تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال بیست و یکم، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۴
Volume 21, No.2, Summer 2025 (IR-WRR)
۱۰۷-۹۲

ارزیابی ارزش آبی-اقتصادی طرح انتقال آب از دریای عمان به استان خراسان رضوی در مقابل مدیریت تولیدات محصولات کشاورزی غیرراهبردی آن

یگانه سادات صالحی[۱]، سعید مرید[۲*]، مجید دلاور[۳*]

چکیده

با تشدید بحران کم آبی در شرق کشور، پروژه انتقال آب از دریای عمان به طول ۱۳۴۲ کیلومتر و ظرفیت سالیانه ۱۲۰ میلیون مترمکعب به شهر مشهد در دستور کار قرار گرفته است. این درحالی است، که سالیانه حجم قابل توجهی محصولات کشاورزی از این منطقه به سایر نقاط صادر می‌شود. این پژوهش به مقایسه طرح عمان از منظر حجم آب انتقالی، میزان مصرف برق و هزینه‌های تمام شده در مقابل میزان آب مجازی صادر شده از طریق محصولات کشاورزی، درآمد و انرژی مربوطه می‌پردازد. در این راستا، با توسعه چارچوبی که براساس گروه‌بندی محصولات کشاورزی و ردپای آب صادراتی بود، این مهم دنبال شده است. با توجه به حجم بالای صادرات محصولات جالیزی به عنوان محصولات غیر راهبردی تمرکز تحقیق بر آن‌ها قرار داده شد. نتایج نشان داد، که سالانه حدود ۲۵۷ میلیون مترمکعب آب مجازی از این طریق صادر می‌شود؛ که بیش از ۲ برابر آب انتقالی طرح عمان است. همچنین، با درنظر گرفتن قیمت‌های پایه جهانی، میزان سود خالص ناشی از هر مترمکعب آب صادراتی و مصرف برق مربوطه به ترتیب برابر ۰/۵۵ دلار و ۰/۳۳ کیلووات‌ساعت برآورد شد. این درحالی است که قیمت آب انتقالی و مصرف برق آن به ازای هر مترمکعب برابر ۳/۲ دلار و ۲۷/۳۳ کیلووات‌ساعت است. ارزیابی‌های این تحقیق، بیش از آنکه بخواهد طرح خاصی را هدف قرار دهد، تأکید بر اتخاذ سیاست‌های نوآورانه‌تری در مدیریت آب درمقابل استمرار سیاست‌های سنتی با فن‌آوری‌های نوآورانه دارد، آن‌هم در شرایطی که قرار است رقمی حدود ۶/۸ میلیارد یورو بر آن سرمایه‌گذاری شود.

کلمات کلیدی: ردپای آب، صادرات محصولات جالیزی، طرح انتقال آب عمان به مشهد، مصرف انرژی.
تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۴/۳/۲۲
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۴/۵/۹

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
۲- استاد گروه مهندسی و مدیریت آب، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
۳- دانشیار گروه مهندسی و مدیریت آب، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
*- نویسنده مسئول
بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان پاییز ۱۴۰۴ امکان‌پذیر است.

Assessment of Hydro-Economic Value of Oman Sea Water Transfer to Razavi Khorasan Province vs. Management of Non-Strategic Agriculture

Y. S. Salehi[1], S. Morid[2], M. Delavar[3]*

Abstract

To face the severe water scarcity in eastern Iran, a 1342-km pipeline project has been proposed to transfer 120 MCM/year from the Oman Sea to the city of Mashhad. Meanwhile, the region's substantial agricultural exports represent significant virtual water outflows. This study employs a water footprint framework to compare the proposed pipeline's costs (water volume, energy use, and financial expenses) with virtual water flows from agricultural exports, focusing on cucurbit crops as water-intensive and non-strategic products. Our analysis reveales that the region exports 257 MCM/year of virtual water through these crops- more than double the pipeline's proposed capacity. Moreover, their trades provide 0.55$ net profit per m^3 with only 0.33 kWh electricity consumption, compared to the pipeline's 3.2/m^3 cost and 27.3 kWh/m^3 energy demand. These findings underscore the need to prioritize alternative water management given that an investment of about 6.8 billion euros has been planned for the above-mentioned project.

Keywords: Water Footprint, Cucurbit Product Exports, Oman Water Transfer Plan to Mashhad, Energy Consumption.
Received: June 12, 2025
Accepted: July 31, 2025

1- M.Sc. Student, Department of Water Engineering and Management, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. E-mail: y.salehi@modares.ac.ir
2- Professor, Department of Water Resources Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. Email: morid_sa@modares.ac.ir
3- Associate Professor, Water Resources Department, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. Email: m.delavar@modares.ac.ir

*- Corresponding Author

Doi: 10.22034/iwrr.2025.523070.2882

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

۱- مقدمه

درحالیکه، توجه به طرح‌های نمک‌زدایی در طول دهه‌های گذشته به طور پیوسته در حال افزایش بوده، دیدگاه‌ها در مورد مزایای نمک‌زدایی در بین متخصصان آب متفاوت است. برخی آن را به عنوان نوش‌دارویی برای بسیاری از مشکلات آب جهان به تصویر می‌کشند. در همین راستا، بانک جهانی نیز مطالعه منطقه‌ای انجام داده، که هدف آن بهبود درک این گزینه برای منطقه خاورمیانه، شمال آفریقا و آسیای مرکزی است. نتایج مطالعه حاکی از آن است، که نمک‌زدایی به تنهایی نمی‌تواند بحران آب را در این مناطق بطور موثری مدیریت کنند (Schiffler, 2004). لذا متناسب با بحران آب کشور که حتی بخش شرب و صنعت را نیز تحت تأثیر قرار داده، طرح‌های آب شیرین کن و انتقال آب از خلیج فارس و دریای عمان در ایران در دستور کار قرارگرفته است. به عنوان نمونه، این مهم در بند (چ)، ماده ۴۰ام برنامه هفتم توسعه به صراحت آمده است. استان خراسان رضوی هم یکی از حوضه‌های هدف چنین طرح‌هایی است؛ که بخشی از آن بدلیل اقدامات بالادستی در افغانستان برروی رودخانه فرامرزی هریرود است. جائیکه هیچ رژیم حقوقی و معاهده مشخصی میان کشورهای ساحلی این حوضه نیز وجود ندارد، که بتوان بخشی از این توسعه‌های یکجانبه‌گرایانه را مدیریت نماید (Amini et al., 2021). بدین ترتیب ، هم‌اکنون یکی از مهمترین طرح‌های انتقال آب کشور و حتی جهان (با توجه به ابعاد پروژه)، از دریای عمان به این منطقه تدوین و در فاز اجرایی قرار گرفته است (Sadeghi et al., 2016).

همانگونه که قبلاً هم اشاره شد، بررسی ادبیات موضوع نشان می‌دهد، که نگرانی‌هایی در خصوص اینگونه پروژه‌ها گزارش شده است. به عنوان نمونه Pittock et al. (2009) تعدادی از اینگونه پروژه‌ها را مورد بررسی قرار دادند و با تأکید بر لزوم توجه به ابعاد مختلف پروژه‌های انتقال آب، همچون هزینه بالای اقتصادی، پیامدهای مخرب هیدرولوژیکی، اجتماعی و محیط زیستی آن‌ها را ارزیابی‌کرده‌اند. همچنین، Islar &Boda (2014) با بررسی پروژه‌های بزرگ مقیاس انتقال آب در ترکیه علت ناپایداری سیاسی، اکولوژیکی و مناقشات اجتماعی این طرح‌ها را عدم مشارکت ذی نفعان و تقسیم ناعادلانه منافع حاصل از آن‌ها معرفی کرده است. در همین خصوص Zeng et al.(2015) نیز به پروژه انتقال آب از جنوب به شمال چین به طول ۱۲۶۷ کیلومتر و ظرفیت انتقال ۴۴ میلیارد متر مکعب به صورت سالانه پرداخته است. این طرح بزرگترین طرح در نوع خودش در سطح جهان بوده است. در همین راستا محققین، به ارزیابی اثرات محیط زیستی انتقال آب از جنوب به شمال چین جهت بررسی ایجاد تغییرات فیزیکی، بیولوژیکی شیمیایی و هیدرولوژیکی در منطقه مقصد پرداختند؛ نتایج مطالعه مذکور حاکی از حساس شدن درجه شکوفایی جلبک، افزایش نیترات، فسفر و افزایش کلیفرم‌ها در آب بوده، که سبب کاهش کیفیت آب در منطقه شده است. همچنین، در پی انتقال آب از جنوب به شمال چین تغییرات زیست محیطی و تغییرات هیدرولوژیکی در مخزن سدهای حوضه مقصد نیز گزارش شده است. از دیگر پروژه‌های انتقال آب بزرگ مقیاس جهان می‌توان به خط انتقال آب Indira Gandhi در هند اشاره نمود، پروژه مذکور به طول ۶۵۰ کیلومتر، برای تأمین آب بخش شرب و کشاورزی و تولید برق در مناطق کم آب در غرب هند طراحی شده است. پس از اجراء، طرح با پیامدهای منفی زیست محیطی و اجتماعی متعددی مواجه شده، که تغییر الگوی کاربری اراضی، افزایش سطح زیر کشت و برداشت بی‌رویه از منابع آب بخشی از آن بوده است (Feitelson, 2018). همانطور که اشاره شد، در ایران نیز خط انتقال آب از دریای عمان به خراسان به طول ۱۳۴۲ کیلومتر در دست احداث قرار گرفته است. این پروژه با قابلیت شیرین‌سازی مجموعاً ۲۸۰ میلیون مترمکعب از آب دریای عمان به صورت سالانه برای تأمین آب مورد نیاز بخش شرب و صنعت سه استان سیستان و بلوچستان (۱۰۰ میلیون متر مکعب)، خراسان جنوبی (۶۰ میلیون متر مکعب) و خراسان رضوی (۱۲۰ میلیون متر مکعب) در زمره طولانی‌ترین پروژه‌های انتقال آب جهان قرار می‌گیرد. هزینه اجرای شیرین سازی آب و انتقال آن از دریای عمان، ۶/۸ میلیارد یورو برآورد شده است و نیاز به ۲۷۰۰ گیگاوات ساعت در سال برق دارد (Farzandi, 2024). در خصوص این طرح نظرات مختلفی ابراز شده است.

Farzandi (2024) این طرح را در مقایسه با چشم‌انداز کمبود آب چندان موثر نمی‌داند. وی اذعان می‌دارد، که با توجه کاهش بارندگی‌ها و تغییر اقلیم، حتی با فرض ثابت بودن مصارف، تا افق زمانی۱۴۲۰ میزان کمبود آب در دشت مشهد به ۹۴۶ میلیون متر مکعب خواهد رسید؛ در حالیکه این طرح تنها ۱۲۰ میلیون متر مکعب در سال ظرفیت انتقال دارد. همچنین، در این تحقیق به پیامدهای مخرب محیطزیستی اینگونه طرح‌ها اشاره گردید. علی‌رغم نقدهایی که به طرح‌های انتقال صورت گرفته شده، کمتر این گزینه با مدیریت بخش کشاورزی منطقه هدف مورد مقایسه واقع شده است. اینکه تا چه میزان در منطقه مقصد ظرفیت دارد که بتواند جایگزین آب انتقالی باشد. البته، این موضوع بطور کیفی توسط سایر محققین نیز مطرح شده، (Zahrai, 2018; Farzandi, 2024) ولی عمدتاً بطور کیفی بوده و کمتر در قالب یک روش‌شناسی کمی مورد بررسی قرار گرفته است. به منظور فوق، استفاده از مفهوم ردپای آب (Hoekstra, 2004) در برآورد حجم آب مصرفی محصولات کشاورزی و پتانسیلی که به عنوان

جایگزین آب انتقالی دارد، راه‌گشا است. این مفهوم، حجم آب مورد استفاده برای تولید یک محصول را نشان می‌دهد، که تمامی مصرف آب را در طول زنجیره تولید آن را شامل می‌شود. ردپای آب شامل سه جزء آب سبز، آبی و خاکستری است. آب باران پس از نفوذ در خاک و قبل از آنکه به منطقه اشباع برسد آب سبز را تشکیل می‌دهد، در حالیکه آب‌های زیرزمینی (منطقه اشباع) و همچنین رواناب حاصل از این بارندگی که به رودخانه‌ها و غیره می‌پیوندد، آب آبی را شامل می‌شوند (Rockstorm & Falkenmark, 2006). در برآورد آن نیز استفاده از مدل‌های شبیه‌ساز یکی از روش‌شناسی‌های ممکن است. به عنوان نمونه، Jeyrani et al.(2021) با استفاده از مدل SWAT[1] و Delavar et al. (2020) در ترکیب این مدل با حسابداری آب +WA، میزان مصرف آب سبز و آبی محصولات کشاورزی را در حوضه‌های طشک-بختگان برآورد نمودند. به همین ترتیب، Mialik (2024) با استفاده از مدل SWAT و استفاده از داده‌های تاریخی، به محاسبه ردپای آب آبی و سبز ۱۷۵ محصول کشاورزی در سطح جهان برای دوره ۲۰۱۹-۱۹۹۹ پرداخت و با استفاده از این مفهوم، میزان مصرف آب بخش کشاورزی را در شرایط حاضر مناطق و تحت تأثیر تغییر اقلیم بررسی نمود. برای ایران نیز Hoekstra & Mekonnen (2012) و Kardashian & Hoekstra (2017) مقادیر آب سبز و آبی محصولات کشاورزی را به ترتیب منطقه‌ای و استانی با استفاده از روش Hoekstra et al.(2011) در سطح کشور برآورد نمودند. بدیهی است برای مطالعاتی با اهداف کلان این مقاله، گزینه دوم که قبلا در حد لازم اعتبارسنجی هم شده، در اولویت است. رویکردی که توسط Mirzaei et al. (2022) نیز دنبال شده است. پژوهش حاضر، با هدف ارزیابی کمی و مقایسه ظرفیت مدیریت مصرف آب محصولات غیر راهبردی شهرستان‌های واقع در حوضه هریرود ایران برای جایگزینی با حجم طرح انتقال آب از دریای عمان به این منطقه صورت گرفته است. محصولات راهبردی طبق اسناد میان‌دستی کشور، مانند قوانین برنامه‌های توسعه ۵ ساله معمولا شامل: گندم، دانه‌های روغنی، برنج هستند که در این تحقیق مد نظر نبوده‌اند و تنها محصولات جالیزی به عنوان محصولات غیر راهبردی که آسیبی به امنیت غذایی منطقه وار نمی‌کند، مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. در مقایسه‌ای که از منظر حجم آب صورت می‌گیرد؛ به مصرف انرژی و برخی شاخص‌های اقتصادی براساس قیمت‌های جهانی نیز توجه خواهد شد.

۲- داده‌ها و روش‌شناسی

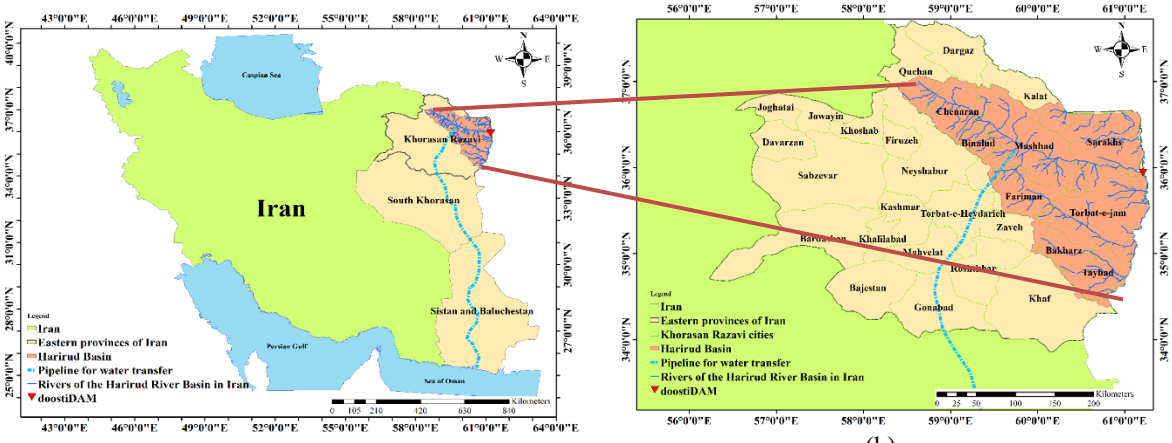
۲-۱- محدوده مطالعاتی

محدوده مطالعاتی این پژوهش شامل مسیر پیشنهادی انتقال آب از سواحل دریای عمان (منطقه چابهار) به شهر مشهد، مرکز استان خراسان رضوی است. این مسیر با طول ۱۳۴۲ کیلومتر، از سه استان شرقی کشور شامل سیستان و بلوچستان، خراسان جنوبی و خراسان رضوی عبور می‌کند. این پروژه، از مناطق مستعد خشکسالی و آسیب‌پذیر از نظر منابع طبیعی می‌گذرد (Teymouri, 2019). استان خراسان رضوی به عنوان مقصد نهایی طرح انتقال آب، در شمال‌شرق ایران واقع شده و با کشورهای ترکمنستان و افغانستان در حوضه هریرود دارای مرز مشترک است. ویژگی اصلی این محدوده، واقع شدن در مناطق خشک و نیمه‌خشک با بارندگی سالانه کم، وابستگی شدید به منابع آب زیرزمینی و مواجهه با بحران‌های متعدد در زمینه تأمین آب شرب و کشاورزی است (Palau, 2011).

محدوده مورد مطالعه در حوضه هریرود (شکل۱- ب) واقع شده است، که شهرستان‌های مشهد، تربت‌جام، فریمان، چناران، قوچان، سرخس، تایباد، باخرز و بینالود را در خود جای داده است (در مقاله به این منطقه، دشت بزرگ مشهد نیز اطلاق شده است). وسعت این بخش حدود ۴۴/۱۶۵ هزارکیلومتر مربع و ۴۰ درصد از مساحت کل استان خراسان رضوی است. همچنین بر اساس آخرین اطلاعات و آمار مرکز سرشماری، جمعیت در بخش ایرانی حوضه آبریز هریرود ۳۸۴۷۰۰۰ نفر گزارش شده است. این درحالی است که جمعیت کل استان خراسان رضوی ۶۹۰۰۰۰۰ نفر است. لذا حوضه هریرود حدود ۵۶ درصد از جمعیت کل استان خراسان رضوی را در خود جای داده است (Naghavi &Baniasadi, 2023).

باتوجه به افزایش روزافزون جمعیت،گسترش فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی، و افزایش نیاز آبی به‌ویژه در حوزه شرب، این منطقه به یکی از مناطق استراتژیک کشور در حوزه مدیریت منابع آب تبدیل شده است. در این منطقه بیش از ۸۰ درصد منابع آبی از آب‌های زیرزمینی تأمین می‌شود (Toosab, 2013)؛ که به دلیل برداشت بی‌رویه خصوصاً در بخش کشاورزی، طی سال‌های اخیر، سفره‌های آب زیرزمینی با افت تراز، افزایش شوری و کاهش کیفیت مواجه شده‌اند. در این منطقه مطابق سالنامه‌های آماری جهاد کشاورزی، حدودا ۲۶۰ هزار هکتار از اراضی تحت کشت محصولات آبی زراعی و حدودا ۶۰ هزار هکتار به محصولات باغی اختصاص داده شده است؛ همچنین، سهم حوضه هریرود در خصوص سطح زیر کشت محصولات زراعی حدودا ۴۵ درصد از کل اراضی آبی استان خراسان رضوی است. محصولات زراعی غالب در منطقه، شامل محصولات جالیزی، غلات و سبزیجات بوده و بیشترین سطح زیرکشت در محصولات باغی به انگور، سیب، زعفران و پسته اختصاص پیدا می‌کند. با توجه به برآوردهای صورت گرفته به صورت میانگین بلند

مدت از سال ۱۴۰۰-۱۳۷۸ میزان آب تجدید پذیر منطقه ۱/۶ میلیارد متر مکعب و کسری مخزن منطقه صرفا با در نظر گرفتن مصرف آب آبی بخش کشاورزی ۲۷۴ میلیون متر مکعب است. با توجه به برآوردهای صورت گرفته، کسری مخزن حوضه را با لحاظ میزان مصرف در حوزه‌های شرب، صنعت و خدمات علاوه بر مصرف کشاورزی ۳۹۴ میلیون متر مکعب گزارش کرده‌اند (Toosab, 2016).



(a) (b)

Fig. 1- a) Proposed pipe line from the Sea of Oman to the study area b) Study area

شکل ۱- الف) مسیر خط انتقال آب از دریای عمان به محدوده مطالعاتی ب) محدوده مطالعاتی

۲-۲- چارچوب تحلیلی مطالعه

همانطورکه بیان شد، هدف این تحقیق ارزیابی و مقایسه هزینه‌های مدیریت اراضی کشاورزی در مقابل طرح‌های انتقال است، بدین منظور چارچوب شکل (۲) به عنوان مدل مفهومی تحقیق تعریف شده است. براین اساس، با استفاده از داده‌های تولید محصولات کشاورزی و ردپای آب هر یک از محصولات کشاورزی، مصارف آبی تولیدات این بخش برآورد می‌شود. در بخش دوم بر اساس اطلاعات میزان تقاضا، تولید و تلفات محصولات در زنجیره تأمین، میزان مازاد بر تقاضا و کمبود آن در منطقه برآورد می‌شود، که بر اساس آن میزان آب آبیِ مجازی انتقال یافته حوضه تعیین می‌شود. در خاتمه نیز ارزش اقتصادی تولید محصولات در ازای آب آبی مصرفی، میزان مصرف انرژی جهت پمپاژ آب از آبخوان، با هزینه و انرژی مصرفی طرح انتقال آب از دریای عمان مورد مقایسه قرار می‌گیرد.

۲-۳- داده‌ها و اطلاعات کشاورزی

متناسب با روش‌شناسی این تحقیق، به جهت برآورد ردپای آب، آمار و اطلاعات مربوط به بخش کشاورزی در خصوص دسته محصولات زراعی و باغی به تفکیک شهرستان‌های واقع در دشت بزرگ مشهد استخراج شده است. مهمترین این محصولات شامل: گندم، جو، هندوانه، خربزه، زعفران، سیب، انگور، گوجه فرنگی، پسته، زردآلو و چغندر قند هستند، که بخشی از آن‌ها نیز به مناطق دیگر صادر می‌شوند. شرح اطلاعات مربوط مانند: میزان تولید، سطح زیر کشت، نیاز آبی محصولات، درصد تلفات زنجیره تأمین، سرانه مصرف و همچنین اطلاعات مربوط به بخش‌های اقتصادی و انرژی از مراجع معتبر تهیه و در جدول (۱) ارائه شده است.

۲-۴- مشخصات خط انتقال آب عمان

شکل (۱- الف) نیز مسیر خط لوله انتقال آب از دریای عمان به منطقه مطالعاتی را نشان می‌دهد. طول خط ۱۳۴۲ کیلومتر است، که از استان‌های سیستان و بلوچستان و خراسان جنوبی عبور می‌کند. جدول (۲) مشخصات این خط شامل: طول، ظرفیت و حجم کل آب انتقالی و حجم آب انتقالی به استان خراسان رضوی به صورت سالانه، هزینه پروژه، قیمت تمام شده هر متر مکعب آب و میزان برق مورد نیاز آن را ارائه می‌دهد. شایان ذکر است، اینکه در رقم ۳/۲ دلار به ازای هر متر مکعب، هزینه‌هایی مانند: سرمایه گزاری اولیه، استهلاک، بهره بانکی و نرخ بازده لحاظ شده یا خیر، در گزارشات (Farzandi, 2024; Toosab, 2019) به صراحت اشاره نشده؛ بدیهی است چنانچه موارد مذکور لحاظ نشده باشد، این مقدار به مراتب بیشتر خواهد شد و گزینه پیشنهادی این مقاله را برتری خواهد داد.

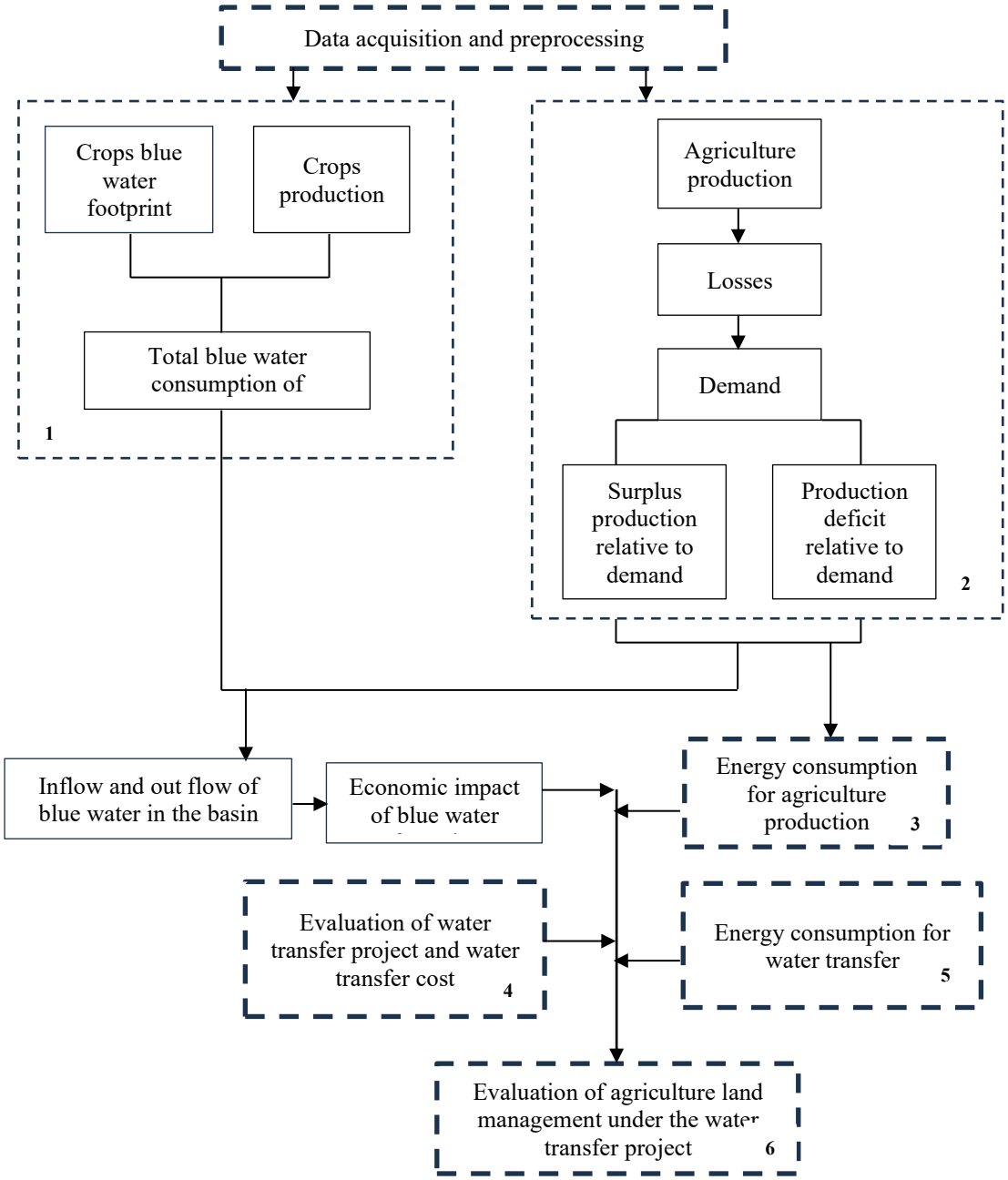


Fig. 2- Conceptual diagram of the analytical framework

شکل ۲- نمودار مفهومی چارچوب تحلیلی

۲-۵- گروه‌بندی محصولات و تعیین سطح زیر کشت

جهت ارزیابی ردپای آب محصولات کشاورزی در شهرستان‌های واقع در حوضه هریرود (دشت بزرگ مشهد)، الگوی کشت غالب محصولات اولیه زراعی و باغی با توجه به اطلاعات سازمان جهاد کشارزی، در ۹ گروه شامل: غلات (گندم، برنج، جو)، سبزیجات (گوجه،سیب‌زمینی، پیاز، خیار)، جالیزی (هندوانه، خربزه، طالبی) گیاهان روغنی، حبوبات،گیاهان قندی (چغندرقند) نباتات علوفه‌ای (ذرت علوفه‌ای، یونجه)، پنبه ومیوه‌های باغی (سیب، انگور، زردآلو، آلو، زعفران، پسته) دسته‌بندی شدند. سپس میزان سطح زیر کشت و مقدار تولید و تلفات هر یک از محصولات به تفکیک هر شهرستان بر اساس آمار نامه‌های سالانه جهاد کشاورزی استخراج و مورد استفاده قرار گرفته است. جدول (۳) میزان تولید، سطح زیر کشت و درصد تلفات زنجیره تأمین دسته محصولات نامبرده به صورت

میانگین سالانه برای بازه زمانی سال ۱۴۰۰-۱۳۷۸ را نشان می‌دهد. دلیل استفاده از میانگین پایه آماری، کاهش اثر نوسانات شدید سالانه ناشی از شرایط اقلیمی، تغییرات سیاستی یا محدودیت‌های آماری در برخی سال‌ها بوده است. در این مطالعه، درصد تلفات زنجیره تأمین برای هر گروه محصول، با استناد به آمارنامه‌های (FAO STAT, 2020) استخراج شده است. همچنین، جهت ارزیابی صحت مقادیر تلفات، بازه تغییرات اعداد با پژوهش (Mirzaei et al., 2022) و همچنین مقاله (Keshvarz et al., 2017) ارزیابی و مقایسه شده است.

Table1- Description of data and information used in this study
جدول ۱- شرح داده‌ها و اطلاعات مورد استفاده در مطالعه

Category	Data	Reference	Description
Agricultural data	Cultivated area	Ministry of agriculture	The total cultivated area of each crop in all cities from 2000 to 2021
	Dominate cropping pattern	Ministry of agriculture	Temporal resolution:2000-2021
	Crop water requirement	NETWAT application	Based on the agriculture crop calendar
	Demand, loss, and processing Rate of agricultural products	FAO STAT	From 2000 to 2021 Categorize by each product
	Per capita consumption of products		From 2000 to 2021 Categorize by each product
Economic data	Base Price for trade	FAO STAT	Temporal resolution:2000-2021
Population	Population of the region	Statistical Center of Iran	Temporal resolution:2000-2021
Energy consumption in agricultural sector	Well water yield, well height, annual pump operating hours	IWRMC,2021; Khorasan Razavi RWA,2021	Separately for both deep and semi-deep well types

Table 2- Water transmission pipeline information (Toosab, 2019; Farzandi, 2024)
جدول ۲- مشخصات و اطلاعات پروژه خط انتقال آب (Toosab, 2019; Farzandi, 2024)

Water transmission pipeline information	
Length of the transmission line	1342 km
Total Delivery capacity and volume of water supplied	280MCM / yr
Delivery capacity and volume of water supplied To Khorasan Razavi	120 MCM/yr
Total project cost	6.8 billion euros
Total Power requirement of the project	2700 GWh
Cost per cubic meter of water	3.2 $/m^3

Table 3- Data on production, cultivated area and losses rate in the agricultural supply chain
جدول ۳- اطلاعات تولید، سطح زیر کشت و درصد تلفات زنجیره تأمین محصولات کشاورزی

Production (ton*1000)								
Cereals	Vegetable	Cucurbit	Sugar plants	Legumes	Forage crop	Cotton	Oil crops	Orchard fruits
493.5	610	768	253	13	556	19	457	473
Cultivated area (ha)								
174712	15017.4	30589.4	6507.21	5534.7	23992.6	7536.5	11884.4	53482.3
Losses rate (%)								
10	15	10	6	4	10	8	9	15

۳- محاسبه ردپای آب محصولات کشاورزی

در چارچوب پیشنهادی، ردپای آب آبی هر گروه محصول کشاورزی براساس داده‌های تولید محصولات زراعی و باغی [C] WF blue و مطابق با رابطه (۱) برآورد می‌شود (Hoekstra et al., 2011).

$$\text{WF blue} = \frac{\text{CWU blue}}{Y} \quad (۱)$$

که در آن، CWU blue مقدار مصرف ردپای آب آبی گیاه در منطقه (مترمکعب بر هکتار) و Y بازده محصول (کیلوگرم بر هکتار) است. مقدار مصرف ردپای آب آبی گیاه نیز مطابق زیر تعیین می‌شود (Lue et al., 2016):

$$\text{CWU blue} = 10 * \sum_{d=1}^{T} \text{ET blue} \quad (۲)$$

در رابطه (۲)، ضریب ۱۰، تبخیر و تعرق را از میلی متر (ارتفاع) به حجم آب در واحد زمین (مترمکعب بر کیلوگرم) تبدیل می‌کند، T طول مدت رشد گیاه در دوره رشد (d) روز است. ET blue نیز نشان‌دهنده تبخیر و تعرق آب آبی که به شرح رابطه (۳) است:

$$\text{ET blue} = \max(0, \text{ETc} - \text{Peff}) \quad (۳)$$

در رابطه بالا Peff نشان دهنده مقدار بارش مؤثر است. ردپای آب سبز نیز به شرح رابطه (۴) محاسبه می‌شود:

$$\text{ET green} = \min(\text{ETc}, \text{Peff}) \quad (۴)$$

در نهایت جهت محاسبه ردپای آب آبیِ (WF blue) و ردپای آب سبز تولیدات محصولات کشاورزی در منطقه مورد مطالعه براساس داده‌های تولید محصولات زراعی و باغی و مطابق با رابطه (۵) برآورد می‌گردد. در این رابطه BWF[A] ردپای آب محصول A (m^3/ton) و P[A] بیانگر میزان تولید در کشت‌های آبی است.

$$\text{WF blue}[A] = \Sigma\, \text{BWF}[A] * \text{P}[A] \quad (۵)$$

لازم به ذکر است با محاسبه تبخیر و تعرق آب سبز مطابق رابطه (۴)، ردپای آب سبز تولید محصولات نیز مطابق روش محاسبه ردپای آب آبی تولید، مشابه (رابطه ۵) برآورد می‌شود.

۳-۱- تعیین مقدار سرانه، تقاضا و تلفات محصولات کشاورزی

مقدار سرانه مصرف هر محصول (کیلوگرم به ازای هر نفر) بیانگر میزان مصرف سالانه هر فرد از آن است. در این تحقیق، مقدار سرانه مصرف کشور از آمارنامه‌ها و ترازنامه‌های غذایی فائو (FAO STAT, 2017) احصاء شد. برای تقاضای محصولات، علاوه بر اصل مقدار آن، تلفات مربوط نیز لحاظ شد، که مجدداً از سالنامه‌های آماری فائو برای کشور ایران استفاده شده (FAO STAT, 2020) و مقادیر مربوط در جدول (۳) قابل ملاحظه هستند. درخصوص برآورد تقاضای محصولات کشاورزی با توجه به مطالعه Hoekstra & Mekonnen (2012) با ضرب مقدار سرانه مصرف هر محصول به ازای هر نفر در جمعیت منطقه استفاده شده است. در ادامه با توجه به آمار تولیدات و تلفات هر یک از محصولات و میزان تقاضای منطقه، مازاد بر تقاضا و قابل صادرات به خارج از محدوده مطالعاتی برآورد شدند. نهایتاً با لحاظ مقدار ردپای آب آبی جهت تولید و تناژ صادراتی هر یک از محصولات، میزان آب آبی خارج شده مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

۳-۲- تعیین ارزش اقتصادی محصولات

به جهت تحلیل جنبه اقتصادی آب آبی صادر شده از حوضه در قالب محصولات کشاورزی، قیمت پایه جهانی محصولات بر مبنای گزارش‌های FAOSTAT مبنا قرار داده شد. همانطور که پیش‌تر اشاره شد، استفاده از قیمت پایه جهانی به جای قیمت‌های داخلی

به دلیل امکان مقایسه پذیری بهتر و یکسان سازی مبنای ارزش گذاری و مقایسه بهتر با طرح انتقال آب انجام گرفته است.

۳-۳- محاسبه میزان انرژی مصرفی جهت پمپاژ آب از چاه

در این قسمت جهت برآورد میزان انرژی و برق مصرفی برای پمپاژ آب از آبخوان از رابطه (۶ و ۷) استفاده شده است.

$$P = (\gamma \times Q \times h)/(1000 \times \mu) \quad (۶)$$

$$E = (P \times T) \times N \quad (۷)$$

که در آن p قدرت پمپ (کیلووات)، ۷ وزن مخصوص آب (۹۸۱۰ نیوتون بر مترمکعب)، Q دبی پمپاژ (لیتر بر ثانیه)، h هدپمپاژ (متر)، μ بازده الکترو پمپ (۶۶ درصد (Firouzabadi et al. (2022))، E انرژی مصرفی (کیلووات ساعت)، T ساعت کارکرد سالانه پمپ و N تعداد چاه است. در این بخش با در دست داشتن آمار چاه های عمیق و نیمه عمیق، محاسبات به صورت مجزا انجام شده است. در ادامه نیز اطلاعات چاه‌های عمیق و نیمه عمیق که مبنای محاسبات فوق بوده‌اند، به شرح جدول (۴) ارائه شده است.

Table 4- Characteristics of deep and semi-deep wells in the study area (IWRMC,2021; Khorasan Razavi RWA, 2021)

جدول ۴- مشخصات چاه های عمیق و نیمه عمیق در محدوده مطالعاتی

	Deep well	Semi-deep well
Well operation (hour per yr)	2790	3100
Average well depth (m)	156	60
Average well yield (lit/s)	16.83	3.0
Number of wells (authorized and unauthorized wells)	5946	5680

همچنین، در ادامه جهت ارزیابی میزان سهم برق مصرفی هر یک از دسته محصولات جهت پمپاژ آب از آبخوان به طور مجزا از رابطه (۸) استفاده شده است.

$$Eg = Et \times (\frac{Vg}{Vt}) \times 0.8 \quad (۸)$$

که در رابطه فوق Eg انرژی مصرف شده برای برداشت آب زیرزمینی مربوط به هر یک از دسته محصولات انتخابی (گیگاوات ساعت)، Et انرژی کل مصرف شده برای برداشت آب زیرزمینی در کل بخش کشاورزی (گیگاوات ساعت)، Vg حجم آب زیرزمینی مصرف شده برای هر یک از دسته محصولات انتخابی صادراتی (مترمکعب) و Vt حجم کل آب زیرزمینی مصرف شده در بخش کشاورزی (مترمکعب) است. لازم به ذکر است عدد ۰/۸ لحاظ شده در فرمول بیانگر برداشت ۸۰ درصدی از سفره‌های آب زیرزمینی است (Khorasan Razavi RWA, 2021).

۴- نتایج

۴-۱- میزان تولید و تقاضای هریک از محصولات کشاورزی

شکل (۳) مقادیر تقاضا و تولید محصولات کشاورزی را در منطقه مطالعاتی نشان می‌دهد. مقایسه آن‌ها اختلاف قابل‌ملاحظه بین عرضه و تقاضای برخی محصولات را نشان می‌دهد. در این میان، محصولات جالیزی با تولید ۷۶۸/۶ و تقاضای ۱۸۹/۲۲ هزارتن در حوضه، بیشترین اختلاف (۵۷۹/۴ هزارتن) را در منطقه دارد. در همین راستا چغندر قند، ذرت، سیب، انگور، پسته و زعفران نیز از جمله محصولاتی هستند، که تولید آن‌ها بیش از میزان تقاضا گزارش شده است. برای مثال، سیب با تولید ۱۵۳/۳ و تقاضای ۸۹ هزار تن محصولاتی هستند که مازاد بر تقاضای منطقه تولید شده و به خارج از مرز منطقه صادر می‌شوند. قطعا این صادرات ارزش افزوده خاص خود را دارند که براساس منطق این تحقیق، این ارزش افزوده در مقابل هزینه‌های انتقال آب از عمان به این منطقه مورد مقایسه قرار خواهد گرفت.

۴-۲- ردپای آب آبی تولید محصولات کشاورزی

هرچند تمرکز این تحقیق بر آب آبی است، ولی برای ارائه دقیق‌تر ارقام مصرف، هردوی ردپای آب آبی و سبز مربوط به محصولات کشاورزی در دشت بزرگ مشهد برآورد شد (جدول ۵). مطابق جدول، گندم و جو به عنوان دو محصول اصلی در گروه غلات، به‌ترتیب دارای ردپای آب آبی تولیدی، معادل ۳۵۵/۷ و ۱۶۷/۱۹ میلیون مترمکعب در سال هستند. در دسته محصولات جالیزی هندوانه و خربزه به ترتیب با مقدار مصرف آب آبی ۲۰۷ و ۲۲۸ میلیون مترمکعب در سال نیز سهم بالایی در استفاده از منابع آب آبی منطقه را دارند. نهایتاً، برای تولید سالانه محصولات زراعی مجموعاً ۱/۴۷۱ میلیاردمترمکعب آب آبی و ۴۹۷ میلیون‌مترمکعب آب سبز استفاده می‌شود. این مقدار برای محصولات باغی به ترتیب ۲۳۹/۲ و ۹۹/۴میلیون متر مکعب است.

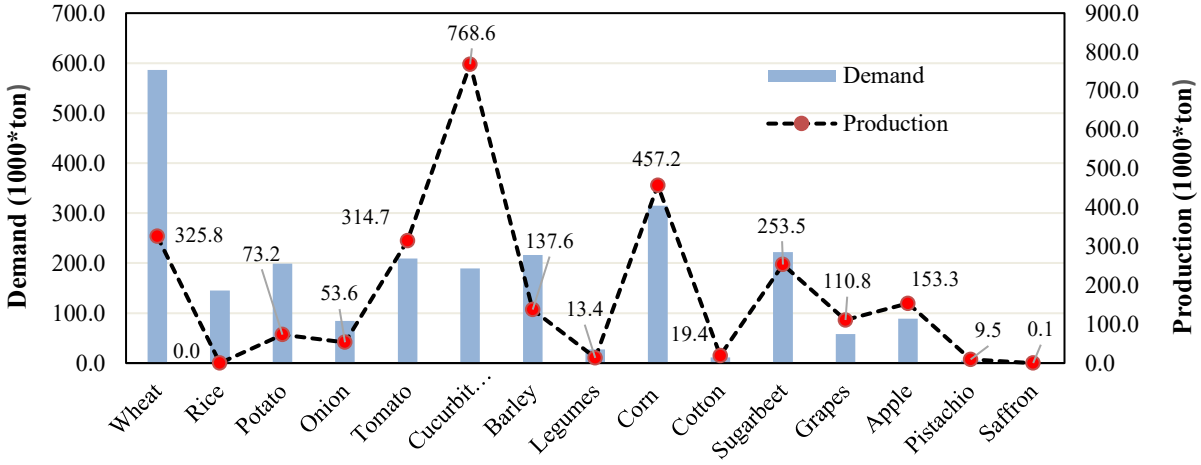


Fig. 3- Production and demand levels for each crop category

شکل ۳- میزان تولید و تقاضای برای هر یک از دسته محصولات

در ادامه جهت کنترل مقادیر ردپای آب آبی و سبز محاسبه شده در جدول (۵)، اعداد برآورد شده با مقادیر مطالعات Kardashian & Hoekstra (2017) مقایسه و کنترل صورت گرفته است. در مطالعه مذکور، ردپای آب ۲۶ محصول کشاورزی در ایران برای دو سال ۱۹۹۰ و ۲۰۱۰ برای اقلیم‌های متفاوت کشور شامل: بسیار خشک، خشک، نیمه خشک، مرطوب و بسیار مرطوب، مقایسه تطبیقی صورت گرفته است. نتایج نشان داد، که میزان آب آبی برآوردشده در این تحقیق در محدوده مقادیر گزارش‌شده در مطالعات مزبور قرار دارد و با انطباق قابل‌قبولی مواجه است. همچنین، در ادامه مقادیر ردپای آب آبی و سبز محصولات با مقاله Mirzaei et al. (2022) که ردپای آب آبی محصولات را در استان خراسان رضوی و سایر استان‌ها برآورد کرده بودند، مقایسه شده است. در برخی از محصولات اختلاف ۵ تا ۱۰ درصدی وجود داشت که با توجه به سال آماری متفاوت و کشت در دشت‌های متفاوت استان قابل توجیه است.

Table 5- Blue and green water footprint of each production Crops

جدول ۵- ردپای آب آبی و سبز تولیدی هر یک از محصولات کشاورزی

Category of crops	CROPS	Blue water footprint of production (MCM)	Green water footprint of production (MCM)	Cultivated area (ha*1000)
Cereals	wheat	355.7	294	151
	Barley	167.1	55.7	53.7
Vegetable	Tomato	75.9	18.9	9.65
	Potato	19.9	5.45	3.69
	Onion	9.57	1.83	1.48
	Cucumber	6.26	1.3	1.56
Cucurbit crops	Melon	228	12.9	25
	Water melon	207	15.6	6
Industrial crop	Cotton	54	4.16	7.5
Sugar crops	Sugar beet	56.4	8.9	6.5
Legumes	Legumes	122.5	40.8	7.3
Forage crops	Alfalfa	102.4	15.7	12
	Corn	65.6	21.9	11
Horticulture products	Saffron	20.8	10.8	11
	Apple	90.7	30.3	7
	Pistachio	61.2	20.4	7.5
	Grapes	48	6.7	7
	Apricot	18.5	1.5	1.2

۴-۳- ردپای آب آبی محصولات براساس مازاد و کمبود تولید و ارزش اقتصادی آن‌ها

با توجه به آمار و اطلاعات موجود، بخشی از تولیدات کشاورزی استان به مناطق دیگر صادر می‌شود؛ که ارقام مربوط در شکل (۴) نشان داده شده است. در این بین، محصولات جالیزی، گوجه فرنگی و سیب بیشترین مقدار را دارند. شکل همچنین، میزان آب صادراتی مربوط و ارزش اقتصادی آن‌ها را براساس قیمت‌های جهانی نشان می‌دهد.

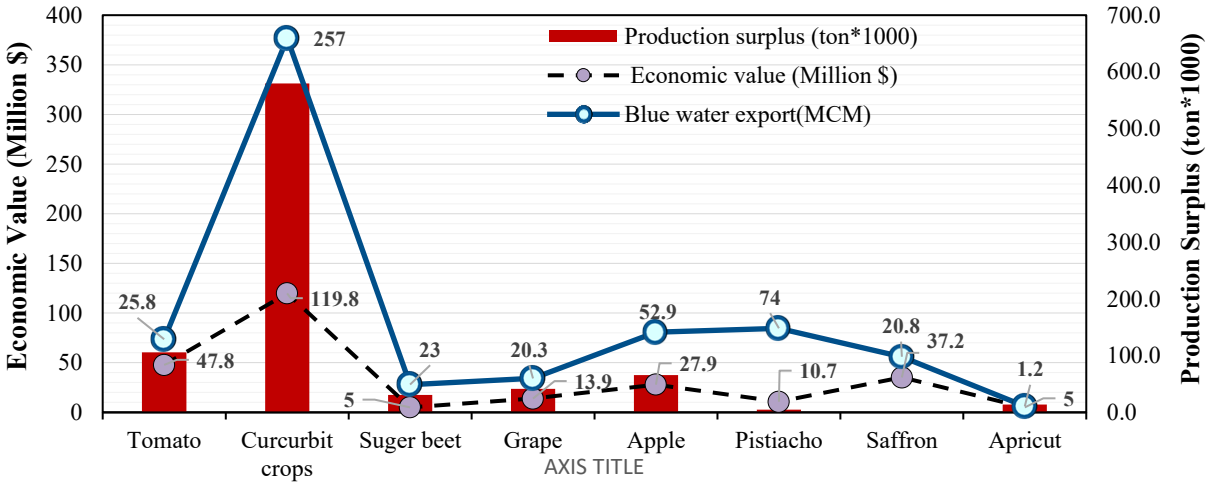


Fig. 4- Blue water footprint and economic value of exported crops

شکل ۴- ردپای آب آبی و ارزش اقتصادی محصولات صادراتی

قابل توجه است که ۵۴ درصد از منابع آبی صادراتی مربوط به محصولات جالیزی و سپس پسته با سهم ۱۵/۶ درصد است. جزئیات بیشتر در شکل (۵) قابل ملاحظه است.

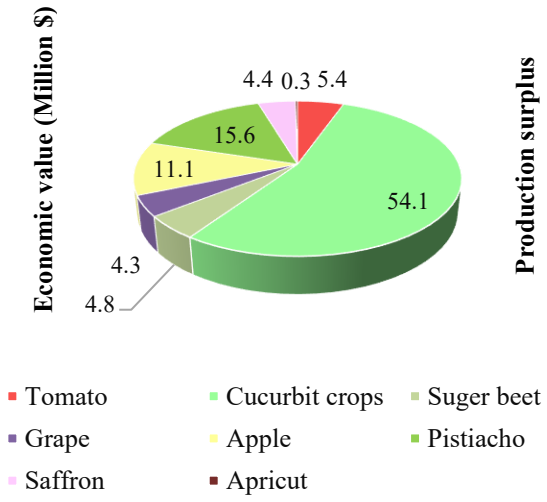


Fig. 5- Share of blue water footprint attributed to exported products

شکل ۵- سهم ردپای آب آبی منتسب به محصولات صادراتی

۴-۴- مقایسه آب صادراتی محصولات کشاورزی و آب وارداتی از دریای عمان

با توجه به شرحی که در بالا آمد، منطقه مطالعاتی با دو پدیده واردات و صادرات آب مواجه است. براساس اهداف اصلی تحقیق، این قسمت به ارزیابی و مقایسه صادرات و واردات آب از منظر حجم انتقال یافته و ارزش اقتصادی آن می‌پردازد. در شکل (۶) برخی از جزئیات مد نظر نشان داده شده است. همانطور که عنوان شد، بالاترین حجم صادرات آب آبی مربوط به محصولات جالیزی با مقدار ۲۵۷ MCM/yr است، که رقمی حدود ۲ برابر حجم آب انتقالی از دریای عمان است. لذا، ادامه بحث‌های این قسمت بیشتر براین نوع محصولات از منظر مقدار آب (مصرف و انتقال) و ارزش اقتصادی متمرکز می‌شود. بدین منظور، ابتدا ارزیابی‌ها براساس قیمت‌های جهانی محصولات کشاورزی طبق گزارش‌های فائو و سپس طبق قیمت‌های بازار عمده داخلی صورت می‌گیرد. طبق گزارشات فائو به طور متوسط قیمت هر تن محصولات جالیزی ۲۴۰ دلار است، که با لحاظ ۲۵۷ (MCM/yr) حجم مصرفی آب برای صادرات، بهره‌وری هرمترمکعب آن ۰/۴۷ دلار خواهد بود. همانطور که از شکل (۶) قابل مشاهده است، براساس ارقام جهانی، تنها زردآلو با مقدار ۴/۱۷ $/m^3 رقمی بالاتر از هزینه انتقال هر متر مکعب (۳/۲ $/m^3) به منطقه را دارد. اما، توجه شود که این مقدار

قیمت فروش است و هزینه‌های تولید را در بر نمی‌گیرد. لذا به جهت تعدیل، این مقدار ۵۰ درصد قیمت فروش درنظر گرفته شد، لازم به ذکر است، که معمولا درآمد خالص فروش یک محصول تابعی از هزینه‌های آن شامل: نیروی انسانی، ماشین آلات کشاورزی، منطقه تحت کشت و غیره است. بدین منظور مراجع مختلفی مورد بررسی قرار گرفت و درصد مذکور در بازه ۴۰ تا ۶۰ درصد برآورد شده بود، که رقم دست پائین آن است (Karimi&Jalini, 2017; FAOSTAT, 2020). براین اساس، بهره‌وری اقتصادی (ستون آبی) و بهره‌وری خالص اقتصادی محصولات (ستون قرمز)، پس از کسر ۵۰ درصد به عنوان هزینه در شکل (۶) آمده است. ملاحظه می‌شود که سود خالص هیچ یک از محصولات، توان رقابت با هزینه‌های آب انتقالی را ندارد و از طرفی حجم آب صادراتی تنها برای محصولات جالیزی ۲/۱۴ برابر آب انتقالی است. چنانچه در محاسبات فوق قیمت‌های داخلی جایگزین آن شود، کاهش مقادیر بهره‌وری اقتصادی (ستون سبز) و بهره‌وری خالص اقتصادی (ستون بنفش) تشدید می‌شود؛ که جزئیات مربوط در شکل (۶) قابل ملاحظه است. مانند قبل، برای این قسمت نیز قیمت‌های داخلی براساس دلار محاسبه شده است (دلار براساس قیمت آن در زمان تنظیم مقاله ۸۴۰/۰۰۰ ریال در نظر گرفته شد و قیمت محصولات نیز از سایت buskool استخراج شد. به عنوان مثال قیمت خربزه هر کیلو ۲۴۰/۰۰۰ ریال بود که معادل ۰/۳ دلار در محاسبات وارد شد. همانگونه که از شکل (۶) قابل ملاحظه است، در این‌صورت دیگر حتی زردآلو هم توان رقابت را با قیمت آب انتقالی نخواهد داشت. این مقایسه از آن منظر است، که می‌تواند نشان دهد، گزینه انتقال کاربری آب کشاورزی به اهدافی که برای انتقال آب عمان تعریف شده، کاملاً قابل بررسی و توجیه‌پذیر است. از طرفی محدود شدن این مقاله به محصولات جالیزی با این هدف بوده که تأثیر معنی‌داری بر امنیت غذایی منطقه نداشته باشد.

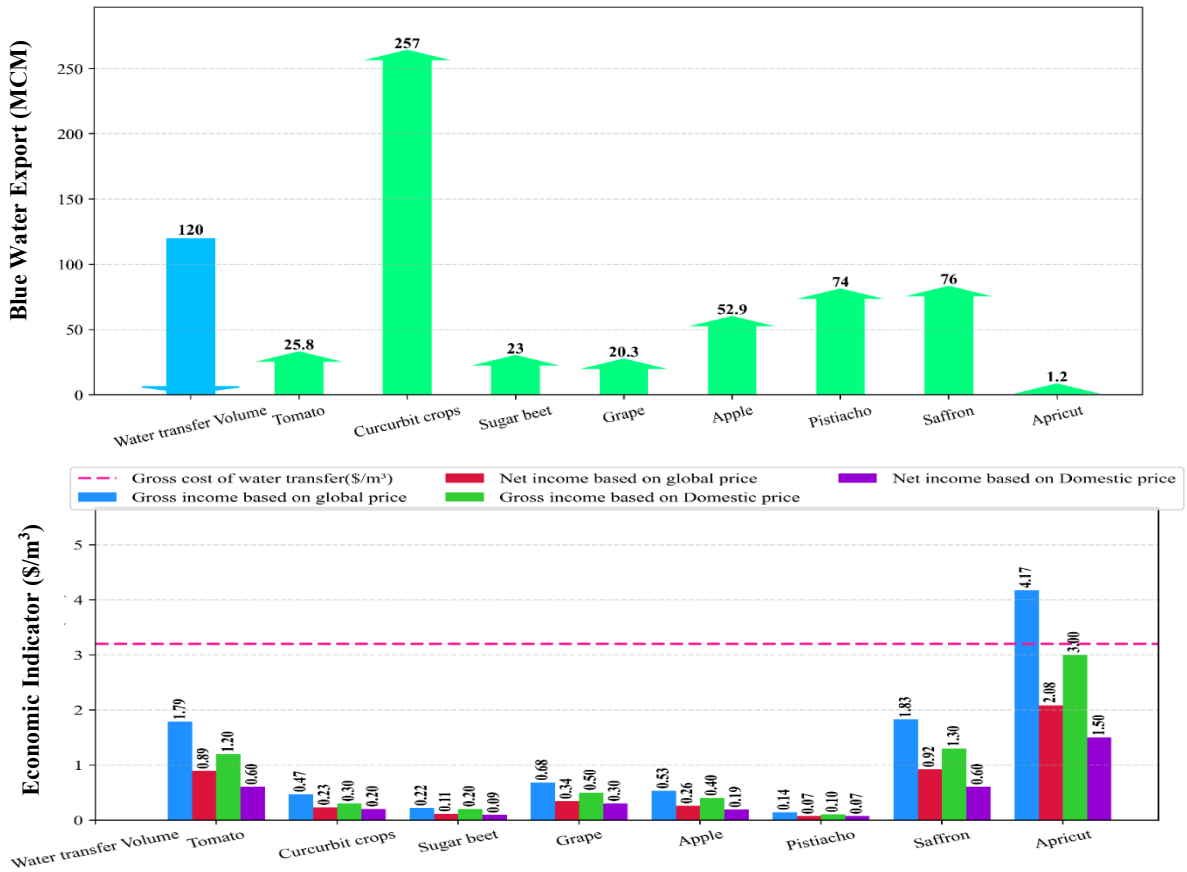


Fig. 6- The cost and volume of water transferred from the Sea of Oman compared with the income from exported products based on global and domestic prices

شکل ۶- مقایسه هزینه و حجم آب انتقالی از عمان با هزینه و حجم ردپای آب آبی صادراتی بر اساس قیمت پایه جهانی و داخلی

۴-۵- مقدار انرژی مصرفی پمپاژ آب از آبخوان در مقایسه با انرژی مصرفی پروژه انتقال آب

یکی از چالش‌های انتقال آب عمان، میزان مصرف انرژی و زیرساخت مورد نیاز آن است. در این خصوص، مقایسه‌ای بین مصرف انرژی برق برای پمپاژه آب برای آبیاری محصولات کشاورزی و طرح انتقال صورت گرفت. همانطور که قبلاً اشاره شد، تقاضای انرژی این طرح (۲۷۰۰GWh) پیش‌بینی شده است (Toosab, 2019). بدین منظور، هزینه مصرف برق پروژه انتقال آب عمان به مشهد با درنظر گرفتن حداقل قیمت پایه جهانی به ازای هر مگاوات برق معادل ۳۰ دلار (Foruzan, 2023) درنظر گرفته شد، که هزینه‌ای معادل ۸۱ میلیون دلار در هر سال برآورد می‌شود. محاسبه مشابهی نیز برای برآورد مصرف انرژی محصولات کشاورزی و جالیزی صورت گرفت که در ادامه تشریح می‌شوند.

۴-۵-۱- برآورد مصرف برق چاه‌های کشاورزی منطقه

در این بخش، هدف بررسی میزان انرژی الکتریکی مصرف‌شده برای استخراج آب زیرزمینی در بخش کشاورزی محدوده مطالعاتی و مقایسه آن با انرژی موردنیاز پروژه انتقال آب از دریای عمان است. در همین راستا، ابتدا به استناد گزارش بیلان منابع و مصارف آب منطقه‌ای (Khorasan Razavi RWA, 2021)، تعداد چاه‌های عمیق و نیمه عمیق منطقه (جمع مجاز و غیر مجاز) ۱۱۶۲۶ حلقه اعلام شده؛ که مشخصات آن‌ها در جدول (۴) آمده است. عمق متوسط چاه‌های مذکور به ترتیب ۱۵۶ و ۶۵ متر و ساعت کارکرد روزانه آن‌ها به طور میانگین ۲۷۹۰ و ۳۱۰۰ ساعت در سال است (IWRMC, 2016).

در نهایت با استفاده از این اطلاعات و روابط (۶) و (۷)، مصرف برق مجموع چاه‌های منطقه از نوع عمیق و نیمه عمیق، به ترتیب GWh ۶۴۵ و ۵۰GWh و مجموعاً GWh ۶۹۵ به صورت سالیانه برآورد گردید. تأیید این نتیجه‌گیری، تحقیق Safaei (2020) است؛ که مصرف برق بخش کشاورزی را در استان خراسان رضوی گزارش کرده است. این درحالی است که اراضی کشاورزی منطقه مطالعاتی این تحقیق حدود ۶۰ درصد کل اراضی کشاورزی استان را دربر می‌گیرد. لذا، مانند قبل GWh ۶۹۵ بیش برآورد و در جهت توجیه طرح انتقال عمان خواهد بود. باتوجه به تأکید تحقیق بر محصولات جالیزی، میزان مصرف برق آن‌ها براساس رابطه (۸) و برمبنای مصرف کل آب آبی این محصولات و بخش مازاد بر نیاز داخلی منطقه مطالعاتی نسبت به کل آب آبی مصرفی محصولات کشاورزی به ترتیب GWh ۱۶۸ و GWh ۹۷ برآورد می‌شود. نتایج این بخش در شکل (۷) قابل مشاهده هستند. قابل ملاحظه است، که ۱۲۰ میلیون مترمکعب آب وارداتی از طرح عمان GWh ۲۷۰۰ و انتقال آب آبی محصولات جالیزی ۲۵۷ میلیون مترمکعب و GWh ۹۷مصرف برق را همراه دارند.

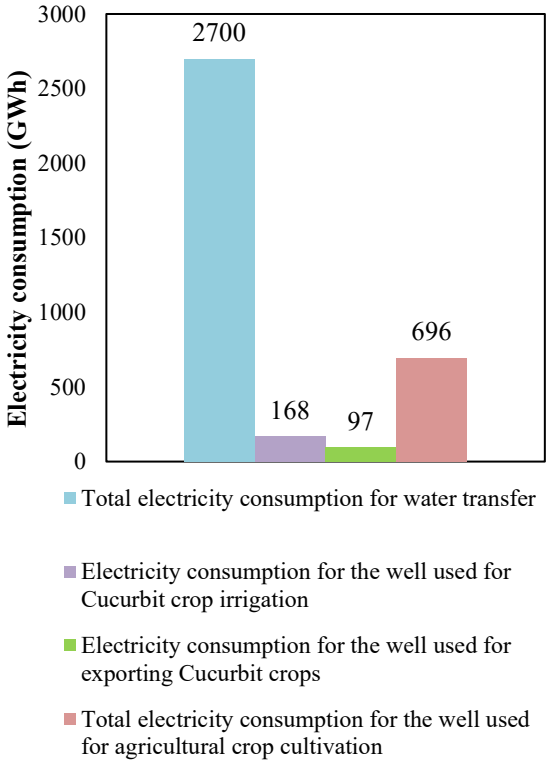


Fig. 7- Comprasion of electricity consumption for the water transfer project and for water well pumping

شکل ۷- مقایسه میزان برق مصرفی پروژه انتقال اب و برق مصرفی جهت برداشت آب از چاه

۴-۶- خلاصه‌ای از ارزیابی پروژه انتقال آب در مقابل مدیریت صادرات محصولات جالیزی

دراین قسمت براساس تحلیل‌هایی که در قبل آمد، تلاش می‌شود تا مقایسه‌ای بین ارزش اقتصادی و هزینه‌های طرح انتقال در مقابل مدیریت صادرات محصولات جالیزی به انجام رسد. نظر به اینکه هزینه‌های انتقال آب براساس قیمت‌های جهانی تنظیم شده‌اند، ارزیابی محصولات جالیزی نیز با همین روال صورت می‌گیرد. براین اساس، هزینه سالیانه ۱۲۰ میلیون مترمکعب آب انتقالی به منطقه مطالعاتی با قیمت پایه ۳/۲ دلار به ازای هر مترمکعب آب، ۳۸۴ میلیون دلار و درآمد خالص مازاد برتقاضای محصولات جالیزی، ۱۴۱ میلیون دلار برآورد شده است. این درحالی است که برای صادرات محصولات جالیزی ۲۵۷ میلیون مترمکعب در سال آب مصرف می‌شود و طرح انتقال آب از دریای عمان ۱۲۰ مترمکعب

در سال آب به منطقه انتقال می‌دهد. ازطرفی برق مصرفی مورد نیاز این انتقال ۲۷۰۰ گیگاوات ساعت است؛ که این مقدار برای صادرات محصولات جالیزی ۹۷ گیگاوات ساعت برق در سال خواهد بود.

مصرفی که به ترتیب با لحاظ قیمت پایه جهانی حدودا ۳ و ۸۱ میلیون دلار در سال هزینه دارند.

Table 6- Water volume and project cost for water transfer compared with the exported blue water and economic value of curcurbit crops

جدول ۶- مقایسه حجم آب و هزینه پروژه انتقال آب با حجم و سود اقتصادی سالیانه محصولات جالیزی برپایه قیمت‌های جهانی

Cucurbit crops				
Net Economic value of the product based on global price (Million $)	Blue water export (MCM)	Cost of energy consumption (Million $)	Total Electricity consumption for exporting Cucurbit crops (GWh)	Gross income based on global price of exported water $/ m^3
141	257	3	97	1.1
Water transfer project				
Total cost of Transported water (Million $)	Blue water import (MCM)	Cost of energy consumption (Million $)	Total electricity consumption for water transfer (GWh)	Gross cost based on global price of imported water $/ m^3
384	120	81	2700	3.2

۵- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر تلاشی بود، برای ارزیابی سود به فایده طرح انتقال آب به دشت مشهد، در مقابل مدیریت تولید محصولات جالیزی که در زمره محصولات غیر راهبردی قرار می‌گیرند. در پژوهش حاضر تلاش شد، تا اعداد و ارقام مورد استفاده از منابع مختلف تهیه شوند و کنترل‌های لازم صورت گیرد. ارقام نهایی نیز به نحوی انتخاب شدند که به نفع توجیه طرح انتقال آب باشند. در همین راستا موارد به شرح ذیل از این تحقیق قابل ارائه است:

۱- براساس برآورد صورت گرفته به صورت میانگین سالانه حدود ۵۷۹ هزارتن محصولات جالیزی، مازاد بر نیاز منطقه به خارج از آن ارسال می‌شود. این میزان براساس ارزیابی صورت گرفته بر مبنای ردپای آب حجمی برابر ۲۵۷ میلیون مترمکعب در سال را دارد، که حدود ۲/۱۴ برابر آب مدنظر در طرح انتقال با رقمی معادل ۱۲۰ میلیون مترمکعب است؛

۲- مطابق قیمت‌های جهانی هزینه هر مترمکعب آب وارداتی به دشت مشهد ۳/۲ و هزینه ارزش افزوده خالص محصولات جالیزی در بازار جهانی ۰/۵ دلار بر مترمکعب برآورد شد. این بدین معناست که ابزار اقتصادی بسیار قابل توجهی برای احصاء حقابه محصولات جالیزی وجود دارد؛

۳- باتوجه به ناترازی برق کشور، مصرف برق یکی از دغدغه‌های این تحقیق بود. طبق ارزیابی‌های صورت گرفته، هرمترمکعب آب وارداتی از دریای عمان ۲۲/۵و طبق محاسبات انجام شده، هرمترمکعب آب صادراتی ۰/۳۷ کیلووات–ساعت برق مصرف می‌کنند. بدین ترتیب، برق مصرفی برای آب انتقالی ۶۰/۸برابر آب صادراتی خواهد بود؛

۴- منطقه مطالعاتی این تحقیق شامل ۱۰ دشت شامل: مشهد، چناران، فریمان، قوچان، باخرز، تایباد، تربت جام، صالح آباد،سرخس و بینالود است؛ که مجموعاً ۲۵۷ میلیون مترمکعب صادرات آب محصولات جالیزی به خارج از استان را دارند؛

۵- برای گزینه مورد بررسی این تحقیق، قطعاً مباحث اجتماعی و اقتصادی بیشتری باید در دستور کار قرار گیرد. نویسندگان این پژوهش تمرکز کمتری نسبت به جنبه‌های سیاسی، محیط زیستی، اجتماعی و اقتصادی طرح انتقال آب داشته‌اند. در همین راستا پیشنهاد می‌شود، سایر گزینه‌های صرفه‌جویی از جمله توسعه کشت گلخانه‌ای و استفاده از پنل‌های خورشیدی در تأمین انرژی کشاورزی در قالب مطالعات آینده و توسعه‌ای دنبال شوند.

بر اساس بررسی‌های صورت گرفته، عنوان شد که طول خط انتقال آب از دریای عمان یکی از بزرگترین پروژه‌ها در دنیا به شمار می‌رود. لذا با توجه به طول خط انتقال و ابعاد مختلف پروژه، قطعا مدیریت کشت محصولات جالیزی دربرابر چالش‌های ناشی از مسیر طولانی و مسائل پدافند عاملی آن نباید چندان بزرگ و دشوار باشد.

در خاتمه لازم به ذکر است، هدف این پژوهش گشودن فضایی برای گفتگو در خصوص طرح‌های انتقال آب است. بررسی‌های انجام شده در این پژوهش پیش‌تر در این سطح و با این رویکرد مورد توجه قرار نگرفته بود. از این رو ضروری است، زمینه برای انجام ارزیابی‌های جامع تر فراهم شود؛ کاری که تاکنون در خصوص طرح‌های انتقال به طور کافی در دستور کار قرار نگرفته است. بدیهی است که گزینه پیشنهادی این تحقیق عدم قطعیت‌های خاص خود را دارد. اما، در مقابل عدم قطعیت‌های ابرطرح انتقال آب از دریای عمان به خراسان، از جمله: پدافند غیر عامل، تأمین پایدار انرژی آن، و پیامدهای اجتماعی در مسیر انتقال؛ به نظر نمی‌رسد چندان محدودیت بزرگی از این منظر باشد.

پی‌نوشت‌ها

1- Soil and Water Assessment Tool

۶- منابع

Amini A, Jafari H, Malek Mohammadi, B and Nasr Abadi T (2021) Transboundary water resources conflict analysis using graph model for conflict resolution: A case study—Harirud River. Discrete Dynamics in Nature and Society 21:1-12

Chapagain AK, Hoekstra AY, and Savenije HHG (2006) Water saving through international trade of agricultural products. Hydrology and Earth System Science 10(3):455–468

Delavar M, Morid S, Morid R, Farokhnia A, Babaeian F, and Srinivasan R (2020) Basin-Wide Water Accounting Based on modified Swat model and WA+ Framework for better policy making. Journal of Hydrology 585:124762

FAOSTAT (2017) Statistics database. Available: http://faostat.fao.org/site/368/default.aspx#ancor

FAO (2011) Global food losses and food waste-Extent causes and prevention. Rome available at: http:// www.fao.org/docrep/014/mb060e/mb060e.pdf

Fitelson A (2018) Water transfers in India: Interstate River disputes and water sharing. New Delhi: Oxford university Press

Farzandi M (2024) An analysis of water transfer projects for supplying drinking water to Mashhad from domestic sources. Journal of Water and Sustainable Development 11(3):189-196 (In Persian)

Food and Agriculture Organization (FAO). https://www.fao.org/faostat

Firoozabadi A, Seyedan M, Jovzi M, and Albaji M (2022) Study on the efficiency and energy consumption of electric pumping station. Journal of Irrigation and Water Engineering 7(1):136-149 (In Persian)

Foruzan N (2023) Electricity prices in global market. Technical Report (In Persian)

Gul Mazloum Yar F, Rahmani M, and Amir A (2023) Identifying the effective factors and the importance of the Harirud Watershed in Afghanistan and its impact on Iran. Randwick International od Social Science (RISS) Journal 4(2):254-267

Hoekstra AY, Hung PQ (2002) Virtual water trade: A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade. Value of Water Research Report Series 11 IHE the Netherlands

Hoekstra AY, Chapagain AK, Aldaya MM and Mekonnen MM (2011) The water footprint assessment manual: Setting the global standard. Earthscan London UK 203p.

Hoekstra AY, Mekonnen AK, Chapagain RE, and Richter BD (2012) Global monthly water scarcity: Blue water footprints versus blue water availability. Water Resources Management 21(1):35–48

Hoekstra AY (2004) Water footprints of nations. Volume 1: Main Report series 16

Islar M, Boda C (2014) Political ecology of inter-basin water transfers in Turkish water governance. Journal of Ecology and Society 19(4):15 8p

Iran Water Resources Management Company (IWRMC) (2021) Water resources supply and demand information report. (In Persian)

Jeyrani F, Morid S, and Srinivasan R (2021) Assessing basin blue–green available water components under different management and climate scenarios using SWAT. Agricultural Water Management 256:107074

Karandish F, Hoekstra A (2017) Informing national food and water security policy through water footprint assessment the case of Iran. Water 9(11):831

Karimi M, Jalini M (2016) Investigating agricultural water productivity indicators in important agricultural crops case study: Mashhad plain. Journal of Water and Sustainable and Development 4(1):133-138

Khorasan Razavi Regional Water Company (Khorasan Razavi RWA) (2021) Water profile of Cities. Khorasan Razavi Regional Water Company Mashhad (In Persian)

Lu Y, Zhang x, Chen S, Shao L, and Sun H (2016) Changes in water use efficiency and water footprint in grain production over the past 35 years: A case study in the North China Plain. Journal of Cleaner Production 116(10):71-79

Mialyk O, Schyns J, Booij M, Su H and Berger M (2024) Water footprint and crop water use individual crops for 1990-2019 simulated with a global crop model. 11:206 Available: https://doi.org/10.1038/s41597-024-03051-3

Mekonnen M, Hoekstra A (2011) The green blue and gray water footprint of crops and derived crop products. Hydrology and Earth System Sciences 15:1577-1600

Mirzaei Nodoushan F, Morid S, and Dehghani Sanij H (2022) Assessment of agricultural water consumption and the impact of increasing self-sufficiency coefficient of crop products on the negative water balance of the country. Iranian Water Resources Research 18(4):118–133 (In Persian)

Naghavi S, Baniasadi N (2023) Evaluation and comparison of the water footprint index of crops in Khorasan Razavi Kerman and Isfahan provinces. Iranian Journal of Irrigation and Water Engineering 14(1):232–246 (In Persian)

Pittock J, Meng J, and Ashok K (2009) Inter basin water transfers and water scarcity in a changing world a solution pipedream. WWF (Organization of World-Wide Fund for Nature) Germany 16p

Teymouri M (2021) Transferring water from the Sea of Oman to the eastern provinces of the country

and alternative solutions with emphasis on South Khorasan Province. The First National Conference on Water Culture and Humanities Research 3(1):124-129 (In Persian)
Rockstorm J, Falkenmark M (2006) Blue and green water paradigm: Breaking New Ground for Water Resources Planning and Management 132(3)
Sadeghi SH, Kazemikia S, Kheirfam H, and Hazbavi Z (2016) Experiences and consequences of inter-basin water transfer worldwide. Iran-Water Resources Research 12(2):120–140 (In Persian)
Safaee V, Pourmohamad Y, and Davari K (2020) Integrated approach of water energy and food in water resources management (Case Study: Mashhad Catchment). Iranian Journal of Irrigation and Drainage 14(5):1708–1721 (In Persian)
Schiffler M (2004) Perspectives and challenges for desalination in the 21st century. Desalination 165:1-9
Toossab Consulting Engineers (2019) Desalination and water transfer from the Oman Sea to the eastern provinces of Iran: Economic evaluation studies. Mashhad Iran (In Persian)
Toossab Consulting Engineers (2016) Studies to update the country's comprehensive water plan watersheds in the east of the country 300p. (In Persian)
Wu H, Jin R, Liu A, Jiang S, and Chai L (2022) Savings and losses of scarce virtual water in the international trade of wheat maize and rice. International Journal of Environmental Research and Public Health 19(7):4119
Zeng Q, Qin L, and Lithe X (2015) Potential impact of an inter-basin water transfer project on nutrients (nitrogen and phosphorous) and chlorophyll a of the receiving water system. Journal of Science of the Total Environment 1(536):675–686
Zafarnejad F (2016) A critique of water transfer project from the Persian Gulf and the sea of Oman to the central plateau of Iran. Journal of Water and Sustainable Development 3(1):124-129 (In Persian)