

پایش خشکسالی کشاورزی با استفاده از شاخص خشکسالی RDI و مدل زمین آماری کریجینگ (مطالعه موردی: مناطق مرکزی و جنوبی استان فارس)
سیدامیر شمس نیا و داود خدادادی دهکردی

دوره ۶، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۹، صفحات ۴۴۴-۴۵۸

Vol. 6(4), Winter 2020, 444 – 458

DOI: 10.22034/jewe.2020.242605.1400

**Agricultural Drought Monitoring using
Reconnaissance Drought Index and Kriging
Geostatistical Model (Case Study: Central and
Southern Regions of Fars Province)**

Shamsnia S. A. and Khodadadi Dehkordi D.



www.jewe.ir

OPEN ACCESS

ارجاع به این مقاله:

شمس نیا س. و خدادادی دهکردی د. (۱۳۹۹). پایش خشکسالی کشاورزی با استفاده از شاخص خشکسالی RDI و مدل زمین آماری کریجینگ (مطالعه موردی: مناطق مرکزی و جنوبی استان فارس). محیط زیست و مهندسی آب، دوره ۶، شماره ۴، صفحات: ۴۴۴-۴۵۸.

Citing this paper: Shamsnia S. A. and Khodadadi Dehkordi D. (2020). Agricultural drought monitoring using Reconnaissance Drought index and kriging geostatistical model (case study: central and southern regions of Fars Province). Environ. Water Eng., 6(4), 444-458. DOI: 10.22034/jewe.2020.242605.1400.

پایش خشکسالی کشاورزی با استفاده از شاخص خشکسالی RDI و مدل زمین آماری کریجینگ (مطالعه موردی: مناطق مرکزی و جنوبی استان فارس)

سیدامیر شمس‌نیا^{۱*}، داود خدادادی دهکردی^۲

استادیار، گروه مهندسی آب، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران
استادیار، گروه مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

*نویسنده مسئول: shamsnia@iaushiraz.ac.ir

مقاله اصلی

تاریخ دریافت: [۱۳۹۹/۰۵/۱۵]

تاریخ بازنگری: [۱۳۹۹/۰۷/۰۶]

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۹/۰۷/۰۶]

چکیده

خشکسالی از مهم‌ترین بلاای طبیعی است که به دلیل فراوانی رخداد نیازمند ارزیابی و پایش به‌خصوص در حوزه کشاورزی می‌باشد. در پژوهش حاضر از شاخص شناسایی خشکسالی (RDI) جهت پایش خشکسالی و ارزیابی مکانی شدت آن در مناطق مرکزی و جنوبی استان فارس استفاده شد. رابطه شدت و مدت‌زمان تداوم خشکسالی طی سال‌های مختلف دوره آماری موردنظر (۱۹۹۱-۱۹۹۰ تا ۲۰۱۳-۲۰۱۲) موردبررسی قرار گرفت. جهت ارزیابی مکانی از مدل کریجینگ در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) استفاده شد. براساس مقایسه میان نیم‌تغییرنماهای مختلف مدل کریجینگ، مناسب‌ترین مدل انتخاب شد. بر اساس نتایج به‌دست آمده شدت خشکسالی، تداوم و روند آن طی دوره آماری مورد مطالعه تعیین شد. نتایج نشان داد در ایستگاه‌های شهرستان‌های داراب و نیریز طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۲ و ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۰ خشکسالی‌های شدیدی رخ داده است. در ایستگاه‌های شهرستان‌های فسا و جهرم نیز در بیش‌تر سال‌ها نوسانات اقلیمی منجر به وقوع خشکسالی با شدت‌های کم تا زیاد شده است. در ایستگاه منطقه لارستان نیز نتایج نشان داد خشکسالی‌های متعددی رخ داده است و تعداد رخداد خشکسالی‌ها در دهه ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ بسیار زیاد بوده است. در ارزیابی مکانی خشکسالی، با استفاده از مدل کریجینگ، نتایج نشان داد بر اساس مقایسه انجام‌گرفته مناسب‌ترین نیم‌تغییرنما، مدل کروی است. ارزیابی آسیب‌پذیری خشکسالی در مناطق مورد مطالعه نیز نشان داد مناطق شمالی شهرستان نیریز، استهبان، فسا، داراب و لارستان دچار آسیب بیش‌تری گردیده‌اند. لذا استفاده از شاخص‌های خشکسالی، روش‌های پایش و پهنه‌بندی شدت خشکسالی جهت مدیریت بهتر و برنامه‌ریزی جهت پیش‌آگاهی ضروری می‌باشد و استفاده از آن جهت تصمیم‌گیری‌های مدیریت منابع آب پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: استان فارس؛ خشکسالی؛ سامانه اطلاعات جغرافیایی؛ نیم‌تغییرنما.

۱- مقدمه

خشکسالی سبب خسارت به منابع طبیعی می‌شود و تأثیرات منفی بسیاری را بر بوم‌سازگان به‌جای می‌گذارد. خشکسالی باعث تخریب خاک و بیابان‌زایی می‌شود (Nicholson et al. 1990). در این راستا به‌منظور تعیین شدت خشکسالی بایستی این پدیده از حالت کیفی و توصیفی به‌صورت کمی و عددی درآید و برای آن، شاخص‌هایی تعریف و ارائه گردد. شاخص‌های خشکسالی عناصر مهم پایش و برآورد خشکسالی هستند. به کمک شاخص‌ها می‌توان پهنه‌بندی زمانی و مکانی شدت خشکسالی را مورد بررسی قرار داد (Guttman 1999). در بین شاخص‌های متنوع پایش خشکسالی، شاخص SPI کاربرد بیش‌تری داشته و مورد تأیید محققان زیادی قرار گرفته است (Hayes and Svoboda, 1999; Shamsnia and Pirmoradian 2009). شاخص SPI¹ یک شاخص احتمالاتی است که تنها پارامتر مؤثر در محاسبه شدت خشکسالی بارش است. طی دهه‌های اخیر این شاخص به دلیل نیاز به اطلاعات کم بسیار مورد توجه قرار گرفته است و در پایش و پیش‌بینی به‌طور گسترده‌ای استفاده شده است. اخیراً یک شاخص جدید به نام شاخص شناسایی خشکسالی (RDI²) جهت ارزیابی و پایش خشکسالی ارائه شده است (Tsakiris and Vangelis, 2007; Tsakiris et al. 2005). پارامترهای مؤثر در محاسبه آن بارندگی و تبخیر تعرق پتانسیل است. از آنجایی که بارندگی به‌تنهایی قادر به نشان دادن اثرات خشکسالی بر تولید محصول و عملکرد نمی‌باشد، کاربرد هم‌زمان و توأم بارش و تبخیر تعرق پتانسیل در ارزیابی شدت خشکسالی باعث اعتباربخشی به نتایج و افزایش دقت پایش می‌گردد (Vangelis et al. 2013). در پژوهشی شدت خشکسالی در یک دوره آماری ۳۰ yr برای ۲۰ ایستگاه استان فارس، در سه مقیاس زمانی ۶، ۱۲ و ۲۴ Months تعیین گردیده است.

استان فارس در بیش‌تر سال‌ها دچار خشکسالی بوده و شدت آن در سال‌های اخیر به‌مراتب بیش‌تر از سال‌های قبل می‌باشد (Pirmoradian et al. 2008). در پژوهشی دوره بازگشت خشکسالی گندم در استان فارس بر مبنای شاخص RDI مورد ارزیابی قرار گرفت (Zandilak et al.

(2014) و پس از طبقه‌بندی شدت خشکسالی مشخص شد که خشکسالی کشاورزی گندم در دوره‌های بازگشت ۲ و ۵ yr در کل استان فارس به‌نجار می‌باشد ولی در دوره‌های بازگشت ۱۰، ۲۵ و ۵۰ yr شرایط متفاوت است. همچنین مطالعاتی نشان داده که شاخص RDI نسبت به شاخص SPI حساسیت بیش‌تری دارد و در مناطقی که تحت تأثیر خشکسالی قرار گرفته، مناسب‌تر است (Merabti et al. 2018; Tsakiris et al. 2007). مطالعه بررسی روند خشکسالی به کمک شاخص RDI و با استفاده از آزمون‌های آماری پارامتریک و ناپارامتریک در ۱۶ ایستگاه طی دوره آماری ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۰ نشان داد بر اساس رگرسیون در مقیاس سالانه در ۳۷/۵ درصد ایستگاه‌ها خشکسالی رخ داده است. بر اساس آزمون من کندال و اسپیرمن نیز تقریباً در ۵۰٪ ایستگاه‌ها روند کاهش شاخص RDI معنادار بوده است (Zarei et al. 2016). در پژوهشی که به‌منظور بررسی خشکسالی و خشک شدن دریاچه ارومیه انجام گرفت نتایج نشان داد با وجودیکه دو شاخص SPI و RDI به هم شبیه هستند اما شاخص RDI نسبت به خشکسالی شدید هماهنگ‌تر است (Shokoohi and Morovati 2015). در بررسی خشکسالی در ریودوژانریو برزیل که با استفاده از شاخص‌های SPI و RDI در یک دوره آماری ۳۱ yr در ۱۱۶ ایستگاه انجام گرفته نتایج نشان داد شباهت دو شاخص مذکور در ارزیابی خشکسالی زیاد است (Sobral et al. 2018). در پژوهشی دیگر ارزیابی خشکسالی در منطقه پانچماهس استان گجرات به‌مدت ۹۹ yr (۱۹۹۹-۱۹۰۰) انجام گرفته است. هدف از این مطالعه نظارت و مقایسه خشکسالی با استفاده از SPI و RDI بود. نتایج این مطالعه نشان داد که RDI نسبت به SPI به شرایط آب و هوایی حساس‌تر است، بنابراین نمی‌توان از نقش تبخیر تعرق در ارزیابی خشکسالی غافل شد. با توجه به یافته‌های این پژوهش، پیشنهاد می‌شود از شاخص RDI به‌عنوان شاخص خشکسالی مناسب برای برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب در طرح‌های نظارت بر خشکسالی استفاده شود (Memon and Shah 2019). از آنجایی که پیش‌بینی خشکسالی نیز جهت مدیریت منابع آب و

²Reconnaissance drought index¹Standardized precipitation index

و ارزیابی نمود و شدت آسیب‌پذیری مناطق مختلف را تعیین نمود.

۲- مواد و روش‌ها

۱-۲- منطقه مورد مطالعه

استان فارس در بخش جنوبی ایران بین مدارهای 27° و 2° و 31° و 42° عرض شمالی و 50° و 42° و 55° و 38° طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار گرفته است. این استان از شمال با استان اصفهان و یزد، از مغرب با استان‌های کهگیلویه و بویراحمد و بوشهر، از جنوب با استان هرمزگان و از مشرق با استان کرمان همسایه است. مطالعات پیشین نشان می‌دهد ایران در معرض انواع خشکسالی‌ها با شدت‌های مختلف قرار دارد (Asadi Zarch et al. 2011) در این میان مناطق مرکزی و جنوبی استان فارس به دلیل کمبود بارش و درجه حرارت بالا در سال‌های مختلفی تحت تأثیر خشکسالی قرار گرفته‌اند. از طرف دیگر به دلیل خشکسالی‌های متعدد منابع آبی این مناطق نیز به لحاظ کیفی به شدت افت داشته است (Hejazi Jahromi et al. 2013). در این قسمت از استان متوسط بارندگی سالانه کم‌تر از 200 mm است. هوای این ناحیه در زمستان‌ها معتدل و در تابستان بسیار گرم و خشک می‌باشد. شهرستان‌هایی چون لارستان، خنج، مهر، لامرد، داراب، زرین‌دشت، داراب و قیر و کارزین در این ناحیه آب و هوایی قرار گرفته است. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در شکل (۱) نشان داده شده است.

۲-۲- روش کار

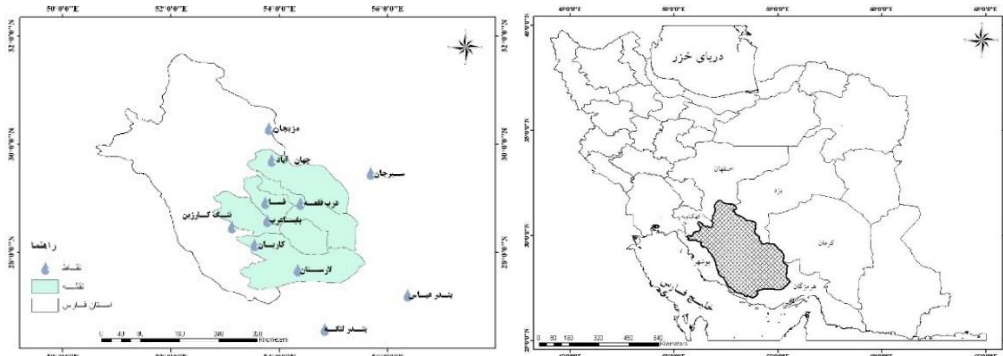
با توجه به اینکه هدف پژوهش حاضر پایش شدت خشکسالی و بررسی آسیب‌پذیری خشکسالی در بخش‌های جنوب استان فارس است، لذا تعداد ۷ ایستگاه در داخل محدوده مورد مطالعه و ۴ ایستگاه به جهت همپوشانی کافی در خارج از محدوده مورد نظر جهت پهنه‌بندی و تهیه نقشه‌های مکانی انتخاب شد. این تعداد ایستگاه با در نظر گرفتن موارد مختلفی از جمله: داشتن آمار طولانی‌مدت، نواقص آماری کم و پراکنش مناسب انتخاب گردید. همچنین یک دوره آماری مشترک 23 yr (۱۹۹۰-۱۹۹۱) تا $2013-2012$ ، جهت تحلیل آماری استفاده شد. به منظور بهره‌گیری از آمارهای اشاره‌شده، ابتدا داده‌های

تصمیم‌گیری‌های آینده نقش بسیار مهمی دارد پژوهشات انجام گرفته در خصوص استفاده از شاخص RDI در پیش‌بینی خشکسالی با استفاده از مدل‌های سری زمانی نشان داده این شاخص توانایی بالایی در پیش‌بینی‌های کوتاه‌مدت خشکسالی دارد، لذا می‌تواند در مدیریت منابع آب و پیش‌آگاهی مفید باشد (Moghimi et al. 2020). در خصوص استفاده از روش‌های درون‌یابی و زمین‌آماری نیز پژوهشات مختلفی انجام شده است. در پژوهشی از روش‌های مختلف درون‌یابی در مسائل مربوط به مدیریت ریسک در خشکسالی استفاده گردید. نتایج حاصل از به‌کارگیری روش‌های مختلف درون‌یابی نشان داد که روش کریجینگ در بین مدل‌های درون‌یابی، به‌منظور مدیریت ریسک خشکسالی، بالاترین پیش‌آگاهی را ارائه می‌نماید (Li and Deogun 2004). در ارزیابی خشکسالی و پهنه‌بندی آن با استفاده از شاخص SPI در یونان Karavitis et al. (2011) و آنالیز زمانی و مکانی خشکسالی در زاینده‌رود اصفهان از روش کریجینگ به‌عنوان روش مناسب و بهینه در پهنه‌بندی خشکسالی استفاده گردیده است (Afzalia et al. 2016).

استان فارس به‌ویژه دشت‌های مرکزی و جنوبی آن به دلیل کمبود شدید بارندگی و درجه حرارت زیاد، در بیش‌تر سال‌ها دچار خشکسالی بوده و شدت آن در سال‌های اخیر به‌مراتب بیشتر از سال‌های قبل می‌باشد. همچنین این مناطق اهمیت ویژه‌ای در بخش کشاورزی و تولید دارند. از طرفی دیگر طی سال‌های اخیر دشت‌های جنوبی استان فارس مذکور از نظر کیفیت آب زیرزمینی که یکی از اصلی‌ترین منابع تأمین آب می‌باشد به شدت دچار تغییر شده که این موضوع بی‌ارتباط با نوسانات اقلیمی و خشکسالی‌های رخ داده نیست. لذا هدف از پژوهش حاضر پایش شدت خشکسالی در بخش‌های جنوبی استان فارس به‌عنوان بخشی مهم و آسیب‌پذیر در برابر مخاطرات محیطی هواشناسی با استفاده از شاخص شناسایی خشکسالی (RDI) است. پس از تعیین شدت‌های خشکسالی جهت بررسی شدت آسیب‌پذیر در مناطق مختلف با استفاده از مدل‌های درون‌یابی زمین‌آماری پهنه‌بندی و بررسی مکانی خشکسالی انجام شد. با ترکیب نتایج ارزیابی شاخص و روش‌های درون‌یابی زمین‌آماری می‌توان طی یک دوره آماری وضعیت خشکسالی را پایش

داده‌های نزدیک‌ترین ایستگاه مبنا و به‌کارگیری روش EM الگوریتم توسط نرم‌افزار SPSS برآورد گردید. این روش در تخمین داده‌های مفقودشده از دقت بالاتری نسبت به روش‌های دیگر برخوردار است و می‌تواند بر اساس حداکثر برآورد مورد انتظار عمل نماید و با پردازش به‌صورت تکرارهای متوالی، بهترین تخمین را اعمال نماید (Figueiredo, 2008).

بارش ماهانه کلیه ایستگاه‌ها به لحاظ صحت و همگنی از طریق روش آماری ران تست، مورد بررسی قرار گرفت. یکی از شرایط زیربنایی جهت تعمیم نتایج نمونه به جامعه اصل «تصادفی بودن داده‌ها» است. تصادفی بودن داده‌ها با آزمون Run-Test انجام می‌شود. با استفاده از این آزمون مشخص می‌شود تا چه حد دنباله‌ای از اعداد به‌صورت تصادفی گردآوری شده‌اند. با اطمینان از همگنی و تصادفی بودن، داده‌های مفقودشده هر ایستگاه با استفاده از



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه

Fig. 1 Geographical location of the studied area

که، \bar{a}_0 میانگین حسابی اعداد a_0 هر سال است. جهت محاسبه شاخص استاندارد شده RDI_s از مقادیر سالانه a_0 لگاریتم گرفته که عددی با عنوان y_i به‌دست می‌آید. سپس میانگین حسابی و انحراف معیار استاندارد این اعداد محاسبه و به ترتیب \bar{y}_k و $\hat{\sigma}_{yk}$ نامیده می‌شود؛ و در نهایت شاخص استاندارد RDI از رابطه (۳) به‌دست می‌آید.

$$RDI_{st(k)}^{(i)} = \frac{y_k^{(i)} - \bar{y}_k}{\hat{\sigma}_{yk}} \quad (3)$$

این شاخص می‌تواند با در نظر گرفتن مقیاس‌های مختلف زمانی و به‌صورت سالانه وضعیت خشکسالی را پایش نماید. با توجه به اینکه دامنه تغییرات این شاخص مانند شاخص SPI است، لذا جهت طبقه‌بندی نیز بایستی از طبقه‌بندی مربوط به شاخص SPI استفاده گردد بدین منظور از طبقه‌بندی اصلاح‌شده‌ای استفاده گردید که با شرایط اقلیمی منطقه مورد مطالعه (استان فارس) تطابق بیشتری دارد و خشکسالی‌ها و ترسالی‌های حدی و وضعیت نرمال را بهتر لحاظ می‌نماید (Shamsnia and Pirmoradian)

۳-۲- محاسبه RDI

پس از انجام مراحل ذکر شده از RDI جهت ارزیابی شدت خشکسالی استفاده گردید. نحوه محاسبه RDI به‌شرح زیر است (Tsakiris and Vangelis, 2005; Tsakiris et al., 2007). ابتدا با استفاده از رابطه (۱) برای هر سال (i) از دوره آماری مورد مطالعه مقداری با عنوان a_0 محاسبه می‌شود:

$$a_0^{(i)} = \frac{\sum_{j=1}^{12} P_{ij}}{\sum_{j=1}^{12} PET_{ij}}, \quad i=1(1)N \quad \text{and } j=1(1)12 \quad (1)$$

که، P : بارندگی، ET : تبخیر و تعرق پتانسیل در j امین ماه سال i . مقدار i از یک تا N (تعداد سال‌هایی است که آمار آن در دسترس است) تغییر خواهد کرد. چنانچه بارندگی و تبخیر تعرق به‌صورت سالانه محاسبه شوند نیازی به جمع کردن مقادیر ماهانه در فرمول نیست. گام بعدی تعیین شاخصی با عنوان نرمال RDI_n هر سال است که از رابطه (۲) به‌دست می‌آید.

$$RDI_n^{(i)} = \frac{a_0^{(i)}}{\bar{a}} - 1 \quad (2)$$

در استفاده از شاخص RDI باید علاوه بر بارش، از تبخیر تعرق پتانسیل نیز در محاسبه شاخص استفاده گردد. با توجه به اینکه اندازه‌گیری مستقیم تبخیر تعرق با استفاده از لایسیمتر وقت‌گیر و پرهزینه است، لذا از معادلات مختلف ارائه‌شده و با استفاده آمارهای هواشناسی برای محاسبه تبخیر تعرق پتانسیل استفاده می‌شود.

۲-۴-۱- روش هارگریوز و سامانی

روش هارگریوز و سامانی را می‌توان به‌عنوان یک روش جایگزین برای تخمین تبخیر تعرق پتانسیل استفاده نمود. این روش در پژوهش‌های زیادی مورد تأیید قرار گرفته است (Fooladmand et al. 2008; Popova et al. 2006). محاسبه تبخیر تعرق پتانسیل به روش هارگریوز به‌وسیله رابطه (۴) نشان داده شده است.

$$PET = 0.408 \times 0.0023 \times (T_{mean} + 17.8) \times (T_{max} - T_{min})^{0.5} \times R_a \quad (4)$$

برحسب MJ/M². تابش خورشیدی وابسته به شماره روز ژولوسی و عرض جغرافیایی است. رابطه (۵) نیز برای جنوب ایران ارائه گردیده است (Fooladmand et al. 2008).

$$PET = 0.408 \times 0.0045 \times (T_{mean} + 46.2) \times (T_{max} - T_{min} - 0.0156P)^{0.116} \times R_a \quad (5)$$

۲-۵- تهیه نقشه‌های آسیب‌پذیری در محیط GIS در پژوهش حاضر جهت پهنه‌بندی و بررسی گستردگی و آسیب‌پذیری خشکسالی از مدل زمین‌آماری کریجینگ استفاده گردید. این روش مهم‌ترین و گسترده‌ترین روش درون‌یابی می‌باشد. کریجینگ روش درون‌یابی پیشرفته‌ای است که برای داده‌هایی که دارای روند موضعی تعریف‌شده‌ای باشند، مناسب است. این روش با کمترین واریانس تخمین، درون‌یابی می‌کند و میزان خطای آن تابع مشخصات تغییر نما می‌باشد. اگر مطالعات مربوط به تشخیص مدل تغییر نما با دقت کافی انجام شود، درون‌یابی با روش کریجینگ از دقت بالایی برخوردار خواهد بود. تهیه نقشه‌های شدت خشکسالی با استفاده از مدل کریجینگ در مطالعات مختلفی مورد استفاده قرار گرفته است (Loukas and Vasiliades. 2004; Asadi Zarch et al. 2011). این نقشه‌ها می‌تواند مناطق آسیب‌دیده خشکسالی را نشان دهد. روش کریجینگ یک روش درون‌یابی زمین‌آماری است (Isaaks and Srivastava.

2009). درجه خشکسالی و ارزش شاخص استاندارد شده بارش در جدول (۱) نشان داده شده است.

جدول ۱- طبقه‌بندی شاخص استاندارد شده بارش
Table 1 Classification of standardized precipitation index

SPI Values	Drought Classes
2+	Extremely wet
1.5-1.99	Very wet
1-1.49	Moderately wet
0.5-0.99	Slightly wet
-0.49-0.49	Normal
-0.99- -0.5	Mild drought
-1.49- -1	Moderate drought
-1.99- -1.5	Severe drought
-2	Extreme drought

۲-۴-۲ تبخیر تعرق پتانسیل

که، PET: تبخیر تعرق پتانسیل برحسب mm/day، T_{mean}: توسط درجه حرارت ماهانه بر حسب °C، T_{max}، حداکثر درجه حرارت ماهانه برحسب °C، T_{min}: حداقل درجه حرارت ماهانه برحسب °C، R_a: تابش خورشید

که، P: مقدار بارش ماهانه برحسب mm. در پژوهشی که با مقایسه چهار روش محاسباتی متداول تبخیر تعرق شامل هارگریوز، هارگریوز اصلاح‌شده، تورنت ویت و بلانی کریدل انجام گرفته نتایج نشان داد در مناطق مرکزی و جنوبی استان فارس دو روش هارگریوز و هارگریوز اصلاح‌شده که براساس دما و بارش ماهانه است، خطای کمتری داشته و با دقت بالاتری تبخیر تعرق را محاسبه می‌نماید (Fooladmand 2011). همچنین در پژوهش دیگری که در خصوص پایش زمانی و مکانی خشکسالی با استفاده از شاخص RDI و همبستگی آن با عملکرد نسبی محصول در استان فارس انجام گرفته، جهت محاسبه تبخیر تعرق از روش هارگریوز اصلاح‌شده که مبتنی بر دما و بارش ماهانه است استفاده گردیده است (Hejazi Jahromi 2014). لذا در پژوهش حاضر از معادله مذکور جهت تخمین تبخیر تعرق پتانسیل در محاسبه شاخص RDI استفاده شد.

طور نمونه نتایج سه ایستگاه نشان داده شده و با توجه به مشابهت برخی ایستگاهها باهم نتایج کلیه ایستگاهها مورد ارزیابی قرار گرفت. هر یک از ایستگاهها از نظر روند وقوع خشکسالی بررسی گردید. نتایج بررسی روند زمانی خشکسالی مناطق نیریز و داراب نتایجی مشابه دارد که این به دلیل مشابهت زیاد این دو منطقه به لحاظ وضعیت بارش، درجه حرارت و به طور کلی اقلیم می باشد. مناطق مذکور با استان کرمان نیز همجوار بوده و اثرات خشکسالی و نوسانات اقلیمی استان کرمان نیز در مناطق مذکور وجود دارد. طی سالهای ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۲ و ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۰ خشکسالی های شدیدی رخ داده است و طی سالهای ۲۰۱۱ و ۲۰۱۲ وضعیت به حد نرمال نزدیک شده است. با توجه به خط روند تغییرات زمانی رخ داده طی دوره آماری مورد مطالعه، احتمال رخداد خشکسالی های شدیدی طی سالهای آتی وجود دارد و با توجه به اینکه مناطق مذکور اهمیت ویژه ای در تولید محصولات کشاورزی دارند مسئله کاهش کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی طی سالهای اخیر و سالهای آتی دور از انتظار نمی باشد و نیاز به ارزیابی و مدیریت جدی این منابع وجود دارد.

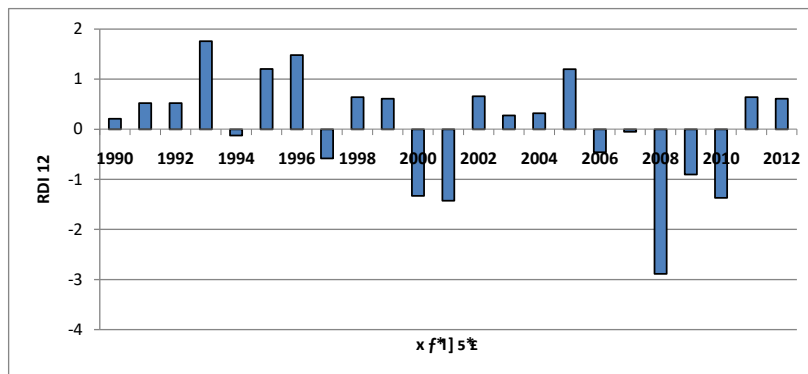
نتایج بررسی روند زمانی خشکسالی منطقه فسا نشان می دهد که در بیشتر سالها نوسانات اقلیمی منجر به وقوع خشکسالی با شدت های کم تا زیاد شده است. در چند سال اخیر نیز دوره تداوم افزایش داشته است. نتایج نشان می دهد پس از یک دوره ترسالی طی سالهای ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۶، یک دوره خشکسالی طولانی مدت و شدید وجود داشته است و خشکسالی سالهای بعد نیز در کل دوره آماری شدیدتر بوده است. روند تغییرات زمانی منطقه جهرم نیز وضعیتی مشابه فسا دارد با این تفاوت که شدت خشکسالی طی سالهای ۲۰۱۱ و ۲۰۱۲ کاهش یافته است. در این منطقه شدیدترین خشکسالی در سالهای ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱ و ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹ رخ داده است. به طور کلی در ایستگاه جهرم روند خاصی وجود نداشته است و تقریباً شدت و تداوم خشکسالی و ترسالی در دوره آماری یکسان بوده است. با توجه به اهمیت این مناطق در بخش تولید محصولات کشاورزی پایش به هنگام خشکسالی اهمیت ویژه ای دارد.

(1989) که به طور گسترده ای در سطح جهان شناخته شده و می تواند روند موضعی پارامتر مورد نظر را نشان دهد (Sonmez et al. 2005). لذا در پژوهش حاضر نیز این روش ملاک پهنه بندی و بررسی روند آسیب پذیری خشکسالی قرار گرفته است. پس از تعیین و مقایسه پارامترهای مربوط به مدل کریجینگ نقشه های آسیب پذیری در محیط ArcGIS تهیه گردید. بر اساس معادلات مربوط به مدل های سقف دار و بدون سقف آزمون های مختلفی انجام گرفت تا بهترین مدل از نظر کمترین واریانس خطا و بهترین دامنه تأثیر انتخاب شود. پس از مقایسه و تعیین مدل نیم تغییرنمای بهینه، نقشه های آسیب پذیری خشکسالی ترسیم گردید. سپس تجزیه و تحلیل های مکانی بر روی نقشه ها انجام گرفت. به کمک نقشه ها می توان خشکسالی های رخ داده طی دوره آماری مورد نظر را انجام و مناطق آسیب پذیر نسبت به خشکسالی را مشخص نمود. لذا در پژوهش حاضر جهت بررسی و مقایسه نیم تغییر نماها از مدل ها سقف دار (کروی، نمایی و لگاریتمی) و یک مدل بدون سقف (خطی) استفاده گردید. سپس بر اساس ضریب همبستگی و درصد واریانس تصادفی بدون ساختار (Nugget) که از نسبت Nugget به سقف نیم تغییرنما (Sill) به دست می آید، مدل مناسب تعیین شد. در نیم تغییرنما اگر درصد اثر قطعه ای که به عنوان نسبت واریانس تصادفی به واریانس کل ضریب ۱۰۰ تعریف شده، کم تر از ۲۵٪ باشد، ویژگی دارای وابستگی مکانی قوی، اگر بیش تر از ۷۵٪ باشد ویژگی از وابستگی مکانی ضعیف برخوردار بوده و اگر در بین این دو محدوده باشد، ویژگی دارای وابستگی مکانی متوسط می باشد (Cambardella et al. 1994). اگر نسبت فوق، ۱۰۰٪ گردد، ویژگی مورد مطالعه فاقد وابستگی مکانی و اگر برابر صفر شد، حاکی از وجود یک پیوستگی در وابستگی مکانی می باشد.

۳- یافته ها و بحث

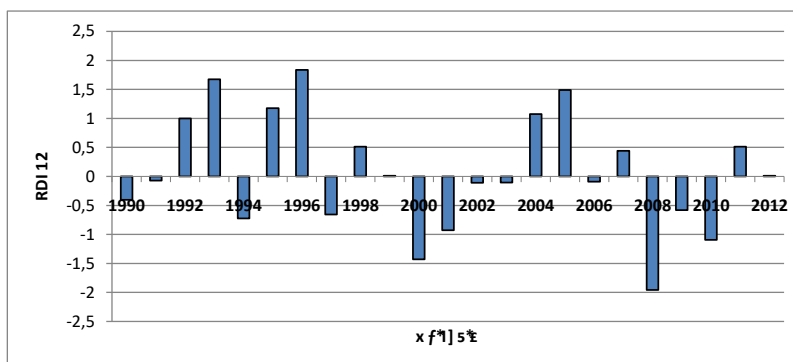
۳-۱- روند تغییرات زمانی شاخص RDI

رابطه شدت و مدت زمان تداوم خشکسالی طی سال های مختلف دوره آماری، در ایستگاه های مورد مطالعه (شکل های ۲ تا ۴) نشان داده شده است. در این راستا، به



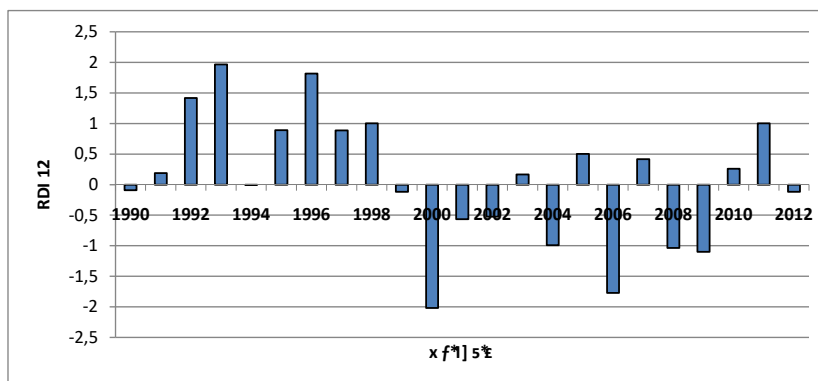
شکل ۲- بررسی روند تغییرات زمانی خشکسالی در ایستگاه شهرستان نیریز (ایستگاه جهان‌آباد)

Fig.2 Investigation of the drought changes trend in the Neyriz City (Jahanabad Station)



شکل ۳- بررسی روند تغییرات زمانی خشکسالی در ایستگاه شهرستان فسا (ایستگاه فسا)

Fig. 3 Investigation of the drought changes trend in the Fasa City (Fasa Station)



شکل ۴- بررسی روند تغییرات زمانی خشکسالی در ایستگاه شهرستان لار (ایستگاه لار)

Fig. 4 Investigation of the drought changes trend in the Lar city (Lar station)

مسئله آسیب‌پذیری و بحرانی بودن منطقه مذکور را نشان می‌دهد. با توجه به حساسیت بخش کشاورزی و کم بودن بارش و بالابودن درجه حرارت، منطقه مذکور جزء مناطق بحرانی استان محسوب می‌شود.

۳-۲- آسیب‌پذیری نسبت به نوسانات اقلیمی

پس از پایش زمانی شدت و تداوم خشکسالی لازم است تا وضعیت مکانی خشکسالی و آسیب‌پذیری مناطق مختلف مورد ارزیابی قرار گیرد. بدین منظور با استفاده از روش

نتایج بررسی روند زمانی خشکسالی منطقه لارستان نشان می‌دهد که خشکسالی‌های متعددی رخ داده است. تعداد رخداد خشکسالی‌ها در دهه ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ بسیار زیاد بوده است. از طرفی دیگر بررسی نوسانات اقلیمی نشان می‌دهد طی سال‌های اولیه دوره آماری منطقه مذکور با وضعیت ترسالی روبرو بوده است؛ اما از سال ۲۰۰۰ به بعد می‌توان گفت تقریباً کلیه سال‌های آماری با خشکسالی مواجه گردیده و این وضعیت همچنان نیز ادامه دارد. این

زمین‌آماری کریجینگ و مقایسه بین نیم تغییر نماهای مختلف و تعیین مناسب‌ترین نیم تغییر نما نقشه‌های آسیب‌پذیری خشکسالی ارائه گردید. نتایج حاصل از سال ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۲ در جداول (۲) و (۳) نشان داده شده است. بر اساس بیشترین ضریب همبستگی و کمترین درصد واریانس تصادفی بدون ساختار (درصد اثر قطعه‌ای) مناسب‌ترین نیم تغییر نما جهت هر کدام از شاخص‌ها تعیین و نشان داده شده است.

جدول ۲- مقایسه آماری دقت نیم تغییر نماهای مدل کریجینگ جهت درون‌یابی شاخص خشکسالی RDI

Table 2 Statistical comparison of the semivariogram in the Kriging model for the interpolation of the RDI drought index

Nugget/Sill	R	Semivariogram	سال	Nugget/Sill	R	Semivariogram	سال
0.123	0.664	Spherical	2004	0.043	0.767	Spherical	1995
0.199	0.643	Exponential		7.33	0.562	Exponential	
0.245	0.625	Linear		25.89	0.446	Linear	
0.334	0.636	Gussian		11.30	0.534	Gussian	
42.084	0.531	Spherical	2005	0.067	0.726	Spherical	1996
19.613	0.532	Exponential		0.065	0.704	Exponential	
51.831	0.525	Linear		45.93	0.327	Linear	
26.695	0.490	Gussian		0.069	0.641	Gussian	
23.528	0.496	Spherical	2006	49.876	0.525	Spherical	1997
23.684	0.484	Exponential		49.889	0.516	Exponential	
54.452	0.379	Linear		94.265	0.296	Linear	
29.864	0.316	Gussian		49.902	0.426	Gussian	
49.832	0.533	Spherical	2007	0.341	0.804	Spherical	1998
49.850	0.532	Exponential		0.231	0.836	Exponential	
87.111	0.324	Linear		0.245	0.815	Linear	
49.341	0.557	Gussian		2.425	0.760	Gussian	
2.117	0.648	Spherical	2008	24.402	0.742	Spherical	1999
12.50	0.532	Exponential		52.032	0.496	Exponential	
6.641	0.604	Linear		67.965	0.393	Linear	
4.061	0.642	Gussian		28.760	0.697	Gussian	
49.73	0.618	Spherical	2009	0.035	0.886	Spherical	2000
25.64	0.762	Exponential		0.050	0.860	Exponential	
63.75	0.422	Linear		0.072	0.874	Linear	
34.46	0.681	Gussian		0.050	0.927Op	Gussian	
63.50	0.572	Spherical	2010	0.128	0.859	Spherical	2001
49.91	0.698	Exponential		0.135	0.857	Exponential	
49.80	0.719	Linear		0.132	0.858	Linear	
42.92	0.780	Gussian		1.270	0.827	گوسی	
49.86	0.558	Spherical	2011	10.575	0.768	Spherical	2002
43.49	0.580	Exponential		10.249	0.799	Exponential	
44.37	0.566	Linear		18.344	0.761	Linear	
54.55	0.524	Gussian		10.645	0.705	Gussian	
49.68	0.617	Spherical	2012	0.162	0.857	Spherical	2003
31.91	0.735	Exponential		0.179	0.847	Exponential	
69.48	0.379	Linear		0.165	0.849	Linear	
42.99	0.670	Gussian		0.977	0.794	Gussian	

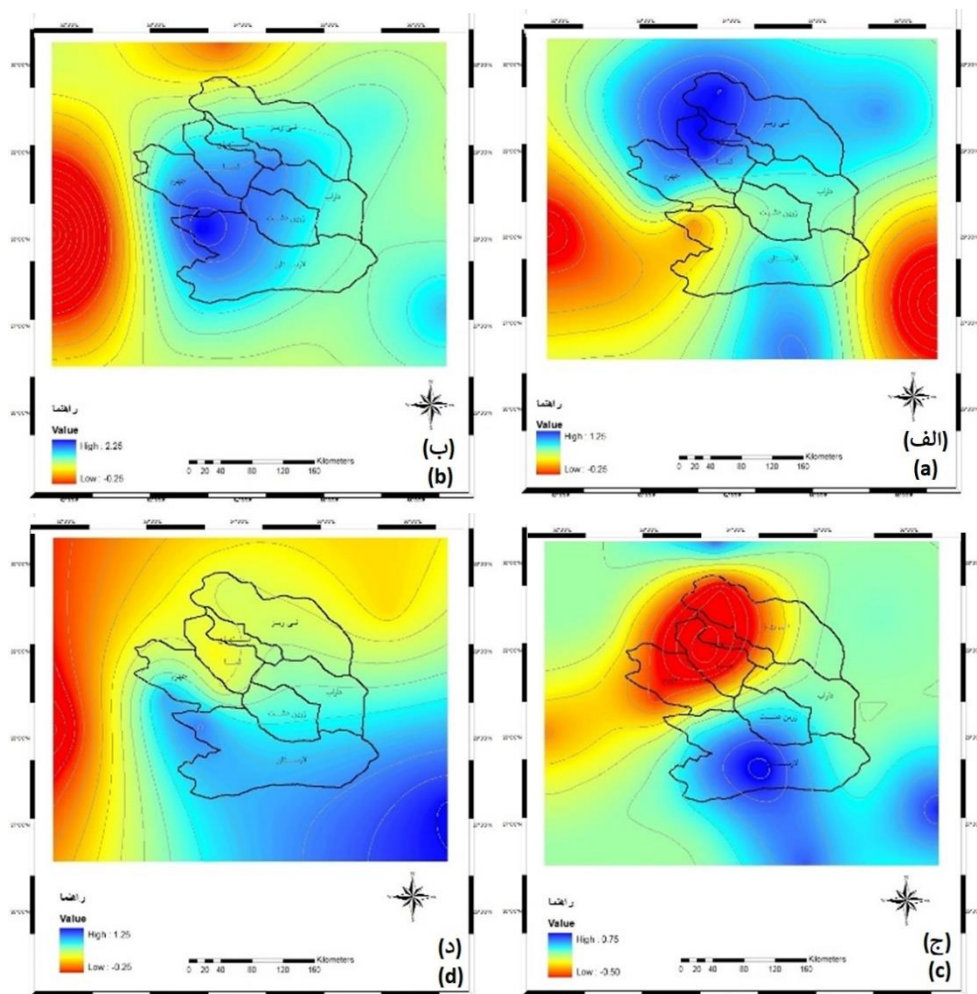
جدول ۳- مدل بهینه نیم‌تغییر نما جهت درون‌یابی شاخص خشکسالی RDI در سال‌های آماری مورد مطالعه

Table 3 Optimal semivariogram model for interpolation of RDI drought index in the studied statistical years

Statistical year	Optimal Semivariogram	Statistical year	Optimal Semivariogram
1995	Spherical	2004	Spherical
1996	Spherical	2005	Exponential
1997	Spherical	2006	Spherical
1998	Exponential	2007	Gussian
1999	Spherical	2008	Spherical
2000	Spherical	2009	Exponential
2001	Spherical	2010	Gussian
2002	Exponential	2011	Exponential
2003	Spherical	2012	Exponential

وضعیت نوسانات اقلیمی مانند سال قبل بوده و حتی شدت ترسالی‌ها روبه افزایش بوده است. طی سال ۱۹۹۷-۱۹۹۸ همراه با کاهش بارش و افزایش درجه حرارت بوده، بطوریکه مقادیر شاخص RDI کاهش یافته و شروع خشکسالی نشان داده شده است. بخش‌های شمالی منطقه مورد مطالعه (چهرم، فسا و استهبان) از وضعیت ترسالی سال ۱۹۹۶-۱۹۹۷ به وضعیت نرمال رسیده است. در سال ۱۹۹۷-۱۹۹۸ نیز وضعیت کل منطقه مورد مطالعه نرمال و ترسالی متوسط بوده است.

بر اساس مقایسه میان نیم تغییرنماهای مختلف مدل کریجینگ با شاخص‌های آماری، مناسب‌ترین مدل انتخاب و با در نظر گرفتن اطلاعات ایستگاه‌های مورد مطالعه نقشه‌های آسیب‌پذیری در برخی از سالها تهیه و مورد تحلیل قرار گرفت. طی سال ۱۹۹۵-۱۹۹۶ (شکل ۵) وضعیت کل منطقه مورد مطالعه نرمال تا ترسالی نسبتاً مناسب و شدید بوده است و در هیچ منطقه‌ای از محدوده مورد مطالعه خشکسالی وجود نداشته است. ادامه این وضعیت در سال ۱۹۹۶-۱۹۹۷ نیز وجود داشته است.



شکل ۵- نقشه پهنه‌بندی شاخص خشکسالی RDI در سال‌های الف- ۱۹۹۴-۱۹۹۵، ب- ۱۹۹۵-۱۹۹۶، ج- ۱۹۹۶-۱۹۹۷، و د- ۱۹۹۷-۱۹۹۸

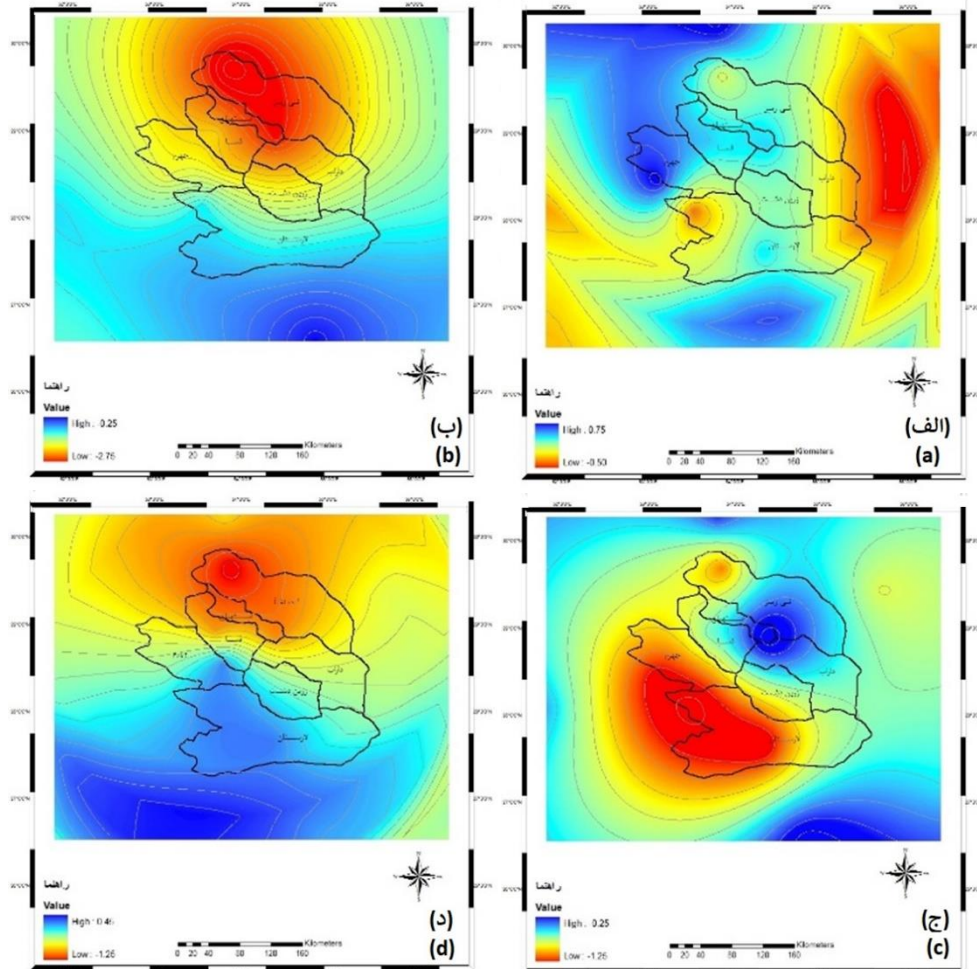
Fig. 5 Mapping of RDI drought index in the years: a) 1994-1995, b) 1995-1996, c) 1996-1997 and d) 1997-1998

گرفته بر وضعیت کمی منابع آب زیرزمینی دشتهای منتخب استان فارس (Shahidi et al. (2009) نتایج نشان داد که در طی سال‌های ۱۳۸۶ و ۱۳۸۷ (۲۰۰۷ و ۲۰۰۸) منابع آب زیرزمینی دشتهای فسا، فیروزآباد،

طی سال ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹ بخش‌های شمالی نیریز، استهبان، فسا و چهرم نیز با خشکسالی شدید روبرو بوده و در سال ۲۰۰۸-۲۰۰۹ لارستان و چهرم با شدت خشکسالی بسیار بالای روبرو بوده است (شکل ۶). طبق مطالعات انجام

سفره‌های آب زیرزمینی در معرض خطر جدی قرار دارد. در پژوهش دیگری (Zandilak et al. (2014 نیز با استفاده از شاخص RDI ارزیابی دوره بازگشت خشکسالی در استان فارس نشان داده مناطق جنوبی استان فارس به شدت نسبت به خشکسالی آسیب پذیر هستند و در طی دوره آماری مورد مطالعه روند رخداد خشکسالی وجود داشته است.

لارستان، قیر، داراب و استهبان با افت شدید روبرو بوده است. لذا خشکسالی‌های رخ داده آسیب زیادی بر منابع آب زیرزمینی وارد نموده است. طی سال ۲۰۰۹-۲۰۱۰ نیز بخش شمالی نیریز، استهبان و فسا دچار آسیب خشکسالی گردیده است. پژوهشات (Pirmoradian et al. (2008 نشان داده مناطقی از جنوب، جنوب غرب و جنوب شرق استان فارس در بیش تر سال‌ها با خشکسالی مواجهه بوده و از نظر تأثیرات و پیامدهای خشکسالی منابع آب و



شکل ۶- نقشه پهنه‌بندی شاخص خشکسالی RDI در سال‌های: الف- ۲۰۰۶-۲۰۰۷، ب- ۲۰۰۷-۲۰۰۸، ج- ۲۰۰۸-۲۰۰۹، و د- ۲۰۰۹-۲۰۱۰

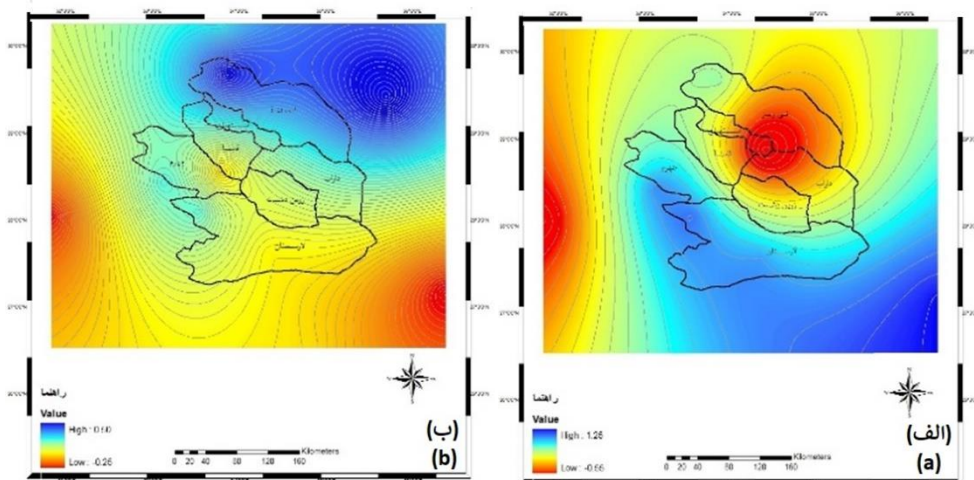
Fig. 6 Mapping RDI Drought Index in the years: a) 2006-2007, b) 2007-2008, c) 2008-2009, and d) 2009-2010

جنوبی وضعیت نرمال رو به خشکسالی رفته است که البته علت اصلی آن می‌تواند وجود خشکسالی در استان‌های همجوار هرمزگان و بوشهر نیز باشد و با توجه به روند موجود، نقشه‌های آسیب‌پذیری می‌تواند پیش‌آگاهی خشکسالی در سال‌های بعد نیز باشد. بر طبق نتایج پژوهشات اخیر سهم آب زیرزمینی در استان فارس طی

طی سال‌های ۲۰۱۰-۲۰۱۱ و ۲۰۱۱-۲۰۱۲ شدت خشکسالی‌ها کاهش یافته و به وضعیت نرمال رسیده است (شکل ۷). در طی سال ۲۰۱۰-۲۰۱۱ تقریباً در بیش تر قسمت‌های منطقه مورد مطالعه وضعیت ترسالی وجود داشته است؛ اما با کاهش بارش‌ها طی سال ۲۰۱۱-۲۰۱۲ مجدداً خشکسالی آغاز گردیده بطوریکه در بخش‌های

مشهود بوده به‌طوریکه آبدهی اکثر رودخانه‌های فارس ۷۰ تا ۱۰۰٪ کاهش یافته است (Salehi 2018).

سال‌های اخیر ۷۹٪ است که در سطح کشور این مقدار معادل ۵۵٪ است. وقوع خشکسالی در سال‌های اخیر بسیار



شکل ۷- نقشه پهنه‌بندی شاخص خشکسالی RDI در سال‌های: الف) (۲۰۱۰-۲۰۱۱، و ب) (۲۰۱۱-۲۰۱۲)

Fig. 7 Mapping RDI Drought Index in the years: a) 2010-2011 and b) 2011-2012

کروی و نمایی به‌عنوان مدل بهینه با کم‌ترین خطا انتخاب گردیدند. در ارزیابی مدل‌های مختلف درون‌یابی در پهنه‌بندی بارندگی و آنالیز مکانی خشکسالی نیز نتایج نشان داده که مناسب‌ترین مدل، مدل کریجینگ و مناسب‌ترین نیم‌تغییرنما، مدل کروی است (Shamsnia et al. 2019; Subedi et al. 2010). در پژوهشی دیگر در ارزیابی و پهنه‌بندی خشکسالی، با استفاده از مدل کریجینگ، نتایج نشان داد بر اساس مقایسه انجام گرفته مناسب‌ترین نیم‌تغییرنما کروی است (Jemai et al. 2016).

۴- نتیجه‌گیری

شناخت عوامل و میزان تغییرپذیری پارامترهای هواشناسی و نوسانات اقلیمی، نقش قابل ملاحظه‌ای در پیش‌بینی‌ها و برنامه‌ریزی‌های دقیق محیطی و اقتصادی دارد. در پژوهش حاضر با استفاده از شاخص شناسایی خشکسالی (RDI) با در نظر گرفتن بارندگی و تبخیرتغرق پتانسیل در مناطق جنوبی استان فارس طی یک دوره آماری ۲۳ ساله (۱۹۹۱-۱۹۹۰ تا ۲۰۱۳-۲۰۱۲) خشکسالی مورد پایش و ارزیابی قرار گرفت. نتایج پایش خشکسالی نشان داد:

۱- در ایستگاه‌های شهرستان‌های داراب و نیریز طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۲ و ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۰ خشکسالی-های شدیدی رخ داده است و طی سال‌های ۲۰۱۱ و ۲۰۱۲ وضعیت به حد نرمال نزدیک شده است. روند خشکسالی

با توجه به بررسی‌های صورت گرفته و ارزیابی آسیب‌پذیری مناطق جنوبی استان فارس طی سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۲، مناطق شمالی شهرستان نیریز، استهبان، فسا، داراب و لارستان دچار آسیب بیش‌تری گردیده‌اند و طی خشکسالی‌های شدید آسیب‌پذیری بیش‌تری از خود نشان داده‌اند. با توجه به بررسی‌های صورت گرفته و ارزیابی آسیب‌پذیری مناطق جنوبی استان فارس طی سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۲، مناطق شمالی شهرستان نیریز، استهبان، فسا، داراب و لارستان دچار آسیب بیش‌تری گردیده‌اند و طی خشکسالی‌های شدید آسیب‌پذیری بیش‌تری از خود نشان داده‌اند. پژوهشات Hejazi Jahromi et al. (2013); Masoudi and Barzegar. (2015) نیز در بررسی وضعیت کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی در مناطق جنوبی استان فارس نشان داد طی سال‌های اخیر مناطق مذکور به‌شدت آسیب‌دیده‌اند و پارامترهای کمی و کیفی با افت شدیدی روبرو شده‌اند. علت خشکسالی‌های شدید در مناطق مورد مطالعه علاوه بر خشکسالی‌های رخ داده در استان فارس، اثرات کاهش بارش استان‌های هرمزگان و کرمان نیز می‌باشد.

همچنین در پژوهش حاضر از مدل زمین‌آماري کریجینگ جهت پهنه‌بندی استفاده گردید. بر اساس مقایسه میان نیم‌تغییرنماهای مختلف مدل کریجینگ با شاخص‌های آماری، مناسب‌ترین مدل انتخاب گردید. در بیش‌تر سال‌ها مدل

۴- بر اساس مقایسه میان نیم‌تغییرنماهای مختلف مدل کریجینگ با شاخص‌های آماری، مدل کروی و نمایی به‌عنوان مدل بهینه با کم‌ترین خطا انتخاب شدند.

با توجه به اینکه استان فارس به‌ویژه بخش جنوبی آن شدیداً خشک می‌باشد و در معرض انواع خشکسالی‌ها نیز قرار دارد، تأثیرات استان‌های خشک هرمزگان و کرمان نیز مزید بر علت گردیده و باعث آسیب‌پذیری بیشتر شهرستان‌های نیریز، داراب و لارستان گردیده است. خشکسالی‌های متعدد علاوه بر کاهش منابع آبی این مناطق می‌تواند باعث افت شدید کیفیت آب نیز گردد. لذا استفاده از شاخص‌های خشکسالی و روش‌های پایش و پهنه‌بندی شدت خشکسالی جهت مدیریت بهتر و برنامه‌ریزی جهت پیش‌آگاهی ضروری می‌باشد و استفاده از آن جهت تصمیم‌گیری‌های مدیریت منابع آب پیشنهاد می‌گردد.

احتمال رخداد خشکسالی‌های شدید طی سال‌های آتی را تأیید می‌کند.

۲- در ایستگاه‌های شهرستان‌های فسا و جهرم نیز در بیش‌تر سال‌ها نوسانات اقلیمی منجر به وقوع خشکسالی با شدت‌های کم تا زیاد شده است. در چند سال اخیر نیز دوره تداوم افزایش داشته است. بیش‌تر دوره‌های خشکسالی شدت‌های متوسط تا حاد را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد پس از یک دوره ترسالی طی سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۶، یک دوره خشکسالی طولانی‌مدت و شدید وجود داشته است و خشکسالی سال‌های بعد نیز در کل دوره آماری شدیدتر بوده است.

۳- در ایستگاه منطقه لارستان خشکسالی‌های متعددی رخ داده است. تعداد رخداد خشکسالی‌ها در دهه ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ بسیار زیاد بوده است. از سال ۲۰۰۰ به بعد تقریباً کلیه سال‌های آماری با خشکسالی مواجه شده و این وضعیت همچنان نیز ادامه دارد.

References

- Afzalia A., Keshtkar H., Pakzad S., Moazami N., Azizabadi Farahania E., Golpaygania A., Khosrojerdi E., Yousefi A. and TaghiNaghilou M. (2016). Patio-Temporal analysis of drought severity using drought indices and deterministic and geostatistical methods (Case Study: Zayandehroud River Basin). *Desert J.*, 21(2), 165-172.
- Asadi Zarch M. A., Malekinezhad H., Mobin M.H., Taghi Dastorani M. and Kousari M. R. (2011). Drought Monitoring by Reconnaissance Drought Index (RDI) in Iran. *Wat. Resour. Manag.*, 25(13), 3485-3504.
- Cambardella C. A., Moorman T. B., Novak J. M., Parkin T. B., Karlen D. L., Turco R. and Konopka A. E. (1994). Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 58(5), 1501-1511.
- Figueiredo M. A. T. (2008). Lecture notes on the EM algorithm. Instituto Superior Tecnico. 35 pp.
- Fooladmand H. R., Zandilak H. and Ravanan M. H. (2008). Comparison of different types of Hargreaves equation for estimating monthly evapotranspiration in the south of Iran. *Arch. Agron. Soil Sci.*, 54, 321-330.
- Fooladmand H. R. (2011). Evaluation of some equations for estimating evapotranspiration in the south of Iran. *Arch. Agron. Soil Sci.*, 57(7), 741-752.
- Guttman N. B. (1999). Accepting the standardized precipitation index: A calculation algorithm. *J. Am. Wat. Resour. Assoc.*, 35(2), 311-322.
- Hayes M. J. and Svoboda N. D. (1999). Monitoring the 1996 drought using SPI. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 80, 429-438.
- Hejazi Jahromi K., Pirmoradian N., Shamsnia S.A. and Shahidi N. (2013). Quantitative and qualitative evaluation of groundwater resources for use in irrigation systems (Case study: southern and southeastern plains of Fars province). *J. Nat. Geogr.*, 6(19), 33-44 [In Persian].
- Hejazi Jahromi K. (2014). Temporal and spatial drought monitoring by using

- meteorological index of RDI, spectral and thermal indices resulted of remote sensing Case study: Rainfed wheat areas in Fars Province). M. Sc. Dissertation. Shiraz Branch, Islamic Azad University. 185pp.
- Isaaks H. E. and Srivastava R. M. (1989). An introduction to applied geostatistics. Oxford University Press, New York.
- Jemai S., Ellouze M., Agoubi B. and Abida H. (2016). Drought intensity and spatial variability in Gabes Watershed, south-eastern Tunisia. *J. Wat. Land Develop.*, 31, 63-72.
- Karavitis C. A., Alexandris S., Tsesmelis D. E. and Athanasopoulos G. (2011). Application of the standardized precipitation index (SPI) in Greece. *Wat. J.*, 3, 787-805.
- Li D. and Deogun J. S. (2004). Interpolation models for spatiotemporal association mining. *Fundam. Inform.*, 59(2-3), 153-172.
- Loukas A. and Vasiliades L. (2004). Probabilistic analysis of drought spatiotemporal characteristics in Thessaly Region, Greece. *Nat. Hazard. Earth Syst. Sci.*, 4, 719-731.
- Masoudi M. and Barzegar S. (2015). Assessment and mapping of qualitative and quantitative severity degradation of groundwater resources using the modified IMDPA desertification model and GIS. A Case Study: Firuzabad Plain of Fars Province. *Iran. Irrig. Wat. Eng.*, 5(20), 86-98 [In Persian].
- Merabti A., Martins D. and Meddi M. (2018). Spatial and time variability of drought based on SPI and RDI with various time scales. *Wat. Resour. Manag.*, 32(3), 1087-1100.
- Moghim M. M., Zarei A. and Mahmoudi M. R. (2020). Seasonal drought forecasting in arid regions, using different time series models and RDI index. *Wat. Clim. Change*, 11(3), 633-654.
- Memon A. V. and Shah N. V. (2019). Assessment and comparison of SPI and RDI meteorological drought indices in Panchmahals District of Gujarat, India. *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci.*, 8(8), 1995-2004.
- Nicholson S. E., Davenport M. L. and Malo A. R. (1990). A comparison of vegetation response to rainfall in the Sahel and east Africa, using normalized difference vegetation index from NOAA-AVHRR. *Clim. Change*, 17(2-3), 209-241.
- Pirmoradian N., Shamsnia S. A., Boustani F. and Shahrokhnia M. A. (2008). Evaluation of drought return period using standardized precipitation index (SPI) in Fars province, Iran. *Agroecol. J.*, 4(13), 7-21 [In Persian].
- Popova Z., Kercheva M. and Pereira L. S. (2006). Validation of the FAO methodology for computing ETo with limited data, application to south Bulgaria. *Irrig. Drain.*, 55, 201-215.
- Salehi V. (2018). Evaluation of the relationship between meteorological and hydrological drought and the quality of groundwater resources using SPI, SWI and SECI indices. M.Sc. Dissertation, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran. 166 pp.
- Shahidi N., Shamsnia S. A., Honar M. R. and Gholami A. R. (2009). Investigating the effect of drought on the quantitative status of groundwater in selected plains of Fars province. 2nd National Conference on Drought Impacts and Management Strategies. Isfahan Agricultural and Natural Resources Research Center [In Persian].
- Shamsnia S. A. and Pirmoradian N. (2009). Rectification of the standardized precipitation index (SPI) classification for drought evaluation in Fars Province (IRAN). 2nd India Disaster Management Congress. National Institute of Disaster Management, 4-6 November.
- Shamsnia S. A., Honar M. R., Shifath N., Zarei Z. and Adinekharat N. (2010). Determining the most appropriate model for interpolation and zoning of rainfall information using geostatistical

- techniques in Fars province. 1st International Conference on Plant, Water, Soil & Weather Modeling International Center for Science, High Technology & Environmental Sciences Shahid Bahonar University of Kerman [In Persian].
- Shokoohi A. and Morovati R. (2015). Basinwide Comparison of RDI and SPI Within an IWRM Framework. *Wat. Resour. Manag.*, 29(6), 2011-2026.
- Sobral B. S., Oliveira-Júnio J. S., de Gois G. and Pereira-Júnior E. R. (2018). Spatial variability of SPI and RDIst drought indices applied to intense episodes of drought occurred in Rio de Janeiro State, Brazil. *Int. J. Clim.*, 38(10), 3896-3916.
- Sönmez F. K., Kömüscü A. Ü., Erkan A. and Turgu E. (2005). An analysis of spatial and temporal dimension of drought vulnerability in Turkey using the standardized precipitation index. *Nat. Hazard.*, 35, 243-264.
- Subedi M. R., Xi W., Edgar C., Rideout-Hanzak S. and Hedquist B. (2019). Assessment of geostatistical methods for spatiotemporal analysis of drought patterns in East Texas, USA. *Spatial Information Research.*, 27, 11-21.
- Tsakiris G. and Vangelis H. (2005). Establishing a drought index incorporating evapotranspiration. *Europ. Water*, 9/10, 3-11.
- Tsakiris G., Pangalou D. and Vangelis H. (2007). Regional drought assessment based on the reconnaissance drought index (RDI). *Wat. Resour. Manag.*, 21, 821-833.
- Vangelis H., Tikas D. and Tsakiris G. (2013). The Effect of PET method on reconnaissance drought index (RDI) calculation. *Mitigation in Europe*. Kluwer, The Netherlands. 119-132pp.
- Zandilak H., Fooladmand H.R. and Boustani F. (2014). Evaluation of the return period of wheat drought in Fars province using the index. *J. Wat. Resour. Eng.*, 7(22), 1-10 [In Persian].
- Zarei A. R., Moghimi M. M. and Mahmoudi M. R. (2016). Parametric and non-parametric trend of drought in arid and semi-arid regions using RDI index. *Wat. Resour. Manag.*, 30(14), 5479-5500.

Agricultural Drought Monitoring Using Reconnaissance Drought Index (RDI) and Kriging Geostatistical Model (Case Study: Central and Southern Regions of Fars Province)

Seyed Amir Shamsnia^{1*} and Davoud Khodadadi Dehkordi²

¹Assist. Professor, Department of Water Engineering, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran

²Assist. Professor, Department of Water Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

*Corresponding author: Shamsnia@iaushiraz.ac.ir

Original Paper

Received: August 05, 2020

Revised: September 27, 2020

Accepted: September 27, 2020

Abstract

Drought is one of the most important natural disasters that due to the frequency of occurrence needs to be assessed and monitored, especially in the field of agriculture. In the present study, the Reconnaissance Drought Index (RDI) was used to monitor drought and spatially assess its severity in central and southern regions of Fars province. The relationship between the severity and duration of drought during different years of the statistical period (1990-1991 to 2012-2013) was investigated. Kriging model was used in the geographic information system (GIS) environment for spatial evaluation. Based on the comparison between the different semivariogram of the kriging model, the most suitable model was selected. Based on the results of drought severity, its continuity and trend were determined during the statistical period. The results showed that severe droughts occurred in Darab and Neyriz stations during 2000-2002 and 2008-2010. In Fasa and Jahrom stations, in most of the years, climate fluctuations have led to drought with low to high intensities. At Larestan station, the results also showed several droughts have occurred, especially during the years 2000 to 2010. In spatial evaluation of drought using the Kriging model, the results showed that the best semivariogram is the spherical model. The evaluation of drought vulnerability in the studied areas also showed that the northern areas of Nayriz, Estahban, Fasa, Darab and Larestan have suffered more damage. Therefore, the use of drought indices, drought intensity monitoring and mapping methods are essential for better management and planning for advance planning and it is recommended for water resources management decisions.

Keywords: Drought; Fars Province; Geographic Information Systems; Semivariogram.