

تأثیر خشکسالی و تغییرات کاربری اراضی بر کمیت و کیفیت منابع آب زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت داراب)

محمدامین اسدی زارچ^{۱*}، فاطمه جم‌نژاد^۲، محمدرضا اختصاصی^۳، سید زین العابدین حسینی^۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۴/۲۸

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۱۳

چکیده

برداشت بخش قابل توجهی از آب شرب و کشاورزی از منابع آب زیرزمینی، باعث کاهش شدید ذخایر آب زیرزمینی در کشور شده است. با توجه به وقوع خشکسالی در مناطق مختلف کشور، پیش‌بینی می‌شود که این پدیده روی تغذیه آب‌های زیرزمینی تأثیر چشمگیری داشته باشد. از طرف دیگر، تغییرات کاربری اراضی و توسعه شهری و کشاورزی نیز به شدت منابع آب زیرزمینی را تهدید می‌کند. هدف از این تحقیق، بررسی تأثیر خشکسالی هواشناسی و تغییرات کاربری اراضی بر کمیت و کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت داراب در دوره آماری ۱۳۷۲-۱۳۹۶ است. در این تحقیق با استفاده از داده‌های بارش، سطح ایستابی و شوری آب‌های زیرزمینی، شاخص‌های GRI، SECI و SPI محاسبه شد. نقشه کاربری اراضی حوزه برای سال‌های ۱۳۸۰، ۱۳۸۸ و ۱۳۹۶ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای تهیه شد. طبقه‌بندی کاربری اراضی به صورت نظارت شده (Supervised Classification) و با روش حداکثر احتمال (Maximum likelihood) انجام شد. هرکدام از تصاویر به ۵ نوع کاربری شامل مناطق مسکونی، اراضی زراعی، باغات، مرتع و اراضی بایر طبقه‌بندی شد. مقایسه کاربری اراضی در طی سه سال مذکور نشان داد که تغییرات کاربری زراعی و باغی در سال ۱۳۸۸ نسبت به ۱۳۸۰ حدود ۰/۵۳٪ افزایش داشته، ولی در سال ۱۳۹۶ نسبت به سال ۱۳۸۸، ۱/۸۲٪ کاهش یافته است. در مرحله بعد، رابطه بین شاخص SPI و تغییرات کاربری اراضی با شاخص‌های GRI و SECI بررسی شد. نتایج نشان داد که خشکسالی‌های اقلیمی و تغییرات کاربری اراضی اخیر بر روی کمیت و کیفیت آب زیرزمینی دشت داراب اثر مستقیم داشته است؛ به طوری که در طی دوره آماری مذکور به طور متوسط حدود ۳۶ متر افت سطح آب در کل دشت اتفاق افتاده است. همچنین شوری آب زیرزمینی در حدود ۲۹۳ میکروموس بر سانتی‌متر افزایش یافته است. برای مقایسه بهتر نتایج، داده‌های آماری به سه دوره هشت‌ساله (۱۳۷۲-۱۳۸۰، ۱۳۸۱-۱۳۸۸، ۱۳۸۹-۱۳۹۶) تقسیم شد و میانگین شاخص‌های SPI، GRI، SECI و کاربری اراضی برای هر سه دوره به دست آمد. نتایج نشان داد افزایش شدت خشکسالی و افزایش کاربری اراضی زراعی و باغی در دوره دوم نسبت به اول باعث افت کمی و کیفی آب در این دوره نسبت به دوره قبل شده است (میانگین شاخص GRI از ۱/۰۳ در دوره اول به ۰/۰۸- در دوره دوم رسیده است که بیانگر کاهش برابر ۱/۱۱- می‌باشد)، اما کاهش شدت خشکسالی و کاهش کاربری زراعی و باغی در دوره سوم نسبت به دوم باعث کاهش شدت افت آب زیرزمینی در این دوره نسبت به دوره قبل شده است (میانگین شاخص GRI در دوره سوم به ۰/۹۳- رسیده است که نسبت به دوره دوم، کاهش برابر ۰/۸۵- را نشان می‌دهد).

کلیدواژه‌ها: خشکسالی، دشت داراب، کاربری اراضی، کمیت و کیفیت، منابع آب زیرزمینی.

۱. استادیار، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، نویسنده مسئول؛ amin.asadi@yazd.ac.ir

۲. دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشگاه یزد

۳. استادیار، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد

۴. استادیار، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد

این مقاله مستخرج از پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه یزد است.

مقدمه

برداشت از سفره‌های آب زیرزمینی اتفاق افتاده و افت حدود سه متری آب زیرزمینی را به دنبال داشته است.

سادات نوری و همکاران (۲۰۱۴) به منظور بررسی رابطه بین کاربری اراضی و کیفیت آب و همچنین رابطه بین عمق آب زیرزمینی و کیفیت به بررسی آب زیرزمینی در آبخوان ساوه با استفاده از شاخص کیفیت آب (WQI) و GIS پرداختند. نتایج نشان داد که کیفیت آب زیرزمینی برای مصرف شرب از غرب به شرق منطقه مورد مطالعه کاهش یافته است. عیسوی و رضایی (۲۰۱۴) با تحلیل تأثیر خشکسالی و تغییرات کاربری و پوشش اراضی بر تالاب‌های منطقه سولدوز به این نتیجه رسیدند که مساحت کلاس‌های کاربری و پوشش اراضی، در طی فاصله زمانی سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۳ تغییرات زیادی داشته‌اند. در طول بازه زمانی مورد مطالعه، کاهش شدید مساحت تالاب‌ها در سال ۲۰۰۰ رخ داده است که هم‌زمان با وقوع شدیدترین خشکسالی در فاصله زمانی مورد مطالعه نیز بوده است.

تاکنون چندین مطالعه بر روی تغییرات کمی و یا کیفی منابع آب زیرزمینی دشت داراب انجام شده است؛ فلاح و قبادی‌نیا (۲۰۱۲)، غفوری و همکاران (۲۰۱۲)، خورانی و خواجه (۲۰۱۴)، قائدی و آگاه (۲۰۱۸) و شجری و همکاران (۲۰۱۸) به بررسی تغییرات کمی و کیفیت منابع آب زیرزمینی داراب پرداختند. از بین مطالعات ذکر شده، تحقیقی که به صورت همزمان اثرات تغییرات کاربری و خشکسالی را بر روی هر دو ویژگی کمی و کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت داراب مطالعه کند، یافت نشد. بنابراین هدف از انجام این مطالعه، بررسی همزمان اثر خشکسالی‌های اقلیمی و تغییرات کاربری اراضی بر روی کمی و کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت داراب است. بدین منظور داده‌های بارش، سطح تراز و هدایت الکتریکی آب‌های زیرزمینی و تصاویر ماهواره‌ای دشت داراب برای محاسبه شاخص خشکسالی اقلیمی، شاخص‌های کمی (سطح) و کیفی (شوری) آب‌های زیرزمینی و تهیه نقشه کاربری اراضی مورد استفاده قرار گرفتند.

خشکسالی پدیده‌ای طبیعی است که بسته به شدت و تداوم آن، ممکن است در نواحی خشک و نیمه‌خشک اثرات قابل توجهی را در پی داشته باشد. خشکسالی بر بسیاری از منابع حوزه‌های آبخیز از جمله آبدهی و رسوب‌دهی رودخانه‌ها، آبدهی چاه‌ها و قنات‌ها، سطح سفره‌های آب زیرزمینی، تراکم پوشش گیاهی و رسوب‌دهی دامنه‌ها اثر می‌گذارد. پاسخ هیدرولوژیک حوزه آبخیز به رخداد‌های خشکسالی به ویژگی‌های خشکسالی حادث شده و حوزه مورد نظر بستگی دارد. تحقیق در این زمینه به منظور مدیریت هرچه بهتر منابع آب سطحی و زیرزمینی برای کاهش خسارت‌های خشکسالی و یا مدیریت خطر خشکسالی حائز اهمیت می‌باشد (اکرامی و همکاران، ۲۰۱۳).

علاوه بر خشکسالی، تغییرات کاربری اراضی نیز باعث تغییر در چرخه هیدرولوژیکی حوزه آبخیز شده و در نتیجه باعث برهم خوردن تعادل بین بارش، تبخیر، نفوذپذیری خاک و مقدار رواناب می‌شود (فرخزاد و همکاران، ۲۰۱۶). هر دو پدیده خشکسالی و تغییرات کاربری اراضی علاوه بر کمیت منابع آب، کیفیت این منابع را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهند. بنابراین به منظور درک صحیح تغییرات کمی و کیفی منابع آب در شرایط خشکسالی، در نظر گرفتن تغییرات کاربری اراضی نیز ضروری است.

تاکنون مطالعات متعددی بر روی اثرات خشکسالی و تغییر کاربری اراضی بر روی کمی و کیفیت منابع آب زیرزمینی انجام شده است. مقیمی و همکاران (۲۰۱۷) ارزیابی اثرات خشکسالی هواشناسی بر تغییرات سطح ایستابی دشت بیجار استان کردستان را بررسی کردند. نتایج نشان داد که هرچند خشکسالی بر روی تغییرات سطح ایستابی تأثیر داشته، تأثیر فعالیت‌های انسانی از قبیل استفاده بیش از حد کشاورزان از منابع آب و برداشت‌های بی‌رویه و حفر چاه‌های غیرمجاز از خشکسالی بیشتر بوده است. زینالی و همکاران (۲۰۱۵) با بررسی تأثیر خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی بر ویژگی‌های کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی دشت مرند به این نتیجه رسیدند که به منظور جبران نیاز آبی دشت، افزایش

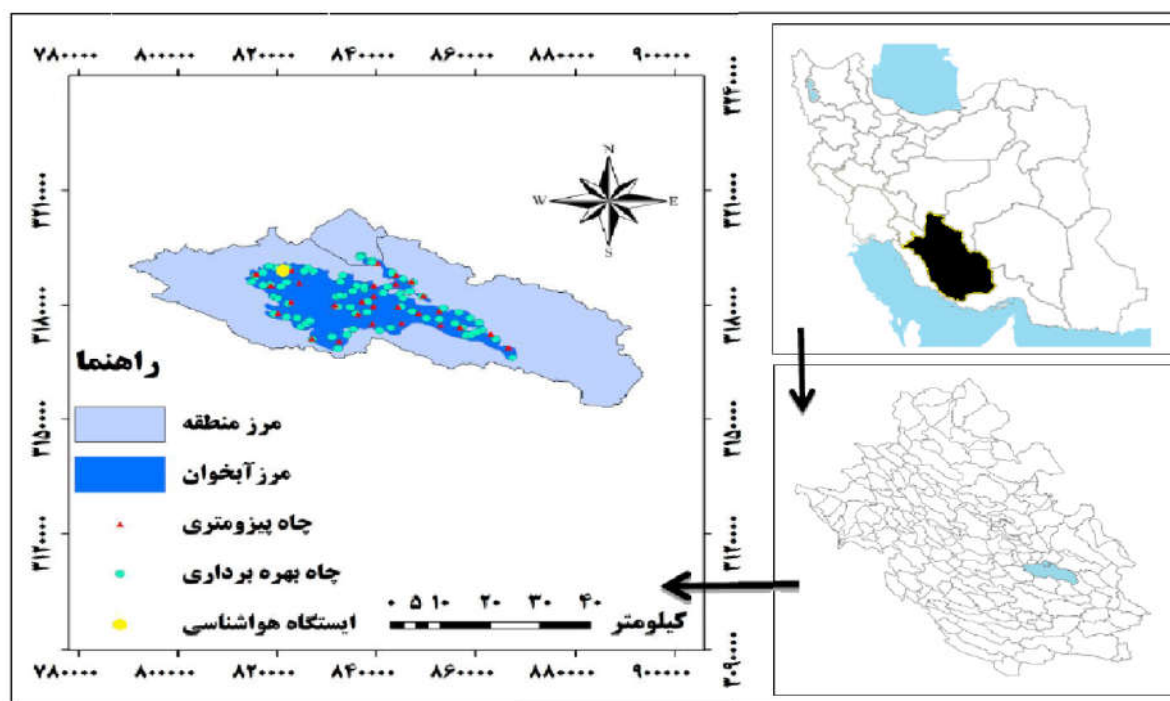
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

داراب یکی از شهرهای باستانی است که در جنوب شرقی فارس قرار دارد. این محدوده از شمال به محدوده‌های نیریز-استهبان از شرق به محدوده‌های سرکوه و فرگ-رستاق از جنوب به محدوده‌های زرین‌دشت-لار و از غرب به محدوده فسا محدود می‌شود. محدوده مورد مطالعه بین طول‌های جغرافیایی $53^{\circ} 58' 01''$ تا $55^{\circ} 01'$ شرقی و عرض‌های $28^{\circ} 26'$ تا $28^{\circ} 55'$ شمالی واقع شده است. ارتفاع متوسط منطقه از سطح دریا ۱۱۱۰ متر و متوسط بارش سالانه آن بر اساس آمار اداره کل هواشناسی فارس ۲۷۵ میلی‌متر است (خورانی و خواجه، ۲۰۱۴). متوسط دمای سالانه دشت حدود ۲۲ درجه سانتی‌گراد است. شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان فارس و ایران را نمایش می‌دهد.

منطقه داراب با توانمندی بالقوه‌ای که در زمینه کشاورزی

دارد، یکی از قطب‌های بزرگ کشاورزی و باغداری (به‌ویژه مرکبات) در استان فارس است. بدین سبب توسعه بهره‌برداری از منابع آب همواره مورد نظر بخش کشاورزی بوده است. میانگین بارش منطقه حدود ۲۵۰ میلی‌متر است. به دلیل توزیع نامناسب بارش، نیاز آبی حدود ۷۰۰۰۰ هکتار محصولات باغی و زراعی عمدتاً توسط برداشت از منابع آب زیرزمینی تأمین می‌شود (غفوری و همکاران، ۲۰۱۲). در چند دهه گذشته، دشت داراب با افت سطح آب زیرزمینی مواجه شده است. تضعیف منابع آب زیرزمینی در این دشت باعث خشکیدن تعدادی از چشمه‌ها و قنات‌های تاریخی همانند چشمه سار نقش شاپور شده است. بنابراین مطالعه اثرات خشکسالی و تغییرات کاربری اراضی بر روی کمیت و کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت داراب می‌تواند نتایج مفیدی را در جهت درک بهتر علل وقوع تغییرات مشاهده شده ارائه کند.



شکل (۱): موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران و استان فارس

Figure (1): Location of the study area in Iran and in Fars Province

شاخص‌های مورد استفاده در تحقیق

یکی از اقدام‌های مهم و اساسی در مطالعات خشکسالی در هر منطقه، تعیین شاخص‌هایی است که بتوان بر اساس آن‌ها میزان، شدت و تداوم خشکسالی را در یک منطقه ارزیابی کرد.

به منظور پایش خشکسالی، شاخص‌های مختلفی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این شاخص‌ها با توجه به هدف مطالعه بر مبنای تعاریف خشکسالی و یا روش محاسبه‌ای که در آن از یک یا چند پارامتر هواشناسی و یا هیدرولوژیکی استفاده شده، به

$$A = \ln(\overline{x_k}) - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln((x_k)_i) \quad (5)$$

در رابطه (۵)، n تعداد مشاهدات بارش را نشان می‌دهد. احتمال تجمعی بارندگی در مقیاس زمانی مورد نظر از رابطه (۶) به دست می‌آید.

$$G(x_k) = \int_0^{x_k} g(x_k) dx_k = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \int_0^{x_k} x_k^{\alpha-1} e^{-x_k/\beta} dx_k \quad (6)$$

با استفاده از رابطه (۷) و با فرض $t = x_k / \beta$ احتمال تجمعی به تابع گامای ناقص تبدیل می‌شود.

$$G(x_k) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_0^t t^{\alpha-1} e^{-t} dt \quad (7)$$

در مواردی ممکن است توزیع بارندگی دارای مقادیر صفر باشد ($x_k=0$)، درحالی‌که تابع گاما برای مقادیر صفر تعریف نشده است، در چنین مواردی، احتمال تجمعی با استفاده از رابطه (۸) محاسبه می‌شود.

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

در رابطه (۸)، q احتمال بارندگی صفر است و $H(x_k)$ مقادیر انتقال داده‌شده به نمره Z با استفاده از تقریب آبراموویتز و استوگان^۴ (۱۹۶۵) است که برای مقادیر $0 < H(x_k) < 0.5$ و در صورتی که $0.5 < H(x_k) < 1.0$ باشد، از رابطه (۹) استفاده می‌شود. این تقریب احتمالات تجمعی را به متغیر تصادفی نرمال استاندارد SPI تبدیل می‌کند (ابرقویی و همکاران، ۲۰۱۳).

$$Z = RDI = -\left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}\right), \quad (9)$$

$$t = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{H(x_k)^2}\right)}$$

$$Z = RDI = \left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}\right) \quad (10)$$

$$t = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(1-H(x_k))^2}\right)}$$

که ضرایب مربوط در روابط (۹) و (۱۰) برابرند با:

دست آمده‌اند. در این مطالعه از شاخص‌هایی استفاده شده که بر مبنای مهم‌ترین پارامتر هواشناسی (بارندگی) و پارامتر هیدروژئولوژیکی (سطح ایستایی چاه‌های پیزومتری) محاسبه می‌شوند.

شاخص بارندگی استاندارد (SPI)

شاخص SPI برای هر منطقه بر اساس ثابت بارندگی‌های طولانی مدت آن محاسبه می‌شود. در ابتدا توزیع آماری مناسب بر آمار بلندمدت بارندگی برازش داده می‌شود؛ معمولاً برای این کار توزیع گاما در نظر گرفته می‌شود، سپس تابع تجمعی توزیع با استفاده از احتمالات مساوی به توزیع نرمال تبدیل می‌گردد (مک کی^۲ و همکاران، ۱۹۹۳؛ سون میز^۳ و همکاران، ۲۰۰۵). با توجه به سوابق پژوهش‌های صورت گرفته، مشخص می‌شود که توزیع احتمال بارش یک ایستگاه معمولاً از توزیع گاما پیروی می‌کند که تابع چگالی احتمال این توزیع به صورت رابطه (۱) است (اسدی زارچ و همکاران، ۲۰۱۵a؛ مصطفی‌زاده و ذبیحی، ۲۰۱۶):

$$g(x_k) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x_k^{\alpha-1} e^{-x_k/\beta}, X > 0 \quad (1)$$

در این رابطه، $\alpha > 0$ پارامتر شکل، $\beta > 0$ پارامتر مقیاس، X مجموع بارندگی در مقیاس زمانی k می‌باشد. همچنین $\Gamma(\alpha)$ تابع گاما است که بر اساس رابطه (۲) به دست می‌آید:

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^\infty y^{\alpha-1} e^{-y} dy \quad (2)$$

با استفاده از روش حداکثر درست‌نمایی می‌توان مقادیر بهینه α و β را به ترتیب بر اساس روابط (۳) و (۴) به دست آورد.

$$\alpha = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}}\right) \quad (3)$$

$$\beta = \frac{\overline{x_k}}{\alpha} \quad (4)$$

پارامتر A در رابطه (۳) از رابطه (۵) برآورد می‌شود.

1. Standardized Precipitation Index
2. Mckee
3. Sonmez

4. Abramowitz & Steguntz

نام شاخص هدایت الکتریکی معیارشده (SECI) می باشد که برای اولین بار صیف و همکاران در سال ۱۳۹۰ به کار بردند. با معرفی شاخص هدایت الکتریکی معیارشده (SECI) به بررسی روابط بین شاخص های خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی با شاخص مذکور می پردازیم. شاخص SECI یا شاخص هدایت الکتریکی معیارشده، مانند شاخص بارش استاندارد بوده که قبلاً ذکر شد، با این تفاوت که در این شاخص از عامل هدایت الکتریکی به جای بارش استفاده می شود.

$$SECI = \frac{EC_i - \overline{EC}}{\sigma} \quad (12)$$

که EC شوری (هدایت الکتریکی) سال مفروض، \overline{EC} متوسط شوری (هدایت الکتریکی) و δ انحراف معیار شوری (هدایت الکتریکی) می باشد (بیگنه^۳، ۲۰۱۳).

استخراج نقشه های کاربری اراضی

در این تحقیق از داده های سنجنده های TM، ETM+، OLI ماهواره لندست استفاده شد. در تهیه نقشه های کاربری اراضی و تغییرات آن ها به ویژه در مناطقی که پوشش های گیاهی نقش عمده ای دارند، انتخاب زمان مناسب تصاویر، بسیار مهم است. داده های مربوط به ترتیب شامل تصاویر سنجنده ETM+ به تاریخ تصویربرداری ۲۰۰۱ و تصاویر سنجنده TM مربوط به تاریخ ۲۰۰۹ و تصاویر سنجنده OLI به تاریخ ۲۰۱۷ می باشد. از بین روش های تجزیه و تحلیل تصاویر، باید روشی انتخاب شود که نقشه های کاربری دقیق حاصل شود. در نتیجه بتوان بر اساس آن ها تغییرات گذشته کاربری ها و پیش بینی تغییرات در آینده را به درستی ارائه داد. با توجه به ویژگی های منطقه، انواع کاربری و پوشش موجود، چگونگی پراکنش و الگوی مکانی آن ها، تشابه بازتاب طیفی بعضی از پوشش ها، روش تجزیه و تحلیل خودکار نمی تواند نتایج مطمئنی ارائه دهد. لذا برای دستیابی به یک طبقه بندی با دقت مناسب در منطقه مذکور، طبقه بندی کاربری اراضی به صورت نظارت شده (Supervised Classification) و با روش حداکثر احتمال (Maximum likelihood) صورت گرفت. هرکدام از تصاویر به ۵ نوع کاربری شامل مناطق مسکونی، اراضی زراعی، باغات، مرتع و اراضی بایر طبقه بندی شدند. پس از این فرایند، از نرم افزار

$c_0 = 2.515517$, $c_1 = 0.802853$, $c_2 = 0.010328$,
 $d_1 = 1.432788$, $d_2 = 0.189269$, $d_3 = 0.001308$
 بدین ترتیب SPI نمرة Z است که به صورت نرمالیزه شده می باشد و مقدار انحرافات بالاتر و یا پایین تر از میانگین را نشان می دهد. جدول (۱) نشان دهنده طبقات خشکسالی بر اساس شاخص SPI است (مک کی و همکاران، ۱۹۹۳).

جدول ۱: طبقه بندی شدت شاخص SPI

طبقه بندی خشکسالی	مقدار شاخص SPI
۲ و بیشتر از آن	به شدت مرطوب
۱/۵ تا ۱/۹۹	خیلی مرطوب
۱ تا ۱/۴۹	نسبتاً مرطوب
۰ تا ۰/۹۹	مرطوب ملایم
۰ تا ۰/۹۹	خشکسالی ملایم
-۱ تا -۱/۴۹	نسبتاً خشک
-۱/۵۰ تا -۱/۹۹	خیلی خشک
-۲ و کمتر از آن	به شدت خشک

شاخص منابع آب زیرزمینی GRI

شاخص منبع آب زیرزمینی GRI در سال ۲۰۰۸ توسط مهندسین و سناتور^۱ در کالابریای ایتالیا ایجاد و مورد آزمایش قرار گرفت. این شاخص می تواند برای ارزیابی وضعیت مخزن سفره آب زیرزمینی و همچنین ارزیابی واقعی از میزان ذخیره آبخوان به کار رود. این شاخص در مقیاس ماهانه و سالانه قابل محاسبه بوده و از نتایج آن می توان برای پیش بینی اهداف و تصمیم گیری های مدیریت آبخوان استفاده کرد. این شاخص از رابطه زیر محاسبه می شود.

$$GRI_{y,m} = \frac{D_{y,m} - \mu_{D,m}}{\delta_{D,m}} \quad (11)$$

که در این رابطه، $GRI_{y,m}$ رقم شاخص در ماه m از سال y و $D_{y,m}$ رقم سطح آب زیرزمینی در ماه m از سال y می باشد. $\delta_{D,m}$ و $\mu_{D,m}$ به ترتیب میانگین و انحراف معیار داده های سطح آب زیرزمینی ماه m برای D سال است. طبقه بندی شاخص GRI نیز مانند شاخص SPI می باشد که در جدول بالا ارائه شده است (مهندسین و همکاران، ۲۰۰۸).

شاخص هدایت الکتریکی معیارشده^۲ (SECI)

در این تحقیق یکی از شاخص های مورد استفاده، شاخصی به

1. Mendicino & Senatore
 2. standardized electrical conductivity index

3. Bighonah

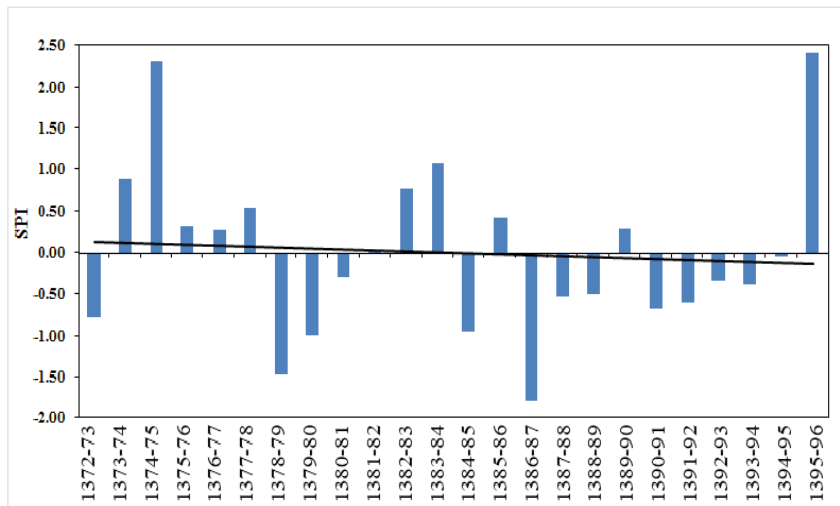
ArcGIS10.2 برای محاسبه کاربری‌ها و نقشه خروجی مورد نظر استفاده شد. تغییرات کاربری اراضی در منطقه مورد مطالعه با توجه به نقشه‌های خروجی به دست آمده مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفت.

نتایج و بحث

برآورد خشکسالی اقلیمی با استفاده از شاخص SPI در مقیاس سالانه

شکل (۲) نوسانات شاخص SPI و همچنین خط روند آن را در ایستگاه سینوپتیک داراب در طول دوره مطالعه نمایش می‌دهد. تطویل آمار بارش ایستگاه سینوپتیک داراب از طریق

برقراری روابط رگرسیونی با ایستگاه باران‌سنجی گوزون انجام شد. نتایج نشان می‌دهد که طی دوره آماری مورد مطالعه (۱۳۷۲-۱۳۹۶)، سال آبی ۱۳۹۵-۱۳۹۶ مرطوب‌ترین سال با مقدار ۲/۴ و سال آبی ۱۳۸۶-۱۳۸۷ به عنوان خشک‌ترین سال در طول دوره مورد بررسی با مقدار ۱/۸۰- به دست آمده است. همچنین روند تغییرات نمودار بیانگر تکرار دوره‌های خشکسالی و ترسالی به صورت نوسانات سینوسی در منطقه است. خط روند مقادیر SPI نشان می‌دهد شدت خشکسالی در منطقه دارای روند افزایشی ملایمی است.



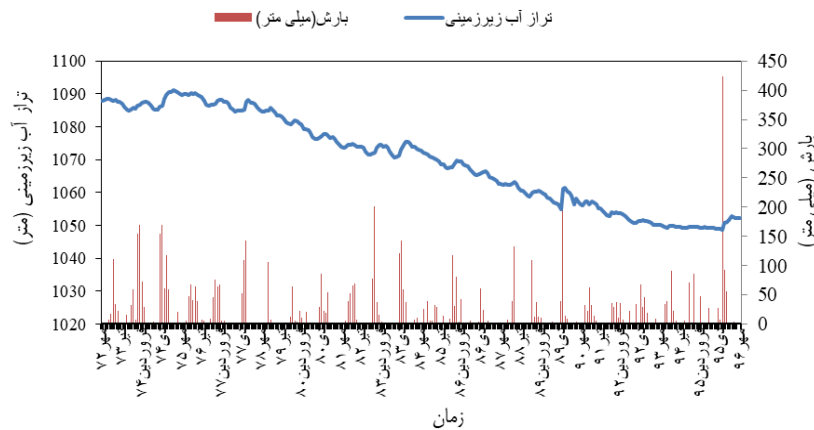
شکل (۲): مقادیر سالانه شاخص SPI و خط روند آن در ایستگاه سینوپتیک داراب (۱۳۷۲-۱۳۷۳ تا ۱۳۹۵-۱۳۹۶)

Figure (2): Annual values of SPI and its trend line at Darab Synoptic Station (1993-1994 to 2017-2018)

(میانگین چاه‌های مورد مطالعه) و نیز تغییرات بارش ماهانه منطقه را در دوره آماری ۱۳۷۲-۱۳۷۳ تا ۱۳۹۵-۱۳۹۶ نشان می‌دهد. به طور کلی در دوره آماری مورد مطالعه، تراز آبی دشت داراب ۳۶ متر افت را نشان می‌دهد که به طور میانگین حدود ۱/۵ متر در سال می‌باشد.

بررسی تغییرات تراز سطح آب زیرزمینی

تغییر اقلیم باعث تغییر ویژگی‌های خشکسالی در بسیاری از مناطق شده است. افزایش جمعیت و بروز تغییرات اقلیمی باعث کاهش منابع آب در دسترس در بسیاری از مناطق جهان شده است (اسدی زارچ و همکاران، ۲۰۱۵b). شکل (۳) نوسانات ماهانه سطح آب زیرزمینی در آبخوان دشت داراب



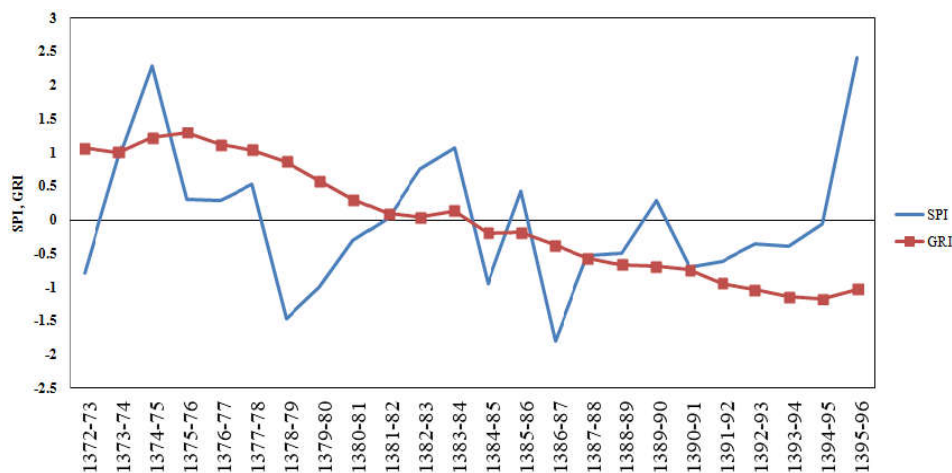
شکل (۳): مقایسه بارش ماهانه و متوسط ماهانه سطح آب زیرزمینی حوزه (۱۳۷۲-۱۳۷۳ تا ۱۳۹۵-۱۳۹۶)

Figure (3): Comparison of monthly precipitation and groundwater level of the basin (1993-1994 to 2017-2018)

تا سال ۱۳۹۰-۱۳۹۱ نوسانات GRI تا حدی تحت تأثیر تغییرات SPI قرار دارد؛ به طوری که معمولاً با وقوع خشکسالی (کاهش SPI)، شاخص GRI نیز اندکی کاهش یافته است. با وقوع ترسالی نیز، یا شیب کاهش GRI تا حدی کندتر شده یا اینکه افزایش بسیار ملایمی در GRI مشاهده می شود. همچنین روند افزایشی SPI از سال ۱۳۹۱-۱۳۹۲ تا پایان دوره باعث افزایش شدن GRI در سال پایانی دوره شده است.

بررسی و مقایسه شاخص SPI و GRI

برای مقایسه بهتر تغییرات بارش و سطح آب زیرزمینی، تغییرات شاخص های SPI و GRI در مقیاس سالانه در شکل (۴) نمایش داده شده اند. مقایسه شاخص های SPI و GRI نشان می دهد اگرچه روند کلی شاخص GRI کاهش یافته است، در مقاطعی مانند سال های ۱۳۸۱-۱۳۸۲ تا ۱۳۸۳-۱۳۸۴ با افزایش شاخص SPI (وقوع ترسالی)، شاخص GRI نیز افزایش اندکی را نشان می دهد. همچنین از سال ۱۳۸۴-۱۳۸۵



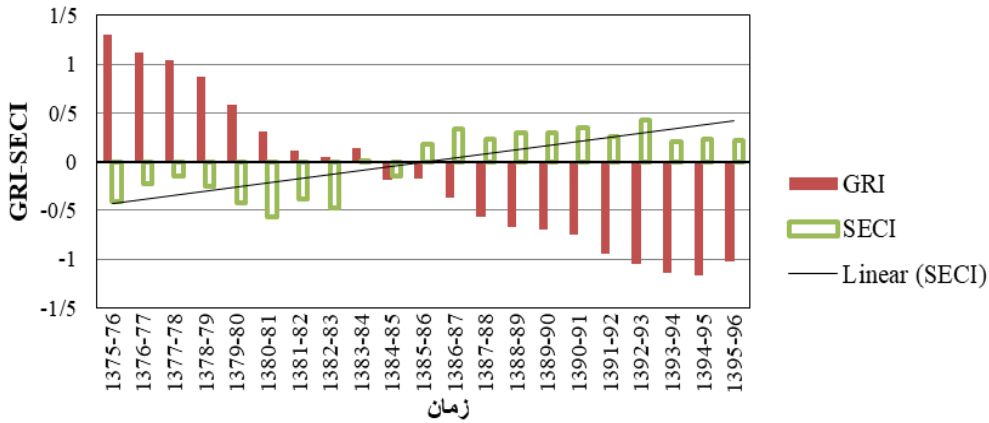
شکل (۴): مقایسه دو شاخص SPI و GRI به صورت سالانه در دشت داراب (۱۳۷۲-۱۳۷۳ تا ۱۳۹۵-۱۳۹۶)

Figure (4): Comparison of yearly SPI and GRI indices in Darab plain (1993-1994 to 2017-2018)

الکتریکی افزایش یافته است. این بدین معنی است که افت سطح آب زیرزمینی باعث افزایش شوری آب زیرزمینی شده است. همچنین خط روند شاخص SECI به وضوح نشان می دهد که روند کلی این شاخص افزایشی (کاهش کیفیت و افزایش شوری) است.

بررسی تغییرات شوری آب زیرزمینی توسط شاخص (SECI)

به منظور مقایسه GRI و SECI (شکل ۵) از آمار سالانه چاه های پیرومتری و بهره برداری (کیفی) استفاده شد. همان طور که در شکل (۵) دیده می شود، با کاهش شاخص خشکسالی منبع آب زیرزمینی، شاخص استاندارد شده هدایت

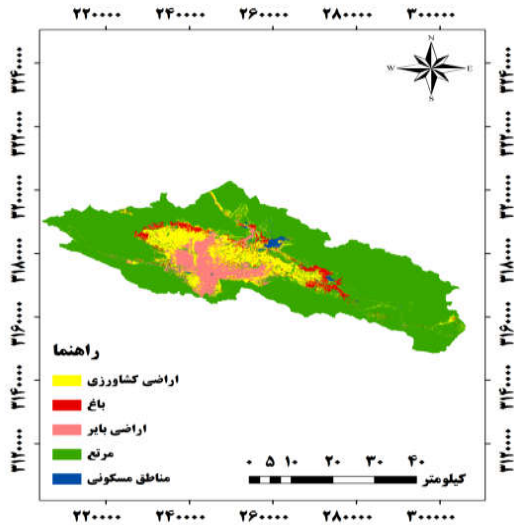


شکل (۵): رابطه بین GRI و SECI و خط روند SECI در دشت داراب (۱۳۷۵-۱۳۷۶ تا ۱۳۹۵-۱۳۹۶)

Figure 5: Relationship between GRI and SECI and trend line of SECI in Darab plain (1996-97 to 2016-17)

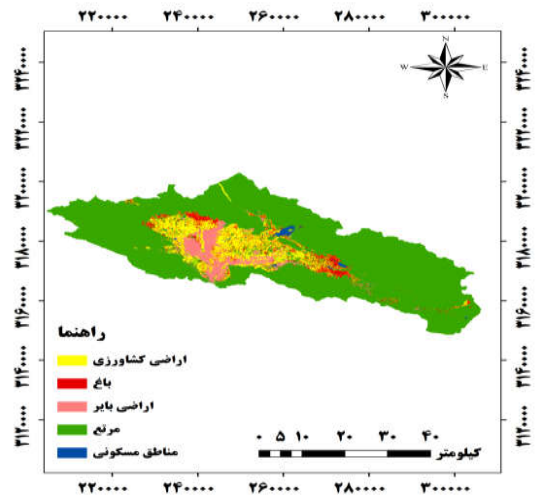
استخراج نقشه‌های کاربری اراضی

شکل‌های (۶) تا (۸) نقشه کاربری‌های موجود در دشت داراب را به ترتیب در سال‌های ۱۳۸۰، ۱۳۸۸ و ۱۳۹۶ نشان می‌دهد. مساحت مجموع کاربری‌های منطقه مورد مطالعه ۲۴۰۳/۶ کیلومتر مربع است. همان گونه که اشکال نمایش می‌دهند، بخش اعظم حوزه در طبقه اراضی مرتعی قرار گرفته است. همچنین اراضی مسکونی کمترین میزان کاربری را در هر سه نقشه ارائه می‌دهد. اشکال مذکور نشان می‌دهند که میزان کاربری‌های طبقه‌بندی شده در طول سه سال مجزای مورد مطالعه، تغییراتی دارند.



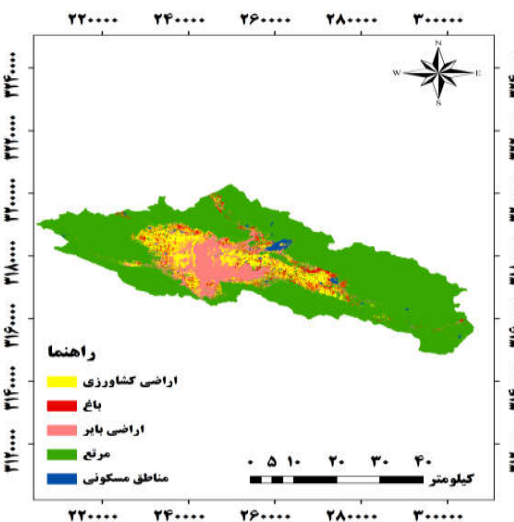
شکل (۷): کاربری اراضی دشت داراب سال ۱۳۸۸

Figure (7): Land use map of Darab plain in 2009



شکل (۶): کاربری اراضی دشت داراب در سال ۱۳۸۰

Figure (6): Land use map of Darab plain in 2001

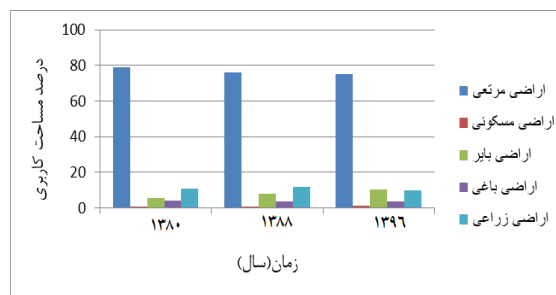


شکل (۸): کاربری اراضی دشت داراب سال ۱۳۹۶

Figure (8): Land use map of Darab plain in 2017

همچنین مساحت و درصد مساحت کاربری‌های متفاوت در سال‌های مجزا به‌تفکیک در جدول (۲) تشریح شده است. بر اساس اطلاعات جدول، مساحت اراضی مرتعی و بایر در طی این سه دوره کاهش یافته است، درحالی‌که اراضی مسکونی افزایش ملایمی را شاهد بوده است. مساحت اراضی باغی در سال‌های ۱۳۸۸ و ۱۳۹۶ نزدیک به هم و نسبت به سال ۱۳۸۰ کاهش یافته است. درصد اراضی زراعی نیز در سال ۱۳۸۸ نسبت به ۱۳۸۰ افزایش یافته و در سال ۱۳۹۶ کاهش را نشان می‌دهد.

برای درک تغییراتی که در سطح هریک از کاربری‌ها در طول سه سال مورد مطالعه رخ داده، درصد مساحت هریک از کاربری‌ها در شکل (۹) نمایش داده شده است. بر اساس این شکل در هر سه سال، بعد از اراضی مرتعی، اراضی زراعی بیشترین مساحت را شامل شده است. کاربری‌های اراضی بایر، باغی و مسکونی در رتبه‌های بعدی قرار دارد.



شکل (۹): روند تغییرات درصد مساحت کاربری اراضی در دوره‌های زمانی مطالعه شده
Figure (9): Land use percentage changes during the study period

جدول (۲): مساحت و درصد مساحت انواع کاربری اراضی سال‌های ۱۳۸۰، ۱۳۸۸ و ۱۳۹۶ در دشت داراب

Table (2): Area and percentage area of land use types in Darab Plain in 2001, 2009, and 2009

سال	۱۳۸۰	۱۳۸۸	۱۳۹۶
مساحت انواع کاربری	km ²	km ²	km ²
اراضی مرتعی	۱۸۹۷/۹	۱۸۳۱/۴	۱۸۰۶/۱
اراضی سکونی	۱۸۷۷/۴	۱۹۰۴/۸	۲۴/۶۸۴
اراضی بایر	۱۳۱/۶۹	۱۹۰/۹۳	۲۵۰/۷۵
اراضی باغی	۹۹/۳۹۵	۸۲/۴۶۷	۸۵/۳۴۹
اراضی زراعی	۲۵۵/۷۸	۲۷۹/۲۶۸	۲۳۶/۷
درصد	درصد	درصد	درصد
اراضی مرتعی	۷۸/۹۶	۷۶/۱۹	۷۵/۱۴
اراضی سکونی	۰/۷۸	۰/۸۴	۱/۰۲
اراضی بایر	۵/۴۸	۱/۹۴	۱۰/۴۳
اراضی باغی	۴/۱۳	۳/۴۲	۳/۵۵
اراضی زراعی	۱۰/۶۴	۱۱/۶۱	۹/۸۶

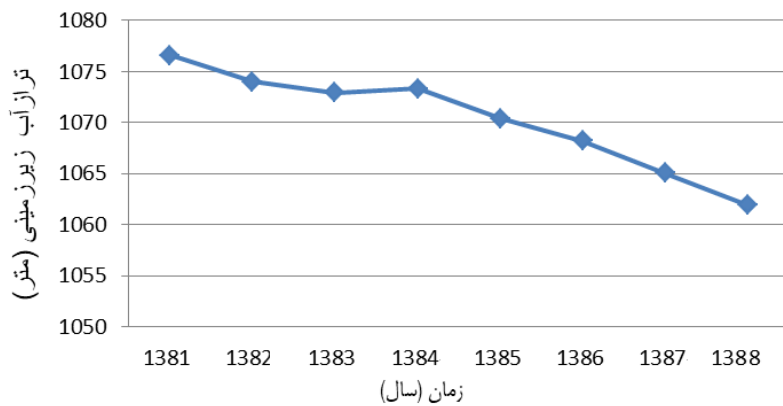
به‌عنوان نماینده آن دوره انتخاب شده است.

بر اساس نتایج جدول (۲)، مجموع کاربری زراعی و باغی در پایان دوره اول برابر ۱۴/۷۷٪ بوده است، درحالی‌که در پایان دوره هشت‌ساله دوم (۱۳۸۸-۱۳۸۱) به ۱۵/۰۳٪ افزایش یافته است. بنابراین در این دوره، مجموع کاربری‌های زراعی و باغی حدود ۰/۵۳٪ معادل (۶/۵۱) کیلومتر مربع افزایش یافته است؛ این افزایش کاربری به نوبه خود تا حدی منجر به برداشت بیشتر از آب‌های زیرزمینی می‌شود. شکل (۱۰) روند تغییرات تراز و افت آب زیرزمینی طی ۸ سال دوم (۱۳۸۱-۱۳۸۸) را نشان می‌دهد. بر اساس این نمودار، به‌طور مداوم از سطح تراز آب

بررسی کمیت آب زیرزمینی در ارتباط با کاربری اراضی

در این مطالعه به‌منظور بررسی کیفیت شیمیایی و روند تغییرات کمی آب زیرزمینی در دشت داراب از آمار سطح ایستابی ۲۸ چاه پیژومتری و ۷۱ چاه کیفی که دارای آمار نسبتاً کامل تری بودند، استفاده شده است. ابتدا رابطه کاربری اراضی و تغییرات تراز آب زیرزمینی در دشت مورد بررسی قرار گرفته است. سپس پارامتر کیفیت شیمیایی آب بررسی شده است. برای مقایسه بهتر نتایج، داده‌های آماری به سه دوره هشت‌ساله (۱۳۷۲-۱۳۸۰، ۱۳۸۱-۱۳۸۸، ۱۳۸۹-۱۳۹۶) تقسیم شده است. برای تهیه نقشه کاربری اراضی، سال پایان هر دوره

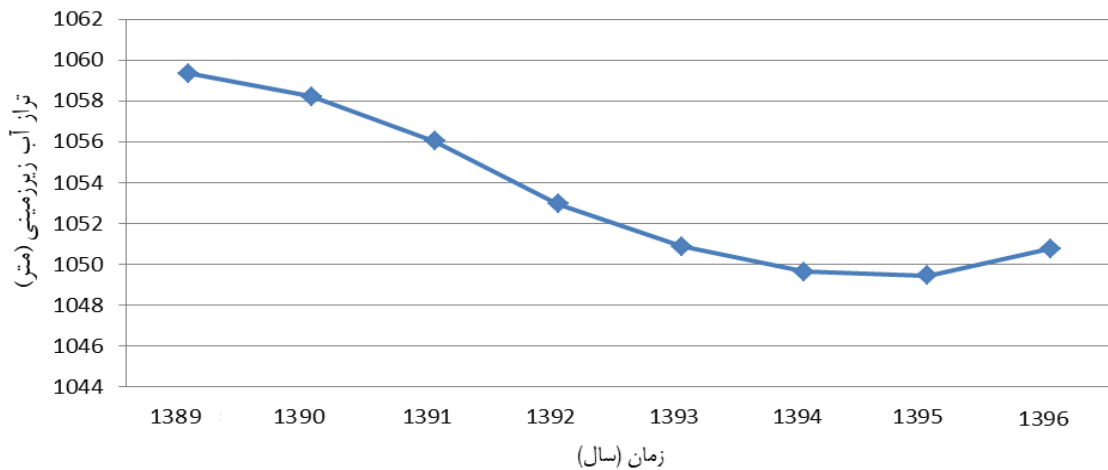
کاسته شده است که در مجموع در طی دوره هشت ساله حدود ۱۴/۶۹ متر کاهش سطح برآورد شده است.



شکل (۱۰): تراز آب زیرزمینی دشت داراب در سالهای ۱۳۸۱ تا ۱۳۸۸
Figure (10): Groundwater level of Darab plain during 2002 to 2009

در هشت سال سوم (۱۳۸۹-۱۳۹۶)، مجموع کاربری های زراعی و باغی حدود ۱/۶۲٪ نسبت به دوره هشت ساله دوم کاهش یافته است. شکل (۱۱) تغییرات سطح آب زیرزمینی را در هشت ساله سوم (۱۳۸۹ تا ۱۳۹۶) را نمایش می دهد. شکل

نشان می دهد که افت آب های زیرزمینی نسبت به هشت سال دوم کمتر بوده؛ که مقدار آن حدود ۸/۵۹ متر است. ولی به طور کلی سطح آب زیرزمینی همچنان شاهد روند نزولی بوده است که دلیل آن را می توان کاهش نزولات جوی دانست.

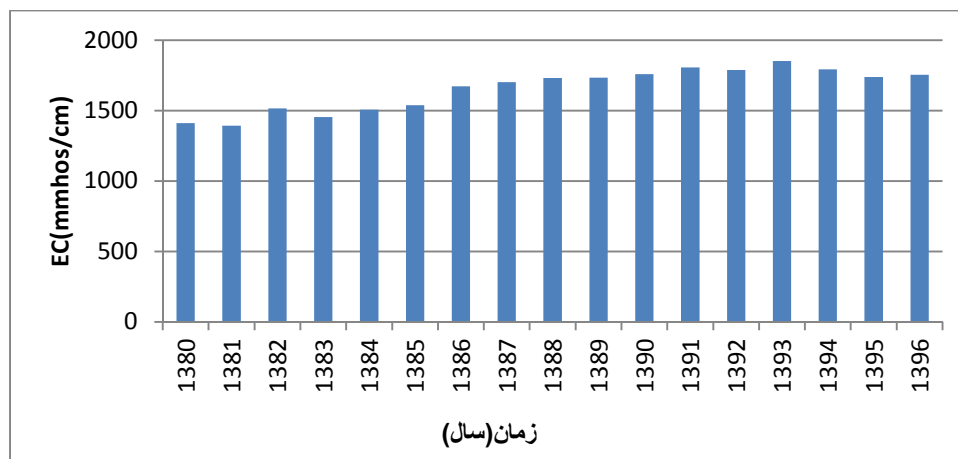


شکل (۱۱): تراز آب زیرزمینی و میزان افت آن در سالهای ۱۳۸۹-۱۳۹۶
Figure (11): Groundwater level of Darab plain during 2010 to 2017

بررسی کیفیت آب زیرزمینی در ارتباط با کاربری اراضی شکل (۱۱) تغییرات EC چاه های آبخوان منطقه را طی سال های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۶ نمایش می دهد. با توجه به جدول (۲)، مجموع کاربری های اراضی زراعی، باغی و مناطق مسکونی در سال ۱۳۸۰ از ۳۷۳/۹۵ کیلومتر مربع به ۳۸۱/۱۸ کیلومتر مربع در سال ۱۳۸۸ رسیده که نشان دهنده افزایش ۷/۲۳ کیلومتر مربع از اراضی مذکور است. بر اساس شکل (۱۲)، بررسی میزان شوری آب چاه های آبخوان منطقه در طی این هشت سال، افزایش ۳۱۹/۸۸ میکروموس بر سانتی متر را

نشان می دهد. در این دوره، EC روند افزایش مشهودی را ارائه می دهد، در حالی که در هشت سال سوم (۱۳۸۸-۱۳۹۶)، کاربری های اراضی زراعی، باغی و مناطق مسکونی به ترتیب از ۳۸۱/۱۸ به ۳۴۶/۷۳ کیلومتر مربع رسیده است که نشان دهنده کاهش ۳۴/۴۴ کیلومتر مربعی از این اراضی می باشد. میزان شوری در طی هشت سال سوم (۱۳۸۹-۱۳۹۶) روند یکسانی ندارد و ابتدای دوره، افزایشی و در انتهای دوره، کاهش می شود. در مجموع شوری سال آخر دوره (۱۳۹۶) نسبت به سال اول دوره (۱۳۸۹)، حدود ۲۰/۲۷ میکروموس بر

ساعتی متر افزایش یافته است. بنابراین در مقایسه با هشت سال آن را کاهش اراضی زراعی، باغی و مسکونی دانست. دوم مورد مطالعه، روند نزولی را نشان می‌دهد که می‌توان دلیل



شکل (۱۲): تغییرات EC سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۶ دشت داراب
Figure (12): EC changes from 2001 to 2017 in Darab plain

داده‌های آماری مربوط به شاخص‌های SPI، GRI، SECI تغییرات شاخص‌های SPI، GRI، SECI و کاربری اراضی در به سه دوره هشت‌ساله تقسیم شد و میانگین این شاخص‌ها برای هر سه دوره به دست آمد. درباره کاربری اراضی نیز نقشه سال پایان هر دوره به‌عنوان نماینده آن دوره انتخاب شد.

جدول (۳): بررسی تغییرات شاخص‌های SPI، GRI، SECI و کاربری اراضی در دوره‌های زمانی (۱۳۷۲-۱۳۸۰، ۱۳۸۱-۱۳۸۸ و ۱۳۸۹-۱۳۹۶)

Table (3): Changes in SPI, GRI, SECI and Land during (1994-2001, 2002-2009 and 2010-2017)

دوره	SPI		Land use		GRI		SECI	
	میانگین	تغییرات نسبت به دوره	میانگین	تغییرات نسبت به دوره	میانگین	تغییرات نسبت به دوره	میانگین	تغییرات نسبت به دوره
۱۳۷۲-۱۳۸۰	۰/۱۳		۱۴/۷۷		۱/۰۳		-۰/۲۹	
۱۳۸۱-۱۳۸۸	-۰/۱۶	-۰/۲۹	۱۵/۰۳	+۰/۲۶	-۰/۰۸	-۱/۱۱	-۱/۱۰	+۰/۱۹
۱۳۸۹-۱۳۹۶	۰/۰۲	+۰/۱۸	۱۳/۴۱	-۱/۶۲	-۰/۹۳	-۰/۸۵	۰/۲۸	+۰/۳۸

با توجه به جدول (۳)، بررسی تغییرات شاخص SPI دوره اول (۱۳۷۲-۱۳۸۰) نسبت به دوره دوم (۱۳۸۱-۱۳۸۸) نشان داد که این شاخص به میزان ۰/۲۹ کاهش یافته است (افزایش شدت خشکسالی). همچنین با بررسی مجموع کاربری اراضی زراعی و باغی مشاهده شد که اراضی مذکور به میزان اندکی (حدود ۰/۲۶٪) افزایش یافته است که این تغییرات، تراز آب زیرزمینی را تحت تأثیر قرار داده و باعث کاهش شاخص GRI به مقدار ۱/۱۱ (افت سطح آب زیرزمینی) شده است. بنابراین در افت آب زیرزمینی دوره دوم (۱۳۸۱-۱۳۸۸) نسبت دوره

به اول (۱۳۷۲-۱۳۸۰)، نقش خشکسالی قابل توجه‌تر از تأثیر تغییر کاربری اراضی بوده است. کاهش GRI به نوبه خود باعث افزایش شوری آب زیرزمینی شده است؛ به طوری که شاخص SECI به مقدار ۰/۱۹ افزایش یافته است. همچنین با بررسی تغییرات رخ داده در دوره سوم نسبت به دوره دوم مشاهده می‌شود که از طرفی شاخص SPI، ۰/۱۸ افزایش یافته است (کاهش شدت خشکسالی). از طرف دیگر، مجموع کاربری اراضی زراعی و باغی نیز نسبت به دوره قبل ۱/۶۲٪ کاهش را نشان می‌دهد. این تغییرات باعث شده است میزان

همچنین نتایج نشان داد در سال‌های اخیر با کاهش شاخص GRI، مقدار شاخص SECI افزایش یافته است. بنابراین افت سطح آب زیرزمینی باعث افزایش شوری آب زیرزمینی شده است. با مقایسه کاربری اراضی در طی سه سال با فاصله زمانی ۸ ساله (۱۳۸۰، ۱۳۸۸ و ۱۳۹۶) نتایج نشان داد که در سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۸، مجموع کاربری‌های زراعی و باغی تنها حدود ۰/۲۶٪ افزایش یافته است که در طی این ۸ سال، حدود ۱۴/۶۹ متر افت تراز آب زیرزمینی در دشت رخ داده است، در حالی که در هشت سال دوم یعنی سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۶، مجموع کاربری‌های زراعی و باغی حدود ۱/۶۲٪ کاهش پیدا کرده است. همچنین افت آب‌های زیرزمینی نسبت به هشت سال اول کمتر بوده که مقدار آن حدود ۸/۵۹ متر است. می‌توان نتیجه گرفت با کاهش اراضی باغی و زراعی، میزان برداشت از سفره آب‌های زیرزمینی نیز کاهش یافته است.

بررسی تغییرات شوری آب زیرزمینی دشت داراب نشان می‌دهد که مقدار EC (شاخص SCEI) در دوره دوم و سوم روند افزایشی مشخصی را نشان می‌دهد که بخش عمده آن ناشی از کاهش سطح آب زیرزمینی است. در مجموع می‌توان نتیجه گرفت تغییرات بارش و کاربری اراضی در دشت داراب باعث افت آب زیرزمینی در این دشت شده که این کاهش باعث افت کیفیت و افزایش شوری آب‌های زیرزمینی در دشت داراب شده است.

افت آب زیرزمینی دوره سوم نسبت به دوم از افت دوره دوم نسبت به اول، کمتر باشد؛ به طوری که شاخص GRI در دوره دوم نسبت به اول کاهش ۱/۱۱ را نشان می‌دهد، اما در دوره سوم نسبت به دوم کاهش ۰/۸۵ را نشان می‌دهد. در مجموع این روند افت آب زیرزمینی، کیفیت آب را تحت تأثیر قرار داده و باعث افزایش شوری شده است.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق با بررسی خشکسالی اقلیمی در یک دوره آماری ۲۴ ساله در محدوده مطالعاتی دشت داراب و معرفی شاخص GRI و SECI به عنوان شاخص معرف منبع آب زیرزمینی و شاخص هدایت الکتریکی استاندارد شده و مقایسه کاربری اراضی در طی سه سال با دوره زمانی هشت ساله سعی شد روابط بین شاخص SPI در مقیاس‌های زمانی مختلف تعیین و تأثیر کاربری اراضی بر کمیت و کیفیت منابع آب زیرزمینی بررسی شود که در راستای این امر اهداف زیر محقق شده است:

نتایج حاصل از شاخص خشکسالی اقلیمی SPI در مقیاس سالانه، در دوره مشترک آماری (۱۳۷۲-۱۳۹۶) حاکی از آن است که در ۲۴ سال اخیر، شدیدترین رخداد خشکسالی مربوط به سال آبی ۱۳۸۶-۱۳۸۷ می‌باشد. مقایسه روند شاخص‌های SPI و GRI در دوره آماری نشان می‌دهد روند کاهشی SPI (افزایش شدت خشکسالی) همراه با روند کاهشی GRI (کاهش تراز آب‌های زیرزمینی) بوده است.

منابع

1. Abarghouei, H.B., Kousari, M.R. and Asadi Zarch, M.A., 2013. Prediction of drought in drylands through feedforward artificial neural network abilities. *Arabian Journal of Geosciences*, 6(5), 1417-1433.
2. Abramowitz, M. and Stegun, I.A., 1965. *Handbook of mathematical functions: with formulas, graphs, and mathematical tables (Vol. 55)*. Courier Corporation.
3. Asadi Zarch, M.A., Sivakumar, B., Sharma, A., 2015a. Droughts in a warming climate: a global assessment of Standardized precipitation index (SPI) and Reconnaissance drought index (RDI). *J. Hydrol*, 526, 183-195.
4. Asadi Zarch, M.A., Sivakumar, B., Sharma, A., 2015b. Assessment of global aridity change. *J. Hydrol*, 520, 300-313.
5. Bighonah, S., 2013. The study of hydrological and meteorological drought effects on quantity and quality of groundwater resources (Case Study: Jiroft plain). M.Sc. Yazd University, Yazd, Iran, 137. (Persian).
6. Ekrami, M., Ekhtesasi, M.R. and Malekinezhad, H., 2013. The Effects and Consequences of Climatic Drought on Time Delay and the Change in Water Discharge of Springs and Qanats (Case study : Yazd -Ardakan Plain). *Iran-Water Resources Research*, Volume 9, No(2), (IR-WRR)- 19 26 (Persian).
7. Esavi, V. and Rezaei-Chianeh, E., 2014.

- Analysis the impact of drought and land use/cover changes on wetlands ecosystem of Sulduz region. *Wetland Ecobiology*, 6 (1) :91-101(Persian).
8. Fallh, S. and Ghobadina, M., 2012. A study on sustainability of groundwater resources of Darab plain, Iran. *Iran Journal of Water Research in Agriculture (formerly soil and water sciences)*, Vol. 26, No. 2. 161-172 (Persian).
 9. Farokhzadeh, B., Ildoromi, A., Attaeian, B. and Nourouzi, M., 2016. Evaluation of the Effects of Land use Changes on Suspended Load Using SWAT Model (Case Study: Yalfan Watershed, Hamadan Province). *Environmental Erosion Research*, Vol.5:3(19), 28-46 (Persian).
 10. Ghaedi, S. and Agah, S., 2018. Evaluation the impact of natural and human factors on the underground water level of Darab County. *Journal of Natural Environmental Hazards* 7(16), 145-160. (Persian).
 11. Ghafoori, V., Malekpour, N. and Mardani, A., 2012. Evaluation of geostatistical methods for mapping groundwater quality in Fars province, Vol.1, No. 2. 81-94 (Persian).
 12. Khorani, A. and Khajeh, M., 2014. An Investigation on the coincidence between trend of drought and groundwater levels decline (A Case Study: Plain of Darab). *The Journal of Spatial Planning* 18(2), 57-80. (Persian).
 13. McKee, T.B., Doesken, N.J. and Kleist, J. 1993, January. The relationship of drought frequency and duration to time scales. In *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology* (Vol. 17, No. 22, pp. 179-183). Boston, MA: American Meteorological Society.
 14. Mendicino, G., Senatore, A. and Versace, P., 2008. A Groundwater Resource Index (GRI) for drought monitoring and forecasting in a Mediterranean climate. *Journal of Hydrology*, 357(3-4), 282-302.
 15. Moghimi, H., Okhchi, B. and Babae, O.A., 2017. Evaluate effects of drought on water table changes (Case study: plain of Bijar, Kordestan Province). The 10th, National Geology Conference of Payame Noor University, Tabriz (Persian).
 16. Mostafazadeh, R. and Zabihi, M., 2016. Comparison of SPI and SPEI indices to meteorological drought assessment using R programming (Case study: Kurdistan Province). *Journal of the Earth and Space Physics*, Vol. 42, No. 3, P. 13(Persian).
 17. Sadat-Noori, S.M., Ebrahimi, K. and Liaghat, A.M., (2014). Groundwater quality assessment using the Water Quality Index and GIS in Saveh-Nobaran aquifer, Iran. *Environmental Earth Sciences*, 71(9), 3827-3843.
 18. Shajari, Sh., Najafi, B.D. and Cheraghi, S.M., 2018. Investigating the Effects of Groundwater Depletion in Fars Province: The Case Study of Darab plain. *Agricultural Economics and Development* 25(100), 37-57.(Persian)
 19. Sönmez, F.K., Koemuescue, A.U., Erkan, A. and Turgu, E., 2005. An analysis of spatial and temporal dimension of drought vulnerability in Turkey using the standardized precipitation index. *Natural Hazards*, 35(2), 243-264.
 20. Zeinali, B., Faridpour, M. and Asghari Saraskanroud, S., 2015. Investigate the Effect Meteorological and Hydrological Drought on Groundwater Quantity and Quality (Case Study: Marand Plain). *Journal of Watershed Management Research*, Vol. 7, No. 14. 177-187 (Persian).

Investigating the Effects of Drought and Land-use Changes on Quantity and Quality of Groundwater Resources: A Case Study of Darab Plain

Mohammad Amin Asadi Zarch^{1*}, Fatemeh Jamnezhad², Mohammad Reza Ekhtesasi³, Seyed Zeynalabedin Hoseini⁴

Received: 03/12/2020

Accepted: 18/07/2020

Extended Abstract

Introduction: Drought is a natural hazardous phenomenon occurring in all climate types. However, it affects arid

1. Assistant Professor, Faculty of Natural Resources, Yazd University, Yazd, Iran; amin.asadi@yazd.ac.ir

2. MSc in Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Yazd University, Yazd, Iran

3. Professor, Faculty of Natural Resources, Yazd University, Yazd, Iran

4. Assistant Professor, Faculty of Natural Resources, Yazd University, Yazd, Iran

DOI: 10.22052/deej.2020.9.28.59

and semiarid regions more intensely than other areas. It also severely affects both the quantity and quality of water resources in arid zones. Moreover, land-use changes and urban and agricultural development also adversely influence water resources in these regions, especially groundwater resources.

The extraction of a significant portion of drinking and agricultural water from groundwater resources has led to a sharp decline in groundwater storage in Iran's arid and semiarid regions. Furthermore, as mentioned before, frequent droughts and land-use changes have affected these resources. This study, therefore, sought to investigate the effects of meteorological drought and land-use changes on groundwater quantity and quality in Darab plain, Fars Province, Iran.

Materials and Methods: Darab Plain is located in the south of Iran. The water supply in this plain is highly dependent on groundwater. The mean annual rainfall is 275 mm, and the mean annual temperature is 22 °C. In this study, data regarding precipitation, groundwater level, and salinity were used to estimate SPI (Standardize Precipitation Index), GRI (Groundwater Resources Index), and SECI (Standardized Electrical Conductivity Index). SPI is considered as the indicator of meteorological droughts. GRI quantifies changes in groundwater levels as a standardized index. SECI is applied to estimate any potential shifts in groundwater quality. Land-use maps of the basin for 2001, 2009, and 2017 were prepared using satellite imagery. Moreover, Landsat TM, ETM+, and OLI sensors were used. It should also be noted that land-use maps were created using the Supervised Classification method (Maximum likelihood algorithm). The produced maps included five classes: urban area, farmlands, gardens, rangelands, and bare lands.

Results: SPI results showed normal classes for most of the years throughout the study period (-0/99 to +0/99). However, the trend line indicated an apparent decreasing trend for SPI during the period. Therefore, it could be concluded that the region is experiencing more droughts. A study of groundwater level changes suggested a continuous reduction of 36 m for the entire study period. While the comparison of SPI and GRI showed a general decreasing trend for GRI, it could be seen clearly that SPI changes caused GRI shifts. Moreover, droughts accelerate GRI reduction, and SPI growth either reduces GRI decreases or increases it slightly.

On the other hand, SECI results indicated the salinity growth and quality reduction in the region. During the study period, the plain experienced a 293.6 $\mu\text{mho/cm}$ increase in salinity. Furthermore, the comparison of GRI and SECI showed that any reduction in groundwater level would result in more saline. The comparison of land-use maps during the three years (2001, 2009, and 2017) also proved that agricultural uses increased by only 0.26% in 2009 compared with 2001. However, in 2017 compared with 2009, such uses decreased by 1.62%.

The relationships between SPI and land-use changes with GRI and SECI were also investigated, indicating that droughts and land-use changes directly affect the quantity and quality of groundwater in Darab Plain.

Discussion and Conclusion: Climate change has affected many parts of the world, changing drought characteristics in many regions. Therefore, the subsequent changes in water resources could be considerable. Furthermore, water resources are under pressure for population growth and land-use change. In this study, the collected data was divided into three 8-years periods (1993-2001, 2002-2009, 2010-2017), and the averages of SPI, GRI, SECI, and land-use were calculated for the three periods. The results showed that the increase in the severity of drought and the rise of the agricultural lands in the second period compared to the first one caused a decrease in water quantity (GRI decrease) and quality (SECI increase). However, a decrease in the severity of drought and the fall of the agricultural land-use in the third period compared to the second one lowered the rate of groundwater level decline (compared to the rate of GRI decreasing in the second period). In the third period, SECI increased (less quality) in response to the GRI decrease. The results showed that groundwater resources in Darab Plain were strongly dependent on both drought and land-use changes. The groundwater quality in the region was also directly affected by changes in groundwater level.

Keywords: meteorological drought, Darab Plain, land use, quantity and quality, groundwater resources.