

## تحلیل زمانی- مکانی شدت خشکسالی در دوره‌های آتی تحت تأثیر تغییر اقلیم با استفاده از مدل (CGCM3) در استان اصفهان

سحر زیرک زاده<sup>1</sup>، جواد بذرافشان<sup>2</sup>

1- دانشجوی دکتری، گروه هواشناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران

2- استادیار، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

### چکیده

طبق مطالعات مرکز پیش‌بینی و تحقیقات اقلیم هدلی در قرن 21 به دلیل گرمایش جهانی، خشکسالی‌های فراگیر و شدید، زندگی میلیون‌ها نفر در سراسر کره زمین را تهدید خواهد نمود. از آنجا که خشکسالی، بخش‌های مختلف جامعه را تحت تأثیر قرار می‌دهد، لذا پایش و ارزیابی این بلیه در آینده به منظور برنامه‌ریزی صحیح، امری ضروری است. در این تحقیق، شدت خشکسالی تحت شرایط اقلیم آتی با اقلیم فعلی در ایستگاه‌های منتخب استان اصفهان مقایسه شده است. به این منظور، ابتدا داده‌های بارندگی برای دوره‌های آتی در ایستگاه‌های منتخب استان اصفهان با استفاده از مدل گردش عمومی جو (CGCM3) و تحت سناریوی A2 به کمک روش ضریب تغییر ریزمقیاس نمایی شد. در مرحله بعد، شاخص استاندارد بارش (SPI) در دو مقیاس زمانی 3 و 6 ماهه، برای دوره‌ی پایه (1971-2000) و دوره‌های 2040-2070، 2011-2041 و 2100-2071 تحت سناریوی انتشار، در ایستگاه‌های منتخب استان اصفهان محاسبه شد. سپس مشخصه شدت خشکسالی در دوره پایه و دوره‌های آتی استخراج و نسبت شدت خشکسالی در دوره‌های آتی در مقایسه با دوره پایه در همه ایستگاه‌ها در دوره بازگشت‌های مختلف محاسبه شد. در نهایت، این نسبت‌ها با استفاده از روش عکس مجذور فاصله بر پهنه استان اصفهان ترسیم گردید. نتایج نشان داد به طور کلی در دوره‌های آینده نسبت شدت خشکسالی در مقایسه با گذشته به ازای دوره بازگشت‌های مختلف کاهش می‌یابد.

**کلمات کلیدی:** تغییر اقلیم؛ SPI؛ شدت خشکسالی؛ اصفهان

## مقدمه

طبق مطالعات مرکز پیش‌بینی و تحقیقات هدلی (HCCPR) به دلیل گرمایش جهانی در قرن 21، خشکسالی‌های فراگیر و شدید زندگی میلیون‌ها نفر در سراسر کره زمین را تهدید خواهد کرد. همچنین، مطالعه و بررسی آمار اقلیمی کره زمین در نیمه دوم قرن بیستم توسط این مرکز نشان داد که در دهه 1990، فراوانی وقوع خشکسالی‌ها حدود 25 درصد نسبت به دهه‌های قبل افزایش یافته است. شبیه‌سازی صورت گرفته بر اساس سناریوهای اقلیمی نشان می‌دهد که گستره تحت تأثیر خشکسالی‌های استثنایی از یک درصد (در شرایط فعلی) به 30 درصد مساحت خشکی‌های کره زمین (تا اواخر قرن 21) افزایش خواهد یافت. امروزه در بیشتر تحقیقات مربوط به پیش‌بینی شرایط آینده اقلیم از خروجی مدل‌های گردش عمومی جو (GCM) تحت سناریوهای مختلف انتشار گاز دی‌اکسید کربن استفاده می‌شود. اگرچه عدم قطعیت‌های زیادی در مدل‌های (GCM) وجود دارد اما در حال حاضر بهترین روش برای دستیابی به اقلیم آینده محسوب می‌شوند. مشکل عمده مدل‌های (GCM) بزرگ بودن سلول‌های محاسباتی آن‌ها به لحاظ مکانی است (تفکیک آن‌ها به صدها کیلومتر می‌رسد) که سبب می‌شود نتوان به طور مستقیم از خروجی آن‌ها در مقیاس محلی استفاده کرد. برای حل این مشکل، روش‌هایی ابداع شده‌اند که می‌توانند خروجی مدل‌های گردش عمومی جو را به مقیاس محلی تبدیل کنند و روش‌های ریزمقیاس‌نمایی نامیده. روش‌های ریزمقیاس‌نمایی به طور کلی به دو دسته دینامیکی و آماری تقسیم می‌شوند. در روش‌های دینامیکی، خروجی مدل گردش عمومی جو به عنوان شرایط مرزی برای مدل‌های اقلیم منطقه‌ای محسوب می‌شود و اطلاعات اقلیمی برای سلول‌هایی با ابعاد کوچکتر به دست می‌آید. مشکل این روش‌ها، هزینه زیاد محاسبه و اتکاء بر شرایط مرزی تولید شده به وسیله مدل‌های (GCM) است. در مقابل، روش‌های آماری می‌توانند با برقراری یک رابطه همبستگی بین سری زمانی متغیر مورد بررسی در سطح ایستگاه و متغیرهای بزرگ مقیاس جوی، خروجی مدل‌های گردش عمومی جو را تحت سناریوهای مختلف انتشار

شبیه‌سازی کنند. این روش‌ها بسیار ارزان و دقت آن می‌تواند با روش‌های دینامیکی رقابت کند. تنها مشکل آن‌ها دسترسی به سری‌های زمانی تاریخی طولانی مدت است که ممکن است در برخی ایستگاه‌ها وجود نداشته باشد. با این حال، امروزه بیشتر از روش‌های آماری استفاده می‌شود. اکثر مطالعات در زمینه شبیه‌سازی تغییر اقلیم آینده با لحاظ متغیرهای بارندگی و دما بوده است. مطالعات چندی نیز وجود دارند که اوضاع خشکسالی‌ها را در مقیاس جهانی و منطقه‌ای بررسی کرده‌اند. صمدی نقاب (1385) داده‌های بارش حاصل از سناریوی A2، و الگوی (GCM) استرالیا را به روش رگرسیون یک متغیره و پارامترهای بدون بعد ریزگردانی کرد. سپس، با استفاده از داده‌های ریزگردانی شده و نیز داده‌های دیدبانی شده برای یک دوره آماری سی ساله، شاخص استاندارد بارش را برای ماه‌های مارس، آوریل، می و ژوئن با هر دو نوع داده محاسبه نمود. نتایج وی نشان داد که با استفاده از این روش می‌توان از این شاخص، که تاکنون تنها برای پیش‌بینی خشکسالی در گذشته استفاده شده است، به عنوان ابزاری، به منظور پیش‌بینی‌های آینده استفاده کرد. در تحقیق دیگر، مساح‌بوانی و مرید (1384) اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب و کشاورزی حوضه زاینده‌رود اصفهان را به کمک داده‌های الگوی گردش عمومی (HadCM3) طی دو دوره 2010-39 و 2070-99 مورد بررسی قرار دادند. تحلیل اطلاعات، کاهش بارندگی، افزایش دما و افزایش سال‌های خشک متوالی را تا سال 2100 نشان داد. کالانکا در سال 2006 روشی ساده برای تعیین احتمال وقوع خشکسالی و عبور از آستانه شدت طراحی نمود. در این روش از ترکیب با شبیه‌سازی‌های آب و هوایی منطقه اروپا که برای سال‌های 2071-2100 معتبرند استفاده شد، تا تأثیر تغییر آب و هوا بر احتمال شدت خشکی را مورد بررسی قرار دهد. نتایج نشان می‌دهد که اگر این سناریو درست باشد، در اواخر قرن 21، خشکسالی‌ها از نظر شدت نسبت به پدیده‌های سال 2003 بیشتر یک امر عادی را نشان می‌دهند تا یک استثنا باشند. بورک و براون (2010) ابزاری برای ارزیابی پدیده‌های خشکی منطقه‌ای بر اساس دوره‌های محدود را گسترش داده و آنها را برای

درصد در سال آبی 1999-2000 رسیده است. علاوه بر این‌ها، بررسی نقشه‌های خشکسالی در سال‌های بحرانی نشان می‌دهد که در برخی نواحی کشور خشکسالی‌ها از فراوانی وقوع و شدت بیشتری نسبت به دیگر نواحی برخوردارند. با توجه به موارد فوق این پرسش مطرح می‌شود که در صورت بروز تغییر اقلیم، واکنش اقلیم استان اصفهان به رخداد خشکسالی چه خواهد بود؟ هدف اصلی این تحقیق، بررسی واکنش اقلیم استان اصفهان به رخداد خشکسالی تحت سناریوی گرمایش جهانی در سی سال آینده است. برای دستیابی به این هدف، رخدادهای خشکسالی تاریخی و آتی (تحت سناریوی A2) از نظر شدت مورد مقایسه و تحلیل قرار گرفته است.

## مواد و روش‌ها

### معرفی منطقه مطالعاتی

استان اصفهان با وسعت 106179 کیلومتر مربع، حدود 45.6 درصد از مساحت کل کشور را به خود اختصاص داده است. این استان بین 30 درجه و 42 دقیقه تا 34 درجه و 30 دقیقه عرض شمالی و 49 درجه و 36 دقیقه تا 55 درجه طول شرقی در ایران مرکزی قرار دارد. استان اصفهان از شمال به استان‌های مرکزی، سمنان و قم، از جنوب به استان‌های فارس و کهگیلویه و بویر احمد، از مشرق با استان یزد و از مغرب به استان‌های چهارمحال و بختیاری و لرستان محدود می‌شود. ارتفاع متوسط آن 1564 متر می‌باشد و اغلب ارتفاعات دارای جهت شمال غربی-جنوب شرقی هستند.

### داده‌های مورد نیاز

تحقیق حاضر بر روی داده‌های هواشناسی بیست و دو ایستگاه منتخب استان اصفهان انجام شده است. مشخصات جغرافیایی این ایستگاه‌ها در جدول 1 معرفی شده‌اند. مسیر کلی این پژوهش در شکل 1، نشان داده شده است. داده‌های موردنیاز در این تحقیق به دو گروه تقسیم می‌شوند: 1- داده‌های ماهانه بارندگی در ایستگاه‌های منتخب برای دوره پایه 1971-2000، که از سازمان هواشناسی کشور دریافت شد. 2- داده‌های ماهانه مدل (CGCM3) تحت سناریوی

خروجی مدل آب و هوای منطقه‌ای به کار می‌گیرند، تا تغییرات بالقوه آینده در خشکی را به دلیل گازهای گلخانه‌ای فزاینده بررسی کنند. اگرچه مشخصه‌های ترکیبی خشکی (Had RM3) به طور کلی با تنوع طبیعی مشاهده شده هم پوشانی دارد، مدل تا حدی منطقه خشکی مشاهده شده را بیشتر برآورد می‌کند و شدت در هر منطقه را ناچیز نشان می‌دهد. پیش‌بینی‌های (Had RM3) به افزایش شدت خشکی در نیمه دوم قرن 21 اشاره دارد. رضیئی و همکاران (1382) شدت، تداوم و فراوانی خشکسالی هواشناسی را در استان سیستان و بلوچستان مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق آن‌ها منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی خشکسالی را برای ایستگاه زاهدان ارائه نمودند و وضعیت درازمدت منطقه از نظر دوام خشکسالی و نیز طول مدت خشکسالی‌ها را تا سال 1392 پیش‌بینی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که با افزایش عرض جغرافیایی از شدت و دوام خشکسالی‌ها تا حدودی کاسته می‌شود. هاشمی دوین و آهنگرزاده (1392) برای پایش و پهنه‌بندی خشکسالی‌های هواشناسی در استان خراسان شمالی از دو شاخص دهک و شاخص بارندگی استاندارد شده استفاده نمودند. نتایج حاصل از این محاسبات، شاخص دهک (DI) و (SPI) مقارن با سال وقوع حداقل بارندگی، رخداد خشکسالی شدید و بسیارشدید را در تمام ایستگاه‌های تحت مطالعه نشان داد. میانجی و اوحدی (1387) برای بررسی و تحلیل آماری خشکسالی‌های استان اصفهان در دوره‌ی 1986-2005، از شاخص گیب سوموهر استفاده نمودند. سپس در سیستم اطلاعات جغرافیایی، ترسیم نقشه با روش (Spline) انجام شد و نتایج نشان داد که شدت خشکسالی در مناطق شرقی، جنوبی و شمالی اصفهان بیشتر می‌باشد.

در یک مطالعه صورت گرفته با هدف تهیه اطلس خشکسالی‌های ایران (خلیلی و بذرافشان، 1388) مشخص شده است که مساحت گستره‌های تحت تأثیر خشکسالی در ایران در طی یک دوره 39 ساله مختوم به سال 2003 افزایش یافته و سطح تحت تأثیر خشکسالی‌های استثنایی در کشور از 0/09 درصد در سال آبی 66-1965 به 0/11

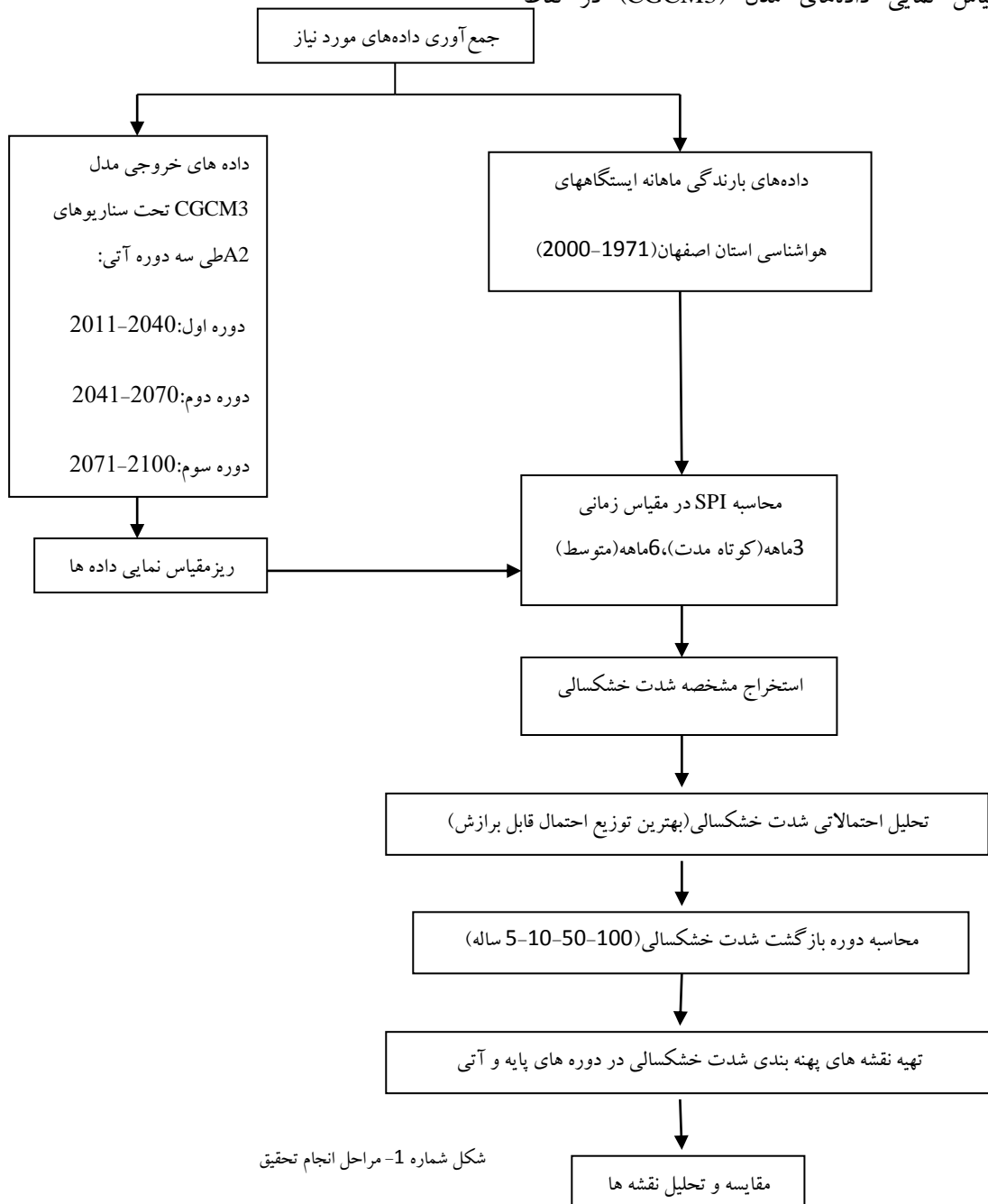
ایستگاهی استفاده شد. در این روش، برای متغیر بارندگی، نسبت میانگین بارندگی شبیه‌سازی شده توسط مدل (GCM) در دوره آتی (PGCM.fut) و میانگین بارندگی شبیه‌سازی شده توسط مدل (GCM) در دوره پایه (PGCM.bas) بر مبنای نزدیکترین نقطه شبکه به ایستگاه مورد نظر محاسبه و این نسبت در مقادیر بارندگی مشاهده شده در دوره پایه (Pobs) ضرب می‌شود (دیاز نیتو و ویلبای، 2005):

$$P = P_{obs} \times \left( \frac{\bar{P}_{GCM,fut}}{\bar{P}_{GCM,bas}} \right) \quad (1)$$

A2 برای دوره 2100-2011 که از وب سایت شبکه سناریوهای تغییر اقلیم کانادا (CCCSN) دریافت شد. مدل (CGCM3) نسخه سوم از سری مدل‌های گردش عمومی است و در مرکز مدل‌سازی و تحلیل اقلیم کانادا توسعه یافته است. شبکه بندی این مدل دارای طول و عرضی با ابعاد  $3/75 \times 3/75$  درجه است.

### ریزمقیاس نمایی داده‌ها

در این تحقیق از روش فاکتور تغییر (روش تناسبی) برای ریزمقیاس نمایی داده‌های مدل (CGCM3) در نقاط



شکل شماره 1- مراحل انجام تحقیق

جدول شماره 1- ایستگاه‌های مورد مطالعه

نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع	نوع ایستگاه
انارک	53.71	33.56	2437	باران سنجی
آران	51.48	34.06	909	باران سنجی
ازناوله	50.11	33.1	2437	باران سنجی
بادیجان	50.33	33.08	2439	کلیما تولوژی
چادگان-فریدن	50.63	32.76	2092	کلیما تولوژی
چاه ملک	54.66	33.76	881	باران سنجی
چوپانان	54.31	33.55	956	باران سنجی
دامنه-فریدن	50.48	33.01	2354	کلیما تولوژی
دولت آباد برخوار	51.66	32.8	1575	باران سنجی
اصفهان	51.66	32.61	1649	سینوپتیکی
فلاورجان	51.5	32.56	1609	باران سنجی
گرمه	54.98	33.53	990	باران سنجی
همگین	51.45	31.91	2269	کلیما تولوژی
جندق	54.43	34.01	1039	باران سنجی
جنگلبانی-بادرود-نطنز	52	33.7	991	کلیما تولوژی
کلب علی	50.3	32.83	2444	باران سنجی
کاشان	51.45	33.98	939	سینوپتیکی
خمینی شهر	51.53	32.68	1596	باران سنجی
کردعلیا	50.7	32.91	2533	باران سنجی
کوهپایه اصفهان	52.43	32.71	1762	باران سنجی
مهاباد اردستان	52.23	33.53	985	باران سنجی
شرق اصفهان	51.01	32.66	2231	سینوپتیکی

### پایش خشکسالی

با هدف بررسی مشخصه‌های خشکسالی هواشناسی در اقلیم گذشته و آتی، در این مطالعه از شاخص بارش استاندارد (SPI) برای پایش خشکسالی هواشناسی در ایستگاه‌های منتخب استفاده شد. مک‌کی و همکاران (1993) شاخص بارندگی استاندارد شده (SPI) را به منظور تعریف و پایش خشکسالی توسعه دادند. مرکز اقلیمی کلرادو و مرکز ملی کاهش خشکسالی ایالات متحده آمریکا از جمله مراکزی هستند که از (SPI) برای پایش وضعیت فعلی خشکسالی استفاده می‌کنند. ویژگی (SPI) این امکان را به تحلیل‌گر می‌دهد تا پدیده نادر خشکسالی و همچنین ترسالی را در یک مقیاس زمانی معین و برای هر نقطه‌ای از دنیا تعیین نماید. (SPI) صرفاً از داده‌های بارندگی ماهانه استفاده می‌نماید. اصولاً (SPI) برای تشخیص کمبود میزان بارندگی در

مقیاس‌های زمانی چندگانه طراحی شده است. این مقیاس‌های زمانی منعکس‌کننده اثرات ویژه خشکسالی روی قابلیت دسترسی به منابع آبی مختلف می‌باشند. شرایط رطوبتی خاک نسبت به ناهنجاری‌های نسبتاً کوتاه مدت بارندگی واکنش نشان می‌دهد در حالیکه آبهای زیرزمینی، جریان آب رودخانه و ذخیره مخزن تحت تأثیر ناهنجاری‌های درازمدت بارندگی قرار می‌گیرند. به این دلایل، مک‌کی و همکاران (1993) ابتدا از این شاخص برای مقیاس‌های زمانی 3، 6، 12 و 24 ماهه استفاده نمودند. ادواردز<sup>3</sup> و مک‌کی (1997) اظهار نمودند که با داشتن سری زمانی داده‌های بارندگی ماهانه برای هر محل می‌توان (SPI) را برای  $i$  ماه قبل محاسبه نمود که  $i = 1, 2, 3, \dots, 12, \dots, 24, \dots, 48, \dots$  می‌باشد.

### تحلیل احتمالاتی مشخصه‌های خشکسالی

پس از کمی‌سازی و پایش خشکسالی با استفاده از شاخص بارش استاندارد و مدل‌های مختلف، تحلیل‌های متعددی می‌تواند برای درک بهتر این پدیده انجام شود. یک دسته از این تحلیل‌ها به آنالیز آماری مشخصه‌های خشکسالی مربوط می‌شود. برآورد توزیع احتمال مشخصه‌های خشکسالی از قبیل تداوم، سختی و بزرگی اولین و مهمترین گام در تحلیل ریسک خشکسالی در یک مکان است. به طور کلی برای تعیین توزیع احتمال مشخصه‌های خشکسالی، از روش برازش توزیع‌های نظری بر مشخصه‌های خشکسالی حاصل از سری داده‌های تاریخی استفاده می‌شود. (بدرافشان، 1388)

### دوره بازگشت

در هیدرولوژی، اصطلاح دوره بازگشت عموماً به صورت متوسط (امیدریاضی) تعداد آزمایشات (یا سال‌ها) تا زمان اولین رخداد پدیده‌ای بزرگتر از پدیده بحرانی ( $X > X_0$ ) تعریف شده است (Stedinger et al., 1993). اگر پدیده‌ها مستقل و احتمال عبور  $p$  از یک پدیده بحرانی در هر آزمایش (سال) ثابت باقی بماند، هر دو تعریف فوق به رابطه مشابهی برای دوره بازگشت  $T$  به صورت  $T=1/P$  می‌انجامند.

### نتایج و بحث

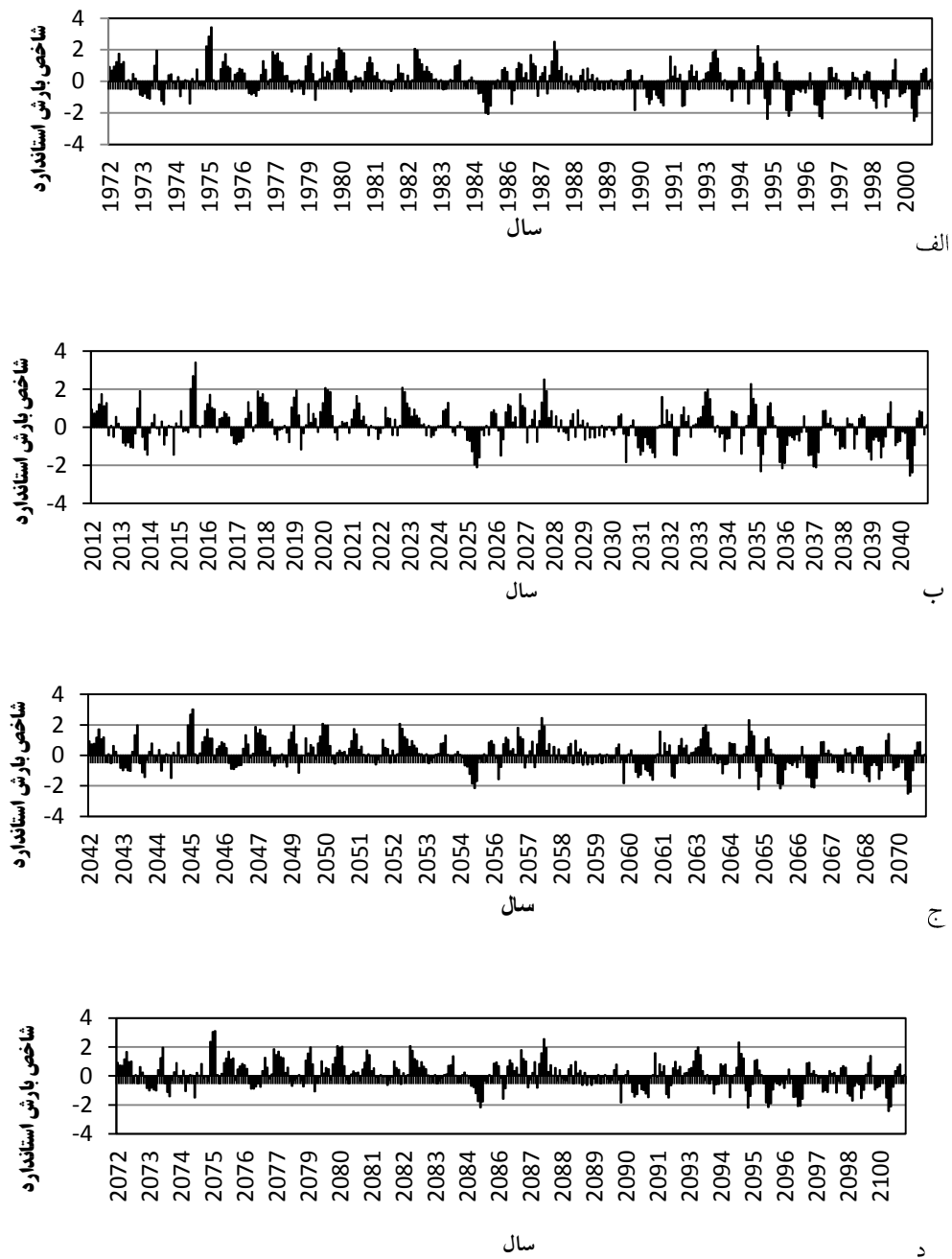
پس از ریزمقیاس‌نمایی داده‌های بارندگی با استفاده از روش فاکتور تغییر در ایستگاه‌های منتخب، سری‌های زمانی بارندگی تحت سناریوی A2، برای سه دوره آبی 2040-2011، 2071-2041، 2071-2100 تولید شد. سپس، خشکسالی هواشناسی با استفاده از شاخص بارش استاندارد (SPI) در هر دوره اقلیم فعلی و تغییر اقلیم در ایستگاه‌ها بررسی کمی شد. محاسبات (SPI) در دو مقیاس زمانی 3 و 6 ماهه در تمامی ایستگاه‌ها صورت گرفت و مشاهده شد که تغییر عمده‌ای در روند خشکسالی‌ها وجود ندارد. به عنوان مثال، شکل 3 و 4 برای ایستگاه ازناوله نشان داده شده است. این نشان می‌دهد که توالی دوره‌های خشک و تر تحت سناریوی A2 تغییر چندانی نخواهد کرد. در ضمن، هرچه مقیاس زمانی افزایش می‌یابد، از فراوانی خشکسالی‌ها کاسته شده و تداوم آنها افزایش می‌یابد. با توجه به شکل 3،

شدیدترین خشکسالی‌های سه ماهه در ایستگاه ازناوله، در سال 2040 و با سختی 2.54 و تداوم 5 ماهه اتفاق افتاده است. در شکل 4، همانطور که ملاحظه می‌کنید، شدیدترین خشکسالی‌های شش ماهه در سال 2067 و با سختی 2.49 و تداوم دو ماهه رخ داده است. در مرحله بعد، شدت خشکسالی را در مقیاس‌های 3 و 6 ماهه، به وسیله (SPI)، به دست آوردیم.

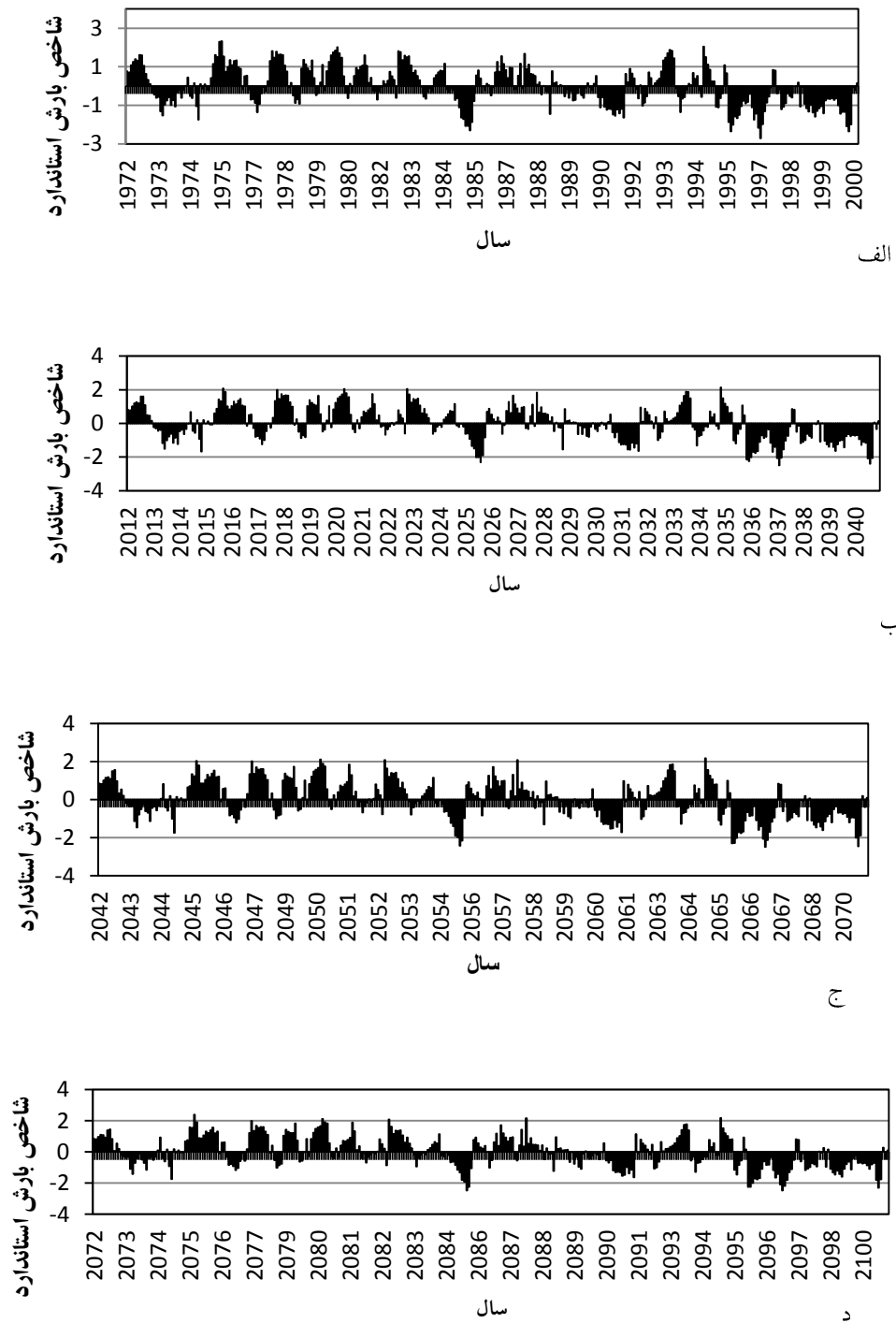
پس از آن، بهترین توزیع داده‌های برازش بر شدت خشکسالی را در دوره‌های زمانی پایه و سه دوره آبی و در دو مقیاس زمانی 3 و 6 ماهه، برای تمامی ایستگاه‌ها با استفاده از نرم افزار (Mtb14) به دست می‌آوریم. برای مثال جدول 2، بهترین توزیع شدت خشکسالی ایستگاه‌ها را در دوره زمانی 2011-2040 در مقیاس زمانی سه ماهه و تحت سناریوی A2، نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود، در بیشتر موارد، توزیع (weibull)، بهترین توزیع می‌باشد. با استفاده از بهترین توزیع، شدت خشکسالی را به ازای دوره بازگشت‌های 5، 10، 50 و 100 ساله برای دوره‌های زمانی و مقیاس‌های مختلف به دست می‌آوریم. به عنوان مثال، جدول 3، شدت خشکسالی را به ازای دوره بازگشت‌های مختلف و در دوره زمانی 2011-2040 تحت سناریوی A2 نشان می‌دهد. با توجه به جدول، ملاحظه می‌کنید که به ازای دوره بازگشت‌های بالاتر، مقدار شدت خشکسالی نیز افزایش می‌یابد.

پس از محاسبه شدت به ازای دوره بازگشت‌های مختلف، به ترسیم نقشه‌های هم‌شدت خشکسالی با دوره بازگشت‌های 5 و 100 ساله می‌پردازیم. برای رسم نقشه‌ها، روش‌های مختلفی وجود دارد. در این پژوهش از روش فاصله وزنی معکوس استفاده شده است. در مرحله اول با استفاده از نرم‌افزار (ARC GIS) تمام نقشه‌ها با دوره بازگشت 5 و 100 ساله تحت سناریوی A2 و دوره‌های زمانی مختلف رسم شد. سپس برای مقایسه شدت در دوره‌ی فعلی و دوره‌های آبی، نقشه‌های رسم شده در دوره‌های آبی را به نقشه‌های شدت از دوره فعلی تقسیم می‌کنیم، تا بتوانیم مشخص کنیم که در کدام قسمت‌های استان اصفهان، شدت خشکسالی در دوره‌های آبی، نسبت به دوره فعلی تغییر کرده است. شکل 5

و 6، نسبت شدت خشکسالی دوره آینده به دوره فعلی را در دومقیاس 3 و 6 ماهه، تحت سناریوی A2، نشان می‌دهد.



شکل شماره 3- سری زمانی شاخص (SPI) محاسبه شده در مقیاس زمانی سه ماهه در دوره پایه و دوره‌های سه گانه آبی تحت سناریوی A2 در ایستگاه ازناوله. (الف) -2000، 1971، (ب) 2011-2040، (ج) 2041-2070، (د) 2071-2100



شکل شماره 4- سری زمانی شاخص (SPI) محاسبه شده در مقیاس زمانی شش ماهه در دوره پایه و دوره‌های سه‌گانه آبی تحت سناریوی A2 در ایستگاه ازناوله. (الف) 1971-2000، (ب) 2011-2040، (ج) 2041-2070، (د) 2071-2100.



جدول شماره 2- بهترین توزیع شدت خشکسالی ایستگاه‌ها را در دوره زمانی 2011-2040 در مقیاس زمانی سه ماهه و تحت سناریوی A2

نام ایستگاه	شدت
	توزیع مناسب
انارک	3-parameter weibull
آران	3-parameter weibull
ازناوله	lognormal
بادیجان	3-parameter weibull
چادگان-فریدن	lognormal
چاه ملک	exponential
چوپانان	3-parameter weibull
دامنه-فریدن	lognormal
دولت آباد برخوار	3-parameter weibull
اصفهان	exponential
فلاورجان	3-parameter weibull
گرمه	3-parameter weibull
همگین	exponential
جندق	loglogistic
جنگلبانی-بادرود-نطنز	3-parameter weibull
کلب علی	lognormal
کاشان	3-parameter weibull
خمینی شهر	3-parameter weibull
کرد علیا	lognormal
کوهپایه اصفهان	exponential
مهاباد اردستان	lognormal
شرق اصفهان	exponential

با بررسی نقشه های شدت مربوط به سناریوی A2، در شکل 5، (سمت چپ)، با دوره بازگشت 5 ساله در مقیاس 3 ماهه ملاحظه می شود که در هر سه دوره آتی، شدت نسبت به گذشته تغییر نکرده است، و فقط در بخش های کوچکی که در بخش های شرقی و غربی استان پراکنده شده اند، شدت افزایش و کاهش یافته است، ولی به طور کلی

می توان گفت که تغییر خاصی نکرده است. اگر همین نقشه ها را با دوره بازگشت 100 ساله ی آن ها مقایسه کنیم، همانطور که در شکل 5 (سمت راست) مشاهده می کنیم، در اکثر سطح استان، شدت نسبت به گذشته کاهش یافته است و هرچه در آینده به جلو پیش می رویم، در قسمت های شرقی و غربی استان، شدت افزایش می یابد.

شکل 6 (سمت چپ)، شدت خشکسالی را با دوره بازگشت 5 ساله در مقیاس 6 ماهه تحت سناریوی A2 نشان می دهد، در دوره ی اول آتی، در بخشی از شرق استان، شدت افزایش یافته و بخش هایی که از جنوب شرقی تا جنوب استان کشیده شده است، شدت کاهش یافته است و در بقیه ی استان، شدت بدون تغییر بوده است. در دوره ی دوم و سوم آتی هر چه به جلوتر می رویم، از مساحت شدت افزایشی نسبت به گذشته، کم شده و به مساحت شدت کاهش نسبت به گذشته، اضافه می شود و قسمت های شرق، جنوب شرقی و غرب استان را در بر می گیرد. در شکل 6 (سمت راست)، شدت خشکسالی را با دوره بازگشت 100 ساله مورد بررسی قرار می دهیم، در قسمت الف، یعنی دوره ی 2040-2011، قسمت اعظم استان، که از جنوب شرقی، مرکز تا غرب استان را در بر می گیرد. شدت خشکسالی نسبت به گذشته، افزایش یافته است. هر چه در آینده به جلوتر پیش می رویم، از مساحت شدت افزایشی نسبت به گذشته، کاهش یافته و به مساحت شدت کاهش نسبت به گذشته، افزوده می گردد، به طوریکه در دوره ی 2100-2071 شدت در تمام سطح استان، نسبت به گذشته، کاهش یافته، به غیر از سطح های بسیار کوچکی که در شرق پراکنده شده اند و در آن، شدت افزایش و بدون تغییر بوده است.

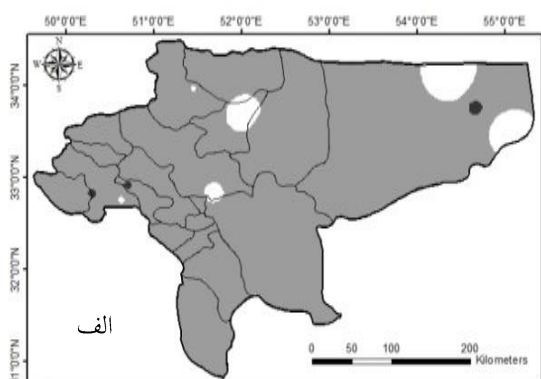
جدول شماره 3- شدت خشکسالی به ازاء دوره بازگشت‌های مختلف در مقیاس زمانی 3 ماهه، در دوره زمانی 2011-2040 تحت سناریوی A2 در ایستگاه‌های استان اصفهان.

نام ایستگاه	شدت به ازای دوره بازگشت			
	5ساله	10ساله	50ساله	100ساله
انارک	2.85	4.99	11.4	14.69
آران	4	6.24	12.04	14.74
ازناوله	2.94	5.07	13.16	18.43
بادیجان	3.66	5.76	11.27	13.86
چادگان-فریدن	3.29	6.03	17.45	25.39
چاه ملک	3.14	4.49	7.63	8.98
چوپانان	3.07	5.17	11.15	14.12
دامنه-فریدن	3.14	5.4	13.96	19.53
دولت آباد برخوار	3.71	6.03	12.39	15.46
اصفهان	4.48	6.41	10.9	12.83
فلاورجان	3.19	5.02	9.84	12.11
گرمه	3.46	6.36	15.66	20.66
همگین	3.42	4.9	8.33	9.81
چندق	2.99	5.39	18.47	30.78
جنگلانی-بادرود-نطنز	3.18	5.08	10.15	12.56
کلب علی	2.75	5.14	15.46	22.8
کاشان	3.66	5.73	11.09	13.59
خمینی شهر	3.68	5.75	11.11	13.61
کرد علیا	2.39	4.23	11.51	16.37
کوهپایه اصفهان	3.56	5.09	8.65	10.19
مهاباد اردستان	3.63	6.52	18.26	26.25
شرق اصفهان	4.44	6.35	10.87	12.71

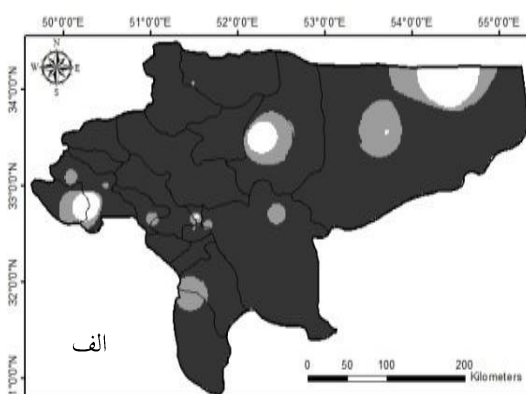
### نتیجه‌گیری

پهنه‌بندی نشان داد که شدیدترین خشکسالی‌ها با دوره بازگشت 100 ساله و 5 ساله، در مقیاس زمانی 6 ماهه و دوره زمانی آتی 2011-2040 که به ترتیب، نواحی میانی و نواحی شرقی استان را در برمی‌گیرد، رخ می‌دهند. یافته‌های این تحقیق مؤید نتایج فاطمه عباسی و همکاران (1389) (مبنی بر کاهش شدت خشکسالی)، و مخالف نتایج مطالعات هما نوغان کار (1391)، سیلوا و همکاران (2007) و لوکاس و همکاران (2008) (مبنی بر افزایش شدت خشکسالی) است.

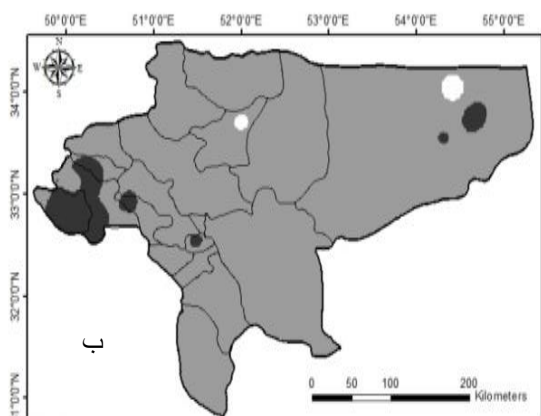
آگاهی از وضعیت تغییر اقلیم در آینده و بررسی تأثیر آن بر رخداد‌های خشکسالی می‌تواند نقش مؤثری در برنامه‌ریزی و اقدامات مقابله با خشکسالی ایفا کند. در این مقاله، با استفاده از روش فاکتور تغییر اقدام به ریزمقیاس‌نمایی داده‌های بارندگی مدل (CGCM3) تحت سناریوی A2، در ایستگاه‌های منتخب استان اصفهان شد. سپس، شاخص بارش استاندارد (SPI) بر مبنای داده‌های اقلیم فعلی (2000-1971) و تغییر اقلیم (2040-2100) محاسبه شد. بررسی شدت خشکسالی، نشان داد که در صورت بروز تغییر اقلیم در آینده، شدت خشکسالی کاهش می‌یابد. نتایج حاصل از



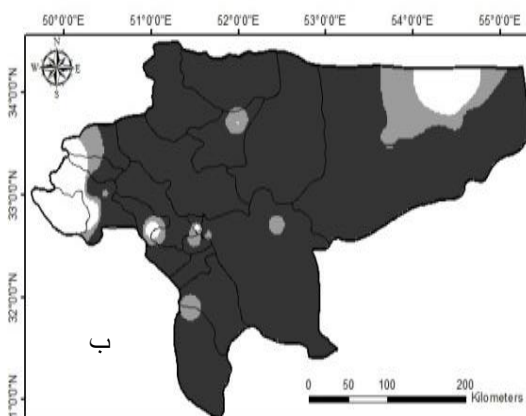
F/P: S3.A2.1.R5.S 0.93 - 0.95 0.95 - 1.05 1.05 - 1.13



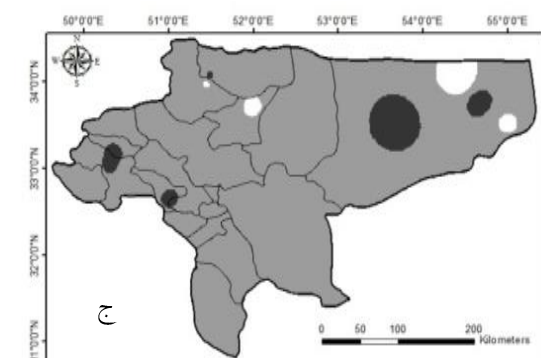
F/P: S3.A2.1.R100.S 0.43 - 0.95 0.95 - 1.05 1.05 - 1.70



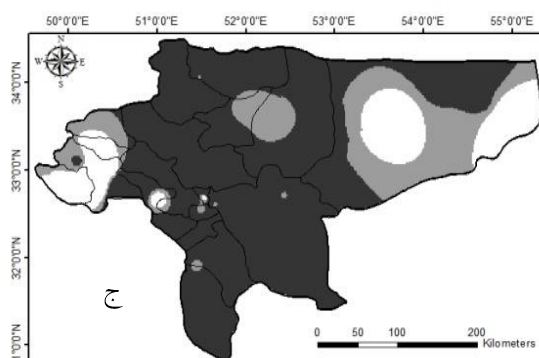
F/P: S3.A2.2.R5.S 0.91 - 0.95 0.95 - 1.05 1.05 - 1.08



F/P: S3.A2.2.R100.S 0.43 - 0.95 0.95 - 1.05 1.05 - 1.81

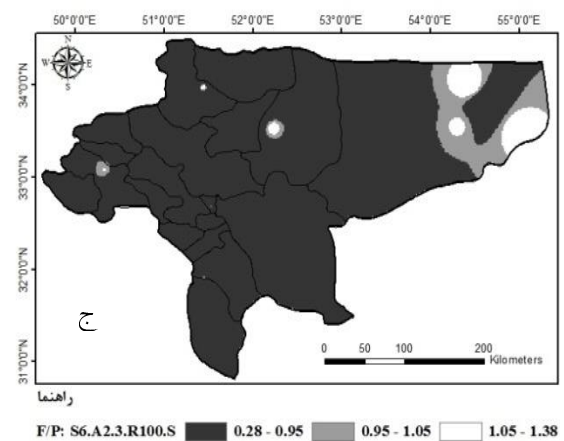
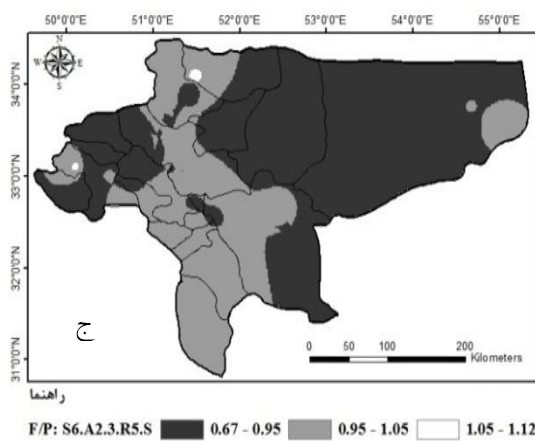
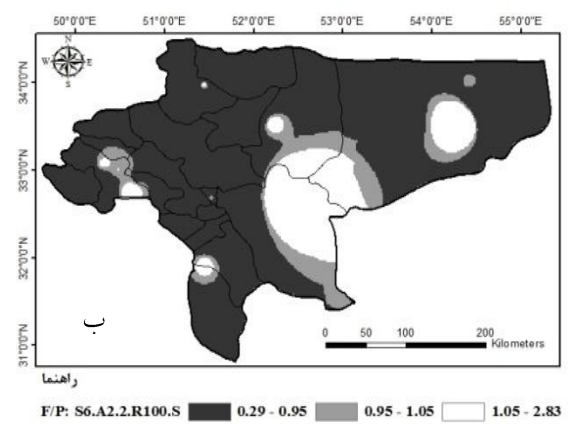
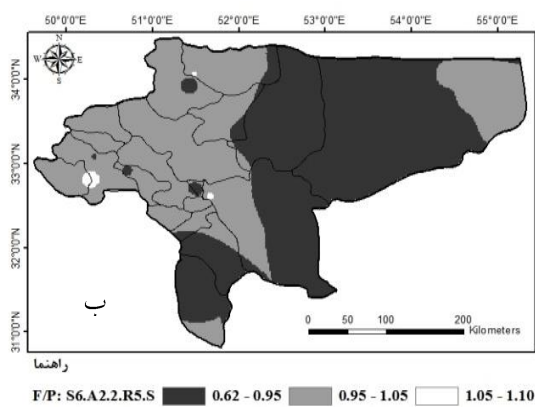
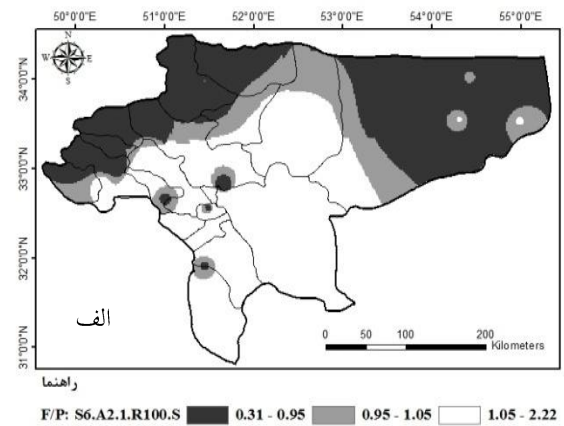
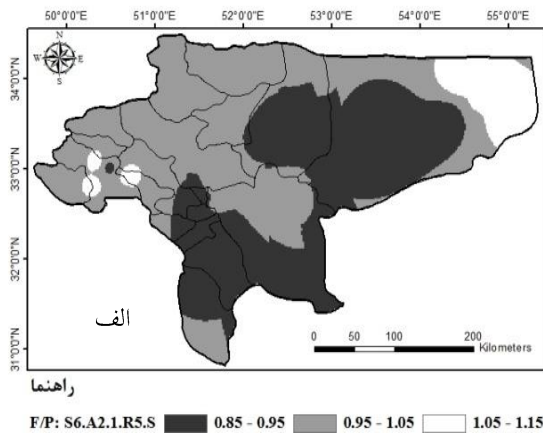


F/P: S3.A2.3.R5.S 0.89 - 0.95 0.95 - 1.05 1.05 - 1.15



F/P: S3.A2.3.R100.S 0.01 - 0.95 0.95 - 1.05 1.05 - 2.02

شکل شماره 5- نقشه‌های نسبت شدت خشکسالی آینده به گذشته، در مقیاس زمانی 3 ماهه با دوره بازگشت 5 (سمت چپ) و 100 ساله (سمت راست) در سناریوی A2 الف: 2011-2040، ب: 2041-2070، ج: 2071-2100



شکل شماره 6- نقشه‌های نسبت شدت خشکسالی آینده به گذشته، در مقیاس زمانی 6 ماهه، با دوره بازگشت 5 (سمت چپ) و 100 ساله (سمت راست) در سناریوی A2. الف: 2011-2040، ب: 2041-2070، ج: 2071-2100

## منابع

- 9- Wang, Y. Q. Leung L. R. McGregor J. L. Wang W. C. Ding Y. H. Kimura F. 2004. Regional climate modeling: progress, challenges, and prospects. *Journal of the Meteorological Society of Japan*. 82(6):1599-1628.
- 10 Stedinger, J. R., Vogel, R. M., and Foufoula-Georgiou, E. (1993). "Frequency analysis of extreme events", Chapter 18, *Handbook of Hydrology*, McGraw-Hill, New-York.
- 11- Natural News. 2006. Global warming to cause massive drought over next 100 years, say climatologists.
- 12- McKee, T. B., Doesken, N. J., and Kleist, J., 1993, the relationship of drought frequency and duration to time scales, Eighth conference on applied climatology.
- 13- Jung I.Chang H. and Moradkhani H. 2011. Quantifying uncertainty in urban flooding analysis considering hydro-climatic projection and urban development effects. *Hydrology and Earth System Sciences*. 15:617-633
- 14- Fowler H. J. and Wilby R. L. 2007. Beyond the downscaling comparison study. *International Journal of Climatology*. 27:1543-1545.
- 15- Edwards, D. C., and T. B. Mckee.,1997, Characteristics of 20th century drought in the United State at multiple time scales, *Climatology Rep*. 97-2, Department of Atmospheric Science, Colorado State University, Fort Colorado, 155 pp.
- 16- Diaz-Nieto, J., and Wilby, R. L.,2005, a comparison of statistical downscaling and climate change factor methods: Implication
- 1- خلیلی، ع. و بذرافشان، ج. 1388. تحلیل شدت و گستره خشکسالی‌های ایران در دوره اقلیمی 2003-1965. کنفرانس ملی بحران آب در کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر ری، آبان ماه، تهران.
- 2- رضیعی، ط.، شکوهی، ع.، ثقفیان، ب. 1382. پیش‌بینی شدت، تداوم و فراوانی خشکسالی با استفاده از روش‌های احتمالاتی و سری‌های زمانی- مطالعه موردی استان سیستان و بلوچستان، مجله بیابان، جلد 8، شماره 2
- 3- صمدی نقاب، س. 1385. پیش‌بینی خشکسالی با روش ریزگردانی خروجی الگوهای (GCM)، مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، شماره هشتم.
- 4- عباسی، ف.، ملبوسی، ش.، بابائیان، ا.، اثمري، م. و برهانی، ر. 1389. ارزیابی تاثیر گرمایش جهانی بر مشخصه‌های خشکسالی کشاورزی ایران در طی قرن بیست و یکم (مطالعه موردی: چند نمونه اقلیمی). مجله آب‌وخاک، جلد 24، شماره 2.
- 5- مریانجی، ز. و اوحدی، د. 1387، مطالعه پراکندگی خشکسالی‌های استان اصفهان و پیش‌بینی زمانی دوره برگشت‌های آن با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، مقاله سمینار کنفرانس مدیریت منابع آب
- 6- مساح بوانی، ع.، ر. و مرید، س. 1384. اثرات تغییر اقلیم بر جریان رودخانه زاینده رود اصفهان. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. 9(4):17-28.
- 7- نوغان کار، ه. 1390. ارزیابی تاثیر گرمایش جهانی بر مشخصه‌های خشکسالی کشاورزی ایران در طی قرن بیست و یکم (مطالعه موردی چند نمونه اقلیمی)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه هواشناسی کشاورزی، دانشگاه تهران.
- 8- هاشمی‌دوین، م. و آهنگرزاده، ز. 1392. پایش خشکسالی هواشناسی استان خراسان شمالی در محیط GIS. نخستین کنفرانس ملی آب‌وهواشناسی ایران.

- precipitation for climate change scenarios in Haihe River, China. *Theoretical and Applied Climatology*. 99:149-161.
- 19- Burke E. J. Brown S. J. and Christidis N. 2006. Modeling the recent evolution of global drought and projections for the twenty-first century with the Hadley Centre Climate Model. *Journal of Hydrometeorology*. 7:1113-1125.
- low flows in the river Thames, United Kingdom, *J. Clim Change*, 69: 245-268.
- 17- Calanca, P., 2007, climate change and drought occurrence in the Alpine region: How severe are becoming the extremes, 57: 151-160.
- 18- Chu J. T. Xia J. Xu C. Y. and sing V. P. 2010. Statistical downscaling of daily mean temperature, pan evaporation and