

به نام خدا

# نشریه هواشناسی کشاورزی

جلد ۲، شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۳۹۳

اعتبار: علمی - پژوهشی

درجه علمی - پژوهشی این نشریه از تاریخ دومین شماره انتشار، طی نامه شماره ۳/۱۸/۱۳۹۴۱۲ مورخ ۱۳۹۳/۰۷/۳۰ کمیسیون بررسی نشریات علمی وزارت علوم، تحقیقات و فناوری به انجمن مهندسی آبیاری و آب ایران ابلاغ شده است.

صاحب امتیاز:

انجمن مهندسی آبیاری و آب ایران

مدیر مسئول:

بهرام بختیاری

سر دبیر:

علی خلیلی

مدیر داخلی:

نودر قهرمان

اعضای هیأت تحریریه:

ایران نژاد، پرویز	دانشیار (دانشگاه تهران)
بارانی، غلامعباس	استاد (دانشگاه شهید باهنر کرمان)
بختیاری، بهرام	استادیار (دانشگاه شهید باهنر کرمان)
بلوری زاده، محمد آقا	استاد (دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته کرمان)
حجام، سهراب	دانشیار (واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی)
خاندجانی، محمد جواد	استاد (دانشگاه شهید باهنر کرمان)
خلیلی، علی	استاد (دانشگاه تهران)
رائینی، محمود	دانشیار (دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری)
قهرمان، نودر	دانشیار (دانشگاه تهران)
کمالی، غلامعلی	دانشیار (واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی)

ناشر: انجمن مهندسی آبیاری و آب ایران

ویراستاران: دکتر بهرام بختیاری، دکتر نودر قهرمان  
طراح، صفحه آرا: معین گنجعلیخانی، زهرا افصلی گروه

نشانی: کرمان، انتهای بلوار ۲۲ بهمن، دانشگاه شهید باهنر کرمان، دفتر انجمن مهندسی آبیاری و آب ایران،

نشریه هواشناسی کشاورزی - کد پستی ۱۴۱۱۱-۷۶۱۶۹ - تلفن و نمابر: ۰۳۴-۳۳۲۲۶۰۹۰

پست الکترونیک: agromet\_journal@yahoo.com

این نشریه به صورت دوفصلنامه (دو شماره در سال) چاپ و منتشر می گردد.

## داوران این شماره

دانشگاه شهید باهنر کرمان	دکتر محمد مهدی احمدی
دانشگاه تهران	دکتر پرویز ایران نژاد
پژوهشکده اقلیم شناسی مشهد	دکتر ایمان بابائیان
دانشگاه تهران	دکتر سعید بازگیر
دانشگاه شهید باهنر کرمان	دکتر بهرام بختیاری
دانشگاه تهران	دکتر جواد بذرافشان
دانشگاه شهید باهنر کرمان	دکتر مسعود رضا حسامی کرمانی
دانشگاه تهران	دکتر علی خلیلی
دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری	دکتر محمود رائینی
دانشگاه شهید باهنر کرمان	دکتر نسرین سیاری
دانشگاه شهید باهنر کرمان	دکتر غلامحسین شهیدی
دانشگاه تهران	دکتر شهاب عراقی نژاد
دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان	دکتر خلیل قربانی
دانشگاه تهران	دکتر نوذر قهرمان
دانشگاه فردوسی مشهد	دکتر بیژن قهرمان
دانشگاه شهید باهنر کرمان	دکتر سودابه گلستانی
دانشگاه شهید باهنر کرمان	دکتر حمید محمدی
دانشگاه فردوسی مشهد	دکتر محمد موسوی بایگی
دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گیلان	دکتر مجید وظیفه دوست



## فهرست مقالات

### سخن نخست

- ۱ مقایسه مقادیر مشاهداتی بارش و برآوردهای ماهواره TRMM در استان فارس  
امین شیروانی، الهام فخاری زاده شیرازی
- ۱۶ مدل‌سازی و پیش‌آگاهی تأثیر متغیرهای هواشناسی بر جمعیت قارچ عامل شیوع لکه موجی سیب‌زمینی  
(Early blight)  
وحید ورشوویان، نوذر قهرمان، محمد جوان نیکخواه، عبدالمجید لیاقت، بهمن فرهادی
- ۲۴ ارائه یک روش پیش‌بینی عملکرد جو با استفاده از شاخص‌های دورپیوندی (مطالعه موردی: کبوترآباد  
اصفهان)  
سید مسعود مصطفوی دارانی، جواد خوشحال دستجردی، راجر استون، فریبرز عباسی، ایمان بابائیان
- ۳۷ تحلیل آماری- فضایی بارش پیش‌بینی شده ایران توسط مدل جفت شده گردش عمومی جو- اقیانوسی  
HADCM3  
غلامعلی مظفری، شهاب شفیع، بهنوش رکن‌الدینی
- ۴۷ بررسی روند بیابان‌زایی دشت کاشان با استفاده از مدل IMDPA با تأکید بر معیار اقلیم  
مجتبی قرائتی جهرمی، عباسعلی ولی، سید حجت موسوی، فاطمه پناهی، حسن خسروی
- ۶۲ برآورد ضرایب گیاهی و نیاز آبی گیاه دارویی همیشه بهار (*Calendula officinalis L.*) در اقلیم نیمه  
خشک کرمان  
فریده السادات هاشمی نسب، محمد موسوی بایگی، امین علیزاده، بهرام بختیاری

## سخن نخست

### مدیریت آب در کشاورزی: حلقه پیوند تغییر اقلیم و امنیت غذایی

سه‌م مصرف آب در کشاورزی در مناطق خشک و نیمه خشک جهان در حدود ۸۰٪ موجودی آب این مناطق ارزیابی می‌شود. با افزایش جمعیت جهان و نیاز به تأمین غذای بیشتر، فشار بر بخش کشاورزی برای افزایش بهره‌وری آب روزافزون است. در مناطق خشک و نیمه خشک مانند ایران، برآوردهای دقیق نیاز آبی محصول به منظور تصمیم‌گیری‌های آگاهانه در خصوص مدیریت مصرف آب اهمیت فراوانی دارد. با رخداد گرمایش فراگیر و افزایش دما انتظار می‌رود بیشترین آسیب تغییر اقلیم بر بخش کشاورزی باشد. این تأثیر بیشتر با تغییر در چرخه آبشناسی، به‌ویژه افزایش توان تبخیرکنندگی هوا، یا تبخیر تعرق پتانسیل، و به تبع آن نیاز آبی گیاهان می‌باشد. به‌این دلیل نیاز است تا طراحی راهبردهای مبتنی بر رهیافت کشاورزی هوشمند اقلیم محور (Climate Smart Agriculture) و از منظر آب (Water Lens) صورت پذیرد. در این راه، مهمترین چالش‌ها در کشورهای در حال توسعه ظرفیت‌سازی، تأمین منابع مالی کافی برای توسعه رهیافت‌های نوین، اقلان کشاورزان در به‌کارگیری پیش‌بینی‌های به‌هنگام هواشناسی و توزیع دقیق اطلاعات است. راهبردهای نوین طیف وسیعی از تغییر الگوی کشت در مزرعه تا مدیریت حوزه آبریز را شامل می‌شود. بنا به تعریف، امنیت غذایی عبارت است از وضعیتی که در آن، همه مردم به‌هنگام امکان دسترسی فیزیکی، اجتماعی و اقتصادی به مواد غذایی کافی برای تأمین نیازهای غذایی خود برای یک زندگی سالم و فعال داشته باشند. تغییر اقلیم بر چهار جنبه مهم امنیت غذایی یعنی فراهمی، پایداری، دسترسی و استفاده تأثیر می‌گذارد. توجه اصلی در مدیریت آب کشاورزی معطوف به تولیدات غذایی است که در آن توزیع به‌هنگام و قابل اعتماد آب ضرورت دارد. مدیریت آب که در بر-گیرنده مؤلفه‌های آبیاری، زهکشی، حفاظت و کنترل آب می‌باشد، به پایداری تولید از طریق حفظ شرایط خاک نزدیک به حد بهینه برای رشد گیاهان کمک می‌کند. آبیاری نیز امکان کشت گیاه در شرایط کمبود یا پراکندگی بارش را فراهم کرده و استمرار تولید گیاهان با ارزش و خطرپذیر باغی را در کشورهای در حال توسعه و نیمه خشک به‌ویژه در آسیا تضمین می‌کند. در شرایط تغییر اقلیم راهبردهای تأمین امنیت غذایی به مراتب پیچیده‌تر می‌شود. با افزایش تدریجی دما در اکثر مناطق خشک و نیمه خشک جهان، نیاز آبی افزایش یافته و در صورت همراهی با کاهش بارندگی، جستجوی آب بیشتر برای آبیاری و تضمین امنیت غذایی یک چالش گریزناپذیر خواهد بود و همزمان منابع تأمین آب برای آبیاری در بسیاری از مناطق، کمتر و پراکنده‌تر شده و در نتیجه دسترسی معقول و عادلانه به منابع پایدار و قابل اتکا برای تأمین غذا کاهش می‌یابد. از طرفی کشاورزی فاریاب تنها در ۲۰ درصد از اراضی کشاورزی دنیا انجام می‌شود و تلاش برای جایگزین کردن منابع جدید آبی در مزرعه فشار فزاینده‌ای بر دیگر بخش‌ها و زیست بوم-های آبی که غذای بخش بزرگی از خانوارها را تأمین می‌کند وارد خواهد کرد و امنیت غذایی محدودتر و دشوارتر خواهد شد. راه چاره برای پاسخ به این سناریوی نه‌چندان دور از ذهن، پیشبرد روش‌های تحقیقاتی است که تولید بیشتر با آب کمتر را امکان‌پذیر سازد. تا بتوان فواید مصرف آب را به نحو خردمندانه‌تری بین کاربران توزیع کرد. در این میان سهم آب بخش کشاورزی در رقابت با سایر مصارف پر ارزش‌تر یا ملاحظات زیست محیطی قطعاً کاهش خواهد یافت. هواشناسی کشاورزی در دهه‌های آتی ماموریت و جایگاه جدیدی پیش رو دارد و آن مشارکت در مدیریت آب کشاورزی سازگار با تغییر اقلیم و پدیده‌های فرین جوی است. نشریه هواشناسی کشاورزی برگزاری نشست‌های تخصصی در پاییز و زمستان ۹۳ با هدف بازنگری در الگوهای مدیریت آب در مزرعه، طراحی سامانه‌های آبیاری و مدیریت دیم‌زارها از منظر تغییر اقلیم و پیامدهای آن توسط وزارتخانه‌های جهاد کشاورزی و نیرو با حمایت دانشگاه تهران را مثبت می‌داند و آمادگی خود را برای مشارکت و انتشار یافته‌های نوین همه پژوهشگران ارجمند در مباحث مرتبط با "بهینه‌سازی مصرف آب با رویکرد تغییر اقلیم" اعلام می‌دارد.

### هیأت تحریریه



## مقایسه مقادیر مشاهداتی بارش و برآوردهای ماهواره TRMM در استان فارس

امین شیروانی<sup>۱\*</sup>، الهام فخاری زاده شیرازی<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۶/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۱/۲۵

### چکیده

متغیر بارش نقشی کلیدی در مطالعات هیدرومتئورولوژی و کشاورزی دارد. به دلیل تغییرپذیری زیاد این کمیت در مکان و زمان، پایش آن در مقیاس‌های کوچک به وسیله ایستگاه‌های زمینی بسیار دشوار بوده و از این رو، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای روشی توصیه شده برای دستیابی به داده‌هایی با تفکیک بالاست. قبل از استفاده از این داده‌ها، بایستی دقت زمانی و مکانی آن‌ها ارزیابی شود. در مطالعه حاضر، داده‌های بارش روزانه ۱۲ ایستگاه همدیدی و ۳۷ ایستگاه باران‌سنجی برای ارزیابی محصول نسخه ۷ ماهواره TRMM با مقیاس مکانی  $0.25^\circ \times 0.25^\circ$  در استان فارس طی دوره ۲۰۱۱-۱۹۹۸ مورد استفاده قرار گرفت. ضریب همبستگی پیرسون، میانگین، میانه، واریانس، دامنه میان‌چارکی، نرمال شده جذر میانگین توان دوم خطا و اختلاف میانگین برای مقیاس‌های زمانی روزانه، ماهانه، فصلی و سالانه محاسبه و تحلیل شد. نتایج نشان داد که به طور کلی، همبستگی معنی‌داری در سطح پنج درصد بین داده‌های بارش زمینی و ماهواره‌ای در بیشتر مناطق استان برای همه مقیاس‌های زمانی وجود دارد به طوری که مقدار آن برای همه ایستگاه‌های همدیدی (به جز اقلید) و باران‌سنجی (به جز ۶ ایستگاه) در مقیاس سالانه به ترتیب بین ۰/۸ تا ۰/۹۵ و ۰/۶۴ تا ۰/۹۳ و برای مقیاس ماهانه به ترتیب بین ۰/۶۴ تا ۰/۹۶ و ۰/۵ تا ۰/۹ بود. کمترین و بیشترین ضریب همبستگی پیرسون به ترتیب در مقیاس روزانه و ماهانه مشاهده شد. مقدار نرمال شده جذر میانگین توان دوم خطا در مقیاس‌های سالانه، ماهانه و روزانه به ترتیب برابر با ۰/۱۲ تا ۰/۹۲، ۰/۲۱ تا ۰/۴ و ۰/۷۹ تا ۱/۹۱ بود که کمترین و بیشترین آن در قسمت‌های غربی و جنوب شرقی استان مشاهده شد. در قسمت‌های شمال غربی استان که مقدار بارش نیز زیاد می‌باشد، مقدار اختلاف میانگین بارش مشاهده شده و برآوردی ماهواره برای تمامی مقیاس‌های زمانی مثبت بود. همچنین، برای مناطق شرقی که میزان بارش کم می‌باشد، مقادیر منفی اختلاف میانگین مشاهده شد. نتایج آزمون t دو نمونه‌ای نشان داد که اختلاف بین میانگین بارش مشاهده شده و ماهواره‌ای برای ماه‌های تیر در ۲۹ ایستگاه در سطح پنج درصد معنی‌دار نمی‌باشد. همچنین بر اساس نتایج آزمون F واریانس بارش مشاهده شده و ماهواره‌ای برای ماه‌های تیر در ۳۳ ایستگاه در سطح پنج درصد برابر است.

واژه‌های کلیدی: بارش، ماهواره TRMM، فارس

### مقدمه

حدی بارش در طول دوران‌های مختلف بر مسایل اجتماعی و اقتصادی نیز تأثیرگذار بوده است. از این رو، پایش بارش در مقیاس زمانی کوتاه‌مدت و مقیاس مکانی کوچک نقش مهمی در مدیریت منابع آب دارد. ایستگاه‌های همدیدی (سینوپتیک) و باران‌سنجی موجود به خوبی در مناطق مختلف توزیع نشده‌اند و فاصله آن‌ها براساس قوانین خاصی نیست. همچنین بر روی آب‌ها، دریاها و دریاچه‌ها شبکه همدیدی و باران‌سنجی موجود نمی‌باشد به طوری که برای

بارش یک پارامتر بسیار مهم در چرخه هیدرولوژی است که زندگی بدون آن امکان‌پذیر نیست. تغییرات زمانی و مکانی زیاد این پارامتر باعث شده که آن را تبدیل به پارامتر بحث‌برانگیز در مدل‌های جوی- اقلیمی کند. نوسان‌های

<sup>۱</sup> استادیار بخش مهندسی آب و مرکز پژوهش‌های جوی اقیانوسی،

دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، ایران

<sup>۲</sup> دانشجوی دکتری هواشناسی کشاورزی، بخش مهندسی آب، دانشکده

کشاورزی، دانشگاه همدان، ایران

(\* نویسنده مسئول: am\_shirvani@hotmail.com)

سنسورها است. این ماهواره برای مأموریت فضایی مشترک بین سازمان فضایی و هوانوردی ملی آمریکا<sup>۶</sup> و آژانس اکتشافات هوا فضای ژاپن<sup>۷</sup> طراحی شده و هدف آن نظارت و مطالعه بارش است. ماهواره TRMM در ۲۷ نوامبر ۱۹۹۷ در یک مدار تقریباً دایره‌ای در ارتفاع ۳۵۰ کیلومتری با یک زاویه میل ۳۵ درجه نسبت به استوا با دوره گردش زمانی ۹۱/۵ دقیقه به فضا پرتاب شده است (هافمن و بولین، ۲۰۱۲)<sup>۸</sup> که پس از پرتاب این ماهواره چندین نسخه از داده‌ها تولید شده است. کامرو و همکاران<sup>۹</sup> (۲۰۰۰) به بررسی نسخه‌های مختلف TRMM در طول ۲ سال پس از پرتاب ماهواره پرداختند، آن‌ها نشان دادند که نسخه ۴ این ماهواره به اندازه ۴۰ درصد با مقادیر بارش اندازه‌گیری‌های زمینی در منطقه گرمسیری مغایرت دارد که در نسخه ۵ این خطا کمتر شده و به ۲۴ درصد رسیده است. پژوهش‌های زیادی برای صحت‌سنجی و مقایسه داده‌های بارش ماهواره‌ای با داده‌های زمینی و رادار صورت پذیرفته است. ماساناگا و همکاران<sup>۱۰</sup> (۲۰۰۲) داده‌های بارندگی سنجنده میکروویو TRMM و بارش حاصل از رادار را مقایسه نمودند. نتایج نشان داد که رادار، داده‌های آب قابل بارش را بیشتر از TRMM در عرض‌های میانی و در فصل زمستان تخمین می‌زند و TRMM میزان حداکثر بارندگی را نسبت به رادار بیشتر تخمین می‌زند. در خصوص تخمین بارش‌های سنگین نتایج متفاوتی به دست آمده است. برای نمونه، هافمن و همکاران<sup>۱۱</sup> (۲۰۰۷) نشان دادند که دقت عملکرد این ماهواره در پدیده‌های سنگین مانند بارندگی‌های شدید نسبت به پدیده‌های سبک و کم، بیشتر است. اما چون گاموانگ<sup>۱۲</sup> (۲۰۰۸) در پژوهشی داده‌های بارش زمینی تایلند را با داده‌های بارش TRMM مقایسه نمود و نتیجه گرفت که داده‌های TRMM در تخمین بارش‌های سنگین فصلی دقت کمتری دارد. اسلام و یودا<sup>۱۳</sup> (۲۰۰۷) در تحقیقی که در منطقه بنگلادش بر روی داده‌های TRMM برای تعیین

اندازه‌گیری باران در این مناطق که آب موجود است، از ترکیب داده‌های ساحلی و جزیره‌ای استفاده می‌شود. پایش بارش در این مناطق بر دقت اندازه‌گیری بر روی این منابع عظیم چرخه هیدرولوژی تأثیرگذار است. بنابراین تعداد و پراکندگی مکانی نامناسب ایستگاه‌های همدمیدی و باران‌سنجی و عدم پایش در فاصله زمانی کوتاه از مشکل‌های همیشگی کاربران داده‌های بارش است. به علاوه در صورت موجود بودن آمار، به دلایل مختلفی از جمله حساسیت دستگاه، اشتباه کاربر، خرابی دستگاه و غیره، آمارها از دقت خوبی برخوردار نیستند. داده‌های رادار، منابع مناسبی برای کالیبره کردن داده‌های باران‌سنجی می‌باشد و توزیع بارندگی را تخمین می‌زند. رادار، بارندگی را در محدوده ۱۰۰-۸۰ کیلومتری مجاور خود با دقت مناسبی تخمین می‌زند (هادلو، ۱۹۷۹)<sup>۱</sup>. کالیبراسیون داده‌های باران‌سنجی و رادار بسیار گران و هزینه‌بر می‌باشد و برای تعیین توزیع بارندگی جهانی مقرون به صرفه نمی‌باشد. بنابراین تلاش‌هایی برای استفاده از امواج مادون قرمز<sup>۲</sup> و مرئی<sup>۳</sup> جهت تخمین بارندگی انجام شده است. امروزه ماهواره‌ها با بهره‌گیری از امواج میکروویو فعال و غیرفعال رادار و سنسورهای عمل‌گرا در نور مرئی و مادون قرمز، قادر به تخمین بارش در مقیاس زمانی کوتاه مدت برای کل دنیا می‌باشند. ماهواره TRMM<sup>۴</sup> اولین ماهواره‌ای است که بارش در سه بعد بررسی می‌کند: ۱- اندازه‌گیری شدت و توزیع باران ۲- تخمین عمق طوفان ۳- اندازه‌گیری آب معادل ذوب برف. در معرفی و شناخت داده‌های این ماهواره، کامرو و همکاران<sup>۵</sup> (۱۹۹۸) خدمات ارزنده‌ای انجام داده‌اند. این دو محقق به بررسی و معرفی بسته ماهواره‌ای TRMM پرداختند. نتایج تحقیقات آن‌ها به‌عنوان راهنمای استفاده از داده‌های این ماهواره می‌تواند در اختیار بهره‌برداران قرار گیرد. آن‌ها ادعا داشتند که این سیستم چند ماهواره‌ای متشکل از امواج میکروویو غیرفعال، رادار و امواج رادیومتری مرئی و مادون قرمز است که فعالیت آن پایش بارش، کالیبراسیون و تولید داده برای هر کدام از

<sup>6</sup> National Aeronautics and Space Administration,(NASA)

<sup>7</sup> Japan Aerospace Exploration Agency

<sup>8</sup> Huffman & Bolvin

<sup>9</sup> Kummerow et al.

<sup>10</sup> Masunaga et al.

<sup>11</sup> Huffman

<sup>12</sup> Chokngamwong

<sup>13</sup> Islam & Uyeda

<sup>1</sup> Hud low

<sup>2</sup> Infrared (IR)

<sup>3</sup> Visible (VIS)

<sup>4</sup> Tropical Rainfall Measuring mission

<sup>5</sup> Kummerow & Barnes

پژوهش‌ها بر روی کاربرد داده‌های TRMM در هیدرولوژی به‌منظور محاسبه رواناب و بیلان آب سوق داده شده‌است. لی و همکاران (۲۰۱۲) ضمن مقایسه بارندگی ماهواره TRMM با داده‌های زمینی، مناسب بودن داده‌های TRMM را برای محاسبه بیلان آبی در مدل‌های هیدرولوژی در حوزه آبریز سین‌کیانگ مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج حاکی از مناسب بودن داده‌ها برای مدل‌سازی‌های هیدرولوژی در مقیاس ماهانه و عدم تناسب برای مقیاس روزانه می‌باشد. از نتایج بالا چنین برمی‌آید که می‌توان با تلفیق اطلاعات بارش به‌دست آمده از داده‌های ماهواره‌ای و زمینی محصول جدیدی از بارش به‌دست آورد که به‌لحاظ زمانی و مکانی نسبت به داده‌های اندازه‌گیری زمینی جامع‌تر است. هدف اصلی از انجام تحقیق حاضر مقایسه بارش مشاهده شده در ایستگاه‌های زمینی و بارش برآورد شده ماهواره TRMM در استان فارس برای مقیاس‌های زمانی روزانه، ماهانه، فصلی و سالانه می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه کل استان فارس می‌باشد. این استان به‌طور تقریبی بین مدارهای ۲۷ و ۳۱ درجه عرض شمالی و نصف‌النهارهای ۵۰ و ۵۶ درجه طول شرقی واقع شده است. مساحت استان فارس ۱۲۲۶۰۸ کیلومتر مربع می‌باشد که از این جهت پنجمین استان بزرگ کشور ایران می‌باشد و تقریباً ۸/۱ درصد مساحت کشور را تشکیل می‌دهد. شکل ۱ موقعیت محدوده مورد مطالعه را نمایش می‌دهد.

### داده‌ها

سه مجموعه داده بارش به‌شرح زیر در این پژوهش استفاده می‌شود: ۱- داده‌های روزانه مشاهده شده دوازده ایستگاه همدیدی در استان فارس که از سازمان هواشناسی استان فارس تهیه گردید. ۲- داده‌های روزانه مشاهده شده ۳۷ ایستگاه باران‌سنجی در استان فارس که از سازمان آب منطقه‌ای دریافت شد. داده‌های مفقود هر ایستگاه با استفاده از بیشترین همبستگی با ایستگاه‌های مجاور و میانگین دراز مدت پر شدند. ۳- داده‌های روزانه بارش نسخه ۷ ماهواره

مشخصات اقلیمی باران انجام دادند، گزارش کردند که داده‌های نسخه ۵ در دوره پیش مونسون و مناطق خشک، مقادیر بارندگی را بیشتر و در دوره مونسون و مناطق مرطوب کمتر از مقدار واقعی تخمین می‌زند که در نسخه ۶ این افزایش و کاهش تا حدودی بهبود یافته و به واقعیت نزدیک‌تر است. لی و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۱۲) نشان دادند که در منطقه سین‌کیانگ تخمین بارندگی روزانه توسط ماهواره TRMM بهتر از بارش‌های حدی پاسخ‌گو است. همچنین در مقیاس ماهانه، هرچند ماهواره بارندگی را بیشتر از مقدار واقعی تخمین می‌زند اما همبستگی مناسبی بین داده‌های بارش زمینی و ماهواره‌ای مشاهده گردید (۰/۸۹). در برخی پژوهش‌ها علاوه بر مقایسه داده‌های بارش ماهواره‌ای و زمینی، اقدام به ارائه ضرایب تصحیح و کالیبراسیون داده‌های بارش ماهواره‌ای نیز شده است. به عنوان مثال، آلمازروی<sup>۲</sup> (۲۰۱۱) در منطقه عربستان سعودی در مقیاس روزانه، ماهانه و فصلی ضمن تأیید همبستگی مناسب داده‌های بارش زمینی و ماهواره‌ای (۰/۹) ضریب کالیبراسیونی برای استفاده از داده‌های ماهواره‌ای نیز ارائه داد. کندم<sup>۳</sup> (۲۰۱۱) نیز صحت داده‌های بارش ماهواره TRMM را در کوهستان‌های پرو مورد بررسی قرار داد و ضرایب جمعی و ضربی را برای تصحیح داده‌های ماهواره‌ای پیشنهاد داد. در ایران جوانمرد و همکاران (۲۰۱۰) اقدام به مقایسه بین داده‌های بارندگی شبکه باران‌سنجی ایستگاه‌های زمینی و داده‌های بارندگی ماهواره TRMM نموده‌اند. در این تحقیق از داده‌های TRMM-Level3 در دامنه (۴۵-۲۰ شمالی تا ۶۵-۴۰ درجه شرقی) استفاده شده است. مقایسه ماهانه و سالانه داده‌های ایستگاه‌های همدیدی و ماهواره TRMM در طول دوره آماری ۱۹۹۸-۲۰۰۶ دو الگو در دریای خزر و رشته کوه‌های زاگرس را نشان داد. نتایج این تحقیق بیانگر آن است که ضریب همبستگی پیرسون بین داده‌های بارندگی ایستگاه‌های همدیدی و داده‌های ماهواره‌ای در نواحی رشته کوه‌های زاگرس ۰/۸ و در دریای خزر و نواحی بیابانی ۰/۶ می‌باشد. در سال‌های اخیر

<sup>1</sup> Li et al.

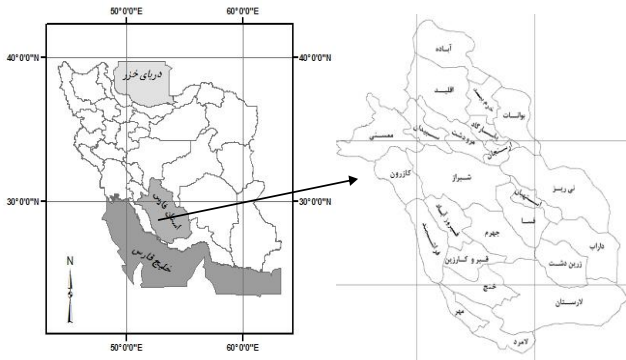
<sup>2</sup> Almazroui

<sup>3</sup> Condom

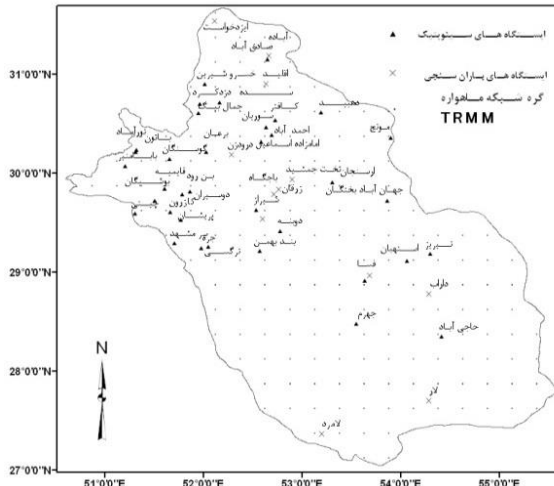
حاصل ضرب انحراف معیار نمونه‌ای دو متغیر X و Y به صورت معادله ۱ به دست می‌آید.

$$r_{xy} = \frac{S_{xy}}{S_x S_y} \quad (1)$$

به طوری که  $S_x$ ،  $S_y$  و  $S_{xy}$  به ترتیب کوواریانس بین X و Y، انحراف معیار X و انحراف معیار Y می‌باشند.



شکل ۱- موقعیت محدوده مورد مطالعه



شکل ۲- موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه و گره‌های متناظر آن‌ها در شبکه TRMM

آستانه معنی‌دار بودن مقدار ضریب همبستگی پیرسون با استفاده از معادله ۲ به دست می‌آید.

$$\left| \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \right| > t_{\alpha/2}(n-2) \quad (2)$$

به طوری که  $\alpha$  سطح معنی‌داری،  $n$  طول دوره آماری مورد مطالعه و  $r$  ضریب همبستگی نمونه‌ای می‌باشد.

TRMM (TRMM\_L3B42Vers7) از سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۲ از پایگاه سازمان فضایی آمریکا استخراج گردید. برای هر ایستگاه زمینی، نزدیک‌ترین گره به آن برای مقایسه انتخاب شد. داده‌های ماهواره‌ای از اول ژانویه ۱۹۹۸ تا کنون موجود می‌باشد، بنابراین شروع دوره آماری مورد مطالعه بر پایه داده‌های ماهواره‌ای از اول ژانویه ۱۹۹۸ در نظر گرفته شده و پایان دوره آماری نیز بر پایه داده‌های زمینی در نظر گرفته شده است. سری‌های زمانی روزانه (کل روزها و روزهای ماه‌های با بارش)، ماهانه (ماه‌های با بارش و کل ماه‌ها) و سالانه ایستگاه‌های زمینی و ماهواره‌ای به طور جداگانه ساخته شد. در این تحقیق ماه اکتبر و مارس به ترتیب به عنوان آغاز و پایان بارش در نظر گرفته شد. از اکتبر تا مارس نیز به عنوان ماه‌های با بارش (ماه‌های تر) در نظر گرفته شد. موقعیت گره‌ها، ایستگاه‌های همبندی و باران‌سنجی در شکل ۲ آورده شده و مشخصات تمامی ایستگاه‌های زمینی و دوره آماری هر یک از ایستگاه‌ها در جدول ۱ آورده شده است.

### روش‌ها

#### نمودار سری‌های زمانی

نخستین مرحله در تجزیه و تحلیل مجموعه‌ای از داده‌ها که در گذر زمان ثبت شده است، رسم نمودار سری‌های زمانی مربوط می‌باشد. این نمودارها خواص یک سری را آشکار و مقایسه مقادیر واقعی و تخمین زده شده را امکان‌پذیر می‌کند. بنابراین از نمودار سری‌های زمانی داده‌های مشاهده شده و ماهواره‌ای برای بررسی اولیه چگونگی تغییرات هم‌زمان این داده‌ها استفاده شد. همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود در غرب جهرم و فسا، ایستگاه زمینی وجود ندارد در حالی که گره در آن مناطق وجود دارد.

#### ضریب همبستگی پیرسون

از روش‌های آماری مانند ضریب همبستگی پیرسون ( $r_{xy}$ ) برای مقایسه بارش زمینی و ماهواره‌ای استفاده گردید. ضریب همبستگی پیرسون از تقسیم کوواریانس نمونه‌ای به

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه و گره‌های متناظر با آن‌ها

نام ایستگاه	طول دوره آماری مورد مطالعه	مختصات گره متناظر		طول دوره آماری مورد مطالعه	نام ایستگاه	مختصات جغرافیایی		مختصات گره متناظر		طول دوره آماری مورد مطالعه	نام ایستگاه	
		عرض شمالی	طول شرقی			عرض شمالی	طول شرقی	عرض شمالی	طول شرقی			عرض شمالی
آباده <sup>۰</sup>	۱۹۹۸-۲۰۱۲	۵۲/۸۷۵	۳۱/۱۲۵	۱۹۹۸-۲۰۱۱	سوریان	۳۱/۲	۵۲/۷	۳۱/۱۲۵	۵۲/۸۷۵	۱۹۹۸-۲۰۱۲	آباده <sup>۰</sup>	
داراب <sup>۰</sup>	۱۹۹۸-۲۰۱۲	۵۴/۳۷۵	۲۸/۸۷۵	۱۹۹۸-۲۰۱۱	صادق آباد	۲۸/۸	۵۴/۳	۲۸/۸۷۵	۵۴/۳۷۵	۱۹۹۸-۲۰۱۲	داراب <sup>۰</sup>	
درودزن <sup>۰</sup>	۱۹۹۸-۲۰۱۲	۵۲/۳۷۵	۳۰/۱۲۵	۱۹۹۸-۲۰۱۱	کافترا	۳۰/۲	۵۲/۳	۳۰/۱۲۵	۵۲/۳۷۵	۱۹۹۸-۲۰۱۲	درودزن <sup>۰</sup>	
اقلید <sup>۰</sup>	۱۹۹۸-۲۰۱۲	۵۲/۶۲۵	۳۰/۸۷۵	۱۹۹۸-۲۰۱۱	گوسنگان	۳۰/۹	۵۲/۶	۳۰/۸۷۵	۵۲/۶۲۵	۱۹۹۸-۲۰۱۲	اقلید <sup>۰</sup>	
فسا <sup>۰</sup>	۱۹۹۸-۲۰۱۲	۵۳/۶۲۵	۲۹/۱۲۵	۱۹۹۸-۲۰۱۱	مونج	۲۹/۰	۵۳/۷	۲۹/۱۲۵	۵۳/۶۲۵	۱۹۹۸-۲۰۱۲	فسا <sup>۰</sup>	
ایزدخواست <sup>۰</sup>	۱۹۹۸-۲۰۱۲	۵۲/۱۲۵	۳۱/۶۲۵	۱۹۹۸-۲۰۱۱	نرگسی	۳۱/۵	۵۲/۱	۳۱/۶۲۵	۵۲/۱۲۵	۱۹۹۸-۲۰۱۲	ایزدخواست <sup>۰</sup>	
لامرد <sup>۰</sup>	۱۹۹۸-۲۰۱۲	۵۳/۱۲۵	۲۷/۳۷۵	۱۹۹۸-۲۰۱۱	نورآباد	۲۷/۴	۵۳/۲	۲۷/۳۷۵	۵۳/۱۲۵	۱۹۹۸-۲۰۱۲	لامرد <sup>۰</sup>	
لار <sup>۰</sup>	۱۹۹۸-۲۰۱۲	۵۴/۳۷۵	۲۷/۸۷۵	۱۹۹۸-۲۰۱۱	جره	۲۷/۷	۵۴/۳	۲۷/۸۷۵	۵۴/۳۷۵	۱۹۹۸-۲۰۱۲	لار <sup>۰</sup>	
شیراز <sup>۰</sup>	۱۹۹۸-۲۰۱۲	۵۲/۶۲۵	۲۹/۶۲۵	۱۹۹۸-۲۰۱۰	کازرون	۲۹/۵	۵۲/۶	۲۹/۶۲۵	۵۲/۶۲۵	۱۹۹۸-۲۰۱۲	شیراز <sup>۰</sup>	
زرقان <sup>۰</sup>	۱۹۹۸-۲۰۱۲	۵۲/۶۲۵	۲۹/۸۷۵	۱۹۹۸-۲۰۱۰	بند بهمن	۲۹/۸	۵۲/۷	۲۹/۸۷۵	۵۲/۶۲۵	۱۹۹۸-۲۰۱۲	زرقان <sup>۰</sup>	
باچگاه <sup>۰</sup>	۱۹۹۸-۲۰۱۲	۵۲/۸۷۵	۲۹/۸۷۵	۱۹۹۸-۲۰۱۰	بابامنیر	۲۹/۸	۵۲/۸	۲۹/۸۷۵	۵۲/۸۷۵	۱۹۹۸-۲۰۱۲	باچگاه <sup>۰</sup>	
تخت جمشید <sup>۰</sup>	۱۹۹۹-۲۰۱۰	۵۲/۸۷۵	۲۹/۸۷۵	۱۹۹۸-۲۰۱۰	باتون	۲۹/۹	۵۲/۹	۲۹/۸۷۵	۵۲/۸۷۵	۱۹۹۹-۲۰۱۰	تخت جمشید <sup>۰</sup>	
استهبان	۱۹۹۸-۲۰۱۱	۵۴/۱۲۵	۲۹/۱۲۵	۱۹۹۸-۲۰۱۰	برغان	۲۹/۱	۵۴/۱	۲۹/۱۲۵	۵۴/۱۲۵	۱۹۹۸-۲۰۱۱	استهبان	
آباده تشک	۱۹۹۸-۲۰۱۱	۵۴/۶۲۵	۲۹/۸۷۵	۱۹۹۸-۲۰۱۱	بن رود	۲۹/۸	۵۴/۷	۲۹/۸۷۵	۵۴/۶۲۵	۱۹۹۸-۲۰۱۱	آباده تشک	
حاجی آباد	۱۹۹۸-۲۰۱۱	۵۴/۳۷۵	۲۸/۳۷۵	۱۹۹۸-۲۰۱۱	بوشیگان	۲۸/۴	۵۴/۴	۲۸/۳۷۵	۵۴/۳۷۵	۱۹۹۸-۲۰۱۱	حاجی آباد	
چهرم	۱۹۹۸-۲۰۱۱	۵۳/۶۲۵	۲۸/۶۲۵	۱۹۹۸-۲۰۱۰	پریشان	۲۸/۵	۵۳/۶	۲۸/۶۲۵	۵۳/۶۲۵	۱۹۹۸-۲۰۱۱	چهرم	
ارسنجان	۱۹۹۸-۲۰۱۱	۵۳/۳۷۵	۲۹/۸۷۵	۱۹۹۸-۲۰۱۰	جهان‌آباد بختگان	۲۹/۹	۵۳/۳	۲۹/۸۷۵	۵۳/۳۷۵	۱۹۹۸-۲۰۱۱	ارسنجان	
احمد آباد	۱۹۹۸-۲۰۱۱	۵۲/۶۲۵	۳۰/۳۷۵	۱۹۹۸-۲۰۱۰	چیتی	۳۰/۴	۵۲/۷	۳۰/۳۷۵	۵۲/۶۲۵	۱۹۹۸-۲۰۱۱	احمد آباد	
امامزاده اسماعیل	۱۹۹۸-۲۰۱۱	۵۲/۶۲۵	۳۰/۳۷۵	۱۹۹۸-۲۰۱۰	دزدکرد	۳۰/۳	۵۲/۶	۳۰/۳۷۵	۵۲/۶۲۵	۱۹۹۸-۲۰۱۱	امامزاده اسماعیل	
جمال بیگ	۱۹۹۸-۲۰۱۱	۵۲/۱۲۵	۳۰/۶۲۵	۱۹۹۸-۲۰۱۰	دوبنه	۳۰/۶	۵۲/۰	۳۰/۶۲۵	۵۲/۱۲۵	۱۹۹۸-۲۰۱۱	جمال بیگ	
خسروشیرین	۱۹۹۸-۲۰۱۱	۵۲/۱۲۵	۳۰/۸۷۵	۱۹۹۸-۲۰۱۱	سر مشهد	۳۰/۹	۵۲/۰	۳۰/۸۷۵	۵۲/۱۲۵	۱۹۹۸-۲۰۱۱	خسروشیرین	
دهبید	۱۹۹۸-۲۰۱۱	۵۳/۱۲۵	۳۰/۶۲۵	۱۹۹۸-۲۰۱۰	قایمیه	۳۰/۶	۵۳/۲	۳۰/۶۲۵	۵۳/۱۲۵	۱۹۹۸-۲۰۱۱	دهبید	
دوسیران	۱۹۹۸-۲۰۱۱	۵۱/۸۷۵	۲۹/۸۷۵	۱۹۹۸-۲۰۱۱	فسا	۲۹/۸	۵۱/۸	۲۹/۸۷۵	۵۱/۸۷۵	۱۹۹۸-۲۰۱۱	دوسیران	
سده	۱۹۹۸-۲۰۱۱	۵۲/۱۲۵	۳۰/۶۲۵	۱۹۹۸-۲۰۱۱	شیراز	۳۰/۷	۵۲/۲	۳۰/۶۲۵	۵۲/۱۲۵	۱۹۹۸-۲۰۱۱	سده	
				۱۹۹۸-۲۰۱۱	نیریز							

\*ایستگاه‌های سازمان هواشناسی

## نتایج و بحث

### نمودارهای سری زمانی و ضرایب همبستگی

نمودار سری زمانی بارش مشاهده‌ای و ماهواره‌ای در مقیاس سالانه و ماهانه در ایستگاه همدیدی شیراز به ترتیب در شکل‌های ۳ و ۴ رسم شد. همان‌طور که در شکل ۳ دیده می‌شود نوسان‌های سالانه بارش ایستگاهی و ماهواره‌ای مشابه می‌باشد، به طوری که در سال ۲۰۰۴ که بارش ایستگاهی به بیشینه مقدار خود می‌رسد، بارش ماهواره‌ای نیز به بیشینه مقدار خود می‌رسد. در شکل ۴ نیز مشاهده می‌شود که رفتار سری‌های زمانی بارش ماهانه ایستگاه همدیدی شیراز و بارش ماهواره‌ای مشابه می‌باشد. این نمودارها بیان‌گر الگوی مشابه بارش مشاهده‌ای و ماهواره‌ای می‌باشند. با توجه به شکل‌های ۳ و ۴ می‌توان گفت که رفتار هر دو سری زمانی در مقیاس‌های سالانه و ماهانه بسیار نزدیک می‌باشند و با افزایش (کاهش) بارش ایستگاهی، بارش ماهواره‌ای نیز افزایش (کاهش) می‌یابد. نکته دیگری که از نمودار قابل درک است این است که در اغلب سال‌ها ماهواره مقدار بارش را کم‌تر از مقدار واقعی تخمین زده است. نتایج ضریب همبستگی پیرسون بین داده‌های بارش زمینی و ماهواره‌ای در جدول ۲ ارائه شده است. همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود ضرایب همبستگی بین مقادیر مشاهده شده بارش ایستگاه‌های همدیدی و ماهواره‌ای در مقیاس سالانه از دقت بالایی برخوردار می‌باشد، به طوری که مقادیر این ضرایب (به جز ایستگاه همدیدی اقلید) بین ۰/۸ تا ۰/۹۵ می‌باشد و همگی در سطح پنج درصد معنی‌دار می‌باشند. همچنین ضرایب همبستگی بین مقادیر مشاهده شده بارش ایستگاه‌های باران‌سنجی و ماهواره‌ای در مقیاس سالانه نیز از دقت خوبی برخوردار می‌باشد، به طوری که مقادیر این ضرایب (به جز شش ایستگاه) برای ۳۱ ایستگاه دیگر باران‌سنجی بین ۰/۵۶ تا ۰/۹۶ می‌باشند. در مقیاس ماهانه (ماه‌های با بارش و تمامی ماه‌ها)، مقادیر ضرایب همبستگی برای ایستگاه‌های همدیدی بین ۰/۶۴ تا ۰/۹۳ بود که در سطح پنج درصد معنی‌دار بودند. همچنین مقادیر ضریب همبستگی پیرسون برای ایستگاه‌های باران‌سنجی (به جز ایستگاه استهبان) در مقیاس ماهانه بین ۰/۵ تا ۰/۹۸ بود که همگی در سطح پنج درصد معنی‌دار بودند. در مقیاس

ضریب همبستگی پیرسون برای سه مقیاس، روزانه، ماهانه و سالانه استفاده شد که در مقیاس‌های روزانه و ماهانه، علاوه بر کل دوره آماری، روزها و ماه‌های با بارش سال نیز تفکیک شدند و ضریب همبستگی پیرسون آن‌ها محاسبه گردید.

### میانگین، واریانس، میانه و دامنه بین چارکی

در این تحقیق از میانگین<sup>۱</sup> و میانه<sup>۲</sup> به عنوان معیارهای تمرکز و از دامنه بین چارکی<sup>۳</sup> که برابر اختلاف بین چارک سوم و اول می‌باشد به عنوان معیار پراکندگی استوار<sup>۴</sup> برای داده‌های مشاهده‌ای و ماهواره‌ای در سه مقیاس زمانی ماهانه (برای ماه‌های اکتبر، نوامبر و دسامبر، ژانویه، فوریه، مارس، آوریل)، فصلی (زمستان، پاییز و بهار) و سالانه استفاده شد. به دلیل آن‌که معیار دامنه بین چارکی نسبت به مقادیر حدی حساس نمی‌باشد به جای واریانس از آن استفاده شد. این ملاک‌ها به طور جداگانه برای موارد ذکر شده محاسبه گردید. برای مقایسه برابری واریانس داده‌های ایستگاه زمینی و نزدیک‌ترین گره به آن از آزمون F استفاده شد. همچنین از آزمون t دو نمونه‌ای برای مقایسه میانگین‌ها استفاده شد.

### ارزیابی داده‌های تخمین زده شده

برای ارزیابی دقت برآوردها از نرمال شده جذر میانگین مربعات خطا<sup>۵</sup> (NRMSE) و میانگین اختلاف<sup>۶</sup> بین مشاهده و تخمین (MD) مطابق معادله‌های ۳ و ۴ استفاده شده است.

$$NRMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n O_i^2}} \quad (3)$$

$$MD = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)}{n} \quad (4)$$

که در آن‌ها  $O_i$  مقادیر مشاهده شده و  $P_i$  مقادیر تخمین هستند و  $n$  تعداد داده‌های مورد مطالعه می‌باشد.

<sup>1</sup> Average

<sup>2</sup> Median

<sup>3</sup> Interquartile range

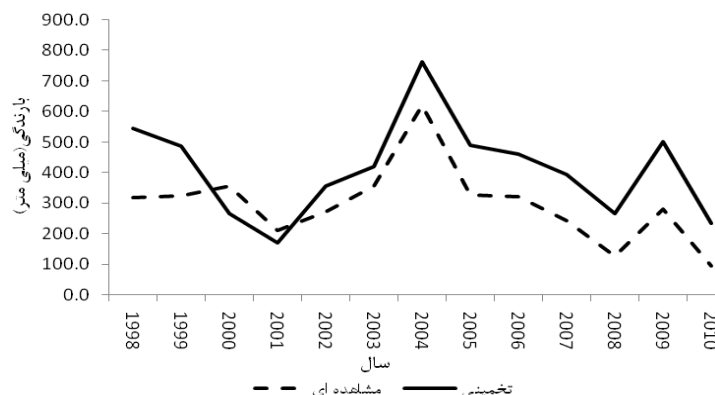
<sup>4</sup> Robust

<sup>5</sup> Normalized Root Mean Square Error

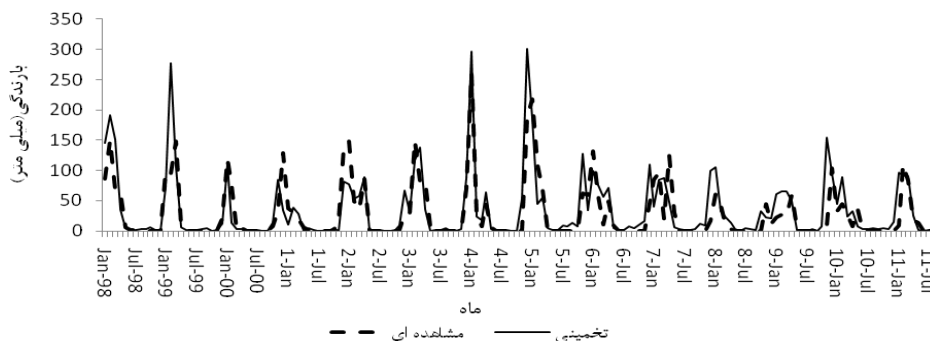
<sup>6</sup> Mean difference

روزهای ماه‌های با بارش) ماهانه (کل ماه‌ها و ماه‌های بارش) و سالانه در شکل ۵ آورده شده است. در مقایسه میانگین ضرایب همبستگی در استان، در مقیاس‌های مختلف، کل ماه‌ها بیشترین ضرایب همبستگی پیرسون را داشتند. به‌طور کلی بیشترین ضرایب همبستگی در مناطق غرب استان و کمترین آن در شرق و جنوب شرقی استان مشاهده می‌شود. اما در مقیاس سالانه علاوه بر غرب استان مناطق جنوب غربی نیز از همبستگی بالایی برخوردارند.

روزانه نیز مقادیر ضرایب همبستگی پیرسون برای ایستگاه‌های همدیدی بیشتر از ایستگاه‌های باران‌سنجی بود (جدول ۲). در مجموع بهترین ضرایب همبستگی در مقیاس ماهانه و کمترین آن در مقیاس روزانه مشاهده گردید. تفاوت معنی‌داری بین ضرایب همبستگی کل روزها و روزهای بارش و همچنین کل ماه‌ها و ماه‌های بارش مشاهده نگردید. تغییرات ضرایب پیرسون در روزها و ماه‌های بارش و کل روزها تقریباً از یک الگو تبعیت می‌کنند. نقشه مکانی ضرایب همبستگی در هر سه مقیاس زمانی روزانه (کل روزها و



شکل ۳- نمودار سری زمانی بارش سالانه مشاهده‌ای و تخمین زده شده به‌وسیله ماهواره برای ایستگاه شیراز



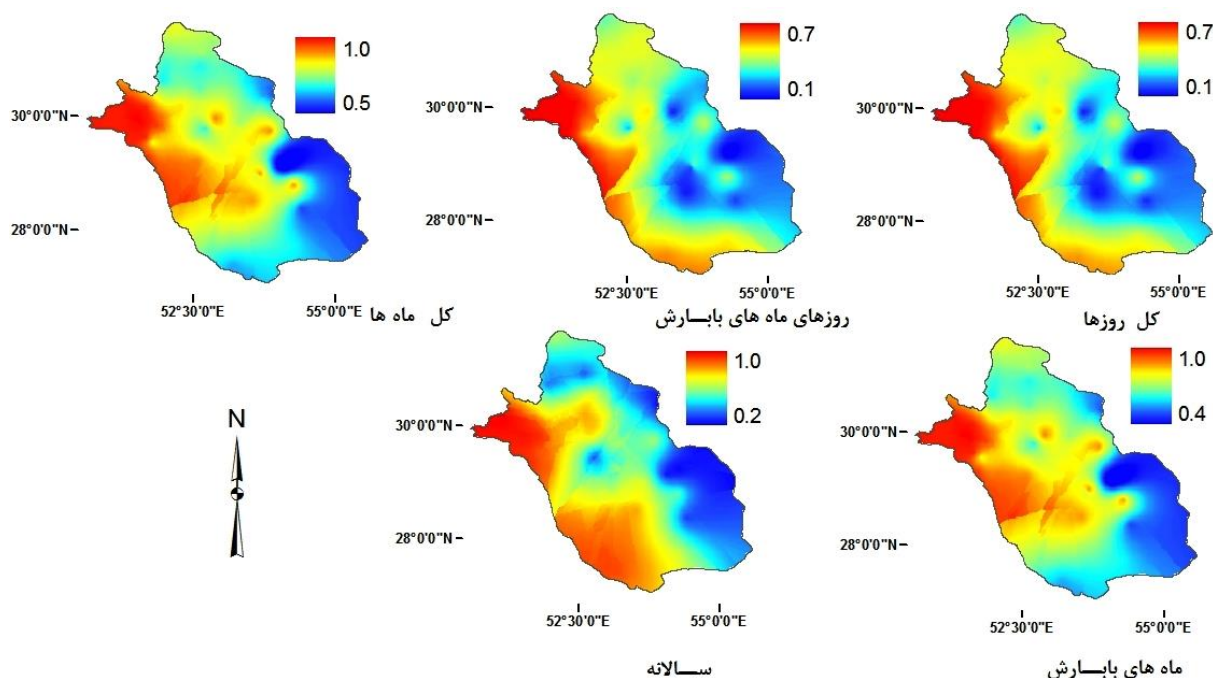
شکل ۴- نمودار سری زمانی بارش ماهانه مشاهده‌ای و تخمین زده شده به‌وسیله ماهواره برای ایستگاه شیراز

داده‌های میانه اکتفا گردید. همچنین برای آن که تعداد کمتری نقشه استفاده شود، از نقشه اختلاف بین میانه داده‌های زمینی و ماهواره‌ای که در شکل ۶ رسم شد، استفاده شد. این شکل نشان می‌دهد که به‌طور کلی در قسمت‌های غرب و شمال استان میانه داده‌های TRMM بیشتر از میانه داده‌های واقعی بوده است. این الگو در تحلیل نقشه‌های پراکنش مکانی اختلاف دامنه بین چارکی داده‌های بارش ماهواره‌ای و زمینی (شکل ۷) نیز مشاهده شد.

**مقایسه میانگین، واریانس، میانه و دامنه بین چارکی**  
مقادیر میانگین، میانه و دامنه بین چارکی برای تمامی گروه‌ها، ایستگاه‌های همدیدی و باران‌سنجی برای مقیاس‌های زمانی روزانه، ماهانه و سالانه به‌طور جداگانه محاسبه شد. مقایسه داده‌های میانگین و میانه مشابه بود که در این قسمت نتایج مربوط به میانه آورده می‌شود. به‌دلیل آن که معیار میانه نسبت به میانگین به مقادیر حدی حساس نمی‌باشد و برای مقایسه مناسب می‌باشد به ارائه نتایج

جدول ۲- ضرایب همبستگی پیرسون بین داده‌های بارش زمینی و ماهواره‌ای

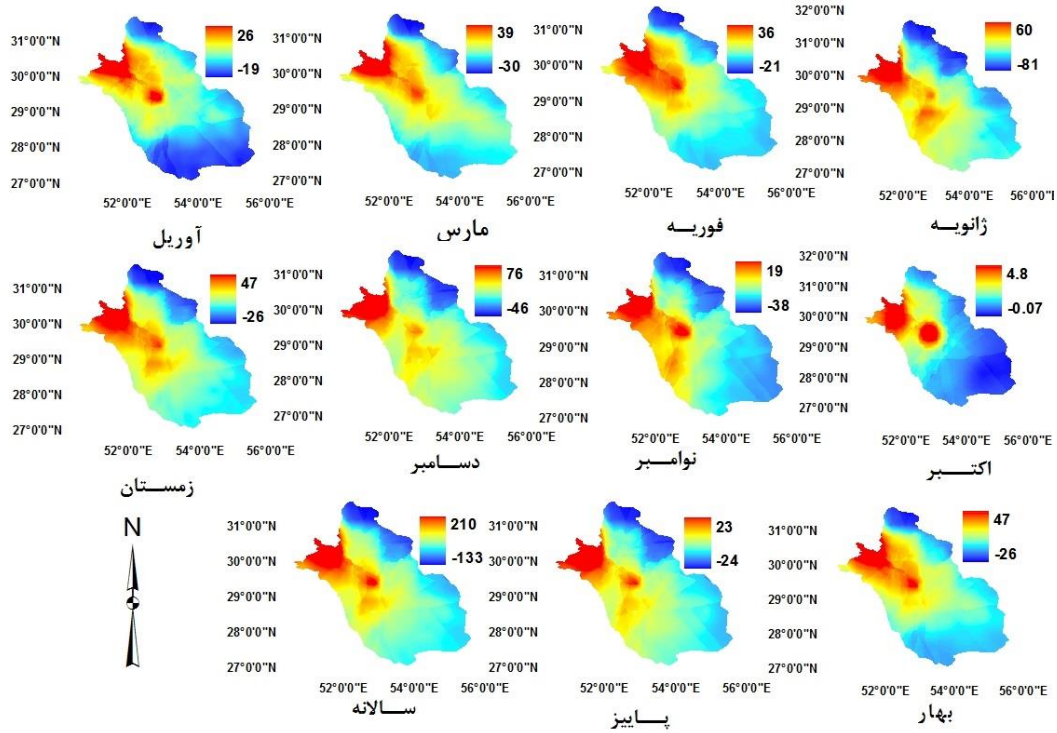
روزانه		ماهانه		روزانه		ماهانه		سالانه	ایستگاه
کل روزها	روزهای ماهی با بارش	کل ماهها	ماه‌های با بارش	کل روزها	روزهای ماهی با بارش	کل ماهها	ماه‌های با بارش		
۰/۳۸	۰/۳۳	۰/۷۷	۰/۷۰	۰/۴۷	۰/۴۷	۰/۷۷	۰/۷۴	۰/۸۰	آباده*
۰/۴۴	۰/۴۴	۰/۸۱	۰/۷۸	۰/۵۶	۰/۵۶	۰/۹۳	۰/۹۱	۰/۹۵	داراب*
۰/۴۴	۰/۴۱	۰/۸۲	۰/۷۳	۰/۵۳	۰/۵۲	۰/۸۹	۰/۸۴	۰/۸۶	درودزن*
۰/۶۴	۰/۶۴	۰/۹۶	۰/۹۵	۰/۴۸	۰/۴۵	۰/۷۸	۰/۶۸	۰/۴۱	اقلید*
۰/۳۰	۰/۲۴	۰/۶۸	۰/۵۹	۰/۶۱	۰/۶۰	۰/۹۵	۰/۹۳	۰/۹۱	فسا*
۰/۵۴	۰/۵۴	۰/۹۲	۰/۹۰	۰/۳۳	۰/۳۴	۰/۸۵	۰/۸۱	۰/۸۳	ایزدخواست*
۰/۵۹	۰/۵۹	۰/۹۶	۰/۹۵	۰/۵۶	۰/۵۶	۰/۶۸	۰/۶۴	۰/۹۴	لامرد*
۰/۵۷	۰/۵۶	۰/۹۱	۰/۸۸	۰/۵۰	۰/۵۱	۰/۷۱	۰/۶۸	۰/۸۴	لار*
۰/۶۳	۰/۶۳	۰/۹۷	۰/۹۵	۰/۶۱	۰/۶۰	۰/۸۳	۰/۸۰	۰/۸۱	شیراز*
۰/۵۷	۰/۵۶	۰/۹۱	۰/۸۹	۰/۵۹	۰/۵۹	۰/۷۱	۰/۶۵	۰/۹۲	زرقان*
۰/۶۴	۰/۶۴	۰/۹۶	۰/۹۵	۰/۴۱	۰/۴۳	۰/۷۶	۰/۸۰	۰/۸۸	باجگاه*
۰/۶۸	۰/۶۸	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۶۰	۰/۵۸	۰/۹۳	۰/۹۱	۰/۹۱	تخت جمشید*
۰/۵۲	۰/۵۱	۰/۸۶	۰/۸۰	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۴۶	۰/۳۷	۰/۲۹	استهبان
۰/۵۹	۰/۵۸	۰/۹۶	۰/۹۴	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۵۹	۰/۵۰	۰/۲۵	آباده تشک
۰/۶۴	۰/۶۴	۰/۹۷	۰/۹۵	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۵۹	۰/۵۷	۰/۳۹	حاجی آباد
۰/۳۹	۰/۳۸	۰/۸۲	۰/۷۸	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۸۹	۰/۸۸	۰/۹۳	جهرم
۰/۵۳	۰/۵۳	۰/۹۲	۰/۹۱	۰/۰۷	۰/۰۶	۰/۷۹	۰/۷۴	۰/۶۳	ارسنجان
۰/۶۵	۰/۶۴	۰/۹۶	۰/۹۵	۰/۴۹	۰/۴۵	۰/۸۲	۰/۷۴	۰/۸۵	احمد آباد
۰/۴۵	۰/۴۳	۰/۷۹	۰/۶۸	۰/۴۲	۰/۳۸	۰/۸۴	۰/۷۶	۰/۸۵	امامزاده اسماعیل
۰/۴۵	۰/۴۳	۰/۸۲	۰/۸۷	۰/۴۴	۰/۴۲	۰/۷۷	۰/۶۷	۰/۶۲	جمال بیگ
۰/۶۸	۰/۶۸	۰/۹۵	۰/۹۴	۰/۴۹	۰/۴۷	۰/۷۹	۰/۶۹	۰/۶۲	خسرو شیرین
۰/۶۳	۰/۶۲	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۴۵	۰/۴۲	۰/۸۰	۰/۷۲	۰/۶۶	دهبید
۰/۰۷۱	۰/۲۵	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۵۴	۰/۵۴	۰/۹۳	۰/۹۲	۰/۹۶	دوسیران
۰/۴۳	۰/۲۱	۰/۹۰	۰/۸۰	۰/۴۷	۰/۴۵	۰/۸۰	۰/۷۲	۰/۶۷	سده
۰/۴۰	۰/۱۲	۰/۸۱	۰/۶۰	۰/۴۶					*ایستگاه‌های سازمان هواشناسی



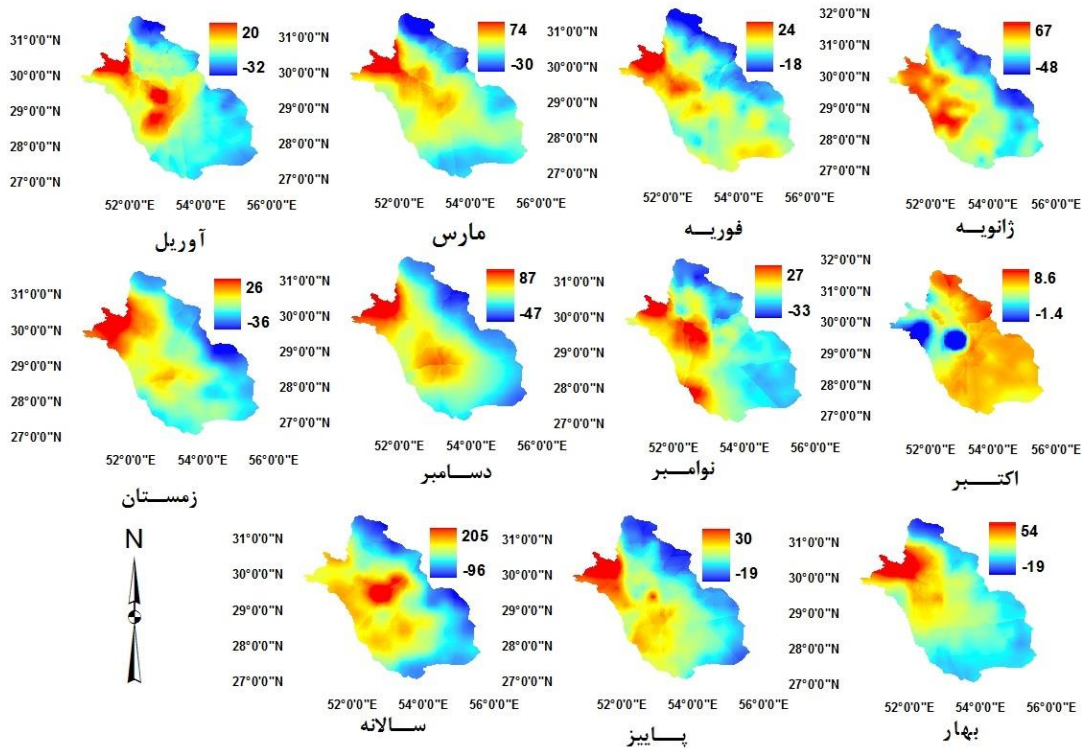
شکل ۵- نقشه ضرایب همبستگی بین داده‌های بارش مشاهده‌ای و تخمینی در مقیاس‌های زمانی مختلف

t از عدد جدول ( $T_{0.976}(136) = 1.96$ ) بزرگ‌تر باشد فرض برابری میانگین‌ها در سطح  $\alpha = 0.05$  رد می‌شود. P- مقادیرهای مربوطه نیز در پرانتز آورده شده است که هرگاه P- مقدار یک ایستگاه کمتر از سطح معنی‌داری پنج درصد باشد، فرض برابری واریانس‌ها یا میانگین‌ها رد می‌شود. برای نمونه جدول ۳ نشان می‌دهد که ایستگاه دوسیران تفاوت معنی‌داری بین میانگین و واریانس داده‌های زمینی و ماهواره‌ای وجود ندارد. نتایج آزمون t دو نمونه‌ای در جدول ۳ نشان می‌دهد که اختلاف بین میانگین بارش مشاهده‌شده و ماهواره‌ای برای ماه‌های تر در ۲۹ ایستگاه در سطح پنج درصد معنی‌دار نمی‌باشد. همچنین نتایج آزمون F نشان می‌دهد که واریانس بارش مشاهده‌شده و ماهواره‌ای برای ماه‌های تر در ۳۳ ایستگاه در سطح پنج درصد برابر است (جدول ۳).

نتایج نشان می‌دهد که در ماه‌های پرباران و در مناطق با بارش بیشتر داده‌های ماهواره‌ای مقادیر بارش را بیشتر از مقادیر واقعی تخمین می‌زنند. آماره آزمون محاسبه شده F و t به ترتیب برای مقایسه واریانس و میانگین بارش هر ایستگاه با گره مجاور آن برای ماه‌های تر در جدول ۳ آورده شده است. این آزمون‌ها برای یک دوره مشترک ۶۹ ماهه (شروع ژانویه ۱۹۹۹ و پایان مارس ۲۰۱۰) محاسبه شد. اگر آماره آزمون F از عدد جدول ( $F_{\alpha=0.05}(68,68) = 1.49$ ) بزرگ‌تر باشد، فرض برابری واریانس‌ها رد می‌شود و نتیجه می‌شود که واریانس‌ها با هم اختلاف معنی‌داری دارند. بنابراین در جدول ۳ اگر آماره آزمون برای یک ایستگاه کمتر از ۱/۴۹ باشد، اختلافی بین واریانس آن‌ها وجود ندارد. همچنین اگر آماره آزمون t بزرگ‌تر از عدد جدول باشد، آن‌گاه فرض برابری میانگین‌ها در سطح  $\alpha = 0.05$  رد می‌شود. برای نمونه اگر واریانس دو نمونه برابر باشند آنگاه اگر آماره آزمون



شکل ۶- پراکنش مکانی اختلاف میانه داده‌های ماهواره‌ای و مشاهده‌ای در مقیاس‌های زمانی مختلف



شکل ۷- پراکنش مکانی اختلاف دامنه بین چارکی داده‌های ماهواره‌ای و مشاهده‌ای در مقیاس‌های زمانی مختلف

جدول ۳- نتایج آزمون معنی داری T و F

نام ایستگاه	آماره آزمون T	آماره آزمون F	نام ایستگاه	آماره آزمون T	آماره آزمون F
آباد*	** -۰/۵(۰/۶۳۷)	** ۰/۶(۰/۰۶۸)	سوریان	** -۱/۹(۰/۰۵۹)	** ۰/۵(۰/۰۰۲)
داراب*	۲/۹(۰/۰۰۵)	۵/۹(<۰/۰۰۱)	صادق آباد	** ۱/۳(۰/۰۱۸۴)	۱/۶(۰/۰۶۸)
درودزن*	** -۰/۶(۰/۰۵۷۵)	** ۰/۸(۰/۰۳۵۳)	کافترا	- ۳/۶(۰/۰۰۱)	** ۰/۲(<۰/۰۰۱)
اقلید*	۳/۹(<۰/۰۰۱)	۲/۷(<۰/۰۰۱)	گوسنگان	** ۰/۱(۰/۰۹۱۲)	۲/۱(۰/۰۰۳)
فسا*	** - ۱/۳(۰/۰۰۵)	** ۰/۶(۰/۰۵۶)	مونج	۲/۵(۰/۰۱۵)	۱/۸(۰/۰۱۸)
ایزدخواست*	** -۰/۸(۰/۰۴۲۱)	** ۰/۸(۰/۰۴۲۱)	نرگسی	** ۱/۱(۰/۰۲۷۰)	۱/۷(۰/۰۳۲)
لامرد*	** -۱/۲(۰/۰۲۱۴)	** ۰/۴(<۰/۰۰۱)	نورآباد	** ۰/۰(۰/۰۹۷۰)	** ۱/۱(۰/۰۷۲۸)
لار*	** ۰/۲(۰/۰۸۶۳)	۲/۸(<۰/۰۰۱)	جره	** ۰/۳(۰/۰۷۵۷)	** ۱/۱(۰/۰۵۹۶)
شیراز*	** -۰/۴(۰/۰۶۷۴)	** ۰/۸(۰/۰۳۸۸)	کازرون	** -۰/۶(۰/۰۵۴۱)	** ۰/۶(۰/۰۲۸)
زرقان*	- ۲/۲(۰/۰۰۳۳)	** ۰/۳(<۰/۰۰۱)	بند بهمن	** ۲/۵(۰/۰۱۴)	۲/۱(۰/۰۰۲)
باجگاه*	** -۱/۲(۰/۰۲۱۴)	** ۰/۶(۰/۰۱۵)	بابامنیر	** -۰/۶(۰/۰۵۲۳)	** ۰/۶(۰/۰۱۵)
تخت جمشید*	** ۱/۹(۰/۰۰۶۲)	۵/۳(<۰/۰۰۱)	باتون	۲/۳(۰/۰۰۲۵)	۲/۷(<۰/۰۰۱)
استهبان	** ۱/۷(۰/۰۰۹۴)	** ۰/۶(۰/۰۰۳۱)	برغان	- ۲/۳(۰/۰۰۲۵)	** ۰/۴(<۰/۰۰۱)
آباد تشک	- ۳/۴(۰/۰۰۱)	** ۰/۹(۰/۰۰۶۰۲)	بن رود	۲/۲(۰/۰۰۲۸)	۲/۶(<۰/۰۰۱)
حاجی آباد	۲/۳(۰/۰۰۲۴)	۲/۶(<۰/۰۰۱)	بوشیگان	** -۱/۷(۰/۰۱۰۱)	** ۰/۵(۰/۰۰۴)
چهرم	** ۱/۱(۰/۰۲۷۶)	** ۱/۳(۰/۰۲۸۶)	پریشان	** ۰/۴(۰/۰۶۹۰)	** ۱/۳(۰/۰۲۳۶)
ارسنجان	- ۴/۱(<۰/۰۰۱)	** ۰/۱(<۰/۰۰۱)	جهان آباد بختگان	** -۱/۲(۰/۰۲۲۵)	** ۰/۵(۰/۰۱۳)
احمد آباد	۴/۰(<۰/۰۰۱)	۹/۴(<۰/۰۰۱)	چیتی	- ۱/۹(۰/۰۰۶۵)	** ۱/۰(۰/۰۹۱۱)
امامزاده اسماعیل	** -۱/۷(۰/۰۰۹۵)	** ۰/۵(۰/۰۱۰)	دزدکرد	** -۱/۷(۰/۰۰۹۲)	** ۰/۳(<۰/۰۰۱)
جمال بیگ	** ۱/۶(۰/۰۱۱۹)	۲/۹(<۰/۰۰۱)	دوبنه	۵/۵(<۰/۰۰۱)	۱۶/۶(<۰/۰۰۱)
خسرو شیرین	۰/۳(۰/۰۷۴۸)	** ۰/۶(۰/۰۰۵۲)	سر مشهد	- ۳/۵(۰/۰۰۱)	** ۰/۳(<۰/۰۰۱)
دهبید	** -۰/۵(۰/۰۶۴۲)	** ۱/۰(۰/۰۸۴۸)	قایمیه	۲/۳(۰/۰۰۲۶)	۱/۹(۰/۰۰۹)
دوسیران	** ۰/۵(۰/۰۶۴۲)	** ۱/۰(۰/۰۸۴۸)	فسا	- ۲/۰(۰/۰۰۴۹)	** ۰/۳(<۰/۰۰۱)
سده	** -۱/۲(۰/۰۲۲۲)	** ۰/۹(۰/۰۵۳۶)	شیراز	- ۲/۵(۰/۰۰۱۲)	۰/۸(۰/۰۴۳۹)
			نیریز	۲/۸(۰/۰۰۰۶)	۱/۲(۰/۰۴۵۶)

\*ایستگاه‌های سازمان هواشناسی، \*\* عدم معنی داری

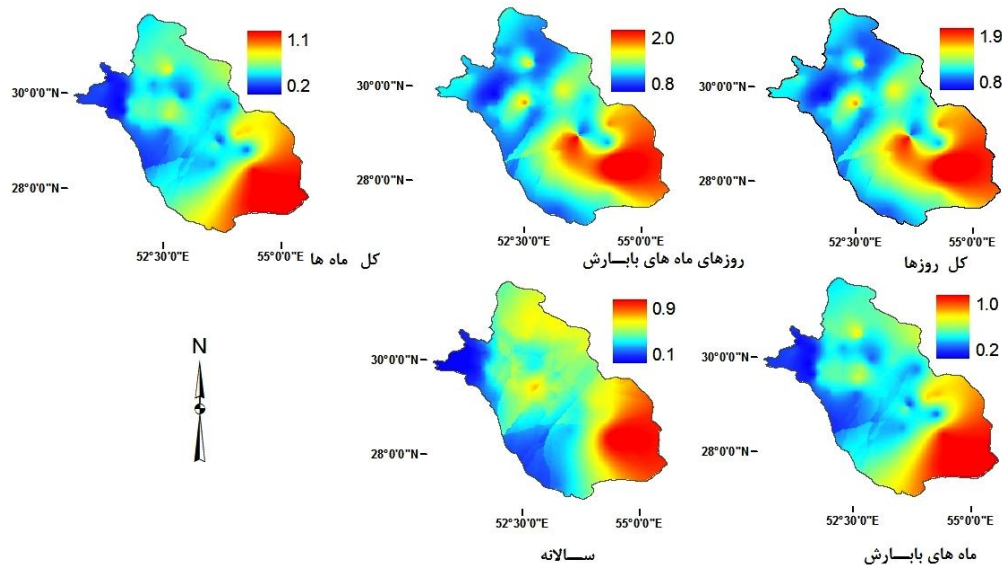
### ارزیابی خطای برآورد

برای ارزیابی دقت برآوردها از ملاک جذر میانگین مربعات خطای نرمال (NRMSE) و اختلاف میانگین (MD) که در معادله‌های ۳ و ۴ بیان شد، استفاده گردید. مقادیر NRMSE به‌طور مکانی در شکل ۸ نشان داده شده است. این شکل نشان می‌دهد که کمترین خطا در غرب و بیشترین خطا در جنوب شرقی به سمت مرکز استان مشاهده می‌شود. این مقادیر همچنین در جدول‌های ۴ و ۵ ارائه شده‌است.

همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود در مقیاس سالانه، کمترین (۰/۱۴) و بیشترین (۰/۴۶) مقدار NRMSE در بین ایستگاه‌های همدیدی به‌ترتیب مربوط به ایستگاه‌های همدیدی داراب و شیراز می‌باشد. همچنین مقادیر NRMSE در مقیاس سالانه برای ایستگاه‌های باران‌سنجی فسا و کازرون بسیار کوچک (کمتر از ۰/۱۲) می‌باشد. مقادیر NRMSE در مقیاس ماهانه برای تمامی ایستگاه‌ها (به‌جز حاجی آباد، لار، استهبان و سوریان) بین ۰/۲ تا ۰/۷۲

جدول نشان می‌دهند که به‌طور متوسط مقدار بارش ماهواره‌ای بیشتر از بارش مشاهده شده می‌باشد. برای نمونه بارش در ایستگاه همدیدی شیراز توسط ماهواره بیشتر از مقدار واقعی برآورد می‌شود.

می‌باشد. به‌طور کلی مقایسه میانگین‌های خطای نرمال در کل استان نشان می‌دهد که کمترین خطا در مقیاس سالانه و سپس ماهانه رخ داده است. مقادیر اختلاف بین میانگین داده‌های مشاهده شده و ماهواره‌ای برای ایستگاه‌های مورد مطالعه در جدول ۵ آورده شده است. مقادیر منفی در این



شکل ۸- پراکنش مکانی جذر میانگین مربعات خطای نرمال داده‌های بارش ماهواره TRMM در مقایسه با داده‌های مشاهده‌ای

متغیر پیش‌گوکننده (یا متغیر توضیحی)، قابل تصحیح و استفاده در مطالعات هواشناسی و هیدرولوژی و زمینه‌های مرتبط با آن می‌باشند. با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای که به‌هنگام می‌باشد، نقشه‌های بارش در سطح استان فارس در کمترین فاصله زمانی در اختیار کاربران قرار خواهد گرفت. به‌طور کلی، نتایج این تحقیق حاکی از آن است که داده‌های بارش ماهواره‌ای از دقت خوبی برخوردارند و با انجام تصحیحات ساده قابل استفاده در زمینه‌های مختلف علوم آب و هواشناسی می‌باشند. کاربرد داده‌های ماهواره‌ای به‌عنوان ورودی مدل‌های برآورد رواناب در سطح استان فارس نیاز به تحقیق جداگانه‌ای دارد.

## نتیجه‌گیری

پارامتر بارش ورودی اغلب مدل‌های اقلیمی، جوی و مدل‌های مربوط به چرخه هیدرولوژیک است. در صورت نیاز به مطالعه در مقیاس‌های ملی و بین‌المللی دستیابی به یک بانک اطلاعاتی وسیع و همگن از ضروریات است. در تحقیق حاضر دقت داده‌های بارش ماهواره TRMM در استان فارس مورد ارزیابی قرار گرفت. ضرایب همبستگی و میانگین خطای نرمال شده، نشان از معنی‌دار بودن معادله بین داده‌های بارش زمینی و ماهواره‌ای است. این همبستگی‌های بالا حاکی از آن است که داده‌های بارش ماهواره‌ای به‌وسیله یک رگرسیون خطی بین مقادیر مشاهده شده به‌عنوان متغیر پیش‌گوشونده (یا متغیر وابسته) و مقادیر ماهواره‌ای به‌عنوان

جدول ۴- میزان جذر میانگین مربعات خطای نرمال (NRMSE) داده‌های بارش ماهواره TRMM در مقایسه با داده‌های مشاهده‌ای

ماهانه					روزانه				
روزانه	کل ماه‌ها	روزهای بارش	کل ماه‌ها	روزهای بارش	روزانه	کل ماه‌ها	روزهای بارش	کل ماه‌ها	روزهای بارش
آباده*	۰/۳۳	۰/۵۵	۰/۵۷	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۸
داراب*	۰/۱۴	۰/۳۳	۰/۳۴	۰/۹۶	۰/۹۷	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۹۶
درودزن*	۰/۲۲	۰/۴۱	۰/۴۰	۰/۹۴	۰/۹۳	۰/۹۴	۰/۹۴	۰/۹۴	۰/۹۲
اقلید*	۰/۴۲	۰/۵۵	۰/۵۴	۰/۹۳	۰/۹۲	۰/۹۳	۰/۹۳	۰/۹۳	۰/۹۶
فسا*	۰/۲۰	۰/۲۹	۰/۳۰	۰/۹۲	۰/۹۱	۰/۹۲	۰/۹۲	۰/۹۲	۰/۱۸
ایزدخواست*	۰/۲۹	۰/۴۷	۰/۴۷	۱/۱۰	۱/۱۱	۱/۱۰	۱/۱۰	۱/۱۰	۱/۱۴
لامرد*	۰/۱۹	۰/۶۹	۰/۷۲	۰/۹۲	۰/۹۳	۰/۹۲	۰/۹۲	۰/۹۲	۱/۱۶
لار*	۰/۳۶	۱/۰۱	۱/۰۳	۱/۱۸	۱/۱۹	۱/۱۸	۱/۱۸	۱/۰۳	۰/۹۸
شیراز*	۰/۴۶	۰/۷۰	۰/۷۰	۱/۰۲	۱/۰۲	۱/۰۲	۱/۰۲	۱/۰۲	۰/۹۰
زرقان*	۰/۲۲	۰/۶۳	۰/۶۳	۱/۰۳	۱/۰۳	۱/۰۳	۱/۰۳	۱/۰۳	۰/۹۵
باجگاه*	۰/۲۲	۰/۵۲	۰/۵۸	۱/۱۱	۱/۱۰	۱/۱۱	۱/۱۱	۱/۱۱	۱/۰۸
تخت جمشید*	۰/۱۹	۰/۳۴	۰/۳۴	۱/۰۲	۱/۰۱	۱/۰۲	۱/۰۲	۱/۰۲	۱/۰۱
استهبان	۰/۵۷	۰/۸۱	۰/۸۱	۱/۱۲	۱/۱۱	۱/۱۲	۱/۱۲	۱/۱۲	۰/۸۹
آباده تشک	۰/۶۸	۰/۷۸	۰/۷۷	۱/۱۰	۱/۱۰	۱/۱۰	۱/۱۰	۱/۱۰	۰/۷۹
حاجی آباد	۰/۹۲	۱/۰۴	۱/۰۵	۱/۹۵	۱/۹۱	۱/۹۵	۱/۹۵	۱/۹۵	۰/۹۰
چهرم	۰/۱۸	۰/۴۰	۰/۴۱	۱/۴۹	۱/۴۶	۱/۴۹	۱/۴۹	۱/۴۹	۱/۰۵
ارسنجان	۰/۳۹	۰/۵۵	۰/۵۵	۱/۳۳	۱/۳۴	۱/۳۳	۱/۳۳	۱/۳۳	۱/۰۲
احمد آباد	۰/۲۲	۰/۵۰	۰/۴۹	۱/۰۰	۰/۹۸	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰
امامزاده اسماعیل	۰/۳۲	۰/۵۱	۰/۵۰	۱/۰۱	۰/۹۹	۱/۰۱	۱/۰۱	۱/۰۱	۰/۹۶
جمال بیگ	۰/۳۱	۰/۵۶	۰/۵۵	۱/۰۵	۱/۰۵	۱/۰۵	۱/۰۵	۱/۰۵	۰/۹۶
خسرو شیرین	۰/۳۱	۰/۵۲	۰/۵۳	۱/۰۴	۱/۰۴	۱/۰۴	۱/۰۴	۱/۰۴	۰/۹۸
دهبید	۰/۴۱	۰/۵۸	۰/۵۶	۰/۹۷	۰/۹۵	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۸۶
دوسیران	۰/۵۳	۰/۵۲	۰/۵۴	۰/۸۳	۰/۸۳	۰/۸۳	۰/۸۳	۰/۸۳	۱/۵۷
سده	۰/۳۵	۰/۵۵	۰/۵۴	۰/۹۷	۰/۹۶	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۹۷	۱/۱۸
									۱/۱۱

\*: ایستگاه‌های سازمان هواشناسی

جدول ۵- میزان خطای میانگین اختلاف (MD) داده‌های بارش ماهواره TRMM در مقایسه با داده‌های مشاهده ای

ایستگاه	ماهانه				روزانه			
	سالانه	ماه‌های با بارش	کل ماه‌ها	روزهای ماه‌های با بارش	سالانه	ایستگاه	سالانه	روزهای ماه‌های با بارش
آباد*	۱۱/۷	۱/۸	۱/۲	۰/۱	۰/۰	سوریان	۱۳۱/۸	-۲۱/۸
داراب*	۱۴/۹	۳/۹	۱/۲	۰/۱	۰/۰	صادق آباد	۷۴/۶	۱۱/۴
درودزن*	۶۶/۱	۱۲/۳	۵/۵	۰/۵	۰/۲	کافتر	۱۶۱/۶	۲۳/۱
اقلید*	۶۴/۹	۸/۲	۵/۱	۰/۳	۰/۲	گوسنگان	۷/۴	۱/۵
فسا*	۱۷/۵	۳/۱	۱/۵	۰/۱	۰/۱	مونج	۱۷/۵	۲/۶
ایزدخواست*	۲۳/۲	۳/۵	۱/۸	۰/۱	۰/۱	نرگسی	-۸۸/۷	۱۳/۹
لامرد*	-۲۳/۰	۱۰/۷	-۶/۵	-۰/۱	-۰/۱	نورآباد	-۱۰۳/۸	-۱۴/۷
لار*	-۴۰/۲	-۱۵/۶	-۷/۸	-۰/۱	-۰/۱	جره	۴/۵	۰/۹
شیراز*	-۱۱۵/۵	۲۸/۵	۱۴/۴	-۰/۵	-۰/۳	کازرون	۹/۹	۲/۲
زرقان*	-۶۴/۴	۱۳/۴	۷/۶	-۰/۲	-۰/۳	بند بهمن	-۶۱/۰	-۴/۵
باجگاه*	۷/۴	-۶/۹	۰/۵	-۰/۳	۰/۰	بابامنیر	-۱۰۵/۰	-۱۵/۵
تخت جمشید*	-۲۶/۸	-۴/۶	-۲/۴	-۰/۲	-۰/۱	باتون	-۶۸/۷	-۸/۹
استهبان	۱۱۹/۳	۱۴/۳	۹/۷	۰/۵	۰/۳	برغان	۲۵۹/۴	۴۰/۹
آباد تشک	۱۴۱/۵	۲۰/۶	۱۱/۸	۰/۷	۰/۴	بن رود	۴۴۷/۷	۶۵/۱
حاجی آباد	-۸۷/۹	-۱۲/۷	-۳/۷	-۰/۴	-۰/۲	بوشیگان	-۲۰/۴	-۱/۴
چهرم	۱۲/۳	۰/۵	۱/۱	۰/۰	۰/۰	پیرشان	۹۷/۵	۱۱/۸
ارسنجان	۲۹/۶	۳/۶	۲/۳	۰/۱	۰/۱	جهان آباد بخنگان	۵۸/۱	۹/۵
احمد آباد	۳۱/۲	۵/۱	۲/۳	۰/۲	۰/۱	چیتی	-۸۲/۴	-۱۱/۵
امامزاده اسماعیل	۱۳۵/۱	۱۱/۰	۱۱/۱	۰/۷	۰/۴	دزدکرد	۲۱۱/۵	۲۳/۳
جمال بیگ	۱۰۸/۳	۱۸/۵	۱۰/۱	۰/۶	۰/۳	دوبنه	-۱۷۴/۸	-۱۹/۳
خسرو شیرین	۶۱/۴	۸/۶	۴/۹	۰/۳	۰/۲	سر مشهد	-۸۴/۴	-۱۲/۶
دهبید	۵۹/۲	۰/۹	۵/۲	۰/۳	۰/۲	قایمیه	۴۹/۱	۹/۵
دوسیران	۳۱۱/۶	۴۸/۳	۲۶/۴	۱/۶	۰/۹	فسا	۳/۵	-۳/۱
سده	۱۲۱/۰	۱۹/۴	۱۰/۴	۰/۶	۰/۳	شیراز	-۷۰/۱	-۱۳/۰
					۰/۰	نیریز	۱۵/۷	۰/۳

\* ایستگاه‌های سازمان هواشناسی

Science Systems and Applications, Inc.[WWW document] Available at: [ftp://meso-a.gsfc.nasa.gov/pub/trmmdocs/3B42\\_3B43\\_doc.pdf](ftp://meso-a.gsfc.nasa.gov/pub/trmmdocs/3B42_3B43_doc.pdf) (accessed 23 March 2012).

- Islam, M. N., Uyeda, H. 2007. Use of TRMM in determining the climatic characteristics of rainfall over Bangladesh. *Remote Sens of Environ.*, 108(3): 264-276.
- Javanmard, S., Yatagai, A., Nodzu, M. I., BodaghJamali, J., Kawamoto, H. 2010. Comparing high-resolution gridded precipitation data with satellite rainfall estimates of TRMM 3B42 over Iran. *Advances in Geosciences*, 25: 119-125.
- Kummerow, C., Barnes, W., Kozu, T., Shiue, J., Simpson, J. 1998. The Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) sensor package. *J. Atmos. Ocean Technol.*, 15(3): 809 – 717.
- Kummerow, C., Simpson, J., Thiele, O., Barnes, W., Chang, A. T. C., Stocker, E., Nakamura, K. 2000. The status of the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) after two years in orbit. *J. Appl. Meteorol.*, 39(12): 1965-1982.
- Li, X. H., Zhang, Q., Xu, C. Y. 2012. Suitability of the TRMM satellite rainfalls in driving a distributed hydrological model for water balance computations in Xinjiang catchment, Poyang lake basin. *J. Hydrol.*, 426: 28-38.
- Masunaga, H., Iguchi, T., Oki, R., Kachi, M. 2002. Comparison of rainfall products derived from TRMM Microwave Imager and precipitation radar. *J. Appl. Meteorol.*, 41(8): 849 -862.

## سپاسگزاری

به این وسیله از سازمان هواشناسی و سازمان منطقه‌ای استان فارس برای تهیه داده‌های روزانه بارش قدردانی می‌شود. همچنین از حمایت مالی سازمان آب منطقه‌ای استان فارس برای انجام طرح تحقیقاتی با کد 92-SU-AT97-0 سپاسگزاری می‌شود.

## منابع

- Almazroui, M. 2011. Calibration of TRMM rainfall climatology over Saudi Arabia during 1998–2009. *Atmos. Res.*, 99(3): 400-414.
- Chokngamwong, R., Chiu, L. S. 2008. Thailand daily rainfall and comparison with TRMM products. *J. Hydrometeorol.*, 9(2): 256-266.
- Condom, T., Rau, P., Espinoza, J. C. 2011. Correction of TRMM 3B43 monthly precipitation data over the mountainous areas of Peru during the period 1998–2007. *Hydrol. Processes*, 25(12): 1924-1933.
- Hudlow, M. D. 1979. Mean rainfall patterns for the three phases of GATE. *J. Appl. Meteorol.*, 18(12): 1656-1669.
- Huffman, G. J., Adler, R. F., Bolvin, D. T., Gu, G., Nelkin, E. J., Bowman, K. P., Wolff, D. B. 2007. The TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA): Quasi-global, multiyear, combined-sensor precipitation estimates at fine scales. *J. Hydrometeorol.*, 8(1): 38-55.
- Huffman, G. J., Bolvin, D. T. 2012. TRMM and other data precipitation data set documentation. Laboratory for Atmospheres, NASA Goddard Space Flight Center and

## مدلسازی و پیش‌آگاهی تأثیر متغیرهای هواشناسی بر جمعیت قارچ عامل شیوع لکه موجی سیب‌زمینی (Early blight)

وحید ورشایان<sup>۱</sup>، نوذر قهرمان<sup>۱\*</sup>، محمد جوان نیکخواه<sup>۲</sup>، عبدالمجید لیاقت<sup>۱</sup>، بهمن فرهادی<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۰/۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۱/۲۶

### چکیده

بیماری لکه موجی (Early blight) توسط قارچ *Alternaria solani* به وجود می‌آید. بیماری در شرایط رطوبت زیاد هوا و یا وجود آب روی برگ به خوبی گسترش می‌یابد. اسپوره‌های قارچ توسط باد و باران به برگ‌های سالم منتقل می‌شوند. رطوبت بالا و دمای بین ۱۸ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد، شبنم، بارندگی و آبیاری بارانی گسترش آن را افزایش می‌دهد. هدف از این تحقیق، مطالعه تأثیر متغیرهای هواشناسی (دما، رطوبت نسبی، بارش) بر جمعیت اسپور قارچ عامل بیماری و پیش‌آگاهی لکه موجی سیب‌زمینی در سال زراعی ۱۳۹۲-۱۳۹۳ در کرمانشاه بوده است. به این منظور پس از کشت سیب‌زمینی علائم بیماری در مزرعه پایش و تغییرات جمعیتی اسپور قارچ عامل بیماری ثبت گردید. از سوی دیگر دو مدل پیش‌آگاهی لکه موجی سیب‌زمینی با استفاده از داده‌های ایستگاه خودکار مزرعه و نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی منطقه (فرودگاه کرمانشاه) ارائه و ارزیابی گردید. به علاوه، همبستگی بین جمعیت اسپورهای موجود در هوا و متغیرهای هواشناسی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که همبستگی بین جمعیت اسپور قارچ عامل بیماری لکه موجی با دمای بیشینه و کمینه هوا در سطح یک درصد و با رطوبت نسبی در سطح پنج درصد معنی‌دار است. بر اساس این نتایج، یک مدل تجربی پیش‌آگاهی بیماری لکه موجی سیب‌زمینی در غرب کشور ارائه گردید.

واژه‌های کلیدی: آلترناریا، پیش‌آگاهی، سیب‌زمینی، کرمانشاه، مدل

### مقدمه

برگی سرکوسپورایی، لکه برگی فومایی، کپک‌های خاکستری و سفید، پوسیدگی ساقه، زنگ معمولی و زنگ بدشکلی اشاره کرد (پاولسن<sup>۴</sup>، ۱۹۹۳؛ استیونسن<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۰۱). بیماری لکه موجی سیب‌زمینی یک بیماری برگی است که توسط قارچ *Alternaria solani* به وجود می‌آید. بیماری در شرایط فراوانی رطوبت هوا و یا وجود آب روی برگ به خوبی گسترش می‌یابد. علائم اولیه بیماری پیدایش نقاط قهوه‌ای تا سیاه‌رنگی به قطر پنج میلی‌متر است که به صورت حلقه‌های متحدالمرکز دیده می‌شوند. در صورت توسعه بیماری، لکه تمامی سطح برگ را فرا گرفته و برگ به طور کامل از بین می‌رود. در اثر فعالیت قارچ بر روی غده، ماده‌ای سمی در غده تجمع می‌یابد که برای سلامت انسان بسیار خطرناک است (استیونسن و همکاران، ۲۰۰۱). عامل بیماری روی

سیب‌زمینی با توجه به ویژگی‌ها و شرایط کشت، مورد تهدید انواع بیماری‌ها قرار دارد. از مهم‌ترین بیماری‌های قارچی که در بخش هوایی سیب‌زمینی رخ می‌دهد و به تبع آن در سایر بخش‌های گیاه (طوقه، ریشه، استولون و غده‌ها) هم موجب آسیب‌هایی می‌شود؛ می‌توان به بیماری لکه موجی، بادزدگی، سفیدک پودری، لکه برگی سپتوریایی، لکه

<sup>۱</sup> گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران

(\* نویسنده مسئول: nghahreman@ut.ac.ir)

<sup>۲</sup> گروه گیاهپزشکی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران

<sup>۳</sup> گروه مهندسی آب، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی کرمانشاه

<sup>۴</sup> Powelson

<sup>۵</sup> Stevenson

گرگان استفاده گردید. برای این منظور، ۲۴ متغیر آب و هوایی در شش دوره زمانی با استفاده از روش‌های آماری رگرسیون لجستیک<sup>۳</sup> و تجزیه تابع تشخیص<sup>۴</sup> مورد مطالعه قرار گرفتند. پس از مقایسه مدل‌های آماری ساخته شده، مشخص گردید که چهار مدل دو متغیره با استفاده از متغیرهای میزان بارندگی، تعداد روزهای بارانی، بیشینه نسبی درجه حرارت هوا و بیشینه نسبی رطوبت نسبی هوا از دقت کلی ۸۰ تا ۱۰۰ درصد برخوردار بودند. میرشکار (۱۳۹۱) همه‌گیرشناسی بیماری لکه موی سیب‌زمینی را در منطقه بسطام بررسی نمود. هدف از این تحقیق به دست آوردن بهترین مدل برای بررسی وقوع و شدت بیماری و روابط آن، پیش‌آگاهی بیماری مذکور در منطقه و مطالعه روند پیشرفت بیماری تحت شرایط جوی بود. بر اساس نتایج به دست آمده، مدل آلومتری<sup>۵</sup> بهترین مدل از لحاظ آلودگی مزارع در چهار منطقه مورد بررسی تعیین گردید. صدراوی (۱۳۹۲) مدل پیش‌آگاهی زنگ زرد گندم را معرفی نمود. در این مدل، بر اساس ردیابی بیماری و شدت آن در طی سال، بررسی عوامل آب و هوایی مؤثر بر بیماری، واکنش ارقام تحت کشت در منطقه و مرحله رشد گیاه به هنگام بروز بیماری، زمان مناسب سم‌پاشی و تعداد دفعات آن تعیین گردید. همچنین در نرم‌افزار طراحی شده، در مورد اهمیت بیماری در ایران و جهان، نشانه‌های آن، عامل بیماری، عوامل مؤثر در شیوع بیماری، مدل پیش‌آگاهی و مراحل اجرایی آن و سموم مناسب برای مبارزه با بیماری توضیحاتی داده شده است. هدف از این تحقیق، بررسی اثر متغیرهای آب و هوایی بر پیش‌آگاهی و جمعیت اسپور قارچ عامل بیماری لکه موی سیب‌زمینی در منطقه کرمانشاه بود.

## مواد و روش‌ها

### مزرعه تحقیقاتی

برای انجام این تحقیق، مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی کرمانشاه در غرب کشور که مجهز به ایستگاه تحقیقاتی کشاورزی و یک ایستگاه هواشناسی خودکار با حسگرهای تحقیقاتی کامل است؛

بقایای گیاهی زمستان‌گذرانی می‌کند. علائم بیماری معمولاً از برگ‌های پایینی گیاه (برگ‌های مسن) و به صورت لکه‌های بافت مرده گرد، بیضوی یا زاویه‌دار به رنگ قهوه‌ای تیره تا سیاه، اغلب دارای حلقه‌های متحدالمرکز (مخصوصاً در لکه‌های وسیع) و گاهی بدون تشکیل این حلقه‌ها شروع می‌شود و به تدریج به بخش‌های بالاتر توسعه می‌یابد. در ساقه علائم به صورت لکه‌های کشیده، به رنگ قهوه‌ای تا سیاه رنگ است. در غده نیز لکه‌ها فرورفته و با حاشیه برجسته می‌باشند که معمولاً سطحی بوده و در حاشیه توسط لایه چوب‌پنبه‌ای به رنگ قهوه‌ای از بافت سالم جدا می‌شوند. خاک آلوده، بقایای گیاهی آلوده و بذر آلوده به‌عنوان منابع اصلی آلودگی محسوب می‌شوند و اسپورهای این قارچ توسط باد و باران به برگ‌های سالم منتقل می‌گردند (استند و بگز<sup>۱</sup>، ۲۰۰۴). رطوبت بالا و دمای بین ۱۸ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد، شبنم، بارندگی و آبیاری بارانی باعث گسترش بیشتر این بیماری می‌شوند. توصیه می‌شود که حدود شش روز قبل از ظهور اولین نشانه‌های بیماری سم‌پاشی آغاز و هر هفته نیز تکرار شود (استیونسون و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۰۱). بنابر این پیش‌آگاهی این بیماری قبل از وقوع امری لازم و ضروری به نظر می‌رسد. تحقیقات متعددی روی محصولات گوناگون در زمینه پیش‌آگاهی بیماری‌های گیاهی در ایران انجام شده است. نارویی (۱۳۸۷) از طریق سیستم اطلاعات جغرافیایی، مدل پیش‌آگاهی آتشک گلابی را برای ایران ارائه کرد. دو عامل رطوبت و دما مهم‌ترین شاخص‌های تأثیرگذار بر وقوع همه‌گیری این بیماری هستند و در این بین نقش دما مهم‌تر ارزیابی گردیده است. در نتیجه با استفاده از مدل پیش‌آگاهی آتشک گلابی می‌توان به کشاورزان و کارشناسان منطقه اطلاعات لازم را جهت پیش‌گیری ارائه نمود و نیز از کشت درختان میزبان بیماری و تأسیس نهالستان در نقاط مستعد اجتناب نمود. آقاجانی (۱۳۹۱)، احتمال وقوع بیماری بادزدگی فیتوفترایی سیب‌زمینی را در گرگان بر اساس شرایط آب و هوایی بررسی نمود. برای پیش‌بینی احتمال وقوع همه‌گیری بیماری، از اطلاعات ثبت‌شده همه‌گیری بیماری طی ۱۰ سال اخیر و داده‌های آب و هوایی اطراف

<sup>3</sup> Logistic Regression

<sup>4</sup> Discriminate Function Analysis

<sup>5</sup> Allometric model

<sup>1</sup> Stennett & Beggs

<sup>2</sup> Stevenson et al.

اسپورگیر بورکارد که به‌صورت هفت‌روزه اسپورها را جمع-آوری می‌کرد؛ تغییرات جمعیتی اسپورهای موجود در هوا پایش شد. راه‌اندازی دستگاه اسپورگیر از یازدهم اردیبهشت ۱۳۹۳ مطابق با اول ماه می آغاز گردید. بوته‌های سیب‌زمینی کشت شده در مزرعه در طول کشت از نظر وجود علائم بیماری و شدت آلودگی به بیماری لکه موی مورد پایش قرار گرفتند.

### تأمین مایه بیمارگر عامل بیماری در مزرعه

در این مرحله به‌منظور اطمینان از حضور عامل بیمارگر در مزرعه و پایش آستانه‌های شیوع بیماری، اقدام به کشت و تکثیر قارچ عامل بیماری در محیط کشت آزمایشگاهی گردید. این اسپورها پس از تکثیر، به‌منظور اطمینان از حضور بیمارگر در سطح مزرعه آزمایشی، به‌صورت یکنواخت اسپری گردید. با این کار از بین سه عنصر میزبان، بیمارگر و شرایط محیطی دو عامل اول مهیا گردیده و شرایط محیطی مساعد برای شیوع بیماری مطالعه شد. البته از آنجاکه این عملیات در محل کشت سال قبل که به این بیماری آلوده بود، انجام شد؛ احتمال وقوع بیماری بسیار بالا بود. پس از ظهور علائم آلودگی در مزرعه، شدت آلودگی به بیماری لکه موی با در نظر گرفتن معیار شدت آلودگی (جدول ۲)، در مزرعه ارزیابی گردید.

### ساختمان اسپورگیر<sup>۱</sup> و روش کار

در این تحقیق از اسپورگیر حجمی مدل بورکارد<sup>۲</sup> (۱۹۵۲) استفاده گردید. این دستگاه به‌منظور پایش اسپور قارچ‌ها و گرده گیاهان جهت استفاده در تحقیقات کشاورزی، پزشکی و محیط‌زیست به‌کار می‌رود.

### آماده‌سازی دستگاه اسپورگیر

برای این کار درپوش دستگاه را باز کرده و درام<sup>۳</sup> از محل استقرار خود خارج گردید. این قطعه در مرکز حاوی ساعتی است که باعث می‌شود مجموعه حرکت دورانی با سرعت دو میلی‌متر در ساعت داشته باشد و در مدت یک هفته یک دور

انتخاب گردید. این ایستگاه دارای امکانات لازم اندازه‌گیری داده‌ها در هر پانزده دقیقه بوده و اطلاعات توسط سیم‌کارت متصل به سامانه به بانک اطلاعاتی واقع در سایت شرکت سازنده ارسال گردیده و نمودارها و صفحات گسترده مربوطه در آن سایت ایجاد می‌گردید. این ایستگاه در فاصله هوایی حدود شش کیلومتر از ایستگاه هواشناسی سینوپتیک فرودگاه کرمانشاه واقع گردیده است. متغیرهای هواشناسی به صورت روزانه از سازمان هواشناسی کشور دریافت گردید و در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفت. مقادیر متوسط ماهانه متغیرهای هواشناسی در دوره مطالعه در کرمانشاه در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- مقادیر هواشناسی در دوره مطالعه، دما به درجه سانتی‌گراد، رطوبت به درصد و بارندگی به میلی‌متر (سازمان هواشناسی کشور)

اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	
۲۰/۹	۲۵	۲۸/۳	۲۸/۵	۲۵	دمای متوسط
۳۲/۳	۳۷/۴	۳۹	۳۹/۲	۳۵/۹	دمای بیشینه
۹/۵	۱۲/۷	۱۷/۶	۱۷/۸	۱۴/۲	دمای کمینه
۴۶	۲۷	۱۷	۱۸	۱۵	رطوبت نسبی
۱۱	۰/۲	۰	۰	۰	بارندگی

### عملیات اجرایی

در مزرعه تحقیقاتی دو رقم سیب‌زمینی زودرس (مارفونا) و دیررس (آگریا) مورد استفاده کشاورزان منطقه، کشت گردید. زمان کشت ارقام زودرس مطابق با الگوی کشاورزان منطقه مورد مطالعه، اواخر اسفند تا اوایل فروردین و ارقام دیررس اواسط اردیبهشت بود. روش آبیاری در منطقه به‌طور عمده بارانی بود؛ درعین‌حال روش آبیاری فارویی نیز مورد استفاده قرار می‌گرفت. در این تحقیق به‌منظور ارزیابی آستانه‌های شیوع بیماری دو قطعه آزمایشی (به ابعاد ۷×۷ متر) برای هر رقم در نظر گرفته شد. هر قطعه شامل هشت پشته بود که سیب‌زمینی بر روی این پشته‌ها به فاصله ۳۰ سانتی‌متر کشت گردید. در یکی از این دو قطعه هیچ‌گونه قارچ‌کش استفاده نگردید؛ تا در صورت بروز بیماری آستانه‌ها ارزیابی شود. قطعه دیگر با قارچ‌کش بنومیل با دوز دو در هزار به‌صورت هفتگی سم‌پاشی گردید. به‌وسیله دستگاه

<sup>1</sup> Spore trap

<sup>2</sup> Burkard Manufacturing Co. Ltd

<sup>3</sup> Drum

و داده‌های هواشناسی به جهت بررسی رابطه بین آن‌ها اهمیت داشت؛ زمان نیمه‌شب مبنای تفکیک روزانه فیلم دستگاه قرار گرفت. سرانجام جمعیت اسپورها در هر روز به کمک میکروسکوپ مورد شمارش قرار گرفته و داده‌های به دست آمده مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. شکل ۱ آلودگی مزرعه آزمایشی را نشان می‌دهد.

## نتایج و بحث

### نتایج تحلیل اطلاعات مربوط به اسپورگیر

با شمارش تعداد اسپورهای موجود در اسلاید تهیه شده از نوار مخصوص دستگاه اسپورگیر بورکارد، تغییرات جمعیت اسپور در منطقه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج در شکل ۲ نشان داده شده است. با توجه به شکل مشاهده می‌شود که تغییر محسوسی در دماهای بیشینه، کمینه و رطوبت نسبی در محدوده زمانی طغیان بیماری وجود دارد.



شکل ۱- آغاز آلودگی برگ‌ها به لکه موجی در مزرعه در ادامه وجود و چگونگی رابطه بین جمعیت اسپور و متغیرهای هواشناسی مؤثر (دما، بیشینه، کمینه، رطوبت نسبی و بارندگی) مورد بررسی قرار گرفت. جهت تعیین همبستگی بین داده‌های هواشناسی و جمعیت اسپور ابتدا

کامل بزند. پس از نصب فیلم مخصوص آغشته به گریس در محیط درام و کوک کردن ساعت، مطابق دستورالعمل درام در جای خود قرار گرفته و بازوی قفل‌کننده در وضعیت قفل قرار داده شد. با آزاد کردن سوزن نگه‌دارنده، دستگاه امکان چرخش ۳۶۰ درجه یافته و به کمک بادنمای تعبیه‌شده، دریچه ورودی در معرض باد قرار می‌گیرد. پس از اتصال پمپ دستگاه به برق، مکش هوا به میزان نه لیتر در دقیقه آغاز گردید و اسپورها و سایر ذرات معلق در هوا پس از ورود به دستگاه، به فیلم آغشته به گریس چسبید. هر هفته با جدا کردن فیلم از درام و تقسیم آن به هفت قسمت مساوی اطلاعات هر روز بازیابی گردید.

جدول ۲- معیار تعیین شدت آلودگی به بیماری لکه موجی در مزرعه (رودریگز<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۷)

توصیف علائم	شدت بیماری (درصد)
وجود لکه روی تعدادی از برگ‌های پایینی و آلودگی ۱۰٪ کل برگ‌ها	۱۰
وجود لکه روی اغلب برگ‌های پایینی و آلودگی ۲۰٪ کل برگ‌ها	۲۰
وجود لکه روی تعدادی از برگ‌های میانی و آلودگی ۳۰٪ کل برگ‌ها	۳۰
توسعه لکه‌ها روی برگ‌های پایینی و آلودگی ۴۰٪ کل برگ‌ها	۴۰
گسترش لکه‌ها از برگ‌های پایینی به برگ‌های میانی و آلودگی ۵۰٪ برگ‌ها	۵۰
گسترش لکه‌ها روی همه برگ‌های پایینی و اغلب برگ‌های میانی آلودگی ۶۰٪ برگ‌ها	۶۰
پیشرفت لکه‌ها روی همه برگ‌های پایینی، میانی و آلودگی ۷۰٪ کل برگ‌ها	۷۰
گسترش لکه‌ها روی برگ‌های پایینی، میانی و گسترش به برگ‌های بالا و آلودگی ۸۰٪	۸۰
گسترش لکه‌ها روی تمام برگ‌های بالایی و آلودگی ۹۰٪ کل برگ‌ها	۹۰
پیشرفت کامل لکه‌ها روی تمام گیاه (مرگ گیاه) و آلودگی ۱۰۰٪ سطح کل برگ‌ها	۱۰۰

با تهیه اسلاید میکروسکوپی از فیلم دستگاه و شمارش تعداد اسپورهای قارچ عامل بیماری، پایش جمعیت اسپورها در منطقه صورت گرفت. اطلاعات مربوطه جهت بررسی تغییرات جمعیت اسپورها در اثر متغیرهای هواشناسی مورد استفاده قرار گرفت. از آنجاکه هماهنگی زمانی بین داده‌های اسپورگیر

<sup>۱</sup> Rodriguez

نتایج نشان داد که تغییرات جمعیت اسپور قارچ عامل بیماری لکه مویی با دمای کمینه و بیشینه، در محدوده دمایی مورد مطالعه، همبستگی مثبت و معنی‌دار در سطح یک درصد دارد. همچنین همبستگی بین تغییرات جمعیت اسپور با رطوبت نسبی هوا منفی و در سطح پنج درصد معنی‌دار گردید. در این تحقیق، همبستگی بین جمعیت اسپور با میزان بارندگی معنی‌دار نبود. البته در محدوده زمانی مورد بررسی تنها دو نوبت بارش اتفاق افتاد.

### نتایج بررسی مدل های پیش‌آگاهی بیماری

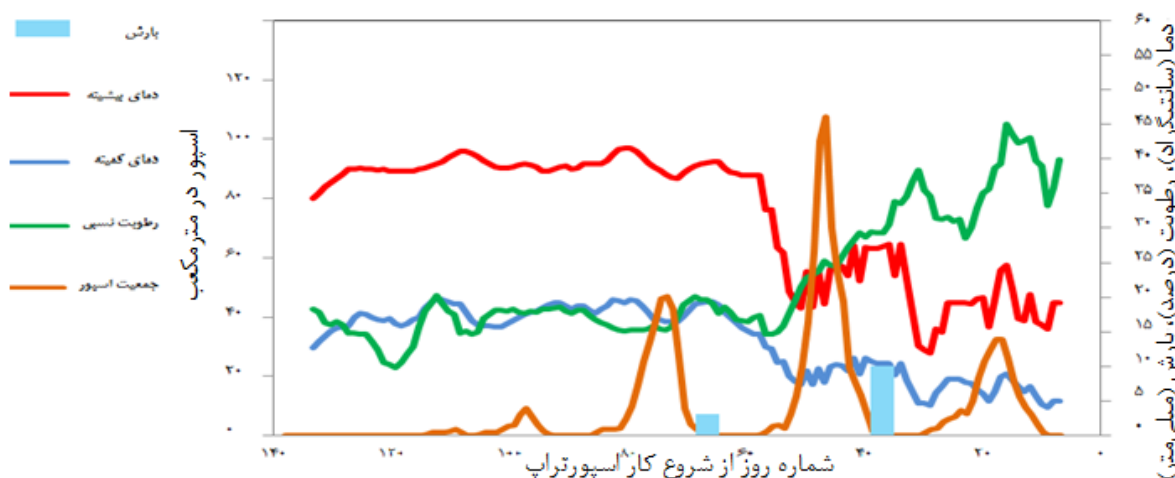
بر اساس پایش مزرعه آزمایشی و محاسبه مقادیر دو مدل درجه-روز و روزهای فنولوژیکی، مدل‌ها توانستند به خوبی محدوده زمانی شروع بیماری در مزرعه را پیش‌بینی کنند؛ نتایج محاسبات و پایش‌ها در جدول ۴ نمایش داده شده است.

نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف آزمون گردید. طبق این آزمون همه داده‌ها به جز دمای کمینه از توزیع نرمال برخوردار بودند. از این رو از آزمون ناپارامتری اسپیرمن در مورد دمای کمینه و از آزمون پیرسون برای بررسی همبستگی سایر متغیرهای هواشناسی با جمعیت اسپور قارچ استفاده گردید. نتایج بررسی در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳- ضرایب مربوط به همبستگی و سطح معنی‌داری جمعیت اسپور قارچ عامل لکه مویی سیب‌زمینی با داده‌های هواشناسی

جمعیت اسپور	دمای بیشینه	دمای کمینه	رطوبت نسبی	بارندگی
تعداد اسپور	۰/۳۲۲**	۰/۴۳۴***a	-۰/۲۰۵*	-۰/۰۴۳

\*، \*\* معنی‌دار در سطح ۱٪ و ۵٪، <sup>a</sup> آزمون ناپارامتری اسپیرمن



شکل ۲- تغییرات اسپور قارچ عامل لکه مویی سیب‌زمینی و متغیرهای هواشناسی در منطقه در دوره مطالعه

جدول ۴- رابطه بین بروز اولین نشانه‌های بیماری لکه مویی سیب‌زمینی، مقادیر تجمعی مدل روزهای فنولوژیکی (P-Days) و مدل درجه-روز (DD) محاسبه شده با داده‌های هواشناسی مزرعه و ایستگاه سینوپتیک.

ایستگاه	تاریخ اولین آلودگی	P-day	تاریخ P-days 300	مهلت پیش‌بینی (روز)	DD	تاریخ DD 625	مهلت پیش‌بینی (روز)
مزرعه	۱۶ خرداد	۳۱۵	۱۴ خرداد	۲	۶۴۲	۱۵ خرداد	۱
سینوپتیک		۳۲۶	۱۳ خرداد	۳	۶۵۴	۱۴ خرداد	۲

بارش همبستگی منفی دیده شد (ساباریگو و همکاران<sup>۱۳</sup>، ۲۰۰۰). مدل‌هایی که برای تعیین زمان اولین سم‌پاشی پیشنهاد می‌شوند؛ باید برای سایر مناطق جغرافیایی نیز مورد ارزیابی قرار گیرند (کمبل و مادن<sup>۱۴</sup>، ۱۹۹۰؛ اشتاینبرگ و فرای<sup>۱۵</sup>، ۱۹۹۰). این موضوع درباره مدل درجه-روز نیز که اولین بار برای ایالت کلرادو آمریکا ارائه گردید؛ صادق است (گنت و شوارتز<sup>۱۶</sup>، ۲۰۰۳). در مدل درجه-روز، نشانه‌های بیماری در مناطق مختلف مورد بررسی، پس از عبور مقدار تجمعی محاسبه شده این شاخص از عدد ۶۰۰ مشاهده شده است (فرانک و همکاران<sup>۱۷</sup>، ۱۹۸۸). مقدار تجمعی به‌دست آمده در این تحقیق نیز (DD=۶۴۲) به‌همین صورت بود. در استفاده از مدل روزهای فنولوژیک در ایالت ویسکانسین آمریکا، نخستین نشانه‌های لکه موجی پس از عبور مقادیر تجمعی این شاخص از عدد ۳۰۰ مشاهده گردید (شایت و استیونسن<sup>۱۸</sup>، ۱۹۸۶). در این تحقیق نیز در استفاده از روش روزهای فنولوژیک نشانه‌های بیماری در مزرعه پس از عبور شاخص مدل از این عدد (P-days=۳۱۵) محقق گردید.

### نتیجه‌گیری

در این تحقیق با استفاده از داده‌های هواشناسی و پایش اسپور، در سال زراعی ۱۳۹۲-۱۳۹۳، همبستگی بین جمعیت اسپور قارچ عامل بیماری لکه موجی در هوا با دمای بیشینه، دمای کمینه، رطوبت نسبی و بارش در کرمانشاه بررسی شد. همچنین دو مدل درجه-روز و روزهای فنولوژیک جهت پیش‌آگاهی لکه موجی سیب‌زمینی در غرب کشور مورد ارزیابی قرار گرفت. از آنجا که در نظر گرفتن شرایط آب و هوایی و موقعیت جغرافیایی در استفاده از مدل‌های پیش‌آگاهی به‌منظور پیش‌بینی دقیق شیوع آفات و بیماری‌های کشاورزی اهمیت دارد؛ همبستگی بین جمعیت اسپور قارچ عامل بیماری لکه موجی در هوا با دمای بیشینه و دمای کمینه در سطح ۱٪ و با رطوبت نسبی در سطح ۵٪ معنی‌دار و در مورد رطوبت نسبی این همبستگی

همان‌طور که در جدول ۴ دیده می‌شود، با استفاده از داده‌های مزرعه و مدل درجه-روز، یک روز و با مدل روزهای فنولوژیک دو روز قبل از مشاهده علائم بیماری در مزرعه، مدل پیش‌بینی انجام داده است. در همین زمان با استفاده از داده‌های ایستگاه سینوپتیک منطقه، بیماری لکه موجی با استفاده از این دو مدل به ترتیب دو و سه روز زودتر پیش‌بینی گردید. نتایج نشان داد که اسپوره‌های آلترناریا در طول دوره مطالعه در هوا وجود داشتند؛ اما بیشترین غلظت مربوط به مراحل پایانی رشد گیاه بود. مشاهدات در سایر مطالعات انجام شده، نتایج مشابهی را گزارش نموده است (لارسن و گراوسن<sup>۱</sup>، ۱۹۹۱؛ هلمروس<sup>۲</sup>، ۱۹۹۳؛ گرین-گوفرن و رایپژکو<sup>۳</sup>، ۲۰۰۹). غلظت اسپور در هوا در مرحله جوانه‌زنی بسیار پایین بود. گسترش بخش‌های هوایی بوته سیب‌زمینی شرایط را برای تجمع تدریجی زادمایه فراهم نمود. از آنجا که بخش‌های جوان اندام هوایی مقاومت بیشتری نسبت به قارچ دارند (روتتم<sup>۴</sup>، ۱۹۹۴)؛ برای گسترش قارچ در بوته نیاز به زمان بود. اسپورها به‌طور عمده روی برگ‌های پیر یا مرده تولید می‌شوند (روتتم، ۱۹۹۴). بنابراین زمانی که برگ‌ها در مرحله پیر شدن هستند؛ بیشترین غلظت اسپورها قابل مشاهده است. میزان اسپور موجود در هوا به تغییر شرایط آب و هوایی وابسته است. بر اساس نتایج مندرج در جدول ۳ بیشترین همبستگی به ترتیب بین جمعیت اسپور در هوا و دمای کمینه، دمای بیشینه و رطوبت نسبی وجود داشت. این نتیجه با بررسی برخی نویسندگان (گنزالس و همکاران<sup>۵</sup>، ۱۹۹۴؛ مونوئرا و کاریون<sup>۶</sup>، ۱۹۹۵؛ ریچی و همکاران<sup>۷</sup>، ۱۹۹۵؛ اینفنته و همکاران<sup>۸</sup>، ۱۹۸۷؛ مندز و همکاران<sup>۹</sup>، ۱۹۹۷؛ مارچیزو و آیراودی<sup>۱۰</sup>، ۲۰۰۱؛ بورچ و لوتین<sup>۱۱</sup>، ۲۰۰۲؛ استنت و بگز<sup>۱۲</sup>، ۲۰۰۴) همسو بود. در مورد رطوبت نسبی و

<sup>1</sup> Larsen & Gravesen

<sup>2</sup> Hjelmsroos

<sup>3</sup> Grinn-Gofroń & Rapiejko

<sup>4</sup> Rotem

<sup>5</sup> González et al.

<sup>6</sup> Munuera & Carrión

<sup>7</sup> Ricci et al.

<sup>8</sup> Infante et al.

<sup>9</sup> Méndez et al.

<sup>10</sup> Marchisio & Airaudi

<sup>11</sup> Burch & Levitin

<sup>12</sup> Stennett & Beggs

<sup>13</sup> Sabariego et al.

<sup>14</sup> Campbell & Madden

<sup>15</sup> Shtienberg & Fry

<sup>16</sup> Gent & Schwartz

<sup>17</sup> Franc et al.

<sup>18</sup> Pscheidt & Stevenson

- Colorado using various sources of meteorological data. APS press, 87 (1): 78-84.
- González, F. J., Candau, P., Cepeda, J. M. 1994. Presencia de esporas de *Alternaria* en el aire (SO de España) y su relación con los factores meteorológicos. *Revista Iberoamericana de Micología*, 11: 92-95.
- Grinn-Gofroń, A., Rapiejko, P. 2009. Occurrence of *Cladosporium* spp. and *Alternaria* spp. spores in Western, Northern and Central-Eastern Poland in 2004-2006 and relation to some meteorological factors. *Atmos. Res.*, 93: 747-758.
- Hjelmroos, M. 1993. Relationship between airborne fungal spore presence and weather variables. *Grana*, 32: 40-47.
- Infante, F., Domínguez, E., Ruiz de Clavijo, E., Galán, C. 1987. Incidence of *Alternaria* Nees ex Fries in dwellings of Cordoba city. *Allergologia et immunopathologia*, 15: 221-224.
- Larsen, L., Gravesen, S. 1991. Seasonal variation of outdoor airborne viable microfungi in Copenhagen, Denmark. *Grana*, 30: 467-471.
- Marchisio, V. F., Airaudi, D. 2001. Temporal trends of the airborne fungi and their functional relations with the environment in a suburban site. *Mycologia*, 93: 831-840.
- Méndez, J., Iglesias, I., Jato, M. V., Aira, M. J. 1997. Variación del contenido en esporas de *Alternaria*, *Cladosporium* y *Fusarium* en la atmósfera de la ciudad de Ourense (años 1993-1994). *Polen*, 8: 79-88.
- Munuera, M., Carrión, J. S. 1995. Daily variations of *Alternaria* spores in the city of Murcia (semi-arid southeastern Spain): relationship with weather variables. *Int. J. Biometeorol.*, 38: 176-179.
- Powelson, M. J., Rowe, R. C. 1993. Biology and management of early dying of potatoes. *Annu. Review of Phytopathol.*, 31: 111-127.
- Pscheidt, J. W., Stevenson, W. R. 1986. Comparison of forecasting methods for control of potato early blight in Wisconsin. *Plant Dis.*, 70: 915-920.
- Ricci, S., Bruni, M., Meriggi, A., Corsico, R. 1995. Aerobiological monitoring of *Alternaria* fungal spores: a comparison between surveys in 1992 and 1993 and local meteorological conditions. *Aerobiologia*, 11: 195-199.

منفی بود. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، هر دو مدل پیش‌آگاهی می‌توانند در پیش‌آگاهی بیماری لکه موجی سیب‌زمینی در غرب ایران مورد استفاده قرار گیرند. همچنین پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی با استفاده از اطلاعات پایش این بیماری در سایر مناطق ایران، مدل‌های پیش‌آگاهی با داده‌های هواشناسی موجود مورد ارزیابی قرار گیرند.

## سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور به جهت حمایت مالی از این طرح تشکر و قدردانی می‌نمایند.

## منابع

- آقاجانی، م. ۱۳۹۱. احتمال وقوع بیماری بادزدگی فیتوفترایی سیب‌زمینی در گرگان بر اساس شرایط آب‌وهوایی. پژوهش‌های کاربردی در گیاه‌پزشکی، ۱(۱): ۶۷-۸۰.
- صدرای، م. ۱۳۹۲. مدل پیش‌آگاهی زنگ زرد گندم. دانش بیماری‌شناسی گیاهی، ۱: ۴۶-۵۸.
- میرشکار، م. ۱۳۹۱. بررسی اپیدمیولوژی لکه موجی سیب‌زمینی در منطقه بسطام، پایان‌نامه کارشناسی ارشد بیماری‌شناسی گیاهی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دامغان.
- نارویی خندان، ح. ۱۳۸۷. اولین مدل پیش‌آگاهی آتشک گللابی از طریق سامانه اطلاعات جغرافیایی در کشور، پایان‌نامه دکتری بیماری‌شناسی گیاهی، دانشگاه لینکلن، نیوزلند.
- Burch, M., Levetin, E. 2002. Effects of meteorological conditions on spore plumes. *Int. J. Biometeorol.*, 46: 107-117.
- Campbell, C. L., Madden, L. V. 1990. Introduction to plant disease epidemiology. Wiley, New York, 532p.
- Franc, G. D., Harrison, M. D., Lahman, L. K. 1988. A simple day-degree model for initiating chemical control of potato early blight in Colorado. *Plant Dis.*, 72: 851-854.
- Gent, D. H., Schwartz, H. F. 2003. Validation of potato early blight disease forecast models for

- Shtienberg, D., Fry, W. E. 1990. Influence of host resistance and crop rotation on initial appearance of potato early blight. *Plant Dis.*, 74: 849-852.
- Stennett, P. J., Beggs, P. J. 2004. *Alternaria* spores in the atmosphere of Sydney, Australia, and relationship with meteorological factors. *Int. J. Biometeorol.*, 49: 98-105.
- Stevenson, W. R., Loria, R., Franc, G. D., Weingartner, D. P. 2001. *Compendium of potato diseases*. Second Edition. APS.Press, St. Paul, MN.
- Rodriguez, N. V., Kowalski, B., Rodriguez, L. G., Carabaloso, I. B., Suarez, M. A., Perez, P. O., Quintana, C. R., Gonzalez, N., Ramos, R. Q. 2007. In vitro and ex vitro selection of potato plantlets for resistance to early blight. *Phytopathol.*, 155: 582-586.
- Rotem, J. 1994. *The Genus Alternaria: Biology, Epidemiology and Pathogenicity*. APS Press, St. Paul, MN.
- Sabariego, S., Díaz, C., Alba, F. 2000. The effect of meteorological factors on the daily variation of airborne fungal spores in Granada (southern Spain). *Int. J. Biometeorol.*, 44: 1-5.



## ارائه یک روش پیش‌بینی عملکرد جو با استفاده از شاخص‌های دورپیوندی (مطالعه موردی: کبوترآباد اصفهان)

سید مسعود مصطفوی دارانی<sup>۱</sup>، جواد خوشحال دستجردی<sup>۲\*</sup>، راجر استون<sup>۳</sup>، فریبرز عباسی<sup>۴</sup>، ایمان بابائیان<sup>۵</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۹/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۲/۰۴

### چکیده

گیاه جو (*Hordeum Vulgare. L*) منبع غذایی مهمی برای تغذیه انسان و دام است و از لحاظ سطح زیر کشت دومین غله مهم ایران به‌شمار می‌رود. هدف از انجام این پژوهش، ارائه روشی برای پیش‌بینی عملکرد گیاه جو به کمک تلفیق یک مدل زراعی با شاخص‌های اقلیمی دورپیوندی در کبوترآباد اصفهان می‌باشد. به این منظور، آزمایشی در ایستگاه تحقیقات هواشناسی کشاورزی کبوترآباد اصفهان طی سال‌های زراعی ۹۰-۹۱ و ۹۱-۹۲ انجام شد. پس از صحت و اعتبارسنجی مدل گیاهی AquaCrop طی دو سال زراعی، عملکرد دانه با استفاده از داده‌های تاریخی یک دوره ۱۵ ساله اعتبارسنجی شد. سپس عملکرد دانه برای دوره ۶۲ ساله (۱۳۳۰-۱۳۹۲) آمار هواشناسی شبیه‌سازی گردید. بانک اطلاعاتی ماهانه ۵ فاز شاخص نوسان جنوبی و ۳ فاز شاخص دوقطبی اقیانوس هند به‌عنوان دو شاخص دورپیوندی برای ۳ ماه پیش از تاریخ کاشت (شهریور، مهر، آبان) از سال ۱۳۳۰ لغایت ۱۳۹۲ انتخاب و توزیع احتمالات تجمعی عملکرد شبیه‌سازی شده محاسبه گردید. نتایج نشان داد به‌جز فازهای دوقطبی اقیانوس هند در ماه آبان، اختلاف معنی‌داری بین فازهای مختلف وجود ندارد. آزمون کروسکال-والیس اختلاف معنی‌داری ( $P=0/005$ ) را بین فازهای دوقطبی اقیانوس هند نشان داد و آزمون من-ویتنی بیانگر اختلاف معنی‌داری بین فازهای نرمال و منفی ( $P=0/012$ ) و مثبت و منفی ( $P=0/006$ ) شاخص مذکور بود. از آنجا که پیش‌بینی‌های ۳ تا ۶ ماهه نوسان دو قطبی اقیانوس هند بر اساس خروجی‌های مدل‌های اقلیمی قابل دسترس می‌باشند، امکان پیش‌بینی عملکرد ۳ ماه پیش از کاشت وجود داشته و در شرایط وقوع فازهای منفی و مثبت نوسان دوقطبی اقیانوس هند، مدیریت عملیات مزرعه‌ای نظیر استفاده از ارقام مقاوم به خشکی، کاهش تراکم و سایر راهبردهای سازگار با شرایط خشکی می‌تواند مدنظر قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: مدل AquaCrop، شاخص نوسان جنوبی، شاخص دوقطبی اقیانوس هند، پیش‌بینی فصلی

### مقدمه

اِپستاین<sup>۶</sup>، (۱۹۹۰). بیش از ۶۰ درصد کشور ایران در مناطق خشک و نیمه‌خشک واقع شده است (مدرس و داسیلوا<sup>۷</sup>، ۲۰۰۷). گیاه جو (*Hordeum Vulgare. L*) مقاوم به شوری و خشکی بوده و منبع مهم غذایی برای انسان و دام به‌شمار می‌آید. جو از لحاظ سطح زیر کشت دومین غله مهم ایران

کمبود آب و شوری خاک در بسیاری از مناطق خشک و خشک و نیمه‌خشک جهان مسئله‌ساز می‌باشد (لائوچی و

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی کشاورزی، گروه اقلیم‌شناسی، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه ریزی، دانشگاه اصفهان

<sup>۲</sup> دانشیار گروه اقلیم‌شناسی، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه‌ریزی، دانشگاه اصفهان

(\*) نویسنده مسئول: javadkoshhal@yahoo.com

<sup>۳</sup> استاد اقلیم‌شناسی، دانشگاه کوئینزلند جنوبی استرالیا، رئیس مرکز بین-المللی علوم اقلیم کاربردی

<sup>۴</sup> استاد رشته آبیاری و زهکشی، موسسه تحقیقات مهندسی کشاورزی کرج کرج

<sup>۵</sup> دکترای اقلیم‌شناسی، رئیس گروه پژوهشی تغییر اقلیم، پژوهشکده اقلیم-اقلیم‌شناسی مشهد

<sup>۶</sup> Lauchi & Epstein

<sup>۷</sup> Modarres & Da Silva

جنوبی<sup>۹</sup>) را در مدیریت زراعی و انتخاب گیاهان پنبه و بادام زمینی در هندوستان گزارش نمودند. سلیلیا و همکاران<sup>۱۰</sup> (۲۰۱۰) با استفاده از مدل شبیه‌سازی رشد گیاه، اثرات فزاینده‌ی انسو بر عملکرد ذرت را مورد مطالعه قرار دادند. امور و همکاران<sup>۱۱</sup> (۲۰۱۱) با استفاده از بارش روزانه حاصل از مدل گردش عمومی جو پیش‌بینی عملکرد ذرت در کنیا را ارتقاء دادند. هنسن و ایندجه<sup>۱۲</sup> (۲۰۰۴) جهت پیش‌بینی عملکرد ذرت در کنیا، خروجی پیش‌بینی فصلی به روش دینامیکی را با مدل شبیه‌سازی رشد گیاه تلفیق نمودند. نکته مهم در تلفیق سیستم‌های پیش‌بینی گیاه با مدل‌های اقلیمی فصلی، اختلاف مقیاس آن‌ها می‌باشد. مدل‌های گیاهی معمولاً برای کاربرد در سطوح مزرعه‌ای تهیه شده‌اند درحالی‌که خروجی‌های مدل‌های اقلیم جهانی در مقیاس‌های ملی یا منطقه‌ای به‌کار می‌آیند. افزون بر این ممکن است بین مقیاس زمانی دو مدل مذکور نیز عدم همخوانی وجود داشته باشد (استون و مینکه، ۲۰۰۵). روش‌های مختلفی جهت تلفیق مدل‌های شبیه‌سازی‌های گیاهی با مدل‌های پیش‌بینی اقلیمی وجود دارد. در پژوهش حاضر تلفیق مدل گیاهی آکواکراپ<sup>۱۳</sup> با شاخص‌های دورپیوندی نوسان جنوبی و نوسان دوقطبی اقیانوس هند<sup>۱۴</sup> با استفاده از روش طبقه‌بندی و همسان‌سازی مورد آزمون قرار گرفته است. اهداف این پژوهش شامل الف- واسنجی مدل آکواکراپ و اعتبارسنجی آن برای عملکرد دانه گیاه جو و ب- تلفیق نمودن شاخص‌های دورپیوندی نوسان جنوبی و دوقطبی اقیانوس هند با مدل گیاهی آکواکراپ با استفاده از روش طبقه‌بندی و همسان‌سازی جهت پیش‌بینی عملکرد جو در کبوترآباد اصفهان می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

### شاخص‌های دورپیوندی ال‌نینو- نوسان جنوبی و نوسان

#### دوقطبی اقیانوس هند

پدیده ال‌نینو- نوسان جنوبی (انسو) با تغییرات منظم شرایط درجه حرارت اقیانوس آرام و گردش جو حاصل از آن

به‌شمار می‌رود (بانک اطلاعات زراعت، ۱۳۹۳). با این وجود با واردات ۱۱۹۶۸۴۴ تن، ایران در زمره ده کشور عمده واردکننده جو در جهان قرار دارد (فائو<sup>۱</sup>، ۲۰۱۴). در سالیان اخیر عدم وجود پیش‌بینی عملکرد محصولات مبتنی بر پیش‌بینی‌های آب و هوایی و عدم توجه به تنظیم بازار در سطوح ملی و بین‌المللی هزینه‌های هنگفتی را به دولت و بخش خصوصی تحمیل نموده است. پیش‌بینی فصلی شرایط مساعد آب و هوایی به‌صورت به‌هنگام امکان آن‌را فراهم می‌آورد که کشاورزان بتوانند عملیات و مصرف نهاده‌های کشاورزی را در جهت بهره‌مندی هرچه بیشتر از شرایط مذکور انجام دهند. پیش‌بینی مذکور زمان کافی را جهت آماده‌سازی در اختیار بازار محصولات کشاورزی و کاربران نهایی نظیر صنایع تبدیلی کشاورزی قرار داده و باعث بهبود مدیریت آب در کشاورزی می‌گردد (آرندت و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۰۰؛ سیواکومار<sup>۳</sup>، ۲۰۰۶). پیش‌بینی عملکرد محصولات کشاورزی در مدیریت ذخیره‌سازی، انبارداری و حمل و نقل مورد استفاده صنایع و مؤسسات بازاریابی داخلی و بین‌المللی قرار گرفته و حتی در مداخلات سیاسی دولت‌ها به‌ویژه در شرایط خشکسالی به‌کار می‌آید (هامر و همکاران<sup>۴</sup>، ۲۰۰۱). امروزه تلفیق مدل‌های پیش‌بینی اقلیمی فصلی با مدل‌های شبیه‌سازی رشد گیاهان به‌عنوان یک سیستم جامع به‌صورت کاربردی در مدیریت کشاورزی و سیاست‌های بازاریابی مورد استفاده قرار می‌گیرد. پیش‌بینی‌های مذکور از پیش‌بینی فصلی شاخص‌های دورپیوندی نظیر شاخص نوسان جنوبی<sup>۵</sup> گرفته تا خروجی مدل‌های گردش عمومی جو<sup>۶</sup> به‌عنوان ورودی مدل‌های گیاهی متغیر می‌باشند. امروزه نمونه‌هایی موفقیت‌آمیز از تلفیق سامانه‌های پیش‌بینی اقلیمی فصلی با سامانه‌های مدل‌سازی کشاورزی جهت پیش‌بینی عملکرد در کشورهای مختلف گسترش یافته است (استون و مینکه<sup>۷</sup>، ۲۰۰۵). سلواراجو و همکاران<sup>۸</sup> (۲۰۰۴) استفاده از سیستم پیش‌بینی رشد گیاه مبتنی بر شاخص انسو (ال‌نینو - نوسان

<sup>1</sup> FAO (Food and agriculture Organization)

<sup>2</sup> Arndt et al.

<sup>3</sup> Sivakumar

<sup>4</sup> Hammer et al.

<sup>5</sup> SOI (Southern Oscillation Index)

<sup>6</sup> GCMs (General Circulation Models)

<sup>7</sup> Stone & Meinke

<sup>8</sup> Selvaraju et al.

<sup>9</sup> ENSO (El-Nino Southern Oscillation)

<sup>10</sup> Celilia et al.

<sup>11</sup> Amor et al.

<sup>12</sup> Hansen & Indeje

<sup>13</sup> AquaCrop

<sup>14</sup> IOD (Indian Ocean Dipole)

۳-۴ به ترتیب افزایش و کاهش می‌یابد. زارع ایبانه و همکاران (۱۳۹۰) کاهش عملکرد گندم و جو دیم و آبی را در فازهای ال- نینو در مقایسه با فازهای لاتینا در غرب ایران گزارش نمودند. پژوهشگران دریافته‌اند که همبستگی بالا و معنی‌داری مابین فعالیت ال- نینو نوسان جنوبی و تولیدات کشاورزی در بسیاری از نقاط جهان وجود دارد (جونز و همکاران، ۲۰۰۰) که برخی از آن‌ها را در پژوهش‌های زیر می‌توان یافت (هنسن و همکاران، ۱۹۹۸؛ فریرا و همکاران<sup>۳</sup>؛ ۲۰۰۱؛ لگler و همکاران<sup>۴</sup>، ۱۹۹۹؛ نایلور و همکاران<sup>۵</sup>، ۲۰۰۱؛ پاز و همکاران<sup>۶</sup>، ۲۰۰۷؛ مجده و کپلینگر<sup>۷</sup>، ۱۹۹۸؛ پاتگیتیر و همکاران<sup>۸</sup>، ۲۰۰۲؛ جیمینو و همکاران<sup>۹</sup>، ۲۰۰۲؛ آدامز و همکاران<sup>۱۰</sup>، ۲۰۰۳). دیگر شاخص دورپیوندی مورد استفاده، دوقطبی اقیانوس هند می‌باشد که پدیده‌ای جوی- اقیانوسی در بخش‌های استوایی اقیانوس هند به‌شمار می‌رود (ساجی و همکاران<sup>۱۱</sup>، ۱۹۹۹). شاخص فراوانی دوقطبی<sup>۱۲</sup> به‌عنوان نشان‌گر میزان شدت دوقطبی اقیانوس هند مورد استفاده قرار می‌گیرد. شاخص فراوانی دوقطبی به‌عنوان اختلاف ناپهنجاری‌های دمای سطح اقیانوس هند مابین بخش غربی (۶۰ الی ۸۰ درجه شرقی- ۱۰ درجه شمالی تا ۱۰ درجه جنوبی) و شرقی (۹۰ الی ۱۱۰ درجه شرقی- صفر تا ۱۰ درجه جنوبی) منطقه حاره‌ای اقیانوس هند تعریف می‌شود (ساجی و یاماگاتا<sup>۱۳</sup>، ۲۰۰۳). برخلاف شاخص نوسان جنوبی، پژوهش‌های محدودی در زمینه بررسی تأثیر نوسان دوقطبی اقیانوس هند بر بارش ایران انجام شده‌است. رسولی و همکاران (۱۳۹۰) طی دوره آماری ۱۹۸۰ تا ۲۰۰۹، رابطه بین بارش فصلی ایران و درجه حرارت سطح آب پهنه‌های آبی اطراف را مورد بررسی قرار داده و اعلام نمودند که طی فصول زمستان و بهار مهم‌ترین مراکز تغییرپذیری درجه حرارت سطح آب در مقیاس فصلی، در پهنه‌های آبی نزدیک سواحل

در ارتباط می‌باشد (هامر و همکاران، ۱۹۹۶). شاخص ماهانه نوسان جنوبی نشان‌گر اصلی انسو بوده و به‌صورت اختلاف فشار جو استاندارد شده ما بین تاهیتی و داروین محاسبه می‌گردد (هامر و همکاران، ۱۹۹۶). شاخص نوسان جنوبی معیاری را در اختیار قرار می‌دهد که می‌تواند در ایجاد یک سامانه پیش‌بینی فصلی مورد استفاده قرار گیرد (استون و همکاران، ۱۹۹۶). با ارزش‌ترین سامانه پیش‌بینی، سامانه فازی شاخص نوسان جنوبی می‌باشد که توسط استون و اولیسیم<sup>۱</sup> (۱۹۹۲) ارائه گردیده است و بسته به میزان و سرعت تغییر نوسان جنوبی، فصول را به ۵ فاز طبقه‌بندی می‌نماید (هامر و همکاران، ۱۹۹۶). استون و همکاران (۱۹۹۶) با استفاده از فازهای شاخص نوسان جنوبی احتمالات بارش را در سطح جهان پیش‌بینی نمودند. بر اساس نتایج به‌دست آمده، اگر فاز منفی پایدار در ماه‌های ژوئن و ژولای اتفاق بیافتد، به احتمال زیاد میانه بارش در ایران برای سه ماه پس از آن (آگوست، سپتامبر و اکتبر) افزون بر میانه اقلیمی خود خواهد بود. ناظم‌السادات و کوردری<sup>۲</sup> (۲۰۰۰) همبستگی منفی مابین شاخص نوسان جنوبی و بارش پاییزه را برای اکثر نقاط ایران گزارش نمودند و مشخص گردید که طی پدیده ال- نینو، میزان بارش در برخی نقاط مختلف کشور ایران چندین برابر بیش از میزان مشابه طی لاتینا می‌باشد. هر چند بارش زمستانه بیشتر (کمتر) از نرمال در ایران با فازهای سرد (گرم) انسو همخوانی دارد، مورد مذکور به‌عنوان قاعده‌ای عمومی به شمار نیامده و جهت کمی‌سازی و تعدیل رابطه بارش با انسو طی فازهای گرم و سرد انسو، پژوهش‌های بیشتری مورد نیاز می‌باشد (ناظم‌السادات و قاسمی، ۲۰۰۴). همبستگی منفی معنی‌داری بین بارش پاییزه و شاخص نوسان جنوبی از ژوئن تا آگوست در جنوب‌غربی ایران وجود دارد (دزفولی و همکاران، ۲۰۱۰). هر چند رابطه مابین انسو و بارش در ایران به میزان زیادی مورد بررسی قرار گرفته است اما رابطه آن با عملکرد گیاهان به‌خوبی شناخته نشده است. بنایان و همکاران (۲۰۱۱) نقش انسو را بر عملکرد گندم و جو دیم در شمال شرقی ایران مورد بررسی قرار داده و نشان دادند که عملکرد در شمال منطقه مورد بررسی، در فازهای مثبت و منفی نینو

<sup>3</sup> Ferreyra et al.

<sup>4</sup> Legler et al.

<sup>5</sup> Naylor et al.

<sup>6</sup> Paz et al.

<sup>7</sup> Mjelde & Keplinger

<sup>8</sup> Potgieter et al.

<sup>9</sup> Gimeno et al.

<sup>10</sup> Adams et al.

<sup>11</sup> Saji et al.

<sup>12</sup> DMI (Dipole Mode Index)

<sup>13</sup> Saji & Yamagata

<sup>1</sup> Stone & Aulicims

<sup>2</sup> Nazemosadat & Cordery

آنگستروم با ضرایب  $(a=0/4)$  و  $(b=0/34)$  که توسط کمالی و مرادی (۱۳۸۵) گزارش شده بود، جهت ایجاد داده‌های تشعشع از ساعات آفتابی مورد استفاده قرار گرفت. تبخیر و تعرق مرجع توسط نرم افزار ETcalculator و با استفاده از روش فائو پنمن مانیتث محاسبه گردید. خاک محل آزمایش سیلت رسی به عمق ۰/۶ متر و فاقد لایه غیر قابل نفوذ بود. خصوصیات فیزیکی خاک محل آزمایش در جدول ۱ ارائه گردیده است.

### مدل گیاهی آکواکراپ<sup>۱</sup>

مدل‌ها عموماً به منظور خلاصه یا ساده نمودن یک سامانه حقیقی استفاده می‌شوند (لوومیس و رابینگ<sup>۲</sup>، ۱۹۷۹). مدل‌های گیاهی برای پژوهش‌های مختلف از جمله تلفیق مدل‌های گیاهی و شاخص‌های اقلیمی دورپیوندی ابزارهای سودمندی به‌شمار می‌روند. مدل آکواکراپ توسط سازمان خوار و بار جهانی (فائو) ایجاد شده و اساساً بر شبیه‌سازی زیست‌توده گیاهی قابل حصول و عملکرد قابل برداشت در عکس‌العمل به آب قابل دسترس استوار بوده و در مقایسه با دیگر مدل‌های شبیه‌سازی رشد گیاه از پارامترهای نسبتاً کمی استفاده می‌نماید. سعی بر این بوده که در طراحی مدل تعادلی ما بین سادگی، صحت و پایایی برقرار گردد (استدوتو و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۰۹). لذا مدل مذکور جهت استفاده در کشورهای در حال توسعه که در آن‌ها کمبود داده محدودیت اصلی محسوب می‌گردد، مناسب می‌باشد. در صورت عدم وجود داده‌های روزانه آب و هوایی، مدل با استفاده از روش میان‌یابی گومز<sup>۴</sup> (۱۹۸۳) از میانگین‌های ماهانه و ده روزه دما و تبخیر و تعرق، مقادیر روزانه را استخراج می‌نماید (رائز و همکاران<sup>۵</sup>، ۲۰۰۹). همچنین مدل قادر است داده‌های ماهانه بارش را به‌عنوان ورودی مورد استفاده قرار دهد. مورد مذکور خصوصیت منحصربه‌فردی می‌باشد که مدل آکواکراپ را مناسب استفاده از داده‌های اقلیمی یا خروجی‌های مدل‌های اقلیمی در مقیاس ماهانه می‌نماید. زینینگره و همکاران<sup>۶</sup>

سودان و شمال غربی اقیانوس هند واقع گردیده‌اند. جهانبخش و همکاران (۱۳۹۰) تأثیر نوسان دوقطبی اقیانوس هند را بر تغییرپذیری فصلی بارش استان‌های جنوبی ایران بررسی نموده و نتیجه‌گیری کردند که همبستگی مثبتی بین بارش-های پاییزه استان‌های جنوبی ایران و نوسان دوقطبی اقیانوس هند وجود دارد. هادیانی و همکاران (۲۰۱۲) اعلام نمودند که رابطه معنی‌داری بین میانگین بارش سالانه و شاخص نوسان جنوبی در شمال ایران وجود دارد.

### منطقه مورد مطالعه

این آزمایش در ایستگاه هواشناسی کشاورزی کبوترآباد با مختصات عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۳۱ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۵۱ دقیقه شرقی طی سال‌های زراعی ۹۱-۹۰ (۲۰۱۱-۲۰۱۲) و ۹۲-۹۱ (۲۰۱۲-۲۰۱۳) انجام گردید. با توجه به اینکه جهت انجام پژوهش حاضر داده‌های بلندمدت اقلیمی و عملکرد (بیش از ۵۰ سال) موردنیاز بود، داده‌های اقلیمی ایستگاه سینوپتیک اصفهان با دوره آماری ۶۲ ساله (۱۳۳۰-۱۳۹۲) پس از صحت و اعتبارسنجی مدل آکواکراپ، جهت شبیه‌سازی عملکرد مورد استفاده قرارگرفت. ایستگاه اصفهان دارای مختصات عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۳۷ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۴۰ دقیقه شرقی در فاصله ۱۱/۹ کیلومتری شرق ایستگاه کبوترآباد قرارگرفته است. بارش و تبخیر و تعرق گیاه مرجع در دوره آماری طی فصل رشد تقریباً برابر با ۱۱۹ و ۱۳۸۶ میلی‌متر بود. داده‌های آب و هوایی روزانه و ماهانه شامل درجه حرارت، رطوبت نسبی، ساعات آفتابی، تشعشع خورشیدی و سرعت باد و بارش جهت واسنجی و اعتبارسنجی مدل آکواکراپ طی دو سال زراعی، اعتبارسنجی عملکرد دانه طی دوره آماری ۱۵ ساله (۱۳۹۲-۱۳۷۷) و همچنین شبیه‌سازی سری زمانی عملکرد جو طی دوره آماری ۶۲ ساله (۱۳۳۰-۱۳۹۲) مورد استفاده قرار گرفتند. ورودی‌های مورد نیاز مدل آکواکراپ شامل داده‌های اقلیمی (درجه حرارت، رطوبت نسبی، باد، تشعشع خورشیدی، تبخیر و تعرق مرجع و بارش)، خصوصیات گیاهی، مدیریت مزرعه و خصوصیات خاک و آبیاری می‌باشند. داده‌های تشعشع خورشیدی به‌علت خارج بودن از دامنه، مورد قبول مدل واقع نگردید. بنابراین مدل

<sup>1</sup> AquaCrop

<sup>2</sup> Loomis & Rabbinge

<sup>3</sup> Steduto et al.

<sup>4</sup> Gommès

<sup>5</sup> Raes et al.

<sup>6</sup> Zinyengere et al.

### پارامترها و اندازه‌گیری‌های گیاهی

تعداد روزهای پس از کاشت تا مراحل مختلف فنولوژیکی نظیر سبز شدن، حداکثر پوشش کانوپی، آغاز زرد شدن و رسیدگی فیزیولوژیکی در مزرعه اندازه‌گیری گردید. درجه-روز رشد در مدل آکواکراپ بر اساس روش مک مستر و ویلهلم<sup>۳</sup> (۱۹۹۷) محاسبه می‌گردد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی خاک محل آزمایش

عمق (متر)	نقطه پژمردگی دائم	نقطه اشباع	ظروفیت خاک (در صدجبهی) ظرفیت مزرعه	وزن مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	هدایت هیدرولیکی (میلی‌متر در روز)
۰/۳-۰	۲۲	۵۴	۳۵	۱/۳۲	۰/۳۶
۰/۶-۰/۳	۲۶	۵۶	۴۹	۱/۴۸	۰/۳۳

اندازه‌گیری عمق توسعه ریشه در مرحله رسیدگی و پس از شستشوی نمونه‌های خاک انجام شد. در ۲ سال آزمایش زیست‌توده در مراحل سه‌برگی، پنجه‌زنی و خمیری از سطحی برابر ۰/۵ مترمربع اندازه‌گیری شد و ۴ نمونه در هر بار برداشت گردید. زیست‌توده پس از خشک نمودن در آون ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت محاسبه گردید. پس از رسیدگی فیزیولوژیکی، زیست‌توده نهایی و عملکرد دانه علاوه بر تمامی کوادرات‌ها از ۴ کوادرات تصادفی از سطحی معادل ۸ متر مربع در هر سال به‌دست آمد و وزن هزار دانه نیز در هر سال اندازه‌گیری گردید. اندازه‌گیری رطوبت خاک در طی دوره رشد به روش وزنی و قبل و بعد از هر آبیاری در اعماق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی‌متر انجام شد.

### واسنجی و اعتبارسنجی مدل

واسنجی مدل در سال زراعی ۱۳۹۱-۱۳۹۲ از طریق تغییر پارامترهای گیاهی در راستای ایجاد حداکثر انطباق مابین خروجی‌های مدل و داده‌های اندازه‌گیری شده مزرعه‌ای به‌صورت سعی و خطا و تخمین پارامترهای غیر ثابت انجام

(۲۰۱۱) از پیش‌بینی فصلی اقلیمی مبتنی بر انسو (ال نینو-نوسان جنوبی) تلفیق شده با مدل آکواکراپ جهت ایجاد ابزار حمایتی تصمیم‌گیری مبتنی بر اقلیم در تولید ذرت در زیمبابوه استفاده نمودند. مدل آکواکراپ در ایران تاکنون برای گیاه جو واسنجی و اعتبارسنجی نشده است لذا واسنجی و اعتبارسنجی آن قبل از تلفیق با شاخص‌های دورپیوندی ضروری می‌باشد. آریا و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۱۰) واسنجی و اعتبارسنجی جو را در شمال اتیوپی انجام دادند. اندرزیان و همکاران (۲۰۱۱) اعتبارسنجی مدل آکواکراپ را در شرایط آبیاری کامل و کم‌آبیاری گندم در جنوب‌غربی ایران انجام دادند. مدل آکواکراپ همچنین جهت مدیریت کم‌آبیاری گندم زمستانه در مرکز ایران مورد استفاده قرار گرفته است (سالمی و همکاران، ۲۰۱۱).

### اندازه‌گیری‌ها و عملیات زراعی

گیاه جو رقم M79-4 برای سال‌های زراعی ۱۳۹۱-۱۳۹۰ و ۱۳۹۲-۱۳۹۱ بدون اعمال تیمار و تحت شرایط زارعین منطقه کشت گردید. گیاه در تاریخ‌های کاشت ۲۲ آبان ۱۳۹۰ و ۲۱ آبان ۱۳۹۱ و تحت آبیاری سطحی کاشته شد. جهت انجام دیده‌بانی‌های فنولوژیک و بیولوژیک و اندازه‌گیری‌ها از کاشت تا برداشت، تعداد ۴ کوادرات (چهارچوب) در آرایشی تصادفی با رعایت اثر حاشیه‌ای ۱/۵ متری در هر هکتار مورد استفاده قرار گرفت. در هر چهارچوب ۱۰ گیاه به‌عنوان نمونه جهت دیده‌بانی‌های فنولوژیک و بیومتریکی از کاشت تا برداشت انتخاب شدند. میزان آب مصرفی در هر آبیاری توسط فلوم<sup>۲</sup> WSC اندازه‌گیری گردید. نیازهای غذایی بر اساس آزمایشات خاک تعیین و با مصرف کودهای شیمیایی تأمین گردید. کود ازته مورد نیاز به‌میزان مساوی طی دو مرحله کاشت و آغاز رشد ساقه مورد استفاده قرار گرفت. علف‌های هرز توسط علف‌کش‌ها کنترل گردیده و آفات و امراض در طی مرحله رشد مشاهده نگردید. کاشت توسط ردیف‌کار غلات انجام گردیده و میزان بذر مصرفی در هر دو سال ۲۰ کیلوگرم در هکتار با در نظر گرفتن ۹۰ درصد جوانه‌زنی و وزن هزار دانه ۳۸/۶ گرم و تراکم تقریبی ۱۵۵ گیاه در هر متر مربع بود.

<sup>1</sup> Araya et al.

<sup>2</sup> Washington State College

<sup>3</sup> McMaster & Wilhelm

گردید. پارامترهای گیاه جو در مدل آکواکراپ شامل پارامترهای ثابت و غیر ثابت می باشند. پارامترهای ثابت در طی زمان و اختلاف در مدیریت مزرعه، مکان جغرافیایی و اقلیم ثابت باقی میمانند (رائز و همکاران، ۲۰۱۰). سایر پارامترهای گیاهی توسط کاربر قابل تغییر بوده و تحت تأثیر مدیریت مزرعه، شرایط خاک، رقم و اقلیم قرار میگیرند. پارامترهای ثابت و غیر ثابت گیاه جو توسط رائز و همکاران (۲۰۱۲) ارائه گردیده است. فایل‌های مورد نیاز مدل شامل اقلیم، آبیاری، خاک و میزان رطوبت اولیه خاک بر اساس داده های اندازه‌گیری شده ساخته شد و فایل گیاه از مراحل فنولوژیکی مشاهده شده در مزرعه به دست آمد. اعتبارسنجی مدل در سال زراعی ۱۳۹۱-۱۳۹۰ با مقایسه مشاهدات مزرعه‌ای زیست‌توده گیاهی با خروجی مدل با استفاده از آزمون‌های آماری نکویی برازش نظیر ضریب تبیین ( $R^2$ ) که مجذور ضریب همبستگی می‌باشد (معادله ۱)، خطای جذر میانگین مربعات خالص<sup>۱</sup> و نرمال شده<sup>۲</sup> (معادله‌های ۲ و ۳) انجام شد.

دیگر پارامتر گیاهی نظیر پوشش اجتماع گیاهی نیز جهت واسنجی و اعتبارسنجی مدل مورد استفاده قرار گرفت که به جهت تخلص از ذکر آن خودداری گردید. علاوه بر این از مدل واسنجی شده جهت اعتبارسنجی داده‌های درازمدت ۱۵ ساله (۱۳۹۲-۱۳۷۷) عملکرد دانه استفاده گردید. با توجه به اینکه جهت استفاده از پیش‌بینی‌های فصلی مبتنی بر شاخص‌های دورپیوندی و روش طبقه‌بندی و همسان‌سازی، اطلاعات درازمدت عملکرد مورد نیاز بوده و اطلاعات مذکور در سطح استان و یا حتی کشور فراهم نمی‌باشد، پس از اعتبارسنجی مدل، اطلاعات اقلیمی ماهانه ۶۲ ساله ایستگاه سینوپتیک اصفهان (۱۳۹۲-۱۳۳۰) شامل درجه حرارت و بارش جهت شبیه‌سازی عملکرد دانه جو مورد استفاده قرار گرفت. جهت شبیه‌سازی دوره‌های زمانی ۱۵ و ۶۲ ساله، کلیه ورودی‌های مدل به جز داده‌های اقلیمی ثابت و خروج ۳۵ درصد از آب سهل‌الوصول مبنای انجام آبیاری در نظر گرفته شد (هاسن و همکاران، ۲۰۰۲). روش‌های تلفیق مدل‌های گیاهی با پیش‌بینی‌های فصلی اقلیمی را می‌توان به ۴ گروه تقسیم نمود (هنسن و ایندجه، ۲۰۰۴). ۱- شبیه‌سازی رشد گیاه با خروجی‌های روزانه مدل‌های اقلیمی ۲- استفاده از داده‌های آب و هوایی روزانه تولیدشده مصنوعی مشروط بر پیش‌بینی‌های اقلیمی ۳- پیش‌بینی آماری عکس‌العمل شبیه‌سازی شده گیاه با داده‌های اقلیمی گذشته ۴- روش طبقه‌بندی و همسان‌سازی. در پژوهش حاضر روش طبقه‌بندی و همسان‌سازی مورد استفاده قرار گرفت. روش مذکور از نظر کاربرد در سطح جهانی رایج‌ترین روش بوده و معضل عدم همخوانی مقیاس‌های زمانی و مکانی مدل‌های گیاهی و مدل‌های اقلیمی در این روش وجود ندارد. در این روش تغییرپذیری پیش‌بینی‌کننده‌های اقلیم نظیر شاخص‌های دورپیوندی به طبقات یا فازهای مختلف تقسیم شده و سپس احتمال سال‌هایی از دوره آماری که دارای فاز مشخصی هستند، تعیین گردیده و توزیع آماری عملکردهای شبیه‌سازی شده برای دوره آماری با فازهای مشابه، امکان انجام پیش‌بینی‌های احتمالی را فراهم می‌نماید (هنسن و ایندجه، ۲۰۰۴). به عبارت دیگر در این روش با طبقه‌بندی شاخص‌های دورپیوندی به فازهای مشخص، عملکرد محصول طی سال‌های گذشته به فازهای مذکور اختصاص یافته و با استفاده از

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})(O_i - \bar{O})}{[(P_i - \bar{P})^2]^{0.5} \cdot [(O_i - \bar{O})^2]^{0.5}} \quad (1)$$

$$RMSE = \left[ \sum_{i=1}^n \frac{(P_i - \bar{P})^2}{n} \right]^{0.5} \quad (2)$$

$$NRMSE = \frac{100}{M} \left[ \sum_{i=1}^n \frac{(P_i - \bar{P})^2}{n} \right]^{0.5} \quad (3)$$

که در آن  $P_i$  و  $O_i$  به ترتیب مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده شده،  $n$  تعداد مشاهدات و  $M$  میانگین مقادیر مشاهداتی می‌باشد. خطای جذر میانگین مربعات نرمال شده درصد اختلاف نسبی مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده می‌باشد. هنگامی که مقدار آن کمتر از ۱۰، کمتر از ۲۰ و بیشتر از ۱۰، بیشتر از ۲۰ و کمتر از ۳۰، بیشتر از ۳۰ درصد باشد، شبیه‌سازی انجام شده به ترتیب عالی، خوب، قابل قبول و ضعیف در نظر گرفته می‌شود (جمیسن و همکاران<sup>۳</sup>).

<sup>1</sup> RMSE (Root Mean Square Error)

<sup>2</sup> NRMSE (Normalized Root Mean Square Error)

<sup>3</sup> Jamieson et al.

مورد محاسبه قرار گرفت (جدول ۴). بر اساس نتایج به‌دست آمده مدل توانست مقادیر زیست‌توده گیاهی و رطوبت خاک را به‌ترتیب به‌طور خوب و عالی شبیه‌سازی نماید. میزان عملکرد دانه شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده به ترتیب ۴/۹۵ و ۴/۹۹ تن در هکتار بود.

جدول ۳- پارامترهای گیاهی واسنجی شده مدل آکواکراپ

پارامتر گیاهی	مقدار	واحد
راندمان آبی گیاه	۱/۱	کیلوگرم بر مترمکعب
ضریب کاهش اجتماع گیاهی	۷/۷	درصد به روز
پوشش اجتماع گیاهی اولیه	۲/۳۳	درصد
حداکثر پوشش اجتماع گیاهی	۷۷	درصد
ضریب رشد اجتماع گیاهی	۴/۴	درصد به روز
آستانه بالایی برای انسداد روزنه	۰/۶	-
شکل منحنی ضریب تنش روزنه‌ای	۳	-
ضریب افزایش شاخص برداشت به‌علت توقف رشد برگ‌ها در هنگام گلدهی	۰/۸۵	-
ضریب افزایش شاخص برداشت به‌علت توقف رشد برگ‌ها قبل از گلدهی	۵	-
ضریب افزایش شاخص برداشت به‌علت تنش آبی مؤثر بر انسداد روزنه‌ها طی تشکیل عملکرد	۵	-
ضریب تنش زوال اجتماع گیاهی	۰/۵۵	-
شکل منحنی ضریب تنش زوال گیاهی	۳	-
آستانه بالایی گسترش اجتماع گیاهی	۰/۲	-
آستانه پائینی گسترش اجتماع گیاهی	۰/۶۵	-
شکل منحنی ضریب تنش گسترش سطح برگ	۳	-
حداکثر عمق مؤثر ریشه	۰/۷	متر

### اعتبارسنجی مدل

پارامترهای غیر ثابت گیاهی مورد استفاده در واسنجی مدل جهت اعتبارسنجی مورد استفاده قرار گرفت و آماره‌های نکویی برازش مقادیر مشاهده و شبیه‌سازی شده زیست‌توده و رطوبت خاک برای اعتبارسنجی مدل محاسبه گردید (جدول ۴). مدل مقادیر زیست‌توده گیاهی و رطوبت خاک را به‌ترتیب به‌طور خوب و عالی شبیه‌سازی نمود. شکل ۱

توزیع پیش‌بینی احتمالی مربوطه، آماره‌های توزیع متغیر مورد نظر همچون میانگین وزنی، میانه عملکرد یا دیگر آماره‌ها در قالب نمودارهای احتمالاتی محاسبه می‌گردد. لذا پنج فاز شاخص نوسان جنوبی (منفی، مثبت، درحال صعود، درحال نزول، خنثی) که با استفاده از روش تحلیل مؤلفه مبنا توسط استون و آتولیسیم (۱۹۹۲) به‌دست آمده بود به همراه سه فاز شاخص نوسان دوقطبی اقیانوس هند (نرمال، مثبت، منفی)، طی دوره آماری ۶۲ ساله (۱۳۹۲-۱۳۳۰) به‌صورت ماهانه یک تا سه ماه پیش از تاریخ کاشت (ماه‌های شهریور، مهر و آبان) تعیین گردیده و منحنی‌های توزیع احتمال تجمعی مربوطه مبتنی بر شاخص‌های مذکور پیش از کاشت جهت پیش‌بینی عملکرد به‌دست آمد. آزمون‌های آماری کروسکال-والیس<sup>۱</sup> و کولموگروف-اسمیرنوف<sup>۲</sup> جهت مقایسه فازهای مختلف مورد استفاده قرار گرفتند. داده‌های شاخص دوقطبی اقیانوس هند و نوسان جنوبی اقیانوس آرام به‌ترتیب از طریق تارنمای سازمان علوم و فن‌آوری زمین-دریایی ژاپن و تارنمای رسمی ایالت کوئینزلند استرالیا به‌دست آمدند (مراجعه به منابع).

### نتایج

#### واسنجی مدل آکواکراپ

مقادیر پارامترهای اندازه‌گیری شده گیاهی مربوط به واسنجی مدل در جدول ۲ و مقادیر پارامترهای غیر ثابت واسنجی شده در جدول ۳ ارائه شده‌اند.

جدول ۲- مراحل فنولوژیکی جو مورد استفاده جهت واسنجی

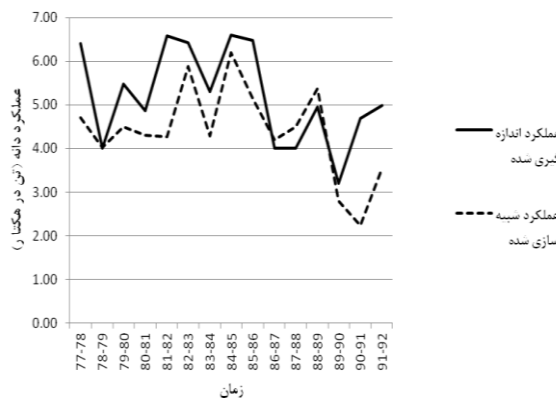
کاشت تا سبز شدن	کاشت تا گلدهی	کاشت تا زرد شدن برگ‌ها	کاشت تا حداکثر پوشش	کاشت تا کاشت تا برگ‌ها	کاشت تا کاشت تا زرد شدن برگ‌ها	کاشت تا سبز شدن
۹	۱۵۱	۱۰	۱۷۲	۲۰۲	۴۸/۸	درصد (روز)

ضریب تبیین<sup>۳</sup>، خطای جذر میانگین مربعات خالص و نرمال شده مقادیر مشاهده و شبیه‌سازی شده زیست‌توده گیاهی و رطوبت خاک جهت واسنجی و صحت‌سنجی مدل

<sup>۱</sup> Kruskal-Wallis

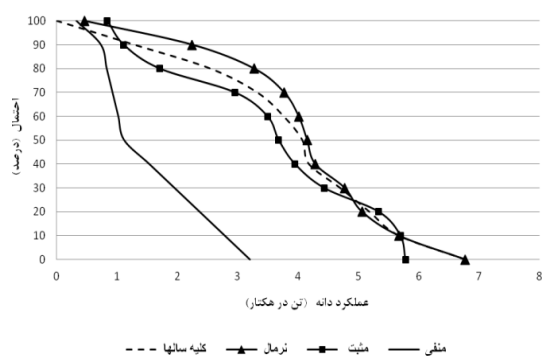
<sup>۲</sup> Kolmogrov-Smirnov

<sup>۳</sup> r<sup>2</sup> (Coefficient of determination)



شکل ۲- شبیه‌سازی عملکرد دانه طی دوره آماری ۱۵ ساله

همچنین آماره‌های میانه و دامنه میان‌چارکی جهت مقایسه فازهای مختلف مورد استفاده قرار گرفتند (جدول ۴ و ۵). هرچند تفاوت بین فازهای شاخص نوسان جنوبی و شاخص دوقطبی اقیانوس هند مشخص می‌باشد اما اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ بین فازهای شاخص نوسان جنوبی مشاهده نگردید. در خصوص فازهای دو قطبی اقیانوس هند به‌جز ماه آبان اختلاف معنی‌داری بین فازهای مختلف مشاهده نگردید. در مورد اخیر آزمون کروسکال-والیس در سطح احتمال ۵٪ نشان‌دهنده اختلاف معنی‌داری بین فازها بود. آزمون من-ویتنی<sup>۲</sup> نیز جهت مقایسه بین فازهای مختلف مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد که در آبان ماه اختلاف معنی‌داری بین فاز شمال و منفی ( $P=0/012$ ) و مثبت و منفی ( $P=0/006$ ) وجود دارد (اشکال ۳ و ۴). عملکرد از ماه شهریور تا آبان به‌ترتیب طی فازهای شمال، مثبت و منفی به‌دست آمد.



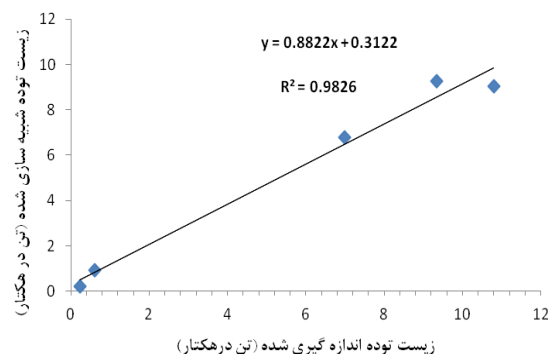
شکل ۳- احتمالات دستیابی به عملکردهای مختلف جو طی فازهای دوقطبی اقیانوس هند در آبان ماه

مقایسه مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده زیست توده را طی دوره اعتبارسنجی نشان می‌دهد.

جدول ۴- مقادیر آماره‌های نکویی برازش زیست‌توده گیاهی و رطوبت خاک جهت واسنجی و صحت سنجی مدل

سال	زیست توده گیاهی			رطوبت خاک		
	$r^2$	RMSE	NRMSE	$r^2$	RMSE	NRMSE
۹۰-۹۱	۰/۹۸	۰/۸۰	۱۴/۴	۰/۸۴	۲۰	۹/۱
۹۱-۹۲	۰/۹۸	۰/۹۵	۱۴/۸	۰/۹۳	۱۴	۷/۹

میزان عملکرد دانه شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده به‌ترتیب ۴/۵۸ و ۴/۶۸ تن در هکتار بود. اعتبارسنجی عملکرد دانه در دوره آماری ۱۵ ساله (۱۳۷۷-۱۳۹۲) انجام گردید و مقادیر خطای جذر میانگین مربعات و مقدار نرمال شده آن و ضریب تبیین به‌ترتیب ۰/۹۴، ۱۸/۲ و ۰/۴۸ نشان‌دهنده آن بود که مدل قادر است عملکرد دانه را به خوبی شبیه‌سازی نماید (شکل ۲). پس از اعتبارسنجی مدل، شبیه‌سازی ۶۲ ساله (۱۳۳۰-۱۳۹۲) عملکرد دانه و آزمون نرمال بودن داده‌ها توسط آزمون شاپیروویلیک<sup>۱</sup> انجام گردید و پس از تعیین منحنی‌های توزیع احتمال تجمعی عملکرد، جهت مقایسه بین فازهای مختلف شاخص نوسان جنوبی و شاخص دوقطبی اقیانوس هند، آزمون کروسکال والیس با سطح معنی‌داری ۵ درصد مورد استفاده قرار گرفت.



شکل ۴- مقایسه زیست توده اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده طی فصل رشد (۲۰۱۱-۲۰۱۲)

<sup>2</sup> Mann-Whitney

<sup>1</sup> Shapiro- Wilk

جدول ۴- مقایسه عملکرد جو برای فازهای مختلف ال نینو- نوسان جنوبی

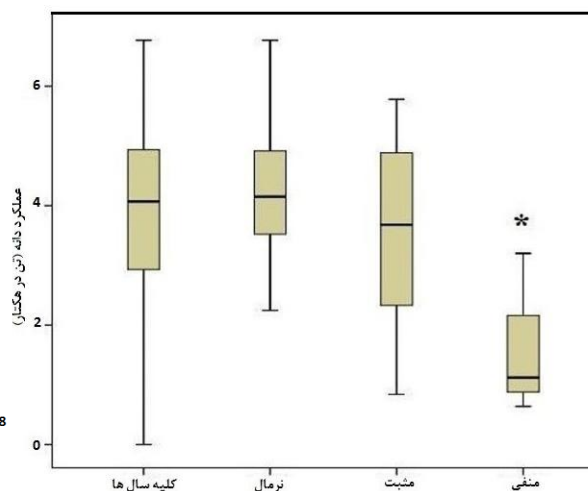
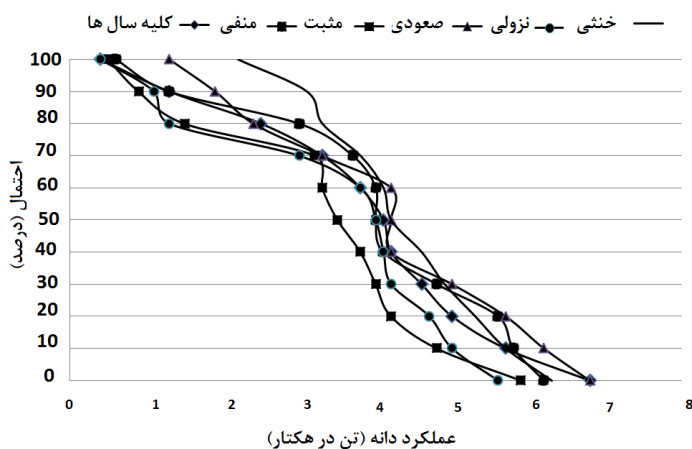
آبان		مهر		شهریور		فاز
مقادیر p	عملکرد (تن در هکتار)	مقادیر p	عملکرد (تن در هکتار)	مقادیر p	عملکرد (تن در هکتار)	
۰/۶۳۶	۴/۱[۲/۵-۵]	۰/۵۹۱	۴/۱[۲/۵-۵]	۰/۴۰۰	۴/۱[۲/۵-۵]	کل سال‌ها
	۴ [۳-۵/۶]		۴ [۳/۷-۴/۹]		۴/۱[۳/۴-۵/۲]	منفی
	۳/۵[۱/۵-۴/۲]		۴/۱[۳/۲-۴/۷]		۴ [۳/۲-۴/۴]	مثبت
	۴/۲[۲/۴-۵/۷]		۵/۶[۳/۱-۵/۷]		۳/۹[۳/۳-۴]	در حال صعود
	۴ [۱/۳-۴/۷]		۳/۶[۱/۷-۴/۱]		۴/۷[۳/۴-۵/۹]	در حال نزول
	۴/۲[۳/۳-۵/۳]		۴/۱[۲-۵/۱]		۳/۲[۱/۱-۵/۵]	خنثی

\* داده‌ها به صورت میانه [دامنه میان چارگی] ارائه گردیده‌اند.

جدول ۵- مقایسه عملکرد جو برای فازهای مختلف دوقطبی اقیانوس هند

آبان		مهر		شهریور		فاز
مقادیر p	عملکرد (تن در هکتار)	مقادیر p	عملکرد (تن در هکتار)	مقادیر p	عملکرد (تن در هکتار)	
۰/۵۰۰	۴/۰۷[۲/۵-۵/۱]	۰/۲۱۶	۴/۰۷[۲/۵-۵/۱]	۰/۱۱۲	۴/۰۷[۲/۵-۵/۱]	کل سال‌ها
	۴ [۳-۵/۶]		۴ [۳/۷-۴/۹]		۴/۱[۳/۴-۵/۲]	منفی
	۳/۵[۱/۵-۴/۲]		۴/۱[۳/۲-۴/۷]		۴ [۳/۲-۴/۴]	مثبت
	۱/۱[۰/۸۳-۲/۳]		۳/۲[۲/۳-۳/۹]		۳/۱[۱/۵-۳/۵]	منفی

\* داده‌ها به صورت میانه [دامنه میان چارگی] ارائه گردیده‌اند.



شکل ۵- احتمالات دستیابی به عملکردهای مختلف جو طی فازهای مختلف نوسان جنوبی در آبان ماه

می‌باشد (جدول ۵). هرچند اختلاف بین فازهای شاخص نوسان جنوبی معنی‌دار نمی‌باشد ولی حداکثر پتانسیل

شکل ۴- نمودار جعبه‌ای نشان‌دهنده صدک‌های ۰، ۲۵، ۵۰، ۷۰ و ۱۰۰ عملکرد جو طی فازهای مختلف دوقطبی اقیانوس هند در آبان‌ماه

برای فازهای نرمال و منفی در ماه آبان، پتانسیل عملکرد مورد انتظار به صورت میانه، به ترتیب ۴/۱ و ۱/۱ تن در هکتار

عملکرد مورد انتظار به صورت میانه، به ترتیب برای ماه‌های شهریور، مهر و آبان ۴/۷، ۵/۶ و ۴/۲ تن در هکتار می‌باشد. شکل ۵ منحنی احتمالاتی عملکرد ماه آبان را برای فازهای ۵ گانه شاخص نوسان جنوبی نشان می‌دهد.

### نتیجه‌گیری و بحث

هرچند یافته‌های پژوهشی بیانگر همبستگی بالا و معنی‌داری مابین فعالیت ال-نینو نوسان جنوبی و تولیدات کشاورزی در بسیاری از نقاط جهان می‌باشد (جونز و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۰۰) اما معنی‌دار نشدن تأثیر فازهای مختلف آن بر عملکرد دانه جو در منطقه کبوترآباد اصفهان می‌تواند به این دلیل باشد که اکثر پژوهش‌های انجام شده در مناطقی (نظیر استرالیا، آفریقا و آمریکای جنوبی و ...) انجام گردیده است که به پهنه‌های عظیم آبی نظیر اقیانوس‌های آرام و هند نزدیک بوده و در مناطق پست واقع گردیده‌اند. حال آن‌که محصول مورد مطالعه در پژوهش حاضر در منطقه فلات مرکزی ایران و دور از پهنه‌های عظیم آبی بوده و به نظر می‌رسد بیشتر تحت تأثیر سامانه‌های جوی عرض‌های میانه قرار داشته باشد. با این وجود در پژوهش حاضر تأثیر شاخص‌های دورپیوندی مذکور بر کشاورزی مناطق مرکزی ایران مورد بررسی قرار گرفت. مدل آکواکراپ توانست عملکرد دانه جو آبی را به خوبی در دوره ۱۵ ساله شبیه‌سازی نماید این امر می‌تواند به این دلیل باشد که تحت شرایط کشت معمول غلات زمستانه، کشاورزان در منطقه مرکزی ایران معمولاً ۵ تا ۶ آبیاری را طی فصل رشد انجام می‌دهند که نخستین آن‌ها، در هنگام کاشت (کلوخ آب) و دومین آبیاری (پی‌آب) بعضی اوقات پس از اولین آبیاری انجام شده و طی ۳ تا ۴ ماه فصول پاییز و زمستان (آبان تا اسفند)، کشت غلات به بارش انجام شده طی دوره مذکور متکی بوده و شرایط مناسب رطوبتی خاک حاصل از بارش‌های پاییز و زمستان طی این دوره نقش حیاتی در میزان عملکرد سالانه دارد که در این راستا تأثیر معنی‌دار نوسان دوقطبی اقیانوس هند بر عملکرد جو در منطقه مرکزی ایران نیز می‌تواند در نتیجه تأثیرات آن بر بارش‌های فصول پاییز و زمستان باشد. جهانبخش و همکاران (۱۳۹۰) همبستگی مثبتی را بین بارش‌های پاییزه استان‌های

جنوبی ایران و نوسان دوقطبی اقیانوس هند گزارش نمودند. بر اساس نتایج به دست آمده به نظر می‌رسد که بر خلاف شاخص نوسان جنوبی، نوسان دوقطبی اقیانوس هند می‌تواند بر عملکرد گیاه جو در منطقه مرکزی ایران (کبوترآباد اصفهان) مؤثر باشد. وقوع فاز نرمال یک تا سه ماه پیش از تاریخ کاشت در مقایسه با فازهای منفی و مثبت نوسان دوقطبی اقیانوس هند جهت دستیابی به عملکردهای اقتصادی مناسب‌تر می‌باشد. از آنجا که پیش‌بینی‌های ۳ تا ۶ ماهه نوسان دوقطبی اقیانوس هند بر اساس خروجی‌های مدل‌های اقلیمی قابل دسترس می‌باشند، (به‌عنوان مثال <http://www.bom.gov.au/climate/IOD>) امکان مدیریت عملیات مزرعه‌ای جهت دستیابی به عملکردهای مطلوب جو برای فصل رشد پیش رو وجود خواهد داشت. به این طریق که حداقل ۳ ماه پیش از تاریخ کاشت (آبان ماه) یعنی در مرداد و شهریور، درصد احتمالات دستیابی به عملکردهای مختلف قابل بررسی بوده و برای فازهای منفی و مثبت نوسان دوقطبی اقیانوس هند، استفاده از ارقام مقاوم به خشکی و در نظر گرفتن تراکم‌های کمتر قابل توصیه می‌باشد. نظر به اینکه پژوهش حاضر یکی از نخستین تجربیات در زمینه تلفیق شاخص‌های دورپیوندی و پیش‌بینی‌های اقلیمی-فصلی با مدل گیاهی در ایران به‌شمار می‌رود، انجام پژوهش‌های بیشتری در زمینه تلفیق شاخص‌های اقلیمی دورپیوندی و مدل‌های گیاهی مختلف توصیه می‌گردد. استفاده از رویکرد اخیر می‌تواند جهت پیش‌بینی عملکرد گیاهان و اتخاذ راهبردهای مدیریتی جهت استفاده از شرایط مساعد اقلیمی پیش از آغاز فصل رشد و همچنین سیاست‌گذاری در زمینه تنظیم بازارهای کشاورزی در سطوح ملی و بین‌المللی مورد استفاده قرار گیرد.

### منابع

بانک اطلاعات زراعت وزارت جهاد کشاورزی، <http://dbagri.maj.ir/zrt/product.asp> (۹۳/۳/۱۵).

۱۳۹۳.

جهانبخش، س.، ساری صراف، ب.، قائمی، ه.، پوراصغر، ف. ۱۳۹۰. بررسی تأثیر پدیده دوقطبی دمایی اقیانوس هند بر

<sup>1</sup> Jones et al.

- Celilia, M., Soler, T., Sentelhas, P. C., Hoogenboom, G. 2010. The impact of El Nino Southern Oscillation phases on off-season maize yield for a subtropical region of Brazil. *Int. J. Climatol.*, 30: 1056-1066.
- Dezfuli, A. K., Karamouz, M., Araghinejad, S. H. 2010. On the relationship of regional meteorological drought with SOI and NAO over southwest Iran. *Theor. Appl. Climatol.*, 100: 57-66.
- Ferreira, R. A., Podesta, G. P., Messina, C. D., Letson, D., Dardanelli, J., Guevara, E., Meira, S. 2001. A linked-modeling framework to estimate maize production risk associated with ENSO-related climate variability in Argentina. *Agr. Forest. Meteorol.*, 107: 177-192.
- Food and Agriculture Organization. 2014. Statistics: FAOSTAT agriculture. Retrieved May 10, 2014. from <http://faostat.fao.org/site/611/default.aspx#ancor>.
- Gimeno, L., Ribera, P., Iglesias, R., Torre, L., Garcia, R., Hernandez, E. 2002. Identification of empirical relationship between indices of ENSO and NAO and agricultural yields in Spain. *Clim. Res.*, 21: 165-172.
- Gommes, R. A. 1983. Pocket computers in agrometeorology. Plant production and protection paper No. 45. FAO. Rome. 140 p.
- Hadiani, M., Jahanbakhsh Asl, S., Rezaei Banafsheh, M., Dinpajouh, Y., Yasari, E. 2012. Investigation the Southern Oscillation Index effect on dry/wet periods in north of Iran. *Intl. J. Agri. Crop. Sci.*, 4 (17): 1291-1299.
- Hammer, G. L., Hansen, J. W., Philips, J., Mjelde, J. W., Hill, H. S. J., Love, A., Potgieter, A. 2001. Advances in application of climate prediction in agriculture. *Agr. Syst.*, 70: 515-553.
- Hammer, G. L., Holzworth, D. P., Stone, R. 1996. The value of skill in seasonal climate forecasting to wheat crop management in a region with high climate variability. *Aust. J. Agr. Res.*, 47: 717-737.
- Hansen, W. H., Hodges, A. W., Jones, J. W. 1998. ENSO influences on agriculture in the southern United State. *J. clim.*, 11: 404-411.
- Hansen, J. W., Indeje, M. 2004. Linking dynamic seasonal climate forecasts with crop simulation for maize yield prediction in semi-arid Kenya. *Agr. Forest. Meteorol.*, 125:143-157.
- تغییرپذیری بارش‌های فصلی استان‌های جنوبی کشور. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۲۶، ۴(۱۰۳): ۲۷-۴۶.
- رسولی، ع. ا.، بابائیان، ا.، قائمی، ه.، زواررضا، پ. ۱۳۹۰. ارتباط بین بارش‌های فصلی ایران، دمای پهنه‌های آبی منطقه ای. نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، ۲(۵، ۶): ۶۹-۹۲.
- زارع ایبانه، ح.، بیات ورکشی، م.، ایلدرومی، ع. ۱۳۹۰. بررسی تأثیر برخی پارامترهای اقلیمی و پدیده انسو در عملکرد گندم و جو (مطالعه موردی: منطقه همدان). مجله پژوهش آب ایران، ۵(۹): ۱۸۱-۱۹۲.
- کمالی، غ.، مرادی، ا. ۱۳۸۵. تابش خورشید (اصول و کاربردها در کشاورزی و انرژی‌های نو). انتشارات قرن ۲۱، ۳۰۰ صفحه.
- Adams, R. M., Houston, L. H., McCarl, B. A., Tiscareno, L. M., Matus, G. J., Weiher, R.F. 2003. The benefits to Mexican agriculture of an El Nino-Southern Oscillation (ENSO) early warning system. *Agr. Forest. Meteorol.*, 115: 183-194.
- Amor, V. M. I., Hansen, J. W., Robertson, A. W. 2011. Enhancing the utility of daily GCM rainfall for crop yield prediction. *Int. J. Climatol.*, 31: 2168-2182.
- Andarzian, B., Bannayan, M., Steduto, P., Mazraeh, H., Barati, M. A., Rahnema, A. 2011. Validation and testing of the AquaCrop model under full and deficit irrigated wheat production in Iran. *Agr. Water. Manage.*, 100: 1-8.
- Araya, A., Habtu, S., Hadgu, K. M., Kebede, A., Dejene, T. 2010. Test of AquaCrop model in simulation biomass and yield of water deficient and irrigated barely (*Hordeum vulgare*). *Agr. Water. Manage.*, 97: 1838-1846.
- Arndt, C., Hazell, P., Robinson, S. 2000. Economic value of climate forecasts for agricultural systems in Africa. In: Sivakumar MVK (Eds.) Climate prediction and agriculture. Proc START/WMO Int Workshop. Geneva. Switzerland. 27-29 September 1999. International START Secretariat. Washington. DC. pp: 157-180.
- Bannayan, M., Sadeghi Lotfabadi, S., Sanjani, S., Mohamadian, A., Aghaalkhani, M. 2011. Effects of precipitation and temperature on crop production variability in northeast Iran. *Int. J. Biometeorol.*, 55: 387-401.

- decision support tool for peanut production in the southeastern US. *Comput. Electron. Agr.*, 55: 28-35.
- Potgieter, A. B., Hammer, G. L., Butler, D. 2002. Spatial and temporal patterns in Australian wheat yield and their relationship with ENSO. *Aust. Agr. Res.*, 53: 77-89.
- Raes, D., Steduto, P., Hsiao, T. C., Fereres, E. 2012. Reference manual, Annex I - AquaCrop (version 4.0). Rome. Italy: Land and water development division. FAO. 89 p.
- Raes, D., Steduto, P., Hsiao, T. C., Fereres, E. 2010. Reference manual AquaCrop (version 3.1). Rome. Italy: Land and water development division. FAO. 89 p.
- Raes, D., Steduto, P., Hsiao, T. C., Fereres, E. 2009. AquaCrop-The FAO crop model to simulate yield response to water: Main Algorithms and software description. *Agron. J.*, 101: 438-447.
- Saji, N. H., Yamagata, T. 2003. Possible impacts of Indian Ocean Dipole mode events on global climate. *Clim. Res.*, 25: 151-169.
- Saji, N. H., Goswami, B. N., Vinayachandran, P. N., Yamagata, T. 1999. A dipole mode in the tropical Indian ocean. *Nature.*, 401: 360-363.
- Salemi, H., Mohd Soom, M. A., Lee, T. S., Mousavi, S. F., Ganji, A., KamilYusoff, M. 2011. Application of AquaCrop model in deficit irrigation management of winter wheat in arid region. *Afr. J. Agr. Res.*, 610: 2204-2215.
- Selvaraju, R., Meinke, H., Hansen, J. 2004. Approaches allowing smallholder farmers in India to benefit from seasonal climate forecasting. *Proceedings of the 4<sup>th</sup> International crop science congress. 26 Sep – 1 Oct 2004, Brisbane, Australia.* pp: 1-12.
- Sivakumar, M. V. K. 2006. Climate prediction and agriculture: current status and future challenges. *Clim. Res.*, 33: 3-17.
- Steduto P, Hsiao TC, Raes D, Fereres E. 2009. AquaCrop-The FAO crop model to simulate yield response to water: concepts and underlying principles. *Agron J.* 101: 426-437.
- Stone, R., Meinke, H. 2005. Operational seasonal forecasting of crop performance. *Phil. Trans. R. Soc. B* 360: 2109-2124. DOI:10.1098/rstb.2005.1753
- Stone, R. C., Hammer, G. L., Marcussen, T. 1996. Prediction of global rainfall probabilities using Husman, S.H., Ottman M.J., Wegener, R.J., Rogers, MT. 2002. Barley response to soil water depletion levels at Maricopa, forage and grain report: The university of Arizona college of agriculture and life sciences. <http://ag.arizona.edu/pubs/crops/az1185>
- Jamieson, P. D., Porter, J. R., Wilson, D. R. 1991. A test of computer simulation model ARC-WHEAT1 on wheat crop grown in New Zealand. *Field Crop Res.*, 27: 337-350.
- Jones, J. W., Hansen, J. W., Royce, F. S., Messina, C. D. 2000. Potential benefits of climate forecasting to agriculture. *Agr. Ecosyst. Environ.*, 82: 169-184.
- Lauchi, A., Epstein, E. 1990. Plant responses to saline and sodic conditions. In: *Agricultural salinity assessment and management manual.* K. K. Tanji (Eds). ASCE. NewYork. Pp: 113-137.
- Legler, D. M., Bryant, K. J., O'Brien, J. J. 1999. Impact of ENSO-related climate anomalies on crop yields in the US. *Clim. Change*, 42: 351-375.
- Loomis, R. S., Rabbinge, R., Ng, E. 1979. Explanatory models in crop physiology. *Annu. Rev. Plant. Phys.*, 30: 339-369.
- McMaster, G. S., Wilhelm, W. W. 1997. Growing degree days: one equation, two interpretations. *Agr. Forest. Meteorol.*, 87: 291-300.
- Mjelde, J. W., Keplinger, K. 1998. Using the southern Oscillation to forecast Texas winter wheat and sorghum crop yields. *J. Clim.*, 11: 54-60.
- Modarres, R., Da Silva, V. P. R. 2007. Rainfall trends in arid and semi-arid regions of Iran. *J. arid. Environ.*, 70: 344-355.
- Naylor, R. L., Falcon, W. P., Rochberg, D., Wada, N. 2001. Using El Nino/Southern Oscillation climate data to predict rice production in Indonesia. *Clim. Change*, 50: 255-265.
- Nazemosadat, M. J., Ghasemi, A. R. 2004. Quantifying the ENSO-related shifts in the intensity and probability of drought and wet periods in Iran. *J. Clim.*, 17: 4005-4018.
- Nazemosadat, M. J., Cordery, I. 2000. On the relationships between ENSO and autumn rainfall in Iran. *Int. J. clim.*, 20: 47-61.
- Paz, J. O., Fraisse, C. W., Hatch, L. U., Garcia y Garcia, A., Guerra, L. C., Uryasev, O., Bellow, J. G., Jones, J. W., Hoogenboom, G. 2007. Development of an ENSO-based irrigation

- production decision support in Zimbabwe. *Agr. Forest. Meteorol.*, 151: 1792-1799.
- <http://www.jamstec.go.jp/frcgc/research/d1/iod/DATA/dmi.monthly.txt>
- <http://www.longpaddock.qld.gov.au/seasonalclimateoutlook/southernoscillationindex/soidatafiles/index.php>
- phases of the southern oscillation index. *Nature.*, 384: 252-255.
- Stone, R. C., Auliciems, A. 1992. SOI phase relationship with rainfall in eastern Australia. *Int. J. Climatol.*, 12: 625-635.
- Zinyengere, N., Mhizha, T., Mashonjowa, E., Chipindu, B., Geerts, S., Raes, D. 2011. Using seasonal climate forecasts to improve maize



## تحلیل آماری - فضایی بارش پیش‌بینی شده ایران توسط مدل جفت شده گردش عمومی جو -

## اقیانوسی HADCM3

غلامعلی مظفری<sup>۱</sup>، شهاب شفیع<sup>۲\*</sup>، بهنوش رکن‌الدینی<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۰/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۱/۲۵

## چکیده

هدف این مطالعه، بررسی پراکندگی فضایی بارش روزانه دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۷۰) و پیش‌بینی مقادیر بارش طی دوره ۳۰ ساله آینده (۲۰۴۰-۲۰۱۱) می‌باشد. در انجام تحقیق، یک روش ریزمقیاس‌نمایی آماری داده‌های مدل جفت شده گردش عمومی جو- اقیانوسی HADCM3 واسنجی و ارزیابی شده است. داده‌های مورد استفاده از پایگاه داده مرکز پیش‌بینی مطالعات محیطی آمریکا (NCEP) که برای دوره ۱۹۶۱ تا ۲۱۰۰ موجود می‌باشد، دریافت و داده‌های مدل گردش عمومی جو از سال ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۰ مورد بررسی و واکاوی قرار گرفت. خروجی مدل- های HADCM3 از سال ۲۰۱۱ تا سال ۲۰۴۰ با استفاده از مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری مدل (SimCLIM) ریزمقیاس شده و سپس پراکندگی و تغییرات بارش مشاهداتی و پیش‌بینی شده با روش‌های آماری فضایی در سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) با تکنیک‌های موران محلی و لکه‌های داغ (Hot Spot) مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج بررسی‌ها نشان داد که میانگین طولانی‌مدت بارش ایران دارای روند افزایشی به میزان متوسط ۵/۱ میلی‌متر است که این افزایش در سواحل دریای خزر و شمال‌غربی کشور و همچنین مرکز ایران به‌خصوص بخشی از استان‌های یزد و اصفهان محسوس است ولی در قسمت‌های جنوبی کشور بارش کاهش داشته است. نتایج تحلیل فضایی موران محلی بارش مشاهداتی و پیش‌بینی شده نشان داد از ناخوشه‌های بارش یعنی بارش‌های کم منطقه جنوب شرقی و مرکز کشور کاسته شده این نشانه روند افزایش بارش در دوره پیش‌بینی در مناطق مذکور است، و همچنین وجود خوشه‌ای از افزایش بارش در شمال شرق کشور، مؤید روند افزایشی بارش در این منطقه است. نقشه‌های تحلیل پراکندگی لکه‌های داغ این روند را تصدیق می‌کنند.

**واژه‌های کلیدی:** پیش‌بینی بارش، HADCM3، ایران زمین، SimCLIM، تحلیل آمار فضایی، گردش عمومی جو- اقیانوسی

## مقدمه

(۱۳۹۲). پیش‌بینی‌های اقلیمی و ارزیابی‌های تغییر اقلیم با مشکلاتی نظیر برآورد سطح انتشار گازهای گلخانه‌ای و سایر آلاینده‌ها در دهه‌های آتی، بزرگ‌مقیاس بودن تفکیک مکانی و زمانی الگوهای گردش عمومی جو و نظایر آن مواجه است. این عوامل با عدم قطعیت‌های زیادی مواجه هستند. مشکل دیگری که در رابطه با طراحی الگوهای مناسب اقلیمی وجود دارد، یکپارچه کردن تمام بازخوردهایی است که در سیستم جفت شده جو- اقیانوس- زیست کره- جامعه وجود دارند. بعضی از این بازخوردها حتی در پیشرفته‌ترین الگوهای گردش عمومی (GCM) به‌صورتی که ابتدای پارامترسازی شده‌اند. یکی دیگر از مشکلات، روش الگوسازی سامانه‌های فوق‌الذکر

بارش از مهم‌ترین عناصر اقلیمی می‌باشد که در تعیین و پراکندگی دیگر عناصر اقلیمی نیز مؤثر است (عساکره، ۱۳۸۶). به‌عبارتی بارش به‌عنوان یکی از عناصر مهم هواشناسی مطرح می‌باشد که شناخت لازم از میزان این عنصر، تغییرات و پیش‌بینی آن، از یک سو به جهت داشتن برنامه‌ریزی دقیق‌تر در مدیریت بخش‌های کشاورزی، اقتصادی و اجتماعی ضروری می‌نماید (عرفانیان و همکاران،

<sup>۱</sup> دانشیار آب و هواشناسی، گروه جغرافیای دانشگاه یزد

<sup>۲</sup> دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، دانشگاه یزد

\* نویسنده مسئول: (shafieshahab@gmail.com)

<sup>۳</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد آب و هواشناسی، دانشگاه یزد

توصیف کرد. بعد از مشخص کردن سهم مؤلفه‌های اصلی مانند میزان افزایش جمعیت و رشد اقتصادی با استفاده از مراجع بین‌المللی مانند سازمان ملل متحد، بانک جهانی و سازمان بین‌المللی انرژی، شش سناریوی اصلی (سناریوهای خانواده A1, A2, B1, B2) به چهار سناریو با جزئیات بیشتر تقسیم شدند که همه آنها دارای اعتبار واحدی هستند. اطلاعات تکمیلی از هر کدام از سناریوهای IPCC سناریوهای تدوین شده توسط سایر سازمان‌ها در قالب یک بانک اطلاعات مدون در سایت IPCC به آدرس [www.IPCC.ch](http://www.IPCC.ch) قابل دسترسی می‌باشد. از آنجا که یکی از ضعف‌های الگوهای GCM بزرگ بودن مقیاس مکانی و زمانی متغیرهای اقلیمی شبیه‌سازی شده می‌باشد، بنابراین می‌بایست خروجی آن‌ها را توسط تکنیک‌های مختلف، کوچک مقیاس نمود (صمدی و همکاران، ۱۳۸۶). روش آماری ریزمقیاس کردن در مقایسه با روش‌های دینامیکی، خصوصاً در مواقعی که هزینه کمتر و ارزیابی سریع‌تر عوامل مؤثر بر تغییرات آب و هوایی مورد نیاز باشد، از مزیت‌ها و قابلیت‌های بیشتری برخوردار است. انواع مدل‌های ریز-مقیاس‌نمایی آماری شامل LARS-WG<sup>4</sup>, CLIMGEN<sup>5</sup>, SDSM<sup>6</sup>, MET & ROLL<sup>7</sup> و... می‌باشد (بابائیان و نجفی نیک، ۱۳۸۶). در این تحقیق به منظور پیش‌بینی بارش کشور از روش ریزمقیاس‌نمایی آماری با استفاده از یک سیستم ترکیبی مدل و داده‌های هواشناسی به نام (SimCLIM)، خروجی‌های مدل HADCM3 استفاده شده است. SimCLIM ترکیب پیچیده‌ای از مدل و داده‌ها است که پیوند عمودی با داده‌های جهانی، محلی و بخشی دارد، که به بررسی تغییرات آب و هوا، سازگاری و همچنین اثرات آب و هوا بر کشاورزی، بهداشت، منابع آب و... می‌پردازد (واریک<sup>8</sup>، ۲۰۰۹). تاکنون مطالعات و پژوهش‌های زیادی در زمینه‌ی مدلسازی رفتار اقلیم مناطق مختلف جهان با استفاده از مدل‌های مولد داده‌های هواشناسی انجام شده است که از آن جمله می‌توان به مقاله تامسون و مولان<sup>۸</sup>

است. این کار نیاز به شبیه‌سازی‌های چندگانه به منظور جداسازی اثرات انسانی از نوسانات طبیعی دارد. الگوهای اقلیمی نیاز به زمان زیادی برای ارزیابی، آزمایش و اجرا دارند و ممکن است ماه‌ها و سال‌های زیادی برای طراحی، اجرا و تشخیص مجموعه مناسبی از آزمایش‌ها لازم باشد. آن‌ها همچنین نیاز به ظرفیت محاسباتی بالایی دارند. بنا به دلایل یادشده الگوهای تولید سناریوهای اقلیمی (CSGS<sup>1</sup>) گزینه‌های مناسبی برای این منظور هستند، به شرطی که: الف) بتوانند رفتار الگوهای پیچیده تر را تبیین کنند، ب) عدم قطعیت‌های پیش‌بینی‌های اقلیمی را به طور مؤثر و با سرعت کشف کنند و ج) به آسانی در بسیاری از مناطق استفاده شوند (عباسی و اثری، ۱۳۹۰). تعدادی از این CSG ها در سال‌های اخیر توسعه یافته و مورد استفاده قرار گرفته‌اند. به منظور شبیه‌سازی وضعیت متغیرهای اقلیمی در دوره‌های آتی نیاز به معرفی وضعیت انتشار گازهای گلخانه‌ای در دوره‌های آتی است. به این منظور سناریوهای انتشار که در برگزیده اطلاعاتی از وضعیت اقتصادی - اجتماعی و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر کره زمین می‌باشد، توسط هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم IPCC<sup>2</sup> تدوین گردیدند. اولین سناریوهای انتشار در سال ۱۹۹۲ با عنوان IS92a برای استفاده در ورودی الگوهای گردش عمومی جو جهت الگوسازی سناریوهای تغییر اقلیم تدوین شد. آن‌ها اولین سناریوهای جهانی برای برآورد تغییرات گازهای گلخانه‌ای بودند که برای استفاده در ورودی الگوهای گردش عمومی جو عنوان IS92 جهت الگوسازی سناریوهای تغییر اقلیم تدوین شد. آن‌ها اولین شش سناریوی IS92f تا IS92a را شامل می‌شدند. IPCC در سال ۲۰۰۰ سری جدیدی از سناریوهای انتشار را تحت عنوان SRES<sup>3</sup> برای لحاظ در گزارش ویژه سوم سناریوهای انتشار تدوین کرد. گروه SRES سه خانواده سناریوهای تغییر اقلیم با نام‌های A1, A2 و B1, B2 را برای توصیف ارتباط بین فرآیندهای تولیدکننده گازهای گلخانه‌ای و اثرات آن‌ها و نحوه تغییرات آن‌ها در طی قرن بیست و یکم در مناطق مهم کره زمین را

<sup>4</sup> LARS-WG Stochastic Weather generator

<sup>5</sup> Climatic Data Generator

<sup>6</sup> Statistical Downscaling model

<sup>7</sup> Warrick

<sup>8</sup> Thompson & Mullan

<sup>1</sup> Climate Scenario Generators

<sup>2</sup> Inter-Governmental Panel on Climate Change

<sup>3</sup> Special Report an Emissions Scenarios

تحقیق از مدل LARS-WG برای ساختن سناریوهای اقلیمی روزانه استفاده گردید. استیل و همکاران<sup>۸</sup> (۲۰۰۸) با استفاده از مدل گردش عمومی و کوچک‌مقیاس کردن اثر تغییر اقلیم را بر ۹ حوضه واقع در کشور ایرلند بررسی کردند. نتایج نشان داد در دوره آتی (۲۰۶۰-۲۰۱۰) افزایش بارش زمستانه و کاهش بارش تابستانه خواهد داشت. اختر و همکاران<sup>۹</sup> (۲۰۰۸) تأثیر تغییر اقلیم را در حوضه رودخانه هندوکش- کاراکروم واقع در هیمالیا برای دوره ۲۱۰۰-۲۰۷۰ مورد بررسی قرار دادند و نتایج کار آن‌ها افزایش دما و بارش را در حوضه مورد مطالعه نشان داد. بویر و همکاران<sup>۱۰</sup> (۲۰۰۵) به بررسی تغییر اقلیم بر حوضه لارنس پرداختند. در این مدل از ۵ مدل GCM استفاده کردند. نتایج افزایش بارش در زمستان، کاهش بارش در بهار و کاهش بارش جامد (برف) نسبت به مایع (باران) نشان داد. چو و همکاران<sup>۱۱</sup> (۲۰۱۰) یک مدل کوچک‌مقیاس آماری درجه حرارت، تبخیر و بارش در حوضه رودخانه هایمه در چین مورد ارزیابی قرار دادند، نتایج حاصل از این ارزیابی نشان داد که الگوهای تغییرات متغیرهای اقلیمی می‌تواند با دقت قابل قبولی شبیه‌سازی شود. بابائیان و همکاران (۲۰۰۴) در مطالعه‌ای تغییرات اقلیمی کشور کره جنوبی با استفاده از مدل LARS-WG در دوره زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ مورد ارزیابی قرار دادند. عباسی و همکاران (۱۳۸۹) در مطالعه‌ای تغییرات اقلیمی خراسان جنوبی را در دوره زمانی ۲۰۳۹-۲۰۱۰ با استفاده از مدل LARS-WG مورد بررسی قرار دادند. آبایی و همکاران (۱۳۹۰) در مطالعه‌ای عملکرد مدل LARS-WG را در ۴ ایستگاه ساحلی شمالی و ۸ ایستگاه ساحلی جنوبی ایران در رابطه با شبیه‌سازی سری روزهای خشک و مرطوب، بارندگی، دما، تابش خورشیدی و نیز شبیه‌سازی وقایع حدی مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه مقدار بارش ایران از خروجی مدل گردش عمومی جفت‌شده جوی-اقیانوسی (HADCM3) را از سال ۲۰۱۱ تا سال ۲۰۴۰ با نرم‌افزار simCLIM for Arc GIS پیش‌بینی کرده و سپس بارش ایران را در دوره

(۱۹۹۵) در ارتباط با مدل‌سازی ۳۰ سال اقلیم ایستگاه‌های هواشناسی در نیوزلند اشاره کرد. همچنین جانسون<sup>۱</sup> و همکاران (۱۹۹۶) دو مدل مختلف تولید داده‌های هواشناسی به نام‌های USCLIMATE و CLIGEN را مورد بررسی قرار داد. الشمی<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۰۵) در تحقیقی اثرات هیدرولوژی تغییر اقلیم به‌وسیله مدل‌های گردش عمومی جو و یک مدل کوچک‌مقیاس‌کننده آنالوگ در جنوب انگلستان مورد بررسی قرار داده‌اند. در این مطالعه چگونگی تبدیل داده‌های ماهانه به روزانه توسط تکنیک تولید داده مورد بررسی قرار گرفته‌است. نتایج نشان داد که این روش داده‌های هواشناسی روزانه را بهتر از داده‌های فصلی کوچک مقیاس می‌کند. ویلی<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۰۲) مدل SDSM، را برای ریزمقیاس‌نمایی اطلاعات بارش و دما با استفاده از روش‌های آماری ابداع کردند. ویلی در تحقیقی کوچک-مقیاس کردن بارش فصلی با استفاده از پارامترهای تولید شده در انگلستان را مورد بررسی قرارداد. ویلکس<sup>۴</sup> و همکاران (۱۹۹۹) روشی را برای کاربرد سناریوهای تغییر اقلیم با استفاده از مدل WGEN که یک مدل مولد داده‌های هواشناسی است ابداع کردند. این مدل می‌تواند برای تولید مقادیر روزانه دمای بیشینه، کمینه، بارندگی و تابش روزانه به‌کار رود. مک‌کی<sup>۵</sup> و همکاران (۱۹۹۵) توانمندی مدل CLIMGEN را برای شبیه‌سازی پارامترهای هواشناسی در ایستگاه‌های انتاریوی جنوبی در کانادا مورد مطالعه قرار دادند. در مطالعه‌ای دوبروسکی<sup>۶</sup> (۱۹۹۸) در جمهوری چک ارزیابی مدل MET&ROLL را انجام داد. این مدل داده‌های دمای بیشینه و کمینه، تابش خورشیدی و بارش را بر روی یک ایستگاه هواشناسی مدل‌سازی می‌نماید. زمنف و بارو<sup>۷</sup> (۲۰۰۲) در مطالعه‌ای شبیه‌سازی داده داده‌ها با استفاده از مدل LARS-WG در انگلستان مورد مطالعه قرار داد. علاوه بر آن زمنف در مطالعه دیگری سناریوهای تغییر اقلیم را در انگلستان بررسی نمود. در این

<sup>1</sup> Johnson et al.

<sup>2</sup> Elshamy et al.

<sup>3</sup> Wilby et al.

<sup>4</sup> Wilks

<sup>5</sup> McKee et al.

<sup>6</sup> Dubrovsky

<sup>7</sup> Semenov & Barrow

<sup>8</sup> Steele et al.

<sup>9</sup> Akhtar et al.

<sup>10</sup> Boyer et al.

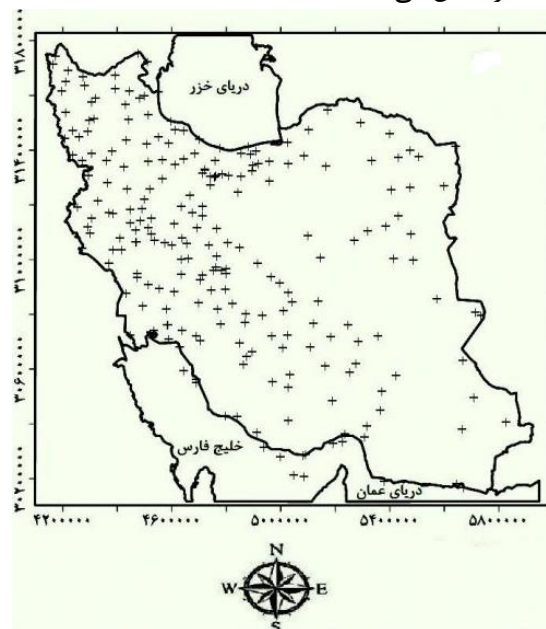
<sup>11</sup> Chu et al.

مدل HadCM3 با نرم‌افزار SimCLIM اجرا می‌شود، که روش ریزمقیاس‌نمایی آماری بر مبنای رگرسیون علاوه بر داده‌های هواشناسی به‌عنوان متغیر وابسته به خروجی مدل گردش عمومی جو به‌عنوان متغیر مستقل نیز احتیاج دارد. مرکز ملی پیش‌بینی محیطی<sup>۲</sup> و مرکز ملی تحقیقات جوی<sup>۳</sup> جوی<sup>۳</sup> به‌منظور تولید داده‌های شبکه‌بندی‌شده جهت برآورده کردن نیاز محققین اقلیم‌شناسی، پروژه‌ای را تحت عنوان تحلیل مجدد آغاز نمودند. این کار شامل باز یافت داده‌های زمینی، دریایی، رادیویی، هوایی و ماهواره‌ای و دیگر داده‌های ثبت شده و کنترل کیفیت و شبکه‌بندی آن‌هاست. این شبکه دارای ابعاد ۱/۸۷۵ درجه طول و عرض جغرافیایی می‌باشد (سیاری و همکاران، ۱۳۹۰). در این مطالعه برای کالیبراسیون و ارزیابی روش ریزمقیاس‌نمایی آماری از این داده‌ها استفاده می‌شود. این داده‌ها از مرکز پیش‌بینی مطالعات محیطی آمریکا، که به نام NCEP مشهورند از سال ۱۹۶۱ تا ۲۱۰۰ و داده‌های مدل گردش عمومی جو موجودند، واکاوی شدند، که همه این داده‌ها نسبت به میانگین و انحراف معیار داده‌ها نرمال شده‌اند. داده‌های NCEP شامل ۴۱ سال داده‌های پیش‌بینی‌کننده روزانه حاصل از آنالیز مجدد NCEP و نرمال‌سازی‌شده می‌باشند. در این مقاله از پارامتر بارش روزانه با استفاده از نرم‌افزار simCLIM for Arc Gis در دوره آماری ۲۰۱۱ تا ۲۰۴۰ پیش‌بینی شد. یکی از مهم‌ترین مراحل ریزمقیاس‌نمایی آماری، انتخاب متغیرهای مستقلی است که در مدل نهایی از آن‌ها استفاده می‌شود. به متغیرهای مستقل انتخاب‌شده از بین متغیرهای موجود، متغیر غالب گفته می‌شود. متغیرهای غالب از نظر فیزیکی با متغیرهای وابسته مرتبط باشند، از نظر آماری همبستگی بالایی با متغیر وابسته داشته باشند. در دوره زمانی مورد مطالعه در دسترس بوده و در نهایت با دقت خوبی مدل شده باشند. به علت اینکه تأثیر متغیرهای مستقل بر متغیرهای وابسته در زمان‌های مختلف، متفاوت می‌باشد، تصمیم‌گیری در مورد متغیرهای غالب فرآیندی بسیار پیچیده است. متغیرهای غالب را می‌توان با استفاده از روش‌های تجربی توصیه می‌شود که انتخاب ما شامل

آماری ۲۰۴۰-۲۰۱۱ و دوره مشاهداتی (۲۰۱۰-۱۹۷۱) بررسی نموده و پراکندگی و تغییرات آن در دوره‌های مذکور با استفاده از روش‌های تحلیل آماری فضایی با استفاده از GIS مورد بررسی قرار می‌گیرد.

## مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه کل ایستگاه‌های سینوپتیک سراسر ایران است، شکل ۱ موقعیت ایستگاه‌ها و منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه

برای بررسی مقدار بارش از خروجی مدل گردش عمومی جفت‌شده جوی- اقیانوسی (HadCM3) تحت سناریوی انتشار A2 استفاده شد، سناریوی A2 از مجموعه سناریو-های انتشار SRES بر روی تقویت نیروهای جمعیتی منطقه‌ای با تأکید بر ارزش خانواده و رسوم آن، رشد زیاد جمعیت و نوسان کم‌تر در سرعت پیشرفت اقتصادی تأکید می‌کند (عباسی و اثمري، ۱۳۹۰). خروجی این مدل با روش رگرسیونی گام به گام و مدل SimCLIM ریزمقیاس‌می-شود. مدل HadCM3 دارای شبکه‌ای با ابعاد ۲/۵ درجه عرض جغرافیایی و ۳/۷۵ درجه طول جغرافیایی است، که توسط گردون<sup>۱</sup> و همکاران در سال ۲۰۰۰ ارائه شده است.

<sup>2</sup> National Center for Research: NCAR

<sup>3</sup> National Center for Environmental Prediction: NCEP

<sup>1</sup> Gordon et al.

توزیع آماری پدیده‌ها در فضا می‌باشد. اگر فرض کنیم تعدادی عارضه جغرافیایی وزن‌دهی شده داشته باشیم، این ابزار نشان می‌دهد که در کجاها مقادیر زیاد یا کم این پدیده‌ها در فضا به‌طور خوشه‌ای توزیع شده‌اند و همچنین کدام عارضه دارای مقادیری بسیار متفاوت از عوارض پیرامونشان هستند. این ابزار همچنین ناخوشه‌های فضایی را شناسایی می‌نماید. برای انجام این مسئله این ابزار به محاسبه مقدار موران محلی، امتیاز  $Z$ ،  $P$  Value و یک کد که بیان‌گر معناداری مقدار شاخص محاسبه شده می‌باشند. آماره موران محلی  $I$  طبق معادله ۱ به‌دست می‌آید (عسگری، ۱۳۹۰).

$$I_i = \frac{x_i - \bar{X}}{S_i^2} \sum_{j=1, j \neq i}^n W_{ij} (x_j - \bar{X}) \quad (1)$$

که در آن  $x_i$  خصیصه عارضه  $i$ ،  $\bar{X}$  میانگین خصیصه مربوطه و  $W_{ij}$  وزن فضایی بین عارضه  $i$  و  $j$  می‌باشد.

$$S_i^2 = \frac{j = \sum_{j=1, j \neq i}^n W_{ij}}{n-1} - \bar{X}^2 \quad (2)$$

که در آن  $n$  برابر با تعداد کل عارضه‌ها است. امتیاز استاندارد  $ZI_i$  به‌صورت معادله ۳ محاسبه می‌شود.

$$ZI_i = \frac{I_i - E[I_i]}{\sqrt{V[I_i]}} \quad (3)$$

در اینجا معادله ۴ را خواهیم داشت.

$$E[I_i] = - \frac{j = \sum_{j=1, j \neq i}^n V[I_j]}{n-1} \quad (4)$$

$$V[I_i] = E[I_i^2] - E[I_i]^2$$

### ب) تحلیل لکه‌های داغ

تحلیل لکه‌های داغ (Hot Spot Analysis) آماره گتیس -ارد جی (Getis-Ord Gi) را برای کلیه عوارض موجود در داده‌ها محسوب می‌شود. امتیاز  $Z$  محاسبه‌شده، نشان می‌دهند که در کجاها مقادیر زیاد یا کم خوشه‌بندی شده‌اند. این ابزار در حقیقت به هر عارضه در چارچوب عوارضی که در همسایگی‌اش قرار دارند نگاه می‌کند. اگر عارضه‌ای مقادیر بالا داشته باشد جالب و مهم است، ولی به نهایه‌ی ممکن است یک لکه داغ معنادار از نظر آماری معنا دار نباشد. برای اینکه یک عارضه لکه داغ تلقی شود و از نظر آماری معنادار نیز باشد باید هم خودش و هم عوارضی که در همسایگی‌اش قرار دارند دارای مقادیر بالا باشند. جمع محلی

متغیرهایی باشد که گردش اتمسفر (مانند سرعت مداری)، ضخامت اتمسفر (ارتفاع ژئوپتانسیل)، پایداری (فشار در تراز صفر) و میزان رطوبت (رطوبت ویژه) را توضیح می‌دهند (ویلیبی و همکاران، ۲۰۰۲). قرار دادن تمام متغیرها در مدل رگرسیونی روش مناسبی نیست، زیرا که متغیرها به یکدیگر وابسته بوده و استفاده از تمام آن‌ها در مدل، وارد کردن اطلاعات اضافی می‌باشد. کاهش تعداد متغیرها امری رایج برای کاستن خطاهای تصادفی مدل‌های گردش عمومی جو در رابطه با متغیرهای بزرگ‌مقیاس و متغیر سطحی می‌باشد. برای انتخاب متغیرها می‌توان از روش آماری نظیر همبستگی جزئی و رگرسیون گام به گام استفاده نمود. در این مقاله برای انتخاب متغیرهای غالب از روش رگرسیون گام به گام پس‌رو استفاده شد. این روش برای انتخاب متغیرهای غالب مفید می‌باشد. دو روش کلی برای انجام رگرسیون گام به گام، روش‌های پیش‌رو و پس‌رو می‌باشند. در روش پیش‌رو در ابتدا تمام متغیرهای مستقل خارج از مدل رگرسیونی هستند و در هر مرحله متغیری به مدل اضافه می‌شود، این کار ادامه پیدا می‌کند تا در هر مرحله واریانس بیشینه شود. در هر مرحله بعد از انتخاب متغیر یک آزمون فرض برای سنجش مؤثر بودن متغیر اضافه شده انجام می‌شود. روش پس‌رو مشابه روش پیش‌رو است، با این تفاوت که در ابتدا تمام متغیرهای مستقل در مدل قرار می‌گیرند و در هر مرحله متغیری که کمترین تأثیر را بر مدل دارد حذف می‌شود. این کار تا وقتی ادامه پیدا می‌کند که تمام متغیرهای موجود در مدل تأثیر معنی‌داری بر متغیر مستقل داشته باشند (سیاری و همکاران، ۱۳۹۰). در مرحله بعد با استفاده از پارامترهای پیش‌بینی‌شده تحلیل آماری فضایی نظیر تحلیل خوشه و ناخوشه و تحلیل لکه‌های داغ (Hot Spot) محاسبه و با دوره پایه (۲۰۱۰ - ۱۹۷۱) مورد مقایسه قرار گرفتند.

### الف) تحلیل خوشه و ناخوشه

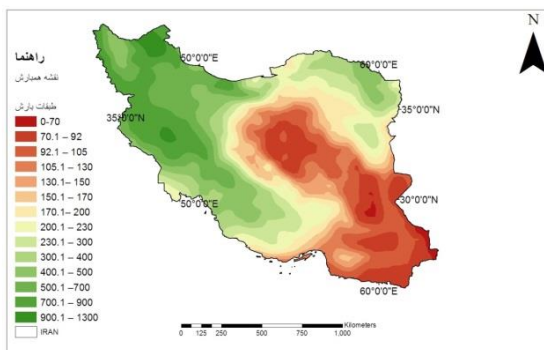
تحلیل خوشه و ناخوشه<sup>۱</sup> که به شاخص انسلین محلی موران<sup>۲</sup> نیز شناخته می‌شود از ابزارهای مفید برای نمایش

<sup>1</sup> Outlier

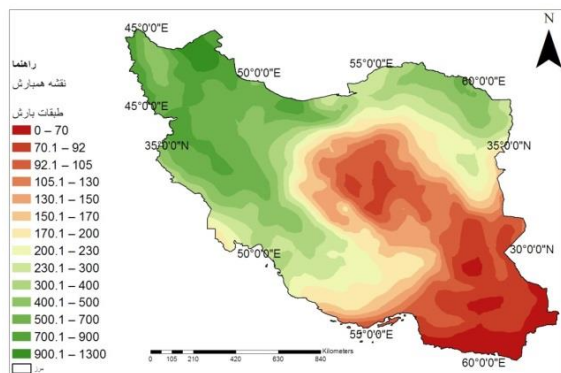
<sup>2</sup> Anselin Local Moran

## بارش

همان‌طور که از مقایسه نقشه‌های همبارش دوره پایه و پیش‌بینی شده مشاهده می‌شود میانگین بارش طولانی‌مدت بارش ایران دارای روند افزایشی است و به مقدار ۵/۱ میلی-متر افزایش داشته که این افزایش در قسمت‌های سواحل دریای خزر و شمال‌غربی کشور و همچنین مرکز ایران به-خصوص بخشی از استان‌های یزد و اصفهان محسوس است، اما در قسمت‌های جنوبی و غربی کشور روند کاهشی داشته است.



شکل ۲- نقشه بارش مشاهده شده ایران در دوره پایه (۱۹۷۰-۲۰۱۰)



شکل ۳- نقشه بارش پیش‌بینی شده ایران برای دوره آماری (۲۰۱۱-۲۰۴۰)

شکل ۴ مقادیر بارش داده‌های NCEP و مقادیر محاسباتی مدل SimCLIM را نشان می‌دهد. که خط برازش رگرسیونی تطابق بارش پیش‌بینی شده و مشاهده شده را نشان می‌دهد، مؤید دقت بسیار رضایت‌بخش این روش در پیش‌بینی می‌باشد. در جدول ۱ نیز مشاهده می‌شود ضریب همبستگی (۰/۸۸) در پیش‌بینی بارش نشان‌دهنده اجرای

(Local sum) یک عارضه و همسایگانش به‌طور نسبی با جمع کل عارضه‌ها مقایسه می‌شود. زمانی که جمع محلی به-طور زیاد و غیر منتظره‌ای از جمع محلی مورد انتظار بیشتر باشد که نتوان آن را در نتیجه تصادف دانست، در نتیجه امتیاز  $Z$  به‌دست خواهد آمد. آماره گتیس-ارد جی (Getis-Ord  $G_i$ ) طبق معادله ۵ محاسبه می‌شود.

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n w_{ij} x_j - \bar{x} \sum_{j=1}^n w_{ij}}{\sqrt{\frac{n \sum_{j=1}^n w_{ij}^2 - (\sum_{j=1}^n w_{ij})^2}{n-1}}} \quad (5)$$

در این فرمول مقدار خصیصه برای عارضه  $j$ ،  $w_{ij}$  وزن فضایی بین عارضه  $i$  و  $j$  و  $n$  برابر با تعداد کل عارضه‌ها می-باشد.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{j=1}^n x_j}{n} \quad (6)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n x_j^2}{n} - (\bar{X}^2)} \quad (7)$$

از آنجا که  $G_i$  خودش نوعی امتیاز  $Z$  است دیگر نیاز به محاسبه دیگری نیست (عسگری، ۱۳۹۰).

## ارزیابی کارایی مدل

جهت ارزیابی کارایی مدل SiCLIM در این پژوهش از سه شاخص آماری طبق معادله‌های ۸ تا ۱۰ استفاده گردیده است.

$$SE = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (p_i - o_i)^2}{n} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (8)$$

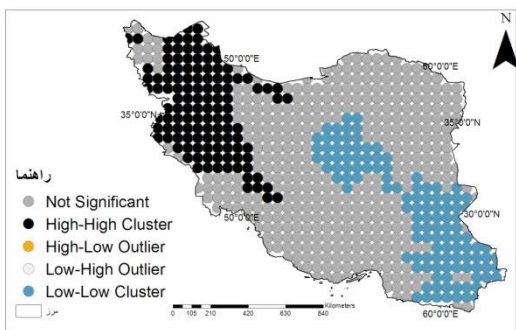
$$MAE = \frac{\sum |p_i - o_i|}{N} \quad (9)$$

$$R = \sqrt{1 - \frac{\sum_{i=1}^n (o_i - p_i)}{\sum_{i=1}^n o_i - \bar{o}}} \quad (10)$$

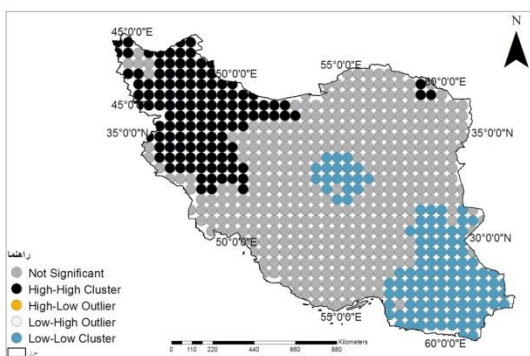
در این معادله‌ها  $P_i$  و  $O_i$  به ترتیب مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده،  $\bar{P}$  و  $\bar{O}$  میانگین مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده و  $N$  تعداد نمونه‌ها می‌باشد.

## تجزیه و تحلیل داده‌ها

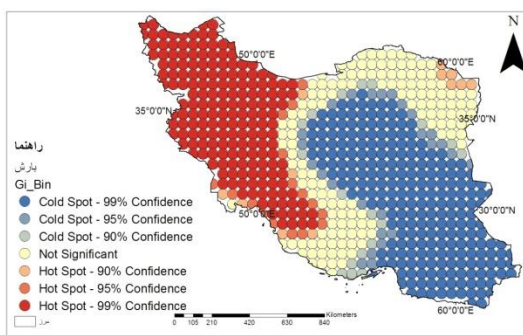
در این مطالعه از میانگین روزانه ۴۰ ساله ۱۹۷۱-۲۰۱۰ از پارامترهای بارش روزانه داده‌های مرکز NCEP برای کالیبراسیون و پیش‌بینی مدل استفاده شده و با استفاده از نرم افزار SimCLIM for Arc GIS در دوره آماری ۲۰۱۱ تا ۲۰۴۰ پیش‌بینی شدند.



شکل ۵- نقشه پراکندگی موران محلی بارش مشاهده شده ایران در دوره پایه (۱۹۷۰-۲۰۱۰)



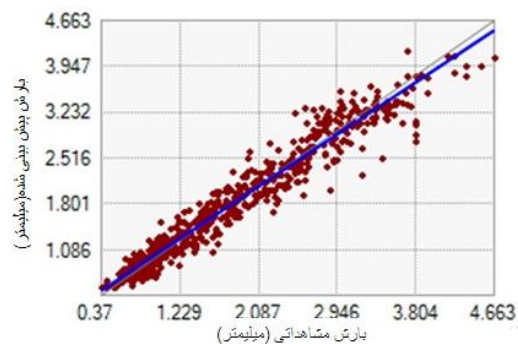
شکل ۶- نقشه پراکندگی موران محلی بارش پیش‌بینی شده ایران برای دوره آماری (۲۰۱۱-۲۰۴۰)



شکل ۷- نقشه پراکندگی لکه‌های داغ بارش مشاهده شده ایران در دوره پایه (۱۹۷۰-۲۰۱۰)

اما در جنوب و جنوب شرقی تا مرکز ایران پراکندگی لکه‌های سرد با رنگ آبی پررنگ در سطح ۹۹ درصد و رنگ آبی کم‌رنگ در سطح ۹۵ درصد مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده کمبود بارش در این مناطق است. از مقایسه نقشه لکه‌های داغ دوره پایه (۱۹۷۰-۲۰۱۰) با نقشه لکه‌های داغ بارش پیش‌بینی شده دوره (۲۰۱۱-۲۰۴۰) مشاهده می‌شود که

نسبتاً خوبی در مدلسازی می‌باشد. نتایج تحلیل فضایی موران محلی بارش مشاهداتی نشان می‌دهد که بیشترین مقدار بارش در غرب، شمال غرب کشور و سواحل دریای خزر پراکنده شده است و کمترین مقدار بارش در جنوب شرقی و مرکز ایران مشاهده می‌شود.



شکل ۴- خط برازش رگرسیونی مقادیر بارش داده‌های NCEP و بارش محاسباتی مدل SimCLIM

جدول ۱- نتایج ضریب همبستگی و خطاهای حاصل از پیش‌بینی مدل SimCLIM

MAE	RMSE	R
۰/۸۸	۰/۰۰۶	۰/۰۰۰۴

در شکل ۶ مشاهده می‌شود که مقدار پراکندگی مقدار بارش زیاد در دوره پیش‌بینی شده نسبت به دوره پایه در غرب کشور کاسته شده و همچنین یک خوشه از بارش‌های زیاد در شمال شرقی کشور در دوره پیش‌بینی شده مشاهده می‌شود. در مقایسه شکل‌های ۵ و ۶ همچنین مشاهده می‌شود از ناخوشه‌های بارش یعنی بارش‌های کم منطقه جنوب، جنوب شرقی و مرکز کشور کاسته شده، این نشانه روند افزایش بارش در دوره پیش‌بینی در مناطق مذکور است. در شکل ۷ نقشه پراکندگی و تغییرات بارش با استفاده از تحلیل آمار فضایی لکه‌های داغ (Hot Spot Analysis) مشاهده می‌شود که لکه‌های داغ در سواحل دریای خزر، غرب و شمال غرب کشور دیده می‌شود که با رنگ قرمز نشان داده شده است که بیشترین بارش در این مناطق وجود دارد.

۲۰۴۰ پیش‌بینی شدند و سپس با روش‌های آماری فضایی در سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) با روش‌های موران محلی و لکه‌های داغ (Hot Spot) پراکندگی و تغییرات بارش روزانه مشاهداتی و پیش‌بینی شده مورد بررسی قرار گرفتند که نتایج نشان داد: میانگین بارش طولانی‌مدت بارش ایران دارای روند افزایشی است و به مقدار ۵/۱ میلی-متر افزایش داشته که این افزایش در قسمت‌های سواحل دریای خزر و شمال‌غربی کشور و همچنین مرکز ایران به-خصوص بخشی از استان‌های یزد و اصفهان محسوس است، اما در قسمت‌های جنوبی و غرب کشور روند کاهشی داشته است. نتایج تحلیل فضایی موران محلی بارش مشاهداتی نشان می‌دهد که بیشترین مقدار بارش در غرب، شمال غرب کشور و سواحل دریای خزر پراکنده شده است و کمترین مقدار بارش در جنوب شرقی و مرکز ایران مشاهده می‌شود، مقدار پراکندگی بارش زیاد در دوره پیش‌بینی شده نسبت به دوره پایه در غرب کشور کاسته شده و همچنین یک خوشه از بارش‌های زیاد در شمال شرقی کشور در دوره پیش‌بینی-شده مشاهده شد و همچنین از ناخوشه‌های بارش یعنی بارش‌های کم منطقه جنوب، جنوب شرقی و مرکز کشور کاسته شده این نشانه روند افزایش بارش در دوره پیش‌بینی در مناطق مذکور است. نقشه‌های پراکندگی لکه‌های داغ (Hot Spot Analysis) این روند را تصدیق می‌کنند.

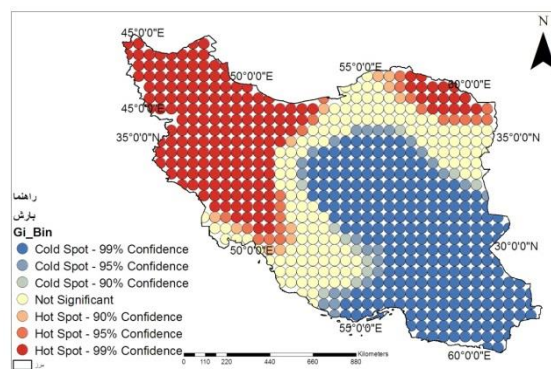
### منابع

آبایی، ب، میرزایی، ف، سهرابی، ت. ۱۳۹۰. ارزیابی عملکرد مدل LARS-WG در ۱۲ ایستگاه هواشناسی ساحلی ایران. مجله پژوهشی آب ایران، ۵(۹): ۲۱۷-۲۲۲.

بابائیان، ا، نجفی نیک، ز. ۱۳۸۶. مدل‌سازی اقلیم ایران در دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹، پروژه خاتمه یافته پژوهشکده اقلیم‌شناسی: صص ۱۳-۵ و ۱۰۷.

سیاری، ن، علیزاده، امین، بنایان اول، م، فرید حسینی، ع، حسامی، م. ۱۳۹۰. بررسی روند خشکسالی تحت شرایط تغییر اقلیم در حوضه کشف‌رود (ایستگاه مشهد) در دوره‌های آتی با استفاده از مدل HadCM3 و دو سناریو انتشار B2، A2. نشریه پژوهش‌های اقلیم-

ایران دارای روند کلی افزایش بارش است، اما در منطقه غرب کشور در دوره پیش‌بینی شده دارای روند کاهشی است یعنی تعداد لکه‌های داغ رو به کاهش است و همچنین در جنوب و جنوب شرق کشور نیز دارای روند کاهشی است. اما در مرکز، شمال شرق، شمال غرب و سواحل دریای خزر دارای روند افزایشی است، به‌خصوص در شمال شرق ایران تعداد خوشه‌های لکه-های داغ افزایش زیادی داشته است که نشان‌دهنده روند افزایشی بارش در این منطقه است، که نقشه پراکندگی بارش پیش‌بینی شده موران محلی نیز این افزایش بارش در شمال شرق کشور را تأیید می‌کند.



شکل ۸- نقشه پراکندگی لکه‌های داغ بارش پیش‌بینی شده ایران برای دوره آماری (۲۰۱۱-۲۰۴۰)

### نتیجه‌گیری

در این مقاله خروجی‌های مدل گردش عمومی جو-اقیانوسی HADCM3 با سناریوی A2 به منظور تحلیل آماری فضایی بارش روزانه ایران زمین در دوره آماری ۲۰۴۰-۲۰۱۱ بر روی تمام ایستگاه‌های ایران ریزمقیاس شدند. به منظور بررسی پراکندگی فضایی بارش و دمای گذشته و آینده کشور در این مطالعه برای کالیبراسیون و ارزیابی روش ریزمقیاس‌نمایی آماری داده‌های مدل جفت‌شده گردش عمومی جو-اقیانوسی استفاده شده است. این داده‌ها از مرکز پیش‌بینی مطالعات محیطی آمریکا که به نام NCEP مشهورند از سال ۱۹۶۱ تا ۲۱۰۰ و داده‌های مدل گردش عمومی جو از سال ۱۹۶۱ تا ۱۹۹۰ موجودند واکاوی شده‌اند و با استفاده از مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری مدل (SimCLIM) خروجی‌های مدل HADCM3 تا سال

- Korea Meteorological Research Institute, Clim. Res. lab., 34(2): 98 p.
- Chu, J. T., Xia, J., Xu, C. Y., Singh, V.P. (2010). Statistical downscaling of daily mean temperature, pan evaporation and precipitation for climate change scenarios in Haihe River, China. *Theor. Appl. Climatol.*, 99: 149-161.
- Dubrovsky, M. 1998. Met & Roll: the stochastic generator of daily weather series for the crop growth model. *Meteorol. Bull.*, 49: 97-105.
- Elshamy, M. E., Wheatler, H. S., Gedney, N., Huntingford, C. 2005. Evaluation of the rainfall component of weather generator for climate change studies. *J. Hydrol.*, 326:1-24.
- Gordon, C., Cooper, C., Seiner, C. A., Banks, H., Gregory, J. M., Johns, T. G., Mitchell, J. F. B., Wood, R. A. 2000. The simulation of SST, Sea ice extents and ocean heat transports in a version of the Hadley Center coupled model without flux adjustment. *Climate Dynamics*, 16: 147-168.
- Johnson, G. L., Hanson, C. L., Hardegree, S.P., Ballard, E.B. 1996. Stochastic weather simulation: overview and analysis of two commonly used models. *J. Appl. Meteorol.* 35: 1878-1896.
- McKee, T. B., Doesken, N. J., Kleist, J. 1995. "Drought Monitoring with Multiple Time Scales" . In Proc, 9th Conf. on Applied Climatology, January 15-20, American Meteorological Society, Massachusetts: 233-236.
- Semenov, M. A., Barrow, E. M. 2002. LARS-WG a stochastic weather generator for use in climate impact studies. User's manual, Version3.0.
- Thompson, C. S., Mullan, A. B. 1995. Weather Generators. NIWA Internal report, 115- 120.
- Steele - Dunne, S., Lynch, P., McGrath, R., Semmler, T., Wang, S. H., Hanafin, J., Nolan, P. 2008. The impacts of climate change on hydrology in Ireland. *J. Hydrol.*, 356: 28-45.
- Wilby, R. L., Conway, D., Jones, P. D. 2002. Prospects for downscaling seasonal precipitation variability using conditioned weather generator parameters, hydrological processes, 16:1215-1234.
- شناسی انتشارات پژوهشکده اقلیم‌شناسی مشهد، ۸ و ۷: ۲۰-۴۲.
- صمدی، ز، مساح بوانی، ع، مهدوی، م. ۱۳۸۶. بررسی تأثیر روش‌های کوچک‌مقیاس کردن رگرسیونی بر رژیم سیلاب رودخانه، کارگاه فنی اثرات تغییر اقلیم در مدیریت منابع آب: ص ۸۳.
- عباسی، ف، اثمري، م. ۱۳۹۰. پیش‌بینی و ارزیابی تغییرات دما و بارش ایران در دهه‌های آینده با الگوی MAGICC-SCENGEN. نشریه آب و خاک، ۱: ۷۰-۸۳.
- عباسی، ف، ملبوسی، ش، بابائیان، ا، اثمري، م، برهانی، ر. ۱۳۸۹. پیش‌بینی تغییرات اقلیمی خراسان جنوبی در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ میلادی با استفاده از ریزمقیاس-نمایی آماری. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲: ۲۱۸-۲۲۲.
- عرفانیان، م، انصاری، ح، علیزاده، ا. ۱۳۹۲. پیش‌بینی بارش و دمای متوسط ماهانه با استفاده از الگوهای پیوند از دور به کمک شبکه‌های عصبی مصنوعی (مطالعه موردی: ایستگاه سینوپتیک مشهد). فصلنامه مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، ۱۱: ۵۳-۷۳.
- عساکره، ح. ۱۳۸۶. کاربرد رگرسیون خطی و تحلیل روند بارش سالانه تبریز. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۲۲(۸۷): ۳-۲۶.
- عسگری، ع. ۱۳۹۰. تحلیل‌های آمار فضایی با Arc GIS، انتشارات سازمان فناوری اطلاعات و ارتباطات شهرداری تهران، چاپ اول: ص ۷۰-۷۴.
- Akhtar, M., Ahmad, N., Booij. M. j. 2008. The impact of climate change on the water resources of Hindukush - Karakorum region under different glacier coverage scenarios. *J. Hydrol.*, 355: 148-163.
- Boyer, C. Diane, C. Isabelle. Andre, G. R. 2005. Impact of change on the hydrology of ST. Lawrence TRIBUTARIES. *J. hydrol.*, 384: 65-83.
- Babaeian, I., Kwon, W.T., Im, E.S. 2004. Application of weather generator technique for climate change assessment over Korea.

- Warrick. M. 2009. From CLIMFACTS to SimCLIM: The development of an integrated model for assessing impacts and adaptation to climate change. In: C. G. Knight and J. Jaeger (eds.), Integrated Regional Assessment: Challenges and Case Studies. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Willby, R. L., Dawson, C. W., Barrow, E. M. 2002. SDSM Version 3.1 –A decision support tool for the assessment of regional climate change impacts.
- Wilks, D. S., Wilby, R. L. 1999. The weather generation game: a review of stochastic weather models. Prog. Phys. Geogr., 23: 329-357.

## بررسی روند بیابان‌زایی دشت کاشان با استفاده از مدل IMDPA با تأکید بر معیار اقلیم

مجتبی قرائتی جهرمی<sup>۱</sup>، عباسعلی ولی<sup>۲</sup>، سید حجت موسوی<sup>۳</sup>، فاطمه پناهی<sup>۴</sup>، حسن خسروی<sup>۵\*</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۷/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۲/۰۴

### چکیده

خشکسالی یکی از مخرب‌ترین بلاهای طبیعی است که در مناطق مختلف ایران اغلب اتفاق می‌افتد. در این پژوهش به منظور پایش بیابان‌زایی دشت کاشان از چهار شاخص بارش، خشکی ترانسو، تداوم خشکسالی دهک‌دوم و بارش استاندارد (SPI) استفاده شد. بعد از آماده سازی داده‌ها با استفاده از جدول امتیازدهی مدل IMDPA هر یک از معیارها به صورت لایه‌های اطلاعاتی وارد محیط نرم افزار ArcGIS 9.3 شد. سپس با به‌کارگیری روش کریجینگ، چهار شاخص فوق‌الذکر، ناحیه‌بندی شده و نقشه‌های هر شاخص برای سه دوره ۱۹۷۵-۱۹۹۰، ۱۹۹۱-۲۰۰۰ و ۲۰۰۱-۲۰۱۰ تهیه گردید. در نهایت با استفاده از میانگین هندسی، نقشه‌های تهیه شده سه دوره مطالعاتی، با هم ادغام شده و با قرار دادن لایه‌های امتیازدهی شده چهار شاخص مذکور، نقشه نهایی بر اساس مدل IMDPA از اقلیم دشت کاشان تهیه گردید. نتایج تحقیق نشان داد که معیار بارش استاندارد (SPI) با ارزش عددی ۲/۹۹ بیشترین تأثیر و معیار تداوم خشکسالی دهک‌دوم با ارزش عددی ۰/۱۴ کمترین تأثیر را در بیابان‌زایی منطقه دارد. همچنین معیارهای خشکی ترانسو و بارش به ترتیب با ارزش‌های عددی ۲/۹۷ و ۲/۵۹ شدت بیابان‌زایی متوسط را نشان می‌دهند. در مجموع می‌توان گفت روند بیابان‌زایی از منظر معیار اقلیم رو به گسترش می‌باشد. به طوری که در چنین شرایطی، وقوع بیابان‌زایی با شدت بیشتر در دهه های آتی دور از انتظار نخواهد بود.

**واژه‌های کلیدی:** خشکی ترانسو، بارش استاندارد شده، بیابان‌زایی، IMDPA، کاشان

### مقدمه

درصد از سرزمین‌های خشک جهان قلمروهای مستعد پدیده بیابان‌زایی است. در ایران، حدود ۱۰۰ میلیون هکتار از اراضی در معرض پدیده بیابان‌زایی قرار دارند. علی‌رغم مطالعات گسترده اقلیم‌شناسان در مورد شاخص‌های آب و هوایی مناطق بیابانی جهان، اختلاف نظر و ارقام متفاوتی وجود دارد. به همین جهت شاخص‌های اقلیمی متفاوتی ارائه شده است (خسروی، ۱۳۹۱). افزایش شدت بهره‌برداری روز به روز بر وسعت مناطق بیابانی جهان می‌افزاید، از این رو تاکنون جامعه جهانی به هیچ وجه به صورت فعلی درگیر بحران‌های اکولوژیکی مربوط به بیابان‌زایی نبوده است (جعفری، ۱۳۸۰). در مدل FAO-UNEP (۱۹۸۴) فرسایش آبی، فرسایش بادی، شور شدن خاک به‌عنوان فرآیندهای اصلی و کاهش مواد آلی، سله بستن و تجمع مواد سمی به‌عنوان فرآیندهای فرعی بیابان‌زایی در نظر گرفته شده‌اند. در این روش شدت بیابان‌زایی از جمع عوامل انسانی (فشار دام و انسان بر محیط زیست) و عوامل

بیابان‌زایی عبارت است از تخریب سرزمین در مناطق خشک، نیمه‌خشک و خشک نیمه‌مرطوب در اثر تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی (دانفنگ<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۰۶؛ فراراً<sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۱۲). طبق این تعریف، در حدود ۸۴

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد بیابان‌زدایی، گروه جغرافیا و اکوتوریسم، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان

<sup>۲</sup> دانشیار، گروه جغرافیا و اکوتوریسم، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان

<sup>۳</sup> استادیار، گروه جغرافیا و اکوتوریسم، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان

<sup>۴</sup> استادیار، گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

\* نویسنده مسئول: hakhosravi@ut.ac.ir

<sup>۵</sup> Danfeng

<sup>۶</sup> Ferrara

آرژانتین استفاده کردند. هدف آن‌ها از این تحقیق تعیین و آنالیز مناطق تخریب شده، بررسی پیشرفت فرآیندهای طبیعی و انسانی بیابان‌زایی استفاده از علم سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی و ارزیابی توان این دو ابزار برای مطالعه سیمای بیابان‌زایی و ارزیابی استعدادهای محیط‌های مختلف طبیعی این کشور برای بیابان‌زایی است. مطالعه نقشه‌های تهیه شده با استفاده از این روش وضعیت مستعد منطقه را برای بیابانی شدن نشان داد (مقصودی، ۱۳۷۹). ناطقی و همکاران (۱۳۸۸) در قالب پایان‌نامه کارشناسی ارشد با مدل IMDPA با تأکید بر معیارهای آب، زمین و پوشش به بررسی شدت بیابان‌زایی دشت سگری پرداخت که نتایج نشان داد، معیار آب با گرفتن امتیاز ۳/۱۷ در کلاس بیابان‌زایی خیلی شدید طبقه بندی می‌شود. با استفاده از مدل IMDPA و با تأکید بر معیارهای وضعیت کشاورزی، آب و خاک، بیابان‌زایی اراضی کشاورزی محدوده طشک در استان فارس را مورد بررسی قرار داد. نتایج به دست آمده نشان داد که در این منطقه شاخص‌های سیستم‌های آبیاری و افت آب‌های زیرزمینی، اصلی‌ترین عوامل بیابان‌زایی را تشکیل می‌دهد. ذوالفقاری و همکاران (۱۳۹۰)، ارزیابی شدت بیابان‌زایی دشت سیستان با استفاده از مدل IMDPA و چهار معیار اقلیم، پوشش گیاهی، خاک و فرسایش بادی مورد بررسی قرار داد. نتایج به دست آمده نشان داد، معیارهای پوشش گیاهی و اقلیم به ترتیب با ارزش‌های عددی ۱/۵۱ و ۱/۵۷ شدت بیابان‌زایی متوسط را نشان می‌دهد. بخشنده مهر و همکاران (۱۳۹۲)، ارزیابی وضعیت فعلی بیابان‌زایی و اصلاح مدل مدالوس در دشت سگری اصفهان را مورد پژوهش قرار دادند، بر اساس نتایج به دست آمده ۲ درصد از مساحت منطقه در کلاس متوسط، ۳۵ درصد در کلاس بیابان‌زایی شدید، و ۶۳ درصد نیز در کلاس بیابان‌زایی بسیار شدید قرار دارند. ناطقی و همکاران (۱۳۸۸) در ارزیابی شدت بیابان‌زایی دشت سگری با بهره‌گیری از مدل IMDPA، به این نتیجه رسید که معیار آب با میانگین وزنی ۳/۹۷ بیشترین تأثیر را در بیابان‌زایی منطقه دارد و در کلاس بیابان‌زایی خیلی شدید قرار می‌گیرد. مسعودی (۱۳۸۹) جهت ارائه یک سیستم هشدار بیابان‌زایی در دشت کاشان با استفاده از مدل IMDPA و با ArcGIS9.3 و با تأکید بر دو معیار آب و اقلیم، نشان داد که معیار آب با ارزش عددی ۳/۳۶ بیشترین تأثیر را

محیطی (وضعیت فعلی، سرعت، استعداد) محاسبه می‌گردد که از اشکالات این روش می‌باشد. زیرا نقش عوامل محیطی و انسانی و تأثیر آن‌ها در بیابان‌زایی یکسان نیست و ارزش‌گذاری مشابه آن‌ها در تبیین شدت بیابان‌زایی نمی‌تواند از صحت مطلوب برخوردار باشد. لذا به‌کارگیری آن در مناطق مختلف دارای اشکالات زیادی می‌باشد. (ذاکری‌نژاد و همکاران ۱۳۹۱). گرنجر<sup>۱</sup> (۱۳۷۴) دلایل کشت بیش از حد محصولات کشاورزی، جنگل‌تراشی، چرای بیش از حد و آبیاری نامناسب را برای بیابان‌زایی نام می‌برد که هر کدام با افزایش جمعیت بشری شدیدتر می‌شود. سن و شارما<sup>۲</sup> (۱۹۹۵) بیابان‌زایی را افزایش فشار انسان در سیستم استفاده آن از اکوسیستم‌های حساس می‌داند که باعث کاهش بازدهی تولید و عدم برگشت-پذیری می‌گردد. کاتز<sup>۳</sup> و همکاران (۱۹۷۷) بیابان‌زایی را روند تخریب اراضی می‌دانند که شامل روند تخریبی در تولید و سامانه‌های اجتماعی اکوسیستم‌ها می‌باشد. در سال ۱۹۷۶ اولین تحقیق غیر رسمی و منطقه‌ای در زمینه تهیه نقشه بیابان‌زایی توسط محققین دانشگاه هامبورگ در منطقه دارفور کشور سودان و به مدت ۴ سال انجام گرفت. نتایج این کار به دو نقشه کاربری اراضی و بیابان‌زایی به علت ارتباط با یکدیگر گردآوری شد (جوادی، ۱۳۸۳). اولین فعالیت به‌صورت رسمی و گسترده در زمینه‌ی ارزیابی و تهیه نقشه‌ی بیابان‌زایی جهان با هدف درک بهتر از مسائل پیچیده‌ی این پدیده در سال ۱۹۷۷ توسط UNEP و یونسکو انجام گرفت که در برگزیده مناطق بیابانی و مناطقی که در معرض بیابان‌زایی قرار داشتند می‌شد (ذبیحی اسرمی، ۱۳۸۰). در سال ۱۹۸۵ برنامه محیط زیست سازمان ملل متحد با همکاری دولت کنیا طرح راهنمایی ارزیابی و تهیه نقشه بیابان‌زایی را در کشور کنیا به مورد اجرا گذاشت. هدف از انجام این طرح ارزیابی کاربردی روش یونپ- فائو بود که با انجام آن علاوه بر پی بردن به مزایا، ایرادات آن نیز شناسایی می‌شود (مشکوه، ۱۳۷۷). توریو<sup>۴</sup> و زیدام<sup>۵</sup> در سال ۱۹۹۸، از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی به منظور آنالیز بیابان‌زایی در منطقه پاتاگونایی

<sup>1</sup> Granger

<sup>2</sup> Sen & Sharma

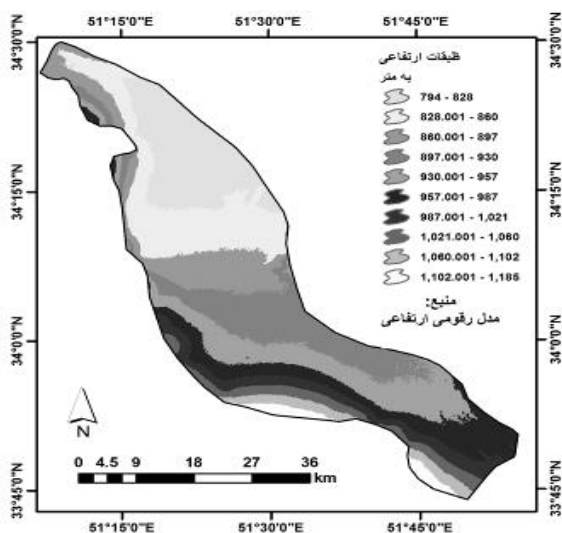
<sup>3</sup> Kates

<sup>4</sup> Torio

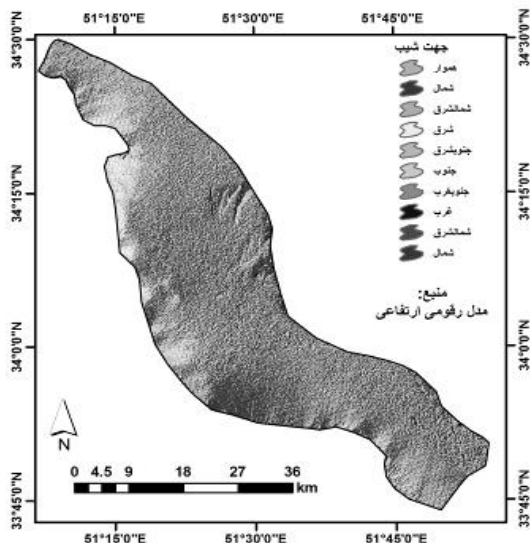
<sup>5</sup> Zuidam



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران و اصفهان



شکل ۲- نقشه ارتفاع آبخوان کاشان مطالعه نسبت به سطح دریا



شکل ۳- نقشه جهت شیب آبخوان کاشان

در بیابان‌زایی منطقه دارد و در کلاس شدید قرار می‌گیرد. نگارش و همکاران (۱۳۹۰) با تجزیه و تحلیل ناهنجاری‌های اقلیمی مؤثر بر فرایند بیابان‌زایی در خضرباد یزد به این نتیجه رسیدند که تغییرات عناصر مورد بررسی شامل دما و بارش به نفع شرایط بیابانی به‌طور مستقیم و با فراهم نمودن زمینه تشدید این شرایط به علت فعالیت‌های انسانی از طریق فشار بر منابع آب و پوشش گیاهی می‌باشد. از جمله اهداف این تحقیق می‌توان به تهیه نقشه ارزش عددی هر شاخص و هر معیار اقلیمی برای سه دوره زمانی، تعیین کلاس شدت بیابان‌زایی در هر واحدکاری و در کل منطقه برای سه دوره زمانی، مقایسه وضعیت پیشین بیابان‌زایی منطقه مطالعاتی با وضعیت کنونی آن و تعیین شدت پیشروی بیابان‌زایی منطقه و نقد و بررسی روند بیابان‌زایی منطقه و تهیه گزارش نهایی اشاره کرد. خسروی (۱۳۹۱) در قالب رساله‌ی دکتری با استفاده از مدل ArcGIS9.3 و IMDPA و با تأکید بر معیارهای اقلیم، زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی، منابع آب و پوشش گیاهی، روند و اثر تغییرات معیارها و شاخص‌های پایش بیابان‌زایی دشت کاشان را بررسی نمود.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

در این پژوهش ابتدا حوزه آبخیز شهرستان کاشان را مرزبندی، سپس آبخوان کاشان را به‌عنوان منطقه مورد مطالعه مشخص شد (شکل ۱). منطقه مورد مطالعه، در استان اصفهان، در موقعیت ۵۰ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۵۲ درجه و ۱۵ دقیقه طول جغرافیایی و ۳۳ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۳۰ دقیقه عرض جغرافیایی واقع شده است که وسعتی معادل ۱۸۴۹/۴ کیلومتر مربع شهرستان‌های کاشان و آران‌بیدگل را پوشش می‌دهد. بر اساس شکل ۲، بلندترین نقاط مرتفع در منطقه ارتفاعی حدود ۱۱۸۵ متر از سطح دریا ارتفاع دارد که در قسمت جنوبی منطقه واقع است. کمترین ارتفاع منطقه ۷۹۴ متر ارتفاع از سطح دریا دارد، که قسمت میانی و شمالی منطقه را شامل می‌شود. همان‌گونه که بر اساس شکل ۳، اکثر شیب منطقه مورد مطالعه متمایل به شمال و شرق و حد واسط بین این دو یعنی شمال شرقی است.

### شاخص خشکی ترانسو

جهت بررسی شاخص خشکی در این تحقیق از شاخص ترانسو استفاده گردیده است، که بر اساس معادله ۲ تعریف می‌شود.

$$I = \frac{P}{ETP} \quad (2)$$

که در آن P بارش سالانه و ETP مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل سالانه می‌باشد. تبخیر و تعرق پتانسیل سالانه با استفاده از روش تورنت‌وایت تعیین شد.

### شاخص تداوم خشکسالی دهک‌دوم

برای مطالعه بیابان‌زایی با توجه به دامنه تغییرات خشکسالی‌ها، تعریف زیر پیشنهاد می‌شود: یک سال خشک به سالی اطلاق می‌گردد که جمع بارش در آن سال از نظر آماری از مقدار دهک دوم ( $D_2$ ) جامعه بارندگی‌های سالانه کمتر باشد<sup>۱</sup>. این تعریف طبق معادله ۳ می‌باشد.

$$P(X < D_2) = 0.20 \quad (3)$$

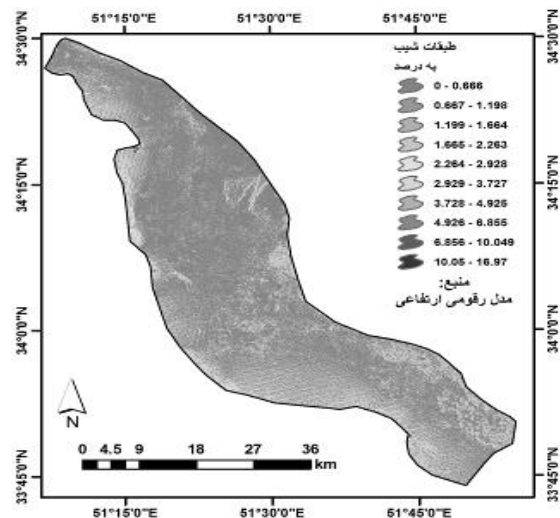
### شاخص بارش استاندارد<sup>۲</sup> (SPI)

طبق این شاخص خشکسالی هنگامی اتفاق می‌افتد که SPI به طور مستمر منفی و به مقدار ۱- یا کمتر برسد، و هنگامی پایان می‌یابد که SPI مثبت گردد. مقادیر تجمعی SPI نیز، بزرگی و شدت دوره خشکسالی را نشان می‌دهد. طبقه بندی دوره‌های مرطوب، نرمال و خشک بر اساس روش SPI در جدول ۲ آمده است. شاخص بارش استاندارد (SPI) مطابق با معادله ۴ محاسبه می‌شود.

$$SPI = \frac{(P_{ik} - \bar{P}_i)}{\sigma_i} \quad (4)$$

که SPI بارش استاندارد شده،  $P_{ik}$  مقادیر بارش در ایستگاه  $i$  در  $k$  امین سال مشاهده به میلی‌متر،  $\bar{P}_i$  میانگین بارش بلند مدت ایستگاه  $i$  به میلی‌متر و  $\sigma_i$  انحراف معیار داده‌های بارش بلند مدت ایستگاه  $i$  می‌باشد. دامنه طبقه‌های شدت برای تعیین ترسالی‌ها و خشکسالی‌ها بر اساس نمایه SPI در جدول ۲ آمده است. سپس با استفاده از جدول ۳ هر

در این پژوهش، به منظور بررسی معیارها و شاخص‌ها، دوره ارتفاع متوسط منطقه ۹۹۰ متر از سطح دریا است. از شکل ۴ مشخص است، حوضه مورد مطالعه دارای شیب بسیار کم و مسطح می‌باشد، که حدود ۹۰٪ از منطقه شیبی کمتر از ۲٪ و حداکثر شیب منطقه ۱۶٪ است. مطالعاتی ۳۶ ساله تحت سه دوره مطالعاتی ۱۶ ساله (سال ۱۹۷۵ تا ۱۹۹۰)، ۱۰ ساله (سال ۱۹۹۱ تا ۲۰۰۰) و ۱۰ ساله (سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۰) در نظر گرفته شد.



شکل ۴- نقشه درصد شیب آبخوان کاشان

در هر دوره طبق روش چهار شاخص بارش سالانه، تداوم خشکسالی، خشکی ترانسو و بارش استاندارد در نظر گرفته شد. طبق معامله ۱ از چهار شاخص اقلیمی میانگین هندسی گرفته شد.

$$Q_1 = \prod_{j=1}^4 Q_{1,j} = \sqrt[4]{(Q_{1,1}) \cdot (Q_{1,2}) \cdot (Q_{1,3}) \cdot (Q_{1,4})} \quad (1)$$

$Q_{(1,1)}$  امتیاز شاخص بارش سالانه،  $Q_{(1,3)}$  امتیاز شاخص تداوم خشکسالی دهک‌دوم،  $Q_{(1,2)}$  امتیاز شاخص خشکی ترانسو و  $Q_{(1,4)}$  امتیاز شاخص بارش استاندارد (SPI) می‌باشد.

### شاخص بارش سالانه

از آمار بارش چهار ایستگاه محمدآباد، راوند، فین و ابیان استفاده گردید و با استفاده از همبستگی داده‌ها، آمار ۳۶ ساله منطقه (۲۰۱۰-۱۹۷۵) بازسازی و طبقه‌بندی شد.

<sup>۱</sup> در استرالیا خشکسالی‌های شدید به سال‌هایی با رشد کمتر از دهک اول اطلاق می‌گردد (x بارندگی،  $D_2$  دهک دوم)

<sup>۲</sup> Standardized Precipitation Index

بررسی‌های صورت گرفته در این پژوهش طی ۳۶ سال به نتایج زیر رسیده‌ایم، که در آبخوان کاشان میزان اراضی شهری، به صورت کاملاً خطی در طول ۳۶ سال افزایش یافته است و نسبت به سال ۱۹۷۵ حدود ۸ برابر افزایش یافته، همچنین اراضی مرتعی در ۱۶ سال اول ۳۵٪ افزایش و از آن پس تا سال ۲۰۰۰ نسبتاً ثابت باقی مانده است و از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۰۰ روند کاهشی را پیموده است. از طرفی اراضی تحت تسلط ماسه‌های بادی، در ۱۶ سال اول ۷۱٪ کاهش و سپس تا سال ۲۰۰۰ ثابت باقی مانده است و از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۰۰ با شیب ملایم رو به افزایش نهاده است. اراضی کشاورزی و باغات نیز در ۱۶ سال اول ۴۴٪ افزایش، همچنین پس از آن تا سال ۲۰۱۰ با شیب ملایم‌تری افزایش را نشان می‌دهد. در نهایت اراضی شور و بدون پوشش گیاهی در ۲۶ سال اول ۱۵٪ کاهش، ولی از سال ۲۰۰۰ رو به افزایش نهاده است (جدول ۴). نتیجه نهایی این مطالب دربردارنده استفاده نامناسب از اراضی به منظور توسعه فعالیت‌های انسانی از قبیل شهرسازی و کشاورزی را نشان داده و این امر نیز رخداد مسائل زیست محیطی نظیر تخریب اراضی و بیابان‌زایی انسانی را تشدید می‌کند.

منطقه را بر اساس امتیاز شاخص‌های معیار اقلیم در روش IMDPA کلاس‌بندی می‌کنیم و در نهایت نقشه پهنه‌بندی شده و کلاس بندی شده را ترسیم می‌کنیم.

جدول ۲- طبقه‌بندی دوره‌های مرطوب، نرمال و خشک بر اساس روش SPI

کد طبقه	مقدار SPI	طبقه
۷	۲ و بیشتر	بی نهایت مرطوب
۶	۱/۹۹ تا ۱/۵	مرطوب شدید
۵	۱ تا ۱/۴۹	مرطوب متوسط
۴	-۰/۹۹ تا ۰/۹۹	بارش نرمال
۳	-۱/۴۹ تا -۱	خشکی ملایم
۲	-۱/۹۹ تا -۱/۵	خشکی شدید
۱	۲- و کمتر	خشکی حاد

### شاخص نوع بهره‌برداری از واحد کاری

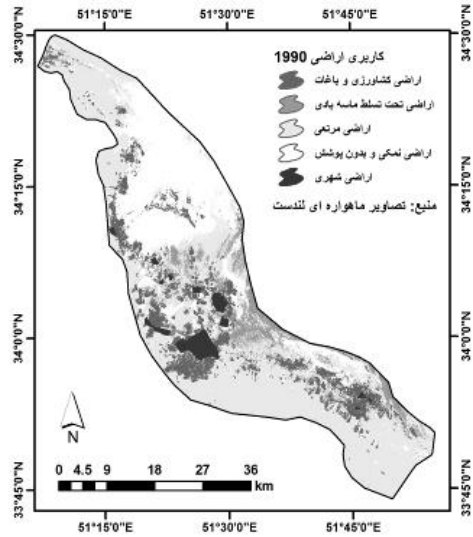
تشخیص به موقع و دقیق تغییرات عوارض سطح زمین، پایه و اساس برای درک بهتر روابط و تعاملات بین پدیده‌های انسانی و طبیعی به منظور مدیریت بهتر و استفاده بهینه از منابع را فراهم می‌آورد. با پایش تغییرات کاربری اراضی در بازه‌های زمانی می‌توان به روند مسائل محیطی نظیر تخریب اراضی، کاهش توان اکوسیستم و بیابان‌زایی پی برد. با توجه به

جدول ۳- تعیین امتیاز شاخص‌های معیار اقلیم در روش IMDPA

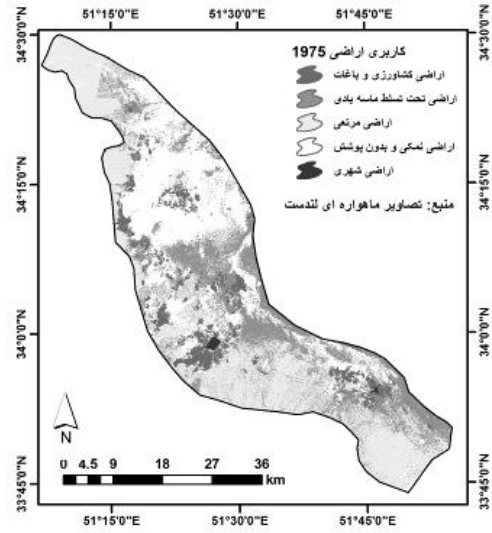
استمرار خشکسالی	کمتر از ۳ سال	۳-۴ سال	۵-۶ سال	۶-۷ سال	بیشتر از ۷ سال
شاخص خشکسالی	۷	۵ و ۶	۴	۲ و ۳	۱
شاخص خشکسالی ترانسو	بیشتر از ۰/۶۵	۰/۶۵-۰/۴۵	۰/۴۵-۰/۲۵	۰/۲۵-۰/۱۵	کمتر از ۰/۰۵
بارش سالانه (میلی متر)	بیشتر یا مساوی ۶۰۰	۲۸۰-۶۰۰	۱۵۰-۲۸۰	۷۵-۱۵۰	کمتر از ۷۵
شاخص امتیاز	۰/۰۱-۱	۱/۰۱-۱/۵	۱/۵۱-۲/۵	۲/۵۱-۳/۵	۳/۵۱-۴
ارزیابی کلاس	غیر قابل ملاحظه	کم	متوسط	شدید	بسیار شدید

جدول ۴- درصد و مقدار مساحت ( $\text{km}^2$ ) کاربری اراضی حوضه آبی کاشان در بازه‌های زمانی مطالعاتی

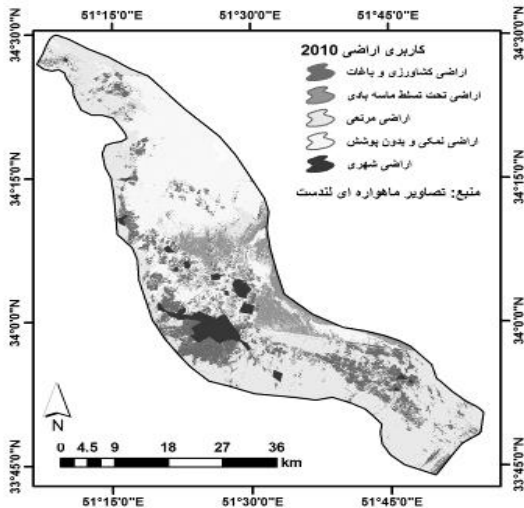
نوع بهره برداری از واحدکاری	سال ۱۹۷۵		سال ۱۹۹۰		سال ۲۰۰۱		سال ۲۰۱۰	
	مساحت $\text{km}^2$	درصد	مساحت $\text{km}^2$	درصد	مساحت $\text{km}^2$	درصد	مساحت $\text{km}^2$	درصد
اراضی کشاورزی و باغات	۱۹۴/۷۱۹۱	۱۰/۵	۲۸۱/۰۶۷۳	۱۵/۲	۳۰۰/۴۰۰۹	۱۶/۲	۳۴۵/۷۷۹۱	۱۸/۷
اراضی تحت تسلط ماسه های بادی	۳۸۲/۱۱۸۱	۲۰/۷	۱۱۰/۷۰۰۹	۶/۰	۱۰۴/۱۷۱۹	۵/۶	۱۳۵/۲۲۶۸	۷/۳
اراضی مرتعی	۶۳۹/۴۸۱۲	۳۴/۶	۸۶۷/۸۱۴۲	۴۶/۹	۸۷۴/۸۰۹۵	۴۷/۳	۷۷۳/۵۲۰۳	۴۱/۸
اراضی شور و بدون پوشش گیاهی	۶۲۲/۶۳۸۴	۳۳/۷	۵۷۲/۰۳۹۱	۳۰/۹	۵۲۸/۳۱۲۶	۲۸/۶	۵۶۱/۲۵۶۲	۳۰/۳
اراضی شهری	۴/۳۵۴۰۱۲	۰/۲	۱۶/۴۲۹۸۹	۰/۹	۲۷/۷۶۵۶	۱/۵	۳۲/۳۸۹۹	۱/۸
نواحی تفکیک نشده	۶/۰۸۹۳۴۵	۰/۳	۱/۳۴۸۶۱۱	۰/۱	۱۳/۹۳۹۵۴	۰/۸	۱/۲۲۸۲۷	۰/۱
کل	۱۸۴۹/۴	۱۰۰	۱۸۴۹/۴	۱۰۰	۱۸۴۹/۴	۱۰۰	۱۸۴۹/۴	۱۰۰



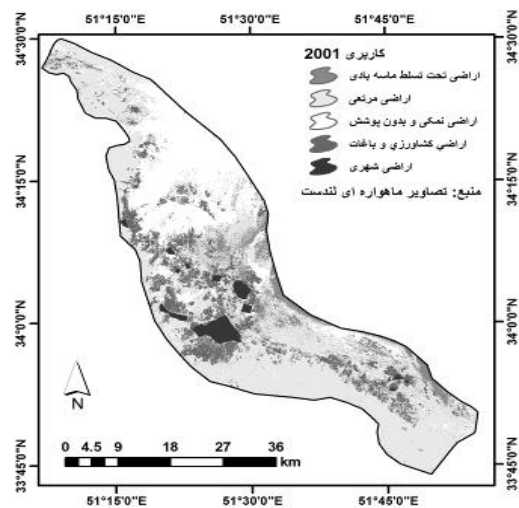
شکل ۶- نقشه کلاس‌بندی کاربری اراضی در سال ۱۹۹۰



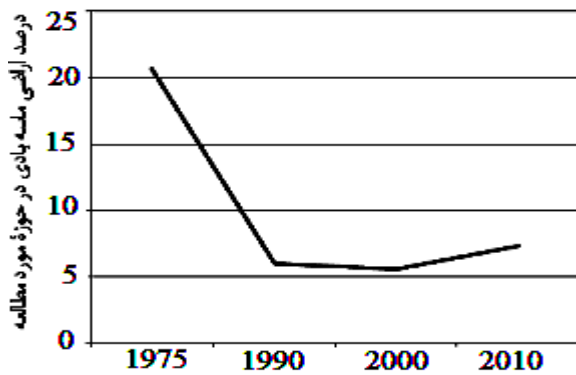
شکل ۵- نقشه کلاس‌بندی کاربری اراضی در سال ۱۹۷۵



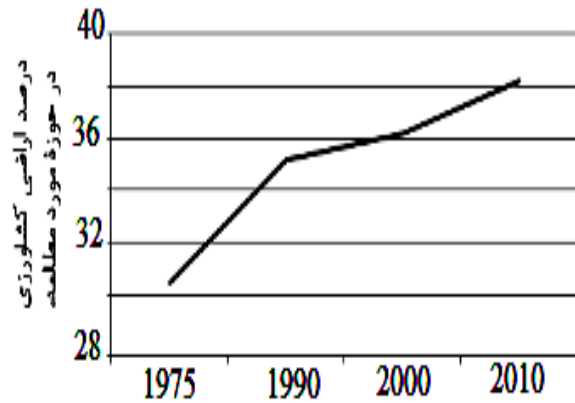
شکل ۸- نقشه پنج‌گانه کاربری اراضی در سال ۲۰۱۰



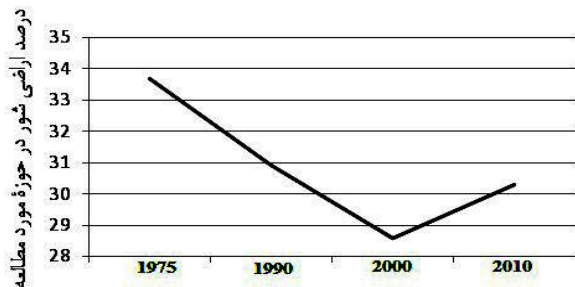
شکل ۷- نقشه کلاس‌بندی کاربری اراضی در سال ۲۰۰۱



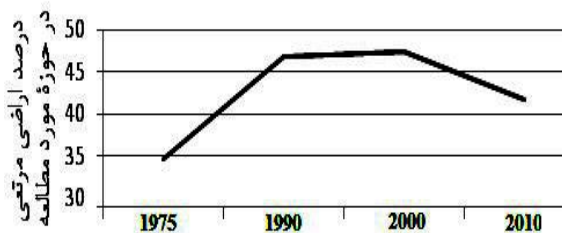
شکل ۱۰- نمودار خطی درصد اراضی تحت تسلط ماسه‌های بادی در منطقه مورد مطالعه و روند صعودی و نزولی آن (۱۹۷۵-۲۰۱۰)



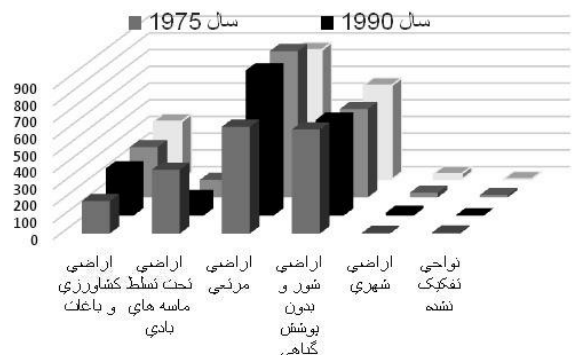
شکل ۹- نمودار خطی درصد اراضی کشاورزی و باغات در منطقه مورد مطالعه و روند صعودی و نزولی آن (۱۹۷۵-۲۰۱۰)



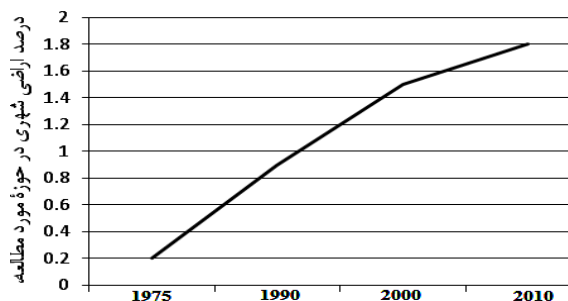
شکل ۱۲- نمودار خطی درصد اراضی شور و بدون پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه و روند صعودی و نزولی آن (۱۹۷۵-۲۰۱۰)



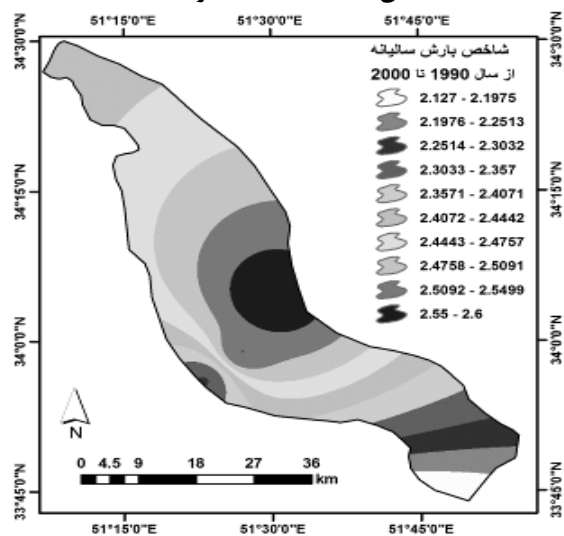
شکل ۱۱- نمودار خطی درصد اراضی مرتعی در منطقه مورد مطالعه و روند صعودی و نزولی آن (۱۹۷۵-۲۰۱۰)



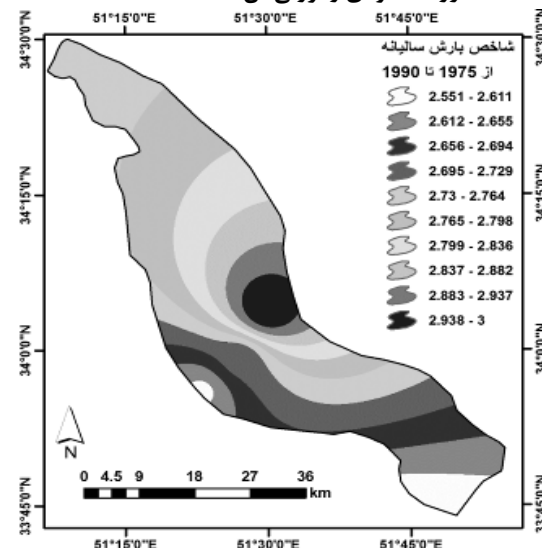
شکل ۱۴- نتایج مساحی سنجی کاربری های منطقه مطالعاتی در سال های ۱۹۷۵، ۱۹۹۰، ۲۰۰۱ و ۲۰۱۰



شکل ۱۳- نمودار خطی درصد اراضی شهری در منطقه مورد مطالعه و روند صعودی و نزولی آن (۱۹۷۵-۲۰۱۰)



شکل ۱۶- نقشه پهنه بندی شاخص بارش سالیانه (۲۰۰۰-۱۹۹۱)

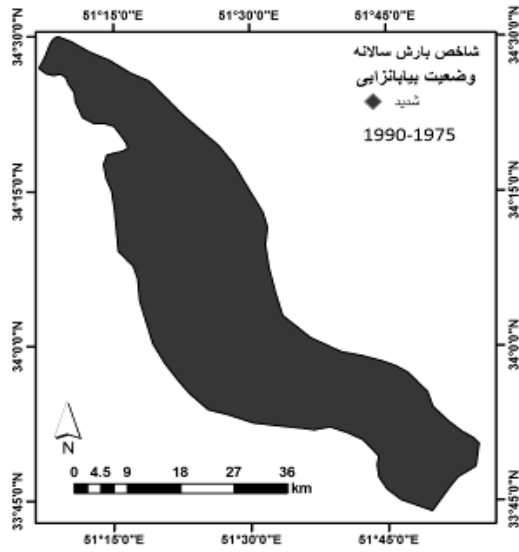


شکل ۱۵- نقشه پهنه بندی شاخص بارش سالیانه (۱۹۹۰-۱۹۷۵)

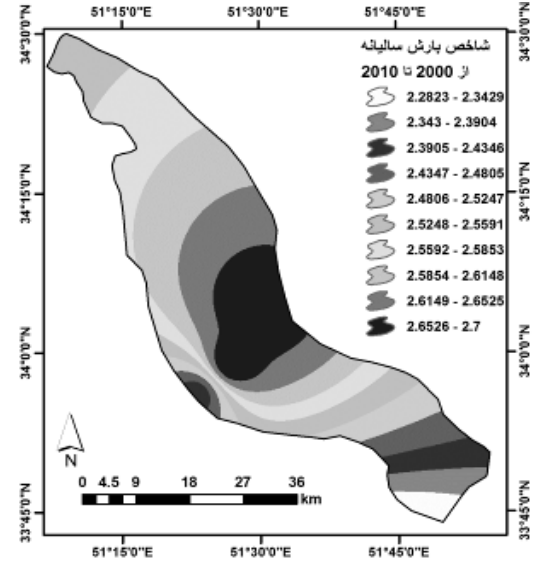
کلاس شدید قرار دارد (شکل های ۲۵، ۲۶، ۲۷، ۲۸). شاخص تداوم خشکسالی دهک دوم در تمام دوره ها در کلاس غیر قابل ملاحظه قرار دارد (شکل ۳۲، ۳۳، ۳۴، ۳۵).

### نتایج

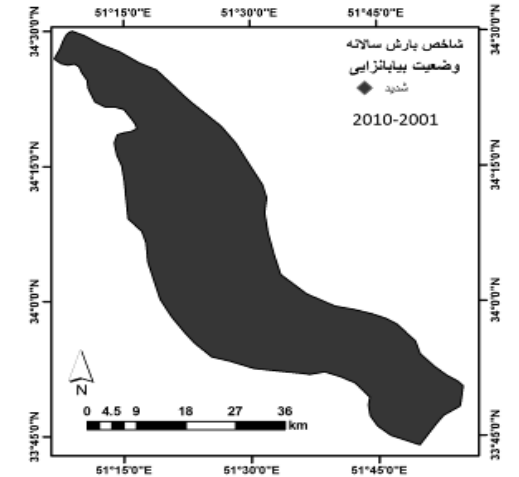
شاخص بارش سالانه از نظر مدل IMDPA در تمام دوره ها در کلاس شدید قرار دارد (شکل ۱۸، ۱۹، ۲۰، ۲۱). شاخص خشکی ترانسو از نظر مدل IMDPA در تمام دوره ها در



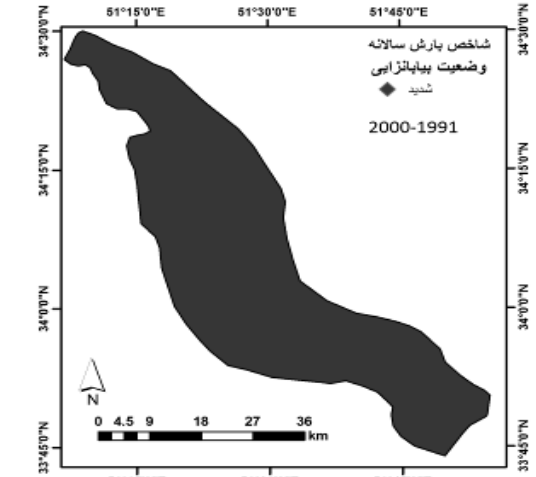
شکل ۱۸- نقشه کلاس‌بندی شاخص بارش سالانه (۱۹۷۵-۱۹۹۰)



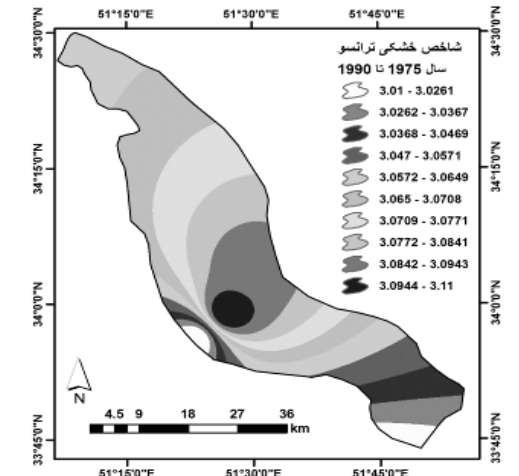
شکل ۱۷- نقشه پهنه‌بندی شاخص بارش سالانه (۲۰۱۰-۲۰۰۱)



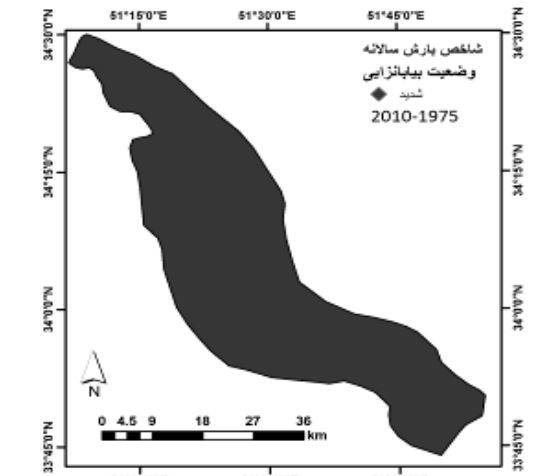
شکل ۲۰- نقشه کلاس‌بندی شاخص بارش سالانه (۲۰۱۰-۲۰۰۱)



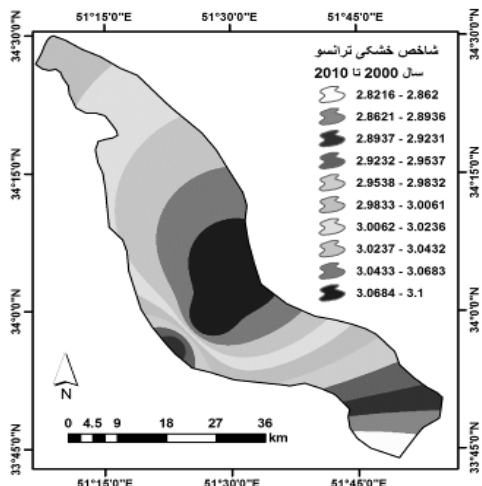
شکل ۱۹- نقشه کلاس‌بندی شاخص بارش سالانه (۲۰۰۰-۱۹۹۱)



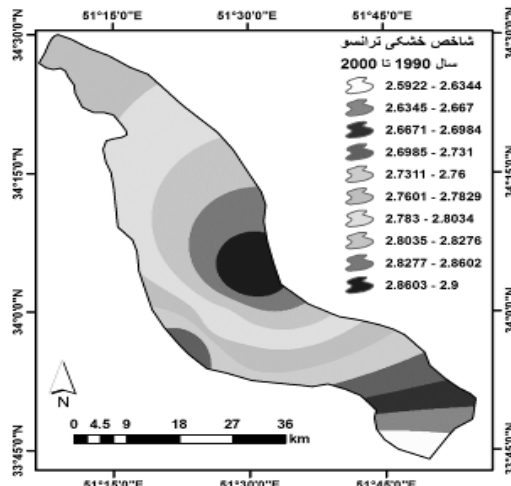
شکل ۲۲- نقشه پهنه‌بندی شاخص خشکی ترانسو (۱۹۷۵-۱۹۹۰)



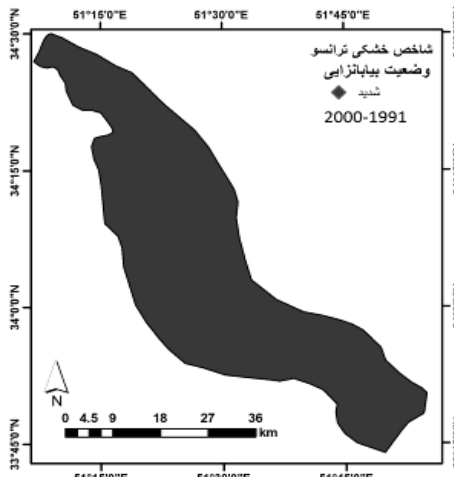
شکل ۲۱- نقشه کلاس‌بندی نهایی شاخص بارش سالانه (۲۰۱۰-۱۹۷۵)



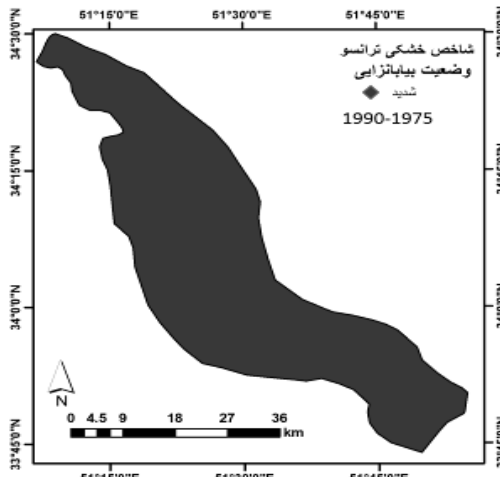
شکل ۲۴- نقشه پهنه‌بندی شاخص خشکی ترانسو (۲۰۱۰-۲۰۰۱)



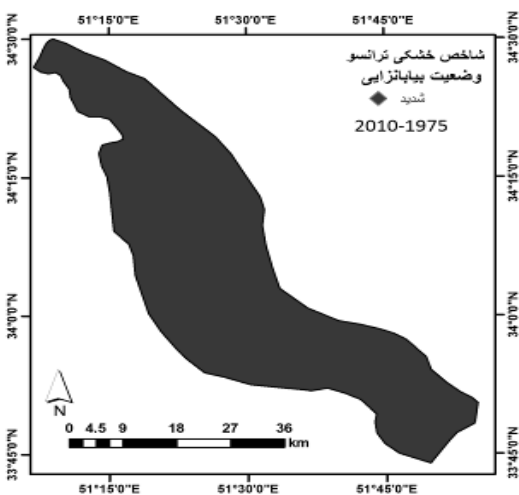
شکل ۲۳- نقشه پهنه‌بندی شاخص خشکی ترانسو (۲۰۰۰-۱۹۹۱)



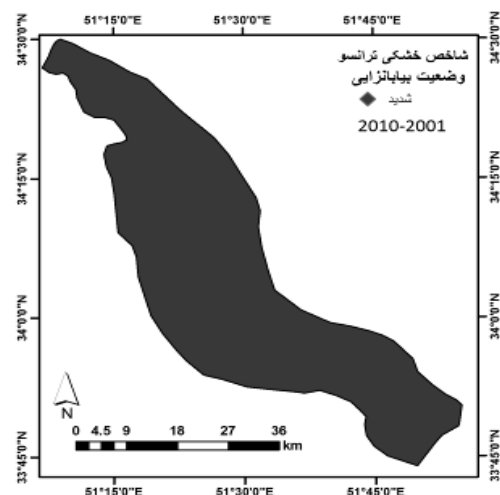
شکل ۲۶- نقشه کلاس‌بندی شاخص خشکی ترانسو از سال (۲۰۰۰-۱۹۹۱)



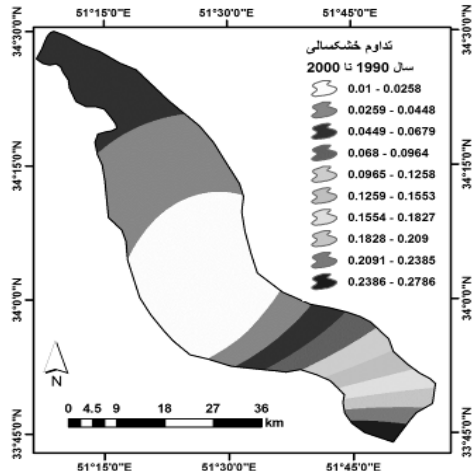
شکل ۲۵- نقشه کلاس‌بندی شاخص خشکی ترانسو (۱۹۷۵-۱۹۹۰)



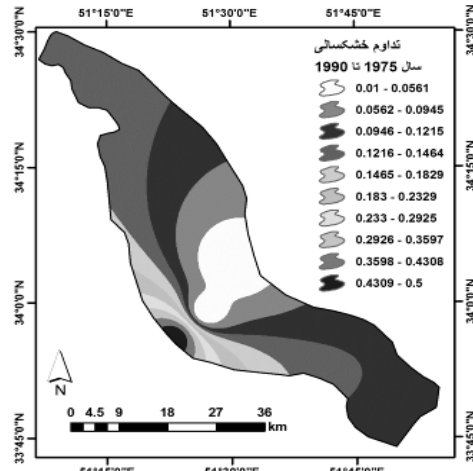
شکل ۲۸- نقشه کلاس‌بندی نهایی شاخص خشکی ترانسو (۲۰۱۰-۱۹۷۵)



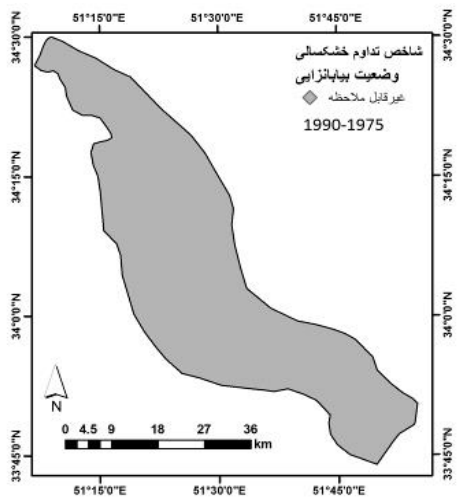
شکل ۲۷- نقشه کلاس‌بندی شاخص خشکی ترانسو (۲۰۱۰-۲۰۰۱)



شکل ۳۰- نقشه پهنه‌بندی شاخص تداوم خشکسالی (۱۹۹۱-۲۰۰۰)

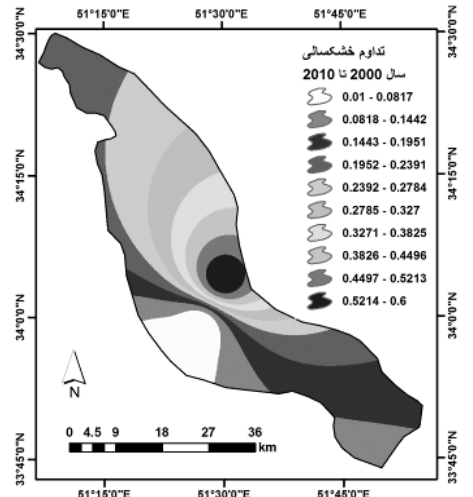


شکل ۲۹- نقشه پهنه‌بندی شاخص تداوم خشکسالی (۱۹۷۵-۱۹۹۰)



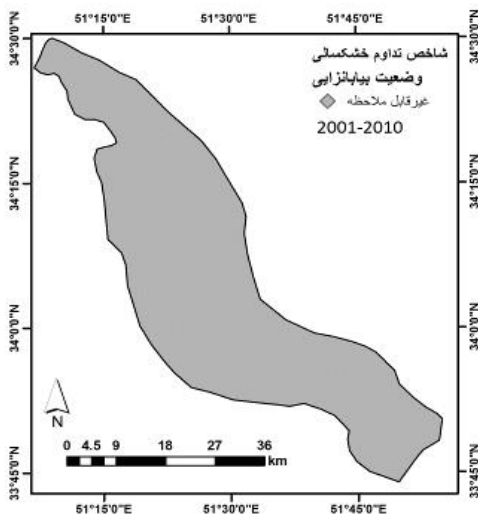
شکل ۳۲- نقشه کلاس‌بندی شاخص تداوم خشکسالی

(۱۹۷۵-۱۹۹۰)



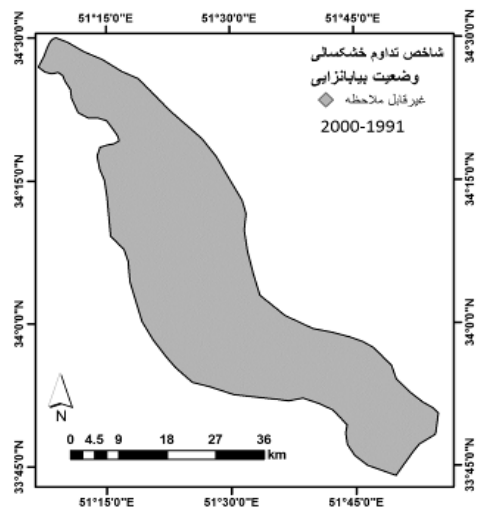
شکل ۳۱- نقشه پهنه‌بندی شاخص تداوم خشکسالی

(۲۰۱۰-۲۰۰۱)



شکل ۳۴- نقشه کلاس‌بندی شاخص تداوم خشکسالی

(۲۰۱۰-۲۰۰۱)

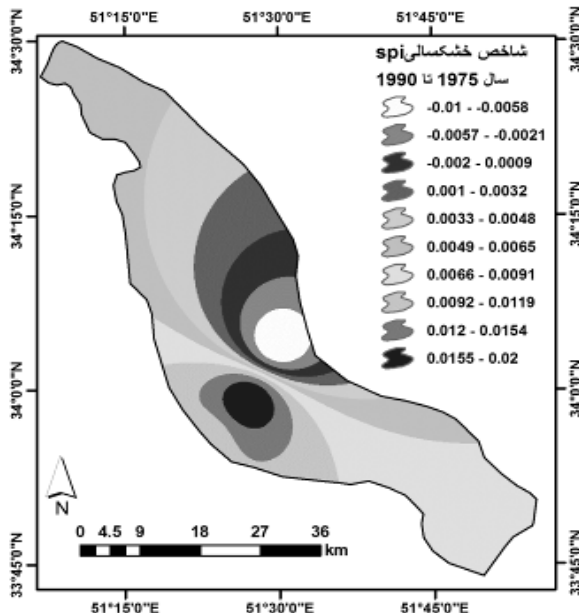


شکل ۳۳- نقشه کلاس‌بندی شاخص تداوم خشکسالی

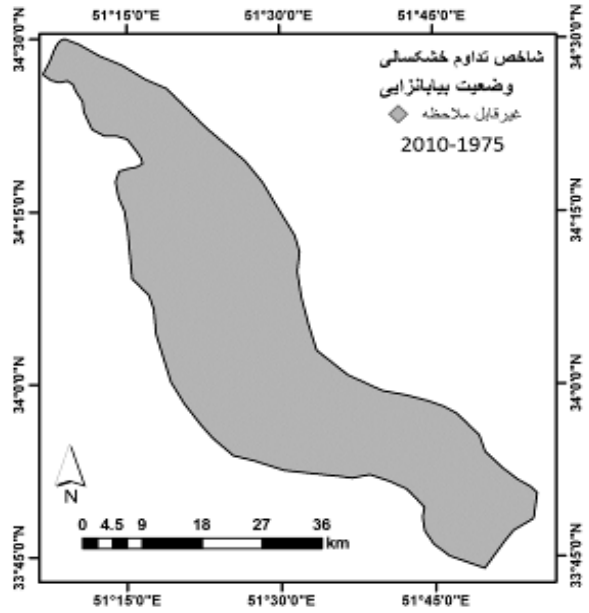
(۱۹۹۱-۲۰۰۰)

متوسط و ۴۰٪ در کلاس شدید قرار گرفته‌اند (شکل ۴۱) و در نهایت از تلفیق این سه نقشه می‌توان نتیجه گرفت که از سال ۱۹۷۵ تا ۲۰۱۰ کل بیش از ۹۸٪ منطقه در کلاس شدید و ۲٪ منطقه در کلاس متوسط قرار می‌گیرد (شکل ۴۲).

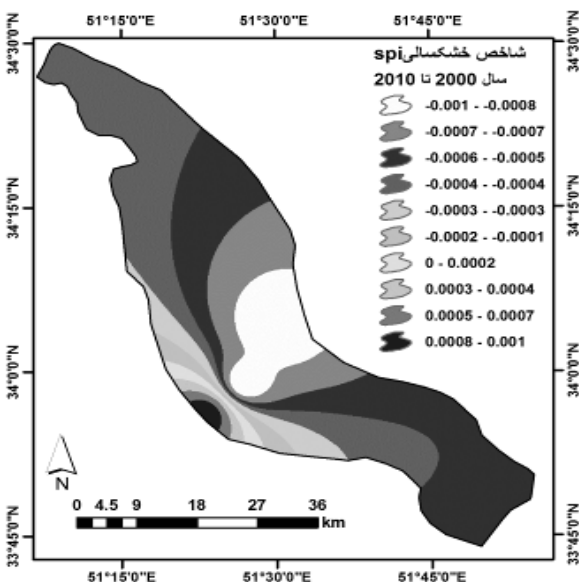
شاخص بارش استاندارد (SPI) از نظر مدل IMDPA در دوره اول در کلاس حدود ۹۰٪ در کلاس شدید و حدود ۱۰٪ در کلاس بسیار شدید قرار می‌گیرد (شکل ۳۹)، همچنین در دوره دوم حدود ۹۵٪ در کلاس شدید و ۵٪ در کلاس متوسط قرار می‌گیرد (شکل ۴۰). در دوره سوم حدود ۶۰٪ در کلاس



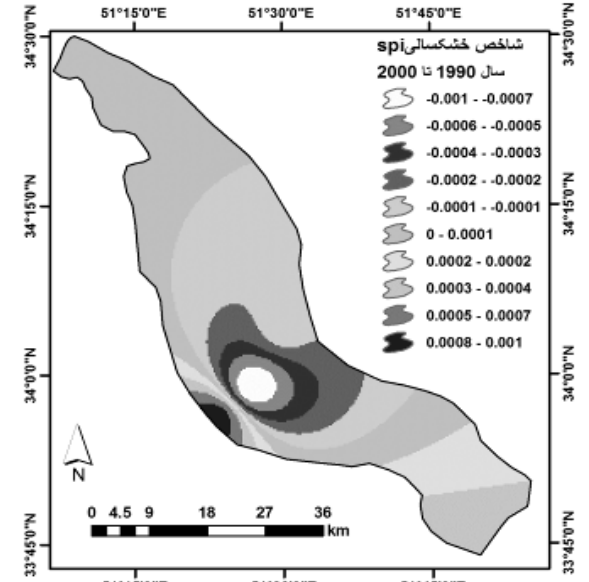
شکل ۳۶- نقشه پهنه‌بندی شاخص بارش استاندارد (SPI) (۱۹۷۵-۱۹۹۰)



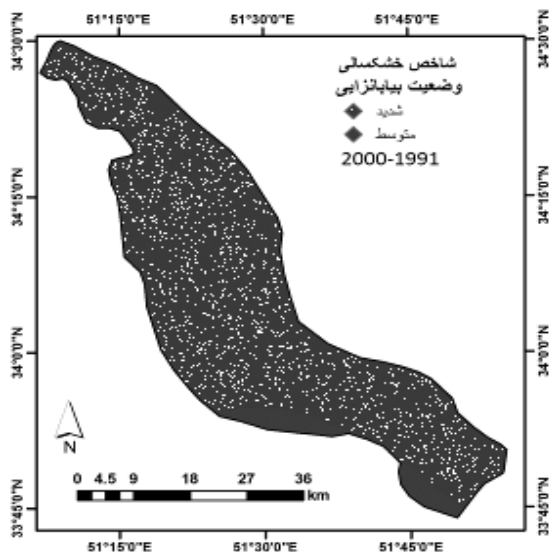
شکل ۳۵- نقشه کلاس‌بندی نهایی شاخص تداوم خشکی (۱۹۷۵-۲۰۱۰)



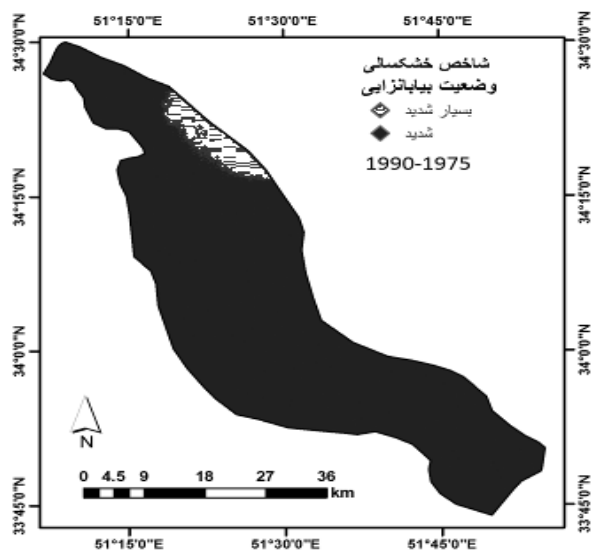
شکل ۳۸- نقشه پهنه‌بندی شاخص بارش استاندارد (۲۰۰۱-۲۰۱۰)



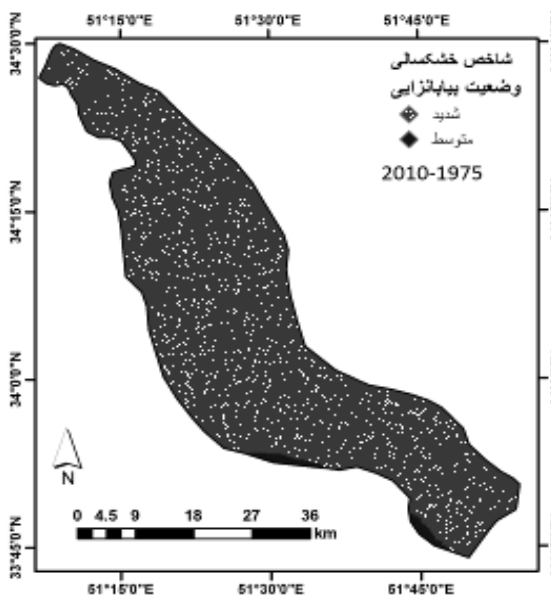
شکل ۳۷- نقشه پهنه‌بندی شاخص بارش استاندارد (SPI) (۱۹۹۱-۲۰۰۰)



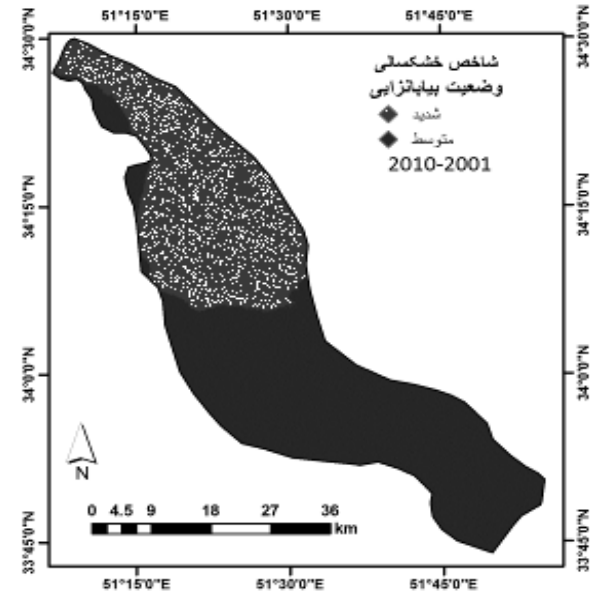
شکل ۴۰- نقشه کلاس‌بندی شاخص بارش استاندارد (۱۹۹۱-۲۰۰۰)



شکل ۳۹- نقشه کلاس‌بندی شاخص بارش استاندارد (SPI) (۱۹۷۵-۱۹۹۰)



شکل ۴۲- نقشه کلاس‌بندی نهایی شاخص بارش (۱۹۷۵-۲۰۱۰)

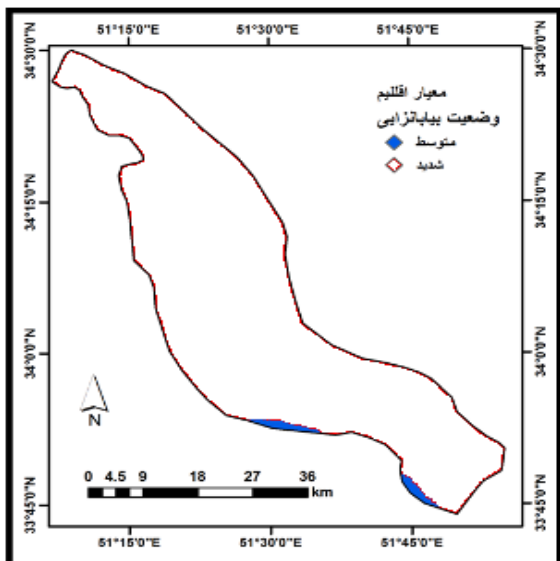


شکل ۴۱- نقشه کلاس‌بندی شاخص بارش استاندارد (۲۰۰۱-۲۰۱۰)

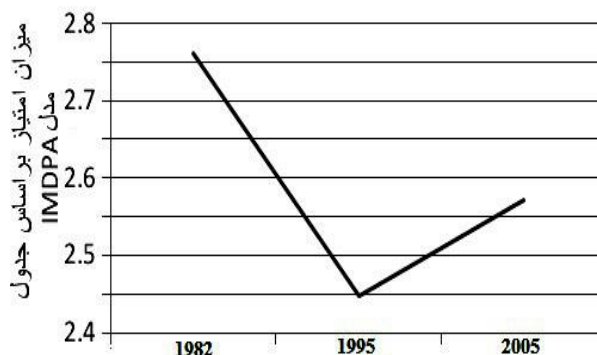
عددی ۰/۱۱۹ کمترین امتیاز بر اساس مدل IMDPA را به خود اختصاص داده است. همچنین معیارهای بارش استاندارد (SPI) و بارش به ترتیب با ارزش‌های عددی ۲/۷۶۲ و ۲/۹۷۳ شدت بیابان‌زایی متوسط را نشان می‌دهند. در دوره دوم، شاخص بارش استاندارد (SPI) با امتیاز ۳/۰ بیشترین تأثیر و شاخص تداوم خشکسالی دهک‌دوم با ارزش عددی ۰/۰۸۶ کمترین امتیاز بر اساس مدل IMDPA را به خود اختصاص

### بحث و نتیجه‌گیری

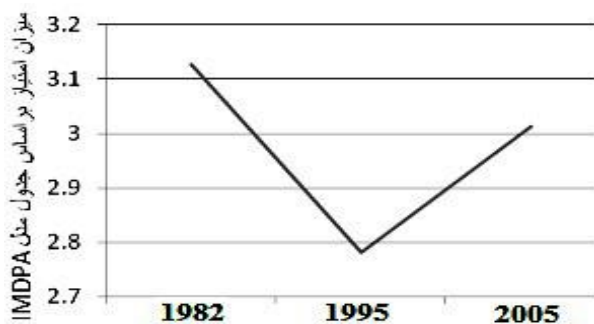
با استفاده از جدول ۵ می‌توان روند بیابان‌زایی هر شاخص را در سه دوره را با هم مقایسه کرد. شاخص بارش سالانه بر اساس مدل IMDPA در دوره اول بیشترین امتیاز و در دوره دوم کمترین امتیاز را به خود اختصاص داده است. طبق جدول ۵، در دوره اول، شاخص خشکی ترانسو با امتیاز ۳/۱۲۶ بیشترین تأثیر و شاخص تداوم خشکسالی دهک‌دوم با ارزش



شکل ۴۳- نقشه کلاس بندی نهایی تلفیق چهار شاخص اقلیمی در سه دوره (۲۰۱۰-۱۹۷۵)



شکل ۴۴- نمودار خطی میانگین وزنی شاخص بارش سالانه بر اساس جدول امتیازات ۳ و روند صعودی و نزولی آن (۲۰۱۰-۱۹۷۵)



شکل ۴۵- نمودار خطی میانگین وزنی شاخص خشکی ترانسو بر اساس جدول امتیازات ۳ و روند صعودی و نزولی آن (۲۰۱۰-۱۹۷۵)

داده است. همچنین معیارهای شاخص خشکی ترانسو و بارش به ترتیب با ارزش‌های عددی ۲/۷۸۱ و ۲/۴۴۷ شدت بیابان-زایی متوسط را نشان می‌دهند. در دوره سوم، شاخص شاخص خشکی ترانسو با امتیاز ۳/۰۱۴ بیشترین تأثیر و شاخص تداوم خشکسالی دهکدوم با ارزش عددی ۰/۲۳۵ کمترین امتیاز بر اساس مدل IMDPA را به خود اختصاص داده است. همچنین معیارهای شاخص خشکی ترانسو و بارش به ترتیب با ارزش‌های عددی ۳/۰۱۴ و ۲/۵۷۱ شدت بیابان‌زایی متوسط را نشان می‌دهند. در میانگین سه دوره معیار بارش استاندارد (SPI) با ارزش عددی ۲/۹۹ بیشترین تأثیر و معیار تداوم خشکسالی دهکدوم با ارزش عددی ۰/۱۴ کمترین تأثیر را در بیابان‌زایی منطقه دارد. همچنین معیارهای شاخص ترانسو و بارش به ترتیب با ارزش‌های عددی ۲/۹۷ و ۲/۵۹ شدت بیابان‌زایی متوسط را نشان می‌دهند. در نمودارهای زیر روند افزایش و کاهش هر شاخص در طول سه دوره نشان داده شده است. در سال‌های دوره اول و دوم روند بیابان‌زایی کاهش یافته است و نمودار آنها نزولی می‌باشد، اما در سال‌های بین دوره دوم و سوم روند افزایش بیابان با سرعت بیشتری نسبت به قبل به خود اختصاص داده‌اند. این شتاب افزایش بیابان در تمام شاخص‌ها اقلیمی بر اساس مدل IMDPA رخ داده است، به جز شاخص بارش استاندارد (SPI) که در سال‌های بین دوره اول تا دوم شیب کاملاً صعودی از نظر شتاب روند بیابان‌زایی را به دارا می‌باشد و پس از آن (سال‌های بین دوره دوم و دوره سوم) این شاخص بدون شتاب به مسیر خود در افزایش بیابان ادامه می‌دهد (شکل ۴۴، ۴۵، ۴۶، ۴۷، ۴۸).

#### جدول ۵- میانگین وزنی کل حوضه مورد مطالعه، شاخص‌های

اقلیمی در سه دوره بر اساس جدول ۳ امتیازات برای کل حوضه

شاخص	دوره اول	دوره دوم	دوره سوم	معدل میانگین وزنی سه دوره
بارش سالانه	۲/۷۶۲	۲/۴۴۷	۲/۵۷۱	۲/۵۹۳
خشکی ترانسو	۳/۱۲۶	۲/۷۸۱	۳/۰۱۴	۲/۹۷۳
تداوم خشکسالی دهکدوم	۰/۱۱۹	۰/۰۸۶	۰/۲۳۵	۰/۱۴۶
بارش استاندارد (SPI)	۲/۹۷۳	۳/۰۰۰	۳/۰۰۱	۲/۹۹۱

پژوهش با پژوهش خسروی (۱۳۹۱) در کاشان که شدت بیابان‌زایی را شدید ارزیابی نمودند مطابقت دارد. با کمی دقت در جداول و نمودارهای حاصل از تجزیه و تحلیل معیارها و شاخص‌های بیابان‌زدایی در می‌یابیم که بعضی از واحدهای کاری (شکل شاخص نوع بهره‌برداری از واحد کاری) در آستانه ورود به کلاس بالاتر قرار به سمت روند قهقرا از نظر روند بیابان‌زایی قرار دارند. هر چه از مناطق کوهستانی دور شده و به مناطق دشتی نزدیک‌تر می‌شویم شدت تأثیر روند بیابان‌زایی بیشتر خواهد شد که از جمله دلایل آن را می‌توان اثر عوامل انسانی در افزایش تخریب منابع آب، خاک و پوشش دانست. کمبود بارندگی و عدم پراکنش مناسب آن، طولانی بودن دوره خشکی، گرمای شدید و شدت تبخیر، در بعضی از قسمت‌ها سبب شده تا این منطقه این امتیاز را به خود اختصاص دهد. طی بررسی‌هایی که صورت گرفته، می‌توان به این مطلب اشاره نمود که حساسیت مناطق کاشان، راوند و آران به بیابان‌زایی بر اساس بارش، شدید می‌باشد. ولی ایستگاه فین حساسیت متوسط را نشان می‌دهد، همچنین فقط مناطق کوهستانی و یا نزدیک به کوه زرد در غرب و جنوب غربی به علت بارش بیشتر از نظر امتیاز شاخص بارش امتیاز کم را به خود اختصاص داده‌اند.

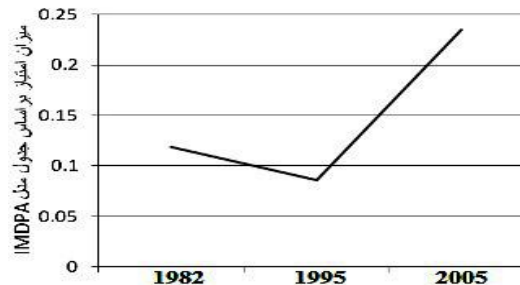
### سیاسگذاری

از کلیه عزیزانی که ما را در انجام این تحقیق یاری کرده، خانم دکتر هدی قاسمیه، آقای سید علی موسوی، آقای محمد میرزاوند و آقای محسن معین‌زاده تشکر می‌نماییم.

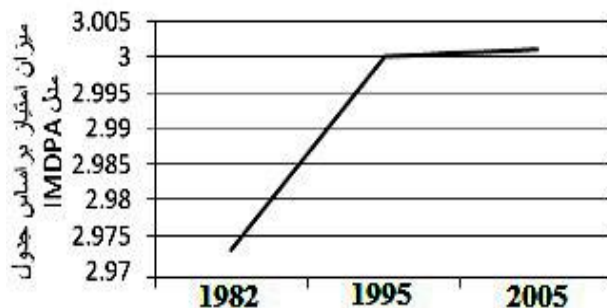
### منابع

بخشنده‌مهر، ل.، سلطانی، س.، عادل، س. ۱۳۹۲. ارزیابی وضعیت فعلی بیابان‌زایی و اصلاح مدل مدالوس در دشت سگری اصفهان. نشریه مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران، ۴۶(۱): ۲۷-۴۱.

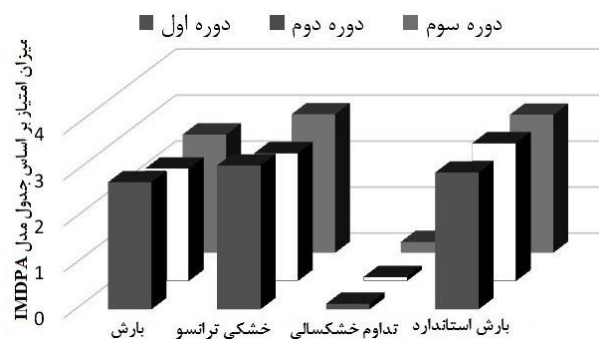
جعفری، ر. ۱۳۸۰. ارزیابی و تهیه نقشه بیابان‌زایی با تحلیل و بررسی روش FAO - UNEP و ICD. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، رشته بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ۲۰۱ص.



شکل ۴۶- نمودار خطی میانگین وزنی شاخص تداوم خشکسالی دهک دوم بر اساس جدول امتیازات ۳ و روند صعودی و نزولی آن (۱۹۷۵-۲۰۱۰)



شکل ۴۷- نمودار خطی میانگین وزنی شاخص بارش استاندارد (SPI) بر اساس جدول ۲ و جدول امتیازات ۳ و روند صعودی و نزولی آن (۱۹۷۵-۲۰۱۰)



شکل ۴۸- نمودار میانگین وزنی چهار شاخص اقلیمی مورد بررسی بر اساس جدول امتیازات ۳ و مقایسه چهار شاخص با یکدیگر آن (۱۹۷۵-۲۰۱۰)

نتایج حاصل گویای آن است که مهم‌ترین عوامل بیابان‌زایی در منطقه بارندگی کم و تبخیر شدید است که در نتیجه کمبود منابع آبی را به دنبال دارد. در انتها می‌توان این‌گونه نتیجه گرفت که مجموع شدت وضعیت فعلی بیابان‌زایی با استفاده از مدل ایرانی ارزیابی پتانسیل برای کل منطقه بر اساس معیار اقلیم امتیاز شدید تعیین گردیده است. نتیجه

- مقصودی، م. ۱۳۷۹. کاربرد GIS و سنجش از دور در شناخت بیابان‌زایی (ترجمه). (مطالعه موردی: پاتاگونیا آرژانتین) نشریه نقشه‌برداری، سال ۱۱(۴): ۴۱-۴۹.
- ناطق، س.، زهتابیان، غ.ر.، احمدی، ح. ۱۳۸۸. ارزیابی شدت بیابان‌زایی دشت سگزی با بهره‌گیری از مدل IMDPA. نشریه مرتع و آبخیز، مجله منابع طبیعی ایران، ۶۲ (۳): ۴۳۰-۴۱۹.
- نگارش، ح.، فلاح فیروزآبادی، ح. خسروی، م. ۱۳۹۰. تجزیه و تحلیل ناهنجاری‌های اقلیمی مؤثر بر فرایند بیابان‌زایی در منطقه خضرآباد یزد. مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۴۳(۳): ۹۴-۶۹.
- FAO\UNEP. 1984. Provisional Methodology for Assessment and Mapping of Desertification. Food and Agriculture Organization of the United Nations. United Nations Environmental Programme, Rome, 73p.
- Ferrara, A., Salvati, L., Sateriano, A., Nole, A. 2012. Performance evaluation and cost assessment of a key indicator system to monitor desertification vulnerability. J. Ecol. Indicators, 23:123-129.
- Kates, R.W., Johnson, D.L., Johnson Haring, K. 1977. Population, society and Desertification, Nairobi: Report of UNCOD A/CONF, 74-78.
- Danfeng, S., Dawson, R. Baoguo, Li. (2006). Agricultural causes of desertification risk minqin, China. J. Environ. Manag., 79: 348-356.
- Sen, A. K., sharma, K. D., 1995. Causative Agents indicators of Monitoring and Desertification in ASIA and the pacific region scientific publishers Jodhpur (INDIA): 41-58.
- Torio, E.M., Zuidam, R.A. 1998. Remote Sensing Syhergism and Geographical Information System for Desertification Analysis: an example from North West Patagonia.
- جوادی، م. ر. ۱۳۸۳. بررسی عوامل مؤثر در افزایش شدت بیابان‌زایی و ارائه مدل منطقه‌ای بیابان‌زایی در استان کرمان (مطالعه موردی: حوزه آبخیز ماهان). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، رشته بیابان‌زدایی دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران. ۱۹۵ص.
- خسروی، ح. ۱۳۹۱. ارائه مدل پایش و سیستم هشدار اولیه بیابان‌زایی (مطالعه موردی: منطقه کاشان). رساله دکتری، رشته بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران. ۲۰۳ص.
- ذاکری‌نژاد، ر.، مسعودی، م.، فلاح‌شمسی، س. ر.، افضلی، س. ف. ۱۳۹۱. ارزیابی شدت بیابان‌زدایی با معیار آب زیرزمینی و با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی؛ مطالعه موردی زرین دشت استان فارس. فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران، ۲(۷): ۳-۱۰.
- ذبیحی اسرمی، ع. ر. ۱۳۸۰. بررسی عوامل بیابان‌زایی غرب دریاچه نمک قم و روش‌های کنترل آن. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، رشته بیابان‌زدایی، دانشگاه مازندران.
- ذوالفقاری، ف.، شهریاری، ع. ر.، فخریه، ا.، راشکی، ع. ر.، نوری، س.، خسروی، ح. ۱۳۹۰. ارزیابی شدت بیابان‌زایی دشت سیستان با استفاده از مدل IMDPA. فصلنامه پژوهش‌های آبخیزداری، ۹۱: ۹۷-۱۰۷.
- گرنجر، آلن. ترجمه عبدالمجید ثامن. ۱۳۷۴. کویرزایی چگونه مردم کویر می‌سازند- چگونه آنرا متوقف می‌سازند، چرا این کار را نمی‌کنند، انتشارات دانشگاه شیراز.
- مسعودی، ر. ۱۳۸۹. سیستم هشدار اولیه بیابان‌زایی براساس دو فاکتور آب و اقلیم (مطالعه موردی: دشت کاشان)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، رشته بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران. ۱۶۳ص.
- مشکوه، م. ع. ۱۳۷۷. روش موقت ارزیابی و تهیه نقشه بیابان‌زایی (ترجمه). انتشارات موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع. ۱۰۴ص.

## برآورد ضرایب گیاهی و نیاز آبی گیاه دارویی همیشه بهار (*Calendula officinalis L.*) در اقلیم نیمه خشک کرمان

فریده السادات هاشمی نسب<sup>۱\*</sup>، محمد موسوی بایگی<sup>۲</sup>، امین علیزاده<sup>۳</sup>، بهرام بختیاری<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۰/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۲/۲۶

### چکیده

از آنجایی که گیاه دارویی همیشه بهار (*Calendula officinalis L.*) در تولید داروهای پوستی و همچنین محصولات زیبایی استفاده فراوانی دارد، برآورد نیاز آبی و ضرایب گیاهی آن ضروری به نظر می‌رسد. پژوهش حاضر به منظور برآورد نیاز آبی و ضرایب گیاهی همیشه بهار در منطقه کرمان واقع در جنوب شرقی ایران، که در طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن دارای اقلیم نیمه خشک می‌باشد، صورت گرفته است. برآورد ضرایب گیاهی در مراحل مختلف رشد، با توجه به کمبود منابع آبی، در مدیریت آبیاری و محاسبه تبخیر- تعرق واقعی در منطقه نیمه خشک مورد مطالعه مفید خواهد بود. به منظور برآورد تبخیر- تعرق محصول از شش لایسیمتر استفاده شد، که در پنج لایسیمتر گیاه دارویی همیشه بهار و در یک لایسیمتر گیاه مرجع چمن جهت اندازه‌گیری تبخیر- تعرق مرجع کشت شد. علاوه بر این تبخیر- تعرق مرجع با استفاده از روش پنمن- مانیتیت نیز محاسبه شد و با تبخیر- تعرق مرجع حاصل از لایسیمتر مورد مقایسه قرار گرفت. در این مطالعه مقادیر ضرایب گیاهی گیاه دارویی همیشه بهار در چهار مرحله رشد اولیه، توسعه، میانی و پایانی به ترتیب برابر ۰/۷۱، ۱/۲۸، ۱/۵ و ۰/۶۶ برآورد شد. نتایج نشان داد که نیاز آبی برآورد شده برای گیاه دارویی همیشه بهار توسط لایسیمتر، برابر ۳۲۰/۶ میلی‌متر و نیاز آبی برآورد شده توسط لایسیمتر گیاه مرجع چمن و روش پنمن- مانیتیت برابر ۳۰۹/۱ میلی‌متر و ۲۷۰/۱ میلی‌متر می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: گیاه دارویی همیشه بهار، لایسیمتر، ضرایب گیاهی، تبخیر- تعرق، کرمان

### مقدمه

عنوان ضدالتهاب و ضدعفونی‌کننده و همچنین عامل ضد باکتری شناخته شده است (خالید<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۱۰). با توجه به کشت آن به عنوان گیاه زینتی در مناطق خشک و نیمه خشک می‌توان به این مهم دست پیدا کرد که امکان کشت این گیاه در چنین شرایط آب و هوایی وجود دارد و توان کشت اقتصادی آن برای این مناطق قابل بررسی می‌باشد. یکی از عوامل مهم و تأثیرگذار در کشت زراعی گیاهان دارویی، تعیین میزان حداقل آب مورد نیاز در مراحل مختلف رشد و توسعه گیاه می‌باشد. به منظور برآورد آب مورد نیاز گیاه به کمک روش‌های به کار رفته توسط سازمان خوار و بار جهانی (فائو)، استفاده از ضریب گیاهی ( $K_c$ ) ضروری می‌باشد. این ضریب به منظور برنامه‌ریزی، طراحی سیستم‌های

در سال‌های اخیر استفاده از گیاه دارویی همیشه بهار (*Calendula officinalis L.*) در صنعت داروسازی و زیبایی و همچنین استفاده در فضاهای سبز شهری رواج فراوانی یافته است. گیاه دارویی همیشه بهار متعلق به خانواده کاسنی و بومی کشورهای مدیترانه‌ای می‌باشد (دنیلسکی<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۰۷). گیاه دارویی همیشه بهار به

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری هواشناسی کشاورزی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

(\* نویسنده مسئول: Farideh.hasheminasab@gmail.com)

<sup>۲</sup> استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد  
<sup>۳</sup> بهرام بختیاری استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی،

دانشگاه شهید باهنر کرمان

داده‌های ورودی کمتری دارد، مورد مقایسه قرار دادند. نتایج این مطالعه نشان داد وقتی که داده‌های تابش خالص و سرعت باد مفقود باشند، روش فائو- پنمن - مانیتث گزینه خوبی برای برآورد تبخیر- تعرق در استان خراسان رضوی می‌باشد؛ به طوری که مقدار RMSE کمتر از ۰/۷۱ میلی‌متر در روز می‌باشد. همچنین روش پرستلی- تیلور، زمانی که داده‌های سرعت باد و کمبود فشار بخار مفقود می‌باشند، گزینه خوبی برای تخمین  $ET_0$  می‌باشد؛ خصوصاً وقتی که این روش به صورت محلی واسنجی گردید. مجیدی و علیزاده (۱۳۹۰) به بررسی تأثیر داده‌های هواشناسی غیر موجود در استان خراسان رضوی پرداختند، نتایج آن‌ها نشان دادند که معادله پنمن- مانیتث در اقلیم نیمه خشک نسبت به اقلیم نیمه مرطوب حساسیت بیشتری به داده‌های غیر موجود دارد. بختیاری و همکاران (۱۳۸۸) به مقایسه تبخیر-تعرق روزانه با مجموع ساعتی در ایستگاه هواشناسی مرجع کرمان که در آن از داده‌های هواشناسی ساعتی ایستگاه خودکار دانشگاه شهید باهنر کرمان استفاده نمود و دو مدل پنمن- مونتث- فائو ۵۶ و پنمن- مانیتث- استاندارد ASCE را مورد مقایسه قرار داد و نشان دادند که هر یک از مدل‌ها در مجموع ساعتی در ماه‌های مختلف دارای مقایری بیش برآورد می‌باشند. وگنکل و گرک<sup>۵</sup> (۲۰۱۳) در مطالعه خود به مقایسه تبخیر-تعرق واقعی با استفاده از لایسیمتر وزنی با تبخیر-تعرق شبیه‌سازی شده توسط فرمول پنمن و مدل رشد گیاه پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد اختلاف بین تبخیر-تعرق شبیه‌سازی و مشاهده شده، مقدار اندکی می‌باشد. شریفی عاشوری و همکاران (۱۳۹۱) نیاز آبی گیاه بومادران را در منطقه کرج با استفاده از لایسیمتر به دست آوردند، نتایج آن‌ها نشان داد که نیاز آبی گیاه دارویی بومادران حدود ۱۴۹/۷۲ میلی‌متر می‌باشد و همچنین ضرایب گیاهی بومادران را محاسبه نمودند. قمرنیا و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از لایسیمتر زهکش‌دار میزان نیاز آبی و ضرایب گیاهی زیره سیاه را در اقلیم نیمه خشک کرمانشاه برآورد نمودند، نتایج حاصل از تحقیق آن‌ها نشان داد که نیاز آبی زیره سیاه در این مناطق برابر ۷۲۴ میلی‌متر خواهد بود.

آبیاری، مدیریت صحیح آبیاری و زمان مناسب آبیاری کاربرد فراوانی دارد (کانگ و لی<sup>۱</sup>، ۱۹۹۷) روش‌های مختلفی برای محاسبه تبخیر-تعرق ارائه شده است در این بین اسمیت<sup>۲</sup> و همکاران (۱۹۹۲) ضمن استفاده از ۲۰ روش برای محاسبه تبخیر و تعرق، از روش پنمن مانیتث به عنوان روش برتر نام بردند. فائو نیز روش پنمن مانیتث را به عنوان روش برتر برای برآورد نیاز آبی گیاهان معرفی نموده و شیوه استفاده از این روش‌ها را به طور کامل در گزارش خود بیان نموده است (آلن<sup>۳</sup> و همکاران، ۱۹۹۴). در تعیین نیاز آبی یک گیاه، برآورد تبخیر-تعرق گیاه مرجع مانند چمن و یا یونجه از اهمیت بسیاری برخوردار می‌باشد. آمتیا<sup>۴</sup> و همکاران (۱۹۹۵) میزان تبخیر-تعرق گیاه مرجع چمن را با استفاده از روش پنمن و لایسیمتر برآورد نموده و با روش‌های پنمن-مانیتث، ماکینگ، پرتیلی، تترک، هارگریوز-سامانی و تورنت-وایت در سه منطقه شمال شرقی کارولینا مورد بررسی و مقایسه قرار دادند. بر اساس نتایج حاصل همبستگی مناسبی بین روش‌های مبتنی بر دمای هوا و تشعشع وجود داشت. در این راستا، روش پنمن-مانیتث به عنوان روش برگزیده در تخمین روزانه و فصلی تبخیر-تعرق معرفی گردید. بختیاری و همکاران (۲۰۱۱) تبخیر-تعرق چمن مرجع برای داده‌های ساعتی در سه دوره از سال با استفاده از لایسیمتر در اقلیم نیمه خشک استان کرمان محاسبه نمودند. اطلاعات لایسیمتری را برای ارزیابی با شش مدل تبخیر-تعرق چمن، مورد مقایسه قرار داد و نتایج در هر سه دوره نشان داد که روش ماکینگ عملکرد ضعیف‌تری از خود نشان داد و برای منطقه نیمه خشک توصیه نمی‌شود. علیزاده و دهقان (۱۳۹۱) به ارزیابی و واسنجی روش‌های مختلف برآورد تبخیر-تعرق گیاه مرجع در شرایط محدودیت داده‌های اقلیمی در استان خراسان رضوی پرداختند. در تحقیق فوق به ارزیابی عملکرد روش فائو-پنمن - مانیتث به منظور تخمین  $ET_0$  با داده‌های مفقود سرعت باد، تابش خالص و کمبود فشار بخار اشیاع، پرداختند و با روش‌های تجربی پرستلی-تیلور، هارگریوز و تورنت-وایت که نیاز به

<sup>1</sup> Kang and Li

<sup>2</sup> Smith

<sup>3</sup> Allen

<sup>4</sup> Amatya

<sup>5</sup> Wegehenkel and Gerke

جنب مزرعه در طول دوره رشد سال ۱۳۹۳ در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- میانگین پارامترهای اقلیمی شهر یور تا آذر ماه ۱۳۹۳

ماه	دمای هوا (°C)	رطوبت نسبی (درصد)	ساعات آفتابی (ساعت)	سرعت باد (m. s <sup>-1</sup> )	بارش (mm)
شهریور	۲۲/۷	۱۵/۹	۱۱/۳	۳/۷	۰
مهر	۲۰/۲	۲۲/۲	۱۰/۱	۳/۶	۰
آبان	۱۰/۵	۳۴/۴	۹/۰	۳/۵	۰/۸
آذر	۷/۴	۴۴/۶	۸/۱	۲/۸	۶/۷

ایستگاه لایسیمتری مورد نظر در منطقه، شامل شش لایسیمتر زهکش دار می باشد، که هر لایسیمتر دارای قطر ۷۵ سانتی متر و ارتفاع ۶۰ سانتی متر می باشد، در کف آن ها لوله پلی اتیلن ۷۵ میلی متری نصب شده که به وسیله آن آب زهکش خارج شده از کف لایسیمتر درون یک ظرف مدرج منتقل می شود، در کف لایسیمترها ابتدا به ارتفاع ۲۰ سانتی متر سنگ ریزه سیلیسی ریخته، پس از آن خاک شنی لومی مشابه خاک مزرعه درون لایسیمتر ریخته شد. شکل ۱ لایسیمترهای آماده کشت را نشان می دهد.



شکل ۱- نمونه یک لایسیمتر آماده کشت

همچنین ژانگ<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۳) میزان نیاز آبی ذرت را در منطقه خشک پکن ۶۹۶ میلی متر محاسبه نمودند و طول دوره رشد ذرت را حدود ۹۰ تا ۱۴۰ روز تخمین زده شد. عظیمی و همکاران (۲۰۱۲) به منظور بررسی اثر افزایش شدت تنش خشکی بر مورفولوژی و عملکرد گیاه دارویی همیشه بهار، یک آزمایش کرت های خرد شده بر اساس طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار انجام داد. نتایج تحقیق فوق نشان داد که افزایش کمبود آب باعث کاهش تمام صفات به جز درصد روغن ضروری خواهد شد که آن را به- عنوان استرس شدید مطرح نمودند. فولادمند و سپاسخواه (۱۳۸۴) به ارزیابی و واسنجی سه معادله تبخیر- ترقق، پنمن- فائو، پنمن- مانیتث و هارگریوز در استان فارس پرداختند، نتایج حاصل از تحقیق آن ها نشان داد که نتایج معادله های پنمن- مانیتث و هارگریوز تا اندازه ای به هم شبیه اند. ولی میزان ET<sub>o</sub> را برای همه سال ها کمتر از روش پنمن- فائو تخمین می زنند. با توجه به اینکه در هیچ یک از منابع ضریب گیاهی گیاه دارویی همیشه بهار گزارش نشده است و علیرغم مصرف روز افزون آن در صنعت داروسازی ایران و جهان و تولید فرآورده های مختلف دارویی از آن محاسبه نیاز آبی و ضرایب گیاهی آن برای مناطق مختلف ضروری می باشد، که به این وسیله امکان کشت آن در مناطق مختلف بررسی شود. لذا، تحقیق حاضر با هدف برآورد ضرایب گیاهی و نیاز آبی گیاه دارویی همیشه بهار برای مناطق با اقلیم نیمه خشک با استفاده از لایسیمتر اجرا گردیده است.

## مواد و روش ها

تحقیق حاضر در مزرعه ای به مساحت ۲۰۰ متر مربع، در شمال شهر کرمان انجام گرفته است. کرمان در جنوب شرقی ایران واقع شده که در طبقه بندی اقلیمی دومارتن دارای اقلیم نیمه خشک می باشد و طول جغرافیایی ۳۰°۲۴'۱۹/۳"N و ۵۷°۰۴'۱۱/۵"E، عرض جغرافیایی ۱۷۵۳/۸ متر می باشد. میانگین پارامترهای اقلیمی اندازه گیری شده از ایستگاه هواشناسی

<sup>1</sup> Zhang

صحت‌سنجی تبخیر- تعرق برآورد شده از لایسیمتر با استفاده از روش‌های آماری برآورد خطا، میزان تبخیر- تعرق حاصل از روش پنمن- مانتیث، که یکی از معادلات تبخیر- تعرق توصیه شده برای مناطق نیمه خشک می‌باشد، با استفاده از معادله ۳ برآورد گردید (آلن و همکاران، ۱۹۹۸).

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 [e_s - e_a]}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (3)$$

در این معادله  $ET_0$  شامل تبخیر- تعرق سطح مرجع بر حسب میلی‌متر در روز،  $R_n$  تشعشع خالص بر حسب مگاژول بر متر مربع در روز،  $G$  شارگرما به داخل خاک بر حسب مگاژول بر متر مربع در روز،  $T$  میانگین دمای هوا بر حسب سانتی‌گراد  $U_2$  سرعت باد در ارتفاع ۲ متری بر حسب متر بر ثانیه،  $(e_a - e_d)$  کمبود فشار بخار اشباع بر حسب کیلو پاسکال،  $\Delta$  شیب تغییرات فشار بخار با دمای هوا بر حسب کیلوپاسکال بر سانتی‌گراد و  $\gamma$  عدد ثابت سایکرومتری بر حسب کیلوپاسکال بر سانتی‌گراد می‌باشد. هر کدام از عوامل به کار رفته در معادله فوق، از داده‌های هواشناسی معمول مانند دمای هوا، سرعت باد، نم نسبی، ساعات آفتابی، عرض جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا، با استفاده از معادله‌های مربوطه محاسبه گردید. جهت ارزیابی مقادیر تبخیر- تعرق برآورد شده توسط لایسیمتر با مقادیر تبخیر- تعرق تخمین زده توسط روش پنمن مانتیث در طول دوره رشد، از ضریب همبستگی ( $r$ ) که تغییرات این ضریب بین ۱ و -۱ می‌باشد، میانگین مربعات خطا ( $RMSE$ ) و متوسط خطای مطلق ( $MAE$ ) با استفاده از معادله‌های ۴، ۵ و ۶ محاسبه گردید.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (ET_{i,lys} - \overline{ET}_{lys})(ET_{i,cal} - \overline{ET}_{cal})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (ET_{i,lys} - \overline{ET}_{lys})^2 (ET_{i,cal} - \overline{ET}_{cal})^2}} \quad (4)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |ET_{i,lys} - ET_{i,cal}| \quad (5)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (ET_{i,lys} - ET_{i,cal})^2} \quad (6)$$

در پنج لایسیمتر گیاه دارویی همیشه بهار و در یک لایسیمتر گیاه مرجع چمن برای به‌دست آوردن تبخیر- تعرق کشت شد. دوره کشت گیاه دارویی همیشه بهار از ۱ شهریور آغاز شد و تا ۳۰ آذرماه ادامه پیدا کرد. شکل ۲ نصب و آماده‌سازی لایسیمتر برای کاشت و لایسیمتر کشت شده از چمن و گیاه دارویی همیشه بهار را نشان می‌دهد.



شکل ۲- لایسیمترهای کشت شده از گیاه دارویی همیشه بهار

برای برآورد تبخیر- تعرق گیاه با استفاده از لایسیمتر از معادله ۱ که در ادامه آمده است، استفاده شد (آلن و همکاران، ۱۹۹۸).

$$(I + P) - (D + ET_c \pm \Delta S) = 0 \quad (1)$$

که در آن  $P$  میزان بارندگی،  $I$  میزان آب آبیاری،  $D$  میزان آب زهکش،  $\Delta S$  تغییرات رطوبت خاک (اختلاف رطوبت خاک قبل و بعد از آبیاری) و  $ET_c$  میزان تبخیر تعرق گیاه می‌باشد. ضریب گیاهی، نسبت تبخیر- تعرق گیاه به تبخیر- تعرق گیاه مرجع بوده (معادله ۲) و محاسبه آن برای برنامه‌ریزی‌های معمول آبیاری (سطحی و بارانی) و اهداف معمول مدیریتی ضروری است (آلن و همکاران، ۱۹۹۸).

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_0} \quad (2)$$

در معادله  $K_c$  ضریب گیاهی،  $ET_c$  تبخیر- تعرق گیاه و  $ET_0$  تبخیر- تعرق مرجع می‌باشد. در این تحقیق جهت

ضریب گیاهی به‌طور کلی در ۴ مرحله رشد شامل مرحله ابتدایی رشد (از زمان کاشت تا هنگامی که گیاه ۱۰ درصد سطح زمین را بپوشاند)، مرحله توسعه گیاه (از انتهای مرحله ابتدایی تا زمانی که گیاه به حداکثر رشد رسیده و حدود ۷۰ تا ۸۰ درصد سطح زمین را در بر گیرد)، مرحله میانی (از انتهای مرحله توسعه تا زمانی که گیاه شروع به رسیدن می‌کند مثلاً برگ‌ها زرد می‌شود یا می‌ریزند) و مرحله نهایی (از انتهای مرحله میانی تا مرحله برداشت محصول) مورد محاسبه قرار می‌گیرد. به‌طور کلی ضریب گیاهی اثر متفاوت بودن ویژگی‌های یک محصول و سطح چمن با ظاهر ثابت و پوشش گیاهی کامل را در یک ضریب می‌گنجانند (آلن و همکاران، ۱۹۹۸). بنابراین، انواع محصولات دارای ضرایب گیاهی متفاوت هستند. ضریب گیاهی، به‌طور عمده، به ویژگی‌های گیاه و به‌طور محدودتر، به اقلیم بستگی دارد. این ویژگی بیانگر لزوم استفاده از ضرایب گیاهی استاندارد در مناطق و اقلیم‌های مختلف می‌شود. ضرایب گیاهی، همیشه بهار در ۴ مرحله رشد شامل مرحله اولیه، توسعه، میانی و پایانی برآورد شد که مقادیر حاصل از آن در جدول ۳ آمده است. همچنین طول دوره رشد در هر مرحله به ترتیب برابر ۲۷، ۲۵، ۳۶ و ۳۲ روز می‌باشد و کل دوره رشد ۱۲۰ روز می‌باشد که این مقدار بسته به منطقه کشت متفاوت خواهد بود.

جدول ۳- مقادیر ضرایب گیاهی در مراحل مختلف رشد و طول دوره رشد در هر مرحله (دوره کشت از تاریخ ۱ شهریور تا ۳۰ آذر ماه در سال ۱۳۹۳)

مراحل مختلف رشد	طول دوره رشد	ضرایب گیاهی (K <sub>c</sub> )
اولیه	۲۷	۰/۷۰۹
توسعه	۲۵	۱/۲۷۸
میانی	۳۶	۱/۵۰۳
نهایی	۳۲	۰/۶۶۴
کل دوره رشد	۱۲۰	

مقادیر تبخیر- تعرق دهه‌ای گیاه دارویی همیشه بهار برای هر یک از لایسیمترها در شکل ۳ نشان داده شد، که تبخیر- تعرق در لایسیمترها بسیار نزدیک به هم بوده و اختلاف مقادیر برآورد شده کم می‌باشد. نتایج ضرایب گیاهی به‌دست آمده از هر یک از لایسیمترها در شکل ۴ آمده

که در این معادله‌ها  $ET_{i,lys}$  میزان تبخیر- تعرق به‌دست آمده از لایسیمتر و  $ET_{i,cal}$  میزان تبخیر- تعرق برآورد شده توسط روش پنمن مانیتیت می‌باشد.

## نتایج و بحث

نتایج دوره رشد ۱۰ روزه تبخیر- تعرق برآورد شده از روش لایسیمتر مربوط به گیاه دارویی همیشه بهار و چمن و همچنین تبخیر- تعرق تخمین زده شده از روش پنمن- مانیتیت و ضرایب گیاهی همیشه بهار در جدول ۲ آمده است.

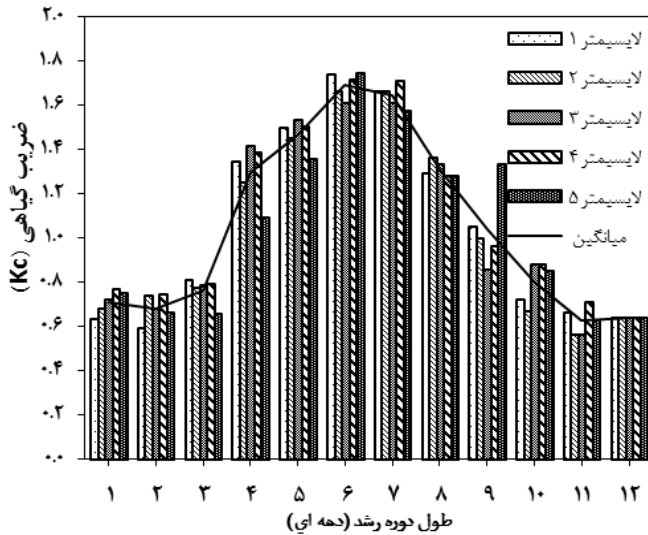
جدول ۲- مقادیر تبخیر- تعرق دهه‌ای و ضرایب گیاهی گیاه دارویی همیشه بهار و مقادیر تبخیر- تعرق چمن به‌دست آمده از لایسیمتر و روش پنمن مانیتیت (دوره کشت از تاریخ ۱ شهریور تا ۳۰ آذر ماه در سال ۱۳۹۳)

دوره دهه - ای	تبخیر- تعرق ( میلی‌متر)		
	گیاه دارویی همیشه بهار	گیاه مرجع چمن	پنمن- مانیتیت
۱	۲۸/۸۵	۴۰/۹۹	۳۹/۴۰
۲	۲۹/۱۱	۴۲/۶۸	۴۰/۵۹
۳	۴۰/۳۶	۴۲/۲۹	۳۵/۷۲
۴	۴۷/۴۸	۴۲/۸۸	۳۵/۴۱
۵	۴۷/۴۷	۳۲/۹۲	۲۸/۱۱
۶	۳۶/۹۶	۲۲/۴۸	۲۲/۸۴
۷	۲۹/۴۶	۲۲/۲۵	۲۰/۹۳
۸	۳۰/۲۴	۱۸/۳۲	۱۹/۱۴
۹	۱۳/۴۴	۱۷/۴۹	۷/۵۵
۱۰	۷/۵۹	۱۰/۹۸	۷/۹۳
۱۱	۵/۰۸	۷/۷۵	۷/۳۴
۱۲	۴/۶۱	۷/۱۱	۵/۱۵
کل دوره	۳۲۰/۶	۳۰۹/۱	۲۷۰/۱

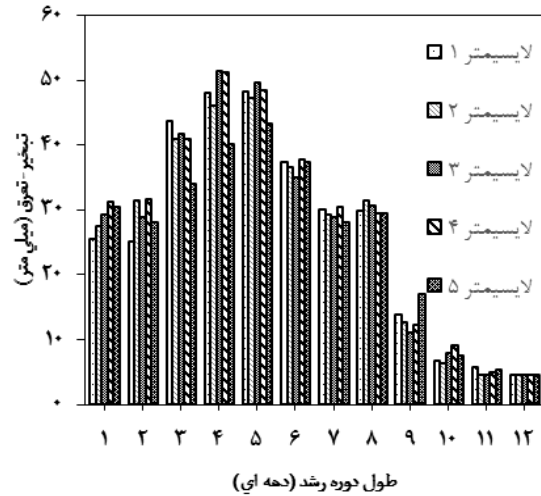
نتایج نشان می‌دهد که میزان تبخیر- تعرق گیاه دارویی همیشه بهار از دهه اول تا دهه پنجم روند افزایشی داشته و دهه ۶ تا آخر دوره روند کاهشی داشته است و میزان تبخیر- تعرق کاهش یافته است. میزان تبخیر- تعرق به‌دست آمده از لایسیمتر و روش پنمن- مانیتیت از دهه دوم روند کاهشی داشته و حداکثر میزان تبخیر- تعرق در ابتدای ۴۰ روز ابتدای دوره بوده است. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد ضرایب گیاهی دهه‌ای از ابتدای دوره تا دهه‌ی ششم افزایشی بوده و پس از آن تا آخر دوره کاهشی بوده است.

اولیه رشد تقریباً ثابت بوده و سپس در مرحله توسعه شروع به افزایش پیدا کرده و تا آغاز مرحله میانی رشد ادامه داشته است، و پس از آن در مرحله میانی ضریب گیاهی به حداکثر مقادیر خود رسیده و در نهایت در مرحله پایانی رشد ضریب گیاهی کاهش یافته است، با توجه به نتایج ضریب گیاهی در مرحله میانی حداکثر مقادیر خود را داشته است.

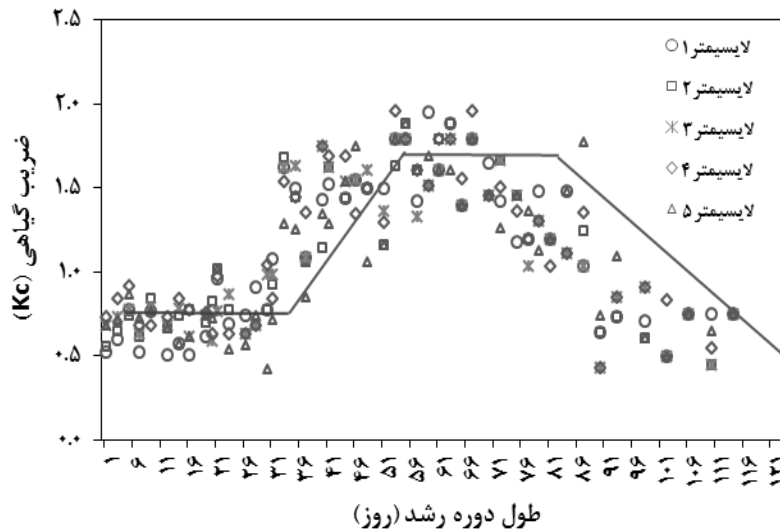
است، ضرایب گیاهی به دست آمده از هر لایسیمتر در تمامی دهه‌ها تا حدودی نزدیک به هم می‌باشند. شکل ۵ مقادیر ضرایب گیاهی حاصل از نتایج تبخیر- تعرق پنج لایسیمتر را در طول دوره رشد گیاه دارویی همیشه بهار و مقدار میانگین هر مرحله به صورت خط نشان می‌دهد و این نتایج نشان داد که مقادیر ضریب گیاهی گیاه دارویی همیشه بهار در مرحله



شکل ۴- مقادیر ضریب گیاهی دهه‌ای گیاه دارویی همیشه بهار مربوط به هر یک از لایسیمترها (۱ شهریور تا ۳۰ آذر ماه در سال ۱۳۹۳)



شکل ۳- میزان تبخیر- تعرق دهه‌ای گیاه دارویی همیشه بهار مربوط به هر یک از لایسیمترها (۱ شهریور تا ۳۰ آذر ماه در سال ۱۳۹۳)



شکل ۵- ضرایب گیاهی برآورد شده توسط لایسیمترها در طول دوره رشد

شریفی عاشورایی، ا.، روحی پور، ح.، عصاره، م. ح.، لباسچی، م. ح.، عباس زاده، ب.، نادری، ب.، رضایی سرخوش، م. ۱۳۹۱. تعیین نیاز آبی گیاه دارویی بومادران (*Achillea millefolium L.*) با استفاده از لایسیمتر. فصلنامه علمی- پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران، ۲۸(۳): ۴۸۴-۴۹۲.

علیزاده، ا.، دهقان، ه. ۱۳۹۱. ارزیابی و واسنجی روش‌های مختلف برآورد تبخیر- تعرق گیاه مرجع در شرایط محدودیت داده‌های اقلیمی (مطالعه موردی: استان خراسان رضوی). مجله آب و خاک، ۲۶(۱): ۲۳۶-۲۵۰.

فولادمنند، ح. ر.، سپاسخواه، ع. ر. ۱۳۸۴. ارزیابی و واسنجی سه معادله تبخیر و تعرق در منطقه‌ای نیمه خشک. مجله تحقیقات منابع آب ایران، ۲: ۱-۹.

مجیدی، م.، علیزاده، ا. ۱۳۹۰. بررسی تأثیر داده‌های هواشناسی غیر موجود و روش‌های تخمین آن‌ها در دقت برآورد تبخیر-تعرق مرجع و رتبه بندی معادلات در شرایط اقلیمی مختلف (مطالعه موردی استان های خراسان). نشریه آب و خاک، ۲۵(۶): ۱۵۰۳-۱۵۱۹.

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper 56. Food and Agricultural Organization of the United Nations, Rome. 300 p.

Allen, R. G., Smith, M., Pereira, L. S., Perrier, A. 1994. An update for the calculation of reference evapotranspiration. ICID Bull., 43(2): 35-92.

Amatya, D. M., Skayys, R. W., Greyory, J. D. 1995. Comparison of methods for estimating REF-Et. J. Irrig. Drain. Eng., 121(6): 427-435.

Azimi, J., Pirzad, A., Hadi, H. 2012. Effect of increasing severity of drought stress on morphology and essential oil of pot marigold. Int. J. Plant Anim. Environ. Sci., 11-17.

Bakhtiari, B., Ghahreman, N., Liaghat, A. M., Hoogenboom, G. 2011. Evaluation of grass reference evapotranspiration models for a semiarid environment using lysimeter measurements. J. Agric. Sci. Technol., 13(2): 223-237.

Danielski, L., Campos, L. M. A. S., Bresciani, L. F. V., Hense, H., Yunes, R. A., Ferreira, S. R.

همان‌طور که قبلاً اشاره شد مقادیر ضریب گیاهی گیاه دارویی همیشه بهار در تحقیقات پیشین محاسبه نگردیده، لذا با توجه به میزان تبخیر- تعرق و مقایسه آن با گیاهانی که با توجه به ضرایب فائو تبخیر- تعرق مشابهی دارند این مقادیر منطقی به نظر می‌رسد. مقادیر ضرایب برآورد شده برای مقایسه تبخیر تعرق مرجع لایسیمتر و روش پنمن- مانیتث برای ضریب همبستگی (r) ۰/۸۳ و مقادیر خطای RMSE و MAE برابر ۱/۴۵ و ۱/۱۸ میلی‌متر می‌باشد که با توجه به این مقادیر به دست آمده داده‌ها با یکدیگر همبستگی مناسبی دارند.

### نتیجه‌گیری

در سراسر جهان نیاز آبی گیاهان با استفاده از ضرایب گیاهی ارائه شده در گزارش فائو- ۵۶ برآورد می‌شود (آلن و همکاران، ۱۹۹۸). از آنجا که ضرایب گیاهی برای گیاهان دارویی برآورد نشده‌اند و استفاده از گیاهان دارویی به صورت استفاده مستقیم از خود گیاه و یا به صورت فرآورده‌های حاصل از آن‌ها افزایش چشمگیری داشته است، می‌توان به این نکته پی برد که توجه به این گیاهان و برآورد پارامترهای مورد نیاز آن‌ها مانند نیاز آبی و ضریب گیاهی، با توجه به کمبود منابع آب و تغییر اقلیم از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. در این مطالعه گیاه دارویی همیشه بهار مورد بررسی قرار گرفت و نیاز آبی آن در منطقه نیمه خشک کرمان برآورد گردید و همچنین ضرایب گیاهی در ۴ مرحله رشد گیاه تخمین زده شد. نتایج نشان داد که نیاز آبی گیاه دارویی همیشه بهار برابر ۳۲۰/۶ میلی‌متر و ضرایب گیاهی در مرحله اولیه، توسعه، میانی و پایانی به ترتیب برابر ۰/۷۱، ۱/۲۸، ۱/۵ و ۰/۶۶ می‌باشند. این مطالعه مقادیر نیاز آبی و ضرایب گیاهی گیاه دارویی همیشه بهار را برآورد نمود که در مطالعات پیشین برآورد نشده بودند.

### منابع

بختیاری، ب.، خلیلی، ع.، لیاقت، ع. خانجانی، م. ج. ۱۳۸۸. مقایسه تبخیرتعرق روزانه با مجموع ساعتی در ایستگاه هواشناسی مرجع کرمان. مجله آب و خاک، ۲۳(۱): ۴۵-۵۶.

- Smith, M., Allen, R. G., Monteith, J. L., Perrier, A., Pereira, L., Segeren, A. 1992. Report of the expert consultation on procedures for revision of FAO guidelines for prediction of crop water requirements UN-FAO. Rome, Italy, 54p.
- Wegehenkel, M., Gerke, H. 2013. Comparison of real evapotranspiration measured by weighing lysimeters with simulations based on the Penman formula and a crop growth model. *J. Hydrol. Hydromech.*, 61, 2: 161–172.
- Zhang, C., Yan, H., Shi, H., Sugimoto, H. 2013. Study of crop coefficient and the ratio of soil evaporation to evapotranspiration in an irrigated maize field in an arid area of Yellow River Basin in China. *Meteorol. Atmos. Phys.*, 121:207–214.
- S. 2007. Marigold (*Calendula officinalis* L.) oleoresin: Solubility in SC-CO<sub>2</sub> and composition profile. *Chemical Eng. Prog.*, 46: 99–106.
- Ghamarnia, H., Miri, E., Ghobadei, M. 2014. Determination of water requirement, single and dual crop coefficients of black cumin (*Nigella sativa* L.) in a semi-arid climate. *Irrig. Sci.*, 32:67–76.
- Kang, S. Z., Li, Y. J. 1997. Tendency and countermeasure of 21st century water-saving agriculture development in China. *Trans. CSAE*, 13(4):1-7.
- Khalid, A. K., Teixeira da Silva, J. A. 2010. Yield, essential oil and pigment content of *Calendula officinalis* L. flower heads cultivated under salt stress conditions. *Scientia Horticulturae*, 126: 297-305.



## Comparison of ground based observation of precipitation with TRMM satellite estimations in Fars Province

A. Shirvani<sup>1\*</sup>, E. Fakhari Zade Shirazi<sup>2</sup>

Received: 07/09/2014

Accepted: 14/02/2015

### Abstract

Precipitation which is a key parameter in agricultural and hydrometeorology studies has a large spatio-temporal variation. Hence, its small scale monitoring is quite difficult using ground-based data. Satellite images can provide fine resolution data of rainfall for different applications. However, the temporal and spatial verification should be evaluated and studied before using satellite data. In the present study, daily precipitation data from 12 synoptic and 37 rain gage stations of Fars province, Iran was used to evaluate level 3 B42 version 7 product of the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) satellite on a regular spatial scale ( $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ ) for the period 1998-2011. The Pearson correlation coefficient, mean, median, variance, inter quintiles range (IQR), normalized root mean square error (NRMSE) and mean difference (MD) for daily, monthly, seasonal, yearly time scales were worked out and analyzed. In general, there was a significant correlation between TRMM and ground-based precipitation data over the most parts of the province for all time scale at 5% level such that the range of Pearson correlation for all synoptic (Except for Eghlid) and rain gage (Except for 6 stations) annual time scale was (0.8-0.95) and (0.64-0.93), respectively. The corresponding values for monthly time scale were (0.64-0.96) and (0.5-0.9). The highest and lowest correlation were observed in the monthly and daily time scales respectively. The range of NRMSE for annual, monthly and daily scales were (0.12 – 0.92), (0.21 – 0.94) and (0.79 – 1.91) respectively. In north western parts of the province, which receives more rainfall, positive mean difference values (the mean of observed precipitation was more than that of satellite precipitation) was observed for all time scales. Over eastern parts, in which the amount of precipitation is low, negative MD values were observed. The results of two sample t test indicated that there is no significant difference between means of observed and satellite precipitation for wet months at 5% significance level for 29 stations. Also, the results of F test indicated that the variance of the observed and satellite precipitation for wet months are the same at 5% significance level for 33 stations.

**Keywords:** Precipitation, TRMM satellite, Comparison, Fars Province

<sup>1</sup> Assistant Professor, Water engineering Dept., Agricultural Faculty, Shiraz University, Iran

<sup>2</sup> Ph.D. candidate at Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

(\*Corresponding author email address: am\_shirvani@hotmail.com)



## Modeling and prognosis of potato early blight disease using meteorological variables affecting the spore population

V. Varshavian<sup>1</sup>, N. Ghahreman<sup>1\*</sup>, M. Javan-Nikkhah<sup>2</sup>, A. Liaghat<sup>1</sup>, B. Farhadi<sup>3</sup>

Received: 24/12/2014

Accepted: 15/02/2015

### Abstract

Early blight disease caused by *Alternaria solani* spreads well in abundance of humidity and the presence of water on the leaves. The early symptoms of disease are brown to black spots as concentric embowed rings. The fungal spores are distributed by wind and rain to healthy leaves. High humidity and temperatures between 18 and 25 °C, dew, rain and sprinkler irrigation increase its spread. The purpose of this study was to study the influence of meteorological variables (Temperature, Relative humidity and Precipitation) on spores' population of early blight pathogen of potato and possible prognosis of disease in Kermanshah province during 2013-2014 crop seasons. To perform the study, potato plants were cultivated in Razi University farm and the symptoms of the disease were monitored continuously through the season. Besides, the number of fungi spores were also measured using a standard spore trap. On the other hand, two early blight prognosis empirical models were developed using on-site meteorological data and those obtained from nearby synoptic station. The correlation between the population of spores in the air and meteorological variables were worked out. The results showed that there exist a significant relation between the spore population and maximum-minimum air temperature ( $p= 0.01$ ) and relative humidity ( $p=0.05$ ). According to results of this study, the proposed model can be satisfactorily used for early blight early warning in western region of Iran.

**Keywords:** *Alternaria*, Kermanshah, early blight, potato, model

<sup>1</sup> Department of Irrigation and Reclamation Engineering, University of Tehran, Karaj, Iran  
(\*Corresponding author email address: nghahreman@ut.ac.ir)

<sup>2</sup> Department of Plant Pathology, University of Tehran, Karaj, Iran

<sup>3</sup> Department of Water Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran



## An approach to yield prediction of barley using teleconnection signals (Case study: Kabootarabad, Isfahan)

S. M. Mostafavi Darani<sup>1</sup>, J. Khoshhal<sup>2\*</sup>, R. Stone<sup>3</sup>, F. Abbasi<sup>4</sup>, I. Babaeian<sup>5</sup>

Received: 21/12/2014

Accepted: 23/02/2015

### Abstract

Barley (*Hordeum Vulgare. L*) is an important source of food and second major cereal crop in Iran. The objective of this study is proposing an approach for barley yield forecasting by means of coupling AquaCrop model with several climate teleconnection signals in Kabootarabad-Isfahan, Iran. The experiments were conducted at Kabootarabad agrometeorological station during 2011-2012 and 2012-2013 seasons. The crop model was calibrated using field observations. For validation purpose, the available 15 years historical data were used. Then using 62 years (1951-2013) weather data, crop yield was simulated. Monthly historical records of five phases of SOI (South Oscillation Index) and three phases of IOD (Indian Ocean Dipole) phases for three months prior to planting date (i.e. September, October and November) from 1951 till 2013 were selected and cumulative probability distributions functions of simulated barley yields were worked out for 62 years. Results showed that there are no significant differences between the SOI and IOD phases except for IOD phases of November. Kruskal-Wallis test showed significant differences between IOD phases ( $P=0.005$ ). Also, Mann-Whitney test indicated that there were significant differences between normal and negative ( $p=0.012$ ) and positive and negative ( $p=0.006$ ) IOD phases. Since IOD values are available 3 to 6 months in advance, therefore yield prediction 3 month before sowing might be feasible. During negative and positive IOD phases, using drought resistant cultivars, lower plant densities and other drought mitigation strategies could be considered as management options.

**Keywords:** AquaCrop, SOI, IOD, Seasonal climate forecast

1 Ph.D. student of Agroclimatology, Department of Climatology, Faculty of Geographical Science and Planning, University of Isfahan

2 Associate Professor of Climatology, Department of Climatology, Faculty of Geographical Science and Planning, University of Isfahan

(\*Corresponding author email address: javadkhoshhal@yahoo.com)

3 Professor of Climatology, International Centre for Applied Climate Sciences, USQ, Australia

4 Professor of Agricultural Engineering Research Institute (AERI), Karaj-Iran

5 Faculty Member and Head, Climate Change Division, Climatological Research Institute, Mashhad, Iran



## Spatial-statistical analysis of the predicted precipitation of Iran using HADCM3 atmospheric-oceanic coupled model

Gh. Mozafari<sup>1</sup>, Sh. Shafiei<sup>2\*</sup>, B. Roknadini<sup>3</sup>

Received: 11/01/2015

Accepted: 14/02/2015

### Abstract

The aim of this study is to investigate the spatial distribution of daily observed precipitation of Iran during baseline (1970-2010) and future (2011-2040) periods using outputs of HADCM3 coupled atmospheric-oceanic (GCM) model. For downscaling these outputs a statistical model namely SimCLIM were used and calibrated. Required data were retrieved from National Center Environmental Prediction (NCEP) which provides a dataset for 1961-2100 period. The data of GCM model of 1970 to 2010 were used. SimCLIM weather generator was applied for, downscaling future prediction during period of 2011-2040. Furthermore, using spatial-statistical tool in Geographical Information System (GIS), the Local Moran and hot spots methods, observed and predicted dispersion and changes of precipitation were examined. The results of the study showed an increasing long-term trend in country's precipitation with average amount of 5.1 millimeter, which is more obvious in Caspian Sea coasts, northwest and also central parts of Iran, especially some parts of Yazd and Isfahan provinces, while precipitation has decreased in southern parts of the country. The results of local Moran spatial analysis of observed and predicted precipitation showed that no-clustered precipitations, that is the low precipitations of southeast and central parts of Iran, have decreased, which indicates the rising trend of precipitation in future period in these regions. Besides, the existence of a cluster of rising precipitation in northeast of the country is observed which indicates that in the future, northeast parts of the country will experience increasing trend of precipitation. This can be confirmed by generated hot spots map also.

**Keywords:** precipitation prediction, HADCM3, Iran, SimCLIM, spatial statistical analysis, atmospheric-oceanic general circulation

<sup>1</sup> Associate Professor of Climatology, Yazd University

<sup>2</sup> Ph.D. student of Climatology, Yazd University

(\*Corresponding author email address: shafieshabab@gmail.com)

<sup>3</sup> M. Sc. Student in Climatology



## The study of desertification process on the basis of climate using IMDPA model (Case Study: Kashan Plain, Iran)

M. Gharaati Jahromi<sup>1</sup>, A. A. Vali<sup>2</sup>, S. H. Mousavi<sup>3</sup>, F. Panahi<sup>3</sup>, H. Khosravi<sup>4\*</sup>

Received: 18/10/2014

Accepted: 23/02/2015

### Abstract

Desertification is a major challenge in Iran. In this study, four variables of rainfall, drought duration, aridity index and standard precipitation index (SPI) have been used for monitoring extent of desertification in Kashan plain, Iran. Required data were prepared and scored according to IMPDA scoring table. The obtained criteria were integrated and elaborated in ArcGIS9 software as information layers. Then, each of above mentioned variables were regionalized using proper Krigging method. The maps of each index were generated for three time periods: 1975-1990, 1991-2000 and 2001 to 2010. Ultimately, corresponding maps of these three periods were synthesized using geometric average method, and a final climatic map of Kashan plain based on IMDPA model was produced. The results indicated that the severity of desertification increased from south west towards the central and north east parts of the region. The standard precipitation index with the average value of 2.99 had the most significant effect on desertification severity while drought duration with the value of 0.14 had the least influence. Two other indices i.e. drought index and rainfall amount with the values of 2.97, 2.59 ranked in between. In general, it can be concluded that desertification would intensify in future decades.

**Keywords:** Aridity index, Standard precipitation, Desertification, IMDPA, Kashan, Iran

<sup>1</sup> M. Sc. student, of desert combating, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan, Iran

<sup>2</sup> Associate Professor, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan, Iran

<sup>3</sup> Assistant Professor, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan, Iran

<sup>4</sup> Assistant Professor, Faculty of Natural resources, University of Tehran, Iran

(\*Corresponding author email address: hakhosravi@ut.ac.ir)



## Estimation of water requirement and crop coefficients of *Calendula officinalis* L. in a semi-arid climate

F. S. Hasheminasab<sup>1\*</sup>, M. Mousavi Baygi<sup>2</sup>, A. Alizade<sup>2</sup>, B. Bakhtiari<sup>3</sup>

Received: 17/01/2015

Accepted: 18/03/2015

### Abstract

*Calendula officinalis* L is a medicinal plant used for manufacturing skin and beauty medication product. Estimating *Calendula officinalis* water requirement, crop evapotranspiration ( $ET_c$ ) and crop coefficient ( $K_c$ ) are among the areas which indeed require more research. The study was conducted to calculate *Calendula officinalis* L. crop coefficients ( $K_c$ ) and crop evapotranspiration ( $ET_c$ ) because the semi-arid regions face with water scarcity problem; in which management of water resources is vital. This study is performed in Kerman, a city in southeastern Iran with semi-arid climate. In order to estimate the crop evapotranspiration, six lysimeters has been used. The *Calendula officinalis* were grown in five lysimeters, and the grass reference crop was grown in a lysimeter. Moreover reference evapotranspiration ( $ET_o$ ) has been calculated by Penman-Monteith method, and was compared to  $ET_o$  obtained from lysimeter. In this study estimated *Calendula officinalis* crop coefficients in different growth stages were 0.71, 1.28, 1.5 and 0.66, respectively. The *Calendula officinalis* water requirement for the result obtained from lysimeter was 320.6 mm, also the reference water requirement obtained from lysimeter and Penman-Monteith method was 309.1 mm and 270.1 mm.

**Keywords:** *Calendula officinalis*, lysimeter, medical planets, crop coefficients, Evapotranspiration, Kerman

<sup>1</sup> Ph.D student of Agrometeorology, Water Engineering Dept., Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran (\*Corresponding author email address: Farideh\_hasheminasab@gmail.com)

<sup>2</sup> professor Water Engineering Dept., Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

<sup>3</sup> Assistant professor, Water Engineering Dept., Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar university of Kerman, Iran

## بسمه تعالی

### راهنمای تهیه مقاله

نشریه هواشناسی کشاورزی نشریه علمی- پژوهشی انجمن مهندسی آبیاری و آب ایران است که دو شماره در سال منتشر می‌شود. مقاله‌های پژوهشی در زمینه‌های رابطه گیاه و محیط، کمی‌سازی تأثیر پدیده‌های زیان‌بخش بر کشاورزی، مدلسازی و پیش‌بینی‌های هواشناسی کشاورزی، جفت‌سازی مدل‌های جوی- اقیانوسی و مدل‌های زراعی، ارتباط آفات و بیماری‌های گیاهی و دامی با عوامل هواشناسی، کاربرد ابزارها و تکنیک‌های نوین در اندازه‌گیری‌های میدانی هواشناسی کشاورزی، هواشناسی کشاورزی محصولات خاص، برهمکنش گیاه و فرایندهای هیدرومتئورولوژیک، مدیریت ریسک در هواشناسی کشاورزی، هواشناسی کشاورزی و امنیت غذایی، اقلیم‌شناسی کشاورزی، اثر تغییر اقلیم بر فرآیندهای فنولوژیک و تولیدات دامی و گیاهی، کاربرد RS و GIS در پایش و مدیریت تولیدات زراعی، فرآیندهای خرد اقلیمی گیاه و محیط و سایر مباحث مرتبط که به زبان فارسی نگاشته شده باشند، قابل ارائه در این نشریه می‌باشند. این مقالات باید نتیجه تحقیقات شخصی نویسنده(گان) بوده و پیش‌تر در مجلات داخلی و خارجی به چاپ نرسیده باشند.

### روش تحریر

مقاله لازم است به صورت **Word 2003 XP** و روی صفحات سفید بدون آرم در ابعاد **A4** با حفظ  $\frac{2}{5}$  سانتی‌متر حاشیه از هر چهار طرف (به صورت دو ستونه و فاصله سطور یک سانتیمتر) و با درج شماره صفحه و سطر (با فونت نازنین ۱۲ و عناوین اصلی به صورت **Bold**) و حداکثر در ۱۵ صفحه تنظیم شود. چکیده در یک ستون و بقیه مقاله در دو ستون نگارش گردند.

فایل تهیه شده از طریق ایمیل نشریه [agromet\\_journal@yahoo.com](mailto:agromet_journal@yahoo.com) به دفتر نشریه ارسال شود. در متن مقاله تا حد امکان از معادل فارسی واژه‌های تخصصی لاتین، مصوب فرهنگستان زبان و ادب فارسی استفاده شود. چنانچه معادل فارسی به اندازه کافی رسا نباشد، عین کلمه لاتین بلافاصله در کمانک (پرانتزها) آورده شود. نام اشخاص و محل‌ها به فارسی آوانگاری شود.

### ترتیب بخش‌ها

بخش‌های مختلف مقاله به ترتیب عبارتند از: نویسنده(گان)، چکیده فارسی، واژه‌های کلیدی فارسی، عنوان انگلیسی، نگارنده(گان)، چکیده انگلیسی، واژه‌های کلیدی انگلیسی، مقدمه، روش تحقیق، نتیجه‌گیری، تشکر و قدردانی، منابع، پیوست‌ها، شکل‌ها و جدول-ها.

### عنوان

عنوان کوتاه، جامع و بیانگر موضوع اصلی مقاله باشد.

### نگارنده(گان)

آدرس و ایمیل نگارنده(گان) بعد از نام و نام خانوادگی آن‌ها آورده شود (اگر مقاله از پایان‌نامه یا رساله دکتری دانشجو باشد، نگارنده رابط استاد راهنمای دانشجو باشد).

### چکیده

چکیده باید مجموعه فشرده و گویایی از اهمیت موضوع، روش کار و نتایج تا حداکثر ۲۰۰ کلمه باشد.

### واژه‌های کلیدی فارسی

حداکثر شش واژه کلیدی مربوط به موضوع تحقیق مقاله آورده شود.

### عنوان انگلیسی

آدرس و ایمیل نگارندگان بعد از نام و نام خانوادگی آنها تمامی به لاتین آورده شود.

### چکیده انگلیسی

چکیده انگلیسی در حدود ۵۰۰ تا ۷۰۰ کلمه باشد.

## واژه‌های کلیدی انگلیسی

حداکثر شش واژه کلیدی انگلیسی مربوط به موضوع تحقیق مقاله ذکر گردد و باید ترجمه واژه‌های کلیدی فارسی باشد.

## مقدمه

مقدمه باید شامل معرفی و توجیه موضوع مورد بررسی باشد. در مقدمه باید به تحقیقات انجام یافته در زمینه مورد نظر با ذکر منابع از قدیم به جدید به اندازه کافی توجه و ارجاع شود و هدف بررسی و پژوهش نیز روشن گردد.

## مواد و روش‌ها

در این بخش باید چگونگی انجام کار (مواد مورد استفاده و شرح روش‌های جدید به کار رفته، داده‌ها و وسایل به کار رفته، الگوریتم استفاده شده، روش‌های محاسبه و ارزیابی و...) بیان گردد. همچنین ذکر مأخذ روش‌های متداول و شناخته شده در این قسمت مورد توجه قرار گیرد.

## نتایج و بحث

دربرگیرنده نتایج حاصل از پژوهش به صورت متن، جدول، نمودار و تصویر است. علل و روابط بین نتایج حاصل، با استفاده از منابع علمی دیگر مورد بحث قرار می‌گیرد. عنوان شکل در پایین و با فرمت وسط چین نوشته شود.

## نتیجه‌گیری

این بخش باید دربرگیرنده یک استنتاج نهایی از پژوهش و ذکر کاربردهای احتمالی آن باشد.

## سپاسگزاری (در صورت نیاز)

این بخش قبل از فهرست منابع حداکثر در ۵۰ کلمه آورده شود.

## منابع

منابع مورد استفاده به ترتیب حروف الفبای نام خانوادگی اولین نگارنده مرتب می‌شود. منابع فارسی قبل از منابع لاتین آورده شوند. منابع در دو ستون نگارش گردد.

در مورد مقاله‌ها نام خانوادگی نگارنده(گان)، حرف اول نام آن‌ها، سال انتشار مقاله، عنوان مقاله، عنوان اختصاری یا کامل مجله، شماره جلد، شماره مجله) در داخل کمانک بلافاصله بعد از شماره مجلد قرار بگیرد) و در انتها شماره اولین و آخرین صفحات مقاله (مثال زیر). همچنین نام مجلات به صورت خلاصه و با استفاده از سایت <http://www.issn.org/2-22661-LTWA-online.php> به صورت استاندارد ارائه گردد. شماره ردیف برای منابع نیاز نمی‌باشد.

غلامزاده، م.، مرید، س.، دلاور، م. ۱۳۹۰. استفاده از سیستم هشدار سریع خشکسالی برای بهره‌برداری مخزن سد زاینده رود، مجله آب و خاک، ۱۵(۵۶): ۳۵-۵۰.

Bowen, H. D., Colwick, R. F., Batchelder, D. G. 1973. Computer simulation of crop production: potential and hazards. Agric. Eng., 54 (10): 42-45.

در مورد کتاب‌ها نام خانوادگی نگارنده(گان)، حرف اول نام آن‌ها، سال انتشار، عنوان و ناشر، تعداد صفحات کتاب.

در مورد پایان نامه‌ها و رساله‌ها نام خانوادگی و حرف اول نام دانشجو، سال دفاع، عنوان، نوع رشته و محل اجرا.

## در متن مقاله روش ذکر منابع بصورت زیر است:

نام نویسندگان در متن به فارسی ارائه گردد. چنانچه در متن از نام خانوادگی نگارنده‌ای به عنوان مرجع استفاده شود، تاریخ مربوطه بلافاصله در کمانک‌ها به فارسی آورده شود. اسامی نویسندگان انگلیسی در پانویس همان صفحه و در هر صفحه شروع از شماره یک ذکر گردند.

چنانچه مرجعی توسط یک یا دو نفر نوشته شده باشد، نام خانوادگی نگارنده یا نگارندگان آورده می‌شود. اما در صورتیکه مرجع توسط بیش از دو نگارنده نوشته شده باشد، نام خانوادگی نگارنده اول همراه با عبارت " و همکاران " آورده شود.

## جدول‌ها

جدول‌ها لازم است دارای بالانویس جامع و با کیفیت بالا باشند. تا آنجا که امکان دارد تعداد جدول‌ها به حداقل ممکن برسد. عنوان جداول در بالا و وسط چین و گویای نتایج مندرج در آن باشد. اعداد داخل جدول حتماً فارسی و با فونت BNazanin اندازه ۹ پررنگ باشد. هر جدول با یک خط افقی از عنوان آن و با یک خط افقی از متن جدول جدا و زیر متن جدول نیز خطی کشیده شود. از کشیدن هر گونه خط عمودی در جدول خودداری شود (مانند جدول ۱). محل جدول‌ها در متن مقاله باشد.

جدول ۱- میانگین متغیرهای هواشناسی ساعتی اندازه‌گیری شده در ایستگاه مطالعاتی

۹	۶	ساعات شبانه‌روز
۱۵/۱	۱۲/۵	دما (درجه سانتی‌گراد)
۳۳	۳۵	رطوبت نسبی (درصد)
۰/۳	۱/۲	سرعت باد (متر بر ثانیه)

## شکل‌ها

شکل‌ها لازم است سیاه و سفید و با کیفیت بالا و زیرنویس جامع ارائه شوند. شکل بلافاصله پس از ارجاع شماره شکل در متن، ارائه گردند. نمودارها به گونه‌ای تهیه شوند که در چاپ سیاه و سفید قابل تشخیص از یکدیگر باشند. محل شکل‌ها در متن مقاله باشد.

## نشریه هواشناسی کشاورزی

### فرم اشتراک نشریه

اینجانب ..... با مشخصات ذیل تقاضای اشتراک یکساله (دو شماره) نشریه هواشناسی کشاورزی را دارم.

- نام شرکت/ سازمان متقاضی:  
آدرس شرکت/ سازمان متقاضی:  
تلفن:  
فکس:  
شماره و تاریخ فیش / حواله بانکی:
  
- نام و نام خانوادگی شخص متقاضی:  
آدرس محل کار متقاضی:  
آدرس منزل متقاضی:  
شماره تلفن منزل:  
تلفن محل کار:  
شماره و تاریخ فیش / حواله بانکی:  
تلفن همراه:  
مبلغ پرداختی:

#### Email:

مبلغ اشتراک یکساله ۳۰۰/۰۰۰ ریال می باشد که بایستی به شماره حساب ۲۲۵۱۱۱۹۷۲۷ به نام بهرام بختیاری، محمد جواد خانجانی و نوذر قهرمان نزد بانک تجارت شعبه دانشگاه شهید باهنر کرمان واریز و تصویر فیش واریزی به دفتر مجله ارسال گردد. شروع اشتراک بر حسب تاریخ دریافت یا درخواست مشترک از همان شماره یا ابتدای سال خواهد بود. لازم به توضیح است در صورت نیاز به شماره‌های قبلی مراتب را ذیلاً اعلام فرمایید. بهای دو جلد قبلی نیز به شرح فوق می‌باشد.

هر گونه تغییر احتمالی قیمت‌ها در ذخیره اشتراک شما اعمال خواهد شد.

امضاء:

\*\* در صورت تغییر آدرس مراتب را اعلام فرمائید.

# *In The Name of God*

## **Contents**

<b>Comparison of ground based observation of precipitation with TRMM satellite estimations in Fars Province</b>	1
A. Shirvani , E. Fakhari Zade Shirazi	
<b>Modeling and prognosis of potato early blight disease using meteorological variables affecting the spore population</b>	16
V. Varshavian, N. Ghahreman, M. Javan-Nikkhah, A. Liaghat, B. Farhadi	
<b>An approach to yield prediction of barley using teleconnection signals (Case study: Kabootarabad, Isfahan)</b>	24
S. M. Mostafavi Darani, J. Khoshhal, R. Stone, F. Abbasi, I. Babaeian	
<b>Spatial-statistical analysis of the predicted precipitation of Iran using HADCM3 atmospheric-oceanic coupled model</b>	37
Gh. Mozafari, Sh. Shafiei, B. Roknadini	
<b>The study of desertification process on the basis of climate using IMDPA model (Case Study: Kashan Plain, Iran)</b>	47
M. Gharaati Jahromi, A. A. Vali, S. H. Mousavi ,F. Panahi, H. Khosravi	
<b>Estimation of water requirement and crop coefficients of <i>Calendula officinalis</i> L. in a semi-arid climate</b>	62
F. S. Hasheminasab, M. Mousavi Baygi, A. Alizade, B. Bakhtiari	

## **Reviewer and Associate Editors of this Issue**

<b>Dr. M. M. Ahmadi</b>	Shahid Bahonar University of Kerman
<b>Dr. Sh. Araginajad</b>	University of Tehran
<b>Dr. I. Babaeian</b>	Climatological Research Institute
<b>Dr. B. Bakhtiari</b>	Shahid Bahonar University of Kerman
<b>Dr. S. Bazgeer</b>	University of Tehran
<b>Dr. J. Bazrafshan</b>	University of Tehran
<b>Dr. B. Ghahreman</b>	Ferdowsi Univesity of Mashhad
<b>Dr. N. Ghahreman</b>	University of Tehran
<b>Dr. K. Ghorbani</b>	Gorgan Agricultural Sciences and Natural Resources University
<b>Dr. S. Golestani</b>	Shahid Bahonar University of Kerman
<b>Dr. M. R. Hessami Kermani</b>	Shahid Bahonar University of Kerman
<b>Dr. P. Irannejad</b>	University of Tehran
<b>Dr. Y. Khalili</b>	University of Tehran
<b>Dr. H. Mohammadi</b>	Shahid Bahonar University of Kerman
<b>Dr. M. Mousavi Baigi</b>	Ferdowsi Univesity of Mashhad
<b>Dr. M. Raeini</b>	Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
<b>Dr. N. Sayari</b>	Shahid Bahonar University of Kerman
<b>Dr. G. H. Shahidi</b>	Shahid Bahonar University of Kerman
<b>Dr. M. Vazifedost</b>	University of Guilan

In the Name of God

JOURNAL OF AGRUCULTURAL METEOROLOGY

Research & Scientific Journal

Vol. 2      No. 2      Autumn & Winter, 2014

**Published by:** Iranian Society of Irrigation and Water Engineering

**Executive Director:** B. Bakhtiari      Shahid Bahonar University of Kerman

**Editor- in-Chief:** A. Khalili      University of Tehran

**Internal Manager:** N. Ghahreman      University of Tehran

**Editorial board:**

Bakhtiari, B.	Assis., Prof., Shahid Bahonar University of Kerman
Barani, Gh. A.	Prof., Shahid Bahonar University of Kerman
Bolouri zadeh, M.	Asso., Prof., Graduate University of Advance Technology
Ghahreman, N.	Asso., Prof., University of Tehran
Hajjam, S.	Asso., Prof., Islamic Azad University, Sceince and Research Branch, Tehran
Irannejad, P.	Asso., Prof., University of Tehran
Kamali, Gh. A.	Asso., Prof., Islamic Azad University, Sceince and Research Branch, Tehran
Khalili, A.	Prof., University of Tehran
Khanjani, M. J.	Prof., Shahid Bahonar University of Kerman
Raeini, M.	Asso., Prof., Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University

**Literature Editors:** B. Bakhtiari, N. Ghahreman

**Graphics and Page Setting:** M. Ganjalikhani, Z. Afzali Gorouh

**Publisher:** Iranian Society of Irrigation & Water Engineering

**Address:** Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.

Postal code: 76169-14111      Tel./Fax. : +983433226090

**E-mail:** Agromet\_journal@yahoo.com