

## پیش بینی خشکسالی‌های استان خراسان شمالی با مدل HadCM3 و شاخص‌های RDI و SPI

قربان جعفری<sup>۱</sup>، اسمعیل شاهکویی<sup>۲\*</sup>، عبدالعظیم قانقرمه<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد مخاطرات آب و هوایی، دانشگاه گلستان

<sup>۲</sup> استادیار گروه جغرافیا دانشکده علوم انسانی، دانشگاه گلستان

تاریخ دریافت: ۹۵/۵/۱۱؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۱/۱۷

### چکیده

امروزه شبیه سازی داده‌های هواشناسی برای برنامه ریزیهای آینده در زمینه‌های طبیعی و انسانی از اهمیت بالایی برخوردار است. از جمله می‌توان به پیش‌بینی خشکسالی اشاره کرد که در این صورت می‌توان با برنامه‌ریزی مدون از خسارات احتمالی کاست. در این پژوهش، داده‌های مدل HADCM3 تحت سناریوهای انتشار A1B، A2 و B1 برای پیش‌بینی داده‌های هواشناسی استان خراسان شمالی با بهره‌گیری از ریزگردان آماری LARS WG5 ریزمقیاس شدند. برای این منظور، پس از انجام واسنجی، صحت سنجی و مدل‌سازی داده‌ها در ایستگاههای منتخب، کارایی مدل از نظر میزان انطباق داده‌های پایه با مقادیر شبیه سازی شده (۲۰۱۲-۱۹۹۳-۲۰۳۲-۲۰۱۳) با استفاده از سه معیار ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین خطای مطلق (MAE) و میانگین خطای انحراف (MBE) ارزیابی گردید. با استفاده از شاخص‌های RDI و SPI جهت به‌دست آوردن ترسالی و خشکسالی‌ها در دوره پایه دوره شبیه‌سازی شده تحت سناریوهای A1B، A2، B1 اقدام گردید. نتایج نشان می‌دهد که درصد فراوانی خشکسالی‌ها دوره پیش‌بینی شده نسبت به دوره پایه تحت هر سه سناریو در مقیاس یک ماهه و سالانه با استفاده از دو شاخص RDI و SPI کاهش داشته است و از طرف دیگر درصد فراوانی ترسالی افزایش داشته است. بیشترین درصد فراوانی‌ها به طبقه نرمال در هر دو مقیاس زمانی اختصاص پیدا کرد. نقشه پهنه بندی فراوانی وقوع خشکسالی‌ها در دوره پایه و شبیه‌سازی شده نشان داد درصد فراوانی خشکسالی‌ها در مقیاس زمانی یک ماهه و سالانه در دوره شبیه سازی شده تحت سناریوهای مطرح شده کمتر از درصد فراوانی خشکسالی هریک از ایستگاههای استان خراسان شمالی در دوره پایه می‌باشد اما وسعت خشکسالی‌ها در آینده بیشتر از دوره پایه با استفاده از شاخص‌های RDI و SPI پیش‌بینی می‌شود.

**واژه‌های کلیدی:** استان خراسان شمالی، خشکسالی، LARS-WG، شاخص SPI، شاخص RDI

### مقدمه

کاهش آب‌های جاری شود و و بدین طریق فعالیت‌های انسانی و حیات طبیعی گیاهی و جانوری را بر هم زند. از دیدگاه اقلیم شناختی، هر گاه بارش دریافتی در یک محل در یک دوره زمانی معین کمتر از میانگین بارش محل باشد، با خشکسالی روبرو هستیم (غیور، ۱۳۷۴). بخش عمده کشور ایران در منطقه خشک جهان قرار دارد و میزان بارش‌های جوی متوسط سالانه کشور (حدود ۲۴۰ میلی‌متر) از یک سوم متوسط نزولات جوی سالانه کره زمین (۸۶۰ میلی‌متر) نیز کمتر است (کردوانی، ۱۳۶۳). به تبع آن استان خراسان شمالی

خشکسالی پدیده ای اقلیمی بوده و به عنوان بخشی از اقلیم یک منطقه منصوب می‌شود. این پدیده دارای خصوصیتی است که آن را از سایر بلاهای طبیعی جدا می‌کند. خشکسالی یک پدیده متناوب طبیعی است که همراه با کمبود منابع آب در دسترس در یک منطقه جغرافیایی وسیع و در یک دوره زمانی قابل ملاحظه باشد (روسی، ۲۰۰۰). خشکسالی عبارت است از کمبود بارش در دوره‌های بلند مدت به نحوی که باعث کمبود رطوبت در خاک و سبب

هم، از وقوع پدیده خشکسالی مستثنی نیست مانند سایر مناطق جهان در گذشته خشکسالی‌هایی در آن به وقوع پیوسته و در آینده هم خشکسالی‌هایی در آن رخ خواهد داد. در این مطالعه توسط خروجی مدل گردش عمومی جو HADCM3 تحت سناریوهای A1B، A2 و B1 و روش ریزمقیاس‌نمایی آماری و مدل LARS-WG ریزمقیاس و متغیرهای اقلیمی ایستگاه‌های منتخب استان خراسان شمالی تولید شد. سپس وضعیت خشکسالی استان در دوره‌های (۲۰۱۲-۱۹۹۳)، (۲۰۳۲-۲۰۱۳) با استفاده از دو شاخص استاندارد شده ی بارش، شاخص خشکسالی احیایی مورد ارزیابی قرار گرفت.

**سابقه و ضرورت انجام تحقیق:** مستندات علمی، تعدد تحقیقات انجام شده در زمینه خشکسالی در ایران و جهان را نشان می‌دهد. این تحقیقات جنبه‌های گوناگونی از خشکسالی را مورد بررسی قرار داده است. خشکسالی در مناطق مختلف تفاوت‌هایی دارد. راسل در ۱۸۹۶ اظهار داشت که خشکسالی استرالیا با خشکسالی انگلستان کاملاً متفاوت است و این تفاوت برای هواشناسان قدیمی استرالیا که قبلاً در انگلستان بوده و به آب و هوای آنجا آشنایی دارند، کاملاً محسوس است. از جمله تحقیقاتی که در رابطه با این موضوع انجام گرفته می‌توان به معافی مدنی و همکاران (۱۳۹۱) پیش‌بینی وضعیت خشکسالی استان خراسان رضوی طی دوره ۲۰۱۱ تا ۲۰۳۰ با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی آماری خروجی مدل LARS-WG5 مورد بررسی قرار دادند، نتایج نشان می‌دهد که در حالت کلی در بیش از ۹۰٪ ایستگاه‌های سینوپتیک استان خراسان رضوی طی بیست سال آینده، وضعیت ترسالی افزایش می‌یابد. زهتابیان و همکاران (۲۰۱۳) مطالعه‌ای در ارتباط با تجزیه و تحلیل مقایسه‌ای SPI و RDI در خراسان جنوبی انجام دادند. آنها برای این منظور از داده‌های ۶ ایستگاه سینوپتیک خراسان جنوبی در طی دوره ۲۲ ساله (۲۰۱۱-۱۹۹۰) استفاده کردند. نتایج حاصل از شاخص SPI حاکی از وقوع خشکسالی شدید در سال‌های ۲۰۰۸، ۲۰۰۰، ۲۰۰۶ و ۲۰۰۱ است. محاسبه خشکسالی براساس شاخص

RDI از مقادیر سالانه دما و بارش و روش برآورد تبخیر تعرق پتانسیل تورنت وایت استفاده شد. صالح نیا و همکاران (۱۳۹۲)، به پیش‌بینی خشکسالی با استفاده از نمایه PDSI به کمک مدل‌های لارس و مدل HadCM3 برای نیشابور پرداختند. نتایج آنها حاکی از این است که خشکسالی بسیار شدید در دهه اول پیش‌بینی از مجموع ۱۲۰ ماه تنها ۵ ماه را به خود تعلق داده است که نسبت به دو دهه‌ی دیگر، بیشترین مقدار را داراست. ضرغامی و همکاران (۱۳۹۱)، در بررسی تغییر اقلیم استان آذربایجان شرقی به کمک شش مدل مختلف گردش عمومی جو در سه سناریوی انتشار گاز (A1B، A2، B1) نشان دادند که در سه دهه آتی، افزایش دمای استان تا ۵ درجه سانتی‌گراد و کاهش بارش میانگین سالانه تا ۶۰ میلی‌متر (در سناریوی A2 و مدل HadCM3) کاملاً مشهود است. محسنی ساروی و همکاران (۱۳۹۲) در بررسی اثر تغییر اقلیم بر ویژگی‌های خشکسالی دوره آتی با کاربرد مدل گردش عمومی جو HadCM3 در شمال غربی ایران به این نتیجه رسیدند امکان رخداد خشکسالی‌هایی با شدت، مدت و فراوانی بیشتر در دوره‌های شبیه‌سازی شده ی آتی است. رجیبی با استفاده از مدل ریزمقیاس‌نمایی WG-LARS و خروجی مدل گردش عمومی جو HADCM3 تحت سناریوهای A1B، A2 و B1، تغییر اقلیم را در استان کرمانشاه مورد بررسی قرار داد. مشخص شد که تغییرات بارندگی در سه سناریوی ذکر شده، از نظم مشخصی پیروی نمی‌کند. همچنین افزایش دما طی دوره‌های آینده در همه سناریوها مشاهده شد (رجیبی، ۱۳۸۹: ۸). کمال و مساح بوانی، تغییرات اقلیمی حوضه قره‌سو را با استفاده از خروجی مدل HADCM3 تحت سناریوی A2 و مدل ریزمقیاس‌نمایی SDSM، طی دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۹ مورد بررسی قرار دادند. بر اساس نتایج تحقیق، افزایش دما در ماه‌های مختلف سال بین ۰/۵ تا ۲ درجه سانتی‌گراد و تغییرات بارش بین ۱۰- تا ۲۰ میلی‌متر به‌دست آمد (کمال و مساح بوانی، ۱۳۸۹: ۹۲۰). کردجزی و همکاران (۱۳۹۰) به تحلیل خشکسالی هواشناسی کشاورزی استان گلستان

شمال کوئیزلند، ساحل شرقی کوئیزلند و کوئیزلند مرکزی معنی دار نیست. وروچیدو و همکاران در سال ۲۰۱۳ به بررسی اثر تغییر اقلیم بر خشکسالی هیدرولوژیکی پرداختند. آنها خروجی سه مدل گردش عمومی جو (دما و بارش) با داده‌های WFD را مورد اصلاح آریبی قرار دادند. سپس بر پایه سناریوی A2 و B1 خشکسالی در مقیاس حوضه مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد طبق هر دو سناریو تعداد وقایع خشکسالی (سیلاب، افت آب زیر زمینی و رطوبت خاک) در دهه‌های آینده افزایش میابد. داله زیوس<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۰۰)، براساس تحلیل منحنی‌های شدت، تداوم و فراوانی خشکسالی؛ نقشه‌های همشدت خشکسالی را برای یونان ترسیم کردند و نتیجه گرفتند که نواحی شمالی یونان نسبت به نواحی جنوبی آن از خشکسالی شدیدتری برخوردار است. هارمسن و همکاران (۲۰۰۹) داده‌های بارش و دما در پورتریکو را به صورت آماری و با استفاده از مدل گردش عمومی PCM NCR/DOE تحت سه سناریوی A2، B1 و A1 ریزمقیاس نمودند و بر این باورند که فصل بارش مرطوبتر و فصل خشکی، خشک تر خواهد شد. آنها همچنین نشان دادند که تبخیر و تعرق نیز در ماه‌های خشک با کاهش بارندگی و افزایش دما افزوده خواهد شد. رزنبرگ و همکاران (۲۰۰۳) به منظور شبیه سازی تأثیرات تغییر اقلیم پیش بینی شده با مدل HadCM2 بر هیدرولوژی ۱۸ منطقه مهم در آمریکا از مدل HUMUS و مدل SWAT استفاده نمودند. نتایج حاکی از آن است که میزان آبدهی در دوره ی پایه به میزان ۱۱- تا ۱۵۳ درصد و در سال‌های آتی، ۲۸ تا ۳۴۲ تغییر خواهد داشت. لوکاس و همکاران اثرات تغییر اقلیم بر شدت خشکسالی را در منطقه تسالی مورد ارزیابی قرار دادند. در این تحقیق خروجی مدل گردش جهانی CGCM2 تحت دو سناریوی A2 و B2 با استفاده از یک روش آماری ریزمقیاس شدند و شاخص SPI برای برآورد شدت خشکسالی مورد استفاده قرار گرفت و سری‌های زمانی بارش برای دو دوره ۲۰۵۰-۲۰۲۰ و ۲۱۰۰-۲۰۷۰ برآورد شدند.

در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۰ میلادی با استفاده از سناریوهای مختلف مدل گردش عمومی جو HadCM3 پرداختند. در این تحقیق برای ریزمقیاس نمایی و تولید داده از مدل LARS - WG استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که بیشترین فراوانی خشکسالی شدید در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ مربوط به ایستگاه کلاله و تحت سناریوی A1B می‌باشد. در همین دوره بیشترین فراوانی خشکسالی بسیار شدید مربوط به ایستگاه گنبد می‌باشد که در سناریوهای B1 و A1B پنج خشکسالی بسیار شدید در این ایستگاه پیش بینی میشود. خزانه داری و همکاران با استفاده از خروجی مدل GCM و ریزمقیاس کردن داده‌ها با مدل LARS-WG، به بررسی وضعیت خشکسالی با استفاده از دو شاخص دهک (DI) و استاندارد شده بارش (SPI) در کشور طی دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ پرداختند. نتایج حاصل از این تحقیق ضمن تأیید همخوانی این دو شاخص جهت بررسی وضعیت خشکسالی در کشور، نشان داده است که طی سی سال آینده شرایط خشکسالی در کشور رو به افزایش خواهد بود که این مسأله وقوع تغییر اقلیم در منطقه را تأیید می‌کند (خزانه داری و همکاران). عباسی و همکاران (۱۳۹۰) به بررسی تغییرات دما و بارش آتی ایران پرداختند و بیان کردند که الگوی HadCM2 نشان‌دهنده کاهش بارش ایران تا دهه ۲۱۰۰ به میزان ۲/۵ درصد است. دستورانی و همکاران (۲۰۱۱)، به بررسی اثر تغییر اقلیم بر روی شاخص خشکسالی RDI و SPI پرداختند و داده‌های دما (دمای بیشینه و کمینه) و بارش را به روش تناسبی CLIMGEN ریزمقیاس نمودند و از دو سناریوی A2 و B2 استفاده نمودند. نتایج آنها نشان میدهد با استفاده از هر دو شاخص روند خشکسالی طبق سناریوی A2 در آینده منفی است و طبق سناریوی B2 مثبت است. کیرونو خشکسالی را در ۱۲ منطقه استرالیا به وسیله مدلهای چرخش عمومی جو (GCM) و شاخص RDI پیش بینی کردند. نتایج نشان می‌دهد برای اکثر نقاط مورد مطالعه خشکسالی همراه با نوساناتی در حال افزایش است. هر چند این افزایش برای مناطق شمال غرب،

دمای کمینه، دمای بیشینه و تابش یا ساعت آفتابی در یک ایستگاه تحت شرایط اقلیم پایه و آینده به کار می‌رود (سمنوف و بارو، ۲۰۰۲؛ هارمل، ۲۰۰۲). علت استفاده از مدل HADCM3 در تحقیق حاضر عملکرد بهتر مدل HADCM3 نسبت به مدل‌های دیگر GCM است. خروجی‌های مدل HadCM3 مطابقت زیادی با داده‌های مشاهده‌ای دوره (1993-2012) منطقه مورد مطالعه دارند و دارای روند یکسانی می‌باشند.

در مرحله کالیبره کردن مدل داده‌های تهیه شده دوره پایه 1993-2012 برای ۳۲ ایستگاه خراسان شمالی پردازش و مرتب شده و فایل‌های ورودی مدل LARS و sr گت تهیه شدند و داده‌ها آماده ورود به مدل LARS-WG5 شد. به این ترتیب مدل برای دوره پایه -1993 2012 اجرا شد و پارامترهای دمای کمینه، دمای بیشینه، بارش و ساعات آفتابی به صورت روزانه برای دوره پایه شبیه سازی شد. در مرحله ارزیابی مدل خروجی مدل مورد آنالیز قرار گرفت. برای ارزیابی مدل داده‌های مشاهداتی با داده‌های شبیه سازی شده برای دوره پایه مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفتند و پارامترهای شبیه سازی شده با استفاده از سه معیار ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین خطای مطلق (MAE) و میانگین خطای انحراف (MBE) استفاده شد. نحوه محاسبه این معیارها در روابط زیر ارائه شده است.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (p_i - o_i)^2}{N}} \quad (1)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |P_i - O_i|}{N} \quad (2)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - o_i)}{N} \quad (3)$$

در معادلات فوق P بیانگر داده‌های پیش‌بینی شده O بیانگر داده‌های مشاهداتی و N مجموع داده‌های مشاهداتی را بیان می‌کند. ریشه میانگین مربعات خطا هرچه دارای مقدار کمتری باشد دقت روش میان یابی بالاتر می‌باشد، میانگین خطای مطلق معرف دقت روش و مقدار متوسط خطاست که هرچه به صفر نزدیکتر

نتایج نشان داد تغییرات اقلیمی به میزان زیادی بر شدت خشکسالی و همچنین در طراحی پروژه‌های منابع آب در آینده تاثیر خواهد داشت.

در حال حاضر اقلیم شناسان برای بررسی اثرات تغییر اقلیم، به شبیه سازی متغیرهای اقلیمی با استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو- اقیانوسی می‌پردازند (باروویو، ۲۰۰۵) در همین راستا شبیه سازی داده‌های هواشناسی در ایستگاه‌های منتخب استان خراسان شمالی و به تبع آن پیش بینی وضعیت خشکسالی در دوره شبیه سازی شده آتی با کاربرد نمایه‌های استاندارد شده بارش (SPI<sup>1</sup>)، شاخص خشکسالی احیایی (RDI<sup>2</sup>) و داده‌های کوچک مقیاس شده حاصل از گردش عمومی جو HadCM3 و سناریوهای A1B، A2 و B1 تحت مدل LARS - WG از اهداف اصلی این تحقیق است.

### روش تحقیق

در این پژوهش، از اطلاعات هواشناسی ۲۴ ایستگاه باران سنجی، چهار ایستگاه سینوپتیک و چهار ایستگاه کلیماتولوژی (مجموعاً ۳۲ ایستگاه) به صورت روزانه شامل: دمای حداقل، دمای حداکثر، بارش، تابش و ساعات آفتابی در بازه زمانی سال‌های ۱۹۹۳ تا ۲۰۱۲ که دارای آمار مناسب و طولانی مدت بودند، از واحد خدمات ماشینی سازمان هواشناسی کل کشور اخذ گردید. سپس داده‌هایی که دارای نقص و کسری آمار بودند، با توجه به ایستگاه‌هایی که در مجاورت آن ایستگاه قرار داشته و آمار داده‌های اقلیمی آن بدون نقص و کامل بوده با برقراری رابطه رگرسیونی باز سازی شد. پس از بررسی همگنی و نرمال بودن داده‌ها در طول دوره آماری پایه در بازه سال‌های ۱۹۹۳ تا ۲۰۱۲ برای ریز مقیاس کردن داده‌های مدل گردش عمومی جو HadCM3 از مدل ریز مقیاس کننده LARS-WG5 که یکی از مشهورترین مدل داده‌های تصادفی وضع هوا می‌باشد، استفاده شده است. این مدل برای تولید مقدار روزانه بارش،

1. Standardized Precipitation Index  
2. Indicator Drought Reconnaissance

در رابطه فوق  $P_i$  مقدار بارش در دوره مورد نظر،  $\bar{P}$  میانگین درازمدت بارش برای دوره مورد نظر و  $SD$  انحراف معیار مقادیر بارش می‌باشد.

**شاخص خشکسالی احيایی RDI:** این نمایه درسال ۲۰۰۴ میلادی توسط مک کی ارائه شد برای تعیین خشکسالی با استفاده از نمایه RDI نیازبه داشتن آمار بارندگی و تبخیر و تعرق پتانسیل ماهانه و یا مجموع سالانه این دو پارامتر است. روش محاسبه بدین شرح است که ابتدا با استفاده از فرمول زیر برای هر سال ( $i$ ) از دوره آماری مورد مطالعه، مقداری با عنوان  $\alpha_0$  محاسبه می‌شود.

$$a_o^{(i)} = \frac{\sum_{j=1}^{12} P_{ij}}{\sum_{j=1}^{12} ET_{ij}} \quad (5)$$

در این فرمول  $P$  و  $ET$  بارندگی و تبخیر و تعرق پتانسیل در  $i$  امین ماه سال  $i$  از یک تا  $N$  (تعداد سال‌هایی است که آمار آن در دسترس است) تغییر خواهد نمود. چنانچه بارندگی و تبخیر و تعرق به صورت سالانه محاسبه شوند نیازی به جمع کردن مقادیر ماهانه در این فرمول نخواهد بود. گام بعدی تعیین نمایه ای با عنوان RDI نرمال ( $RDI_n$ ) هر سال است که از فرمول زیر محاسبه خواهد شد.

$$RDI_n^{(i)} = \frac{a_o^{(i)}}{\alpha_0} \quad (6)$$

در این فرمول  $\alpha_0$  میانگین حسابی اعداد هر سال می‌باشد. جهت محاسبه نمایه استاندارد شده  $RDI_s$  ( $RDI_s$ ) از مقادیر سالانه  $\alpha_0$  لگاریتم گرفته که عددی با عنوان  $Y_i$  بدست خواهد آمد. سپس میانگین حسابی و انحراف معیار استاندارد این اعداد را محاسبه می‌نماییم. در نهایت نمایه استاندارد شده RDI در هر سال به کمک فرمول زیر محاسبه خواهد شد.

$$RDI_s^{(i)} = \frac{Y_K^{(i)} - \bar{Y}_K}{S_{YK}} \quad (7)$$

باشد، بهتر است و مقدار میانگین خطای انحراف، اریبی را نشان می‌دهد و نشانگر میانگین انحراف معیار مقدار برآوردی از مقدار مشاهده ای است و در حالت ایده آل بایستی مساوی صفر باشد. مقادیر مثبت یا منفی به ترتیب نشان‌دهنده برآورد بیشتر یا کمتر از مقدار واقعی می‌باشد. در عمل هیچ گاه مقدار این دو آماره صفر نخواهد شد. پس از ارزیابی مدل LARS-WG5 با استفاده از شاخص‌های خطا سنجی و ضریب تعیین و اطمینان از مناسب بودن و نتایج واسنجی مدل مقادیر آنها در جدول (پیوست ۱) آمده است. از این مدل جهت ریزمقیاس کردن داده‌های مدل گردش عمومی جو HadCM3 اجرا شد و داده‌های دوره ی ۲۰۳۲-۲۰۱۳ با استفاده از سه سناریو تغییر اقلیم، B1 و A2, A1B تولید شد. سپس به کمک داده‌های شبیه سازی شده وضعیت خشکسالی استان خراسان شمالی با استفاده از دو شاخص شاخص بارش استاندارد (SPI) و شاخص خشکسالی احيایی (RDI) مورد ارزیابی قرار گرفت.

**شاخص بارش استاندارد SPI:** این روش توسط مک کی و همکارانش (۱۹۹۵) با توجه به تأثیرات متفاوت کمبود بارش بر روی آب‌های زیر زمینی، ذخایر و منابع آب سطحی، رطوبت خاک و جریان آبراهه ارائه شد. این شاخص یک ابزار قوی در آنالیز داده‌های بارندگی می‌باشد هدف SPI اختصاص ارزش عددی به بارندگی می‌باشد که بتوان نواحی با آب و هوای متفاوت را با هم مقایسه نمود از مزایای این شاخص می‌توان به سادگی آن، چندکاره بودن آن اشاره کرد. این شاخص دارای توزیع نرمال است و نسبت به مقیاس‌های زمانی و مکانی متفاوت انعطاف پذیری دارد. این شاخص از طریق رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$SPI = \frac{P_i - \bar{P}}{SD} \quad (4)$$

جدول ۲: طبقه بندی نمایه‌های RDI و SPI و تعریف کلاس‌های متناظر با آن (ادوارد و مک کی، ۱۹۹۷)

وضعیت	درصد از نرمال
مرطوب شدید	بزرگتر یا مساوی از ۲
مرطوب متوسط	۱/۵۰ تا ۱/۹۹
کمی مرطوب	۱ تا ۱/۵۰
نرمال	۰/۹۹ - تا ۰/۹۹
خشکی ضعیف	۱ - تا -۱/۴۹
خشکی متوسط	۱/۵۰ - تا -۱/۹۹
خشکی شدید	کوچکتر یا مساوی -۲

جدول ۳: ویژگی‌های کلی نمایه‌های SPI و RDI

فاکتورهای مؤثر	مقیاس زمانی	سال ارائه	ارائه دهنده	علامت اختصاری	نام نمایه
بارش‌ئی	۳-۶-۱۲-۲۴-۴۸ ماهه	۱۹۹۵	Mckee	SPI	نمایه بارش استاندارد
تبخیر و تعرق و بارندگی	سالانه	۲۰۰۴	Mckee	RDI	نمایه خشکسالی اجمالی

### محدوده و قلمرو پژوهش

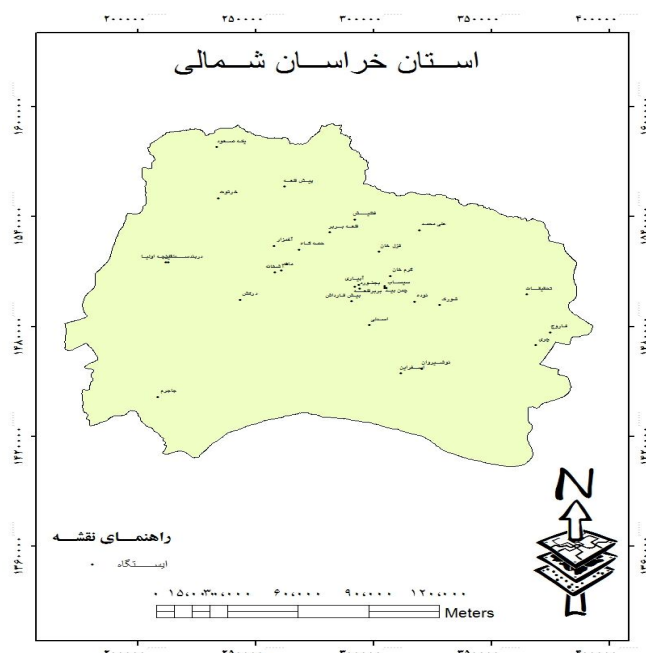
استان خراسان شمالی به مرکزیت شهر بجنورد یکی از استان‌های کشور ایران است. مساحت این استان ۲۸۴۳۴ کیلومتر مربع است. استان خراسان شمالی از نظر موقعیت ریاضی بین مدارهای ۳۶ درجه و ۳۷ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۴۱ دقیقه شمالی و بین نصف النهارهای ۵۵ درجه و ۵۳ دقیقه تا ۵۸ درجه و ۳۰ دقیقه شرقی قرار دارد. از نظر موقعیت نسبی،

استان خراسان شمالی از جهت شمال به جمهوری ترکمنستان، از جنوب و شرق به استان خراسان رضوی، از سمت غرب به استان گلستان و از سمت جنوب غربی به استان سمنان محدود می‌شود. در جدول (۴) مشخصات ایستگاه‌های مطالعاتی و شکل (۱) موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های استان خراسان شمالی ارائه شده است.

جدول ۴: مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه

ردیف	نام ایستگاه	نوع	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا
۱	اسدلی	باران سنجی	۵۷/۳۶	۳۷/۲۹	۱۸۰۰
۲	اسفراین	سینوپتیک	۵۷/۵	۳۷/۰۵	۱۲۲۱
۳	اینچه علیا	باران سنجی	۵۶/۴۱	۳۷/۶۲	۷۴۸
۴	آشخانه	باران سنجی	۵۶/۹۲	۳۷/۵۶	۷۵۱
۵	آغمزار	باران سنجی	۵۶/۹۲	۳۷/۶۹	۵۸۰
۶	بابا امان	باران سنجی	۵۷/۴۴	۳۷/۴۷	۱۰۱۹
۷	بجنورد	سینوپتیک	۵۷/۳۲	۳۷/۴۷	۱۰۹۱
۸	بجنورد (آبیاری)	باران سنجی	۵۷/۳۲	۳۷/۴۹	۱۰۸۷
۹	بربر قلعه	باران سنجی	۵۷/۳	۳۷/۴۸	۱۰۷۰
۱۰	بش قار داش	باران سنجی	۵۷/۲۸	۳۷/۴۱	۱۱۱۶
۱۱	پیش قله	کلیماتولوژی	۵۶/۹۸	۳۷/۹۸	۵۳۵
۱۲	تحقیقات	کلیماتولوژی	۵۸/۱۲	۳۷/۴۲	۱۱۳۱
۱۳	جاجرم	سینوپتیک	۵۶/۳۴	۳۶/۹۶	۹۷۹
۱۴	چری	باران سنجی	۵۸/۱۵	۳۷/۱۷	۱۳۱۸
۱۵	چمن بید (رسالت)	باران سنجی	۵۷/۴۴	۳۷/۴۸	۱۰۲۰
۱۶	حصه گاه	باران سنجی	۵۷/۰۴	۳۷/۶۷	۸۰۰
۱۷	خرتوت	باران سنجی	۵۶/۶۶	۳۷/۹۳	۷۰۸
۱۸	دریند سملقان	باران سنجی	۵۶/۴	۳۷/۶۲	۷۷۰

۷۰۰	۳۷/۶	۵۶/۹۸	باران سنجدی	دریندسنخواست	۱۹
۱۰۶۰	۳۷/۴۳	۵۶/۷۵	باران سنجدی	درکش	۲۰
۱۳۵۰	۳۷/۴۷	۵۷/۴۵	کلیماتولوژی	سیساب	۲۱
۱۱۶۸	۳۷/۳۸	۵۷/۷	باران سنجدی	شو رک	۲۲
۶۶۴	۳۷/۷۵	۵۷/۶۲	باران سنجدی	علی محمد	۲۳
۱۱۹۴	۳۷/۲۳	۵۸/۲۲	باران سنجدی	فاروج	۲۴
۹۷۷	۳۷/۸۱	۵۷/۳۱	باران سنجدی	قتلیش	۲۵
۱۰۵۲	۳۷/۶۵	۵۷/۴۲	باران سنجدی	قزلقان	۲۶
۷۷۰	۳۷/۷۵	۵۷/۱۹	باران سنجدی	قلعه بربر	۲۷
۹۴۶	۳۷/۵۳	۵۷/۴۷	باران سنجدی	گرم خان	۲۸
۷۸۹	۳۷/۵۷	۵۶/۹۵	سینوپتیک	مانه و سملقان	۲۹
۱۳۵۰	۳۷/۴	۵۷/۵۸	کلیماتولوژی	نوده	۳۰
۱۴۰۵	۳۷/۰۷	۵۷/۶	باران سنجدی	نوشیرون	۳۱
۸۹۸	۳۸/۱۸	۵۶/۶۶	باران سنجدی	یکه صعود	۳۲



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی ایستگاههای استان خراسان شمالی

وضعیت نرمال دارند ۶۸ درصد ماهها در دوره آتی تحت سناریوهای A1B، A2 و B1 با استفاده از هر دو شاخص نرمال پیش بینی شده است. در دوره پایه به ترتیب ۱۶ و ۱۷ درصد ماهها با استفاده از شاخصهای SPI و RDI با وضعیت تر ارزیابی می‌شود. ماههای تر در دوره آینده تحت سه سناریو مذکور با استفاده از هر دو شاخص بطور برابر ۱۷ درصد پیش بینی شده است. ماههای خشک در دوره پایه با استفاده از هر دو شاخص خشکسالی ۱۷ درصد و در دوره شبیه سازی شده تخت تحت سناریوهای

## بحث اصلی

در پژوهش حاضر جهت بررسی و پیش‌بینی خشکسالی‌ها از دو شاخص SPI و RDI در دوره پایه و دوره شبیه‌سازی شده تحت سناریوهای A1B، A2 و B1 استفاده شده است.

**بررسی طبقات خشکسالی در مقیاس زمانی یک ماهه:** با توجه به جدول (۵) در مقیاس زمانی یک ماهه، نشان‌دهنده آن است که ۶۷ درصد ماهها در دوره پایه با شاخص SPI و ۶۶ درصد با شاخص RDI

آبی و کاهش خشکسالی‌ها با استفاده از شاخص‌های SPI و RDI در مقیاس یک ماهه قابل پیش‌بینی است.

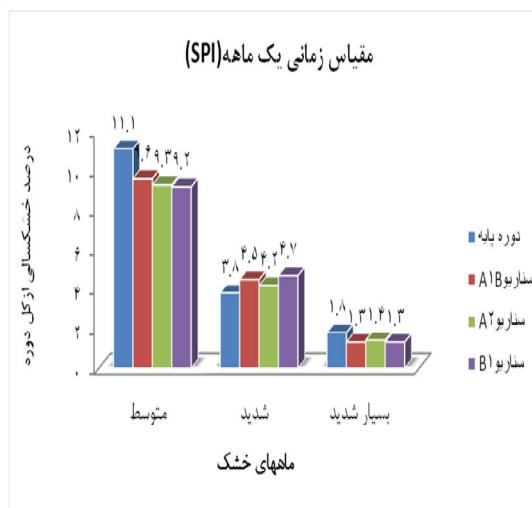
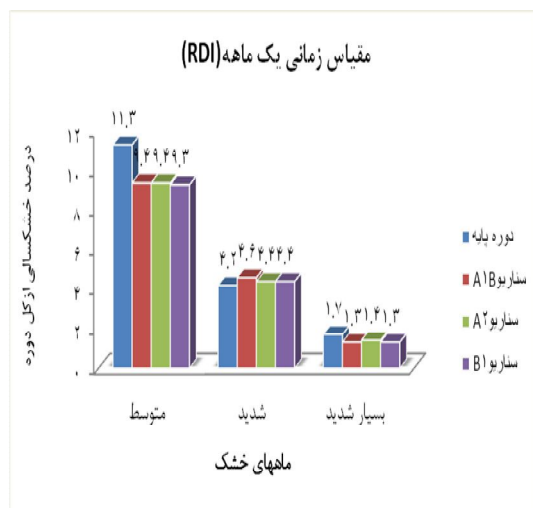
A1B، A2 و B1 با درصد فراوانی ۱۵ درصد بطور یکسان توسط هر دو شاخص پیش‌بینی شده است. با توجه به درصد فراوانی‌ها افزایش ترسالی‌ها در دوره

جدول ۵: درصد فراوانی ماه‌های خشک، ترو نرمال SPI و RDI در مقیاس زمانی یک ماهه خراسان شمالی

شاخص RDI			شاخص SPI			مقیاس زمانی یک ماهه
درصد فراوانی ماه‌های تر	درصد فراوانی ماه‌های نرمال	درصد فراوانی ماه‌های خشک	درصد فراوانی ماه‌های تر	درصد فراوانی ماه‌های نرمال	درصد فراوانی ماه‌های خشک	
۱۷	۶۶	۱۷	۱۶	۶۷	۱۷	دوره پایه
۱۷	۶۸	۱۵	۱۷	۶۸	۱۵	سناریو A1B
۱۷	۶۸	۱۵	۱۷	۶۸	۱۵	سناریو A2
۱۷	۶۸	۱۵	۱۷	۶۸	۱۵	سناریو B1

فراوانی نسبت به دوره پایه توسط هر دو شاخص قابل مشاهده است. با توجه به درصد فراوانی ماه‌های خشک افزایش فراوانی خشکسالی در دوره آبی در رده خشکسالی شدید و کاهش ماه‌های خشک در رده خشکسالی متوسط و بسیار شدید را با استفاده شاخص‌های خشکسالی مطرح شده در این مطالعه شاهد خواهیم بود.

شکل (۲) نمودار درصد فراوانی ماه‌های خشک در دوره پایه و شبیه‌سازی شده تحت سناریوهای A1B، A2 و B1 نشان می‌دهد. در میان ماه‌های خشک بیشترین درصد فراوانی مربوط به خشکسالی متوسط با استفاده از شاخص‌های خشکسالی SPI و RDI در دوره پایه می‌باشد که دوره پیش‌بینی شده تحت سه سناریو مذکور با حدود ۲ درصد کاهش



شکل ۲: درصد فراوانی ماه‌های خشک SPI و RDI دوره پایه و شبیه سازی شده استان در مقیاس یک‌ماهه

درصد با استفاده از شاخص RDI و هر دو شاخص بطوریکسان تحت سناریوهای A2 و B1 با ۶۷ درصد وضعیت نرمال دارند. با توجه به مقادیر جدول زیر ۱۳ درصد ماه‌های دوره پایه و ۱۶ درصد ماه‌های پیش‌بینی شده با استفاده از هر دو شاخص وضعیت

بررسی طبقات خشکسالی در مقیاس زمانی سالانه: همان طور که در جدول (۶) مشاهده می‌گردد با استفاده از شاخص SPI و RDI در مقیاس سالانه، ۶۸ درصد رخدادها در دوره پایه ۶۶ درصد پیش‌بینی‌ها تحت سناریو A1B با شاخص SPI و ۶۷



برابر ۱۷ درصد فراوانی رخدادها تحت دو سناریو A2 و B1 با ۲ درصد کاهش نسبت به دوره پایه با استفاده از هر دو شاخص در مقیاس زمانی سالانه پیش بینی شده است.

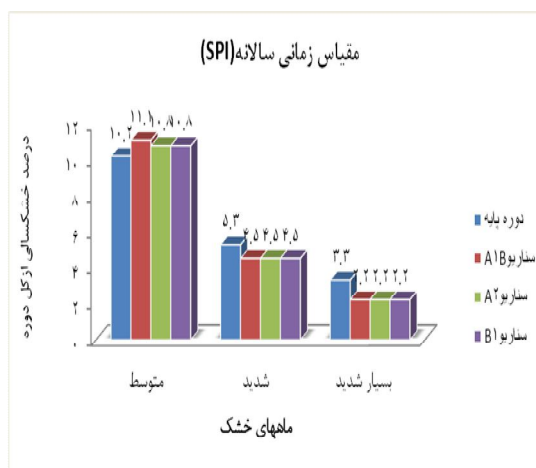
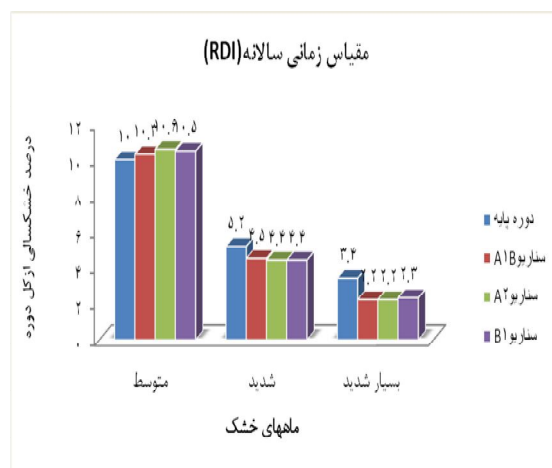
ترسالی دارند. ماه‌های خشک ۱۹ درصد فراوانی دوره پایه با هر دو شاخص نشان داده شده است. ۱۸ درصد فراوانی سناریو A1B با شاخص SPI و ۱۷ درصد توسط شاخص RDI در جدول ذیل ارائه شده است. و بطور

جدول ۶: درصد فراوانی سالانه ماه‌های خشک، ترونرمال SPI و RDI دوره پایه و پیش بینی شده کل استان

شاخص RDI			شاخص SPI			مقیاس زمانی سالانه
درصد فراوانی ماه‌های تر	درصد فراوانی ماه‌های نرمال	درصد فراوانی ماه‌های خشک	درصد فراوانی ماه‌های تر	درصد فراوانی ماه‌های نرمال	درصد فراوانی ماه‌های خشک	
۱۳	۶۸	۱۹	۱۳	۶۸	۱۹	دوره پایه
۱۶	۶۷	۱۷	۱۶	۶۶	۱۸	سناریو A1B
۱۶	۶۷	۱۷	۱۶	۶۷	۱۷	سناریو A2
۱۶	۶۷	۱۷	۱۶	۶۷	۱۷	سناریو B1

مذکور می‌باشد. درصد فراوانی خشکسالی شدید و بسیار شدید در آینده کمتر از درصد فراوانی دوره پایه توسط شاخص‌های خشکسالی پیش‌بینی شده است. با توجه به نمودار زیر افزایش و کاهش درصد فراوانی هر یک از دوره‌های مطالعاتی را با استفاده از دو شاخص استاندارد شده بارش، شاخص خشکسالی احیایی می‌توان به وضوح مشاهده نمود.

شکل (۳) درصد فراوانی ماه‌های خشک در دوره‌های مطالعاتی دوره پایه (۱۹۹۳-۲۰۱۲) و دوره آتی (۲۰۱۳-۲۰۳۲) تحت سناریوهای A1B، A2 و B1 در مقیاس سالانه با استفاده از شاخص‌های SPI و RDI را نشان می‌دهد. در این مقیاس زمانی بیشترین فراوانی ماه‌های خشک مربوط به خشکسالی متوسط می‌باشد؛ که درصد فراوانی دوره پایه کمتر از درصد فراوانی ماه‌های خشک در دوره آتی تحت سه سناریوی



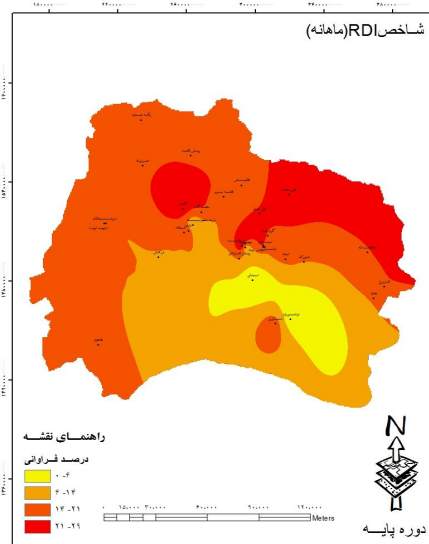
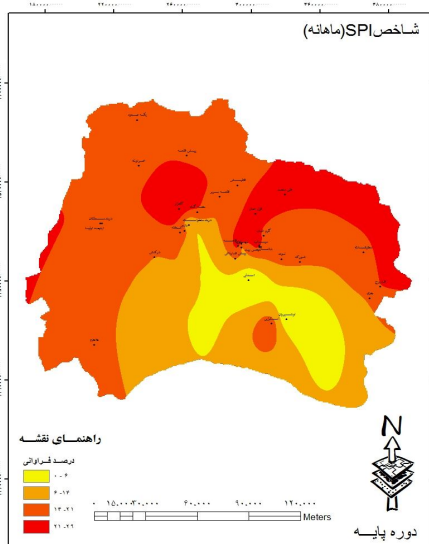
شکل ۳: درصد فراوانی ماه‌های خشک SPI و RDI کل استان در دوره‌های مطالعاتی در مقیاس سالانه

مطالعاتی در مقیاس یک ماهه را نشان می‌دهد. به منظور بررسی و صحت خشکسالی، به صورت مکانی نقشه پهنه بندی درصد فراوانی خشکسالی با روش میان‌یابی کریجینگ با استفاده از نرم‌افزار GIS برای

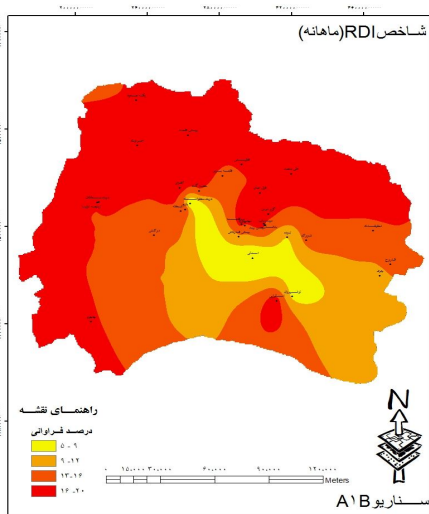
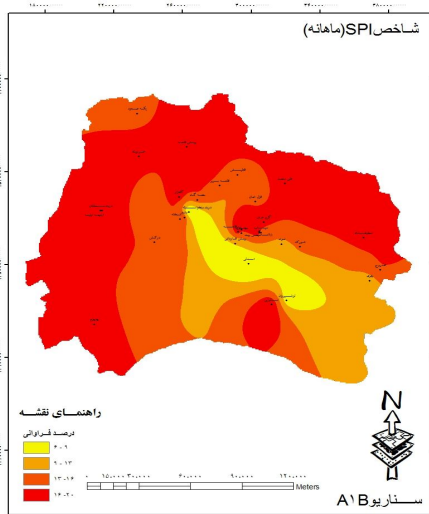
پهنه‌بندی درصد فراوانی خشکسالی استان در مقیاس زمانی یک‌ماهه: شکل‌های (۴ تا ۷) پهنه‌بندی مقادیر خشکسالی ایستگاه‌های خراسان شمالی با استفاده از شاخص‌های RDI و SPI برای دوره‌های

خشکسالی SPI و RDI بیشترین درصد فراوانی خشکسالی با ۱۶ تا ۲۰ درصد فراوانی در نواحی شمالی، شرقی، قسمتی از جنوب، شمال غربی و غرب استان پیش‌بینی شده است. کمترین درصد فراوانی خشکسالی ۹ تا ۰ درصد فراوانی در نواحی مرکزی استان در محدوده ایستگاههای اسدلی و نوشیروان پیش‌بینی شده است. در مقایسه دوره پایه با دوره شبیه سازی شده تحت سناریوهای B1, A2, A1B توسط دوشاخص مذکور در مقیاس زمانی یک ماهه هرچند وسعت خشکسالی‌ها بیشتر می‌شود اما درصد فراوانی خشکسالی‌های آبی استان کاهش می‌یابد.

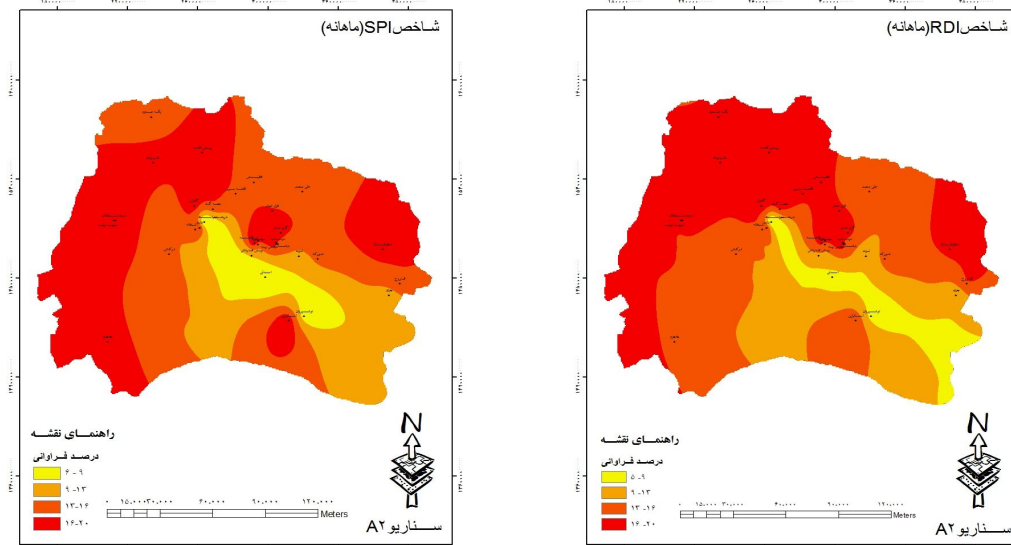
دوره‌های 1993-2012 و 2013-2032 تحت سناریوهای B1, A2, A1B تولید گردید و مورد پردازش قرار گرفت. بیشترین درصد فراوانی ۲۱ تا ۲۹ درصد وقوع خشکسالی با استفاده از دو شاخص مذکور در دوره پایه در شرق قسمتی از مرکز استان در محدوده ایستگاههای گرم خان، سیساب، علی محمد، بربرقلعه، آغمارو قزل خان مشاهده می‌گردد. کمترین درصد فراوانی ۶ تا ۰ درصد رخداد خشکسالی در نواحی مرکزی استان در محدوده ایستگاههای اسدلی و نوشیروان مشاهده می‌شود. در دوره شبیه سازی شده تحت سناریوهای مذکور و با استفاده از دو شاخص



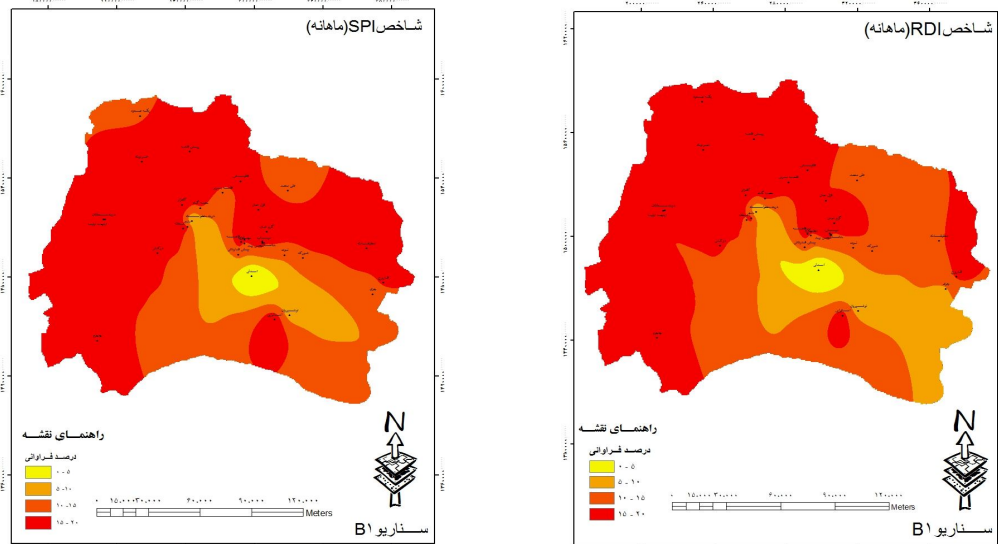
شکل ۴: پهنه بندی درصد فراوانی خشکسالی یکماهه SPI و RDI ایستگاه‌های استان در دوره پایه



شکل ۵: پهنه بندی درصد فراوانی خشکسالی یکماهه SPI و RDI ایستگاه‌های استان تحت سناریو A1B



شکل ۶: پهنه‌بندی درصد فراوانی خشکسالی یکماهه SPI و RDI ایستگاه‌های استان تحت سناریوهای A2



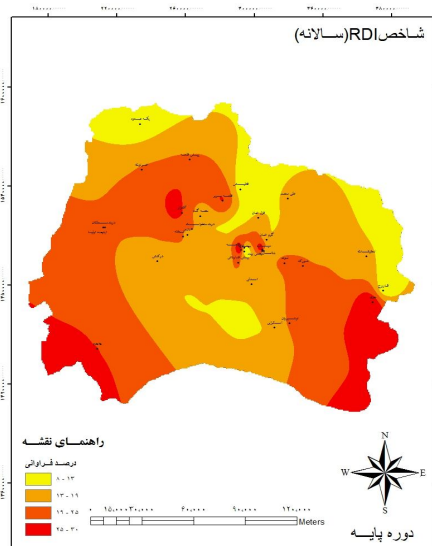
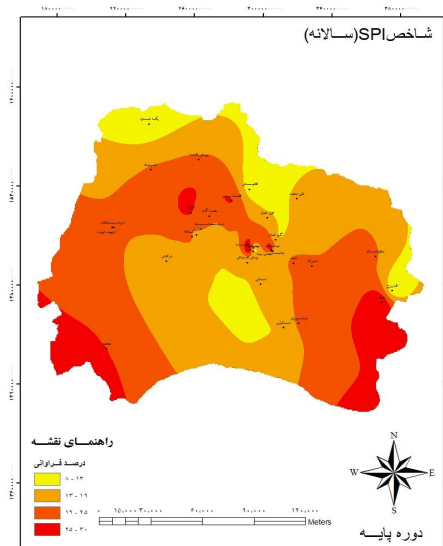
شکل ۷: پهنه‌بندی درصد فراوانی خشکسالی یکماهه SPI و RDI ایستگاه‌های استان تحت سناریو B1

ایستگاه‌های آغمزار، بربرقلعه، چری و جاجرم مشاهده می‌شود. کمترین درصد فراوانی خشکسالی با ۱۳ تا ۷ درصد فراوانی در مناطقی از شمال، شمال شرق و قسمتی از مرکز استان در محدوده ایستگاه‌های فاروج، فتلیش و یکه صعود دیده می‌شود. بیشترین درصد فراوانی خشکسالی‌های آتی تحت سه سناریوی A1B، A2، B1 با ۲۷ تا ۲۲ درصد فراوانی وقوع در مناطق شمال، جنوب، جنوب غربی، قسمی از مرکز استان با استفاده از هر دو شاخص SPI و RDI در محدوده ایستگاه‌های آشخانه، بربر قلعه، بیش قارداش،

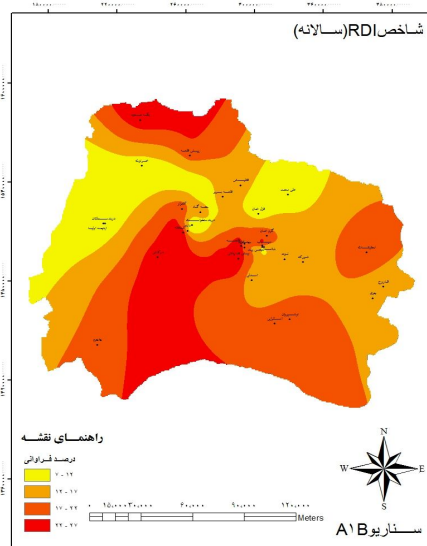
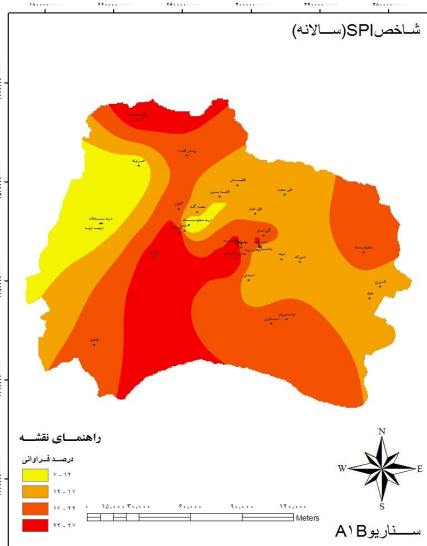
پهنه بندی براساس درصد فراوانی خشکسالی‌های استان در مقیاس زمانی سالانه: جهت بررسی توزیع مکانی خشکسالی درصد فراوانی خشکسالی هریک از ایستگاه‌های استان خراسان شمالی در مقیاس زمانی سالانه با استفاده از شاخص‌های SPI و RDI تحت سناریوهای A1B، A2، B1 نقشه‌های پهنه بندی آن تولید گردید. بیشترین درصد فراوانی خشکسالی با ۲۵ تا ۳۰ درصد فراوانی رخداد در دوره پایه با شاخص‌های SPI و RDI در مناطق جنوب شرقی، جنوب غربی و قسمتی از نواحی مرکزی در محدوده

استان نسبت به دوره پایه کاهش پیدا می‌کند ولی دامنه و گستره خشکسالی بخش بیشتری از استان را دربرمی‌گیرد. اشکال (۸ تا ۱۱) پهنه بندی درصد فراوانی خشکسالی هریک از ایستگاه‌های خراسان شمالی دوره پایه و دوره آتی تحت سناریوهای مطرح شده در مقیاس زمانی سالانه را نشان می‌دهند.

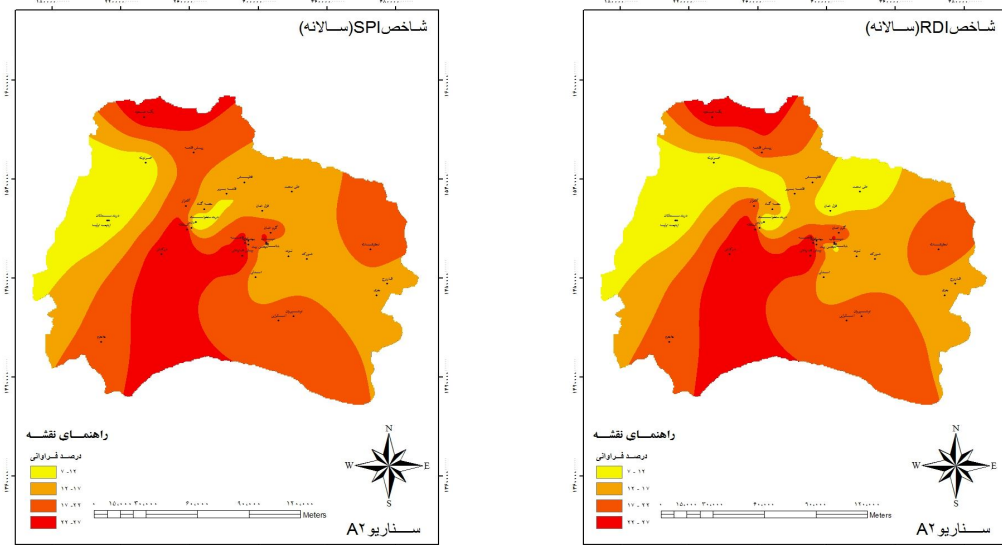
درکش و یکه صعود پیش بینی شده است. کمترین درصد فراوانی خشکسالی دوره آتی تحت سناریوهای مذکور با ۱۲ تا ۷ درصد فراوانی وقوع در نواحی شمال غربی، قسمتی از مرکز و شمال شرقی استان برآورد شده است. نقشه پهنه بندی در این مقیاس زمانی نشان می‌دهد درصد فراوانی خشکسالی‌های آینده



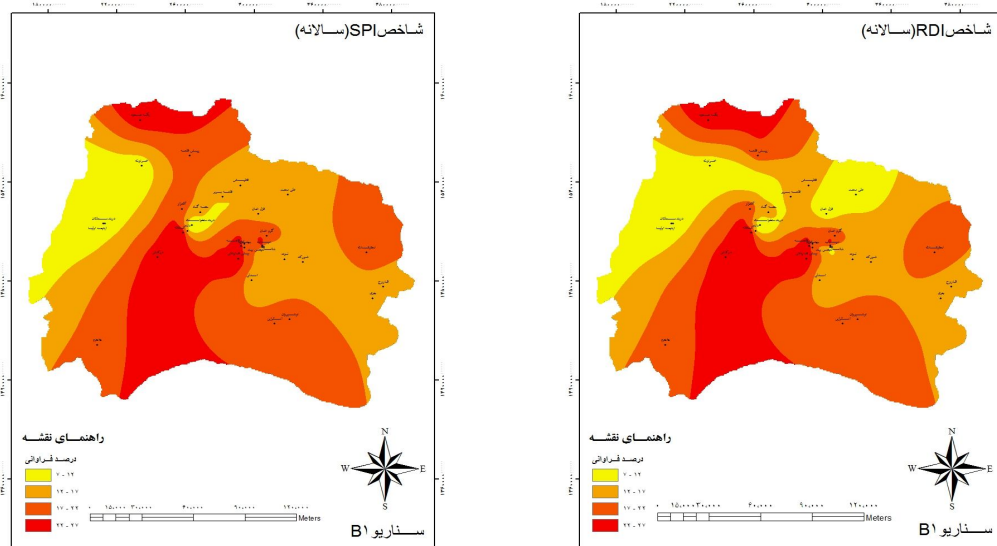
شکل ۸: پهنه‌بندی درصد فراوانی خشکسالی سالانه مقادیر SPI و RDI دوره پایه



شکل ۹: پهنه‌بندی درصد فراوانی خشکسالی سالانه مقادیر SPI و RDI تحت سناریو A1B



شکل ۱۰: پهنه‌بندی درصد فراوانی خشکسالی سالانه مقادیر SPI و RDI تحت سناریو A2



شکل ۱۱: پهنه‌بندی درصد فراوانی خشکسالی سالانه مقادیر SPI و RDI تحت سناریو B1

### نتیجه‌گیری

در این مقاله به منظور ریز مقیاس نمایی خروجی مدل گردش عمومی جو Hadcm3 تحت سناریوهای A1B، A2 و B1 از مدل ریز مقیاس نمایی - LARS WG استفاده شد. در ابتدا توانمندی مدل - LARS WG بررسی شد برای این کار یک سناریوی حالت پایه برای دوره پایه 1993-2012 تهیه و مدل بر اساس سناریوی مذکور اجرا شد و توانمندی آن در شبیه سازی اقلیم گذشته مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. برای اطمینان از درستی واسنجی مدل از شاخص‌های

خطاسنجی RMSE، MAE و MBE استفاده شد. پس از صحت سنجی، مدل LARS - WG برای دوره 2013-2032 میلادی بر روی ایستگاههای مورد مطالعه اجرا شد، و با استفاده از دو شاخص خشکسالی SPI و RDI متغیرهای اقلیمی شبیه سازی شده جهت پیش‌بینی خشکسالی استان خراسان شمالی مورد ارزیابی قرار گرفت. آنالیز شاخص‌های خشکسالی SPI و RDI بیشتر ماه‌های دوره‌های مطالعاتی را در وضعیت نرمال نشان داد و فراوانی وقوع خشکسالی دوره پیش‌بینی تحت سناریوهای B1، A2، A1B

- نسبت به دوره پایه در مقیاس یک ماهه کاهش خواهد داشت. آنالیز شاخص‌ها در مقیاس سالانه فراوانی خشکسالی‌های شدید را بیشتر ولی در مجموع کاهش خشکسالی‌ها دوره آینده نسبت به دوره پایه تحت سه سناریو مذکور در هر دو شاخص رانشان داد. یا بطور کلی می‌توان گفت در دوره آتی وضعیت خشکسالی استان به سمت نرمال پیش می‌رود که این با پژوهش ملکی و همکاران (۱۳۹۳)، مدیریت خشکسالی برای استفاده بهینه از منابع آب استان خراسان شمالی، معانی مدنی و همکاران (۱۳۹۱) (مبنی بر کاهش خشکسالی‌ها در دوره آتی)، هاشمی نسب و همکاران (۱۳۹۲)، مطابقت دارد. با توجه بررسی نقشه‌های پهنه‌بندی خشکسالی در مقیاس‌های زمانی ماهانه و سالانه کمترین درصد فراوانی خشکسالی در دوره پایه و شبیه‌سازی در نواحی مرکزی و شمال غرب استان مشاهده می‌شود و بیشترین درصد فراوانی خشکسالی در نواحی جنوب شرقی و جنوب غربی استان دیده می‌شود. با توجه به نقشه پهنه بندی در دوره آتی وسعت خشکسالی‌ها افزایش ولی درصد فراوانی خشکسالی‌ها نسبت به دوره پایه با استفاده از شاخص‌های SPI و RDI کاهش پیدا می‌کند. این مطلب با پژوهش پورعلی و همکاران (۱۳۹۴)، پیش‌بینی خشکسالی استان آذربایجان شرقی در دوره ۲۰۲۲-۲۰۱۳ میلادی مطابقت دارد.
- منابع**
- پورعلی حسین، سیده شیماء، مساح بوانی علیرضا. ۱۳۹۴. پیش‌بینی خشکسالی استان آذربایجان شرقی در دوره ۲۰۲۲-۲۰۱۳ میلادی، جغرافیا و توسعه شماره ۳۸، صص ۱۸۹-۲۰۷.
  - خزانه داری، لیلی، زابل عباسی، فاطمه، قندهاری، شهرزاد، کوهی، منصوره، ملبوسی، شراره. ۱۳۸۸. دورنمایی از وضعیت خشکسالی ایران طی سی سال آینده، جغرافیا و توسعه ناحیه ای، شماره ۱۲، صص. ۸۳-۹۸.
  - رجبی، احمد. ۱۳۸۹. مدل سازی اقلیم کرمانشاه با استفاده از مدل ریزمقیاس سازی LARS- WG
  - همایش ملی مدیریت جامع منابع آب در دانشگاه شهید باهنر کرمان، ص ۸.
  - صالح نیا، نسرین؛ موسوی بایگی، محمد و حسین انصاری. ۱۳۹۲. پیش بینی خشکسالی با استفاده از نمایه PDSI به کمک مدل‌های WG-LARS و HadCM3 (مطالعه موردی: حوضه نیشابور)، مجله آبیاری و زهکشی ایران، ۹۳.
  - ضرغامی، مهدی، بابائیان، ایمان، حسن زاده، یوسف و رضا کنعانی. ۱۳۹۱. مطالعه تغییر اقلیم و اثرات آن بر خشکی (مطالعه موردی: استان آذربایجان شرقی)، فصلنامه علوم و مهندسی آبخیزداری، شماره ۱۸، ۶۱.
  - عباسی، فاطمه، اثمیری، مرتضی، ۱۳۹۰. پیش‌بینی و ارزیابی تغییرات دما و بارش ایران در دهه‌های آینده با الگوی MAGICC-SCENGEN، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۸۳:۲۵-۷۰.
  - غیور، حسین. ۱۳۷۴. بررسی تغییرات بارش در چند ایستگاه ایران، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۳۹.
  - کردجری، محمد؛ باقری، سعید. بابائیان، ایمان. ملاعراضی، عبدالجبار. ۱۳۹۰. تحلیل خشکسالی هواشناسی استان گلستان در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۰ میلادی با استفاده از سناریوهای مختلف مدل گردش عمومی جو HADCM3. چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب.
  - کردوانی، پرویز. ۱۳۶۳. منابع و مسائل آب در ایران، انتشارات آگاه.
  - کمال، علیرضا، مساح بوانی، علیرضا. ۱۳۸۹. تأثیر تغییر نوسانات اقلیمی بر رواناب حوضه با دخالت عدم قطعیت دو مدل هیدرولوژی، نشریه آب و خاک، شماره ۵، صص ۹۳۱-۹۲۰.
  - محسنی ساروی، محسن. صالح پورجم، امین. بذرافشان، جواد. خلیقی سیگارودی، شهرام. ۱۳۹۲. بررسی اثر تغییر اقلیم بر ویژگی‌های خشکسالی دوره آتی با کاربرد مدل گردش عمومی جو HadCM3 (مطالعه موردی: شمال غربی ایران) مجله منابع طبیعی ایران، شماره ۴.
  - معافی مدنی، سیده فاطمه، موسوی بایگی، محمد، انصاری، حسین. ۱۳۹۱. پیش‌بینی وضعیت خشکسالی استان خراسان رضوی طی دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ با استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری خروجی مدل

- 38334 Volos, Greece, Adv. Geosci. 17: 23-29, www.advgeosci.net/17/23/2008.
20. McKee, T.B., Doesken, N.J., and Kleist, J. 1995. Drought monitoring with multiple time scales. Preprints, 9th Conference on Applied Climatology, January 15-20, Dallas, Texas. 233-236.
21. Rosenberg, N.J., Brown, R.A., Izaurrealde, R.C., and Thomson, A.M. 2003. Integrated assessment of Hadley Centre (hadcm2) climate change projections on agricultural productivity and irrigation water supply in the conterminous United States: I. Climate change scenarios and impacts on irrigation water supply simulated with the HUMUS model. *Agricultural and Forest Meteorology*, 117(1): 73-96.
22. Rossi, G. 2000. Drought mitigation measures: a comprehensive framework. In *Drought and Drought Mitigation in Europe*. J. Voght and F. Somma (Eds) Kluwer Academic publisher, Dordrecht.
23. Semenov, M.A., and Barrow, E.M. 2002. A stochastic weather generator for use in climate impact studies. User Manual: Hertfordshire, UK. Taulis, M.E., & Milke, M.W. 2005. Estimation of WSIM weather simulation parameters in arid climates. *Ecological Modeling*, 184: 177-191.
24. Vangelis, H., Tigkas, D., and Tsakiris, G. 2013. The effect of PET method on Reconnaissance Drought Index (RDI) calculation, *Journal of Arid Environments* 88: 130-140.
25. Vrochidou, A.-E.K., Tsanis, I.K., Grillakis, M.G., and Koutroulis, A.G. 2013. "The impact of climate change on hydrometeorological droughts at a basin scale", *Journal of Hydrology*, 476: 290-301.
- LARS-WG5 جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۳، صص ۲۱-۳۷.
۱۳. ملکی، علیرضا، ترکمانی، محمدجواد. ۱۳۹۴. مدیریت خشکسالی برای استفاده بهینه از منابع آب استان خراسان شمالی، تحقیقات اقتصاد کشاورزی، شماره ۱، صص ۸۹-۶۵.
۱۴. ۱۴- هاشمی نسب خبیصی، فریده السادات، موسوی بایگی، محمد، بختیاری، بهرام، داوری، کامران. ۱۳۹۲.
۱۵. پیش بینی تغییرات بارش ۲۰ سال آینده در استان کرمان با استفاده از مدل‌های ریزمقیاس کننده LARS-WG و گردش عمومی HadCM3.
15. Barrow, E., and Yu, G. 2005. Climate Scenario for Alberta. A report prepared for the prairie Adaptation Research Climate Research Services.
16. Harmel, R.D. 2002. Evaluating the adequacy of simulating maximum and minimum daily air temperature with the normal distribution. *Journal of Applied Meteorology*, 41: 744-753.
17. Harmsen, E., Miller, N.L., Schlegel, N.J., and Gonzalez, J.E. 2009. Seasonal climate change impacts on evapotranspiration, precipitation deficit and crop yield in Puerto Rico. *Agricultural Water Management*, 96(7): 1085-1095.
18. Kirono, D.G.C., Kent, D.M., Hennessy, K.J., and Mpelasoka, F. 2011. "Characteristics of Australian droughts under enhanced green house conditions: results from global climate models", *Journal of Arid Environment*, 75: 566-575.
19. Loukas, A., Vasiliades, L., and Tzabiras, J. 2008. Climate change effects on drought severity. Department of Civil engineering, University of Thessaly,

