

ارزیابی تأثیر خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی آبخوان دشت فسا با استفاده از شاخصهای بارندگی معیار شده، منابع آب زیرزمینی و قابلیت هدایت الکتریکی معیار شده

محبوبه صیف^{۱*}، حسین محمدزاده^۲، ابوالفضل مساعدی^۳

چکیده

پدیده یخشکسالی در طول دوره ی وقوع خود، منابع آبهای زیرزمینی را تحت تأثیر قرار می‌دهد، که متأسفانه کمتر مورد توجه قرار گرفته است. در این تحقیق، میزان آسیب‌پذیری خشکسالی هواشناسی دشت فسا و پیرامون آن، با استفاده از شاخص بارندگی معیار شده (SPI) در مقیاسهای مختلف ماهانه، فصلی و سالانه در طول دوره ی آماری ۱۳۸۸-۱۳۵۷، و وضعیت خشکسالی آب و زمین شناسی این منطقه طی سال‌های ۱۳۸۸-۱۳۷۲ با استفاده از شاخص منبع آب زیرزمینی (GRI) مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد، که مقدار شاخص GRI روند کاهشی داشته و در سال‌های ۱۳۸۲، ۱۳۸۷ و ۱۳۸۸ خشکسالی آب و زمین شناسی با درجات بالا در منابع آب زیرزمینی این منطقه رخ داده است. به منظور بررسی شدت وابسته بودن آبهای زیرزمینی از نظر کمی و کیفی با پدیده ی خشکسالی هواشناسی، ضریب همبستگی بین میانگین ارتفاع سطح آب زیرزمینی، شاخص GRI و شاخص هدایت الکتریکی معیار شده (SECI) با شاخص SPI در مقیاسهای زمانی مختلف، با اعمال و بدون اعمال تأخیر زمانی، در طول دوره ی ۱۳۸۸-۱۳۷۲ محاسبه گردیده است. با توجه به دستاوردها، شاخص SPI در مقیاس زمانی ۴۸ ماهه ی بدون تأخیر زمانی (SPI48)، با میانگین ارتفاع سطح آب زیرزمینی، شاخص GRI و شاخص SECI رابطه ی معنی‌داری را در سطح ۹۹ درصد نشان می‌دهد، که تأثیر پذیری مستقیم کمی و کیفی آبهای زیرزمینی منطقه را از خشکسالی در این دشت تأیید می‌کند. رابطه ی وایازی ارتفاع سطح آب زیرزمینی با شاخص SPI48، نشان می‌دهد که ۵۶ درصد از واریانس ارتفاع سطح آب زیرزمینی، به وسیله ی شاخص SPI، و ۴۴ درصد به وسیله ی عوامل دیگر تبیین می‌گردد. همچنین، رابطه ی وایازی بین شاخص SECI با ارتفاع سطح آب زیرزمینی و شاخص SPI48، نشان می‌دهد که ۴۶ درصد از واریانس مقادیر SECI، به وسیله ی مقادیر کمی آب زیرزمینی و ۵۴ درصد آن به وسیله ی عوامل دیگر تبیین می‌گردد، و بین مقادیر SECI و شاخص SPI48، رابطه ی خطی معنی‌داری در سطوح ۹۵ و ۹۹ درصد وجود ندارد.

واژه های کلیدی: آبهای زیرزمینی، شاخص بارندگی معیار شده (SPI)، شاخص منبع آب زیرزمینی (SPI)، شاخص هدایت الکتریکی معیار شده (SECI)، دشت فسا.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آب‌های زیرزمینی گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد
 ۲- استادیار، مرکز تحقیقات آب‌های زیرزمینی (متأب)، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه فردوسی مشهد،
 ۳- دانشیار، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد
 *- نویسنده مسئول: seifmahbobeh@yahoo.com

مقدمه

۱۸، ۲۴، ۴۸ ماهه را برای شاخص بارندگی معیار شده پیشنهاد کرده‌اند.

شاخص منبع آب زیرزمینی GRI^۲ نیز به وسیله ی مندیسینو و همکاران (۲۰۰۸)، به عنوان شاخصی مفید و قابل اعتماد برای پایش و پیش‌بینی وضعیت خشکسالی آب و زمین شناسی برای منطقه ی مدیریتانه به کار برده شده‌است. مایر و فارس (۲۰۱۰)، به منظور ارزیابی رابطه ی زمانی-مکانی بین جریان سطحی، بارندگی و آب زیرزمینی از داده‌های تاریخی طولانی‌مدت با استفاده از آزمون من-کندال در حوضه ی هواویی استفاده کردند. نتایج تحقیق آنها حاکی از کاهش معنی‌دار جریان پایه ی آبهای سطحی از سال ۱۹۶۰ به بعد بود، در حالی که بارندگی روند معنی‌داری را در این دوره نشان نداده است. همچنین آبکشی از آبهای زیرزمینی بطور معنی‌داری از سال ۱۹۶۰ به بعد افزایش یافته و نتایج نشانگر اثر معنی-دار آن بر کاهش بده ی پایه می‌باشند. خان و همکاران (۲۰۰۸) در بررسی رابطه ی بین خشکسالی و سطح آب زیرزمینی در یکی از دشتهای استرالیا به این نتیجه رسیدند که بین شاخص بارندگی معیار شده و سطح آب زیرزمینی کم‌عمق منطقه ارتباطی قوی وجود دارد. مندیسینو و همکاران (۲۰۰۸) با استفاده از شاخصهای SPI و GRI به بررسی خشکسالی در منطقه ی کالابریا پرداخته و به این نتیجه رسیدند که خصوصیات سنگ شناسی حوضه بر شاخص GRI موثر بوده و باعث تأخیر مرحله ی GRI نسبت به SPI می‌شود. از طرفی، در این منطقه هر چه مقیاس زمانی SPI بزرگتر باشد، همبستگی آن با شاخص GRI بیشتر است، ضمن آن که شاخص GRI نسبت به شاخص SPI در پیش‌بینی وضعیت منابع آب زیرزمینی مناسبتر می باشد.

هسو و همکاران (۲۰۰۷) با بررسی رابطه ی بارش و تغذیه در دشت پینگتونگ، تایوان، به این نتیجه رسیدند که کاهش سطح آب زیرزمینی باعث هجوم آب شور و افت کیفیت آب زیرزمینی در محدوده ی مورد مطالعه شده است. اسکایبک و آلن (۲۰۰۶) از شبیه مادفلو^۳ به منظور مطالعه ی تأثیر تغییرات اقلیمی در مورد دو

خشکسالی یکی از مزمنترین، و از لحاظ اقتصادی زیانبارترین، مخاطرات طبیعی به شمار می رود (بداق-جمالی و همکاران، ۱۳۸۱). در بین بلاهای طبیعی تهدید کننده‌ی انسان و محیط زیست، خشکسالی هم از نظر فراوانی رخدادن و هم از جنبه ی اندازه ی زیانهای وارده در صدر قرار دارد (کنت، ۲۰۰۳). بیش از ۱۱٪ مخاطرات طبیعی در سطح جهان، بویژه در نواحی روستایی، مرتبط با وقوع خشکسالیهاست (کارانگ، ۲۰۰۴). این پدیده ی فیزیکی در درازمدت موجب خشکسالی آبشناسی و آب و زمین شناسی شده، و کاهش منابع آب را از طریق خشکیدگی جریانهای سطحی و زیرزمینی به دنبال دارد. مطالعات پیرامون پیامدهای آبشناسی خشکسالی و اثرات زیانبار آن پس از خشکسالیهای وسیع دهه ی ۱۹۷۰ در سطح جهان شکل جدیدتری را به خود گرفتند (محمدی و شمسی‌پور، ۱۳۸۲). با توجه به اهمیت فراسنجهای اقلیمی، بویژه بارندگی و تأثیر آن بر منابع آب، لازم است ابتدا خشکسالی هواشناسی به وسیله ی یک شاخص مناسب بررسی، سپس تأثیر آن بر منابع آب منطقه ی مورد نظر تعیین گردد.

تاکنون شاخصهای متعددی برای پایش پدیده ی خشکسالی پیشنهاد شده است. شاخص بارندگی معیار شده SPI^۱، به منظور تعیین و پایش خشکسالی توسط مککی و همکاران (۱۹۹۳) ارائه گردیده است. از بین شاخصهای کمی در تحلیل خشکسالی هواشناسی، شاخص SPI به علت سادگی محاسبات، استفاده از داده‌های قابل دسترس بارندگی، قابلیت محاسبه برای دوره‌های متفاوت زمانی، و همچنین مقیاسهای مکانی مختلف، به عنوان شاخصی مناسب به منظور تحلیل خشکسالی از مقبولیت جهانی برخوردار شده است. شرایط رطوبتی خاک نسبت به ناهنجاریهای کوتاه مدت بارندگی واکنش نشان می‌دهند، در حالی که آبهای زیرزمینی تحت تأثیر ناهنجاری‌های دراز مدت بارندگی قرار می‌گیرند (قره-شیخلو و همکاران، ۱۳۸۷). با توجه به این موضوع، مک-کی و همکاران (۱۹۹۳) مقیاسهای زمانی ۳، ۶، ۹، ۱۲،

^۲ groundwater resource index

^۳ Mudflow

^۱ standardized precipitation index

تأخیر زمانی بین رخداد خشکسالی هواشناسی و به دنبال آن خشکسالی آب و زمین شناسی را بررسی کردند. نتایج تحقیق آنها نشان دهنده ی شدت و تداوم خشکسالیها بویژه خشکسالی آب و زمین شناسی در سالهای اخیر، و وجود تأخیر زمانی بین وقوع خشکسالی هواشناسی و تأثیر آن بر آبدهی قنوات دشتی و کوهپایه‌ای بوده است.

شکیبا و همکاران (۱۳۸۹) تأثیر خشکسالی را بر منابع آب زیرزمینی در شرق استان کرمانشاه با استفاده از شاخص بارندگی معیار شده (SPI) بررسی کردند. نتایج تحقیق ایشان در رابطه با تأثیر خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی نشان دادند که خشکسالیها بر افت سطح آبهای زیرزمینی تأثیر بسزایی داشته‌اند. همچنین، آنها با توجه به وجود ضریب همبستگی بین مقادیر SPI و عمق آب زیرزمینی گزارش کردند که شاخص SPI شاخص تقریباً مناسبی جهت بررسی اثرات خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی می‌باشد.

رزاق‌منش و همکاران (۱۳۸۵) با بررسی کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی دشت تبریز به این نتیجه رسیدند 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 وجود دارد. محمدی و شمسی‌پور (۱۳۸۲)، با بررسی تأثیر خشکسالیها بر افت منابع آب زیرزمینی شمال همدان به این نتیجه رسیدند که بین کاهش بارندگی و افت سطح ایستابی ضریب همبستگی معنی‌داری وجود نداشته، و خشکسالی تنها به صورت غیر مستقیم بر منابع آب زیرزمینی منطقه تأثیر دارد. در حالی که عزیزی (۱۳۸۲) با بررسی رابطه ی بین خشکسالی و منابع آب زیرزمینی در دشت قزوین به این نتیجه رسید که منابع آب زیرزمینی منطقه تحت تأثیر سامانه ی بارش منطقه و همراه با تأخیر بوده، و نقش عامل انسانی در افت سطح آب زیرزمینی آشکار است.

با بررسی تحقیقات گذشته می‌توان به این نتیجه رسید که در بررسی تأثیر خشکسالی هواشناسی بر منابع آب زیرزمینی در مناطق مختلف کشور کمتر به بررسی خشکسالی آب و زمین شناسی (فراسنج کمی آب زیرزمینی) با استفاده از شاخص خشکسالی منبع آب

آبخوان کوچک در غرب کانادا و ایالات متحده آمریکا استفاده کردند. نتایج تحقیق ایشان تأثیر کم تغییرات اقلیم را بر تغذیه و سطح آب زیرزمینی دو آبخوان مورد مطالعه نشان دادند.

پیترز و همکاران (۲۰۰۵)، به منظور بررسی چگونگی تأثیر خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی، ۱۰ زنجیره ی زمانی ۱۰۰۰ ساله از تغذیه و تخلیه ی آبهای زیرزمینی را با استفاده از روش نمونه‌گیری نزدیکترین همسایه^۱ تولید کردند. نتایج تحقیق ایشان نشان دادند که طول دوره ی خشکسالی با استفاده از روش مقادیر حدی^۲ با دوره ی بازگشت طولانی بر تخلیه بیشتر از تغذیه اثر دارد. ایمانی و طالبی اسفندارانی (۱۳۹۰)، با استفاده از شاخصهای SPI و GRI به بررسی آثار خشکسالی طی دوره ی ۱۳۸۷-۱۳۶۷ بر سطح سفره آب زیرزمینی دشت بهاباد پرداختند. نتایج تحقیق آنها نشان دهنده ی افت شدید سفره ی آب زیرزمینی بخصوص در دهه ی اخیر، و رابطه بین شاخص SPI در مقیاس زمانی دراز مدت (SPI) در مقیاس ۴۸ ماهه) با سطح آب زیرزمینی بوده است، که نشان می‌دهد خشکسالی آب و زمین شناسی نسبت به خشکسالی هواشناسی تأخیر مرحله ی زمانی دارد.

محمدی قلعه‌نی و همکاران (۱۳۹۰)، به منظور بررسی رابطه‌ی بین خشکسالی و آب زیرزمینی در آبخوان دشت ساوه، از شاخص SPI استفاده کردند. نتایج تحقیق ایشان نشان دادند که شاخص SPI با مقیاس زمانی ۲۴ و ۴۸ ماهه با تراز سطح آب زیرزمینی با تأخیر زمانی ۵ ماهه بیشترین همبستگی را داشته است. ملکی‌نژاد و پورشرعیاتی (۱۳۹۰) با استفاده از شاخص منبع آب زیرزمینی (GRI)، به بررسی خشکسالی آبخوان مروست در طول دوره ی ۱۳۸۸-۱۳۶۶ پرداخته و نشان دادند که بطور متوسط از سال ۱۳۸۰ به بعد شاخص GRI بطور قابل توجهی کاهش یافته و خشکسالی آب و زمین شناسی در دشت مزبور اتفاق افتاده است.

اکرامی و همکاران (۱۳۹۰) ضمن بررسی دوره‌های متوالی خشکسالی هواشناسی و آب و زمین شناسی با استفاده از دو شاخص SPI و GRI در دشت یزد-اردکان،

¹ nearest neighbour resampling

² threshold level approach

بارندگی، مقادیر بارندگی معیار شده (SPI)، در مقیاسهای زمانی سالانه، فصلی و ۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه برای ایستگاههای منتخب و کل منطقه ی فسا در طول دوره ی آماری ۱۳۸۸-۱۳۵۷ محاسبه گردیدند. طبقات مختلف رطوبتی شاخص SPI در جدول ۱ نشان داده شده اند.

بزرگی خشکسالی براساس این شاخص از طریق رابطه ی ۱ تعریف می شود (مک کی و همکاران، ۱۹۹۳):

$$DM = \left[\sum_{j=1}^x SPI_{ij} \right] \quad (1)$$

که در آن فراسنجی که مقدار آن بر اساس اولین ماه وقوع خشکسالی است، که از عدد یک شروع و به تعداد ماههای یک رویداد خشکسالی (x) افزایش می یابد. SPI_{ij} شاخص خشکسالی ماههای کمتر از ۱- (ماههای وقوع خشکسالی) بر اساس مقیاس زمانی i در ماه j ام خشکسالی و DM بزرگی خشکسالی می باشد.

میزان آسیب پذیری ایستگاههای منطقه ی فسا بر اثر خشکسالی با استفاده از شاخص SPI در مقیاسهای مختلف ماهانه، فصلی و سالانه از قبیل مجموع بزرگی خشکسالی، طولانیترین دوره و تعداد دوره های مواجهه با این پدیده، نسبت به مناطق مجاور در طول دوره آماری ۱۳۸۸-۱۳۵۷، مورد بررسی قرار گرفت.

به منظور بررسی تأثیر خشکسالیها بر کمیت و کیفیت منابع آب زیرزمینی این منطقه، از داده های سطح آب زیرزمینی ۱۷ حلقه چاه مشاهده ای و داده های هدایت الکتریکی ۲۳ حلقه چاه انتخابی کیفی منطقه در طول دوره ی آماری ۱۳۸۸-۱۳۷۲ استفاده گردید. موقعیت چاههای مشاهده ای انتخابی کیفی منطقه ی فسا در شکل ۲ نشان داده شده است.

مقدار شاخص GRI برای دوره ی آماری ۱۳۸۸-۱۳۷۲ با استفاده از رابطه ی (۲) محاسبه می شود:

$$GRI = \frac{D_{y,m} - \mu_{D,m}}{\sigma_{D,m}} \quad (2)$$

که در آن $D_{y,m}$ مقادیر ارتفاع سطح آب زیرزمینی در سال y و ماه m، $\mu_{D,m}$ و $\sigma_{D,m}$ به ترتیب میانگین و

زیرزمینی (GRI) پرداخته شده است. با توجه به این که دشت فسا یکی از مهمترین مناطق کشاورزی استان فارس محسوب می شود، و تنها منبع تأمین منابع آب در این دشت آبهای زیرزمینی می باشند، در این تحقیق علاوه بر خشکسالی هواشناسی (بر اساس شاخص SPI)، خشکسالی آب و زمین شناسی نیز با استفاده از شاخص منبع آب زیرزمینی (GRI) در آبخوان دشت فسا بررسی شده است. علاوه بر اینها رابطه خشکسالی هواشناسی با فراسنجهای کمی و کیفی آبهای زیرزمینی دشت فسا بررسی گردیده است.

مواد و روشها

محدوده ی مطالعاتی فسا در حوضه ی بزرگ مند یکی از زیر حوضه های حوضه آبخیز جنوبی کشور قرار دارد. موقعیت محدوده ی مطالعاتی فسا در استان فارس در شکل ۱ نشان داده شده است. این محدوده از نظر مختصات جغرافیایی بین طول جغرافیایی شرقی ۲۷' ۵۳° تا ۵۰' ۵۳° و عرض جغرافیایی شمالی ۴۵' ۲۸° تا ۱۰' ۲۹° قرار گرفته است. در تحقیق حاضر از داده های بارندگی ۱۷ ایستگاه هواشناسی در داخل و خارج از منطقه ی فسا (و ترسیم خطوط هم باران به کمک این ایستگاهها برای کل منطقه) در طول دوره ی آماری ۱۳۸۸-۱۳۵۷ استفاده شده است. شکل ۱ موقعیت ایستگاههای هواشناسی داخل و خارج از منطقه فسا را نیز نشان می دهد.

ایستگاههای باران سنجی منتخب با در نظر گرفتن موارد مختلفی از قبیل: داشتن آمار طولانی مدت بارندگی (حداقل ۳۰ سال) و نواقص آماری کم، انتخاب شده اند. ابتدا داده های بارندگی ماهانه از نظر همگنی به وسیله ی دو روش جرم مضاعف و ران تست^۱ مورد بررسی و آزمون قرار گرفت. سپس نواقص آماری داده ها با استفاده از روش تفاضل و نسبتها بازسازی شدند.

در این تحقیق، شاخص بارندگی معیار شده (SPI)، به منظور بررسی وضعیت خشکسالی هواشناسی، در نظر گرفته شده است. به این منظور، با به کارگیری نرم افزار DIP (مرید و همکاران، ۱۳۸۴) و استفاده از داده های

¹. run test

SPI و فراسنجهای فوق با تأخیر زمانی حداکثر ۴ ساله (شامل تأخیر ماهانه تا ۴۸ ماه، تأخیر فصلی تا ۱۲ فصل و تأخیر سالانه تا ۴ سال) بررسی شد. با توجه به این‌که وایازی یک روش آماری برای بررسی ارتباط متغیرهای مستقل و وابسته با یکدیگر است، به منظور بررسی ارتباط کمیت آب زیرزمینی (متغیر وابسته)، با شاخص خشکسالی هواشناسی (متغیر مستقل)، رابطه‌ی وایازی خطی ساده بین میانگین ارتفاع سطح آب زیرزمینی با شاخص SPI تعیین، و به منظور بررسی ارتباط کیفیت آب زیرزمینی (متغیر وابسته) با شاخص خشکسالی هواشناسی و کمیت آب زیرزمینی (متغیرهای مستقل)، روابط وایازی خطی چندگانه بین شاخص SECI با شاخص SPI و میانگین ارتفاع سطح آب زیرزمینی به کمک نرم‌افزار SPSS 15.0 به دست آورده شده‌اند.

انحراف معیار مقادیر ارتفاع سطح آب زیرزمینی در ماه می‌باشند (مندیسینو و همکاران، ۲۰۰۸). طبقات مختلف رطوبتی در شاخص GRI همانند شاخص SPI بوده و در جدول ۱ نشان داده شده‌اند. با توجه به این‌که شاخصهای GRI و SPI از طریق اختلاف بین هر داده (داده‌ی سطح آب زیرزمینی یا داده‌ی بارندگی) با میانگین گیری و تقسیم کردن بر انحراف معیار، محاسبه شده‌اند، جهت برقراری روابط وایازی و محاسبه‌ی ضرایب همبستگی دقیقتر بین شاخصهای خشکسالی با داده‌های کیفی آبهای زیرزمینی، داده‌های هدایت الکتریکی، بدین طریق معیار شده و شاخص هدایت الکتریکی معیار شده (SECI)^۱ محاسبه گردیده‌اند. به منظور بررسی شدت وابستگی کمی و کیفی آبهای زیرزمینی با شاخص خشکسالی هواشناسی، ضریب همبستگی بین فراسنجهای کمی آب زیرزمینی (میانگین ارتفاع سطح آب زیرزمینی و شاخص GRI) و فراسنج کیفی (شاخص SECI) با شاخص SPI در مقیاسهای زمانی مختلف، با اعمال و بدون اعمال تأخیر زمانی محاسبه گردیدند که به شرح زیر می‌باشند:

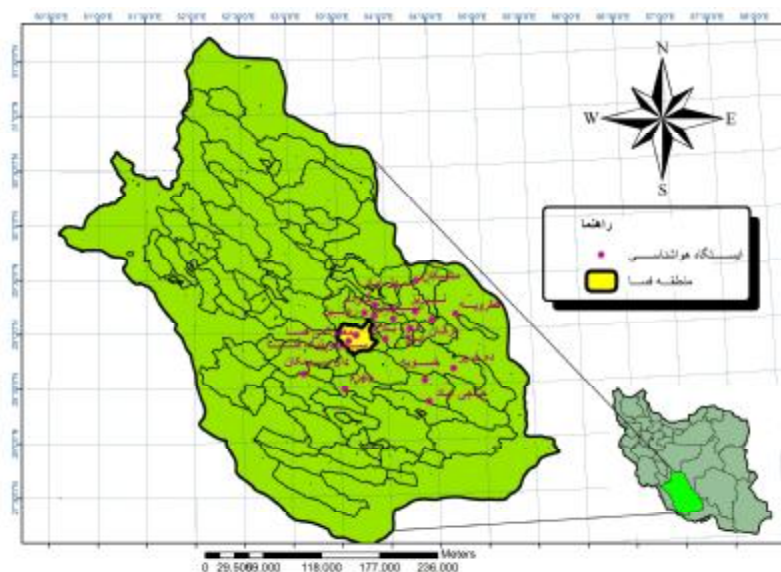
ضریب همبستگی بین میانگین ارتفاع سطح آب زیرزمینی و شاخص SPI با استفاده از رابطه‌ی ۳ محاسبه شده است (خان و همکاران، ۲۰۰۸)

$$p_{x,y} = \frac{\text{COV}(x,y)}{\sigma_x \sigma_y} \quad (3)$$

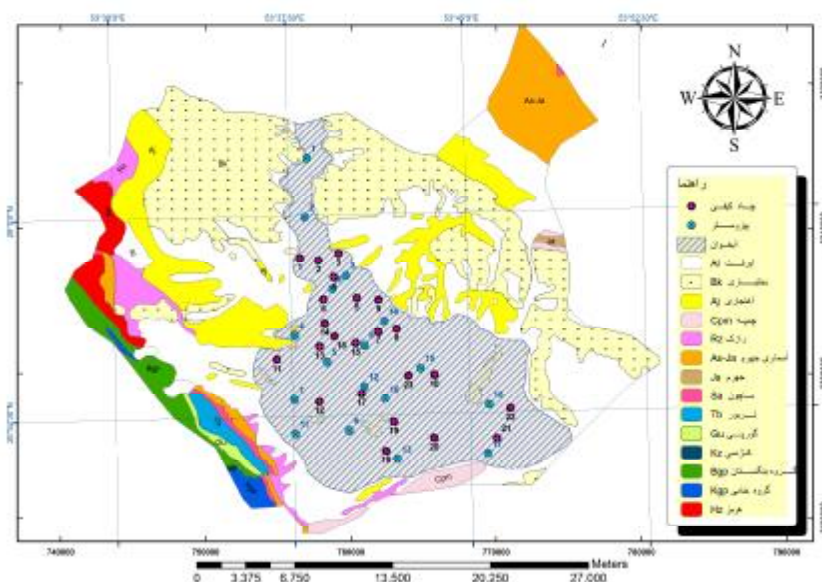
که در آن $p_{x,y}$ ضریب همبستگی بین شاخص بارندگی معیار شده و میانگین ارتفاع سطح آب زیرزمینی، X شاخص بارندگی معیار شده، Y میانگین ارتفاع سطح آب زیرزمینی، σ_x انحراف معیار شاخص بارندگی معیار شده و σ_y انحراف معیار میانگین ارتفاع سطح آب زیرزمینی می‌باشند.

ضریب همبستگی بین شاخصهای GRI و SECI با شاخص SPI به کمک نرم‌افزار Excel 2010 محاسبه گردیده است. به منظور تعیین ارتباط زمانی شاخص خشکسالی هواشناسی (SPI) با فراسنجهای کمی و کیفی آبهای زیرزمینی منطقه، ضریب همبستگی بین شاخص

¹ standardized electrical conductivity index



شکل ۱- موقعیت منطقه ی فسا در استان فارس و موقعیت ایستگاههای هواشناسی داخل و پیرامون آن.



شکل ۲- موقعیت چاههای مشاهده ای و کیفی منطقه ی فسا.

جدول ۱- وضعیت خشکسالی و ترسالیها بر حسب مقادیر SPI و GRI (مک کی و همکاران، ۱۹۹۳؛ مندیسینو و همکاران، ۲۰۰۸).

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 بهنجار	۰.۹۹ تا -۰.۹۹	-۰.۹۹ تا ۰.۹۹
۵	خشکسالی متوسط	-۱ تا -۱.۴۹	-۱ تا -۱.۴۹
۶	خشکسالی شدید	-۱.۹۹ تا -۱.۵	-۱.۹۹ تا -۱.۵
۷	خشکسالی بسیار شدید	-۲ و کمتر	-۲ و کمتر

نتایج و بحث

پس از اطمینان از همگن بودن داده‌ها و بازسازی نقص آماری داده‌های بارندگی با کاربردهای ذکر شده، مقادیر SPI در مقیاسهای مختلف زمانی تعیین شدند. میزان آسیب‌پذیری ایستگاههای منطقه‌ی فسا در برابر خشکسالی هواشناسی نسبت به ایستگاههای مناطق مجاور آن، در طول دوره‌ی آماری ۱۳۸۸-۱۳۵۷، به کمک شاخص SPI در مقیاسهای مختلف ماهانه در شکل ۳، و در مقیاسهای زمانی فصلی و سالانه در شکل ۴ نشان داده شده است. بر اساس این شکلها، ایستگاههای هواشناسی منطقه‌ی فسا (معمولی و سینوپتیک فسا) از نظر فراسنجهای مجموع بزرگی، طولانیترین تداوم و تعداد دوره‌های مواجه با پدیده‌ی خشکسالی هواشناسی، نسبت به ایستگاههای مناطق مجاور آن، مقادیر قابل توجهی را شامل گردیده و در مقیاسهای بلند مدت ماهانه (SPI ۴۸ و ۱۲ ماهه)، و مقیاس سالانه از سایر ایستگاهها بیشتر می‌باشند. با توجه به این‌که آبهای زیرزمینی تحت تأثیر ناهنجاریهای دراز مدت بارندگی قرار می‌گیرند، این نتیجه به دست آمد که تأثیرپذیری منابع آب زیرزمینی این منطقه از خشکسالی هواشناسی بیشتر از مناطق مجاور آن است.

جدول ۲ مقادیر ضرایب همبستگی بین شاخص SPI در مقیاسهای زمانی مختلف ماهانه را با شاخص SECI، میانگین ارتفاع سطح آب زیرزمینی و شاخص GRI در ماههای هر سال آماری (برای شاخص SECI در ماههای اردیبهشت و آبان هر سال آماری)، را طی دوره ۱۳۸۸-۱۳۷۲ نشان می‌دهد. با توجه به جدول ۲، هر چه مقیاس زمانی SPI در منطقه‌ی فسا بزرگتر می‌گردد، همبستگی آن با شاخص GRI بیشتر می‌شود نتیجه این بخش از تحقیق با نتایج تحقیقات مندیسنو و همکاران (۲۰۰۸) همخوانی دارد. بیشترین همبستگی ماهانه بین فراسنجهای کمی و کیفی آب زیرزمینی با شاخص SPI در مقیاس ۴۸ ماهه می‌باشد، که در سطح ۰/۰۱ (با احتمال ۹۹ درصد) معنی‌دار است. برای تعیین اثر تأخیر زمانی ماهانه خشکسالی هواشناسی بر فراسنجهای کمی و کیفی آب زیرزمینی، ضرایب همبستگی بین شاخص SPI در مقیاس ۴۸ ماهه با میانگین ارتفاع سطح آب زیرزمینی،

شاخص GRI و شاخص SECI، در فواصل زمانی ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه بررسی شد که نتایج آن در جدول ۳ ارائه شده‌اند. با توجه به جداول ۲ و ۳، بیشترین ضریب همبستگی مربوط به شاخص SPI در مقیاس ۴۸ ماهه بدون اعمال تأخیر زمانی بوده است.

جدول ۴ مقادیر ضرایب همبستگی بین شاخص SPI فصلهای مختلف و کلیه‌ی فصول هر سال را با فراسنجهای کمی آب زیرزمینی، طی دوره‌ی ۱۳۸۸-۱۳۷۲ نشان می‌دهد. با توجه به جدول ۴، بیشترین همبستگی بین شاخص SPI فصلی و فراسنجهای کمی آب زیرزمینی در منطقه‌ی فسا در فصل زمستان می‌باشد. برای تعیین اثر تأخیر زمانی فصلی خشکسالی هواشناسی بر فراسنجهای کمی آب زیرزمینی، ضرایب همبستگی بین شاخص SPI فصلی با میانگین ارتفاع سطح آب زیرزمینی و شاخص GRI در کلیه‌ی فصول هر سال آماری در فواصل زمانی ۱ تا ۱۲ فصل بررسی شدند که نتایج آنها در جدول ۵ ارائه شده‌اند. ضرایب همبستگی جداول ۴ و ۵ معنی‌دار نمی‌باشند. به دلیل فقدان داده‌های هدایت الکتریکی در کلیه ماههای سال، ضرایب همبستگی شاخص SECI با شاخص SPI فصلی نیز محاسبه نگردیده‌اند.

مقادیر ضرایب همبستگی بین شاخص SPI در مقیاسهای زمانی سالانه با میانگین ارتفاع سطح آب زیرزمینی، شاخص GRI و شاخص SECI در هر سال آماری، طی دوره‌ی ۱۳۸۸-۱۳۷۲ محاسبه، و برای تعیین ارتباط تأخیر زمانی خشکسالی هواشناسی سالانه بر فراسنجهای کمی و کیفی، ضرایب همبستگی بین شاخص SPI در مقیاس سالانه‌ی میانگین ارتفاع سطح آب زیرزمینی، شاخص GRI و شاخص SECI در هر سال آماری، در فواصل زمانی ۱ تا ۴ سال بررسی شدند که نتایج آنها در جدول ۶ ارائه شده‌اند. ضرایب همبستگی ارائه شده در این جدول نیز معنی‌دار نمی‌باشند.

با توجه به جداول ۲، ۳، ۴، ۵، و ۶ همبستگی بالایی بین فراسنجهای کمی و کیفی آب زیرزمینی منطقه با شاخص SPI در مقیاس ۴۸ ماهه بدون تأخیر زمانی وجود دارد. این نتیجه نشان می‌دهد که خشکسالی هواشناسی در دشت فسا بطور متوسط بعد از گذشت چهار سال بیشترین تأثیر خود را بر منابع آب زیرزمینی این منطقه

تأخیر زمانی (SPI48) با شاخص SECI در طول دوره ی آماری ۱۳۸۸-۱۳۷۲، در منطقه ی فسا نشان می‌دهد. این شکل نیز بیانگر پیروی شاخص SECI از تغییرات شاخص SPI در مقیاس ۴۸ ماهه ی بدون تأخیر زمانی می‌باشد.

به منظور تعیین تأثیر شاخص خشکسالی هواشناسی بر کمیت آب زیرزمینی منطقه، رابطه‌ی وایازی خطی ساده بین میانگین ارتفاع سطح آب زیرزمینی (متغیر وابسته) با شاخص SPI در مقیاس ۴۸ ماهه (متغیر مستقل) در دوره-ی آماری ۱۳۸۸-۱۳۷۲ تعیین گردید. نتایج آزمون وایازی خطی ساده بین میانگین ارتفاع سطح آب زیرزمینی و شاخص SPI48 در طول این دوره در جدول ۷ ارائه شده اند.

همان‌طور که در جدول ۷ مشاهده می‌شود، مقدار ANOVA (sig) کمتر از ۰/۰۵ می‌باشد، که نشان دهنده-ی وجود رابطه ی خطی معنی‌دار بین میانگین ارتفاع سطح آب زیرزمینی و شاخص SPI48 می‌باشد. مقدار ضریب تبیین برابر با ۰/۵۶۰ است که بیانگر این مطلب است که ۵۶ درصد از واریانس میانگین ارتفاع سطح آب زیرزمینی به وسیله ی SPI48 و ۴۴ درصد به وسیله ی متغیرهای دیگر تبیین می‌گردد. معادله ی خط وایازی بین این دو متغیر را در منطقه ی فسا می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$D_{y,m} = 1301.792 + 4.162 \text{SPI}48 \quad (2)$$

که در آن:

$D_{y,m}$ میانگین ارتفاع سطح آب زیرزمینی در ماه m و سال y ، و SPI48 شاخص بارندگی معیار شده در مقیاس ۴۸ ماهه ی بدون تأخیر زمانی می‌باشد. با توجه به فقدان اطلاعات ماهانه فعالیت‌های انسانی از قبیل تعداد چاههای بهره‌برداری، میزان تخلیه و... این فراسنجها در روابط وایازی قابل محاسبه نبوده‌اند.

به منظور بررسی ارتباط کمیت آب زیرزمینی و شاخص خشکسالی هواشناسی بر کیفیت آب زیرزمینی این دشت، رابطه ی وایازی خطی چندگانه بین شاخص SECI و شاخصهای SPI48 و میانگین ارتفاع سطح آب زیرزمینی در طول این دوره برقرار گردید، که نتایج آن نیز در جدول ۷ ارائه شده اند.

دارد، زیرا در تبدیل فرآیند بارندگی (به عنوان مهمترین شاخص اقلیمی خشکسالی) به رواناب و سپس فرآیند نفوذ و پیوستن به منابع آب زیرزمینی عوامل دیگری، بخصوص زمین‌شناسی منطقه نقش اساسی داشته و خشکسالی آب و زمین شناسی نسبت به خشکسالی هواشناسی تأخیر حالت زمانی دارد. نتایج این بخش از تحقیق با نتایج حاصل از تحقیقات مندیسینو و همکاران (۲۰۰۸) و ایمانی و طالبی اسفندارانی (۱۳۹۰) همخوانی دارند.

بررسی مقادیر SPI مربوط به ایستگاههای بارانسنجی معمولی و سینوپتیک فسا با میانگین ارتفاع سطح آب زیرزمینی، شاخص GRI و شاخص SECI چاههای نزدیک به این ایستگاهها (چاههای مشاهده ای و منتخب کیفی) این مطلب را تأیید کرده اند.

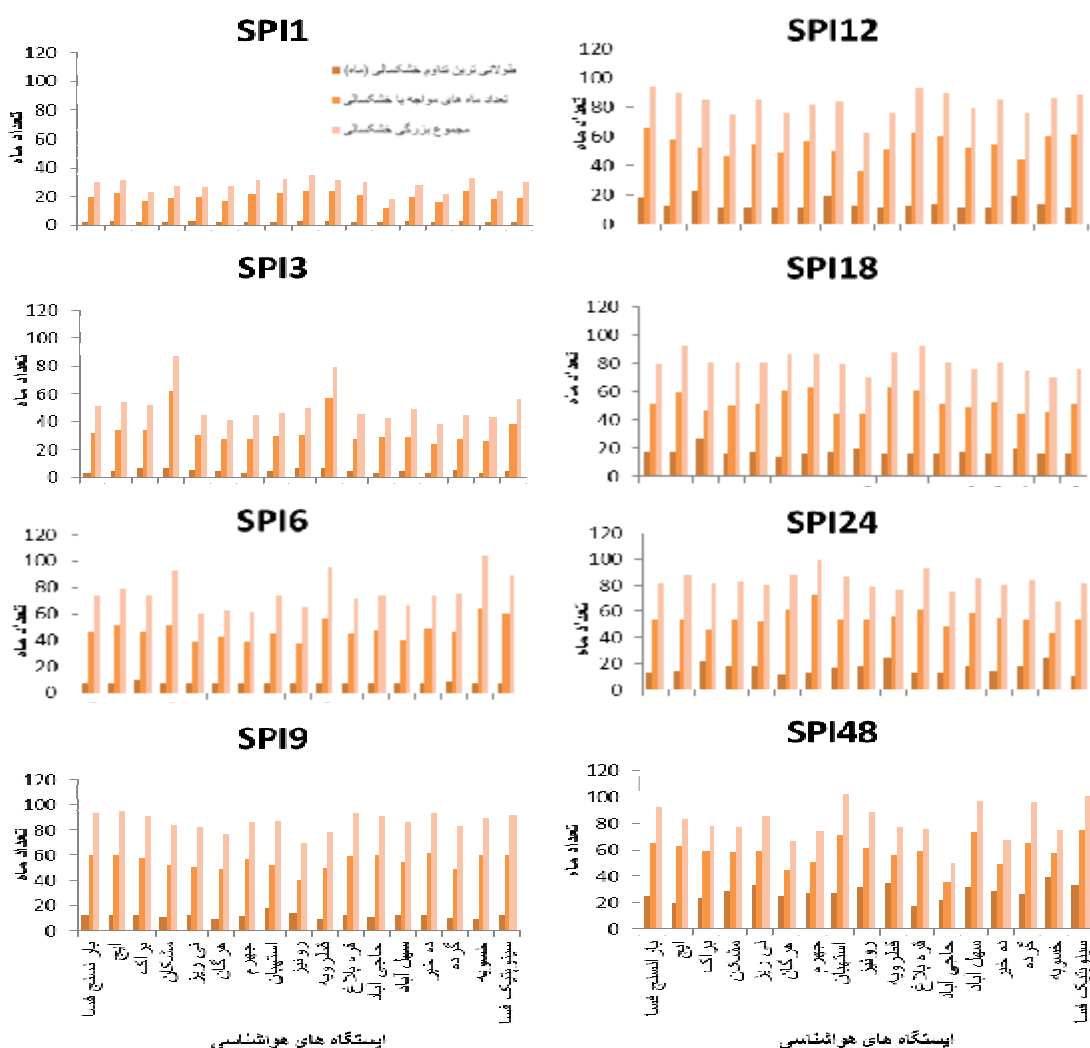
شکل ۵-الف ارتباط میانگین ارتفاع سطح آب زیر-زمینی و شاخص GRI، از تغییرات شاخص SPI در مقیاس ۴۸ ماهه (SPI48) بدون تأخیر زمانی را نشان می‌دهد؛ بر اساس این شکل، زمانی که شاخص SPI48 دارای مقادیر ۱- یا کمتر (خشکسالی هواشناسی) می‌باشد، میانگین ارتفاع سطح آب زیرزمینی دارای روندی کاهشی بوده و شاخص GRI نیز خشکسالی آب و زمین شناسی را نشان می‌دهد، بطوری که در سالهای ۱۳۸۲، ۱۳۸۷ و ۱۳۸۸ هر دو خشکسالی هواشناسی و آب و زمین شناسی در منطقه-ی فسا رخ داده اند. شکل ۵-الف همچنین نشان می‌دهد که شاخص SPI در دوره ی ۱۳۸۸-۱۳۸۰ به بعد، علاوه بر مقادیر منفی، مقادیر مثبت نیز پیدا کرده است، ولی میانگین ارتفاع سطح آب زیرزمینی دارای روند کاهشی، و شاخص GRI همچنان دارای مقادیر منفی بوده است؛ بنابراین، علاوه بر خشکسالی هواشناسی، عوامل دیگری از قبیل بهره‌برداری بی رویه از آبهای زیرزمینی، تخریب پوشش گیاهی، رشد بی‌رویه جمعیت و شهرنشینی، برنامه-ریزی غیراصولی و... در منفی شدن فراسنجهای کمی آب زیرزمینی این منطقه نقش داشته اند. شکل ۵-الف همچنین نشان می‌دهد که میانگین ارتفاع سطح آب زیرزمینی در آبخوان دشت فسا دارای روندی نزولی بوده و در سال ۱۳۸۸ نسبت به ابتدای دوره آماربرداری آن (سال ۱۳۷۲)، ۱۶/۸۸ متر افت داشته است. شکل ۵-ب منحنی تغییرات شاخص SPI را با مقیاس زمانی ۴۸ ماهه بدون

همان‌طور که در جدول ۷ مشاهده می‌شود، مقدار ANOVA (sig) برای شاخص SPI48 بیشتر از ۰/۰۵ می‌باشد، که نشان‌دهنده‌ی نبودن رابطه‌ی خطی معنی‌دار در سطح ۹۵ درصد بین شاخص خشکسالی هواشناسی با شاخص کیفی SECI آب زیرزمینی در این منطقه است؛ در نتیجه، شاخص SPI48 از رابطه‌ی وایزی حذف می‌گردد. از طرف دیگر، مقدار ANOVA (sig) برای میانگین ارتفاع سطح آب زیرزمینی کمتر از ۰/۰۵ می‌باشد، که نشان‌دهنده‌ی وجود رابطه‌ی خطی معنی‌دار در سطح ۹۵ درصد بین میانگین ارتفاع سطح آب زیرزمینی با شاخص

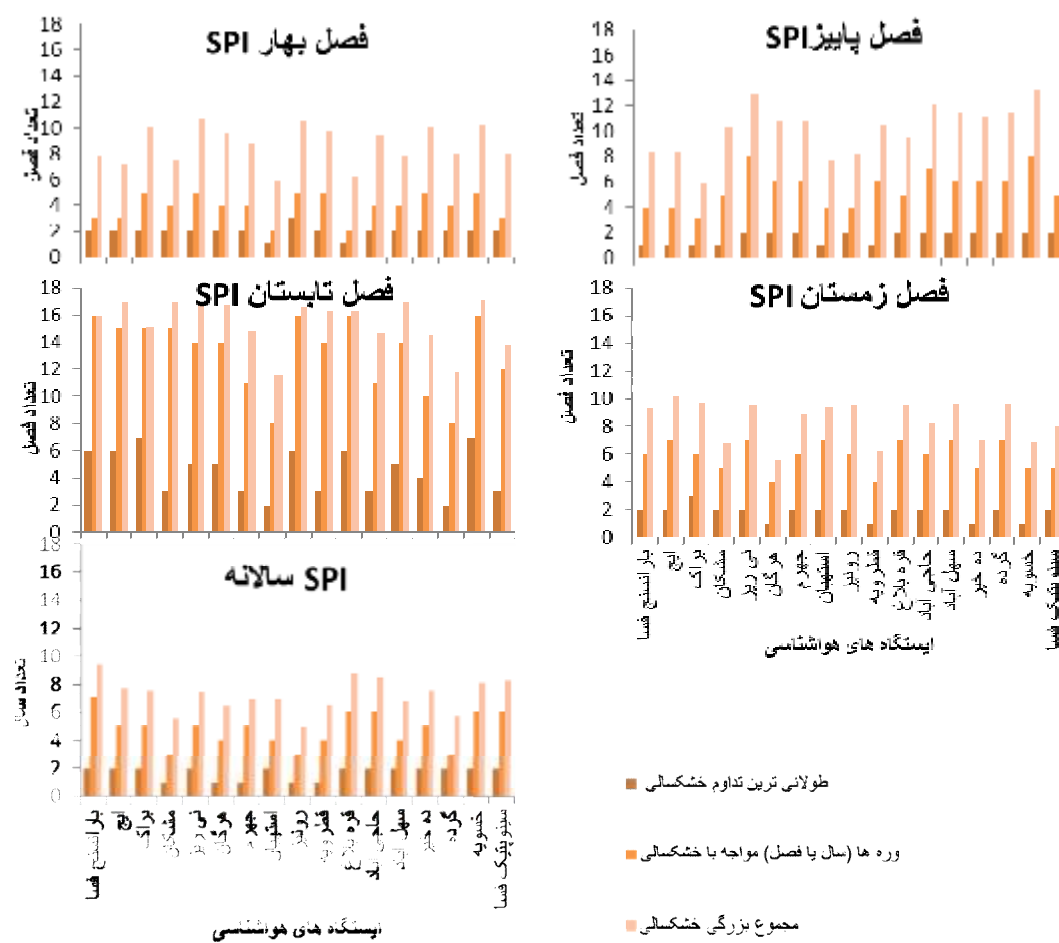
کیفی SECI در این منطقه است. مقدار ضریب تبیین برابر با ۰/۴۶۲، و بیانگر این مطلب است که ۴۶ درصد از واریانس مقادیر SECI به وسیله‌ی کمیت آب زیرزمینی، و ۵۴ درصد به وسیله‌ی سایر متغیرها تبیین می‌گردد. معادله‌ی خط وایزی را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$SECI = -118.284 + 0.091 D_{y,m} \quad (3)$$

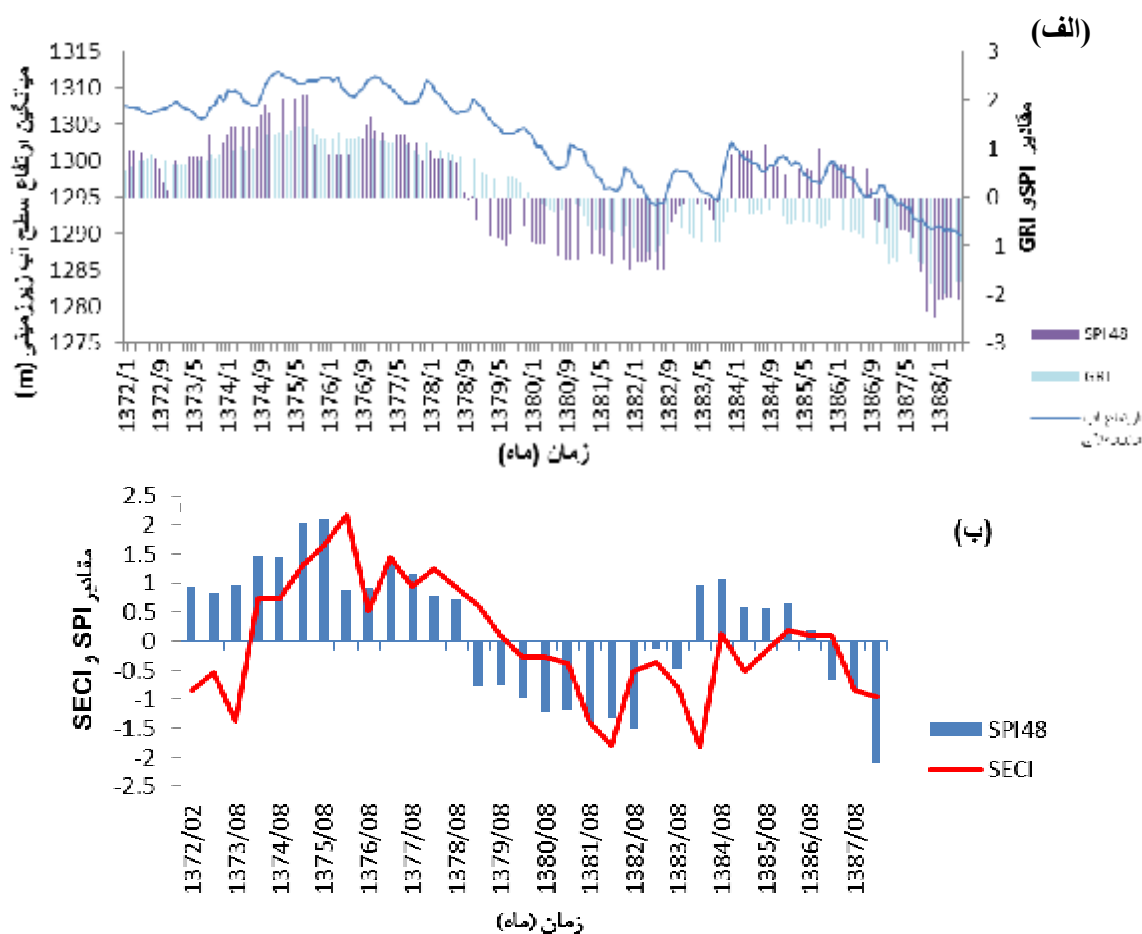
که در آن SECI هدایت الکتریکی معیار شده و $D_{y,m}$ میانگین ارتفاع سطح آب زیرزمینی مربوط به ماههای اردیبهشت و آبان در طول دوره‌ی آماری ۱۳۷۲-۱۳۸۸ می‌باشد.



شکل ۳- میزان آسیب‌پذیری ایستگاههای منطقه در برابر خشکسالی نسبت به ایستگاههای مناطق مجاور آن به کمک شاخص SPI در مقیاسهای زمانی ماهانه در طول دوره‌ی آماری ۱۳۵۷-۱۳۸۸.



شکل ۴- میزان آسیب پذیری ایستگاههای منطقه ی فسا در برابر خشکسالی نسبت به ایستگاههای مناطق مجاور آن به کمک شاخص SPI در مقیاسهای زمانی سالانه و فصلی در طول دوره ی آماری ۱۳۸۸-۱۳۷۲.



شکل ۵- رابطه‌ی شاخص SPI با مقیاس زمانی ۴۸ ماهه بدون تأخیر زمانی الف) شاخص GRI و ب) مقادیر SECI.

جدول ۲- ضرایب همبستگی بین شاخص SPI ماهانه با میانگین ارتفاع سطح آب زیرزمینی، شاخص GRI و شاخص

SECI دشت فسا در طول دوره‌ی آماری ۱۳۷۲-۱۳۸۸.

SPI یک ماهه	SPI سه ماهه	SPI شش ماهه	SPI نه ماهه	SPI دوازده ماهه	SPI هیجده ماهه	SPI بیست و چهار ماهه	SPI چهل و هشت ماهه
۰/۰۹۵	۰/۱۵۷	۰/۲۴۷*	۰/۳۶۷**	۰/۴۲۴**	۰/۵۲۴**	۰/۵۸۷**	۰/۷۴۸**
۰/۱۱۶	۰/۱۷۷	۰/۲۵۹*	۰/۳۷۷**	۰/۴۳۳**	۰/۵۲۲**	۰/۵۹۴**	۰/۷۵۴**
-۰/۳۲۰	-۰/۰۳۸	-۰/۰۴۴	-۰/۰۹۵	-۰/۰۱۶۷	-۰/۲۴۵	-۰/۲۱۱	-۰/۵۵۵**

**سطح معنی‌داری ۰/۰۱

*سطح معنی‌داری ۰/۰۵

جدول ۳- ضرایب همبستگی بین شاخص SPI با مقیاس ۴۸ ماهه با میانگین ارتفاع سطح آب زیرزمینی، شاخص GRI و شاخص SECI دشت فسا با اعمال تأخیر زمانی در طول دوره ی آماری ۱۳۷۲-۱۳۸۸.

تأخیر زمانی	ماه ۱	ماه ۲	ماه ۳	ماه ۴	ماه ۵	ماه ۶	ماه ۹	ماه ۱۲	ماه ۱۸	ماه ۲۴	ماه ۴۸
میانگین ارتفاع سطح آب زیرزمینی	۰/۷۲۹**	۰/۷۱۶**	۰/۷۰۰**	۰/۶۸۱**	۰/۶۶۰**	۰/۶۴۰**	۰/۵۷۳**	۰/۵۱۲*	۰/۳۸۷	۰/۲۴۰	-۰/۱۸۱
شاخص GRI	۰/۷۴۰**	۰/۷۲۶**	۰/۷۰۹**	۰/۶۸۹**	۰/۶۶۹**	۰/۶۴۹**	۰/۵۸۹**	۰/۵۲۶*	۰/۳۹۳	۰/۲۴۹	-۰/۱۸۴
شاخص SECI	۰/۵۰۹**	۰/۴۸۵**	۰/۴۲۷*	۰/۴۳۸*	۰/۳۹۰*	۰/۳۷۰*	۰/۲۶۳	۰/۱۶۲	۰/۰۳۰	-۰/۱۸۲	-۰/۴۱۹*

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

جدول ۴- ضرایب همبستگی بین شاخص SPI با میانگین ارتفاع سطح آب زیرزمینی، شاخص GRI و شاخص SECI دشت فسا در مقیاس فصلی در طول دوره ی آماری ۱۳۷۲-۱۳۸۸.

SPI فصل	SPI فصل	SPI فصل	SPI فصل	SPI فصل	SPI تمام
بهار	تابستان	پاییز	زمستان	فصول سال	فصول سال
۰/۱۶۸	۰/۰۲۰	۰/۱۹۵	۰/۴۵۸	۰/۰۰۴	میانگین ارتفاع سطح آب زیرزمینی
۰/۱۷۸	۰/۰۲۱	۰/۲۰۹	۰/۴۹۰	۰/۰۰۷	شاخص GRI

جدول ۵- ضرایب همبستگی بین شاخص SPI با میانگین ارتفاع سطح آب زیرزمینی، شاخص GRI و شاخص SECI دشت فسا در مقیاس فصلی با اعمال تأخیر زمانی در طول دوره ی آماری ۱۳۷۲-۱۳۸۸.

تأخیر زمانی	فصل ۱	فصل ۲	فصل ۳	فصل ۴	فصل ۵	فصل ۶	فصل ۷	فصل ۸	فصل ۹	فصل ۱۰	فصل ۱۱	فصل ۱۲
میانگین ارتفاع سطح آب زیرزمینی	۰/۰۴۴	۰/۰۴۳	-۰/۰۵۹	-۰/۰۷۴	-۰/۰۸۲	-۰/۱۱۰	-۰/۱۶۷	-۰/۱۹۸	-۰/۱۶۴	-۰/۱۷۳	۰/۲۱۸	-۰/۱۲۶
شاخص GRI	۰/۰۵۸	۰/۰۴۷	-۰/۰۳۹	-۰/۰۶۹	-۰/۰۸۲	-۰/۱۲۰	-۰/۱۵۵	-۰/۱۹۹	-۰/۱۸۵	-۰/۱۹۰	۰/۲۰۴	-۰/۲۳۳

جدول ۶- ضرایب همبستگی بین شاخص SPI با میانگین ارتفاع سطح آب زیرزمینی، شاخص GRI و شاخص SECI دشت فسا در مقیاس سالانه با اعمال و بدون اعمال تأخیر زمانی در طول دوره ی آماری ۱۳۷۲-۱۳۸۸.

SPI سالانه	SPI سالانه	SPI سالانه	SPI سالانه	SPI سالانه	SPI سالانه
بدون تأخیر زمانی	ساله ۱	ساله ۲	ساله ۳	ساله ۴	بدون تأخیر زمانی
۰/۳۰۰	۰/۳۲۹	۰/۲۷۶	۰/۱۱۱	۰/۱۶۳	میانگین ارتفاع سطح آب زیرزمینی
۰/۳۰۹	۰/۳۴۵	۰/۲۹۱	۰/۱۳۸	۰/۲۰۷	شاخص GRI
-۰/۱۰۱	-۰/۱۳۷	-۰/۱۰۹	-۰/۲۲۱	-۰/۲۰۱	شاخص SECI

جدول ۷- نتایج وایزی خطی بین شاخص خشکسالی و فراسنجهای کمی و کیفی آب زیرزمینی منطقه ی فسا در طول دوره ی آماری ۱۳۸۸-۱۳۷۲.

متغیر (متغیرهای مستقل)	متغیر وابسته	R ²	R	ANOVA (sig)	ضرایب B
SPI48	D _{y,m}	۰/۵۶۰	۰/۷۴۸	۰/۰۰۰	SPI48 = ۴/۱۶۲
D _{y,m}	SECI	۰/۴۶۲	۰/۶۷۹	۰/۰۰۷	D _{y,m} = ۰/۰۹۱
SPI48	SPI48			۰/۵۴۵	SPI48 = ۰/۱۰۹

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

بارندگی از جمله داده‌هایی است که بطور گسترده در ارزیابی خشکسالی هواشناسی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این تحقیق، خشکسالی هواشناسی با استفاده از شاخص بارندگی معیار شده (SPI) در منطقه ی فسا مورد بررسی واقع شد. از جمله مواردی که در شاخص SPI کمتر مورد توجه قرار گرفته است DM یا بزرگی خشکسالی است. این معیار سنجش خشکسالی به نوعی رابطه ی مستقیمی با تعداد ماههای مواجه با خشکسالی، و همچنین شدت خشکسالی در هر ماه (مقدار SPI) دارد. به دلیل جامعتر بودن این ویژگی، پیشنهاد می‌شود که برای ارزیابی میزان آسیب‌پذیری یک منطقه به خشکسالی هواشناسی از معیار شاخص SPI در مقابل فراسنجهایی همچون تداوم خشکسالی، و یا تعداد دوره-های مواجه با خشکسالی استفاده گردد.

به منظور بررسی خشکسالی آب و زمین شناسی (به عنوان فراسنج کمی آب زیرزمینی) از شاخص GRI، و با نیت تحقیق بررسی کیفیت آب زیرزمینی منطقه از شاخص SECI استفاده گردید، که به کارگیری این شاخصها نیز در کنار فراسنجهای دیگر مانند میانگین ارتفاع سطح آب زیرزمینی در رابطه با شاخص خشکسالی هواشناسی در مناطق مختلف پیشنهاد می‌شود. با توجه به این که منابع آب زیرزمینی از خشکسالی تاثیر می‌پذیرند، در این راستا با استفاده از محاسبه ی ضریب همبستگی بین فراسنجهای کمی (میانگین ارتفاع سطح آب زیرزمینی و شاخص GRI) و فراسنج کیفی (SECI) با

شاخص SPI، در مقیاسهای زمانی مختلف با اعمال و بدون اعمال تأخیر زمانی (بر طبق جداول ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶)، تأثیرات خشکسالی هواشناسی بر کیفیت و کمیت منابع آب زیرزمینی به صورت آماری بررسی شد. در منطقه ی فسا، شاخص بارندگی معیار شده (SPI) با مقیاس ۴۸ ماهه، بدون تأخیر زمانی بر فراسنجهای کمی و کیفی آبخوان دشت فسا اثر دارد. این تأخیر زمانی در دشتهای مختلف متفاوت است؛ دلیل این تفاوت، به عمق سطح آب زیرزمینی، ویژگی های خاک و خصوصیات آبی آبخوان در هر منطقه مربوط می‌شود. نتایج حاصل از ارتباط بین فراسنج کمی آب زیرزمینی و شاخص SPI در مقیاس زمانی بلند مدت با نتایج خان و همکاران (۲۰۰۸) در بررسی خشکسالی و تأثیرات آن بر سطح آب زیرزمینی در اراضی کشاورزی بخشی از استرالیا، مندیسنو و همکاران (۲۰۰۸) در منطقه ی کالابریا، و محمدی قلعه-نی و همکاران (۱۳۹۰) در آبخوان دشت ساوه همخوانی دارد.

همچنین، در این تحقیق (بر طبق جدول ۷) از روابط وایزی به منظور تعیین میزان تأثیرپذیری کمی و کیفی آبهای زیرزمینی از شاخص خشکسالی استفاده گردید، که به کارگیری این روابط در این گونه مطالعات در مناطق مختلف نیز پیشنهاد می‌گردد. از آن جا که آب زیرزمینی تنها منبع تأمین کننده ی آب برای مصارف مختلف در منطقه فسا می‌باشد، و متأسفانه این منطقه تحت تأثیر خشکسالیهای هواشناسی و آب و زمین شناسی نیز قرار

- گرفته‌است، بنابراین، انجام اقدامات مدیریتی مقابله با این پدیده در منطقه ی مزبور پیشنهاد می‌گردد.
- تشکر و سپاسگزاری**
- این تحقیق در راستای انجام پایان‌نامه کارشناسی- ارشد با شاخص طرح ۱۷۰۴۹ انجام شده است، که از حوزه ی معاونت محترم پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد تشکر و قدردانی می‌شود.
- منابع**
۱. اکرامی، م.، ملکی‌نژاد، ح. و اختصاصی، م. ر. ۱۳۹۰. بررسی تأثیر خشکسالی اقلیمی بر آبدهی برخی از قنوات دشت یزد- اردکان. سی‌دی مجموعه مقالات همایش بین المللی دانش سنتی مدیریت منابع آب. یزد، ۲-۴ اسفند ماه ۱۳۹۰.
 ۲. ایمانی، م. و طالبی اسفندارانی، ع. ۱۳۹۰. بررسی آثار خشکسالی بر تغییرات سطح سفره آب زیرزمینی دشت بهاباد یزد با استفاده از شاخص‌های SPI و GRI. سی‌دی مجموعه مقالات چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران. دانشگاه صنعتی امیر کبیر تهران، ۱۳-۱۴ اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۰.
 ۳. بداق جمالی، ج. جوانمرد، س. و شیرمحمدی، ر. ۱۳۸۱. پایش و پهنه‌بندی وضعیت خشکسالی استان خراسان با استفاده از نمایه معیار شده بارش، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۶۷، ۴-۲۱.
 ۴. رزاق منش، م. سالمی، ت. و سراج، م. ۱۳۸۵. بررسی کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی دشت تبریز. مجموعه مقالات همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، ۱۲-۱۰ اسفند ماه ۱۳۸۵.
 ۵. شکیبا، ع. میرباقری، ب. و خیری، ا. ۱۳۸۹. خشکسالی و تأثیر آن بر منابع آب زیرزمینی در شرق استان کرمانشاه با استفاده از شاخص SPI. فصلنامه علمی-پژوهشی انجمن جغرافیای ایران، شماره ۲۵، ۱۰۵-۱۲۴.
 ۶. عزیز، ق. ۱۳۸۲. ارتباط خشکسالی‌های اخیر و منابع آب زیرزمینی در دشت قزوین. پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۴۶، ۱۳۱-۱۴۳.
 ۷. قره شیخلو، ا. ح. خسروانی شیری، ز. و عربعلی، ع. ۱۳۸۷. پایش و پهنه‌بندی خشکسالی به منظور مدیریت بهینه منابع آب. سی‌دی مجموعه مقالات سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران. تبریز، ۲۳-۲۵ مهرماه ۱۳۸۷.
 ۸. محمدی قلعه‌نی، م. ابراهیمی، ک. و عراقی‌نژاد، ش. ۱۳۹۰. ارزیابی تأثیر خشکسالی بر نوسانات سطح آب زیرزمینی با استفاده از شاخص بارش معیار شده- مطالعه موردی آبخوان دشت ساوه. سی‌دی مجموعه مقالات چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران. دانشگاه صنعتی امیر کبیر تهران، ۱۳-۱۴ اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۰.
 ۹. محمدی، ح. م. و شمسی پور، ع. ۱۳۸۲. تأثیر خشکسالی‌های اخیر در افت منابع آب زیرزمینی دشت‌های شمال همدان. پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۴۵، تابستان ۱۳۸۲، ۱۱۵-۱۳۰.
 ۱۰. مرید، س.، مقدسی، م.، پایمزد، ش. و قائمی، ه. ۱۳۸۴. طرح تحقیقاتی طراحی سیستم پایش خشکسالی استان تهران. وزارت نیرو، ۲۵۳.
 ۱۱. ملکی‌نژاد، ح. و پورشرعیاتی، ر. ۱۳۹۰. بررسی روند خشکسالی در دشت مروست با استفاده از شاخص منبع آب زیرزمینی (GRI). سی‌دی مجموعه مقالات چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران. دانشگاه صنعتی امیر کبیر تهران، ۱۳-۱۴ اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۰.
 12. 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.
 13. Karang, Li. (2004). Drought early Warning and Impact Assessment in China, Proceeding of an Export Group meeting.
 14. 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.
15. Keneth, H. F. (2003). *Climate Variation Drought and Desertification*, W. M. Annual Report . Jevenna.
 16. Mair, A. and Fares, A. 2010. Influence of groundwater pumping and rainfall spatio-temporal variation of stream flow. *Journal of Hydrology* . 393:287-308.
 17. 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.
 18. 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.
 19. Peters, E. Torf, P. Vanlanen, H.A.J. and Beir, G. 2005. Drought in groundwater drought distribution and performance indicators. *Journal of Hydrology* 306:302-317.
 20. Scibek, J. and Allen, D. M. 2006. Comparing modeled responses of two high-permeability unconfined aquifers to predicted climate change. *Global and Planetary Change*. 50: 50-62.