تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال بیست و دوم، شماره ۱، بهار ۱۴۰۵
Volume 22, No.1, Spring 2026 (IR-WRR)
۹۰-۱۱۰

ارزیابی ظرفیت کاهش فشار بر منابع آب زیرزمینی از طریق توسعه نیروگاه‌های خورشیدی در زمین‌های کشاورزی کم‌بهره به عنوان راهبردی نو در هم‌بست آب-انرژی-کشاورزی

سمانه سعیدی نائینی[۱]، علی باقری[۲*]

چکیده

افت مستمر تراز آبخوان‌ها در پی برداشت بیش از تجدیدپذیری، مسئله فراگیر بیشتر دشت‌های ایران است. با توجه به سهم بخش کشاورزی در استفاده از منابع آب زیرزمینی، لازم است تمرکز ویژه‌ای در راستای کاهش برداشت این بخش صورت گیرد. در کنار آب، ناترازی برق نیز مسئله دیگر کشور است. شناخت ارتباط میان سیستم‌های آب، انرژی و کشاورزی و پیوستگی بین آنها که به عنوان هم‌بست شناخته می‌شود، فرصت تغییر مؤثر حکمرانی مرتبط با توسعه در کشور را فراهم می‌آورد. این پژوهش با نگاه جدید به روابط تعریف شده در هم‌بست آب-انرژی-کشاورزی در نظر دارد تا ظرفیت کاهش فشار بر منابع آبی از طریق به اشتراک گذاشتن زمین کشاورزی برای توسعه نیروگاه‌های خورشیدی را ارزیابی نماید. نتایج برآوردها نشان می‌دهد می‌توان در تقارن زمانی به وجود آمده میان این دو مسئله، ارزش فعلی آب برای تولید و سپس فروش محصول کشاورزی را با ایجاد منافع جدید حاصل از تولید و فروش برق سبز جایگزین کرد. به عبارت دیگر از منظر اقتصادی درآمد حاصل از فروش برق خورشیدی تولید شده در زمین‌های کشاورزی کم‌بهره می‌تواند با درآمد حاصل از فعالیت کشت محصول و فروش آن جایگزین شود. با این حال باید تأکید کرد این مقاله در گام اول سعی دارد تا بررسی نماید اصلا طرح این ایده از نظر اقتصادی قابل توجیه است یا خیر؟ بنابراین در گام‌های بعدی تحقیقاتی باید ابعاد دیگر اجرایی آن از جمله چالش‌های اجتماعی و نهادی بررسی گردد تا ضمن شناخت مسیر تغییر، با اتخاذ سیاست‌های تشویقی و تنبیهی لازم این جریان به سمت دستیابی به هدف کاهش فشار بر منابع آبی هدایت شود.

کلمات کلیدی: مدیریت تقاضای آب، تغییر الگوی معیشت روستایی، درآمد جایگزین، تغییر کاربری، بازنشستگی زمین.

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۴/۱۲/۲۹
تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۴/۸/۲۷

۱- دانشجوی دکتری منابع آب، گروه مهندسی منابع آب، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
۲- دانشیار گروه مهندسی منابع آب، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
*- نویسنده مسئول

Assessing the Potential for Reducing Pressure on Groundwater Resources through the Development of Solar Power Plants on Low-Productive Agricultural Land as a Novel Water-Energy-Agriculture Nexus Strategy

S. Saeedinaeeini[1], A. Bagheri[2]*

Abstract

The continuous decline of aquifer levels due to over-extraction beyond recharge rates is a pervasive issue in most plains of Iran. Given the agricultural sector's share in groundwater usage, a special focus on reducing this sector's withdrawal is necessary. Alongside water, electricity imbalance is another national challenge. Understanding the interconnectedness of water, energy, and agriculture systems – known as the nexus- provides an opportunity for effectively transforming development governance in the country.

This research, with a novel perspective on the relationships defined within the water-energy-agriculture nexus, aims to assess the potential for reducing pressure on water resources by sharing agricultural land for developing solar power plants. The estimation results indicate that, leveraging the temporal alignment of these two issues, the present value of water used for producing and selling agricultural products can be replaced by new benefits arising from the production and sale of green electricity. In other words, from an economic perspective, the income from the sale of solar energy produced in low-productive agricultural lands can be replaced by income from crop. However, it should be emphasized that this study, in the first step, tried to investigate whether the idea is economically feasible or not. Therefore, in the next steps of the research, other aspects of its implementation, including social and institutional challenges, should be assessed in order to understand the pathway of change, by adopting the necessary incentive and disincentive policies, guide this process towards achieving the goal of reducing pressure on water resources.

Keywords: Water Demand Management, Rural Livelihood Transformation, Alternative Revenue, Land Transition, Land Retirement.
Received: November 18, 2025
Accepted: March 20, 2026

1- PhD Student, Water Resources Engineering Department, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran, samaneh.saeidi@modares.ac.ir

2- Associate Professor, Water Resources Engineering Department, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran, ali.bagheri@modares.ac.ir

*- Corresponding Author
Doi: 10.22034/iwrr.2026.560562.2975

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

۱- مقدمه

همزمان با روند توسعه کشور، میزان مصرف آب در بخش‌های مختلف افزایش یافته و در حال حاضر بیش از نیمی از منابع آبی مورد نیاز کشاورزی، شرب و بهداشت، و صنعت از طریق برداشت از منابع آب زیرزمینی تأمین می‌شود. میزان وابستگی مصارف مختلف به منابع آب زیرزمینی در هر منطقه متفاوت است، اما به طور کلی از مجموع ۴۳ میلیارد مترمکعب تخلیه سالیانه منابع آب زیرزمینی، سهم برداشت کشاورزی پنج برابر بیشتر از سایر بخش‌ها بوده و تأثیر منفی آن بر کسری آبخوان‌های کشور روشن است (Islamic Parliament Research Center, 2022). در ساختار فعلی حکمرانی آب، جهت‌گیری‌ها و سیاست‌هایی برای پایدارسازی منابع آب در فرایند توسعه، تدوین و به‌روز شده است؛ اما موانع و مقاومت‌های سیاسی–اجتماعی مهمی در برابر اجرای این سیاست‌ها وجود دارد. Noori Esfandiari (2023) معتقد است برای غلبه بر این موارد، چه در داخل بخش آب و چه در سطح جامعه محلی، تدابیری در حال شکل‌گیری و اقدام است که عمدتاً با رویکرد فناورانه و مهندسی در ساختار و فرآیندهای حکمرانی تک‌ساحتی متمرکز دولت‌محور به گردش درمی‌آیند. از جمله این موارد برنامه سازگاری با کم‌آبی است که در مقابل عبارت «مقابله با خشکسالی» با هدف تغییر تصور «موقتی بودن و گذرا بودن» شرایط کم‌آبی، توسط وزیر وقت نیرو در سال ۱۳۹۶ مطرح شد. Noori Esfandiari (2023) موافق است که این طرح تا حدودی نگاه به مسأله کمبود آب را تغییر داد و مباحثی مانند محدودیت توسعه کشت و تغییر الگوی کشت را وارد گفتمان‌های رسمی کشور کرد؛ با این حال در دستیابی به اهداف کمی که برای کاهش برداشت از منابع آب مشخص کرده بود، موفق نبوده است. Center for Strategic Studies (2019) نیز روایت می‌کند که کشاورزان به عنوان اصلی‌ترین ذی‌نفع و آب‌بر حوضه آبریز دریاچه ارومیه، احیای دریاچه را «مسأله دولت» می‌دانستند و برای این هدف تمایلی به این‌که خودشان قدمی بردارند، نداشته‌اند. در این شرایط تنها ابزار ستاد احیای دریاچه ارومیه استفاده از زور و اجبار در کاهش مصرف آب بود. این مرکز در گزارش خود تأکید می‌کند اصرار ستاد احیا بر روش‌های سلبی کنترل برداشت نه‌تنها توفیقی به همراه نداشته بلکه منجر به نزول سرمایه اجتماعی برای حفاظت جمعی از آب و افزایش تخلف و کجروی، و یافتن راهکارهایی برای دور زدن دولت به منظور دسترسی هر چه بیشتر به آب و برداشت نیز شده است. درصورتی‌که Davari (2023) تأکید دارد خاتمه دادن به رویه مدیریت تأمین‌محور آب و توجه به محدودیت این منبع در کشور، نیازمند جلب مشارکت جامعه محلی در سیاست‌گذاری و مدیریت منابع آب است.

کمبود شدید آب در کنار تقاضای شتابان و انتظارات مهار نشده و مدیریت نشده در مکان‌های نامناسب برای مصارف آب در بخش‌های مختلف، نشانه بارز بارگذاری بیش از حد و ناسازگاری با امکانات و محدودیت‌های منابع آب کشور است (Noori Esfandiari, 2016). هرچند بدنه مدیریتی کشور تمام توان خود را برای تأمین آب از منابع جدید یا افزایش بهره‌وری بسیج کرده؛ با این‌حال میزان برداشت از ظرفیت تجدیدپذیری منابع آب بیشتر است و به ناچار بخشی از آن باید حذف شود. Ding et al. (2022) تأکید داشتند وابستگی شدید معیشت کشاورزان به منابع طبیعی محلی، منجر به استفاده بیش از حد از منابع و در نهایت تخریب محیط‌زیست می‌شود، اما تنوع در منبع کسب درآمد، وابستگی کشاورزان به این منابع را کاهش می‌دهد. به عبارت دیگر تغییر الگوی معیشت کشاورزان به تغییر الگوی مصرف منابع طبیعی منجر خواهد شد. Chen et al. (2023) نیز معتقدند تحول کاربری زمین‌های زراعی از طریق تغییر در مقیاس عملیاتی، الگوی کشت و هرگونه استفاده غیرکشاورزی، منجر به تغییر معیشت روستایی می‌شود. یک برنامه خاص و فراگیر برای توسعه کم‌آب‌بر، صرفاً از طریق تدوین یک برنامه اجرایی برای صرفه‌جویی در مصرف آب درست مشابه آنچه در طرح‌هایی مانند برنامه‌های پنج ساله توسعه، الگوی کشت و سند امنیت غذایی دیده می‌شود، نمی‌تواند تحقق پیدا کند و فراتر از بخش کشاورزی به تغییر سیاست‌های فرهنگی، برنامه‌ریزی منطقه‌ای و نظام اقتصادی نیاز دارد (Noori Esfandiari, 2016). جداشدگی[0] نشان‌گرهای رشد اقتصادی کشور از مصرف منابع آب و توسعه فعالیت‌های اقتصادی که به آب کمتر برای ایجاد اشتغال و درآمد نیاز دارند؛ از طریق تغییرات ساختاری در الگوهای کسب‌وکار، سبک زندگی و شیوه حکمرانی و عمدتاً توسط اقدام‌کنندگان مصمم و متحد برای همکاری در انجام کارها تحقق پیدا می‌کند (Noori Esfandiari, 2016). درصورتی‌که Islamic Parliament Research Center (2022) معتقد است از جمله عوامل ضعف حکمرانی آب کشور، سیاست‌های ناصحیح توسعه‌محور بخش کشاورزی و عدم جایگزینی و کاهش وابستگی اشتغال به منابع آب است.

در کنار آب، ناترازی برق نیز مسئله دیگر کشور است. Asadi (2024) در مطالعه خود برآورد کرد که میزان ناترازی عرضه و تقاضای برق در فصل پیک سال ۱۴۰۴ از ۲۰هزار مگاوات عبور می‌کند. برخلاف سیاست غالباً عرضه‌محور آب، مدیریت بخش انرژی بر وضع محدودیت اجباری بر میزان مصرف تمرکز دارد. به این معنی که تنها با اعمال برنامه‌های مدیریت بار و جیره‌بندی در

توزیع برق یا حتی اعلام تعطیلی، «کمبود برق» بین مصرف‌کنندگان مختلف تقسیم می‌شود. این روش، راهکار مؤثر بلندمدت و پایدار برخورد با مسئله نیست و تنها نارضایتی اجتماعی و زیان اقتصادی را به دنبال دارد. Iran Chamber of Commerce Research Center (2023) پیشنهاد می‌دهد برای رفع مسئله برق باید اتکا به سوخت گاز کمتر شده و نیروگاه‌های خورشیدی توسعه پیدا کنند.

بدون شک، کشاورزی نیز بدون آب و انرژی ممکن نیست. آب به عنوان محدودکننده‌ترین عامل تولید محصولات زراعی و باغی، و انرژی نیز یکی از نهاده‌های لازم بخش کشاورزی است که میزان مصرف آن با درجه مکانیزاسیون و بهره‌وری رابطه مستقیم دارد (Islamic Parliament Research Center, 2019). Ministry of Agriculture (2023) تأکید می‌کند که حدود ۹۰ درصد از تولید محصولات کشاورزی در ایران به آبیاری وابسته بوده و مهم‌ترین محدودیت توسعه پایدار کشاورزی آب است. دو مسئله «نبود آب» با کمیت و کیفیت مناسب برای کشت و در سال‌های اخیر «برنامه‌های مدیریت بار»، ضربه جدی به میزان تولید و در پی آن درآمد کشاورزان زده است. Islamic Parliament Research Center (2021) در رابطه با بحران آب گزارش می‌کند که در برخی دشت‌های کشور از جمله در استان‌های کرمان و فارس، افت مستمر منابع آب زیرزمینی و عدم تأمین آب، سبب شده تا بسیاری از اراضی مرغوب بلااستفاده مانده و بسیاری از باغات چندین ساله رو به نابودی روند. قطعی برق نیز، نظام آبیاری و توزیع آب در زمین را مختل کرده و کمیت و کیفیت محصول تولیدی را کاهش می‌دهد. به‌علاوه تعدد خاموش و روشن شدن موتور پمپ‌ها، مشکلات فنی برای آنها به همراه دارد. به گزارش نشریه Pistachio World (December 2024) درپی تشدید کم‌آبی و افزایش مدار آبیاری به واسطه قطعی‌های مکرر برق و خاموشی اجباری چاه‌موتورهای کشاورزی توسط وزارت نیرو، چیزی در حدود ۳۰هزار تن از ۲۰۰هزار تن پسته برداشت شده در این سال، ۱۰ تا ۱۵ درصد بیشتر از سال گذشته، پوک بود. از طرف دیگر نسل جدید کشاورزان یعنی فرزندان کشاورزان فعلی، به اندازه نسل گذشته برای ادامه این راه انگیزه نداشته و ترجیح می‌دهند در مشاغل راحت‌تری به جز کشاورزی فعالیت کنند و در روستا نیز روزگار نگذرانند. همانطورکه نتایج The Census of Agriculture report (2025) که توسط مرکز آمار ایران انجام شده بود، نشان می‌دهد میانگین سنی بهره‌برداران این بخش، ۵۳ سال و سن ۶۰٪ از بهره‌برداران بیش از ۵۰ سال است. به نظر می‌رسد در این شرایط جامعه کشاورزی کشور، برای تغییر رویه فعلی آماده بوده و در جستجوی مسیر مطلوب است. چنانکه نشریه Pistachio World (March 2023)، به نقل از بهرام آگاه در گردهمایی فعالین این صنعت اینگونه گزارش کرده است: «ماندگاری ما کشاورزان تولیدکننده پسته به آب بستگی دارد. اینکه نسبت آب به زمین رعایت شود؛ نکته مهمی است. در اولین اقدام لازم است باغدار با کارهایی از جمله ارتقاء سیستم آبیاری، بهره‌وری استفاده از آب را افزایش دهد. در قدم بعد لازم است تا اقدام به خرید و انتقال آب نماید. در صورتی که هیچ یک از این اقدامات پاسخ‌گو نبوده است، شرایط حکم می‌کند که بخشی از مساحت را به نسبت آب در دسترس خشک کرد. درنهایت اگر مشکل آب قابل مدیریت نباشد، به ناچار باید آب موجود واگذار شود.».

در شرایطی که ناترازی دو سیستم آب و برق هر یک فشار مضاعفی به بخش تولید کشور وارد کرده، استفاده از زمین‌های کشاورزی با گرید بالاتر از دو که تولید در آنها صرفه ندارد، برای تأسیس نیروگاه خورشیدی[۲] به عنوان یک پیشنهاد مطرح است. این ایده در نظر دارد در تقارن زمانی بین دو مسئله آب و انرژی ارزیابی نماید که تا چه حد این امکان وجود دارد که اضافه بارگذاری[۳] بر منابع آب زیرزمینی را از طریق پیشنهاد منفعت جدید به کشاورزان کم کرد. این تغییر تدریجی سبب خواهد شد سرمایه آب در چرخه تولید غذا در زمین‌های مرغوب‌تر استفاده یا به نفع آبخوان، از چرخه تولید خارج شود.

Congressional Research Service (2014) توضیح داده است که ذیل برنامه‌ی حفاظت از منابع[۴] (CRP) که برای اولین بار در سال ۱۹۸۵ در آمریکا به تصویب رسیده بود، بخشی از زمین‌های کشاورزی برای همیشه یا برای یک دوره زمانی بلندمدت (معمولا ۱۵–۱۰ ساله) از کشت آبی به موارد دیگری چون کشت دیم، زیستگاه طبیعی، چراگاه و گردشگری تغییر کاربری داده‌اند. Interagency Land Retirement Team (1997) گزارش کردند در این برنامه که به نام بازنشستگی زمین[۵]0 شناخته می‌شود، در زمین واجد شرایط با هدف بهبود کیفیت خاک، آب و زیستگاه حیات وحش به صورت داوطلبانه و با جبران ارزش مالی آن، کشت آبی متوقف و دیگر در آن آبیاری انجام نمی‌شود. درواقع این برنامه با پرداخت ارزش مالی زمین یا حق استفاده از آب، مالکیت بر زمین و حق کشاورزی آبی برای کشاورز داوطلب را به نفع دولت سلب می‌کند تا امکان استفاده از منابع آب آزاد شده برای فروش به سایر بخش‌های مصرف، تأمین نیاز محیط زیستی و تغذیه مصنوعی منابع آب زیرزمینی منطقه به وجود آید. روش اجرایی آن به سه صورت بوده است، خرید مالکیت زمین و چاه، اجاره زمین و چاه مربوط به آن برای مدت مشخص، خرید حق کشاورزی و برداشت آب در زمین درعین حفظ حقوق مالکیت زمین برای استفاده از آن برای هر فعالیت غیرآب‌بر دیگر. باید تأکید کرد تمرکز اجرایی این طرح بر مشارکت داوطلبانه کشاورزان برای واگذاری مالکیت زمین و منبع

آب خود است؛ در صورتی که ایده مطرح شده در این پژوهش به دنبال تأمین اعتبار دولتی برای خرید مالکیت زمین از کشاورزان نیست بلکه در نظر دارد بخشی از جامعه کشاورزی، خود در عرصه یک فعالیت اقتصادی دیگر مشارکت کند و از زمین‌های کم‌بهره خود برای تولید برق خورشیدی استفاده نماید. تمرکز این پژوهش بر آن است تا بررسی نماید تأسیس نیروگاه خورشیدی و درآمد حاصل از فروش برق سبز می‌تواند از نظر اقتصادی به عنوان یک گزینه جایگزین برای کشاورزی مطرح شود یا خیر. از این رو در ادامه، وضعیت فعلی سیستم‌های آب، انرژی و کشاورزی در کشور بررسی شده و با در نظر گرفتن پیش‌فرض‌های لازم به این سوال پاسخ داده می‌شود که به ازای سرمایه‌گذاری در باغات کم‌بهره و به طور خاص محصول پسته برای احداث نیروگاه خورشیدی، ظرفیت کاهش استفاده از آب و درآمد حاصل از فروش برق سبز تولیدی به چه میزان است؟ در این صورت است که می‌توان چشم‌انداز پیش روی این ایده را سنجید و سپس دیگر گام‌های لازم برای ارائه تحلیل سیاستی این ایده، از جمله ارزیابی نهادی و اجتماعی آن را دنبال کرد.

۲- سیستم آب- انرژی- کشاورزی

شناخت ارتباط میان سیستم‌های آب، انرژی و کشاورزی و پیوستگی بین آنها که به عنوان هم‌بست[6] شناخته می‌شود، فرصت تغییر مؤثر حکمرانی مرتبط با توسعه را در کشور فراهم می‌آورد. Li et al. (2025) در مطالعه خود، پیشنهاد کرده‌اند باید فرصت‌هایی را که هم‌بست می‌تواند برای کاهش اثرات نامطلوب چالش‌های نوظهوری[7] چون تغییر اقلیم در اختیار بشر قرار دهد، شناخت. این رویکرد می‌تواند به کشف هم‌افزایی[8] و منافع مشترک، تشخیص اثرات منفی متقابل و پیامدهای غیرمنتظره در مورد یک راهکار، بهبود برنامه‌ریزی، تصمیم‌گیری، حکمرانی و مدیریت یکپارچه منجر شود (Eriksson et al., 2025). در ادامه با استفاده از مطالعات کتابخانه‌ای و داده‌های دردسترس، وضعیت سیستم آب- انرژی- کشاورزی کشور بررسی و علت تمرکز برآوردها بر باغات دو استان خراسان رضوی و کرمان و محصول پسته در شهرستان‌های رفسنجان و انار تشریح شده است.

۲-۱- آب

میزان کسری تجمعی مخازن آب زیرزمینی کشور از اوایل دهه ۵۰ تا انتهای سال آبی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ هجری شمسی براساس گزارش Islamic Parliament Research Center (2022)، ۱۴۳ میلیارد مترمکعب و کسری مخازن آب زیرزمینی کشور در سال آبی ۱۴۰۰-۱۳۹۹، ۴/۷ میلیارد مترمکعب است. براساس گزارش Water Scarcity Adaptation Committee (2021)، سهم برداشت بیش از ظرفیت تجدیدپذیری آبخوان به ترتیب در استان‌های خراسان رضوی، کرمان، فارس و اصفهان بیشتر از سایر استان‌های کشور است. Water Scarcity Adaptation Committee (2021) مقرر کرده بود تا پایان سال ۱۴۰۵، ۱۴/۵۱ میلیارد مترمکعب، معادل ۳۰ درصد کل برداشت‌های فعلی، کمتر از منابع آب زیرزمینی برداشت شود. به طور دقیق‌تر این برنامه در فاز اول اجرا انتظار داشت، بخش کشاورزی ۱۰/۶ میلیارد مترمکعب از مجموع برداشت فعلی خود را از آب سطحی و زیرزمینی کم کند. Ministry of Agriculture (2023) نیز در برنامه الگوی ملی کشت محصولات زراعی و باغی برای سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲ برآورد کرده است که به ترتیب ۵۲۳۷۵۷ و ۶۲۷۹۹ هکتار معادل ۵۵۵۱ و ۵۲۷ میلیون مترمکعب از برداشت‌های بخش کشاورزی (به ترتیب زراعی و باغی) باید کاسته شود. با این حال برای دستیابی به این هدف جز ذکر برآوردها، هیچ برنامه اجرایی ارائه نشده و شاخصی برای ارزیابی آن نیز در نظر گرفته نشده است.

۲-۲- انرژی

براساس گزارش ماهانه آمار صنعت آب و برق برای خرداد ۱۴۰۴، ظرفیت تولید برق کشور تا پایان بهار این سال، ۹۴۹۱۵ مگاوات است. باوجودی‌که میزان شدت تابش خورشیدی کشور به دلیل موقعیت ویژه جغرافیایی به طور متوسط از میانگین جهانی بالاتر است، سهم عمده تولید برق همچنان وابسته به نیروگاه‌های حرارتی است. از مجموع ۱۵۷۹ مگاوات ظرفیت نصب شده انرژی تجدیدپذیر در کشور، ظرفیت برق خورشیدی با سهم ۶۵ درصد، بیش از سایر منابع برق سبز و در حدود یک درصد از کل ظرفیت انرژی تولیدی کشور است (Ministry of Energy, 2025). Islamic Parliament Research Center (2023) در مطالعات خود گزارش می‌کند که بیش از ۲۸۰ روز آفتابی در بیش از ۹۰ درصد از مساحت کشور ایران ثبت شده است. Gorjian et al. (2019) نیز بیشینه و کمینه ساعت آفتابی در ایران را به ترتیب به میزان ۱۰۵۰ ساعت در تابستان و ۵۰۰ ساعت در زمستان گزارش کرده‌اند. براساس برآورد بانک جهانی، میانگین بلندمدت سالانه پتانسیل تولید برق خورشیدی کشور در دوره ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۸ میلادی ۴/۹ kWh/kWp و بیشینه آن ۵/۵ kWh/kWp است (شکل ۱). براساس گزارش Islamic Parliament Research Center (2023) نیز استان‌های کرمان، خراسان جنوبی و خراسان رضوینسبت به سایر استان‌ها، بیشترین پتانسیل تولید انرژی خورشیدی را دارند.

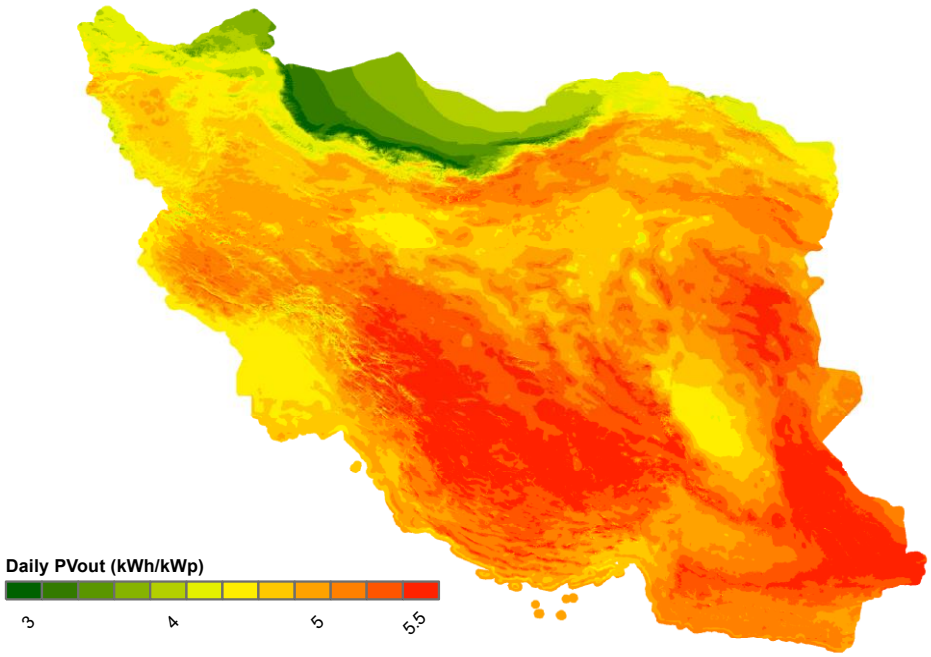


Fig. 1- Photovoltaic power daily potential of Iran (2024 The World Bank, Source: Global Solar Atlas (https://globalsolaratlas.info), provided under the license of the World Bank Group)

شکل ۱- میانگین پتانسیل روزانه تولید برق فتوولتائیک در ایران برای دوره زمانی ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۸ (kWh/kWp)

ارتباط مستقیم بین تولیدکننده و مصرف‌کننده انرژی در قالب قراردادهای دوجانبه و همچنین بورس انرژی، امکان مبادله برق به نرخ بازار را فراهم کرده و بر جذابیت سرمایه‌گذاری در این حوزه افزوده است. به باور Santos et al. (2016) مهم‌ترین ابزارهای متداول برای ترویج ساخت نیروگاه‌های تجدیدپذیر تضمین دسترسی به شبکه، قراردادهای بلندمدت و قیمت‌گذاری متناسب با هزینه تولید انرژی است. اعمال این نوع سازوکارهای سیاستی به کاهش ریسک کسب درآمد از فروش برق خورشیدی در بلندمدت کمک می‌کند. صنایع به عنوان متقاضی خرید برق سبز و همچنین سرمایه‌گذار در احداث نیروگاه یک طرف معادلات انرژی هستند. مواردی چون ماده (۴) قانون منع‌زدایی توسعه صنعت برق مصوب ۱۴۰۳ و ماده (۱۶) قانون حمایت از تولید دانش‌بنیان مصوب ۱۴۰۱ مجلس شورای اسلامی، این بخش را به مشارکت در تولید برق سبز یا خرید آن ناگزیر کرده است. به نظر Asadi (2024) باید صاحبان صنایع و واحدهای تولیدی، مسئله کمبود برق را به عنوان یک پدیده پایدار و تکرارشونده بپذیرند و با در نظر گرفتن تداوم این وضعیت، ریسک‌های ناشی از کمبود برق و خاموشی و همچنین راهکارهای مقابله با آن را، از جمله برق خودتأمین و انعقاد قراردادهای دوجانبه و بلندمدت تأمین برق، بررسی کنند. از این جهت استان کرمان در کنار موقعیت خاص جغرافیایی خود برای تولید انرژی خورشیدی، به دلیل تمرکز صنایع بزرگ معدنی از جمله فولاد و مس، از ظرفیت بالایی برای شکل‌گیری فرصت همکاری بازیگران مختلف پروژه‌های احداث نیروگاه خورشیدی برخوردار است.

۲-۳- کشاورزی

طرف دیگر این معادلات، تولیدکنندگان برق خورشیدی هستند. زمین‌های کشاورزی به جهت ویژگی‌های خاص خود از جمله نزدیکی به شبکه برق، دسترسی به جاده و مسیر حمل و نقل و همچنین نسبتاً مسطح بودن، برای توسعه نیروگاه‌های خورشیدی مطلوب هستند (Macknick et al., 2022). Al Mamun et al. (2022) در مطالعه خود به نقل از Guerin (2017) معتقدند که عوامل مؤثر برای اینکه کشاورز تصمیم بگیرد از زمین خود برای تولید برق خورشیدی استفاده کند یا خیر به پتانسیل موجود منطقه برای تولید انرژی خورشیدی، دسترسی به شبکه، تقاضا برای برق تولید شده و میزان ارزش اقتصادی در این کسب‌وکار وابسته است. درواقع بخش کشاورزی می‌تواند با ترکیب تولید برق خورشیدی و

تولید محصول، از فرصت به وجود آمده برای تنوع اشتغال روستایی، و عبور از ریسک‌های تولید و فروش از جمله رویدادهای آب و هوایی و نوسانات بازار و افزایش تاب‌آوری استفاده نماید (Clean Energy Council, 2021). درست است که احداث نیروگاه‌های اگریولتائیک[9] امکان تولید هم‌زمان برق و محصول کشاورزی را فراهم می‌سازد، اما هدف اصلی این پژوهش کاهش وابستگی اقتصادی به استفاده از آب از طریق جایگزینی فعالیت کشاورزی است. بنابراین این مقاله بر خارج کردن بخشی از زمین‌های کشاورزی از زیرکشت برای احداث نیروگاه فتوولتائیک تمرکز دارد. مطالعه Escriva et al. (2023) گزارش می‌کند که کشاورزی با سهم ۲۰ درصد در تولید ناخالص داخلی[10] و ۱۸ درصد اشتغال یکی از محرک‌های کلیدی اقتصاد کالیفرنیا است اما پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۴۰ میلادی، متوسط ذخیره سالانه آب قابل استفاده در پی اجرای برنامه مدیریت پایدار آب زیرزمینی[11]، تغییرات آب و هوایی و تشدید مقررات محیط‌زیستی، تا ۲۰ درصد کاهش یابد. براین اساس سطح زیرکشت خواه و ناخواه کاهش پیدا می‌کند و بخش کشاورزی نیز متحمل خسارت خواهد شد. برآوردها نشان می‌دهند در بدبینانه‌ترین سناریو ۹۰۰ هزار هکتار زمین و ۵۰ هزار شغل از بین خواهند رفت که منجر به کاهش فعالیت اقتصادی منطقه به میزان ۲/۳ درصد می‌گردد. از آنجا که خارج کردن این سهم کشت با کاهش درآمد و ارزش اقتصادی همراه است، مؤسسه سیاست‌گذاری کالیفرنیا[12] به گزینه‌های ممکن برای جایگزینی و چگونگی این تغییر کاربری اندیشیده است. یکی از گزینه‌های پیشنهاد شده توسط محققین این مؤسسه، توسعه نیروگاه‌های خورشیدی است. Escriva-Bou et al. (2024) در مطالعه خود برآورد کرده‌اند که در حدود ۵۴ تا ۸۷ هزار هکتار از این اراضی برای تبدیل به نیروگاه‌های خورشیدی مناسب هستند. از آنجا که ظرفیت تولید انرژی تجدیدپذیر این ایالت باید طبق اهداف SB100[13] تا سال ۲۰۴۵، افزایش یابد و پتانسیل این منطقه برای تولید برق خورشیدی نیز مناسب است، این راهکار می‌تواند مصداق یک تیر و دو نشان باشد. یعنی به جبران کاهش برداشت از منابع آب زیرزمینی و از بین رفتن کشاورزی در بخشی از زمین‌ها، ظرفیت تولید برق خورشیدی بیشتر شده و درآمد حاصل از آن جایگزین درآمد ناشی از تولید محصول غذایی شود. Environment Defense Fund (2021) گزارش کرده است که در حال حاضر نیز شرکت‌های انرژی، زمین‌های کشاورزی مناسب را بین ۵۰۰ تا ۵۰۰۰ دلار به ازای هر هکتار در سال و برای مدت ۳۰ سال اجاره می‌کنند.

Agricultural Research, Education and Extension Organization (2024) در مطالعات برنامه الگوی کشت سال آبی ۱۴۰۲-۱۴۰۳ گزارش می‌کند بیش از نیمی از سطح زیرکشت فعلی باغی کشور (شامل اراضی غیربارور و بارور) مربوط به اراضی درجه دو و سه و از نظر نوع محصول بیش از نیمی از آن مربوط به پسته، انگور، خرما، سیب و پرتقال است. در این بین پسته با سهم ۱۶/۶ درصد رتبه نخست را در بین این پنج محصول دارد. سطح زیر کشت پسته (حدود ۸۶٪) و تولید محصول (۸۴٪) در شش استان کرمان، خراسان رضوی، یزد، سمنان، فارس و خراسان جنوبی است که همگی جزء استان‌های خشک کشور با مشکلات کمی و کیفی آب هستند. Hasheminasab (2022) تأکید می‌کند با کاهش کمیت و کیفیت آب برای آبیاری و تغییرات آب و هوایی، مشکلاتی چون عدم تأمین نیاز سرمایی و بارش نزولات آسمانی در پاییز و زمستان، نوسانات دوره‌ای دما در زمان تورم جوانه‌های گل، گرده‌افشانی و تلقیح گل‌ها در بسیاری از مناطق پسته‌خیز کشور ایجاد شده و کمیت و کیفیت محصول تولیدی کاهش یافته است.

علاوه‌براین موارد، تولید پسته کشور و عرضه آن برای صادرات در رقابت جدی با کشور آمریکاست. ساختار تولید پسته در ایران سنتی و به صورت خرده‌مالکی و خرده‌تجاری است؛ درصورتی که صنعت پسته آمریکا از نظر ماهیت، یک کسب‌وکار کاملاً صنعتی و توسعه یافته است (Hasani, 2022). براساس شکل (۲) از سال ۱۳۹۵-۱۳۹۶ میزان تولید و در پی آن سهم بازار صادراتی ایران نسبت به آمریکا کمتر شده است.

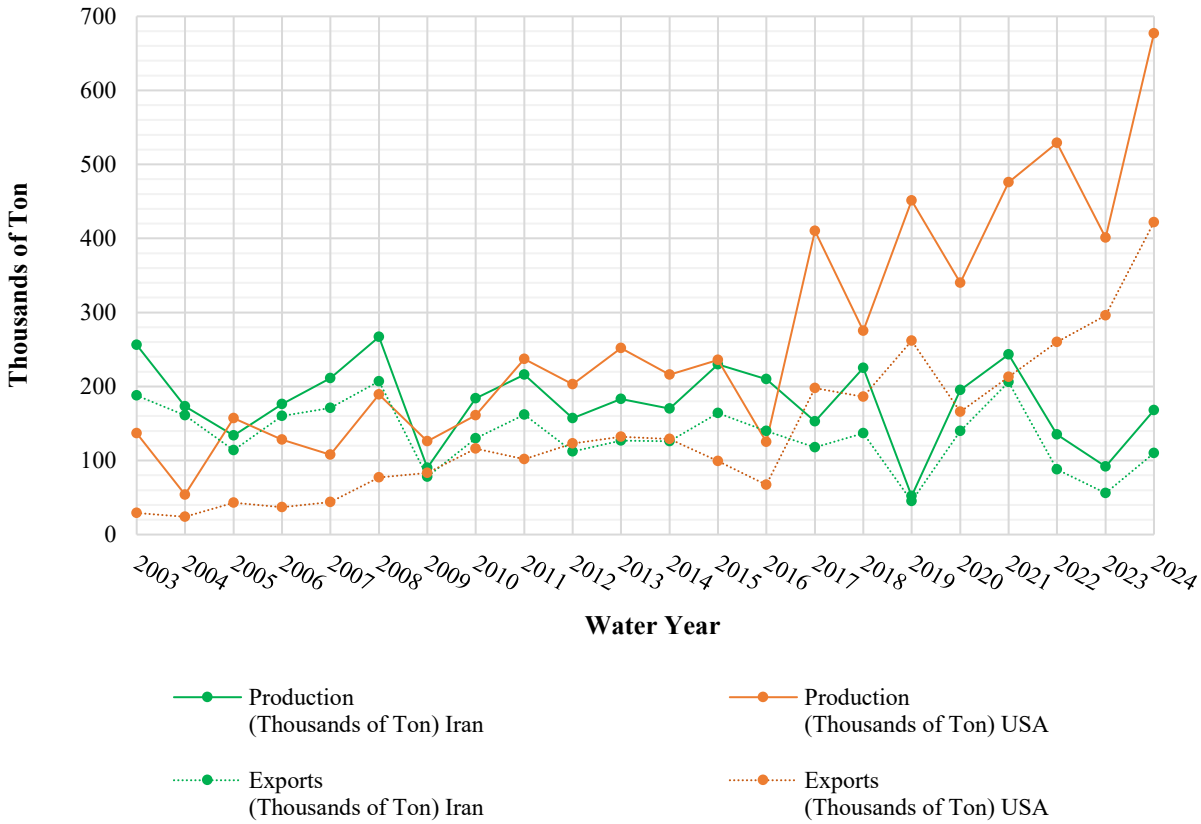


Fig. 2- The production and exports of pistachios in Iran and the United States over the past two decades (Iranian Pistachio Association, statistical period)

شکل ۲- میزان تولید و صادرات پسته کشور ایران و آمریکا در طی بیش از دو دهه اخیر (انجمن پسته ایران، دوره آماری)

نشریه Pistachio World (December 2023) در گزارش خود از گردهمایی فعالین این صنعت صحبت بهروز آگاه را چنین نقل کرده است: «از آنجایی که هزینه‌های تولید در حال افزایش است هر کشاورزی که برداشت خوبی نداشته باشد؛ درنهایت محکوم به ورشکستگی است». میانگین عملکرد تولید پسته کشور در سال ۱۴۰۳ حدود ۷۰۰ کیلوگرم ماده خشک در هکتار است. در صورتی‌که Agah (2024) معتقد است کمینه عملکرد یک باغ پسته در آمریکا باید ۲۱۰۰ کیلوگرم ماده خشک در هکتار باشد تا صرفاً بتواند هزینه‌های مربوط به تولید آن شامل هزینه سرمایه‌ای، جاری و فرآوری را جبران نماید. اما تولید پسته باغات موروثی در ایران بدون در نظر گرفتن هزینه سرمایه‌گذاری اولیه و استهلاک باغ در طول زمان، در عملکرد پایین نیز به‌صرفه است درصورتی که اگر این موارد در هزینه تمام شده تولید پسته لحاظ شوند، باغات با عملکرد پایین دیگر اقتصادی نبوده و تولید پایدار نخواهند داشت.

براساس آمار ارائه شده انجمن پسته ایران در سال ۱۴۰۳، سطح زیرکشت بارور پسته کشور ۴۶۱هزار هکتار است که تقریبا نیمی از آن در استان کرمان و نزدیک به یک چهارم آن در دو شهرستان رفسنجان و انار قرار دارد. این دو شهرستان دو مرکز جمعیتی مهم در محدوده مطالعاتی رفسنجان، یکی از ۱۲ محدوده مطالعاتی حوضه آبریز درانجیر و ساغند هستند که پرمشکل‌ترین حوضه آبریز استان کرمان به لحاظ بهره‌برداری از منابع آب به شمار می‌روند (Kerman Spatial Planning, 2016). نتایج سرشماری مرکز آمار ایران نشان می‌دهد نرخ اشتغال بخش کشاورزی در استان کرمان از سال ۱۳۵۵ تا ۱۳۹۰ روند نزولی داشته؛ با این‌حال نسبت آن در تمام دوره‌های سرشماری بیشتر از میزان کشوری (ضریب مکانی بیشتر از یک) است که نشان از تمرکز این استان بر فعالیت کشاورزی دارد. از جمله تهدیداتی که در مطالعات Kerman Spatial Planning (2016) به آن اشاره شده است، خرد شدن اراضی به دلیل تقسیم ارث، بحران آب و سهم بالای اشتغال روستایی در بخش کشاورزی، مهاجرت روستائیان و کمبود نیروی کار و همچنین کهولت سن و افزایش سن کشاورزان و مهاجرت جوانان به شهرها است. با توجه به این شرایط، اگر روند تولید در بخش کشاورزی به همین شکل ادامه پیدا کند به نظر می‌رسد این مزیت در بلندمدت به یک تهدید جدی بدل شود. استان خراسان

رضوی نیز با سهم ۱۸ درصد، در جایگاه دوم سطح زیرکشت بارور پسته کشور قرار دارد و به عنوان اصلی‌ترین تولید کننده پسته تازه در بازار نیز شناخته می‌شود. ازاین‌رو برای آنکه بررسی شود مشارکت بخش کشاورزی در تأسیس نیروگاه‌های خورشیدی به عنوان یک فعالیت جایگزین اقتصادی تا چه حد ممکن است برای کمک به منابع آب زیرزمینی و افزایش عرضه انرژی تجدیدپذیر مؤثر باشد؛ در این مقاله به وضعیت تولید پسته به عنوان یک محصول صادراتی مهم با ارزش اقتصادی بالا، و هم‌چنین مسئله منابع آب قطب تولید آن یعنی شهرستان‌های رفسنجان و انار در استان کرمان و همچنین استان خراسان رضوی پرداخته شده است.

۳- محدوده مطالعاتی

موقعیت محدوده مطالعاتی رفسنجان شامل دو شهرستان انار و رفسنجان، و نیزموقعیت چاه‌های برداشت براساس آماربرداری دور سوم در شکل (۳) نشان داده شده است. Regional Water Company of Kerman (2015) گزارش می‌کند که آبخوان رفسنجان از سال ۱۳۵۳ ممنوعه بحرانی اعلام شده است. متوسط کسری مخزن سالانه و افت این آبخوان در هر سال ۱۲۹ میلیون مترمکعب و ۰/۶۳ متر است.

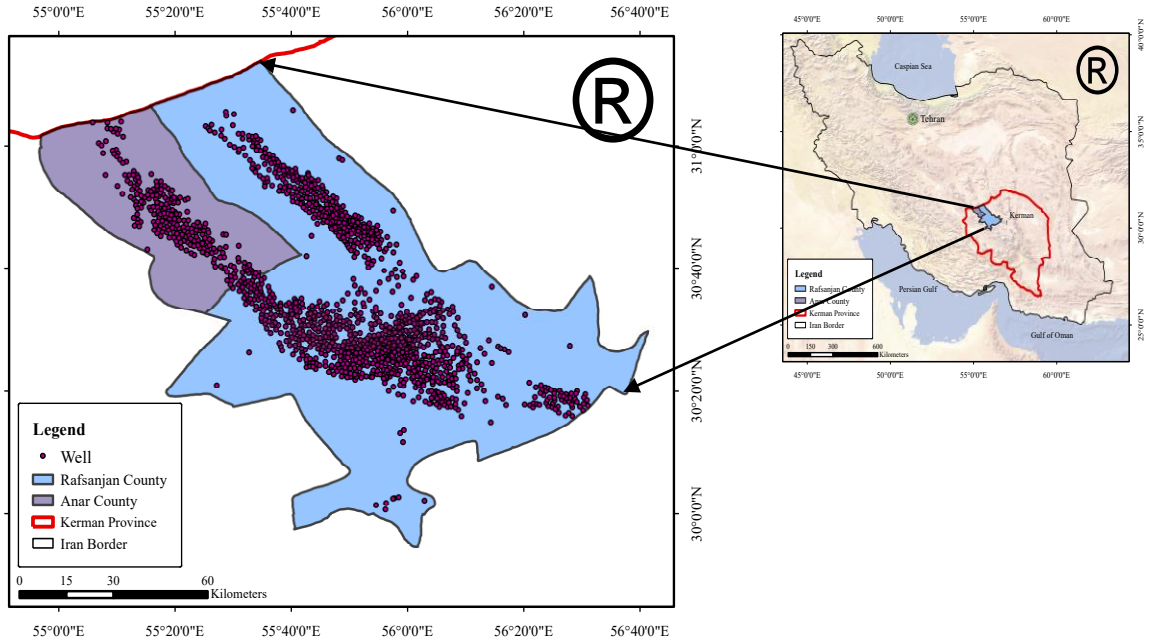


Fig. 3- Location of Rafsanjan Plain and Withdraw Wells

شکل ۳- موقعیت محدوده مطالعاتی رفسنجان و چاه‌ها برداشت

میزان برداشت از آب زیرزمینی در رفسنجان براساس اطلاعات استخراج شده از آماربرداری دوره اول، دوم و سوم در جدول (۱) خلاصه شده است.

Table 1- Comparison of total well data in Rafsanjan study area during tree groundwater comprehensive surveys

جدول ۱- مقایسه اطلاعات آماربرداری سه دوره برای چاه‌های محدوده مطالعاتی رفسنجان

Survey Period	Number of wells Without information	Number of wells	Well operation Hours (hr)	Average Operation Hours per Well (hr)	Average Extraction Volume per Well (MCM/yr)	Total Groundwater Extraction (MCM/yr)	Average Discharge Rate per Well (l/s)
Survey 1	107	1285	8795910	6720	0.49	623.43	19
Survey 2	122	1373	9625233	7010	0.52	717.96	20
Survey 3	68	1355	8335577	6147	0.33	442.53	15

طی دوره ده ساله مابین سه دوره آماربرداری، میزان تخلیه سالانه ۳۸٪ و میانگین آبدهی چاه‌ها ۲۸٪ کمتر شده است.

براساس گزارش منتشر شده سیمای آب توسط Regional Water Company of Khorasan Razavi، استان خراسان رضوی با دارا بودن ۳۷ دشت، در مجموع با کسری مخزن ۶۹۴ میلیون مترمکعبی برای سال آبی ۱۴۰۳-۱۴۰۲ و کسری مخزن بلندمدت بیش از یک میلیارد مترمکعبی در سال مواجه است. موقعیت شهرستان‌ها و دشت‌های این استان در شکل (۴) نشان داده شده است. در این استان ۲۳۰۰۳ چاه با میزان برداشت ۳۷۱۶ میلیون مترمکعب در سال آبی ۱۴۰۳-۱۴۰۲ وجود دارد که ۷۹/۱ درصد از آن مربوط به بخش کشاورزی است. برآوردهای این گزارش نشان می‌دهد میزان حجم آب تجدیدپذیر و کسری مخزن استان خراسان رضوی به ترتیب ۲۲۳۱ و ۶۹۴ میلیون مترمکعب برای سال آبی ۱۴۰۳-۱۴۰۲ بوده است.

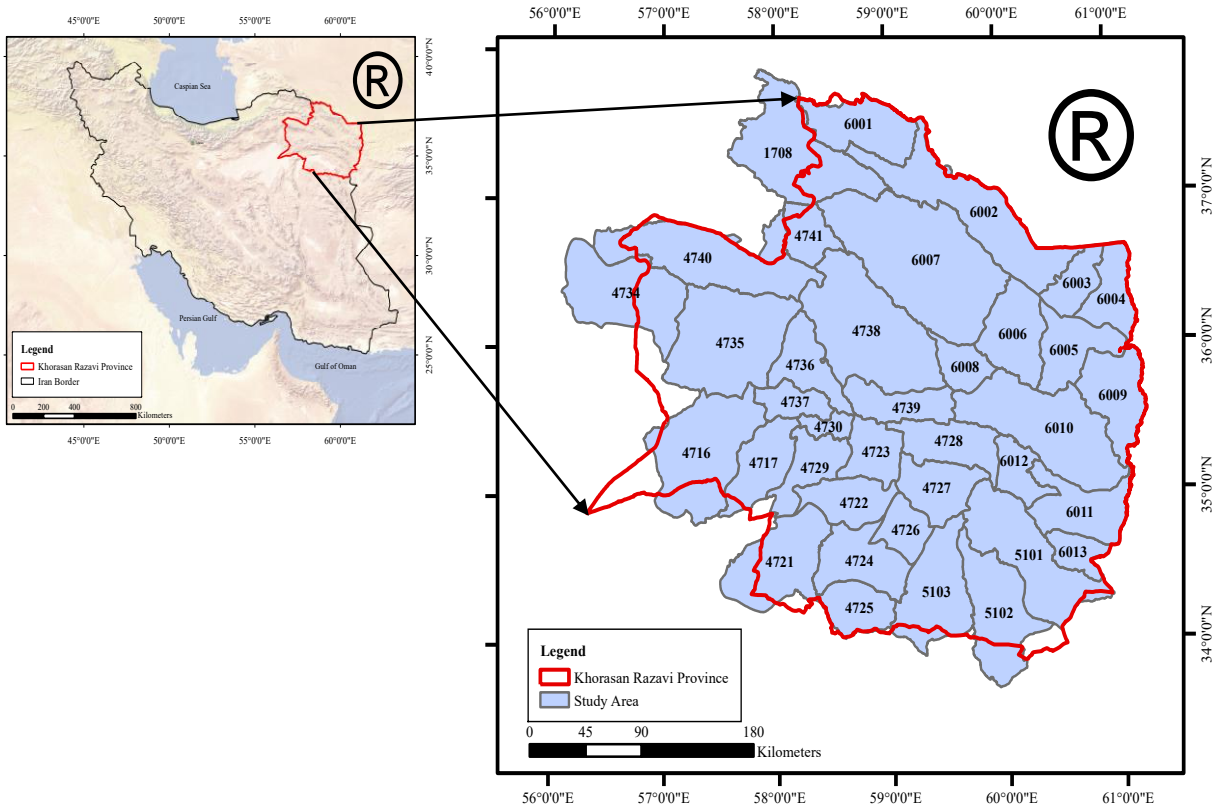


Fig. 4- Location of Study Area in Khorasan Province

شکل ۴- موقعیت محدوده‌های مطالعاتی استان خراسان رضوی

افت سفره آب زیرزمینی را کارمندان با آمار و اعداد در پشت میز خود می‌فهمند؛ در حالی‌که کشاورز با نابودی سرمایه و صرف هزینه‌های سرسام‌آور جابه‌جایی چاه، خرید تجهیزات و پمپ، شوری آب و کاهش عملکرد محصولاتش لمس می‌کند (Mohammadi, 2022). همین موضوع موجب شده است تا مدار آبیاری درختان پسته نیز در طی این سال‌ها طولانی‌تر شود و حتی تا ۹۰ روز نیز برسد. مهمترین عامل سرمایه‌ای باغ پسته تأمین منبع آب است. همانطور که Zare-Nazari (2022) از فرهاد آگاه نقل کرده است که «زمین در مناطق پسته‌خیز ایران ارزش چندانی ندارد و آنچه اهمیت دارد وجود آب است». نیاز آبی پسته طبق سامانه نیاز آبی گیاهان مؤسسه تحقیقات خاک و آب وزارت جهاد کشاورزی کشور، ۶۰۰۰ مترمکعب در هکتار گزارش شده است. درحالی‌که انجمن پسته ایران در برآوردهای سالانه هزینه تمام شده تولید پسته، نیاز آبی هر هکتار را ۱۰۰۰۰ مترمکعب و هزینه تأمین آن را معادل خرید حجمی آب در نظر می‌گیرد. قاعدتاً در شرایطی که منابع آب یا خاک منطقه شور باشد، نیاز آبیاری نسبت به شرایط معمول نیز بیشتر است و درمقابل در شرایطی که محدودیت برداشت از چاه وجود داشته باشد و اصطلاحاً پتانسیل آبدهی چاه کمتر از نیاز آبیاری باشد، روش کم‌آبیاری اجرا می‌شود.

۴- روش تحقیق

با استناد به گزارشهای بیلان مختوم به سال آبی ۱۳۹۰-۱۳۸۹ محدوده مطالعاتی رفسنجان (۱۳۹۴)، مطالعات آمایش استان کرمان در سال ۱۳۹۵، برنامه الگوی کشت ملی محصولات باغی کشور در سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲ و طرح آمارگیری محصولات دائمی باغی مرکز آمار ایران در سال ۱۴۰۱، پتانسیل کاهش آبیاری در زمین‌های کم‌بهره و افزایش ظرفیت تولید برق سبز و اثر آن بر میزان تولید محصول و ارزش اقتصادی بخش کشاورزی به طور خاص برای محصول پسته و با تمرکز بر استان کرمان و خراسان رضوی برآورد شده است.

۴-۱- اصول برآورد اقتصادی مربوط به نیروگاه خورشیدی

برای احداث هر مگاوات نیروگاه خورشیدی، به ۱/۲ تا حداکثر ۱/۵ هکتار زمین نیاز است. میانگین ساعات آفتابی هر روز ۵/۵ ساعت و تعداد روزهای آفتابی ۲۸۰ روز در سال در نظر گرفته شده است. براساس رابطه (۱) هر مگاوات ظرفیت نیروگاه خورشیدی، حدود یک میلیون و ۵۰۰هزار کیلووات ساعت در سال برق سبز تولید خواهد کرد. در این رابطه ظرفیت نیروگاه بر حسب مگاوات و راندمان تولید ۸۰ درصد درنظر گرفته شده و انرژی تولید شده نیز بر حسب کیلووات ساعت گزارش شده است.

رابطه (۱) راندمان تولید × ساعت آفتابی × تعداد روز آفتابی × ظرفیت نیروگاه = انرژی خورشیدی تولید شده برای یک سال

برق تولید شده در نیروگاه‌های تجدیدپذیر، بسته به میزان ظرفیت با نرخ‌های متفاوتی طی قرارداد خرید تضمینی دولت قابل فروش است (جدول ۳).

Table 3- Feed-in tariff rate for different solar and wind energy producers (Energy Ministry, 2025)

جدول ۳- نرخ خرید تضمینی نیروگاه‌های خورشیدی و بادی (مصوب وزارت نیرو در سال ۱۴۰۴)

Capacity	Base rate of the feed-in tariff (Rial/ kWh)
Less than 200kW	38,200
Between 200kW to 1MW	31,500
Between 1MW to 10MW	28,000

در این پژوهش قیمت خرید تضمینی به صورت میانگین ۳۲۵۶ تومان به ازای هر کیلووات ساعت انرژی در نظر گرفته شده است. در قراردادهای خرید تضمینی ضرایب اصلاحی کاهش نرخ خرید در ابتدای سال‌های هشتم، دوازدهم و شانزدهم دوره اعمال خواهد شد که درآمد را در این سال‌ها به شدت کاهش می‌دهد. عرضه برق تولید شده در نیروگاه‌های خورشیدی با ظرفیت کمتر از آستانه ورود به بورس توسط یک شرکت تجمیع‌کننده، و نیروگاهای با ظرفیت بالاتر از این آستانه به صورت مستقیم در تابلو برق سبز بورس انرژی نیز ممکن است. براساس گزارش ماهانه تابلو برق سبز بورس انرژی ایران، برای دوره شش ماهه دوم سال ۱۴۰۳ و دوره شش ماهه ابتدایی سال ۱۴۰۴، کمینه، بیشینه و میانگین ارزش هر کیلووات ساعت برق خورشیدی به ترتیب ۲۹۰۰، ۷۰۰۰ و ۴۶۰۰ تومان است.

مقایسه قیمت قرارداد خرید تضمینی و تابلو برق سبز بورس انرژی نشان می‌دهد که میانگین ارزش برق سبز در بورس ۳۰ درصد بیشتر است. هزینه سرمایه‌گذاری برای احداث این میزان ظرفیت برق خورشیدی بدون درنظر گرفتن جزئیات مربوط به مالکیت زمین و انتقال و اتصال آن به شبکه سراسری برق، حدود ۵۰۰ هزار دلار است که برای تبدیل آن، ارزش هر دلار معادل ۱۱۵ هزار تومان در نظر گرفته شده است. باوجود پیش‌فرض‌های مزبور، احداث یک نیروگاه خورشیدی در یک هکتار به حدود ۳۸ میلیارد تومان و احداث هر کیلووات ظرفیت نیروگاه خورشیدی به حدود ۵۷ میلیون تومان سرمایه اولیه نیاز دارد. درصورتی‌که عمر مفید نیروگاه خورشیدی ۲۰ سال در نظر گرفته شود، این هزینه در قالب هزینه سرمایه‌ای سالانه در هکتار چیزی در حدود دو میلیارد تومان است. در این صورت همانطور که جدول (۴) نیز نشان می‌دهد درآمد سالانه حاصل از برق سبز تولید شده در واحد هکتار به صورت قرارداد خرید تضمینی ۲/۷ و برای عرضه در بورس ۳/۸ میلیارد تومان است. به طور خلاصه از هر کیلووات ظرفیت تولید برق خورشیدی در صورت خرید تضمینی چهار و در صورت عرضه در بورس انرژی ۵/۷ میلیون تومان در یک سال درآمد نصیب مالک آن خواهد شد. هزینه عملیات تعمیر و نگهداری نیروگاه‌های خورشیدی نیز بنابر نظر کارشناسان اجرایی این حوزه حدود یک تا سه درصد درآمد آن در هر سال است. بنابراین، کمینه درآمد خالص برق سبز تولید شده در واحد هکتار به صورت خرید تضمینی و عرضه در بورس انرژی به ترتیب ۲/۶ و ۳/۷ میلیارد تومان است. در نهایت همانطور که در جدول (۴) نیز گزارش شده است درآمد خالص حاصل از برق سبز تولید شده در واحد هکتار به صورت خرید تضمینی و عرضه در بورس انرژی به ترتیب در حدود ۷۰۰ و ۱۸۰۰ میلیون تومان است.

Table 4- Estimated cost and income of constructing a solar power plant per hectare and per kilowatt of capacity

جدول ۴- برآورد هزینه و درآمد ناخالص سالانه احداث نیروگاه خورشیدی در واحد هر هکتار زمین و در واحد یک کیلووات ظرفیت

Components	Costs
Setting up a power plant in one hectare (Rial)	383,333,333,333
Income per hectare_ Feed-in tariff (Rial)	26,742,613,333
Profit per hectare_ Feed-in tariff (Rial)	6,940,334,933
Income per hectare_ Iran Energy Exchange (Rial)	37,781,333,333
Profit per hectare_ Iran Energy Exchange (Rial)	17,647,893,333
Setting up a 1 kW power plant (Rial)	575,000,000
Income per kW Solar Power plant_ Feed-in tariff (Rial)	40,113,920
Income per kW Solar Power plant_ Iran Energy Exchange (Rial)	56,672,000

۴-۱- اصول برآورد اقتصادی مربوط به باغات پسته

براساس برآوردهای نشریه Pistachio World (2025)، هزینه تمام شده تولید هر کیلوگرم در هر هکتار زمین پسته با عملکرد ۱۴۰۰ کیلوگرم در هکتار در سال آبی ۱۴۰۴-۱۴۰۳، از قرار ۵۴۱,۹۱۲ تومان است که مقدار آن در باغ‌هایی با عملکرد کمتر از این مقدار، به مراتب افزایش خواهد یافت. در این برآوردها هزینه تمام شده با احتساب هزینه سرمایه‌ای شامل خرید باغ پسته بارور ۲۰ ساله مجهز به سیستم آبیاری تحت فشار و هزینه‌های جاری مربوط به آن شامل هزینه کارگری، مواد مصرفی، لوازم و اجاره ماشین‌آلات و خدمات و همچنین خرید ۱۰هزار مترمکعب آب مورد نیاز برای هر هکتار برای آبیاری سالانه است.

براساس آمار ارائه شده در نشریه Pistachio Association در سال ۱۴۰۳، میانگین عملکرد تولید پسته در کشور ۷۰۰ کیلوگرم، و براساس سند الگوی کشت ملی محصولات باغی کشور برای سال ۱۴۰۲-۱۴۰۳ حدود یک تن در سطح کشور، و برای استان‌های خراسان رضوی و کرمان حدود ۱۳۰۰ و ۶۰۰ کیلوگرم، و براساس آمار سازمان جهاد کشاورزی استان کرمان، برای دوره ده‌ساله ۱۳۹۳ تا ۱۴۰۲ نیز حدود ۴۲۷ کیلوگرم برای دو شهرستان رفسنجان و انار است. اگر براساس قیمت اول فصل محصول جدید پسته آمریکا، میانگین قیمت جهانی هر کیلو پسته خشک درجه یک نیز ۸ دلار و هر دلار ۱۱۵هزار تومان در نظر گرفته شود، درآمد حاصل از هر هکتار از این باغ با عملکرد ۱۴۰۰ کیلوگرم، یک میلیارد و ۲۸۸ میلیون تومان خواهد بود که پس از کسر هزینه تولید، حدود ۷۶۰ میلیون تومان سود خالص به دست خواهد آمد. بدیهی است که هدف مورد مطالعه زمین‌های کم‌بهره‌وری است که تولید کمتر یا با کیفیت پایین‌تری دارند و چنین درآمدی ندارند.

۵- نتایج

۵-۱- مدل مفهومی سیستم آب- انرژی- کشاورزی

رویکرد فعلی به مفهوم هم‌بست آب-انرژی-کشاورزی براین موضوع تأکید دارد که چه مقدار انرژی برای استحصال آب و استفاده از آن در عملیات کشاورزی برای تولید غذا مورد نیاز است و از آن طرف چه میزان آب باید برای تولید انرژی در انواع نیروگاه‌ها صرف شود. به عبارتی ارتباط بین این دو سیستم، به این صورت است که افزایش میزان دسترسی به انرژی، امکان برداشت بیشتر آب و افزایش تولید کشاورزی را به دنبال دارد. از طرف دیگر برای تولید بیشتر انرژی، به ویژه در نیروگاه‌های حرارتی و برقابی، به میزان بیشتری آب نیاز است. پژوهش حاضر اما روابط بین سیستم آب- انرژی- کشاورزی را به گونه‌ای جدید ترسیم کرده است (شکل ۵).

خسارت وارد شده در پی قطعی مکرر برق در سه سال گذشته، بخش کشاورزی را نیز به مشارکت در تولید برق سبز ناگزیر کرده است. به طور خاص مصوبه ۱۴۰۳/۱۲۲۱۵/۲۰/۱۰۰ وزارت نیرو با موضوع «روش اجرایی توسعه نیروگاه‌های تجدیدپذیر و پاک به منظور تأمین برق چاه‌های کشاورزی» با هدف معافیت این بخش از برنامه‌های مدیریت بار در تاریخ ۱۴۰۳/۰۲/۰۲ ابلاغ شده است؛ اما ساده‌انگارانه و بدون در نظر گرفتن چالش‌های اجرایی و پیامدهای منفی آن بر سیستم منابع آب، کشاورزان را به احداث نیروگاه خورشیدی و افزایش ظرفیت تولید برق سبز تشویق کرده است. با این پیش‌فرض که محدودیت پمپاژ، نبود برق باشد، دسترسی کشاورز به انرژی خورشیدی، برداشت بیشتر از آب زیرزمینی را ممکن می‌کند. در این شرایط برنامه مدیریت توأمان آب و برق که هدف آن نظارت و کنترل برداشت از آبخوان‌ها است، با وجود تمام کاستی‌های فعلی، به طور کامل ناکارآمد خواهد شد. درحال حاضر

نیز امکان خرید و استفاده از پمپ‌های خورشیدی یا مبدل‌های[14] برق جریان مستقیم0[15] تولید شده توسط پنل‌های خورشیدی به جریان متناوب[16] وجود دارد. از طرفی چون برخی از کشاورزان نسبت به مهمترین تعهد این مصوبه یعنی معافیت از برنامه‌های مدیریت بار تردید دارند، حاضر هستند هزینه لازم برای خرید باتری، مبدل یا پمپ جدید سازگار با برق خورشیدی و سایر ادوات لازم را هم بپردازند تا بتوانند مدیریت امور را مستقل از دولت و در اختیار کامل خود بگیرند. چراکه بنا به باور جمعی از کشاورزان، بیشترین منفعت احداث نیروگاه خورشیدی، جلوگیری از خاموشی موتور پمپ‌ها در زمان حیاتی آبیاری درختان و تغییر نکردن مدار آبیاری است و درآمد حاصل از فروش برق مازاد تولیدی در سایر ایام سال چندان جذابیتی ندارد (Pistachio World, December 2025). مرور منابع بسیار در این زمینه نشان می‌دهد، هدف اصلی توسعه نیروگاه‌های خورشیدی در زمین‌های کشاورزی تولید برق مورد نیاز کشاورزی و فروش مازاد آن به عنوان یک منبع درآمد مکمل است. درواقع برای مناطقی از جهان که دسترسی به انرژی برق از طریق شبکه سراسری ممکن نیست، این راهکار برای تأمین برق مورد نیاز پمپاژ آب زیرزمینی و کمک به افزایش عملکرد محصول با هدف افزایش رفاه در روستا مطرح است. به عنوان نمونه رجوع شود به مطالعه‌ای که Falchetta et al. (2022, 2023, 2024) روی روستاهای جنوب صحرای بزرگ آفریقا انجام دادند. در این منطقه ۹۰٪ محصولات دیم هستند، بخش عمده محصولات (۸۰٪) توسط خرده‌مالکین تولید می‌شود، کمتر از یک سوم ساکنین به برق دسترسی دارند، بالغ بر ۶۰٪ جمعیت درگیر ناامنی غذایی هستند و بیش از ۳۵٪ آنها زیر خط فقر زندگی می‌کنند. انتظار می‌رود تغییر اقلیم و افزایش جمعیت نیز وضعیت را بدتر کند. یکی از مشکلات کشاورزان این منطقه، نبود انرژی برای برداشت آب و عملیات آبیاری است. این محققین در مطالعه خود نشان دادند که با نصب پنل‌های خورشیدی در مزارع و بازپرداخت هزینه آن طی ۲۰ سال توسط کشاورز، می‌توان برق مورد نیاز برای آبیاری ۵۰ میلیون هکتار زمین، معادل ۴۰٪ از اراضی دیم فعلی، را تأمین و بازده اقتصادی کشاورزی را نیز بیشتر کرد.

مطالعات Balasubramanya et al. (2024) نشان می‌دهد که برخی زارعان ممکن است درصورتی که پیش‌تر نیازهای آبیاری‌شان برآورده نشده و افزایش مصرف انرژی برایشان سودآور باشد، همزمان از پمپ قبلی و خورشیدی جدید خود استفاده کنند. افزون بر این نحوه استفاده از زمین و انتخاب نهاده‌ها نیز قابلیت تغییر دارند. برای نمونه زارعان ممکن است سطح زیرکشت، تراکم کشت، نوع محصولات و میزان استفاده از مواد شیمیایی کشاورزی را تغییر دهند. به‌ویژه اگر استفاده خالص انرژی[17] خود را افزایش دهند. Falchetta et al. (2023) نیز باور داشتند استقرار گسترده پمپ‌ها و سیستم‌های آبیاری که محل تأمین برق آنها نیروگاه‌های پراکنده خورشیدی است، بدون کنترل و مدیریت لازم، درنهایت منجر به برداشت بیش از حد از منابع آب زیرزمینی و کاهش جریان‌های محیط‌زیستی خواهد شد. از این رو به نظر می‌رسد در صورت تأمین انرژی کافی برای پمپاژ و البته پتانسیل آبدهی چاه، اساساً انگیزه‌ای برای کاهش برداشت از آب زیرزمینی وجود ندارد. تجربیات جهانی مرتبط با همبست نیز نشان داده هنگامی‌که تصمیم‌گیرندگان، بخشی‌نگرانه صرفاً به دنبال تغییر وضعیت یکی از منابع و سیستم‌های سه‌گانه ذکر شده هستند، ناخودآگاه باعث تخریب و به خطر افتادن پتانسیل‌های دسترسی و تولید سایر منابع می‌شوند. بنابراین یکی از موضوعات کلیدی در مورد مدیریت سیستم‌های آب و انرژی، توجه به پیوند جدایی‌ناپذیر آنها و فرصت مدیریت مصرف این منابع حیاتی است (Zahraie, 2023).

هدف اصلی از مطرح کردن این ایده استفاده از فرصت قانونی داده شده برای تأسیس نیروگاه‌های خورشیدی به نفع مدیریت منابع آب زیرزمینی به جای کاهش قدرت دولت در کنترل بهره‌برداری از چاه‌های کشاورزی از طریق اختلال در مدیریت توأمان آب و برق است. ارزش مورد انتظار از شکل‌گیری همکاری بخش کشاورزی با در اختیار گذاشتن زمین و توسعه نیروگاه‌های خورشیدی، کاهش انگیزه بخش کشاورزی برای ادامه فعالیت تولید غیربهره‌ور و کم کردن وابستگی به استفاده از آب برای کسب منفعت، در کنار جبران بخشی از ناترازی برق کشور است. این ایده درواقع درنظر دارد فرآیند استفاده از آب برای تولید غذا در زمین‌های کشاورزی نامرغوب را متوقف کرده و از منابع آبی که در این صورت برداشت نمی‌شود، به نفع حفاظت از آبخوان یا افزایش عملکرد تولید در زمین‌های مرغوب استفاده کند.

البته باید تأکید کرد با وجود ظرفیت بالقوه تغییر کاربری زمین‌های کشاورزی کم‌بهره به نیروگاه خورشیدی برای کاهش فشار بر منابع آب زیرزمینی، تحقق عملی صرفه‌جویی در برداشت از آبخوان‌ها، مستلزم استقرار هم‌زمان سازوکارهای حکمرانی و سیاستی مکمل است. در غیاب این سازوکارها، افزایش درآمد کشاورزان از محل فروش برق یا دسترسی پایدار به انرژی می‌تواند منجر به تشدید برداشت آب و بروز اثرات بازگشتی شود. ازاین‌رو، کاهش برداشت آب تنها زمانی محقق خواهد شد که تغییر کاربری زمین با ابزارهایی نظیر تعلیق یا کاهش حقوق بهره‌برداری آب، اعمال محدودیت‌های قراردادی در خرید تضمینی برق و پایش مستمر برداشت از طریق کنتورهای هوشمند همراه گردد. بدیهی است طراحی و اجرای این ابزارها نیازمند هماهنگی نهادی میان بخش‌های آب، انرژی و کشاورزی بوده و خارج از دامنه بررسی‌های این مطالعه قرار دارد، با

این وجود باید تأکید کرد که بدون توجه به این الزامات نیز تحقق هدف کاهش فشار بر آبخوان‌ها امکان‌پذیر نخواهد بود.

علاوه‌بر این، موارد تغییر کاربری زمین‌های کشاورزی اثرات اجتماعی خاص خود را نیز به دنبال دارد. این تغییر می‌تواند به دگرگونی هویت کشاورزی منطقه، جابه‌جایی نیروی کار و تحول در الگوی معیشت خانوارهای روستایی منجر شود. در کوتاه‌مدت، کاهش اشتغال مستقیم کشاورزی محتمل است، اما در میان‌مدت و بلندمدت، ایجاد فرصت‌های جدید در حوزه بهره‌برداری و نگهداری نیروگاه‌های خورشیدی، همراه با آموزش‌های فنی و مهارتی، می‌تواند به تنوع‌بخشی به منابع درآمدی و افزایش تاب‌آوری معیشتی روستا کمک نماید. با این حال، پذیرش اجتماعی این تغییر مستلزم سیاست‌های تشویقی، مشارکت جامعه محلی به خصوص همکاری معتدمین و بزرگ‌مالکان منطقه و طراحی بسته‌های جبرانی متناسب با شرایط هر منطقه است؛ موضوعی که بررسی تفصیلی آن نیازمند مطالعات اجتماعی مستقل است.

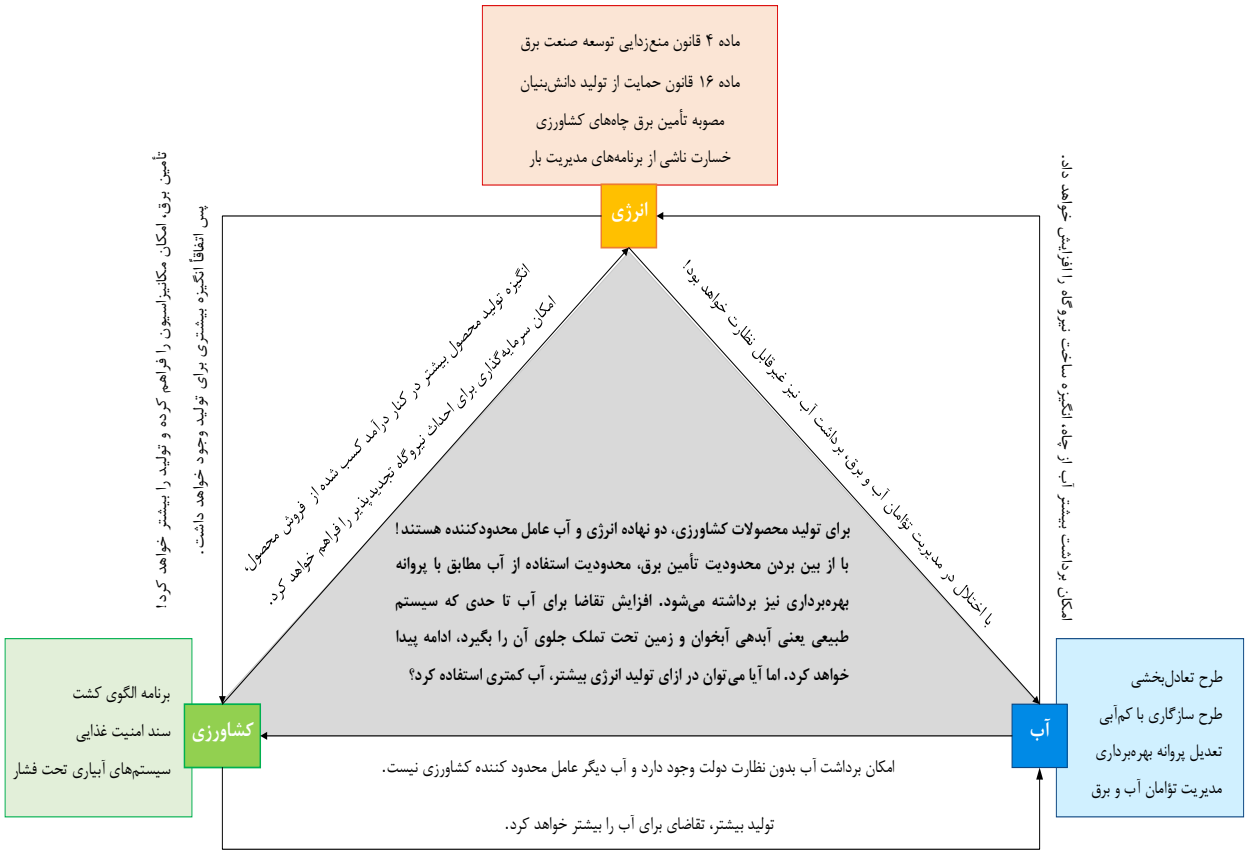


Fig. 5- Suggested Framework for Water-Energy-Agriculture Nexus and its associated challenges in the Case of Developing Solar Power Plants on Low-Productive Agricultural Lands

شکل ۵- چارچوب پیشنهادی هم‌بست آب- انرژی- کشاورزی و چالش‌های متناظر با آن در صورت توسعه نیروگاه‌های خورشیدی در زمین‌های کشاورزی

۵-۲- مقایسه اقتصادی درآمد یک هکتار باغ پسته و یک هکتار نیروگاه خورشیدی

درآمد حاصل از یک هکتار باغ پسته با عملکردهای متفاوت، و درآمد حاصل از فروش برق خورشیدی به دو صورت خرید تضمینی دولت در شرایط معمول و با اعمال ضریب ۶۰ درصدی کاهش نرخ خرید، و تابلو برق سبز بورس انرژی در حالت میانگین قیمت سال، در شکل (۶) مقایسه شده است. براین اساس در شرایط فعلی سود حاصل از فروش برق خورشیدی در بورس انرژی در هر شرایطی بیشتر از پسته بوده و در صورت خرید تضمینی دولت بیشتر از زمین‌هایی با عملکرد کمتر از ۱۸۵۰ کیلوگرم پسته در هر هکتار است. میانگین عملکرد پسته در واحد هکتار برای دو شهرستان رفسنجان و انار به مراتب کمتر از این مقدار است.

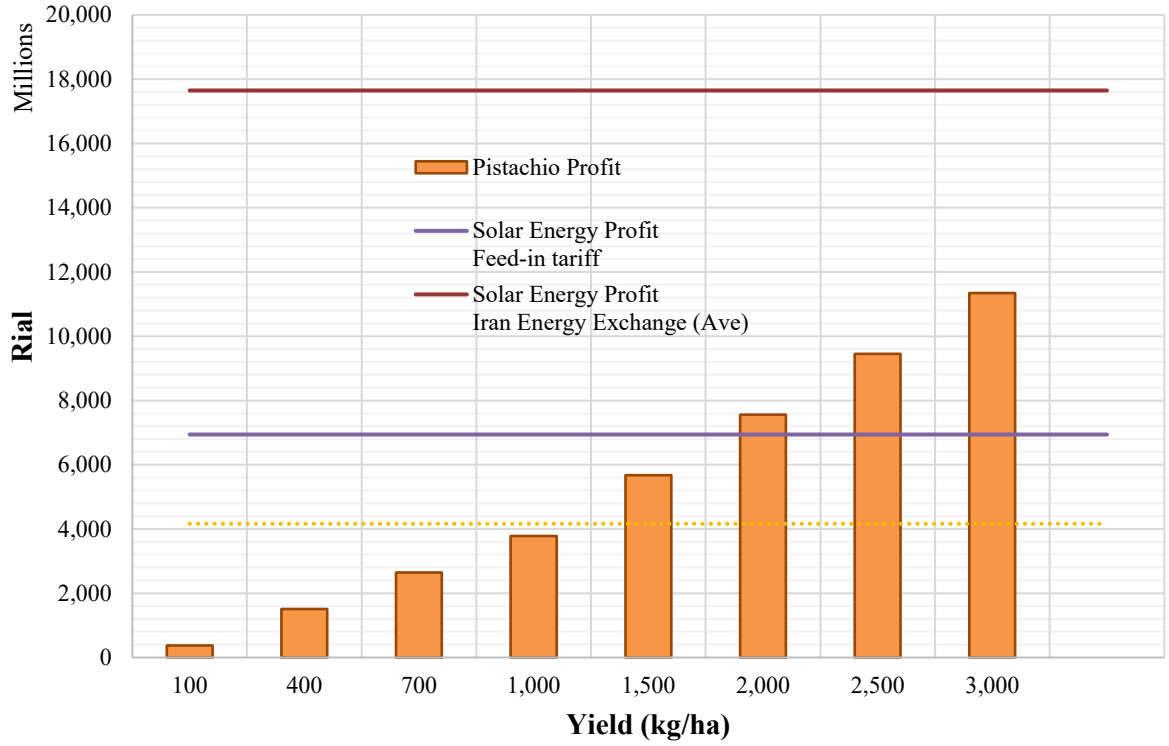


Fig. 6- profit chart comparing selling pistachio from a hectare of orchard with different yields and green energy generation per hectare of solar power plant for an annual period

شکل ۶- نمودار مقایسه سود حاصل از فروش پسته مربوط به یک هکتار باغ با عملکردهای متفاوت و فروش برق سبز تولید شده در واحد هکتار نیروگاه خورشیدی برای دوره سالانه

البته باید تأکید کرد احداث نیروگاه خورشیدی مستلزم سرمایه‌گذاری اولیه بالا، توسعه زیرساخت‌های فنی اتصال به شبکه و انتقال برق، تغییرات نهادی و هم‌چنین پذیرش اجتماعی بازیگران منطقه است. درصورتی‌که باغات پسته معمولاً به ارث می‌رسند و حتی در صورتی‌که از ابتدای امر برای آن سرمایه‌گذاری شود، نیاز به منابع مالی کمتری به نسبت احداث نیروگاه خورشیدی دارد. باغ پسته در هفت سال ابتدایی کاشت درختان، هیچ درآمدی ندارد و بعد از آن نیز باید در نظر داشت در سال آور و ناآور میزان تولید متفاوت است. قیمت پسته به رقم تولیدی و کیفیت مغز آن بستگی دارد. به‌علاوه ویژگی خاص فعالیت کشاورزی، وابستگی تولید محصول به شرایط سال زراعی است. به عنوان مثال اگر بیماری، آفت یا اتفاقات حدی مانند سرمازدگی یا سیل رخ دهد و محصول آسیب ببیند، دیگر فرصتی برای جبران وجود ندارد و درآمد کشاورز به شدت تحت تأثیر قرار می‌گیرد. تولید سالانه برق خورشیدی نیز بسته به شرایط آب و هوایی نوساناتی را تجربه می‌کند اما درآمد آن طی ماه‌های یک سال توزیع شده است. از طرفی میزان برق تولید شده علاوه بر عوامل محیطی، تحت تأثیر نوع و کیفیت پنل‌های نصب شده است و در طی زمان نیز راندمان تولید انرژی در آنها کاهش می‌یابد.

بهتر است اینطور جمع‌بندی کرد که درآمد تولید برق خورشیدی بدون محدودیت در میزان سرمایه‌گذاری اولیه، نسبت به درآمد پسته در واحد هکتار بیشتر و دوره بازگشت سرمایه آن نیز به مراتب طولانی‌تر است. به عبارت دیگر هر یک از این دو فعالیت ویژگی‌های خاص خود را از نظر الگوی درآمدی دارند. مهم آن است که باغ پسته برای تولید درآمد به تأمین آب کافی و با کیفیت مناسب نیاز دارد که همین محدودیت سبب خشک شدن یا کم‌بار شدن بسیاری از باغات شده یا خواهد شد. در این شرایط سرمایه کشاورز از بین رفته و قابل بازگشت نیز نیست مگر آنکه بتوان از زمین تحت مالکیت او برای کار دیگری که نیاز جدی به آب ندارد مانند نیروگاه خورشیدی بهره برد و از فروش برق سبز تولیدی آن کسب درآمد کرد.

۵-۳- بررسی‌های منابع آب و کشاورزی

۵-۳-۱- مطالعات بیلان آبی محدوده مطالعاتی رفسنجان و مطالعات مرحله دوم آمایش استان کرمان (۱۳۹۵)

مطالعات بیلان مختوم به سال آبی ۱۳۹۰-۱۳۸۹ محدوده مطالعاتی رفسنجان (۱۳۹۴) گزارش می‌کند میزان برداشت فعلی از این آبخوان۷۳۶/۴ میلیون مترمکعب و میزان آب قابل برداشت تجدیدپذیر ۵۸۲/۵۱ میلیون مترمکعب است. براین اساس برای حفظ تعادل آبخوان باید از میزان برداشت فعلی ۱۵۳/۸۹ میلیون مترمکعب کم شود. این حجم اگر به بخش کشاورزی و صرفاً باغات پسته نسبت داده شود، حدوداً معادل خارج کردن ۱۵ تا ۲۶ هزار هکتار از اراضی فعلی در حال کشت است. Kerman Spatial Planning (2016) با توجه به بند سوم مصوبه پانزدهمین جلسه شورای عالی آب مبنی بر تعیین میزان آب قابل برنامه‌ریزی سطحی و زیرزمینی براساس نتایج بیلان منتهی به سال آبی ۱۳۸۵-۱۳۸۴، و با فرض افزایش ۲۰٪ استفاده بخش شرب نیز گزارش کرده است که میزان برداشت بخش کشاورزی باید از ۵۵۴/۸ به ۳۲۱/۳۵ میلیون مترمکعب در سال برسد. این به معنی آن است که ۲۳۳ میلیون مترمکعب از برداشت کشاورزی باید کاهش یابد. درصورتی که فرض شود تمام این حجم آب برای آبیاری باغ پسته استفاده می‌شود، با یک حساب سرانگشتی معادل ۲۳ تا ۳۹ هزار هکتار باغ باید از چرخه تولید محصول کشاورزی خارج شود. در این مطالعه تأکید شده است که با توجه به سهم بخش کشاورزی در ارزش افزوده (رتبه چهارم کشوری) و اشتغال استان باید ابتدا بخش کشاورزی به سمت تولید محصولات با نیاز آبی کمتر (تغییر در الگوی کشت)، مکانیزه کردن سیستم آبیاری و توجه به بحث آب مجازی در جهت کشاورزی پایدار حرکت کند و سپس در بلندمدت بخشی از آن با سایر فعالیت‌های با مصرف آب کمتر جایگزین شود. باید در نظر داشت در عمل به لحاظ فنی تمام این مساحت قابلیت ساخت نیروگاه خورشیدی را ندارد و باید بسته به موقعیت زمین و منفعت حاصل از آن اقدام به نصب پنل‌های خورشیدی در بخشی از آن کرد. این منفعت لزوماً در عامل درآمد خلاصه نشده و به انگیزه موجود برای ادامه فعالیت کشاورزی تحت تأثیر ریسک و سختی کار و شرایط بازار نیز وابسته است.

۵-۳-۲- برنامه الگوی کشت ملی محصولات باغی کشور در سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲

در صورتی که مطابق برنامه الگوی کشت ۱۴۰۳-۱۴۰۲، زمین‌های باغی با گرید دو و سه استان کرمان به جز بخش جنوبی آن با مساحت ۸۱۴۰ هکتار، برای توسعه نیروگاه‌های خورشیدی استفاده شود، ۵۱ میلیون مترمکعب از برداشت از منابع آب زیرزمینی کاسته شده و در عوض درصورتی‌که در تمام این سطح پنل خورشیدی نصب شود، حدود ۵۴۰۰ مگاوات به ظرفیت نیروگاه‌های تولید برق کشور اضافه خواهد شد (جدول ۵). براساس برآوردهای انجام شده در همین برنامه (جدول ۶)، باید ۳۳۹۰ هکتار از زمین‌های باغی استان خراسان رضوی از چرخه تولید خارج شوند. این مساحت برای احداث نیروگاه خورشیدی با ظرفیت ۲۲۶۰ مگاوات مناسب است که ۳۸ میلیون مترمکعب کاهش برداشت از آبخوان را به دنبال دارد. درصورتی‌که افق زمانی سند امنیت غذایی مدنظر قرار گیرد (۱۴۱۰ هجری شمسی)، معادل تقریباً نیمی از کسری مخزن بلندمدت سالانه آب زیرزمینی این استان از طریق کاهش سطح باغات درجه دو و سه قابل جبران خواهد بود. براساس برآوردهایی که در گزارش برنامه الگوی کشت در جدول (۵) و (۶) ارائه شده است، کمتر کردن این میزان از سطح کشت نه‌تنها موجب کاهش جدی تولید و درآمد بخش کشاورزی نمی‌شود، بلکه عملکرد تولید در هر هکتار ۹۹ کیلوگرم و سود کل حاصل از فروش محصول ۲۴۰ میلیارد تومان برای کرمان و به ترتیب ۱۱۱ کیلوگرم و ۶۶۴ میلیارد تومان برای استان خراسان رضوی بیشتر می‌شود. به عبارتی خارج کردن بخشی از زمین‌های درجه دو و سه، و درعوض استفاده از منابع موجود برای تولید در زمین‌های با بهره‌وری بالاتر نه‌تنها ضربه‌ای به میزان کلی تولید محصول نخواهد زد؛ بلکه درنهایت عملکرد تولید در هر هکتار نیز افزایش خواهد یافت. بنابراین بدون نگرانی برای آسیب به بخش کشاورزی کشور در نگاه کلان، باید به این موضوع اندیشید که کشاورزی که مالک این زمین کم‌بهره‌ور است، به جبران ترک کشاورزی در تمام یا بخشی از زمینش باید چه کاربری را جایگزین نماید که از نظر اقتصادی به‌صرفه باشد؟ چه ملاحظات و انتظاراتی دارد و برای کمک به این تغییر باید چه مشوق‌هایی در نظر گرفت که او را به این امر متقاعد کند؟

Table 5- Crop pattern document in 2023-2024 for orchards in Kerman province, except its southern part (Agricultural Research, Education and Extension Organization, 2024)

جدول ۵- برنامه الگوی کشت پیشنهاد شده برای باغات در سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲ استان کرمان به جز بخش جنوبی آن (سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ۱۴۰۴)

Indicator	present	Crop Pattern Document 2024	Difference	Food Security Document 2031	Difference
Area (ha)	312,398	305,472	↓6,926	225,834	↓86,564
Grade 1 (ha)	144,355	146,184	↑1,829	167,213	↑22,858
Grade 2 (ha)	86,668	82,209	↓4,459	31,677	↓54,991
Grade 3 (ha)	58,238	54,557	↓3,681	12,223	↓46,015
Production (ton)	745,102	757,053	↑11,951	894,489	↑149,387
Water Use (MCM)	2,424	2,373	↓51	1,785	↓639
Profit (Based On 2022) billion Rials	299,500	301,903	↑2,403	329,533	↑30,033
Production Yield (kg/ha)	2,576	2,675	↑99	4,237	↑1,661

Table 6- Crop pattern document in 2023-2024 for orchards in Khorasan Rezavi province (Agricultural Research, Education and Extension Organization, 2024)

جدول ۶- برنامه الگوی کشت پیشنهاد شده برای باغات در سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲ استان خراسان رضوی (سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ۱۴۰۴)

Indicator	present	Crop Pattern Document 2024	Difference	Food Security Document 2031	Difference
Area (ha)	243,360	236,033	↓7,327	163,274	↓80,086
Grade 1 (ha)	48,927	46,464	↑2,463	18,144	↑30,783
Grade 2 (ha)	51,898	55,248	↑3,350	93,768	↑41,870
Grade 3 (ha)	88,786	84,962	↓3,824	40,990	↓47,796
Production (ton)	1,050,769	1,050,749	↓20	1,050,522	↓247
Water Use (MCM)	1,524	1,486	↓38	1,045	↓479
Profit (Based On 2022) billion Rials	275,065	281,702	↑6,637	358,036	↑82,971
Production Yield (kg/ha)	5,432	5,543	↑111	7,268	↑1,806

در برآوردی که این برنامه برای هر محصول به صورت مجزا داشته است، باید سطح باغات پسته در استان کرمان ۵۵۴۶ و در استان خراسان رضوی ۳۲۸۲ هکتار کمتر شود (جدول ۷). حذف این سطح از باغات معادل ۵۳ تا ۸۸ میلیون مترمکعب صرفه‌جویی در استفاده از آب از آبخوان‌های این دو استان خواهد بود. اگر فرض شود در تمام این زمینها امکان نصب پنل خورشیدی و تولید برق سبز وجود داشته باشد، این سطح برای احداث نیروگاه خورشیدی با ظرفیت حدود ۵۹۰۰ مگاوات مناسب است.

Table 7- Crop pattern document for Pistachio in 2023-2024 water year

جدول ۷- برنامه الگوی کشت پسته برای سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲

Indicator	Unit	Kerman Province	Khorasan Razavi Province
Pistachio Gardens Should be Removed	ha	5546	3282
Water Savings (if Irrigation Demand per ha= 6000 m3)	MCM	33	20
Water Savings (if Irrigation Demand per ha= 10000 m3)	MCM	55	33
Solar power capacity	MW	3697	2188
Solar Power Production in one Year	kWhr	5,693,893,333	2,695,616,000

۵-۳-۳- طرح آمارگیری محصولات دائمی باغی مرکز آمار ایران در سال ۱۴۰۱

با این پیش‌فرض که مالکین زمین پسته با مساحت کمتر از پنج هکتار در کشور، به هر دلیلی انگیزه کافی برای ادامه تولید در شرایط فعلی را نداشته باشند، می‌توان برآورد کرد در صورت تغییر کاربری آن به نیروگاه خورشیدی، حدوداً به چه میزان برداشت آب کمتر و ظرفیت تولید برق خورشیدی بیشتر خواهد شد. مطابق نتایج جدول (۸) درصورتی که این گروه از کاربری تولید پسته خارج شوند و تنها یک سوم مساحت آن برای نصب پنل خورشیدی استفاده شود، کمتر از ۳۰٪ تولید کشور کاهش می‌یابد؛ ولی در مقابل ۲۶هزار مگاوات به ظرفیت نیروگاه‌های خورشیدی افزوده و حدود ۷۰۰ تا ۱۲۰۰ میلیون مترمکعب در برداشت آب صرفه‌جویی خواهد شد. این میزان کاهش برداشت معادل ۷ تا ۱۱ درصد از مقداری است که در برنامه سازگاری با کم‌آبی برای بخش کشاورزی مقرر شده بود.

Table 8- Pistachio Orchards in Iran (Statistical Centre of Iran, 2022)

جدول ۸- باغات کاشت ساده تک محصولی پسته در کشور (طرح آمارگیری باغداری (محصولات دائمی) مرکز آمار ایران، ۱۴۰۱)

Area hectares	Number of Farmers	Area hectares	Solar power capacity MW	Water Savings (if Irrigation Demand per ha= 6000 m^3) MCM	Water Savings (if Irrigation Demand per ha= 10000 m^3) MCM	Production in 2022 Ton	Percent of Production
Total	113,760	497,484	110,552	2985	4975	237,008	100
Total Land smaller than 1ha	39,431	14,685	3,263	88	147	9,407	4
Area <0.1	2,595	124	27	1	1	81	0
0.1 < Area < 0.2	5,656	670	149	4	7	604	0
0.2 < Area < 0.5	13,505	3,721	827	22	37	2,249	1
0.5 < Area < 1	17,676	10,170	2,260	61	102	6,473	3
Total Lands Between 1 to 5 ha	54,158	102,566	22,792	615	1026	51,835	22
1 < Area < 2	26,907	30,085	6,686	181	301	15,088	6
2 < Area < 3	13,915	27,393	6,087	164	274	17,265	7
3 < Area < 5	13,336	45,088	10,020	271	451	19,482	8
Total Lands more than 5 ha	20,170	380,233	-	-	-	175,766	74
5 < Area < 10	11,335	66,945	-	-	-	38,487	16
10 < Area < 20	5,158	60,020	-	-	-	21,435	9
20 < Area < 50	2,344	62,729	-	-	-	44,344	19
more than 50 ha	1,333	190,539	-	-	-	71,499	30

۶- خلاصه و جمع‌بندی

برداشت بیش از ظرفیت تجدیدپذیری از منابع آب زیرزمینی و تبعات منفی ناشی از آن در کنار ناترازی برق، بخش تولیدی کشور را متضرر کرده است. مشابه آنچه در کالیفرنیا رخ داده است، بخش کشاورزی در ایران نیز، خواه و ناخواه وادار به حذف بخشی از زمین‌های تحت کشت خود با هدف کاهش برداشت از منابع آب زیرزمینی است. از آنجایی‌که تغییر الگوی معیشت کشاورزان به تغییر الگوی مصرف منابع طبیعی منجر می‌شود، در این پژوهش با تکیه بر شرایط فعلی سه سیستم آب، انرژی و کشاورزی و روابط میان آنها، مسیر تغییر کاربری زمین‌های کشاورزی به سمت توسعه نیروگاه خورشیدی با هدف جایگزینی ارزش تولید برق سبز به جای تولید محصول، بررسی شد. طرح‌های کاهش تقاضای آب در تمام این سال‌ها بدون داشتن برنامه عملیاتی، در مرحله ارائه برآوردهای مورد انتظار متوقف شده‌اند یا آنکه باوجود اجرایی شدن، در دستیابی به هدف شکست خورده‌اند. درصورتی‌که بخشی از جامعه کشاورزی مجاب شوند که در یک فعالیت اقتصادی مکمل دیگر که منفعت آنان را تأمین می‌نماید، نقش‌آفرینی کنند، آنگاه می‌توان امیدوار بود که با روایت این تجربه و مشاهده آثار مثبت آن، در طی زمان افراد بیشتری با میل خویش و حتی برخلاف مخالفت اولیه، به این تغییر روی آورند. از این رو در این پژوهش با مقایسه درآمد حاصل از فعالیت کشاورزی با تولید برق خورشیدی ارزیابی شد که اساساً ایده توسعه نیروگاه‌های خورشیدی در زمین‌های کشاورزی کم‌بهره از نظر اقتصادی توجیه‌پذیر است یا خیر و ظرفیتی که این ایده برای کاهش تقاضای آب بخش کشاورزی می‌تواند فراهم کند چه میزان است و در عوض ظرفیت تولید برق خورشیدی را تا چه میزان می‌توان افزایش داد. با استناد به آمار ارائه شده در برنامه الگوی کشت ملی برای باغات پسته توسط Agricultural Research, Education and Extension Organization (2024)، می‌توان ۵۳ تا ۸۸ میلیون مترمکعب کمتر از آبخوان‌های استان کرمان و خراسان رضوی برداشت کرد. با توجه به طرح آمارگیری کشوری محصولات دائمی باغی نیز درصورتی که باغات پسته کوچک‌تر از پنج هکتار به نیروگاه خورشیدی تبدیل شوند، می‌توان ۷۰۰ تا ۱۲۰۰ میلیون مترمکعب در برداشت آب صرفه‌جویی کرد. درآمد خالص حاصل از فروش برق تولیدی هر هکتار نیروگاه خورشیدی برای یک سال حدود ۲/۶ تا ۳/۷ میلیارد تومان است که برای احداث آن باید در حدود ۴۰ میلیارد تومان سرمایه‌گذاری کرد. در مقابل درآمد خالص فروش پسته تولید شده در زمینی به همین ابعاد و با عملکرد ۱۴۰۰ کیلوگرم در هکتار که بالاتر از میانگین کشوری است، ۷۶۰ میلیون تومان است. بنابراین بدون در نظر گرفتن محدودیت‌هایی که برای سرمایه‌گذاری در احداث نیروگاه خورشیدی به صورت شخصی و اتصال آن به شبکه برق کشور در ظرفیت قابل مدیریت فعلی وجود دارد، درآمد سالانه حاصل از فروش برق سبز نسبت به طلای سبز بیشتر است. انتظار می‌رود از نگاه کسب درآمد، سایر محصولات کشاورزی که ارزش پایین‌تری از پسته دارند نیز، برای این تغییر مناسب باشند. باتوجه به آنکه سرمایه‌گذاری در احداث نیروگاه‌های خورشیدی نیاز به منابع مالی بیشتری به نسبت به فعالیت کشاورزی دارد، پیشنهاد می‌شود در این رابطه ساز و کارهای لازم برای برقراری همکاری میان بخش مصرف‌کننده و تولیدکننده برق سبز ایجاد شود. همچنین در شرایط فعلی متقاضیان احداث نیروگاه‌های خورشیدی می‌توانند از تسهیلات مراکزی چون صندوق توسعه ملی و بانک‌ها نیز استفاده کنند. بنابر مطالعات انجام شده توسط Hanak et al. (2023) برای ارزیابی گزینه‌های جایگزین استفاده از اراضی کشاورزی در کالیفرنیا، در نظرگرفتن منابع مالی و تنظیم مقرراتی که مشوق این نوع تغییر کاربری هستند و هم‌چنین تأمین زیرساخت‌های لازم از جمله توسعه شبکه توزیع برق، برای اجرای این ایده ضروری هستند. درواقع این محققان با در نظر گرفتن اهداف اجرایی برنامه مدیریت پایدار آب زیرزمینی کالیفرنیا برآورد کرده‌اند که چه میزان از اراضی کشاورزی باید رها شوند، در پی این اتفاق چه تعداد شغل و چه میزان درآمد از دست می‌رود و این زمین‌ها بسته به ویژگی‌های خود برای چه کارهایی از جمله توسعه نیروگاه‌های خورشیدی قابل استفاده هستند تا بتوان اثرات منفی اجتماعی، اقتصادی و محیط‌زیستی رها کردن زمین‌های کشاورزی به دلیل کمبود آب را کاهش داد. بنابراین پیشنهاد می‌شود به عنوان یکی از گام‌های تحقیقاتی لازم در ترسیم نقشه راه اجرایی برای این ایده، نقشه پهنه‌بندی اراضی کشاورزی که برای دسترسی به آب در معرض آسیب هستند را از نظر پتانسیل تولید برق خورشیدی ترسیم نمود.

آبی که با این تغییر کاربری آزاد می‌شود، می‌تواند برای جبران کم‌آبیاری سایر زمین‌ها، جبران اضافه‌برداشت از آبخوان یا بازتخصیص به بخش شرب یا صنعت استفاده شود. البته باید تأکید کرد که صرفه‌جویی تنها زمانی محقق خواهد شد که دیگر این آب برداشت نشود و بخشی از اختلاف میان میزان برداشت و تغذیه آبخوان را جبران نماید. Ezatabadi and Sedaghat (2025) تأکید کردند که کشاورزان باید تصمیم سختی در زمینه تنظیم نسبت آب به زمین خود گرفته و باغ‌ها و مزارع مازاد بر آب در دسترس را که در شرایط فعلی غیراقتصادی بوده یا در آینده نزدیک غیراقتصادی خواهد شد، رها کنند. از طرف دیگر با تجهیز زمین کشاورزی به پنل خورشیدی، این امکان فراهم می‌شود که بخش کشاورزی باوجود ظرفیت درآمدی حاصل از فروش برق سبز یا

دسترسی به انرژی مورد نیاز یا حتی افزایش تراز آب زیرزمینی در چاه‌های اطراف، بدون توجه به برنامه مدیریت توأمان آب و برق، با اختیار خود و بسته به پتانسیل آبدهی منطقه، تصمیم به برداشت بیشتر از چاه بگیرد. در این صورت هدف کاهش فشار بر منابع آبی محقق نخواهد شد. به عبارت دیگر در صورت عدم اصلاح نظام تخصیص و نظارت بر پروانه‌های بهره‌برداری از چاه، توسعه نیروگاه خورشیدی و تغییر کاربری بخشی از زمین‌های کشاورزی کم‌بهره حتی می‌تواند درنهایت منجر به تداوم یا افزایش برداشت آب در سایر اراضی شود.

با وجود تداوم خشکسالی و کاهش آبدهی آبخوان‌های کشور به دلیل برداشت بیش از ظرفیت تجدیدپذیری، اتکا به کسب درآمد از طریق کشاورزی دیگر به اندازه گذشته ممکن نیست. در این شرایط اهمیت اعمال محدودیت‌های برداشت و بازتخصیص آب آزادشده برای احیای آبخوان‌ها دوچندان خواهد شد؛ موضوعی که نشان می‌دهد موفقیت این راهبرد صرفاً محدود به توجیه‌پذیری اقتصادی نبوده و وابسته به چارچوب‌های حکمرانی منابع آب نیز می‌باشد. به پیشنهاد Ayres و همکارانش در مطالعه مشابهی در رابطه با توسعه نیروگاه‌های خورشیدی در زمین‌های کشاورزی کالیفرنیا در سال ۲۰۲۲، باید در این زمینه آموزش بازیگران، در نظر گرفتن حمایت‌های دولتی در سطح منطقه و ملی و تسهیل دریافت مجوزهای لازم را در نظر گرفت. بنابراین در گام‌های تحقیقاتی بعد، باید ابعاد مختلف فنی، اجتماعی و محیط‌زیستی مسیر تغییر را به خوبی شناخت و با اعمال سیاست‌های تشویقی یا تنبیهی مسیر را به سمت دستیابی به هدف کاهش استفاده از منابع آب زیرزمینی و جلوگیری از افزایش برداشت، هدایت کرد.

پی‌نوشت‌ها

1- Decoupling
2- Photovoltaics
3- Overdraft
4- The Conservation Reserve Program
5- Land retirement
6- Nexus
7- Emergent
8- Synergy
9- Agrivoltaic
10- Gross Domestic Product (GDP)
11- Sustainable Groundwater Management Act (SGMA)
12- Public Policy Institute of California (PPIC)
13- Senate Bill
14- Inverter
15- Direct Current (DC)
16- Alternating Current (AC)
17- Net Metering

۷- منابع

Academic Center for Education, Culture and Research (2016) Kerman spatial planning. Plan and Budget Organization (In Persian)

Agah M (2024) Production costs of pistachio orchards in Iran and the United States. Pistachio World 92:15-17 (In Persian)

Agricultural Research, Education and Extension Organization (2024) Crop pattern in 2023-2024. Ministry of Agriculture (In Persian)

Al Mamun M, Dargusch P, Wadley D, Zulkarnai N, and Abdul Aziz A (2022) A review of research on agrivoltaic systems. Renewable and sustainable Energy Reviews 161:1-16

Asadi A (2024) Electricity outlook in 2025 and the risk assessment of supplying electricity for industries. Deputy of Economic Studies and Futures Studies Iran Chamber of Commerce, Industries, Mines and Agriculture, 15p (In Persian)

Ayres A, Rosser A, Hanak E, Escriva-Bou A, Wheeles D, De Leon M, Seymour C, and Hart A (2022) Solar energy and groundwater in the San Joaquin Valley. Public Policy Institute of California, 30p

Balasubramanya S, Garrick D, Brozović N, Ringler C, et al. (2024) Risks from solar-powered groundwater irrigation. Science (New York, N.Y.) 383:256-258

Center for Strategic Studies (2019) The experiences of the Lake Urmia Restoration Program. (In Persian)

Chen K, Wang Y, Li N, Xu Y, Zheng Y, Zhan X, and Li Q (2023) The impact of farmland use transition on rural livelihood transformation in China. Habitat International 135:1-12

Congressional Research Service (2014) Conservation Reserve Program (CRP): Status and Issues.

Davari K (2023) Water scarcity and sustainability. Journal of Water and Sustainable Development 10(2) (In Persian)

Ding W, Xin W, Haiguang H, Dayi L, and Rui X (2022) Research progress on farmer's livelihood transformation and its ecological effects- A Review. Journal of Resources and Ecology 13(5):912-924

Eriksson N, Avellán T, Teutschbein C, and Blicharska M (2025) Towards a common understanding of water-energy-food nexus research: A view of the European nexus community and beyond. Science of The Total Environment 967:1-13

Escriva-Bou A, Hanak E, Medellin J, Azuara J, Viers J, Ayres A, Peterson C, and Cole S (2024) How water management agreements are likely to impact agriculture in California and beyond, USDA 100th Annual Agricultural outlook forum. USDA National Institute of Food and Agriculture

Falchetta G, Vinca A, Troost A, Tuninetti M, Ireland G, Byers E, Hafner M, and Zulu A (2024) The role of agriculture for achieving renewable energy-centered sustainable development objectives in rural Africa. Environmental Development 52:1-18

Falchetta G, Semeria F, Tuninetti M, Giordano V, Pachauri S, and Byers E (2023) Solar irrigation in Sub-Saharan Africa: economic feasibility and development potential. Environmental Research 18:1-14

Falchetta G, Adeleke A, Awais M, Byers E, Copinschi P, et al. (2022) A research agenda for planning and financing nexus development objectives in rural sub-Saharan Africa. SSRN Electronic Journal:1-29

Falchetta G, Adeleke A, Awais M, Byers E, et al. (2022) A renewable energy-centred research agenda for planning and financing Nexus development objectives in rural sub-Saharan Africa. Energy Strategy Reviews 43:1-12

Gorjian Sh, Nematzadeh B, Eltrop L, and Shamshiri R (2019) Solar photovoltaic power generation in Iran: Development, policie, and barriers. Renewable and Sustainable Energy Reviews 106:110-123

Hanak E, Ayres A, Peterson C, Escriva-Bou A, Cole S, and Joaquin Z (2023) Managing water and farmland transitions in the San Joaquin Valley. Public Policy Institute of California, 51p

Hasani H (2022) Pistachio certification plan. Pistachio World 83:26-29 (In Persian)

Hasheminasab h (2022) Climate change and the challenges for pistachio industry. Pistachio World 68:32-37 (In Persian)

Interagency Land Retirement Team (1997) Land retirement program: Interim guidelines. United States Department of the Interior

Islamic Parliament Research Center (2023) The strategic issues of the energy sector in the Seventh Development Plan: Renewable energy development. (In Persian)

Islamic Parliament Research Center (2022) Groundwater resources crisis and the need for consumption management. (In Persian)

Islamic Parliament Research Center (2021) Analytical study of the current conditions and the future status of the water crisis in the country. (In Persian)

Li W, Ward P, and Wesenbeeck L (2025) A critical review of quantifying water-energy-food nexus interactions. Renewable and Sustainable Energy Reviews 211:1-11

Macknick J, Hartmann H, Barron-Gafford G, Beatty B, et al. (2022) The 5 Cs of Agrivoltaic Success Factors in the United States: Lessons from the InSPIRE Research Study. National Renewable Energy Laboratory

Mohammadi M (2022) With the name Nader, for the sake of Ghader. Pistachio World 72:46 (In Persian)

Noori Esfandiari A (2023) Water scarcity and sustainable development. Journal of Water and Sustainable Development 10 (4): (In Persian)

Noori Esfandiari A (2016) Water-sensitive development: Rethinking the country's development path. Iranian Water Policy Research Institute, 150p (In Persian)

Pistachio Association (2025) Pistachio World. 10(102):24-33 (In Persian)

Pistachio Association (2025) Pistachio World. 9(98):14-16 (In Persian)

Pistachio Association (2025) Pistachio World. 7(78):24-39 (In Persian)

Regional Water Company of Kerman (2015) The water resources balance report of Rafsanjan. Iran Water Resources Management Company (In Persian)

Statistical Centre of Iran (2022) Results of the horticulture census project (permanent crops). (In Persian)

Water Scarcity Adaptation Committee (2021) Water scarcity adaptation national plan. (In Persian)

Zahraie B (2023) Obstacles for the next phases of the National Water Scarcity Adaptation Plan. Journal of Water and Sustainable Development 10(2) (In Persian)

Zare-Nazari A (2022) Productivity challenges in conversation with Farhad Agah. Pistachio World 70:20-24 (In Persian)