

ارتباط بین خشکسالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی در دشت سلماس

فاطمه شاکر سوره^۱، اسماعیل اسدی^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۴/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۳۰

چکیده

سیستم‌های پایش نقش مهمی در تدوین طرح‌های خشکسالی و مدیریت آن‌ها دارند. گرچه شروع خشکسالی با وقوع پدیده خشکسالی هواشناسی ناشی از کمبود بارش منشأ می‌گیرد، خشکسالی‌های هیدرولوژیکی معمولاً با تأخیر بیشتری نسبت به خشکسالی‌های هواشناسی یا کشاورزی رخ می‌دهد. هدف از این تحقیق، مطالعه تأثیر خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی دشت سلماس بر نوسانات سطح آب زیرزمینی است. در این پژوهش با محاسبه سه شاخص بارش استاندارد شده (SPI)، رواناب استاندارد شده (SRI) و منبع آب زیرزمینی (GRI) در محدوده مطالعاتی دشت سلماس در دوره آماری ۱۳۶۴-۱۳۶۵ تا ۱۳۹۵-۱۳۹۶ به بررسی اثرات خشکسالی بر نوسانات هیدرولوژیکی پرداخته شد. با توجه به آزمون t جفتی، ارتباط بین شاخص SPI و سطح آب زیرزمینی قابل توجه بوده است و می‌توان گفت این شاخص تقریباً شاخص مناسبی برای بررسی اثرات خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی است. نتایج به دست آمده نشان‌دهنده رابطه بین شاخص SPI دوازده ماهه (SPI-12) و شاخص SRI یک ماهه (SRI-1) در مقیاس کوتاه مدت با شاخص GRI است. نتایج حاکی از آن است که خشکسالی هواشناسی با خشکسالی آب زیرزمینی رابطه معنی داری با تأخیر فاز زمانی یک ماهه GRI در مقیاس زمانی میان مدت (P-value_{SPI}) دارد و خشکسالی هیدرولوژیکی نسبت به خشکسالی آب زیرزمینی با تأخیر شش ماهه GRI در مقیاس کوتاه مدت (P-value_{SRI-1}=0.993) ارتباط بسیار خوبی دارد.

واژه‌های کلیدی: آب زیرزمینی، خشکسالی، دشت سلماس، SPI، GRI، SRI.

۱. کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

۲. استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، نویسنده مسئول؛ esasadi@gmail.com

مقدمه

وقوع خشکسالی در یک منطقه با تأمین آب در آن منطقه رابطه تنگاتنگی دارد و چون تأمین آب در هر منطقه، تابع رژیم اقلیمی آن منطقه است، تعریف خشکسالی برحسب اقلیم هر منطقه تغییر می کند. خشکسالی را می توان معلول یک دوره شرایط خشک غیرعادی دانست که به اندازه کافی دوام داشته باشد تا عدم تعادل در وضعیت هیدرولوژی یک ناحیه ایجاد شود؛ همچنین اثرات اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی آن مدت ها پس از پایان خشکسالی باقی بماند. با توجه به وجود نوسانات منفی شدید در بارش های مناطق مختلف کشور، وقوع خشکسالی های ضعیف تا شدید در کشور امری اجتناب ناپذیر محسوب می شود. وقوع این خشکسالی ها اثرات بسیار زیانباری را بر بخش های کشاورزی، اقتصادی، منابع آب زیرزمینی و... کشور تحمیل می کند (یاسمنی و همکاران، ۲۰۱۲). خشکسالی یکی از پدیده های طبیعی جوی است که در بخش های مختلف محیطی، از قطب گرفته تا نواحی استوایی رخ می دهد، ولی اثرات آن در مناطق خشک مشهودتر است. یکی از بخش های متأثر شده از شرایط بلندمدت خشکسالی، منابع آب های زیرزمینی است که متأسفانه کمتر از سایر بخش ها مورد توجه قرار گرفته است. شوکلا و وود (۲۰۰۸) خشکسالی را نتیجه مهم دو عامل تغییرات آب و هوایی و برداشت بی رویه از منابع آب توسط انسان ها دانستند و بدین منظور به بررسی اثر بارش به عنوان یک عامل اقلیمی با بهره از شاخص بارش استاندارد شده^۱ (SPI) بر عامل هیدرولوژیکی رواناب سطحی پرداختند. آن ها با تمرکز بر رفتار شاخص رواناب استاندارد شده^۲ (SRI) که بر پایه شاخص معروف SPI استوار است، در طول دوره خشک بر منطقه ای با رژیم برفی، به این نتیجه رسیدند که هر دو شاخص در دوره طولانی مدت رفتار یکسانی دارند؛ به طوری که با کاهش دوره مطالعاتی تفاوت های عمده ای در دو شاخص دیده شد. طی این پژوهش، آن ها به ضریب تبیین بالا ($R^2 = 0.9$) بین شاخص

SPI-12 و SRI دست یافتند و با بررسی دو شاخص در دوره های زمانی کوتاه تر به این نتیجه رسیدند که تغییرات ماهانه SRI به نسبت SPI بسیار کمتر بوده است که علت آن را عواملی چون نگهداشت حوضه و اثر ذوب یخ معرفی کردند. محمدی و شمسی پور (۲۰۰۳) در بررسی تأثیر خشکسالی در افت تراز آب زیرزمینی دشت های شمال استان همدان به این نتیجه رسیدند که اثر خشکسالی با تأخیر زمانی نه ماهه در آب های زیرزمینی رخ می دهد. ناصرزاده و احمدی (۲۰۱۲) در پژوهشی با عنوان بررسی عملکرد شاخص های خشکسالی هواشناسی در ارزیابی خشکسالی و پهنه بندی آن در استان قزوین دریافتند که شاخص SPI برای نشان دادن خشکسالی های شدید در جایگاه اول جای دارد. بلومفیلد و مارکنک (۲۰۱۳) شاخص جدید منبع آب زیرزمینی استاندارد شده^۳ (SGI) را که اساس آن بر پایه شاخص شناخته شده و معروف SPI استوار است، برای ۱۴ چاه مشاهداتی با مشخصات آبخوانی متفاوت پیاده و با شاخص SPI مقایسه کردند. نتایج مقایسه سری های زمانی SGI با SPI نشان دهنده افزایش همبستگی متقابل، دو شاخص با افزایش مقیاس های زمانی در شاخص SPI در همان حوضه بود. همچنین در مواردی تأخیرهای زمانی را عامل بهبود همبستگی دو شاخص معرفی کردند. خان و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از شاخص SPI به بررسی اثر خشکسالی بر آب زیرزمینی سه منطقه در حوضه ماری دارلین استرالیا پرداختند. نتایج آن ها همبستگی خوبی بین بارندگی و آب زیرزمینی را نشان داد. شکیبا و همکاران (۲۰۱۰) با محاسبه شاخص خشکسالی SPI و متغیرهای خشکی در منطقه شرق استان کرمانشاه به همبستگی قابل توجه بین عمق آب زیرزمینی و شاخص SPI اشاره کردند. نتایج آن ها نشان داد که خشکسالی های روی داده در مقیاس زمانی ۲۴ ماهه بر منابع آب زیرزمینی تأثیرگذار بوده، به گونه ای که در ماه های مواجه با خشکسالی، سطح آب های زیرزمینی پایین تر و در ترسالی بالاتر از میانگین دوره بوده است. ایمانی و طالبی (۲۰۱۱) با استفاده از دو شاخص SPI و GRI به بررسی

1. Standardized Precipitation Index
2. Standardized Runoff Index

3. Standardized Groundwater Resource Index

بی‌رویه در افت سطح آبخوان به مراتب بیش از خشکسالی است. قضاوی و رضانی (۲۰۱۷) به بررسی روند تغییرات کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی و پهنه‌بندی این تغییرات در دشت رفسنجان پرداختند. برای این کار تأثیر بارش و میزان برداشت بر تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی در سال‌های مختلف از طریق رابطه همبستگی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. بر اساس نتایج حاصل برداشت بیش از حد از منابع آب زیرزمینی در اراضی کشاورزی عامل اصلی کاهش کیفیت و افزایش افت سطح آب‌های زیرزمینی در منطقه است.

با توجه به اهمیت پایش خشکسالی به‌خصوص اثرات آن بر منابع آب زیرزمینی و با توجه به اینکه بررسی توأم خشکسالی‌ها در این دشت تا به حال انجام نگرفته است، هدف از پژوهش حاضر بررسی اثرات خشکسالی بر نوسانات سطح تراز ایستابی آبخوان دشت سلماس خواهد بود.

مواد و روش‌ها

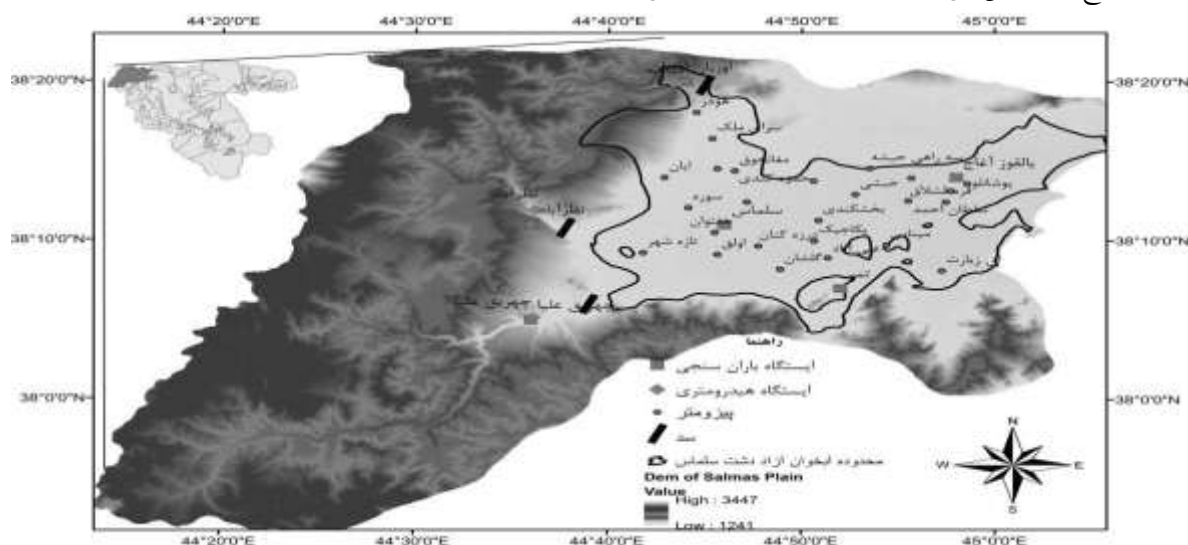
منطقه مورد مطالعه

دشت سلماس در استان آذربایجان غربی، در شمال محدوده مطالعاتی ارومیه و در غرب دریاچه ارومیه، یکی از منابع تأمین کننده آب دریاچه بوده و شامل ۲ نوع سفره آزاد و تحت فشار است که این سفره‌ها نقش مهمی در توسعه کشاورزی و تأمین آب شرب منطقه دارند. منطقه مورد مطالعه در شمال استان آذربایجان غربی و مابین طول جغرافیایی $38^{\circ} 07' 00''$ و $45^{\circ} 07' 00''$ و عرض $44^{\circ} 11' 38,23''$ و $44^{\circ} 11' 38,23''$ واقع شده است. این دشت با مساحت حدود ۵۵۰ کیلومترمربع در مرکز حوضه آبریز زولاچای واقع شده که حداکثر ارتفاع منطقه ۳۲۰۰ متر حداقل آن ۱۲۸۰ متر و متوسط ارتفاع در دشت سلماس ۱۳۴۰ متر از سطح دریاهای آزاد است. رودخانه اصلی تغذیه کننده دشت سلماس زولاچای است. متوسط دمای سلماس $11/7$ درجه سانتی‌گراد و متوسط بارندگی سالانه در دشت سلماس $241/64$ میلی‌متر است. تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی دشت سلماس از طریق مخروط افکنه‌های ورودی و نیز رودخانه‌های منطقه است. دشت سلماس به‌علت داشتن

خشکسالی در دشت بهاباد یزد پرداختند. نتایج حاکی از رابطه معنی‌دار به‌خصوص در بلندمدت بین این دو شاخص و با تأخیر فاز زمانی شاخص هیدرولوژیکی نسبت به خشکسالی اقلیمی بود. بدین معنی که خشکسالی‌های اقلیمی در دشت بهاباد پس از ۳ تا ۴ سال بیشترین تأثیر خود را بر منابع آب زیرزمینی نشان دادند. آن‌ها ساختار زمین‌شناسی، فرایند نفوذ و عوامل مختلف در تبدیل فرایند به رواناب را از علل تأخیر فاز زمانی دانستند. صیف و همکاران (۲۰۱۲) به بررسی میزان آسیب‌پذیری خشکسالی هواشناسی دشت فسا و پیرامون آن، با استفاده از شاخص SPI در مقایسه‌های مختلف ماهانه، فصلی و سالانه در طول دوره آماری ۱۳۸۸-۱۳۵۷ پرداختند و وضعیت خشکسالی آن منطقه را با استفاده از شاخص GRI تحلیل کردند. نتایج حاکی از معنی‌دار بودن رابطه بین شاخص SPI-48 با میانگین ارتفاع سطح آب، شاخص GRI بود. بدین معنی که در این دشت آب‌های زیرزمینی از خشکسالی تأثیرپذیری زیادی دارند. آن‌ها تأخیری برابر با ۴ سال پس از خشکسالی هواشناسی بر منابع آب زیرزمینی این منطقه را برآورد کردند. یاسمنی و همکاران (۲۰۱۲) اثر خشکسالی بر سطح ایستابی آبخوان دشت تربت‌جام - فریمان را با بهره‌گیری از دو شاخص هواشناختی SPI و شاخص هیدرولوژیکی GRI بررسی کردند. آن‌ها نشان دادند بین شاخص SPI-48 و رابطه معنی‌داری وجود دارد. همچنین دلیل عدم هم‌زمانی خشکسالی هیدرولوژیکی با خشکسالی هواشناسی را، تأخیر در تبدیل فرایند بارش به‌عنوان اصلی‌ترین شاخص هواشناسی، به رواناب و پس‌از آن فرایند نفوذ، پیوستن به آب زیرزمینی، اثر سایر عوامل از جمله ساختار زمین‌شناسی منطقه و میزان نفوذپذیری سازند موجود در منطقه دانستند. آل‌بوعلی و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی ارتباط بارش دشت کاشان با منابع آب زیرزمینی آن پرداختند. سپس بر اساس شاخص SPI تأثیر خشکسالی بر افت آب زیرزمینی را بررسی کردند. نتایج بررسی نشان داد که علاوه بر خشکسالی، برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی در دشت مذکور از عوامل افت آب زیرزمینی است و سهم برداشت

منطقه سلماس تقریباً از غرب به شرق بوده و از شمال به جنوب نیز جریان های مختصری دارد که همه این جریان ها به دریاچه ارومیه منتهی می شوند. منابع آب زیرزمینی در دشت سلماس از غرب به شرق غنی تر می شود و نواری نسبتاً عریض از سفره های تحت فشار در حاشیه به دریاچه تشکیل می شود. شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه در حوضه دریاچه ارومیه را نشان می دهد.

رودخانه های پرآب و تغذیه جانبی از ارتفاعات آهکی و ماسه سنگی اطراف و وجود آبرفت ضخیم اصولاً از نظر آب های زیرزمینی غنی می باشد. در دشت سلماس علاوه بر سفره های سطحی سه لایه آبدار تحت فشار نیز وجود دارد که لایه های تحت فشار مجموعاً ۴۰ متر ضخامت دارند. آبخوان آزاد دشت سلماس در مساحتی حدود ۳۰۰ کیلومتر مربع گسترش دارد و سفره های تحت فشار مساحتی به میزان ۱۰۰ کیلومتر مربع را تشکیل می دهد. برای جریان آب زیرزمینی در



شکل (۱): موقعیت دشت سلماس در حوضه دریاچه ارومیه

Figure (1): Position of Salmas Plain in Urmia Lake Basin

است، به این دوره آماری در این مقاله اشاره شده است. در سال آبی ۱۳۸۰-۱۳۸۱ تعداد چاه های بهره برداری ثبت شده در این آبخوان ۱۱۱۰ حلقه چاه عمیق و نیمه عمیق است. تخلیه این چاه ها فقط در سال آبی ۱۳۸۰-۱۳۸۱ حدود ۲۷۸ میلیون مترمکعب بوده است در سال آبی ۱۳۹۵-۱۳۹۶ تعداد چاه های بهره برداری ثبت شده در این آبخوان ۱۴۵۵ حلقه چاه عمیق و نیمه عمیق است. تخلیه فقط در سال آبی ۱۳۹۵-۱۳۹۶ حدود ۱۳۸ میلیون مترمکعب بوده است که ۹۱/۸۱ درصد آن به بخش کشاورزی اختصاص دارد و فقط ۰/۳۷ درصد آن در بخش صنعت مصرف می شود و قسمت دیگر آن به مصارف خانگی اختصاص دارد.

شاخص بارش استاندارد شده (SPI)

محاسبه SPI برای هر منطقه معین، بر پایه آمار درازمدت بارندگی (حداقل ۳۰ سال) برای گام های زمانی سه،

داده ها

اطلاعات و آمار مربوط به بارش ایستگاه های سینوپتیک و آب سنجی ایستگاه های هیدرومتری و نیز سطح تراز ایستابی آبخوان دشت سلماس از سازمان آب منطقه ای استان آذربایجان غربی اخذ گردید. بعد از مرتب کردن داده ها، شاخص های خشکسالی SPI و SRI و GRI محاسبه شد. در ارزیابی رابطه خشکسالی با ارتفاع آب زیرزمینی طول دوره آماری سال آبی ۱۳۶۴-۱۳۶۵ تا ۱۳۹۵-۱۳۹۶ مورد بررسی قرار گرفت؛ نمودارهای مربوط به هر سه شاخص خشکسالی در این بازه در نظر گرفته شد. در آبخوان دشت سلماس ۲۹ حلقه چاه مشاهداتی حفر شده است. موقعیت چاه های حفر شده در شکل (۱) قابل مشاهده است. بر اساس آمار سازمان آب منطقه ای آذربایجان غربی با توجه به اینکه مقدار برداشت از آب زیرزمینی از سال آبی ۱۳۸۰-۱۳۸۱ موجود

طبقات مختلف رطوبتی در هر ۳ شاخص مذکور همانند یکدیگر بوده و در جدول (۱) نشان داده شده است.

جدول (۱): طبقه‌بندی شاخص‌های خشکسالی
Table (1): Classification of Drought Indicators

SPI,SRI,GRI	شدت خشکسالی
۰ تا ۰/۹۹-	خشکسالی ملایم
۱- تا ۱/۴۹-	خشکسالی متوسط
۱/۵- تا ۱/۹۹-	خشکسالی شدید
کمتر از ۲-	خشکسالی خیلی شدید

ارتباط بین شاخص خشکسالی‌ها

ضریب همبستگی پیرسون

بررسی خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی نیز در طول دوره آماری از سال آبی ۱۳۶۴-۱۳۶۵ تا ۱۳۹۵-۱۳۹۶ انجام و برای ارزیابی میزان همبستگی میان خشکسالی آب زیرزمینی و خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی از فرمول ضریب همبستگی پیرسون مطابق رابطه (۶) استفاده شد (پیرسون، ۱۹۸۵):

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (6)$$

در این رابطه، \bar{x} و \bar{y} مقدار میانگین هر سری زمانی y_i و x_i هستند. اگر همبستگی برای تأخیرهای مختلف محاسبه شود، در یکی از گام‌های تأخیر بیشترین همبستگی را خواهیم داشت. در این تحقیق روابط هم‌زمان و با تأخیر زمانی ۱ تا ۷ ماهه میان گام‌های زمانی SPI با GRI و میان گام‌های زمانی SRI با GRI منطقه مورد مطالعه با تحلیل ضریب همبستگی پیرسون در سطح معنی‌داری ۵ درصد بررسی شده است.

آزمون t جفتی^۱

در آزمون t نمونه‌های جفتی (وابسته) (دو نمونه همبسته) اعضای نمونه در دو مقطع از زمان مورد بررسی قرار می‌گیرند. در این آزمون، تفاوت میانگین‌های صفت ارزیابی می‌شود. در آزمون t با نمونه‌های جفتی، هر فرد دو بار در دو وضعیت مختلف (معمولاً قبل و بعد) مورد مشاهده قرار

شش‌ماهه و... است. این آمار درازمدت به یک تابع توزیع احتمال (به توصیه ادوارد و مک‌کی، ۱۹۹۷ تابع احتمال گاما) برازش یافته، تابع حاصل برای پیدا کردن احتمال تجمعی بارندگی برای یک ایستگاه و برای ماه معین و مقیاس زمانی مشخص می‌تواند استفاده شود. این احتمال سپس به متغیر تصادفی نرمال Z تبدیل می‌شود. شاخص SPI یک مقدار نرمال شده با میانگین صفر و انحراف معیار یک است. از این رو SPI مقدار انحرافات استاندارد است که یک رویداد مشخص از شرایط نرمال منحرف می‌شود (مک‌کی همکاران، ۱۹۹۵)

$$SPI_{i,k} = \frac{R_{i,k} - \bar{R}_k}{S_k} \quad (1)$$

\bar{R}_k و S_k به ترتیب میانگین ارتفاع بارشی تجمعی و انحراف معیار بارشی تجمعی در دوره مبنای k می‌باشد.

شاخص رواناب سطحی استاندارد شده (SRI)

شاخص رواناب استاندارد شده (SRI) توسط شوکلا و وود (۲۰۰۸) توسعه یافت. شاخص خشکسالی جریان (SRI) از روابط ۲ و ۳ و ۴ قابل محاسبه است (شوکللا و وود، ۲۰۰۸):

$$V_{i,k} = \sum_{j=1}^k Q_{i,j} \quad (2)$$

$$y_{i,k} = \ln(V_{i,k}) \quad (3)$$

$$SRI_{i,k} = \frac{y_{i,k} - \bar{y}_k}{S_{y,k}} \quad (4)$$

که در آن $Q_{i,j}$ دبی ماه زام از سال آبی i ام، مقدار $V_{i,k}$ تجمعی دبی در دوره k ماهه از سال آبی i ام، \bar{y}_k و $S_{y,k}$ به ترتیب میانگین و انحراف معیار داده‌ها هستند.

شاخص منبع آب زیرزمینی (GRI)

شاخص منبع آب زیرزمینی (GRI) اولین بار توسط مدسینو و همکاران (۲۰۰۸) به عنوان شاخص مفید و قابل اعتماد برای پایش و پیش‌بینی وضعیت خشکسالی منطقه مدیترانه تحت شرایط لیتولوژی مختلف ارائه شد. بررسی‌های صورت گرفته در پژوهش‌های مدسینو و همکاران نشان‌گر ارتباط قوی شاخص GRI با شاخص SPI در منطقه مدیترانه به خصوص در فصل تابستان بود. برای محاسبه GRI از رابطه (۵) استفاده می‌شود:

$$GRI = \frac{(X_i - \mu)}{\delta} \quad (5)$$

می‌گیرد. می‌توان آماره t را به صورت زیر نوشت:

$$t = \frac{\text{میانگین اختلافات}}{\text{خطای معیار اختلافات}} \quad (7)$$

در این آزمون اگر مقدار P-value از ۰/۰۵ بزرگ‌تر باشد، می‌توان نتیجه گرفت که دو نمونه مورد نظر از نظر آماری با یکدیگر اختلاف معنی‌دار ندارند (ساسانی‌فر و نمیرانیان، ۲۰۱۷).

نتایج

افت آب زیرزمینی

سطح آب زیرزمینی تحت تأثیر میزان تغذیه و تخلیه از طریق منابع آبی و جوی همواره در طول ماه‌ها و سال‌ها یک سطح ثابتی نبوده و پیوسته در حال نوسان است. در این تحقیق به بررسی آب زیرزمینی دشت سلماس پرداخته شده است. سطح تراز آب زیرزمینی در ابتدای دوره آماری یعنی سال ۱۳۶۴-۱۳۶۵ مورد مطالعه ۱۳۴۹ متر بوده، در اواسط دوره یعنی سال آبی ۱۳۷۹-۱۳۸۰ به ۱۳۴۲ متر کاهش یافته و در پایان دوره آماری یعنی سال ۱۳۹۵-۱۳۹۶ به ۱۳۳۴ متر کاهش پیدا کرده است و این یعنی فقط در ۳۱ سال اخیر ۱۵

متر کاهش تراز سطح آبی در این دشت وجود داشته است. کاهش در قسمت‌های مرکزی و شمالی دشت بیشتر بوده است.

ارتباط رویداد خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی با خشکسالی منابع آب زیرزمینی

برای بررسی اثر خشکسالی بر جریان‌های سطحی و آب زیرزمینی ابتدا به تأخیر در GRI محاسبه شده پرداخته شد. سپس ضریب همبستگی میان GRI و SPI در مقیاس‌های زمانی مختلف محاسبه شد که نتایج ضریب همبستگی SPI در مقیاس زمانی (۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۲۴ و ۴۸) با GRI‌های تأخیر داده شده در جدول (۲) ارائه شده است. در جدول (۳) همبستگی شاخص SRI در مقیاس زمانی (۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۲۴ و ۴۸) با GRI‌های تأخیر داده شده منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است. سپس آزمون t نیز برای بررسی ارتباط بین خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی انجام گرفت. مقدار P-value به دست آمده از آزمون در جدول (۲) و (۳) قابل مشاهده است.

جدول (۲): ارتباط شاخص SPI در گام‌های زمانی مختلف با شاخص GRI در دشت سلماس

Table (2): Communication between SPI Index at Different time Steps with the GRI Index in Salmas plain

SPI GRI		SPI-1	SPI-3	SPI-6	SPI-9	SPI-12	SPI-24	SPI-48
بدون تأخیر	R	0.044	0.017	0.023	0.043	0.068	0.075	0.177*
	P-value	0.756	0.923	0.960	0.942	0.922	0.255	0.011
تأخیر یک‌ماهه	R	0.038	0.011	0.015	0.033	0.059	0.068	0.181*
	P-value	0.936	0.991	0.968	0.963	0.998	0.309	0.015
تأخیر دو‌ماهه	R	0.034	0.004	0.006	0.023	0.049	0.062	0.186*
	P-value	0.991	0.937	0.887	0.866	0.902	0.371	0.021
تأخیر سه‌ماهه	R	0.029	-0.004	-0.002	0.013	0.038	0.056	0.191*
	P-value	0.933	0.860	0.820	0.780	0.801	0.440	0.029
تأخیر چهارماهه	R	0.031	-0.009	-0.011	0.003	0.026	0.050	0.196*
	P-value	0.944	0.798	0.755	0.708	0.708	0.516	0.040
تأخیر پنج‌ماهه	R	0.032	-0.010	-0.018	-0.006	0.016	0.045	0.200*
	P-value	0.906	0.767	0.700	0.641	0.626	0.594	0.054
تأخیر شش‌ماهه	R	0.032	-0.010	-0.024	-0.014	0.007	0.039	0.204*
	P-value	0.846	0.737	0.640	0.590	0.556	0.674	0.073
تأخیر هفت‌ماهه	R	0.035	-0.008	-0.027	-0.020	-0.002	0.032	0.207*
	P-value	0.834	0.711	0.603	0.548	0.504	0.755	0.096

* همبستگی معنی‌دار در سطح ۵ درصد، اعداد پررنگ با توجه به آزمون t ارتباط معنی‌دار را نشان می‌دهند.

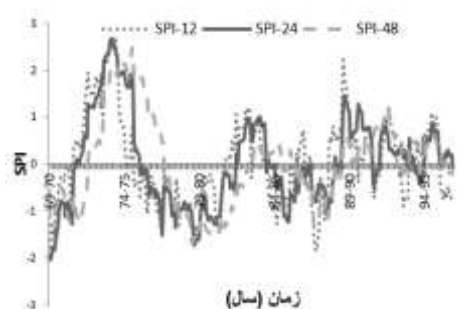
جدول (۳): ارتباط شاخص SRI در گام‌های زمانی مختلف با شاخص GRI در دشت سلماس

Table (3): Communication between SRI Index at Different time Steps with GRI Index in Salmas plain

SRI GRI		SRI-1	SRI-3	SRI-6	SRI-9	SRI-12	SRI-24	SRI-48
بدون تأخیر	R	0.597*	0.627*	0.650*	0.670*	0.690*	0.765*	0.856*
	P-value	0.582	0.512	0.439	0.398	0.395	0.071	0.003
تأخیر یک‌ماهه	R	0.591*	0.622*	0.645*	0.664*	0.684*	0.760*	0.854*
	P-value	0.637	0.567	0.247	0.196	0.178	0.001	< 0.0001
تأخیر دو‌ماهه	R	0.585*	0.616*	0.639*	0.657*	0.677*	0.755*	0.852*
	P-value	0.549	0.431	0.309	0.256	0.236	0.002	< 0.0001
تأخیر سه‌ماهه	R	0.571*	0.601*	0.625*	0.645*	0.664*	0.745*	0.847*
	P-value	0.625	0.514	0.384	0.328	0.306	0.005	< 0.0001
تأخیر چهارماهه	R	0.563*	0.593*	0.618*	0.638*	0.656*	0.739*	0.844*
	P-value	0.719	0.604	0.468	0.405	0.388	0.010	< 0.0001
تأخیر پنج‌ماهه	R	0.556*	0.584*	0.609*	0.630*	0.649*	0.733*	0.841*
	P-value	0.830	0.698	0.559	0.489	0.480	0.021	< 0.0001
تأخیر شش‌ماهه	R	0.551*	0.578*	0.601*	0.622*	0.642*	0.727*	0.838*
	P-value	0.993	0.880	0.741	0.674	0.675	0.065	< 0.0001
تأخیر هفت‌ماهه	R	0.547*	0.572*	0.595*	0.615*	0.635*	0.721*	0.835*
	P-value	0.926	0.961	0.825	0.762	0.768	0.104	< 0.0001

* همبستگی معنی‌دار در سطح ۵ درصد، اعداد پررنگ با توجه به آزمون t ارتباط معنی‌دار را نشان می‌دهند.

دوره‌های خشکسالی و ترسالی در دو شاخص SPI و SRI از لحاظ شروع و پایان خشکسالی تقریباً مشابه بوده اما تغییرات شاخص SRI با شدت کمتری بوده ولی در SPI تغییرات با شدت بیشتری بوده و با کوچک‌ترین تغییر در نوسان بارندگی از شدت خشکسالی کاسته و یا افزوده شده است. شکل (۴) تغییرات شاخص GRI و سطح آب زیر زمینی در دشت سلماس را نشان می‌دهد. در شکل (۵) نیز نمودار بهترین همبستگی بین شاخص‌های خشکسالی دشت مورد مطالعه ترسیم شده است.



شکل (۲): روند تغییرات شاخص SPI در حوضه دشت سلماس در

طول دوره آماری ۱۳۶۹-۱۳۷۰ تا ۱۳۹۵-۱۳۹۶

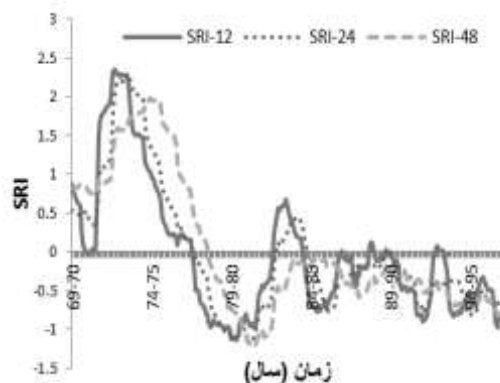
Figure (2): The trend of changes in the SPI index in the Salmas plain basin during the statistical period of 1990-2017

ابتدا شاخص‌های خشکسالی SPI و SRI در مقیاس‌های زمانی (۳، ۶، ۹، ۱۲، ۲۴ و ۴۸) و GRI محاسبه شد، سپس به منظور بررسی رابطه خشکسالی به دو صورت عمل شد: ابتدا شاخص SPI حاصل از میانگین ایستگاه‌های باران‌سنجی دشت سلماس با GRI میانگین پیزومترهای دشت مقایسه شد؛ در حالت دوم SRI حاصل میانگین منطقه با GRI متوسط دشت مقایسه شد. در نهایت ارتباط SPI و GRI، SRI و GRI نیز با استفاده از همبستگی پیرسون با بهره‌گیری از نرم‌افزار Xistat محاسبه شد. سپس نمودار بهترین همبستگی ترسیم شد. طبق اصول کلی، در محاسبه میانگین متحرک با افزایش مقیاس زمانی از سه‌ماهه به ۴۸ ماهه میزان نوسانات خشکسالی کمتر می‌شود، از این رو برای نشان دادن وضعیت کلی خشکسالی هواشناسی در دشت سلماس، از مقیاس زمانی ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه استفاده شد. شکل (۲) روند خشکسالی‌ها و ترسالی‌های هواشناسی به وقوع پیوسته در طول دوره آماری در مقیاس زمانی ۱۲، ۲۴ و ۴۸ در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. در شکل (۳) خشکسالی و ترسالی‌های هیدرولوژیکی دشت سلماس در مقیاس‌های ۱۲، ۲۴ و ۴۸ نشان داده شده است. بر اساس نتایج تغییرات

شاخص در سال‌های ۱۳۷۷-۱۳۸۲ و ۱۳۸۷-۱۳۸۹ خشکسالی در منطقه مورد نظر را نشان می‌دهد. شاخص خشکسالی SRI فقط برای سه ایستگاه بالادست سد محاسبه شده است. برای اینکه میزان دبی تحت تأثیر سد قرار نگیرد و با توجه به نمودارهای بالا در این ایستگاه در سال‌های ۱۳۸۰-۱۳۹۶ در وضعیت خشکسالی قرار دارد. تداوم دوره خشکسالی مربوط به همین دوره بوده است. شاخص خشکسالی GRI برای متوسط تراز آب زیرزمینی دشت سلماس آورده شده است که شاخص GRI از سال ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۶ خشکسالی در آب‌های زیرزمینی دشت سلماس را نشان می‌دهد.

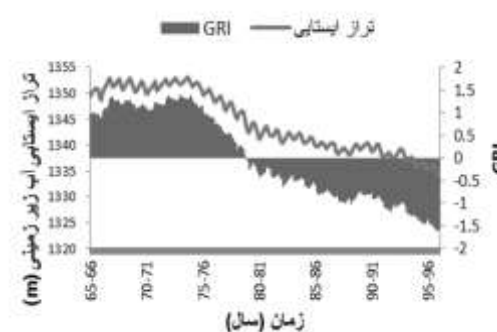
بحث و نتیجه‌گیری

دشت سلماس یک منطقه حساس از نظر خشکسالی در حوضه دریاچه ارومیه است و با توجه به توسعه کشاورزی در این منطقه و بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی برای مصارف کشاورزی و حتی شرب، بی‌شک یکی از عوامل افت سطح آب سفره‌های زیرزمینی، استفاده از این منابع و فشار بیش از حد به دلیل کاهش و حتی خشک شدن منابع آب سطحی برای تأمین آب برای بخش‌های مختلف است. بارندگی تنها داده مورد نیاز در بررسی خشکسالی با استفاده از شاخص SPI است. در بررسی تأثیر خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی بر آب‌های زیرزمینی با وجود بالا بودن رابطه همبستگی و معنی‌دار بودن آزمون جفتی دو پارامتر SPI با GRI، SRI می‌توان گفت که آب زیرزمینی تحت تأثیر عوامل دیگری نیز قرار گرفته است. با توجه به اینکه در نمودار SPI و SRI در سال‌های اخیر ترسالی‌های مشاهده می‌شود، ولی در نمودار GRI در سال‌های اخیر هیچ ترسالی مشهود نیست و این نشانگر این است که با توجه به ترسالی‌های اخیر خشکسالی آب زیرزمینی جبران نشده است و سیر نزولی آن ادامه دارد. نتایج بررسی رابطه بین زوج شاخص‌های خشکسالی نشان می‌دهد که خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در دشت سلماس همزمان اتفاق نمی‌افتد. با توجه به جدول‌های (۲) و (۳) درمی‌یابیم خشکسالی هواشناسی و خشکسالی هیدرولوژیکی در دشت سلماس به‌طور متوسط پس از گذشت یک سال بیشترین



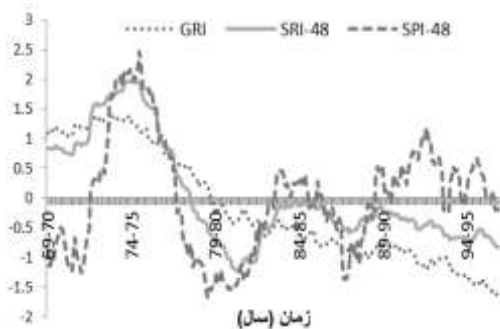
شکل (۳): روند تغییرات شاخص SRI در حوضه دشت سلماس در دوره آماری ۱۳۷۰-۱۳۶۹ تا ۱۳۹۵-۱۳۹۶

Figure (3): The trend of changes in SRI index in Salmas plain basin in the statistical period of 1990-2017



شکل (۴): روند تغییرات شاخص GRI و آب زیرزمینی در حوضه دشت سلماس در دوره آماری ۱۳۶۵-۱۳۶۶ تا ۱۳۹۵-۱۳۹۶

Figure 4: The trend of changes in the GRI index and groundwater in the Salmas plain basin in the statistical period of 1986-2017



شکل (۵): تغییرات شاخص‌های خشکسالی دشت سلماس
Figure (5): Salmas plain Drought Index Changes

با توجه به نتایجی که در شاخص‌های مختلف خشکسالی برای منطقه مورد مطالعه به دست آمده است می‌توان به نتایج کلی زیر در منطقه مورد مطالعه که در غرب دریاچه ارومیه است اشاره کرد:
شاخص خشکسالی SPI در کل منطقه نشان‌دهنده وجود خشکسالی با شدت متوسط در دوره آماری است. این

رواناب و پس از آن فرایند نفوذ و پیوستن آن به منابع آب زیرزمینی، عوامل دیگری از جمله ساختار زمین‌شناسی منطقه و میزان نفوذپذیری سازندهای موجود در منطقه نیز نقش مهمی ایفا می‌کنند. با توجه با نتایج به‌دست‌آمده می‌توان گفت که خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی و زیرزمینی در دشت وجود داشته، ولی خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی به‌صورت مکرر با نوسان زیاد به وقوع پیوسته و خشکسالی آب زیرزمینی روند کاهشی داشته است و با گذشت زمان، شرایط خشکسالی هیدرولوژیکی منابع زیرزمینی روند شدیدتری پیدا کرده است. در حالت کلی، آب زیرزمینی در ابتدای دوره آماری مورد مطالعه در بیشترین مقدار و در اواخر دوره آماری در کمترین مقدار خود بوده است. با توجه به این موضوع می‌توان گفت که آب زیرزمینی علاوه بر خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی تحت‌تأثیر عوامل دیگری قرار داشته است که نقش این عوامل از خشکسالی بیشتر بوده است چون ترسالی‌های اخیر نیز خشکسالی آب زیرزمینی را جبران نکرده است. نتایج تحقیق در منطقه نشان داد که بین خشکسالی هواشناسی و زیرزمینی تأخیر یک‌ماهه و بین خشکسالی هیدرولوژیکی و زیرزمینی تأخیر شش‌ماهه وجود دارد. وقوع یک سال کم باران حتی با وجود باران در حد نرمال در یک سال بعد می‌تواند اثرات بدی بر منابع آب زیرزمینی بگذارد.

تأثیر را بر آب زیرزمینی دارد. نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش با نتایج پژوهش‌های انجام‌شده صیف و همکاران (۲۰۱۲) در آبخوان فسا، شکیبا و همکاران (۲۰۱۰) در شرق استان کرمانشاه، آل بوعلی و همکاران (۲۰۱۶) در دشت کاشان، چمن‌پیرا و همکاران (۲۰۱۴) در دشت الشتر مطابقت دارد. تغییرات سطح ایستابی بسیاری از آبخوان‌ها که تحت‌تأثیر عواملی چون بارندگی و پساب‌های کشاورزی است از الگوهای فصلی و سالانه تبعیت می‌کند (تاد، ۱۹۸۰). بر اساس نتایج از ابتدای دوره آماری مورد مطالعه تا سال ۱۳۷۹ خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی و آب زیرزمینی رابطه مستقیم با هم دارند؛ اما از سال ۱۳۷۹ به بعد، علی‌رغم وضعیت مطلوب بارندگی، سطح آب زیرزمینی در وضعیت مطلوبی قرار ندارد که دلیل آن می‌تواند بهره‌برداری بیش از حد از آب زیرزمینی باشد. نتایج مشابه این بخش گزارش در یافته‌های عباس‌نژاد و شاهی‌دخت (۲۰۱۲) قابل ملاحظه است، به‌طوری که علاوه بر عامل خشکسالی، تأثیر برداشت بیش از حد از آبخوان به‌عنوان عامل اصلی افت آب سطح سفره در دشت سیرجان معرفی شده است.

به‌طور کلی، نتایج محاسبات انجام‌شده روی سه شاخص SPI، GRI و SRI در دشت سلماس، نشان‌دهنده آن است که شاخص‌های هیدرولوژیکی نمی‌توانند با شاخص‌های خشکسالی هواشناسی هم‌زمانی وقوع داشته باشند؛ زیرا در تبدیل فرایند بارش به‌عنوان اصلی‌ترین شاخص هواشناسی به

منابع

1. Abbasnejad, A., and Shahidokht, A., 2013. Study of the vulnerability of Sirjan plan with attention to over extraction of groundwater. *Geography and Territorial Spatial Management*, 3(7), 85-96.
2. Aleboali, A., Ghazavi, R., and Satatinejad, S. 2016. Study the effects Of Drought on Groundwater Resources using SPI Index (A Case Study: Kashan Plain), *Desert Ecosystem Engineering Journal*, 10, 13-22. (In persian)
3. Bloomfield, J. P., and Marchant, B.P., 2013. Analysis of groundwater drought building on the standardized precipitation index approach, *Hydrology and Earth System Sciences*, 17 (12), 4769-4787.
4. Chamanpira, G. h., Zehtabian, G. h., Ahmadi, H., and Malekian, A., 2014. Effect of Drought on Groundwater Resources; a Study to Optimize Utilization Management (Case Study: Alashtar Plain), *Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences*, 3, 48-56.
5. Edwards, D. C., and McKee, T. B., 1997. Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales. *Climatology Report No. 97-2*, Colorado State Univ., Ft. Collins, CO.
6. Ghazavi, R., and Ramezani, M., 2017. Investigation the Effects of Precipitation Change and Groundwater Overextraction on

- Both Quantitative and Qualitative Changes of Groundwater (Rafsanjan Plain). *Journal of Hydrogeomorphology*, 3(12), 111-129.
7. Imani, M., and Talebi, A., 2011. Effects of drought on groundwater level changes Yazd Bahabad plain using indicators SPI & GRI. 4th conference of Iran Water Resources Management, 3 May, University of AmirKabir, Tehran, Iran. (In Persian).
 8. Khan, M.A. and Gadiwala, M.S. 2013. A Study of Drought over Sindh (Pakistan) Using Standardized Precipitation Index (SPI) 1951 to 2010. *Pakistan Journal of Meteorology*, 9(18): 15-22.
 9. McKee, T. B., Doesken, N. J., and Kleist, J., 1995. Drought monitoring with multiple time scales. 9th Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society, Jan 15-20, Dallas TX.
 10. Mendocino, G., and Senatore, A., 2008. A Groundwater resource index (GRI) for drought monitoring and forecasting in a Mediterranean climate. *Journal of Hydrology*, 357, 282-302.
 11. Mohammadi, H., and Shamsipour, A., 2003. The impact of recent droughts in the loss of groundwater resources in northern plains of Hamadan. *Geographical Research*, 45, 115-130 (in Persian).
 12. Naserzadeh, M., and Ahmadi E., 2012. Meteorological drought indices in assessing the performance of the drought and its zoning in Qazvin. *Applied Research of GIS (Geographical Sciences)*, 12(27): 141-162
 13. Pearson, K., 1895. Notes on regression and inheritance in the case of two parents, *Proceedings of the Royal Society of London*, 58, 240-242.
 14. Sassanifar, S., and Nemiranian, M., 2017. Survey equality of two instrument of measurement set of distance and azimuth (Trupulse 360) and sonto Clinometers in measurement of tree height. *Jouranal manegment system*, 6(1), 15-26. (in Persian)
 15. Seif, M., Mohammadzade, H., and Mosaedi, A., 2012. Assess the impact of drought on groundwater resources in Fasa aquifer using Standardized Precipitation Index, a measure of electrical conductivity of groundwater resources. *Journal of Water Resources*, 5, 45-59.
 16. Shakiba, A.R., Mirbagheri, B., and Kheiri, A., 2010. Drought and its impact on groundwater resources in the East of Kermanshah province using the index SPI, *Journal of science & Research of Iran Geographic Society's*, 25, 105-124. (In Persian)
 17. Shukla, S.H., and Wood, A.W. 2008. Use of a standardized runoff index for characterizing hydrologic drought, *Geophysical Reasearch letters*, 35 (2), 41-46.
 18. Tood, D.K., 1980. *Groundwater hydrology*. California, Berkeley, 535 pages
 19. Yassamani, S., Mohammadzadeh H., Mosaedi. A., 2012. Effect of drought on groundwater levels in Torbatjam plain using SPI and GRI indices. 6th Congress of Geological Society of Iran (p.7). Shiraz: Shiraz University (in Persian)

Meteorological and hydrological drought communication in Salmas Plain

Fatemeh Shaker Sureh¹, Esmail Asadi^{2*}

Received: 16/07/2018

Accepted: 19/02/2019

Extended abstract

Introduction: The occurrence of droughts in a region is closely related to water supply. Since water supply in each region is related to the climatic regime of that area, so the definition of droughts varies according to the conditions of each region. Drought can be attributed to a period of abnormally dry conditions that is sufficiently long to produce an imbalance in the hydrologic state of an area. Monitoring systems play an important role in the management of drought plans. The beginning of droughts is due to the occurrence of the meteorological drought caused by the precipitation shortages. The hydrological droughts are usually more delayed than the meteorological or agricultural droughts.

Materials and Methods: The purpose of this study is investigating the effects of the meteorological and hydrological droughts of Salmas Plain on the fluctuations of the groundwater level in the period of 1986-2017. In this study, the data synoptic stations and hydrometric stations, as well as aquifer level of Salmas plain, were obtained from Regional Water Company of West Azerbaijan. After sorting the data, SPI, SRI and GRI drought indices were calculated. The effects of drought on the Groundwater fluctuations are investigated with calculating three indicators, Standardized Precipitation Index (SPI), Standardized Runoff Index (SRI) and Groundwater Resources Index (GRI) in the case study of Salmas plain. The Pearson correlation coefficient and Paired-Samples T Test were calculated between SPI and GRI, and SRI and GRI. These indicators are almost appropriate indicators for investigating the effects of drought on the groundwater resources.

Results: The results showed the significant relation between SPI-12 and SRI-1 with GRI index. These results indicate that meteorological drought has a significant relation with hydrologic drought, especially in the short-term scale and lags occur between the hydrological and groundwater drought. According to the results from the beginning of the statistical period of the study until 2009, the Meteorological and hydrological and groundwater droughts have a direct relations with each other; however, after 2009 despite the favorable condition of rainfall, groundwater level is not in a favorable situation, which can be because of the excessive water use of groundwater. SPI indicates a drought with a moderate intensity during the statistical period. This index shows the drought in the region during the years of 1998-2003 and 2008-2010. SRI was calculated only for three stations that located upstream of dams in the Salmas plain. According the SRI, the drought has happened in the period of 2001-2017. GRI in Salmas plain shows the groundwater drought from 2000 to 2017.

1. MSc in Water Resources Engineering, University of Tabriz

2. Assistant Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz; esasadi@gmail.com

DOI: 10.22052/deej.2018.7.22.59

Discussion and Conclusion: Salmas plain is a drought-sensitive region in Urmia lake basin and due to the development of agriculture in this region and the exploitation of the groundwater resources for agricultural and even drinking purposes. Undoubtedly, one of the reasons for Groundwater decline is the usage of these resources to provide water for various sectors. The groundwater drought has been influenced by the other factors more than the meteorological drought and hydrological drought. One of the reasons could be Groundwater depletion that is primarily caused by sustained groundwater pumping. Other factors such as the geological structure of the region and the soil permeability of the Case study also play a significant role. The results of the research in the region showed that there is a 1-Month delay between the meteorological drought and groundwater drought and the 6-Month delay between the hydrological drought and groundwater drought.

Keywords: Groundwater, Drought, Salmas Plain, SPI, SRI, GRI.