

An Attitude to the Status of Resources and Uses of Tajan River Basin

M. Akbari¹, M. Farhadzadeh¹, P. Maleki^{1*} 

1- Mazandaran Regional Water Company, Water Resources Management Company, Ministry of Energy, Sari, Iran
(*- Corresponding Author Email: Maleki@mzrw.ir)

Received: 16 July 2025

Revised: 17 September 2025

Accepted: 21 October 2025

Available Online: 21 October 2025

How to cite this article:

Akbari, M., Farhadzadeh, M., & Maleki, P. (2025). An attitude to the status of resources and uses of Tajan River basin. *Journal of Water and Soil*, 39(4), 329-347. (In Persian with English abstract).
<https://doi.org/10.22067/jsw.2025.94387.1490>

Introduction

Water is a primary and fundamental need for survival, industrial development, and economic prosperity. In other words, the key to development depends on the expansion of water resources and their optimal use. To achieve this, the correct allocation of water resources to different uses based on priorities is of great importance (Loucks and Van Beek, 2017). Any management planning to control water consumption in the agricultural sector requires a correct understanding of the mutual influence of variables controlling water resources and consumption on each other in order to ensure optimal provision of agricultural water needs and also to ensure the improvement of the economic situation of farmers (Veysel, 2024). The purpose of this study is to examine and compare available water resources and uses, including agricultural, drinking, industrial, and environmental needs, for the Tajan River basin, including the two parts of the Tajan Plain and the river basin up to the entrance to the plain during the exploitation season, in order to determine the possible shortage of water supply in different months. It is worth mentioning that the results presented in the report on the study of water resources and needs of the Tajan River Basin (Pandam Company, 1402) were used to prepare this article.

Materials and Methods

The Tajan River is one of the important rivers of Mazandaran Province, which originates from the Hezar Jarib Mountains and flows into the Caspian Sea after passing through the city of Sari in Farahabad. The enJulye catchment area of this river up to the entrance to the plain with an area of about 4050 square kilometers and the Tajan Plain with an area of about 800 square kilometers, has been considered as the study area to investigate water resources and uses. In this study, long-term statistical data from hydrometric stations of the Zaremroud (Garm Rud Station), Lajim (Vastan Station), Chahardangeh (Varand Station), and Tajan (Kordkheil Station) rivers, as well as the inflow and outflow statistics of Shahid Rajaee Dam (during the ten-year operation period of 1390-1400) as the main source of water supply for the Tajan basin, have been used. For groundwater resources (wells), information obtained from the Mazandaran Regional Water Company in 1400 and basic water resource studies have been used. Regarding water ponds, the results of the interpretation of new satellite images in the form of a land use map have been used.

Results

The results of the surveys show that in the entire study area, including the Tajan River basin to the entrance to the plain and the lands of the Tajan Plain, there are about 119,800 hectares of pure agricultural land in the form of irrigated and dry-land cultivation, of which 74,500 hectares are irrigated and the rest are dry-land cultivation. There



Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<https://doi.org/10.22067/jsw.2025.94387.1490>

are fish farming ponds with a total area of 550 hectares in the Tajan Plain, which are generally related to warm-water fish. Also, some of the ponds located in the area are used for aquaculture. The total water requirement of the Tajan Plain area (agriculture and aquaculture) is 492 million cubic meters, and in the upstream lands (the Tajan basin to the entrance to the plain), this requirement is estimated to be 106 million cubic meters. The total drinking, industrial and tourism drinking needs of the region (Sari, Miandoroud and Kiasar counties) are 7.68 million cubic meters per year. The estimated environmental demand of the Tajan River is also equivalent to 100 million cubic meters per year. Available water resources for various uses include the regulated water flow of the Shahid Rajaee Dam, the seasonal flow of the rivers in the middle basin, dam water storage, and groundwater resources. To compare uses with available water resources, three comparison levels including normal, dry, and very dry water years have been used. The volume of water that can be extracted from the Shahid Rajaee Dam in the first six months of the year for normal, dry, and very dry water years is 231, 194, and 122 million cubic meters, respectively. The volume of water that can be extracted from ponds and wells located in the area are estimated to be 12.8 and 176 million cubic meters per year, respectively.

Discussion and Conclusion

A comparison of water needs and available resources indicates that the total water shortage in the Tajan Basin is 166, 231, and 324 million cubic meters in normal, dry, and very dry years, respectively. Similarly, in the Tajan Plain area, the shortages are estimated at 147, 212, and 305 million cubic meters for the same conditions. In other words, in a normal or normal water year, there is a water shortage of about 150 million cubic meters in the irrigation network and the Tajan Plain area. The reduction in available water resources, including decreased outflow from the Shahid Rajaee Dam, leads to resource constraints and consequently causes water shortages in the lands of the Tajan Plain. In the dry water year, the water shortage was mainly due to the decrease in discharge from the Shahid Rajaee reservoir dam and the rivers of the middle basin. Therefore, in addition to the necessity of managing water distribution and scheduling, as well as improving the Tajan irrigation network, which will partially reduce the amount of damage caused by water shortage, the construction of the planned dams on the Zaremroud and Chahardangeh rivers is very important in regulating the monthly discharge.

Keywords: Basin, Shahid Rajaee Dam, Tajan River, Water resources, Water uses

نگرشی بر وضعیت منابع و مصارف حوضه آبریز تجن

ملیحه اکبری^۱ - مجتبی فرهادزاده^۱ - پریسا ملک^۱ 

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۲۹

چکیده

ناهماهنگی وضعیت منابع و مصارف آب یکی از چالش‌های اصلی در توسعه پایدار به شمار می‌رود. در این مطالعه با مقایسه منابع و مصارف مختلف در حوضه آبریز تجن تلاش شده است تا تعادل بین آنها بررسی و میزان کمبودها مشخص شود. در این راستا از اطلاعات آماربرداری ایستگاه‌های آب سنجی رودخانه‌ها، آمار ورودی و خروجی سد شهید رجائی طی دوره ده ساله ۱۳۹۰-۱۴۰۰ و اطلاعات منابع آب زیرزمینی منطقه استفاده شده است. نیاز سالانه کشاورزی و آبی‌پروری، شرب و محیط‌زیستی حوضه آبریز تجن به ترتیب معادل ۵۹۸، ۶۸/۷ و ۱۰۰ میلیون متر مکعب در سال برآورد شده است. منابع آب در دسترس شامل آب تنظیمی سد شهید رجائی، جریان به‌هنگام رودخانه‌های حوضه میانی، ذخیره آب‌بندان‌ها و منابع آب زیرزمینی است. برای مقایسه مصارف با منابع آب قابل دسترس از سه سطح مقایسه شامل سال آبی نرمال، خشک و خیلی خشک استفاده شده است. حجم آب قابل استحصال از سد شهید رجائی در شش ماهه اول سال برای سال آبی نرمال، خشک و خیلی خشک به ترتیب معادل ۲۳۱، ۱۹۴ و ۱۲۲ میلیون متر مکعب است. حجم آب قابل استحصال از آب‌بندان‌ها و چاه‌های واقع در محدوده نیز به ترتیب ۱۲/۸ و ۱۷۶ میلیون متر مکعب در سال برآورد شده است. نتایج حاصل از مقایسه نیازها و منابع آب موجود نشان می‌دهد که میزان کمبود آب در کل حوضه آبریز تجن در سال‌های آبی نرمال، خشک و خیلی خشک به ترتیب ۱۶۶، ۲۳۱ و ۳۲۴ میلیون متر مکعب است.

واژه‌های کلیدی: حوضه آبریز، رودخانه تجن، سد شهید رجایی، مصارف آبی، منابع آب

مقدمه

و مصارف آب و همچنین رعایت اولویت‌های تخصیص به نیازهای آبی مختلف، استفاده از مدل‌های برنامه‌ریزی منابع آب بسیار مفید است (Nicklow et al., 2010; Li & Zhang, 2015; Zhou et al., 2017; Degefu et al., 2015). مدل‌ها این فرصت را فراهم می‌کنند که فرآیندهای هیدرولوژیکی مرتبط با منابع آب و روابط موجود بین نقاط عرضه و تقاضا، شبیه‌سازی شوند. دانش یزدی و ملائکه (Danesh Yazdi & Malaek, 2023). وضعیت منابع و مصارف کشاورزی را در حوضه آبریز مهاباد واقع در بخش جنوبی دریاچه ارومیه مورد بررسی قرار دادند. آنها با توسعه دو مدل هیدرولوژیکی و اقتصادی، تأثیرات تغییرات اقلیم را بر منابع آب و اقتصاد کشاورزی محدوده مطالعاتی مهاباد برآورد کردند و راهکارهای سیاستی متناسب با تغییرات الگوی کشت ارائه دادند. یوسفی و همکاران (Yousefi et al., 2023) با استفاده از مدل

آب نیاز اولیه و اساسی برای حفظ بقا، توسعه صنایع و رونق اقتصادی می‌باشد. به عبارتی دیگر کلید توسعه در گرو گسترش منابع آب و استفاده بهینه از آن است. برای رسیدن به این مهم، تخصیص صحیح منابع آب به مصارف مختلف بر اساس اولویت‌ها از اهمیت بسیاری برخوردار است (Loucks & Van Beek, 2017). انجام هرگونه برنامه‌ریزی مدیریتی برای کنترل مصارف آب در بخش کشاورزی نیازمند درک صحیح از تأثیرپذیری متغیرهای کنترل‌کننده منابع و مصارف آب از یکدیگر به منظور حصول اطمینان از تأمین نیازهای آبی کشاورزی به صورت بهینه و همچنین تضمین بهبود وضعیت اقتصادی کشاورزان است (Veyssel, 2024, Valizadegan, 2018, Yazdanpanah, 2018). با توجه به پیچیدگی‌های مدیریت منابع

^۱ - شرکت آب منطقه‌ای مازندران، شرکت مدیریت منابع آب، وزارت نیرو، ایران

(*) - نویسنده مسئول: (Email: Maleki@mzrw.ir)

WEAP-MABIA به ارزیابی عرصه و تقاضای منابع آب حوضه آبریز گذارچای نقده پرداختند. ایشان چهار سناریوی مدیریتی را برای ارزیابی اثرات آنها بر روی منابع آب مورد آزمون قرار دادند. نتایج نشان داد که مداخلات مثبت در سیاست‌های آبی منطقه تأثیر بسزایی در بهبود وضعیت منابع آب حوضه خواهد داشت. میرزایی ارجنکی و همکاران (Mirzaei Arjenaki et al., 2021) منابع آب زیرزمینی و مصارف آبی محصولات کشاورزی دشت میان آب شوشتر را با استفاده از مدل سازی آب زیرزمینی در قالب ۳ سناریو مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که در سناریوی سوم با کاهش ۳۵ درصدی پمپاژ و انتقال آب از شبکه به اراضی جنوب دشت، مقدار زیادی از آب مازاد بر نیاز مصرفی مدیریت گردید. تولائی نژاد و همکاران (Tolaei Nejad et al., 2009) با بررسی وضعیت منابع و مصارف آب در استان خوزستان، بیلان منابع آبی سطحی و زیرزمینی حوضه‌های آبریز موجود در استان را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. فدایی زاده و شوریان (Fadaeizadeh & Shourian, 2019) هم مدیریت منابع و مصارف آب را از طریق کمی سازی نیازهای کشاورزی با ترکیب مدل شبیه سازی و الگوریتم بهینه سازی تحت شرایط مطلوب برای برآوردن معیارهای قابلیت اطمینان بررسی کردند. نتایج بررسی آنها نشان داد که مصارف کشاورزی در حوضه می‌بایست بیش از ۵۰ درصد کاهش یابد تا بتوان به سطوح اطمینان مطلوب برای تأمین آب دست یافت. لقب دوست آرانی و همکاران (Laghbodoust Arani et al., 2023) به بررسی اثر سد ملاصدرا روی منابع و مصارف دشت کامفیروز و سد درودزن در شمال استان فارس پرداختند و در نهایت پیشنهاد کردند که به دلیل تعطیل شدن تعداد زیادی از ایستگاه‌های هیدرومتری به خصوص در ورودی سد درودزن و دشت کامفیروز، از نتایج مطالعه آنها برای بررسی وضعیت منابع آب منطقه در سال‌های آتی استفاده شود. هدف از انجام این تحقیق، بررسی و مقایسه منابع آب در دسترس و مصارف شامل نیازهای کشاورزی، شرب و صنعت و محیط زیستی برای حوضه آبریز تجن شامل دو بخش دشت تجن و حوضه آبریز رودخانه تا ورودی به دشت در فصل بهره‌برداری است. با مقایسه منابع آب در دسترس و نیازها این امکان فراهم گردید تا کمبود احتمالی تأمین آب در ماه‌های مختلف مشخص شده و توصیه‌هایی جهت مدیریت بهره‌برداری و توزیع آب با توجه به میزان تخصیص آب و الگوی کشت ارائه شود (Pendarm Consulting Engineers, 2023).

مواد و روش‌ها

موقعیت محدوده

رودخانه تجن یکی از رودخانه‌های مهم استان مازندران محسوب

می‌شود که از کوه‌های هزار جریب و چشمه سارهای متعدد دهستان پشتکوه سرچشمه گرفته و پس از عبور از شهر ساری در فرح آباد به دریای خزر می‌ریزد. کل حوضه آبریز این رودخانه تا ورودی به دشت با مساحت حدود ۴۰۵۰ کیلومتر مربع و محدوده دشت تجن با مساحت حدود ۸۰۰ کیلومتر مربع، به عنوان محدوده مورد مطالعه برای بررسی منابع و مصارف آب در نظر گرفته شده است. بالاترین تراز محدوده ۳۷۰۰ متر و کمترین آن در محدوده دشت حدود ۲۰ متر می‌باشد. متوسط بارندگی محدوده ۶۰۳ میلی‌متر است که از نظر آب و هوایی جزو اقلیم معتدل طبقه‌بندی می‌گردد. مسیر رودخانه از سرچشمه تا ۸ کیلومتری ساری کوهستانی و پس از عبور از این محل جلگه‌ای می‌گردد. به رودخانه تجن سه رودخانه اصلی (رودخانه‌های حوضه میانی) شامل زارم رود، چهار دانگه و لاجیم رود تخلیه می‌گردد. سد مخزنی شهید رجائی که در دهه ۷۰ شمسی به بهره‌برداری رسید به عنوان منبع اصلی ذخیره آب شبکه آبیاری پائین دست و تأمین کننده نیاز شرب و صنعت منطقه محسوب می‌گردد. در شکل ۱ موقعیت محدوده مورد مطالعه نشان داده شده است.

روش مطالعه

در این مطالعه از اطلاعات آماربرداری دراز مدت ایستگاه‌های هیدرومتری رودخانه‌های زارم رود (ایستگاه گرم رود)، لاجیم (ایستگاه واستان)، چهاردانگه (ایستگاه ورنه)، تجن (ایستگاه کردخیل) و همچنین از آمار ورودی و خروجی سد شهید رجائی (طی دوره بهره برداری ده ساله ۱۳۹۰-۱۴۰۰) به عنوان منبع اصلی تأمین آب حوضه تجن استفاده شده است. درخصوص منابع آب زیرزمینی (چاه‌ها) از اطلاعات اخذ شده از شرکت آب منطقه‌ای مازندران در سال ۱۴۰۰ و همچنین مطالعات پایه منابع آب بهره گرفته شده است. برای آبندها نیز از نتایج حاصل از تفسیر تصاویر ماهواره‌ای جدید در قالب نقشه کاربری اراضی استفاده شده است.

نتایج و بحث

کاربری اراضی

کاربری اراضی محدوده مورد مطالعه (حوضه آبریز رودخانه تجن تا ورودی به دشت و دشت تجن) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای (تصاویر لندست و بینگ سال‌های ۲۰۲۱ و ۲۰۲۲) مشخص شده است (جدول ۱). بر اساس این جدول مساحت حوضه آبریز رودخانه تجن تا ورودی به دشت حدود ۴۰۵۰ کیلومتر مربع است که بیش از ۸۰ درصد این بخش تحت پوشش اراضی جنگلی با تراکم متراکم و تنک و مرتع در ارتفاعات می‌باشد. در اراضی کشاورزی دشت تجن، کشت برنج به عنوان کشت غالب و اصلی به شمار می‌رود.



شکل ۱- نقشه موقعیت محدوده مورد مطالعه
Figure 1- Location map of the study area

جدول ۱- کاربری اراضی محدوده حوزه آبریز رودخانه تجن (مساحت به هکتار)

Table 1- Land use in the Tajan river basin area (Area in hectares)

نوع کاربری Land use type	حوضه آبریز رودخانه تجن تا ورودی به دشت Up to the entry point of the plain	اراضی دشت تجن Lands of the Tajan plain	محدوده کلی طرح Overall project area
شالیزار Paddy field	7585	27150	34735
باغات Orchards	9185	27815	37000
سایر کشت‌ها (آبی و دیم) Other croplands (Irrigated and rainfed)	49588	5112	54700
آب‌بندان Traditional water reservoir	161	4976	5137
استخر پرورش ماهی Fish farming pond	11	555	566
مسکونی و تأسیسات Residential areas and facilities	5600	6693	12293
مناطق شهری Urban areas	730	2927	3657
معادن Mines	117	36	153
سایر اراضی (جنگل، مرتع، بایر و بستر رودخانه) Other lands (Forest, rangeland, barren land, and riverbed)	332668	1062	333730
جمع Total	405645	76326	481971

الگوی کشت منطقه

حوضه آبریز رودخانه تجن تا ورودی به دشت

در محدوده حوضه آبریز رودخانه تجن تا ورودی به دشت به دلیل

محدودیت توپوگرافی و اینکه بخش عمده از اراضی این محدوده را اراضی جنگلی و مرتع تشکیل می‌دهد، کشاورزی به صورت محدود و عموماً به صورت کشت دیم (گندم و جو) صورت می‌گیرد. البته در

در اراضی دشت تجن حدود ۵۰۰۰ هکتار تحت عنوان سایر کشت وجود دارد که محصولات متنوعی نظیر گندم و جو (عمدتاً گندم)، دانه‌های روغنی (سویا و کلزا)، محصولات جالیزی و سبزیجات، شیدر و ذرت علوفه‌ای در آن کشت می‌گردد. آبیاری بخشی از این اراضی از طریق سامانه‌های آبیاری تحت فشار (بارانی) انجام می‌گیرد و در سایر موارد آبیاری داخل مزارع به صورت سنتی و غرقابی است.

باغات واقع در محدوده دشت تجن عموماً از نوع مرکبات و برخی از نوع سیاه ریشه (درختان هلو) هستند. آبیاری باغات عمدتاً از طریق برداشت آب از چاه‌ها می‌باشد. حدود ۷۰ درصد مساحت باغات در منطقه از چاه استفاده می‌کنند و ۳۰ درصد باقی از طریق شبکه تجن و رودخانه‌ها برداشت آب انجام می‌دهند. آب مورد نیاز باغات در بخش کوهستانی عموماً از طریق بارندگی و یا آب چشمه‌ها تأمین می‌شود و لذا در محاسبات بیلان آبی و نیاز آبی فقط ۱۰ درصد از باغات بخش کوهستانی به صورت آبی (تأمین آب از طریق رودخانه‌ها، چاه‌ها و یا سیستم تجن) در نظر گرفته شده است. براساس جدول ۳ در کل محدوده شامل حوضه آبریز رودخانه تجن تا ورودی به دشت و اراضی دشت تجن جمعاً ۱۱۹۸۰۰ هکتار اراضی کشاورزی (زراعی و باغی) خالص به صورت کشت آبی و دیم وجود داشته که از این مقدار ۷۴۵۰۰ هکتار (معادل ۶۲ درصد) به صورت کشت آبی و مابقی (معادل ۳۸ درصد) به صورت کشت دیم وجود دارد.

اراضی حاشیه‌ای (تراس) رودخانه‌ها منتهی به رودخانه تجن اراضی شالیزاری به صورت پراکنده وجود داشته که با برداشت آب از رودخانه (توسط انهار سنتی منشعب) و یا در برخی مواقع از طریق پمپاژ از چاه‌ها آبیاری می‌شوند. طبق جدول ۲ در محدوده حوضه آبریز رودخانه تجن تا ورودی به دشت ۷۵۸۵ هکتار شالیزاری است که سهم هر یک از زیر حوضه‌ها در این جدول مشخص شده است.

اراضی دشت تجن

اراضی دشت تجن با مساحت حدود ۸۰۰ کیلومتر مربع به عنوان قطب کشاورزی در منطقه شامل کشت برنج (کشت اصلی و غالب)، باغات و سایر کشت‌ها است. کشت برنج در اراضی دشت تجن به عنوان کشت اصلی صورت می‌گیرد که بخش عمده از سهم آب زراعی از شبکه آبیاری تجن و سایر منابع آب قابل دسترس نظیر آب‌بندان‌ها و چاه‌ها را به خود اختصاص می‌دهد. در اراضی دشت تجن عمدتاً عملیات تهیه خزانه و عملیات آب‌تخت و نشاء در فروردین و اردیبهشت و برداشت محصول از مرداد ماه تا اواخر شهریور ماه انجام می‌شود. کشت دوم برنج نیز در منطقه رایج بوده و به صورت نشاء مجدد و یا از طریق پرورش ساقه (روتون) از رونق نسبتاً بالایی برخوردار است.

جدول ۲- مساحت شالیزاری زیر حوضه‌های رودخانه تجن (اراضی بالادست)

Table 2- Area of rice fields in the sub-basins of the Tajan river (Upstream lands)

محدوده	زارم رود	لاجیم	چهار دانگه	دودانگه	حدفاصل کوهستان و دشت	جمع
Area	Zaremrud	Lajim	Chahardangeh	Dodangeh	Between mountains and plain	Total
مساحت Area (hectare)	1347	500	1510	2327	1901	7585

جدول ۳- وضعیت کشت آبی و دیم در کل محدوده طرح

Table 3- Status of irrigated and rainfed cultivation in the EnJulye study area

وضعیت کشت	نوع کشت	مساحت خالص
Cultivation status	Type of cultivation	Neta (Hectares)
آبی Irrigated	شالیزار	33000
	Rice fields	
	باغات	27300
	Gardens	
جمع آبی Total Irrigated	سایر کشت‌ها	14200
	Other crops	
	-	74500
دیم Rainfed	باغات	7800
	Gardens	
	سایر کشت‌ها	37500
جمع دیم Total Rainfed	Other crops	
	-	45300

نیازها و مصارف آبی

مصارف کشاورزی

مصارف کشاورزی شامل نیاز خالص و ناخالص است.

– نیاز خالص:

برای برآورد نیاز آبی محصولات زراعی و باغی کل محدوده از اطلاعات حاصله از سامانه تعیین نیاز آبی گیاهان زراعی و باغی که در شهریور ماه ۱۴۰۱ توسط مؤسسه تحقیقات خاک و آب رونمایی گردید، استفاده شده است. در قالب سامانه مذکور با بهره‌گیری از اطلاعات هواشناسی درازمدت ایستگاه‌های سینوپتیک و اقلیم‌شناسی و داده‌های فنولوژی گیاهی و اطلاعات فیزیکی و هیدرولیک خاک، نیاز آبی محصولات زراعی و باغی برای مناطق مختلف کشور محاسبه شده است. در جدول ۴ نیاز خالص محصولات مختلف کل محدوده

راندمان آبیاری

شبکه آبیاری تجن: شبکه آبیاری و زهکشی تجن (واقع در محدوده دشت تجن) با قدمت حدود بیست سال از جمله شبکه‌های آبیاری و زهکشی است که اگر چه عمر طولانی از ساخت و بهره برداری آن سپری نشده است، ولی به لحاظ مشکلات ناشی از نگهداری امکانات و همچنین توزیع مناسب آب با محدودیت‌هایی مواجه است. راندمان انتقال و توزیع و بهره‌برداری برای این شبکه ۹۰ درصد در نظر گرفته شده است.

جدول ۴- نیاز خالص آب آبیاری محصولات مختلف زراعی و باغی کل محدوده حوضه تجن (متر مکعب در هکتار)

Table 4- Net irrigation water requirement of different agricultural and horticultural crops in the EnJulye Tajan basin (m³/ha)

محصول Product	فروردین April	اردیبهشت May	خرداد June	تیر July	مرداد August	شهریور September	مهر October	آبان November	آذر December	دی January	بهمن February	اسفند March	جمع گرد شده Rounded total
برنج (طارم محلی) Rice (Local Tarom)	690	900	1300	1430	910	-	-	-	-	-	-	-	5230
برنج (پر محصول) Rice (High yield)	690	900	1300	1430	1360	450	-	-	-	-	-	-	6130
باغات (مرکبات) Gardens (Citrus)	120	300	790	780	580	300	20	0	0	0	0	0	2890
گندم Wheat	480	845	397	-	-	-	-	0	0	0	0	0	1720
جو Barley	397	773	423	-	-	-	-	-	-	0	0	0	1590
ذرت علوفه‌ای (تابستانه) Forage corn (Summer)	-	-	-	444	627	684	254	-	-	-	-	-	2009
سویا (تابستانه) Soybean (Summer)	-	-	-	297	1175	867	77	-	-	-	-	-	2415
کلزا Rapeseed	458	836	200	-	-	-	0	0	0	0	0	0	1495
شیدر بهاره Spring Clover	110	315	1230	1390	1400	200	-	-	-	-	-	-	4645
سیاه ریشه (هلو) Stone fruits (Peach)	70	170	610	690	570	400	60	0	0	0	0	0	2570
محصولات جالبیزی Vegetable crops	-	280	915	1330	1000	-	-	-	-	-	-	-	3525
سبزیجات Vegetables	-	190	1115	995	-	-	-	-	-	-	-	-	2300
کشت دوم برنج (نشاء مجدد) Second rice crop (Transplanting)	-	-	-	150	2000	700	200	-	-	-	-	-	3050
کشت دوم برنج (پرورش ساقه) Second rice crop (Stalk cultivation)	-	-	-	-	1000	700	200	-	-	-	-	-	1800

می‌پذیرد. آب استخرهای پرورش ماهی واقع در محدوده دشت تجن عمدتاً از جریان‌های سطحی منشعب از شبکه تجن و برخی هم از چاه تأمین می‌شود. همچنین برخی از آب‌بندان‌های واقع در محدوده نیز دارای کاربرد دو منظوره می‌باشند که در محاسبات نیاز آبی پروری در نظر گرفته شده‌اند. این آب‌بندان‌ها دارای مساحت حدود ۳۰۰۰ هکتار و نیاز آبی ۴۷/۷ میلیون متر مکعب می‌باشند. حجم آبیگری یک هکتار استخر معادل ۱۲۰۰۰ متر مکعب در هکتار و برای آب‌بندان‌ها با متوسط عمق ۲ متر معادل ۱۶۰۰۰ متر مکعب در هکتار برآورد شده است. مجموع نیاز آبی آبی پروری در محدوده دشت تجن حدود ۵۴/۳ میلیون متر مکعب است.

بر اساس **جدول ۸**، نیاز کل آبی محدوده دشت تجن (کشاورزی و آبی‌پروری) معادل ۴۹۲ میلیون متر مکعب و در بخش اراضی بالادست (حوضه آبریز تجن تا ورودی به دشت) حدود ۱۰۶ میلیون متر مکعب برآورد شده است. نیاز کشاورزی و آبی‌پروری محدوده دشت تجن حدود ۸۲ درصد نیاز کل محدوده مورد مطالعه می‌باشد.

نیاز شرب و صنعت

نیاز شرب و صنعت محدوده مورد مطالعه از مطالعات طرح جامع آب شرب و صنعت استان مازندران ([Khazarab Consulting Engineers, 2015](#)) برای شهرستان‌های ساری و میاندرد و شهر کیا سر برای سال ۱۴۲۵ استخراج گردیده است (**جدول ۹**). بر اساس این جدول نیاز کل شرب و صنعت و شرب گردشگری شهرستان‌های محدوده ۶۸/۷ میلیون متر مکعب در سال برآورد شده است. این در حالی است که طبق مجوز تخصیص آب سد شهید رجائی ([Water allocation permit for Shahid Rajaei](#)) این میزان معادل ۴۲ میلیون متر مکعب (۳۰ میلیون متر مکعب شرب و ۱۲ میلیون متر مکعب صنعت) می‌باشد. لذا بخشی از این کمبود می‌بایست از طریق تخصیص آب سدهای در دست مطالعه و اجرا نظیر سد زارم رود و سد چهاردانگه (برای شهر کیا سر و روستاهای مسیر) پیش‌بینی و تأمین گردد.

نیاز محیط‌زیست

طبق اعلام شرکت آب منطقه‌ای مازندران، نیاز محیط‌زیستی برآورد شده رودخانه تجن بابت پایدارسازی جریان و همچنین حفظ شرایط تخم‌ریزی ماهی‌ها در محل ورودی به دریا و هم تأمین نیاز آبی مرکز تحقیقات شیلات سالانه معادل ۱۰۰ میلیون متر مکعب می‌باشد. از آنجایی که میزان آب قابل‌دسترس از طریق بیان آبی در محل خروجی سد شهید رجائی و ایستگاه کردخیل (در پائین دست و در محدوده مصب) محاسبه شده است و همواره مقداری جریان با

با توجه به اینکه شیوه آبیاری در اراضی شالیزاری به گونه‌ای است که آب به صورت کرت به کرت هدایت می‌شود و از طرفی نفوذ عمقی به دلیل ایجاد شرایط اشباع خاک جزو تلفات آب محسوب نمی‌گردد، لذا با در نظر گرفتن استفاده مجدد از آب برگشتی راندمان مزرعه معادل ۷۰ درصد در نظر گرفته شده است. در محدوده دشت تجن عموماً باغات از طریق برداشت آب از چاه‌ها تأمین می‌گردند، لذا راندمان انتقال و توزیع در این خصوص دخالتی نداشته و راندمان کاربرد آب در مزرعه با استفاده از سامانه تحت فشار معادل راندمان کلی آبیاری بوده و به میزان ۷۰ درصد پیش‌بینی می‌شود. درخصوص باغاتی که از طریق برداشت از شبکه تجن آبیاری می‌گردند، با احتساب راندمان انتقال و توزیع میزان راندمان کل در این باغات معادل ۵۷ درصد در نظر گرفته شده است.

شبکه سنتی آبیاری: شبکه انهار سنتی مربوط به محدوده حوضه آبریز رودخانه تجن تا ورودی به دشت بوده و عموماً اراضی شالیزاری زیرحوضه‌های رودخانه تجن و سایر کشت‌ها را در بر می‌گیرد. با بررسی صورت گرفته عموماً در انهار اصلی به دلیل عدم به کارگیری سازه‌های کنترل جریان و سازه‌های آبیگر مجهز به دریچه‌های هیدرومکانیکال میزان تلفات بهره‌برداری غالب می‌باشد، لذا راندمان آبیاری آنها ۴۰ تا ۴۵ درصد در نظر گرفته شده است.

- نیاز ناخالص:

با توجه به راندمان آبیاری برای اراضی واقع در محدوده دشت تجن که تحت پوشش شبکه آبیاری تجن بوده و همچنین اراضی بالادست شامل اراضی کشاورزی واقع در محدوده حوضه آبریز رودخانه تجن تا ورودی به دشت (شبکه سنتی) نیاز ناخالص هر یک از محصولات زراعی و باغی به شرح **جدول ۵** محاسبه شده است. ۷۰ درصد از باغات محدوده دشت تجن تحت پوشش چاه‌ها و ۳۰ درصد مابقی تحت پوشش شبکه تجن و رودخانه در نظر گرفته شده است.

نیاز کلی آبیاری محصولات کشاورزی و آبی‌پروری

نیاز آبیاری اراضی کشاورزی محدوده دشت تجن و اراضی حوضه آبریز رودخانه تجن تا ورودی به دشت در **جدول‌های ۶ و ۷** ارائه شده است. سطح ارائه شده در جدول‌های کاربری اراضی به صورت ناخالص بوده که با اعمال ضریب ۰/۹۵ به سطوح مذکور (بابت جاده دسترسی بین مزارع و سایر مستحقات داخل مزارع) سطح خالص استخراج و مبنای محاسبه نیاز کلی آبیاری قرار گرفته است. در محدوده دشت تجن استخرهای پرورش ماهی با مساحت کل ۵۵۰ هکتار وجود دارند که نیاز آبی آنها حدود ۶/۶ میلیون متر مکعب تخمین زده شده است. دوره پرورش ماهیان مذکور ۶ تا ۹ ماه با عملکرد ۴ تن در هکتار بوده و آبیگری استخرهای مذکور طی ماه‌های دی، بهمن و اسفند انجام

همچنین بر اساس مطالعات انجام شده توسط سازمان حفاظت محیط زیست و مصوبات کمیته تخصصی استانی احیای تالاب میانکاله، حداقل نیاز آبی محیط زیستی تالاب میانکاله از منابع آب شیرین نیز ۳۸۰ میلیون متر مکعب اعلام شده است که با توجه به وضعیت نامناسب منابع آبی رودخانه های منتهی به تالاب می بایست از حوضه های مجاور از جمله تجن تأمین گردد.

هدف تأمین موارد اشاره شده در فوق از محل ایستگاه کردخیل به پائین دست رهاسازی جریان صورت می گیرد، لذا در سال آبی متوسط یا نرمال کمبود جریان بابت محیط زیست وجود ندارد. ولی در سال های خشک و خیلی خشک با متوسط آبدهی سالانه حدود ۵۵ میلیون متر مکعب، کمبود سالانه حدود ۴۵ میلیون متر مکعب جهت تأمین نیاز محیط زیستی رودخانه تجن در پائین دست وجود دارد.

جدول ۵- توزیع ماهانه نیاز ناخالص محصولات (متر مکعب در هکتار)
Table 5- Monthly distribution of gross water requirement of crops (m³/ha)

محدوده Area	نام محصول Product name	فروردین Arvil	اردیبهشت May	مرداد June	مهر July	آبان August	آذر September	دی October	بهمن November	اسفند December	مارچ January	توتال گرد شده Total Rounded
محدوده دشت (شبکه آبیاری تجن) Plain area (Tajan irrigation network)	حوضه آبریز رودخانه تجن تا ورودی به دشت (شبکه آبیاری سنتی) Tajan river basin up to plain entrance (Traditional irrigation network)	برنج Rice	1530	2000	2900	3200	2300	300	-	-	-	12230
	باغات (سیاه ریشه) Gardens (Stone fruits)	175	425	1525	1725	1425	1000	150	0	0	0	6425
	گندم Wheat	1200	2100	990	-	-	-	-	0	0	0	4290
	جو Barley	990	1930	1050	-	-	-	-	-	0	0	3970
	برنج Rice	1210	1580	2280	2500	1830	240	-	-	-	-	9640
	گندم Wheat	905	1590	750	-	-	-	-	0	0	0	3245
	جو Barley	210	1450	800	-	-	-	-	0	0	0	2460
	ذرت علوفه ای (تابستانه) Forage corn (Summer)	-	-	-	840	1200	1290	480	-	-	-	3810
	سویا (تابستانه) Soybean (Summer)	-	-	-	560	2220	1640	145	-	-	-	4565
	کلزا Rapeseed	860	1600	380	-	-	-	0	0	0	0	2840
	شیدر Clover	210	590	2320	2620	2640	380	-	-	-	-	8760
	سیاه ریشه Stone Fruits	106	257	924	1045	865	600	90	0	0	0	3887
	سبزیجات Vegetables	-	360	2100	1900	-	-	-	-	-	-	4360
	کشت دوم برنج (نشاء مجدد) Second rice crop (Transplanting)	-	-	-	260	3500	1230	350	-	-	-	5340
	کشت دوم برنج (پرورش ساقه) Second rice crop (Stalk Cultivation)	-	-	-	-	1750	1230	350	-	-	-	3330
	محصولات جالیزی Vegetable crops	-	530	1720	2500	1900	-	-	-	-	-	6650
	باغات (مرکبات) Gardens (Citrus)	180	455	1200	1180	880	450	30	0	0	0	4375

جدول ۶- نیاز آبیاری اراضی کشاورزی محدوده دشت تجن (میلیون متر مکعب)

Table 6- Irrigation water requirement of agricultural lands in the Tajan plain area (MCM)

محصول Product	سطح خالص Net Area (Hectares)	فروردین April	اردیبهشت May	خرداد June	تیر July	مرداد August	شهریور September	مهر October	آبان November	آذر December	دی January	بهمن February	اسفند March	جمع گرد شده Total Rounded
برنج Rice	25800	31.2	40.8	58.8	64.5	47.2	6.2	-	-	-	-	-	-	249.0
باغات (مرکبات) Gardens (Citrus)	22460	4.04	10.2	26.9	26.5	19.7	10.1	0.67	-	-	-	-	-	98.0
سیاه ریشه Stone fruits	3964	0.42	1.01	3.7	4.1	3.4	2.4	0.35	0	0	0	0	0	15.5
گندم Wheat	1000	0.9	1.6	0.7	-	-	-	-	0	0	0	0	0	3.0
ذرت علوفه‌ای Forage corn	1200	-	-	-	1.0	1.4	1.5	0.6	-	-	-	-	-	4.5
شبدر Clover	1200	0.3	0.7	2.8	3.1	3.1	0.5	-	-	-	-	-	-	10.5
سویا Soybean	500	-	-	-	0.3	1.1	0.8	0.1	-	-	-	-	-	2.0
کلزا Rapeseed	500	0.4	0.8	0.2	-	-	-	0	0	0	0	0	0	1.5
محصول جالیزی Vegetable crops	200	-	0.1	0.3	0.5	0.4	-	-	-	-	-	-	-	1.5
سبزیجات Vegetables	200	-	0.1	0.4	0.4	-	-	-	-	-	-	-	-	1.0
کشت مجدد (ذرت) Re-cultivation (Forage corn)	1000	-	-	-	0.8	1.2	1.3	0.5	-	-	-	-	-	4.0
کشت دوم برنج Second rice crop	10000	-	-	-	1.3	26.2	12.3	3.5	-	-	-	-	-	43.0
جمع Total	68100	37.3	55.3	93.8	102.5	103.7	35.2	5.7	-	-	-	-	-	433.5

جدول ۷- نیاز آبی اراضی کشاورزی حوضه آبریز رودخانه تجن تا ورودی به دشت (میلیون متر مکعب)

Table 7- Water requirement of agricultural lands in Tajan river basin up to the plain entrance (MCM)

محصول Product	سطح خالص (Hec.) Net Area	فروردین April	اردیبهشت May	خرداد June	تیر July	مرداد August	شهریور September	مهر October	آبان November	آذر December	دی January	بهمن February	اسفند March	جمع گرد شده Total Rounded
برنج Rice	5000	7.6	10.0	14.5	16.0	11.5	1.5	-	-	-	-	-	-	61.5
باغات (سیاه‌ریشه) Gardens (Stone fruits)	900	0.15	0.38	1.4	1.5	1.3	0.9	0.14	0	0	0	0	0	6.0
گندم Wheat	4700	5.6	9.8	4.6	-	-	-	-	0	0	0	0	0	20.0
جو Barley	4700	4.6	9.0	4.9	-	-	-	-	0	0	0	0	0	18.5
جمع Total	15300	18.0	29.1	25.4	17.5	13.0	2.5	-	-	-	-	-	-	106.0

جدول ۸- نیاز آبی کشاورزی و آبی پروری در کل محدوده مورد مطالعه (میلیون متر مکعب)
Table 8- Agricultural and aquaculture water needs in the enJulye study area (MCM)

محدوده Area	نیاز آبی Water requirement	Month ماه												جمع Total
		فروردین April	اردیبهشت May	خرداد June	تیر July	مرداد August	شهریور September	مهر October	آبان November	آذر December	دی January	بهمن February	اسفند March	
دشت تجن Tajan Plain	کشاورزی و آبی پروری Agriculture & Aquaculture	37.3	55.3	93.8	102.5	103.7	35.2	5.7	0	0	18.1	18.1	18.1	488.0
خارج از محدوده شبکه Outside Network Area	شالیزار Rice Fields	0.5	0.6	0.9	1.0	0.7	0.1	-	-	-	-	-	-	4.0
جمع Total		37.8	55.9	94.7	103.5	104.4	35.3	5.7	0	0	18.1	18.1	18.1	492.0
حوضه تجن تا ورودی به دشت Tajan Basin up to Plain Entrance	کشاورزی Agriculture	18.0	29.1	25.4	17.5	13.0	2.5	-	-	-	-	-	-	106.0
محدوده کلی طرح Total Project Area		55.8	85.0	120.1	121.0	117.4	37.8	5.7	0	0	18.1	18.1	18.1	598.0

جدول ۹- نیاز شرب و صنعت سالانه شهرستان های ساری و میاندرد (میلیون متر مکعب)
Table 9- Annual drinking and industrial water demand of Sari and Miandorud counties (MCM)

شهرستان County	شرب Drinking	صنعت Industry	شرب گردشگری Tourism Drinking	جمع Total
ساری و میاندرد Sari and Miandorud	55.21	6.1	2.99	64.3
کیاسر Kiasar	1.34	3	0.08	4.42
جمع کل Total	56.55	9.1	3.07	68.72

منابع آب قابل دسترس

منابع آب در دسترس فعلی برای مصارف مختلف عبارت از جریان آب تنظیم شده از سد شهید رجائی، جریان به هنگام رودخانه های حوضه میانی، ذخیره آب بندها و منابع آب زیرزمینی است. قابل ذکر است که ناحیه مصرف نکارود در بخش غربی رودخانه تجن کوچک بوده و شبکه تجن آن را تحت پوشش قرار می دهد، لذا سیستم تجن از سیاهرود تا نکارود در نظر گرفته شده است.

آب قابل استحصال از سد شهید رجائی

جریان تنظیم شده از سد شهید رجائی منبع اصلی تأمین آب اراضی کشاورزی، شرب و صنعت اراضی پائین دست، به خصوص دشت تجن به شمار می رود. این سد که در ۴۵ کیلومتری جنوب غربی ساری واقع شده، با حجم مخزن ۱۶۱ میلیون متر مکعب در سال ۱۳۷۸ به بهره برداری رسید.

انتخاب سال آبی هیدرولوژیک

به منظور مقایسه مصارف با منابع آب قابل دسترس از سه سطح مقایسه شامل سال آبی نرمال، خشک و خیلی خشک استفاده شده است. همچنین به منظور تشخیص وضعیت سال آبی هیدرولوژیک از آمار ده ساله (۱۳۹۰-۱۴۰۰) رودخانه های اصلی حوضه میانی (زارم رود و چهاردانگه، لاجیم و تجن) استفاده شده است (جدول ۱۰). متوسط آبدهی ده ساله (۱۳۹۰-۱۴۰۰) معادل سال آبی متوسط یا نرمال، سال آبی ۹۴-۱۳۹۳ معادل سال آبی خشک و سال آبی ۹۷-۱۳۹۶ معادل سال آبی خیلی خشک به عنوان شاخص های مقایسه ای براساس آمار رودخانه های مذکور و به خصوص آمار ورودی سد شهید رجائی به عنوان منبع اصلی تأمین کننده آب در نظر گرفته شده است.

جدول ۱۰- وضعیت آبدهی رودخانه‌های حوضه میانی در محدوده مورد مطالعه
Table 10- Water discharge status of rivers in the central basin within the study area

نام رودخانه River name	دوره آماری Statistical period	وضعیت سال آبی Water year status	ماه (میلیون متر مکعب) Month (MCM)												جمع شش ماهه اول Total six-month period	جمع سالانه Annual total
			فروردین April	اردیبهشت May	خرداد June	تیر July	مرداد August	شهریور September	مهر October	آبان November	آذر December	دی January	بهمن February	اسفند March		
زارم رود Zarem Road	1390-1400	نرمال Normal	27.6	14.7	8.4	4.6	4.2	4.9	8.9	9.8	10.1	9.6	13.5	24.4	64.4	140.7
	1396-1397	خیلی خشک Very dry	3.6	5.6	3.4	0.7	2.8	2.3	7.4	3.0	4.6	5.4	12.4	6.9	18.4	58.1
	1393-1394	خشک Dry	9.85	1.19	1.21	1.04	0.95	2.95	2.51	3.11	2.83	2.31	2.98	11.07	17.19	42.0
چهار دانگه Chahardangeh	1390-1400	نرمال Normal	17.7	9.5	4.8	4.9	5.0	4.9	6.6	6.6	9.2	7.8	11.9	16.1	46.7	105.0
	1396-1397	خیلی خشک Very dry	3.2	9.1	3.9	1.6	5.0	2.6	7.9	2.4	3.8	3.1	6.6	3.0	25.4	52.1
	1393-1394	خشک Dry	10.61	1.28	1.13	2.22	10.71	9.54	2.67	2.67	4.12	2.55	4.41	10.29	35.49	62.20
لاجم Lajim	1390-1400	نرمال Normal	3.4	1.5	0.8	0.5	0.5	0.7	1.0	2.1	2.0	1.6	3.0	4.0	7.3	21.3
	1396-1397	خیلی خشک Very dry	0.5	0.7	0.4	0.03	0.18	0.17	0.92	0.31	0.6	1.3	2.3	0.9	2.0	8.3
	1393-1394	خشک Dry	2.10	0.63	0.33	0.38	0.11	0.64	0.43	0.39	0.78	0.5	0.87	2.90	3.56	9.43
تاجان Tajan	1390-1400	نرمال Normal	50.6	14.7	4.28	4.4	7.5	8.4	17.0	24.6	29.8	19.3	33.6	47.0	89.9	261.2
	1396-1397	خیلی خشک Very dry	1.5	3.0	0.6	0.4	1.6	0.75	14.0	6.0	7.0	6.0	15.8	2.1	7.9	58.7
	1393-1394	خشک Dry	3.91	1.44	0.76	4.85	0.73	7.0	1.87	9.9	8.37	1.31	1.15	12.0	18.69	53.29

(رودخانه‌های حوضه میانی) تغییر می‌یابد. بر اساس جدول ۱۱ حجم آب قابل استحصال در کل محدوده مورد مطالعه در شش ماهه اول سال برای سال آبی نرمال معادل ۲۳۱ میلیون متر مکعب بوده که این میزان در سال آبی خشک به ۱۹۴ میلیون متر مکعب و در سال آبی خیلی خشک به ۱۲۲ میلیون متر مکعب کاهش می‌یابد.

آب قابل استحصال از آب‌بندان‌ها

در محدوده مورد مطالعه ۵۱۳۷ هکتار آب‌بندان وجود دارد که بیش از ۹۵ درصد آنها یعنی حدود ۵۰۰۰ هکتار در محدوده دشت تجن واقع شده است. این آب‌بندان‌ها عموماً از طریق نهرهایی از رودخانه تجن آبیگیری می‌کنند و به‌صورت محدود نیز (در حد ۱۰ درصد) از طریق آب باران تأمین آب می‌شوند. چون در برآورد آب قابل دسترس محدوده از روش بیلان آبی استفاده شده، لذا عملاً میزان آب قابل استحصال از آب‌بندان‌ها در محاسبات بیلان منظور گردیده و لذا در ادامه فقط حجم قابل تأمین از آب باران (در حد ۱۰ درصد اشاره

متوسط دبی سالانه درازمدت ۲۰ ساله ورودی به سد شهید رجائی معادل ۱۷۲ میلیون متر مکعب بوده که در ده سال اخیر به حدود ۱۷۹ میلیون متر مکعب رسیده است. لذا متوسط ده سال اخیر با تغییر ۴٪+ نسبت به میانگین درازمدت می‌تواند به‌عنوان معرف سال آبی نرمال در نظر گرفته شود. با استفاده از آمار آبدهی ورودی به سد، سه حالت شامل سال آبی متوسط یا نرمال، سال آبی خشک و سال آبی خیلی خشک در نظر گرفته شده است. در سال آبی خشک (۹۴-۱۳۹۳) با متوسط آبدهی سالانه ورودی به سد معادل ۱۲۳/۱ میلیون متر مکعب نسبت به میانگین درازمدت سالانه (۱۷۲ میلیون متر مکعب) دارای تغییر ۲۸/۴٪- بوده که این میزان برای سال آبی خیلی خشک (۹۷-۱۳۹۶) به ۴۴٪- رسیده است. در شکل ۲ سهم آبدهی سد شهید رجائی و رودخانه‌های حوضه میانی برای سال آبی نرمال و خشک نشان داده شده است. بر اساس این شکل در سال آبی نرمال سهم سد شهید رجائی و رودخانه‌های حوضه میانی تقریباً معادل هم بوده و این در حالی است که در سال آبی خشک به‌دلیل کاهش منابع آبی و از طرفی تأثیرگذاری سد، این نسبت به ۶۵٪ (سد شهید رجائی) و ۳۵٪

های واقع در دشت تجن و کل محدوده به ترتیب ۹۰ و ۱۷۶ میلیون متر مکعب برآورد شده است.

در شکل ۳ تغییرات سطح ایستایی آبخوان واقع در محدوده دشت تجن طی سال های ۱۳۹۰-۱۴۰۰ (براساس اطلاعات اخذ شده از واحد مطالعات پایه منابع آب شرکت آب منطقه ای مازندران) ارائه شده است. تغییرات محدود سطح ایستایی طی ده سال مذکور نشان دهنده تعادل نسبی بین تخلیه و تغذیه می باشد. در سال ۹۷-۱۳۹۶ که مصادف با سال آبی خیلی خشک بوده است به دلیل بهره برداری زیاد از سفره های آب زیرزمینی افت سطح ایستایی بیش از سال های قبل و بعد می باشد. در جدول های ۱۲، ۱۳ و ۱۴ توزیع ماهانه منابع آب قابل دسترس در کل محدوده مورد مطالعه و دشت تجن برای سال آبی متوسط، خشک و خیلی خشک ارائه شده است. در سال های خشک به دلیل کاهش آبدی سد شهید رجایی و حوضه میانی، میزان آب برگشتی کاهش یافته و سبب برداشت از طریق چاه های غیرمجاز در منطقه شده است. در جدول ۱۴ متوسط ضریب ۷۰ در صد برای حجم آب قابل دسترس آبندان ها در سال آبی خیلی خشک اعمال شده است.

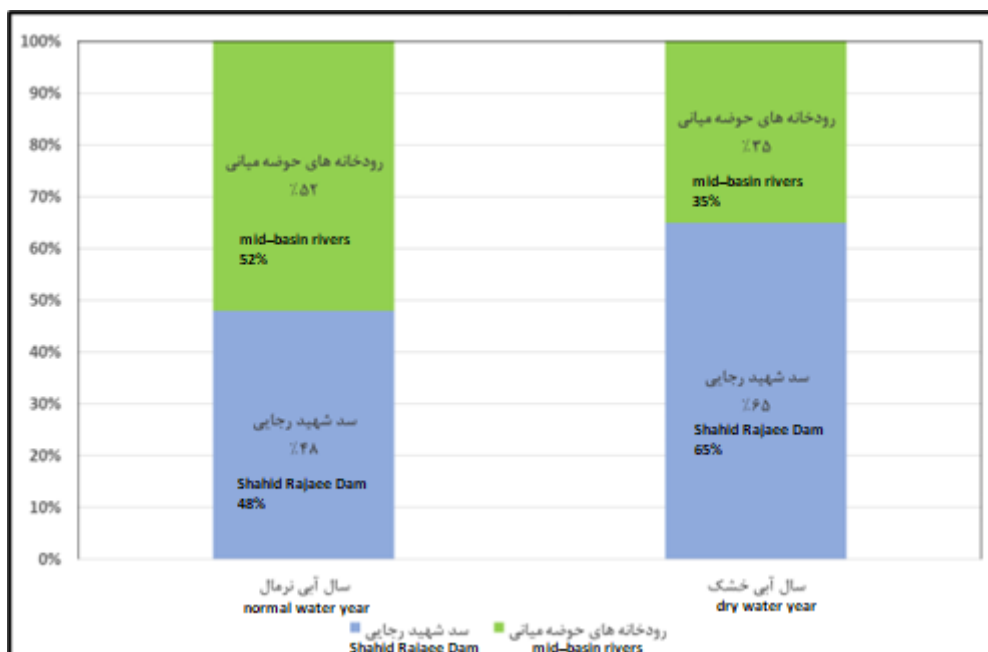
مقایسه منابع آب در دسترس و نیازها

در جدول ۱۵ و نمودار رسم شده در شکل ۴ مقایسه نیازها و منابع آب در دسترس برای کل محدوده مورد مطالعه و دشت تجن برای سال آبی متوسط یا نرمال، خشک و خیلی خشک نشان داده شده است.

شده) اعمال شده است. با در نظر گرفتن متوسط عمق ۲/۵ متر برای آبندان ها، پتانسیل آب قابل ذخیره در آبندان های کل محدوده و محدوده دشت تجن به ترتیب ۱۲۸ و ۱۲۵ میلیون متر مکعب است که از این حجم به میزان ۱۰ درصد (تأمین شده از آب باران) معادل ۱۲/۸ و ۱۲/۵ میلیون متر مکعب به عنوان آب قابل استحصال لحاظ شده است.

برداشت آب زیرزمینی از طریق چاه ها

بر اساس اطلاعات اخذ شده از شرکت آب منطقه ای مازندران، تعداد چاه های موجود در دشت تجن و کل محدوده مورد بررسی در سال ۱۴۰۰ به ترتیب ۱۴۱۹۳ و ۱۹۸۶۰ می باشد. حدود ۷۰ درصد از چاه های واقع در محدوده دشت تجن برای باغات و مابقی برای کشت شالی استفاده می شوند. توزیع ماهانه برداشت آب از چاه ها (طبق آمار سازمان جهاد کشاورزی مازندران) برای باغات با کارکرد سالانه پمپاژ ۱۰۰۰ ساعت به ترتیب برای ماه های فروردین الی مهر ماه شامل ۱۰، ۱۵، ۳۲، ۲۴، ۱۱ و ۲ درصد و برای شالی (با کارکرد سالانه پمپاژ ۲۵۰۰ ساعت) برای ماه های فروردین الی مرداد ماه به ترتیب شامل ۱۸، ۲۰، ۲۲، ۲۵ و ۱۵ درصد می باشد. با در نظر گرفتن موارد فوق و اعمال ضریب ۷۰ در صد برای باغات و ۳۰ در صد برای شالی، توزیع ماهانه کلی طی ماه های فروردین لغایت مهر ماه به ترتیب ۱۰، ۱۳، ۱۷، ۳۰، ۲۱، ۸ و ۱ درصد می باشد. میزان آب برداشتی از طریق چاه



شکل ۲- نمودار سهم آبدی سد شهید رجایی و رودخانه های حوضه میانی در سال آبی نرمال و خشک (شش ماهه اول سال)

Figure 2- Diagram of the share of water discharge from Shahid Rajaei Dam and the rivers of the middle basin in normal and dry water years (first six months of the year)

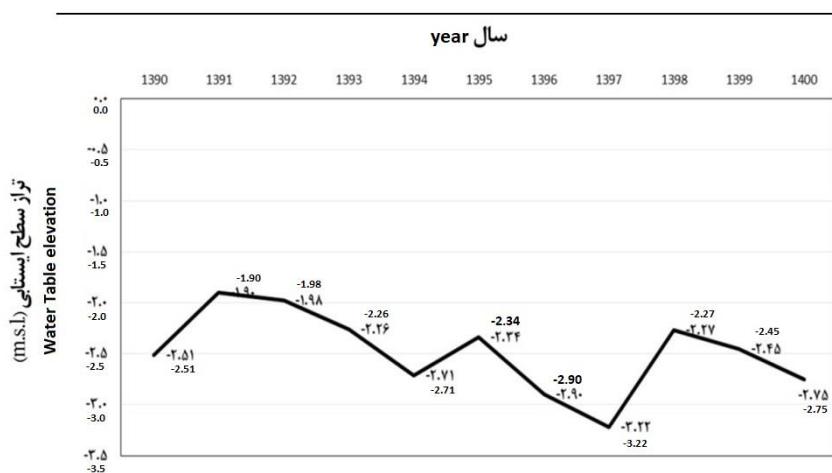
جدول ۱۱- توزیع ماهانه آب قابل استحصال از سامانه سد شهید رجائی و رودخانه‌های حوضه میانی (میلیون متر مکعب)

Table 11- Monthly distribution of extractable water from the Shahid Rajaei Dam system and rivers in the central basin (MCM)

وضعیت Status	رودخانه River	فروردین April	اردیبهشت May	خرداد June	تیر July	مرداد August	مهر September	آبان October	آذر November	دی December	بهمن January	اسفند February	مارچ March	جمع شش ماهه اول Total six-month
(سال آبی نرمال) 1390-1400 (Normal water year)	تجن (خروجی سد) Tajan (Dam output)	15.2	36.9	32.3	37.1	21.3	6.7	3.8	3.7	3.5	5.5	4.4	6.4	149.5
	لاجیم Lajim	4.8	2.1	1.1	0.7	0.7	0.67	0.98	2.17	2.05	1.63	3.08	4.08	10.1
	زارم رود Zarem Rood	38.6	20.58	11.7	6.48	5.92	4.9	8.9	9.8	10.1	9.64	13.5	24.4	88.18
	چهاردانگه Chahardangeh	24.75	13.3	6.72	6.86	6.97	4.87	6.63	6.6	9.17	7.82	11.9	16.1	63.47
	تجن (خروجی کردخیل) Tajan (Kordkheyl output)	45.5	13.2	3.9	4.9	6.8	7.5	16.95	24.6	29.8	19.34	33.62	47.0	80.0
	متوسط بیابان (رند شده) Average balance (Rounded)	38.0	60.0	48.0	47.0	28.0	10.0	3.0	0	0	5.0	0	4.0	231
(سال آبی خشک) 1393-94 (Dry water year)	تجن (خروجی سد) Tajan (Dam output)	3.31	42.1	36.9	35.4	15.3	3.5	2.7	2.7	2.6	2.7	2.7	2.6	136.5
	لاجیم Lajim	2.9	0.88	0.46	0.53	0.15	0.64	0.43	0.39	0.78	0.5	0.87	2.9	5.6
	زارم رود Zarem Rood	13.8	1.67	1.69	1.46	1.33	2.95	2.5	3.11	2.83	2.31	2.98	11.07	22.9
	چهاردانگه Chahardangeh	14.9	1.79	1.58	3.11	15.0	9.54	2.67	2.67	4.12	2.55	4.41	10.29	45.9
	تجن (خروجی کردخیل) Tajan (Kordkheyl output)	3.52	1.30	0.68	4.37	0.66	6.3	1.87	9.9	8.37	1.31	1.15	12.0	16.8
	متوسط بیابان (رند شده) Average balance (Rounded)	31.4	45.1	40.0	36.1	31.1	10.3	6.4	0	1.9	6.8	9.8	14.9	194
(سال آبی خیلی خشک) 1396-97 (Very dry water year)	تجن (خروجی سد) Tajan (Dam output)	3.62	13.31	13.24	27.22	5.67	3.088	3.71	3.68	3.66	3.68	3.7	3.63	66.9
	لاجیم Lajim	0.77	0.99	0.52	0.04	0.25	0.17	0.92	0.31	0.63	1.28	2.29	0.89	2.74
	زارم رود Zarem Rood	5.1	7.8	4.8	1.0	3.9	2.28	7.36	3.0	4.56	5.41	12.4	6.9	24.9
	چهاردانگه Chahardangeh	4.5	12.8	5.4	2.2	7.0	2.59	7.85	2.37	3.84	3.1	6.6	2.96	34.49
	تجن (خروجی کردخیل) Tajan (Kordkheyl output)	1.4	2.6	0.5	0.35	1.5	0.6	14	5.96	7.0	6.0	15.8	2.1	7.0
	متوسط بیابان (رند شده) Average balance (Rounded)	12.5	32.0	24.0	30.0	15.0	8.0	6.0	3.5	6.0	7.5	9.0	12.0	122

خشک میزان کمبود آب عمدتاً به دلیل کاهش خروجی دبی از سد مخزنی شهید رجائی و رودخانه‌های حوضه میانی همراه بوده، لذا علاوه بر ضرورت مدیریت توزیع آب و نوبت‌بندی و همچنین بهسازی شبکه آبیاری تجن که تا حدی میزان خسارت ناشی از کمبود آب را کاهش می‌دهد، احداث سدهای پیش‌بینی شده بر روی رودخانه‌های زارم رود و چهاردانگه در تنظیم دبی ماهانه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

بر اساس این جدول میزان کمبود آب در سال آبی نرمال، خشک و خیلی‌خشک در محدوده دشت تجن به‌ترتیب معادل ۱۴۷، ۲۱۲ و ۳۰۵ میلیون متر مکعب است. به‌عبارتی در سال آبی عادی یا نرمال در شبکه آبیاری و محدوده دشت تجن حدود ۱۵۰ میلیون متر مکعب کمبود آب وجود دارد. کمبود آب به‌دلیل کاهش منابع آب در دسترس از جمله خروجی سد شهید رجائی منجر به شرایط محدودیت منابع و در نتیجه کمبود آب در اراضی دشت تجن می‌گردد. در سال آبی



شکل ۳- تغییرات سطح ایستابی آنخوان آزاد ساری-نکا طی سال‌های ۱۳۹۰-۱۴۰۰ (محدوده دشت تجن)

Figure 3- Changes in the water table level of the Sari-Neka unconfined aquifer during the years 2011-2021 (Tajan Plain area)

جدول ۱۲- توزیع ماهانه آب قابل دسترس از منابع مختلف در وضع موجود با در نظر گرفتن وضعیت متوسط آینده (سال آبی ۱۴۰۰-۱۳۹۰)

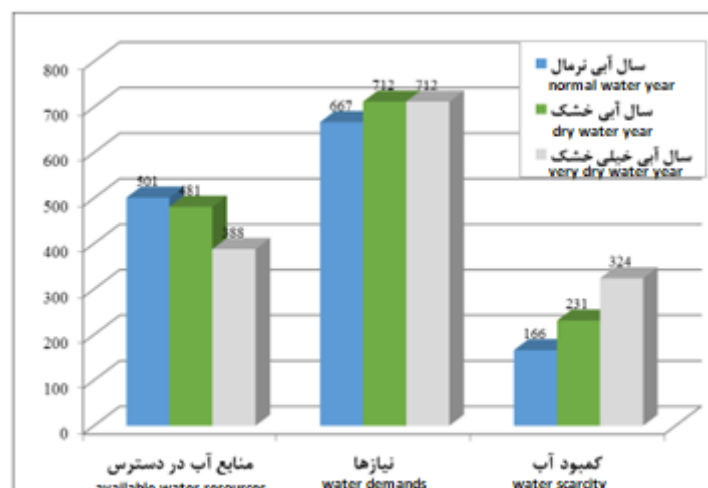
Table 12- Monthly distribution of available water from various sources under the current situation, considering the average flow condition (Water Year 2011-2021)

Flow condition (Water Year 2011-2021)														
محدوده Area	منابع تأمین آب Water supply sources	حجم ماهانه – میلیون متر مکعب Monthly volume – MCM												
		فروردین April	اردیبهشت May	خرداد June	تیر July	مرداد August	شهریور September	مهر October	آبان November	آذر December	دی January	بهمن February	اسفند March	جمع شش ماهه اول Total Six-Month
محدوده کلی طرح Enluye project area	جریان تنظیم شده از سد شهید رجائی و رودخانه‌های حوضه میانی Regulated flow from Shahid Rajaee Dam & Middle Basin Rivers	38.0	60.0	48.0	47.0	28.0	10.0	3.0	0	0	5.0	0	4.0	231.0
	آب‌بندان Water ponds	1.3	2.5	3.8	3.3	1.9	–	–	–	–	–	–	–	12.8
	چاه Wells	17.4	22.3	28.9	50.2	35.5	14.1	2.7	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	168.4
	آب برگشتی Return water	11.4	18	14.4	14.1	8.4	3.0	–	–	–	–	–	–	69.3
	جمع Total	68.1	102.8	95.1	114.6	73.8	27.1	5.7	1.02	1.02	6.02	1.02	5.02	481.5
	دشت تاجان Tajan plain	جریان تنظیم شده از سد شهید رجائی و رودخانه‌های حوضه میانی Regulated flow from Shahid Rajaee Dam & Middle basin rivers	38.0	60.0	48.0	47.0	28.0	10.0	3.0	0	0	5.0	0	4.0
آب‌بندان Water ponds		1.3	2.5	3.7	3.2	1.8	–	–	–	–	–	–	–	12.5
چاه Wells		9	11.5	15.0	26.4	18.5	7.2	1.1	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	87.6
آب برگشتی Return water		11.4	18	14.4	14.1	8.4	3.0	–	–	–	–	–	–	69.3
جمع Total		59.7	92.0	81.1	90.7	56.7	20.2	4.1	0.22	0.22	5.22	0.22	4.22	400.4

جدول ۱۳- توزیع ماهانه آب قابل دسترس از منابع مختلف در وضع موجود در سال آبی خشک ۱۳۹۳-۹۴

Table 13- Monthly distribution of accessible water from various sources in the current situation in dry water year 2014-2015

محدوده Area	منابع تأمین آب Water supply sources	حجم ماهانه - میلیون متر مکعب Monthly volume - MCM												جمع شش ماهه اول سال Total six-month
		فروردین April	اردیبهشت May	خرداد June	تیر July	مرداد August	شهریور September	مهر October	آبان November	آذر December	دی January	بهمن February	اسفند March	
محدوده کلی طرح EnJulye project area	جریان تنظیم شده از سد شهید رجائی و رودخانه‌های حوضه میانی Regulated flow from Shahid Rajaee dam & middle basin rivers	31.4	45.1	40.0	36.1	31.1	10.3	6.4	0	1.9	6.8	9.8	14.9	194.0
	آب‌بندان Water ponds	1.3	2.5	3.8	3.3	1.9	0	0	0	0	0	0	0	12.8
	چاه Wells	17.4	22.3	28.9	50.2	35.5	14.1	2.7	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	168.4
	آب برگشتی Return water	9.4	13.5	12.0	10.8	9.3	3.1	—	—	—	—	—	—	58.1
	جمع Total	59.5	83.4	84.7	100.4	77.8	27.5	9.1	1.02	2.9	7.8	10.8	15.9	433.3
دشت تاجان Tajan plain	جریان تنظیم شده از سد شهید رجائی و رودخانه‌های حوضه میانی Regulated flow from Shahid Rajaee dam & Middle basin rivers	31.4	45.1	40.0	36.1	31.1	10.3	6.4	0	1.9	6.8	9.8	14.9	194.0
	آب‌بندان Water ponds	1.3	2.5	3.7	3.2	1.8	—	—	—	—	—	—	—	12.5
	چاه Wells	9.0	11.5	15.0	26.4	18.5	7.2	1.1	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	87.6
	آب برگشتی Return water	9.4	13.5	12.0	10.8	9.3	3.1	—	—	—	—	—	—	58.1
	جمع Total	51.1	72.6	70.0	76.5	60.7	20.6	7.5	0.22	2.1	7.0	10.0	15.1	352.2



شکل ۴- منابع آب در دسترس و نیازهای کل محدوده مورد مطالعه در سال آبی نرمال، خشک و خیلی خشک (میلیون متر مکعب)

Figure 4- Available water resources and needs of the enJulye study area in normal, dry, and very dry water years (MCM)

جدول ۱۴- توزیع ماهانه آب قابل دسترس از منابع مختلف در وضع موجود در سال آبی خیلی خشک ۹۷-۱۳۹۶

Table 14- Monthly distribution of accessible water from various sources in the current situation in very dry water year 2017-2018

محدوده Area	منابع تأمین آب Water supply sources	حجم ماهانه - میلیون متر مکعب Monthly volume - MCM												جمع شش ماهه Total six-month period
		فروردین April	اردیبهشت Mav	خرداد June	تیر July	مرداد August	شهریور September	مهر October	آبان November	آذر December	دی January	بهمن February	اسفند March	
محدوده کل طرح EnJulye project area	جریان تنظیم شده از سد شهید رجایی و رودخانه‌های حوضه میانی Regulated flow from Shahid Rajaee dam & middle basin rivers	12.5	32.0	24.0	30.0	15.0	8.0	6.0	3.5	6.0	7.5	9.0	12.0	122.0
	آب‌بندان Water ponds	0.9	1.8	2.7	2.3	1.3	—	—	—	—	—	—	—	9.0
	چاه Wells	17.4	22.3	28.9	50.2	35.5	14.1	2.7	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	168.4
	آب برگشتی Return water	3.7	9.6	7.2	9.0	4.5	2.4	—	—	—	—	—	—	36.4
	جمع Total	34.5	65.7	62.8	91.5	56.3	24.5	8.7	4.5	7.0	8.5	10.0	13.0	336.0
دشت تجن Tajan plain	جریان تنظیم شده از سد شهید رجایی و رودخانه‌های حوضه میانی Regulated flow from Shahid Rajaee dam & middle basin rivers	12.5	32.0	24.0	30.0	15.0	8.0	6.0	3.5	6.0	7.5	9.0	12.0	122.0
	آب‌بندان Water ponds	0.9	1.8	2.6	2.2	1.3	—	—	—	—	—	—	—	8.8
	چاه Wells	9.0	11.5	15.0	26.4	18.5	7.2	1.1	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	87.6
	آب برگشتی Return water	3.7	9.6	7.2	9.0	4.5	2.4	—	—	—	—	—	—	36.4
	جمع Total	26.1	54.9	48.8	67.6	39.3	17.6	7.1	3.7	6.2	7.7	9.2	12.2	255.0

جدول ۱۵- مقایسه نیازها و منابع در سال آبی متوسط، خشک و خیلی خشک (میلیون مترمکعب)

Table 15- Comparison of needs and resources in average, dry, and very dry water years (MCM)

محدوده Area	سال آبی متوسط یا نرمال Average water year (Normal)			سال آبی خشک Dry water year			سال آبی خیلی خشک Very dry water year		
	نیازها Needs	منابع Resources	کمبود Shortage	نیازها Needs	منابع Resources	کمبود Shortage	نیازها Needs	منابع Resources	کمبود Shortage
کل محدوده EnJulye area	667.0	501.0	166.0	712.0	481.0	231.0	712.0	388.0	324.0
دشت تجن Tajan plain	561.0	414.0	147.0	606.0	394.0	212.0	606.0	301.0	305.0

نتیجه‌گیری

آبی محدوده دشت تجن (کشاورزی و آبی‌ری پروری) معادل ۴۹۲ میلیون متر مکعب بوده و در بخش اراضی بالادست (حوضه آبریز تجن تا ورودی به دشت) این نیاز معادل ۱۰۶ میلیون متر مکعب برآورد شده است. نیاز کل شرب، صنعت و شرب گردشگری منطقه (شهرستان‌های ساری و میاندرد و کیا سر)، ۶۸/۷ میلیون متر مکعب در سال است. نیاز محیط‌زیستی برآورد شده رودخانه تجن نیز معادل ۱۰۰ میلیون متر مکعب در سال می‌باشد. منابع آب در دسترس برای مصارف مختلف شامل جریان آب تنظیمی سد شهید رجایی، جریان به هنگام رودخانه‌های حوضه میانی، ذخیره آب‌بندان‌ها و منابع آب زیرزمینی

بررسی‌ها نشان می‌دهد که در کل محدوده مورد مطالعه شامل حوضه آبریز رودخانه تجن تا ورودی به دشت و اراضی دشت تجن حدود ۱۱۹۸۰۰ هکتار اراضی کشاورزی خالص (زراعی و باغی) به صورت کشت آبی و دیم وجود دارد که ۷۴۵۰۰ هکتار آن به‌صورت کشت آبی و مابقی به‌صورت کشت دیم است. در محدوده دشت تجن استخرهای پرورش ماهی با مساحت کل ۵۵۰ هکتار وجود دارند که عموماً مربوط به ماهیان گرمابی هستند. همچنین برخی از آب‌بندان‌های واقع در محدوده برای آبی‌ری پروری هم استفاده می‌شوند. نیاز کل

آبیاری، بهبود راندمان انتقال و توزیع، کاهش سطح زیرکشت محصولات پرآب بر، معرفی ارقام کم آب طلب، و همچنین ارتقای فرهنگ مصرف آب در بخش کشاورزی و شرب پیشنهاد می شود. علاوه بر موارد پیشنهادی که تا حدی میزان خسارت ناشی از کمبود آب را کاهش می دهد، احداث سدهای پیش بینی شده بر روی رودخانه های زارم رود و چهاردانگه برای تنظیم دبی ماهانه از اهمیت ویژه ای برخوردار است.

سپاسگزاری

از شرکت مهندسين مشاور پندام که در مراحل مختلف این پروژه همکاری نمودند، نهایت تشکر و قدردانی می شود.

است. برای مقایسه مصارف با منابع آب قابل دسترس از سه سطح مقایسه شامل سال آبی نرمال، خشک و خیلی خشک استفاده شده است. حجم آب قابل استحصال از سد شهید رجائی در شش ماهه اول سال برای سال آبی نرمال، خشک و خیلی خشک به ترتیب ۲۳۱، ۱۹۴ و ۱۲۲ میلیون متر مکعب است. حجم آب قابل استحصال از آب بندان ها و چاه های واقع در محدوده نیز به ترتیب ۱۲/۸ و ۱۷۶ میلیون متر مکعب در سال برآورد شده است. مقایسه نیازها و منابع آب در دسترس نشان می دهد که میزان کمبود آب در کل محدوده (حوضه آبریز تجن) در سال های آبی نرمال، خشک و خیلی خشک به ترتیب ۱۶۶، ۲۳۱ و ۳۲۴ میلیون متر مکعب است. برای مدیریت پایدار منابع آب محدوده مورد بررسی، اقداماتی همچون بهینه سازی شبکه های

References

1. Danesh Yazdi, M., & Malaek, S.M. (2023). Assessment of water resources, consumption, and agricultural economy in the Mahabad River Basin (southern part of Lake Urmia) using a hydro-economic model. *Iranian Water Resources Research*, 19(2), 87–105. <https://doi.org/10.1001/1.17352347.1402.19.2.6.3>.
2. Degefu, D.M., He, W., & Yuan, L. (2017). Monotonic bargaining solution for allocating critically scarce transboundary water. *Water Resources Management*, 31(9), 2627–2644. <https://doi.org/10.1007/s11269-017-1648-z>
3. Fadaeizadeh, K., & Shourian, M. (2019). Determination of the optimal river basin-wide agricultural water demand quantities meeting satisfactory reliability levels. *Water Resources Management*, 33(8), 2665–2676. <https://doi.org/10.1007/s11269-019-02242-7>
4. Khazarab Consulting Engineers. (2015). Comprehensive water resources plan of Mazandaran Province. *Water and Wastewater Engineering Company*, Tehran, Iran.
5. Laghbodoust Arani, A., Zarei, H., Radmanesh, F., & Zarghami, M. (2023). Evaluating the effects of Mollasadra Dam on water resources and consumption in Kamfirouz Plain and Doroodzan Dam. *Iranian Journal of Irrigation and Water Engineering*, 13(52), 202–224. <https://doi.org/10.22125/iwe.2023.173260>
6. Li, C.Y., & Zhang, L. (2015). An inexact two-stage allocation model for water resources management under uncertainty. *Water Resources Management*, 29(6), 1823–1841. <https://doi.org/10.1007/s11269-015-0913-2>
7. Loucks, D.P., & Van Beek, E. (2017). *Water resources systems planning and management: An introduction to methods, models and applications*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-44234-1>
8. Mirzaei Arjenaki, S.Y., Sheikhi Beglari, P., & Chitsazan Mirzaei, M. (2021). Groundwater management in the Mianab Plain of Shooshtar emphasizing agricultural water demands using groundwater modeling. *Hydrogeology*, 6(1), 84–98. <https://doi.org/10.22034/hydro.2021.12225>
9. Nicklow, J., Reed, P., Savic, D., Dessalegne, T., Harrell, L., Chan-Hilton, A., ... & ASCE Task Committee on Evolutionary Computation in Environmental and Water Resources Engineering. (2010). State of the art for genetic algorithms and beyond in water resources planning and management. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 136(4), 412–432. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000053](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000053)
10. Pandam Consulting Engineers. (2023). Water resources and demand study report (Tajan River Basin up to the Tajan Plain and its irrigated lands). *Mazandaran Regional Water Company*, Sari, Iran.
11. Tolaei Nejad, M., Makvandi, A., Mohammadpour Zangeneh, G., & Lavafian Nejad, B. (2009). An overview of the status of water resources and consumption in Khuzestan Province. *Proceedings of the 2nd National Water Conference*, Islamic Azad University, Behbahan Branch, Iran.
12. Valizadegan, E., & Yazdanpanah, S. (2018). Quantitative model of optimal conjunctive use of Mahabad plain's surface and underground water resources. *Amirkabir Journal of Civil Engineering*, 50(4), 631–640. <https://doi.org/10.22060/ceej.2017.12739.5266>.
13. Veyssel. (2024). Use of water resources and sustainability with concepts, definitions and examples. *Journal of Civil Engineering and Environmental Sciences*, 10(1), 21–25. <https://doi.org/10.17352/2455-488X.000079>
14. Water allocation permit for Shahid Rajaee (Tajan) Dam. (2018). *Official letter No. 700/18436/97*, Ministry of Energy, Iran Water Resources Management Company, Tehran, Iran.

15. Yousefi, P., Hessari, B., Brugmann, A., & Zarghami, M. (2023). Evaluation of water supply and demand in a river basin using WEAP-MABIA model (case study: Godarchay-Naghadeh Basin). *Iranian Water Resources Research*, 19(4), 80–94. <https://doi.org/10.22034/iwrr.2023.176840>
16. Zhou, Y., Guo, S., Xu, C.Y., Liu, D., Chen, L., & Ye, Y. (2015). Integrated optimal allocation model for complex adaptive system of water resources management (I): Methodologies. *Journal of Hydrology*, 531, 964–976. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.10.007>