



پانزدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران

بررسی خشکسالی هیدروژئولوژیکی در آبهوان دشت فسا با استفاده از

شاخص منبع آب زیرزمینی (GRI)

محبوبه صیف*، دانشجوی کارشناسی ارشد آب‌های زیرزمینی گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد،
seifmahbobeh@yahoo.com

ابوالفضل مساعدی، دانشیار، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد Mosaedi@um.ac.ir
حسین محمدزاده، استادیار، مرکز تحقیقات آب‌های زیرزمینی (متاب)، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه فردوسی
مشهد، صندوق پستی: ۹۱۷۷۵-۱۴۳۶

چکیده:

خشکسالی یکی از پدیده‌های آب و هوایی و از جمله رخداد‌های است که خسارت‌های زیادی را باعث می‌شود. با توجه به اهمیت زیاد منابع آب زیرزمینی در کشور بررسی خشکسالی‌های هیدروژئولوژیکی و رفتارسنجی افت سطح آب‌های زیرزمینی در راستای ارائه راهکارهای حفاظت و مدیریت مناسب منابع حیاتی آب ضروری می‌باشد. در این تحقیق به بررسی خشکسالی آبهوان فسا پرداخته شده است. بدین منظور سطح آب زیرزمینی به عنوان داده اصلی انتخاب گردید و سه چاه پیژومتری دانشکده پزشکی، سعدآباد و پاسگاه زرجان به ترتیب با کمترین، بیشترین و متوسط افت انتخاب شدند و سپس با شاخص منبع آب زیرزمینی (Groundwater Resource Index) GRI وضعیت خشکسالی طی سال‌های ۱۳۸۸-۱۳۷۲ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد، که مقدار شاخص GRI روند کاهشی داشته و در سال‌های ۱۳۸۷ و ۱۳۸۸ خشکسالی با درجات بالا در منابع آب زیرزمینی این منطقه رخ داده است. در این منطقه، شاخص خشکسالی هیدروژئولوژیکی GRI با شاخص خشکسالی هواشناسی SPI در مقیاس زمانی ۴۸ ماهه بدون تأخیر زمانی رابطه معنی‌داری در سطح ۹۹ درصد، را نشان می‌دهد.

واژگان کلیدی: خشکسالی، شاخص منبع آب زیرزمینی، شاخص بارش استاندارد شده، فسا

مقدمه :

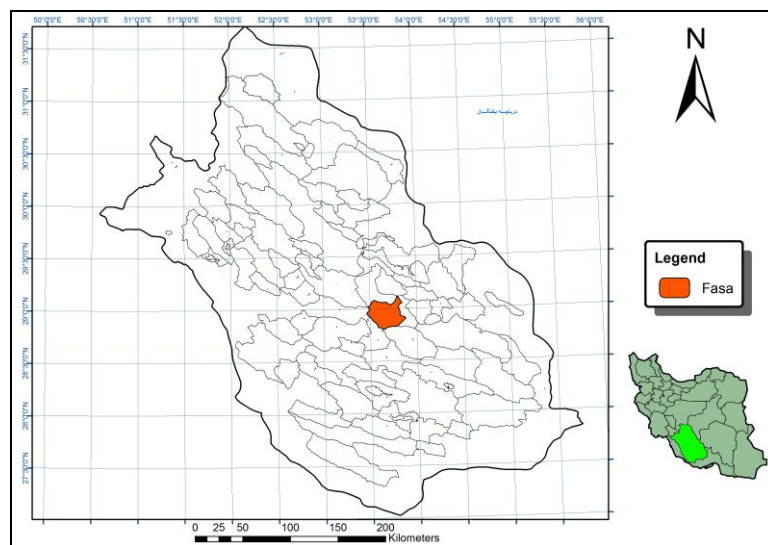
خشکسالی‌ها یکی از نوسانات معمول اقلیمی می‌باشند، که بسیاری از مناطق خشک و نیمه خشک جهان را با شدت‌های زیاد هر چند سال یک‌بار در بر می‌گیرد. از این رو شناسایی خشکسالی خود یافته‌ای ارزشمند برای مدیریت منابع آبی مناطقی چون ایران که بخش اعظم آن را مناطق خشک و نیمه خشک تشکیل می‌دهد، محسوب خواهد شد. کارآیی یک سیستم پیش‌بینی خشکسالی با انتخاب صحیح یک شاخص خشکسالی، یک توضیح عینی و اجمالی از وضعیت‌های خشکسالی را ایجاد می‌کند (Medicino, et all, 2008). به منظور شناسایی شدت و گسترش خشکسالی عموماً شاخص‌هایی توسعه داده شده است، که هر کدام ورودی‌ها و شرایط استفاده خاص خود را دارا می‌باشند. با توجه به در دسترس بودن اطلاعات اقلیمی بسیاری از این

شاخص‌ها متغیرهای هواشناختی را به عنوان ورودی در نظر می‌گیرند. مطالعات زیادی در زمینه پیش‌بینی و تحلیل خشکسالی و ترسالی بر اساس روش‌های کمی در سطح جهان و ایران انجام شده است (فرج‌زاده، ۱۳۸۶). با توجه به اهمیت زیاد منابع آب زیرزمینی در کشور بررسی رفتارسنجی افت سطح آب‌های زیرزمینی در راستای ارائه راهکارهای حفاظت و مدیریت مناسب منابع حیاتی آب ضروری می‌باشد.

در بررسی رابطه بین خشکسالی و سطح آب زیرزمینی در اراضی یکی از دشت‌های استرالیا، این نتیجه بدست آمده است که، بین شاخص بارش استاندارد شده و سطح آب زیرزمینی کم عمق منطقه ارتباطی قوی وجود دارد (Khan, et all, 2008). نتایج تحقیق رابطه بارش و تغذیه از برون‌یابی بارندگی در دشت پینگتونگ تایوان نشان داد که، کاهش سطح آب زیرزمینی باعث هجوم آب شور و افت کیفیت آب زیرزمینی محدوده مورد مطالعه شده است (Hsu, et all, 2007). به منظور مطالعه تأثیر تغییرات اقلیمی بر دو آبخوان کوچک در غرب کانادا و ایالات متحده آمریکا از مدل مادفلو استفاده شده است که نتایج نشان دهنده تأثیر کم تغییرات اقلیم را بر تغذیه و سطح آب زیرزمینی دو آبخوان مورد مطالعه بوده است (Scibek & Allen, 2006). بررسی کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی دشت تبریز حاکی از آن بود که، در ۱۶ سال آینده سطح آب زیرزمینی ۲/۶ متر پایین خواهد رفت و با افزایش برداشت در طولانی مدت، امکان افت سطح ایستابی تا حدود ۵ متر نیز خواهد بود (رزاق‌منش و همکاران، ۱۳۸۵). مطالعه رابطه بین خشکسالی و منابع آب زیرزمینی در دشت قزوین نشان داد که منابع آب زیرزمینی تحت تأثیر رژیم بارش منطقه و همراه با تأخیر زمانی می‌باشد و نقش عامل انسانی در افت سطح آب زیرزمینی آشکار است (عزیزی، ۱۳۸۲). تأثیر خشکسالی‌ها در افت منابع آب زیرزمینی شمال همدان نیز با استفاده از شاخص نمرات استاندارد مورد بررسی قرار گرفته است و نشان داده شد که بین کاهش بارندگی و افت سطح ایستابی ضریب همبستگی معنی‌داری وجود ندارد و خشکسالی به صورت غیر مستقیم در منابع آب زیرزمینی اثر دارد (محمدی و شمسی‌پور، ۱۳۸۲).

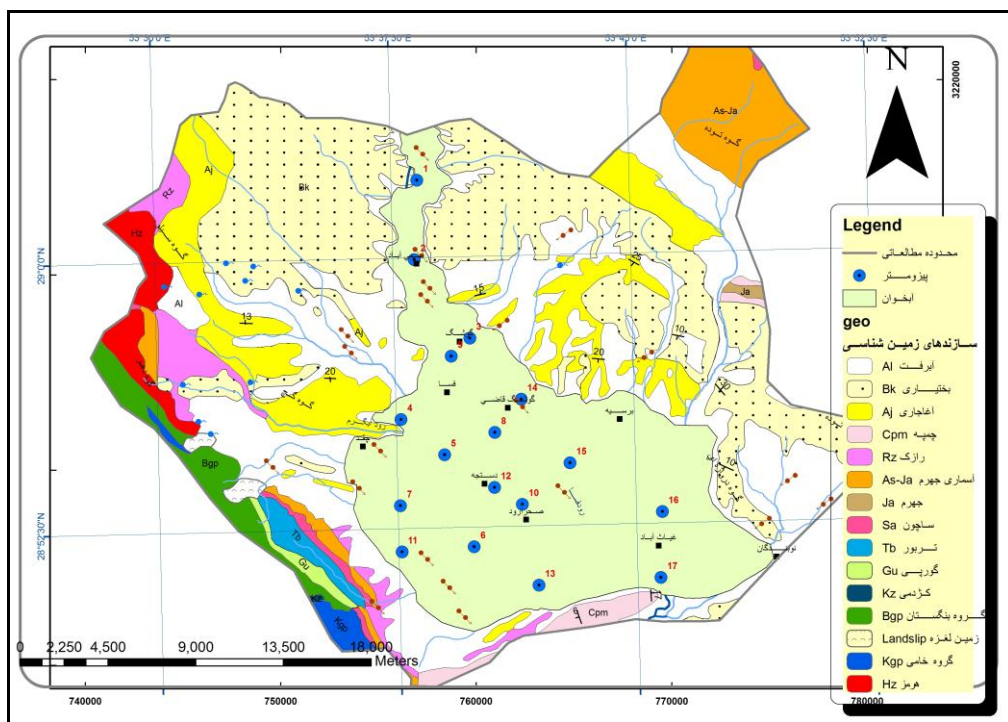
روش‌ها و مواد:

محدوده مطالعاتی فسا در حوضه بزرگ مند از حوضه‌های آبریز جنوبی کشور قرار دارد. موقعیت محدوده مطالعاتی فسا در استان فارس در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- موقعیت منطقه فسا در استان فارس

محدوده مورد مطالعه از نظر مختصات جغرافیایی حدوداً در بین طول جغرافیایی $53^{\circ} 27'$ تا $53^{\circ} 50'$ شرقی و عرض جغرافیایی $28^{\circ} 45'$ تا $29^{\circ} 10'$ شمالی قرار گرفته است. بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی کوپن این منطقه دارای اقلیم مدیترانه‌ای داخلی (Csa) می‌باشد. در سالیان اخیر، این منطقه و نواحی اطراف آن با محدودیت منابع آبی روبرو شده‌اند، که روند نزولی هیدروگراف واحد آن‌ها موید این مطلب می‌باشد. در تحقیق حاضر از داده‌های ماهانه بارندگی منطقه فسا (که توسط رسم خطوط هم‌باران به کمک آمار بارندگی ۱۷ ایستگاه داخل و خارج از منطقه، برای دوره آماری ۱۳۸۸-۱۳۵۷ تعیین شده است) و داده‌های ماهانه سطح آب زیرزمینی ۱۷ حلقه چاه پیژومتری در طول دوره آماری ۱۳۸۸-۱۳۷۲ استفاده شده است. این داده‌ها از شرکت سهامی آب منطقه‌ای فارس و اداره کل هواشناسی استان فارس تهیه شده‌اند. موقعیت چاه‌های پیژومتری منطقه در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲- موقعیت چاه‌های پیژومتری منطقه فسا

به منظور تشخیص خشکسالی هیدروژئولوژیکی و ارزیابی شدت طبقات مختلف آن در منطقه فسا، از شاخص منبع آب زیرزمینی^۱ (GRI) استفاده شده است. از بین چاه‌های موجود در دشت سه چاه دانشکده پزشکی با کمترین افت، سعدآباد با بیشترین افت و پاسگاه زرجان با افت متوسط انتخاب شده است (جدول ۱).

جدول ۱- موقعیت چاه‌های پیژومتری منتخب در منطقه مورد تحقیق

پیژومتر	UTM x (m)	UTM y (m)	ارتفاع (m)
سعدآباد	۷۵۶۲۰۰	۳۱۹۵۸۰۰	۱۲۸۵۰۹
پاسگاه زرجان	۷۵۶۶۷۸	۳۲۱۴۸۹۵	۱۴۳۵۸۶
دانشکده پزشکی	۷۵۶۱۴۶	۳۲۰۲۵۸۳	۱۳۶۲۰۱

¹ Groundwater Resource Index

شاخص منبع آب زیرزمینی (GRI)

مندیسینو و همکاران (۲۰۰۸) شاخص GRI را به عنوان شاخصی مفید و قابل اعتماد برای پایش و پیش‌بینی وضعیت خشکسالی برای منطقه مدیترانه پیشنهاد دادند. آن‌ها شاخص GRI را با استفاده از یک مدل ساده بیلان آب استخراج نمودند و آن را برای منطقه مدیترانه مورد ارزیابی قرار دادند. در این شاخص وضعیت‌های مختلف لیتولوژی زمین تأثیر مهمی بر واکنش هیدروژئولوژیکی حوضه در فصل تابستان نسبت به بارش‌های فصل زمستان دارند. تحلیل خصوصیات شاخص GRI بیانگر تغییرات مکانی زیاد این شاخص و حساسیت زیاد آن به خصوصیات لیتولوژی منطقه‌ی مورد مطالعه می‌باشد. شاخص GRI در ماه‌های تابستان از خود همبستگی بالایی برخوردار است و این قابلیت برای برخی از اهداف پیش‌بینی مناسب است. مهم‌ترین قابلیت شاخص GRI در پیش‌بینی خشکسالی‌های تابستان با استفاده از همبستگی زیاد بین مقادیر GRI ماه آوریل با متوسط رواناب در برخی از رودخانه‌های حوضه می‌باشد، مقدار این شاخص از رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

$$GRI = \frac{D_{y,m} - \mu_{D,m}}{\sigma_{D,m}} \quad (1)$$

که در این رابطه: $D_{y,m}$ مقادیر آب زیرزمینی در سال y و ماه m ، $\mu_{D,m}$ میانگین مقادیر آب زیرزمینی در ماه m و $\sigma_{D,m}$ انحراف معیار مقادیر آب زیرزمینی در ماه m می‌باشد (Medicino, et all, 2008). طبقات مختلف رطوبتی در شاخص GRI همانند شاخص SPI می‌باشند. و هر چه مقادیر آن از ۲+ بیشتر باشد، ترسالی بسیار شدیدتر و هر چه این مقادیر از ۲- کمتر باشد، خشکسالی بسیار شدیدتر خواهد بود، طبقات مختلف رطوبتی شاخص‌های GRI و SPI در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲- طبقات مختلف خشکسالی و ترسالی بر حسب مقادیر GRI و SPI

طبقات	وضعیت	مقادیر SPI	مقادیر GRI
۱	ترسالی بسیار شدید	۲ و بیشتر	۲ و بیشتر
۲	ترسالی شدید	۱.۵ تا ۱.۹۹	۱.۵ تا ۱.۹۹
۳	ترسالی متوسط	۱ تا ۱.۴۹	۱ تا ۱.۴۹
۴	نزدیک به نرمال	-۰.۹۹ تا ۰.۹۹	-۰.۹۹ تا ۰.۹۹
۵	خشکسالی متوسط	-۱ تا -۱.۴۹	-۱ تا -۱.۴۹
۶	خشکسالی شدید	-۱.۵ تا -۱.۹۹	-۱.۵ تا -۱.۹۹
۷	خشکسالی بسیار شدید	۲- و کمتر	۲- و کمتر

شاخص خشکسالی GRI بدون بعد بوده و با استفاده از معادله (۱) برای کل محدوده و هر یک از چاه‌های منتخب محاسبه و وضعیت خشکسالی در بازه زمانی ۱۳۷۲-۱۳۸۸ تعیین گردیده است.

شاخص بارش استاندارد شده (SPI)

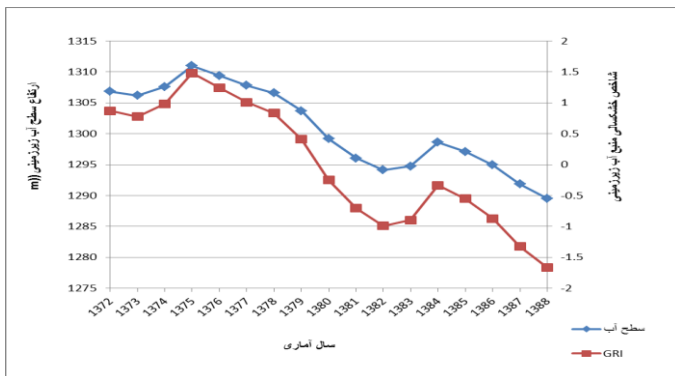
این شاخص به منظور تعیین و پایش خشکسالی هواشناسی توسط مک‌کی و همکاران (۱۹۹۳) ارائه گردید (Mckee, et all, 1993). این شاخص یکی از مناسب‌ترین و کاربردی‌ترین شاخص‌های خشکسالی است که امروزه به طور گسترده‌ای در سطح جهان مورد استفاده قرار می‌گیرد و مورد پذیرش بسیاری از جوامع علمی قرار گرفته است. انعطاف‌پذیری این شاخص در پایش انواع مختلف خشکسالی از مهم‌ترین ویژگی‌های آن است (Duggins, et all, 2010). شاخص SPI برای هر منطقه بر اساس ثبت داده‌های بارندگی‌های طولانی مدت آن محاسبه می‌شود. در این روش داده‌های بارندگی دارای توزیع نرمال فرض می‌شوند، این شاخص بدون بعد بوده و از بی نظمی داده‌های گسسته و تبدیل شده بارش که بر انحراف معیار بارندگی تقسیم شده است، محاسبه می‌شود (Agnew, 2000). طبقات مختلف خشکسالی و ترسالی با توجه به مقادیر محاسبه شده SPI مطابق جدول ۲ تعریف شده است (Mckee & et all, 1993). دوره‌ای که دائماً مقادیر SPI منفی باشد و به میزان ۱- یا

کتر برسد، خشکسالی شروع و زمانی که مقادیر SPI مثبت شود، خشکسالی خاتمه یافته است (Wilhelmi & Wilhite, 2002). شرایط رطوبتی خاک نسبت به ناهنجاری‌های کوتاه مدت بارندگی واکنش نشان می‌دهد، در حالی که آب‌های زیرزمینی، جریان آب رودخانه و ذخیره مخزن، تحت تأثیر ناهنجاری‌های دراز مدت بارندگی قرار می‌گیرند (قره‌شیلخو و همکاران، ۱۳۸۷). با توجه به این موضوع مک‌کی و همکاران (۱۹۹۳) شاخص SPI را در مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۱۲، ۲۴، ۴۸ ماهه ارایه نمودند.

در این تحقیق به منظور بررسی خشکسالی هواشناسی، شاخص بارش استاندارد شده (SPI) در مقیاس‌های زمانی مختلف در دوره آماری ۱۳۵۷-۱۳۸۸ برای کل منطقه محاسبه و با شاخص خشکسالی هیدروژئولوژیکی منبع آب زیرزمینی (GRI) مقایسه گردید. علاوه بر این به منظور بررسی رابطه شاخص GRI با شاخص SPI در مقیاس‌های زمانی مختلف ضریب همبستگی این دو شاخص نیز محاسبه گردید.

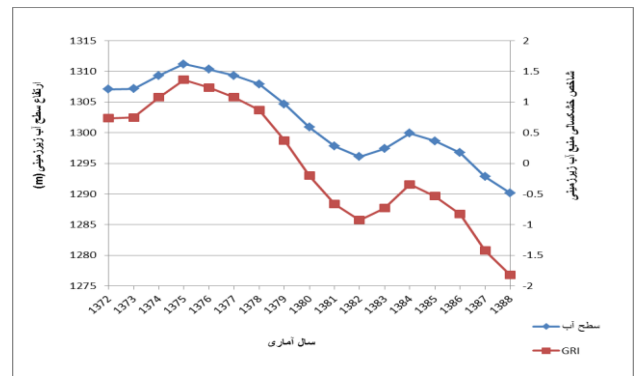
نتایج و بحث:

همان گونه که ذکر شد، در تحقیق حاضر از داده‌های ارتفاع مطلق در طی دوره آماری ۱۳۷۲-۱۳۸۸ در آبخوان دشت فسا استفاده گردیده است، از بین ۱۷ چاه پیزومتری در طی این دوره آماری، سه چاه با افت‌های شدید، متوسط و کمتر انتخاب و سپس با محاسبه شاخص GRI، وضعیت رطوبتی چاه‌ها و آبخوان فسا بررسی شده است. شکل ۳-الف تغییرات ارتفاع متوسط سالانه آب زیرزمینی آبخوان به همراه شاخص GRI را نشان می‌دهد. بر اساس آن، شاخص GRI در این آبخوان از سال ۱۳۸۰ به بعد منفی شده است. علاوه بر آن در سال‌های ۱۳۸۷ و ۱۳۸۸ سطح آب زیرزمینی افت شدیدی پیدا کرده و شاخص GRI خشکسالی متوسط و شدید (-) برطبق جدول ۲) را در آبخوان نشان می‌دهد، که همراه این کاهش میزان بارش کم بوده است. میزان افت در طی این دوره آماری ۱۶/۸۸ متر بوده است. نمودار تغییرات ارتفاع متوسط ماهانه سطح آب زیرزمینی آبخوان فسا (مثلاً برای آبان ماه) و شاخص GRI در آبخوان مربوطه (شکل ۳-ب) نیز گویای همین مطالب می‌باشد.



ب

شکل ۳-ب) تغییرات ارتفاع متوسط ماهانه (ماه آبان) سطح آب زیرزمینی و شاخص GRI

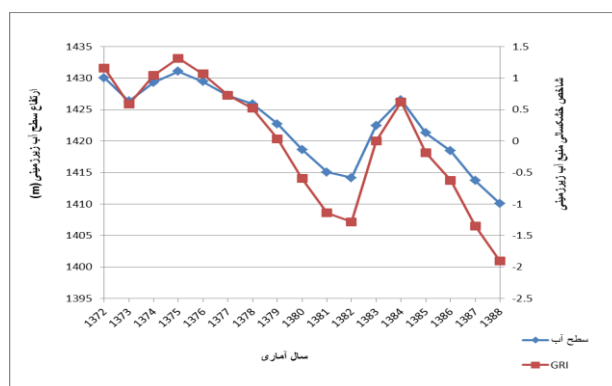
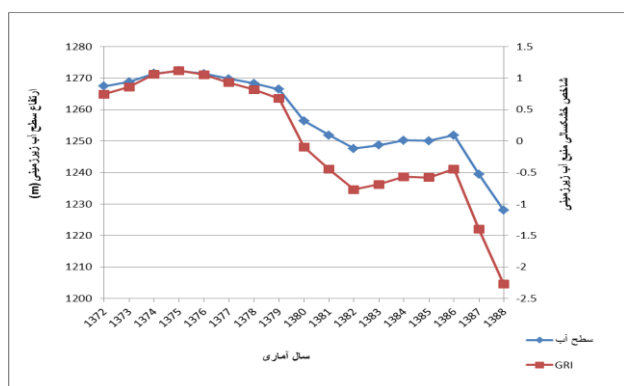


الف

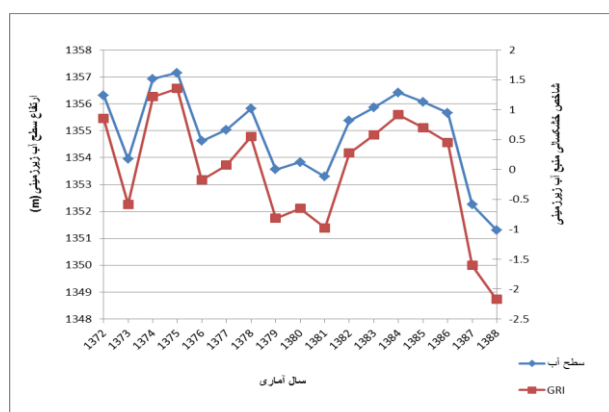
شکل ۳-الف) تغییرات ارتفاع متوسط سالانه سطح آب زیرزمینی و شاخص GRI

از بین چاه‌های پیزومتری منطقه، چاه پاسگاه زرجان افت متوسط (۱۹/۹۴ متر) را در این دوره آماری داشته است. تغییرات ارتفاع متوسط سالانه سطح آب زیرزمینی این چاه به همراه شاخص GRI (شکل ۴-الف) موید خشکسالی متوسط در سال‌های ۱۳۸۱، ۱۳۸۲ و ۱۳۸۷ و خشکسالی شدید در سال ۱۳۸۸ می‌باشد. تغییرات ارتفاع متوسط ماهانه سطح آب زیرزمینی این چاه نسبت به شاخص GRI مطالب مربوط به نمودار سالانه را

تأیید می‌کنند. از بین چاه‌های پیژومتری منطقه، چاه سعدآباد افت شدیدی (۳۹/۳۰ متر) را در این دوره آماری داشته است. تغییرات ارتفاع متوسط سالانه سطح آب زیرزمینی این چاه به همراه شاخص GRI (شکل ۴-ب) موید خشکسالی متوسط در سال ۱۳۸۷ و خشکسالی بسیار شدید در سال ۱۳۸۸ می‌باشد. تغییرات ارتفاع متوسط ماهانه سطح آب زیرزمینی این چاه نسبت به شاخص GRI مطالب مربوط به نمودار سالانه را تأیید می‌کنند. از بین چاه‌های پیژومتری منطقه، چاه دانشکده پزشکی افت کمتری (۵/۰۱ متر) را در این دوره آماری داشته است. در تغییرات ارتفاع متوسط سالانه سطح آب زیرزمینی این چاه به همراه شاخص GRI (شکل ۴-ج) موید خشکسالی متوسط در سال ۱۳۸۱، خشکسالی شدید در سال ۱۳۸۷ و خشکسالی بسیار شدید در سال ۱۳۸۸ می‌باشد. تغییرات ارتفاع متوسط ماهانه سطح آب زیرزمینی این چاه نسبت به شاخص GRI مطالب مربوط به نمودار سالانه را تأیید می‌کنند.



ب



الف

ج

شکل ۴-الف) تغییرات ارتفاع متوسط سالانه سطح آب زیرزمینی و شاخص GRI چاه پیژومتری پاسگاه زرجان ، ب) تغییرات ارتفاع متوسط سالانه سطح آب زیرزمینی و شاخص GRI چاه پیژومتری سعدآباد ، ج) تغییرات ارتفاع متوسط سالانه سطح آب زیرزمینی و شاخص GRI چاه پیژومتری دانشکده پزشکی

جدول ۳ مقادیر ضرایب همبستگی بین شاخص SPI در مقیاس‌های زمانی مختلف را با شاخص GRI طی دوره ۱۳۷۲-۱۳۸۸ نشان می‌دهد. با توجه به جدول ۳، در منطقه فسا بیشترین همبستگی بین شاخص‌های GRI و SPI در مقیاس ۴۸ ماهه می‌باشد که در سطح ۰/۰۱ (با احتمال ۹۹ درصد) معنی‌دار است. برای تعیین اثر تأخیر زمانی خشکسالی هواشناسی بر خشکسالی هیدروژئولوژیکی، ضریب همبستگی بین شاخص SPI در

مقیاس ۴۸ ماهه با شاخص GRI در فواصل زمانی ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴، ۴۸ ماهه بررسی شد که نتایج آن در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۳- ضرایب همبستگی بین شاخص SPI و شاخص GRI دشت فسا در طی دوره ۱۳۷۲-۱۳۸۸

SPI شاخص و هشت ماهه	SPI بیست و چهار ماهه	SPI هیجده ماهه	SPI دوازده ماهه	SPI نه ماهه	SPI شش ماهه	SPI سه ماهه	SPI یک ماهه	SPI شاخص
**۰/۷۵۶	**۰/۵۹۷	**۰/۵۳۳	**۰/۴۳۳	**۰/۳۷۷	**۰/۳۵۹	*۰/۱۷۷	۰/۱۱۶	GRI شاخص

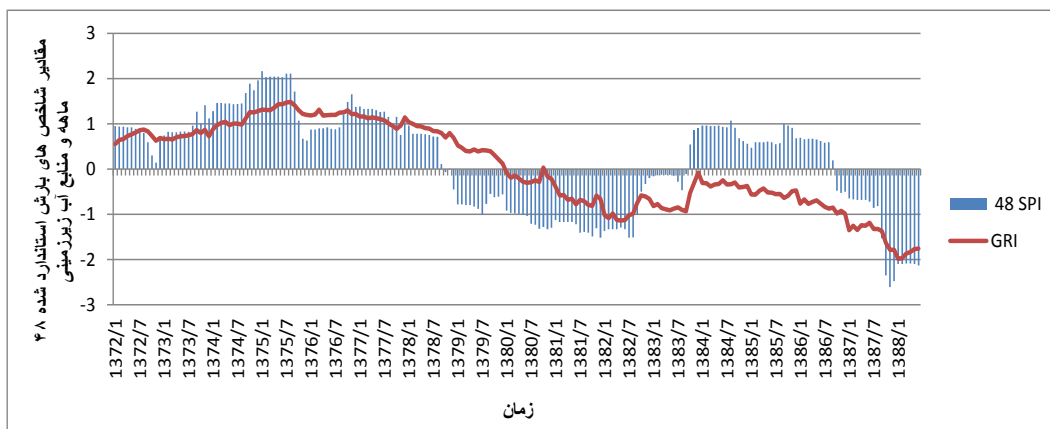
**سطح معنی داری ۰/۰۱ *سطح معنی داری ۰/۰۵

جدول ۴- ضرایب همبستگی بین شاخص SPI با مقیاس ۴۸ ماهه و شاخص GRI دشت فسا با اعمال تأخیر زمانی در طی دوره ۱۳۷۲-۱۳۸۸

تأخیر زمانی	ماه ۱	ماه ۲	ماه ۳	ماه ۴	ماه ۵	ماه ۶	ماه ۹	ماه ۱۲	ماه ۱۸	ماه ۲۴	۴۸ ماه
GRI شاخص	**۰/۷۴	**۰/۷۲	**۰/۷۱	**۰/۶۹	**۰/۶۷	**۰/۶۵	**۰/۵۹	**۰/۵۳	**۰/۳۹	**۰/۲۵	-۰/۱۸ *

**سطح معنی داری ۰/۰۱ *سطح معنی داری ۰/۰۵

اعداد جداول ۳ و ۴ بیانگر همبستگی بالای شاخص‌های SPI و GRI در مقیاس ۴۸ ماهه بدون تأخیر زمانی می‌باشد. شکل ۵ تغییرات شاخص SPI با مقیاس زمانی ۴۸ ماهه بدون تأخیر زمانی را با شاخص GRI در طول دوره آماری ۱۳۷۲-۱۳۸۸، در کل منطقه فسا را نشان می‌دهد.



شکل ۵- رابطه شاخص SPI با مقیاس زمانی ۴۸ ماهه بدون تأخیر زمانی و شاخص GRI

شکل ۵ بیانگر ارتباط شاخص GRI، با تغییرات شاخص SPI در مقیاس ۴۸ ماهه بدون تأخیر زمانی می‌باشد، زمانی که شاخص SPI دارای مقادیر ۱- یا کمتر (خشکسالی) می‌باشد، شاخص GRI نیز روند کاهشی نشان می‌دهد و در سال‌های ۱۳۸۲، ۱۳۸۷ و ۱۳۸۸ هر دو شاخص وضعیت خشکسالی را نشان می‌دهند. البته می‌توان گفت که سطح آب زیرزمینی در این منطقه از وضعیت بارندگی و خشکسالی و ترسالی‌ها پیروی می‌کند ولی عوامل انسانی نیز در کاهش مقادیر GRI بدون تأثیر نمی‌باشد.

نتیجه گیری :

خشکسالی یک پدیده اقلیمی است که در مقیاس ناحیه‌ای بر منابع آب و فعالیت‌های مرتبط با آن تأثیر می‌گذارد. بنابراین تحلیل و بررسی خشکسالی‌ها به صورت نقطه‌ای اطلاعات زیادی در مورد خشکسالی و ریسک

ناشی از آن را ارائه نمی‌دهد. در این مطالعه داده‌های سطح آب زیرزمینی در دوره آماری ۱۳۸۸-۱۳۷۲ به عنوان ورودی اصلی شاخص GRI انتخاب شد و از بین ۱۷ چاه پیژومتری، سه چاه با بیشترین، کمترین و متوسط افت انتخاب شد. نتایج خشکسالی در این تحقیق نشان می‌دهد که میزان شاخص GRI در هر سه چاه پیژومتری و آبخوان در سال‌های ۱۳۸۷ و ۱۳۸۸ به طور قابل توجهی کاهش یافته است و کلاس خطر به درجات شدید و بسیار شدید رسیده است که این موضوع نشان‌دهنده خشکسالی در این سال‌ها است. همبستگی بالای شاخص خشکسالی هیدروژئولوژیکی GRI با شاخص خشکسالی هواشناسی SPI در مقیاس زمانی ۴۸ ماهه نشان می‌دهد که منابع آب زیرزمینی در این منطقه تحت تأثیر پدیده‌های ترسالی و خشکسالی است، علاوه بر این سایر عوامل اقلیمی و عوامل انسانی از قبیل افزایش چاه‌های بهره‌برداری در این منطقه نیز در کاهش مقادیر GRI بی تأثیر نبوده است. بررسی تأثیر عوامل انسانی بر مقادیر GRI مطالعات جداگانه‌ای را نیاز دارد.

مراجع :

منابع فارسی :

- ۱- رزاق منش، م. سالمی، ت. سراج، م. (۱۳۸۵). بررسی کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی دشت تبریز. همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکش، دانشگاه شهید چمران اهواز .
- ۲- عزیزی، ق. (۱۳۸۲). ارتباط خشکسالی‌های اخیر و منابع آب زیرزمینی در دشت قزوین. پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۴۶، ۱۳۱-۱۴۳.
- ۳- فرج زاده، ح. (۱۳۸۶). تحلیل و تعیین خشکسالی و ترسالی بر اساس نمایه‌های SPI و DRI و روش نیچه شمال غرب ایران. رشد و آموزش جغرافیا، دوره بیست و دوم، شماره ۱، پاییز ۱۳۸۶.
- ۴- قره شیخلو، ا. ح. خسروانی شیری، ز. عربعلی، ع. (۱۳۸۷). پایش و پهنه‌بندی خشکسالی به منظور مدیریت بهینه منابع آب . سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران. تبریز.
- ۵- محمدی، ح. م. شمسی پور، ع. ا. (۱۳۸۲). تأثیر خشکسالی‌های اخیر در افت منابع آب زیرزمینی دشت‌های شمال همدان . پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۴۵، تابستان ۱۳۸۲، ۱۱۵-۱۳۰.

References:

- 1- Agnew, C. T. (2000). Using SPI to identify drought . Drought Network News. 12 : 6-11.
- 2- Duggins, J. Williams, M. Kim, D.Y. Smith, E. 2010. Chang point detecting in SPI transition probability. J. of Hydrology , 388: 456-463.
- 3- Hsu, K. C. Wang , C. H., Chen, K. C. Chen ,C. T. & Ma , K.W. (2007). Climate induced hydrological impacts on the groundwater system of the Pingtung Plain , Taiwan. Hydrogeology Journal. 5; 903-913.
- 4- Khan, S. Gabriel, H. F. & Rana , T. (2008). Standard precipitation index to track drought and assess impact of rainfall on water tables in irrigation areas. Irrigation Drainage System. 22: 159-177.
- 5- Mckee, T. B. Doesken, N. J. Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales . Proprints. 8th Conference of Applied Climatology, 17- 22 January Anaheim. CA, pp:179-184.
- 6- Mendicino, G. Senatore, A. Versace, P. (2008) . A Groundwater Resource Index (GRI) for drought monitoring and forecasting in a Mediterranean climate. Journal of Hydrology 357: 282-302.
- 7- Scibek, J. & Allen, D. M. (2006). Comparing modeled responses of two high – permeability unconfined aquifers to predicted climate change. Global and Planetary Change . 50: 50-62.
- 8- Wilhelmi, O. V. & D. A. Wilhite. (2002). Assessing vulnerability to agricultural drought : A Nebraska case study. J. of Natural Hazards , 25 : 37-58.