم‌درآمد، با تمرکز بر کارگران سابق کشاورزی طراحی شود. توسعه‌دهندگان مزارع خورشیدی، اتحادیه‌ها و مراکز فنی و حرفه‌ای می‌توانند برای طراحی دوره‌های آموزشی جامع





معرفی کتاب

تخصیص آب زیرزمینی، مدیریت فشارهای فزاینده بر کمیت و کیفیت

عنوان اصلی: Groundwater Allocation: Managing Growing Pressures on Quantity and Quality. OECD, 2017

تهیه‌کننده: مرکز ملی مطالعات راهبردی کشاورزی و آب (۱۴۰۲)

مترجمان: حمید پشتوان- مهدی رجبی هاشجین

فشارهای فزاینده‌ای که در بالا برشمرده شد تا اندازه زیادی از مدرن‌سازی نظام‌های تخصیص آب زیرزمینی پیش افتاده‌اند. نظام تخصیص را ترکیبی از سیاست‌ها، قوانین، مقررات و ترتیبات نهادی (حقوق آب، مجوزها، پروانه‌ها و مانند آن) تشکیل می‌دهد و تعیین می‌کند چه کسی می‌تواند از منابع آب، چگونه، چه زمان و در کجا استفاده کند. در عمل، بسیاری از نظام‌های کنونی تخصیص آب زیرزمینی قویاً متأثر از الگوهای تاریخی استفاده از آب هستند. این الگوها به دوره‌هایی تعلق دارند که این منبع فراوان‌تر و تقاضا پائین‌تر بوده و مقررات چندانی بر بهره‌برداری از آن حاکم نبود یا هیچ گونه مقرراتی وجود نداشته است. چالش‌های جدی حکمرانی از کمبود داده‌ها، قوانین پراکنده متعدد و تا اندازه زیادی از استفاده نامتمرکز از این منبع نشأت می‌گیرد. حاکمیت ریشه‌دار سیاست‌های نامناسب یا متناقض، مانند نرخ‌گذاری غیر واقعی آب یا یارانه انرژی برای پمپاژ آب زیرزمینی می‌تواند تلاش برای بهبود ترتیبات تخصیص را بحث‌برانگیز و پرهزینه سازد. با این همه، ناکامی در بهبود سیاست‌های تخصیص، طیفی از منافع

آب زیرزمینی، اصلی‌ترین مخزن آب شیرین در کره زمین و منبع مهم تأمین آب مصرفی برای شرب، آبیاری و صنعت به شمار می‌آید و در حفظ زیست‌بوم‌های وابسته به آب زیرزمینی مانند رودخانه‌ها و تالاب‌ها نقش مهمی دارد. در چند دهه اخیر فشار بر کمیت و کیفیت این منابع به شکل قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته است. در مقیاس جهانی، برداشت آب زیرزمینی به شکل چشمگیری نزدیک به ۱۰ برابر در پنجاه سال گذشته افزایش یافته است. همزمان با این روند کیفیت آن به شکل فزاینده‌ای به سبب آلودگی و هجوم شوری در حال کاهش است. استفاده ناپایدار از آب زیرزمینی پیامدهای محیط‌زیستی منفی شامل فرونشست زمین، هجوم آب شور و تضعیف زیست‌بوم‌های وابسته به آب زیرزمینی را به بار می‌آورد. خالی‌شدن سفره‌های آب زیرزمینی هزینه بهره‌برداری را نیز افزایش می‌دهد، چون پمپاژ باید از عمق‌های بیشتر صورت گیرد. چنین شرایطی ممکن است بهره‌برداران کوچک‌مقیاس را متضرر سازد. خالی‌شدن سفره‌ها همچنین می‌تواند به کمبود آب منجر شود، بدین ترتیب مستقیماً بهره‌برداران و فعالیت‌های اقتصادی را متأثر سازد.

اجتماعی حاصل از آب زیرزمینی را در استفاده‌های استخراجی و غیر استخراجی (برای نمونه برای محیط‌زیست)، هم امروز و هم در آینده تضعیف می‌کند.

منافع به دست آمده از آب زیرزمینی شکل‌های بسیاری دارد- از ارزش اقتصادی حاصل از استفاده‌های پرفایده برای تأمین آب شرب، صنعت و آبیاری، تا ارزش اکولوژیکی با پشتیبانی گونه‌های کلیدی در اکوسیستم‌های وابسته به آب زیرزمینی و ارزش انتخاب ذخیره‌سازی آب زیرزمینی به عنوان محافظ در برابر کمبودهای آب در آینده. سیاست‌های تخصیص آب زیرزمینی باید انواع مختلف ارزش‌های استخراجی و غیر استخراجی و نیز توازن نیازهای نسل‌های کنونی و آینده را به حساب آورد.

این نوشتار، ویژگی‌های متمایز آب زیرزمینی را توصیف و رهنمودهای نوسازی نظام تخصیص آب زیرزمینی را ارائه می‌کند. این راهنما به عنوان مکمل رهنمودهای عمومی OECD در ارزیابی نظام تخصیص آب قابل استفاده است. این رهنمودها در ۱۴ محور دسته‌بندی شده‌اند و به شناسایی اجزای کلیدی نظام تخصیص و چگونگی ارتقای عملکرد آنها کمک می‌کند. محورهای ارزیابی در فصل دوم ارائه شده است.

در بخش دوم، ۹ تجربه تخصیص آب در کشورهای مختلف دانمارک؛ آرژوننا، ایالات متحده؛ کوماموتو ژاپن؛ مکزیک؛ حوضه گوادیانا، اسپانیا؛ تگزاس؛ فرانسه؛ گجرات، هندوستان؛ و شمال چین)، توصیف و بر پایه محورهای ارزیابی معرفی شده در بخش اول تحلیل می‌شود.

شماری از ویژگی‌های متمایز سیستم‌های آب زیرزمینی (در مقایسه با آب سطحی)، درخور توجه ویژه در طراحی نظام تخصیص است. عدم قطعیت علمی قابل ملاحظه‌ای درباره وضعیت (کیفیت و کمیت) منابع آب زیرزمینی وجود دارد و داده‌های استفاده از آب زیرزمینی، کمیاب و ناقص‌اند. نیاز به درک بهتر چگونگی ارتباط آب زیرزمینی و آب سطحی وجود دارد تا مدیریت تلفیقی این منابع، امکان‌پذیر و چگونگی تغییر استفاده آب زیرزمینی با گذشت زمان پایش شود. این مهم نیازمند ارزیابی منابع آب زیرزمینی با هدف تعیین نقاطی است که برداشت آب ممکن است به بروز آثار خارجی منجر شود.

در پاسخ به رشد سریع استفاده بی‌ضابطه از آب زیرزمینی، بسیاری از دولت‌ها دست به کار بازتعریف مالکیت و حقوق استفاده آب زیرزمینی در قلمرو عمومی شده‌اند. این کار مبنای قانونی لازم را برای وضع مقررات و اعمال آن فراهم می‌آورد. به نسبتی که آب زیرزمینی در قلمرو عمومی بازتعریف می‌شود، لازم است فرایند روشنی نیز برای تبدیل مالکیت خصوصی به استفاده ضابطه‌مند استقرار یابد. حقوق عرفی دسترسی به این منبع نیز باید در نظر گرفته شود.

منابع آب زیرزمینی هم از ذخیره و هم جریان تشکیل می‌شود و در استراتژی‌های بلندمدت بهره‌برداری لازم است هر

دو متغیر در نظر گرفته شوند. برخی آبخوان‌ها، تجدیدنپذیر (حاوی آب زیرزمینی فسیلی) در نظر گرفته می‌شوند، یعنی استخراج از این منابع، بازگشت‌ناپذیر است. تنها بخشی از منابع آب زیرزمینی (شامل کل ذخیره و جریان) را باید قابل بهره‌برداری در نظر گرفت. از دید اقتصادی بهره‌برداری بهینه آب زیرزمینی ارزش کنونی منافع منهای هزینه‌ها را به حداکثر می‌رساند و بر این اساس می‌توان حد برداشت از این منبع را تعریف کرد. تعیین سقف مجاز برداشت مستلزم متوازن‌سازی استفاده‌های استخراجی و غیر استخراجی (برای نمونه نیازهای اکوسیستم، حفاظت کیفیت آب) و استفاده‌های کنونی و آینده است.

معمولاً ویژگی‌های منابع مشترک درباره آب زیرزمینی مصداق دارد، بنابراین، منع استفاده‌کنندگان از دسترسی به این منبع، دشوار و پرهزینه خواهد بود. استفاده‌کنندگان غالباً مستقیم و به گونه‌ای نامتمرکز به این منبع دسترسی دارند. این وضعیت، پایش استفاده از آب زیرزمینی را از نظر فنی پرزحمت و پرهزینه می‌سازد. فناوری‌های جدید پایش مانند دورسنجی ماهواره‌ای در بهبود پایش آب زیرزمینی امیدبخش هستند، با این همه، هنوز هم نیاز دارند با اندازه‌گیری‌های میدانی تکمیل شوند. وقتی سنجش همه استفاده‌کنندگان، عملی نباشد یا بسیار پرهزینه باشد، دولت‌ها می‌توانند حقایق‌های جمعی را برای تخصیص آب به گروهی از بهره‌برداران در یک محدوده مشخص تعریف کنند.

حتی اگر نظام تخصیص به خوبی طراحی شده باشد، مشوق‌های نامناسب در بخش‌های دیگر مانند یارانه‌هایی که سبب مصرف بیش از حد آب زیرزمینی یا آلوده شدن و کاهش کیفیت آب می‌شوند، نظام تخصیص را تضعیف خواهند کرد. یارانه‌های برق یا آبیاری می‌تواند مشوق پمپاژ بیش از حد آب زیرزمینی باشند. سیاست‌هایی که در پی حفاظت کیفیت آب با کاهش آلودگی بالقوه ناشی از آفت‌کش‌ها، کودها، رواناب شهری و دیگر منابع آلوده‌کننده هستند، اهمیت ویژه‌ای دارند.

به نسبتی که کمیابی و ارزش استفاده از آب افزایش می‌یابد، پی‌ریزی نظام تخصیص پیچیده‌تر و تفصیلی‌تر توجیه‌پذیرتر می‌شود. در مراحل اولیه بهره‌برداری از یک منبع، نظام نسبتاً ساده تخصیص به همراه تصمیمات محتاطانه برای اجتناب از بیش‌تخصیص و خالی شدن سفره کفایت می‌کند. با این همه عناصر پایه‌ای یک نظام استوار باید در مراحل اولیه پی‌ریزی شوند تا از استمرار تغییرناپذیر الگوی استفاده ناپایدار جلوگیری شود و امکان تعدیل را در صورت نیاز با گذشت زمان، با حداقل هزینه فراهم آورد. امکان پایش و تحلیل کافی منابع آب باید پیش از حادث شدن مشکلات فراهم شده باشد تا سیاست‌گذاران بتوانند در نظام تخصیص، متناسب با افزایش استفاده از منابع آب زیرزمینی تعدیل صورت دهند. ارزیابی دوره‌ای می‌تواند رویکردی عمل‌گرایانه برای تحقق منافع نظام ارتقایافته تخصیص باشد.

گفت و گویی آب



اندیشکده تدبیر آب ایران

نشانی: خیابان فتحی شقاقی، بین خیابان چهلستون و سید جمال الدین اسدآبادی، پلاک ۵۴، طبقه ۴

تلفن: ۸۸۷۰۲۸۰۵ - ۸۸۷۰۴۰۱۳

www.iwpri.ir