

## 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<sup>1\*</sup>، حسین محمدزاده<sup>2</sup>، ابوالفضل مساعدی<sup>3</sup>، حامد صیاد<sup>4</sup>

تاریخ دریافت: 91/1/22 تاریخ پذیرش: 91/6/19

### چکیده

پدیده‌ی خشکسالی در طول دوره‌ی 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 دشت‌فساو پیرامون آن، با استفاده از شاخص بارندگی معیار شده (SPI) در مقیاسهای مختلف ماهانه، فصلی و سالانه در طول دوره‌ی آماری 1357-1388، و وضعیت خشکسالی آب و زمین شناسی این منطقه طی سال‌های 1372-1388 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 1382، 1387 و 1388 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 پدیده‌ی 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 دوره‌ی 1372-1388 محاسبه گردیده است. با توجه به دستاوردها، شاخص SPI در مقیاس زمانی 48 ماهه‌ی بدون تأخیر زمانی (SPI48)، با میانگین ارتفاع سطح آب زیرزمینی، شاخص GRI و شاخص SECI رابطه‌ی معنی‌داری را در سطح 99 درصد نشان می‌دهد، که تأثیر پذیری مستقیم کمی و کیفی آبهای زیرزمینی منطقه را از خشکسالی در این دشت تأیید می‌کند. رابطه‌ی وایازی ارتفاع سطح آب زیرزمینی با شاخص SPI48، نشان می‌دهد که 56 درصد از واریانس ارتفاع سطح آب زیرزمینی، به وسیله‌ی شاخص SPI، و 44 درصد به وسیله‌ی عوامل دیگر تبیین می‌گردد. همچنین، رابطه‌ی وایازی بین شاخص SECI با ارتفاع سطح آب زیرزمینی و شاخص SPI48، نشان می‌دهد که 46 درصد از واریانس مقادیر SECI، به وسیله‌ی مقادیر کمی آب زیرزمینی و 54 درصد آن به وسیله‌ی عوامل دیگر تبیین می‌گردد، و بین مقادیر SECI و شاخص SPI48، رابطه‌ی خطی معنی‌داری در سطوح 95 و 99 درصد وجود ندارد.

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

- 1- دانشجوی کارشناسی ارشد آب‌های زیرزمینی گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد
  - 2- استادیار، مرکز تحقیقات آب‌های زیرزمینی (متاب)، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه فردوسی مشهد
  - 3- دانشیار، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد
  - 4- دانشجوی کارشناسی ارشد آب‌های زیرزمینی گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد
- \*- نویسنده مسئول: [seifmahbobeh@yahoo.com](mailto:seifmahbobeh@yahoo.com)

**مقدمه**

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، 2008). با توجه به این موضوع، مکی و همکاران (1993) مقیاسهای زمانی 3، 6، 9، 12، 18، 24، 48 ماهه را برای شاخص بارندگی معیار شده پیشنهاد کرده‌اند.

شاخص منبع آب زیرزمینی<sup>2</sup>GRI نیز به وسیله‌ی مندیسینو و همکاران (2008)، به عنوان شاخصی مفید و قابل اعتماد برای پایش و پیش‌بینی وضعیت خشکسالی آب و زمین‌شناسی برای منطقه‌ی مدیترانه به کار برده شده‌است. مایر و فارس (2010)، به منظور ارزیابی رابطه‌ی زمانی- مکانی بین جریان سطحی، بارندگی و آب زیرزمینی از داده‌های تاریخی طولانی‌مدت با استفاده از آزمون من-کندال در حوضه‌ی هواویی استفاده کردند. نتایج تحقیق آنها حاکی از کاهش معنی‌دار جریان پایه‌ی آبهای سطحی از سال 1960 به بعد بود، در حالی که بارندگی روند معنی‌داری را در این دوره نشان نداده است.

خشکسالی یکی از مزمن‌ترین، و از لحاظ اقتصادی زیان‌بارترین، مخاطرات طبیعی به شمار می‌رود (بداق‌جمالی و همکاران، 2002). در بین بلاهای طبیعی تهدیدکننده‌ی انسان و محیط زیست، خشکسالی هم از نظر فراوانی رخدادن و هم از جنبه‌ی اندازه‌ی زیانهای وارده در صدر قرار دارد (کنت، 2003). بیش از 11% مخاطرات طبیعی در سطح جهان، بویژه در نواحی روستایی، مرتبط با وقوع خشکسالی‌هاست (کارانگ، 2004). این پدیده‌ی فیزیکی در درازمدت موجب خشکسالی آبشناسی و آب و زمین‌شناسی 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 دهه‌ی 1970 در سطح جهان شکل جدیتری را به خود گرفتند (محمدی و شمسی‌پور، 2003). با توجه به اهمیت فراسنجهای اقلیمی، بویژه بارندگی و تأثیر آن بر منابع آب، لازم است ابتدا خشکسالی هواشناسی به وسیله‌ی یک شاخص مناسب بررسی، سپس تأثیر آن بر منابع آب منطقه‌ی مورد نظر تعیین گردد.

تاکنون شاخصهای متعددی برای پایش پدیده‌ی خشکسالی پیشنهاد شده است. شاخص بارندگی معیار شده SPI<sup>1</sup>، به منظور تعیین و پایش خشکسالی توسط مکی و همکاران (1993) ارائه گردیده است. از بین

<sup>2</sup>groundwater resource index<sup>1</sup>standardized precipitation index

اقلیم را بر تغذیه و سطح آب زیرزمینی دو آبخوان مورد مطالعه نشان دادند.

پیترز و همکاران (2005)، به منظور بررسی چگونگی تأثیر خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی، 10 زنجیره‌ی زمانی 1000 ساله از تغذیه و تخلیه‌ی آبهای زیرزمینی را با استفاده از روش نمونه‌گیری نزدیکترین همسایه<sup>2</sup> تولید کردند. نتایج تحقیق ایشان نشان دادند که طول دوره‌ی خشکسالی با استفاده از روش مقادیر حدی<sup>3</sup> با دوره‌ی بازگشت طولانی برتخلیه بیشتر از تغذیه اثر دارد. ایمانی و طالبی اسفندارانی (2011)، با استفاده از شاخصهای SPI و GRI به بررسی آثار خشکسالی طی دوره‌ی 1387-1367 بر سطح سفره آب زیرزمینی دشت بهاباد پرداختند. نتایج تحقیق آنها نشان دهنده‌ی افت شدید سفره‌ی آب زیرزمینی بخصوص در دهه‌ی اخیر، و رابطه بین شاخص SPI در مقیاس زمانی دراز مدت (SPI در مقیاس 48 ماهه) با سطح آب زیرزمینی بوده است، که نشان می‌دهد خشکسالی آب و زمین شناسی نسبت به خشکسالی هواشناسی تأخیر مرحله‌ی زمانی دارد.

محمدی قلعه‌نی و همکاران (2011)، 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 24 و 48 ماهه با تراز سطح آب زیرزمینی با تأخیر زمانی 5 ماهه بیشترین همبستگی را داشته است. ملکی‌نژاد و

همچنین آبکشی از آبهای زیرزمینی بطور معنی‌داری از سال 1960 به بعد افزایش یافته و نتایج نشانگر اثر معنی-دار آن بر کاهش بدهی پایه می‌باشند. خان و همکاران (2008) در بررسی رابطه‌ی 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 (2008) با استفاده از شاخصهای SPI و GRI به بررسی خشکسالی در منطقه‌ی کالابر یا پرداخته و به این نتیجه رسیدند که خصوصیات سنگ شناسی حوضه بر شاخص GRI موثر بوده و باعث تأخیر مرحله‌ی 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 آن‌که شاخص GRI نسبت به شاخص SPI در پیش‌بینی وضعیت منابع آب زیرزمینی مناسبتر می‌باشد.

هسو و همکاران (2007) با بررسی رابطه‌ی 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 محدوده‌ی مورد مطالعه شده است. اسکایبک و آلن (2006) از شبیه‌سازی مادفلو<sup>1</sup> به منظور مطالعه‌ی تأثیر تغییرات اقلیمی در مورد دو آبخوان کوچک در غرب کانادا و ایالات متحده آمریکا استفاده کردند. نتایج تحقیق ایشان تأثیر کم تغییرات

<sup>2</sup>nearest neighbour resampling

<sup>3</sup>threshold level approach

<sup>1</sup>Mudflow

رزاق‌منش و همکاران (2006) با بررسی کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی دشت تبریز به این نتیجه رسیدند که، در 16 سال آینده سطح آب زیرزمینی 2/6 متر پایین خواهد رفت، و با افزایش برداشت در طولانی‌مدت، امکان افت سطح ایستابی تا حدود 5 متر نیز وجود دارد. محمدی و شمسی‌پور (2003)، 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 (2003) با بررسی رابطه‌ی بین خشکسالی و منابع آب زیرزمینی در دشت قزوین به این نتیجه رسید که منابع آب زیرزمینی منطقه تحت تأثیر سامانه‌ی 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 زیرزمینی (GRI) پرداخته شده است. با توجه به این که دشت فسا یکی از مهمترین مناطق کشاورزی استان فارس محسوب می‌شود، و تنها منبع تأمین منابع آب در این دشت آبهای زیرزمینی می‌باشند، در این تحقیق

پورشرعیاتی (2011) با استفاده از شاخص منبع آب زیرزمینی (GRI)، به بررسی خشکسالی آبخوان مروست در طول دوره‌ی 1366-1388 پرداخته و نشان دادند که بطور متوسط از سال 1380 به بعد شاخص GRI بطور قابل توجهی کاهش یافته و خشکسالی آب و زمین شناسی در دشت مزبور اتفاق افتاده است.

اکرامی و همکاران (2011) ضمن بررسی دوره‌های متوالی خشکسالی هواشناسی و آب و زمین شناسی با استفاده از دو شاخص SPI و GRI در دشت یزد-اردکان، تأخیر زمانی بین رخداد خشکسالی هواشناسی و به دنبال آن خشکسالی آب و زمین شناسی را بررسی کردند. نتایج تحقیق آنها نشان دهنده‌ی 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 کوهپایه ایبوته است.

شکیبا و همکاران (2010) 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.

دو روش جرم مضاعف و آزمون توالی<sup>1</sup> مورد بررسیو آزمون قرار گرفت. سپس نواقص آماری داده‌ها 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 شده‌است. به این منظور، با به کارگیری نرم‌افزار DIP (مرید و همکاران، 2005) و استفاده از داده‌های بارندگی، مقادیر بارندگی معیار شده (SPI)، در مقیاسهای زمانی سالانه، فصلی و 1، 3، 6، 9، 12، 18، 24 و 48 ماهه برای ایستگاههای منتخب و کل منطقه ی فسا در طول دوره‌ی آماری 1357-1388 محاسبه گردیدند. طبقات مختلف رطوبتی شاخص SPI در جدول 1 نشان داده شده اند.

بزرگی خشکسالی براساس این شاخص از طریق رابطه ی 1 تعریف می‌شود (مک‌کی و همکاران، 1993):

که در آن  $Z$  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 می‌یابد.  $SPI_{ij}$  شاخص خشکسالی ماههای کمتر از 1- (ماههای وقوع خشکسالی) بر اساس مقیاس زمانی  $i$  در ماه  $j$  ام خشکسالی و  $DM$  بزرگی خشکسالی می‌باشد.

میزان آسیب‌پذیری ایستگاههای منطقه ی فسا بر اثر خشکسالی با استفاده از شاخص SPI در مقیاسهای مختلف ماهانه، فصلی و سالانه از قبیل مجموع بزرگی

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 مندیکیز زیر حوضه‌های حوضه آبخیز جنوبی کشور قرار دارد. موقعیت محدوده ی مطالعاتی فسا در استان فارس در شکل 1 نشان داده شده است. این محدوده از نظر مختصات جغرافیایی بین طول جغرافیایی شرقی  $27^{\circ} 53'$  تا  $50^{\circ} 53'$  و عرض جغرافیایی شمالی  $28^{\circ} 45'$  تا  $10'$   $29^{\circ}$  قرار گرفته است. در تحقیق حاضر از داده‌های بارندگی 17 ایستگاه هواشناسی در داخل و خارج از منطقه ی فسا (و ترسیم خطوط هم‌باران به کمک این ایستگاهها برای کل منطقه) در طول دوره ی آماری 1357-1388 استفاده شده است. شکل 1 موقعیت ایستگاههای هواشناسی داخل و خارج از منطقه فسا را نیز نشان می‌دهد.

ایستگاههای باران‌سنجی منتخب با در نظر گرفتن موارد مختلفی از قبیل: داشتن آمار طولانی‌مدت بارندگی- (حداقل 30 سال) و نواقص آماری کم، انتخاب شده‌اند. ابتدا داده‌های بارندگی ماهانه از نظر همگنیه و سیله ی

<sup>1</sup>. run test

کیفی آبهای زیرزمینی، داده‌های هدایت الکتریکی، بدین طریق معیار شده و شاخص هدایت الکتریکی معیار شده (SECI)<sup>1</sup> محاسبه گردیده اند.

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 رابطه ی 3 محاسبه شده است (خان و همکاران، 2008):

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،  $s_x$  انحراف معیار شاخص بارندگی معیار شده و  $s_y$  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

خشکسالی، طولانی ترین دوره و تعداد دوره‌های مواجهه با این پدیده، نسبت به مناطق مجاور در طول دوره آماری 1357-1388، مورد بررسی قرار گرفت.

به منظور بررسی تأثیر خشکسالیها بر کمیت و کیفیت منابع آب زیرزمینی این منطقه، از داده‌های سطح آب زیرزمینی 17 حلقه چاه مشاهده ای و داده‌های هدایت الکتریکی 23 حلقه چاه انتخابی کیفی منطقه در طول دوره ی آماری 1372-1388 استفاده گردید. موقعیت چاههای مشاهده ای انتخابی کیفی منطقه ی فسا در شکل 2 نشان داده شده است.

مقدار شاخص GRI برای دوره ی آماری 1372-1388 با استفاده از رابطه ی (2) محاسبه می شود:

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

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 انحراف معیار مقادیر ارتفاع سطح آب زیرزمینی در ماه  $m$  می‌باشند (مندیسینو و همکاران، 2008).

طبقات مختلف رطوبتی در شاخص GRI همانند شاخص SPI بوده و در جدول 1 نشان داده شده اند. با توجه به این که شاخصهای GRI و SPI از طریق اختلاف بین هر داده (داده ی سطح آب زیرزمینی یا داده ی بارندگی) با میانگین گیری و تقسیم کردن بر انحراف معیار، محاسبه شده‌اند، جهت برقراری روابط وایازی و محاسبه ی ضرایب همبستگی دقیقتر بین شاخصهای خشکسالی با داده‌های

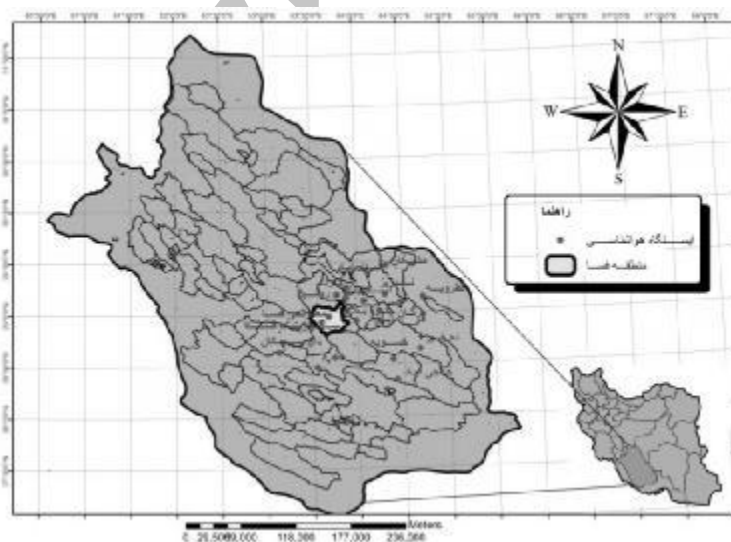
<sup>1</sup>standardized electrical conductivity index

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 شده اند.

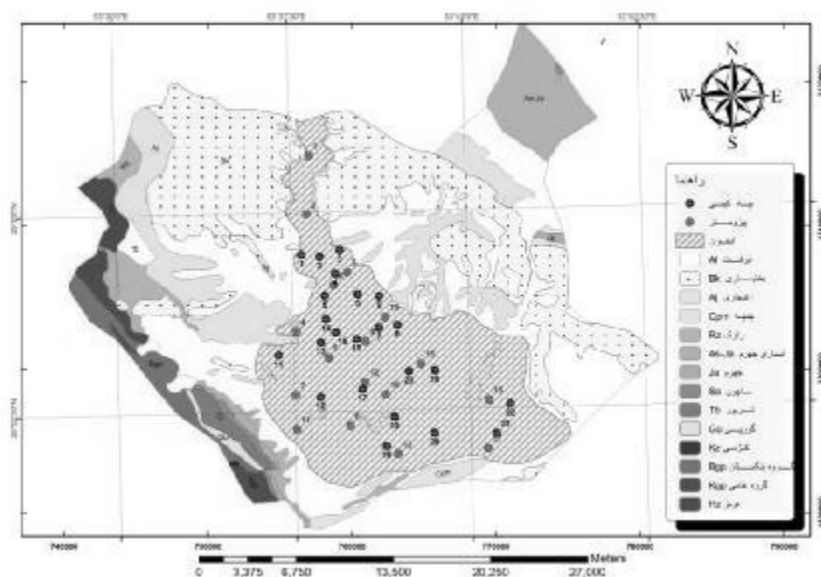
SPI و فراسنجهای فوق با تأخیر زمانی حداکثر 4 ساله (شامل تأخیر ماهانه تا 48 ماه، تأخیر فصلی تا 12 فصل و تأخیر سالانه تا 4 سال) بررسی شد. با توجه به این‌که وایازیک روش آماری برای بررسی ارتباط متغیرهای مستقل و وابسته با یکدیگر است، به منظور بررسی ارتباط کمیت آب زیرزمینی (متغیر وابسته)، با شاخص خشکسالی هواشناسی (متغیر مستقل)، رابطه‌ی

جدول 1- وضعیت خشکسالی و ترسالیها بر حسب مقادیر SPI و GRI (مک کی و همکاران، 1993؛ مندیسینو و همکاران، 2008).

طبقات	وضعیت	مقادیر SPI	مقادیر GRI
1	ترسالی بسیار شدید	2 و بیشتر	2 و بیشتر
2	ترسالی شدید	1.5 تا 1.99	1.5 تا 1.99
3	ترسالی متوسط	1 تا 1.49	1 تا 1.49
4	نزدیک به بهنجار	0.99 تا -0.99	0.99 تا -0.99
5	خشکسالی متوسط	-1 تا -1.49	-1 تا -1.49
6	خشکسالی شدید	-1.99 تا -1.5	-1.99 تا -1.5
7	خشکسالی بسیار شدید	-2 و کمتر	-2 و کمتر



شکل 1- موقعیت منطقه‌ی فسا در استان فارس و موقعیت ایستگاههای هواشناسی داخل و پیرامون آن.



شکل 2- موقعیت جاههای مشاهده ای و کیفی منطقه ی فسا.

## نتایج و بحث

باشند. با توجه به این که آبهای زیرزمینی تحت تأثیر ناهنجاریهای دراز مدت بارندگی قرار می گیرند، این نتیجه به دست آمد که تأثیرپذیری منابع آب زیرزمینی این منطقه از خشکسالی هواشناسی بیشتر از مناطق مجاور آن است.

جدول 2 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 1388-1372 نشان می دهد. با توجه به جدول 2، هر چه مقیاس زمانی SPI در منطقه ی فسا بزرگتر می گردد، همبستگی آن با شاخص GRI بیشتر می شود نتیجه این بخش از تحقیق با نتایج تحقیقات مندیسنو و همکاران (2008) همخوانی دارد. بیشترین همبستگی ماهانه بین فراسنجهای کمی و کیفی آب زیرزمینی با شاخص SPI در

پس از اطمینان از همگن بودن داده ها و بازسازی نقص آماری داده های بارندگی با کاربردهای ذکر شده، مقادیر SPI در مقیاسهای مختلف زمانی تعیین شدند. میزان آسیب پذیری ایستگاههای منطقه ی فسا در برابر خشکسالی هواشناسی نسبت به ایستگاههای مناطق مجاور آن، در طول دوره ی آماری 1388-1357، به کمک شاخص SPI در مقیاسهای مختلف ماهانه در شکل 3، و در مقیاسهای زمانی فصلی و سالانه در شکل 4 نشان داده شده است. بر اساس این شکلها، ایستگاههای هواشناسی منطقه ی فسا (معمولی و سینوپتیک فسا) از نظر فراسنجهای مجموع بزرگی، طولانی ترین تداوم و تعداد دوره های مواجه با پدیده ی خشکسالی هواشناسی، نسبت به ایستگاههای مناطق مجاور آن، مقادیر قابل توجهی را شامل گردیده و در مقیاسهای بلند مدت ماهانه (48SPI و 12 ماهه)، و مقیاس سالانه از سایر ایستگاهها بیشتر می-



مقادیر ضرایب همبستگی بین شاخص SPI در مقیاسهای زمانی سالانه بامیانگین ارتفاع سطح آب زیرزمینی، شاخص GRI و شاخص SECI در هر سال آماری، طی دوره‌ی 1372-1388 محاسبه، و برای تعیین ارتباط تأخیر زمانی خشکسالی هواشناسی سالانه بر فراسنجهای کمی و کیفی، ضریب همبستگی بین شاخص SPI در مقیاس سالانه‌ی میانگین ارتفاع سطح آب زیرزمینی، شاخص GRI و شاخص SECI در هر سال آماری، در فواصل زمانی 1 تا 4 سال بررسی شدند که نتایج آنها در جدول 6 ارائه شده‌اند. ضرایب همبستگی ارائه شده در این جدول نیز معنی‌دار نمی‌باشند.

با توجه به جداول 2، 3، 4، 5 و 6 همبستگی بالایی بین فراسنجهای کمی و کیفی آب زیرزمینی منطقه با شاخص-SPI در مقیاس 48 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 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 زمین‌شناسی نسبت به خشکسالی هواشناسی تأخیر حالت زمانی دارد. نتایج این بخش از تحقیق با نتایج حاصل از تحقیقات مندیسنو و همکاران (2008) و ایمانی و طالبی اسفندارانی (2011) همخوانی دارند.

مقیاس 48 ماهه می‌باشد، که در سطح 0/01 (با احتمال 99 درصد) معنی‌دار است. برای تعیین اثر تأخیر زمانی ماهانه خشکسالی هواشناسی بر فراسنجهای کمی و کیفی آب زیرزمینی، ضریب همبستگی بین شاخص SPI در مقیاس 48 ماهه با میانگین ارتفاع سطح آب زیرزمینی، شاخص GRI و شاخص SECI، در فواصل زمانی 1، 2، 3، 4، 5، 6، 9، 12، 18، 24 و 48 ماهه بررسی شد که نتایج آن در جدول 3 ارائه شده‌اند. با توجه به جداول 2 و 3، بیشترین ضریب همبستگی مربوط به شاخص SPI در مقیاس 48 ماهه بدون اعمال تأخیر زمانی بوده است. جدول 4 مقادیر ضرایب همبستگی بین شاخص SPI فصلهای مختلف و کلیه‌ی فصول هر سال را با فراسنجهای کمی آب زیرزمینی، طی دوره‌ی 1388-1372 نشان می‌دهد. با توجه به جدول 4، 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، ضریب همبستگی بین شاخص SPI فصلی با میانگین ارتفاع سطح آب زیرزمینی و شاخص GRI در کلیه‌ی فصول هر سال آماری در فواصل زمانی 1 تا 12 فصل بررسی شدند که نتایج آنها در جدول 5 ارائه شده‌اند. ضرایب همبستگی جداول 4 و 5 معنی‌دار نمی‌باشند. به دلیل فقدان داده‌های هدایت الکتریکی در کلیه ماههای سال، ضرایب همبستگی شاخص SECI با شاخص SPI فصلی نیز محاسبه نگردیده‌اند.

زیرزمینی در آبخوان دشت فسا دارای روندی نزولی بوده و در سال 1388 نسبت به ابتدای دوره آماربرداری آن (سال 1372)، 16/88 متر افت داشته است. شکل 5-ب منحنی تغییرات شاخص SPI را با مقیاس زمانی 48 ماهه بدون تأخیر زمانی (SPI48) با شاخص SECI در طول دوره ی آماری 1388-1372، در منطقه ی فسا نشان می‌دهد. این شکل نیز بیانگر پیروی شاخص SECI از تغییرات شاخص SPI در مقیاس 48 ماهه ی بدون تأخیر زمانی می‌باشد.

به منظور تعیین تأثیر شاخص خشکسالی هواشناسی بر کمیت آب زیرزمینی منطقه، رابطه ی وایازی خطی ساده بین میانگین ارتفاع سطح آب زیرزمینی (متغیر وابسته) با شاخص SPI در مقیاس 48 ماهه (متغیر مستقل) در دوره ی آماری 1388-1372 تعیین گردید. نتایج آزمون وایازی خطی ساده بین میانگین ارتفاع سطح آب زیرزمینی و شاخص SPI48 در طول این دوره در جدول 7 ارائه شده اند.

همان‌طور که در جدول 7 مشاهده می‌شود، مقدار ANOVA (sig) کمتر از 0/05 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 0/560 است که بیانگر این مطلب است که 56 درصد از واریانس میانگین ارتفاع سطح آب زیرزمینی به وسیله ی SPI48 و 44 درصد به وسیله ی متغیرهای دیگر تبیین می‌گردد. معادله ی خط وایازی بین

بررسی مقادیر SPI مربوط به ایستگاههای بارانسنجی معمولی و سینوپتیک فسا بامیانگین 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 5-الف ارتباط میانگین ارتفاع سطح آب زیرزمینی و شاخص GRI، از تغییرات شاخص SPI در مقیاس 48 ماهه (SPI48) بدون تأخیر زمانی را نشان می‌دهد؛ بر اساس این شکل، زمانی که شاخص SPI48 دارای مقادیر 1- 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 1382، 1387 و 1388 هر دو خشکسالی هواشناسی و آب و زمین شناسی در منطقه ی فسا رخ داده اند. شکل 5-الف همچنین نشان می‌دهد که شاخص SPI در دوره ی 1388-1380 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، برنامه‌ریزی غیراصولی و... در منفی شدن فراسنجهای کمی آب زیرزمینی این منطقه نقش داشته اند. شکل 5-الف همچنین نشان می‌دهد که میانگین ارتفاع سطح آب

باشد، که نشان‌دهنده‌ی نبودن رابطه‌ی خطی معنی‌دار در سطح 95 درصد بین شاخص خشکسالی هواشناسی با شاخص کیفی SECI آب زیرزمینی در این منطقه است؛ در نتیجه، شاخص SPI48 از رابطه‌ی وایازی حذف می‌گردد. از طرف دیگر، مقدار ANOVA (sig) برای میانگین ارتفاع سطح آب زیرزمینی کمتر از 0/05 می‌باشد، که نشان‌دهنده‌ی وجود رابطه‌ی خطی معنی‌دار در سطح 95 درصد بین میانگین ارتفاع سطح آب زیرزمینی با شاخص کیفی SECI در این منطقه است. مقدار ضریب تبیین برابر با 0/462، و بیانگر این مطلب است که 46 درصد از واریانس مقادیر SECI به وسیله‌ی کمیت آب زیرزمینی، و 54 درصد به وسیله‌ی سایر متغیرها تبیین می‌گردد. معادله‌ی خط وایازی 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 1372-1388 می‌باشد.

این دو متغیر را در منطقه‌ی فسا می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$D_{y,m} = 1301.792 + 4.162 SPI48 \quad (2)$$

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 48 ماهه‌ی 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، رابطه‌ی 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 7 ارائه شده‌اند.

همان‌طور که در جدول 7 مشاهده می‌شود، مقدار ANOVA (sig) برای شاخص SPI48 بیشتر از 0/05 می‌-

جدول 2- ضرایب همبستگی بین شاخص SPI ماهانه با میانگین ارتفاع سطح آب زیرزمینی، شاخص GRI و شاخص SECI دشت فسا در طول دوره‌ی آماری 1372-1388.

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
0/095	0/157	0/247*	0/367**	0/424**	0/524**	0/587**	0/748**
0/116	0/177	0/259*	0/377**	0/433**	0/532**	0/594**	0/754**
-0/320	-0/038	-0/044	0/095	0/0167	0/245	0/211	0/555**

\*\* سطح معنی‌داری 0/01

\* سطح معنی‌داری 0/05

جدول 3- ضرایب همبستگی بین شاخص SPI با مقیاس 48 ماهه با میانگین ارتفاع سطح آب زیرزمینی، شاخص GRI و شاخص SECI دشت فسا با اعمال تأخیر زمانی در طول دوره ی آماری 1372-1388.

تأخیر زمانی	1 ماه	2 ماه	3 ماه	4 ماه	5 ماه	6 ماه	9 ماه	12 ماه	18 ماه	24 ماه	48 ماه
میانگین ارتفاع سطح آب زیرزمینی	0/729**	0/716**	0/700**	0/681**	0/660**	0/640**	0/573**	0/512*	0/387	0/240	-0/181
شاخص GRI	0/740**	0/726**	0/709**	0/689**	0/669**	0/649**	0/589**	0/526*	0/393	0/249	-0/184
شاخص SECI	0/509**	0/485**	0/427*	0/438*	0/390*	0/370*	0/263	0/162	0/030	-0/182	-0/419*

\*\* سطح معنی داری 0/01  
\* سطح معنی داری 0/05

جدول 4- 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 1372-1388.

SPI فصل بهار	SPI فصل تابستان	SPI فصل پاییز	SPI فصل زمستان	SPI فصل تمام
-0/168	-0/020	-0/195	0/458	-0/004
میانگین ارتفاع سطح آب زیرزمینی				
-0/178	-0/021	-0/209	0/490	-0/007
شاخص GRI				

جدول 5- 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 1372-1388.

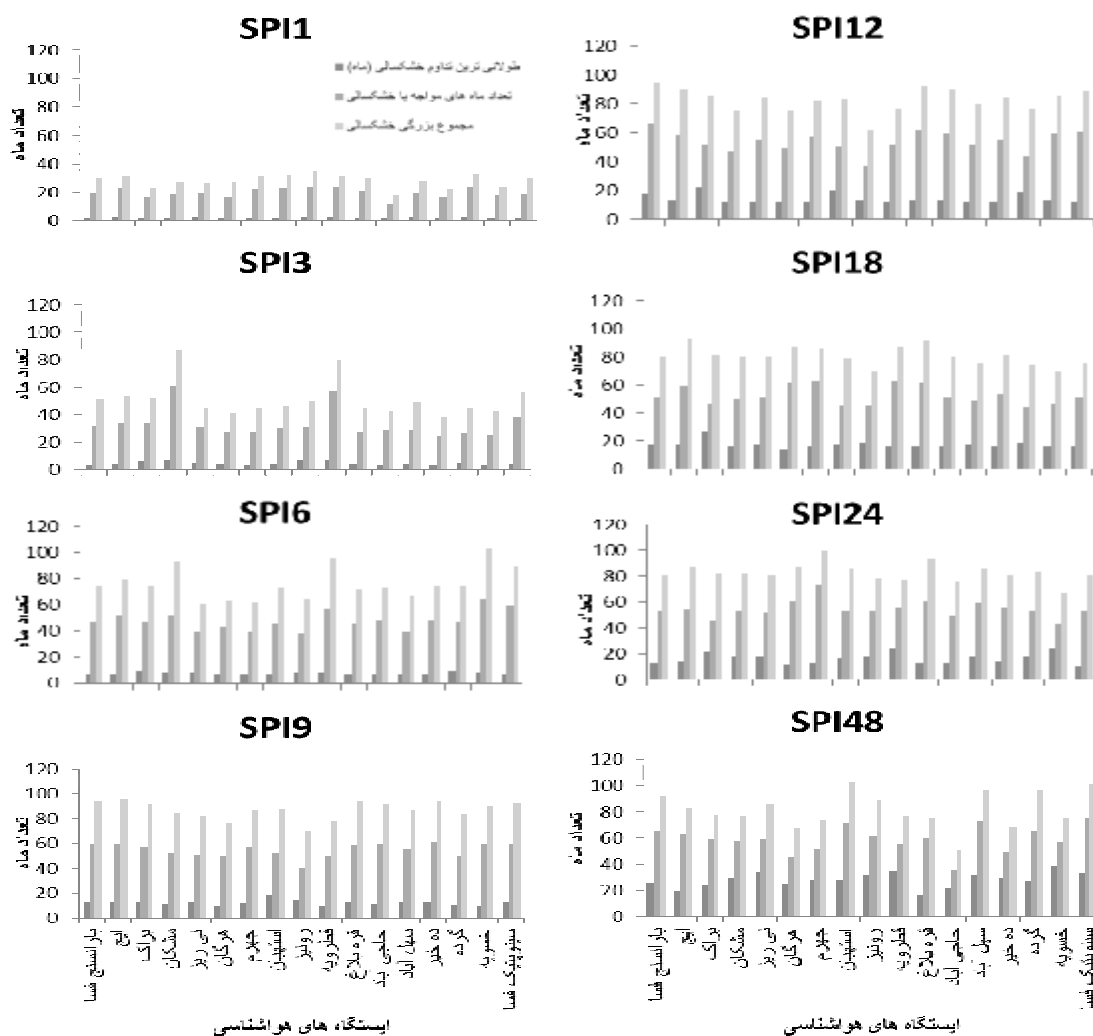
تأخیر زمانی	1 فصل	2 فصل	3 فصل	4 فصل	5 فصل	6 فصل	7 فصل	8 فصل	9 فصل	10 فصل	11 فصل	12 فصل
میانگین ارتفاع سطح آب زیرزمینی	-0/044	-0/043	-0/059	-0/074	-0/082	-0/110	-0/167	-0/198	-0/164	-0/173	0/218	-0/126
شاخص GRI	-0/058	-0/047	-0/039	-0/069	-0/082	-0/120	-0/155	-0/199	-0/185	-0/190	0/204	-0/233

جدول 6- 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 1372-1388.

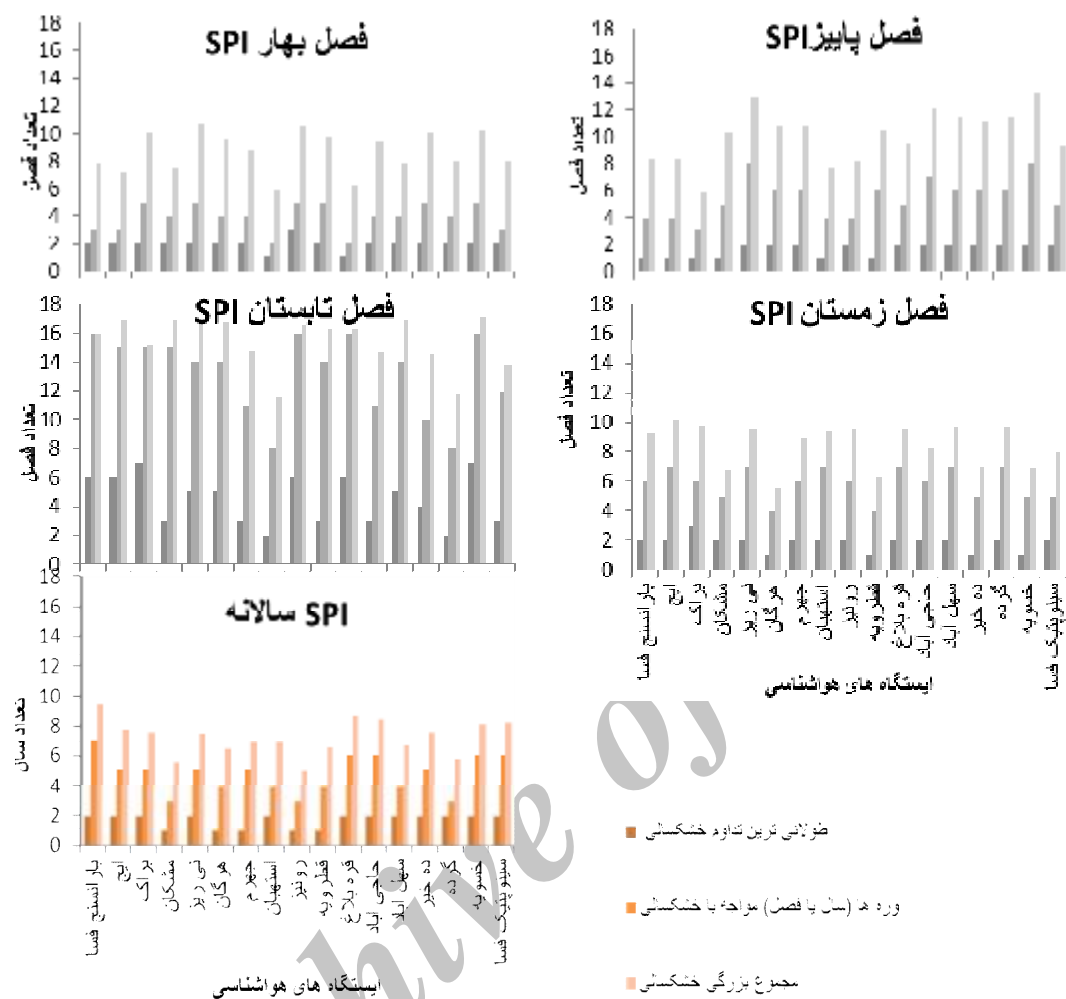
SPI سالانه با تأخیر زمانی				SPI سالانه بدون تأخیر زمانی	
1 ساله	2 ساله	3 ساله	4 ساله	بدون تأخیر زمانی	
0/329	0/276	0/111	0/163	0/300	
میانگین ارتفاع سطح آب زیرزمینی					
0/345	0/291	0/138	0/207	0/309	
شاخص GRI					
-0/137	-0/109	-0/221	-0/201	-0/101	
شاخص SECI					

جدول 7- نتایج وایزی خطی بین شاخص خشکسالی و فراسنجهای کمی و کیفی آب زیرزمینی منطقه ی فسا در طول دوره ی آماری 1372-1388.

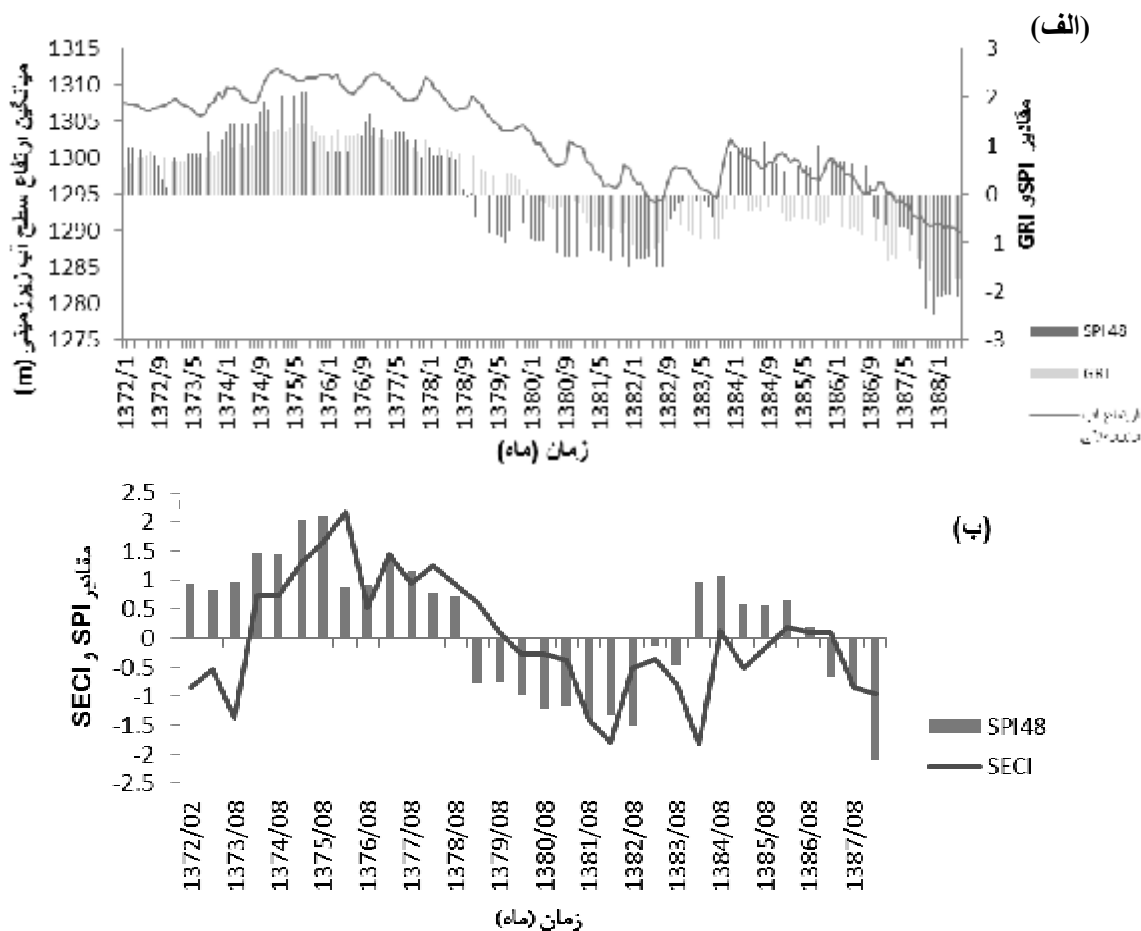
ضرایب	ANOVA	R	R <sup>2</sup>	متغیر وابسته	متغیر (متغیرهای) مستقل
B	(sig)				
مقدار ثابت = 1301/792					
SPI48 = 4/162	0/000	0/748	0/560	D <sub>y,m</sub>	SPI48
مقدار ثابت = -118/284					
D <sub>y,m</sub> = 0/091	0/007	0/679	0/462	SECI	D <sub>y,m</sub>
SPI48 = 0/109	0/545				SPI48



شکل 3- میزان آسیب پذیری ایستگاههای منطقه در برابر خشکسالی نسبت به ایستگاههای مناطق مجاور آنبه کمک شاخص SPI در مقیاسهای زمانی ماهانه در طول دوره ی آماری 1357-1388.



شکل 4- 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 1372-1388.



شکل 5- رابطه‌ی شاخص‌ی SPI با مقیاس زمانی 48 ماهه بدون تأخیر زمانی (الف) شاخص GRI و (ب) مقادیر SECI.

### 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 بارندگی‌معیار شده (SPI) در منطقه‌ی فسا مورد بررسی‌واقع 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 رابطه‌ی 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 آسیب-پذیری منطقه به خشکسالی هواشناسی از معیار شاخص SPI در مقابل فراسنجهایی همچون تداوم خشکسالی، و یا تعداد دوره‌های مواجه با خشکسالی استفاده گردد.

به منظور بررسی خشکسالی‌آب و زمین‌شناسی (به عنوان فراسنج کمی آب زیرزمینی) از شاخص GRI، و با نیت

همچنین، در این تحقیق (بر طبق جدول 7) از روابط وایازی 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 آنجا که آب زیرزمینی تنها منبع تأمین کننده ی آب برای مصارف مختلف در منطقه فسا می‌باشد، و متأسفانه این منطقه تحت تأثیر خشکسالی‌ها به‌هواشناسی 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 کارشناسی‌ارشد با شاخص طرح 17049 انجام شده است، که از حوزه ی معاونت محترم پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد تشکر و قدردانی می‌شود.

### منابع

1. Azizi, Gh. 2003. Relation recent drought and groundwater resources in the Qazvin plain. geographical research, No. 46, 131-143.
2. Badaghi Jamali, J. Javanmard, S. And Shirmohammady, R. 2002. Monitoring of drought conditions across the province classification using the Standardized Precipitation Index. Geographical Research Quarterly, No. 67. 4 to 21.
3. Ekram, M. Malekinezhad, H. And Ekhtesasy, M. R. 2011.

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 اینکهمنابع آب زیرزمینی از خشکسالی‌تأثیر می‌پذیرند، در این راستا با استفاده از محاسبه ی ضریب همبستگی بینفراسنجهای 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 2، 3، 4، 5 و 6)، تأثیرات خشکسالی هواشناسی بر کیفیت و کمیت منابع آب زیرزمینی به صورت آماربررسی شد. در منطقه ی فسا، شاخص بارندگی‌معیار شده (SPI) با مقیاس 48 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 (2008) در بررسی خشکسالی و تأثیرات آن بر سطح آب زیرزمینی در اراضی کشاورزی بخشی از استرالیا، مندیسینو و همکاران (2008) در منطقه ی کالابریا، و محمدی قلعه‌نی و همکاران (2011) در آبخوان دشت ساوه همخوانی دارد.



- Impactsofclimate changeon the discharge of somequan tsof Yazd -
4. Ardekan. Proceedings of theInternational Conference on Trad-itional Knowled g e water management CD. Yazd, March4-2, 2011.
  5. Gharesheikhlo, A.H.KhosravaniShiry, Z. andArab Ali, A.2008 .Zoningclassifi ca tl-ontodroughtmonitoring andmanagement ofwaterresources. CDProceedingsofthe Third Conference onWater Resources Management. Tabriz, 25-23 October 2008.
  6. 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. Hydroge-ology Journal. 5; 903-913.
  7. Imani, M. Asfandarany Taliban, as. 2011. Effects of drought on aquifer levels Yazd Behabad index of SPI and GRI. Iranian Water Resources Management Conference Proceedings CD. Amir Kabir University of Tehran, 14-13 May 2011.
  8. Karang, Li. (2004). Drought early Warning and Impact Assessment in China, Proceeding of an Export Group meeting.
  9. 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.
  10. Keneth, H. F. (2003). Climate Variation Drought and Desertifi-cation, W. M. Annual Report. Jevenva.
  11. Mair, A. and Fares, A.2010. Influence of groundwater pumping and rainfall spatio-temporal variation of stream flow. Journal of Hydrology . 393:287-308.
  12. Malekinezhad,H. AndPurshariaty, R. 2011.Evaluation ofdroughtin thePlains Marvastby usinggroun-dwaterresourceindex(GRI).JANUA RYIranian Water Resources Management Conference Proceedings CD. Amir Kabir University ofTehran, 14-13 May 2011 .
  13. Mckee, T. B. Doesken, N. J. Kleist, J. (1993).The relationship of drought freq uency and duration to time scales .Proprints.8th Conference of Applied Climatology, 17 - 22 January Aneheim. CA, pp:179-184.
  14. Mendicino, G. Senatore, A. Versace , P. (2008).A Groundwater Resource Index (GRI) for drought monitoring and fore-casting in a Mediterranean climate. Journal of Hydrology 357: 282-302.
  15. 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.
  16. Mohammadyghaleny, M.Ebrahimi,C.And Iraquynezhad, Sh. 2011 .Droughteffectsonground-waterlevel fluctuationsusingthestandardpreci-pitation index -Savehplaincase.

- Iranian Water Resources Management Conference Proceedings CD. Amir Kabir University of Tehran, 14 - 13May2011 .
17. Mohammady, H. And Shamsypor, A.2003 .Dropimpactsongroundwater resourcesin recentnorthernplains of Ha madan .geographicalresearch ,No.45,Summer 2003,115-130.
18. Morid, S.Moghadasy, M.Paymozd, N.,AndGhaemy, H. 2005 .Droughtmonit-oringsystem designprojectin Tehran. Ministry of Power , 253.
19. Razzaghmannesh, M.Salemi ,M.An-dSeraj , M . 2006. Water quantity and quality of groundwater Tabriz plain. Proceedings of the National Confe-rence on Irrigation and Drainage Network Management, Shahid Chamran University, 12-10 March 2006.
20. Scibek, J. and Allen, D. M. 2006. Comparing modeled responses of two high-permeability unconfined aquifer s to predicted climate change. Global and Planetary Change. 50: 50-62.
21. Shakiba,W.Mirbagheri,BandKheiri, l. 2010. Drought and its impact on groundwater resources in East of Kermanshah province using SPI. Journal - Association study of geography, No. 25, 105-124.