

## ارزیابی الگوی زمانی و مکانی خشکسالی هواشناسی و هیدروژئولوژی در مناطق خشک و کویری (مطالعه موردی دشت بم)

طیبه مصباح‌زاده<sup>۱\*</sup> و فرشاد سلیمانی ساردو<sup>۲</sup>

۱- نویسنده مسئول، استادیار، گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران  
پست الکترونیک: tmesbah@ut.ac.ir

۲- دانشجوی دکتری بیابان‌زدایی، گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۲/۳ تاریخ پذیرش: ۹۷/۲/۲۹

### چکیده

تغییرات الگوی زمانی و مکانی خشکسالی‌ها همیشه رکن اساسی در برنامه‌ریزی منابع آب می‌باشد و راهکارهای لازم در جهت سیاست‌گذاری و مدیریت یکپارچه منابع آب حتماً باید با در نظر داشتن این مهم باشد. خشکسالی به‌عنوان یک پدیده خزنده محیطی مناطق تحت تأثیر خود را تخریب کرده و گاهی صدمات جبران‌ناپذیری را وارد می‌کند. در این تحقیق به منظور بررسی الگوی مکانی و زمانی خشکسالی هواشناسی و هیدروژئولوژی در دشت بم که مصداق یک منطقه خشک و کویری در استان کرمان می‌باشد از شاخص SPI برای بررسی خشکسالی هواشناسی و همچنین شاخص GRI برای خشکسالی هیدروژئولوژیک استفاده شده است. نتایج حاصل از پژوهش نشان داد که شدیدترین خشکسالی هواشناسی در سال ۱۳۸۱ و شدیدترین ترسالی در سال ۱۳۹۳ در منطقه مورد مطالعه اتفاق افتاده است. همچنین شدیدترین ترسالی هیدروژئولوژی در سال ۱۳۸۱ و شدیدترین خشکسالی هیدروژئولوژیک مربوط به سال ۱۳۹۳ می‌باشد؛ در ضمن از نظر الگوی زمانی خشکسالی هیدروژئولوژیک با تأخیر زمانی یکساله نسبت به خشکسالی هواشناسی در منطقه مورد مطالعه اتفاق می‌افتد. از نظر الگوی مکانی و پهنه‌بندی خشکسالی نتایج نشان داد که کلاس‌های خشکسالی متوسط و نرمال قسمت اعظم منطقه را فراگرفته است و هرچه از شرق منطقه به سمت غرب منطقه حرکت کنیم بر شدت خشکسالی افزوده شده و ترسالی‌ها بیشتر متمرکز بر بخش شمال‌شرقی منطقه می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: خشکسالی هواشناسی، هیدروژئولوژیک، شاخص‌های SPI و GRI، دشت بم.

### مقدمه

در طول این دوره، با ۶ بار خشکسالی مواجه بوده و علاوه بر این ۱۷ بار نیز میزان بارندگی از حد متوسط کمتر بوده است و ۵ بار نیز تا آستانه خشکسالی پیش رفته است (Naeimi & Ehghaghi, 2002). خشکسالی یکی از بلاهای طبیعی می‌باشد که خسارتهای زیادی به زندگی انسان و اکوسیستم‌های طبیعی وارد می‌کند و به‌عنوان یک ناهنجاری اقلیمی، یکی از مخربترین

نتایج مطالعات و بررسی‌های بلندمدت بارندگی و درجه حرارت نشان می‌دهد که در مجموع، ۶۵ درصد از اراضی کشور در گستره اقلیم‌های خشک و فراخشک قرار دارند. از سوی دیگر در مناطق مختلف ایران خشکسالی‌های شدید اتفاق افتاده، به طوری که نمودار بارندگی ۳۲ ساله در ایران نمایانگر آن است که کشورمان

پدیده‌های آب و هوایی محسوب می‌گردد و تقریباً در همه رژیم‌های اقلیمی دیده می‌شود. این پدیده خزننده طبیعی پیامدهای زیانبار و پرهزینه‌ای را بر منطقه تحت نفوذ خود برجای می‌گذارد، اگرچه منشأ تمام خشکسالی‌ها کمبود بارش است؛ با این حال هیدرولوژیست‌ها این کمبود را از طریق سیستم هیدرولوژی پیگیری می‌کنند. خشکسالی هیدرولوژیکی معمولاً با تأخیر نسبت به خشکسالی‌های هواشناسی و کشاورزی به وقوع می‌پیوندد. البته مدت زمانی طول می‌کشد تا کمبود بارش در اجزاء سیستم هیدرولوژیکی مانند رطوبت خاک جریان‌های سطحی آب‌های زیرزمینی و سطوح مخازن نمود یابد (NDMC, 2006). در زمینه خشکسالی هواشناسی (اقلیمی) تحقیقات بسیار گسترده‌ای بوسیله محققان در سطح جهان انجام شده است، که هر یک بر اساس تعاریف خاص پدیده خشکسالی را بررسی کرده و شاخص‌هایی ارائه می‌کند. یکی از شاخص‌های مهم مورد استفاده در مطالعات خشکسالی شاخص بارش استاندارد می‌باشد. Mckee و همکاران (۱۹۹۳) شاخص SPI را برای اولین بار در ایالت کلرادوی آمریکا به‌کار بردند و دریافتند که توزیع گاما مناسب‌ترین توزیع می‌باشد. شاخص SPI برای هر منطقه بر اساس مدت بارندگی پردازش داده می‌شود؛ سپس تابع تجمعی توزیع با استفاده از احتمالات مساوی به توزیع نرمال تبدیل می‌گردد (Mckee & Edwards, 1997). شدت و تداوم خشکسالی‌های اقلیمی در مقیاس‌های کوتاه مدت و خشکسالی‌های هیدرولوژیکی در مقیاس‌های بلندمدت توسط این شاخص برآورد می‌شود. Byun و Wilhite (۱۹۹۶)، شاخص جدیدی را تحت عنوان شاخص خشکسالی مؤثر (EDI) که دارای مقیاس زمانی روزانه می‌باشد ارائه نمودند که بر برخی از مشکلات گذشته فائق آمد. اطلاعات مورد نیاز این شاخص تنها بارندگی است ولی تحقیقاتی نیز در حال انجام می‌باشد تا رطوبت خاک و تبخیر را نیز در آن دخالت دهد. Dupigny و همکاران (۲۰۰۱) به بررسی آثار خشکسالی در سال‌های ۱۹۹۸-۱۹۹۹ ایالت

ورمونت آمریکا پرداختند و به این نتیجه رسیدند که SPI در مقایسه با شاخص شدت خشکسالی پالمر PDSI در مقیاس یک‌ماهه شروع شرایط خشک و شدت آن را بهتر نشان می‌دهد. Serrano و Moreno (۲۰۰۵) واکنش‌های هیدرولوژیکی در مقیاس‌های زمانی مختلف خشکسالی اقلیمی را با استفاده از شاخص بارش استاندارد (SPI) در دشت رودخانه آراگون بررسی کردند و شاخص SPI در مقیاس‌های زمانی مختلف با تغییرات هیدرولوژیکی سطحی در این دشت مقایسه شد و فواید مقیاس‌های زمانی مختلف این شاخص برای شناسایی خشکسالی‌ها در منابع آب قابل مصرف، آنالیز شد. Tsakiris و Vangelis (۲۰۰۷) شاخص جدید شناسایی خشکسالی RDI را برای اولین بار به‌کار بردند. برای تعیین خشکسالی با استفاده از نمایه RDI نیاز به داشتن آمار بارندگی و تبخیر و تعرق قابلیت ماهانه و یا مجموع سالانه این دو پارامتر است. اگر خشکسالی را به‌صورت یک نقصان در توازن بین ورودی و خروجی در نظر بگیریم، این فرض که کمبود آب (خشکسالی) را می‌توان تنها از طریق برآورد ورودی (بارندگی) تخمین زد رد می‌شود. نمایه RDI بارندگی را به‌عنوان ورودی و تبخیر و تعرق قابلیت را به‌عنوان خروجی در نظر می‌گیرد و به‌همین دلیل اساس علمی صحیح‌تری نسبت به شاخص‌های دیگر که تنها از بارش به‌عنوان ورودی استفاده می‌کنند دارد. Tsakiris و همکاران (۲۰۰۵) طی مطالعه‌ای در مورد ارزیابی خشکسالی منطقه‌ای براساس شاخص RDI به این نتیجه رسیدند که گرچه عموماً پاسخ شاخص RDI مشابه شاخص SDI می‌باشد، ولی شاخص RDI حساس به تغییرات محیطی است و در این شرایط نتایج بهتری را ارائه می‌دهد. Tallaksen و همکاران (۲۰۰۳) طی مطالعاتی در مورد پیش‌بینی منطقه‌ای مشخصات خشکسالی اقلیمی و هیدرولوژیکی در دانمارک به این نتیجه رسیدند که خشکسالی هیدرولوژیکی در یک منطقه متفاوت و غیرهمگن هستند و با تکرار کمتری نسبت به خشکسالی اقلیمی رخ

همبستگی خودکار نشان دادند که اولاً رفتار GRI بسیار شبیه به رفتار SPI می‌باشد اما با تأخیر زمانی و این تأخیر را خصوصیات زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی حوزه تعیین می‌کند و همچنین شاخص GRI نسبت به شاخص SPI در پیش‌بینی وضعیت منابع آب زیرزمینی مناسبتر است. Deepashree و همکاران (۲۰۱۰) به منظور بررسی خشکسالی هیدرولوژیکی، از شاخص جریان رودخانه استاندارد SSFI استفاده کردند و این شاخص را یک روش ساده و مفید برای پژوهش‌های نظارت، پایش و مدیریت خشکسالی هیدرولوژیکی معرفی نمودند. Shahid و Hazarika (۲۰۰۹)، به تحلیل آبنگار سطح آب زیرزمینی و گروه زمانی بارندگی در شمال غربی منطقه بنگلادش پرداختند؛ نتایج آنان نشان داد که افزایش برداشت آب زیرزمینی برای آبیاری در فصل‌های خشک و بازگشت خشکسالی‌ها از عوامل افت سطح آب زیرزمینی در این منطقه بوده و اگر مداخله بشر در سامانه آب زیرزمینی وجود نداشت، یکی از عوامل افت آب زیرزمینی مربوط به گونه عمده کاهش بارندگی‌ها بود.

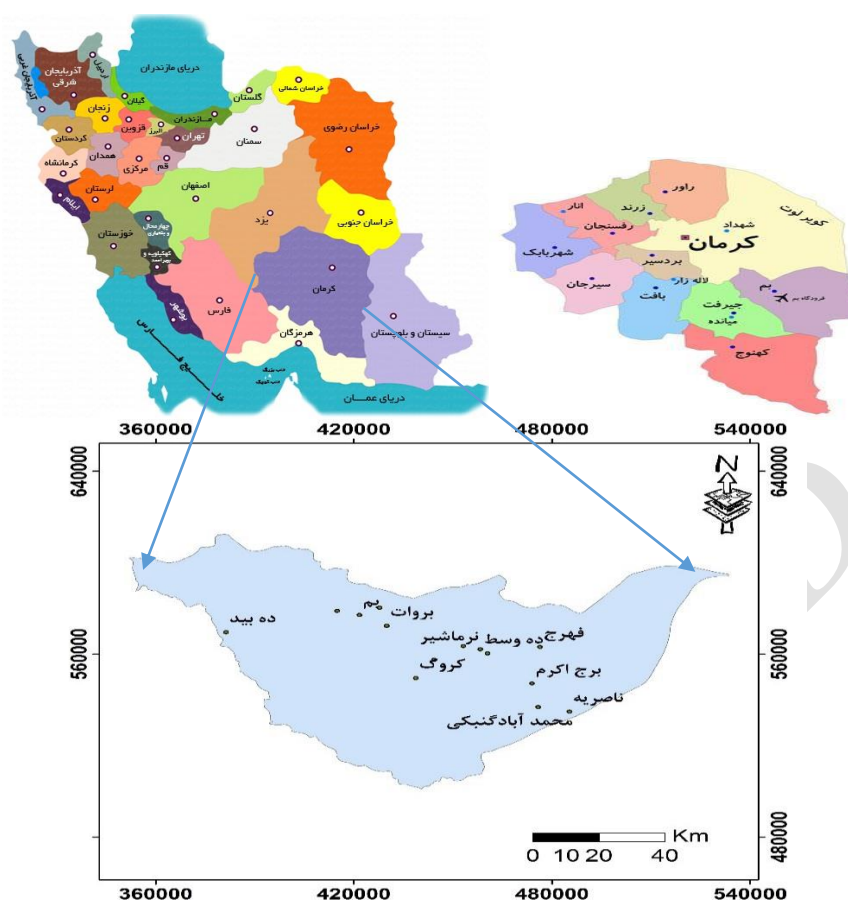
هدف از این پژوهش، بررسی الگوی مکانی و زمانی خشکسالی هواشناسی و هیدروژئولوژیک در رژیم خشک و کویری می‌باشد که بدین منظور دشت بم به عنوان منطقه مطالعاتی تعیین گردید و همچنین از شاخص‌های SPI و GRI برای ارزیابی خشکسالی‌ها استفاده شد.

### مواد و روش‌ها

#### مشخصات منطقه مورد مطالعه

دشت بم به عنوان محدوده مطالعاتی جزء حوزه کویر لوت می‌باشد. ارتفاع متوسط آن از دریا ۹۶۰ متر، وسعت آن ۹۹۲۱ کیلومتر مربع است که ۴۳۵۷ کیلومتر مربع آن شامل دشت می‌باشد. محدوده مذکور دارای آب و هوای خشک و کویری است (شکل ۱).

می‌دهند. Peters و همکاران (۲۰۰۵) مطالعاتی در مورد خشکسالی در آب‌های زیرزمینی، توزیع خشکسالی و شاخص کارایی انجام دادند. نتایج حکایت از آن دارد که شاخص‌های عملکرد بر دوره بازگشت خشکسالی‌های آب زیرزمینی تأکید دارد. هنگامی که ضریب ذخیره آب زیرزمینی کم یا متوسط به بالا باشد این شاخص دارای عملکرد کم و بیش ثابتی است، ولی برای ضریب ذخیره بالاتر، کارایی بهتری نشان می‌دهد. Peters و همکاران (۲۰۰۶) طی مطالعاتی در مورد انتشار و توزیع مکانی خشکسالی سطح آب زیرزمینی، دریافتند که خشکسالی‌های کوتاه مدت اثرات خشکسالی‌های شدید را در آینده کاهش می‌دهد. توزیع مکانی خشکسالی‌ها در تخلیه آب زیرزمینی به گونه‌ای است که خشکسالی بالادست نسبت به پایین دست بیشتر تقلیل می‌یابد. Mendocino و همکاران (۲۰۰۸)، شاخص منبع آب زیرزمینی (GRI) را برای اولین بار در کالابریا ایجاد و مورد آزمایش قرار دادند (کالابریا ناحیه شبه جزیره‌ای در جنوب ایتالیا است که اقلیم مدیترانه‌ای با زمستان‌های نسبتاً بارانی که اثر قابل توجهی روی قابلیت دسترسی به منابع آبی در دوره‌های خشک تابستانی دارد). Mendocino و همکاران (۲۰۰۸)، مقاله خود را تحت عنوان یک شاخص منبع آب زیرزمینی برای بازبینی و پیش‌گویی خشکسالی در یک اقلیم مدیترانه‌ای ارائه دادند. در این پژوهش ضمن معرفی شاخص GRI، این شاخص را برای سه حوزه آبخیز با خصوصیات زمین‌شناسی متفاوت در منطقه کالابریا در ایتالیا برای یک دوره ۴۵ ساله از سال ۲۰۰۶-۱۹۵۹ محاسبه نمودند و بعد با شاخص SPI در مقیاس ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه مقایسه کردند؛ آنان دریافتند که خصوصیات لیتولوژی حوزه بر سطح ایستایی سفره‌های آب زیرزمینی و به تبع آن بر روی شاخص GRI مؤثر می‌باشد. آنان با استفاده از روش



شکل ۱- موقعیت جغرافیای منطقه مورد مطالعه

مقیاس‌های زمانی چندگانه توسط Mckee و همکاران (۱۹۹۳) ارائه شده است. SPI بر اساس مقادیر کمبود بارندگی ماهانه نسبت به مقدار میانگین بلندمدت آن محاسبه می‌شود. برای محاسبه این شاخص تابع توزیع گاما به سری‌های زمانی بارندگی ماهانه برازش داده می‌شود و با تبدیل مقادیر احتمال تجمعی بارندگی به توزیع نرمال استاندارد با میانگین صفر و انحراف معیار ۱ مقادیر SPI حاصل می‌شود (رابطه ۲ و ۳). تابع توزیع گاما به‌عنوان تابعی مناسب برای برازش به داده‌های بارندگی انتخاب می‌شود.

این پژوهش در دو گام اساسی بصورت زیر انجام شده است:

۱- شاخص خشکسالی هواشناسی داده‌های مورد استفاده

در این پژوهش از داده‌های بارش ماهانه ایستگاه سینوپتیک بم با طول دوره آماری ۳۰ ساله (۱۳۶۳ تا ۱۳۹۳) استفاده شد.

محاسبه شاخص SPI

SPI برای شناسایی و ارزیابی وقایع خشکسالی در

$$Z = SPI = - \left[ t - \frac{C_0 + C_1 t + C_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right] \quad 0 < H(x) \leq 0.5 \quad (1)$$

$$Z = SPI = \left[ t - \frac{C_0 + C_1 t + C_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right] \quad 0.5 < H(x) \leq 1 \quad (2)$$

$$t = \sqrt{\text{Ln} \left( \frac{1}{(H(x))^2} \right)} \quad 0 < H(x) \leq 0.5 \quad (3)$$

$$t = \sqrt{\text{Ln} \left( \frac{1}{(1.0 - H(x))^2} \right)} \quad 0.5 < H(x) \leq 1 \quad (4)$$

در این روابط  $H(x) = q + (1-q)G(x)$  است که  $q$  احتمال صفر بودن بارندگی و  $G$  مقدار احتمال تجمعی تابع گاما همچنین ثابت‌های رابطه می‌باشد که به مقادیر تجمعی بارندگی برازش داده شده است.  $C_0 = 2.515517$ ,  $C_1 = 0.802853$ ,  $C_2 = 0.010328$ ,  $d_1 = 1.432788$ ,  $d_2 = 0.18929$ ,  $d_3 = 0.001308$  می‌باشند.

جدول ۱- کلاس‌های شاخص SPI

SPI values	Class	کلاس
$> 2$	Special Wet	ترسالی استثنایی
$1/6 - 2$	Extremely Wet	ترسالی بسیار شدید
$1/3 - 1/6$	Severely Wet	ترسالی شدید
$0.8 - 1/3$	Medium Wet	ترسالی متوسط
$0.5 - 0.8$	Small Wet	ترسالی خفیف
$0.5 - 0.5$	Normal	نرمال
$0 - 0.8 - 0.5$	Small Drought	خشکسالی خفیف
$-1/3 - 0 - 0.8$	Medium Drought	خشکسالی متوسط
$-1/6 - -1/3$	Severely Drought	خشکسالی شدید
$-2 - -1/6$	Extremely Drought	خشکسالی بسیار شدید
$< -2$	Special Drought	خشکسالی استثنایی

۲- شاخص خشکسالی ژئوهیدرولوژیکی (شاخص کمیت آبهای زیرزمینی) داده‌های مورد استفاده

برای بررسی وضعیت کمی آبخوان و خشکسالی ژئوهیدرولوژیکی از داده‌های تعداد ۴۰ حلقه چاه بیزومتری که توسط آب منطقه‌ای استان کرمان اندازه‌گیری شده بود، استفاده شد. لازم به ذکر است که در انتخاب این چاه‌ها سعی شد که پراکنش یکنواختی در سطح منطقه داشته باشند.

### محاسبه شاخص GRI

شاخص منبع آب زیرزمینی GRI در سال ۲۰۰۸ میلادی توسط مهندسینو و سناتوره در کالابریا ایجاد و مورد آزمایش قرار گرفت. GRI از یک مدل تعادلی توزیع آب مشتق شده

$$GRI = \frac{Di - \bar{D}}{S}$$

$$S = GRI = \frac{Di - \bar{D}}{S}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_1^n (Di - \bar{D})^2}{n}} \quad (5)$$

$\bar{D}$  = میانگین عمق سطح ایستابی

$S$  = انحراف معیار داده‌ها

$n$  = تعداد داده‌های مورد مطالعه

و در یک ناحیه مدیترانه‌ای که وضعیت‌های زمین-سنگ‌شناسی متفاوتی دارند و به‌طور عمده روی واکنش‌های هیدرولیکی تابستانی حوزه در اثر بارش زمستانی تأثیر می‌گذارند، مورد آزمایش قرار گرفته است. این شاخص می‌تواند برای ارزیابی وضعیت سفره آب زیرزمینی و همچنین ارزیابی واقعی از میزان ذخیره آبخوان به‌کار رود. بنابراین می‌توان گفت GRI شاخصی است که با استفاده از پارامتر عمق سطح ایستابی در مقیاس ماهانه و سالانه قابل محاسبه بوده و از نتایج آن می‌توان برای پیش‌بینی اهداف و تصمیم‌گیری‌های مدیریت آبخوان استفاده کرد. در محاسبه این شاخص از آمار بلندمدت سطح ایستابی سفره آب زیرزمینی در نقاط مختلف سفره استفاده می‌شود. شاخص GRI از رابطه زیر محاسبه می‌شود (۱۰).

ترسالی است. کلاس‌بندی این شاخص که در پهنه‌بندی استفاده شده، در جدول ۲ آمده است.

این شاخص نیز مثل شاخص SPI بیشتر مواقع بین +۲ تا -۲ متغیر است اما (زمانی که عمق آب زیرزمینی را در فرمول شاخص GRI بگذاریم) بعکس شاخص SPI هرچه منفی‌تر باشد نشانه

جدول ۲- کلاس‌بندی شاخص GRI

ردیف	مقادیر GRI	کلاس
۱	> ۲	خشکسالی بسیار شدید
۲	۱/۵ تا ۱/۹۹	خشکسالی شدید
۳	۱ تا ۱/۴۹	خشکسالی متوسط
۴	۰/۹۹ تا -۰/۹۹	نرمال
۵	۱- تا -۱/۴۹	ترسالی متوسط
۶	-۱/۵ تا -۱/۹۹	ترسالی شدید
۷	< -۲	ترسالی بسیار شدید

محیط نرم‌افزار ArcGIS و همچنین تقسیم آن بر نقشه انحراف معیار دوره نقشه GRI هر سال استخراج شد.

### نتایج

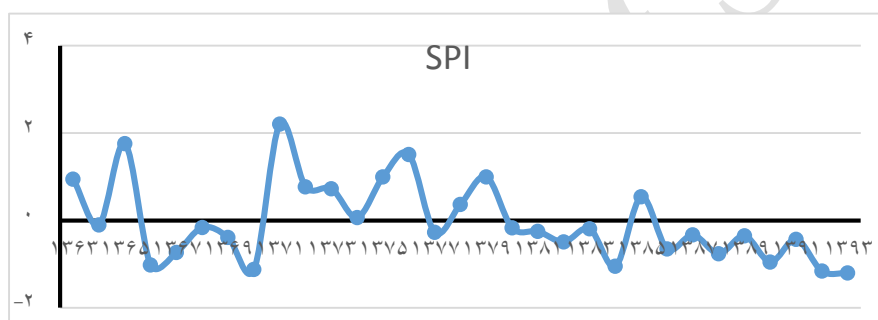
شاخص بارش استاندارد (SPI):

با استفاده از نرم‌افزار DIP شاخص SPI سالانه دشت بم برای دوره ۳۰ ساله تهیه گردید و نمودار روند تغییرات سالیانه آن ترسیم شد (شکل ۲).

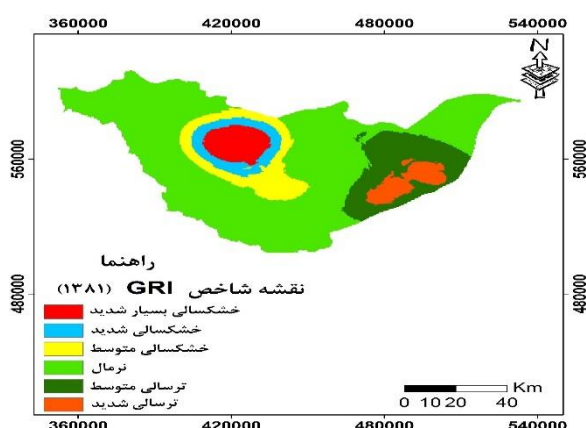
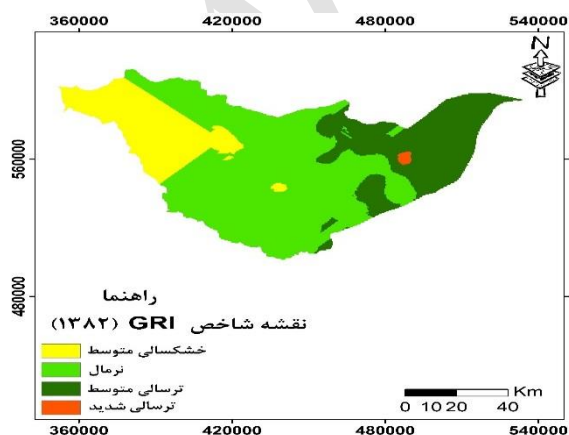
### نتایج شاخص GRI

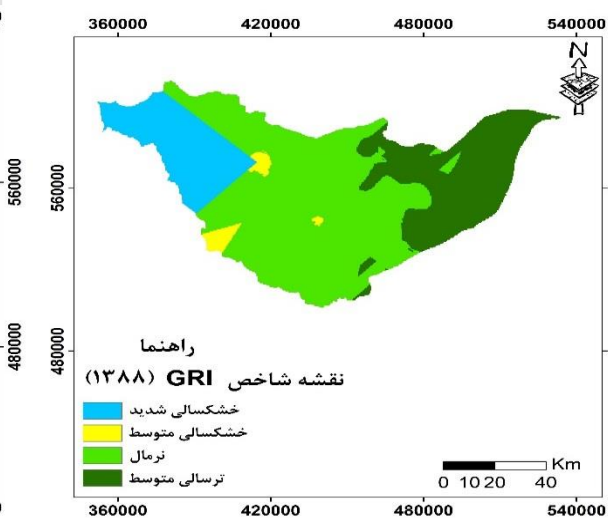
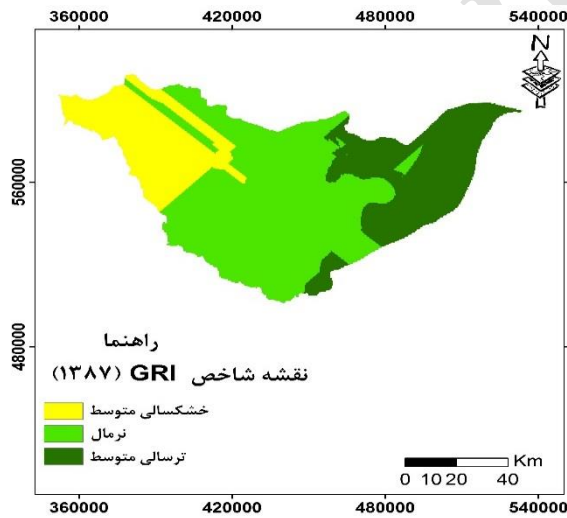
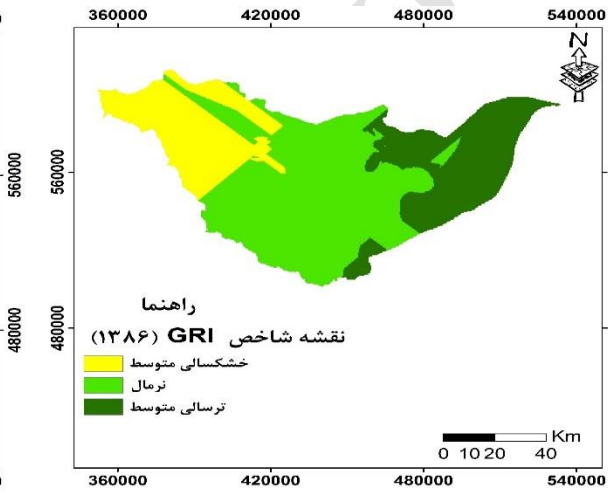
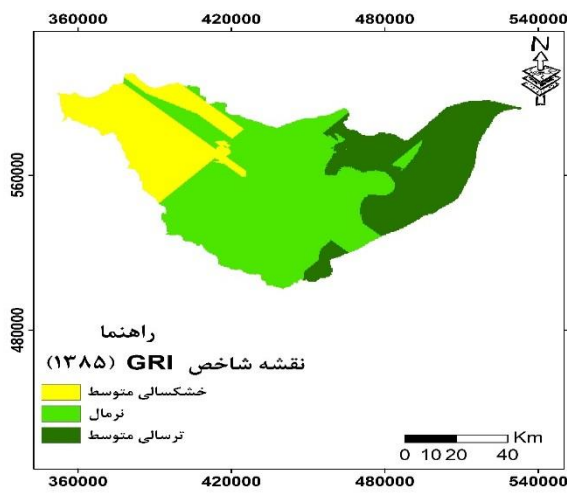
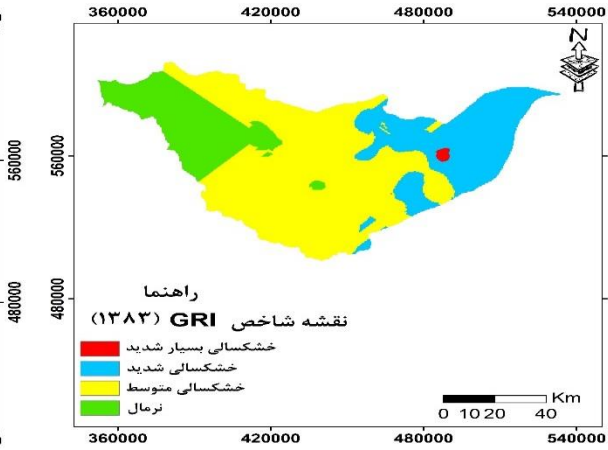
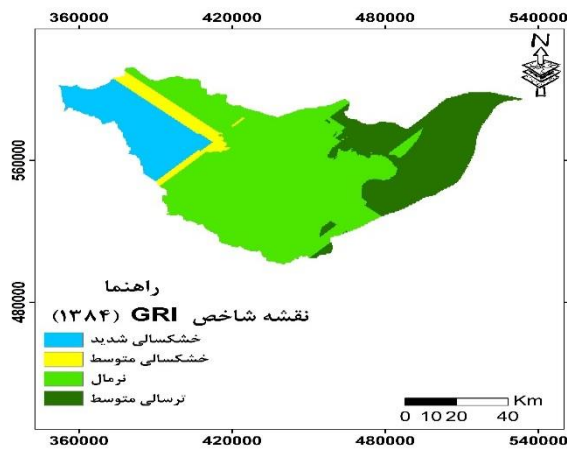
نتایج شاخص GRI به صورت نقشه‌های پهنه‌بندی مربوط به شاخص GRI سالانه، از سال ۱۳۸۱ تا سال ۱۳۹۳ آورده شده است (شکل ۳).

در این تحقیق برای به‌دست آوردن شاخص GRI، ابتدا نقشه رستری سطح ایستابی ماه شهریور هر سال با استفاده از داده‌های چاه‌های پیزومتر و روش زمین‌آمار کریجینگ ساده در نرم‌افزار ARC GIS رسم شد. سپس در نرم‌افزار ARC GIS به جای گذاشتن داده‌های سطوح ایستابی در رابطه شاخص GRI، نقشه‌های سطوح ایستابی هر دوره گذاشته شد؛ به‌عبارت دیگر نقشه حاصل از تفاضل نقشه سطح ایستابی هر دوره و نقشه میانگین سطح ایستابی دوره تقسیم بر نقشه انحراف معیار دوره و در نتیجه نقشه GRI دوره مورد نظر به‌دست آمد (طبق رابطه ۵). به‌عبارت دیگر ابتدا نقشه میانگین عمق سطح ایستابی آب منطقه مورد مطالعه در دوره تعیین شده تهیه شد، در ادامه نقشه سطح ایستابی هر دوره نیز استخراج گردید. از تفاضل این دو در

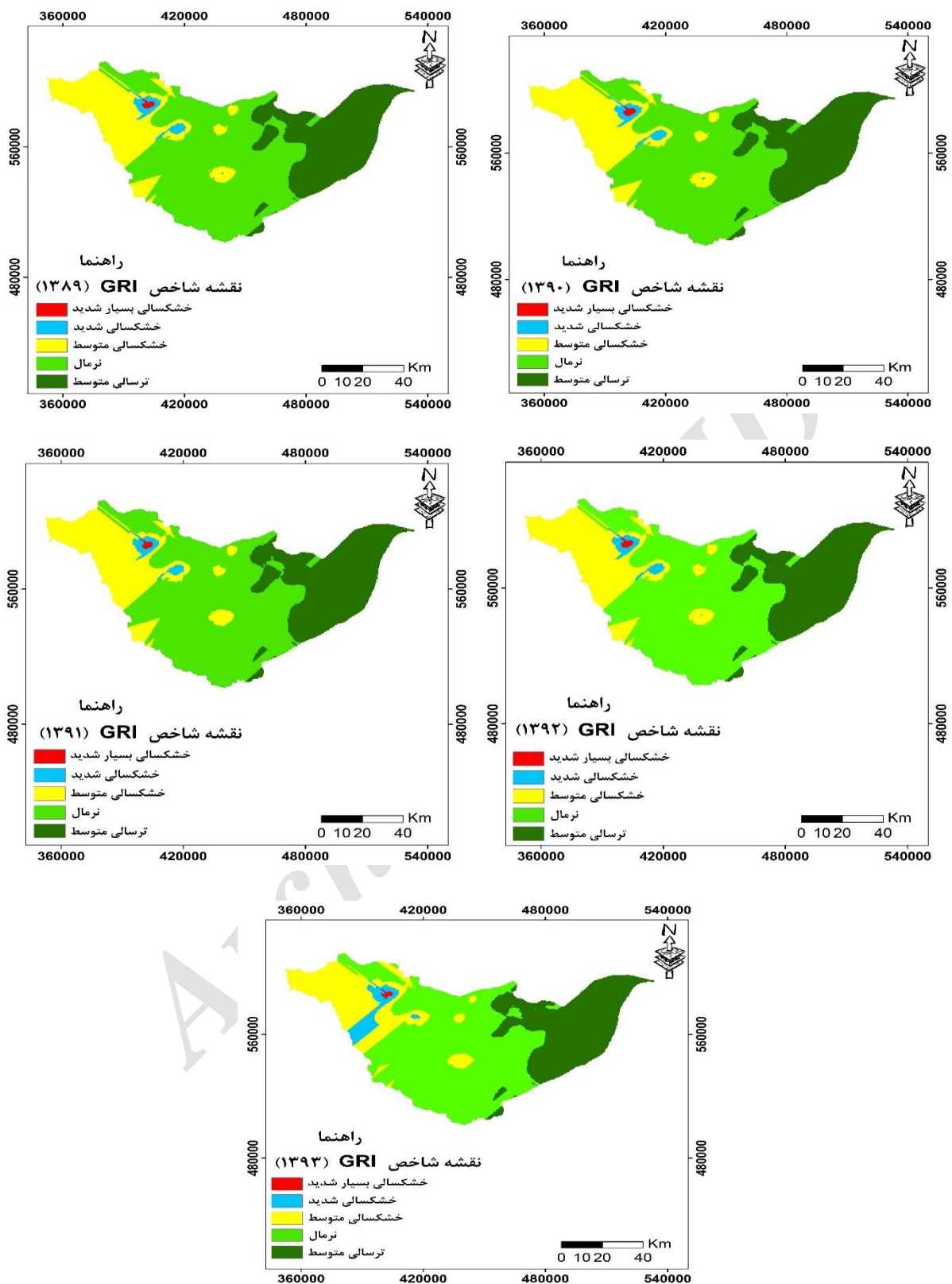


شکل ۲- نمودار روند تغییرات سالیانه

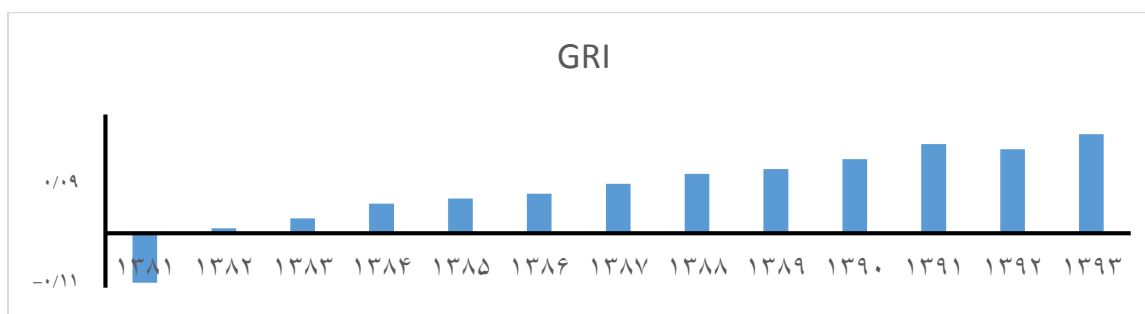








شکل ۳- پهنه‌بندی GRI سال ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۳



شکل ۴- نمودار تغییرات زمانی متوسط شاخص GRI

شاخص GRI با SPI سالانه در همان دوره و با یک و دو دوره تأخیر مورد بررسی قرار گرفت که در جدول ۴ نتایج آن آمده است.

با استفاده از نرم افزار ARC GIS میانگین شاخص GRI هر سال دشت بم محاسبه گردید که نتایج آن در شکل ۴ آورده شده است. سپس با استفاده از نرم افزار SPSS همبستگی میانگین

جدول ۴- نتایج همبستگی شاخص GRI و شاخص SPI سالانه

		SPI سالانه	SPI سالانه (یک دوره تأخیر)	SPI سالانه (دو دوره تأخیر)
EC	Pearson Correlation	۰/۸۲	۰/۹۷*	۰/۷۴
	Sig. (2-tailed)	۰/۳۸	۰/۰۱	۰/۴۵
	N	۱۰	۱۰	۱۰

\*: معنی داری در سطح ۹۵ درصد

## بحث

۱۳۸۱ است. برای مطالعه خشکسالی ژئوهیدرولوژیکی از شاخص GRI در بازه زمانی ۱۳۸۱-۱۳۹۳ استفاده شد. برای محاسبه این شاخص از داده‌های ۴۰ چاه پیزومتری استفاده شد. با توجه به نتایج به دست آمده شدیدترین خشکسالی ژئوهیدرولوژیکی بر مبنای شاخص GRI مربوط به سال ۱۳۹۳ است و بهترین ترسالی مربوط به سال ۱۳۸۱ است. همچنین نتایج نشان می‌دهد که سطح آب زیرزمینی و شاخص‌های ژئوهیدرولوژیکی نمی‌توانند با شاخص‌های اقلیمی خشکسالی همزمانی داشته باشند؛ به عبارت دیگر خشکسالی ژئوهیدرولوژیکی با تأخیر زمانی نسبت به خشکسالی هواشناسی اتفاق می‌افتد که این نتیجه با نتایج تحقیقات Akrami و همکاران (۲۰۱۱)، Eslamian و همکاران

مهمترین پارامتر اقلیمی که منابع آبی را تحت تأثیر قرار می‌دهد بارندگی می‌باشد و در اقلیم‌های مختلف از این پارامتر بطور گسترده در ارزیابی خشکسالی استفاده می‌کنند. زیرا معیار مناسبی برای اندازه‌گیری منابع آبی است و تأثیرات خشکسالی را در دوره‌های زمانی و مکانی مختلف نشان می‌دهد. در این تحقیق شاخص SPI سالانه در بازه زمانی ۱۳۶۳ تا ۱۳۹۳ در یک دوره ۳۰ ساله با استفاده از داده‌های بارش به دست آمد. مطابق نتایج شدیدترین (بدترین) مقدار مشاهده شده شاخص‌های خشکسالی در دشت بم برای شاخص SPI سالانه در سال ۱۳۹۳ است و بهترین ترسالی‌های اتفاق افتاده در بازه زمانی ۱۳۸۰-۱۳۹۳ برای شاخص SPI سالانه مربوط به سال

- effects on water resources changes in the plain of Boey watershed, *Journal of Geography and Environmental Planning*, Volume 20, Number 1 (33), Pp:90-75.
- Imani M. and Talebi, A., 2011. Drought effects on groundwater table changes in Behabad plain of Yazd using SPI and GRI indices, 4th Iranian Water Resources Management Conference, Amirkabir University of Technology, Tehran, May.
  - Khan, S., Gabriel, H.F. and Rana, T., 2008. Standard precipitation index to track drought and assess impact of rainfall on water tables in irrigation areas. *Irrig. Drain.Syst.* 22: 159-177.
  - McKee T.B. and Edwards, D.C. 1997. Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales. *Climatology Report Number 97-2*, Colorado state university. Fort Collins, CO.
  - Mckee, T. B., Doesken, N. J. and Kleist, J., 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales 8 conference, *Applied climatology*.
  - Mendocino, 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: 282- 302.
  - Naeimi M. and Ehghaghi, E. 2002. Drought Investigation and Management in Iran, Scientific Information Center, No. 48424.
  - Peters, E., Bier, G., van Lanen, H. A .J. and Torfs, P.J .J .F., 2006. Propagation and spatial distribution of drought in a groundwater catchment. *Journal of Hydrology*, 321: 257-275.
  - Peters, E., van Lanen, H. A. J., Torfs, P.J .J .F. and Bier, G., 2005. Drought in groundwater-drought distribution and performance indicators, *Journal of Hydrology*, 306:302-317.
  - Serrano, S. M. and Moreno, J. I., 2005. Hydrological response to different scales of the standardized precipitation Index in a mountainous Mediterranean basin. *Hydrology and Earth System Sciences Disussions*, (2): 1221-1246.
  - Shahid, Sh. and Hazarika, M. K., 2009. Groundwater Drought in the Northwestern District of Bangladesh. *Water Resource Manage*.
  - Tallaksen M. and Hisda, H., 2003. Estimation of regional meteorological and hydrological drought characteristics: a case study for Denmark, *Journal of Hydrology*, 281 (2003): 230-247
  - Tsakiris, G., Pangalou, D. and Vangelis, H., 2007. Regional drought assessment based on the Reconnaissance Drought Index (RDI). *Water Resource Manage*, 21:821-833
  - Tsakiris, G. and Vangelis, H., 2005. Establishing a drought index incorporating evapotranspiration. *European Water Resources Association*, 9-10:1-9.
- مندیچینو، (۲۰۰۶)، و همکاران (۲۰۰۸) و Khan و همکاران (۲۰۰۸) تطابق دارد. بر مبنای نتایج جدول ۴ همبستگی شاخص GRI و شاخص SPI سالانه با یک دوره تأخیر با اطمینان ۹۵٪ معنی دار است. به عبارت دیگر با توجه به اینکه شاخص SPI سالانه در اینجا مربوط به پایان آبان هر سال و شاخص GRI هر دوره مربوط به اواخر شهریور هر سال است، بنابراین هرگونه تغییر در میانگین شاخص SPI سالانه با احتمال ۹۵٪ با حدود یکسال تأخیر در میانگین شاخص GRI اتفاق می افتد. به زبان ساده خشکسالی اقلیمی و خشکسالی ژئوهیدرولوژیکی با اطمینان ۹۵٪ درصد فاصله زمانی دارند. این نتیجه با نتایج حاصل از تحقیق Akrami و همکاران (۲۰۱۱) همخوانی ندارد (اکرامی فاصله زمانی شاخص های SPI سالانه و GRI را در دشت یزد - اردکان دو سال به دست آورده است). دلیل این امر نیز هم به تفاوت روش انجام تحقیق و هم به بازه زمانی مورد استفاده برای شاخص های SPI سالانه و GRI برمی گردد. به طوری که Akrami و همکاران (۲۰۱۱) شاخص GRI چاه ها را با شاخص SPI مقایسه کرده اند ولی در اینجا میانگین شاخص GRI دشت با میانگین شاخص SPI سالانه دشت مقایسه شده است.

#### منابع مورد استفاده

- Akrami, M., Sharifi, Z., Malekinejad, H. and Ekhtesasi, M. R., 2011. Study of the process of quantitative and qualitative changes of groundwater levels in Yazd plain of Ardakan in the decade of 2000-2009. *Journal of Research School of Health*, Autumn and Winter, 12p.
- Byun H. R. and Wilhite, D. A., 1996. Daily quantification of drought severity and duration. *Journal of Climate*, 5:1181-1201.
- Deepashree R. and Mujumdar, P. P., 2010. Hydrologic drought prediction under climate change: Uncertainty modeling with Dumpster-Shafer and Bayesian approaches. *Journal of Advances in Water Resources*, 33: 1176-1186.
- Dupigny-Giroux, L.-A., 2001: Towards characterizing and planning for drought in Vermont - Part I: A climatological perspective. *Journal of the American Water Resources Association*, 37: 505-525.
- Eslamian, S., Nasri M. and Rahimi, N., 2006. Investigation of wetting periods and droughts and its

## Assessment of the temporal and spatial pattern of meteorology and hydrogeology drought in arid and desert regions (Case study: Bam plain)

T. Mesbahzadeh<sup>1\*</sup> and F. Soleimani Sardoo<sup>2</sup>

1\*- Corresponding author, Assistant Professor, Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, Natural Resources Faculty, University of Tehran, Karaj, Iran, Email: tmesbah@ut.ac.ir

2- Ph.D. Student in Combat Desertification, Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, Natural Resources Faculty, University of Tehran, Karaj, Iran

Received:22/2/2018

Accepted:19/5/2018

### Abstract

Changes in temporal and spatial patterns of droughts are always a pivotal element of water resource planning, and the necessary strategies for policy-making and integrated water resources management are considered based on this parameter. Drought is a phenomenon degrading the lands and sometimes causes irreparable damages. In this research, SPI and GRI indices were used to study the spatial and temporal patterns of meteorological and hydrological droughts in Bam Plain. The results of this study showed that the most severe meteorological drought and the most severe wet occurred in 2002 and 2014 in the study area, respectively. Also, the most severe hydrological wet (SHW) and the most severe hydrological drought (SHD) are related to 2002 and 2014, respectively. Meanwhile, the hydrological drought temporal pattern occurs with a one-year delay as compared with meteorological drought in the study area. According to the results of the spatial pattern analysis, the moderate and normal drought classes covered most of the region. In addition, as moving from east to west, the severity of drought is increased and wet periods are mostly observed in the northeast of the region.

**Keywords:** Meteorological drought, hydrogeologic, SPI and GRI indices, Bam Plain.