

ارزیابی عملکرد شاخص‌های شناسایی خشکسالی و بارش استاندارد از وضعیت خشکسالی حوضه دریاچه ارومیه

علیرضا شکوهی^{۱*} و رضا مروتی^۲

^۱ دانشیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) و ^۲ کارشناس ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۴/۰۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۱/۰۲

چکیده

در سال‌های اخیر خشک شدن دریاچه ارومیه به‌عنوان دومین دریاچه فوق شور دنیا مورد توجه بسیاری از محققین قرار گرفته است. این پژوهش، به بررسی اثر خشکسالی بر خشک شدن تدریجی این دریاچه به‌کمک دو شاخص بارش استاندارد (SPI) و شاخص شناسایی خشکسالی (RDI) می‌پردازد. در این تحقیق از داده‌های جهانی بارش پایگاه GPCC و دمای پایگاه NCEP/NCAR در دوره بلندمدت ۲۰۱۰-۱۹۸۰ استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهند که حوضه دریاچه ارومیه در سال ۲۰۰۰-۱۹۹۹ دچار خشکسالی شدیدی شده است. اثرات سوء این خشکسالی می‌توانست با ترسالی‌های بعدی تقلیل یابد، ولی حوضه با تجربه دوره‌های نرمال و نزدیک به نرمال در سال‌های بعد، مجدداً در سال ۲۰۰۸ دچار خشکسالی نسبتاً شدید دیگری شده است. مقدار شاخص‌های RDI و SPI برای واقعه سال ۱۹۹۹ به ترتیب ۲/۲۳- و ۲/۱۳- به دست آمد. مقایسه این دو شاخص برای دیگر موارد خشکسالی شدید و بسیار شدید حادث شده در منطقه نشان از حساس‌تر بودن شاخص RDI نسبت به شاخص SPI در ارزیابی خشکسالی‌های حدی دارد. از سال ۲۰۰۰ به بعد، حوضه هم از نظر بارش و هم از نظر خشکسالی به شرایط نرمال نزدیک شده است، اما مساحت دریاچه ارومیه روند کاهشی خود را تا به امروز ادامه داده است. این امر نشان می‌دهد که علاوه بر خشکسالی، عوامل دیگری نیز در خشک شدن این دریاچه نقش داشته‌اند. بر اساس نتایج به دست آمده، دوره توسعه فعالیت‌های عمرانی در حوضه منطبق بر دوره‌هایی است که شاخص‌های خشکسالی، شکننده بودن حوضه از نظر منابع آبی را به خوبی نشان داده‌اند. این امر نمایانگر اهمیت استفاده از سیستم‌های پایش خشکسالی، به‌عنوان جزئی تفکیک‌ناپذیر از مدیریت جامع منابع آب، برای جلوگیری از فجایعی که کل کشور را تحت تأثیر قرار می‌دهند، می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: دوره نرمال، شاخص RDI، شاخص SPI، NCEP/NCAR، GPCC

مقدمه

کشورهایی با اقلیم خشک و نیمه‌خشک مانند ایران، بلکه در سطح کشورهای مرطوب اتحادیه اروپا به‌عنوان یک مسئله مهم شناخته شده است (Kampragou و همکاران، ۲۰۱۱). خشکسالی یکی از بلایای طبیعی

در سال‌های اخیر وقوع خشکسالی‌های متعدد در سراسر جهان منجر به آن شده است که تحقیقات زیادی در این زمینه انجام پذیرد. خشکسالی نه تنها در

* مسئول مکاتبات: shokoohi@eng.ikiu.ac.ir

مطالعات اخیر شاخص نسبتا جدید دیگری به نام شاخص شناسایی خشکسالی (RDI)^۳ معرفی شده است که به طور وسیع مورد استفاده محققین قرار گرفته است (Shokoohi, ۲۰۱۲؛ Asadi Zarch و همکاران، ۲۰۱۱).

شاخص RDI توسط Tsakiris و Vangelis در سال ۲۰۰۴ معرفی شد. این دو محقق معتقدند که استفاده از خشکسالی هواشناسی به عنوان معیاری برای ارزیابی کمبود آب باید همراه با برقراری نوعی تعادل میان ورودی و خروجی مدل باشد و بر این اساس نمی توان تنها با استفاده از بارش، به عنوان ورودی و بدون تخمین خروجی، به ارزیابی مناسبی از بیلان آبی دست یافت. با این استدلال، شاخص RDI علاوه بر بارش، پارامتر تبخیر و تعرق پتانسیل را نیز در خود جای داده است. شاخص RDI به گمان بسیاری از محققین یک شاخص قوی در برآورد خشکسالی است (Vangelis و همکاران، ۲۰۱۳) و به دلیل آن که علاوه بر بارش که در شاخص SPI به کار گرفته شده است، از تبخیر و تعرق پتانسیل نیز بهره می برد، می تواند در مسائل ریسک، جواب های دقیق تری را ارائه کند (Morovati و Shokoohi, ۲۰۱۳).

شاخص PDSI بر اساس فرضیاتی شکل گرفته است که بیشتر تجربی بوده و برای مکانی خاص مورد استفاده می باشد. این فرضیات محدودیت هایی را ایجاد می کنند، اولاً این که نمی توان از این شاخص در هر جایی استفاده نمود و ثانیاً شاخص مناسبی به منظور پایش خشکسالی نمی باشد (Tsakiris و Vangelis, ۲۰۰۵). بر خلاف شاخص PDSI، شاخص SPI بسیار ساده تر بوده و تنها از بارش به منظور تحلیل خشکسالی بهره می برد.

شاخص SPI به عللی نظیر سادگی، انعطاف در دوره زمانی و امکان استفاده در مدیریت ریسک و برنامه ریزی (به علت دارا بودن قابلیت تحلیل احتمالاتی) در میان بسیاری از محققین در سراسر دنیا جایگاهی ویژه را به خود اختصاص داده است (Edossa و همکاران، ۲۰۱۰). شاخص SPI نخستین بار توسط McKee و همکاران (۱۹۹۳)، در ایالت کلرادو استفاده

است که امکان پیشگیری رخداد آن وجود ندارد. مهمترین تفاوت خشکسالی با دیگر بلایای طبیعی این است که به آرامی شروع می شود و بعد از آن، علاوه بر منطقه ای که در آن رخ داده است، مناطق مجاور را هم تحت تاثیر قرار می دهد. اثرات نامطلوب این پدیده در همه بخش ها مانند منابع آب، کشاورزی، محیط زیست و اجتماع به تدریج خود را نمایان می سازد (Ghorbani Aghdam و همکاران، ۲۰۱۲).

پدیده خشکسالی اثرات منفی بزرگی بر منابع آب و محیط های وابسته به این منابع می گذارد که عموماً در برخی سال ها خسارات جبران ناپذیری را سبب می شود، این خسارات در مناطق خشک که از دیدگاه اقتصادی ساختار شکننده تری دارند، نمود بیشتری یافته و اثرات منفی ماندگاری را از جهات مختلف بر جای می گذارد (Mousavi Bafroei و Talebi, ۲۰۱۰). رویکرد تحقیقات در زمینه مطالعات خشکسالی را به طور کلی می توان به دو نوع نقطه ای و منطقه ای تقسیم نمود. در تحلیل خشکسالی نقطه ای، وضعیت خشکسالی در یک نقطه و در واقع در محل قرارگیری ایستگاه هواشناسی و یا هیدرومتری بررسی می شود. در رویکرد منطقه ای، وضعیت یک منطقه وسیع از نظر خشکسالی مورد مطالعه قرار می گیرد.

تحلیل منطقه ای به علت نگاه جامع تر به حوزه آبخیز دارای برتری نسبت به تحلیل نقطه ای است. در حالی که شناخت خشکسالی و ارزیابی اثرات آن به زعم بسیاری از محققین کار سختی است (Hayes و همکاران، ۱۹۹۹) و استفاده از شاخص های خشکسالی هم در تحلیل های نقطه ای و هم در تحلیل های منطقه ای می تواند راهگشا باشد (Shokoohi و Razi, ۲۰۱۱). علاوه بر این، پایش خشکسالی یک امر اساسی در مدیریت ریسک است که این نیز با به کارگیری شاخص های خشکسالی انجام می شود (Morid و همکاران، ۲۰۰۶؛ Blain, ۲۰۱۲). در میان شاخص های معرفی شده برای شناسایی و تحلیل خشکسالی، دو شاخص پالم (PDSI)^۱ و بارندگی استاندارد (SPI)^۲ از مقبولیت و کاربرد وسیع تری برخوردار هستند (Vangelis و Tsakiris, ۲۰۰۵). در

^۱ Palmer Drought Severity Index

^۲ Standard Precipitation Index

^۳ Reconnaissance Drought Index

سیسیل به صورت چند سال یکبار و متناوب اتفاق می‌افتد و از سال ۱۹۷۰ به بعد فواصل رخداد این پدیده کوتاه‌تر شده است. خشکسالی منطقه‌ای و امنیت غذایی در جنوب افریقا توسط Tirivarombo و Hughes (۲۰۱۱)، مورد بررسی قرار گرفت. آن‌ها برای انجام تحقیق خود به دلیل موجود نبودن داده‌ها به جز بارش، تنها از شاخص SPI استفاده نمودند. آن‌ها در نتایج خود برای شاخص SPI کاستی‌هایی مانند در نظر نگرفتن تبخیر و تعرق، نفوذ و رواناب را بیان نمودند، از این رو توصیه نمودند که SPI به همراه شاخص دیگری برای پایش خشکسالی به منظور امنیت غذایی استفاده شود.

خشکسالی در سه منطقه از کشور هند توسط Jain و همکاران (۲۰۱۰)، مورد ارزیابی قرار گرفت. آن‌ها در تحقیق خود همبستگی بین SPI را با شاخص‌های پوشش گیاهی تحت عناوین شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI)، شاخص تامین آب پوشش گیاهی (WSVI) و شاخص شرایط پوشش گیاهی (VCI) مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها در محاسبه شاخص پوشش گیاهی حوضه از اطلاعات ماهواره‌ای استفاده کردند و کارایی اطلاعات ماهواره‌ای برای پایش حوضه در شرایط خشکسالی را مناسب ارزیابی نمودند. پژوهش‌های متعددی نیز در استفاده از شاخص RDI در دنیا و داخل کشور صورت گرفته است. شاخص‌های RDI و SPI و دهک‌ها توسط Tsakiris و همکاران (۲۰۰۷)، برای بررسی خشکسالی در حوضه دو رودخانه به نام‌های مورنوس و نتوس در یونان مورد استفاده قرار گرفت. بنابر گزارش این محققین، شاخص RDI در ارتباط با شناسایی خشکسالی، حساس‌تر از دو شاخص دیگر می‌باشد. اثر روش‌های مختلف بر آورد تبخیر و تعرق پتانسیل تبخیر و تعرق (چهار روش هارگریوز، تورنت ویت، بلانی کریدل و فائو پنمن مانیت) بر شاخص RDI توسط Vangelis و همکاران (۲۰۱۳)، بررسی شد. این محققین بیان کردند که اختلاف معنی‌داری در محاسبه مقادیر شاخص RDI با به کارگیری روش‌های مختلف تبخیر و تعرق پتانسیل وجود ندارد، ولی با این حال روش‌های هارگریوز و فائو پنمن مانیت عملکرد نسبتاً بهتری دارند.

شد (Livada و Assimakopoulos، ۲۰۰۷). در زمینه مطالعات انجام شده بر روی خشکسالی هواشناسی با استفاده از شاخص SPI، می‌توان به مطالعه Raziei و همکاران (۲۰۰۷)، در استان سیستان و بلوچستان با استفاده از زنجیره مارکف اشاره کرد. وضعیت آب و هوایی در استان خراسان رضوی توسط Alizadeh و Toosi (۲۰۰۸)، با استفاده از شاخص SPI و زنجیره مارکف پیش‌بینی شد. آن‌ها احتمال وقوع وضعیت نرمال آب و هوایی در اکثر ایستگاه‌های استان را برای سال ۱۳۸۷ پیش‌بینی نمودند. در همین ارتباط، Mosaedi و همکاران (۲۰۰۹)، پس از برازش مدل احتمالاتی بر سری‌های زمانی شاخص SPI در مقیاس‌های زمانی سه، شش، نه، ۱۲ و ۴۸ ماهه، به پیش‌بینی‌های یک تا شش گام به جلوی مقادیر SPI پرداختند و بر اساس مقایسه مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده، طولانی‌ترین مدت قابل پیش‌بینی برای هر یک از مقیاس‌های زمانی SPI را تعیین نمودند.

کاربرد دو پایگاه جهانی NCEP/NCAR^۱ و GPCC^۲ در تحلیل خشکسالی با استفاده از شاخص SPI در کشور ایران توسط Raziei و همکاران (۲۰۱۱)، بررسی شد. ایشان با استفاده از روش آنالیز به مؤلفه‌های اصلی (PCA)، کشور را به چند زیر منطقه در دوره زمانی ۲۰۰۵-۱۹۵۱ تقسیم کردند. همچنین، Raziei و همکاران (۲۰۱۳)، با استفاده از روش PCA و چرخش واریماکس و اطلاعات بارش پایگاه GPCC، به منطبقه‌بندی کشور ایران با استفاده از شاخص SPI پرداختند. این محققین تأثیر مقیاس زمانی و مکانی را در این منطقه‌بندی بررسی کردند. همچنین، Bonaccorso و همکاران (۲۰۰۳)، با استفاده از اطلاعات بارش در ۴۳ ایستگاه باران‌سنجی با پراکندگی مناسب و همچنین، اطلاعات بارش استخراج شده از پایگاه جهانی NCEP/NCAR، به پایش خشکسالی در دوره بلندمدت (۱۹۹۶-۱۹۲۶) با استفاده از شاخص SPI در سیسیل ایتالیا پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که خشکسالی در تمام جزیره

^۱ National Center for Environmental Prediction/
National Center for Atmospheric Research

^۲ Global Precipitation Climatology Centre

آن را در نوسان‌های دوره‌ای اقلیم و عدم عبور توده هوای مرطوب و باران‌آور خصوصا توده هوای مرطوب مدیترانه‌ای دانست.

با توجه به گسترش روزافزون استفاده از شاخص RDI و بررسی این ادعا که شاخص مزبور جایگزین مناسبی برای SPI در سطح دنیاست، در این پژوهش از دو شاخص SPI و RDI به منظور مطالعه خشکسالی در حوضه دریاچه ارومیه استفاده شده است. بدین ترتیب قصد بر آن است که علاوه بر مقایسه این دو شاخص، به بررسی یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های منابع آبی کشور نیز پرداخته شود. در حالی که عده‌ای بر این باورند که روند عمومی کاهش بارش و افزایش حرارت در منطقه مزبور بنا به دلایلی نظیر وقوع تغییر اقلیم موجب بروز قریب‌الوقوع یک فاجعه در این حوضه شده است، برخی دیگر معتقدند که مدیریت ناصحیح و موردی منابع آب حوضه دریاچه ارومیه، عدم استفاده از مفاهیم مدیریت یکپارچه حوضه^۱ (IWM) و به طور خلاصه دستبردهای انسانی در سیستم طبیعی حوضه موجب برهم خوردن تعادل سیستم و بروز آن چیزی شده است که امروز شاهد آن می‌باشیم. نکته دیگری که مطالعات حاضر را از لحاظ به‌کارگیری تکنیک‌های محاسباتی با اهمیت می‌سازد، علاوه بر مقایسه دو شاخص RDI و SPI در مقیاس منطقه‌ای، استفاده از اطلاعات دما و بارش شبکه یک درجه‌ای پایگاه‌های اطلاعات جهانی NCEP/NCAR و GPCC در حوضه مذکور می‌باشد.

مواد و روش‌ها

در این بخش ابتدا منطقه مطالعاتی و سپس پایگاه‌های GPCC و NCEP/NCAR و همچنین، شاخص‌های SPI و RDI معرفی می‌شوند.

منطقه مورد پژوهش: دریاچه ارومیه بیستمین دریاچه بزرگ دنیا و نیز دومین دریاچه شور بزرگ در دنیا است. این دریاچه بزرگ‌ترین دریاچه دائمی کشور ایران است که در شمال غرب فلات ایران بین دو استان آذربایجان غربی و آذربایجان شرقی واقع شده است. دریاچه ارومیه در ارتفاع ۱۲۶۷ متری از سطح دریا

برای ایران نیز Khalili و همکاران (۲۰۱۱)، شاخص‌های خشکسالی SPI و RDI را در منطقه‌هایی از ایران مقایسه کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که پارامتر تبخیر و تعرق پتانسیل در شاخص RDI به تنوع آب و هوایی حساس است و برای مباحث کشاورزی، کاربرد شاخص RDI را توصیه کردند. در پژوهشی دیگر Mosaedi و Ghabaei Sough (۲۰۱۲)، اظهار کردند که بارش به تنهایی نمی‌تواند بیانگر خشکسالی باشد. شاخص RDI در برخی مطالعات توسط تعدادی از محققین در شرایط آب و هوایی مختلف به کار گرفته شده و توانسته است در برخی موارد برتری‌هایی نسبت به شاخص SPI از خود نشان دهد. در ارتباط با مقایسه عملکرد دو شاخص SPI و RDI، Shokoohi (۲۰۱۲)، با استفاده از آمار بارش و دمای دو ایستگاه قزوین و تاکستان به ارزیابی عملکرد این دو شاخص در تحلیل خشکسالی پرداخت و نتیجه گرفت که شاخص RDI نسبت به شاخص SPI در خشکسالی‌های شدید از حساسیت بیشتری برخوردار است.

منطقه مطالعاتی در پژوهش حاضر حوضه دریاچه ارومیه است، لذا در اینجا به برخی از مطالعات انجام شده در خصوص خشکسالی این دریاچه و حوضه مشرف بر آن اشاره می‌شود. از جمله تحقیقاتی که برای ارزیابی خشکسالی در این دریاچه انجام شده مطالعه Delju و همکاران (۲۰۱۳) است که با استفاده از شاخص خشکسالی پالمیر به بررسی وضعیت خشکسالی و چگونگی تغییر پارامترهای اقلیمی در حوضه دریاچه ارومیه پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که از سال ۱۹۹۶، این حوضه روند گرم‌شونده سریعی را تجربه کرده است. همچنین، این محققین بیان کردند که گرم شدن فصل‌های زمستان و بهار منجر به آب شدن یخ‌ها شده، در نتیجه در تابستان، آبی برای ریختن به این دریاچه وجود ندارد.

طی یک دوره آماری ۴۳ ساله Zahedi Gharehaghaj و Ghavidel Rahimi (۲۰۰۷)، به بررسی خشکسالی در برخی از ایستگاه‌های دریاچه ارومیه پرداختند و به این نتیجه رسیدند که وقوع پدیده خشکسالی از واقعیت‌های مهم ایستگاه‌های حوزه آبخیز دریاچه ارومیه است که می‌توان علت اصلی

¹ Integrated Watershed Management

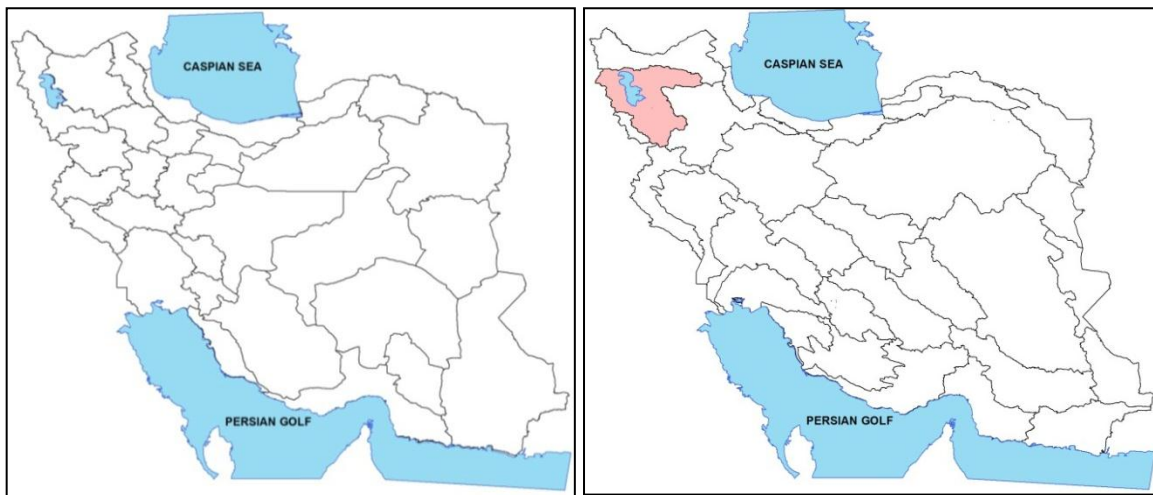
جفت پلیکان از سراسر جهان بوده است. همین موضوع باعث شده است که این دریاچه در سال ۱۹۷۵ به‌وسیله UNESCO به‌عنوان یکی از زیست‌کره‌ها شناخته شود. علاوه بر این، دریاچه ارومیه در معتدل شدن دما و آب و هوای مناطق اطراف اثر فزاینده‌ای می‌گذارد که این امر، موجب رونق کشاورزی شده است (Emanifar و Mohebbi، ۲۰۰۷). چهارده رودخانه بزرگ و کوچک دائمی به دریاچه ارومیه می‌ریزند که زرینه‌رود یکی از مهمترین آن‌ها است.

این دریاچه عمدتاً از رودخانه‌های زرینه‌رود، سیمینه‌رود، تلخه‌رود، گذار، باراندوز، شهرچای، نازلو و زولا تغذیه می‌شود (Anonymous، ۲۰۰۹؛ Karbassi و همکاران، ۲۰۱۰).

دریاچه ارومیه با حجم تقریبی ۳۱ میلیارد متر مکعب دارای عمق متوسط ۵/۴ متر می‌باشد. حداکثر عمق دریاچه ۱۳ متر می‌باشد که در شمال آن اندازه‌گیری شده است (Anonymous، ۲۰۱۱a). در شکل ۱، موقعیت دریاچه در حوضه ارومیه و در تقسیم‌بندی استانی نشان داده شده است.

واقع شده است. حوضه دریاچه ارومیه از نظر جغرافیایی بین ۳۵° و ۴۰' تا ۳۹° و ۳۰' عرض شمالی و ۴۴° و ۱۳' تا ۴۷° و ۵۰' طول شرقی واقع شده است. میانگین بارش سالانه این حوضه ۳۹۸ میلی‌متر است (Ghorbani Aghdam و همکاران، ۲۰۱۲). جریان‌های سطحی، بارش و جریان‌های زیرزمینی سه منبع مهم در تامین آب این دریاچه می‌باشند. مساحت حوضه دریاچه ارومیه ۵۱۸۷۶ کیلومتر مربع است که ۳/۱۵ درصد از مساحت کل کشور را شامل می‌شود. حدود ۶۵ درصد این حوضه را مناطق کوهستانی، ۲۴ درصد آن را دشت‌ها و ۱۱ درصد آن را دریاچه پوشانده است. ۵۱ درصد این حوضه در آذربایجان غربی، ۳۹ درصد آن در آذربایجان شرقی و ۱۰ درصد باقی‌مانده در استان کردستان واقع شده است (Golian و همکاران، ۲۰۰۷).

وسعت دریاچه ارومیه حدود ۵۷۵۰ کیلومتر مربع است. همچنین، این دریاچه هفت درصد از کل منابع آب سطحی کشور را داراست. این دریاچه در گذشته و در هر سال، پذیرای ۲۰۰۰۰ جفت فلامینگو و ۵۰۰



شکل ۱- موقعیت حوضه دریاچه ارومیه در تقسیم‌بندی حوزه آبخیز (راست) و تقسیم‌بندی سیاسی (چپ)

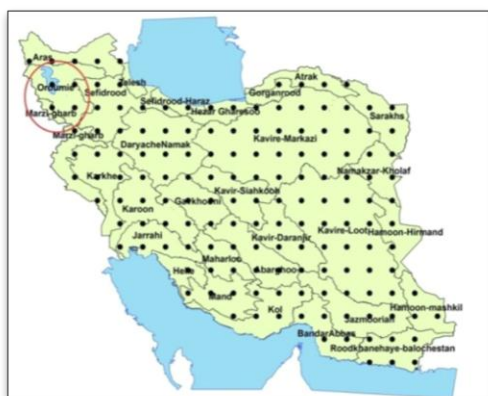
کره زمین) در دسترس قرار می‌دهد. مزیت مهمی که این پایگاه داده جهانی دارد، این است که داده‌ها را به‌صورت شبکه‌بندی شده^۱ در اختیار کاربران قرار می‌دهد. شبکه‌بندی‌های داده‌های بارش بر اساس طول و عرض جغرافیایی انجام شده است که با توان تفکیک ۰/۵×۰/۵،

پایگاه بارش GPCC: این پایگاه در سال ۱۹۸۹ به درخواست سازمان جهانی هواشناسی تأسیس شد و توسط سازمان ملی هواشناسی آلمان (DWD) اداره می‌شود. وظیفه GPCC آنالیز بارش ماهانه‌ای است که به سطح زمین می‌رسد. این پایگاه، داده‌های بارش را برای تمام سطح کره زمین (به جز آب‌های موجود در سطح

¹ Grid

داده‌های دمای این پایگاه اطلاعاتی با توان تفکیک یک درجه در دسترس می‌باشند که در این پژوهش نیز مورد استفاده قرار گرفته است. بر اساس نتایج گزارش شده، این دو محقق برای راستی آزمایی کار خود و به کمک ایستگاه‌های زمینی موجود در منطقه از ارزیابی تقاطعی استفاده نموده و در همه موارد با خطایی کمتر از پنج درصد توانستند بهترین روش درون‌یابی را تعیین نمایند.

دوره آماری و گرهای معرف حوضه دریاچه ارومیه: دوره آماری مورد استفاده برای این بررسی، دوره بلند مدت ۳۱ ساله (۱۹۸۰-۲۰۱۰) می‌باشد. در شکل ۲، موقعیت گرهای معرف مراکز سلول‌های یک درجه در سطح کل کشور، تعداد نقاط محصور در حوزه‌های آبخیز درجه دو کشور و همچنین، موقعیت حوضه دریاچه ارومیه و گرهای محصور در این حوضه نشان داده شده است.



شکل ۲- موقعیت شبکه بندی یک درجه NCEP/NCAR و GPCC

در شکل ۲، از سمت شمال غرب به سمت شرق مبادرت به شماره گذاری نقطه‌ها شده است. بر این اساس، چهار نقطه یک درجه‌ای با شماره‌های ۷-۸-۱۵-۱۶ در این حوضه موجود است. جدول ۱، مختصات نقاط واقع در حوضه دریاچه ارومیه آورده شده است.

شاخص RDI: این شاخص از نوع شاخص‌های خشکسالی هواشناسی می‌باشد که بر پایه تبخیر و تعرق پتانسیل و بارش استوار است (Shokoochi, ۲۰۱۲). این شاخص برای اولین بار در منطقه مدیترانه تحت پروژه‌ای با عنوان MEDROPLAN توسط Tsakiris و همکاران در سال ۲۰۰۴ به صورت آزمایشی مورد استفاده قرار گرفت. در

۱×۱ و ۲/۵×۲/۵ درجه موجود می‌باشد. اطلاعات بارش را می‌توان از تارنمای مربوطه^۱ دریافت کرد.

پایگاه NCEP/NCAR: این پایگاه جهانی، زیر مجموعه‌ای از NOAA^۲ می‌باشد و داده‌های شبکه‌بندی شده مختلفی نظیر دما، بارش، فشار، رطوبت نسبی، سرعت باد و غیره را در اختیار قرار می‌دهد. داده‌های این پایگاه به دو صورت روزانه و ماهانه ارائه می‌شوند. در این پژوهش، از این پایگاه برای داده‌های دما استفاده شده است. این پایگاه از ابتدای سال ۱۹۴۸ تاکنون، پارامترهای اقلیمی را به صورت چهار بار در روز از سراسر دنیا دریافت کرده و در بانک اطلاعاتی آن، میانگین بلندمدت ماهانه ۱۹۸۰-۲۰۱۰ در ۱۷ سطح فشاری مختلف موجود است. در حالت کلی، داده‌های اندازه‌گیری شده برای دما به صورت آنی هستند و با دقت ۲/۵×۲/۵ درجه قابل دسترسی می‌باشند. همچنین، داده‌هایی که این پایگاه در اختیار کاربران قرار می‌دهد، به فرمت NetCDF^۳ می‌باشد که می‌توان آن را به وسیله نرم‌افزارهایی نظیر Excel، MATLAB، ArcGIS و Fortran به داده‌های عددی تبدیل کرد. شایان ذکر است که بر اساس گزارش سایت مربوط به این پایگاه اطلاعاتی، داده‌های پایگاه به طور مرتب با مقایسه با ایستگاه‌های زمینی راستی آزمایی می‌شوند.

همان‌طور که بیان شد، دقت داده‌های NCEP/NCAR برای دما ۲/۵×۲/۵ درجه است. با توجه به آن که در عرض جغرافیایی ۴۰-۲۵ درجه (که تقریباً کشور ایران را پوشش می‌دهد) هر ۲/۵ درجه تقریباً معادل ۲۵۰ کیلومتر در سطح زمین است، می‌توان انتظار داشت که دقت داده‌های مزبور از نظر توزیع مکانی حرارت اندک باشد.

با استفاده از روش‌های موجود در نرم‌افزار MATLAB، Morovati و Shokoochi (۲۰۱۳) در پژوهشی به درون‌یابی داده‌های دمای NCEP/NCAR پرداختند و نتیجه گرفتند که روش‌های نزدیک‌ترین همسایگی و خطی بهترین عملکرد را دارا می‌باشند. بر این اساس، اکنون با استناد به نتایج کار این محققین

¹ WWW.GPCC.DWD.DE

² National Oceanic and Atmospheric Administration

³ Network Common Data Form

به پایه‌گذاری یک روش واحد به‌جای چند روش، از توزیع لوگ نرمال استفاده می‌شود.

در اکثر آزمون‌های نکویی برازش انجام شده، ثابت شده است که توزیع لوگ نرمال توزیع مناسبی برای α_0 می‌باشد (Tsakiris و همکاران، ۲۰۰۷). حال اگر α_0 از توزیع گاما پیروی کند، RDI استاندارد را می‌توان از تابع چگالی احتمال گاما به‌دست آورد که عملاً همانند مراحل استخراج شاخص SPI می‌باشد. در این حالت (مانند روش SPI که در آن فرض می‌شود که بارش از توزیع گاما تبعیت می‌نماید) توزیع α_0 از رابطه (۴) به‌دست می‌آید.

$$g(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} \quad (4)$$

که در آن، α پارامتر شکل، β پارامتر مقیاس و $\Gamma(\alpha)$ تابع برازش گاما می‌باشد که از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^\infty y^{\alpha-1} e^{-y} dy \quad (5)$$

از روش حداکثر درست‌نمایی برای برآورد α و β استفاده شد.

$$\hat{\alpha} = \frac{1}{4A} \left[1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right] \quad \hat{\beta} = \frac{\bar{x}}{\hat{\alpha}} \quad (6)$$

$$A = \frac{\sum \ln(x)}{n} - \frac{\ln(\bar{x})}{n} \quad (7)$$

از آن‌جا که مقدار صفر در توزیع گاما تعریف نشده است، به‌وسیله رابطه زیر می‌توان آن را اصلاح کرد.

$$H(x) = q + (1-q)G(x) \quad (8)$$

که در آن، q احتمال بارش صفر و $G(x)$ احتمال تجمعی گاما می‌باشد. در جدول ۱، مقادیر آستانه شاخص RDI نشان داده شده است. این جدول برای ارزیابی خشکسالی بر حسب شاخص SPI نیز قابل استفاده می‌باشد.

جدول ۲- ارزیابی وضعیت خشکسالی بر اساس مقادیر RDI_{st}

شاخص RDI_{st}	وضعیت خشکسالی
$RDI_{st} \geq 2$	ترسالی بسیار شدید
$1/5 \leq RDI_{st} \leq 1/99$	ترسالی شدید
$1 \leq RDI_{st} \leq 1/49$	ترسالی متوسط
$-0/99 \leq RDI_{st} \leq 0/99$	نزدیک به نرمال
$-1/49 \leq RDI_{st} \leq -1$	خشکسالی متوسط
$-1/5 \leq RDI_{st} \leq -1/99$	خشکسالی شدید
$RDI_{st} \leq -2$	خشکسالی بسیار شدید

محاسبه شاخص RDI سه مرحله (۱) محاسبه مقدار اولیه RDI (α_0)، (۲) محاسبه مقدار RDI نرمال شده (RDI_n) و (۳) محاسبه RDI استاندارد شده (RDI_{st}) موجود است.

جدول ۱- مختصات نقاط شبکه اطلاعات بانک‌های جهانی در

شماره ایستگاه	طول جغرافیایی (درجه)	عرض جغرافیایی (درجه)	ارتفاع (متر)
۷	۴۵/۵°	۳۷/۵°	۱۲۶۸
۸	۴۶/۵°	۳۷/۵°	۲۱۰۳
۱۵	۴۵/۵°	۳۶/۵°	۱۹۲۱
۱۶	۴۶/۵°	۳۶/۵°	۱۳۶۹

مقدار اولیه RDI ممکن است، برای دوره‌های ماهانه، فصلی و یا سال هیدرولوژیکی محاسبه شود. α_0 به‌وسیله رابطه زیر محاسبه می‌شود (Shokoohi، ۲۰۱۲؛ Asadi و Zarch و همکاران، ۲۰۱۱).

$$\alpha_0^i = \frac{\sum_{j=1}^k P_{ij}}{\sum_{j=1}^k PET_{ij}} \quad i = 1 \text{ to } N \text{ and } j = 1 \text{ to } k \quad (1)$$

که در آن، P_{ij} مقدار بارش و PET_{ij} مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل می‌باشد. نماد j برای ماه از سال i به‌کار می‌رود و N هم تعداد کل سال‌هایی است که در دست مطالعه می‌باشد. مرحله دوم، محاسبه RDI نرمال است که با کمک رابطه (۲) به‌دست می‌آید.

$$RDI_{n(k)}^i = \frac{\alpha_0^i}{\bar{\alpha}_0} - 1 \quad (2)$$

که در آن، $\bar{\alpha}_0$ میانگین حسابی α_0 ها می‌باشد. مرحله سوم محاسبه RDI استاندارد است که بسیار شبیه به محاسبه شاخص SPI می‌باشد.

$$RDI_{st}^i = \frac{y_k^i - \bar{y}_k}{\hat{\sigma}_{yk}} \quad (3)$$

که در آن، y_k برابر $\ln(\alpha_k^i)$ است و \bar{y}_k میانگین حسابی y_k و $\hat{\sigma}_{yk}$ انحراف معیار می‌باشد.

روابط بالا بر اساس این نظریه است که α_0 از توزیع لوگ نرمال پیروی می‌کند. البته انتخاب توزیع فراوانی برای α_0 محدود به لوگ نرمال نمی‌شود، ولی برای کمک

تحت تاثیر ناهنجاری‌های بلندمدت بارندگی قرار می‌گیرند. به این دلایل از ابتدا از این شاخص برای مقیاس‌های زمانی سه، شش، ۱۲ و ۲۴ ماهه استفاده نموده‌اند (McKee و Edwards، ۱۹۹۷). پس از استخراج داده‌های بارندگی در مقیاس ماهانه طی یک دوره آماری (ترجیحاً ۳۰ سال یا بیشتر) لازم است تا سری زمانی مجموع بارندگی در مقیاس دلخواه تشکیل شود. مسئله اصلی در اینجا برازش یک توزیع آماری مناسب بر سری زمانی مورد نظر می‌باشد. بر اساس یافته‌های McKee و همکاران (۱۹۹۳) توزیع گاما برازش خوبی بر سری‌های زمانی اقلیمی بارندگی دارد. مراحل استخراج تابع توزیع گاما و همچنین، طبقات خشکسالی نظیر آن چیزی است که در روش RDI پیش‌تر توضیح داده شد، لذا از توضیح بیشتر این مطلب خودداری می‌شود.

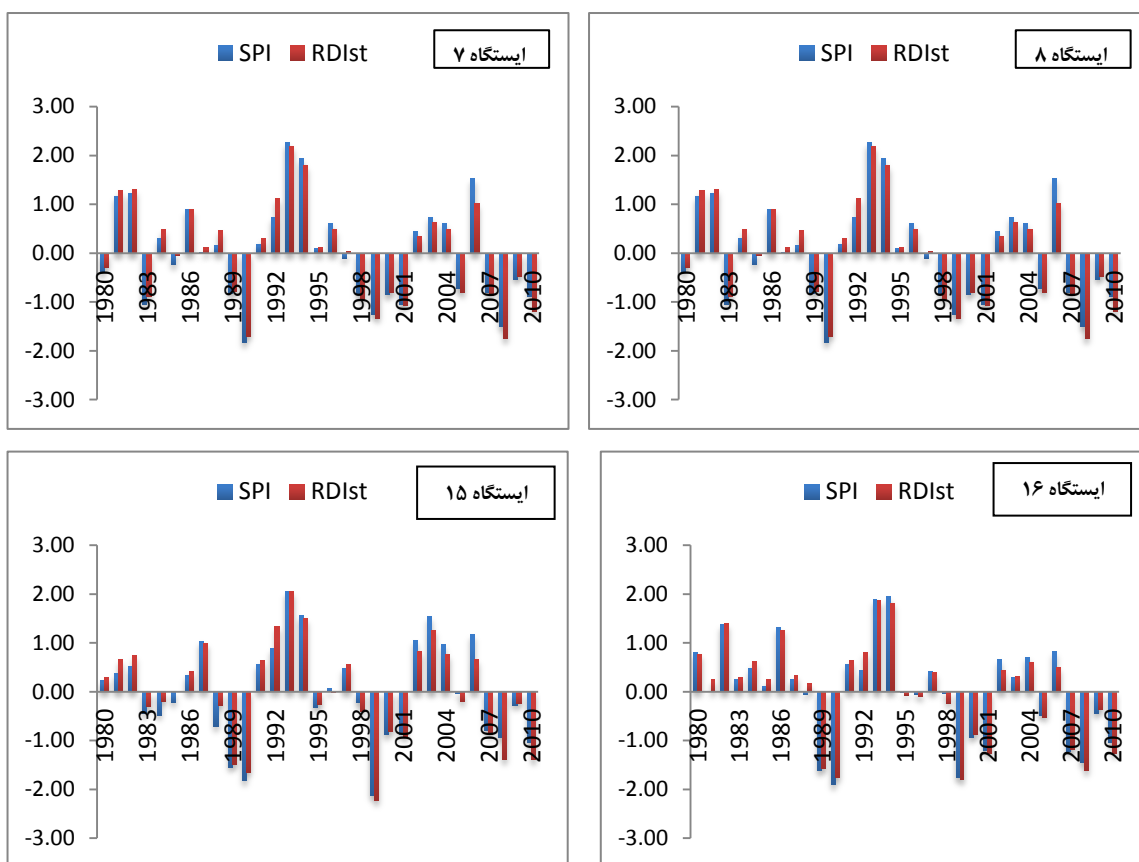
نتایج و بحث

برای مقایسه شاخص‌ها، مقادیر دو شاخص RDI و SPI برای هر ایستگاه (گره) در شکل ۳ آورده شده است.

همان‌طور که پیش‌تر بیان شد، این شاخص از دو جزء بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل تشکیل شده است. برای بارش از داده‌های یک درجه‌ای GPCC و برای دما از داده‌های درون‌یابی شده یک درجه‌ای NCEP/NCAR (با دقت یک درجه) استفاده شده است. با داشتن داده‌های دما، به کمک روش تورنت ویت می‌توان تبخیر و تعرق پتانسیل را محاسبه نمود.

شاخص SPI: مرسوم‌ترین شاخص مطالعات خشکسالی‌های هواشناسی، شاخص SPI می‌باشد. این شاخص همان‌طوری که قبلاً ذکر شد، صرفاً از داده‌های بارندگی ماهانه استفاده می‌نماید. اصولاً SPI برای تشخیص کمبود میزان بارندگی در مقیاس‌های زمانی چندگانه طراحی شده است. این مقیاس‌های زمانی منعکس‌کننده اثرات ویژه خشکسالی روی قابلیت دسترسی به منابع آبی مختلف می‌باشد.

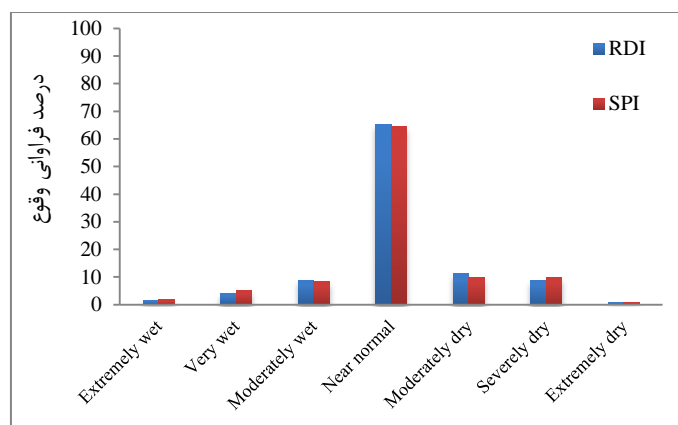
شرایط رطوبتی خاک نسبت به ناهنجاری‌های نسبتاً کوتاه‌مدت بارندگی واکنش نشان می‌دهد. در حالی که آب‌های زیرزمینی، جریان آب رودخانه و ذخیره مخازن،



شکل ۳- مقایسه دو شاخص SPI و RDI

خشکسالی طبق شکل ۴، برای هر چهار نقطه نشان داده شده است. بیشترین تفاوت وقوع بین طبقه خشکسالی شدید (Severely dry) به میزان دو درصد است که از نظر آماری معنی‌دار نمی‌باشد. در مقابل، شدیدترین خشکسالی در سال ۱۹۹۹ در نقطه ۱۵ حادث شده است که مقدار شاخص RDI برای آن برابر با ۲/۲۳- به دست آمده است. مقدار به دست آمده برای شاخص SPI در همان سال برابر ۲/۱۳- می‌باشد. این مقایسه حاکی از حساس‌تر بودن شاخص RDI به خشکسالی‌های شدید است.

در این شکل میله‌های مربوط به دو شاخص در هر سال تقریباً ارتفاع برابری دارند که خود نشان از شبیه بودن این دو شاخص (هم از نظر آستانه و هم از نظر روند تغییرات) به یکدیگر دارد. همان‌طوری‌که در هر چهار ایستگاه ملاحظه می‌شود، در نقاط حدی مقادیر دو شاخص متفاوت می‌باشد. در سال‌هایی مانند سال‌های ۱۹۹۸-۲۰۰۰ که خشکسالی متوسط تا شدیدی رخ داد، ملاحظه می‌شود که شاخص RDI اندکی حساس‌تر از SPI عمل کرده است. برای بررسی بیشتر موضوع، فراوانی وقوع هر یک از هفت طبقه



شکل ۴- مقایسه درصد فراوانی طبقات خشکسالی اندکس‌های RDI و SPI در حوضه دریاچه ارومیه

بررسی اثر خشکسالی طبیعی حوضه دریاچه ارومیه بر شرایط کنونی دریاچه: سوالی که در سال‌های اخیر بسیار مطرح شده، آن است که آیا خشکسالی، منجر به خشک شدن تدریجی و کاهش سطح آب دریاچه ارومیه شده است یا این‌که بهره‌برداری غیراصولی از منابع آب زیرزمینی و سدسازی بی‌رویه این مشکلات را به وجود آورده و به خشک شدن دریاچه دامن زده است؟ برای درک اهمیت و عمق موضوع شکل ۵ ارائه می‌شود که وضعیت دریاچه را در سال‌های ۱۹۸۴ و ۲۰۱۱ نشان می‌دهد.

همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، در طی نزدیک به ۳۰ سال، قسمت‌هایی از شمال و جنوب دریاچه خشک شده و به نم‌کزار تبدیل شده است. کاهش سطح دریاچه با کاهش عمق آن نیز همراه بوده است. مطابق شکل ۳، حوضه دریاچه ارومیه در بعضی

برای سنجش میزان همبستگی میان دو شاخص، ضریب همبستگی میان آن‌ها برای ایستگاه‌های یاد شده محاسبه شد. همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، مقدار ضریب همبستگی برای ۳۱ سال آمار برای هر چهار نقطه زیاد و تقریباً نزدیک به یک است. بر این اساس، می‌توان گفت که اگر مسئله شدت یا بزرگی خشکسالی‌های شدید مطرح نباشد، عملاً تفاوتی میان این دو شاخص در شناسایی خشکسالی و مرزبندی‌های آن وجود ندارد.

جدول ۳- ضریب همبستگی بین RDI و SPI

شماره ایستگاه	ضریب همبستگی (R)
۷	۰/۹۸۴
۸	۰/۹۸۳
۱۵	۰/۹۷۴
۱۶	۰/۹۸۹

و خسارات زیادی به همگان و علی‌الخصوص کشاورزان وارد آورد. مطابق هر دو شاخص RDI و SPI نیز شدیدترین خشکسالی در این حوضه در سال ۱۹۹۹، با مقادیر به ترتیب ۲/۲۳- و ۲/۱۳- در نقطه ۱۵ در مجاورت دریاچه ارومیه روی داده است. مطابق جدول ۲، این مقدار از هر دو شاخص مترادف با خشکسالی بسیار شدید می‌باشد.

بعد از خشکسالی بسیار شدید سال ۱۹۹۹، برای چندین سال حوضه ارومیه در وضعیت تقریباً نرمال به سر می‌برده است تا این‌که مجدداً در سال ۲۰۰۸ حوضه دچار خشکسالی شدید می‌شود. پس از این واقعه، حوضه در سال ۲۰۰۹، خود را تا محدوده خشکسالی نرمال بالا می‌کشد، ولی مجدداً در سال ۲۰۱۰ در دام تله خشکسالی متوسط تا شدید گرفتار می‌آید. خشکسالی سال ۱۹۹۹-۲۰۰۰ و عواقب سوء آن می‌توانست در سال‌های بعد با ترسالی‌ها تا حدودی کمرنگ شود که بر اساس نتایج به دست آمده، این اتفاق رخ نداد و حوضه ارومیه عملاً پس از طی کردن شش سال دوره نرمال، دوباره وارد فاز خشکسالی شدید شده است. قاعدتاً این توالی خشکسالی‌ها در سنوات اخیر اثراتی سوء بر منابع آب سطحی و زیرزمینی گذاشته است.

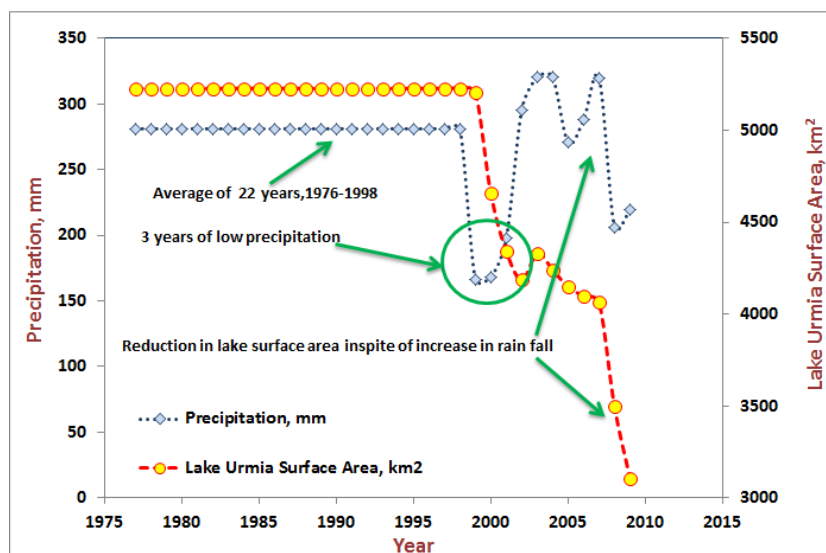
در سیر وقوع مراحل خشکسالی اصولاً ابتدا خشکسالی هواشناسی نمایان می‌شود و در پی آن به ترتیب خشکسالی‌های کشاورزی، هیدرولوژیکی و نهایتاً اقتصادی-اجتماعی حادث خواهند شد. این بدین معناست که خشکسالی کنونی در این حوضه، با توجه به طولانی شدن دوره‌اش از مرحله خشکسالی هواشناسی عبور کرده و به مرحله خشکسالی کشاورزی و پس از آن هیدرولوژیکی رسیده است. این نتیجه‌گیری می‌تواند هشداری برای کشاورزان و مدیران منطقه به منظور برنامه‌ریزی صحیح و تلاش در جهت افزایش بهره‌وری آب و دیگر نهاده‌های تولیدی باشد. برای آسیب‌شناسی مسئله و بررسی بیشتر ارتباط میان خشکسالی تحلیل شده و وضعیت دریاچه ارومیه، در شکل ۶ نموداری آورده شده است که سری زمانی بارش سالانه و مساحت سطح دریاچه را نشان می‌دهد (LUCI, ۲۰۱۴).

از سال‌ها نظیر سال ۲۰۰۰، خشکسالی شدیدی را تجربه کرده و در مقابل در برخی سال‌ها نظیر ۲۰۰۵ در ترسالی به سر برده است.



شکل ۵- وضعیت دریاچه ارومیه در دو سال ۱۹۸۴ و ۲۰۱۱

در همین شکل، مشخص است که این حوضه از سال ۲۰۰۸ مجدداً وارد فاز خشکسالی شده است. کار مهمی که در تحلیل خشکسالی باید انجام داد، بررسی توالی خشکسالی‌ها است. توان بیرون رفتن از تله خشکسالی برای همه منطقه‌ها فراهم نیست. منطقه‌ای می‌تواند از یک واقعه خشکسالی بیرون رود و خود را بازسازی نماید که وضعیت قبل و یا بعد از خشکسالی‌اش نزدیک به نرمال و یا مرطوب باشد. همان‌طور که می‌دانیم در سال ۱۹۹۹-۲۰۰۰ خشکسالی بسیار شدیدی در اکثر نقاط کشور رخ داد



شکل ۶- وضعیت بارش و مساحت حوضه ارومیه

منتهی به دریاچه ارومیه ۳۹ سد برای انجام آبیاری مزارع یا ساخته شدند و یا طرح شدند. موقعیت برخی از این سدها در شکل ۷ نشان داده شده است (Salavitabar, ۲۰۱۱).

می‌توان تصور نمود که کشاورزان منطقه به‌علت در دسترس قرار گرفتن آب، روش کشت خود را از دیم به آبی تغییر داده باشند. برخی مراجع رشد کشت آبی را از ۱۵۰ هزار هکتار در سال ۱۳۵۸ به بیش از ۴۰۰ هزار هکتار در سال ۱۳۸۵ ذکر نموده‌اند و رخداد عمده آن را به تحولات سال‌های ۱۳۷۰ تا ۱۳۸۵ مانند برنامه توسعه دوم ربط می‌دهند. این بررسی عمدتاً به استناد آمارنامه کشاورزی سال‌های ۱۳۵۸-۱۳۵۹، ۱۳۷۰ و ۱۳۸۵ اداره کل آمار و اطلاعات معاونت طرح و برنامه وزارت جهاد کشاورزی بوده است.

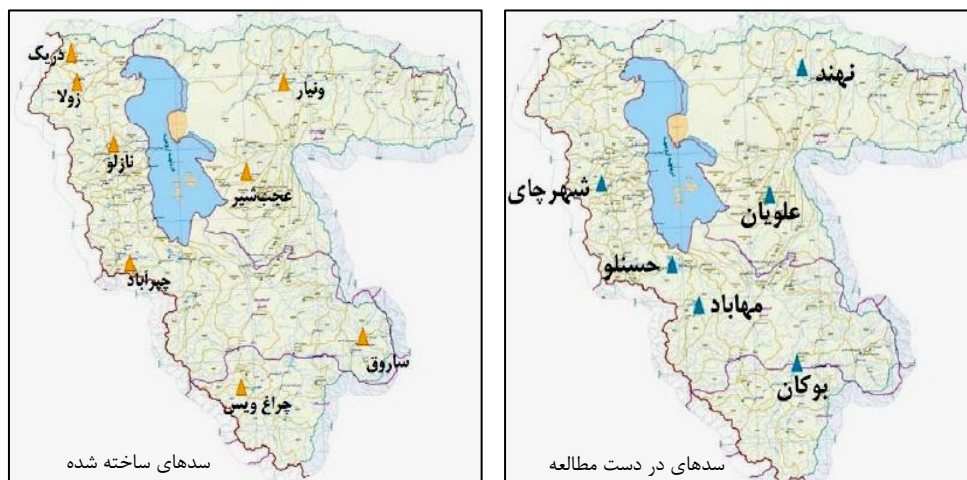
درصد افزایش کشت آبی در طی این سه سال در استان‌های آذربایجان شرقی، غربی و کردستان به ترتیب ۲۹۶، ۲۶۶ و ۱۸۵ درصد گزارش شده است (Anonymous, ۲۰۱۱b). این تغییر الگو در کشت و همچنین، پیشرفت صنعت، فشار را نه تنها بر منابع آب‌های سطحی، بلکه بر منابع آب زیرزمینی نیز افزایش داده است. مطابق گزارش‌های موجود، مصرف آب بخش کشاورزی از ۱/۸ میلیارد مترمکعب در سال ۱۳۵۸ به ۵/۵ میلیارد مترمکعب در سال ۱۳۸۵ افزایش یافته است (Hoghoghi, ۲۰۱۱). در مقابل این اعداد و ارقام اعتقاد دیگری نیز وجود دارد، مبنی بر

همان‌طور که در شکل ۶ مشخص است، بارش حوضه در حالی که در سال‌های ۱۹۹۸-۲۰۰۰ به شدت نزول نموده، بعد از سال ۲۰۰۰ یک جهش رو به بالا داشته است و به مقدار میانگین بلندمدت خود نزدیک شده، اما مجدداً در سال ۲۰۱۰ باز هم افت محسوسی را تجربه نموده است. در مقایسه با بارش، سطح دریاچه در سال ۲۰۰۰ (همگام با بارش) کاهش زیادی داشته است، اما از این سال به بعد، اگرچه بارش به‌مدت چند سال افزایش یافت، ولی سطح دریاچه روند کاهشی خود را ادامه داده است. برای روشن شدن دلیل این موضوع و بررسی اثر دیگر عوامل بر کاهش سطح دریاچه لازم است از منظری دیگر نیز به مسئله توجه شود. یکی از تحقیقاتی که بر روی این حوضه صورت گرفته است، نشان می‌دهد که ۶۵ درصد کاهش سطح دریاچه ارومیه به‌علت تغییر میزان ورودی دریاچه در اثر تغییر اقلیم و انحراف آب برای مصارف بالادست، ۲۵ درصد این کاهش به‌علت احداث سد و ۱۰ درصد باقی‌مانده ناشی از کاهش بارش بر خود دریاچه بوده است (Hassanzadeh و همکاران، ۲۰۱۱).

واقعیت آن است که مطابق گزارش‌های موجود دقیقاً در طی سالیان ۱۹۹۸-۲۰۰۱، یعنی درست در همان سال‌هایی که مطالعه حاضر نشان می‌دهد، حوضه درگیر خشکسالی شدید بوده است و روند آن هم مساعد به نظر نمی‌رسد، بر روی رودخانه‌های

رقمی در حدود ۳۰۰ الی ۳۵۰ هزار هکتار را برای این سطوح ذکر می‌نمایند (Anonymous, ۲۰۱۴).

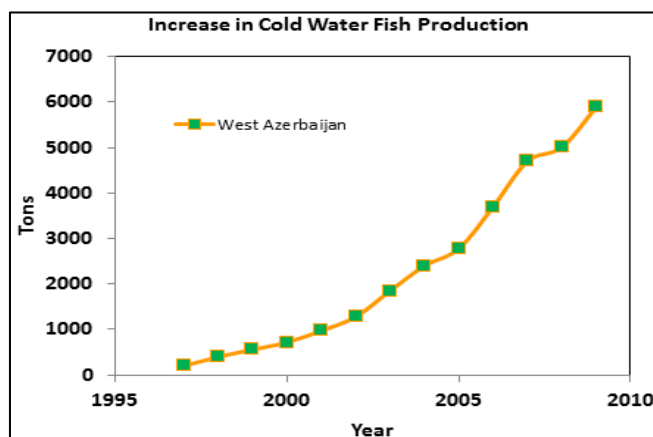
آن‌که سطح زیر کشت در حوضه دریاچه ارومیه در دوران قبل از انقلاب بیش از مقادیر فوق‌الذکر بوده و



شکل ۷- وضعیت سد های ساخته شده و در دست مطالعه در حوضه دریاچه ارومیه

شغل، پرورش ماهی را در این منطقه ترویج می‌نماید. شکل ۸، وضعیت توسعه سریع صنعت پرورش ماهیان سرد آبی و گرم آبی را در منطقه آذربایجان غربی نشان می‌دهد (FAO, ۲۰۰۵).

یکی دیگر از نکات جالب توجه در این مورد، صدور تعداد زیادی مجوز بهره‌برداری از چاه‌های عمیق در این حوضه به کشاورزان در دهه اخیر بوده است. در کنار این مسائل در همین دوره، دولت برای ایجاد



شکل ۸- وضعیت توسعه صنعت پرورش ماهی در آذربایجان غربی

این دریاچه در بیلان آبی کشور و شناخته شدن این دریاچه به‌عنوان یکی از زیستگاه‌های زمین، تحقیقات زیادی در مورد علت خشک شدن دریاچه صورت گرفته است. موضوع اساسی در این بحث آن است که آیا انسان در بروز این فاجعه نقشی داشته است یا این‌که پدیده مزبور به‌طور طبیعی شکل گرفته است. در پژوهش حاضر سعی شد به این پرسش که خشکسالی در فرایند خشک شدن تدریجی دریاچه تا

به نظر می‌رسد که در توسعه بهره‌برداری از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی منطقه برای مسائل کشاورزی و صنعت، تحلیل خشکسالی و دیدگاه جامع مدیریت منابع آب در طی این سال‌ها جایگاهی نداشته است. به‌طور خلاصه می‌توان گفت که در سال‌های اخیر خشک شدن بخشی از دریاچه ارومیه و کم شدن عمق آب در آن، توجه بسیاری از محققین و مسئولین ذیربط را به خود جلب کرده است. به‌دلیل اهمیت زیاد

به‌دست آمده برای شاخص SPI برابر ۲/۱۳- می‌باشد. مقایسه این دو مقدار، ادعای حساس‌تر بودن شاخص RDI نسبت به شاخص SPI را تایید می‌نماید. در این پژوهش، دیده شد که پدیده خشکسالی صرفاً و به تنهایی نمی‌تواند باعث خشک شدن و کم عمق شدن این دریاچه شده باشد، زیرا مشاهده شد که در برخی سال‌ها نظیر سال ۲۰۰۳ یا سال ۲۰۰۷ بارش در این حوضه به مقدار میانگین بلندمدت خود نزدیک شده، ولی کاهش سطح دریاچه همچنان ادامه داشته است.

فعالیت‌های انسانی نظیر سدسازی در دهه بروز خشکسالی و دوره‌های بحرانی یاد شده و همچنین، دادن مجوز احداث استخرهای پرورش ماهی در رودخانه‌های منتهی به دریاچه ارومیه از عوامل مؤثر در کاهش مساحت و پایین آمدن سطح آب دریاچه می‌باشند. همچنین، احداث چاه‌ها و بهره‌برداری بی‌رویه از منابع زیرزمینی و زیرسطحی، اثرات خشکسالی حادث شده را مضاعف کرده و اجازه خروج از بحران به‌وجود آمده را نمی‌دهند. اثرات آبیگری از سدهای جدید و دادن مجوزهای بهره‌برداری غیر اصولی از منابع زیرزمینی در این حوضه به این صورت نمایان شده است که کشاورزان منطقه با وجود آب در دسترس، الگوی کشت و روش کشت خود را از دیم به کشت آبی تغییر داده‌اند. تغییر کشت آبی از ۱۵۰ (و به اعتباری دیگر قریب به ۳۰۰) هزار هکتار در سال ۱۳۵۸ به بیش از ۴۰۰ هزار هکتار در سال ۱۳۸۵ در این حوضه مؤید این موضوع می‌باشد.

در وضعیت پیش رو لازم است که در آبیگری از سدهای در دست ساخت، تجدید نظر جدی شود تا از خشک شدن کامل این دریاچه جلوگیری به عمل آید. همچنین، بایستی در الگوی کشت، حساسیت بیشتری لحاظ شود و از روش‌های نوین آبیاری به‌جای روش‌های سنتی، به‌منظور بالا بردن راندمان کاربرد آب در مزارع استفاده شود.

بدیهی است که عامل اخیر نمی‌تواند مستقیماً در بیلان آبی یک حوضه بسته مانند حوضه دریاچه ارومیه مؤثر واقع شود، ولی به‌طور غیرمستقیم، با افزایش بهره‌وری آب می‌توان امیدوار بود که با کاهش سهم آب بخش کشاورزی، حقایق دریاچه و به عبارت بهتر تالاب ارومیه افزایش یابد. وضعیت دریاچه ارومیه

چه حد نقش داشته و مؤثر بوده است، پاسخ داده شود. استفاده از داده‌های پایگاه‌های جهانی نظیر GPCP برای بارش و NCEP/NCAR برای دما، با توجه به پوشش و دقت مناسب آن‌ها در سال‌های اخیر مورد توجه بسیاری از محققین و مدیران در سطح دنیا قرار گرفته است. علت این امر را می‌توان سهولت به‌دست آوردن اطلاعات و تعیین دقیق برخی پارامترها و علی‌الخصوص ایجاد پایگاه داده مناسب برای مدیریت کلان منابع آب دانست.

بدیهی است که هماهنگی مکانی میان این دو بانک اطلاعاتی برای تحلیل و محاسبه پارامترهای مورد نیاز بیلان آبی ضروری است. در این پژوهش، خشکسالی دریاچه ارومیه با استفاده از داده‌های جهانی NCEP/NCAR و GPCP در مقیاس یک درجه و به‌کارگیری شاخص‌های RDI و SPI ارزیابی شده است. با بررسی‌هایی که انجام شد، این نتیجه به‌دست آمد که در حالی‌که دریاچه در سال‌های ۱۹۹۸-۲۰۰۰ یکی از شدیدترین خشکسالی‌های نیم‌قرن اخیر را به‌خود دیده، در تمام سال‌های بعد از آن نتوانسته است، دوره‌های مرطوب مناسبی را تجربه نماید. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهند که حوضه دریاچه ارومیه مجدداً از سال ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۰ وارد خشکسالی متوسط و شدید شده است. این‌طور به نظر می‌رسد که حوضه مزبور به‌دلیل پیشینه نامناسبی که از دهه قبل به ارث برده است و سپس به‌دلیل توالی سه‌ساله اخیر آن، از فازهای ابتدایی خشکسالی خارج شده و به خشکسالی کشاورزی و هیدرولوژیکی رسیده باشد. در خصوص مقایسه دو شاخص RDI و SPI بر طبق نتایج به‌دست آمده می‌توان گفت که RDI شاخص مناسب‌تری برای بررسی خشکسالی در حوضه دریاچه ارومیه بوده و حاشیه امن بیشتری را برای برنامه‌ریزی منابع آب به‌دست می‌آورد.

شاخص RDI در ارزیابی خشکسالی‌های شدید در این حوضه حساس‌تر عمل نموده و ترسالی‌ها را ضعیف‌تر نشان می‌دهد. شدیدترین خشکسالی این حوضه در سال ۱۹۹۹ در نقطه ۱۵ در حاشیه دریاچه ارومیه رخ داده است که مقدار شاخص RDI برای آن معادل ۲/۲۳- به‌دست آمده است. در مقایسه با شاخص RDI در این نقطه و در همین سال، مقدار

بار دیگر اهمیت مطالعات جامع حوزه‌های آبخیز و مطالعه حاضر برای کشوری که هنوز شاخصی ملی استقرار سیستم پایش خشکسالی در سطح این حوضه‌ها را نشان می‌دهد. در چنین وضعیتی، اهمیت برای بررسی خشکسالی در آن تعریف نشده است، مشخص می‌شود.

منابع مورد استفاده

1. Alizadeh, A. and A. Toosi. 2008. Development of a model for monitoring and forecasting drought, case study: Khorasan Razavi province. *Agricultural Sciences and Technology*, 22(1): 223-234 (in Persian).
2. Anonymous. 2009. A report on: The Urmia Lake comprehensive management plan. The International Plan for Iranian Wetland Conservation, 75 pages.
3. Anonymous. 2011a. A report on: describing the Urmia Lake base conditions. The International Plan for Iranian Wetland Conservation, 111 pages.
4. Anonymous. 2011b. Agricultural report and water allocation in drought conditions. A report from the work group on sustainable management of water resources and agriculture, the regional council of Urmia Lake watershed management, pages 3-4 (in Persian).
5. Anonymous. 2014. Remote sensing research group of Sharif Industrial University (Personnel Communication).
6. Asadi Zarch, M.A., H. Malekinezhad, M.H. Mobin, M.T. Dastorani and M.R. Kousari. 2011. Drought monitoring by Reconnaissance Drought Index (RDI) in Iran. *Water Resources Management*, 25(13): 3485-3504.
7. Blain, G.C. 2012. Revisiting the probabilistic definition of drought: strengths, limitations and an agrometeorological adaptation. *Agrometeorology*, 71(1): 132-141.
8. Bonaccorso, B., I. Bordi, A. Cancelliere, G. Rossi and A. Sutera. 2003. Spatial variability of drought: an analysis of SPI in Sicily. *Water Resources Management*, 17: 273-296.
9. Delju, A.H., A. Ceylan, E. Piguat and M. Rebetz. 2013. Observed climate variability and change in Urmia Lake basin, Iran. *Theoretical Applied Climatology*, 111(1-2): 285-296.
10. Edossa, D.C., M.S. Babel and A.D. Guota. 2010. Drought analysis in the Awash River basin, Ethiopia. *Water Resources Management*, 24: 1441-1460.
11. Edwards, D.C. and T.B. McKee. 1997. Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales. *Climatology Report*. 97-2, Department of Atmospheric Science, Colorado State University, Fort Collins, Colorado.
12. Emanifar, A. and F. Mohebbi. 2007. Urmia Lake (northwest Iran): a brief review. Iranian Artemia Research Center, Urmia.
13. FAO. 2005. http://www.fao.org/fishery/countrysector/naso_iran/en#tcN90064.
14. Ghabaei Sough, A. and M. Mosaedi. 2012. Design process of selecting appropriate drought index based on monitoring multivariate meteors in some stations of arid and semi-arid regions, Iran. *Journal of Water and Soil*, 26(2): 414-426 (in Persian).
15. Ghorbani Aghdam, M., Y. Dinpazhuh, A. Fakherifard and S. Darbandi. 2012. Regionalization of Urmia Lake basin from the view of drought using factor analysis. *Journal of Water and Soil*, 26: 1268-1276 (in Persian).
16. Golian, S., A. Abrishamchi and M. Tajrishy. 2007. A system dynamics-based analysis of operation policies for water resources at river basin scale. *Journal of Water and Wastewater*, 18(63): 70-80 (in Persian).
17. Hassanzadeh, E., M. Zarghami and Y. Hassanzadeh. 2011. Determining the main factors in declining the Urmia Lake level by using system dynamics modeling. *Water Resources Management*, 26(1): 129-145.
18. Hayes, M.J., M.D. Svoboda and D.A. Wilhite. 1999. Monitoring the 1996 drought using the standardized precipitation index. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 80: 429-438.
19. Hoghoghi, M. 2011. A report on: The trend of the agricultural development of Urmia Lake basin (in Persian).
20. Jain, S.K., R. Keshri, A. Goswami and A. Sarkar. 2010. Application of meteorological and vegetation indices for evaluation of drought impact: a case study for Rajasthan, India. *Natural Hazards*, 54(3): 643-656.
21. Kampragou, E., S. Apostolaki, E. Manoli, j. Froebrich and D. Assimacopoulos. 2011. Towards the harmonization of water-related policies for managing drought risks across the EU. *Environmental Science and Policy*, 14(7): 815-824.
22. Karbassi, A., G. Nabi Bidhendi, A. Pejman and M. Esmaeili Bidhendi. 2010. Environmental impact of desalination on the ecology of Lake Urmia. *Journal of Great Lakes Researches*, 36: 419-424.

23. Khalili, D., T. Farnoud, H. Jamshidi, A.A. Kamgar-Haghighi and S. Zand-Parsa. 2011. Comparability analyses of the SPI and RDI meteorological drought indices in different climatic zones. *Water Resources Management*, 25(6): 1737-1757.
24. Livada, I. and V.D. Assimakopoulos. 2007. Spatial and temporal analysis of drought in Greece using the Standardized Precipitation Index (SPI). *Theoretical and Applied Climatology*, 89(3-4): 143-153.
25. LUCI. 2014. Drought is an exaggerated explanation of Lake Urmia environmental crises. Available online at: www.saveurmia.com/main/2014/01/09/drought. Accessed on January 9, 2014.
26. McKee, T.B., N.J. Doesken and J. Kleist. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. Preprints of the 8th Conference on Applied Climatology, Anaheim, California, 179-184.
27. Morid, S., V. Smakhtin and M. Moghaddasi. 2006. Comparison of seven meteorological indices for drought monitoring in Iran. *International Journal of Climatology*, 26: 971-985.
28. Morovati, R. and A. Shokoohi. 2013. Evaluation of different methods for interpolation of gridded temperature data, case study: Iran. 12th National Conference on Irrigation and Evaporation Reduction, Kerman (in Persian).
29. Mosaedi, A., A. Dehghani and H. Eivazi. 2009. Investigation on the predictable drought durations by using time series. *International Conference on Water Resources* (in Persian).
30. Razi, T., P. Daneshkar, R.A. Akhtari and B. Saghafian. 2007. Evaluation of drought meteorology (climate) in the Sistan Va Baluchestan province using SPI index and Markov chain model. *Iranian Water Resources Research Journal*, 3(1): 25-35 (in Persian).
31. Razi, T. and A. Shokoohi. 2011. Identification of the best fitted probability distribution function on precipitation data in different climate regimes of Iran to calculate Standardized Precipitation Index (SPI) at different time scales. 1st National Conference on Drought and Climate Change (in Persian).
32. Razi, T., I. Bordi and L.S. Pereira. 2011. An application of GPCC and NCEP/NCAR datasets for drought variability analysis in Iran. *Water Resources Management*, 25: 1075-1086.
33. Razi, T., I. Bordi and L.S. Pereira. 2013. Regional drought modes in Iran using the SPI: the effect of time scale and spatial resolution. *Water Resources Management*, 27: 1661-1674.
34. Salavitar, A. 2011. A report on: Integrated water resource management for Urmia Lake basin; challenges and solutions. Mahab Ghods Consulting Engineering Company (in Persian).
35. Shokoohi, A. 2012. Comparison of SPI and RDI in drought analysis in local scale with emphasizing on agricultural drought, case study: Qazvin and Takestan. *Journal of Irrigation and Water Engineering*, 3(9): 111-122 (in Persian).
36. Talebi, M.S. and M. Mousavi Bafroie. 2010. Evaluation, zoning and drought monitoring using reliable indices, case study: Kerman province. The 1st International Conference on Plant, Water, Soil and Weather Modeling (in Persian).
37. Tirivarombo, S. and D.A. Hughes. 2011. Regional droughts and food security relationships in the Zambezi River basin. *Physics and Chemistry of the Earth*, 36(14): 977-983.
38. Tsakiris, G. and H. Vangelis. 2005. Establishing a drought index incorporating evapotranspiration. *European Water*, 9(10): 3-11.
39. Tsakiris, G., D. Pangalou and H. Vangelis. 2007. Regional drought assessment based on the Reconnaissance Drought Index (RDI). *Water Resources Management*, 21: 821-833.
40. Vangelis, H., D. Tigkas and G. Tsakiris. 2013. The effect of PET method on Reconnaissance Drought Index (RDI) calculation. *Journal of Arid Environments*, 88: 130-140.
41. Zahedi Gharehaghaj, M. and Y. Ghavidel Rahimi. 2007. Determination drought threshold and calculation of rainfall reliability Urmia Lake stations. *Journal of Physical Geography Research*, 59: 21-34 (in Persian).

An investigation on the Urmia Lake Basin drought using RDI and SPI indices

Alireza Shokoohi^{*1} and Reza Morovati²

¹ Associate Professor, Faculty of Engineering and Technology, Imam Khomeini International University, Iran and ² MSc, Faculty of Engineering and Technology, Imam Khomeini International University, Iran

Received: 22 January 2014

Accepted: 22 June 2014

Abstract

The Lake Urmia is the 20th largest lake and the second hyper saline lake in the world. In recent years, the drying out of the Urmia Lake has attracted attention of many researchers. The main motivation of this study is to evaluate the role of drought in this disaster. For this purpose, Standardized Precipitation Index (SPI) and Reconnaissance Drought Index (RDI) are employed. The data for analysis including precipitation and temperature was provided from two global databases: GPCC for precipitation and NCEP/NCAR for temperature. The study was performed at the time span of 1980-2010 and the results showed that the Lake Urmia basin has experienced a severely drought during 1999-2000. After this period and during eight subsequent years, the negative effects of this drought could not be reduced completely by near normal to wet condition of the basin. Moreover, another severely drought occurred at 2008. RDI value for the 1999 drought was found to be -2.23 which is related to the extremely dry condition. The value of SPI for the same region and same year was obtained as -2.13. This comparison for other severe and extreme cases shows that RDI is more sensitive than SPI at the tails of the phenomenon. It was also observed that after 2000, while the region, in terms of rainfall and drought conditions, is generally close to normal condition, the lake follows a continuous decreasing trend up to the present time. Therefore, one can conclude that in addition to drought, other factors contribute to the drying out of the lake. The results indicated that the anthropogenic effects are responsible to some percent in this disaster. Construction of reservoir dams for agricultural development and other activities for job creation purposes like constructing fish ponds has intensified this crisis. The span of these activities is concurrent to the periods which the drought indices show the fragile condition of the basin in terms of available water resources. This fact emphasizes the importance of drought monitoring as an inseparable part of an IWRM program to prevent a nationwide disaster.

Key words: GPCC, NCEP/NCAR, Normal condition, RDI index, SPI index.

* Corresponding Author: shokoohi@eng.ikiu.ac.ir