

GES	Geography and Environmental Studies, 14 (56), 2025 Publisher: Islamic Azad University – Najafabad Branch https://sanad.iau.ir/journal/ges E-ISSN: 2345-5985 Doi: 10.71740/ges.2025.1210619	
-----	--	---

Research Paper

Received: 29 June 2025

Revised: 7 August 2025

Accepted: 23 August 2025

Online Publication: 22 December 2025

Drought Monitoring in Lake Urmia Basin Using RDI and eRDI Indices

Khadijeh Javan¹, Ameneh Yahyavi Dizaj², Fatameh Ghaffari Arabloo³

1. Department of Geography, Faculty of Literature and Humanities, Urmia University, Urmia, Iran (Corresponding Author)

Email: kh.javan@urmia.ac.ir

2. Department of Physical Geography, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

3. Department of Geography, Faculty of Literature and Humanities, Urmia University, Urmia, Iran

Abstract

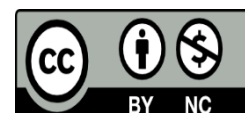
Drought is a natural hazard that causes significant damage to various communities every year. It is essential to study the phenomenon of drought with the aim of planning and managing how to deal with it. In the present study, the Reconnaissance Drought Index (RDI) and its improved version, the Effective Reconnaissance Drought Index (eRDI), were studied and analyzed for a 30-year statistical period (1986-2020) to monitor drought conditions using 8 synoptic stations in the Lake Urmia basin. To calculate the RDI index, monthly precipitation and evapotranspiration data obtained from the FAO Penman Monteith method were used. The RDI and eRDI indices were calculated separately for each station on an annual time scale. The results of this study indicated that although the eRDI index was somewhat more accurate than the RDI index, there was no significant difference between the indicators studied in monitoring drought conditions. Also, based on the results of the spatial and temporal distribution of drought, the highest levels of very severe drought are in the areas located in the north and east of the Lake Urmia basin and in recent years, respectively. In general, the results indicated that although the eRDI index can be very efficient in determining and monitoring agricultural drought due to the use of effective precipitation in identifying drought, in the present study, no significant difference was observed in the analysis of agricultural drought between the two indices.

Keywords: Drought, Evapotranspiration, RDI, eRDI, Lake Urmia Basin.

Citation: Javan, Kh.; Yahyavi Dizaj, A.; Ghaffari Arabloo, F. (2025), Drought Monitoring in Lake Urmia Basin Using RDI and eRDI Indices, *Geography and Environmental Studies*, 14 (56), 62-74. Doi: 10.71740/ges.2025.1210619

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author (s), with publication rights granted to Journal of Geography and Environmental Studies. This is an open – access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>), which permits unrestricted use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.



جغرافیا و مطالعات محیطی

ناشر: دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

شاپا الکترونیکی: 2345-5985

Sanad.iau.ir/journal/ges

Doi: 10.71740/ges.2025.1210619



مقاله پژوهشی

پایش خشکسالی در حوضه دریاچه ارومیه با استفاده از شاخص های RDI و eRDI

خدیجه جوان^۱، آمنه یحیوی دیزج^۲، فاطمه غفاری عربلو^۳

۱. گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۲. گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

۳. گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

چکیده

خشکسالی یک مخاطره طبیعی است که سالانه خسارات قابل توجهی را در جوامع مختلف به همراه دارد. بررسی پدیده خشکسالی باهدف برنامه ریزی و مدیریت چگونگی مواجهه با آن امری بسیار ضروری است. در پژوهش حاضر، شاخص شناسایی خشکسالی (RDI) و نسخه بهبود یافته آن یعنی شاخص شناسایی مؤثر خشکسالی (eRDI) برای یک دوره آماری ۳۵ ساله (۱۹۸۶-۲۰۲۰) جهت پایش وضعیت خشکسالی با استفاده از ۸ ایستگاه سینوپتیک حوضه دریاچه ارومیه مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. برای محاسبه شاخص RDI از داده های بارش و تبخیر تعلق ماهانه با روش فائو پنمن مانیت ۵۶ استفاده شد. شاخص RDI و eRDI به تفکیک ایستگاه در مقیاس زمانی سالانه محاسبه گردید. نتایج این پژوهش حاکی از آن بود که گرچه شاخص eRDI تا حدودی نسبت به شاخص RDI از دقت بیشتری برخوردار بود. اما بین شاخص های مورد بررسی در پایش وضعیت خشکسالی اختلاف چشمگیری وجود ندارد. همچنین بر اساس نتایج بررسی پراکنش مکانی و زمانی خشکسالی، به ترتیب بیشترین مقادیر خشکسالی بسیار شدید مربوط به مناطق واقع در شمال و شرق حوضه دریاچه ارومیه و متعلق به سال های اخیر هستند. به طور کلی نتایج بیانگر آن بود که اگرچه شاخص eRDI به علت استفاده از بارش مؤثر در شناسایی خشکسالی می تواند در تعیین و پایش خشکسالی کشاورزی بسیار کارآمد باشد، اما در پژوهش حاضر اختلاف قابل توجهی در آنالیز خشکسالی کشاورزی بین دو شاخص دیده نشد و به همین دلیل می توان از شاخص RDI در پایش و تحلیل خشکسالی در حوضه دریاچه ارومیه و سایر مناطق با ویژگی های اقلیمی مشابه با حوضه دریاچه ارومیه استفاده نمود.

کلمات کلیدی: خشکسالی، تبخیر تعلق، RDI، eRDI، حوضه دریاچه ارومیه.

تاریخ ارسال: ۱۴۰۴/۰۴/۰۸

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۵/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۰۱

تاریخ انتشار برخط: ۱۴۰۴/۱۰/۰۱

نویسنده مسئول: خدیجه جوان، گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. kh.javan@urmia.ac.ir

نحوه ارجاع به مقاله:

جوان، خدیجه؛ یحیوی دیزج، آمنه؛ غفاری عربلو، فاطمه (۱۴۰۴)، پایش خشکسالی در حوضه دریاچه ارومیه با استفاده از شاخص های RDI و eRDI، فصلنامه جغرافیا و مطالعات محیطی، ۱۴ (۵۶)، ۶۲-۷۴. Doi: 10.71740/ges.2025.1210619

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author (s), with publication rights granded to Journal of Geography and Environmental Studies. This is an open – access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>), which permits unrestricted use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.



۱. مقدمه

خشکسالی یکی از زیان‌بارترین مخاطرات طبیعی است که به‌تناوب در تمامی مناطق اقلیمی رخ می‌دهد. اما رخداد این مخاطره در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان از جمله ایران نمود بیشتری دارد. ایران یکی از کشورهای آسیب‌پذیر در مواجهه با خشکسالی است که در نیم‌قرن گذشته خشکسالی‌های سال‌های ۱۳۶۳ تا ۱۳۷۲، خشکسالی ۱۳۷۷ تا ۱۳۸۰ و خشکسالی گسترده ۱۴۰۰ را تجربه نموده است (ترابی نژاد و همکاران، ۱۴۰۲). مطالعه و کمی‌سازی مقدار خشکی با استفاده از شاخص‌های خشکی اقلیمی در اقصی نقاط جهان به‌ویژه در ایران که همواره در این زمینه دچار چالش بوده و هست، برای مدیریت علمی منابع آب، کشاورزی و محیط‌زیست اهمیت و ضرورت ویژه‌ای می‌یابد (جوان و یحوی دیزج، ۱۴۰۳).

از این‌رو شناخت و آگاهی از ویژگی‌های خشکسالی جهت ارائه راهکارهای کنترلی و مدیریتی آن بسیار ضروری است. چرا که خشکسالی از سویی آثار نامطلوب بسیاری را در بخش‌های مختلف مانند منابع آب، کشاورزی، محیط‌زیست و غیره (Bachmair et al., 2016; Pokhrel et al., 2021; Wu et al., 2020) به دنبال دارد. از سویی دیگر آثار نامطلوب خشکسالی تدریجی بوده و ممکن است این آثار بر خلاف سایر مخاطرات طبیعی با تأخیر مشاهده شود (خلیلی و همکاران، ۱۴۰۲). بطور کلی خشکسالی به انواع مختلف خشکسالی‌های هواشناسی، هیدرولوژیکی، کشاورزی و اجتماعی-اقتصادی طبقه‌بندی می‌شود (Khadr, 2016). با تغییر در پارامترهای هواشناسی، تأثیر بر منابع آب و ایجاد تنش گیاهی به ترتیب خشکسالی‌های هواشناسی، هیدرولوژیکی و کشاورزی رخ می‌دهد که این امر امنیت غذایی و توسعه پایدار اقتصادی و اجتماعی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Zhang et al., 2023).

خشکسالی یک پدیده طبیعی و دوره کم‌آبی است که یک منطقه با کمبود منابع آبی مواجه می‌شود. پس از سیل، خشکسالی دومین خطر جغرافیایی گسترده‌ای است که انسان‌ها در معرض آن قرار می‌گیرند. این پدیده منجر نابودی گیاهان، کم‌شدن شدت جریان آب (برای نیروگاه‌های برق آبی)، کاهش عمق آب‌های سطحی و خاک مرطوب می‌شود. علاوه بر آن فعالیت‌های انسانی را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد (عبادی نهاری و همکاران، ۱۴۰۲). پایش خشکسالی یکی از مهم‌ترین اصول در مدیریت خشکسالی و ریسک به‌ویژه در مناطق پرخطر رخداد خشکسالی است که به علت برهم‌کنش عوامل مختلف هواشناسی، دارای فرایند پیچیده‌ای است از جمله راهکارهای حل مشکلات در زمینه خشکسالی و مدیریت آن می‌توان به اولویت استفاده از فناوری‌های مرتبط با ماشین‌آلات و ادوات و روش‌های کم‌آبیاری، اصلاح قیمت آب شرب شهری به‌صورت پلکانی برای مصارف بالاتر می‌توان اشاره کرد (صفریان زنگیر و همکاران، ۱۴۰۲). ویژگی‌های خشکسالی در ایران نشان می‌دهد که به‌طور کلی هیچ منطقه‌ای از کشور، از این پدیده در امان نبوده و به نسبت موقعیت خود، اثرات این پدیده مخرب را تجربه می‌کند. از جمله اثرات خشکسالی بر بخش کشاورزی می‌توان به مواردی همچون کاهش تولیدات کشاورزی خصوصاً محصولات دیم و فراورده‌ها، برداشت بی‌رویه از منابع آب‌های زیرزمینی، شستشوی خاک‌های زراعی مرغوب از طریق زهکش‌های طبیعی اشاره کرد. نیاز به پایش و تعیین درجه شدت، تداوم، زمان وقوع و خاتمه خشکسالی، توزیع مکانی و زمانی آن از یک‌طرف و اظهار این عقیده که تعیین شرایط خشکسالی به‌عنوان یک ابزار مدیریتی و برنامه‌ریزی است؛ پژوهشگران را بر آن واداشته تا شاخص‌هایی جهت پایش خشکسالی ارائه دهند (زینالی و همکاران ۱۳۹۶).

تاکنون شاخص‌های متعددی برای تعیین شدت خشکسالی ارائه شده؛ این شاخص‌ها که از متغیرهای هیدرولوژیکی و هواشناسی مشتق شده‌اند، می‌توانند در شناخت پدیده خشکسالی مؤثر باشند (غزنوی، ۱۴۰۰). در این میان شاخص شناسایی خشکسالی

(RDI^۱) و شاخص شناسایی مؤثر خشکسایی (eRDI^۲) با توجه به شرایط هر منطقه شاخص‌هایی مناسب و کارا جهت پایش خشکسالی به شمار می‌روند (Thomas et al., 2016; Adnan et al., 2018). شاخص RDI در ایران و جهان سابقه طولانی نداشته، مربوط به سال ۲۰۰۴ است که برای اولین بار توسط Tsakiris در یونان ارائه شد (Tsakiris et al., 2007). سپس Tigkas شاخص RDI را با جایگذاری مفهوم بارش مؤثر در کشاورزی اصلاح نمود و شاخص eRDI را ارائه نمود (Tigkas et al., 2016). شاخص‌بندی و تجزیه و تحلیل خشکسالی از جنبه‌های مهم در راستای مدیریت خشکسالی و برنامه‌ریزی عملیاتی در مورد سازگاری و کاهش اثرات آن بر بخش‌های مختلف مصرف‌کننده آب است (عشقی‌زاده و اسماعیلیان، ۱۴۰۲). کمی کردن شدت خشکسالی که معمولاً با استفاده از شاخص‌های خشکسالی به دست می‌آید جزء اصلی تجزیه و تحلیل خشکسالی است (Tigkas et al., 2017). بسته به اهمیت این پدیده و پیامدهای منفی آن مخاطره خشکسالی مورد توجه بسیاری از پژوهشگران داخلی (جوان، ۱۳۹۹؛ داورپناه و همکاران، ۲۰۲۱؛ میرزائی حسنلو و همکاران، ۱۴۰۳) و خارجی (Topçu et al., 2025; Tareke., 2024; Simsek et al., 2024; Kartal., 2024) در سراسر جهان قرار گرفته است. با توجه به نقش قابل توجه تبخیر تعرق در تعادل آب، لازم است اثر آن در هنگام مطالعه خشکسالی در یک منطقه خاص مورد توجه قرار گیرد. بر این اساس، RDI که هم بارش و هم تبخیر تعرق را در بر می‌گیرد، می‌تواند به عنوان یک شاخص قابل اعتماد برای پایش خشکسالی در نظر گرفته شود (معینی‌فر و همکاران، ۱۴۰۰). به بیانی دیگر شاخص RDI به دلیل در نظر گرفتن توأم بارش و تبخیر تعرق پتانسیل، با استقبال بیشتری نسبت به سایر شاخص‌ها روبرو بوده و در بسیاری از مطالعات مبنای مقایسه شدت خشکسالی و برآورد خسارات بالقوه آن در سطح ملی قرار گرفته است (صادقیان آق‌کندی، ۱۴۰۳) در طی مطالعه‌ای که به منظور ارزیابی شاخص eRDI و مقایسه آن با شاخص RDI در تحلیل و پایش خشکسالی کشاورزی در یونان برای دوره آماری ۱۹۵۵ تا ۲۰۰۲ انجام شد نیز گزارش گردید این شاخص‌ها توانایی و دقت بالایی در تشخیص دوره‌های خشکسالی و میزان شدت آن در منطقه مورد مطالعه داشته و شاخص eRDI با برقراری ارتباط بهتر شدت خشکسالی و افت عملکرد محصول زراعی معیار مناسب‌تری برای شاخص‌بندی خشکسالی کشاورزی و اثرات آن بر گیاهان است (Tigkas et al., 2016).

مرور منابع مختلف خشکسالی حاکی از آن است که این مخاطره به دلیل اهمیت چندجانبه‌ای که دارد از جنبه‌های بسیاری مورد بررسی قرار گرفته است. با این وجود هنوز پژوهش‌های جامع‌تری که بتواند خلأ پژوهش‌های پیشین را پر کند انجام نشده است. به بیانی دیگر با وجود اینکه حوضه دریاچه ارومیه به دلیل شرایط ویژه اقلیمی و نقش مهم زیست‌محیطی آن دارای اهمیت ویژه‌ای بوده تاکنون پژوهش خشکسالی جامع‌چندانی در آن صورت نگرفته است که این امر ضرورت موضوع را در این منطقه دوچندان می‌کند. بدین منظور هدف پژوهش حاضر بررسی مسئله خشکسالی موجود در حوضه دریاچه ارومیه و تغییرات احتمالی آنها در هشت ایستگاه سینوپتیک حوضه دریاچه ارومیه (۱۹۸۶-۲۰۲۰) بر اساس شاخص‌های شناسایی خشکسالی و شناسایی مؤثر خشکسالی است.

۲. مواد و روش‌ها

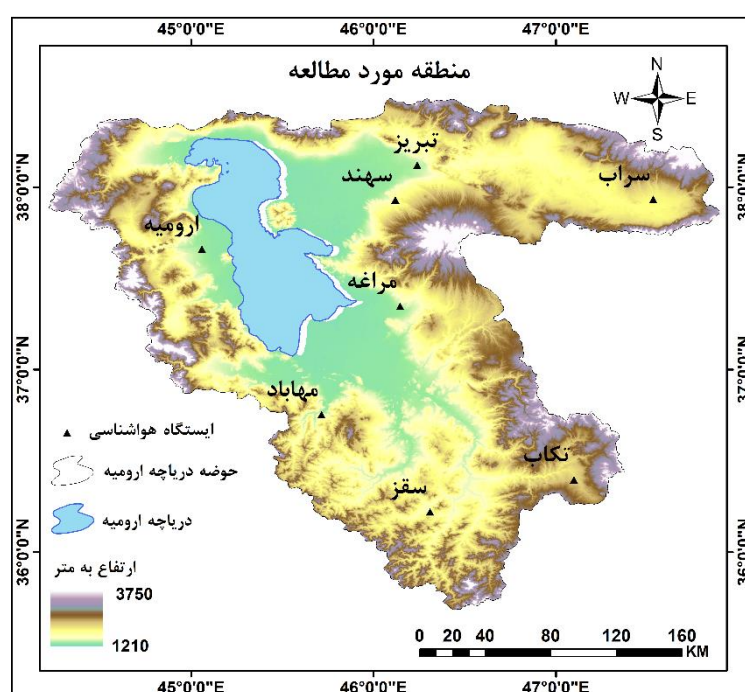
۲-۱. منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز دریاچه ارومیه با وسعت حدود ۵۱۸۷۶ کیلومتر مربع بین مختصات ۳۵ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۳۸ درجه تا ۳۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۴ درجه و ۱۴ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۵۳ دقیقه طول شرقی و در شمال‌غربی ایران قرار گرفته است (شکل ۱). تغییرات بارندگی در حوضه ۲۲۰ تا ۴۵۰ میلی‌متر و متوسط بارش ۳۱۰ میلی‌متر است و از مناطق مرکزی حوضه به سمت مناطق

^۱ . Reconnaissance Drought Index (RDI)

^۲ . Reconnaissance Drought Index Effective (eRDI)

مرتفع پیرامونی بر مقدار بارندگی افزوده می‌شود. در این حوضه مقدار بارندگی در طی چهار دهه (۲۰۰۵-۱۹۶۴) به طور میانگین ۹٪/۲ کاهش یافته است و متوسط دمای حداکثر حدود ۰/۸ درجه سلسیوس افزایش یافته است (Delju et al., 2013). از مهم‌ترین عوارض ناهمواری این منطقه می‌توان به وجود کوهستان سهند و امتداد رشته کوه زاگرس در غرب دریاچه ارومیه اشاره کرد. جلگه ارومیه و دشت‌های تبریز و سراب، مهم‌ترین مناطق پست این محدوده را تشکیل می‌دهند. باتوجه به بارندگی‌هایی که در ایستگاه‌های مورد بررسی پژوهش حاضر ثبت شده است (جدول ۱)، در حال حاضر یکی از معضلات مهم این منطقه کاهش تراز آب دریاچه ارومیه به‌طور پیاپی در سال‌های اخیر است که به نظر می‌رسد علاوه بر ساخت سدهای متعدد و گسترش باغات و کشاورزی، تغییر اقلیم نیز در آن مؤثر است (Khazaei et al., 2019). از این‌رو بررسی تغییرات به وجود آمده و لزوم رخداد پدیده‌های حدی مانند خشکسالی به ویژه در محدوده مورد نظر که به یک بحران محیطی تبدیل شده (AghaKouchak et al., 2015). ضرورت ویژه‌ای دارد.



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

۲_۲. داده‌ها و روش‌ها

در این پژوهش از داده‌های ۸ ایستگاه سینوپتیک (جدول ۱) در دوره آماری ۳۵ ساله ۱۹۸۶ تا ۲۰۲۰، پس از ارزیابی‌های اولیه آن‌ها مانند: کنترل داده‌های دماهای کمینه و بیشینه و بازسازی داده‌های مفقوده و در نهایت آماده‌سازی آن‌ها جهت محاسبه شاخص‌های مورد نظر بهره گرفته شد.

جدول (۱): مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه

ردیف	ایستگاه	طول	عرض	ارتفاع	میانگین بارش	میانگین تبخیر تعرق
۱	ارومیه	۴۵,۰۶	۳۷,۶۶	۱۳۲۸	۳۱۳,۷۹	۱۱۰۳,۷۲
۲	تبریز	۴۶,۲۴	۳۸,۱۲	۱۳۶۱	۲۵۷,۶۴	۱۴۴۷,۷۰
۳	مهاباد	۴۵,۷۱	۳۶,۷۵	۱۳۵۱	۳۹۴,۲۲	۱۳۰۰,۱۶
۴	مراغه	۴۶,۱۴	۳۷,۳۴	۱۳۴۴	۲۸۵,۲۴	۱۵۶۴,۹۲
۵	سقز	۴۶,۳۱	۳۶,۲۲	۱۵۲۲	۴۵۹,۳۱	۱۲۱۲,۱۶
۶	سهند	۴۶,۱۲	۳۷,۹۳	۱۶۴۱	۲۲۶,۶۳	۱۵۳۳,۶
۷	سراب	۴۷,۵۳	۳۷,۹۳	۱۶۸۲	۲۴۸,۵۹	۱۲۱۶,۷۵
۸	تکاب	۴۷,۰۹۸	۳۶,۳۹	۱۸۱۷	۳۲۲,۵	۱۲۴۲,۴۴

محاسبه تبخیر تعرق پتانسیل (PET)

در این پژوهش برای محاسبه PET از روش فائو پنمن مانیتث ۵۶ استفاده شده است. این روش به طور جامع متغیرهای تأثیرگذار مختلف را در تبخیر تعرق لحاظ می‌کند و کاربرد بهینه‌ای در مناطقی که دارای شرایط اقلیمی پیچیده‌ای هستند دارد (Li et al., 2022). روش فائو پنمن مانیتث ۵۶ با استفاده از رابطه (۱) قابل محاسبه است.

$$PET_{PM} = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad (1)$$

در رابطه فوق که R_n تابش خالص سطح است، U_2 سرعت باد سطحی (متر/ثانیه) در ارتفاع ۲ متری، Δ شیب منحنی فشار بخار آب اشباع شده-دما و γ گرمای نهان بخار آب است (Li et al., 2022). در شاخص‌های RDI و eRDI روش تورنت وایت برای محاسبه تبخیر تعرق، پیشنهاد شده است. اما، به دلیل اینکه برآورد تبخیر تعرق به روش فائو پنمن مانیتث ۵۶ روش استاندارد محاسبه تبخیر تعرق است. بنابراین در پژوهش حاضر به محاسبه تبخیر تعرق پتانسیل گیاه مرجع به روش فائو پنمن مانیتث ۵۶ پرداخته شده است.

شاخص شناسایی خشکسالی (RDI)

شاخص RDI چنانچه پیش‌تر نیز بیان شد؛ نخستین بار به وسیله Tsakiris و همکاران در سال ۲۰۰۷ ارائه شد. برای تعیین خشکسالی با استفاده از این شاخص نیاز به داشتن آمار بارندگی و تبخیر تعرق پتانسیل ماهانه و یا مجموع سالانه این دو متغیر است. شاخص RDI را با استفاده از رابطه (۲) می‌توان محاسبه کرد.

$$RDI_k^{(i)} = \frac{\sum_{j=1}^k P_{ij}}{\sum_{j=1}^k PET_{ij}} \quad (2)$$

که در آن: P و PET به ترتیب، بارندگی و تبخیر تعرق پتانسیل در j امین ماه از سال i هستند. مقدار i از یک تا n (تعداد سال‌هایی است که آمار آن در دسترس است) تغییر خواهد کرد (Tsakiris et al., 2007).

شاخص شناسایی مؤثر خشکسالی (eRDI)

این شاخص به منظور بهبود نتایج حاصل از ارزیابی خشکسالی به‌ویژه خشکسالی کشاورزی با استفاده از شاخص RDI توسط Tigkas و همکاران در سال ۲۰۱۶ ارائه گردید. شاخص eRDI مشابه شاخص RDI است و تنها به جای استفاده از مقادیر ماهانه بارش ثبت شده از مقادیر بارش مؤثر (Pe) یعنی در صدی از بارش مشاهده شده یا بارش کل استفاده می‌گردد. این شاخص را می‌توان از رابطه (۳) محاسبه نمود.

$$eRDI_{ek}^{(i)} = \frac{\sum_{j=1}^k P_{ej}}{\sum_{j=1}^k PET_{ij}} \quad (3)$$

که در رابطه ۳: P_{ej} بارش مؤثر و PET_{ij} تبخیر تعرق پتانسیل است (Tigkas et al., 2016).

در نهایت تعیین وضعیت خشکسالی بر اساس طبقات شدت خشکسالی مطابق با مقادیر RDI و eRDI مطابق جدول ۲. حاصل می‌شود (Tigkas et al., 2019).

جدول (۲): طبقه‌بندی شدت خشکسالی بر اساس شاخص‌های مورد بررسی (Tigkas et al., 2019)

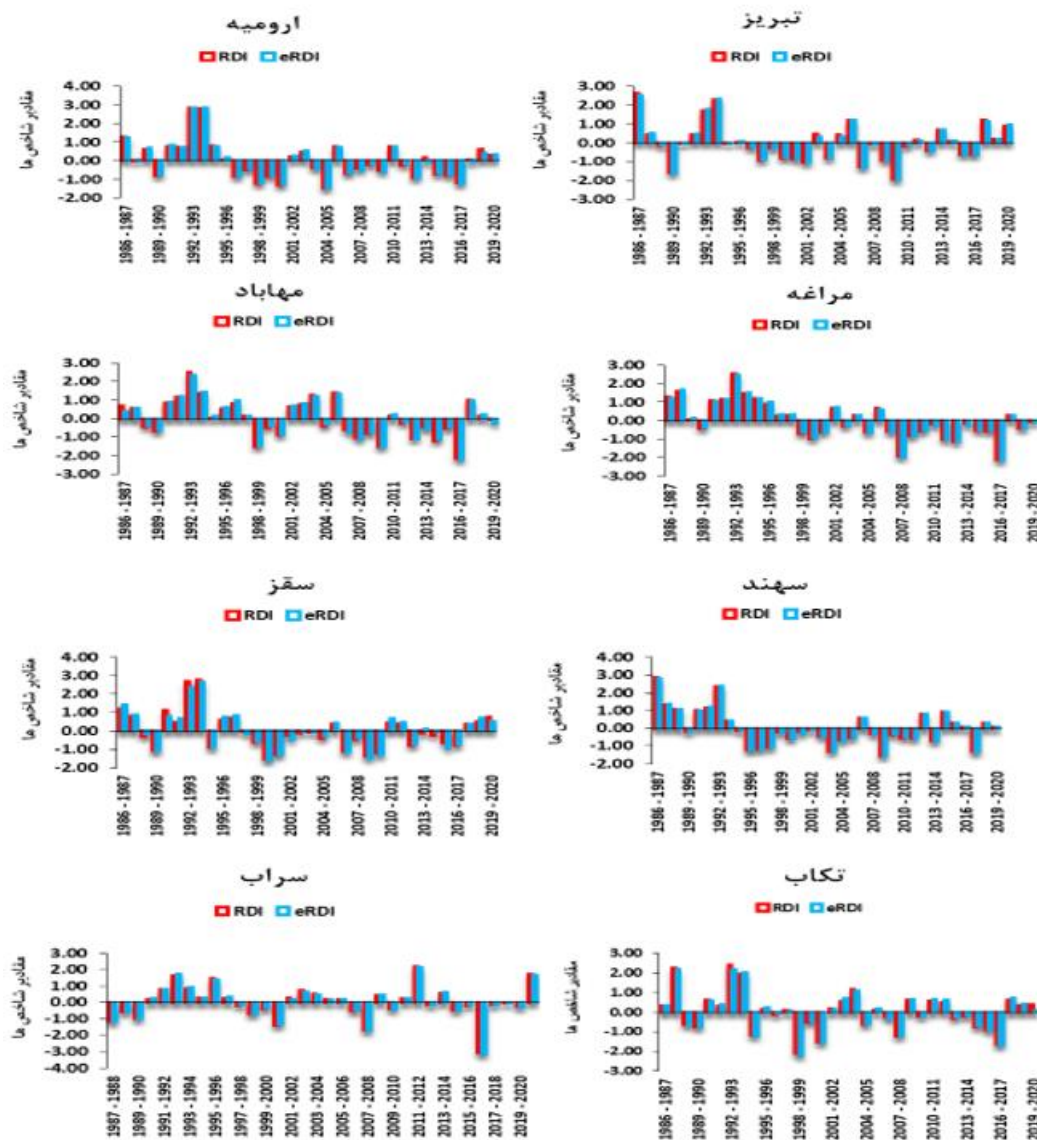
طبقه خشکسالی	مقدار عددی شاخص	احتمال وقوع
ترسالی خیلی شدید	≥ 2	۲/۳
ترسالی شدید	۱/۱-۵/۹۹	۴/۴
ترسالی ملایم	۱-۱/۴۹	۲/۹
ترسالی خفیف	۰-۰/۹۹	۳۴/۱
خشکسالی خفیف	-۰/۰-۹۹	۳۴/۱
خشکسالی ملایم	-۱/۴۹ -- ۱	۹/۲
خشکسالی شدید	-۱/۹۹ -- ۱/۵	۴/۴
خشکسالی خیلی شدید	≤ -2	۲/۳

۳. بحث و نتایج

پایش و آشکارسازی خشکسالی در حوضه دریاچه ارومیه و تغییرات این مخاطره در ۸ ایستگاه سینوپتیک موجود در این حوضه طی دوره آماری ۳۵ ساله از اهداف پژوهش حاضر است که در ادامه مورد بررسی و تحلیل قرار می‌گیرد.

پایش وضعیت خشکسالی به تفکیک سال در ایستگاه‌های مورد بررسی

نتایج حاصل از طبقه‌بندی مقادیر شاخص‌های RDI و eRDI سالانه در شکل ۲. نشان می‌دهد که در سال ۱۹۹۸-۱۹۹۹ در ایستگاه تکاب خشکسالی بسیار شدیدی رخ داده است. سپس در سال ۲۰۱۷-۲۰۱۶ خشکسالی بسیار شدیدی در ایستگاه‌های سراب، مهاباد و مراغه نیز مشاهده شده است. همچنین ایستگاه‌های سقز ۲۰۰۰-۱۹۹۹، ارومیه ۲۰۰۵-۲۰۰۴، سهند ۲۰۰۹-۲۰۰۸ و تبریز ۲۰۱۰-۲۰۰۹ خشکسالی شدیدی را در حوضه دریاچه ارومیه تجربه کرده‌اند. در یک مقایسه کلی بین ایستگاه‌های حوضه دریاچه ارومیه می‌توان دریافت که در سال‌های اخیر در بیشتر ایستگاه‌های کشور خشکسالی‌های بسیار شدید و خشکسالی شدید حاکم بوده است. که این نتایج می‌تواند در اثر تغییرات اقلیمی موجود باشد که منطقه مورد مطالعه را نیز دستخوش تغییرات قابل توجهی کرده است. باتوجه به نتایج حاصل، مقادیر عددی شاخص‌های RDI و eRDI، برای هر یک از سال‌های مورد بررسی با یکدیگر بسیار مشابه هستند که با نتایج (Pathak & Dodamani., 2020) همخوانی دارد.



شکل (۲): پایش خشکسالی سالانه در ایستگاه‌های مورد بررسی (۱۹۸۶-۲۰۲۰)

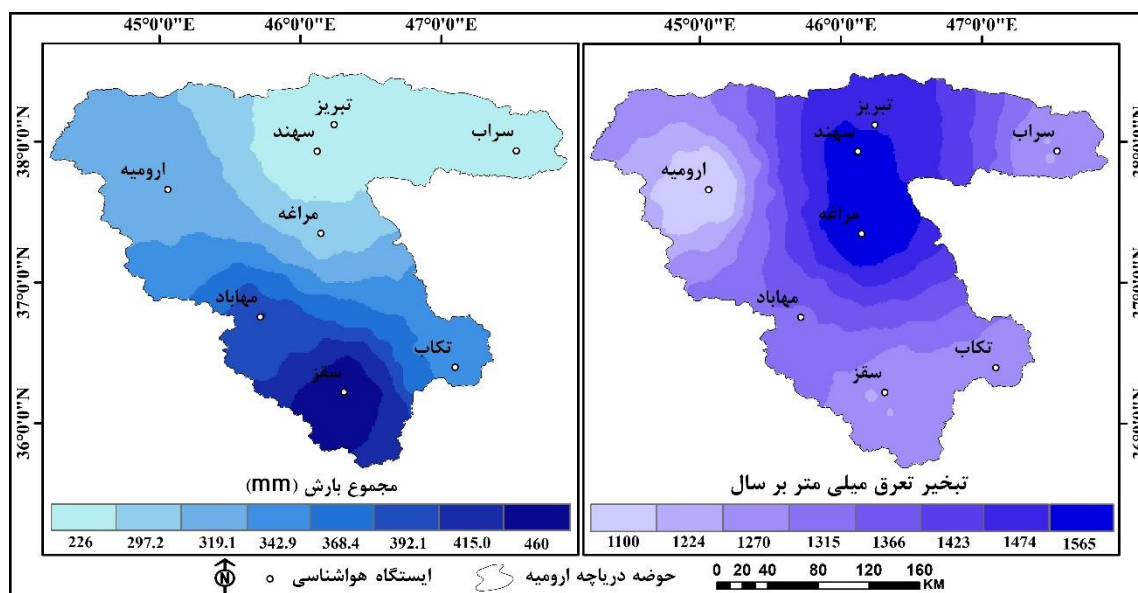
پراکنش مکانی مجموع بارش

بر اساس نقشه شکل ۳. مجموع بارش بلند مدت حوضه دریاچه ارومیه از سال ۱۹۸۶ تا ۲۰۲۰، بیشترین بارش دریافتی را ایستگاه‌های سقز و مهاباد در جنوب و جنوب غرب حوضه به میزان ۴۱۵ میلی‌متر و بیشتر به خود اختصاص داده‌اند. در حالی که کمترین میزان بارش با مقادیر کمتر از ۲۷۱ میلی‌متر به ترتیب در ایستگاه‌های سهند، سراب و تبریز مشاهده می‌شود. در این میان حد وسط مجموع بارش در بین ایستگاه‌های مطالعاتی، در ایستگاه‌های مراغه، ارومیه و تکاب با مقادیر ۲۹۷، ۳۱۹ و ۳۴۲ میلی‌متر مشاهده می‌شود. نتایج حاکی از تفاوت مکانی مجموع بارش در بین ایستگاه‌های حوضه است بدین گونه که در جنوب حوضه بیشینه دریافت بارش بیشتر از ۴۱۵ و کمینه آن در شمال و شمال شرقی حوضه کمتر از ۲۷۱ میلی‌متر است. به بیانی دیگر نتایج بیانگر آن است که مجموع بارش از جنوب به شمال و از غرب به شرق حوضه کاهش می‌یابد. دلایل این تفاوت را باید در طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع ایستگاه‌ها و همچنین عوامل کنترل کننده و تأثیرگذار جستجو کرد. چنانچه در پژوهش ربیعی غفاری و همکاران مشاهده شد؛ اگر ارتفاع و طول جغرافیایی ثابت باشد، به ازای هر درجه افزایش عرض جغرافیایی میزان بارش حدود ۴/۰۲ میلی‌متر افزایش می‌یابد و اگر طول و عرض جغرافیایی ثابت باشد، به ازای هر متر افزایش ارتفاع بارش ۰/۰۱ میلی‌متر افزایش می‌یابد. در نهایت با شرط ثابت بودن عرض

جغرافیایی و ارتفاع، با افزایش هر درجه طول جغرافیایی ۱۵/۲۰ میلی‌متر از مقدار بارش کاسته می‌شود (ربیعی غفاری و همکاران، ۱۴۰۳). نتایج پژوهش ربیعی غفار و همکاران مؤید نتایج پژوهش حاضر در مورد نقش مهم و تأثیرگذار طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع ایستگاه‌های مطالعاتی در مجموع بارش است.

پراکنش مکانی تبخیر تعرق

مطابق شکل ۳. نتایج تبخیر تعرق ماهانه طی دوره آماری ۳۵ ساله، نشان می‌دهد که در بین ایستگاه‌های مطالعاتی موجود در حوضه دریاچه ارومیه، ایستگاه‌های مراغه و سهند بیشترین مقادیر تبخیر تعرق را به میزان بیشتر از ۱۴۷۴ میلی‌متر در ماه به خود اختصاص داده‌اند. این نتایج با یافته‌های حجابی و همکاران که در سال ۱۴۰۱ در پژوهشی به بررسی متغیرهای هواشناسی مؤثر در روند تبخیر تعرق مرجع در حوضه دریاچه ارومیه پرداختند مطابقت دارد. باتوجه به شکل ۳. کم‌ترین میزان تبخیر تعرق را با مقادیر ۲۲۶ میلی‌متر ایستگاه ارومیه نشان می‌دهد. چنانچه در این شکل مشاهده می‌شود از نظر پراکنش مکانی بیشینه مقادیر تبخیر تعرق با میزان ۱۴۷۴ میلی‌متر متعلق به شمال، مرکز و شرق حوضه است. این در حالی است که به ترتیب غرب و جنوب حوضه کمینه تبخیر تعرق را به ترتیب با میزان کمتر از ۱۱۰۰ و ۱۲۲۴ میلی‌متر نشان می‌دهد. در یک مقایسه کلی بین نقشه‌های بارش و تبخیر تعرق شکل ۳. می‌توان دریافت که تبخیر تعرق و بارش با یکدیگر رابطه عکس دارند به میزانی که در مکانی بارش افزایش یابد تبخیر تعرق کاهش می‌یابد. این بخش از نتایج، یافته‌های پژوهش‌های پیشین یحوی دیزج و همکاران در رابطه با تأثیر متغیرهای هواشناسی و غیره بر تبخیر تعرق را تأیید می‌کند که تبخیر تعرق در هر منطقه، گویای شرایط اقلیمی آن منطقه بوده و تحت تأثیر متغیرهای اقلیمی مانند دمای کمینه و بیشینه، رطوبت نسبی، بارش، سرعت باد و ساعت آفتابی در بازه زمانی مورد نظر است (یحوی دیزج و همکاران، ۱۴۰۲ الف). همچنین باتوجه به فصل سال و ناهموازی منطقه مطالعاتی، نقش هر یک از عوامل مذکور بر میزان تبخیر تعرق بیشتر یا کمتر مشاهده می‌شود (یحوی دیزج و همکاران، ۱۴۰۲ ب).



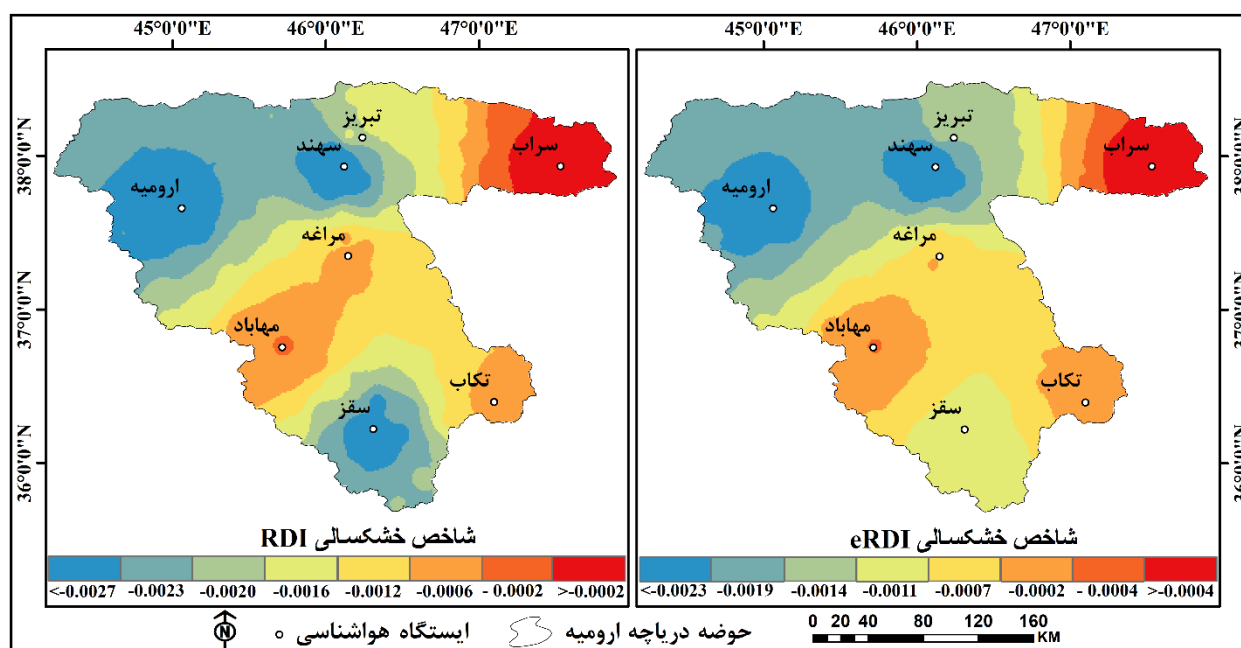
شکل (۳): مجموع بارش و تبخیر تعرق ماهانه (۱۹۸۶-۲۰۲۰)

پایش وضعیت مکانی خشکسالی با استفاده از شاخص‌های RDI و eRDI

چنانچه پیش‌تر نیز بیان شد، ابتدا بررسی‌های اولیه داده‌های ۸ ایستگاه سینوپتیک موجود در حوضه دریاچه ارومیه طی دوره آماری

۳۵ ساله انجام و سپس براساس شاخص‌های مورد نظر (RDI و eRDI) وضعیت خشکسالی در مقیاس سالانه در تمامی ایستگاه‌های مطالعاتی تعیین شد. بدین صورت که در پژوهش حاضر شاخص‌های خشکسالی مذکور برای ایستگاه‌های مورد بررسی در حوضه دریاچه ارومیه با استفاده از داده‌های هواشناسی بارش و تبخیر تعرق محاسبه و مورد مقایسه قرار گرفتند که نتایج حاصل در شکل ۴ ارائه شده است. براساس شکل ۴ خشکسالی خیلی شدید را شمال شرق حوضه در هر دو شاخص مورد بررسی به خود اختصاص داده است. پس از آن مناطق واقع در جنوب شرق و جنوب غرب حوضه از خشکسالی شدیدی برخوردارند. همچنین در شاخص RDI ایستگاه‌های ارومیه، سهند و سقز کمترین میزان را نشان می‌دهند. در حالی که در شاخص eRDI کمینه مقادیر تنها در ایستگاه‌های ارومیه و سهند مشاهده می‌شود.

همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود اعداد به دست آمده از شاخص‌های RDI و eRDI بسیار به یکدیگر نزدیک بوده که نشان‌دهنده عدم اختلاف شاخص‌های مورد بررسی در تعیین شدت خشکسالی در حوضه دریاچه ارومیه است. این در حالی است که نتایج پژوهشی حاکی از آن بود که در اقلیم‌های مرطوب اختلاف چشمگیری در بین نتایج شاخص RDI با eRDI وجود نداشت، اما در اقلیم‌های خشک و بسیار خشک دو شاخص از لحاظ شناسایی خشکسالی تفاوت قابل توجهی با یکدیگر نشان دادند (زارعی و همکاران، ۲۰۱۹). این تفاوت در پایش دو شاخص مشخص می‌کند که نتایج پایش خشکسالی در هر منطقه به میزان زیادی تحت تأثیر عوامل اقلیمی حاکم بر آن منطقه است (اقتدار نژاد و همکاران، ۱۳۹۵). نتایج پژوهش حاضر نیز با پژوهش‌های زارعی و همکاران (۲۰۱۹)؛ در مورد عدم اختلاف چشمگیر شاخص‌های مورد بررسی هم‌خوانی دارد.



شکل (۴): شاخص‌های خشکسالی RDI و eRDI (۱۹۸۶-۲۰۲۰)

۴. نتیجه گیری

امروزه خشکسالی یکی از چالش‌ها و مسائل مهم، در ایجاد خسارت در بخش‌های مختلف از جمله، کشاورزی، زیست محیطی، اقتصادی - اجتماعی و غیره در مناطق مختلف، به ویژه حوضه دریاچه ارومیه که جمعیت این حوضه به عنوان بزرگ‌ترین مراکز جمعیتی شمال غرب ایران عمدتاً به فعالیت‌های کشاورزی اشتغال دارند است. بسته به اهمیت موضوع پژوهشگران مختلف پژوهش‌های زیادی را برای پایش خشکسالی با روش‌های مختلف انجام داده‌اند؛ اما پژوهش جامعی که بتواند کیفیت موضوع را در برداشته باشد مشاهده نشده است. با توجه به استفاده از متغیر بارش مؤثر در پایش وضعیت خشکسالی به وسیله شاخص eRDI که از

طریق آبی که به گونه‌ای مؤثر و قابل استفاده برای محصولات کشاورزی در محاسبات دخیل می‌کند، در نتیجه ارتباط معنی‌داری بین شدت خشکسالی و کاهش رشد و عملکرد گیاهان را ارائه می‌کند. بدین منظور پژوهش حاضر باهدف پایش وضعیت خشکسالی، به بررسی شاخص RDI و نسخه بهبودیافته آن یعنی eRDI با استفاده از داده‌های ۳۵ ساله ۱۸ ایستگاه سینوپتیک طی سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۲۰ در حوضه دریاچه ارومیه پرداخت و شاخص خشکسالی RDI در مقیاس زمانی سالانه با استفاده از برآورد تبخیر تعرق به روش فائو پنمن مانیت ۵۶ محاسبه شد.

نتایج حاصل از پایش وضعیت خشکسالی به وسیله شاخص‌های شناسایی خشکسالی حاکی از آن است که الگوی مکانی پراکنش خشکسالی افزایش میزان خشکسالی از جنوب به شمال و از غرب به شرق است. بدین صورت که بیشترین مقادیر آن در هر دو شاخص RDI و eRDI در شمال و شرق حوضه دریاچه ارومیه دیده می‌شود. از نظر زمانی نیز در بیشتر ایستگاه‌های مطالعاتی در سال‌های اخیر شرایط خشکسالی، در حوضه دریاچه ارومیه افزایش یافته است. به عنوان مثال در سال‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۱۷ بیشتر ایستگاه‌های مطالعاتی درگیر خشکسالی بسیار شدید بوده‌اند. همچنین نتایج مقایسه شاخص‌های RDI و eRDI در مقیاس زمانی سالانه بیانگر آن بود که این دو شاخص در پایش وضعیت خشکسالی حوضه دریاچه ارومیه تشابه و مطابقت بیشتری با همدیگر داشتند. اگرچه شباهت بیشتری در پایش وضعیت خشکسالی شاخص‌های مطالعاتی دیده شد، اما به طور کلی شاخص eRDI در شناسایی خشکسالی دقت بیشتری را ارائه نمود. با این وجود نتایج کلی پژوهش حاضر نشان داد که تفاوت چشمگیری بین شاخص‌های RDI و eRDI وجود ندارد. در نتیجه، بر اساس یافته‌های این پژوهش در حوضه دریاچه ارومیه و مناطق اقلیمی مشابه می‌توان از شاخص RDI برای پایش وضعیت خشکسالی استفاده نمود.

منابع

۱. اقتدار نژاد، مینا؛ بذرافشان، ام‌البنین؛ صادقی لاری، عدنان (۱۳۹۵). ارزیابی تطبیقی شاخص‌های SPI، RDI و SDI در تحلیل مشخصه‌های خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی (مطالعه موردی: دشت بم). دانش آب و خاک. ۲۶ (۴، ۲)، ۸۱-۶۹.
۲. ترابی نژاد، نسترن؛ زرین، آذر؛ داداشی رودباری، عباسعلی (۱۴۰۲). بررسی انواع خشکسالی و مشخصه‌های آن در ایران با استفاده از شاخص بارش تبخیر- تعرق استاندارد شده (SPEI). آب و خاک. ۳۷ (۳)، ۴۸۶-۴۷۳.
۳. جوان، خدیجه (۱۳۹۹). بررسی روند خشکسالی هیدرولوژیک در سطح حوضه آبریز دریاچه ارومیه. هیدروژئومورفولوژی. ۷ (۲۵)، ۱۱۹-۱۳۸.
۴. جوان، خدیجه و یحوی دیزج، آمنه (۱۴۰۳). تحلیل زمانی و مکانی شاخص‌های خشکی UNEP و دومارتن در ایران طی دوره ۱۹۷۶-۲۰۲۰. مهندسی اکوسیستم بیابان. ۱۲ (۳۹)، ۸۹-۱۰۲.
۵. حجابی، سمیه؛ رضائیان، حسن؛ وظیفه خواه، محمدامین (۱۴۰۱). بررسی متغیرهای هواشناسی مؤثر در روند تبخیر - تعرق مرجع در حوضه دریاچه ارومیه. نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران. ۱۲ (۴)، ۳۳۳-۳۱۰.
۶. خلیلی، سیده وحیده و دیگران (۱۴۰۲). مطالعه ارتباط زمانی خشکسالی هیدرولوژیکی و هواشناسی با استفاده از شاخص‌های SPI، RDI و SDI با تاکید بر مقایسه دو روش مختلف محاسبه ETo (مطالعه موردی: حوضه آبریز صوفی چای مراغه). نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران. ۱۴ (۲)، ۲۸۰-۲۵۷.
۷. ربیعی غفار، زهرا؛ عساکره، حسین؛ خسروی، یونس (۱۴۰۳). بررسی تغییرات زمانی - مکانی احتمال وقوع بارش با تداوم‌های مختلف در ایران. مطالعات جغرافیایی نواحی ساحلی. ۵ (۲)، ۱۹-۱.
۸. زینالی، بتول؛ صفریان زنگیر، وحید (۱۳۹۶). پایش خشکسالی در حوضه دریاچه ارومیه با استفاده از شاخص فازی. مخاطرات محیط طبیعی. ۶ (۱۲)، ۶۲-۳۷.

۹. صادقیان آق کندی، مرضیه و دیگران (۱۴۰۳). بررسی عملکرد الگوریتم‌های Kstar و GPR در مدل‌سازی شاخص خشکسالی هواشناسی RDI (مطالعه موردی: شرق حوضه دریاچه ارومیه). *نشریه مهندسی عمران و محیط‌زیست دانشگاه تبریز*. ۵۴ (۱۱۴)، ۱۵۱-۱۴۲.
۱۰. صفریان زنگیر، وحید؛ سبحانی، بهروز؛ رضائی بنفشه، مجید (۱۳۹۸). مدل‌سازی و پایش پدیده خشکسالی در شمال غرب ایران. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*. ۸ (۳)، ۱۶۵-۱۴۳.
۱۱. عبادی نهاری، زهرا؛ عرفانیان، مهدی؛ کاظم‌پور چورسی، سیما (۱۴۰۲). ارائه یک روش نوین برای ارزیابی و پایش جامع خشکسالی حوضه آبریز دریاچه ارومیه با استفاده از شاخص تلفیقی خشکسالی SDI. *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*. ۲۳ (۶۸)، ۲۴۳-۲۵۷.
۱۲. عشقی‌زاده، مسعود؛ اسماعیلیان، یاسر (۱۴۰۲). شناسایی و تشخیص روند خشکسالی کشاورزی با استفاده از شاخص‌های RDI و eRDI در یک اقلیم گرم و خشک. *جغرافیا و روابط انسانی*. ۵ (۴)، ۶۵۲-۶۲۵.
۱۳. غزنوی، منصوره؛ مساعدی، ابوالفضل؛ قبائی سوق، محمد (۱۴۰۰). تأثیر شکست سری زمانی داده‌های بارش بر تغییرات مشخصه‌های خشکسالی (مطالعه موردی شهرهای تبریز و اراک). *آب و خاک*. ۳۵ (۳)، ۴۲۵-۴۰۹.
۱۴. معینی فر، سعید و دیگران (۱۴۰۰). تعیین توزیع آماری مناسب برای محاسبه شاخص RDI در مناطق خشک (مطالعه موردی: ایران مرکزی). *خشک بوم*. ۱۱ (۱)، ۱۲۱-۱۰۵.
۱۵. میرزائی حسنلو، ایوب؛ عرفانیان، مهدی؛ جوان، خدیجه (۱۴۰۳). تحلیل مکانی و زمانی شاخص خشکسالی PDI در منطقه شمال غرب ایران. *مهندسی اکوسیستم بیابان*. ۱۲ (۴۰)، ۲۸-۱۳.
۱۶. یحوی دیزج، آمنه و دیگران (۱۴۰۲). بررسی فصلی تبخیر و تعرق مرجع و تحلیل حساسیت آن به عناصر هواشناسی در ایران. *آب و خاک*. ۳۷ (۴)، ۶۵۷-۶۴۳.
۱۷. یحوی دیزج، آمنه و دیگران (۱۴۰۲ الف). ارزیابی تغییر مقدار تبخیر و تعرق مرجع در ایران طی دهه‌های اخیر. *مدیریت بیابان*. ۱۱ (۱)، ۵۸-۳۹.

18. Adnan, S. et al (2018). Comparison of various drought indices to monitor drought status in Pakistan. *Climate Dynamics*. 51, 1885-1899. DOI: 10.1007/s00382-017-3987-0.
19. AghaKouchak, A. et al (2015). Aral sea syndrome desiccates lake Urmia: call for action. *Journal of Great Lakes Research*. 41 (1), 307-311. DOI: 10.1016/j.jglr.2014.12.007.
20. Bachmair, S. et al (2016). Drought indicators revisited: the need for a wider consideration of environment and society. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*. 3 (4), 516-536. DOI: 10.1002/wat.2.1154.
21. Davarpanah, S.; Erfanian, M. & Javan, K. (2021). Assessment of climate change impacts on drought and wet spells in Lake Urmia Basin. *Pure and Applied Geophysics*. 178 (2), 545-563. DOI: 10.1007/s00024-021-02656-8.
22. Delju, A. H. et al (2013). Observed climate variability and change in Urmia Lake Basin, Iran. *Theoretical and Applied Climatology*. 111 (1), 285-296. DOI: 10.1007/s00704-012-0651-9.
23. Kartal, V. (2024). Drought assessment of Yeşilirmak Basin using long-term data. *Turkish Journal of Science and Technology*. 19 (1), 179-192. doi.org/10.55525/tjst.1392199.
24. Khadr, M. (2016). Forecasting of meteorological drought using Hidden Markov Model (case study: The upper Blue Nile river basin, Ethiopia). *Ain Shams Engineering Journal*. 7 (1), 47-56. DOI: 10.1016/j.asej.2015.11.005.
25. Khazaei, B. et al (2019). Climatic or regionally induced by humans? Tracing hydro-climatic and land-use changes to better understand the Lake Urmia tragedy. *Journal of Hydrology*. 569, 203-217. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2018.12.004.
26. Li, Y.; Qin, Y. & Rong, P. (2022). Evolution of potential evapotranspiration and its sensitivity to climate change based on the Thornthwaite, Hargreaves, and Penman-Monteith equation in environmental sensitive areas of China. *Atmospheric Research*. 273, 106178. DOI: 10.1016/j.atmosres.2022.106178.
27. Pathak, A. A. & Dodamani, B. M. (2020). Comparison of meteorological drought indices for different climatic regions of an Indian river basin. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*. 56, 563-576. DOI: 10.1007/s13143-019-00162-5.
28. Pokhrel, Y. et al (2021). Global terrestrial water storage and drought severity under climate change. *Nature Climate Change*. 11 (3), 226-233.

29. Simsek, O.; Yildiz-Bozkurt, S. & Gumus, V. (2024). Analysis of meteorological drought with different methods in the Black Sea region, Turkey. *Acta Geophysica*. 72 (3), 1927-1943. DOI: 10.1007/s11600-023-01099-0.
30. Tareke, K. A. (2025). Long-term hydrological drought monitoring and trend analysis in Blue Nile River basin. *Heliyon*. 11 (1). DOI: 10.1016/j.heliyon. 2022.e12000.
31. Thomas, T. et al (2016). Reconnaissance drought index-based evaluation of meteorological drought characteristics in Bundelkhand. *Procedia Technology*. 24, 23-30. DOI: 10.1016/j.protcy.2016.05.005.
32. Tigkas, D.; Vangelis, H. & Tsakiris, G. (2016). Introducing a modified reconnaissance drought index (RDle) incorporating effective precipitation. *Procedia Engineering*. 162, 332-339. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.11.072.
33. Tigkas, D.; Vangelis, H. & Tsakiris, G. (2017). An enhanced effective reconnaissance drought index for the characterisation of agricultural drought. *Environmental Processes*. 4, 137-148. DOI: 10.1007/s40710-017-0219-x.
34. Tigkas, D.; Vangelis, H. & Tsakiris, G. (2019). Drought characterisation based on an agriculture-oriented standardised precipitation index. *Theoretical and Applied Climatology*. 135, 1435-1447. DOI: 10.1007/s00704-018-2451-3.
35. Topçu, E. et al (2025). Drought assessment in the northeastern Aras Basin using multi-parameter aggregate drought index and innovative polygon trend analysis. *Earth Science Informatics*. 18 (3), 273. DOI: 10.1007/s12145-025-01797-x.
36. Tsakiris, G.; Pangalou, D. & Vangelis, H. (2007). Regional drought assessment based on the Reconnaissance Drought Index (RDI). *Water Resources Management*. 21, 821-833. DOI: 10.1007/s11269-006-9105-4.
37. Wu, B.; Ma, Z. & Yan, N. (2020). Agricultural drought mitigating indices derived from the changes in drought characteristics. *Remote Sensing of Environment*. 244, 111813. DOI: 10.1016/j.rse.2020.111813.
38. Zarei, A. R.; Moghimi, M. M. & Bahrami, M. (2019). Comparison of reconnaissance drought index (RDI) and effective reconnaissance drought index (eRDI) to evaluate drought severity. *Sustainable Water Resources Management*. 5, 1345-1356. DOI: 10.1007/s40899-019-00310-9.
39. Zhang, R. et al (2023). The first high spatial resolution multi-scale daily SPI and SPEI raster dataset for drought monitoring and evaluating over China from 1979 to 2018. *Big Earth Data*. 7 (3), 860-885. doi.org/10.1080/20964471.2022.2148331.