



Print ISSN: 2251-7480
Online ISSN: 2251-7400

Journal of
**Water and Soil
Resources Conservation
(WSRCJ)**

Web site:
<https://wsrcj.srbiau.ac.ir>

Email:
iauwsrcj@srbiau.ac.ir
iauwsrcj@gmail.com

**Vol. 12
No. 4 (48)
Summer 2023**

Received:
2023-01-08

Accepted:
2023-02-06

Pages: 73-85



The impact of Tajan Irrigation and Drainage Network on Meeting the Environmental Flow Requirements of Water Resources

Seyedeh-Zohreh Hashemi ¹, Abdullah Darzi-Naftchali ^{1*}, Fatemeh Karandish ²,
Henk Ritzema ³ and Karim Solaimani ⁴

- 1) Water Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.
- 2) Water Engineering Department, University of Zabol, Zabol, Iran.
- 3) Water Resources Management Group, Wageningen University, 6708 PB Wageningen, the Netherlands.
- 4) Department of Watershed Management, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

*Corresponding author email: abdullahdarzi@yahoo.com, adarzi@sanru.ac.ir

Abstract:

Background and aim: In recent years, due to the repeated emphasis of the country's development programs on food security and promotion of self-sufficiency in the production of basic agricultural crops, many efforts have been made for agricultural development. Ignoring the sustainability of the environment, as one of the fundamental pillars of the sustainability of agricultural production systems, has put a lot of pressure on the fragile environment and especially on the aquatic ecosystems. One of the important aspects for assessing the sustainability of regional water resources is how to determine the long-term satisfaction of the environmental flow requirements (EFR) of the resources. This research investigates the satisfaction trend of quantitative and qualitative EFR of surface and groundwater resources in the area of Tajan Irrigation and Drainage Network (TIDN) in Mazandaran province.

Method: Hydrological and qualitative EFR of surface water (S.EFR) including Tajan River (T.EFR) and Ab-bandans (A.EFR) and groundwater (G.EFR) was determined for pre (1997-1984) and post (1998-2019) TIDN periods. Hydrological EFR of Tajan River is calculated using four hydrological methods: variable monthly flow (VMF), Tennant, Tasman and Smakhtin. The qualitative EFR of this river is determined based on the three main surface water pollutants in the region, including nitrogen, phosphorus and salinity. The minimum volume of water required to sustainably maintain Ab-bandan ecosystems is considered as A.EFR. Due to the fact that until now no specific method has been provided to determine the EFR of groundwater resources; in this research, by combining hydrologic and qualitative parameters such as the depth of groundwater, salinity and, nitrogen concentrations, the EFR of these resources is determined.

Results: The average river flow before and after the operation of TIDN was 14.53 and 8.36 $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$, respectively. Before TIDN, based on VMF, Smakhtin, Tasman, and Tennant methods, the hydrological EFR of the river satisfied in 79.1, 59.2, 69.1, and 90.1% of cases, respectively. The satisfaction was 53.4, 27.1, 41.4, and 73.3% of cases, respectively, during the TIDN operation. From nitrogen and salinity perspectives, the violation rates of the qualitative EFRs of this river during TIDN operation increased by 11.1 and 9.9%, respectively, compared to the pre-TIDN period. EC has the main role in the deficit of qualitative EFR of the river, followed by nitrogen and phosphorus. The operation of TIDN caused an increase in the depth and nitrogen concentration of the groundwater, resulting in an increase in the unstable area regarding these two parameters during the operation period. Before the construction of TIDN, no part of the region had a hydrological EFR deficiency of more than 353 m^3 , but after that, about 40.6% of the region experienced higher deficiencies than this value. Also, the area with nitrogen related qualitative EFR deficiency rises from 13.4% in pre-TIDN to 35.6% in post-TIDN.

Conclusion: The development of TIDN increases the violation of quantitative and qualitative EFR of surface and groundwater resources in the region. Considering the limitation of EFR satisfaction after TIDN, especially in low rainfall seasons, it seems necessary to revise the cropping pattern and irrigation method. Otherwise, the continuation of the current trend, through completely disrupting the ecological balance, will make agriculture unsustainable.

Keywords: Ab-bandan, groundwater, sustainability, Tajan river, water quality



شاپا چاپی: ۲۲۵۱-۷۴۸۰
شاپا الکترونیکی: ۲۲۵۰-۷۴۰۰

نشریه حفاظت منابع آب و خاک

آدرس تارنما:

<https://wsrcj.srbiau.ac.ir>

پست الکترونیک:

iawwsrcj@srbiau.ac.ir
iawwsrcj@gmail.com

سال دوازدهم

شماره چهار (۴۸)

تابستان ۱۴۰۲

تاریخ دریافت:

۱۴۰۱/۱۰/۱۸

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۱/۱۱/۱۷

صفحات: ۷۳-۸۵

تاثیر شبکه آبیاری و زهکشی تجن بر تامین نیازهای جریان محیط‌زیستی منابع آب

سیده زهره هاشمی^۱، عبدالله درزی نفت‌چالی^{۲*}، فاطمه کاراندیش^۳، هنک ریتزما^۴ و کریم سلیمانی^۵

۱) دانشجوی دکتری گروه مهندسی آب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران.

۲) گروه مهندسی آب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران.

۳) گروه مهندسی آب دانشگاه زابل، ایران.

۴) گروه مدیریت منابع آب دانشگاه واخنینگن، هلند.

۵) گروه مهندسی آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران.

*ایمیل نویسنده مسئول: abduallahdazi@yahoo.com, adarzi@sanru.ac.ir

چکیده:

زمینه و هدف: در سال‌های اخیر، به دلیل تاکید مکرر برنامه‌ها و اسناد توسعه کشور بر امنیت غذایی و ارتقای خودکفایی در تولید محصولات اساسی کشاورزی، تلاش‌های زیادی برای توسعه کشاورزی شده است. عدم توجه به پایداری محیط‌زیست به عنوان یکی از ارکان اساسی پایداری سیستم‌های تولید محصولات کشاورزی، فشارهای زیادی را بر محیط‌زیست شکننده و به‌ویژه بر اکوسیستم‌های آبی وارد نموده است. یکی از جنبه‌های مهم برای بررسی ارزیابی پایداری منابع آب هر منطقه، نحوه تامین نیازهای جریان محیط‌زیستی (EFR) این منابع در طولانی‌مدت می‌باشد. در این تحقیق، روند تامین EFR کمی و کیفی منابع آب سطحی و زیرزمینی در محدوده شبکه آبیاری و زهکشی تجن (TIDN) در استان مازندران بررسی می‌شود.

روش پژوهش: EFR هیدرولوژیکی و کیفی منابع آب سطحی (S.EFR) شامل رودخانه تجن (T.EFR) و آب‌بندان‌ها (A.EFR) و آب زیرزمینی (G.EFR) از لحاظ کمی و کیفی در دوره‌ی قبل (۱۹۹۷-۱۹۸۴) و بعد (۲۰۱۹-۱۹۹۸) از بهره‌برداری از TIDN تعیین شد. مقدار EFR کمی رودخانه تجن با استفاده از چهار روش هیدرولوژیکی جریان متغیر ماهانه (VMF)، تنانت، تسمن و اسماختین محاسبه شد. مقدار EFR کیفی این رودخانه بر مبنای سه آلاینده اصلی آب‌های سطحی در منطقه شامل نیترژن، فسفر و شوری تعیین شد. حداقل حجم آب مورد نیاز برای حفظ پایدار اکوسیستم آب‌بندان، به عنوان A.EFR لحاظ شد. با توجه به اینکه تاکنون روش مشخصی برای تعیین EFR منابع آب زیرزمینی ارایه نشده، در این پژوهش، با تلفیق پارامترهای کمی و کیفی مانند عمق آب زیرزمینی، غلظت شوری و نیترژن، EFR این منابع تعیین شد.

یافته‌ها: میانگین جریان رودخانه در دوره‌های قبل و بعد از بهره‌برداری از TIDN به ترتیب ۱۴/۵۳ و ۸/۳۶ مترمکعب بر ثانیه بود. قبل از بهره‌برداری از TIDN، براساس روش‌های VMF، اسماختین، تسمن و تنانت، به ترتیب EFR هیدرولوژیکی رودخانه در ۷۹/۱، ۵۹/۲، ۶۹/۱ و ۹۰/۱ درصد موارد تامین شد. میزان تامین در دوره بعد از بهره‌برداری، به ترتیب در ۵۳/۴، ۲۷/۱، ۴۱/۴ و ۷۳/۳ درصد موارد بود. از نظر نیترژن و شوری، میزان عدم تامین EFR کیفی این رودخانه از نظر نیترژن و شوری، در دوره بهره‌برداری به ترتیب ۱۱/۱ و ۹/۹ درصد نسبت به دوره قبل افزایش یافت. هدایت الکتریکی بیشترین نقش را در کمبود EFR کیفی رودخانه داشت و پس از آن به ترتیب نیترژن و فسفر قرار داشتند. بهره‌برداری از TIDN سبب افزایش عمق و غلظت نیترژن آب زیرزمینی شد به طوری که در دوره بهره‌برداری، منطقه ناپایدار از نظر این دو مولفه افزایش یافت. قبل از احداث شبکه، هیچ بخشی از منطقه دارای کمبود EFR هیدرولوژیکی بیشتر از ۳۵۳ متر مکعب نبود؛ لکن پس از آن، حدود ۴۰/۶ درصد منطقه کمبودهای بیشتر از این را تجربه کرده است. همچنین، محدوده دارای کمبود EFR کیفی از نظر نیترژن از ۱۳/۴ درصد در دوره قبل از TIDN به ۳۵/۶ درصد در دوره بهره‌برداری از شبکه افزایش یافت.

نتیجه‌گیری: توسعه TIDN سبب افزایش عدم تامین EFR کمی و کیفی منابع آب سطحی و زیرزمینی در منطقه شد. با توجه به محدودیت تامین EFR بعد از بهره‌برداری از TIDN به‌ویژه در فصول کم باران، بازنگری در الگوی کشت و روش آبیاری ضروری به نظر می‌رسد. در غیر این صورت، ادامه‌ی روند فعلی، با برهم زدن کامل توازن زیست‌محیطی، کشاورزی را از حالت پایدار خارج خواهد نمود.

کلید واژه‌ها: آب‌بندان، آب زیرزمینی، پایداری، رودخانه تجن، کیفیت آب



مقدمه

با توجه به روند فزاینده جمعیت، طرح‌های سازه‌های منابع آبی متعددی برای تامین نیاز آبی انجام شده است و موارد زیادی نیز در حال مطالعه یا اجرا می‌باشند. این نوع توسعه، به دلیل فراهم نمودن فرصت برداشت بیش از اندازه از منابع آب تجدیدپذیر و الگوی مصرف نادرست، سبب تغییر رژیم طبیعی جریان در بخش اعظمی از اکوسیستم‌های آبی شده است (Pan et al., 2015). عدم تامین نیاز آبی طبیعت به‌عنوان عامل مهم و تاثیرگذار، پایداری اکوسیستم‌های آب شیرین را تحت تاثیر قرار می‌دهد (Grizetti, 2016). با توجه به توسعه ناپایدار کشاورزی، الگوی نامناسب کشت و تهدیدات جدی محیط زیستی (Mekonnen and Hoekstra, 2015; Karandish, 2019)، اثرات بحران کمبود آب، به ویژه در کشورهای واقع در مناطق خشک و نیمه خشک، در بخش‌های اجتماعی-اقتصادی، سیاسی و محیط‌زیستی تشدید خواهد شد (Karandish and Hoekstra, 2017) که نتیجه آن، وقوع تغییرات غیرقابل برگشت در شرایط اکولوژیکی و هیدرولوژیکی می‌باشد. تامین پایدار منابع آب مورد نیاز بشر با هدف تداوم حیات، مستلزم ملاحظه توازن چرخه هیدرولوژی و تامین نیاز جریان محیط‌زیستی از نظر کمی و کیفی می‌باشد. در این راستا، علاوه بر تامین شرایط بهره‌وری پایدار از منابع آب سطحی، حفظ منابع آب زیرزمینی به عنوان بزرگترین منبع آب شیرین در جهان (Giordano, 2009; Rosegrant et al., 2009; Siebert and Doll, 2010)، مورد توجه متخصصان قرار گرفته است. لیکن به‌علت جدید بودن موضوع و پیچیده بودن پارامترهای تاثیرگذار بر پایداری آن، کمتر بدان پرداخته شد (Heicher, 1993; Arthington et al., 2018).

با توجه به مصرف بخش عمده منابع آب تجدیدناپذیر، براساس شاخص‌های بین‌المللی ایران به دوره جدیدی از بحران محیط‌زیستی، به‌ویژه در حوزه آب وارد شده است (Zand Razavi et al., 2019). توسعه پایدار، منوط به حفظ متوازن منابع آبی و استحصال پایدار از آن می‌باشد که ملاحظات و شرایط محیط‌زیستی در اجرای این دیدگاه اهمیت ویژه‌ای دارد. به عبارت دیگر، ضروری است همواره مقدار معینی از آب در پیکره‌های آبی موجود باشد تا جریان مورد نیاز محیط زیست تامین شود. این مقدار معین آب برای حفظ رژیم طبیعی جریان، نیاز جریان محیط‌زیستی (EFR) نامیده می‌شود (Smakhtin, 2002). اگرچه مدت‌هاست از روش‌های مختلف برای ارزیابی تامین EFR منابع آب سطحی استفاده می‌شود، اما کاربرد آن‌ها برای آب‌های زیرزمینی محدود می‌باشد (Van Camp et al., 2010; Mays, 2013). در نظرگرفتن پارامترهای هیدرولوژیکی

مناسب در هر حوضه تاثیر بسزایی در برآورد واقع بینانه EFR دارد اما راه حل نهایی محسوب نمی‌شود و برای اتخاذ تصمیم مطمئن، بهتر است با سایر روش‌های مدیریتی و اقلیمی تلفیق گردد. به‌طور کلی، روش‌های مختلفی برای برآورد EFR رودخانه‌ها ارائه و ارزیابی شد. روش‌های هیدرولوژیکی مانند روش انتقال تداوم جریان به دلیل هزینه کم و سادگی، کارایی مناسبی برای تخمین EFR دارند (Yin et al., 2015; Karimi et al., 2017; Pirouzian et al., 2018; Ksiazek et al., 2019; Volchek et al., 2019; Mahmood et al., 2020; Shakeri zare et al., 2020; Hamidifar et al., 2020). در ارزیابی توزیع ماهانه جریان اکولوژیکی رودخانه قزل اوزن با استفاده از روش‌های هیدرولوژیکی تنانت، تسمن، تداوم جریان، انتقال منحنی تداوم جریان و اسماختین، روش انتقال منحنی تداوم جریان، با توجه به شرایط اکولوژیکی رودخانه، در نظر گرفتن جریانهای اکولوژیکی و تغییرپذیری جریان طبیعی رودخانه، تطابق بیشتری با روش مدیریت اکولوژیکی جریان و پتانسیل جریان رودخانه داشت (Shahmohammadnejad and Byzedi, 2021). در پژوهشی EFR با استفاده از روش‌های معمول هیدرولوژیکی شامل تنانت، تسمن و منحنی تداوم جریان و روش‌های هیدرولیکی شامل روش پیرامون مرطوب (WPM) و روش رفتار زیستگاهی رودخانه کوهستانی ویسکولا واقع در لهستان، محاسبه و مقایسه شد. در عین حال که نتایج بین دو روش منسجم می‌باشد اما روش‌های هیدرولیکی مقادیر کمتری از EFR را در مقایسه با روش‌های هیدرولوژیکی برای حفظ اکوسیستم ارائه داد. همچنین بیان شد که نوع هدف در تعیین روش مناسب برای محاسبه‌ی EFR مهم می‌باشد (Ksiazek et al., 2019).

روش‌های متعددی که تاکنون برای برآورد EFR رودخانه‌ها ارائه شد، صرفاً بر جنبه‌های کمی موضوع تمرکز داشتند و توجهی به مشکلات روزافزون کیفی این منابع آب نشده است. علاوه بر این، پایداری آب‌بندان‌ها، به‌عنوان یکی از منابع مهم آب سطحی و از اجزای اساسی پایداری سیستم‌های تولید کشاورزی در شمال کشور، از نظر تامین EFR در گزارش‌های علمی و اجرایی مغفول مانده است. از سوی دیگر، تاکنون راهکار مشخصی برای بررسی پایداری کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی در هیچ تحقیقی مورد توجه قرار نگرفت. این در حالی است که اغلب پروژه‌های عمرانی مانند احداث سد و توسعه شبکه آبیاری و زهکشی، می‌توانند اثرات قابل توجهی بر همه این منابع داشته باشند (Hassanvand et al., 2017; Çelik, 2018; Mohamed Khir Alla and Liu, 2021). متددی از خسارات ناشی از اجرای این طرح‌ها بر محیط‌زیست مانند کاهش جریان رودخانه‌ها در پایین‌دست شبکه، کاهش

استان مازندران و وضعیت کاربری اراضی را نشان می‌دهد. حدود ۷۰ درصد از نیاز آبی کشاورزی منطقه از شبکه مدرن، نیمه مدرن و سنتی و حدود ۳۰ درصد از چاه و چشمه تامین می‌شود. آب استحصال شده به صورت مستقیم یا پس از ذخیره در آب‌بندان‌ها، در زمان مورد نیاز مورد بهره برداری قرار می‌گیرد. به ترتیب حدود ۵۰ و ۲۰ درصد از سطح زیرکشت منطقه به برنج و مرکبات اختصاص دارد (IMAG, 2019).

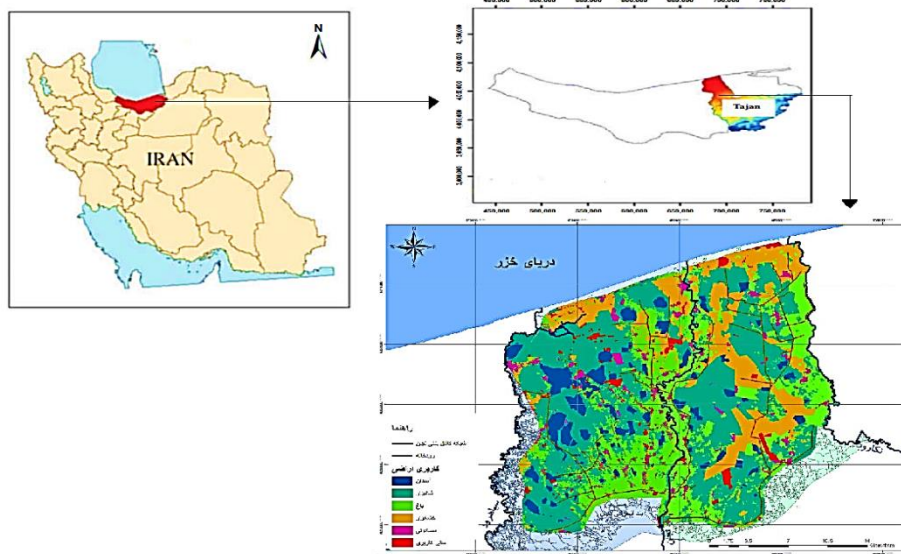
قبل از بهره برداری از TIDN، حدود ۱۵۰ هزار تن محصول از ۲۲/۳ هزار هکتار اراضی زیرکشت برداشت می‌شد. عمده این تولیدات برنج، پنبه و گندم بود (IMAG, 2019). در راستای توسعه کشاورزی، در سال ۱۳۷۶ سد مخزنی شهید رجایی (سد سلیمان تنگه)، در ۴۰ کیلومتری جنوب شهر ساری بر رودخانه دودانگه، یکی از سرشاخه‌های اصلی رودخانه تجن، احداث شد که دارای ظرفیت قابل تنظیم حدود ۱۶۰ میلیون مترمکعب (Darzi-Naftchali et al., 2020) می‌باشد. این سد از زمان احداث تا کنون سهم مهمی از آبیاری محصولات عمده کشت شده در دشت تجن را فراهم نمود. آب مورد نیاز TIDN، با ظرفیت ۱۶۰، ۷۸ و ۳۴۰ میلیون مترمکعب در سال به ترتیب، از سد شهید رجایی، آب‌بندان و آب‌های زیرزمینی تامین می‌شود (Darzi-Naftchali et al., 2020). بعد از بهره برداری از TIDN (۲۰۱۹-۱۹۹۸) سطح زیر کشت به ۵۳/۱ هزار هکتار رسید که منجر به تولید ۵۹۳ هزار تن محصول در منطقه شد. به عبارت دیگر، TIDN سبب افزایش ۱۳۸ درصدی سطح زیر کشت در مقایسه با دوره قبل از بهره‌برداری (۱۹۹۷-۱۹۸۴) این شبکه شد. بعد از TIDN، برنج، مرکبات، گندم، سویا، ذرت علوفه‌ای، ذرت دانه‌ای، محصولات جالیزی، پنبه، حبوبات، سایر درختان میوه و زیتون مهمترین محصولات تحت کشت در منطقه بودند.

سطح آب زیرزمینی و تغییرات کیفیت آب سطحی و زیرزمینی در تحقیقات قبلی گزارش شد (Kao et al., 2010; Darzi-Naftchali et al., 2017; Fienen and Arshad, 2016; De Graaf et al., 2019; Qi et al., 2020; Jia et al., 2020; Kalantari et al., 2021; Hazbavi and Gherachorlo, 2021). با توجه به وقوع تغییر ساختاری در محدوده دشت تجن در استان مازندران در حدود ۲۰ سال گذشته و توسعه شبکه آبیاری و زهکشی تجن (TIDN)، تغییرات گسترده‌ای از نظر سطح زیر کشت و مصرف منابع آب در این منطقه ایجاد شده است. نتایج بررسی‌های انجام شده در یک تحقیق (Darzi-Naftchali et al., 2020)، حاکی از افت سطح آب زیرزمینی و تغییرات گسترده کیفیت منابع آب سطحی و زیرزمینی در این منطقه می‌باشد. با توجه به اهمیت کشاورزی دشت تجن در امنیت غذایی کشور، پایداری محیط زیستی این منطقه می‌تواند متضمن پایداری کشاورزی آن باشد. برای بررسی پایداری محیط زیستی منطقه، در این تحقیق، روند تامین EFR منابع آب سطحی و زیرزمینی از منظر کمی و کیفی، طی دوره‌های قبل (۱۹۹۷-۱۹۸۴) و پس از بهره‌برداری از TIDN (۲۰۱۸-۱۹۹۸) ارزیابی شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعه

محدوده شبکه آبیاری و زهکشی تجن (TIDN) واقع در استان مازندران، بین طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۵۳ دقیقه و ۵۳ درجه و ۵۳ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۵ دقیقه و ۳۶ درجه و ۵۰ دقیقه، به عنوان منطقه مطالعه در نظر گرفته شد. اقلیم غالب این منطقه بر اساس روش طبقه بندی آب و هوایی دی مارتون، مرطوب می‌باشد (Karandish and Hoekstra., 2017). شکل ۱ موقعیت این شبکه در کشور و



شکل ۱. موقعیت منطقه مطالعه در کشور و استان مازندران

برای رودخانه تجن (T.EFR) و آب‌بندان (A.EFR) به طور جداگانه تعیین شد. محققان عمدتاً EFR کمی را محاسبه می‌کنند حال آنکه ممکن است مقدار آن برای رقیق‌سازی غلظت آلاینده‌های موجود در رودخانه کافی نباشد. در این تحقیق، S.EFR به صورت کمی (H.EFR) و کیفی (Q.EFR) به طور جداگانه محاسبه شد. پارامترهای مهم کمی و کیفی به ترتیب دبی جریان (Q)، نیتروژن (N)، فسفر (P) و هدایت الکتریکی (EC) در نظر گرفته شد. بیشترین مقدار حاصله برای این مولفه‌ها، به‌عنوان جریان محیط زیستی در نظر گرفته شد. برای بررسی تأثیر سد شهید رجایی بر نوسانات منابع آبی منطقه، تغییرات زمانی پارامترهای ذکر شده در دوره قبل از TIDN و بعد از TIDN بررسی شد.

برای محاسبه H.EFR، روش‌های هیدرولوژیکی از پرکاربردترین روش‌ها در جهان می‌باشد. در این تحقیق، برای برآورد EFR کمی ماهانه رودخانه تجن (T.H.EFR)، از چهار روش هیدرولوژیکی جریان متغیر ماهانه (MVF) (Pastor, 2014)، تنانت (Tennant, 1976)، تسمن (Tessmann, 1980)، اسماختین (Smakhtin et al., 2002) استفاده شد. محاسبات T.H.EFR براساس داده‌های دبی ایستگاه‌های هیدرومتری بالادست و پایین دست رودخانه تجن انجام شد. مشخصات این ایستگاه‌ها در جدول ۱ ارائه شد.

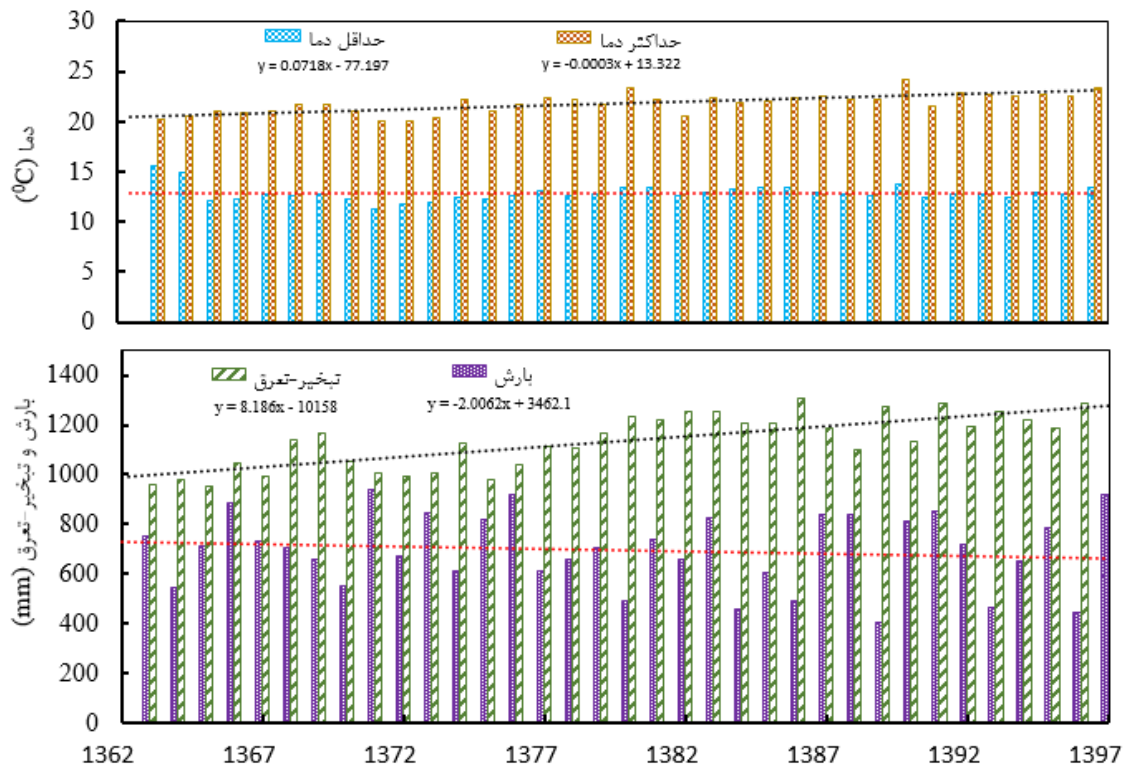
تغییرات زمانی دمای هوا، بارش و تبخیر-تعرق در دوره مطالعه (۱۹۸۴ تا ۲۰۱۹)، در شکل ۲ نشان داده شد. در طول این مدت، میزان بارندگی روند کاهشی داشت و روند تغییرات دمای حداکثر و تبخیر-تعرق، افزایشی بود. در دوره قبل از بهره‌برداری از TIDN، میانگین بلند مدت بارندگی سالانه، تبخیر-تعرق سالانه، حداقل و حداکثر دما به ترتیب ۷۴۰ میلی-متر، ۱۰۳۲ میلی-متر، ۱۲/۷ درجه سانتیگراد و ۲۰/۹۶ درجه سانتیگراد بود که در دوره بهره‌برداری از TIDN، به ترتیب به ۶۲۴ میلی-متر، ۱۲۰۸ میلی-متر، ۱۲/۹۶ درجه سانتیگراد و ۲۲/۴ درجه سانتیگراد تغییر یافتند.

برآورد نیاز جریان محیط‌زیستی

برای ارتقای پایداری سیستم‌های کشاورزی، هدفمندسازی مصرف آب با رویکرد تامین EFR منابع آب سطحی و زیرزمینی ضروری به نظر می‌رسد. برای نخستین بار در این پژوهش، میزان EFR آب سطحی (S.EFR) شامل رودخانه (T.EFR) و آب‌بندان (A.EFR) و آب زیرزمینی (G.EFR) از لحاظ کمی و کیفی، بررسی شد.

• نیاز جریان محیط‌زیستی آب سطحی

منابع آب سطحی در منطقه TIDN شامل آب رودخانه تجن و آب‌بندان‌ها می‌باشد. EFR منابع آب سطحی (S.EFR)



شکل ۲. تغییرات زمانی دمای هوا (T)، بارش (P) و تبخیر-تعرق (ET_0)

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری بالادست و پایین‌دست در مسیر رودخانه تجن

دوره آماری	بدون در نظر گرفتن سد شهید رجایی	با در نظر گرفتن سد شهید رجایی
۱۹۸۴-۱۹۹۷	ریگ چشمه + گرم رود	ریگ چشمه + گرم رود
۱۹۹۸-۲۰۱۸	کردخیل	کرچا + پروریج آباد + علی آباد + گرم رود
	پایین دست	بالادست

محدوده TIDN قرار دارند. کمترین و بیشترین حجم مفید آب-بندان‌های منطقه به ترتیب ۰/۱۸ و ۵/۲۵ میلیون مترمکعب می‌باشد. برای تأمین پایداری آب در این مخازن و با توجه به شرایط رایج در منطقه، حداقل حجم آب مورد نیاز برای تامین EFR آب‌بندان A.EFR، برای حداقل عمق آب یک متر محاسبه شد.

• نیاز جریان محیط‌زیستی آب زیرزمینی

با توجه به پیچیدگی‌های موجود، تاکنون روش مشخصی برای تعیین EFR منابع آب زیرزمینی (G.EFR) ارائه نشده. در این پژوهش، با تلفیق پارامترهای کمی و کیفی مانند عمق سطح ایستابی، EC و N، مقدار G.EFR تعیین شد. همانند روش بکار رفته برای منابع آب سطحی، EFR هیدرولوژیکی (کمی) آب زیرزمینی (G.H.EFR) و EFR کیفی آب زیرزمینی (G.Q.EFR) تعیین شد. برای تعیین G.H.EFR، ابتدا دوره قبل از بهره‌برداری از TIDN، به‌عنوان معیار در نظر گرفته شد. میانگین ماهانه سطح آب از ۶۶ چاه مشاهده‌ای طی این دوره، به‌عنوان سطح پایدار آب زیرزمینی (SGL) تعیین شد. حجم آب ذخیره شده در آبخوان تحت SGL به‌عنوان G.H.EFR بر حسب مترمکعب بر ماه محاسبه شد. کاهش سطح آب زیرزمینی به زیر سطح SGL، به معنای کمبود G.H.EFR تعریف و به صورت زیر محاسبه شد:

(۱)

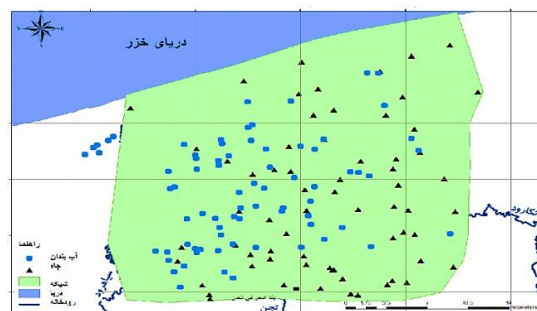
$$(G.H.EFR_{m,GWT})_V = (V_{GWT_{sus}} - V_{GWT_{act}}) \quad \text{if } GWT_{act} < GWT_{sus}$$

$$\text{(zero)} \quad \text{if } GWT_{act} \geq GWT_{sus}$$

که در آن؛ $(G.H.EFR_{m,GWT})_V$ کمبود G.H.EFR (مقدار آب لازم برای بازگشت سطح آب زیرزمینی به سطح پایدار) $(m^3 \text{ month}^{-1})$ ، $V_{GWT_{act}}$ ، $V_{GWT_{sus}}$ به ترتیب حجم آب ذخیره شده در آب‌های زیرزمینی در سطح پایدار و واقعی $(m^3 \text{ month}^{-1})$ و GWT_{act} و GWT_{sus} سطح (تراز) واقعی و پایدار آب زیرزمینی (m) می‌باشند. برای محاسبه G.Q.EFR، حداکثر غلظت مجاز نیتروژن برابر ۳ میلی‌گرم بر لیتر تعیین شد که معادل ۱۳ میلی‌گرم بر لیتر غلظت نترات به‌عنوان حد آستانه موثر بر انسان می‌باشد (Karandish et al., 2017). همچنین، حداکثر آستانه تحمل به شوری مرکبات به‌عنوان حساس‌ترین محصول کشت شده در منطقه، برابر ۱/۸ میلی‌گرم بر لیتر در نظر گرفته شد (Allen et al., 1998).

شاخص Q.EFR به عنوان حجم آب مورد نیاز برای حفظ غلظت آلاینده‌های موجود در یک پیکره آبی در زیر سطح استاندارد تعریف و محاسبه شد. سه عامل مهم آلاینده آب‌های سطحی در منطقه شامل P، N، EC برای تخمین این شاخص انتخاب شد. حداکثر غلظت مجاز N و P در آب سطحی به-ترتیب سه میلی‌گرم بر لیتر (Liu et al., 2012) و ۰/۹۵ میلی‌گرم بر لیتر (Mekonnen and Hoekstra, 2017) در نظر گرفته شد. همچنین، جهت تعیین حد مجاز EC، مرکبات به عنوان حساس‌ترین محصول به شوری در منطقه با آستانه تحمل به شوری برابر ۱/۸ میلی‌گرم بر لیتر انتخاب شد (Allen et al., 1998). در نهایت مقدار Q.EFR حاصله برای آلاینده‌ای که بیشترین حجم آب برای رقیق شدن آن مورد نیاز بود، به-عنوان Q.EFR رودخانه تجن (T.Q.EFR) در نظر گرفته شد. بیشترین مقدار بین T.H.EFR و T.Q.EFR به‌عنوان T.EFR انتخاب شد. با مقایسه دبی رودخانه با EFR حاصله از روش‌های مختلف و میانگین روش‌های کمی و کیفی، میزان کفایت تامین EFR تحلیل شد.

از دیرباز احداث آب‌بندان‌ها به‌عنوان مخازن مصنوعی به‌منظور نگهداری و ذخیره آب برای آبیاری اراضی کشاورزی و مصارف دیگر مانند آبی‌پرووری با ارزش‌های چند جانبه اکولوژیکی، اجتماعی، اقتصادی، علمی، فرهنگی، پژوهشی و توریستی معمول می‌باشد (Fasola and Canova, 1996). حفظ اکوسیستم این منابع آبی مستلزم تعیین و تأمین EFR ویژه آنها می‌باشد. بر اساس نقشه پراکندگی چاه و آب‌بندان‌های منطقه (شکل ۳)، تعداد ۷۷ آب‌بندان با مساحت مفید حدود ۴۵۰۰ هکتار و حجم آب حدود ۷۸ میلیون متر مکعب در



شکل ۳. نقشه پراکندگی چاه و آب‌بندان‌ها در محدوده TIDN

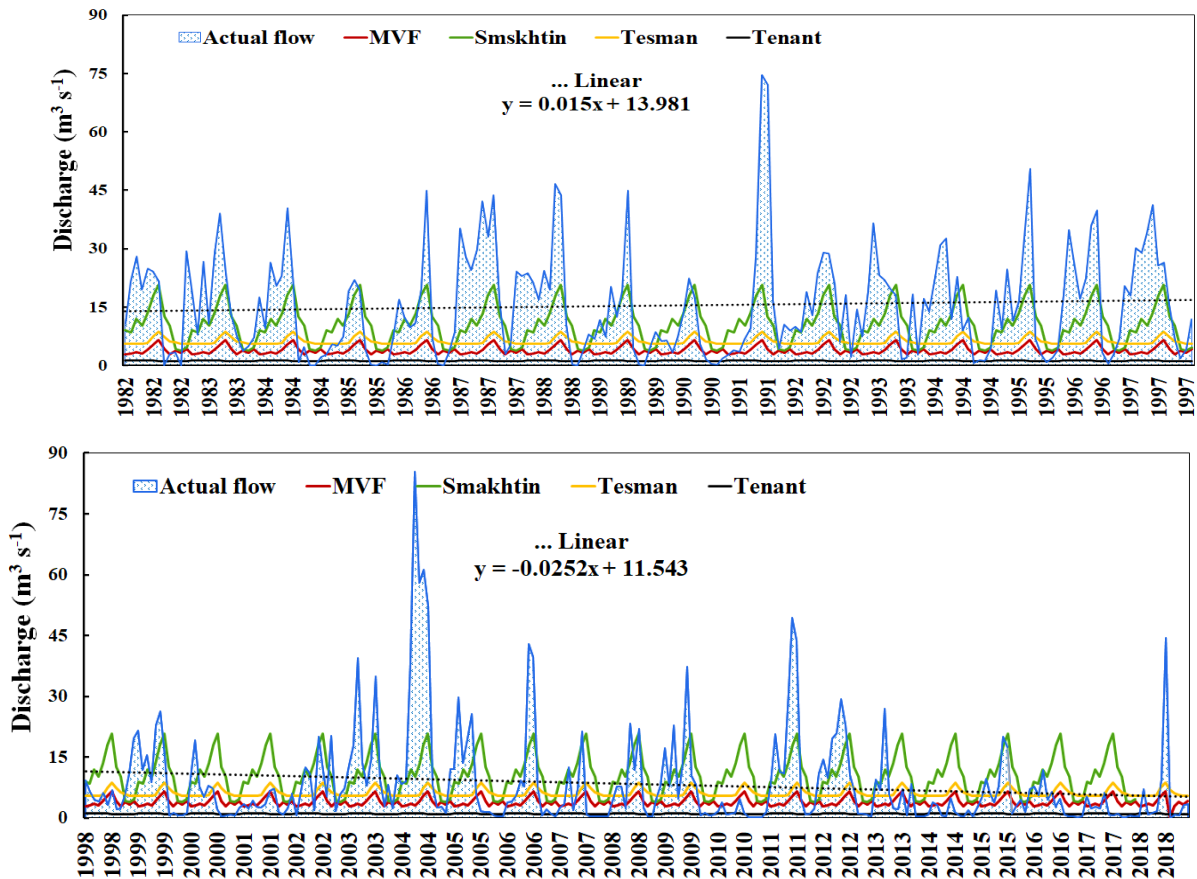
نتایج و بحث

ماه‌ها کمتر از EFR این روش بود که نشان‌دهنده عدم تامین آن می‌باشد. روش تنانت کمترین مقدار T.H.EFR را برآورد نمود که جز در مواردی محدود، تامین شد. البته با توجه به تخصیص ۱۰ درصد متوسط جریان سالانه به عنوان EFR در فصول کم آب و لزوم حفظ اکوسیستم طبیعی رودخانه در این دوره زمانی، بهتر است برای بررسی وضعیت تامین T.H.EFR از روش‌هایی که قابلیت تامین EFR بیشتری دارند استفاده شود. در روش تسمن، با توجه به میانگین سالانه جریان رودخانه طی دوره بهره‌برداری از TIDN، اغلب T.H.EFR تامین نشد. همچنین، در روش MVF نیز بیشترین EFR در ماه‌های اسفند و فروردین اتفاق افتاد. اغلب قبل از TIDN رودخانه با تنش آبی مواجه نبود اما پس از بهره‌برداری از شبکه در اغلب سال‌ها از اردیبهشت تا شهریور، EFR تامین نشد. در دوره قبل از بهره‌برداری، در روش‌های MVF، اسماختین، تسمن و تنانت به ترتیب در ۷۹/۱، ۵۹/۲، ۶۹/۱ و ۹۰/۱ درصد موارد، T.H.EFR تامین شد. در دوره بعد از بهره‌برداری، میزان تامین T.H.EFR تحت روش‌های مذکور به ترتیب ۵۳/۴، ۲۷/۱، ۴۱/۴ و ۷۳/۳ بود. به‌طور کلی، با ملاحظه روش‌های مختلف، عدم تامین T.H.EFR در دوره قبل از بهره‌برداری در محدوده ۱۰ تا ۴۰ درصد موارد بود که در دوره بهره‌برداری به ۲۷ تا ۷۳ درصد افزایش یافت. به عبارت دیگر، حتی با در نظر گرفتن روش تنانت که در برنامه‌های عملیاتی مورد توجه قرار می‌گیرد، پس از TIDN در حدود ۲۷ درصد موارد میزان جریان رودخانه در پایین دست کمتر از T.H.EFR بود. در صورتی که از میانگین چهار روش مذکور به‌عنوان مبنای بررسی استفاده شود، به ترتیب در ۷۴/۴ و ۴۴/۶ درصد موارد در دوره قبل و بعد از TIDN، میزان T.H.EFR تامین شد.

مقادیر جریان واقعی و EFR کمی رودخانه تجن در دوره‌های قبل و بعد از بهره‌برداری از TIDN در شکل ۴ و جدول ۲ ارایه شد. طی دوره مطالعه، جریان رودخانه تجن در انتهای منطقه TIDN به ویژه در مدت بهره‌برداری، کاهش یافت. در دوره‌ی قبل از بهره‌برداری از TIDN، میانگین جریان ماهانه واقعی ۱۴/۵۳ (از صفر تا ۷۴/۶۴) مترمکعب بر ثانیه بود که نشان داد تنها در برخی از فصول کم باران، منطقه با تنش آبی مواجه شد. بعد از بهره‌برداری از TIDN، جریان ماهانه واقعی با میانگین دبی ۸/۳۶ (از صفر تا ۸۵/۳۲) مترمکعب بر ثانیه و روندی کاهشی، در نوسان بود. حدود ۷۹ درصد از دبی‌های ثبت شده پس از بهره‌برداری از TIDN کمتر از میانگین بلندمدت در رودخانه بود. میانگین دبی رودخانه در دوره بهره‌برداری، حدود ۴۲/۵ درصد کمتر از دوره قبل از بهره‌برداری بود. مقادیر ماهانه T.H.EFR در روش‌های MVF، اسماختین، تسمن و تنانت به ترتیب در محدوده ۲/۸۵ تا ۶/۴۴ (با میانگین ۳/۸۸)، ۳/۸۸ تا ۲۰/۶۶ (با میانگین ۱۰/۶۰)، ۵/۵۳ تا ۸/۶۷ (با میانگین ۶/۲۱) و ۱/۱۷ تا ۱/۲۱ (با میانگین ۱/۱۹) مترمکعب بر ثانیه قرار داشت. روش اسماختین بیشترین مقدار T.H.EFR را برآورد نمود و پس از آن به ترتیب روش‌های تسمن، MVF و تنانت قرار داشتند. مقایسه نتایج روش‌های برآورد EFR به روشنی نشان داد که دامنه نوسان و بزرگی مقادیر T.H.EFR در روش اسماختین عموماً بیشتر از سایر روش‌ها بود. کمترین و بیشترین مقدار T.H.EFR در روش اسماختین، به ترتیب مربوط ماه‌های مرداد و فروردین بود. اگرچه برای بهبود محیط زیست رودخانه، مقدار EFR روش اسماختین نسبت به سه روش دیگر به واقعیت نزدیکتر بود لکن جریان واقعی رودخانه در بسیاری از

جدول ۲. جریان هیدرولوژیکی محیط زیستی TIDN (متر مکعب بر ثانیه)

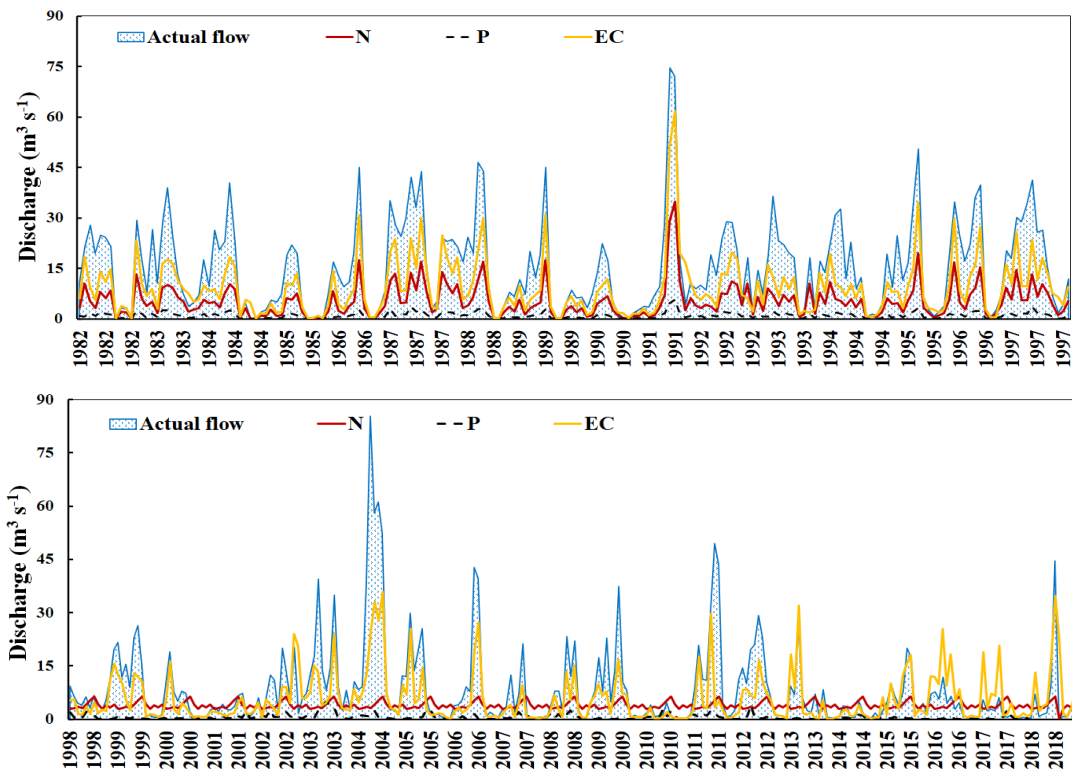
جریان واقعی	(Q _{act}) _{min}	(Q _{act}) _{max}	(Q _{act}) _{av}
قبل از بهره‌برداری TIDN	۰	۷۴/۶۴	۱۱/۴۲
بعد از بهره‌برداری TIDN	۰	۸۵/۳۲	۸/۳۶
روش محاسبه T.H.EFR	T.H.EFR _{min}	T.H.EFR _{max}	T.H.EFR _{av}
اسماختین	۳/۸۸	۲۰/۶۶	۱۰/۶
MVF	۲/۸۵	۶/۴۴	۳/۸۸
تسمن	۵/۵۳	۸/۶۷	۶/۲۱
تنانت	۱/۱۷	۱/۲۱	۱/۱۹



شکل ۴. تغییرات ماهانه دبی و T.H.EFR قبل از TIDN (۱۹۸۲ تا ۱۹۹۷) و بعد از TIDN (۱۹۹۸ تا ۲۰۱۸)

مولفه N و EC نشان‌دهنده افزایش مشکلات مرتبط در رودخانه تجن می‌باشد. با ملاحظه میانگین نیاز جریان محیط زیستی مربوط به هر سه عامل کیفی مذکور، عدم تامین T.Q.EFR در دوره قبل از بهره‌برداری از TIDN حدود ۴/۷ درصد بود که در دوره بهره‌برداری به ۱۰/۸ درصد افزایش یافت. ملاحظه همزمان روش‌های کمی و کیفی برآورد EFR رودخانه تجن حاکی از آن است که استفاده از روش‌های تسمن، تنانت و MVF قادر به رفع مسایل کیفی آب نبوده و استفاده از آنها در عمل، چالش‌هایی را در پی خواهد داشت. در صورت وجود مشکلات کیفی، روش اسماختین می‌تواند نتایج واقع بینانه‌تری از EFR ارائه دهد. با این وجود، مقایسه مقادیر EFR روش اسماختین با مقادیر متناظر برای شوری حاکی از آن است که به ترتیب در ۳۰ و ۱۸ درصد موارد در دوره‌های قبل و بعد از بهره‌برداری از TIDN، این روش نیز قادر به تامین T.Q.EFR نبود. در صورت استفاده از روش‌های تنانت، تسمن و MVF، این عدم تامین به ترتیب ۸۹ و ۷۱/۳ درصد، ۶۰/۷ و ۲۹/۵ درصد و ۷۴/۴ و ۴۵ درصد بود.

روند تغییرات زمانی T.Q.EFR ماهانه در شکل ۵ و مقادیر حداقل، حداکثر و میانگین آن در جدول ۳ ارائه شد. از منظر کیفیت آب، T.Q.EFR برای N، P و EC دارای روند نسبتاً کاهشی بود. برای کنترل آلاینده‌گی مرتبط با هر یک از موارد مذکور، میانگین EFR برای دوره قبل از TIDN به ترتیب ۵/۳۱، ۱/۰۲ و ۹/۳۵ متر مکعب بر ثانیه بود. این مقدار در دوره بهره‌برداری از شبکه به ترتیب به ۳/۱۹، ۰/۵۵ و ۵/۷۴ متر مکعب بر ثانیه کاهش یافت. در هر دو دوره، شوری محدود کننده‌ترین عامل کیفی بود و پس از آن به ترتیب نیترژن و فسفر قرار داشتند. به عبارت دیگر، تامین EFR برای کاهش مشکلات شوری، می‌تواند رودخانه را از نظر کیفی در وضعیت مطلوبی حفظ کند. در صورتی که هر یک از سه عامل N، P و EC به صورت جداگانه مد نظر باشد، میزان تامین T.Q.EFR در دوره قبل از TIDN به ترتیب ۹۹/۵، ۹۹/۵ و ۷۸ درصد بود که در دوره بهره‌برداری به ترتیب به ۸۸/۴، ۱۰۰ و ۶۸/۱ درصد تغییر یافت. علی‌رغم کاهش T.Q.EFR در دوره بهره‌برداری، به ترتیب افزایش ۱۱/۱ و ۹/۹ درصدی موارد عدم تامین آن برای دو



شکل ۵. تغییرات ماهانه T.Q.EFR قبل از TIDN (۱۹۸۲ تا ۱۹۹۷) و بعد از TIDN (۱۹۹۸ تا ۲۰۱۸)

جدول ۳. نیاز جریان محیط زیستی کیفی TIDN (متر مکعب بر ثانیه)

بعد از بهره برداری از TIDN			قبل از بهره برداری از TIDN			جریان واقعی
(Q _{act}) _{av}	(Q _{act}) _{max}	(Q _{act}) _{min}	(Q _{act}) _{av}	(Q _{act}) _{max}	(Q _{act}) _{min}	
۸/۳۶	۸۵/۳۲	۰	۱۱/۴۲	۷۴/۶۴	۰	
T.H.EFR _{av}	T.H.EFR _{max}	T.H.EFR _{min}	T.H.EFR _{av}	T.H.EFR _{max}	T.H.EFR _{min}	آلاینده
۳/۱۹	۲۰/۲۷	۰	۵/۳۱	۳۴/۹۳	۰	نیترژن
۰/۵۵	۵	۰	۱/۰۲	۵/۷۱	۰	فسفر
۵/۷۴	۳۵/۷۷	۰/۰۱	۹/۳۵	۶۱/۶۳	۰	شوری

آب‌بندان‌ها توسط دولت انجام می‌شود. این سازه‌ها سنتی و قدیمی بوده و کاملاً با الزامات پایداری محیط‌زیستی منطقه مطابقت دارند. به عبارت دیگر ساخت، نگهداری و بهره‌برداری از آنها نیازمند تکنولوژی خاص و پیچیده نمی‌باشد و با توان علمی و فنی ساکنان منطقه مطابقت دارند. از سوی دیگر، آب‌بندان‌ها در مجاورت مزارع یا واحدهای مصرف آب قرار دارند و در نتیجه، برخلاف سد، نیازی به هزینه اضافی برای انتقال آب نداشته و اغلب کشاورزان به راحتی می‌توانند این مخازن آب را به صورت مشارکتی مدیریت کنند. همچنین، تغذیه آب‌های زیرزمینی، جمع‌آوری روان آب سطحی، آب‌های برگشتی، زه‌آب و استفاده مجدد از آن‌ها، کنترل سیلاب و جلوگیری از حفر بی‌رویه چاه، به عنوان مزیت آب‌بندان‌ها در چرخه کشاورزی برشمرده می‌شوند.

میزان ذخیره واقعی و پایدار آب در آب‌بندان‌های منطقه مطالعه به‌عنوان یکی از منابع آب سطحی، برای ماه‌های ابتدایی و انتهایی دوره کشت برنج در جدول ۴ ارائه شد. ذخیره آب پایدار در آب‌بندان‌های منطقه در محدوده ۳۱/۶ تا ۳۴/۵ میلیون مترمکعب قرار داشت. در مرداد ماه سال‌های ۱۳۹۳، ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶، به ترتیب ۱۷، ۴۱ و ۳۳ درصد ذخیره پایدار آب در آب‌بندان‌ها تامین شد. به غیر از این موارد، در سایر زمان‌های مورد بررسی حجم آب این منابع در محدوده پایدار قرار داشت. بیشترین حجم ذخیره این آب‌بندان‌ها برابر ۷۸/۴ میلیون مترمکعب در اسفند ۱۳۹۶ بود. با این وجود، امکان افزایش ذخیره آنها از طریق لایروبی و بهسازی وجود دارد. اغلب به منظور افزایش ظرفیت ذخیره‌سازی آب‌بندان‌ها و جمع‌آوری رواناب سطحی خارج از فصل، لایروبی و بهسازی

جدول ۴. ذخیره واقعی و پایدار آب در آب‌بندان‌های محدوده شبکه تنج

سال	ماه	ذخیره واقعی (میلیون متر مکعب)	ذخیره پایدار (میلیون متر مکعب)	پایداری (درصد)
۱۳۹۳	مرداد	۵/۴	۳۱/۶	۱۷
۱۳۹۳	اسفند	۵۲/۶	۳۱/۶	۱۰۰
۱۳۹۴	مرداد	۵۰/۷	۳۱/۶	۱۰۰
۱۳۹۴	اسفند	۵۵/۷	۳۱/۶	۱۰۰
۱۳۹۵	مرداد	۱۲/۰	۳۱/۶	۴۱
۱۳۹۵	اسفند	۵۷/۴	۳۴/۵	۱۰۰
۱۳۹۶	مرداد	۱۱/۵	۳۴/۵	۳۳
۱۳۹۶	اسفند	۷۴/۸	۳۴/۵	۱۰۰
۱۳۹۷	مرداد	۳۸/۱	۳۴/۵	۱۰۰

می‌شود. در حقیقت توسعه نامتوازن کشاورزی آبی در منطقه منجر به عدم تامین T.EFR شد که این عدم تامین، عمدتاً به دلیل نادیده گرفتن EFR در فرآیند توسعه می‌باشد (Grizzetti et al., 2016; Pretty and Bharucha, 2014). در پی توسعه کشاورزی و افزایش مصرف آب، برداشت از آب زیرزمینی با حفر چاه‌های غیر مجاز افزایش یافت. برداشت این حجم از آب زیرزمینی منجر به افت سالانه ۷/۵ سانتی‌متر در سطح آب زیرزمینی شده است (Darzi-Naftchali et al., 2020).

میزان تغییرات محدوده‌های دارای درجات مختلف کمبود EFR کمی و کیفی آب زیرزمینی در دوره قبل و بعد از بهره‌برداری از TIDN در جدول ۵ ارائه شد. قبل از احداث شبکه، عمق آب زیرزمینی در ۳/۸ درصد از اراضی محدوده شبکه در وضعیت پایدار قرار داشت که پس از بهره‌برداری از TIDN به حدود ۰/۸ کاهش یافت. علاوه بر این، شدت ناپایداری آب زیرزمینی در اثر افزایش عمق آب زیرزمینی در دوره TIDN افزایش یافت. قبل از احداث شبکه، هیچ بخشی از منطقه دارای کمبود G.H.EFR بیشتر از ۳۵۳ متر مکعب نبود لکن پس از آن، حدود ۴۰/۶ درصد منطقه کمبودهای بیشتر از این را تجربه کرده است. قبل از بهره‌برداری از TIDN، در بیش از ۹۰ درصد منطقه، میزان نقص G.H.EFR کمتر از ۱۶۹ متر مکعب بود در حالی که در دوره بهره‌برداری، تنها در حدود ۲۳ درصد منطقه کمتر از این مقدار بود. به عبارت دیگر، برای جلوگیری از اثرات منفی افت سطح آب زیرزمینی، باید تقریباً در کل محدوده شبکه مقدار توجهی آب وارد آبخوان شود تا تراز سطح آب زیرزمینی به دوره پایدار قبل از بهره‌برداری نزدیک شود. از نظر شوری، استفاده از آب سطحی با کیفیت در محدوده شبکه تا حد زیادی سبب بهبود کیفیت آب زیرزمینی شد. افزایش حدود ۱۲/۸ درصدی منطقه فاقد نقص و به ترتیب کاهش ۱۰/۲ و ۱۵/۸ درصدی مناطق دارای کمبود G.Q.EFR بین ۳۸۶۰ تا ۹۵۰۰ و بیش از ۹۵۰۰ مترمکعب نشان‌دهنده کاهش نسبی شوری آب زیرزمینی در مدت بهره‌برداری از TIDN می‌باشد. با این وجود، منطقه دارای کمبود کمتر از ۴۳۵، ۱۴۶۰-۴۳۵ و ۳۸۶۰-۱۴۶۰ مترمکعب به ترتیب به مقدار ۳/۷، ۸ و ۴/۱ درصد افزایش یافت. توسعه کشاورزی در منطقه و افزایش مصرف کودهای نیتروژنی سبب افزایش غلظت نیتروژن آب زیرزمینی و کاهش ۲۲/۲ درصدی منطقه فاقد نقص شده است. به عبارت دیگر، محدوده دارای کمبود G.Q.EFR از ۱۳/۴ درصد در دوره قبل از TIDN به ۳۵/۶ درصد در دوره بهره‌برداری افزایش یافت. از نظر آلودگی نیتروژنی، در طی مدت بهره‌برداری، منطقه دارای کمبود G.Q.EFR کمتر از ۱۴۳۶، ۱۴۳۶ تا ۴۴۴۰، ۴۴۴۰ تا ۸۲۲۷، ۸۲۲۷ تا ۱۴۳۶۵ و بیشتر از ۱۴۳۶۵ تا ۴۴۴۰ متر مکعب به ترتیب ۴/۱، ۸/۸، ۶/۳، ۲/۴ و ۰/۶ درصد افزایش یافت.

بیشترین عدم تامین جریان محیط زیستی منابع آب سطحی مربوط به دوره کشت برنج بود. در دوره بهره‌برداری از TIDN، سطح زیر کشت محصولات به تدریج افزایش یافت و الگوی کشت به مرور زمان از محصولات با نیاز آبی کمتر مانند پنبه، کتان و گندم به محصولات پر مصرف مانند برنج، مرکبات و سویا با نیاز آبی بیشتر، تغییر یافته است (Darzi-Naftchali et al., 2020). از سوی دیگر، به علت مشکلات ناشی از غرقابی اراضی شالیزاری در فصول پاییز و زمستان (Darzi-Naftchali and Shahnazari, 2014)، امکان کشت محصولات دیگر بعد از برداشت برنج فراهم نبوده و برخی کشاورزان برای کسب درآمد بیشتر و بهبود معیشت، به کشت دوم برنج روی آوردند که سبب کاهش جریان رودخانه، حفر چاه غیرمجاز و تهدید بیشتر پایداری منابع آب شده است. علاوه بر این، کاهش بارندگی و افزایش تبخیر-تعرق به همراه افزایش مصارف آب در بخش‌های دیگر طی سال‌های اخیر (Darzi-Naftchali et al., 2020)، نقش مهمی در کاهش آورد رودخانه در پایین دست و عدم تامین T.EFR داشته است. ارزیابی کیفیت آب در بسیاری از مطالعات محیط‌زیستی و پروژه‌های آبیاری و با هدف توسعه اجتماعی-اقتصادی، مورد توجه قرار گرفت (Zhang, 2019; Obianyo, 2019; Hussain and Abed, 2019). توسعه سیستم‌های کشاورزی (Abbasi et al., 2015)، بهبود و توسعه آبیاری، کاهش تخلیه آب در انتهای شبکه و انتقال آلاینده‌های غیرنقطه‌ای کشاورزی به داخل رودخانه (Zeiringer et al., 2018) و کاهش جریان ماهانه در طول دوره رشد برنج می‌تواند سبب کاهش T.Q.EFR شود. احداث سد تنج در بالادست شبکه می‌تواند به تنظیم EFR پایین دست کمک کند اما معمولاً ذخیره رواناب سطحی در فصول مرطوب سال سبب نقص تامین EFR به‌ویژه در دوره کشت محصولات آب‌بر

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، با استفاده از داده‌های طولانی مدت کمیت و کیفیت منابع آب سطحی و زیرزمینی محدوده شبکه آبیاری و زهکشی تجن در استان مازندران، روند تغییرات تامین نیاز جریان محیط زیستی (EFR) این منابع بررسی شد. مقایسه روش‌های تحلیل EFR هیدرولوژیکی و کیفی رودخانه نشان داد که روش تنانت که عموماً برای ملاحظه EFR در فرایندهای توسعه منابع آبی لحاظ می‌شود فاقد قابلیت مطلوب برای حفاظت کمی و کیفی رودخانه تجن بود. از بین روش‌های بررسی EFR کمی رودخانه، روش اسماختین تا حدی بهتر از سایر روش‌ها بود. با این وجود، بررسی‌ها نشان داد که برای حفاظت کیفی رودخانه حتماً باید میزان EFR مرتبط براساس بحرانی‌ترین آلاینده محاسبه و مد نظر قرار گیرد. به طور کلی، توسعه شبکه آبیاری و زهکشی تجن سبب تشدید عدم تامین EFR رودخانه، آب‌بندان و آب زیرزمینی شد. کاهش شوری آب زیرزمینی در مدت بهره‌برداری از شبکه، نتوانست نقص EFR در اثر افزایش عمق و نیتروژن آب زیرزمینی را جبران نماید. براساس نتایج، با توجه به کمبودهای قابل توجه در تامین EFR، منطقه در وضعیت ناپایدار قرار دارد و ادامه شرایط موجود، سبب تشدید ناپایداری خواهد شد.

جدول ۵. محدوده‌های دارای درجات مختلف کمبود EFR کمی و کیفی

متغیر	نقص تامین EFR (مترمکعب)	منطقه تحت تاثیر	
		منطقه تحت تاثیر بعد از TIDN (درصد)	منطقه تحت تاثیر قبل از TIDN (درصد)
عمق زیرزمینی	آب فاقد نقص	۰/۸	۳/۸
	<۱۶۹	۲۲	۹۰/۳
	۱۶۹-۱۸۴	۴/۳	۲/۳
	۱۸۴-۳۵۳	۳۲/۳	۳/۶
شوری	۳۵۳-۲۱۸۴	۳۳	۰
	>۲۱۸۴	۷/۶	۰
	فاقد نقص	۶۰/۴	۴۷/۶
	<۴۳۵	۶	۲/۳
نیتروژن	۴۳۵-۱۴۶۰	۱۰/۵	۵/۲
	۱۴۶۰-۳۸۶۰	۱۲/۴	۸/۳
	۳۸۶۰-۹۵۰۰	۹/۲	۱۹/۴
	>۹۵۰۰	۱/۴	۱۷/۲
	فاقد نقص	۶۴/۴	۸۶/۶
	<۱۴۳۶	۸/۸	۴/۷
	۱۴۳۶-۴۴۴۰	۱۳/۸	۵
	۴۴۴۰-۸۲۲۷	۸/۹	۲/۶
	۸۲۲۷-۱۴۳۶۵	۳/۴	۱
	>۱۴۳۶۵	۰/۸	۰/۲

Reference:

- Abbasi, N., Bahramloo, R., and Movahedan, M., 2015. Strategic Planning for Remediation and optimization of Irrigation and Drainage Networks: A case study for Iran. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 4: 211 – 221.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., and Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirement. FAO. *Irrigation and Drainage Paper*, No 56.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., and Raes, D., 1998. *Crop Evapotranspiration-Guidelines for Computing Crop Water Requirements-FAO Irrigation and Drainage Paper 56*. FAO, Rome, 300(9): D05109.
- Arthington, A.H., Kennen, J.G., Stein E.D., and Webb J.A., 2018. Recent advances in environmental flows science and water management-Innovation in the Anthropocene. *Freshwater Biology*, pp. 1-13.
- ÇELİK, R., 2018. Impact of Dams on Groundwater Static Water Level Changes: a Case Study Kralkızı and Dicle Dam Watershed. *International Journal of Engineering Research and Development*, 10 (2):119-126.
- Darzi-Naftchali, A., Bagherian-Jelodar, M., Mashhadi-Kholerdi, F., and Abdi-Moftikolaei, M., 2020. Assessing socio-environmental sustainability at the level of irrigation and drainage network. *Science of the Total Environment*, 731, 1: 38927.
- Darzi-Naftchali, A., and Shahnazari, A., 2014. Influence of subsurface drainage on the productivity of poorly drained paddy fields. *European Journal of Agronomy*, 56, 1–8.
- De Graaf, I.E.M., Gleeson, T., van Beek, L.P.H., Sutanudjaja, E.H., and Bierkens, M.F.P., 2019. Environmental flow limits to global groundwater pumping. *Nature*, 574: 90–94.
- FAO; IFAD; UNICEF; WFP; WHO, 2019. *The State of Food Security and Nutrition in the World 2019: Safeguarding against Economic Slowdowns and Downturns*. Available online: <https://www.wfp.org/publications/2019-state-food-security-and-nutrition-world-sofi-safeguarding-against-economic>.
- Fasola, M., and Canova, L., 1996. Conservation of Gull and tern colony sites in Northeastern Italy, an internationally important bird Area colonial water birds, 19 (1): 59-57.
- Fienen, M.N., and Arshad, M., 2016. The international scale of the groundwater issue. In: Jakeman, A.J., Barreteau, O., Hunt, R.J., Rinaudo, J.D., Ross, A. (Eds.), *Integrated Groundwater Management*. Springer, Cham.
- Giordano, M., 2009. Global groundwater? Issues and solutions. *Annu. Rev. Environ. Resour*, 34: 153–178.

- Grizzetti, B., Lanzanova, D., Liqueste, C., Reynaud, A., and Cardoso, A.C., 2016. Assessing water ecosystem services for water resource management. *Environmental Science and Policy*, 61:194-203. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.04.008> Get rights and content.
- Grogan, D., Wisser, A., Prusevich, R., Lammers, B., and Frohling, S., 2019. The use and re-use of unsustainable groundwater for irrigation: a global budget. *Environmental Research Letters*. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa5fb2>.
- Hamidifar, H., Akbari, F., and Rowiński, P.M., 2022. Assessment of Environmental Water Requirement Allocation in Anthropogenic Rivers with a Hydropower Dam Using Hydrologically Based Methods—Case Study. *Water*, 14 (6):893. <https://doi.org/10.3390/w14060893>.
- Hassanvand, M., Yazdi, M., and Karimi, R., 2017. Environmental effects of irrigation and drainage network of Kheirabad area, SW of Iran. *Environmental Earth Sciences*, 76 (15): <https://doi.org/10.1007/s12665-016-6291-0>.
- Hazbavi, Z., and Gherachorlo, M., 2021. Spatio-Temporal Variations of Groundwater Level in Meshgin Plain Aquifer, Ardabil Province. *Watershed management research*, 32(2): 45-59. (In Persian)
- Heicher, D.W., 1993. Instream flow needs: biological literature review. *Susquehanna River Basin Commission Publication No*, 149: 37.
- Hoekstra, A.Y., 2019. Green-blue water accounting in a soil water balance. *AdWR*. 129, 112-117.
- Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., Aldaya, M.M., and Mekonnen, M.M., 2011. *The water footprint assessment manual: Setting the global standard*, Earthscan, London, UK.
- Hussain, M.R., Abed, B.S., 2019. Simulation and assessment of groundwater for domestic and irrigation uses. *Civil Eng. J*, 5 (9), 1877–1892.
- IMAJ. 2019. Iran's Ministry of Agriculture Jihad, Tehran, Iran. www.maj.ir (In Persian).
- Jia, H., Qian, H., Zheng, L., Feng, W., Wang, H., and Gao, Y., 2020. Alterations to groundwater chemistry due to modern water transfer for irrigation over decades. *Sci. Total Environ*, 717, 137170.
- Kalantari, N., Sheikhzadeh, A., and Mohammadi H., 2021. Investigation of Groundwater quality in Gotvand aquifer with emphasis on nitrate concentration. *Iran-Water Resources Research*, 17:228-238. (In Persian)
- Kao, Y.H., Liu, C.W., Jang, C.S., Zanh, S.W., and Lin, K.H., 2010. Assessment of nitrogen contamination of groundwater in paddy and upland fields. *Paddy and Water Environment*, 9(3): 301-307.
- Karandish, F., Hoekstra, A., and Hogeboom, R.J., 2018. Groundwater saving and quality improvement by reducing water footprints of crops to benchmarks levels. *Advances in Water Resources*. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres>.
- Karandish, F., and Hoekstra, A.Y., 2017. Informing national food and water security policy through water footprint assessment: the case of Iran. *Water*, 9(11): 1-25.
- Karandish, F., and Simunek, J., 2019. A comparison of the HYDRUS (2D/3D) and SALTMed models to investigate the influence of various water-saving irrigation strategies on the maize water footprint. *Agric. Water Manage*, 213: 809-820.
- Karimi, S., Salari Jezi, M., and Qurbani, K., 2017. River Environmental Flow Assessment Using Tennant, Tesson, FDC Shifting and DRM Hydrological Methods. *Iranian Journal of Ecohydrology*, 4(1): 177-189. (In Persian)
- Liu, C., Kroeze, C., Hoekstra, A.Y., and Gerbens-Leenes, W., 2012. Past and future trends in grey water footprints of anthropogenic nitrogen and phosphorus inputs to major world rivers. *Ecological Indicators*, 18(0): 42– 49.
- Mekonnen, M.M., and Hoekstra, A.Y., 2015. Global gray water footprint and water pollution levels related to anthropogenic nitrogen loads to fresh water. *Environmental Science Technology*, 49(21): 12860–12868.
- Mekonnen, M.M., and Hoekstra, A.Y., 2017. Global anthropogenic phosphorous loads to fresh water and associated grey water footprints and water pollution levels: a high-resolution global study. *Water Resources Research*, <https://doi.org/10.1002/2017WR020448>.
- Mohamed Khir Alla, Y., and Liu, L., 2021. Impacts of Dams on the Environment: A Review. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, 6(1):64-74.
- Obianyo, J.I., 2019. Effect of salinity on evaporation and the water cycle. *Emerging Science Journal*, 3 (4), 255–262.
- Pastor, A., Ludwig, F., Biemans, H., Hoff, H., and Kabat, P., 2014. Accounting for environmental flow requirements in global water assessments. *Hydrology and Earth System Sciences*, 18:5041–5059.
- Pirouzian E., Sarai Tabrizi, M., and Sedghi, H., 2018. Investigating Different Methods for Estimating the Need for Environmental Water (Case Study: Alandchay River). *Journal of Environmental Science and Technology*, 22(7):25-41 (In Persian).
- Pretty, J., and Bharucha, Z.P., 2014. Sustainable intensification in agricultural systems. *Ann. Bot-London* 114, 1571–1596.
- Ranjbar, M., and Amini, N., 2014. Evaluation of the effect of dams on underground water resources (case study of Salman Farsi Dam - Fars Province). *Geography*, 40: 187-198 (In Persian).
- Rosegrant, M.W., Ringle, C., and Tingiu, Z., 2009. *Annual Review of Environment and Resources*. Volume 34.

- Shahmohammadnejad R., and Byzedi, M., 2021. Estimation of Ecological Flow of Ghezel Ozan River in Kurdistan Province Using Hydrological Methods. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 15(5): 1052-066. (In Persian)
- Shakeri Zare, H., Karam, A., Safari, A., and Kiani, S., 2020. Assessment of the environmental flow requirement of Harirud border river bed after the construction and dewatering of Salma Dam. Afghanistan (with hydrological methods). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 34: 207-224 (In Persian).
- Siebert, S., and Döll, P., 2010. Quantifying blue and green virtual water contents in global crop production as well as potential production losses without irrigation. *Journal of Hydrology*, 384:198–217.
- Silva, G., 2018. Feeding the world in 2050 and beyond-Part: Productivity challenges. Michigan State University Extension.
- Smakhtin, V.U., 2002. Environmental water needs and impacts of irrigated agriculture in river basins: a framework for new research program. Working Paper 42. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute.
- Steduto, P., Hsiao, T.C., Raes, D., and Fereres, E., 2009. AquaCrop-the FAO Crop Model to Simulate Yield Response to Water I. Concepts and Underlying Principles. *Agronomy Journal*, 101(3): 426- 437.
- Tennant, D.L., 1976. Instream flow regimens for fish, wildlife, recreation and related environmental resources. *Fisheries*, 1: 6-10.
- Tessmann, S.A., 1980. Environmental Assessment. Technical Appendix E. South Dakota Water Resources Institute. Brookings. USA.
- Zand Razavi, B., Khaniki, H., Nasrollahi, A., and Boostani, D., 2019. Meaning reconstruction of participatory water governance: A qualitative review of group communication of groundwater beneficiaries of Rafsanjan plain 2016-2018. *Iranian Journal of Social Studies*, 12(4):44-66 (In Persian).
- Zeiringer, B., Seliger, C., Greimel, F., and Schmutz, S., 2018. River Hydrology, Flow Alteration, and Environmental Flow. In: Schmutz S., Sendzimir J. *Riverine Ecosystem Management*. Aquatic Ecology Series, 8, 67-89.
- Zhang, J., Hou, J., Zhang, H., Meng, C., Zhang, X., and Wei, C., 2019. Low soil temperature inhibits yield of rice under drip irrigation. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* 19, 228–236. <https://doi.org/10.1007/s42729-019-0008-x>.