

به نام خدا

نشریه هواشناسی کشاورزی

جلد ۴، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۵

اعتبار: علمی - پژوهشی

درجه علمی - پژوهشی این نشریه از تاریخ دومین شماره انتشار، طی نامه شماره ۱۳۹۴۱۲/۱۸/۳ 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:

نوذر قهرمان

اعضای هیأت تحریریه:

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

ناشر: انجمن مهندسی آبیاری و آب ایران

ویراستار بخش انگلیسی: دکتر نوذر قهرمان

طرح روی جلد: معین گنجلیخانی

مسئول دبیرخانه نشریه: زهرا افصلی گروه

این نشریه در پایگاه‌های زیر نمایه شده است:

پایگاه استنادی علوم جهان اسلام (ISC)، پایگاه اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی (SID)، بانک اطلاعات نشریات کشور (Magiran)

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

کدپستی ۱۴۱۱۱-۷۶۱۶۹- تلفن و نمابر: ۰۳۴-۳۳۲۲۶۰۹۰

وب سایت: <http://agmj.ir>

پست الکترونیک: agromet_journal@yahoo.com

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



داوران این شماره

دانشگاه تهران	دکتر پرویز ایران نژاد
دانشگاه تهران	دکتر زهرا آقاشریبعتمداری
پژوهشکده اقلیم‌شناسی مشهد	دکتر ایمان بابائیان
دانشگاه تهران	دکتر سعید بازگیر
دانشگاه شهید باهنر کرمان	دکتر بهرام بختیاری
دانشگاه تهران	دکتر جواد بذرافشان
دانشگاه شهید بهشتی	دکتر شهریار خالدی
دانشگاه تهران	دکتر علی خلیلی
دانشگاه کردستان	دکتر یونس خوشخو
دانشگاه شهید باهنر کرمان	دکتر نسرین سیاری
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 ابوالفضل مساعدی



فهرست مقالات

سخن نخست

- ۱ تحلیل تغییرات زمانی - مکانی خشکسالی‌های فصلی هواشناسی
منیره فغانی، خلیل قربانی، میثم سالاری جزی
- ۱۲ پهنه‌بندی اقلیمی کشاورزی کشت مرکبات در استان خوزستان با روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی
رضا برنا، افسانه علیزاده
- ۲۲ چشم‌انداز زمان وقوع یخبندان‌های زودرس پاییزه و دیررس بهاره تحت شرایط تغییر اقلیم با استفاده از مدل SDSM در چند ایستگاه منتخب در نیمه غربی ایران
زهرا آقا شریعتمداری، جواد بذرافشان، سیده الهه صفایی
- ۳۲ دورسنجی تبخیر - تعرق واقعی و ضریب گیاهی سیب با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس و مدل سبال (مطالعه موردی: دشت اهر، ایران)
امین رستمی، محمود رائینی سرجاز
- ۴۴ ریزمقیاس‌نمایی زمانی دمای هوا با استفاده از فراکتال و رگرسیون تناوبی در دو اقلیم خشک و نیمه‌خشک
شیم‌تاج آبادی، بیژن قهرمان، علی نقی ضیائی
- ۵۵ ارزیابی عملکرد مدل شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون فازی در پایش ماهواره‌ای خشکسالی
لاله پرویز
- ۶۸ یادداشت فنی: چشم‌انداز تغییرات دما با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی آماری خروجی‌های مدل HadCM3
سید اسعد حسینی، حمزه احمدی

سخن نخست

شعار امسال سازمان هواشناسی جهانی به مهم‌ترین بحران زیست محیطی فراروی بشر در قرن ۲۱ اشاره دارد. رویارویی با آینده‌ای گرم‌تر، خشک‌تر یا مرطوب‌تر^۱.

امروز کم‌تر تردیدی وجود دارد که اقلیم جهان در حال تغییر بوده و این دیگر یک سناریوی صرف نیست بلکه پدیده‌ای در حال تکوین و تکامل است که هر روز بیش از پیش تأثیرات و نمودهای بارز آن را در فرآیندهای زیست محیطی شاهدیم. گرچه شواهد حاکی از افزایش معنی‌دار دمای هوا طی چند دهه گذشته بوده و حتی دوره ۲۰۱۵-۲۰۱۱ و بنا به آخرین گزارش WMO دو ماه سپتامبر و اوت ۲۰۱۶ طی ۱۳۷ سال گذشته گرم‌ترین دوره ثبت شده دما می‌باشد، اما افزایش دما فقط بخشی از چالش جهانی است. تغییر اقلیم الگوهای طبیعی نمو و طول فصل رشد گیاهان را بر هم زده و موجب تشدید فراوانی و شدت پدیده‌های جوی نظیر امواج گرمایی، خشکسالی‌ها و بارش‌های سهمگین خواهد شد. مجموعه این یافته‌ها، پرسشی را فراروی ما نهاده است:

آینده زمین چه خواهد بود؟ دنیایی گرم‌تر؟ خشک‌تر یا مرطوب‌تر؟

در این میان، هم‌اندیشی و تکاپوی علمی کارشناسان در مجامع بین‌المللی و سطوح عالی تصمیم‌گیری در کشورها، برنامه‌های اقدام جدیدی را تعریف و ارائه نموده است تا آسیب‌پذیری بخش‌های مختلف به ویژه کشاورزی و محیط زیست را کاهش داده و روش‌های تعدیل و سازگاری منعطف‌تری را به کاربران و ذینفعان ارائه نماید، که تبلور آن در توافق‌نامه اجلاس COP21^۲ در سال ۲۰۱۵ در پاریس بوده است.

گام اصلی در این تلاش جهانی انتقال درست مفاهیم و یافته‌های علمی به سطوح مختلف جامعه و افزایش مهارت‌های کاربردی است. مروری بر نتایج منتشر شده و گزارش‌های ملی و منطقه‌ای حاکی از آن است که برنامه‌های اقدام کشورها در سازگاری و تعدیل آثار تغییر اقلیم زمانی با موفقیت همراه می‌شود که آموزش و تربیت در کنار ظرفیت‌سازی به صورتی جدی مد نظر قرار گیرد. سامانه‌های کشاورزی و نظام‌های کشت که خود، هم در بروز پدیده تغییر اقلیم مؤثرند و هم بیش‌ترین آسیب را از آن می‌پذیرند برای پایداری و ماندگاری نیازمند الگوها، شیوه‌های مدیریت و منعطفی برای بقا در آینده‌ای متفاوت هستند.

این شماره نشریه هواشناسی کشاورزی در آستانه برگزاری سومین کنفرانس ملی هواشناسی کشاورزی در ایران منتشر می‌گردد که در آن یافته‌های ارزشمند پژوهشگران، دانشجویان و فرهیختگان این عرصه در سه محور بنیادی که با مد نظر قرار دادن شعار سال ۲۰۱۵ سازمان هواشناسی جهانی انتخاب شده‌اند، در معرض نقد و داوری مخاطبان خواهد بود. هیأت تحریریه شایسته می‌داند جایگاه ترویج و آموزش در عرصه مباحث تغییر اقلیم و ارتباط با کشاورزان را بار دیگر یادآور شده و بر ضرورت پیاده‌سازی طرح‌های پژوهشی کاربردی در این زمینه تأکید نماید. بدیهی است نشریه آمادگی انتشار نتایج این رویکردهای جدید را خواهد داشت.

هیأت تحریریه

¹ Hotter, Drier, Wetter, Face the Future

² Conference of Parties



تحلیل تغییرات زمانی - مکانی خشکسالی های فصلی هواشناسی

منیره فغانی^۱، خلیل قربانی^{۲*}، میثم سالاری جزی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۰/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۵/۰۶

چکیده

خشکسالی هواشناسی از مهم ترین پدیده های زیان بار جوی است که به طور مستمر و متناوب در هر اقلیمی رخ می دهد. در این پژوهش جهت شناسایی و پهنه بندی مناطق مشابه از لحاظ وضعیت رخداد خشکسالی از روش خوشه بندی استفاده شد. به این منظور، اطلاعات بارش ۲۵ ساله ۱۲۰ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک در کل پهنه جغرافیایی ایران از سازمان هواشناسی کشور اخذ و پس از کنترل کیفی آن ها، شاخص خشکسالی بارش استاندارد شده (SPI) در پنجره زمانی ۳ ماهه برای ۴ فصل سال محاسبه شد. سپس مقادیر SPI در محیط GIS با روش کریجینگ درون یابی گردید. اطلاعات مقادیر درون یابی شده برای شبکه نقطه ای به فواصل ۱۰ کیلومتری، ۱۶۲۰۳ نقطه استخراج و ماتریسی از داده های درون یابی شده فصلی طی ۲۵ سال تشکیل شد. در نهایت، شبکه نقاط بر اساس اطلاعات شاخص خشکسالی در فصل های مختلف به روش K-means خوشه بندی شدند. نتایج نشان داد که تعداد پهنه خوشه ها در فصل های بهار، تابستان، پاییز و زمستان به ترتیب ۸، ۱۰، ۹ و ۶ عدد می باشد. ضمن آن که نوع سامانه های بارشی که در فصول مختلف وارد ایران می شوند، جهت و شکل خوشه ها را تحت تأثیر قرار می دهد.

واژه های کلیدی: خشکسالی، خوشه بندی، کریجینگ، شاخص بارش استاندارد شده، K-means

مقدمه

همه رژیم های اقلیمی و مناطق جغرافیایی رخ می دهد، اما اثرات و فراوانی آن در رژیم های خشک و نیمه خشک بیش تر نمایان می شود (چناری، ۱۳۸۵). واقع شدن ایران بر روی کمربند خشک جهانی موجب شده است که نوسانات بارندگی در این کشور شدید باشد که در برخی از سال ها، در اثر طغیان آبی رودخانه، سیلاب رخ داده و در بعضی سال ها، رخداد خشکسالی موجب آسیب های فراوان گردد (مساعدی و همکاران، ۱۳۸۸). ایران در طول تاریخ صدها دوره خشکسالی را پشت سر گذاشته است، به ویژه در دهه اخیر با صدمات زیادی ناشی از خشکسالی روبرو شده است. ویژگی های خشکسالی ایران نشان می دهد که به طور کلی هیچ منطقه ای از کشور از این پدیده در امان نبوده و به نسبت موقعیت طبیعی خود اثرهای این پدیده مخرب را تجربه می نماید. پدیده خشکسالی موجب کاهش سریع جریان های سطحی، افت مخازن زیرزمینی، فرسایش آبی و بادی خاک، تغییر کیفیت منابع آب و خاک، افزایش بهره برداری از آب های زیرزمینی و نشست زمین می شود (پاپلی یزدی، ۱۳۷۸). از این رو برای کاهش اثرات این پدیده و مدیریت خطر

خشکسالی از پدیده های جوی است که خسارات زیادی را به زندگی انسان و اکوسیستم های طبیعی وارد می آورد و با دیگر حوادث طبیعی از قبیل سیل، طوفان و زلزله تفاوت هایی دارد. عمده این تفاوت ها در تأثیر تدریجی خشکسالی طی یک دوره نسبتاً طولانی، عدم امکان تعیین دقیق زمان شروع و خاتمه و وسعت جغرافیایی تأثیر آن می باشد. بارش عمده ترین پارامتری است که در تعریف خشکسالی به کار رفته است، یعنی خشکسالی و ترسالی در مقایسه با کم تر یا بیش تر بودن ریزش های جوی از میانگین بارش یک منطقه سنجیده می شود (زارع ابیانه و محبوبی، ۱۳۸۳). خشکسالی در

^۱ دانش آموخته مهندسی منابع آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران

^۲ دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران

(*نویسنده مسئول: ghorbani.khalil@yahoo.com)

^۳ استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران

آن، شناسایی و ارزیابی خشکسالی و تداوم دوره‌های آن ضروری می‌باشد. بدیهی است شناخت خشکسالی منجر به مدیریت بهتر و مناسب‌تر تغییرات به وجود آمده و در نهایت کاهش اثرات ناشی از آن خواهد شد. بنابراین نیاز به پایش و تعیین شدت و تداوم خشکسالی، پژوهشگران را بر آن داشته است تا از شاخص‌هایی برای پایش دوره‌های خشک استفاده کنند. محققان زیادی در زمینه شاخص‌های خشکسالی مطالعه نمودند از جمله (دایگنی^۱، ۲۰۰۱؛ سرانو و لویز مورنو^۲، ۲۰۰۵) که عکس‌العمل‌های هیدرولوژیک در مقیاس‌های زمانی مختلف خشکسالی اقلیمی را با استفاده از شاخص بارش استاندارد (SPI)^۳ در دشت رودخانه آراگون بررسی کردند و نتایج آن‌ها نشان داد که شاخص SPI قادر به برآورد تخمین وضعیت خشکسالی در مقیاس‌های مختلف زمانی می‌باشد. پیری و همکاران (۱۳۹۲) به منظور انتخاب مناسب‌ترین نمایه خشکسالی، با استفاده از ضریب همبستگی به این نتیجه رسیدند که نمایه‌های زوج شده PN-RAI و SPI-RAI در اکثر ایستگاه‌ها از همبستگی بالایی نسبت به یکدیگر برخوردارند. شکیبا و همکاران (۱۳۸۹) با استفاده از شاخص بارش استاندارد به مطالعه خشکسالی و تأثیر آن بر منابع آب در شرق استان کرمانشاه پرداختند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که شاخص SPI شاخص مناسبی جهت بررسی اثرات خشکسالی می‌باشد. قربانی و همکاران (۱۳۸۹) به مطالعه تطبیقی نمایه‌های خشکسالی هواشناسی SIAP و SPI به روش داده‌کاوی در استان کرمانشاه پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که در هیچ یک از مقیاس‌های زمانی فصلی، نیم‌سالانه و سالانه، بین طبقات خشکسالی از هر یک از این دو نمایه در بیش‌تر موارد، تطابق خوبی مشاهده نشد و رفتار متفاوتی از خشکسالی را نشان می‌دهند. همچنین (درویشی بایگی، ۱۳۸۱؛ رضانی، ۱۳۸۰؛ صفدری، ۱۳۸۲؛ عباسی، ۱۳۸۰) شاخص SPI را برای پایش خشکسالی مناسب تشخیص داده‌اند. به کمک شاخص‌های خشکسالی می‌توان میزان خشکسالی را در مقیاس زمانی بررسی نمود ولی اطلاعات نقطه‌ای این شاخص‌ها در ایستگاه‌ها برای بررسی گسترش

جغرافیایی و تعیین وسعت مناطق دچار خشکسالی کفایت نمی‌کند از این رو بسط و گسترش منطقه‌ای آن‌ها لازم می‌باشد به این منظور لازم است که از روش‌های مختلف درون‌یابی استفاده نمود. به این جهت محققان از روش‌های مختلف درون‌یابی به پهنه‌بندی خشکسالی پرداختند. تقی‌زاده مهرجردی و همکاران (۱۳۸۷) در مطالعه‌ای در دشت یزد به تحلیل مکانی خشکسالی با استفاده از سه روش عکس وزن فاصله (IDW)^۴ و کریجینگ و کوکریجینگ پرداختند. ارزیابی نتایج حاصله بر اساس معیار RMSE نشان داد که روش کریجینگ بر دو روش دیگر برتری داشته و در نهایت به عنوان روش نهایی و مناسب جهت تحلیل مکانی خشکسالی منطقه انتخاب شد. عیوضی و مساعدی (۱۳۹۰) به منظور پایش و سنجش خشکسالی در هر منطقه از روش‌های درون‌یابی‌های قطعی IDW، GPF^۵، RBF^۶ و زمین‌آماري Kriging استفاده نمودند. با ارزیابی نتایج به دست آمده نشان داده شده که روش‌های زمین‌آماري نسبت به روش‌های قطعی برتر می‌باشند. ثقفیان و همکاران (۱۳۹۱) مدل گوسی کریجینگ و کوکریجینگ بهترین الگو برای درون‌یابی میانگین بارش سالانه در استان فارس می‌باشد. محققین مختلفی به منظور بررسی وسعت خشکسالی از روش‌های خوشه‌بندی استفاده کرده‌اند و با مطالعه در زمینه تحلیل زمانی و مکانی خشکسالی به تفکیک دوره‌های خشکسالی و ترسالی و تفکیک انواع اقلیم‌ها و مناطقی که از لحاظ وضعیت رخداد خشکسالی در زمان‌های مختلف رفتار یکسانی را نشان می‌دهند پرداخته‌اند. در سال‌های اخیر شمار پژوهش‌های اقلیمی که به کمک تحلیل‌های چند متغیره، به خصوص تحلیل خوشه‌ای انجام شده، رو به افزایش گذاشته است. برای نمونه، (أمیسا و جگتپ^۷، ۱۹۹۸) برای تعیین تغییر جغرافیایی بارندگی فصل رشد در سه دهه گذشته نیجریه از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی و تحلیل خوشه‌ای استفاده و شش الگوی فصلی بارندگی منطقه را تعیین کردند. رایزر و کیوتیل^۸ (۲۰۰۷) به منظور تعیین فصل بارانی در

^۴ IDW: Inverse Distance Weighted

^۵ GPI: Global Polynomial Interpolation

^۶ RBF: Radial Basis Function

^۷ Amissa and Jagtap

^۸ Reiser and Kutiel

^۱ Dupigny

^۲ Serrano and Lopez- Moreno

^۳ Standardized Precipitation Index

به یکدیگر را طی فصول مختلف سال، دارند، خوشه‌بندی و مقایسه شوند.

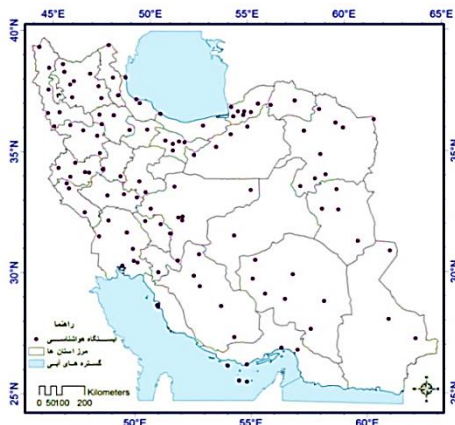
مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی

منطقه مطالعاتی در این پژوهش کل پهنه جغرافیایی ایران می‌باشد. کشور ایران ۱۶۴۸۱۹۸ کیلومتر مربع یا ۶۳۶۳۷۵ مایل مربع وسعت دارد که در محدوده ۲۵ درجه و ۳ دقیقه الی ۳۹ درجه و ۴۷ دقیقه عرض شمالی و ۴۴ درجه و ۵ دقیقه الی ۶۳ درجه و ۱۸ دقیقه طول شرقی واقع شده است و به دلیل قرار گرفتن در کمربند خشک جغرافیایی و نوار بیابانی که در ۲۵ تا ۴۰ درجه عرض شمالی واقع شده است، از شرایط آب و هوایی برخوردار است که جزو مناطق کم‌باران جهان به شمار می‌آید. میزان بارندگی متوسط سالانه آن حدود ۲۵۰ میلی‌متر و دامنه تغییرات ۵۰ تا ۲۰۰۰ میلی‌متر در سال می‌باشد و بخش اعظم آن دارای اقلیمی خشک و نیمه‌خشک و بیابان‌های وسیع است.

داده‌های مورد استفاده

در این پژوهش جهت بررسی وسعت و پهنه‌بندی خشکسالی‌ها از لحاظ بعد زمانی و مکانی و همچنین خوشه‌بندی آن از داده‌های ماهانه بارش ۱۲۰ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک در سطح کشور در طول دوره آماری ۲۵ ساله (۱۳۶۵-۱۳۹۰) که از پراکنش مناسبی برخوردار بودند استفاده شد. در شکل ۱ پراکنش ایستگاه‌های مطالعاتی در گستره کشور نشان داده شده است.



شکل ۱- منطقه و شبکه ایستگاه‌های مطالعاتی

منطقه مدیترانه، به جمع‌آوری داده‌های بارش روزانه دوره ۲۰۰۶-۱۹۳۱ مبادرت ورزیده، پس از آرایش ماتریس داده‌ها با اعمال تحلیل عاملی و تحلیل خوشه‌ای، ضمن دسته‌بندی روزهای بارشی، منطقه مورد مطالعه را به دو ناحیه حداقل تابستانی و حداکثر زمستانی تفکیک نمودند. مدرس (۱۳۸۵) به منظور یافتن نواحی همگن و تحلیل فراوانی بارش از روش تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی و روش گشتاورهای خطی استفاده نمود و به این نتیجه رسید که ۸ منطقه همگن بارش در ایران وجود دارد که می‌تواند تغییرات جغرافیایی و اقلیمی را در ایران نشان دهد. حیدری و علیجانی (۱۳۷۸) با استفاده از ۴۹ متغیر اقلیمی در ۴۳ ایستگاه سینوپتیک کشور و با به‌کارگیری تکنیک‌های آماری تحلیل عاملی و تحلیل خوشه‌ای، ۶ قلمرو اقلیمی کشور به همراه زیر قلمروهای آن‌ها را مشخص نمودند. رضیئی و عزیزی (۱۳۸۶) نیز برای شناخت پهنه‌های بارشی غرب ایران از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی بهره گرفتند. پس از کاهش متغیرها به ۴ مؤلفه مینا، بر روی نمات، تحلیل خوشه‌ای انجام گرفت و در نهایت غرب ایران را به پنج پهنه همگن بارشی طبقه‌بندی کردند. مسعودیان (۱۳۸۴) نواحی بارشی ایران را شناسایی کرد. وی با انجام تحلیل خوشه‌ای بر روی فواصل اقلیدسی ماتریس 5214×366 به روش ادغام وارد نشان داد که بر حسب مقدار و زمان دریافت بارش در ایران، هشت ناحیه بارشی متمایز وجود دارد. ژئوسیس و تراژکویچ^۱ (۲۰۱۴) به بررسی خصوصیات مکانی- زمانی خشکسالی در صربستان به روش خوشه‌بندی ادغامی بر اساس داده‌های ۲۹ ایستگاه همدیدی طی یک دوره آماری ۶۰ ساله پرداختند. برای این منظور از شاخص SPI و روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی جهت تشخیص الگوی خشکسالی استفاده کردند و صربستان را به ۳ خوشه متفاوت از لحاظ شرایط وقوع خشکسالی تقسیم‌بندی کردند. هدف از این پژوهش، خوشه‌بندی نقاط مختلف پهنه جغرافیایی ایران از لحاظ وضعیت خشکسالی در طی یک دوره آماری بلند مدت ۲۵ ساله می‌باشد. در این پژوهش سعی خواهد شد مناطقی که از لحاظ وضعیت خشکسالی، شرایط نزدیک

¹ Gocic and Trajkovic

محاسبه شدت خشکسالی با استفاده از شاخص

بارش استاندارد شده

جهت تحلیل کمی خشکسالی، وجود یک شاخص مشخص به منظور تعیین دقیق دوره‌های مرطوب و خشک بسیار ضروری است (سیلوا^۱، ۲۰۰۳). شاخص بارش استاندارد شده (SPI) از بهترین و جامع‌ترین و در عین حال ساده‌ترین روش مطالعه خشکسالی و ترسالی و خصوصیات آن‌ها محسوب می‌شود. شاخص بارندگی استاندارد اولین بار توسط (مک‌کی و همکاران^۲، ۱۹۹۳) برای پایش خشکسالی در ایالت کلرادو ارائه شد. تنها ورودی مورد نیاز (SPI) داده‌های بارندگی ماهانه یا هفتگی است. اساساً SPI یک شاخص چند منظوره است، به این معنی که امکان کاربرد آن در پنجره‌های زمانی مختلف وجود دارد. برای مثال، شرایط رطوبتی خاک به کمبودهای نسبتاً کوتاه‌مدت بارندگی واکنش نشان می‌دهد، بنابراین می‌توان از پنجره زمانی یک تا سه ماه برای محاسبه SPI استفاده کرد. این در حالی است که آب‌های زیرزمینی، جریان آب رودخانه و ذخیره مخزن تحت تأثیر کمبودهای درازمدت بارندگی قرار می‌گیرند و می‌بایست پنجره زمانی را بزرگ‌تر انتخاب کرد. از این رو، برازش یک توزیع آماری مناسب بر سری زمانی داده‌های بارندگی، اولین گام در محاسبه شاخص مذکور است. بر طبق مطالعات (ادواردز و مک‌کی^۳، ۱۹۹۷) مشخص شده است که توزیع گاما برازش مناسبی بر داده‌های بارندگی ماهانه ایالات متحده دارد و تئوری شاخص در ابتدا بر مبنای این توزیع بیان شد. در تقسیم‌بندی‌های قبلی، وضعیت خشکسالی SPI به سه طبقه‌ولی اخیراً به پنج طبقه تقسیم شده است (جدول ۱).

جدول ۱- طبقات نمایه خشکسالی SPI (بدر افشان، ۱۳۸۱)

ویژگی بارشی	نماد	مقادیر نمایه
بسیار تر	SP1	بزرگ‌تر از ۱/۵
تر	SP2	۱ تا ۱/۵
نرمال	SP3	۱- تا ۱
خشک	SP4	۱/۵- تا -۱
بسیار خشک	SP5	کم‌تر از -۱/۵

درون‌یابی و پهنه‌بندی خشکسالی

به منظور ترسیم نقشه‌های پهنه‌بندی خشکسالی از روش‌های درون‌یابی استفاده می‌شود. روش‌های درون‌یابی با استناد به این قانون جغرافیایی که هر پدیده‌ای مرتبط است با پدیده دیگری اما پدیده‌های نزدیک نسبت به پدیده‌های دور به هم وابسته‌ترند، از یک سری نقاط با مقادیر معلوم در اطراف نقاط با مقادیر مجهول استفاده کرده و مقادیر آن‌ها را تخمین می‌زنند (توبلر^۴، ۱۹۷۰). برخی از روش‌های درون‌یابی با برقراری روابط آمار کلاسیک بین مقادیر نقاط معلوم اقدام به تخمین مقادیر مجهول می‌کنند که آن‌ها را درون‌یاب‌های قطعی می‌نامند. از روش‌های درون‌یابی قطعی می‌توان به روش‌های چندجمله‌ای سراسری و موضعی، روش وزنی، عکس فاصله‌ها و روش اسپیلاین اشاره کرد. اما برخی از روش‌ها مانند روش کریجینگ با استفاده از ویژگی‌های وابستگی فضایی متغیر مورد نظر اقدام به تخمین مقادیر نقاط مجهول می‌کنند و آن‌ها را درون‌یاب‌های زمین‌آماری می‌نامند. در روش سراسری کلیه نقاط مشاهده‌ای در محاسبات نقطه یا نقاط مجهول دخالت داده می‌شوند. درحالی‌که در روش موضعی فقط از نقاط مشاهده‌ای موجود در یک محدوده (همسایه نزدیک یا پنجره) استفاده می‌شود. سپس، کلیه نقاط مجهول در محدوده مورد مطالعه با حرکت پنجره‌ها به صورت گام به گام در کل پهنه تخمین زده می‌شوند (قربانی، ۱۳۹۱).

روش کریجینگ^۵

کریجینگ یک روش تخمین آماری است که مقادیر مجهول را با استفاده از مقادیر معلوم و یک نیم تغییرنا، برآورد می‌کند. این روش بر منطق میانگین متحرک وزن‌دار استوار می‌باشد و در مورد آن می‌توان گفت که بهترین تخمین‌گر خطی نا اریب^۶ با کم‌ترین پراش تخمین است. این تخمین‌گر اختلالات ناشی از تمرکز زیاد نقاط اندازه‌گیری را به طور خودکار رفع می‌کند. از مهم‌ترین ویژگی‌های کریجینگ آن است که به ازای هر تخمینی خطای مرتبط با آن را می‌توان محاسبه کرد. بنابراین برای هر مقدار تخمین زده شده می‌توان دامنه

⁴ Tobler

⁵ Kriging

⁶ Best Linear Unbiased Estimator

¹ Silva

² McKee et al.

³ Edwards and McKee

نیز به دو نوع شکافتی^۴ و ادغامی^۵ تقسیم می‌شود. در روش تحلیل خوشه‌ای شکافتی ابتدا تمام داده‌ها به عنوان یک خوشه در نظر گرفته می‌شوند و سپس در طی یک فرایند تکراری در هر مرحله داده‌هایی شباهت کم‌تری به هم دارند به خوشه‌های مجزایی شکسته می‌شوند و این روال تا رسیدن به خوشه‌هایی که دارای یک عضو هستند ادامه پیدا می‌کند. به این روش خوشه‌بندی روش از بالا به پایین^۶ نیز گفته می‌شود. در تحلیل خوشه‌ای ادغامی ابتدا هر داده به عنوان خوشه‌ای مجزا در نظر گرفته می‌شود و در طی فرایندی تکراری در هر مرحله خوشه‌هایی که شباهت بیشتری با یکدیگر دارند ترکیب می‌شوند تا در نهایت یک خوشه و یا تعداد مشخصی خوشه حاصل شود. به این روش تحلیل خوشه‌ای از پایین به بالا^۷ نیز گفته می‌شود. روش‌های پیوند تکی، پیوند کامل، پیوند متوسط، میانه، مبتنی بر مرکز و وارد از روش‌های تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی ادغامی می‌باشند. در روش‌های تحلیل خوشه‌ای تفکیکی تعداد خوشه‌ها از قبل مشخص است و می‌بایست بررسی شود هر شی در کدام خوشه جای می‌گیرد. به این روش‌ها، روش مرکزگرا^۸ نیز گفته می‌شود. روش k میانگین، k مدوید، K مد، k احتمال و x میانگین از انواع روش‌های خوشه‌بندی تفکیکی می‌باشند. روش K-mean اولین بار توسط (مک کوپین^۹، ۱۹۶۷) ارائه شد. این روش علی‌رغم سادگی آن یک روش پایه برای بسیاری از روش‌های تحلیل خوشه‌ای دیگر (مانند تحلیل خوشه‌ای فازی) محسوب می‌شود. تعداد خوشه‌ها در این روش ثابت و از پیش تعیین شده است و این روش برای تحلیل خوشه‌ای داده‌هایی طراحی شد که به صورت عددی (کمی) باشند و خوشه دارای مرکزی به نام میانگین باشد. در این روش ابتدا اشیاء به صورت تصادفی به k خوشه تقسیم می‌شوند. در گام بعد فاصله هر یک از اشیاء از مرکز خوشه خود محاسبه می‌شود. در صورتی که فاصله شی مورد نظر از میانگین خوشه خود زیاد و به خوشه دیگری نزدیک‌تر باشد، این شی به خوشه‌ای که نزدیک‌تر است اختصاص می‌یابد. این کار

اطمینان آن تخمین را محاسبه کرد در حالی که در روش‌های کلاسیک معمولاً چنین نخواهد بود. محاسبه کریجینگ بر اساس معادله (۱) است (اقدسی، ۱۳۸۳).

$$Z^*(x_i) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (1)$$

که در آن $Z^*(x_i)$ مقدار برآورد در نقطه X_i ، λ_i وزن مربوط به متغیر Z ، مقدار مشاهده شده متغیر اصلی است.

تحلیل خوشه‌ای

تحلیل خوشه‌ای یکی از شاخه‌های یادگیری بدون نظارت می‌باشد و فرآیند خودکاری است که در طی آن، نمونه‌ها به دسته‌هایی که اعضای آن مشابه یکدیگر می‌باشند تقسیم می‌شوند که به این دسته‌ها، خوشه^۱ گفته می‌شود. در تحلیل خوشه‌ای تعداد خوشه‌ها از قبل مشخص نیست و مشاهدات را به گونه‌ای در خوشه‌ها یا گروه‌ها ترکیب می‌کند که هر گروه یا خوشه با توجه به یک خصوصیت ویژه همگن است و هر گروه با توجه به همان خصوصیت با گروه‌های دیگر متفاوت است. در یک تحلیل خوشه‌ای دو گام اساسی وجود دارد: گام اول محاسبه میزان شباهت یا درجه نزدیکی داده‌ها، گام دوم چگونگی ادغام داده‌ها بر حسب میزان شباهتشان. برای گام اول از معیار فاصله استفاده می‌شود و هر چه فاصله بین دو مشاهده کم‌تر باشد اشیاء در یک خوشه قرار داده می‌شوند. برای گام دوم از شیوه‌های مختلفی برای پیوند داده‌ها استفاده می‌شود که شامل روش‌های پیوند تکی، کامل، میانگین، مرکز ثقل، میانه، وارد می‌باشد. به طور کلی فرآیند تحلیل خوشه‌ای شامل تهیه ماتریس داده‌ها، تبدیل مقیاس و استاندارد کردن داده‌ها، محاسبه ماتریس مجاورت (فاصله یا شباهت)، اعتبار و اجرای یک روش تحلیل خوشه‌ای، اعتبار سنجی می‌باشد. روش‌های قطعی تحلیل خوشه‌ای به دو نوع سلسله مراتبی^۲ و تفکیکی تقسیم می‌شوند. در روش تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی، به خوشه‌های نهایی بر اساس میزان عمومیت آن‌ها ساختاری سلسله مراتبی، معمولاً به صورت درختی نسبت داده می‌شود. به این درخت سلسله مراتبی دندوگرام^۳ می‌گویند. روش سلسله مراتبی

⁴ Divisive

⁵ Agglomerative

⁶ Top-Down

⁷ Bottom-Up

⁸ Centerbased methods

⁹ Macqueen

¹ Cluster

² Hierarchical

³ Dendrogram

هرچقدر $s(i)$ به $+1$ نزدیک تر باشد نشان می‌دهد که شی i به خوشه خودش نزدیک تر است تا به خوشه همسایه‌اش، بیان‌گر خوب بودن طبقه‌بندی است. زمانی که $s(i)$ نزدیک به -1 باشد به این مفهوم است که فاصله شی i با خوشه خودی زیاد و همسایه کم است گویای نامناسب بودن طبقه‌بندی است. زمانی که $s(i)$ نزدیک به صفر باشد روشن نیست که این شی باید در خوشه خودش قرارگیرد یا همسایه. در نمودار نیم‌رخ، $s(i)$ به صورت میله‌هایی افقی نمایش داده می‌شود که برای هر خوشه به ترتیب نزولی است. نمودار نیم‌رخ، ابزاری برای سنجش کیفیت یکی از جواب‌های تحلیل خوشه‌ای است. پژوهشگر می‌تواند با دیدن آن تمایزی بین خوشه‌های به طور کامل مجزا و نه چندان مجزا قائل شود. همچنین متوسط پهنای نیم‌رخ^۳ که آن را با \bar{s} نشان می‌دهیم، متوسط $s(i)$ همه اشیاء است. این شاخص، نشان‌گر خوبی برای تعیین تعداد خوشه‌هاست و می‌توان تعداد خوشه‌ها را کم و زیاد کرد، پس از ترسیم نمودار نیم‌رخ می‌توان متوسط پهنای نیم‌رخ را برای هر کدام حساب کرد تا مشخص شود چه تعدادی از خوشه‌ها بیش‌ترین متوسط پهنای نیم‌رخ را از آن خود می‌کند. به بیش‌ترین متوسط پهنای نیم‌رخ، ضریب نیم‌رخ گفته شده و با SC طبق معادله (۶) نشان داده می‌شود (مومنی، ۱۳۹۰).

$$SC = \text{Max}_k \bar{s}(k) \quad (۶)$$

دامنه SC نیز $[-1, +1]$ است، هر چه قدر به یک نزدیک تر باشد، نشان‌دهنده اعتبار بیشتر تحلیل خوشه‌ای است. مقادیر بالای 0.5 نشان دهنده اعتبار قابل پذیرش و مقادیر بالای 0.7 بیان‌گر ساختار عالی خوشه‌بندی است.

آماده‌سازی داده‌ها جهت انجام تحلیل خوشه‌ها

در این پژوهش، پس از محاسبه شاخص خشکسالی SPI در پنجره‌های زمانی مختلف، این مقادیر برای فصل‌های مختلف هر یک از ۲۵ سال داده موجود برای کل پهنه جغرافیایی ایران در اندازه شبکه گرید ۱۰ کیلومتری پهنه‌بندی شدند. مقادیر هر یک از گریدهای نقشه رستری طی سال‌های مختلف استخراج و ماتریس

آنقدر تکرار می‌شود تا تابع خطا حداقل شود، و یا اعضای خوشه‌ها تغییر نیابد. اگر D مجموعه داده‌ها با n شی باشد، C_1, C_2, \dots, C_k بیان‌گر k خوشه مجزای D باشند، در این صورت تابع خطا (EF) که مجموعه فواصل هر شی از مرکز خوشه خودش تعریف می‌شود از معادله (۲) به دست می‌آید (مؤمنی، ۱۳۹۰).

$$EF = \sum_{i=1}^k \sum_{x_j \in S_i} d(X, \mu(C_i)) \quad (۲)$$

که در آن μ نشان‌دهنده مرکز (میانگین) خوشه، و $d(X, \mu(C_i))$ فاصله هر شی از مرکز خود است. فاصله هر شی از خوشه خود می‌تواند بر پایه اقلیدسی یا روش‌های دیگر محاسبه شود.

ارزیابی و تعداد بهینه خوشه‌ها

در واقع یکی از ارکان مهم در مسأله تحلیل خوشه‌ای آن است که تعداد بهینه خوشه‌ها را مشخص کنیم. روش‌های مختلفی برای تعیین تعداد بهینه خوشه‌ها ارائه شده است. که یکی از این روش‌ها ترسیم نمودار و تعیین ضریب نیم‌رخ است. به طور کلی، نمودار نیم‌رخ^۱ بر پایه ماتریس عدم تشابه بنا نهاده شده است که ابزاری برای خوشه‌بندی است (روسووف^۲، ۱۹۸۷). شاخص نیم‌رخ برای شی i ، از معادله‌های ۳ و ۴ محاسبه می‌شود.

$$b(i) = \min_c d(i, c) \quad (۳)$$

$$s(i) = \frac{b(i) - a(i)}{\text{Max}\{a(i), b(i)\}} \quad (۴)$$

که در آن $a(i)$ متوسط فاصله شی i با خوشه A ، $b(i)$ متوسط متوسط فاصله شی i با خوشه B ، $S(i)$ شاخص نیم‌رخ برای شی i ، $d(i, c)$ فاصله شی i با خوشه c ، $\min_c d(i, c)$ کم‌ترین میانگین فاصله شی i با همه اشیاء خوشه C می‌باشد. هنگامی که خوشه‌ای دارای یک شی باشد، روشن نیست که $a(i)$ چگونه باید تعریف شود که در این گونه مواقع مقدار آن صفر قرار می‌گیرد. با این تعاریف می‌توان به سادگی نشان داد که در معادله (۵):

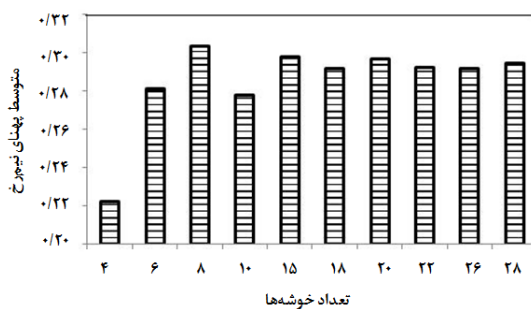
$$-1 \leq s(i) \leq 1 \quad (۵)$$

¹ Silhouette plot

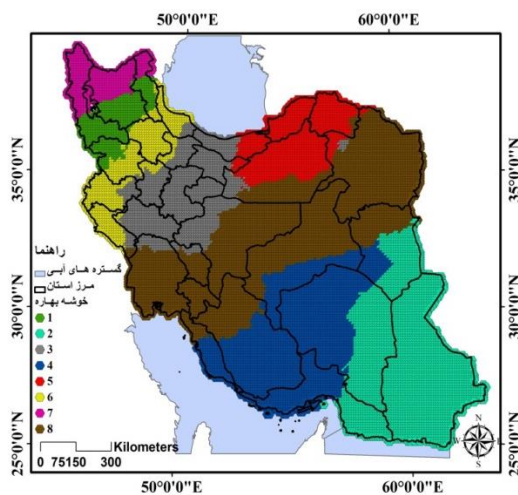
² Rousseeuw

³ Average silhouette width

خوشه‌بندی خشکسالی در فصل بهار: تعداد بهینه خوشه‌ها در فصل بهار بر اساس ترسیم متوسط پهنای نیم‌رخ (شکل ۲)، ۸ خوشه به دست آمد. الگوی خوشه‌ها در فصل بهار به صورت شمال غربی- جنوب شرقی می‌باشد و این می‌تواند به دلیل ورود سیستم‌های بارش‌زایی باشد که از سمت شمال اروپا وارد ایران می‌شود. در این فصل کل استان سیستان و بلوچستان تحت تأثیر سیستم مانسون و بارش‌های موسمی قرار می‌گیرد و بیش‌ترین فاصله را با دیگر خوشه‌ها دارد و استان‌های شمالی ایران نیز در خوشه‌های جداگانه قرار می‌گیرند شکل (۳).



شکل ۲- متوسط پهنای نیم‌رخ خوشه‌ها در فصل بهار



شکل ۳- خوشه‌بندی زمانی- مکانی خشکسالی فصلی در بهار

خوشه‌بندی خشکسالی در فصل تابستان: تعداد بهینه خوشه‌ها در فصل تابستان بر اساس ترسیم متوسط پهنای نیم‌رخ (شکل ۴)، ۱۰ خوشه به دست آمد. الگوی خوشه‌ها در فصل تابستان غربی- شرقی و شمالی- جنوبی می‌باشد. استان‌های شمالی کشور در ۳ خوشه متمایز قرار می‌گیرند. گلستان و خراسان شمالی

مکانی-زمانی از سری زمانی داده‌های استخراج شده از نقشه‌های رستری تهیه شد. سطرهای ماتریس را هر یک از گریدها و ستون‌های ماتریس را مقادیر شاخص خشکسالی طی دوره زمانی ۲۵ سال تشکیل دادند. در محیط نرم‌افزار Matlab و بر اساس کد موجود، ماتریس تشکیل شده فراخوانی و پس از تعیین تعداد بهینه خوشه‌ها با استفاده از روش متوسط پهنای نیم‌رخ، هر یک از گریدها با روش K-mean خوشه‌بندی و نقشه رستری آن‌ها برای هر یک از فصل‌ها ترسیم شدند.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از پهنه‌بندی خشکسالی

به منظور پهنه‌بندی خشکسالی، روش‌های مختلف درون‌یابی در محیط ArcGIS و با به‌کارگیری معیار ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) مورد ارزیابی قرار گرفت. این آزمون بر روی شدت خشکسالی در پنجره‌های زمانی ۳، ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه انجام شد (جدول ۲). نتایج نشان می‌دهد در بین روش‌های مختلف درون‌یابی مورد استفاده، روش کریجینگ با مقدار خطای کم‌تر، روش مناسب‌تری برای پهنه‌بندی خشکسالی است. بر این اساس کلیه شاخص‌های خشکسالی مورد نظر در پنجره‌های زمانی فصل‌های مختلف با روش کریجینگ درون‌یابی شدند.

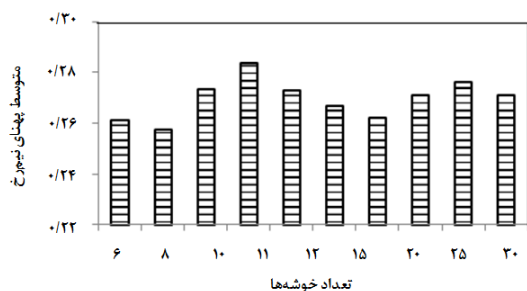
جدول ۲- نتایج ارزیابی روش‌های مختلف درون‌یابی

RMSE	انواع روش‌های درون‌یابی
۰/۶۷	وزن عکس فاصله
۰/۸۱	چندجمله‌ای سراسری با درجه ۱
۰/۷۹	چندجمله‌ای سراسری با درجه ۲
۰/۷۲	چندجمله‌ای سراسری با درجه ۳
۰/۶۵	چندجمله‌ای موضعی با درجه ۱
۰/۷۱	چندجمله‌ای موضعی با درجه ۲
۲۶/۹۳	چندجمله‌ای موضعی با درجه ۳
۰/۶۳	اسپیلاین
۰/۶۳	کریجینگ معمولی

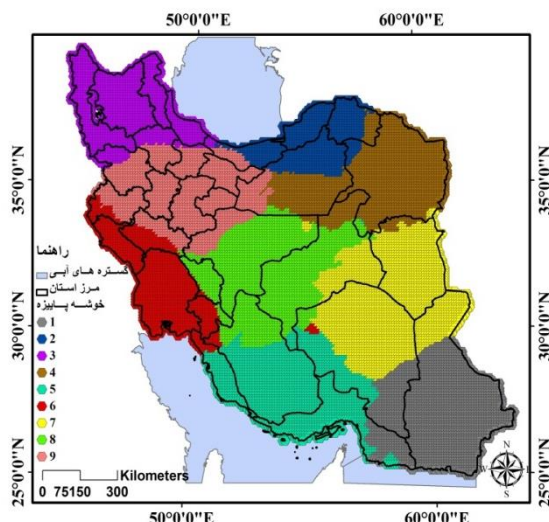
نتایج خوشه‌بندی زمانی مکانی خشکسالی‌های فصلی

در این پژوهش وضعیت خشکسالی‌ها در چهار فصل سال به طور جداگانه مورد بررسی قرار گرفت و نتایج آن‌ها در ادامه ذکر شده است.

شرایط متفاوت تری را نشان می‌دهد و با استان‌های شمال غربی کشور شامل استان‌های اردبیل و آذربایجان شرقی و غربی در یک خوشه قرار می‌گیرند و همچنین وسعت خوشه مربوط به جنوب شرقی کشور که از رژیم مانسون برخوردار است در فصل پاییز کاهش یافته است (شکل ۷).



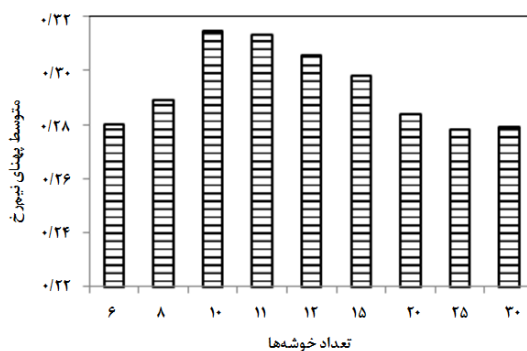
شکل ۶- متوسط پهنای نیم‌رخ خوشه‌ها در فصل پاییز



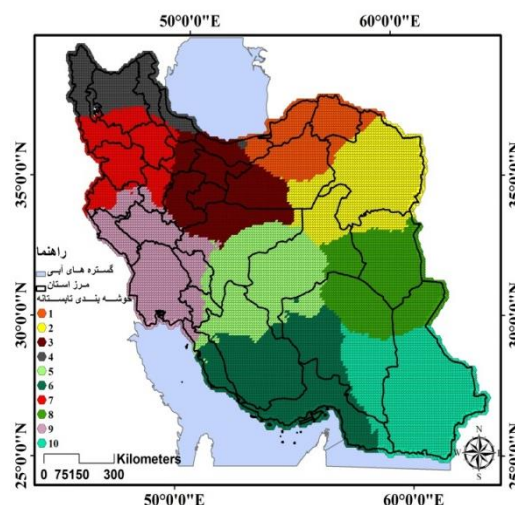
شکل ۷- خوشه‌بندی زمانی - مکانی خشکسالی فصلی در پاییز

خوشه‌بندی خشکسالی در فصل زمستان: تعداد
 بهینه خوشه‌ها در فصل زمستان بر اساس ترسیم متوسط پهنای نیم‌رخ (شکل ۸)، ۶ خوشه به دست آمد. در فصل زمستان الگوی خوشه‌ها تا حدودی از الگوی شمال غربی - جنوب شرقی تبعیت می‌کند ولی به شدت الگوی فصل بهار نمی‌باشد و علت آن می‌تواند ورود سیستم‌های بارش‌زایی باشد که از سمت غرب ویدریای مدیترانه ایران را در بر می‌گیرند. همچنین در بین سناریوهای در نظر گرفته شده، وضعیت خشکسالی در فصل زمستان کم‌ترین خوشه‌ها را در بر می‌گیرد که نشان می‌دهد سیستم‌های بارش‌زا در فصل زمستان مناطق وسیع‌تری را در بر می‌گیرند و همچنان استان

در یک خوشه و استان‌های گیلان، اردبیل و آذربایجان‌های شرقی و غربی در یک خوشه دیگر قرار می‌گیرد. در این وضعیت نیز جنوب شرقی ایران، استان سیستان و بلوچستان بیش‌ترین فاصله را با دیگر خوشه‌ها برقرار می‌کند نکته قابل توجهی که می‌توان به آن پی‌برد آن است که بسیاری از استان‌های بزرگ کشور در یک خوشه قرار نمی‌گیرند. به طور مثال در خوشه‌بندی فصل تابستان، جنوب و شمال استان فارس در خوشه‌های جداگانه‌ای قرار می‌گیرند (شکل ۵).



شکل ۴- متوسط پهنای نیم‌رخ خوشه‌ها در فصل تابستان



شکل ۵- خوشه‌بندی زمانی - مکانی خشکسالی فصلی در تابستان

خوشه‌بندی خشکسالی در فصل پاییز: تعداد
 بهینه خوشه‌ها در فصل پاییز بر اساس ترسیم متوسط پهنای نیم‌رخ (شکل ۶)، ۹ خوشه به دست آمد. در این فصل الگوی خوشه‌ها شکل الگوی غربی - شرقی و شمالی - جنوبی به خود گرفته است و استان‌های مازندران و گلستان از لحاظ شرایط وقوع یا عدم وقوع خشکسالی در یک خوشه قرار می‌گیرند، ولی همچنان استان گیلان

جنوب شرقی است و در فصولی (تابستان، پاییز) که سیستم‌های بارش‌زا از سمت غرب وارد کشور می‌شوند چینش خوشه‌ها غربی- شرقی می‌باشند.

۲. همچنین در تمامی خوشه‌بندی‌ها، جنوب شرقی ایران که تحت تأثیر رژیم بارشی موسمی (مانسون) می‌باشد در خوشه‌ای جداگانه قرار دارد و فقط تحت سناریوهای مختلف، وسعت این خوشه تغییر می‌کند به طوری که در برخی از سناریوها تا نیمه‌های استان کرمان را نیز شامل می‌شود.

۳. در این پژوهش از آمار و اطلاعات ایستگاه‌های سینوپتیک استفاده شده است، پیشنهاد می‌شود تا از ایستگاه‌های تبخیرسنجی وزارت نیرو نیز استفاده شود.

۴. در این پژوهش پیشنهاد می‌شود تا از روش‌های خوشه‌بندی فازی نیز استفاده و نتایج آن با روش‌های کلاسیک مقایسه شود.

منابع

اقدسی، ف. ۱۳۸۳. ارزیابی چند روش زمین‌آماری ترسیم میدان عددی بارندگی روزانه و سالانه (مطالعه موردی: دشت برخوار). نشریه آب و خاک، ۲۶(۳): ۷۴۳-۷۵۲.

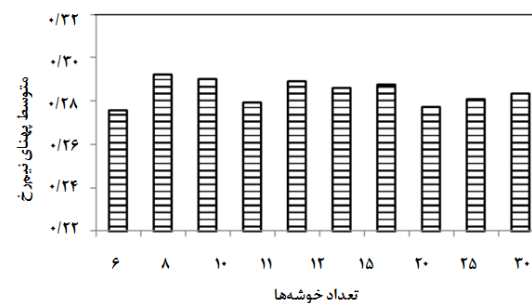
بذرافشان، ج. ۱۳۸۱. مطالعه تطبیقی برخی نمایه‌های خشکسالی هواشناسی در چند نمونه اقلیمی ایران. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، دانشکده کشاورزی کرج.

پاپلی یزدی، م. ح. ۱۳۷۸. آیین‌های باران‌خواهی در زمان خشکسالی. فصلنامه علمی پژوهشی تحقیقات جغرافیایی، ۵۵: ۱۸۶-۲۱۱.

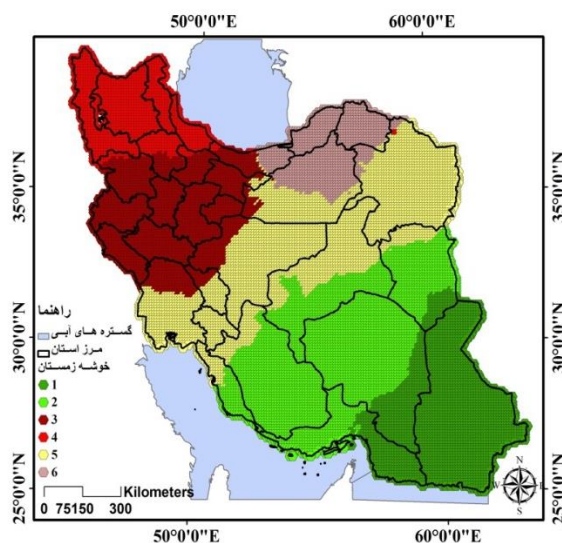
پیری، ح.، راهداری، و.، ملکی، س. ۱۳۹۲. ارزیابی تطبیقی چهار نمایه خشکسالی هواشناسی با استفاده از روش تحلیل خوشه‌ای (مطالعه موردی: استان سیستان و بلوچستان). نشریه مهندسی منابع آب، ۹۶: ۱۱-۱۱۴.

تقی‌زاده مهرجردی، ر.، زارعیان‌جهرمی، م.، محمودی، ش.، حیدری، ا.، سرمیدیان، ف. ۱۳۸۷. بررسی روش‌های درون‌یابی مکانی جهت تعیین تغییرات مکانی ویژگی‌های کیفی آب‌های زیرزمینی دشت رفسنجان. نشریه علوم و مهندسی آب‌خیزداری ایران، ۵(۲): ۶۴-۷۲.

سیستان و بلوچستان بیش‌ترین فاصله را با دیگر خوشه‌ها دارا می‌باشد (شکل ۹). به طور کلی نتایج این پژوهش را می‌توان با پژوهش مدرس (۱۳۸۵) که توابع توزیع منطقه‌ای بارش در ایران را بررسی نمود، مقایسه کرد که ایشان نیز کل پهنه جغرافیایی ایران را به ۸ منطقه بارشی تقسیم‌بندی نمود. همچنین نتایج همخوانی دارد با پژوهش حیدری و علیجانی (۱۳۷۸) که به شش پهنه اقلیمی در ایران دست یافت.



شکل ۸- متوسط پهنای نیم‌رخ زمستانه



شکل ۹- خوشه‌بندی زمانی- مکانی خشکسالی فصلی در زمستان

نتیجه‌گیری

در بررسی و تحلیل خوشه‌ای وضعیت خشکسالی‌های فصلی در ایران، مهم‌ترین نتایجی که به دست آمد عبارتند از:

۱. نحوه چینش خوشه‌ها در سطح کشور، به نحوه ورود سیستم‌های بارش‌زا بستگی دارد به طوری که در فصولی که سیستم‌های بارش‌زا از شمال اروپا وارد ایران می‌شوند چینش خوشه‌ها به صورت شمال غربی-

عیوضی، م.، مساعدی، ا. ۱۳۹۰. پایش و تحلیل مکانی خشکسالی هواشناسی در سطح استان گلستان با استفاده از روش‌های زمین‌آماری. نشریه مرتع و آبخیزداری (منابع طبیعی ایران)، ۱: ۶۵-۷۸.

قربانی، خ. ۱۳۹۱. رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی روشی برای ترسیم نقشه‌های هم‌بارش در استان گیلان. نشریه آب و خاک، ۲۶(۳): ۷۴۳-۷۵۲.

قربانی، خ.، خلیلی، ع.، علوی‌پناه، ک. ۱۳۸۹. مطالعه تطبیقی نمایه‌های هواشناسی خشکسالی SIAP و SPI به روش داده‌کاوی در استان کرمانشاه. نشریه آب و خاک، ۲۴(۳): ۴۱۷-۴۲۶.

مدرس، ر. ۱۳۸۵. توابع توزیع منطقه‌ای بارش در ایران. نشریه پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، ۷۵: ۸۶-۹۱.

مساعدی، ا.، مرعشی، م.، کواکبی، غ. ۱۳۸۸. بررسی مقایسه‌ای خشکسالی در مناطق پرباران و کم باران (مطالعه موردی: استان گلستان). نشریه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۶(۱): ۲۷۷-۲۹۰.

مسعودیان، ا. ۱۳۸۴. شناسایی رژیم بارش ایران به روش تحلیل خوشه‌ای. پژوهش‌های جغرافیایی، ۵۲: ۴۷-۵۹.

مؤمنی، م. ۱۳۹۰. خوشه‌بندی داده‌ها (تحلیل خوشه‌ای). انتشارات تهران، ۲۹۶ صفحه.

Amissa, A., Jagtap, S. S. 1998. Geographic variation in growing season rainfall during three decades in Nigeria using principal component and cluster analysis, *Theor. Appl. Climatol.*, 63: 107-116.

Dupigny, L. 2001. Towards characterizing and planning for drought in Vermont- part i: A climatologically perspective. *J. American Water Res. Assoc.*, 37: 505-525.

Edwards, D. C., McKee, T. B. 1997. Characteristics of 20th century drought in the United States a multiple time scales. *Climatology report number 97-2*, Department of Atmospheric Science, Colorado State University, Fort Collins.

Gocic, M., Trajkovis, S. 2014. Spatiotemporal characteristics of drought in sebria. *J. Hydrol.*, 510: 110-123.

Macqueen, J. 1967. Some methods for classification and analysis of multivariate observations. In *proceedings of the 5th Berkeley symposium on mathematical statistics and probability*, 1:281-297.

McKee, T. B., Doesken, N. J., Kleist, J. 1993. The relationship of drought frequency and

تقفیان، ب.، رزمخواه، ه.، قرمزچشمه، ب. ۱۳۹۱. بررسی تغییرات منطقه‌ای بارش سالانه با کاربرد روش‌های زمین‌آمار (مطالعه موردی: استان فارس). نشریه مهندسی منابع آب، ۲۹: ۱-۳۹.

چناری، م. ۱۳۸۵. بررسی تغییرات چند نمایه مختلف خشکسالی با استفاده از زنجیره مارکف در نمونه اقلیمی البرز جنوبی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران.

حیدری، ح.، علیجانی، ب. ۱۳۷۸. طبقه‌بندی اقلیمی ایران با استفاده از تکنیک آماری چند متغیره. پژوهش‌های جغرافیایی، ۳۷: ۵۷-۷۴.

درویشی بایگی، ن. ۱۳۸۱. پایش خشکسالی با استفاده از نمایه‌های خشکسالی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تبریز.

رضیئی، ط.، عزیزی، س. ق. ۱۳۸۶. منطقه‌بندی رژیم بارش غرب ایران با استفاده از روش‌های تحلیل مؤلفه‌های اصلی و خوشه‌بندی. تحقیقات منابع آب ایران، ۳(۲): ۶۲-۶۵.

رضزانی، ن. ا. ۱۳۸۰. تحلیل و پیش‌بینی خشکسالی‌ها و ترسالی‌های استان مازندران. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت معلم تهران.

زارع ابیانه، ح.، محبوبی، ع. ۱۳۸۳. بررسی وضعیت خشکسالی و روند آن در منطقه همدان براساس شاخص‌های آماری خشکسالی. نشریه پژوهش و سازندگی، ۶۴: ۲-۷.

شکیبا، ع.، میرباقری، غ.، خیری، ا. ۱۳۸۹. خشکسالی و تأثیر آن بر منابع آب زیرزمینی در شرق استان کرمانشاه با استفاده از شاخص SPI. فصلنامه علمی- پژوهشی انجمن جغرافیای ایران، ۲۵: ۱۰۶-۱۲۴.

صفدری، ع. ا. ۱۳۸۲. تحلیل کمی شدت، تداوم، فراوانی و گستره خشکسالی‌ها به کمک داده‌های بارندگی (مطالعه موردی: حوضه آبریز کارون). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

عباسی، ل. ۱۳۸۰. بررسی و ارزیابی شاخص‌های شدت خشکسالی استان خوزستان در سال آبی ۷۹-۱۳۸۰ مقالات اولین کنفرانس بررسی راهکارهای مقابله با بحران آب، زابل، ۳: ۵۵-۱۶۸.

- Serrano, S. M., Lopez-Moreno, J. I. 2005. Hydrological response to different time scales of climatological drought: an evaluation of the standardized precipitation index in a mountainous mediterranean basin. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 84: 35-46
- Silva. V. P. R. 2003. On climate variability in northeast Brazil. *J. Arid Environ.*, 54(2): 256-367.
- Tobler, W. R. 1970. A computer movie simulating urban growth in the Detroit region. *Econ. Geogr.*, 46: 234-240.
- duration to time scales. In: *Proceedings of the Eighth Conference on Applied Climatology*. American Meteorol. Soc. Boston: 179-184.
- Reiser, H., Kutiel, H. 2007. Rainfall uncertainty in the Mediterranean: definition of the rainy season-A methodological approach. *Theor. Appl. Climatol.*, 94: 35-49.
- Rousseuw, P. J. 1987. Silhouettes a graphical aid to the interpretations and validations of clustering analysis. *J. Comput. Appl. Math.*, 20: 53-65.

پهنه‌بندی اقلیمی کشاورزی کشت مرکبات در استان خوزستان با روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی

رضا برنا^{۱*}، افسانه علیزاده^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۳/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۰/۲۰

چکیده

هدف از این پژوهش اولویت‌بندی نواحی اقلیمی مستعد کشت مرکبات در خوزستان، به کمک روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) چهار سطحی (اهداف، معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها)، با استفاده از اطلاعات اقلیمی و محیطی استان در بازه زمانی ۲۰ ساله (۱۹۸۱-۲۰۱۰) می‌باشد. پس از شناسایی گزینه‌های مرجع و تعیین رتبه آن‌ها، با در نظر گرفتن هم‌زمان کلیه معیارهای تصمیم‌گیری، ضریب اهمیت (وزن) معیارها و زیرمعیارها توسط نرم‌افزار Expert Choice بر اساس روش استاندارد شده مقایسه زوجی محاسبه گردید. آنگاه بر اساس مدل (AHP) ضمن تخصیص ارزش متناظر لایه‌ها نقشه‌های حاصله در محیط GIS تلفیق شدند. در نهایت، بر اساس اعمال وزن نهایی هر یک از زیرمعیارهای محیطی و اقلیمی مؤثر در کشت، نقشه پهنه‌بندی نواحی مستعد کشت مرکبات استان تهیه گردید. نتایج نشان داد که روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی با به‌کارگیری هم‌زمان معیارهای کیفی و کمی و قابلیت کاربرد مطلوب در برنامه‌ریزی اقلیمی-محیطی، توانایی تعیین و تفکیک مناطق مستعد کشت مرکبات در خوزستان را دارد. نقشه پهنه‌بندی اقلیمی-کشاورزی کشت مرکبات خوزستان در ۴ کلاس اهمیت (ضعیف، متوسط، خوب و عالی) طبقه‌بندی شد. مناطق شمالی و شرقی استان از شرایط خوب تا عالی جهت کشت مرکبات برخوردار است و مناطق محدودیت دار استان با پتانسیل ضعیف، بخش‌های جنوبی، مرکزی و غربی را در بر می‌گیرند.

واژه‌های کلیدی: اقلیم، پهنه‌بندی، مرکبات، سامانه اطلاعات جغرافیایی، خوزستان

مقدمه

توان‌های محیطی قابل بهره‌برداری بسیار در بخش‌های کشاورزی و صنعتی، بررسی و شناخت دقیق پتانسیل‌های اقلیمی-محیطی و روابط بین آن‌ها جهت توسعه برنامه‌ریزی‌های ملی- منطقه‌ای کشاورزی لازم و ضروری به نظر می‌رسد. تاکنون درباره تأثیر شرایط آب و هوایی بر کشاورزی، تحقیقاتی در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف در جهان انجام شده است (علیزاده، ۱۳۹۱). با این حال در مورد چگونگی تأثیر اقلیم بر کشت مرکبات در خوزستان پژوهش‌های مستقیم چندانی صورت نگرفته است. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی یکی از جامع‌ترین سیستم‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری‌های چند معیاره است که برای اولین بار توسط ساعتی^۴ (۱۹۸۰) مطرح شد. علاوه بر این بر مبنای مقایسه زوجی بنا نهاده شده، قضاوت و محاسبات را تسهیل می‌نماید (ساعتی، ۲۰۰۰). همچنین میزان سازگاری و ناسازگاری تصمیم را نشان می‌دهد که از مزایای ممتاز این تکنیک در تصمیم‌گیری چند معیاره می‌باشد (قدسی پور،

شناسایی مناطق مستعد کشاورزی بر پایه شناخت پتانسیل‌های طبیعی، می‌تواند ضمن فراهم‌سازی بسترهای مناسب برای فعالیت‌های انسانی، در امر برنامه‌ریزی محیطی و آمایش سرزمین نقش عمده‌ای ایفا نماید (مورنو^۳، ۲۰۰۵). از آن جا که هر یک از محصولات کشاورزی شرایط اقلیمی و محیطی خاصی را می‌طلبند، محققان منابع طبیعی و اقلیم‌شناسی تلاش دارند تا بر پایه مدل‌های اکولوژیکی-کشاورزی، منابع زمینی را با روش‌های مناسب شناسایی، ارزیابی و قابلیت‌سنجی نمایند (محمدی، ۱۳۸۵). در این راستا با توجه به ویژگی‌های استان خوزستان چون وسعت زیاد، زمین‌های حاصلخیز، تنوع آب و هوایی و داشتن

^۱ دانشیار اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، اهواز، ایران

(*نویسنده مسئول: bornareza@yahoo.com)

^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز،

اهواز، ایران

^۳ Moreno

^۴ saati

(۱۳۹۰) به بررسی شرایط اقلیمی مؤثر بر کشت نیشکر با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی در استان خوزستان پرداخت و نشان داد که در خوزستان شرایط اقلیمی مناسبی جهت کشت نیشکر به خصوص در مناطق شمالی وجود دارد. بیگ بابایی و آزادی مبارکی (۲۰۱۲) ضمن مکان‌یابی سایت مناسب کشت کلزای پاییزه بر اساس پتانسیل‌های اقلیمی با روش AHP در محیط GIS، چهار پهنه (دارای محدودیت زیاد، محدودیت متوسط، محدودیت کم و بدون محدودیت) را در استان اردبیل شناسایی نمودند. همچنین محققان دیگری نظیر (برتولینی^۱، ۲۰۰۶؛ باون^۲، ۱۹۹۰؛ مالک‌زوسکی^۳، ۲۰۰۰) مطالعات متعددی در این زمینه انجام داده‌اند. از آن‌جا که آگاهی از چگونگی تناسب و انطباق فعالیت‌های کشاورزی هر منطقه با شرایط آب و هوایی و فاکتورهای محیطی آن در قلمروهای جغرافیایی برای دستیابی به برنامه‌ریزی و توسعه کشاورزی ضروری است در پژوهش حاضر سعی شده است تا در قالب رویکرد سیستمی، قابلیت کشت مرکبات در اراضی استان خوزستان شناسایی و پهنه‌بندی گردد.

مواد و روش‌ها

استان خوزستان با وسعتی در حدود ۶۴۰۵۷ کیلومتر مربع در جنوب غربی ایران به مختصات ۴۷ درجه و ۳۱ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳۹ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ و ۲۹ درجه و ۵۸ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۴ دقیقه عرض شمالی از خط استوا قرار گرفته است. در این پژوهش در پایگاه داده اقلیمی، داده‌های بارش، دما، رطوبت نسبی، باد و ساعات آفتابی روزانه ۱۱ ایستگاه سینوپتیک خوزستان در یک دوره زمانی ۲۰ ساله (۱۹۸۱-۲۰۱۰) مورد بررسی قرار گرفت و در بخش پایگاه داده محیطی، لایه‌های مختلف اطلاعات توپوگرافی، استعداد اراضی و پوشش زمینی از سازمان‌های منابع طبیعی، جهاد کشاورزی و نقشه‌برداری استان تهیه گردید. به منظور تهیه نقشه زیرمعیارهای اقلیمی، پس از استخراج داده‌ها ابتدا تم نقطه‌ای ایستگاه‌ها در محیط GIS ایجاد گردید، سپس به وسیله اکستنشن Spatial Analyst و با استفاده از روش میان‌یابی وزن‌دهی معکوس فاصله با اندازه سلول ۲۵۰×۲۵۰ متر مربع، عملیات میان‌یابی

(۱۳۸۸). بازگیر (۱۳۷۸) به منظور تعیین پتانسیل اقلیمی زراعت گندم در استان کردستان از GIS بهره برده است و در نهایت استان کردستان را به پهنه‌بندی خیلی مناسب، مناسب، متوسط، ضعیف از لحاظ کشت گندم تقسیم‌بندی نموده است. فرج زاده و تکلو بیغش (۱۳۸۰) به ناحیه‌بندی اقلیمی کشاورزی استان همدان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی با تأکید بر گندم پرداخته‌اند. ایشان با استفاده از توابع سیستم اطلاعات جغرافیایی متناسب با قابلیت کشت گندم دریم، به لایه‌ها ارزش وزنی داده و سپس یک نقشه نهایی ترکیبی ترسیم نمودند و واحدهای همگن آگروکلیماتولوژی منطقه را شناسایی کردند. میرزا بیاتی (۱۳۸۳) با بررسی تشابه اقلیمی دشت نیشابور با نواحی زعفران خیز، امکان کشت این محصول در منطقه نیشابور را به لحاظ اقلیمی ثابت کرده است. ایشان با تلفیق نقشه‌های اقلیم، توپوگرافی، قابلیت اراضی، شبکه زهکشی و کیفیت آب، در نهایت نقشه نواحی مستعد کشت زعفران را در دشت نیشابور ارائه کرده است. محمدی (۱۳۸۶) در تحقیقی با عنوان کاربرد GIS در امکان‌سنجی کشت زیتون در استان اصفهان، عوامل و عناصر اقلیمی مؤثر بر کشت زیتون منطقه را بررسی نمودند. نتایج حاکی از عدم انطباق مکانی شرایط اقلیمی و محیطی استان جهت کشت زیتون بوده است. کمالی و همکاران (۱۳۸۷) به بررسی پتانسیل اقلیمی کشت گندم در استان آذربایجان شرقی پرداختند و با توجه به تاریخ آغاز بارش‌های پاییزی، برای هر منطقه از استان تاریخ کاشت پیشنهاد کرده‌اند. ایشان با استخراج نقشه‌های هم‌ارزش اقلیمی در محیط GIS، نقشه پهنه‌بندی اقلیمی کشت گندم استان را در ۴ کلاس بسیار مناسب، متوسط و ضعیف برای کشت گندم ترسیم کرده‌اند. قلی‌زاده (۱۳۷۸) در تحقیقی به بررسی پارامترهای اقلیمی مؤثر در کاشت زیتون در استان لرستان پرداخت. ایشان پس از بررسی ایستگاه‌ها و مقایسه آن‌ها با شرایط مورد نیاز کشت زیتون در ایستگاه رودبار، زمان دقیق کاشت و برداشت محصول و زمان‌های حداکثر رشد در مراحل مختلف فنولوژیکی را مشخص نمود. در تمام ایستگاه‌ها زمان کاشت از اوایل اسفند و زمان برداشت در نیمه دوم مهر پیشنهاد گردید. ضیائی‌ان فیروزآبادی (۱۳۸۹) به پهنه‌بندی آگروکلیمایی مرکبات در استان لرستان با استفاده از مدل همپوشانی شاخص و منطق فازی پرداختند و سه پهنه (بسیار مناسب، دارای قابلیت متوسط و نامناسب) برای کشت مرکبات در لرستان شناسایی کردند. آل کثیر

¹ Bertolini

² Bowen

³ Malczewzki

ارتفاع، شیب و جهت شیب می‌باشد که پس از وزن‌دهی در محیط GIS مورد بررسی و تحلیل قرار می‌گیرند.

جدول ۱- مقایسه زوجی معیارهای لایه‌های اصلی در پهنه‌بندی اقلیمی کشاورزی کشت مرکبات

معیارها	اقلیم	توپوگرافی	استعداد اراضی و پوشش گیاهی	وزن
اقلیم	۱	۰/۷	۰/۵	۰/۷۳۱
توپوگرافی	-	۱	۰/۳	۰/۰۸۱
استعداد اراضی و پوشش زمین	-	-	۱	۰/۱۸۸

نرخ سازگاری = ۰/۰۶

زیرمعیارهای اقلیم

محاسبه و بررسی وزن زیرمعیارهای اقلیمی (دما، درجه-روز، بارش، ساعات آفتابی، رطوبت نسبی و سرعت باد) نشان داد که دما با وزن ۰/۳۹۱ مهم‌ترین و سرعت باد با وزن ۰/۰۳۹ کم‌اهمیت‌ترین زیرمعیارها محسوب می‌شوند و به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین تأثیر اقلیم را در پهنه‌بندی اقلیمی کشاورزی کشت مرکبات استان خوزستان آشکار می‌سازند (جدول ۲).

جدول ۲- مقایسه زوجی زیرمعیارهای اقلیمی

زیرمعیارهای اقلیمی	دما	درجه-روز	بارش	ساعات آفتابی	رطوبت نسبی	سرعت باد	وزن
دما	۱	۰/۳	۰/۴	۰/۴	۰/۳	۰/۵	۰/۳۹۱
درجه-روز	-	۱	۰/۲	۰/۳	۰/۳	۰/۵	۰/۲۱۶
بارش	-	-	۱	۰/۴	۰/۳	۰/۵	۰/۱۸۲
ساعات آفتابی	-	-	-	۱	۰/۳	۰/۳	۰/۰۹۹
رطوبت نسبی	-	-	-	-	۱	۰/۳	۰/۰۷۴
سرعت باد	-	-	-	-	-	۱	۰/۰۳۹

نرخ ناسازگاری = ۰/۰۹

دما: مرکبات به طور ماهیانه نیاز به ۱۸۰ ساعت مجموعه حرارتی دارد. دماهای بین ۹ تا ۳۸ درجه سانتی‌گراد نقش مؤثری در جوانه‌زنی بذرها و مرکبات دارد. مفهوم فیزیولوژی سازگاری به سرما در مرکبات به‌عنوان یک اصل مهم مورد بررسی قرار گرفته است. درختان مرکبات مقاوم به یخبندان نیستند و میوه‌های مرکبات در دمای ۲- الی ۳/۹- درجه سانتی‌گراد به مدت چند ساعت صدمه می‌بیند (جدول ۳). دامنه دمایی استان خوزستان بین ۲۱ تا ۲۶ درجه سانتی‌گراد است. با توجه به دامنه دمایی مناسب برای کاشت مرکبات، این لایه به ۴ کلاس طبقه‌بندی شد و وزن هر طبقه

انجام شد. برای تهیه نقشه زیر معیارهای توپوگرافی، استعداد اراضی و پوشش زمینی نیز از مدل رقومی ارتفاع منطقه به کمک اکستنشن Spatial Analyst در محیط GIS استفاده گردید. در ادامه با هدف شناخت و پهنه‌بندی نواحی مستعد کشت مرکبات در خوزستان از نظر شرایط اقلیمی و محیطی، پس از محاسبه وزن نهایی هر یک از لایه‌ها (زیرمعیارها) در قالب مدل فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، از قابلیت‌های نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) به منظور تلفیق و همپوشانی نقشه‌ها استفاده شد و در نهایت نقشه پهنه‌بندی اقلیمی کشاورزی کشت مرکبات استان تهیه گردید. شکل ۱ مراحل انجام پژوهش را نشان می‌دهد.



شکل ۱- مراحل انجام تحقیق و نمودار چگونگی تصمیم‌گیری برای اولویت‌بندی مکان‌های مناسب کشت مرکبات

نتایج و بحث

وزن معیارها

با توجه به اهمیت معیارها در مقابل یکدیگر نسبت به هدف، مقایسه زوجی معیارهای اصلی در پهنه‌بندی اقلیمی کشاورزی کشت مرکبات انجام گرفت و وزن معیارها تعیین گردید (جدول ۱). بر این اساس معیار اقلیم با وزن ۰/۷۳۱، مهم‌ترین معیار مؤثر در پهنه‌بندی کشت مرکبات می‌باشد. اهمیت و تأثیرگذاری اقلیم در قالب زیر معیارهای دما، درجه-روز، بارش، ساعات آفتابی، رطوبت نسبی و سرعت باد مورد بررسی قرار می‌گیرد. دومین معیار تأثیرگذار در پهنه‌بندی، استعداد اراضی و پوشش زمین با وزن ۰/۱۸۸ است که شامل زیر معیارهای خاک و فاصله از رودخانه‌ها می‌باشد. معیار توپوگرافی با وزن ۰/۰۸۱ دارای زیرمعیارهای

محاسبه شد (جدول ۴). بر این اساس کلاس ۱ بیشترین وزن (۰/۱۳۶) را دارد و کلاس ۴ کمترین وزن (۰/۰۱۸) را به خود اختصاص داده است. بر این اساس مناطق شرقی استان شرایط دمایی مناسبتری برای کشت مرکبات دارند.

جدول ۳- مقایسه زوجی و وزن محاسبه شده گزینه‌های دما

گزینه‌های دما	۱-۲	۱-۳	۱-۴	۲-۳	۲-۴	۳-۴
۲۱-۲۳	۱	۰/۳	۰/۲	۰/۵	۰/۴۷۵	
۲۳-۲۴	-	۱	۰/۳	۰/۵	۰/۲۹۸	
۲۴-۲۵	-	-	۱	۰/۳	۰/۱۶۳	
۲۵-۲۶	-	-	-	۱	۰/۰۶۴	

نرخ ناسازگاری = ۰/۰۹

جدول ۴- مشخصات وزن‌های لایه دمای استان خوزستان با روش

AHP

ردیف	کلاس	وزن نرمال	مساحت (هکتار)	درصد به سطح استان
۱	۲۱-۲۳	۰/۱۳۶	۲۸۴۸۲۲/۸۲	۴/۴۳
۲	۲۳-۲۴	۰/۰۸۵	۵۴۸۶۵۶/۱۸	۸/۵۴
۳	۲۴-۲۵	۰/۰۴۷	۲۰۳۷۷۸۱/۱۲	۳۱/۷۳
۴	۲۵-۲۶	۰/۰۱۸	۳۵۵۰۸۶۵/۲۳	۵۵/۲۹

درجه- روز: این پارامتر با توجه به ویژگی‌هایی که دارد متأثر از عنصر دما می‌باشد و با افزایش میزان دما بر مقدار آن

افزوده شده و با کاهش دما از میزان آن کاسته می‌شود (جدول ۵). بر اساس مطالعات انجام شده و نظرات کارشناسان، این لایه به ۴ کلاس طبقه‌بندی شد و به هر طبقه وزنی اختصاص یافت. با توجه به جدول (۶)، کلاس ۱ با میزان ۴۸۱۰-۴۰۰۴ درجه- روز دارای بیشترین وزن (۰/۰۹۳) و کلاس ۴ با ۶۱۰۹-۵۶۴۱ درجه- روز دارای کمترین وزن (۰/۰۱۱) می‌باشد.

بارش: لایه بارش در ۴ کلاس مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۷). با توجه به جدول (۸)، کلاس ۳ با بارندگی ۴۷۵-۳۵۶ میلی‌متر دارای بیشترین وزن (۰/۰۷۵) و کلاس ۱ با بارش ۲۷۰-۱۶۴ میلی‌متر دارای کمترین وزن (۰/۰۱۰) می‌باشد. بر این اساس شرایط بارشی مناسب کشت مرکبات در شرق و شمال استان فراهم است.

ساعات آفتابی: لایه ساعات آفتابی منطقه به ۴ کلاس طبقه‌بندی شد (جدول ۹). بررسی‌ها نشان داد که بیشترین و کمترین وزن به ترتیب متعلق به کلاس ۱ با مجموع ساعات آفتابی ۲۹۴۴-۲۷۹۸ و وزن (۰/۰۳۸) و کلاس ۴ با مجموع ساعات آفتابی ۳۲۷۰-۳۱۶۲ و وزن (۰/۰۰۵) می‌باشد (جدول ۱۰). مناسبترین شرایط آفتابی کشت مرکبات در شمال استان فراهم است.

جدول ۵- مقایسه زوجی و وزن محاسبه شده گزینه‌های درجه- روز

گزینه‌های درجه- روز	۴۰۰۴-۴۸۱۰	۴۸۱۰-۵۳۱۲	۵۳۱۲-۵۶۴۱	۵۶۴۱-۶۱۰۹	وزن	نرخ ناسازگاری
۴۰۰۴-۴۸۱۰	۱	۰/۴	۰/۵	۰/۶	۰/۵۸۸	
۴۸۱۰-۵۳۱۲	-	۱	۰/۴	۰/۵	۰/۲۶۰	۰/۰۷
۵۳۱۲-۵۶۴۱	-	-	۱	۰/۱	۰/۰۸۰	
۵۶۴۱-۶۱۰۹	-	-	-	۱	۰/۰۷۲	

جدول ۶- مشخصات وزن‌های لایه درجه- روز استان خوزستان با روش AHP

ردیف	کلاس	وزن نرمال	مساحت (هکتار)	درصد به سطح استان
۱	۴۰۰۴-۴۸۱۰	۰/۰۹۳	۳۲۷۷۸۹/۰۶	۵/۱
۲	۴۸۱۰-۵۳۱۲	۰/۰۴۱	۱۵۲۵۷۱۶/۵۱	۲۳/۷۵
۳	۵۳۱۲-۵۶۴۱	۰/۰۱۳	۴۲۹۷۰۴۱/۳۹	۶۶/۹۱
۴	۵۶۴۱-۶۱۰۹	۰/۰۱۱	۲۷۱۵۶۷/۸۶	۴/۲۳

جدول ۷- مقایسه زوجی و وزن محاسبه شده گزینه‌های بارش

گزینه‌های بارش	۱۶۴-۲۷۰	۲۷۰-۳۵۶	۳۵۶-۴۷۵	۴۷۵-۶۴۹	وزن	نرخ ناسازگاری
۱۶۴-۲۷۰	۱	۰/۲	۰/۵	۰/۴	۰/۰۷۳	
۲۷۰-۳۵۶	-	۱	۰/۴	۰/۳	۰/۱۱۶	۰/۰۷
۳۵۶-۴۷۵	-	-	۱	۰/۴	۰/۵۶۷	
۴۷۵-۶۴۹	-	-	-	۱	۰/۲۴۵	

جدول ۸- مشخصات وزن‌های لایه بارش استان خوزستان با روش AHP

ردیف	کلاس	وزن نرمال	مساحت (هکتار)	درصد به سطح استان
۱	۱۶۴-۲۷۰	۰/۰۱۰	۲۵۰۱۴۱۷/۳۴	۳۸/۹۵
۲	۲۷۰-۳۵۶	۰/۰۱۵	۲۷۲۶۷۶۹/۴۳	۴۲/۴۵
۳	۳۵۶-۴۷۵	۰/۰۷۵	۸۴۲۶۳۰/۲۲	۱۳/۱۲
۴	۴۷۵-۶۴۹	۰/۰۳۳	۳۵۱۳۵۳/۸۶	۵/۴۷

سرعت باد: لایه سرعت باد خوزستان به ۴ کلاس طبقه‌بندی گردید. هر چه سرعت باد بیش‌تر باشد وزن کم‌تری را به خود اختصاص می‌دهد. جدول (۱۴) نشان می‌دهد که کلاس ۱ با سرعت باد ۳/۷-۲/۵ نات، بیش‌ترین وزن (۰/۰۱۵) را دارد و کلاس ۴ با سرعت باد ۷/۴-۵/۶ نات، کم‌ترین وزن (۰/۰۰۳) را به خود اختصاص داده است.

رطوبت نسبی: لایه رطوبت نسبی استان در ۴ کلاس طبقه‌بندی شد (جدول ۱۱). با توجه به جدول (۱۲)، کلاس ۴ با رطوبت نسبی ۵۱-۴۷ درصد بیش‌ترین وزن (۰/۰۲۵) و کلاس ۱ با رطوبت ۳۸-۴۲ درصد کم‌ترین وزن (۰/۰۰۵) را به خود اختصاص داده‌اند. بر این اساس بهترین شرایط رطوبتی مورد نیاز مرکبات در شمال و جنوب استان فراهم است.

جدول ۹- مقایسه زوجی و وزن محاسبه شده گزینه‌های ساعات آفتابی

گزینه‌های ساعات آفتابی	۲۷۹۸-۲۹۴۴	۳۰۶۰-۲۹۴۴	۳۱۶۲-۳۰۶۰	۳۱۶۲-۳۲۷۰	وزن	نرخ ناسازگاری
۲۷۹۸-۲۹۴۴	۱	۰/۳	۰/۴	۰/۵	۰/۵۲۵	۰/۰۷
۲۹۴۴-۳۰۶۰	-	۱	۰/۴	۰/۵	۰/۲۹۹	
۳۰۶۰-۳۱۶۲	-	-	۱	۰/۲	۰/۱۰۸	
۳۱۶۲-۳۲۷۰	-	-	-	۱	۰/۰۶۹	

جدول ۱۰- مشخصات وزن‌های لایه ساعات آفتابی استان خوزستان با روش AHP

ردیف	کلاس	وزن نرمال	مساحت (هکتار)	درصد به سطح استان
۱	۲۷۹۸-۲۹۴۴	۰/۰۳۸	۲۸۰۷۸۱/۴۶	۴/۴۷
۲	۲۹۴۴-۳۰۶۰	۰/۰۲۲	۴۷۱۸۴۵/۳۱	۷/۳۴
۳	۳۰۶۰-۳۱۶۲	۰/۰۰۸	۱۳۳۹۹۸۱/۶۰	۲۰/۸۶
۴	۳۱۶۲-۳۲۷۰	۰/۰۰۵	۴۳۲۳۲۳۳/۶۳	۶۷/۳۲

جدول ۱۱- مقایسه زوجی و وزن محاسبه شده گزینه‌های رطوبت نسبی

گزینه‌های رطوبت نسبی	۳۸-۴۲	۴۲-۴۴	۴۴-۴۴	۴۴-۴۷	وزن	نرخ ناسازگاری
۳۸-۴۲	۱	۰/۲	۰/۳	۰/۴	۰/۰۹۵	۰/۰۱
۴۲-۴۴	-	۱	۰/۲	۰/۳	۰/۱۶۰	
۴۴-۴۷	-	-	۱	۰/۲	۰/۳۷۷	
۴۷-۵۱	-	-	-	۱	۰/۴۶۷	

جدول ۱۲- مشخصات وزن‌های لایه رطوبت نسبی استان خوزستان با روش AHP

ردیف	کلاس	وزن نرمال	مساحت (هکتار)	درصد به سطح استان
۱	۳۸-۴۲	۰/۰۰۵	۲۲۸۴۸۸۴/۷۳	۳۵/۵۷
۲	۴۲-۴۴	۰/۰۰۹	۲۷۱۲۴۴۹/۹۷	۴۲/۲۳
۳	۴۴-۴۷	۰/۰۱۵	۱۰۵۹۳۷۲/۷۹	۱۶/۴۹
۴	۴۷-۵۱	۰/۰۲۵	۳۶۵۴۸۷/۰۱	۵/۷

جدول ۱۳- مقایسه زوجی و وزن محاسبه شده گزینه‌های سرعت باد

گزینه‌های سرعت باد	۲/۵-۳/۷	۳/۷-۴/۶	۴/۶-۵/۶	۵/۶-۷/۴	وزن	نرخ ناسازگاری
۲/۵-۳/۷	۱	۰/۳	۰/۴	۰/۵	۰/۵۳۸	۰/۰۴
۳/۷-۴/۶	-	۱	۰/۳	۰/۴	۰/۲۷۱	
۴/۶-۵/۶	-	-	۱	۰/۱	۰/۱۰۱	
۵/۶-۷/۴	-	-	-	۱	۰/۰۸۹	

جدول ۱۴- مشخصات وزن های لایه سرعت باد استان خوزستان با روش AHP

ردیف	کلاس	وزن نرمال	مساحت (هکتار)	درصد به سطح استان
۱	۲/۵-۳/۷	۰/۰۱۵	۵۳۳۸۸۴/۰۶	۸/۳۱
۲	۳/۷-۴/۶	۰/۰۰۸	۲۵۴۹۷۴۵/۳۸	۲۹/۷۰
۳	۴/۶-۵/۶	۰/۰۰۳	۲۰۴۸۲۶۹/۱۸	۲۱/۸۹
۴	۵/۶-۷/۴	۰/۰۰۳	۱۲۹۰۲۶۳/۷۶	۲۰/۱

زیرمعیارهای توپوگرافی

محاسبه و بررسی وزن زیر معیارهای توپوگرافی (ارتفاع، شیب و جهت شیب) نشان داد که ارتفاع با وزن ۰/۶۷۴ مهم ترین و جهت شیب با وزن ۰/۱۰۱ کم اهمیت ترین زیرمعیارها محسوب می شوند و به ترتیب بیشترین و کمترین تأثیر معیار توپوگرافی را در پهنه بندی اقلیمی کشاورزی کشت مرکبات خوزستان دارند (جدول ۱۵).

ارتفاع: ارتفاع مناسب برای کشت مرکبات کم تر از ۱۵۰۰ متر می باشد. لایه ارتفاع به ۴ کلاس طبقه بندی گردید (جدول ۱۶). بررسی ها نشان داد که کلاس ۱ با ارتفاع ۵۰۰-۰ متر بیشترین وزن (۰/۰۲۴) را دارد و کلاس ۴ با

ارتفاع بیش از ۱۵۰۰ متر کمترین وزن (۰/۰۰۳) را به خود اختصاص داده است (جدول ۱۷). بر این اساس به غیر از مناطق کوهستانی مرتفع زاگرس، اکثر مناطق استان برای کشت مرکبات مساعد است (شکل ۲).

لایه شیب: مناسب ترین شیب برای کشت درختان مرکبات، شیب کم تر از ۳۰ درصد می باشد. این لایه با توجه به اهمیتی که در کشت مرکبات دارد به ۴ کلاس طبقه بندی شد (جدول ۱۸). بررسی ها نشان داد که کلاس ۲ با شیب ۵-۱۰ درصد، بیشترین وزن (۰/۰۰۳) و کلاس ۴ با شیب بیش از ۱۵ درصد، کمترین وزن (۰/۰۰۱) را به خود اختصاص داده است (جدول ۱۹ و شکل ۳).

جدول ۱۵- مقایسه زوجی زیرمعیارهای توپوگرافی

زیرمعیارهای توپوگرافی	ارتفاع	شیب	جهت شیب	وزن	نرخ ناسازگاری
ارتفاع	۱	۰/۴	۰/۵	۰/۶۷۴	
شیب	-	۱	۰/۳	۰/۲۲۶	۰/۰۸
جهت شیب	-	-	۱	۰/۱۰۱	

جدول ۱۶- مقایسه زوجی و وزن محاسبه شده گزینه های ارتفاع

گزینه های ارتفاع	۰-۵۰۰	۵۰۰-۱۰۰۰	۱۰۰۰-۱۵۰۰	> ۱۵۰۰	وزن	نرخ ناسازگاری
۰-۵۰۰	۱	۰/۲	۰/۳	۰/۶	۰/۴۴۹	
۵۰۰-۱۰۰۰	-	۱	۰/۴	۰/۶	۰/۳۴۹	۰/۰۹
۱۰۰۰-۱۵۰۰	-	-	۱	۰/۵	۰/۱۵۱	
> ۱۵۰۰	-	-	-	۱	۰/۰۵۰	

جدول ۱۷- مشخصات وزن های لایه ارتفاع استان خوزستان با روش AHP

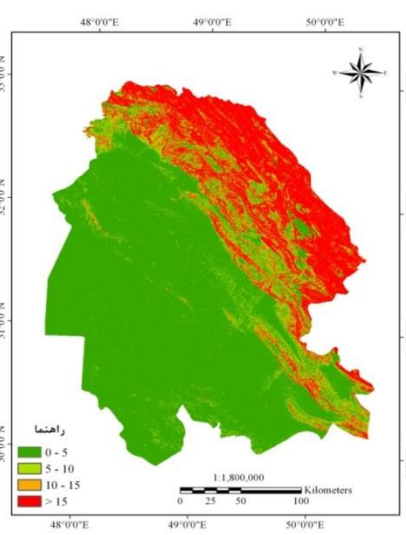
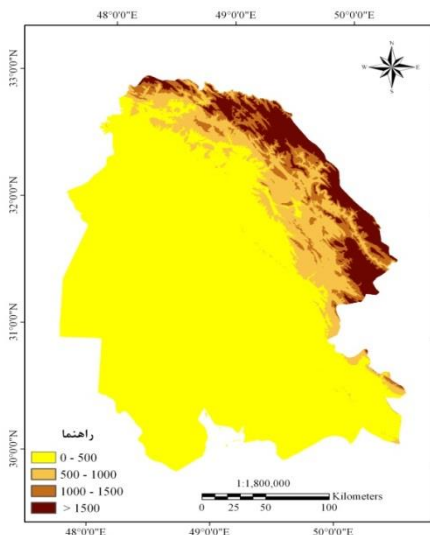
ردیف	کلاس	وزن نرمال	مساحت (هکتار)	درصد به سطح استان
۱	۰-۵۰۰	۰/۰۲۴	۳۸۰۱۱۱/۵۳	۰/۶۳
۲	۵۰۰-۱۰۰۰	۰/۰۱۹	۳۶۸۸۵۹/۷۲	۶/۱۲
۳	۱۰۰۰-۱۵۰۰	۰/۰۰۸	۷۰۳۳۴۷/۷۷	۱۱/۶۷
۴	> ۱۵۰۰	۰/۰۰۳	۴۹۱۶۲۲۸/۳۱	۸۱/۵۸

جدول ۱۸- مقایسه زوجی و وزن محاسبه شده گزینه های شیب

گزینه های شیب	۰-۵	۵-۱۰	۱۰-۱۵	> ۱۵	وزن	نرخ ناسازگاری
۰-۵	۱	۰/۲	۰/۳	۰/۳	۰/۱۷۱	
۵-۱۰	-	۱	۰/۳	۰/۵	۰/۴۷۷	۰/۰۹
۱۰-۱۵	-	-	۱	۰/۳	۰/۲۷۷	
> ۱۵	-	-	-	۱	۰/۰۷۵	

جدول ۱۹- مشخصات وزن‌های لایه شیب استان خوزستان با روش AHP

ردیف	کلاس	وزن نرمال	مساحت (هکتار)	درصد به سطح استان
۱	۰-۵	۰/۰۰۳	۴۲۱۹۰۹۷/۰۷	۶۶/۰۱
۲	۵-۱۰	۰/۰۰۹	۵۵۲۱۱۳/۷۲	۸/۶۴
۳	۱۰-۱۵	۰/۰۰۵	۲۹۸۶۸۵/۱۷	۴/۶۷
۴	>۱۵	۰/۰۰۱	۱۳۲۱۷۶۸/۷۸	۲۰/۶۸



شکل ۴- نقشه طبقه‌بندی ارتفاع خوزستان با روش AHP

شکل ۳- نقشه طبقه‌بندی شیب استان خوزستان با روش AHP

زیرمعیارهای استعداد اراضی و پوشش زمین: محاسبه و بررسی وزن زیر معیارهای استعداد اراضی و پوشش زمین (خاک و فاصله از رودخانه‌ها) نشان داد که خاک (با وزن ۰/۸۳۳) نسبت به زیر معیار فاصله از رودخانه‌ها (با وزن ۰/۱۶۷) تأثیر بیشتری در کشت مرکبات خوزستان دارد (جدول ۲۲ و شکل ۴).

لایه جهت شیب: طبقه‌بندی جهت شیب خوزستان در ۴ کلاس انجام شد (جدول ۲۰). کلاس ۳ با جهت شیب جنوب شرقی، جنوب و جنوب غربی بیش‌ترین وزن (۰/۰۰۴) و کلاس‌های ۲ و ۴ با جهت شیب شرقی و غربی کم‌ترین وزن (۰/۰۰۱) را به خود اختصاص داده و بهترین شرایط را برای کشت مرکبات فراهم می‌سازند (جدول ۲۱).

جدول ۲۰- مقایسه زوجی و وزن محاسبه شده گزینه‌های جهت شیب

نرخ ناسازگاری	وزن	غرب	جنوب غربی	جنوب شرقی، شرق	شمال، شمال شرقی، مسطح	گزینه‌های شیب
۰/۰۶	۰/۲۲۶	۰/۲	۰/۴	۰/۳	۱	مسطح، شمال، شمال شرقی
	۰/۱۱۷	۰/۱	۰/۳	۱	-	شرق
	۰/۵۴۱	۰/۴	۱	-	-	جنوب شرقی، جنوب، جنوب غربی
	۰/۱۱۵	۱	-	-	-	غرب

جدول ۲۱- مشخصات وزن‌های لایه جهت شیب استان خوزستان با روش AHP

ردیف	کلاس	وزن نرمال	مساحت (هکتار)	درصد به سطح استان
۱	مسطح، شمال، شمال شرقی	۰/۰۰۲	۱۵۲۰۶۲۲/۷۳	۲۳/۷۹
۲	شرق	۰/۰۰۱	۲۲۷۵۲۳۸/۳۷	۳۵/۵۹
۳	جنوب شرقی، جنوب، جنوب غربی	۰/۰۰۴	۱۰۱۸۹۲۳/۹۷	۱۵/۹۴
۴	غرب	۰/۰۰۱	۱۵۷۶۷۶۰/۵۸	۲۴/۶۷

جدول ۲۲- مقایسه زوجی زیرمعیارهای استعداد اراضی و پوشش زمین

نرخ ناسازگاری	وزن	فاصله از رودخانه‌ها	خاک	زیرمعیارهای استعداد اراضی و پوشش زمین
۰/۰۰	۰/۸۳۳	۰/۵	۱	خاک
	۰/۱۶۷	۱	-	فاصله از رودخانه‌ها

مناسبترین خاک جهت احداث باغ مرکبات می‌باشد. طبقه‌بندی خاک‌های استان در ۴ کلاس انجام شد (جدول ۲۳). در جدول (۲۴) مشخصات وزن انواع خاک‌های استان نسبت به کشت مرکبات آمده است.

لایه خاک: خاک در پرورش مرکبات از نظر فعالیت‌های ریشه‌ای و جذب مواد غذایی نقش مهمی ایفا می‌کند. بهترین خاک برای مرکبات خاکی است که PH آن ۵ تا ۷ باشد. خاک‌های سبک (شنی-رسی) همراه با کود گیاهی،

جدول ۲۳- مقایسه زوجی و وزن محاسبه شده گزینه‌های خاک

نرخ ناسازگاری	وزن	Miscellaneous soils	Inceptisol	Entisols	Aridisols	گزینه‌های خاک
	۰/۰۸۳	۰/۲	۰/۵	۰/۳	۱	Aridisols
۰/۰۵	۰/۲۶۵	۰/۳	۰/۳	۱	-	Entisols
	۰/۵۱۶	۰/۳	۱	-	-	Inceptisol
	۰/۱۳۶	۱	-	-	-	Miscellaneous soils

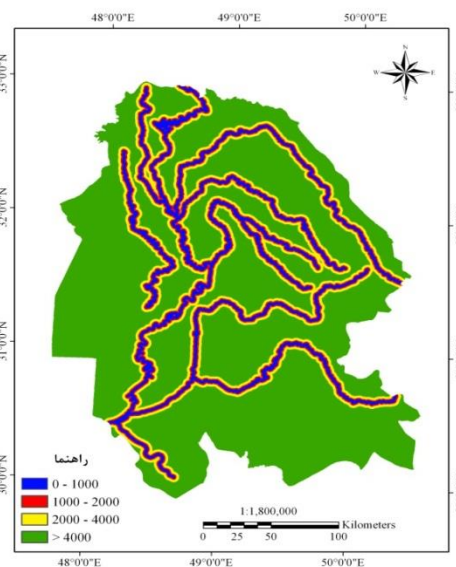
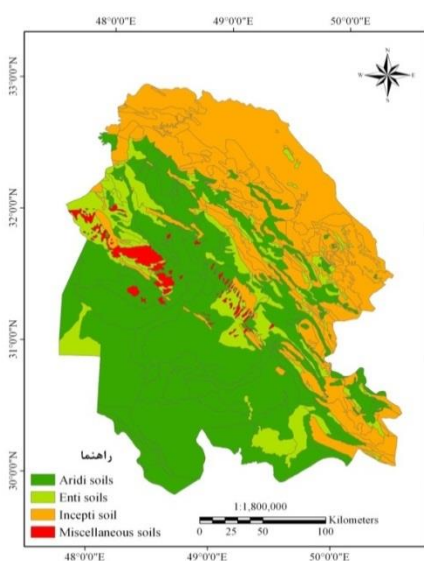
نزدیکی مکان کشت این محصولات به آب‌های سطحی از جمله رودخانه‌های خوزستان که بخش اعظم آن‌ها دائمی می‌باشند می‌تواند کمک شایانی هم در افزایش بازدهی و هم در کاهش هزینه‌های آبیاری کند. طبقه‌بندی فاصله از رودخانه‌های استان در ۴ کلاس انجام شد (جدول ۲۵). بررسی‌ها نشان داد که فواصل ۱۰۰۰-۰ متر دارای بیشترین وزن و در کلاس ۱ جای دارند، فواصل بالای ۴۰۰۰ متر کمترین وزن به را به خود اختصاص داده‌اند (جدول ۲۶ و شکل ۵).

بر این اساس خاک‌های رده Inceptisol با وزن (۰/۰۸۱) مرغوب‌ترین خاک برای کشت مرکبات می‌باشد و خاک‌های Aridisols با وزن (۰/۰۱۳) دارای کمترین ارزش می‌باشند (شکل ۴).

لایه فاصله از رودخانه‌ها: مرکبات در تمامی مراحل رشد و نمو علاوه بر بهره‌گیری از بارش‌های جوی نیاز مبرم به آبیاری دارند، در نتیجه باید در مکان‌هایی کشت شوند که اولاً دسترسی به آب‌های سطحی ممکن باشد و ثانیاً سطح آب‌های زیرزمینی به اندازه کافی بالا باشد (امانی، ۱۳۷۸).

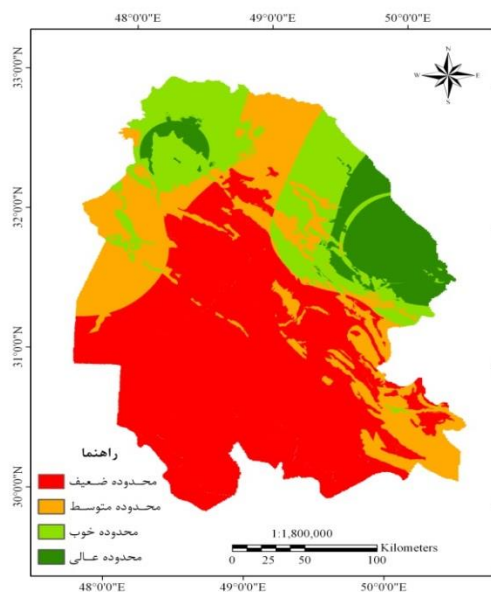
جدول ۲۴- مشخصات وزن‌های لایه خاک استان خوزستان با روش AHP

ردیف	کلاس	وزن نرمال	مساحت (هکتار)	درصد به سطح استان
۱	Aridisols	۰/۰۱۳	۳۳۲۷۳۳۱/۹۱	۵۱/۹۴
۲	Entisols	۰/۰۴۱	۱۲۲۵۳۸/۶۱	۱/۹۱
۳	Inceptisol	۰/۰۸۱	۷۸۴۶۷۱/۷۶	۱۲/۲۴
۴	Miscellaneous soils	۰/۰۲۱	۲۱۷۱۵۰۹/۱۰	۳۳/۹۰



شکل ۶- طبقه‌بندی خاک خوزستان با روش AHP

شکل ۵- طبقه‌بندی فاصله از رودخانه‌های خوزستان با روش AHP



شکل ۶- نقشه مناطق مستعد کشت مرکبات استان خوزستان با روش AHP

نتیجه‌گیری

در این پژوهش به منظور تهیه نقشه زیر معیارهای اقلیمی، پس از استخراج داده‌ها ابتدا تم نقطه‌ای ایستگاه‌ها در محیط GIS ایجاد گردید، سپس به وسیله اکستنشن Spatial Analyst و با استفاده از روش میان‌یابی وزن‌دهی معکوس فاصله با اندازه سلول 250×250 متر مربع، عملیات میان‌یابی انجام شد. برای تهیه نقشه زیرمعیارهای توپوگرافی، استعداد اراضی و پوشش زمینی نیز از مدل رقومی ارتفاع منطقه به کمک اکستنشن Spatial Analyst در محیط GIS استفاده گردید. در ادامه با هدف شناخت و پهنه‌بندی نواحی مستعد کشت مرکبات در خوزستان از نظر شرایط اقلیمی و محیطی، پس از محاسبه وزن نهایی هر یک از لایه‌ها (زیر معیارها) در قالب مدل فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، از قابلیت‌های نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) به منظور تلفیق و همپوشانی نقشه‌ها استفاده شد و در نهایت نقشه پهنه‌بندی اقلیمی کشاورزی کشت مرکبات استان تهیه گردید. این پژوهش نشان داد که روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی به عنوان ابزاری سودمند، توانایی شناسایی و تفکیک مناطق مستعد کشت مرکبات استان خوزستان را دارد. اجرای این روش آشکار نمود که اقلیم با وزن 0.731 ، مهم‌ترین معیار در پهنه‌بندی کشت مرکبات خوزستان است و دما، بارش، درجه-روز، ارتفاع و خاک نیز مهم‌ترین زیرمعیارها می‌باشند. همچنین اقلیم کشاورزی

جدول ۲۵- مقایسه زوجی و وزن محاسبه شده گزینه‌های

فاصله از رودخانه‌ها				
گزینه‌های فاصله از رودخانه‌ها	۰-۱۰۰۰	۱۰۰۰-۲۰۰۰	۲۰۰۰-۴۰۰۰	>۴۰۰۰
۰-۱۰۰۰	۱	۰/۳	۰/۴	۰/۵۲۹
۱۰۰۰-۲۰۰۰	-	۱	۰/۳	۰/۲۶۸
۲۰۰۰-۴۰۰۰	-	-	۱	۰/۱۳۴
>۴۰۰۰	-	-	-	۰/۰۶۸

نرخ ناسازگاری = ۰/۰۷

جدول ۲۶- مشخصات وزن‌های لایه فاصله از رودخانه‌های

استان خوزستان با روش AHP				
ردیف	کلاس	وزن نرمال	مساحت (هکتار)	درصد به سطح استان
۱	۰-۱۰۰۰	۰/۰۱۷	۵۳۶۳۲۷/۲۰	۸/۳۶
۲	۱۰۰۰-۲۰۰۰	۰/۰۰۸	۴۲۹۸۷۷/۶۸	۶/۷
۳	۲۰۰۰-۴۰۰۰	۰/۰۰۴	۷۹۲۷۶۱/۲۴	۱۲/۳۶
۴	>۴۰۰۰	۰/۰۰۲	۴۶۵۲۵۸۲/۰۴	۷۲/۵۶

تلفیق لایه‌های اطلاعاتی

تلفیق و هم‌پوشانی نقشه‌های لایه‌های اطلاعاتی زیرمعیارهای مؤثر در پهنه‌بندی آگروکلیمای کشت مرکبات خوزستان به کمک GIS نشان داد که نقشه حاصله در ۴ کلاس اهمیت (محدوده ضعیف، محدوده متوسط، محدوده خوب و محدوده عالی) طبقه‌بندی می‌شود. محدوده عالی برای کشت مرکبات در مناطق شمال، شمال شرقی و شرق استان خوزستان، با مساحتی بالغ بر $614228/33$ هکتار و مناطق محدودیت‌دار استان با پتانسیل ضعیف در محدوده‌های جنوب، جنوب غربی، جنوب شرقی و مرکز با مساحتی بالغ بر $3237392/92$ هکتار قرار می‌گیرند (جدول ۲۷ و شکل ۶).

جدول ۲۷- میزان استعداد اراضی استان خوزستان برای کشت

مرکبات با روش AHP			
ردیف	قابلیت اراضی کشت مرکبات	مساحت (هکتار)	درصد به سطح استان
۱	ضعیف	۳۲۳۷۳۹۲/۹۲	۱۵/۸۵
۲	متوسط	۱۴۶۲۸۹۱/۶۳	۱۰/۸۴
۳	خوب	۱۰۶۶۴۸۴/۹۲	۱۵/۹۲
۴	عالی	۶۱۴۲۲۸/۳۳	۵۷/۳۷

قلی‌زاده، م. ۱۳۷۸. بررسی پارامترهای اقلیمی مؤثر در کاشت زیتون استان لرستان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی، دانشگاه تربیت معلم تهران.

کمالی، غ. صدقیانی پور، ع. صداقت کردار، ع. عسگری، ا. ۱۳۸۷. بررسی پتانسیل اقلیمی کشت گندم دیم در استان آذربایجان شرقی. نشریه آب و خاک، ۲۲ (۲): ۴۸۳-۴۶۷.

محمدی، ح. ۱۳۸۵. آب و هواشناسی کاربردی، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ اول، ۲۵۹ صفحه.

محمدی، ح. ۱۳۸۶. کاربرد GIS در امکان‌سنجی کشت زیتون در استان خوزستان. نشریه پژوهش و سازندگی در زراعت و باغبانی، ۲۰ (۱): ۱۳۳-۱۲۳.

میرزا بیاتی، ر. ۱۳۸۳. بررسی نواحی مستعد کشت زعفران در دشت نیشابور با استفاده از GIS و RS. پایان‌نامه کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی، دانشگاه تربیت مدرس.

Beigbabayi, B., Azadi Mobaraki, M. 2012. Using AHP Modeling and GIS to Evaluate the Suitability of Site with Climatic Potential for Cultivation of Autumn Canola in Ardabil Province. *Ann. Biol. Res.*, 3(5): 2307-2317

Bertolini, M. 2006. Application of the AHP methodology in making a proposal for a public work contract, 17 January.

Bowen, W. M. 1990. Subjective judgments and data environment analysis in site selection. *Comp. Environ. Urban Syst.*, 14: 133-144.

Malczewski, J. 2000. On the Use of Weighted Linear Combination Method in GIS: Common and Best Practice Approaches. *Transactions in GIS*, 4 (1): 5-22.

Moreno, J. 2005. A spreadsheet module for consistent consensus building in AHP- group decision making. *Group Decision and Negotiation*, (14): 89-108.

Saati, T. L. 1980. *The Analytical Hierarchy Process*. McGraw Hill, New York: 350 pages.

Saati, T. L. 2000. *Fundamentals of decision making and priority theory: 2nd Ed.*, PA: RWS Pub , Pittsburgh.

کشت مرکبات خوزستان در ۴ کلاس اهمیت (ضعیف، متوسط، خوب و عالی) پهنه‌بندی می‌شود. مناطق شمالی و شرقی استان از شرایط خوب تا عالی جهت کشت مرکبات برخوردار است و مناطق محدودیت‌دار استان با پتانسیل ضعیف، بخش‌های جنوبی، مرکزی و غربی را در بر می‌گیرند.

منابع

آل کثیر، ا. ۱۳۹۰. مطالعه و بررسی شرایط اقلیمی مؤثر بر کشت نیشکر با استفاده از تکنیک GIS در استان خوزستان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز.

امانی، ح. ۱۳۷۸. اقلیم کشاورزی گندم دیم مطالعه موردی شهرستان مریوان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی (اقلیم‌شناسی در برنامه‌ریزی محیطی)، دانشگاه شهید بهشتی.

بازگیر، س. ۱۳۷۸. بررسی پتانسیل اقلیمی کشت گندم دیم (مطالعه موردی: استان کردستان)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی، دانشگاه تهران.

ضیائی‌ان فیروزآبادی، پ. ۱۳۸۹. پهنه‌بندی آگروکلیمای مرکبات در استان لرستان با استفاده از مدل همپوشانی و منطق فازی و مقایسه مدل‌ها. نشریه جغرافیایی آمایش، ۳ (۸): ۵۴-۲۱.

علیزاده، ا. ۱۳۹۱. ناحیه‌بندی آگروکلیمای کشت مرکبات در استان خوزستان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز.

فرج زاده، م.، تک‌لویغش، ع. ۱۳۸۰. ناحیه‌بندی آگروکلیمای استان همدان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی. نشریه پژوهش‌های جغرافیایی، ۱ (۴۱): ۹۳-۱۰۵.

قدسی پور، ح. ۱۳۸۸. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی AHP. انتشارات دانشگاه امیر کبیر، ۲۳۶ صفحه.



چشم‌انداز زمان وقوع یخبندان های زودرس پاییزه و دیررس بهاره تحت شرایط تغییر اقلیم با استفاده از مدل SDSM در چند ایستگاه منتخب در نیمه غربی ایران

زهرا آقاشریعتمداری^{۱*}، جواد بذرافشان^۲، سیده الهه صفایی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۷/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۴/۲۴

چکیده

در سال‌های اخیر، تغییر رفتار رویدادهای حدی اقلیمی (نظیر یخبندان‌های زودرس پاییزه و دیررس بهاره) به علت تغییر اقلیم مورد توجه محققان زیادی قرار گرفته است. هدف از این تحقیق، ارزیابی تغییرات تاریخ شروع و خاتمه یخبندان با استفاده از داده‌های مدل گردش عمومی جو HadCM3 است که با به‌کارگیری مدل SDSM تحت دو سناریوی A2 و B2 ریزمقیاس شده‌اند. برای این منظور، داده‌های روزانه ۴۰ ساله (۲۰۰۱-۱۹۶۱) دمای کمینه چهار ایستگاه منتخب نیمه غربی کشور شامل ایستگاه‌های اراک، زنجان، قزوین و سقز به عنوان اقلیم گذشته وارد مدل شدند و داده‌های دمای حداقل روزانه برای دوره ۴۰ ساله آینده (۲۰۵۱-۲۰۱۱) پیش‌بینی گردید. تاریخ‌های مربوط به اولین و آخرین یخبندان در سه آستانه دمایی خفیف، متوسط و شدید استخراج شدند. نتایج نشان داد که تاریخ یخبندان پاییزه در ایستگاه قزوین دیرتر و در ایستگاه سقز زودتر و تاریخ آخرین یخبندان بهاره در ایستگاه سقز دیرتر و در ایستگاه قزوین زودتر از گذشته نسبت به سایر ایستگاه‌ها پیش‌بینی شده است. در کل نتایج حاصل از مدل SDSM تحت هر دو سناریو در برآورد تاریخ وقوع یخبندان‌های زودرس و دیررس آینده اختلاف چندانی با یکدیگر نداشتند.

واژه‌های کلیدی: ایران، ریزمقیاس‌نمایی، یخبندان، SDSM، HadCM3

مقدمه

رویدادهای حدی نسبت به تغییر در شرایط متوسط جوی اغلب می‌تواند آثار زیادی بر اکوسیستم‌ها و جوامع بشری داشته‌باشد (وان‌استورچ و همکاران^۴، ۱۹۹۳). مشخصاً بروز و تشدید پدیده‌های حدی مثل طوفان‌های سهمگین، خشکسالی‌های شدید، یخبندان‌های نابهنگام و غیره، نتیجه تغییرات اقلیمی است که موجب برهم خوردن تعادل سیستماتیک سامانه اقلیم و بروز آشفتگی‌ها و ناهنجاری‌های رفتاری آن می‌شوند و بیش‌ترین تأثیر آن بر محیط‌های طبیعی و به‌خصوص گیاهان که قدرت و سرعت سازگاری اندکی دارند، می‌باشد (اسماعیلی و همکاران، ۱۳۹۰). از مهم‌ترین این رویدادها که تغییر اقلیم در ایجاد و تشدید و تغییرات آن نقش عمده‌ای را ایفا می‌کند، شاخص‌های خاص هواشناسی کشاورزی هستند که در ارتباط مستقیم با تولید و بازده محصولات کشاورزی می‌باشند. در این میان وقوع یخبندان به خصوص یخبندان‌های دیرهنگام و زودهنگام که به دلیل داشتن

بررسی روند تغییرات داده‌های آب و هوایی ثبت شده در دهه‌های گذشته و همچنین نتایج خروجی از مدل‌های اقلیمی پیش‌بینی‌کننده اقلیم، حاکی از بروز تغییرات غیرقابل اغماض در اقلیم جهانی است. در سال‌های اخیر توجه به تغییرات اقلیمی به‌علت پیامدهای اقتصادی، اجتماعی و خسارات مالی مربوط به رویدادهای حدی جوی، اهمیت زیادی پیدا کرده‌است. رویدادهای اقلیمی حدی، پدیده‌هایی هستند که از نظر شدت و فراوانی کمیاب هستند و از آنجایی که اکوسیستم‌ها و ساختارهای فیزیکی جوامع انسانی با شرایط اقلیمی بهنجار تنظیم شده‌اند، در زمان رخداد این پدیده‌ها، به ندرت می‌توانند خود را تجهیز و آماده کنند، در نتیجه تغییر در زمان وقوع

^۱ استادیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران
(**نویسنده مسئول: zaghera@ut.ac.ir)

^۲ دانشیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران

^۳ دانشجوی کارشناسی ارشد هواشناسی کشاورزی، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران

همکاران (۱۳۸۹) تغییرات یخبندان‌های دیرهنگام خراسان رضوی در دوره اقلیمی آینده را مورد ارزیابی قرار دادند. پژوهنده (۱۳۹۰) شدت و مدت یخبندان‌های دیررس بهاره را در نیمه غربی کشور از دیدگاه اقلیمی و همدیدی مورد بررسی قرار داد. امروزه شبیه‌سازی چشم‌انداز بلندمدت متغیرهای اقلیمی برای اطلاع از میزان تغییرات و در نتیجه در نظر گرفتن تمهیدات لازم برای تعدیل اثرات سوء ناشی از تغییر اقلیم مورد توجه اقلیم‌شناسان و پژوهشگران قرار گرفته است. بر همین اساس مدل‌های شبیه‌سازی چرخه عمومی جو^۵ GCM، توسعه یافته‌اند. این مدل‌ها معتبرترین ابزار برای بررسی اثرات پدیده تغییر اقلیم بر سیستم‌های مختلف محسوب می‌شوند و قادرند پارامترهای اقلیمی را برای یک دوره طولانی مدت با استفاده از سناریوهای تأیید شده IPCC^۶ مدل‌سازی نمایند (دیباک^۷ و کولیالی، ۲۰۰۶). یکی از محدودیت‌های اصلی در استفاده از خروجی‌های اقلیمی مدل‌های چرخه عمومی این است که دقت تجزیه مکانی و زمانی آن‌ها با دقت مورد نیاز مدل‌های منطقه‌ای و هیدرولوژیک مطابقت ندارد (ویلی^۸ و دتینگر، ۲۰۰۰). جهت فائق آمدن بر قابلیت تفکیک مکانی کم این مدل‌ها که به عنوان نقطه ضعف آن‌ها در مطالعات منطقه‌ای مطرح می‌باشد، از روش ریزمقیاس‌نمایی^۹ استفاده می‌شود. مدل‌های SDSM و LARS-WG از جمله مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی آماری می‌باشند که اخیراً کاربرد بسیاری در فعالیت‌های تحقیقاتی داشته‌اند. ویلی^۸ و همکاران (۲۰۰۲) نخستین بار مدل SDSM را برای ریزمقیاس‌نمایی اطلاعات بارش و دما با استفاده از روش‌های آماری ارائه نمودند. خان^{۱۰} و همکاران (۲۰۰۶) سه روش ریزمقیاس‌نمایی، شامل مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری SDSM، مدل تولید داده LARS-WG و شبکه عصبی مصنوعی را برای ریزمقیاس‌نمایی متغیرهای بارش روزانه و دماهای حداقل و حداکثر روزانه به کار بردند. مدل SDSM بهترین نتایج را در بازسازی خصوصیات داده‌های مشاهده شده نشان داد. چو^{۱۱} و همکاران (۲۰۱۰) مدل SDSM را به منظور ریزمقیاس

ماهیت غیر مترقبه (ناگهانی) خسارت‌های زیادی را بر بخش‌های مختلف از جمله کشاورزی وارد می‌کنند، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند. مطالعه آغاز و خاتمه یخبندان‌های زودرس پاییزه و دیررس بهاره از این نظر حائز اهمیت است که بسیاری از فعالیت‌های کشاورزی از جمله کشت گندم و جو پاییزه مصادف با یخبندان‌های زودرس پاییزه و گلدهی درختان میوه مصادف با یخبندان‌های دیررس بهاره است. با توجه به اهمیت زمان آغاز و خاتمه یخبندان مطالعات بسیاری در این خصوص در سراسر جهان صورت گرفته است. تام^۱ و شاو (۱۹۵۸) به بررسی اقلیمی یخبندان در آیوا پرداخته و زمان وقوع آن را با احتمالات مختلف برآورد نمودند. وایلن^۲ (۱۹۸۸) ویژگی‌های یخبندان‌ها را در فلوریدای مرکزی، بر اساس تحلیل‌های احتمالی بررسی کرد و توزیع احتمالی آن را پیش‌بینی نمود. واتکینز^۳ (۱۹۹۱) زمان شروع و خاتمه یخبندان‌ها را در انگلستان مرکزی مورد مطالعه قرار داد. با استفاده از مدل رگرسیون خطی پی برد که طول مدت فصل یخبندان در حدود دو روز برای هر دهه کاهش یافته است. استرلینگ^۴ (۲۰۰۲) به بررسی تغییرات تعداد روزهای یخبندان و طول دوره یخبندان برای نه منطقه مختلف کشور آمریکا پرداخت. با توجه به وضعیت جغرافیایی ایران و ارتفاع نسبتاً بالای نیمه غربی آن از سطح دریا و ورود جبهه‌های متفاوت به آن، وقوع سرما و یخبندان هر ساله بیشتر نقاط کشور و در برخی از سال‌ها حتی قسمت‌های جنوبی آن را در بر می‌گیرد و خسارت زیادی را به بار می‌آورد. این مسأله موجب توجه بیشتر پژوهشگران اقلیم‌شناسی و هواشناسی به آن شده است و در این زمینه تحقیقات متعددی انجام یافته است که به طور خلاصه می‌توان به موارد زیر اشاره نمود. علیزاده (۱۳۷۳) بر اساس مطالعه داده‌های دمای حداقل روزانه ۱۵ ایستگاه هواشناسی استان خراسان و با بهره‌گیری از احتمال وقوع تجربی به تجزیه و تحلیل احتمال وقوع یخبندان‌های ملایم، متوسط و شدید پرداخت. توکلی و حسینی (۱۳۸۵) با به دست آوردن یک مدل، تاریخ اولین یخبندان پاییزه ایستگاه همدان را با توجه به تاریخ وقوع آخرین یخبندان بهاره همان سال، پیش‌بینی کردند. اسماعیلی و

⁵ General Circulation Model

⁶ Intergovernmental Panel on Climate Change

⁷ Dibike

⁸ Wilby

⁹ Downscaling

¹⁰ Khan

¹¹ Chu

¹ Thom

² Waylen

³ Watkins

⁴ Esterling

به‌منظور یاری دادن مدیران و محققان بخش‌های مختلف مطالعاتی اجرایی در جهت تحقق اهداف برنامه‌ریزی ایجاب می‌نماید (پژوهنده، ۱۳۹۰).

داده‌های مورد استفاده در این تحقیق عبارتند از:

الف- داده‌های روزانه دمای حداقل ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب نیمه غربی کشور که از مرکز اطلاعات و آمار سازمان هواشناسی کشور اخذ شد. دوره پایه از سال ۱۹۵۱ تا ۲۰۱۱، به عنوان نماینده اقلیم گذشته، در نظر گرفته‌شد. بر روی داده‌ها کنترل کیفی صورت گرفته و کلیه آزمون‌های همگنی، استقلال و کفایت داده‌ها انجام شد و خلاء داده‌ها با استفاده از ایستگاه‌های مجاور به روش نسبت‌ها برطرف شد.

ب- خروجی داده‌های شبکه‌بندی شده مرکز ملی پیش‌بینی محیطی (NCEP^۱). این داده‌ها از سال ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۱ موجود بوده و همه آن‌ها نسبت به میانگین و انحراف معیار، نرمال شده‌اند.

ج- داده‌های شبیه‌سازی شده خروجی مدل HadCM3 تحت دو سناریوی A2 و B2 برای دوره ۱۹۶۱ تا ۲۰۹۹ به مختصات ایستگاه‌های مورد نظر. داده‌های (NCEP) و (HadCM3)، از سایت شبکه‌بندی تغییر اقلیم کانادا^۲ (www.cccsn.ec.gc.ca)، دریافت شد. این داده‌ها به عنوان ورودی نرم‌افزار SDSM، مورد استفاده قرار گرفتند. آبکار و همکاران (۱۳۹۳) با بررسی حساسیت مدل SDSM به نوع داده‌های بازتحلیل نشان دادند که استفاده از داده‌های بازتحلیل شده HadCM3 به منظور شبیه‌سازی سه شاخص دمایی دمای حداکثر، دمای حداقل و دمای متوسط روزانه بهتر از داده‌های بازتحلیل شده CGCM می‌باشد به‌صورتی که میانگین خطای مطلق حاصل از داده‌های بازتحلیل شده متغیرهای دمایی فوق در مدل CGCM به ترتیب ۱۱، ۴/۵ و ۴/۷ برابر زمانی است که از داده‌های بازتحلیل شده HadCM3 استفاده می‌شود. مدل‌های گردش عمومی جو معتبرترین ابزار برای شبیه‌سازی شرایط اقلیمی آینده هستند. در این تحقیق مدل HadCM3 که یکی از پرکاربردترین این مدل‌ها است و توسط مرکز هادلی در انگلستان تولید شده‌است، به کار گرفته شده‌است. همان‌طور که پیش از این بیان شد در تمامی مطالعات برای رسیدن به داده‌های با مقیاس

نمودن داده‌های دما، تبخیر و بارش در حوضه رودخانه هاپیه در چین مورد استفاده قرار دادند. دهقانی‌پور و همکاران (۱۳۹۰) توانمندی مدل SDSM را در ریزمقیاس‌نمایی بارش، دما و تبخیر برای ایستگاه سینوپتیک تبریز مورد ارزیابی قرار دادند و نتایج حاصل نشان داد که مدل SDSM توانایی مناسبی را در کوچک‌مقیاس نمودن داده‌های بارش، دما و تبخیر دارد. همچنین اسپنانی و همکاران (۱۳۹۱) به کمک مدل SDSM به بررسی وضعیت دمای حداکثر، دمای حداقل و بارش در دوره‌های آتی ۲۰۳۹-۲۰۱۰، ۲۰۶۹-۲۰۴۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ در حوضه بهشت‌آباد کارون شمالی پرداختند. در تحقیق حاضر تغییرات تاریخ اولین یخبندان پاییزه و آخرین یخبندان بهاره با استفاده از خروجی مدل اقلیمی HadCM3 و داده‌های تولید شده برای دوره اقلیمی آینده، بررسی شده‌است و هدف از آن پیش‌بینی تاریخ وقوع یخبندان‌های زودرس پاییزه و دیررس بهاره تحت شرایط تغییر اقلیم می‌باشد. این گونه مطالعات امکان اتخاذ تصمیمات مدیریتی و تکنولوژی جدید جهت تطبیق با شرایط اقلیمی متفاوت و نیز تعدیل اثرات سوء احتمالی را فراهم می‌سازد و می‌تواند به کشاورزان و محققان در بهینه‌سازی زمان کاشت و مدیریت زراعی و تصمیم‌گیری در شرایط اقلیمی آینده کمک شایانی نماید.

مواد و روش‌ها

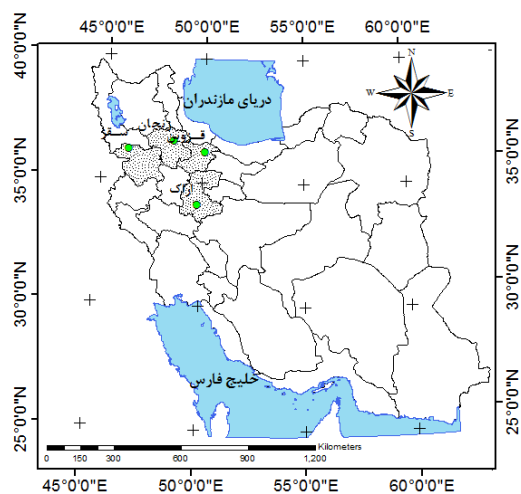
منطقه و داده‌های مورد مطالعه

در این مطالعه چهار ایستگاه همدید اراک، زنجان، سقر و قزوین واقع در نیمه غربی کشور به‌عنوان ایستگاه‌های مطالعاتی انتخاب شدند. موقعیت جغرافیایی منطقه و همچنین مشخصات جغرافیایی و ویژگی‌های اقلیمی ایستگاه‌های مذکور بر اساس سیستم طبقه‌بندی دومارتن در شکل (۱) و جدول (۱) آورده شده‌است. ایستگاه‌های مورد مطالعه به‌دلیل واقع شدن در مناطق کوهستانی و برخوردار از اقلیم سرد در اغلب سال‌ها شاهد وقوع یخبندان‌های شدید و وارد آمدن خسارات سنگین به محصولات زراعی و باغی می‌باشند. اتکای اقتصادی این مناطق به کشاورزی و ضرورت خودکفایی کشور در بخش کشاورزی که از مهم‌ترین اهداف برنامه مهم پنج ساله توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی ایران است، لزوم مطالعه دقیق ویژگی‌های این پدیده و پیش‌بینی آن را

^۱ National Center for Environmental Prediction

^۲ Canadian Climate Change Senarios Network

تاریخی و صحت‌سنجی، تحلیل آماری و تولید سناریوهای اقلیمی آینده می‌باشد.



شکل ۱- توزیع مکانی ایستگاه‌های مورد مطالعه

مناسب، استفاده از مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی اجتناب‌ناپذیر است. در طبقه‌بندی روش‌های ریزمقیاس‌نمایی، SDSM به‌عنوان یکی از مؤثرترین روش‌های ترکیبی که شامل روش‌های مولد تصادفی داده‌های هواشناسی و روش‌های تابع تبدیل و رگرسیون می‌باشد، شناخته شده است. اساس کار این مدل برقراری رابطه رگرسیون بین داده‌های مشاهداتی ایستگاه و داده‌های NCEP و تعمیم این رابطه برای داده‌های GCM در کل بازه شبیه‌سازی ۲۰۹۹-۱۹۶۱ و تولید داده بر اساس GCM در مقیاس زمانی روزانه و مقیاس مکانی ایستگاهی می‌باشد (ابراهیم‌پور، ۱۳۹۰). در این پژوهش از نسخه 4.2 SDSM، استفاده شده است. مراحل کار با این مدل به ترتیب شامل کنترل کیفیت و تبدیل داده‌ها، انتخاب متغیرهای پیش‌بینی کننده صحیح، واسنجی مدل، تولید مجدد داده‌های

جدول ۱- مشخصات اقلیمی و جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه

ایستگاه	عرض جغرافیایی (درجه)	طول جغرافیایی (درجه)	ارتفاع از سطح دریا (متر)	نوع اقلیم
اراک	۳۴/۱ N	۴۹/۷۷ E	۱۷۰۸	نیمه‌خشک
زنجان	۳۶/۶۸ N	۴۸/۴۸ E	۱۶۶۳	نیمه خشک
سقز	۳۶/۲۵ N	۴۶/۲۷ E	۱۵۲۲/۸	مدیترانه‌ای
قزوین	۳۶/۲۵ N	۵۰/۰۵ E	۱۲۷۹/۲	نیمه خشک

استفاده از اطلاعات موجود دمای حداقل، پیش‌بینی انجام شده برای سال‌های ۱۹۹۱ تا ۲۰۰۱ مورد ارزیابی قرار گرفت. در این بخش تنظیم مدل با استفاده از داده‌های مستقل و سری‌های زمانی مصنوعی که به نمایندگی از اقلیم حاضر می‌باشند مورد بررسی و ارزیابی قرار می‌گیرد (ویلیبی و داوسون، ۲۰۰۴). یافتن بهترین پارامترهای بزرگ‌مقیاس از بین ۲۴ پارامتر که قادر به پیش‌بینی پارامتر ریزمقیاس شونده مورد نظر باشد، کاری دشوار است. این کار با روش سعی و خطای مکرر انجام شد به صورتی که که بهترین همبستگی‌ها بین پیش‌بینی کننده‌ها و پیش‌بینی شونده به‌دست آید. با توجه به بررسی‌های آماری، متغیرهای بزرگ‌مقیاس انتخاب شده در جدول (۲)، به عنوان بهترین متغیرهای پیش‌بینی کننده برای انجام این تحقیق شناخته شدند.

جدول ۲- متغیرهای بزرگ‌مقیاس انتخاب شده در مدل SDSM

ردیف	متغیر پیش‌بینی کننده
۱	فشار متوسط سطح دریا
۲	ارتفاع ژئوپتانسیل در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال
۳	رطوبت ویژه در سطح زمین
۴	دمای متوسط در ارتفاع ۲ متری

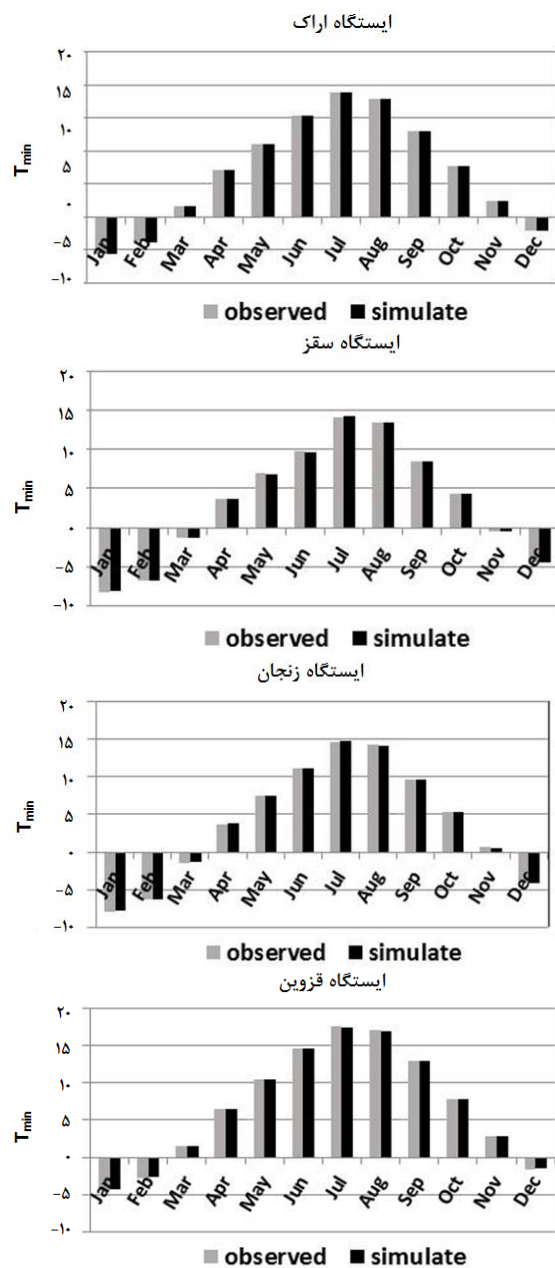
نتایج و بحث

ریزمقیاس‌نمایی خروجی‌های مدل گردش عمومی HadCM3

پس از پردازش و مرتب‌سازی داده‌ها و تهیه فایل ورودی، روابط موجود بین پیش‌بینی کننده‌های بزرگ‌مقیاس (مانند فشار سطح دریا، فشار در ترازهای گوناگون، رطوبت جوی و غیره) و پیش‌بینی شونده‌های محلی (دمای حداقل روزانه) تشخیص داده شد. هدف اصلی غربال متغیرهای پیش‌بینی کننده، کمک به کاربر در انتخاب متغیرهای پیش‌بینی کننده مناسب برای واسنجی مدل است. این مرحله یکی از پرچالش‌ترین مراحل هر مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری است چرا که انتخاب متغیرهای پیش‌بینی کننده تا حد زیادی شخصیت سناریوی اقلیمی تغییرمقیاس یافته را تعیین می‌کند (وینکلر^۱ و همکاران، ۱۹۹۷). در گام بعدی بین داده‌های موجود NCEP و دمای حداقل در طی سال‌های ۱۹۶۱ تا ۱۹۹۱ با استفاده از مدل‌های رگرسیونی رابطه ایجاد کرده و سپس مدل به‌دست آمده واسنجی شد. بعد از آن با

^۱ Winkler

MAE به ترتیب ۲/۰۳۱۲ و ۱/۶۲۷۱ درجه سانتی‌گراد و کم‌ترین میزان ضریب تبیین ۰/۹۴۱۲ می‌باشد.



شکل ۲- نتایج صحت‌سنجی مدل SDSM برای شبیه‌سازی دمای حداقل روزانه (°C) ایستگاه‌های مورد مطالعه

به طور کلی نتایج حاصل از جدول (۳) و نمودارهای شکل (۲) نشان از عملکرد موفق و توان بالای مدل SDSM در شبیه‌سازی داده‌های دمای حداقل روزانه ایستگاه‌های مورد مطالعه دارد. بنابراین با توجه به اینکه اختلاف معنی‌داری بین داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهده شده دیده نمی‌شود، توانایی مدل در شبیه‌سازی و تولید داده‌های اقلیمی مورد تأیید می‌باشد.

در این مطالعه، داده‌های دمای حداقل ثبت شده در هر یک از ایستگاه‌ها با داده‌های ریزمقیاس شده روزانه توسط مدل SDSM و با به‌کارگیری خروجی مدل HadCM3، تحت دو سناریوی A2 (سناریوی انتشار با شرایط بدبینانه نسبت به افزایش گلخانه‌ای) و B2 (سناریوی انتشار با شرایط خوش‌بینانه نسبت به افزایش گلخانه‌ای)، مورد مقایسه قرار گرفتند و توان مدل SDSM، با آماره‌های مناسب مورد ارزیابی قرار گرفت. در جدول (۳)، عملکرد مدل در شبیه‌سازی دمای حداقل بر اساس شاخص‌های R^2 (ضریب تبیین)، RMSE (جذر میانگین مربعات خطا) و MAE (میانگین خطای مطلق) نشان داده شده‌است.

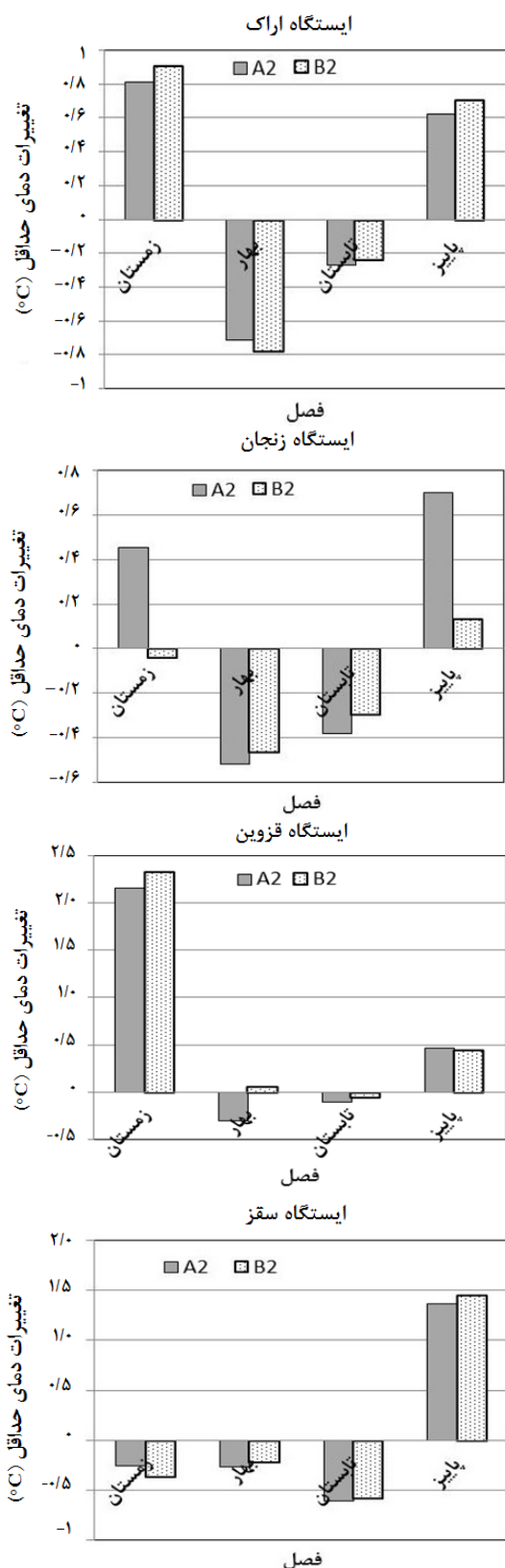
جدول ۳- شاخص‌های آماری مربوط به ارزیابی مدل SDSM در دوره پایه (۲۰۰۱-۱۹۶۱)

ایستگاه	R^2	RMSE (°C)	MAE (°C)
اراک	۰/۹۹	۰/۹	۱/۰
زنجان	۰/۹۴	۲/۰	۱/۶
سقز	۰/۹۷	۱/۰	۱/۶
قزوین	۰/۹۹	۱/۶	۱/۴

دو آماره مربوط به خطای یعنی RMSE و MAE نشان‌دهنده میزان تفاوت بین مقادیر شبیه‌سازی شده و واقعی هستند. هر چه اعداد محاسبه شده برای این دو آماره بزرگ‌تر باشد بیان‌گر اختلاف بیشتر بین دو سری مشاهده شده و شبیه‌سازی شده است. ضریب تبیین (R^2) نیز بیان‌گر میزان نزدیکی و عدم اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده شده می‌باشد که هر چه مقدار آن به عدد یک نزدیک‌تر باشد، نتایج حاصل مطلوب‌تر است. همچنین نمودارهای مربوط به مقایسه‌ها نیز به تفکیک ایستگاه‌های مورد مطالعه، در شکل (۲) نشان داده شده‌اند. همان‌گونه که از اعداد مربوط به آماره‌های محاسبه شده در جدول (۳) مشاهده می‌شود، مدل SDSM توانسته است با دقت خوبی داده‌های دمای حداقل روزانه ایستگاه‌های منتخب نیمه غربی کشور را شبیه‌سازی کند. بهترین نتایج مربوط به ایستگاه اراک با ضریب تبیین برابر ۰/۹۹۱ و مقادیر خطاهای RMSE و MAE به ترتیب ۰/۹۲۵۹ و ۱/۰۱۴۱ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. همچنین ایستگاه زنجان دارای بیش‌ترین میزان خطا، RMSE و

بررسی تغییرات دمای حداقل روزانه تحت سناریوهای A2 و B2 در آینده

ایستگاه سقز در ۴۰ سال آینده طبق خروجی مدل SDSM تحت سناریوهای A2 و B2 افزایش می‌یابد.



شکل ۳- چشم‌انداز تغییرات فصلی دمای حداقل ایستگاه‌های مورد مطالعه در ۴۰ سال آتی طبق سناریوهای A2 و B2

پس از بررسی نتایج مرحله ارزیابی و اطمینان از قابلیت مدل SDSM در شبیه‌سازی داده‌های دمای حداقل ایستگاه‌های مورد مطالعه با توجه به مقادیر بالای ضریب تبیین و مقادیر پایین شاخص‌های خطاسنجی محاسبه شده، این مدل برای ریزمقیاس‌نمایی آماری داده‌های مدل گردش عمومی جو HadCM3 و تولید داده مصنوعی برای دوره ۲۰۱۱-۲۰۵۱ با استفاده از دو سناریوی A2 و B2 تأیید شده توسط IPCC اجرا شده و به این ترتیب مقادیر روزانه دمای حداقل برای ایستگاه‌های مورد مطالعه تولید شد. سپس خروجی مدل (داده‌های روزانه دمای حداقل در ۴۰ سال آتی)، میانگین‌گیری شده و نرمال ماهانه آن در دوره ۴۰ ساله مورد مطالعه بر اساس سناریوهای تغییر اقلیم ذکر شده به دست آمد. در گام بعدی از تفاضل مقادیر نرمال ماهانه دوره آینده (۲۰۱۱-۲۰۵۱) از دوره پایه (۲۰۰۱-۱۹۶۱)، تغییرات ماهانه دمای حداقل بررسی شد و در نهایت با میانگین‌گیری از تغییرات ماهانه، تغییرات فصلی نیز به دست آمد و نمودارهای مربوطه رسم شد. در جدول (۴) نرمال‌های ماهانه حالت پایه و ۲۰ سال آینده و در جدول (۵) تغییرات ماهانه دمای حداقل روزانه در آینده نشان داده شده است. همچنین نمودارهای تغییرات فصلی پیش‌بینی شده دمای حداقل، با استفاده از مدل SDSM در دوره ۲۰۱۱-۲۰۵۱ در شکل (۳) آمده است. با نگاهی اجمالی به تغییرات ماهانه دمای حداقل ایستگاه‌های مورد مطالعه در جدول‌های (۴) و (۵) مشاهده می‌شود که بر اساس برآورد مدل، میزان دمای حداقل در تعدادی از ماه‌های سال روند افزایشی داشته و در تعدادی دیگر مقدار آن کاهش می‌یابد. لذا این افزایش و کاهش از قاعده خاصی پیروی نکرده‌است. نکته قابل توجه در این جداول پیش‌بینی افزایش دمای حداقل برای ماه ژانویه در کلیه ایستگاه‌ها تحت هر دو سناریو می‌باشد. همچنین بیش‌ترین کاهش حدود ۱/۹ درجه سانتی‌گراد در ۴۰ سال آینده مربوط به ایستگاه سقز تحت سناریوی B2، در ماه فوریه و بیش‌ترین افزایش به مقدار ۴/۳ درجه سانتی‌گراد مربوط به ایستگاه قزوین تحت سناریوی A2 در ماه فوریه می‌باشد. همان‌طور که در شکل (۳) دیده می‌شود، دمای حداقل در فصل زمستان در تمامی ایستگاه‌ها به‌غیر از

نسبت به گذشته تغییر قابل توجهی نداشته است. همچنین میزان دمای حداقل ایستگاه‌های مورد مطالعه در فصل پاییز افزایش می‌یابد که بیش‌ترین مقدار این تغییرات در ایستگاه‌های زنجان و سقز و کم‌ترین مقدار آن در ایستگاه قزوین مشاهده می‌شود.

همچنین مقدار دمای حداقل روزانه فصل بهار در تمامی ایستگاه‌ها در ۴۰ سال آینده نسبت به دوره پایه کاهش می‌یابد. تغییرات دمای حداقل فصل تابستان در ایستگاه‌های اراک، زنجان و سقز نسبت به گذشته کاهش یافته است و مقدر آن در فصل تابستان در ایستگاه قزوین

جدول ۴- نرمال‌های ماهانه دمای حداقل در دوره‌های پایه و ۴۰ سال آتی طبق سناریوهای A2 و B2

ایستگاه	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
۱۹۶۱-۲۰۰۱	-۵/۷	-۳/۸	۱/۷	۷/۰	۱۱/۰	۱۵/۴	۱۸/۹	۱۸/۰	۱۳/۰	۷/۷	۲/۴	-۲/۲
اراک	A2	-۴/۱	-۲/۶	۱/۳	۵/۵	۱۰/۲	۱۵/۶	۱۹/۰	۱۷/۳	۷/۹	۳/۰	-۱/۰
B2	-۴/۳	-۲/۸	۱/۵	۵/۷	۱۰/۰	۱۵/۵	۸/۹	۱۷/۵	۱۲/۷	۷/۹	۳/۲	-۱/۰
۱۹۶۱-۲۰۰۱	-۷/۹	-۶/۲	-۱/۴	۳/۷	۷/۵	۱۱/۱	۱۴/۷	۱۴/۲	۹/۷	۵/۳	۰/۶	-۴/۲
زنجان	A2	-۶/۶	-۶/۶	-۱/۰	۲/۴	۶/۹	۱۴/۸	۱۳/۶	۹/۰	۵/۲	۱/۴	-۲/۸
B2	-۶/۶	-۶/۸	-۰/۹	۲/۶	۶/۸	۱۱/۵	۱۴/۸	۱۳/۹	۹/۰	۵/۲	۱/۵	-۲/۷
۱۹۶۱-۲۰۰۱	-۸/۳	-۶/۸	-۱/۳	۳/۶	۶/۸	۹/۷	۱۴/۲	۱۳/۵	۸/۴	۴/۴	-۰/۳	-۴/۵
سقز	A2	-۷/۹	-۸/۲	-۱/۰	۲/۶	۶/۳	۱۴/۷	۱۲/۳	۷/۲	۴/۷	۱/۷	-۲/۷
B2	-۷/۸	-۸/۷	-۰/۹	۲/۶	۶/۵	۱۰/۴	۱۴/۷	۱۲/۴	۷/۲	۴/۷	۱/۹	-۲/۷
۱۹۶۱-۲۰۰۱	-۴/۵	-۲/۹	۱/۵	۶/۴	۱۰/۵	۱۴/۶	۱۷/۶	۱۷/۱	۱۲/۸	۷/۹	۲/۹	-۱/۶
قزوین	A2	-۳/۸	۱/۴	۵/۹	۹/۸	۱۵/۰	۱۷/۸	۱۶/۶	۱۲/۹	۷/۷	۴/۲	-۱/۳
B2	-۳/۲	۱/۱	۳/۲	۵/۹	۹/۷	۱۵/۰	۱۷/۸	۱۶/۸	۱۲/۹	۷/۴	۴/۴	-۱/۳

جدول ۵- تغییرات ماهانه دمای حداقل در ۴۰ سال آتی طبق سناریوهای A2 و B2

ایستگاه	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
۱۹۶۱-۲۰۰۱	۱/۷	۱/۲	-۰/۴	-۱/۵	-۰/۸	۰/۱	۰/۱	-۰/۵	-۰/۴	۰/۱	۰/۶	۱/۲
اراک	B2	۱/۹	۱/۰	-۰/۲	-۱/۳	-۰/۱	-۰/۱	-۰/۳	-۰/۳	۰/۲	۰/۸	۱/۲
۱۹۶۱-۲۰۰۱	۱/۳	-۰/۳	۰/۴	-۱/۳	-۰/۶	۰/۴	۰/۱	-۰/۶	-۰/۷	-۰/۱	۰/۸	۱/۴
زنجان	B2	۱/۳	-۰/۹	-۰/۶	-۱/۲	-۰/۶	۰/۴	-۰/۳	-۰/۷	-۰/۱	-۱/۰	۱/۴
۱۹۶۱-۲۰۰۱	۰/۴	-۱/۴	۰/۳	-۱/۱	-۰/۵	۰/۷	۰/۶	-۱/۲	-۱/۲	۰/۳	۲/۰	۱/۷
سقز	B2	۰/۵	-۱/۹	۰/۳	-۱/۰	-۰/۳	۰/۷	-۱/۱	-۱/۲	۰/۳	۲/۲	۱/۸
۱۹۶۱-۲۰۰۱	۰/۷	۴/۳	۱/۵	-۰/۷	-۰/۷	۰/۵	۰/۲	-۰/۵	۰/۰	-۰/۲	۱/۳	۰/۳
قزوین	B2	۱/۳	۳/۹	۱/۷	۰/۵	-۰/۸	۰/۴	-۰/۳	۰/۰	-۰/۴	۱/۵	۰/۳

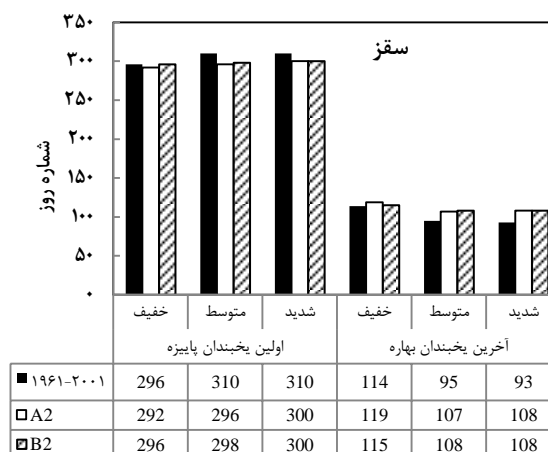
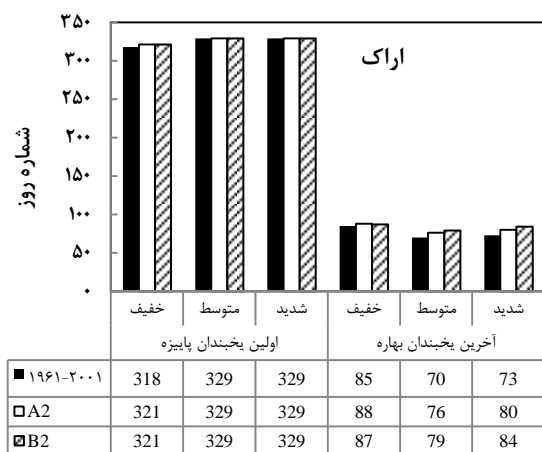
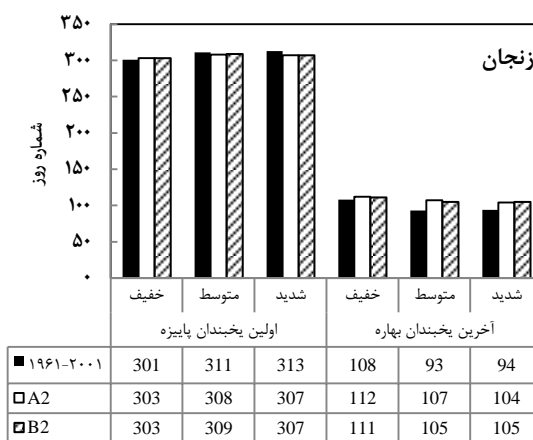
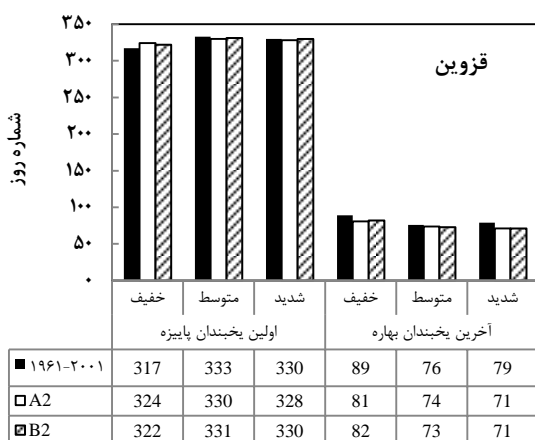
گرفته‌شد تا تاریخ‌های شروع و خاتمه یخبندان در یک سال میلادی قرار گیرند. سپس میانگین سری‌های تاریخ آغاز و خاتمه یخبندان برای دوره‌های پایه (اقلیم گذشته) و ۴۰ سال آتی (اقلیم آینده) طبق سناریوهای A2 و B2 در هر سه کلاس خفیف، متوسط و شدید محاسبه و مقایسه گردید. در این مقایسه برای پی بردن به معنی‌دار بودن تفاوت میانگین متغیرهای مشاهده‌شده و متغیرهای پیش‌بینی شده از آزمون تفاضل میانگین استفاده شد که مثبت و منفی بودن این اختلاف نیز به ترتیب بیان‌گر افزایش و کاهش میانگین این متغیرها در اقلیم آینده نسبت به گذشته است. مقایسه میانگین تاریخ‌های برآورد شده و مشاهده شده در شکل (۴) به تفکیک ایستگاه

محاسبه میانگین تاریخ‌های وقوع یخبندان‌های زودرس پاییزه و دیررس بهاره آینده نسبت به گذشته

تاریخ‌های مربوط به اولین یخبندان پاییزه و آخرین یخبندان بهاره، در سه آستانه دمایی خفیف (دمای حداقل بین صفر تا -۱ درجه سانتی‌گراد)، متوسط (دمای حداقل بین -۱/۱ تا -۲/۲ درجه سانتی‌گراد) و شدید (دمای حداقل کم‌تر از -۲/۲ درجه سانتی‌گراد)، برای دوره پایه ۱۹۶۱-۲۰۰۱ و دوره آینده ۲۰۱۱-۲۰۵۱، استخراج شد. تاریخ‌های به‌دست آمده جهت تجزیه و تحلیل به اعداد روزشمار تبدیل شدند. در روزشمار ژولیوسی اولین روز ماه ژانویه به عنوان مبدأ شمارش روزهای ژولیوسی در نظر

در ایستگاه زنجان مقایسه میانگین شماره روز اولین یخبندان برآورد شده توسط مدل SDSM و میانگین شماره روز اولین یخبندان دوره پایه نشان می‌دهد که اختلاف معنی‌دار و مثبت در کلاس خفیف و اختلاف معنی‌دار و منفی در کلاس‌های متوسط و شدید طبق هر دو سناریو وجود دارد. همچنین مقایسه میانگین شماره روز آخرین یخبندان برآورد شده و مشاهده شده حاکی از وجود اختلاف معنی‌دار و مثبت تحت هر دو سناریو در هر سه آستانه دمایی می‌باشد.

آورده شده است. در ایستگاه اراک با مقایسه میانگین شماره روز اولین یخبندان برآورد شده توسط مدل SDSM و میانگین شماره روز اولین یخبندان دوره پایه، اختلاف معنی‌دار و منفی، طبق هر دو سناریو مشاهده می‌شود. همچنین در کلاس متوسط تفاوت معنی‌داری بین میانگین تاریخ‌ها وجود نداشت. از مقایسه میانگین شماره روز آخرین یخبندان بهار برآورد شده و مشاهده شده در هر سه کلاس، اختلاف معنی‌دار و مثبت تحت هر دو سناریو مشاهده گردید. بنابراین طول دوره یخبندان در این ایستگاه نسبت به گذشته افزایش خواهد داشت. همچنین



شکل ۴- مقایسه میانگین شماره روز آغاز و خاتمه یخبندان اقلیم گذشته و آینده طبق سناریوهای A2 و B2 در ایستگاه‌های مطالعاتی

خفیف تحت سناریو B2 که اختلافی با گذشته ندارد. همچنین مقایسه میانگین شماره روز آخرین یخبندان برآورد شده و میانگین شماره روز آخرین یخبندان مشاهده شده حاکی از وجود اختلاف معنی‌دار و مثبت تحت هر دو سناریو و در هر سه آستانه دمایی می‌باشد. به‌طور کلی طول دوره یخبندان در ایستگاه سقز در آینده افزایش می‌یابد. در ایستگاه قزوین نیز مقایسه میانگین شماره روز

بنابراین طول دوره یخبندان‌های متوسط و شدید ایستگاه زنجان در آینده نسبت به گذشته افزایش خواهد داشت. در ایستگاه سقز مقایسه میانگین شماره روز اولین یخبندان برآورد شده توسط مدل SDSM و میانگین شماره روز اولین یخبندان دوره پایه نشان می‌دهد که اختلاف معنی‌دار و منفی در هر سه کلاس طبق هر دو سناریو وجود دارد. البته به استثناء اولین یخبندان پاییزه

طبق خروجی مدل SDSM تحت سناریوهای A2 و B2، افزایش می‌یابد. همچنین مقدار دمای حداقل روزانه فصل بهار در تمامی ایستگاه‌ها در ۴۰ سال آینده نسبت به دوره پایه کاهش می‌یابد. تغییرات دمای حداقل فصل تابستان در ایستگاه‌های اراک، زنجان و سقز نسبت به گذشته کاهش یافته است و مقدار آن در فصل تابستان در ایستگاه قزوین نسبت به گذشته تغییر قابل توجهی نداشته است. همچنین میزان دمای حداقل ایستگاه‌های مورد مطالعه در فصل پاییز افزایش می‌یابد که بیش‌ترین مقدار این تغییرات در ایستگاه‌های زنجان و سقز و کم‌ترین مقدار آن در ایستگاه قزوین مشاهده می‌شود. به‌طور کلی می‌توان گفت ناحیه مرکزی و غربی منطقه مورد مطالعه همواره دیرتر از سایر نواحی در ۴۰ سال آینده از استیلای یخبندان خفیف بهاره خارج می‌شوند. نتایج حاصل از مدل SDSM تحت هر دو سناریو در تخمین تاریخ وقوع یخبندان‌های زودرس و دیررس در آینده، بسیار نزدیک به هم می‌باشد و اختلاف چندانی با یکدیگر ندارند. با توجه به اهمیت بسیار زیاد این پدیده زیان‌بخش پیشنهاد می‌شود مطالعات یخبندان و پیش‌بینی‌های مورد نظر در هر منطقه از کشور با توجه به گیاهان غالب مورد کشت و براساس آستانه‌های دمایی خاص محصولات کشاورزی آن ناحیه با استفاده از مدل‌های مختلف چرخه عمومی جو انجام شود.

منابع

- آبکار، ا.، حبیب‌نژاد، م.، سلیمانی، ک.، نقوی، ه. ۱۳۹۳. حساسیت مدل ریزمقیاس‌نمایی SDSM به داده‌های بازتحلیل شده در مناطق خشک. خشک بوم، ۴(۲): ۱۱-۲۷.
- ابراهیم‌پور، م. ۱۳۹۰. ارزیابی عملکرد مدل‌های SIMETA و AquaCrop در برآورد تبخیر- تعرق پتانسیل در شرایط موجود و سناریوهای محتمل تغییر اقلیم. پایان‌نامه کارشناسی ارشد هواشناسی کشاورزی، دانشگاه تهران.
- اسپینانی، ک.، شهیدی، ع.، رستمیان، ر.، فرزانه، م. ۱۳۹۱. بررسی تغییر اقلیم در دوره‌های آبی به کمک مدل SDSM (مطالعه موردی: حوضه بهشت‌آباد کارون شمالی). اولین همایش ملی بیابان، دانشگاه تهران.
- اسماعیلی، ر.، ادب، ج.، گندمکار، ا. ۱۳۸۹. ارزیابی تغییرات یخبندان‌های دیر هنگام خراسان رضوی در دوره

اولین یخبندان برآورد شده توسط مدل SDSM و میانگین شماره روز اولین یخبندان دوره پایه نشان دهنده اختلاف معنی‌دار و مثبت در کلاس خفیف، و معنی‌دار و منفی در کلاس متوسط است. البته به استثناء اولین یخبندان پاییزه شدید تحت سناریوی B2 که این اختلاف مشاهده نگردید. از مقایسه میانگین شماره روز آخرین یخبندان بهاره برآورد شده در هر سه آستانه دمایی اختلاف معنی‌دار و منفی تحت هر سه سناریو مشاهده شد. به‌طور کلی هر دو سناریوی A2 و B2 کاهش طول دوره یخبندان متوسط و شدید را برای ۴۰ سال آینده در ایستگاه قزوین برآورد می‌کنند.

نتیجه‌گیری

در سال‌های اخیر توجه به تغییرات اقلیمی به‌علت پیامدهای اقتصادی، اجتماعی و خسارات مالی مربوط به رویدادهای حدی جوی، اهمیت زیادی پیدا کرده است. در این میان وقوع یخبندان به‌خصوص یخبندان‌های دیر هنگام و زودهنگام که به دلیل داشتن ماهیت ناگهانی، خسارت‌های زیادی را بر بخش‌های مختلف از جمله کشاورزی وارد می‌کنند، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشند. در این مطالعه تغییرات تاریخ وقوع اولین یخبندان پاییزه و آخرین یخبندان بهاره به عنوان یکی از شاخص‌های اقلیمی موثر در بخش کشاورزی با استفاده از خروجی مدل اقلیمی و داده‌های تولید شده برای دوره اقلیمی آینده، بررسی شده است و هدف از آن نشان‌دادن میزان تغییرات این شاخص‌ها و مشخص شدن مناطقی از نیمه غربی کشور است که کم‌ترین و بیش‌ترین تأثیرات را از تغییرات اقلیمی تجربه خواهند کرد. به این منظور دمای حداقل روزانه توسط مدل SDSM با خروجی‌های HadCM3 تحت دو سناریوی A2 و B2 ریزمقیاس شدند و نتایج ریزمقیاس‌نمایی در دوره پایه قابل قبول بودند. با توجه به تغییرات ماهانه دمای حداقل ایستگاه‌های مورد مطالعه بر اساس برآورد مدل SDSM، میزان دمای حداقل در تعدادی از ماه‌های سال روند افزایشی داشته و در تعدادی دیگر مقدار آن کاهش می‌یابد. لذا این افزایش و کاهش از قاعده خاصی پیروی نمی‌کند. نتایج حاصل از پیش‌بینی تغییرات فصلی دمای حداقل ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان داد که دمای حداقل در فصل زمستان در تمامی ایستگاه‌ها به‌جز ایستگاه سقز در ۴۰ سال آینده

- Esterling, D. R. 2002. Recent changes in frost days and the frost in the United States. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 83(9): 1327-1332.
- Khan, M. S., Coulibaly, P., Dibike, Y. 2006. Uncertainty analysis of statistical downscaling methods. *J. Hydrol.*, 319(1): 357-382.
- Thom, H. C. S., Shaw, R. H. 1958. Climatological Analysis of Freeze Data for Iowa. *Mon. weather rev.*, 86(7): 251-257.
- Von Storch, H., Zorita, E., Cubasch, U. 1993. Downscaling of global climate change estimates to regional scales: An application to Iberian rainfall in wintertime. *J. Clim.*, 6(6): 1161-1171.
- Watkins, C. 1991. The annual period of freezing temperatures in Central England: 1850-1989. *Inter. J. Climatol.*, 11 (8): 889-896.
- Waylen, P. R. 1988. Statistical analysis of freezing temperatures in central and southern Florida. *J. Climatol.*, 8(6): 607-628.
- Wilby, R. L., Conway, D., Jones, P. D. 2002. Prospects for downscaling seasonal precipitation variability using conditioned weather generator parameters. *J. Hydrol. process*, 16(6): 1215-1234.
- Wilby, R. L., Dawson, C. W. 2004. Statistical downscaling model: SDSM version 3.1 (software and user guide).
- Wilby, R. L., Dettinger, M. D. 2000. Streamflow changes in the Sierra Nevada, California, simulated using statistically downscaled general circulation model output. In: linking climate change to land surface change, in linking climate change to land surface change. Springer Netherlands: 99-121.
- Winkler, J. A., Palutikof, J. P., Andresen, J. A., Goodess, C. M. 1997. The simulation of daily temperature series from GCM output. Part II: Sensitivity analysis of an empirical transfer function methodology. *J. Clim.*, 10(10): 2514-2532.
- اقلیمی آینده. مجموعه مقالات چهارمین کنگره بین‌المللی جغرافییدانان جهان اسلام (ICIWG 2012) دانشگاه سیستان و بلوچستان.
- اسماعیلی، ر.، گندمکار، ا.، غیور، ح. ۱۳۹۰. پهنه‌بندی میزان تغییرات اقلیمی از دیدگاه کشاورزی در دوره اقلیمی آینده (مطالعه موردی: استان خراسان رضوی). جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۴۱(۱): ۳۵-۵۲.
- پژوهنده، م. ۱۳۹۰. بررسی اقلیمی و سینوپتیکی مدت و شدت یخبندان دیررس بهاره در نیمه غربی کشور. پایان‌نامه کارشناسی ارشد هواشناسی کشاورزی، دانشگاه تهران.
- توکلی، م.، حسینی، م. ۱۳۸۵. ارزیابی شاخص‌های یخبندان و شروع پاییزه آن در ایران و مطالعه موردی ایستگاه اکباتان همدان. نشریه نیوار، ۶۰-۶۱: ۳۱-۴۲.
- دهقانی‌پور، ا.، حسن‌زاده، م.، عطاری، ج.، عراقی‌نژاد، ش. ۱۳۹۰. ارزیابی توانمندی مدل SDSM در ریزمقیاس‌نمایی بارش، دما و تبخیر (مطالعه موردی: ایستگاه سینوپتیک تبریز). یازدهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر کرمان.
- علیزاده، ا. ۱۳۷۳. تاریخ وقوع اولین یخبندان‌های پاییزه و آخرین یخبندان‌های بهاره در استان خراسان. نشریه نیوار، ۲۴: ۲۴-۳۶.
- 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 Haihee River. *Theor. Appl. Climatol.*, 99(1-2): 149-161.
- Dibike, B. Y., Coulibaly, P. 2006. Temporal neural networks for downscaling climate variability and extremes. *J. Neural Netw.*, 19(2): 135-144.



دورسنجی تبخیر- تعرق واقعی و ضریب گیاهی سیب با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس و مدل سبال (مطالعه موردی: دشت اهر، ایران)

امین رستمی^۱، محمود رائینی سرجاز^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۴/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۴/۱۵

چکیده

رخداد گرمایش فراگیر و پیامد آن تغییر اقلیم، تولید گیاهی را در برخی از اقلیم‌ها با چالش روبه‌رو کرده است. با توجه به اقلیم خشک و نیمه‌خشک ایران و کمبود آب شیرین، یکی از راهکارهای کاهش اثرات تنش آبی بهبود مدیریت منابع آب و سرانجام افزایش کارایی مصرف آب است. برآورد دقیق تبخیر- تعرق و نیاز آبی گیاهان در گستره وسیعی می‌تواند در بهبود مدیریت کشت و تخصیص آب کارآمد باشد. در این پژوهش از تصاویر سنجنده مودیس و مدل سبال، که یکی از پرکاربردترین و دقیق‌ترین مدل‌های سنجنش از دور می‌باشد، برای برآورد دقیق تبخیر- تعرق واقعی در دشت اهر در استان آذربایجان شرقی و در سال زراعی ۹۳-۹۲ استفاده شد. اساس محاسبات در این مدل بر معادله ترازمندی تابش در سطح زمین استوار است. مدل سبال با استفاده از دمای سطحی، بازتابندگی سطحی و نمایه تفاوت نرمال شده گیاهی (NDVI) پارامترهای این معادله را برآورد می‌کند. یافته‌های به دست آمده نشان داد که تبخیر- تعرق واقعی از آغاز فصل (با ۰/۵۹ میلی‌متر بر روز) تا نیمه‌های تابستان روندی افزایشی داشت، به گونه‌ای که در ۲۷ تیر ۹۳ مقدار آن به بیشینه (۱۰/۱ میلی‌متر بر روز) رسید. نقشه‌های پراکندگی مکانی شاخص‌های گیاهی و پارامترهای معادله تراز تابش نشان داد که مناطق جنوبی دشت که بالاترین تراکم گیاهی را دارا هستند، بیش‌ترین میزان تبخیر- تعرق واقعی را به خود اختصاص داده‌اند. نتایج مقایسه آماری بین تبخیر- تعرق واقعی حاصل از مدل سبال و روش معیار پنمن-مانتیث-فائو نیز نشان داد که در سطح اطمینان ۹۵ درصد اختلاف معنی‌داری میان این دو روش وجود ندارد. همچنین همبستگی بالایی ($r = 0.92$) میان داده‌های دو روش دیده شد. ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) برابر با ۰/۹۶ میلی‌متر بر روز برآورد شد، که نشان دهنده دقت پذیرفتنی مدل سبال در برآورد تبخیر- تعرق در منطقه می‌باشد. از یافته‌های این پژوهش نتیجه گرفته می‌شود که برآورد تبخیر- تعرق با روش سنجنش از دور، برآورد دقیقی از پهنه فراهم می‌کند و این برتری خوبی بر روش‌های نقطه‌ای است.

واژه‌های کلیدی: اهر، تبخیر- تعرق، سنجنش از دور، مدل سبال

مقدمه

مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان محسوب شده و بخش کشاورزی سهم بالایی از کل آب مصرفی را به خود اختصاص می‌دهد. از سویی دیگر، با توجه به رشد ۶/۸ برابری جمعیت کشور در طی کم‌تر از ۸۰ سال، موضوع کمبود آب شیرین و در نتیجه بهبود مدیریت منابع آب در بخش کشاورزی بسیار حیاتی به نظر می‌رسد. یکی از روش‌هایی که باعث بهبود مدیریت منابع آب و سرانجام افزایش کارایی مصرف آب می‌شود، برآورد دقیق تبخیر- تعرق یا میزان آب مصرفی گیاهان است. هم‌چنین، تبخیر- تعرق نقش چشم‌گیری در اقلیم جهانی از طریق چرخه آب‌شناختی بازی می‌کند، که برآورد آن کاربردهای مهمی در پیش‌بینی رواناب، پیش‌بینی عملکرد محصول و طراحی

براساس برنامه زیست‌محیطی سازمان ملل متحد، کمبود آب شیرین هم از دیدگاه دانشمندان و هم از دیدگاه سیاست‌گذاران، پس از موضوع تغییر اقلیم، به عنوان دومین موضوع مهم زیست‌محیطی سده ۲۱ میلادی تشخیص داده شده است (برنامه زیست‌محیطی سازمان ملل متحد^۳، ۲۰۰۰). کشور ایران از لحاظ اقلیمی جزو

^۱ دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

^۲ دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

(*نویسنده مسئول: raeini@yahoo.com)

^۳ United Nations Environmental Programme (UNEP)

مطالعه نتایج حاصل از سبال با نتایج به دست آمده از دو سامانه چشمک‌سنج و برج‌های شار اصلاحی بادپیچه‌ای مقایسه شد، که در پیوند با تبخیر- تعرق لحظه‌ای از یک تا ۳۳ درصد و در محاسبه تبخیر- تعرق با دوره ۱۰ روزه از ۲ تا ۳۰ درصد تغییرات دیده شد. در پژوهشی در ایالات متحده در دره رودخانه بیر، آلن و همکاران^۹ (۲۰۰۳) با به کاربردن سبال به مقایسه نتایج با مقادیر لایسیمتری پرداختند. طی این پژوهش تبخیر- تعرق ماهانه ۱۶ درصد و فصلی ۴/۳ درصد با مقادیر لایسیمتری تفاوت داشت. تیکسیرا و همکاران^{۱۰} (۲۰۰۹) از الگوریتم سبال برای برآورد، واسنجی و صحت‌سنجی مقادیر روزانه ET در چهار پایگاه و هفت ایستگاه هواشناسی کشاورزی در حوضه‌ای از برزیل استفاده کردند. یافته‌های پژوهشی آنان دقت مناسبی ($RMSE = 0.38 \text{ mm day}^{-1}$) برای مدل سبال در بر داشت. جونپور و همکاران^{۱۱} (۲۰۱۳) مقادیر ET واقعی را برای مناطق شرقی جنگل آمازون با استفاده از مدل سبال و تصاویر مودیس (MODIS)^{۱۲} به دست آوردند. آنان مدل سبال را برای برآورد ET واقعی به ویژه در فصل‌های خشک سال در مناطق جنگلی به عنوان ابزاری دقیق و کارآمد معرفی کردند. فرنچ و همکاران^{۱۳} (۲۰۱۵) به بررسی دقت دو روش سنجش از دور متریک و TSEB در برآورد تبخیر- تعرق گیاه پنبه در مقیاس مزرعه‌ای در ایالت آریزونا ایالات متحده پرداختند. نتایج پژوهش آنان نشان داد که در هر دو روش سنجش از دور در مقیاس به اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای بیش‌ترین اختلاف برابر ۱/۹ میلی‌متر بر روز می‌باشد. در پیوند با استفاده از روش‌های سنجش از دور در ایران نیز پژوهش‌هایی انجام شده است. علی اصغرزاده و ثنائی‌نژاد (۱۳۸۵)، در حوضه آبخیز تنگ کنشت کرمانشاه با استفاده از فن‌آوری سنجش از دور و تصاویر ماهواره لندست تبخیر- تعرق واقعی گیاهان را محاسبه کرده و با مقادیر به دست آمده از معادله هارگریوز مقایسه کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که همبستگی بالایی بین دو روش سنجش از دور و معادله هارگریوز وجود دارد. غلامی سفیدکوهی و همکاران (۱۳۸۹) با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس و فن‌آوری سنجش از

کاربری اراضی (کوستاس و نورمن^۱، ۱۹۹۶)، طراحی کانال‌های آبیاری و سازه‌های تقسیم آب دارد (مایکل و باستیانسسن^۲، ۲۰۰۲) و همچنین بر روی بلایای طبیعی (مانند خشکسالی) مؤثر است (اوغاوا و همکاران^۳، ۱۹۹۹). با توجه به طبیعت پویا و تغییرات منطقه‌ای تبخیر- تعرق، اندازه‌گیری مکانی و زمانی این پارامتر به ویژه در مناطقی که با کمبود آب شیرین روبه‌رو هستند لازم است. روش‌های اندازه‌گیری مزرعه‌ای از جمله لایسیمتر، نسبت باون و روش بادپیچه‌ای مقدار تبخیر- تعرق را در مقیاس مزرعه‌ای و یا محدود به محیط موضعی نصب شده دستگاه برآورده می‌کنند (دوگاس و همکاران^۴، ۱۹۹۱). همچنین روش‌های محاسباتی زیادی برای برآورد تبخیر و تعرق در شرایط اقلیمی و جغرافیایی مختلف با استفاده از داده‌های هواشناسی توسعه داده شده‌اند. این روش‌ها نیز چون اغلب از اندازه‌گیری‌های (داده‌های) نقطه‌ای استفاده می‌کنند، فقط مناسب مناطق محلی بوده و قابل تعمیم به حوضه‌های بزرگ نمی‌باشند (لی و لیونز^۵، ۲۰۰۲). یکی از روش‌های نوین برای برآورد تبخیر- تعرق، به ویژه در مناطق بزرگ، استفاده از فن‌آوری سنجش از دور می‌باشد. فن‌آوری سنجش از دور این امکان را می‌دهند تا سطح گسترده‌ای از منطقه مورد مطالعه را هم‌زمان پایش و تبخیر و تعرق را برآورد کند. به کمک این فن‌آوری توزیع مکانی عامل‌های مورد نیاز مدل‌های تبخیر و تعرق و تغییرات زمانی آن‌ها بین دو تصویربرداری پیاپی فراهم می‌شود (دانش‌کار آراسته و همکاران، ۱۳۸۴). برای تعیین تبخیر- تعرق با استفاده از اطلاعات ماهواره‌ای و فن‌آوری سنجش از دور، الگوریتم‌های چندی، مانند الگوریتم تراز انرژی در سطح زمین (SEBAL)^۶ تدوین شده است. با استفاده از این الگوریتم، اجزای معادله تراز انرژی در مقیاس منطقه‌ای و با کم‌ترین داده‌های زمینی محاسبه می‌شوند (استوارت و همکاران^۷، ۱۹۹۹). دقت کاربرد الگوریتم سبال در برآورد تبخیر- تعرق توسط باستیانسسن و همکاران^۸ (۲۰۰۲) مورد ارزیابی قرار گرفت. طی این

¹ Kustas and Norman

² Michael and Bastiaanssen

³ Ogawa et al

⁴ Dugas et al.

⁵ Li and Lyons

⁶ Surface Energy Balance Algorithms for Land

⁷ Stewart et al.

⁸ Bastiaanssen et al.

⁹ Allen et al.

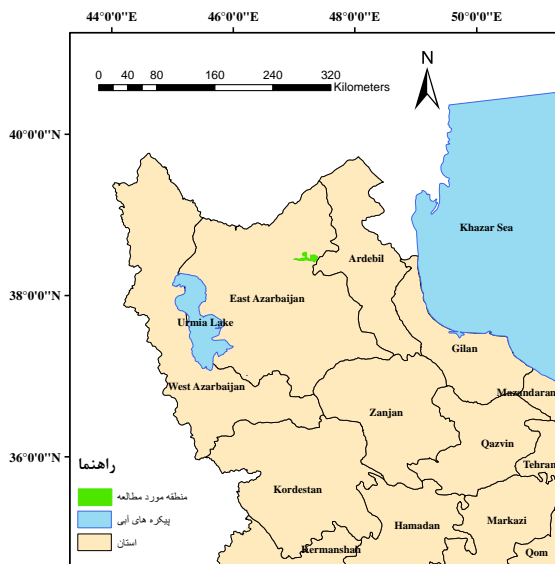
¹⁰ Teixeira et al.

¹¹ Junior et al.

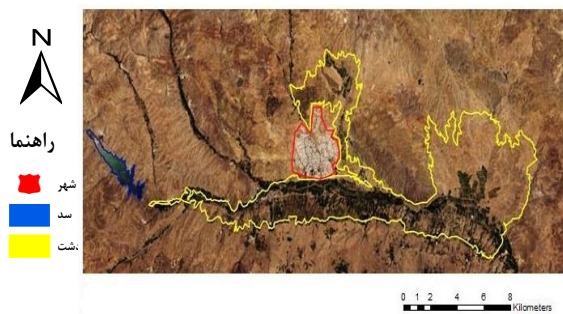
¹² Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

¹³ French et al.

مناطق سرد و نیمه‌خشک محسوب می‌شود. در شکل ۱ موقعیت جغرافیایی دشت ستارخان اهر در ایران و در درون استان آذربایجان شرقی و هم‌چنین تصویر برگرفته از ماهواره لندست برای منطقه مورد مطالعه در تاریخ ۶ تیرماه ۱۳۹۳ نشان داده شده است.



شکل ۱- الف- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه



شکل ۱- ب- تصویر ماهواره لندست از منطقه مورد مطالعه در روز ۶ تیرماه ۹۳

روش پژوهش

در این مطالعه برای برآورد تبخیر- تعلق واقعی به روش سنجش از دور از الگوریتم سبال استفاده شد. الگوریتم تراز انرژی در سطح زمین (سبال) توسط باستیانس و همکاران (۱۹۹۸) ارائه شد. این الگوریتم به عنوان بهترین الگوریتم تراز انرژی در پژوهش‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفته و درستی یافته‌های آن نیز طی مقاله‌های زیادی به اثبات رسیده است. از سویی دیگر، نیاز به داده‌های هواشناسی ایستگاه زمینی در هنگام استفاده از این الگوریتم به کمینه ممکن می‌رسد (کاویانی و همکاران، ۱۳۹۰). مدل سبال از اطلاعات تصاویر رقومی برگرفته

دور تبخیر- تعلق واقعی گندم را در حوضه گرگان‌رود محاسبه کرده و با یافته‌های روش پنمن- مانتیث- فائو مقایسه کردند. نتایج این مقایسه نشان داد که استفاده از روش سنجش از دور نسبت به روش پنمن- مانتیث- فائو دارای ریشه میانگین مربعات خطای (RMSE) ۱۸ میلی‌متر و میانگین خطای مطلق (MAE) ۱۶ میلی‌متر در کل فصل رشد گندم می‌باشد. کاویانی و همکاران (۱۳۹۰) برای بررسی بهره‌وری آب کشاورزی در دشت قزوین از تصاویر ماهواره مودیس و الگوریتم سبال استفاده کردند. ایشان نتایج اجرای الگوریتم سبال را در تمامی تصاویر با داده‌های لایسمیتر زهکش‌دار موجود در منطقه مورد مقایسه قرار داده و همبستگی ($r=0/89$) بالایی به دست آوردند. رحیمی و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از مدل سبال و تصاویر سنجنده مودیس تبخیر- تعلق واقعی گیاهان را در دشت تجن برآورد کردند. یافته‌های این پژوهش نشان داد که اختلاف معنی‌داری میان داده‌های برآوردی مدل سبال و داده‌های معادله فائو- پنمن- مانتیث وجود نداشت. با توجه به دقت و توانایی تایید شده مدل سبال و تصاویر سنجنده مودیس در برآورد تبخیر- تعلق گیاهان، در پژوهش حاضر با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مودیس و مدل سبال مقدار تبخیر- تعلق واقعی سیب تحت آبیاری قطره‌ای در دشت اهر برآورد می‌شود و این یافته‌ها با نتایج معادله فائو- پنمن- مانتیث مقایسه خواهد شد. نتیجه این پژوهش ضمن این‌که می‌تواند کارایی این مدل را در برآورد دقیق تبخیر- تعلق واقعی گیاهان به نمایش بگذارد، به بهبود مدیریت منابع آب و برنامه‌ریزی آبیاری و تخصیص آب در دشت مورد نظر نیز کمک شایانی خواهد کرد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش، دشت اهر در پایاب سد ستارخان اهر است، که در شمال شرق استان آذربایجان شرقی واقع شده است. این منطقه جزو حوضه آبریز ارس بوده و پهنه‌ای معادل ۱۱۰۰۰ هکتار را دارا است. کشت غالب دشت را باغ سیب در بر می‌گیرد، که تقریباً تمامی آن با سامانه قطره‌ای آبیاری می‌شود. میانگین بلندمدت بارش سالانه منطقه ۲۷۷/۹ میلی‌متر است، که در رده‌بندی اقلیمی دومارتن اصلاح شده جزو

مهر ماه) تهیه شود، ولی با توجه به ابری بودن برخی روزها به ناچار از تصویری با کمترین ابرناکی، چند روز پیش یا پس از روز مورد نظر، استفاده شد.

جدول ۱- مشخصات تصاویر ماهواره‌ای استفاده شده در پژوهش

ردیف	تاریخ	ساعت محلی	روز ژولوسوی
۱	۳ فروردین ۱۳۹۳	۱۰:۳۰	۸۲
۲	۲۲ فروردین ۱۳۹۳	۱۱:۴۰	۱۰۲
۳	۱۱ اردیبهشت ۱۳۹۳	۱۰:۳۵	۱۲۱
۴	۲۸ اردیبهشت ۱۳۹۳	۱۱:۲۰	۱۳۸
۵	۲۰ خرداد ۱۳۹۳	۱۱:۴۵	۱۶۱
۶	۶ تیر ۱۳۹۳	۱۰:۳۰	۱۷۸
۷	۲۷ تیر ۱۳۹۳	۱۰:۴۵	۱۹۹
۸	۱۸ مرداد ۱۳۹۳	۱۱:۵۰	۲۲۱
۹	۷ شهریور ۱۳۹۳	۱۱:۴۵	۲۴۱
۱۰	۲ مهر ۱۳۹۳	۱۲:۰۰	۲۶۷
۱۱	۲۰ مهر ۱۳۹۳	۱۱:۵۰	۲۸۵

در سنجنده مودیس باندهای گرمایی ۳۱ و ۳۲ برای برآورد دمای سطح زمین استفاده می‌شوند. نخست تابش توسط معکوس معادله پلانک به درخشندگی باند تبدیل می‌شود.

$$T_i = \frac{\left(\frac{hc}{k}\right)}{\lambda_i \ln\left(\frac{2hc^2}{RAD\pi\lambda_i^5} + 1\right)} \quad (2)$$

در این معادله، RAD تابش هر باند، h ثابت پلانک (s^{-1}) 6.626×10^{-34} ، c سرعت نور ($m s^{-1}$) 3×10^8 ، k ثابت استفان-بولتزمن ($J k^{-1}$) 1.381×10^{-23} و λ_i طول موج میانه باند است. پارودی^۲ (۲۰۰۰) معادله ۳ را برای برآورد دمای سطح زمین توسط سنجنده مودیس ارائه داد.

$$T_{s1000} = 0.39T_{b31}^2 + 2.34T_{b31} - 0.78T_{b31} - 1.34T_{b32} + 0.39T_{b32}^2 + 0.56 \quad (3)$$

که در آن، T_b درخشندگی باند و زیرنمادهای ۳۱ و ۳۲ باندهای سنجنده می‌باشند. با توجه به اینکه اندازه پیکسل باندهای گرمایی (۳۱ و ۳۲) در سنجنده مودیس ۱۰۰۰ متر است، دمای سطحی‌ای که از تصاویر سنجنده مودیس و معادله (۳) به دست می‌آید دارای وضوح مکانی ۱۰۰۰ متری است، بنابراین بایستی به وضوح مکانی بهتر (دست کم ۲۵۰ متر)، معادل وضوح شاخص پوشش گیاهی (NDVI) ریزپیکسل شود. در این پژوهش برای

توسط هر سنجنده‌ای که قادر به ثبت تابش‌های فروسرخ گرمایی و همچنین تابش‌های مرئی و فروسرخ نزدیک باشد، استفاده می‌کند و سپس مقدار تبخیر-تعرق در هر پیکسل را برای همان زمان برداشت تصویر محاسبه می‌کند. محاسبه تبخیر-تعرق برپایه تراز تابش خورشیدی استوار است، که در آن مقدار تبخیر-تعرق از کم کردن مقدار انرژی باقی‌مانده از معادله تراز تابش به دست می‌آید. معادله کلی تراز انرژی در سطح زمین که در مدل سبال مورد استفاده است، به شرح معادله ۱ است.

$$\lambda ET = R_n - G - H \quad (1)$$

که در آن λET شارگرماي نهان (LE) ($w m^{-2}$)، R_n تابش خالص خورشیدی (جمع همه تابش‌های موج کوتاه و بلند دریافتی در سطح زمین، $w m^{-2}$)، H شار گرمای محسوس ($w m^{-2}$) و G شار گرمای زمین یا خاک ($w m^{-2}$) می‌باشد. الگوریتم سبال با استفاده از دمای سطحی، بازتابندگی سطحی و نمایه تفاوت نرمال شده گیاهی (NDVI)^۱ و روابط درونی شارهای سطحی را برای انواع پوشش‌های سطح زمین برآورد می‌کند. چگونگی محاسبه پارامترهای معادله تراز انرژی و شاخص‌های گیاهی و دیگر ضرایب مورد استفاده در مدل سبال را می‌توان در کار باستیانس و همکاران (۱۹۹۸) یافت. در این پژوهش تصاویر سنجنده مودیس مربوط به سال زراعی ۹۳-۹۲ برای استفاده در مدل سبال و برآورد تبخیر-تعرق به کار برده شد. سنجنده مودیس با دارا بودن ۳۶ باند می‌تواند اطلاعات دریافتی از سطح زمین را در بازه طیفی ۰/۴ تا ۱۴/۴ میکرومتر و با عرض پوشش ۲۳۳۰ کیلومتر ثبت کند. توان جداسازی مکانی این باندهای از ۲۵۰ تا ۱۰۰۰ متر متغیر است. به طور متوسط سنجنده مودیس بین ساعت‌های ۱۰ تا ۱۲ بامداد از محدوده پژوهش گذر و عکس‌برداری می‌کند. کلیه تصاویر مورد نیاز این پژوهش شامل ۹ باند سنجنده مودیس می‌باشد، که باندهای ۱ و ۲ با توان جداسازی مکانی ۲۵۰ متر، ۳ تا ۷ (۵۰۰ متر) و باندهای گرمایی ۳۱ و ۳۲ (۱۰۰۰ متر) را شامل می‌شوند. در جدول ۱ اطلاعات مربوط به تصاویر دریافتی از سنجنده مودیس در این پژوهش مشخص شده است. در این پژوهش در آغاز کوشش شد تا تصاویری با فاصله زمانی ۲۰ روزه در دوره رشد سیب (نیمه‌های فروردین تا میانه

² Parodi

¹ Normalized Difference Vegetation Index

لحظه‌ای محاسبه شده از مدل سبال به تبخیر- تفرق گیاه مرجع در مقیاس ساعتی در لحظه گذر ماهواره تعیین و حاصل ضرب این نسبت در تبخیر- تفرق روزانه گیاه مرجع، میزان تبخیر- تفرق واقعی روزانه (ET_{act-24}) می‌باشد.

$$ET_{act-24} = ET_{r-24} \frac{ET_{inst}}{ET_{r-inst}} \quad (۶)$$

تبخیر و تفرق واقعی روزانه با استفاده از الگوریتم سبال تنها در روزهایی که تصاویر آن دریافت شده بود به دست آمد (۱۱ روز از فصل رشد). برای تعیین تبخیر- تفرق واقعی دیگر روزهای فصل رشد در آغاز مقدار ضریب گیاهی، با تقسیم تبخیر- تفرق واقعی به دست آمده از مدل سبال به تبخیر- تفرق مرجع، محاسبه گردید و ضریب گیاهی برای روزهای بازه زمانی بین دو تصویر متوالی نیز با رگرسیون خطی محاسبه شد. به این ترتیب تبخیر- تفرق واقعی در دیگر روزهای فصل رشد از حاصل ضرب ضریب گیاهی به دست آمده از مدل سبال در تبخیر- تفرق مرجع به دست آمد.

$$K_c(SEBAL) = \frac{ET_{act}(SEBAL)}{ET_r} \quad (۷)$$

مقادیر تبخیر-تفرق مرجع در مقیاس ساعتی و روزانه با استفاده از معادله معروف فائو- پنمن- مانیتث و داده‌های هواشناسی ایستگاه همدیدی اهر که در درون منطقه مورد مطالعه می‌باشد، محاسبه شد. برای پردازش تصاویر ماهواره‌ای و محاسبات مربوط به مدل سبال از دو نرم‌افزار سنجش از دور Envi و Erdas استفاده شد. همچنین برای ساده‌سازی و به کمینه رساندن مدت زمان انجام محاسبات، محدوده دشت اهر از تصاویر ماهواره‌ای جدا شده و محاسبات تنها بر روی این محدوده انجام گرفت.

نتایج و بحث

پراکندگی مکانی تبخیر- تفرق در دشت

برتری اصلی برآورد تبخیر- تفرق با استفاده از روش‌های سنجش از دور توانایی برآورد پراکندگی مکانی تبخیر- تفرق، شاخص‌های گیاهی و دیگر پارامترهای معادله تراز انرژی در مقیاس منطقه‌ای است. در شکل ۲ نقشه‌های پراکندگی مکانی دو شاخص گیاهی نمایه سطح برگ (LAI)^۲ و نمایه تفاوت نرمال شده گیاهی (NDVI) برای روز ۶ تیر ماه نشان داده شده است. همان‌طور که از

ریزمقیاس‌نمایی پارامتر دمای سطح زمین از روش پیشنهادی کوستاس و همکاران^۱ (۲۰۰۳) استفاده شد. برای این کار مراحل زیر روی تصاویر سنجنده مودیس انجام گرفت:

- محاسبه شاخص NDVI₂₅₀ (باندهای محاسباتی NDVI برای تصویر مودیس دارای وضوح مکانی ۲۵۰ متر هستند)
- ساخت NDVI های ۱۰۰۰ متری (NDVI₁₀₀₀) از روی تصویر با وضوح مکانی ۱۰۰۰ متر (مجموع ۱۶ پیکسل NDVI₂₅₀)
- برقراری رابطه رگرسیونی بین دمای سطحی (T_{s1000}) و NDVI₁₀₀₀ برپایه معادله ۴:

$$T'_{s1000}(NDVI_{1000}) = a + b(NDVI_{1000}) \quad (۴)$$

که در آن a و b ضرایب رگرسیونی هستند.

- سرانجام، گسسته‌سازی دمای سطحی برای هر پیکسل ۲۵۰ متری (۱، ۲، ۳، ...، ۱۶) که از طریق معادله ۵ به دست می‌آید.

$$T'_{s250}(i) = T'_{s1000}(NDVI_{250}(i)) + \Delta T'_{s1000} \quad (۵)$$

که در آن معادله $\Delta T'_{s1000} = T_{s1000} - T'_{s1000}$ برقرار است. با توجه به اینکه نقشه‌های تبخیر- تفرق واقعی حاصل از مدل سبال و دیگر پارامترهای معادله تراز انرژی و تصاویر سنجنده مودیس دارای اندازه پیکسل ۲۵۰ متر معادل سطح پیکسل ۶/۲۵ هکتار می‌باشند، بنابراین با استفاده از یک تصویر ماهواره لندست (که دارای اندازه پیکسل ۳۰ متر می‌باشد) برای تاریخ ۶ تیرماه و برخی مشاهدات میدانی، مرز باغ‌های سیب در منطقه مشخص شد. سرانجام چندین پیکسل از هر تصویر سنجنده مودیس که دارای پوشش یکنواخت سیب بود انتخاب شد و میانگین تبخیر- تفرق واقعی در آن پیکسل‌ها به عنوان تبخیر- تفرق واقعی سیب در دوره رشد تعیین شد. برای برآورد تبخیر- تفرق روزانه از تبخیر- تفرق لحظه‌ای، می‌توان از مفهوم تبخیر- تفرق گیاه مرجع استفاده کرد. به این منظور تبخیر- تفرق گیاه مرجع در مقیاس ساعتی در لحظه گذر ماهواره (ET_{r-inst}) و همچنین میزان آن در مقیاس روزانه (ET_{r-24}) برای ایستگاه هواشناسی معرف منطقه محاسبه می‌شود. سپس نسبت تبخیر- تفرق

^۲ Leaf Area Index

^۱ Kustas et al.

شاخص‌های گیاهی، تبخیر- تعرق و دیگر پارامترهای معادله تراز انرژی در منطقه با یافته‌های مباحثی و همکاران (۱۳۸۴)، یانگ و همکاران^۲ (۲۰۱۲)، رحیمی و همکاران (۲۰۱۵)، پورمحمدی و همکاران (۱۳۸۹) و امیدوار و همکاران (۱۳۹۱) همخوانی دارد. با توجه به اینکه در دیگر روزها نیز پراکندگی مکانی شاخص‌های گیاهی، دمای سطح زمین و پارامترهای معادله تراز انرژی در منطقه همانند نقشه‌های ارائه شده برای روز ۶ تیر ماه هستند، از ارائه آن‌ها صرف‌نظر شد.

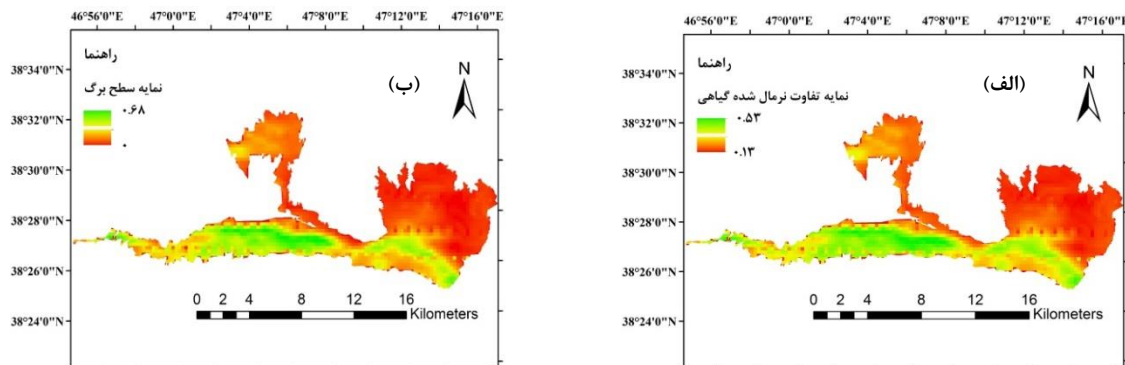
تغییرات زمانی تبخیر- تعرق در فصل رشد

نمودار تغییرات زمانی اجزای معادله تراز انرژی (تابش خالص خورشیدی، شار گرمای محسوس، شار گرمای خاک و شار گرمای نهان) در دشت مورد مطالعه و در طول فصل رشد در شکل ۵ نشان داده شده است. همان‌طور که از این نمودار دیده می‌شود، شار گرمای نهان و شار گرمای محسوس روندی کاملاً عکس یکدیگر در طول فصل طی کرده‌اند، به طوری که در آغاز فصل که پوشش گیاهی ناچیز است، شار گرمای محسوس سهم بیشتری از تابش خالص خورشیدی را دریافت کرده و شار گرمای نهان کم‌ترین مقدار خود را دارا است. با گذشت زمان و با افزایش تراکم پوشش گیاهی بر روی سطح زمین شار گرمای نهان افزایش یافته (تبخیر- تعرق گیاهان با نزدیک شدن به میانه فصل رشد افزایش می‌یابد) و در روز ۲۸ اردیبهشت ماه تقریباً به بالاترین مقدار خود رسیده و تا ۱۸ مرداد ماه در این مقدار ثابت می‌ماند و سپس تا پایان فصل با کاهش تراکم گیاهی، روندی کاهشی را ادامه می‌دهد (در اواخر فصل رشد تبخیر- تعرق گیاهان کاهش می‌یابد). با آغاز کاهش شار گرمای نهان در اواخر فصل، شار گرمای محسوس دوباره افزایش می‌یابد. نمودار تغییرات زمانی تبخیر- تعرق واقعی روزانه و شاخص سطح برگ (LAI) در شکل ۶ دیده می‌شوند.

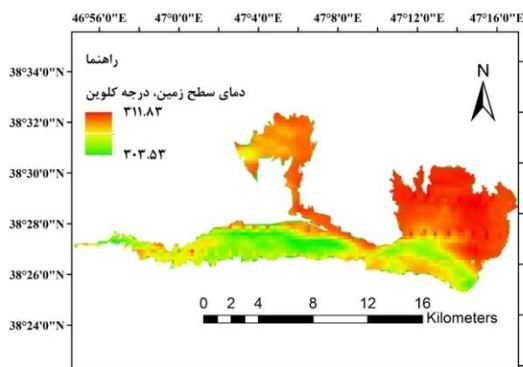
این شکل، در مقایسه با شکل ۱. ب، دیده می‌شود شاخص‌های گیاهی NDVI و LAI، که نشان دهنده سبزیگی و انبوهی پوشش گیاهی هستند، در مناطق جنوبی دشت بزرگ‌ترند. ولی در مناطق شمالی و شمال شرقی دشت که پوشش گیاهی بسیار اندک و حتی در مناطقی به دلیل اجرا نشدن شبکه آبیاری پوشش گیاهی ناچیز است، شاخص‌های گیاهی بسیار ناچیز و نزدیک به صفر هستند. در شکل ۳ نقشه دمای سطحی منطقه برای روز ۶ تیر نشان داده شده است، که با روش ریزمقیاس‌سازی پیشنهاد شده توسط کوستاس و همکاران^۱ (۲۰۰۳) به دست آمده است. همانند شاخص‌های گیاهی، در مناطق جنوبی و پرتراکم دشت، دمای سطح زمین کم‌ترین مقدار خود را داشته و در مناطق شمالی و شمال شرقی دشت که پوشش گیاهی بسیار ناچیز است، دمای سطح زمین بیش‌ترین اندازه را در منطقه داراست. دلیل این امر اینست که در مناطق با تراکم بالای گیاهی، شار گرمای نهان و یا به عبارتی تبخیر- تعرق سهم زیادی از تابش خالص خورشیدی رسیده به سطح زمین را به خود اختصاص داده، از این رو شار گرمای محسوس در این مناطق کاهش می‌یابد که منجر به کاهش دمای سطح زمین می‌شود و بر عکس در مناطقی با پوشش گیاهی ناچیز، سهم زیادی از تابش خالص خورشیدی رسیده به سطح زمین را شار گرمای محسوس دریافت کرده و صرف گرم کردن هوا و به عبارتی افزایش دمای سطح زمین می‌شود. در شکل ۴ پراکندگی مکانی پارامترهای شار گرمای محسوس (H)، شار گرمای خاک (G) و تبخیر- تعرق واقعی (ET_a) برای روز ۶ تیرماه نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل‌های ۲ و ۳ نیز بحث شد، در مناطق جنوبی دشت که تراکم پوشش گیاهی بالاست، میزان تبخیر- تعرق واقعی به بیش‌ترین مقدار رسیده و شار گرمای خاک که به‌طور مستقیم به دمای سطح زمین بستگی دارد و شار گرمای محسوس کم‌ترین مقدار خود را در این مناطق دارا می‌باشند و بر عکس در مناطق با پوشش گیاهی ناچیز، شار گرمای محسوس و شار گرمای خاک بالاترین سهم از تابش خالص خورشیدی رسیده به سطح زمین را دریافت کرده و تبخیر- تعرق واقعی (شار گرمای نهان) در برخی از این مناطق حتی به صفر می‌رسد. این یافته‌ها در خصوص پراکندگی مکانی

² Yang et al

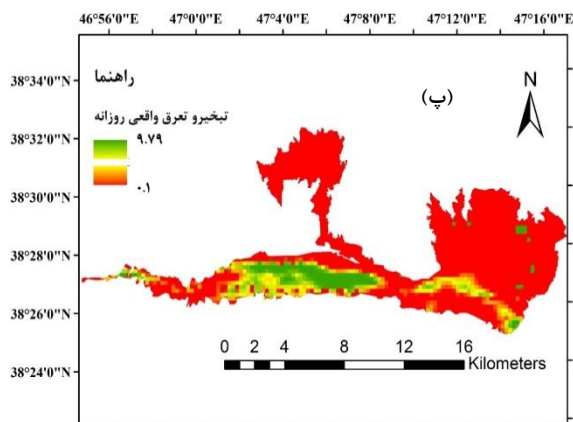
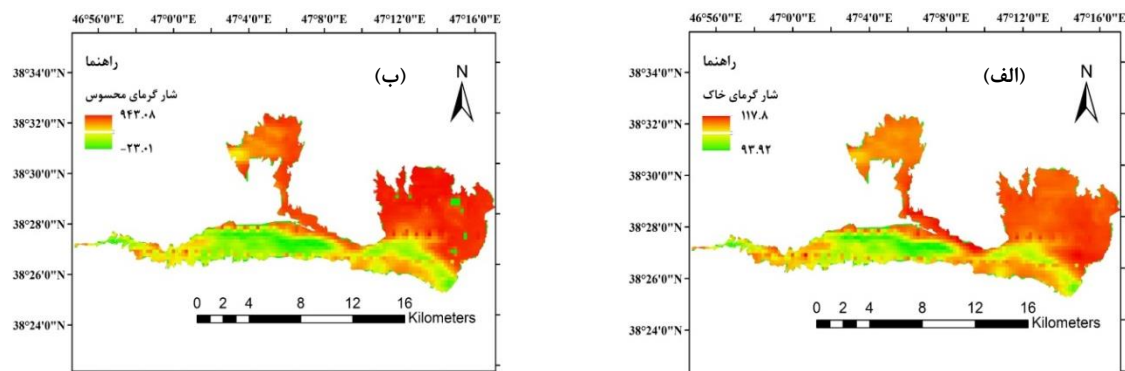
¹ Kustas et al



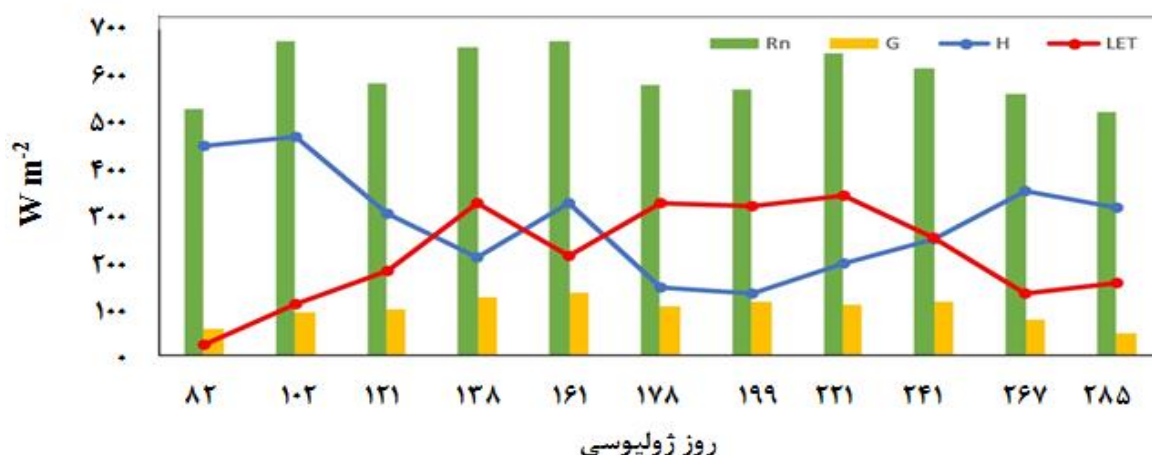
شکل ۲- الف- نقشه پراکندگی مکانی شاخص NDVI و ب- نقشه پراکندگی مکانی شاخص LAI برای روز ۶ تیر ماه



شکل ۳- نقشه پراکندگی مکانی دمای سطحی زمین (درجه کلون) برای روز ۶ تیر ماه



شکل ۴- الف. نقشه پراکندگی مکانی شار گرمای خاک (وات بر مترمربع)، ب- نقشه پراکندگی مکانی شار گرمای محسوس (وات بر مترمربع) و پ- نقشه پراکندگی مکانی تبخیر- تعرق واقعی روزانه (میلی متر بر روز) برای روز ۶ تیر ماه



شکل ۵- نمودار تغییرات زمانی اجزای معادله تراز انرژی در سطح زمین

مقایسه یافته‌های مدل سبال با روش پنمن -

مانتیت- فائو

ضریب گیاهی سیب با تقسیم مقدار تبخیر- تفرق واقعی برآورد شده از مدل سبال در هر تصویر بر تبخیر- تفرق مرجع متناظر با آن به دست آمد و سپس هر ضریب برای دوره زمانی تصویر متناظر نیز در نظر گرفته شد. همچنین مقدار ضریب گیاهی پیشنهادی توسط فائو^۵ (۱۹۹۸) نیز برای منطقه مورد مطالعه تعدیل شد، که مقادیر ضرایب گیاهی حاصل از هر دو روش در شکل ۷ نشان داده شده است. همان‌طور که دیده می‌شود، جز برای دوره بیشینه مقدار ضریب گیاهی (نیمه‌های فصل رشد) که مقدار ضریب گیاهی حاصل از مدل سبال بیشتر از فائو است، مقدار پیشنهادی فائو برای ضریب گیاهی سیب همواره بالاتر از مقدار به دست آمده از مدل سبال می‌باشد. با محاسبه ضریب گیاهی سبال، مقدار تبخیر- تفرق واقعی برای تمام روزهای فصل رشد محاسبه شد. همچنین مقدار تبخیر- تفرق واقعی با استفاده از روش پنمن- مانتیت- فائو نیز با اعمال ضریب گیاهی تعدیل شده و داده‌های هواشناسی ایستگاه همدیدی اهر به دست آمد. شکل ۸ نمودار تغییرات مقدار تبخیر- تفرق واقعی روزانه سیب حاصل از هر دو روش را برای فصل رشد نشان می‌دهد. همچنین نتایج مقایسه آماری دو روش سبال و پنمن- مانتیت- فائو برای مقادیر ET روزانه در جدول ۲ آورده شده است.

همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود، مقدار تبخیر- تفرق واقعی از آغاز فصل (با ۰/۵۹ میلی‌متر بر روز) تا میانه‌های تابستان روندی افزایشی دارد، به گونه‌ای که در ۲۷ تیر مقدار آن به بیشینه (۱۰/۱ میلی‌متر بر روز) می‌رسد. پس از آن مقدار تبخیر- تفرق واقعی دوباره سیری کاهشی یافته و در پایان فصل (۲۰ مهر ماه) به مقدار ۱/۷۷ میلی‌متر بر روز می‌رسد. از آنجایی که این مقادیر مربوط به مناطقی است که به طور پیوسته پوشیده از درختان سیب است، این روند افزایشی و کاهشی تبخیر- تفرق واقعی منطقی به نظر می‌رسد. همچنین دیده می‌شود که روند تغییرات شاخص سطح برگ نیز همسو با تبخیر- تفرق واقعی است و ضریب همبستگی میان این دو پارامتر ۰/۷۷ است. مقدار شاخص سطح برگ در آغاز فصل ۰/۲۴ بوده و به تدریج با افزایش تراکم گیاهی، افزایش یافته و در روز ۶ تیرماه به ۰/۵۲ رسیده که این اندازه تا ۲۷ تیرماه (۰/۵۱) تغییری نکرد. از آن پس تا پایان فصل این نمایه روندی کاهشی داشت و در پایان فصل به ۰/۱۴ به کمترین مقدار خود، رسید. این یافته‌ها با نتایج پژوهش کاراسکو- بناویدس و همکاران^۱ (۲۰۱۲) که به بررسی تبخیر- تفرق واقعی و ضریب گیاهی باغ‌های انگور با استفاده از روش سنجش از دور پرداخته‌اند و هم‌چنین با یافته‌های تستی و همکاران^۲ (۲۰۰۴)، سینگ و ایرماک^۳ (۲۰۰۹) و مارسال و همکاران^۴ (۲۰۱۳) همخوانی خوبی دارد.

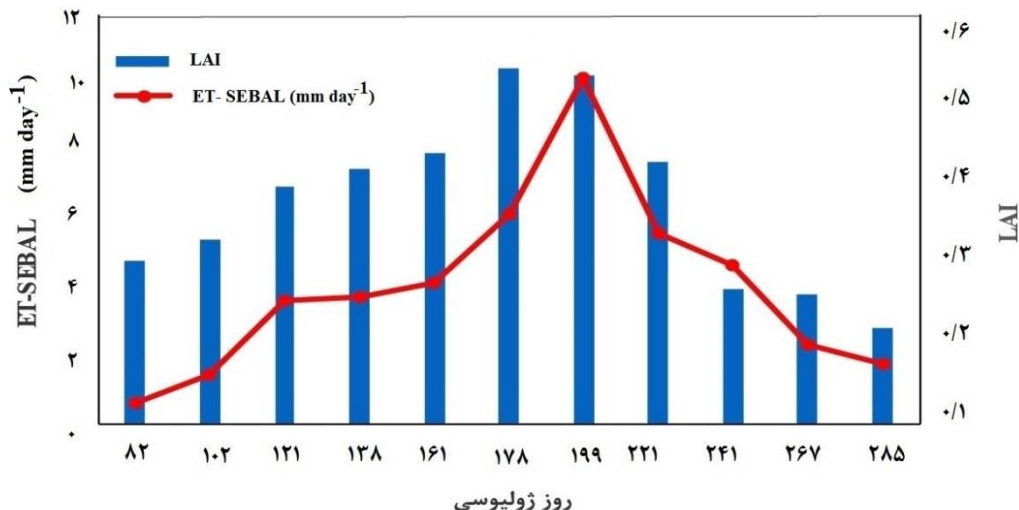
¹ Carrasco-Benavides et al.

² Testi et al.

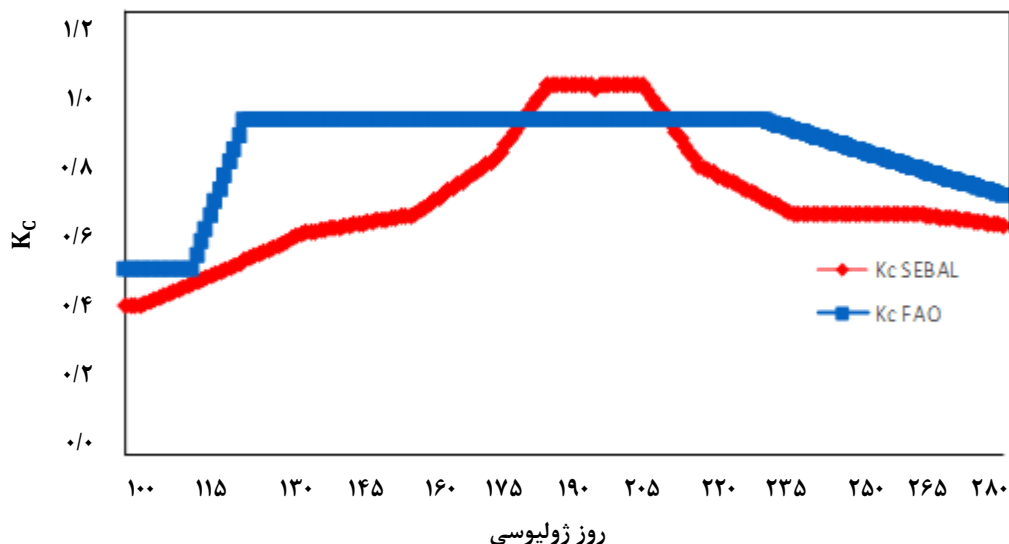
³ Singh and Irmak

⁴ Marsal et al.

⁵ FAO



شکل ۶- نمودار تغییرات زمانی تبخیر- تعرق واقعی روزانه و شاخص سطح برگ



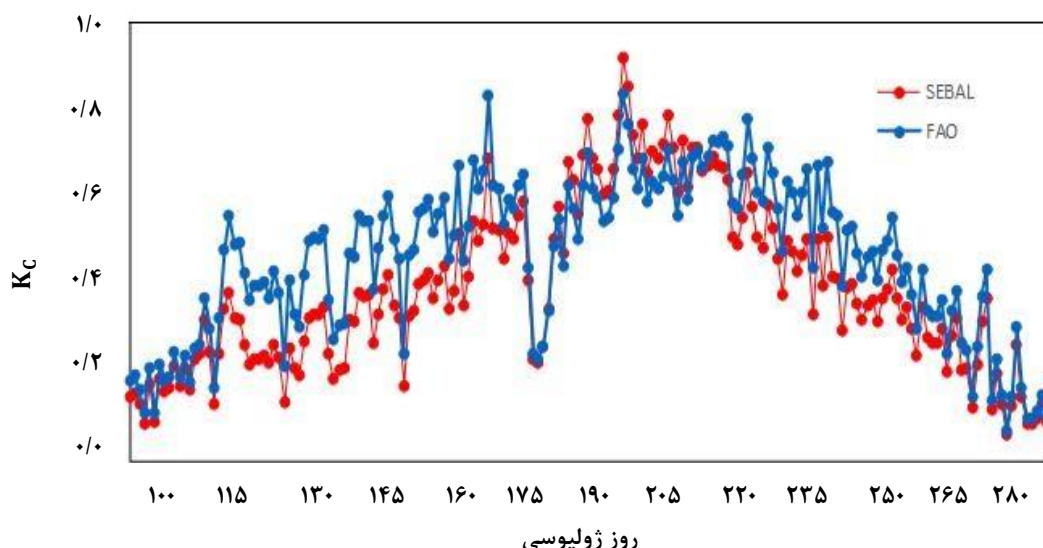
شکل ۷- مقادیر ضریب گیاهی حاصل از مدل سبال و روش FAO برای دوره رشد سیب در دشت اهر

جدول ۲- نتایج مقایسه آماری بین مقادیر ET روزانه دو روش سبال و پنمن- مانتیث- فائو

شاخص آماری	ضریب همبستگی (r)	ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) (mm day ⁻¹)	میانگین خطای مطلق (MAE) (mm day ⁻¹)	میانگین انحراف خطا (MBE) (mm day ⁻¹)
مقدار	۰/۹۲	۰/۹۶	۰/۸۷	۰/۷۶

مدل سبال بیش برآورد شده است، در دیگر روزهای فصل رشد روش پنمن- مانتیث- فائو نسبت به مدل سبال بیش برآورد داشته است. همچنین بر اساس مقایسه میانگین دو جامعه جفت شده با استفاده از آزمون t مقادیر به دست آمده از دو روش در سطح اطمینان ۹۵ درصد (P-value > ۰/۰۵) اختلاف معنی داری با هم ندارند که نشان دهنده دقت بالای مدل سبال در برآورد پارامتر تبخیر- تعرق در منطقه مورد مطالعه است.

همان طور که دیده می شود نحوه تغییرات ET واقعی در هر دو روش مشابه هم بوده و ضریب همبستگی برابر با ۰/۹۲ بین مقادیر دو روش به دست آمده است که با یافته های اکبری و همکاران (۱۳۹۰) که ضریب همبستگی ET روزانه بین دو روش سنجش از دور و پنمن- مانتیث- فائو را در حدود ۰/۸۷ گزارش کرده اند، هماهنگی دارد. با توجه به مقادیر ضریب گیاهی مقایسه شده در شکل ۷، مطابق انتظار، مقدار ET واقعی جز در دوره بیشینه که



شکل ۸- مقایسه مقادیر تبخیر- تعرق واقعی روزانه سیب در دو روش سبال و پنمن-مانتیت- فائو در طول فصل رشد

می‌کند. هم‌چنین یافته‌های همانند در بسیاری از پژوهش‌ها، مانند اوبرگ و ملس^۶ (۲۰۰۶)، بشیر و همکاران^۷ (۲۰۰۸)، رحیمی و همکاران (۲۰۱۵)، اکبری و همکاران (۱۳۹۰) و قمرنیا و رضوانی (۱۳۹۳) نیز گزارش شده است.

نتیجه گیری

برآورد دقیق‌تر تبخیر- تعرق در مقیاس حوضه و یا دشت همواره به عنوان یکی از مشکلات اصلی در مدیریت منابع آب در سطح حوضه مطرح بوده است، چرا که بیش‌تر روش‌های محاسباتی و یا اندازه‌گیری تبخیر- تعرق به صورت نقطه‌ای می‌باشند. با استفاده از تکنیک سنجش از دور می‌توان پراکنش مکانی و زمانی این پارامتر را با دقت بهتری برآورد نمود. در این پژوهش با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس و الگوریتم سنجش از دور سبال، پارامترهای معادله تراز انرژی و شاخص های گیاهی در دشت ستارخان اهر در سال زراعی ۹۳-۹۲ برآورد شدند. هم‌چنین با استفاده از مدل سبال، تبخیر- تعرق واقعی سیب در منطقه محاسبه شد. بیش‌ترین میزان تبخیر- تعرق واقعی برابر با ۱۰/۱ میلی متر بر روز مربوط به ۲۷ تیر ماه و کم‌ترین مقدار آن برابر با ۰/۵۹ میلی متر بر روز مربوط به ۳ فروردین ماه بود. هم‌چنین نتایج مقایسه آماری مدل سبال با روش پنمن-مانتیت- فائو با ضریب همبستگی برابر با ۰/۹۲ و ریشه میانگین مربعات خطای

ریشه میانگین مربعات خطا نیز برابر ۰/۹۶ میلی‌متر بر روز و میانگین خطای مطلق برابر ۰/۸۷ میلی‌متر بر روز به دست آمده است. مشابه این یافته‌ها در بیش‌تر پژوهش‌های انجام گرفته نیز گزارش شده است. کاراسکو- بناویدس و همکاران^۱ (۲۰۱۲) با مقایسه مقادیر تبخیر- تعرق واقعی به دست آمده از روش سنجش از دور و داده های مشاهداتی، مقدار RMSE و MAE را به ترتیب برابر با ۰/۶۲ و ۰/۵ میلی‌متر بر روز برآورد کردند. فولهس و همکاران^۲ (۲۰۰۹) نشان دادند که مدل متریک مقدار تبخیر- تعرق واقعی درخت موز را با (۰/۴ mm d⁻¹) = RMSE برآورد می‌کند. برای برآورد تبخیر و تعرق واقعی ذرت، سینگ و ایرماک^۳ (۲۰۱۱) مقدار RMSE را بین ۱/۱ تا ۱/۷ میلی متر بر روز به دست آوردند. گالگیلوس و همکاران^۴ (۲۰۱۱) مقدار RMSE برابر با ۰/۸۳ میلی‌متر بر روز را در برآورد تبخیر- تعرق واقعی درخت انگور با روش سنجش از دور نشان داد. در برزیل، تیکسیرا و همکاران^۵ (۲۰۰۹) مقدار RMSE را برابر با ۰/۳۸ میلی‌متر بر روز در برآورد تبخیر- تعرق واقعی محصولات آبی (انواع درخت انگور و انبه) با استفاده از مدل سبال گزارش کردند. میر یعقوب‌زاده و همکاران (۱۳۹۳) نشان دادند که که مدل سبال میزان تبخیر و تعرق را بین ۰/۵ تا ۱ میلی‌متر در روز کم‌تر از روش پنمن مانتیت برآورد

¹ Carrasco-Benavides et al.

² Folhes et al.

³ Singh and Irmak

⁴ Galleguillos et al.

⁵ Teixeira et al.

⁶ Oberg and Melesse

⁷ Bashir et al.

کاوپانی، ع.، سهرابی، ت.، دانش کار آراسته، پ. ۱۳۹۰. کاربرد الگوریتم SEBAL در تخمین تبخیر- تفرق واقعی و بهره‌وری آب کشاورزی در دشت قزوین و مقایسه نتایج آن با داده‌های لایسیمتر. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۲ (۵): ۱۶۵-۱۷۵.

مباشری، م. ر.، خاوریان، ح.، ضیائی، پ.، کمالی، غ. ۱۳۸۴. برآورد تبخیر- تفرق واقعی با استفاده تصاویر MODIS و الگوریتم سبال. همایش ژئوماتیک، تهران، سازمان نقشه برداری کشور.

میر یعقوب زاده، م. ح.، سلیمانی، ک.، حبیب نژاد روشن، م.، شاهی، ک.، عباس‌پور، ک.، اخوان، س. ۱۳۹۳. تعیین و ارزیابی تبخیر- تفرق واقعی با استفاده از داده‌های سنجش از دور (مطالعه موردی حوزه آبخیز تهر گلستان). مهندسی آبیاری و آب، ۴ (۱۵): ۱۰۲-۸۹.

Allen, R. G., Morse, A., Tasumi M. 2003. Application of SEBAL for western US rights regulation and planning. ICID workshop on remote sensing of ET for large regions.

Bashir, M. A., Hata, T., Tanakamaru, H., Abdelhadi, A. W., Tada, A. 2008. Satellite-based energy balance model to estimate seasonal evapotranspiration for irrigated sorghum: a case study from the Gezira scheme, Sudan. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 12(4): 1129-1139.

Bastiaansen, W. G. M., Menenti, M., Feddes, R. A., Holtslag, A. A. M. 1998. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL): 1. Formulation. *J. Hydrol.*, 212, 198-212.

Bastiaansen, W. G. M., Ahmad, M. D., Chemin, Y. 2002. Satellite surveillance of evaporative depletion across the Indus Basin. *Water Resour. Res.*, 38 (12), 1273-1282.

Carrasco-Benavides, M., Ortega-Farías, S., Lagos, L. O., Kleissl, J., Morales, L., Poblete-Echeverría, C., Allen, R.G. 2012. Crop coefficients and actual evapotranspiration of a drip-irrigated Merlot vineyard using multispectral satellite images. *Irrig. Sci.*, 30:485-497.

Dugas, W. A., Fritschen, L. J., Gay, L. W., Held, A. A., Matthias, A. D., Reicosky, D. C., Steduto, P., Steiner, J. L. 1991. Bowen ratio, eddy correlation and portable chamber measurements of sensible and latent heat flux over irrigated spring wheat. *Agric. Meteorol.*, 56: 1-20.

FAO. 1998. Crop ET (guidelines for computing crop water requirements). *Irrigation and Drainage Paper No. 56*. Rome: FAO; p. 290.

برابر با ۰/۹۶ میلی متر بر روز تطابق خوبی را بین دو روش نشان می‌دهد. از آنجایی که نتایج یاد شده در مقیاس منطقه‌ای بوده و علاوه بر تغییرات زمانی، پراکندگی مکانی این پارامترها نیز برای کل شبکه آبیاری دشت برآورد شده است، می‌تواند به عنوان ابزار مناسبی در مدیریت مکانی منابع آبی و تخصیص بهینه منابع آب به هر نقطه از شبکه، مورد استفاده قرار گیرند.

منابع

اکبری، م.، سیف، ز.، زارع ابیانه، ح. ۱۳۹۰. برآورد میزان تبخیر- تفرق واقعی و پتانسیل در شرایط اقلیمی مختلف با استفاده از سنجش از دور. آب و خاک، ۲۵ (۴): ۸۴۴-۸۳۵.

امیدوار، ج.، داوری، ک.، ارشد، ص.، موسوی بایگی، م.، اکبری، م.، فرید حسینی، ع. ۱۳۹۱. برآورد تبخیر و تفرق واقعی با استفاده از تصاویر سنجنده استر و مدل متریک. مهندسی آبیاری و آب، ۳ (۹): ۴۹-۳۸.

پورمحمدی، س.، دستورانی، م.، مختاری، م.، رحیمیان، م. ۱۳۸۹. تعیین و پهنه‌بندی تبخیر- تفرق واقعی توسط تکنیک سنجش از دور و الگوریتم سبال (مطالعه موردی: حوزه آبخیز منشاد در استان یزد). علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۲۱ (۴): ۳۰-۲۱.

دانش کار آراسته، پ.، تجربی، م.، ثقفیان، ب. ۱۳۸۴. تعیین دمای سطح با استفاده از فناوری سنجش از دور در منطقه سیستان. آب و آبخیز، ۲۹-۲۰.

علی اصغرزاده، ح.، ثنائی نژاد، س. ح. ۱۳۸۵. تخمین تبخیر و تفرق با استفاده از داده‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در حوضه آبخیز تنگ کنشت کرمانشاه. همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز.

غلامی سفیدکوهی، م. ع.، میرلطیفی، س. م.، محمدی، ک.، علیمحمدی، ع. ۱۳۸۹. برآورد ضریب گیاهی و تبخیر- تفرق واقعی گندم با استفاده از سنجش از دور، مطالعه موردی: حوضه گرگان‌رود. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۲ (۴): ۲۳۱-۲۲۲.

قمرنیا، ه.، رضوانی، س. و. ۱۳۹۳. محاسبه و پهنه‌بندی تبخیر- تفرق با استفاده از الگوریتم سبال (SEBAL) در غرب ایران (دشت میان‌دریند). آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۸ (۱): ۸۱-۷۲.

- Oberg, J. W., Melesse, A. M. 2006. Evapotranspiration dynamics at an ecohydrological restoration site: an energy balance and remote sensing approach. *J. Amer. Water Resour. Assoc.*, 42 (3): 565–582.
- Ogawa, S., Murakami, T., Ishitsuka, N., Saito, G. 1999. Evapotranspiration estimates from fine-resolution NDVI. National Institute of Agro-Environmental Science (Japan).
- Parodi, G. N. 2000. AVHRR hydrological analysis system. Algorithm and theory, Version 1.0, WRES, Netherlands.
- Rahimi, S., Gholami Sefidkouhi, M. A., Raeini-Sarjaz, M., Valipour, M. 2015. Estimation of actual evapotranspiration by using MODIS images (a case study: Tajan catchment). *Arch. Agron. Soil Sci.*, 61 (5): 695-709.
- Singh, R. K., Irmak, A. 2009. Estimation of crop coefficients using satellite remote sensing. *J Irrig Drain Eng ASCE*, 135(5):597–608.
- Singh, R. K., Irmak, A. 2011. Treatment of anchor pixels in the METRIC model for improved estimation of sensible and latent heat fluxes. *Hydrol. Sci. J.*, 56(5): 895–906.
- Stewart, J. L., Watts, C. J., Rodriguer, J. C., De Bruin, H. A. R., Van De Berg, A. R., Garatuza-Payan, J. 1999. Use of satellite data to estimate radiation and evaporation for Northwest Mexico. *Agric. Water Manage.*, 38: 181-193.
- Teixeira, A. D. C., Bastiaanssen, W.G.M., Ahmad, M.D., Bos, M.G. 2009. Reviewing SEBAL input parameters for assessing evapotranspiration and water productivity for the low-middle São Francisco river basin, Brazil. *Agric. Forest Meteorol.*, 149: 462–476.
- Testi, L., Villalobos, F. J., Orgaz, F. 2004. Evapotranspiration of a young irrigated olive orchard in southern Spain. *Agric. For. Meteorol.*, 121(1–2): 1–18.
- United Nations Environment Programme (UNEP), Global Environmental Outlook 2000, Earthscan, London, 1999.
- Yang, Y. T., Shang, S. H., Jiang, L. 2012. Remote sensing temporal and spatial patterns of evapotranspiration and the responses to water management in a large irrigation district of north China. *Agric. For. Meteorol.*, 164: 112–122.
- Folhes, M. T., Renno, C. D., Soares, J. V. 2009. Remote sensing for irrigation water management in the semi-arid Northeast of Brazil. *Agric. Water Manage.*, 96(10): 1398–1408.
- French, A. N., Hunsaker, D. J., Thorp, K. R. 2015. Remote sensing of evapotranspiration over cotton using the TSEB and METRIC energy balance models. *Remote Sens. Environ.*, 158: 281-294.
- Galleguillos, M., Jacob, F., Prevot, L., Lagacherie, P., Liang, S.L. 2011. Mapping daily evapotranspiration over a Mediterranean vineyard watershed. *IEEE Geosci. Remote Sens. Lett.*, 8(1): 168–172.
- Junior, P. F., Sousa, A. M., Vitorino, M. I., De Souza, E. B., De Souza, P. J. O. P. 2013. Estimate of evapotranspiration in eastern Amazonia using SEBAL. *Revista de Ciências Agrarias/Amazonian J. Agric. Environ. Sci.*, 56: 33–39.
- Kustas, W. P., Norman, J. M. 1996. Use of remote sensing for evapotranspiration monitoring over land surface. *IAHS Hydrol. Sci. J.*, 41(4): 495–516.
- Kustas, W. P., Norman, J. M., Anderson, M. C., French, A. N. 2003. Estimating subpixel surface temperatures and energy fluxes from the vegetation index-radiometric temperature relationship. *Remote Sens. Environ.*, 85: 429–440.
- Li, F., Lyons, T. J. 2002. Remote estimation of regional evapotranspiration. *Environ. Model. Softw.*, 17: 61-75.
- Marsal, J., Girona, J., Casadesus, J., Lopez, G., Stockle, C. O. 2013. Crop coefficient (Kc) for apple: comparison between measurements by a weighing lysimeter and prediction by CropSyst. *Irrig. Sci.* 31: 455–463.
- Michael, M. G., Bastiaansen, W. G. M. 2002. A new simple method to determine crop coefficients for water allocation planning from satellites: results from Kenya. *Irrig. Drain. Syst.*, 14: 237-256.



ریزمقیاس‌نمایی زمانی دمای هوا با استفاده از فراکتال و رگرسیون تناوبی در دو اقلیم خشک و

نیمه‌خشک

شیمیا تاج‌آبادی^۱، بیژن قهرمان^{۲*}، علی نقی ضیائی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۹/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۵/۰۱

چکیده

دمای هوا یکی از مهم‌ترین متغیرها در مطالعات زیست محیطی، کشاورزی و منابع آب است که همواره در ریزمقیاس‌های زمانی و مکانی مورد نظر در اختیار نمی‌باشد. استفاده از توابع درون‌یابی متداول مانند فراکتال و رگرسیون می‌توانند نتایج مطلوبی را در این زمینه تولید نماید. در این تحقیق برای مدل‌سازی دمای سه سال ۲۰۰۷-۲۰۰۹ ایستگاه سینوپتیک مشهد و سه سال ۱۹۸۲-۱۹۸۰ ایستگاه سینوپتیک کرمان از ابزار توابع درون‌یاب فرکتال و رگرسیون تناوبی استفاده شده است. در ابتدا به مدل‌سازی داده‌های دمای روزانه، تولید دمای روزانه با فاصله درون‌یابی ۵ و ۱۰ روز، ریزمقیاس‌سازی سه ساعته دما از داده‌های روزانه و مدل‌سازی داده‌های مفقود شده پرداخته شد. به طور کلی نتایج در هر دو اقلیم روند مشابهی را نشان دادند، به طوری که در هر دو اقلیم نتایج مربوط به مدل‌سازی با فواصل زمانی ۵ روز از مدل‌سازی با فواصل ۱۰ روز قبول‌تر بود و آزمون‌های آماری، مقادیر آماره ضریب تبیین را به ترتیب برای مشهد و کرمان بین ۰/۷۷-۰/۹۸ و ۰/۸۲-۰/۹۸ و ریشه میانگین مربعات خطا را بین ۱/۵۲-۵/۸۱ و ۱/۱۹-۵/۴۸ درجه سانتی‌گراد نشان دادند. همچنین عرض از مبدأها و شیب‌های خطوط در مقایسه تطبیقی بین نقاط مدل‌سازی و اندازه‌گیری شده در سطح ۵٪ تفاوت معنی‌داری به ترتیب با صفر و یک نداشتند که حاکی از مدل‌سازی قابل قبول می‌باشد. به طور کلی در ریزمقیاس‌سازی فراکتال با کمی اختلاف بهتر از رگرسیون تناوبی عمل کرده است.

واژه‌های کلیدی: داده مفقود، درون‌یابی، سری فوریه، مدل‌سازی

مقدمه

شناسایی رفتار یک پدیده سودمند است زیرا امکان برون‌یابی، درون‌یابی (مثلاً ریزمقیاس‌نمایی) و پر کردن داده‌های مفقود را فراهم کرده و می‌تواند منجر به کاهش نمونه‌برداری در مقیاس زمان و مکان شود. دستیابی به اطلاعات صحیح در مقیاس حوضه آبریز منوط به وجود ایستگاه‌های اندازه‌گیری کافی با پراکنش مکانی مناسب است که عموماً در عمل چنین شرایطی فراهم نمی‌باشد. متغیرهای هیدرولوژیکی در سطح حوضه آبریز، از تغییرات زمانی و مکانی برخوردار بوده و به عنوان متغیرهای

تصادفی و پویا شناخته می‌شوند (پرادهم و رید^۴، ۱۹۹۸). به این ترتیب برای دستیابی به اطلاعات ریزمقیاس در زمان و مکان و به منظور اعمال مدیریت بهینه در حوضه آبریز، ریزمقیاس‌نمایی^۵ زمانی و مکانی خصوصیات هیدرولوژیکی حوضه (مثلاً مؤلفه‌های مؤثر در معادله بیلان آب برای مدیریت جامع منابع آب) ضروری است (پاتیرانا^۶، ۲۰۰۱). روش‌هایی از قبیل توابع فراکتالی، رگرسیون یک و چندگانه و نیز تابع اسپیلان امکان انجام ریزمقیاس‌نمایی را ممکن ساخته‌اند. برای مثال اگر در محاسبه تابع هندسی، بعد زمان به عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شود، این تابع مقدار کمیت مورد نظر را در مقیاس‌های زمانی کوچک‌تر از مقیاس داده‌ها، برآورد می‌کند. اصطلاحاً به این تابع، تابع درون‌یاب گفته می‌شود چون می‌توان با

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه

فردوسی مشهد

^۲ استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

* نویسنده مسئول: (bijangh@um.ac.ir)

^۳ استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد^۴ Prudhomme and Reed^۵ Disaggregation^۶ Pathirana

مدل فرکتالی خودمتمشابه قطعه‌ای برای تعیین نقاط درون‌یابی و سپس محاسبه سیستم توابع تکرار استفاده شده است. استریهال^۶ (۱۹۹۱) هندسه فرکتالی را برای آنالیز داده‌های تلاطم به کار برد. در این مقاله برای محاسبه فاکتور مقیاس عمودی در توابع درون‌یاب فرکتال، روشی جدید ارائه گردیده است. با مقایسه نتایج خروجی از این مدل با داده‌های اندازه‌گیری شده، می‌توان گفت روشی که در این مقاله برای محاسبه فاکتور مقیاس عمودی ارائه شده، روش مناسبی است و با استفاده از آن می‌توان به تولید سیستم توابع تکرار مناسب برای مدل‌سازی داده‌های تلاطم پرداخت. لی و لی^۷ (۲۰۰۸) از توابع درون‌یاب فرکتال برای مدل‌سازی داده‌های زمین لرزه‌شناسی استفاده نمودند. در این تحقیق برای مدل‌سازی داده‌های زمین لرزه‌شناسی از روش‌های درون‌یابی دیگری مانند معادلات موج نیز استفاده شده است. با مقایسه نتایج خروجی از این دو روش مشاهده می‌شود که نمودار داده‌های مدل‌سازی شده با روش توابع درون‌یابی فرکتال نسبت به نمودار داده‌های مدل‌سازی شده با روش معادلات موج، به نمودار داده‌های اندازه‌گیری شده بسیار نزدیک‌تر است. فیسچر و پیترسن^۸ (۲۰۱۴) روشی را به کمک رگرسیون برای بررسی هم‌زمان غیرخطی و عدم تقارن موقتی روند، توسعه داده‌اند. آن‌ها ابتدا، اجزای روند غیرخطی از سری زمانی متغیر را توسط تطبیق روش کاهش بعد ناپارامتری استخراج کرده و سپس، اجزای روند غیرخطی، که میانگین دوره‌ای جزئی و تغییرات دوره‌ای در دامنه روند غیرخطی آن با استفاده از توابع هم‌ساز دوره‌ای فصلی و روزانه مدل شده، را در مدل رگرسیون جایگزین کردند. سپس الگوهای روند در ناهنجاری‌های مثبت و منفی با گسترش مدل روند غیرخطی با استفاده از متغیرهای شاخص مورد بررسی قرار گرفته، آزمون استنباطی غیرمحملی برای آزمون معناداری آماری از الگوهای روند را توسعه دادند. نامبردگان مدل روند غیرخطی را به یک سری زمانی شبیه‌سازی شده و همچنین به یک دوره بلندمدت درجه حرارت با وضوح بالا از پنج سایت نیم‌کره اعمال کرده و بیان نمودند که این روش به طور کلی برای شناسایی اثر

استفاده از آن، مقدار کمیت مورد مطالعه را در فاصله هر دو داده متوالی (در بعد زمان یا مکان) در مجموعه داده‌های یک کمیت برآورد کرد. این توابع علاوه بر درون‌یابی مقادیر در مجموعه داده‌های کمیت مورد نظر، قادر به پیش‌بینی کمیت و به عبارت دیگر برون‌یابی در مجموعه داده‌های کمیت مورد نظر نیز می‌باشند. رگرسیون تناوبی به عنوان نمونه‌ای خاص از رگرسیون چندگانه و فرکتال روش‌هایی هستند که امکان ریزمقیاس‌نمایی را ممکن می‌سازند. بسیاری از سری‌های بیولوژیکی و کشاورزی توسط تغییرات فصلی مشخص می‌شوند. پدیده‌های تناوبی در درجه اول نه تنها به داده‌های بیولوژیکی، بلکه به داده‌های غیر بیولوژیکی نیز نزدیک هستند. پدیده‌های تناوبی یا حلقوی مشخصه بسیاری از انواع مختلف داده‌ها بوده، که می‌توانند هم‌زمان با تغییرات روزانه، قمری یا سالانه تغییر کنند (بلیس^۱، ۱۹۷۰). بسیاری از داده‌های کشاورزی تمایل به نوسان در فواصل زمانی منظم داشته (لیتل و هیلز^۲، ۱۹۷۸) و پارامترهای هواشناسی مانند دمای هوا نیز دامنه نوساناتشان در مقیاس‌های مختلف، متفاوت می‌باشد. هندسه فرکتالی^۳ شاخه‌ای از ریاضیات است که در میدان‌های گسسته و متناوب کاربردهای فراوانی داشته و در سال‌های اخیر برای تولید داده‌هایی که مقیاس آن‌ها متفاوت با مقیاس داده‌های اندازه‌گیری شده باشد، مورد استفاده قرار گرفته است (پوانته^۳، ۱۹۹۵، پاتیرانا، ۲۰۰۱). هولدر^۴ (۱۹۸۵) با یادآوری به اینکه در بیش‌تر پدیده‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی دوره تناوب مشاهده می‌شود، استفاده از روش رگرسیون تناوبی را روشی مطلوبی برای برآزش بر داده‌ها می‌داند که بتوان به کمک آن سری زمانی کمیت‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی را مدل‌سازی کرد. میزل و هیز^۵ (۱۹۹۲) با استفاده از توابع درون‌یاب فرکتال به مدل‌سازی داده‌های نقطه‌ای نوسانات سطح زمین و همچنین سری‌های زمانی کمیت‌های مختلفی مانند الکتروکاردیوگرام، لوگ چاه و نوسانات صوت پرداخته و دو مدل نیز برای تولید سیستم توابع فرکتالی ارائه نمودند. همچنین از دو مدل فرکتالی خودمتمشابه و

¹ Bliss

² Little and Hills

³ Puente

⁴ Holder

⁵ Mazel and Hayes

⁶ Strahle

⁷ Li and Li

⁸ Fischer and Paterson

در سال‌های ۲۰۰۴-۲۰۰۹ و سال‌های ۱۹۸۰-۱۹۸۲ میلادی ایستگاه سینوپتیک کرمان به صورت روزانه و سه ساعته استفاده شده است. داده‌های دمای ساعت ۱۵ به عنوان داده ورودی به مدل انتخاب شد. شهر مشهد در شمال شرق ایران و در طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۶۰ درجه و ۳۶ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۳ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۸ دقیقه قرار دارد. ارتفاع مشهد از سطح دریا ۹۸۵ متر است و میانگین دمای سالانه آن ۱۵/۷ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (ویکی‌پدیا، ۲۰۱۴). شهر کرمان در جنوب شرقی فلات مرکزی و بین ۵۳ درجه و ۲۶ دقیقه تا ۵۹ درجه و ۲۹ دقیقه طول شرقی و ۲۵ درجه و ۵۵ دقیقه تا ۳۲ درجه عرض شمالی قرار دارد. ارتفاع شهر کرمان از سطح دریا ۱۷۵۶ متر و میانگین دمای سالانه آن ۱۵/۸ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (ویکی‌پدیا، ۲۰۱۴).

روش‌ها

۱- فراکتال

با توجه به کاربرد گسترده توابع درون‌یاب فرکتال در مدل‌سازی سری‌های زمانی مختلف، در این تحقیق نیز از توابع درون‌یاب فرکتال برای مدل‌سازی داده‌های دمای روزانه سال‌های میلادی مذکور استفاده می‌شود. در فرآیند مدل‌سازی سری زمانی داده‌های دما روزانه از مدل فرکتالی خودمتشابه برای تولید سیستم توابع تکرار استفاده می‌شود. در این مدل فرض می‌شود که تغییرات در هر زیر مجموعه‌ای از مجموعه داده‌های یک کمیت از تغییرات در کل مجموعه داده‌های کمیت مورد مطالعه پیروی می‌کنند. بنابراین برای تعیین فاکتور مقیاس عمودی (d) در توابع درون‌یاب فرکتال (توابع نسبی برشی) و در نتیجه تعیین نقاط بهینه درون‌یابی به منظور مدل‌سازی مجموعه داده‌های کمیت مورد مطالعه، از تمامی نقاط در مجموعه داده‌ها استفاده می‌گردد. به این ترتیب نقاط درون‌یابی تعیین شده و فاکتور مقیاس عمودی در توابع درون‌یاب فرکتال محاسبه می‌شوند و در نتیجه سیستم توابع تکرار برای مدل‌سازی کمیت مورد مطالعه تولید می‌گردد. هر تابع درون‌یاب به طور مجزا بر روی تمامی نقاط در مجموعه داده‌های کمیت مورد مطالعه اعمال شده و تمام نقاط این مجموعه را به فاصله میان دو نقطه درون‌یابی متناظر با هر تابع درون‌یاب انتقال

هر دو عامل مربوط به آب و هوا و عوامل مشاهده‌ای مرتبط با سایت در روند فصلی و روزانه در سری داده‌های هواشناسی مفید می‌باشد. کلماینن و همکاران^۱ (۲۰۰۱) تحقیقی را با هدف مقایسه دو روش اساساً متفاوت شبکه عصبی و رگرسیون دوره‌ای، بر روی سری زمانی ساعتی NO₂ و متغیرهای عمومی هواشناسی انجام داده‌اند. مقادیر پیش‌بینی شده به سه روش ۱. رگرسیون تناوبی، ۲. شبکه عصبی پس از حذف اجزای دوره‌ای و ۳. شبکه عصبی با داده‌های اصلی بدون حذف اجزای دوره‌ای، برآورد شده‌اند. نتایج نشان داد که بهترین برآورد پیش‌بینی را می‌توان به طور مستقیم با استفاده از شبکه پرسپترون چند لایه با داده‌های اصلی به دست آورد، که ترکیبی از روش رگرسیون تناوبی و الگوریتم‌های عصبی می‌باشد. لیتل و هیلز (۱۹۷۸)، رگرسیون تناوبی را برای بسیاری از داده‌های کشاورزی بررسی نموده و مختصری از طرح و روش کلی استفاده از رگرسیون تناوبی را برای داده‌های کشاورزی بیان نموده‌اند. موارد بیان شده به خوبی نشان می‌دهد که هر دو شیوه رگرسیون تناوبی و فرکتال برای طیف وسیعی از شرایط قابل اعمال است. با این حال درجه حرارت به عنوان یکی از عوامل مهم آب و هوایی که رفتار تناوبی تقریباً منظمی دارد مورد توجه پژوهشگران بوده و بررسی رفتار آن در مقیاس‌های مختلف زمانی دارای اهمیت است. بررسی منابع نشان می‌دهد که از روش‌های درون‌یابی برای این منظور استفاده نشده است. با توجه به نیاز به ریزمقیاس‌نمایی پارامترها، از جمله درجه حرارت، در این تحقیق به منظور مقایسه و تعیین روش مناسب از دو ابزار فراکتال و رگرسیون تناوبی برای مدل‌سازی و سپس ریزمقیاس کردن سری زمانی داده‌های دمای روزانه و تولید سری زمانی داده‌های دما با مقیاس زمانی کوچک‌تر از مقیاس روزانه استفاده گردیده است. این مقیاس‌های کوچک‌تر برای مواردی همچون تبخیر-تعرق با اهمیت است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

به منظور بررسی رفتار دو مدل رگرسیون تناوبی و فرکتال بر اقلیم‌های مختلف و سال‌های متفاوت در این پژوهش از داده‌های دمای هوای ایستگاه سینوپتیک مشهد

¹ Kolehmainen et al.

منحنی فوریه شناخته شده و برای هر نوع از اطلاعاتی که تمایل به نوسان در فواصل منظم دارند، مفید است. بسیاری چند از متون آماری در مورد این نوع از داده‌ها بحث نموده‌اند (مارکو و نیکولیک، ۱۹۸۲).^۲ مقادیر متغیر y که در فواصل زمانی یکسان اندازه‌گیری و به صورت زوج مرتب $(y_1, t_1), (y_2, t_2), \dots, (y_n, t_n)$ که $t_i = a + ib$ (است)، نشان داده شده و گام زمانی به صورت $n, 2n, \dots, 1$ و مقیاس زمانی نیز به صورت $T_i = (t_i - a)/b$ می‌باشد. برای استفاده از مقیاس زمانی و مدلی با n دوره خواهیم داشت.

$$y_i = \alpha + \beta \cos\left(\frac{2\pi T_i}{n}\right) + \gamma \sin\left(\frac{2\pi T_i}{n}\right) + e_i = \alpha + \beta \cos\left(\frac{2\pi i}{n}\right) + \gamma \sin\left(\frac{2\pi i}{n}\right) + e_i \quad (2)$$

به عبارت دیگر، اگر در زمان‌های آتی مثل $T_i = n+1, n+2, n+3, \dots$ مقادیری داشته باشیم مقدار مدل y برای $T_i = k$ برابر با مقدار مدل y برای $2n+k, 4n+k, \dots$ (به جز برای ترم‌های خطا) می‌باشد.

$$y_i = \sum_{r=1}^s \left[\beta_r \cos\left(\frac{2\pi r}{n} i\right) + \gamma_r \sin\left(\frac{2\pi r}{n} i\right) \right] + e_i + a \quad (3)$$

در معادله (۳)، $r=1$ جمله‌هایی با دوره n و $r=2$ جمله‌هایی با دوره $n/2$ و در نهایت $r=s$ جمله‌هایی با دوره n/s را نشان می‌دهد. پدیده‌هایی با دوره ۲ یا کم‌تر، را نمی‌توان در داده‌ها تشخیص داد. بیش‌ترین مقدار s چنانچه n فرد باشد برابر $\frac{1}{2}(n-1)$ و چنانچه n زوج باشد برابر $\frac{1}{2}(2n-1)$ است. مدل رگرسیون تناوبی استفاده شده به صورت معادله‌های ۴ تا ۷ می‌باشد.

$$\hat{\alpha} = \bar{y} \quad (4)$$

$$\hat{\beta}_r = \left(\sum_{i=r}^n y_i \cos\left(\frac{2\pi r}{n} i\right) \right) / \left(\sum_{i=r}^n \left(\cos\left(\frac{2\pi r}{n} i\right) \right)^2 \right) = \quad (5)$$

$$\hat{\gamma}_r = \left(\sum_{i=r}^n y_i \sin\left(\frac{2\pi r}{n} i\right) \right) / \left(\sum_{i=r}^n \left(\sin\left(\frac{2\pi r}{n} i\right) \right)^2 \right) = \frac{2}{n} \sum_{i=r}^n y_i \cos\left(\frac{2\pi r}{n} i\right) \quad (6)$$

$$y_i = \hat{\alpha} + \sum_{r=1}^s \left[\hat{\beta}_r \cos\left(\frac{2\pi r}{n} i\right) + \hat{\gamma}_r \sin\left(\frac{2\pi r}{n} i\right) \right] + e_i \quad (7)$$

می‌دهد. به این ترتیب مدل‌سازی مجموعه داده‌های کمیت مورد مطالعه انجام می‌پذیرد. برای محاسبه فاکتور مقیاس عمودی، از روش ارائه شده توسط مروستی و استریهال و از تابع درونیابی نسبی برشی استفاده شده و نقاط درونیابی نیز با استفاده از الگوریتم ارائه شده توسط میزل و هیز تعیین می‌گردند.

۲- فاکتور مقیاس عمودی

در روش مروستی و استریهال، اولین و آخرین داده در مجموعه داده‌های یک کمیت به عنوان اولین و آخرین نقطه درونیابی در نظر گرفته می‌شوند. این دو نقطه با خطی مستقیم به یکدیگر متصل شده و فاصله تمامی نقاط در مجموعه داده‌ها از این خط محاسبه می‌گردد. بیش‌ترین فاصله نقاط تا خط معادل μ در نظر گرفته می‌شود. سپس در فاصله هر دو نقطه درونیابی متوالی نیز، دو نقطه درونیابی با خطی مستقیم به یکدیگر متصل شده و فاصله سایر نقاط در این فاصله از خط واصل دو نقطه درونیابی محاسبه می‌گردد و نقطه‌ای که بیش‌ترین فاصله را از خط واصل دو نقطه درونیابی دارد تعیین گردیده و فاصله آن معادل θ می‌باشد. از تقسیم θ بر μ ، فاکتور مقیاس عمودی در تابع درونیاب محاسبه می‌شود.

۳- تعیین تابع درونیابی

تابع نسبی W در فضای دو بعدی به صورت معادله (۱) تعریف می‌شود. در این معادله W تابع نسبی، $\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}$ مختصات هر نقطه از فضای دو بعدی و ضرایب a, b, c, d, e و f پارامترهای تابع و اعداد حقیقی می‌باشند. پارامتر d را فاکتور مقیاس عمودی تابع می‌نامند. تابع نسبی برشی در واقع همان تابع نسبی است با این تفاوت که مقدار پارامتر b در این تابع معادل صفر در نظر گرفته می‌شود. در توابع نسبی برشی، پارامتر d (فاکتور مقیاس عمودی) به عنوان پارامتر آزاد برای تابع تعریف می‌شود (برنسلی،^۱ ۱۹۸۸).

$$W \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} e \\ f \end{pmatrix} = AX + t \quad (1)$$

۴- رگرسیون تناوبی

نوع تناوبی رگرسیون، منحنی است که به برخی از متغیرهای وابسته به زمان مرتبط بوده و در فواصل زمانی ثابت تکرار می‌شود. این منحنی در متون ریاضی به عنوان

² Marko and Nikolic

¹ Barnsley

داشت که بتوان با توابع درون‌یاب فرکتال این رفتار را مدل‌سازی نمود. در این شکل رفتار تناوبی با دوره تناوب سالانه (۳۶۵ روز) به خوبی مشاهده می‌شود. همچنین می‌توان از روش رگرسیون تناوبی برای مدل‌سازی سری زمانی داده‌های دما استفاده کرد. لذا، طول دوره تناوب معادل ۳۶۵ روز و $s = 181$ در نظر گرفته شد. به این ترتیب معادله رگرسیونی میان ماتریسی از پارامترهای مستقل (β_r, α_r) و مقادیر اندازه‌گیری شده دمای روزانه (y_i) تولید گردید.

۱- مدل‌سازی روزانه از داده‌هایی با فواصل پنج یا

ده روز

در این بخش به این مفهوم پرداخته می‌شود که اگر داده‌های دما به صورت ۵ (یا ۱۰) روزه در دسترس باشد دقت رگرسیون تناوبی چگونه خواهد بود. به بیان دیگر داده‌های ۵ (یا ۱۰) روزه به گام یک روزه ریزمقیاس‌نمایی زمانی گردید. مدل برای ایستگاه سینوپتیک مشهد و کرمان استفاده شد. همچنین برای مدل فراکتال هم دو بازه درون‌یابی ۵ (یا ۱۰) انتخاب شدند. به ازای فواصل زمانی ۵ (یا ۱۰) روز مدل‌ها اجرا شد و از روی مقادیر ۵ (یا ۱۰) روزه، مقادیر روزانه دما مدل‌سازی گردید. به دلیل جلوگیری از تکرار، شکل‌های مربوط به ایستگاه سینوپتیک مشهد گزارش می‌شوند اما نتایج عددی هر دو ایستگاه در جداول ذکر شده‌اند. شکل‌های ۲ و ۳ به ترتیب مقادیر مدل‌سازی شده و اندازه‌گیری شده توسط رگرسیون تناوبی و فراکتال برای فاصله درون‌یابی ۵ و ۱۰ روزه ایستگاه سینوپتیک مشهد را نشان می‌دهد. بر مبنای شکل، دماهای مدل‌سازی شده به خوبی رفتار دماهای اندازه‌گیری شده را تقلید کرده‌اند و پراکنش نقاط اندازه‌گیری شده در حول خط ممتد (دماهای مدل شده) زیاد نمی‌باشد. در مقایسه‌های تطبیقی، نقاط تقریباً بر روی نیمساز ربع اول واقع شده‌اند که نارایی برآورد را نشان می‌دهد. معیارهای آماری برای سنجش دقت مدل‌سازی در جدول ۱ و هر دو مدل رگرسیون تناوبی و فرکتال آورده شده است. دقت مدل‌سازی برای هر دو روش مناسب بوده ولی دقت روش فرکتال به طور محسوس بر روش رگرسیون تناوبی برتری دارد.

که در آن‌ها، i شمارنده زمان، y_i مقدار اندازه‌گیری شده در زمان i ام، \bar{y} میانگین داده‌های اندازه‌گیری شده و n طول دوره تناوب مشاهده شده در سری زمانی داده‌های دمای روزانه می‌باشد (هولدر، ۱۹۸۵).

۵- معیار ارزیابی صحت مدل

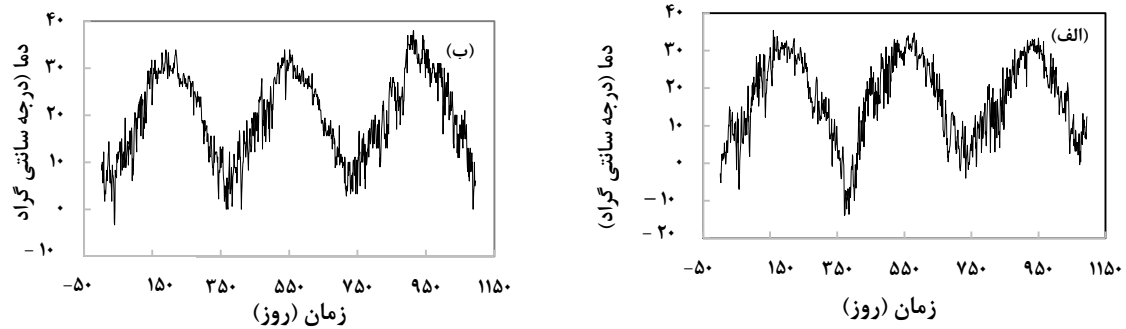
در بررسی‌های آماری از پارامتر ریشه دوم میانگین مربعات خطا که معیاری برای بررسی میزان صحت مدل در ارائه نتایج می‌باشد به عنوان شاخص واریانس بین مقادیر دمای اندازه‌گیری شده (T_{obs}) و دمای مدل‌سازی شده ($T_{simulated}$) استفاده می‌شود.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (T_{obs} - T_{simulated})^2} \quad (8)$$

همچنین یکی دیگر از معیارها ضریب تبیین (R^2) می‌باشد. میزان اختلاف بین مقادیر اندازه‌گیری شده و مدل‌سازی شده را نشان می‌دهد. کد مربوط به دو مدل فرکتالی و رگرسیون تناوبی با استفاده از نرم‌افزار متلب نوشته شده است. نتایج خروجی دو مدل مقایسه می‌گردند. برای مدل فرکتال مدل‌سازی دمای روزانه از داده‌های دما با فاصله نقاط درون‌یابی پنج و ده روزه استفاده شد. برای مدل‌سازی داده‌های دماهای مفقود (به صورت تصادفی ۱۰٪ از داده‌های هر سال حذف گردید تا دقت مدل برای داده‌های ناموجود بررسی شود) و در نهایت به ریزمقیاس‌نمایی زمانی دماهای سه ساعته از داده‌های دمای روزانه پرداخته شد. برای مدل رگرسیون، مدل‌سازی دمای روزانه از داده‌های دما با فواصل پنج و ده روزه (استفاده از جملات مدل رگرسیون (s) با فواصل ۵ و ۱۰ روز به این منظور که در صورت نبود داده کافی امکان مدل‌سازی با داده‌های ۵ و ۱۰ روزه بررسی شده است)، مدل‌سازی داده‌های دماهای مفقود و در نهایت به ریزمقیاس‌نمایی زمانی دماهای سه ساعته از داده‌های دمای روزانه، مدنظر قرار گرفت.

نتایج و بحث

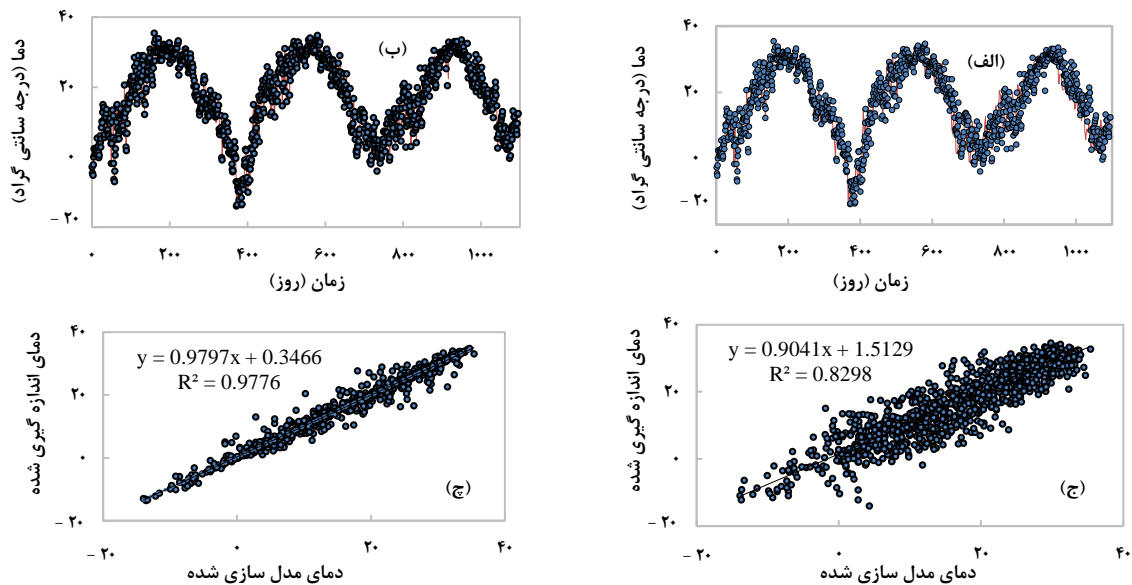
شکل (۱-الف) رفتار تناوبی سری زمانی دمای روزانه ایستگاه سینوپتیک مشهد و (۱-ب) ایستگاه سینوپتیک کرمان را نشان می‌دهد. با توجه به نوسانات می‌توان انتظار



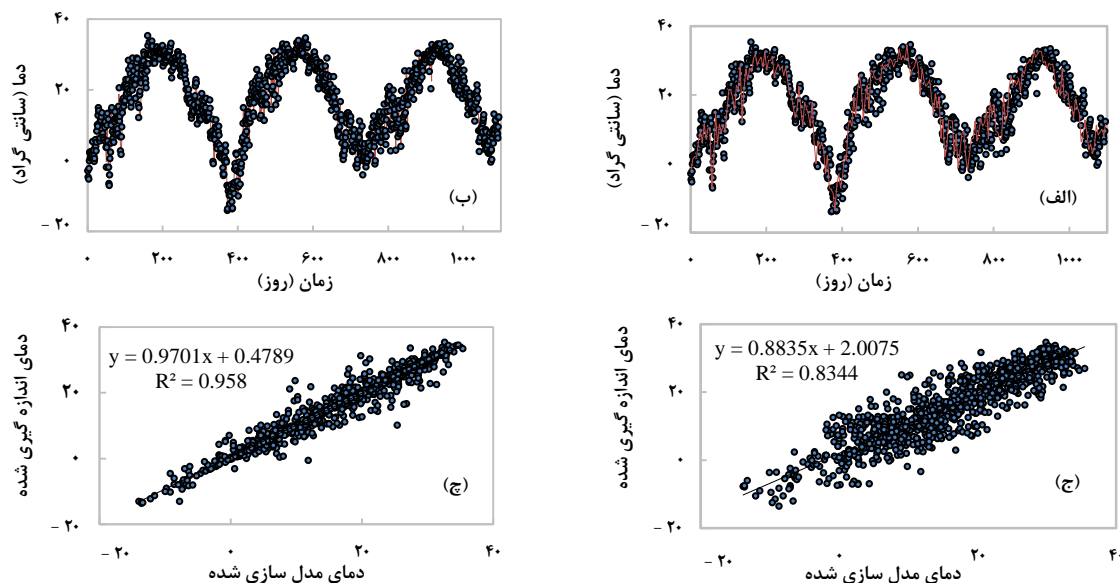
شکل ۱- رفتار تناوبی داده‌های دمای الف- مشهد در دوره سه ساله از روز اول ژانویه ۲۰۰۷-۲۰۰۹ و ب- کرمان در دوره سه ساله از روز اول ژانویه ۱۹۸۰-۱۹۸۲

که نقاط ثابت بهینه نباشند ولی از طرف دیگر تعداد نقاط درون‌یابی کمتر شده که منجر به کاهش بازه‌های درون‌یابی و لذا زمان اجرای فرآیند مدل‌سازی می‌شود. ولی از طرف دیگر معمولاً این برتری با افزایش خطای مدل‌سازی همراه است و لذا یافتن تقابلی بین سرعت و دقت همواره چالش برانگیز بوده است. همین مفهوم برای مدل‌سازی رگرسیون تناوبی نیز وجود دارد. نتایج آزمون‌های آماری در جدول ۱ برای دو مدل فرکتال و رگرسیون تناوبی و دو ایستگاه سینوپتیک مشهد و کرمان بیان شده است.

در شکل‌های ۲ و ۳ معادله خط رگرسیون بین نقاط اندازه‌گیری شده و مدل‌سازی شده قید شده است. عرض از مبدأ و شیب این خطوط به ترتیب بسیار نزدیک به صفر و یک بوده و ضریب همبستگی خطوط نیز بالا می‌باشد. با این حال در این پژوهش از آزمون مناسب آماری استفاده گردید و بر پایه نتایج مشخص شد که در هیچ مورد تفاوت ضرایب با مقادیر ایده‌آل صفر و یک در سطح معنی‌داری ۵ درصد معنی‌دار نبود. تفاوت بین فاصله درون‌یابی ۵ و ۱۰ روز (شکل‌های ۲ و ۳) در این است که با افزایش این فاصله، نقاط ثابت درون‌یابی در مدل‌سازی فرکتال از مجموعه‌ای کوچک‌تر انتخاب می‌شود و لذا ممکن است



شکل ۲- مقایسه نتایج حاصل از مدل‌سازی (خط ممتد) با مقادیر دمای اندازه‌گیری شده (نقاط) حسب درجه سانتی‌گراد در مقیاس زمانی روزانه از داده‌های ۵ روزه در یک دوره سه ساله از ژانویه ۲۰۰۷ تا دسامبر ۲۰۰۹ ایستگاه سینوپتیک مشهد به روش الف- رگرسیون تناوبی، ب- فراکتال و مقایسه تطبیقی با خط ۱:۱ ج- رگرسیون تناوبی و چ- فراکتال



شکل ۳- مقایسه نتایج حاصل از مدل سازی (خط ممتد) با مقادیر دمای اندازه گیری شده (نقاط) حسب درجه سانتی گراد در مقیاس زمانی روزانه از داده های ۱۰ روزه در یک دوره سه ساله از ژانویه ۲۰۰۷ تا دسامبر ۲۰۰۹ ایستگاه سینوپتیک مشهد به روش الف- رگرسیون تناوبی، ب- فراکتال و مقایسه تطبیقی با خط ۱:۱ ج- رگرسیون تناوبی و چ- فراکتال

می توان داده های حذف شده را با دقتی مناسب مدل سازی کرد هر چند که این مقادیر با داده های اصلی تفاوت دارد اما این مقدار اختلاف به طور کلی از مفقود بودن داده بهتر است. نتایج آماره های هر دو ایستگاه سینوپتیک هم که در جدول ۲ آمده اند این نتیجه گیری را قوی تر می کنند. همچنین با توجه به نتایج موجود در جدول ۲ می توان بیان نمود که با توجه به اینکه دو مجموعه متفاوت داده از دو ایستگاه سینوپتیک متفاوت و ۶ سال مختلف انتخاب شده اند، پس مکان داده مفقود بر مدل سازی آن تأثیر منفی ندارد. همچنین طبیعی است که مدل سازی داده مفقود مبنی بر این شرط قابل قبول است که تعداد داده مفقود در یک محدوده خاص قابل قبول است و چنانچه تعداد داده مفقود از حدی بیش تر شود کل مدل سازی دچار چالش شده و چه بسا به طور کل مورد تأیید نباشد.

۳- ریزمقیاس نمایی دمای سه ساعته از دمای روزانه

از آنجاکه وجود اطلاعات در بازه زمانی مناسب برای شناخت یک پدیده بسیار ضروری است، در این بخش از روی داده های روزانه دوره های سه ساله ۲۰۰۷-۲۰۰۹ میلادی ایستگاه سینوپتیک مشهد و ۱۹۸۰-۱۹۸۲ میلادی ایستگاه سینوپتیک کرمان، به ریزمقیاس نمایی زمانی پرداخته و دمای سه ساعته از روی دمای روزانه این سال ها مدل سازی گردید.

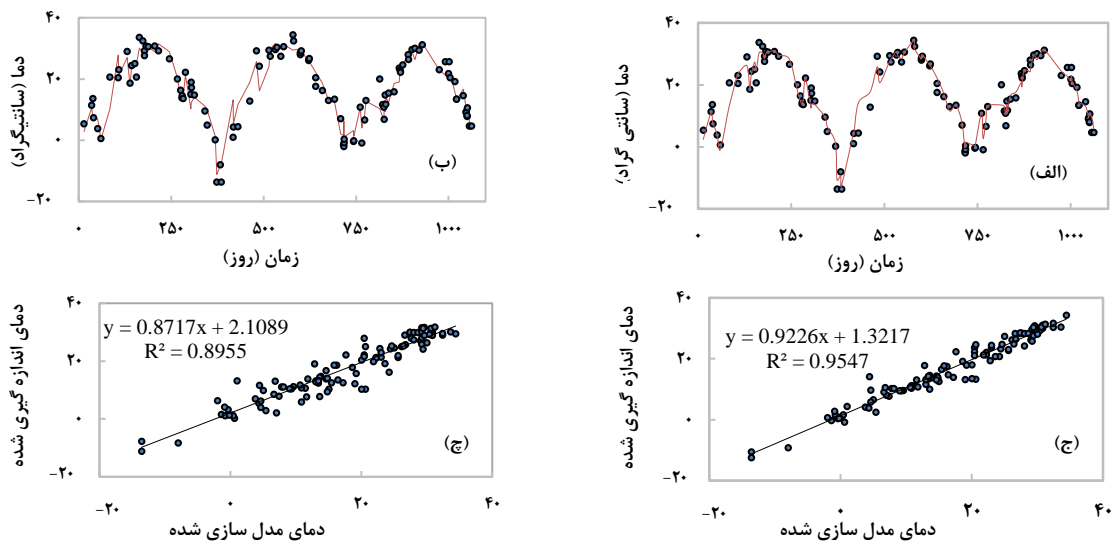
در هیچ کدام از مدل ها و ایستگاه ها تفاوت ضرایب با مقادیر ایده آل صفر و یک در سطح ۵ درصد تفاوت معنی داری را نشان نداد. در نهایت دقت و صحت مدل در فاصله زمانی زیاد نسبت به زمانی که فواصل زمانی مدل سازی کم تر انتخاب شود، کاهش می یابد. همچنین مشخص است که مکان مورد مطالعه و زمان مورد بررسی بر عملکرد مدل ها تأثیر منفی نداشته و مدل ها به خوبی می توانند رفتار پدیده مورد نظر را مدل سازی کنند.

۲- مدل سازی داده های ناموجود

داده های مفقود یا اندازه گیری نشده در سری زمانی داده ها یکی از مشکلاتی است که مدل سازی را با خطا مواجه می کند. شناسایی داده مفقود و تخمین آن با توجه به رفتار سری زمانی می تواند تا حدی این مشکل را برطرف کند. در این بخش به مدل سازی داده هایی پرداخته شد که در سری زمانی حذف شده یا به هر دلیلی اندازه گیری نشده اند. به این منظور ۱۰ درصد داده های هر سال (حدوداً ۳۶ داده) هر دو ایستگاه سینوپتیک به طور تصادفی حذف گردید. سپس توابع درون یاب فراکتال و مدل رگرسیون تناوبی را برای داده های موجود (باقی مانده) اجرا و پس از آن داده های مربوط به نقاطی که حذف شده اند از روی مدل برآورد گردیدند. داده های حذف شده ایستگاه سینوپتیک مشهد با داده های مدل سازی شده در شکل ۴ مقایسه شدند. نتایج حاضر نشان می دهد که

جدول ۱- معیارهای ارزیابی صحت و دقت در مدل رگرسیون تناوبی برای مدل سازی داده های دما با فواصل ۵ و ۱۰ روزه در ایستگاه مشهد و کرمان

R ²	RMSE (°C)	سال	روش	فاصله درون یابی	شهر	R ²	RMSE (°C)	سال	روش	فاصله درون یابی	شهر
۰/۷۵	۴/۳۱	۱۹۸۰				۰/۸۹	۳/۴۵	۲۰۰۷			
۰/۸۹	۴/۰۱	۱۹۸۱	رگرسیون			۰/۸۵	۴/۷۶	۲۰۰۸	رگرسیون		
۰/۸۳	۴/۱۲	۱۹۸۲		۵ روزه		۰/۷۳	۴/۹۴	۲۰۰۹		۵ روزه	
۰/۹۱	۱/۵۹	۱۹۸۰				۰/۹۷	۱/۶	۲۰۰۷			
۰/۹۷	۱/۱۹	۱۹۸۱	فراکتال			۰/۹۸	۱/۵۲	۲۰۰۸	فراکتال		
۰/۹۵	۱/۴۴	۱۹۸۲			کرمان	۰/۹۶	۱/۷۳	۲۰۰۹			مشهد
۰/۷۳	۴/۴۵	۱۹۸۰				۰/۸۴	۳/۷۷	۲۰۰۷			
۰/۸۰	۴/۲۱	۱۹۸۱	رگرسیون			۰/۸۳	۴/۹۰	۲۰۰۸	رگرسیون		
۰/۷۵	۴/۳۷	۱۹۸۲		۱۰ روزه		۰/۷۰	۵/۱۲	۲۰۰۹		۱۰ روزه	
۰/۹۴	۲/۰۸	۱۹۸۰				۰/۹۴	۲/۳۷	۲۰۰۷			
۰/۹۸	۱/۵۳	۱۹۸۱	فراکتال			۰/۹۷	۱/۷۴	۲۰۰۸	فراکتال		
۰/۹۵	۱/۹۵	۱۹۸۲				۰/۹۳	۲/۴۷	۲۰۰۹			

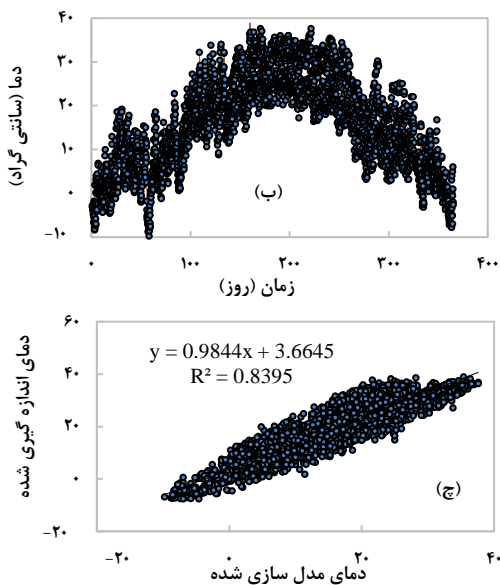


شکل ۴- مقایسه نتایج حاصل از مدل سازی (خط ممتد) داده حذف شده با داده اندازه گیری شده (نقاط) حسب درجه سانتی گراد در مقیاس زمانی روزانه مشهد در دوره سه ساله از ژانویه ۲۰۰۷ تا دسامبر ۲۰۰۹ و الف- رگرسیون تناوبی، ب- فراکتال، ج- مقایسه تطبیقی نسبت به خط ۱:۱ با استفاده از رگرسیون تناوبی و ج- مقایسه تطبیقی نسبت به خط ۱:۱ با استفاده از فراکتال

جدول ۲- معیارهای ارزیابی صحت و دقت در مدل رگرسیون تناوبی و فراکتال داده های حذف شده مدل سازی شده و اندازه گیری شده

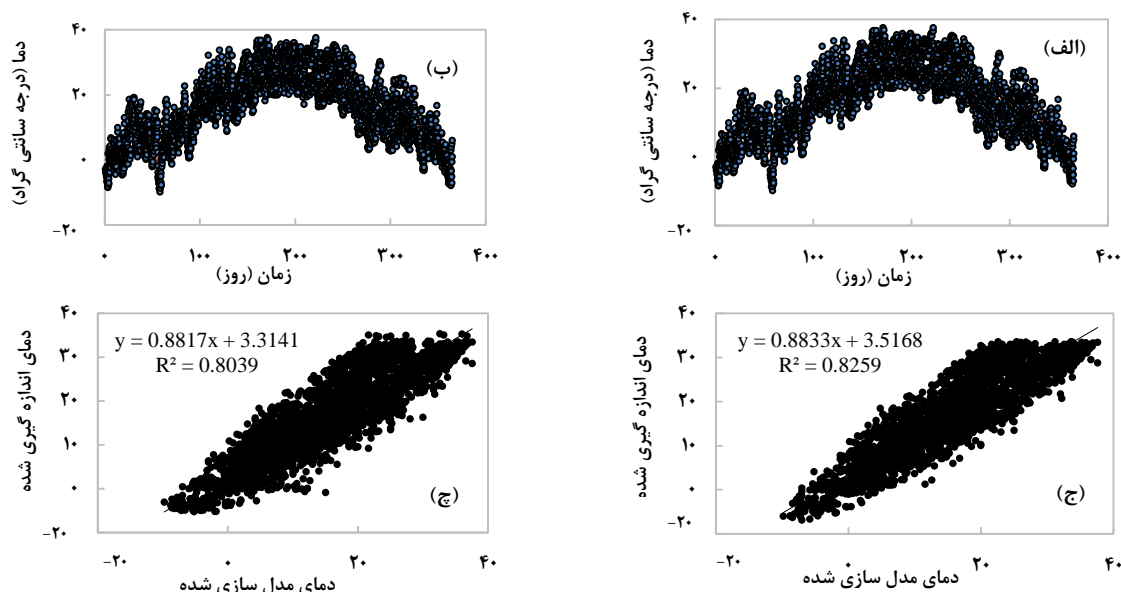
R ²	RMSE (°C)	سال	روش	شهر	R ²	RMSE (°C)	سال	روش	شهر
۰/۹۷	۲/۲۲	۱۹۸۰			۰/۹۳	۲/۳۹	۲۰۰۷		
۰/۹۴	۲/۳۵	۱۹۸۱	رگرسیون		۰/۹۷	۲/۲۴	۲۰۰۸	رگرسیون	
۰/۹۸	۲/۲۰	۱۹۸۲			۰/۹۴	۲/۳۱	۲۰۰۹		مشهد
۰/۸۷	۳/۹۶	۱۹۸۰		کرمان	۰/۸۶	۳/۴۳	۲۰۰۷		
۰/۸۵	۴/۱۲	۱۹۸۱	فراکتال		۰/۹۲	۴/۰۸	۲۰۰۸	فراکتال	
۰/۹۰	۳/۵۴	۱۹۸۲			۰/۸۸	۳/۳۳	۲۰۰۹		

تطبیقی بین دماهای سه ساعته مدل‌سازی شده و اندازه‌گیری شده توسط دو روش به ترتیب با فاصله درونیابی ۵ روز و ۱۰ روز را نشان می‌دهند.



شکل‌های ۵ و ۶ دمای مدل‌سازی شده سه ساعته از روی دمای روزانه برای سال ۲۰۰۷ ایستگاه سینوپتیک مشهد توسط رگرسیون تناوبی و فراکتال و نیز مقایسه

شکل ۵- مقایسه نتایج حاصل از ریزمقیاس‌نمایی سه ساعته از داده‌های روزانه (خط ممتد) با دمای اندازه‌گیری شده (نقاط) حسب درجه سانتی‌گراد در مقیاس زمانی سه ساعته در سال ۲۰۰۷ در ایستگاه مشهد با فاصله درونیابی ۵ روز الف- توسط رگرسیون، ب- توسط فراکتال و مقایسه تطبیقی با خط ۱:۱ و ج- توسط رگرسیون و د- توسط فراکتال



شکل ۶- مقایسه نتایج حاصل از ریزمقیاس‌نمایی سه ساعته از داده‌های روزانه (خط ممتد) با دمای اندازه‌گیری شده (نقاط) حسب درجه سانتی‌گراد در مقیاس زمانی سه ساعته در سال ۲۰۰۷ در ایستگاه مشهد و با فاصله درونیابی ۱۰ روز الف- توسط رگرسیون، ب- توسط فراکتال و مقایسه تطبیقی با خط ۱:۱ و ج- توسط رگرسیون و د- توسط فراکتال

ریزمقیاس‌نمایی ۳ ساعته اختلاف میان مقادیر مدل‌سازی مربوط به فواصل ۵ و ۱۰ روزه بسیار کم است به عبارتی اختلاف موجود در مدل‌سازی روزانه اینجا به دلیل ریزتر شدن داده‌ها کمتر دیده می‌شود. از جدول و شکل‌ها

از آنجا که صحت این مدل‌ها برای داده‌های ۵ و ۱۰ روز مناسب بودند لذا حذف داده خللی در مدل ایجاد نکرده و مدل با چالش جدیدی مواجه نشده است. نتایج آماره‌ها در جدول ۳ بیان شده است. بررسی آماره‌ها نشان می‌دهد در

و حتی با توجه به پراکندگی نقاط، عرض از مبدا و شیب این خطوط در مدل‌سازی‌ها در سطح ۵٪ تفاوت معنی‌داری به ترتیب با صفر و یک ندارند. در نهایت ریزمقیاس‌نمایی توسط فراکتال با کمی اختلاف نتایج بهتری را نسبت به ریزمقیاس‌نمایی توسط رگرسیون نشان دادند.

چنین برداشت می‌شود که دماهای مدل‌سازی شده سه ساعته به خوبی رفتار دماهای اندازه‌گیری شده سه ساعته را در دو ایستگاه سینوپتیک تقلید کرده اند. در همه مدل‌سازی‌های انجام شده پس از مقایسه تطبیقی مقادیر مدل‌سازی شده با مقادیر اندازه‌گیری شده، مشاهده می‌شود که نقاط تقریباً بر روی نیمساز ربع اول واقع شده

جدول ۴- معیارهای ارزیابی صحت و دقت ریزمقیاس‌نمایی سه ساعته از داده‌های روزانه با فاصله درون‌یابی ۵ و ۱۰ روز

شهر	فاصله درون‌یابی	روش	سال	RMSE (°C)	R ²	شهر	فاصله درون‌یابی	روش	سال	RMSE (°C)	R ²
مشهد	۵	رگرسیون	۲۰۰۷	۶۰/۴	۰/۸۳	کرمان	۵	رگرسیون	۲۰۰۸	۶۹/۴	۰/۸۸
			۲۰۰۹	۵۲/۴	۰/۸۱				۲۰۰۷	۴۱/۴	۰/۸۲
			۲۰۰۸	۴۱/۱۱	۰/۸۶				۲۰۰۹	۴۱/۱۱	۰/۷۹
		فراکتال	۲۰۰۸	۴۱/۱۱	۰/۸۶		۲۰۰۷	۵/۶۹	۰/۸۲		
			۲۰۰۹	۴۱/۱۱	۰/۷۹		۲۰۰۸	۵/۸۱	۰/۸۷		
			۲۰۰۷	۴۱/۱۱	۰/۸۰		۲۰۰۹	۵/۵۴	۰/۸۰		
	۱۰	رگرسیون	۲۰۰۸	۵/۸۱	۰/۸۷	کرمان	۱۰	رگرسیون	۲۰۰۸	۵/۸۱	۰/۸۷
			۲۰۰۹	۵/۵۴	۰/۸۰				۲۰۰۷	۴/۷۹	۰/۸۷
			۲۰۰۷	۴/۱۱	۰/۸۰				۲۰۰۸	۴/۱۱	۰/۸۶
		فراکتال	۲۰۰۸	۴/۱۱	۰/۸۶		۲۰۰۹	۴/۱۳	۰/۷۷		
			۲۰۰۹	۴/۱۳	۰/۷۷		۲۰۰۸	۴/۱۱	۰/۸۶		
			۲۰۰۷	۴/۱۱	۰/۸۰		۲۰۰۹	۴/۶۱	۰/۸۶		

خطا را بین ۱/۵۲ - ۵/۸۱ و ۱/۱۹ - ۵/۴۸ درجه سانتی‌گراد نشان دادند و همچنین عرض از مبداها و شیب‌های خطوط در مدل‌سازی‌ها در سطح ۵٪ تفاوت معنی‌داری به ترتیب با صفر و یک ندارند. با این حال از نتایج ارائه شده واضح است که مکان و بازه زمانی مورد مطالعه تأثیر منفی بر مدل‌سازی ندارند، همچنین مدل‌سازی و پیش‌بینی و ریزمقیاس‌نمایی با دقت و کیفیت مناسب انجام شده است و نتایج ریزمقیاس‌نمایی با کمی اختلاف عملکرد فراکتال را بهتر از رگرسیون نشان داده‌اند.

منابع

Barnsley, M. F. 1988. Fractal everywhere. New York: Academic Pres.567.
 Bliss, C. I. 1970. Statistics in Biology. New York: McGraw-Hill Book Company .
 Fischer, M. J., Paterson, A. W. 2014. Detecting trends that are nonlinear and asymmetric on diurnal and seasonal time scales. Clim. Dyn., 43: 361-374.
 Holder, R. L. 1985. Multiple Regression in Hydrology. Institute of Hydrology Wallingford. <http://en.wikipedia.org/wiki/Kerman>.
<http://en.wikipedia.org/wiki/Mashhad>.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق به مدل‌سازی سری زمانی دما به کمک توابع درون‌یاب فراکتال و رگرسیون تناوبی پرداخته شد. به منظور بررسی رفتار دو مدل رگرسیون تناوبی و فرکتال بر اقلیم‌های مختلف و سال‌های متفاوت در این تحقیق از داده‌های دمای هوای ایستگاه سینوپتیک مشهد سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۹ میلادی و سال‌های ۱۹۸۰ تا ۱۹۸۲ میلادی ایستگاه سینوپتیک کرمان به صورت روزانه و سه ساعته استفاده شده است. علاوه بر مدل‌سازی روزانه دما، مدل‌سازی روزانه دما با فاصله درون‌یابی پنج و ده روزه، مدل‌سازی داده‌های دمای اندازه‌گیری نشده یا حذف شده و همچنین ریزمقیاس‌نمایی سه ساعته دما از روی داده‌های روزانه، انجام شده است. از آماره‌های ریشه دوم میانگین مربعات خطا و ضریب همبستگی برای بررسی میزان دقت و صحت مدل استفاده شده است. به طور کلی با افزایش بازه زمانی داده‌های ورودی در مدل‌سازی، آماره RMSE و R² به ترتیب افزایش کاهش یافت. آزمون‌های آماری به ترتیب برای مشهد و کرمان مقادیر آماره R² را بین ۰/۹۸ - ۰/۷۷ و ۰/۹۸ - ۰/۸۲ و ریشه میانگین مربعات

- Pathirana, A. 2001. Fractal modeling of rainfall: Disaggregation in time and space for hydrological applications. Ph. D. thesis, University of Tokyo, Japan.
- Prudhomme, G., Reed, D. W. 1998. Relationships between extreme daily precipitation and topography in the Mounainous region. A case study in Scotland. *Int. J. Climatol.*, 18: 1439-1453.
- Puente, C. E. 1995. Geometric modeling of rainfall fields. Water Resources Center Technical Completion Report W-804. University of California, Davis.
- Strahle, W. C. 1991. Turbulent combustion data analysis using fractals. *AIAA J.*, 29(3): 409-417.
- Kolehmainen, M., Martikainen, H., Ruuskanen, J. 2001. Neural networks and periodic components used in air quality forecasting. *Atmos. Environ.*, 35: 815-825.
- Li, X. F., Li, X. F. 2008. An explicit fractal interpolation algorithm for reconstruction of seismic data. *Chin. Phys. Lett.*, 25(3): 1157-1168.
- Little, T. M., Hills, F. J. 1978. *Agricultural Experimentation Design and Analysis*. New York: John Wiley and Sons, Inc .
- Marko, J., Nikolić, E. 1982. Characteristics of yield development of the main field crops in SAP of Vojvodina. *Contemp. Agric.*, 30(2): 87-98 .
- Mazel, D. S., Hayes, M. H. 1992. Using iterated function systems to model discrete sequences. *IEEE Trans. Sig. Proc.*, 40(7): 1724-1734.



ارزیابی عملکرد مدل شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون فازی در پایش ماهواره‌ای خشکسالی

لاله پرویز^{۱*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۷/۰۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۴/۲۰

چکیده

پایش خشکسالی با توجه به تاثیرات منفی آن در بخش‌های مختلف از جمله کشاورزی، محیط زیست و منابع آب از اهمیت چشمگیری برخوردار است. در این مطالعه، از مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون فازی جهت مدل‌سازی روابط نمایه‌های VTCI، NDVI، VHI، NVSWI، TCI و TVX حاصل از تصاویر سنجنده MODIS با مقادیر بارش مشاهداتی در ۷ ایستگاه کرمانشاه، تبریز، کرمان، مشهد، ارومیه، یزد و زنجان به منظور پایش خشکسالی استفاده شد. نمایه‌های ماهواره‌ای VHI، NVSWI، TCI و TVX با متغیر بارش دارای بیش‌ترین تعداد ضریب همبستگی معنی‌دار بودند. براساس معیارهای خطا، رهیافت رگرسیون فازی در مدل‌سازی شاخص‌های VHI، TCI و NVSWI و رهیافت شبکه عصبی مصنوعی در مدل‌سازی شاخص TVX دارای کم‌ترین مقدار خطا بود. در رگرسیون فازی متقارن با افزایش پارامتر سطح اعتماد بر گستردگی متغیرهای رگرسیون افزوده شد مانند افزایش پارامتر سطح اعتماد در شاخص VHI از ۰/۷ به ۰/۸، پارامتر گستردگی را ۵۰ درصد افزایش داد. پارامتر نقطه پیک در رگرسیون فازی نامتقارن نسبت به فاکتورهای چولگی دارای حساسیت می‌باشد به طوری که در شاخص TVX، میزان درصد افزایش نقطه پیک از کمینه مقدار ضریب چولگی به بیشینه آن، ۲۲/۱۷ درصد بود. کاهش پارامتر سطح اعتماد شاخص TVX که نمایان‌گر کاهش میزان فازی بودن است، مؤیدی بر کارایی شبکه عصبی مصنوعی در مورد شاخص TVX است.

واژه‌های کلیدی: شبکه عصبی مصنوعی، رگرسیون فازی، خشکسالی، بارش

مقدمه

ویژگی‌های خشکسالی ممکن است در رژیم‌های مختلف آب و هوایی دنیا متفاوت باشد. در مناطق گرمسیری و پر باران استوایی اگر مقدار بارش نسبت به نرمال سالانه دچار کاهش نسبی شود و خشکسالی هواشناسی در منطقه حاکم شود این امکان وجود دارد که این کاهش تأثیر محسوسی بر روی منابع آبی منطقه نگذارد و به عبارتی از نظر هیدرولوژیکی خشکسالی اتفاق نیفتد. اما در مناطق حساس فراخشک و خشک، کاهش بارندگی تأثیر بسیار زیادی بر روی منابع آب می‌گذارد و در بسیاری از موارد خشکسالی هواشناسی با خشکسالی هیدرولوژیکی تماماً اتفاق می‌افتد (ثقفیان، ۱۳۸۷). خشکسالی با توجه به خسارت‌های وسیعی که در بعد زمانی و مکانی دارد، پایش و پیش‌بینی آن با روشی کارآمد ضروری به نظر می‌رسد. در این راستا استفاده از تکنیک سنجش از دور به دلیل پایش در منطقه وسیع با داشتن داده‌های طیفی و حرارتی دارای کارایی بالایی است. محمدی‌نژاد (۱۳۹۱) به پیش‌بینی شدت خشکسالی با استفاده از داده‌های تصاویر

در یک تعریف کلی خشکسالی به صورت وقوع کمبودی شدید در منابع آب نسبت به شرایط نرمال متناظر با زمان و مکان تعریف می‌شود. خشکسالی با شروع تدریجی از مخرب‌ترین بلاهای طبیعی است که در تمام رژیم‌های اقلیمی اتفاق می‌افتد. تعاریف خشکسالی به خصوص در رابطه با میزان تأثیر آن بر محیط طبیعی و اجتماعی دائماً در حال تغییر است. به نظر منطقی است که خشکسالی را در سطح وسیعی با زمان، طول دوره و محل رویداد آن مرتبط دانست (شکیبا و همکاران، ۱۳۸۹). خشکسالی پدیده پیچیده‌ای است که شدت آن بخصوص مرتبط با منطقه اقلیمی و موقعیت بیلان آبی و انرژی است. به طور کلی خشکسالی شامل یک دوره پیوسته و پایدار است که در این دوره مقدار آب موجود در منابع آبی منطقه به حد قابل توجهی کاهش می‌یابد و دچار کمبود می‌شود.

^۱ استادیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز
* نویسنده مسئول: (daleh_parviz@yahoo.com)

ماهوره‌ای و شبکه‌های عصبی بازگشتی پرداخت. جهت این امر شاخص بارش استاندارد شده به عنوان شاخص خشکسالی و شاخص ^۱NDVI حاصل از ماهواره NOAA-AVHRR^۲ به عنوان شاخص سنجش از دور بودند. مدل‌سازی شامل NDVI به عنوان ورودی مدل و کلاس‌های شاخص بارش استاندارد شده به عنوان خروجی بود. به عبارت دیگر سعی در پیش‌بینی شرایط خشکسالی براساس داده‌های تصاویر ماهواره‌ای بود. در قسمت پیش‌بینی از روش‌های مختلف طبقه‌بندی شامل پرسپترون چند لایه، ماشین بردار پشتیبان و شبکه بازگشتی براساس ^۳RC استفاده شد. عملکرد شبکه بازگشتی براساس RC نسبت به سایر روش‌ها از کارایی بالایی برخوردار بود. شمسی‌پور و علوی پناه (۲۰۱۰) با استفاده از مدل فازی - سلسله مراتبی، کارایی داده‌های سنجش از دور را براساس شاخص خشکسالی در دشت کویر مورد مطالعه قرار دادند. جهت این کار ۷۸ تصویر NOAA-AVHRR جهت تعیین متغیرهای زیست‌محیطی مانند دمای سطح زمین، شاخص‌های رطوبتی، شاخص پوشش گیاهی از آوریل تا می ۲۰۰۴-۱۹۹۸ استفاده شد. شاخص‌های خشکسالی اقلیمی با استفاده از شاخص normal Z براساس متغیرهای هواشناسی مانند بارش، دما، رطوبت نسبی محاسبه شد. شاخص‌ها و متغیرهای حاصل از تصاویر ماهواره‌ای ابتدا از طریق توابع عضویت به صورت فازی درآمدند و در مرحله بعد براساس تأثیر شاخص‌ها در خشکسالی وزن‌دهی شدند. نتایج حاکی از روند مشابه بین شاخص Z و مدل فازی - سلسله مراتبی بود. اوزگر و میشر^۴ (۲۰۱۲) از مدل ترکیبی موجک و تئوری فازی برای پیش‌بینی خشکسالی در نگزاس استفاده کردند. نتایج حاکی از آن است که مدل ترکیبی، عملکرد مدل را به شدت نسبت به حالت فازی بهبود می‌بخشد. مقایسه مدل شبکه عصبی مصنوعی و ترکیب شبکه عصبی - موجک حاکی از آن است که مدل ترکیبی موجک- فازی در پیش‌بینی خشکسالی دقیق‌تر می‌باشد. فاتحی مرج و میجرینک^۵ (۲۰۱۱) به پیش‌بینی خشکسالی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، شاخص‌های اقلیمی و شبکه عصبی

مصنوعی در حوضه اهرچای پرداختند. سری‌های زمانی شاخص NDVI حاکی از آن است که دو دوره خشکسالی (۱۹۹۶-۱۹۹۹ و ۱۹۸۵-۱۹۸۲) و دو دوره مرطوب (۱۹۹۰-۱۹۹۵ و ۱۹۸۹-۱۹۸۶) در حوضه وجود دارد. ورودی‌های مدل شبکه عصبی شامل شاخص اندازه‌گیری نوسانات جنوبی، شاخص نوسانات اطلس شمالی بودند. نتایج حاکی از این بود که در بهار امکان پیش‌بینی شاخص NDVI با استفاده از شاخص‌های اندازه‌گیری نوسانات جنوبی و شاخص نوسانات اطلس شمالی وجود دارد. کیزل^۶ و همکاران (۲۰۱۲) در تحقیق خود به بررسی دو مساله پرداختند: الف- تعیین اثرات تنش آبی بر کاهو تحت رژیم‌های مختلف آبی ب- بررسی عملکرد شبکه عصبی مصنوعی در تخمین عملکرد کاهو با استفاده از برخی شاخص‌های گیاهی مانند شاخص NDVI، نسبت ساده، کلروفیل سبز و غیره کاهش میزان آبیاری منجر به کاهش ارتفاع گیاهی، قطر گیاهی، تعداد برگ در هر گیاه و عملکرد آن شد. میزان ضریب همبستگی حاکی از کارایی بالای مدل شبکه عصبی بود. به طور کلی نتایج حاکی از آن بود که داده‌های طیفی و شبکه عصبی مصنوعی دارای پتانسیل بالایی در پیش‌بینی عملکرد کاهو در برابر کمبود آب می‌باشد. جعفری و بخشنده‌مهر (۲۰۱۳) به ارزیابی مناطق حساس به بیابان‌زایی در مناطق مرکزی ایران با استفاده از اطلاعات GIS و منطق فازی پرداختند. شش شاخص بیابان‌زایی شامل اقلیم، خاک، پوشش گیاهی، فرسایش خاک برای تعیین انواع مختلف مناطق حساس به بیابان‌زایی استفاده شد. نتایج حاکی از آن بود که ۲۱/۷ درصد به عنوان منطقه بحرانی شناسایی شدند و شاخص‌های اقلیم رطوبتی فاکتورهای بسیار مهمی در بیابان‌زایی بودند. استیچنکو و چیزهو^۷ (۲۰۱۵) به پیش‌بینی طولانی مدت شاخص NDVI با استفاده از شبکه عصبی بازگشتی پرداختند (۱۴ سال، تصاویر ۱۶ روزه). دلیل انتخاب شاخص NDVI مربوط به اهمیت آن در پیش‌بینی پوشش گیاهی، مدیریت مسائل مختلف مانند پایش تغییر اقلیم، پایش تولیدات محصولات کشاورزی و غیره است. شبکه عصبی براساس معیارهایی مانند RMSE^۸ نتایج بهتری نسبت به سایر روش‌های پیش‌بینی

^۱ Normalized Difference Vegetation Index

^۲ National Oceanic and Atmospheric Administration - Advanced Very High Resolution Radiometer

^۳ Reservoir Computing

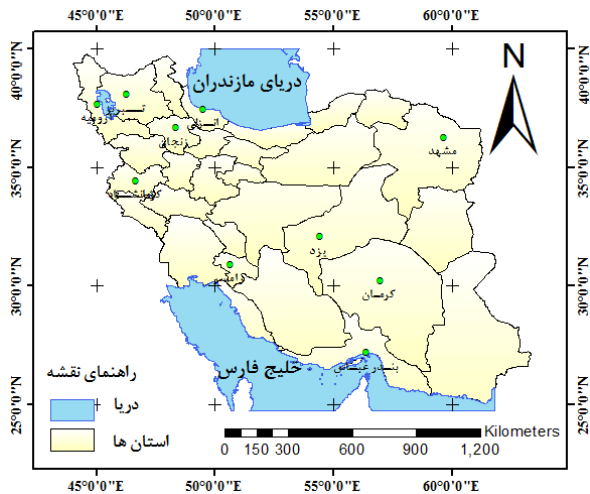
^۴ Özger and Mishra

^۵ Fatehi-Marj and Meijerink

^۶ Kizil

^۷ Stepchenko and Chizhov

^۸ Root Mean Squared Error



شکل ۱- موقعیت مکانی ایستگاه‌های مطالعاتی

شاخص‌های خشکسالی

تأثیرات خشکی در مراحل اولیه در بخش کشاورزی مشهود می‌باشد. تولیدات کشاورزی به مقدار زیادی مرتبط با تبخیر- تعرق واقعی محصولات است که معمولاً به وسیله بیلان آبی چرخه رشد محصولات نمایش داده می‌شود. بنابراین یک شاخص خشکی که تغییرات زمانی و مکانی وضعیت مصرف آب محصول را نشان دهد، در پایش خشکسالی مناسب است (ون^۴ و همکاران، ۲۰۰۴). علاوه بر انتخاب شاخص مؤثر خشکسالی در بررسی پدیده خشکسالی، تعیین وضعیت خشکسالی آبی براساس یکی از رهیافت‌های کارآمد از دیگر مسائل پیش رو است. معادلات ۱ تا ۶ مربوط به شاخص‌های خشکسالی مؤثر می‌باشند.

$$TVX = \frac{LST}{NDVI} \quad (1)$$

$$TCI = \frac{LST_{msx} - LST}{LST_{max} - LST_{min}} \quad (2)$$

$$VHI = \alpha VCI + (1 - \alpha)TCI \quad (3)$$

$$NVSWI = \frac{VSWI - VSWI_{min}}{VSWI_{max} - VSWI_{min}} \quad (4)$$

$$NDVI = \frac{\rho_{nir} - \rho_{red}}{\rho_{nir} + \rho_{red}} \quad (5)$$

$$VTCI = \frac{LST_{NDVI,max} - LST_{NDVI,i}}{LST_{NDVI,max} - LST_{NDVI,min}} \quad (6)$$

آماري سنتي مانند ARIMA^۱ دارد. هدف مطالعه حاضر بررسی وضعیت خشکسالی منطقه مورد مطالعه در دوره‌های آبی براساس شاخص‌های مؤثر خشکسالی حاصل از تصاویر سنجنده MODIS^۲ می‌باشد. در این راستا عملکرد دو رهیافت شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون فازی در مدل‌سازی شاخص‌های خشکسالی مؤثر براساس ارتباط با عامل خشکسالی یعنی بارش مورد بررسی قرار گرفت. در مبحث رگرسیون فازی، تأثیر دو تابع عضویت مثلثی متقارن و نامتقارن نیز در نظر گرفته شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی

با توجه به آسیب‌هایی که خشکسالی در بخش‌های مختلف مانند تأثیر بر منابع آب کشور، تأثیر بر جنگل‌ها و مراتع کشور، تأثیر بر نواحی ساحلی کشور، تأثیر بر تنوع زیستی کشور، تأثیر بر فعالیت‌های کشاورزی کشور دارد، پایش آن در بخش‌های مختلف کشور لازم و ضروری می‌باشد. بنابراین ایستگاه‌های مطالعاتی شامل ایستگاه‌های بندرعباس (اقلیم دومارتن: خشک)، بندرانزلی (بسیار مرطوب)، کرمانشاه (نیمه‌خشک)، تبریز (نیمه‌خشک)، کرمان (خشک)، مشهد (نیمه‌خشک)، ارومیه (نیمه خشک)، رامسر (بسیارمرطوب)، یزد (خشک) و زنجان (نیمه‌خشک) با تنوع اقلیمی انتخاب شدند که موقعیت مکانی ایستگاه‌های مطالعاتی در شکل ۱ آورده شده است.

داده‌های مورد نیاز

تصاویر مورد استفاده مربوط به سنجنده MODIS از ماهواره ترا^۳ ماه‌های مختلف از سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۰ بودند که به دلیل انطباق با آغاز و پایان دوره رویشی و بررسی تغییرات پوشش گیاهی در این دوره از تصاویر ماه‌های آوریل تا سپتامبر استفاده شد. به این صورت بعد از پیش‌بینی وضعیت خشکسالی نقطه‌ای می‌توان با استفاده از روش‌های درون‌یابی آگاهی نسبت به وضعیت آبی خشکسالی منطقه‌ای داشت تا براساس شدت خشکسالی بتوان راهکارهایی مناسب ارائه داد.

¹ Autoregressive Integrated Moving Average

² Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

³ TERRA

⁴ Wan

رگرسیون فازی با توابع عضویت مثلثی متقارن

ضرایب فازی با در نظر گرفتن توابع عضویت مثلثی متقارن به دو صورت $\tilde{A}_i = \{a_i^c, a_i^s\}$ و $\tilde{A}_i = \{a_i^u, a_i^l\}$ تعریف می‌شوند که ضرایب همراه با اندیس c, s, u و l به ترتیب مرکز، پهنای تابع عضویت، حدود بالا و پایین را نشان می‌دهند. شکل ۲ تابع عضویت مثلثی متقارن یک عدد فازی را نشان می‌دهد. مدل رگرسیون امکانی بهترین معادله رگرسیون را با کمینه کردن میزان فازی بودن به دست می‌آورند. این کار با کمینه کردن مجموع کل پهنای توابع عضویت ضرایب فازی معادله رگرسیون انجام می‌گیرد. بنابراین برای دستیابی به بهترین برازش باید یک مدل بهینه‌سازی تهیه شود. در نهایت مدل برنامه‌ریزی خطی براساس معادله ۹ می‌باشد.

$$\text{Objective function} \quad a_0^s + \sum_{i=1}^n a_i^s \sum_{j=1}^m |x_{ij}|$$

Subject to

$$a_0^c + \sum_{i=1}^n a_i^c x_{ij} - (1-h) \left[a_0^s + \sum_{i=1}^n a_i^s x_{ij} \right] \leq y_j \quad (9)$$

$$a_0^c + \sum_{i=1}^n a_i^c x_{ij} + (1-h) \left[a_0^s + \sum_{i=1}^n a_i^s x_{ij} \right] \geq y_j$$

که در معادله‌های فوق y متغیر وابسته، x متغیر مستقل، h پارامتر سطح اعتماد، a_i^s پهنای تابع عضویت، a_i^c مرکز تابع عضویت می‌باشد.

رگرسیون فازی با توابع عضویت مثلثی نامتقارن

در این حالت به علت آن که پهنای تابع عضویت در دو طرف مرکز تابع عضویت متقارن نمی‌باشد، بنابراین متغیر جدیدی در معرفی ضریب فازی بوجود می‌آید. در این حالت ضرایب فازی به صورت $\tilde{A}_i = \{a_i^l, a_i^p, a_i^u\}$ و یا $\tilde{A}_i = \{s_i^l, a_i^p, s_i^r\}$ که $S_i^R = k_i S_i^L$ تعریف می‌شود. S_i^L و S_i^R به ترتیب پراکندگی به سمت راست و چپ را نشان می‌دهند و k فاکتور چولگی می‌باشد (شکل ۲). همچنین مدل برنامه‌ریزی خطی تعیین ضرایب معادله رگرسیون فازی نامتقارن براساس معادله ۱۰ می‌باشد.

$$\text{Objective function} \quad (1+k_0)S_0^l + \sum_{i=1}^n \left[(1+k_i)S_i^l \sum_{j=1}^m |x_{ij}| \right]$$

Subject to

$$(1-h)S_0^l + (1-h) \sum_{i=1}^n S_i^l |x_i| + \sum_{i=1}^n a_i^p x_i + a_0^p \leq y_j \quad (10)$$

$$(1-h)k_0 S_0^l + (1-h) \sum_{i=1}^n k_i S_i^l |x_i| - \sum_{i=1}^n a_i^p x_i - a_0^p \leq -y_j$$

که در معادله‌های ۱ تا ۶، TVX^1 شاخص پوشش گیاهی - دمایی، LST دمای سطح زمین، $NDVI$ شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی، TCI^2 شاخص شرایط دمایی، LST_{min} و LST_{max} به ترتیب بیشینه و کمینه دمای سطح زمین در هر شبکه سلولی در ماه به خصوص در طول دوره آماری، VHI^3 شاخص شادابی پوشش گیاهی، VCI^4 شاخص شرایط پوشش گیاهی، α فاکتور سهم پوشش گیاهی، $NVSWI^5$ شاخص تامین آب پوشش گیاهی نرمال شده، $VSWI$ شاخص تامین آب پوشش گیاهی، ρ_{nir} مقادیر بازتاب در باند مادون قرمز نزدیک، ρ_{red} مقادیر بازتاب در باند قرمز، $VTCI^6$ شاخص شرایط دمایی- پوشش گیاهی، $LST_{NDVI_{min}}$ و $LST_{NDVI_{max}}$ به ترتیب محدوده‌های بیشینه و کمینه دمای سطح زمین با مقادیر $NDVI_i$ یکسان در منطقه مورد مطالعه، LST_{NDVI} دمای سطح زمین هر پیکسل با شاخص پوشش گیاهی $NDVI_i$ می‌باشد (بیرجارگا^۷ و همکاران، ۲۰۰۶؛ دو^۸ و همکاران، ۲۰۱۳؛ نیکول و عباس^۹، ۲۰۱۵).

رگرسیون فازی^{۱۰}

منطق فازی ابزاری توانمند جهت حل مسائل مربوط به سیستم‌های پیچیده‌ای که درک آن‌ها مشکل و یا مسائلی که وابسته به استدلال، تصمیم‌گیری و استنباط بشری می‌باشد، به‌شمار می‌آید (کوره‌پزان، ۱۳۸۴). مدل‌سازی خطی فازی که به‌صورت معادله \tilde{Y} نشان داده می‌شود، مبین وابستگی متغیرهای ورودی و خروجی می‌باشد.

$$\tilde{Y} = \tilde{A}_0 + \tilde{A}_1 x_1 + \dots + \tilde{A}_n x_n \quad (7)$$

$$\tilde{A} = (\tilde{A}_0, \tilde{A}_1, \dots, \tilde{A}_n) \quad (8)$$

که در معادله‌های فوق \tilde{A} و \tilde{Y} به ترتیب ضرایب و خروجی فازی و x مقادیر مشاهداتی می‌باشد. در این تحقیق، اثر تابع عضویت مثلثی در دو حالت متقارن و نامتقارن به منظور در نظر گرفتن ضرایب فازی رگرسیون بررسی شده است.

¹ Temperature Vegetation Index

² Temperature Condition Index

³ Vegetation Health Index

⁴ Vegetation Condition Index

⁵ Normalized Vegetation Supply Water Index

⁶ Vegetation Temperature Condition Index

⁷ Bayarjarga

⁸ Du

⁹ Nichol and Abbas

¹⁰ Fuzzy Regression

کوچکی در شرایط محیطی شبکه رخ داد، شبکه بتواند با آموزش مختصر برای شرایط جدید نیز کارآمد باشد. یک نورون با استفاده از تابع تحریک مقدار خروجی خاصی را به ازای ورودی‌های مختلف تولید می‌کند. تعداد نورون‌های لایه میانی انعطاف شبکه در میزان دقت پیش‌بینی را کنترل می‌کند. تعداد لایه‌ها و نورون‌های یک شبکه معماری آن را تعیین می‌کند. علاوه بر معماری شبکه الگوریتم آموزش آن نیز در میزان خطا و دقت آن در پیش‌بینی نقش دارد. از رایج‌ترین الگوریتم‌های آموزش شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌توان الگوریتم انتشار خطا به عقب^۳ را نام برد. در انتها معادلات معیارهای خطا که در این تحقیق جهت ارزیابی دقت رهیافت‌ها مورد استفاده قرار گرفته است، آورده شده است. مقدار کمینه معیارها نشان‌دهنده عملکرد بهتر مدل است.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O_i - S_i)^2} \quad (11)$$

$$RRMSE = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O_i - S_i)^2}}{\bar{O}} \quad (12)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |O_i - S_i|}{n} \quad (13)$$

$$MRE = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{|O_i - S_i|}{O_i}}{n} \quad (14)$$

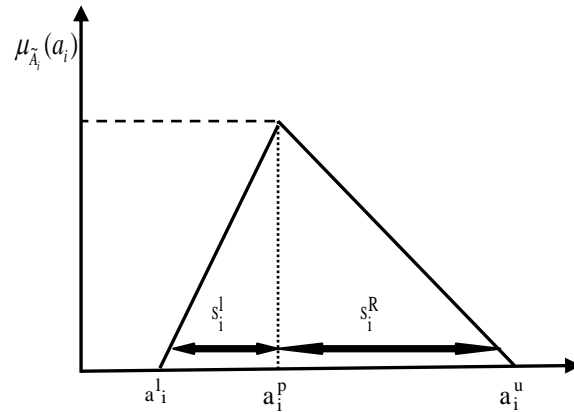
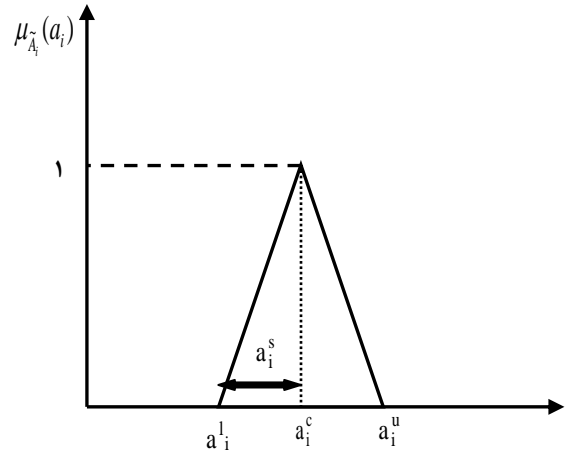
$$Bias = \frac{\sum_{i=1}^n S_i - O_i}{n} \quad (15)$$

که در معادله‌های فوق، O_i مقادیر مشاهداتی، S_i مقادیر شبیه‌سازی، n تعداد داده‌ها، $RMSE$ خطای ریشه متوسط مربعات، $RRMSE$ خطای ریشه متوسط مربعات نسبی، MAE میانگین مطلق خطا، MRE میانگین خطای نسبی می‌باشد (کارآموز و عراقی‌نژاد، ۱۳۸۴).

نتایج و بحث

در این نوع خشکسالی تأکید بر میزان بارش یعنی خشکسالی هواشناسی است. در این راستا ضریب همبستگی بارش و برخی از شاخص‌های خشکسالی در طول دوره آماری برای هر کدام از ایستگاه‌های هواشناسی

که در معادله‌های فوق، y متغیر وابسته، x متغیر مستقل، h پارامتر سطح اعتماد، k فاکتور چولگی، a_i^p نقطه‌ای که در آن $\mu_{A_i} = 1$ یا نقطه پیک، s_i^l پراکندگی به سمت چپ، s_i^R پراکندگی به سمت راست می‌باشد.



شکل ۲- تابع عضویت متقارن (شکل بالا)، نامتقارن (شکل پایین)

در دو مدل برنامه‌ریزی، مقدار دقیق پارامتر سطح اعتماد تابع عضویت متغیرهای فازی و همچنین فاکتور چولگی معلوم نیست و باید با تحلیل حساسیت به دست آید (ین^۱ و همکاران، ۱۹۹۹؛ کوره‌پزان، ۱۳۸۴).

شبکه عصبی مصنوعی^۲

یک شبکه عصبی مصنوعی مجموعه‌ای از نورون‌ها است که با قرار گرفتن در لایه‌های مختلف، معماری خاصی را بر مبنای ارتباطات بین نورون‌ها در لایه‌های مختلف تشکیل می‌دهد. نورون یک واحد ریاضی یا یک دستگاه غیر خطی است، قابلیت یادگیری در شبکه‌های عصبی با استفاده از تنظیم پارامترهای شبکه انجام می‌گیرد. با این هدف که اگر شبکه برای یک وضعیت خاص آموزش دید و تغییر

³ Back Propagation (BP)

⁴ Relative Root Mean Square Error

⁵ Mean Absolute Error

⁶ Mean Relative Error

¹ Yen

² Artificial Neural Networks (ANNs)

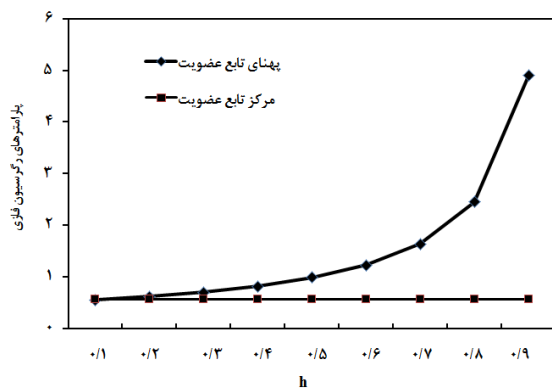
رهیافت‌های شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون فازی انجام می‌گیرد. در این بخش، داده‌های مورد استفاده مربوط به شاخص‌های مناطق نیمه‌خشک در ماه آوریل است. طول دوره آماری به دو قسمت واسنجی و صحت‌سنجی (۵ دوره انتهایی) تقسیم شد.

محاسبه شد که نتایج در جدول ۱ آورده شده است. با توجه به نتایج جدول ۱ بیش‌ترین تعداد ضرایب همبستگی معنی‌دار مربوط به شاخص‌های TVX، TCI، NVSWI و VHI می‌باشد. بنابراین پیش‌بینی وضعیت منطقه از نظر خشکسالی با استفاده از چهار شاخص اول و براساس

جدول ۱- ضریب همبستگی بارش- شاخص‌های خشکسالی

نام ایستگاه	NDVI	VTCI	NVSWI	TCI	VHI	TVX
بندرعباس	۰/۲۱۲	-۰/۰۲۵	۰/۳۲۶	۰/۲۶	۰/۳۴۸	-۰/۲۶۱
بندرآنزلی	-۰/۱۳۱	۰/۲	۰/۰۷۴	۰/۱۲۹	-۰/۰۰۸	-۰/۰۸۲
کرمانشاه	۰/۶۷۳*	-۰/۱۳۱	۰/۸۳۵*	۰/۸۴۸*	۰/۷۸۶*	-۰/۶۶۳*
تبریز	-۰/۲۱۶	-۰/۲۴۲	۰/۶۶۴*	۰/۷۶۳*	۰/۶۳۹*	-۰/۶۲۱*
کرمان	۰/۰۵۱	-۰/۲۰۶	۰/۶۱۹*	۰/۷۱۹*	۰/۵۱*	-۰/۵۹*
مشهد	۰/۲۴۷	-۰/۱۵۱	۰/۶۹۱*	۰/۷۷*	۰/۶۸۲*	-۰/۷۲*
ارومیه	-۰/۰۶۳	۰/۲۸۵	۰/۸۷*	۰/۸۲۲*	۰/۷۱۵*	-۰/۸۱*
رامسر	-۰/۲۵	-۰/۱۳۵	۰/۲۳	۰/۲۶۹	۰/۰۵۵	-۰/۲۱۳
یزد	۰/۱۲۱	-۰/۴۵*	۰/۶*	۰/۶۵*	۰/۴۹۳*	-۰/۵۷*
زنجان	۰/۳۴	۰/۲۳	۰/۸۷*	۰/۸۴۹*	۰/۷۷۸*	-۰/۸*

شکل ۳، مرکز و پهنای تابع عضویت را در این حالت نشان می‌دهد.



شکل ۳- نمودار تغییرات پارامترهای رگرسیون فازی با پارامتر سطح اعتماد، شاخص NVSWI

از بین چهار معیار خطای اصلی در نظر گرفته شده، به جز شاخص MRE کمینه مقدار خطاها مربوط به پارامتر سطح اعتماد ۰/۶ است ولی کمینه مقدار شاخص MRE پارامتر سطح اعتماد ۰/۵ است. بنابراین از معیار خطای دیگری به نام بایاس استفاده می‌شود که کمینه این معیار پارامتر سطح اعتماد ۰/۶ را تأیید می‌کند. پارامتر مربوط به پهنای تابع عضویت میزان فازی بودن هر متغیر را نشان می‌دهد.

استفاده از رهیافت رگرسیون فازی

در این حالت نیز هدف تعیین تغییرات زمانی شاخص‌های خشکسالی براساس مفاهیم فازی است. در این حالت رگرسیون فازی تک متغیره در نظر گرفته شد.

رگرسیون فازی با توابع عضویت متقارن

گام اول در مدل‌سازی رگرسیون فازی شامل تعیین پارامتر سطح اعتماد است. جهت پیدا کردن مقدار بهینه پارامتر سطح اعتماد در این بخش، بایستی عملکرد سیستم تحت تأثیر مقادیر مختلف این پارامتر تعیین شود به این صورت که به ازای مقادیر مختلف پارامتر سطح اعتماد، مقادیر خروجی محاسبه و سپس از طریق معیارهای خطا گزینه برتر معین می‌شود. روش مورد استفاده تحقیق جهت تبدیل متغیر خروجی از حالت فازی به حالت قطعی، روش مرکز سطح می‌باشد. نتایج حاصل از بهینه‌سازی پارامترهای فازی که بیان‌گر ضرایب رگرسیون می‌باشند به ازای مقادیر مختلف پارامتر سطح اعتماد برای شاخص‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته‌اند. ضرایب رگرسیون و عملکرد رگرسیون فازی به ازای مقادیر مختلف پارامتر سطح اعتماد در جدول ۲ آورده شده است. همچنین نمودار شکل ۳، مرکز و پهنای تابع عضویت را در این حالت نشان می‌دهد. همچنین

جدول ۲- عملکرد رگرسیون فازی در برابر مقادیر مختلف پارامتر سطح اعتماد- شاخص NVSWI

h	a_0^s	a_0^c	RMSE	MRE	RRMSE	MAE	بایاس (MBE)
۰/۱	۰/۵۴۵	۰/۵۵۹	۰/۳۶۵	۰/۳۹۲	۰/۴۴	۰/۳۳	۰/۲۷
۰/۲	۰/۶۱۳	۰/۵۵۹	۰/۳۵۸	۰/۳۸۹	۰/۴۳	۰/۳۲۷	۰/۲۶
۰/۳	۰/۷	۰/۵۵۹	۰/۳۴۴	۰/۳۸۱	۰/۴۱۹	۰/۳۱۵	۰/۲۴
۰/۴	۰/۸۱	۰/۵۵۹	۰/۳۱۷	۰/۳۶۶	۰/۳۸	۰/۲۹۱	۰/۲
۰/۵	۰/۹۸۱	۰/۵۵۹	۰/۲۶۹	۰/۳۳	۰/۳۲	۰/۲۳۷	۰/۱۱
۰/۶	۱/۲۲	۰/۵۵۹	۰/۲۵۲	۰/۳۶۴	۰/۳	۰/۲۰۳	۰/۰۵۹
۰/۷	۱/۶۳	۰/۵۵۹	۰/۴۹۴	۰/۷۳	۰/۶	۰/۴۳	۰/۴۲
۰/۸	۲/۴۵	۰/۵۵۹	۱/۵	۲/۲۱	۱/۸۳	۱/۴۸	۱/۴۸
۰/۹	۴/۹	۰/۵۵۹	۷/۰۵	۹/۹۵	۸/۵۹	۷/۰۴	۷/۰۴

انجام تحلیل حساسیت بر روی پارامتر سطح اعتماد بیانگر آن است که تغییری در مراکز فازی متغیرهای رگرسیون ایجاد نشده ولی بر میزان گستردگی این متغیرها تأثیر گذاشته است. به طوری که با افزایش پارامتر سطح اعتماد بر میزان گستردگی متغیرهای رگرسیون (پهنای اعداد فازی) افزوده می‌شود. عدم تغییر در مراکز فازی و افزایش میزان گستردگی متغیرهای رگرسیون با افزایش پارامتر سطح اعتماد از نتایج تحقیق ین و همکاران (۱۹۹۹) بوده است. در شاخص VHI و TCI کمیته مقدار

چهار معیار خطا به ترتیب در پارامتر سطح اعتماد برابر با ۰/۸ و ۰/۶ است. در جدول ۳ عملکرد مدل با تغییرات پارامتر سطح اعتماد و ضرایب رگرسیون برای شاخص TVX آورده شده است. در شاخص TVX نیز کمیته مقادیر معیارهای خطا در پارامتر سطح اعتماد ۰/۲ است. انجام تحلیل حساسیت بر روی پارامتر سطح اعتماد بیانگر آن است که تغییری در مراکز فازی ایجاد نشده ولی با افزایش پارامتر سطح اعتماد بر میزان گستردگی متغیرهای رگرسیون افزوده می‌شود.

جدول ۳- عملکرد رگرسیون فازی در برابر مقادیر مختلف پارامتر سطح اعتماد- شاخص TVX

h	a_0^s	a_0^c	RMSE	MRE	RRMSE	MAE
۰/۱	۱۰۴/۰۶	۱۳۱/۱۷	۰/۸۵	۱۱۵/۵	۱/۶۲	۱۱۵/۱۳
۰/۲	۱۱۷/۰۷۳	۱۳۱/۱۷	۰/۸۵	۱۱۵/۳۴	۱/۶۲	۱۱۴/۹۸
۰/۳	۱۳۳/۷۹	۱۳۱/۱۷	۰/۸۵	۱۱۵/۴	۱/۶۲	۱۱۵/۰۳
۰/۴	۱۵۶/۰۹۷	۱۳۱/۱۷	۰/۸۵	۱۱۹/۰۳	۱/۶۷	۱۱۸/۶۷
۰/۵	۱۸۷/۳۱	۱۳۱/۱۷	۰/۸۵	۱۳۰/۱۷	۱/۸۲	۱۲۹/۸۴
۰/۶	۲۳۴/۱۴	۱۳۱/۱۷	۰/۸۵	۱۵۵/۰۵	۲/۱۵	۱۵۴/۷۸
۰/۷	۳۱۲/۱۹	۱۳۱/۱۷	۰/۸۵	۲۷۲/۳۳	۳/۷۴	۲۷۲/۱۷
۰/۸	۴۶۸/۲۹	۱۳۱/۱۷	۰/۸۵	۳۷۷/۴۶	۵/۱۶	۳۷۷/۳۵
۰/۹	۹۳۶/۵۸	۱۳۱/۱۷	۰/۸۵	۱۲۵۰/۹۳	۱۶/۹۶	۱۲۵۰/۸۹

رگرسیون فازی با توابع عضویت نامتقارن

در این حالت تحلیل حساسیت براساس دو گام است در گام اول تحلیل حساسیت فاکتور چولگی و در گام دوم تحلیل حساسیت پارامتر سطح اعتماد براساس فاکتور چولگی غالب گام اول انجام می‌گیرد. در ادامه برای برخی از فاکتورهای چولگی، مقادیر معیارهای خطا مورد بررسی قرار می‌گیرد. در تمامی موارد مورد بررسی فاکتور چولگی، پارامتر سطح اعتماد ۰/۵ در نظر گرفته شده است. جدول ۴ تغییرات معیارها را با فاکتور چولگی نشان می‌دهد. اگر مقایسه‌ای بین معیارهای خطا انجام شود، تمام معیارهای

خطا در یک فاکتور چولگی واحدی، هم راستا نمی‌باشند ولی اکثر معیارهای خطا در $k_0=1/5$ و $k_1=1/5$ دارای هماهنگی می‌باشند. بعد از انجام تحلیل بر روی فاکتور چولگی، تحلیل مربوط به پارامتر سطح اعتماد باید با توجه به فاکتور چولگی غالب انجام گیرد. جدول ۵ شامل نتایج تحلیل حساسیت پارامتر سطح اعتماد به همراه فاکتور چولگی غالب است. با توجه به جدول ۵ اکثر معیارهای خطا در پارامتر سطح اعتماد برابر با ۰/۵ دارای هماهنگی می‌باشند.

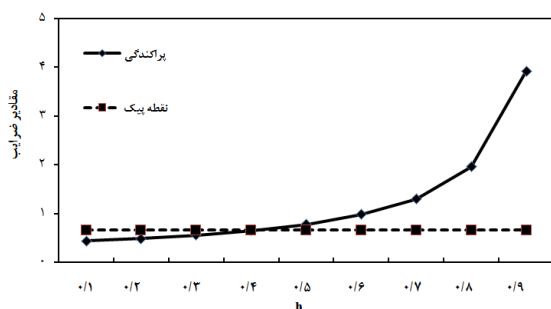
جدول ۴- تغییرات معیارهای خطا با فاکتور چولگی - شاخص NVSWI

بایاس	MAE	RRMSE	MRE	RMSE	a_0^p	S_0^1	K_1	K_0
۰/۰۵	۰/۲۲۵	۰/۳۰۵	۰/۳۴۳	۰/۲۵۱	۰/۶۴	۰/۸۱	۱/۶	۱/۴
۰/۰۸	۰/۲۳۱	۰/۳۱۵	۰/۳۳۷	۰/۲۵۸	۰/۶	۰/۸۹	۱/۱	۱/۲
۰/۰۲۹	۰/۲۰۹	۰/۳	۰/۳۵۸	۰/۲۴۷	۰/۶۸	۰/۷۲۶	۱	۱/۷
۰/۰۰۹	۰/۲۱۹	۰/۳	۰/۳۴۸	۰/۲۴۷	۰/۶۵	۰/۷۸	۱/۵	۱/۵
۰/۰۵۹	۰/۲۰۳	۰/۳۰۸	۰/۳۶۴	۰/۲۵۲	۰/۶۹۹	۰/۷	۱	۱/۸
۰/۱	۰/۲۳۵	۰/۳۲۷	۰/۳۳۳	۰/۲۶۷	۰/۵۵۹	۰/۹۸	۱/۹	۱
۰/۰۹۳	۰/۱۹۷	۰/۳۲	۰/۳۷۱	۰/۲۶۲	۰/۷۱۱	۰/۶۷	۱	۱/۹
۰/۰۶۱	۰/۲۲۷	۰/۳۰۸	۰/۳۴۱	۰/۲۵۳	۰/۶۲۳	۰/۸۵	۱/۱	۱/۳
۰/۰۹۶	۰/۲۳۴	۰/۳۲۲	۰/۳۳۴	۰/۲۶۴	۰/۵۸	۰/۹۳	۱/۱	۱/۱
۰/۱۰۵	۰/۲۳۶	۰/۳۲	۰/۳۳	۰/۲۶۷	۰/۵۵	۰/۹۸	۱	۱
۰/۰۰۹	۰/۲۱۳	۰/۲۹۹	۰/۳۵۴	۰/۲۴۶	۰/۶۷۲	۰/۷۵۴	۱	۱/۶

جدول ۵- نتایج تحلیل حساسیت پارامتر سطح اعتماد- شاخص NVSWI

بایاس	MAE	RRMSE	MRE	RMSE	a_0^p	S_0^1	h
۰/۱	۰/۲۳۵	۰/۳۲۳	۰/۳۳۴	۰/۲۶۵	۰/۶۵۷	۰/۴۳۶	۰/۱
۰/۰۹	۰/۲۳۳	۰/۳۱۹	۰/۳۳۶	۰/۲۶۲	۰/۶۵	۰/۴۹	۰/۲
۰/۰۷	۰/۲۲۹	۰/۳۱۱	۰/۳۳۹	۰/۲۵۶	۰/۶۵۷	۰/۵۶	۰/۳
۰/۰۵۵	۰/۲۲۶	۰/۳	۰/۳۴۲	۰/۲۵۲	۰/۶۵۷	۰/۶۵	۰/۴
۰/۰۰۹	۰/۲۱۹	۰/۳	۰/۳۴۸	۰/۲۴۷	۰/۶۵۷	۰/۷۸	۰/۵
۰/۰۷	۰/۱۹۹	۰/۳۱۴	۰/۳۶۷	۰/۲۵۸	۰/۶۵۷	۰/۹۸۱	۰/۶
۰/۳	۰/۳۰۹	۰/۴۸۱	۰/۵۷۲	۰/۳۹	۰/۶۵۷	۱/۳	۰/۷
۰/۹۲	۰/۹۲	۱/۱۷	۱/۴۳	۰/۹۶	۰/۶۵۷	۱/۹۶	۰/۸
۳/۴۶	۳/۴۶	۴/۲۳	۴/۹۶	۳/۴۷	۰/۶۵۷	۳/۹۲	۰/۹

تغییرات فاکتورهای چولگی بر مقدار a_0^p اثر دارد و تأثیری بر مقدار a_1^p ندارد که این مساله نیز از نتایج تحقیق ین و همکاران (۱۹۹۹) بود.



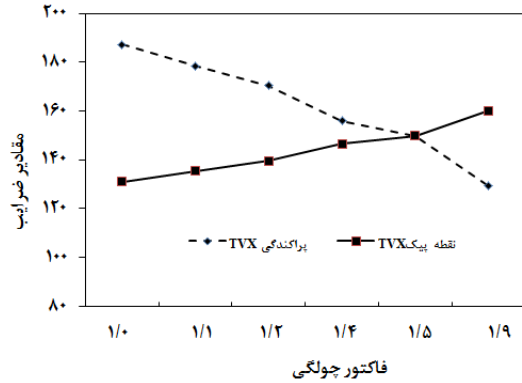
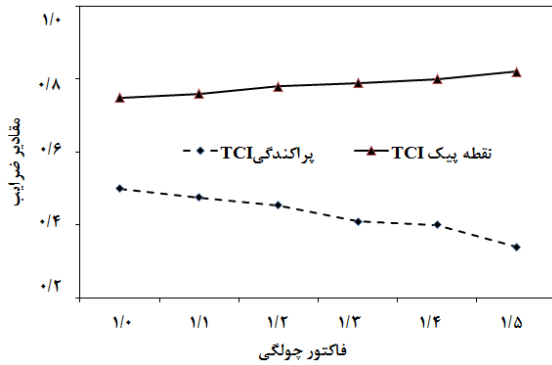
شکل ۴ - نمودار تغییرات ضرایب رگرسیون با پارامتر سطح اعتماد، شاخص NVSWI

با افزایش فاکتور چولگی (K_0)، پارامتر پراکندگی سمت چپ کاهش و نقطه پیک تابع عضویت افزایش می‌یابد که این مساله از نتایج تحقیق ین و همکاران (۱۹۹۹) بوده است. در ادامه نمودارهای شکل ۵ بیان‌گر تغییرات پراکندگی سمت چپ و نقطه پیک تابع عضویت در برابر فاکتور چولگی برای شاخص‌های TCI و TVX است. مساله

براساس نتایج به دست آمده، شکل ۴ تغییرات ضرایب پارامترهای نقطه پیک و پراکندگی چپ را برحسب پارامتر سطح اعتماد نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۴، با افزایش پارامتر سطح اعتماد، مقدار پراکندگی چپ افزایش و نقطه پیک تابع عضویت ثابت باقی می‌ماند، به عبارت دیگر میزان فازی بودن افزایش می‌یابد. در تحلیل فاکتورهای چولگی و پارامتر سطح اعتماد در شاخص VHI و TCI، نتیجه هماهنگی اغلب معیارهای خطا به این صورت است: $k_0=1/4$ و $k_1=1/6$ و $h=0/4$ و $k_0=1/5$ و $k_1=1/5$ و $h=0/7$. جداول ۶ و ۷ تغییرات معیارهای خطا فاکتور چولگی و تحلیل حساسیت پارامتر سطح اعتماد شاخص TVX را نشان می‌دهد. با افزایش پارامتر سطح اعتماد، مقدار پارامتر پراکندگی چپ افزایش و نقطه پیک تابع عضویت ثابت باقی می‌ماند. در تحلیل فاکتورهای چولگی و پارامتر سطح اعتماد در شاخص TVX، نتیجه کمینه معیارهای خطا به این صورت می‌باشد: $k_0=1$ ، $k_1=1$ و $h=0/1$. همچنین با توجه به جدول ۶ که تغییرات معیارهای خطا با فاکتورهای چولگی شاخص TVX را نشان می‌دهد می‌توان گفت که

دیگری که می‌توان به آن اشاره کرد، بررسی مقادیر پارامتر سطح اعتماد بهینه است که در رگرسیون فازی متقارن برای شاخص‌های TVX و VHI، TCI، NVSWI به ترتیب ۰/۶، ۰/۸، ۰/۶، ۰/۲ است و در رگرسیون فازی نامتقارن برای شاخص‌های TVX و VHI، TCI، NVSWI به ترتیب ۰/۵، ۰/۷، ۰/۴، ۰/۱ است. با توجه به مقادیر بهینه پارامتر سطح اعتماد، شاخص TCI دارای بیشینه و شاخص TVX

کمینه مقدار را داشت. با توجه به این که مقدار پارامتر سطح اعتماد میزان فازی بودن را نشان می‌دهد، با نزدیکی مقدار پارامتر سطح اعتماد به عدد یک میزان فازی بودن مدل افزایش می‌یابد. بنابراین می‌توان گفت مدل‌سازی شاخص TVX با استفاده از رگرسیون فازی قابل تأمل است.



شکل ۵- نمودار تغییرات ضرایب رگرسیون با ضریب چولگی، شاخص TVX و TCI

جدول ۶- تغییرات معیارهای خطا با فاکتور چولگی - شاخص TVX

RRMSE	MAE	MRE	RMSE	a_1^p	a_0^p	S_0^1	K_1	K_0
۱/۴۲	۱۵۱/۹۲	۲/۱۱	۱۵۲/۲	۰/۸۵	۱۴۶/۶۳	۱۵۶/۱	۱/۶	۱/۴
۱/۳	۱۳۹/۷۶	۱/۹۵	۱۴۰/۰۶	۰/۸۵	۱۳۹/۵۳	۱۷۰/۲۹	۱/۱	۱/۲
۱/۲۶	۱۳۴/۶۹	۱/۸۸	۱۳۴/۹۹	۰/۸۵	۱۳۵/۴۸	۱۷۸/۴	۱/۱	۱/۱
۱/۴۸	۱۵۸/۹	۲/۲۱	۱۵۹/۱۵	۰/۸۵	۱۴۹/۷۵	۱۴۹/۸۵	۱/۵	۱/۵
۱/۲۱	۱۳۰/۰۷	۱/۸۲	۱۳۰/۳۸	۰/۸۵	۱۳۱/۰۲	۱۸۷/۳۲	۱	۱
۱/۷۱	۱۸۲/۷۹	۲/۵۳	۱۸۳/۰۲	۰/۸۵	۱۶۰/۰۸	۱۲۹/۱۸	۱/۹	۱/۹

جدول ۷- نتایج تحلیل حساسیت پارامتر سطح اعتماد - شاخص TVX

RRMSE	MAE	MRE	RMSE	a_0^p	S_0^1	h
۱/۱۱	۱۱۸/۴۴	۱/۶۶	۱۱۸/۸	۱۳۱/۰۲	۱۰۴/۰۶	۰/۱
۱/۱۱	۱۱۸/۸۸	۱/۶۷	۱۱۹/۲۴	۱۳۱/۰۲	۱۱۷/۰۷	۰/۲
۱/۱۲	۱۱۹/۴۹	۱/۶۸	۱۱۹/۸	۱۳۱/۰۲	۱۳۳/۸	۰/۳
۱/۱۶	۱۲۳/۸۲	۱/۷۳	۱۲۴/۱۶	۱۳۱/۰۲	۱۵۶/۱	۰/۴
۱/۲۱	۱۳۰/۰۷	۱/۸۲	۱۳۰/۳۸	۱۳۱/۰۲	۱۸۷/۳۲	۰/۵
۱/۵۱	۱۶۲/۰۴	۲/۲۵	۱۶۲/۳	۱۳۱/۰۲	۲۳۴/۱۵	۰/۶
۲/۰۶	۲۲۰/۶۸	۳/۰۴	۲۲۰/۸۷	۱۳۱/۰۲	۳۱۲/۲	۰/۷
۳/۵۸	۳۸۳/۵۲	۵/۲۴	۳۸۳/۶۳	۱۳۱/۰۲	۴۶۸/۳	۰/۸
۱۰/۹۷	۱۱۷۲/۹۶	۱۵/۹۱	۱۱۷۳	۱۳۱/۰۲	۹۳۶/۶	۰/۹

استفاده از رهیافت شبکه عصبی مصنوعی

براساس معادله $X_n = \frac{X_i}{X_{max}}$ و تقسیم داده‌ها به دو سری آموزش و آزمایشی می‌باشد. در مدل‌سازی شبکه عصبی هدف بررسی رابطه بین شاخص‌های خشکسالی و عامل زمان است. از بین شاخص‌های VHI, TCI, NVSWI, TVX به جز شاخص TVX دیگر شاخص‌ها در حالت نزدیک به استاندارد قرار داشتند، بنابراین استانداردسازی تنها بر روی شاخص TVX انجام گرفت. در این حالت از شبکه پیش‌خور با الگوریتم پس‌انتشار خطا (با سه لایه) استفاده شده است و توابع تحریک برای لایه میانی شامل

بررسی انواع توابع لگاریتم زیگموئیدی، خطی، تانژانت زیگموئیدی و برای لایه خروجی خطی است. در مرحله بعد باید الگوهای مختلفی (تغییر در تعداد نورون‌های لایه میانی) را به شبکه عرضه کرد و در نهایت با استفاده از معیارهای خطا، الگویی که بیش‌ترین کارایی را دارد، در نظر گرفت. در مرحله اول مدل‌سازی شبکه عصبی شاخص‌ها، انواع توابع تحریک لایه میانی مورد بررسی قرار می‌گیرد. جدول ۸ نتایج بررسی انواع توابع تحریک برای شاخص‌های NVSWI و TCI را نشان می‌دهد.

جدول ۸- بررسی انواع توابع تحریک لایه میانی شبکه عصبی

توزان	خطی-۴	لگاریتم زیگموئیدی-۴	تانژانت زیگموئیدی-۳	خطی-۳	لگاریتم زیگموئیدی-۳	لایه میانی
خطی	خطی	خطی	خطی	خطی	خطی	لایه خروجی
۰/۰۷۸	۰/۱۲۷	۰/۰۷۶۷۰۵	۰/۰۷۷	۰/۱۲۷	۰/۰۷۶۷۲	TCI-RMSE
۰/۰۸۴	۰/۱۳۱	۰/۰۶۴۱۸	۰/۰۶۴	۰/۱۳۱	۰/۰۶۴	TCI-MRE
			تانژانت زیگموئیدی	خطی	لگاریتم زیگموئیدی	لایه میانی
			خطی	خطی	خطی	لایه خروجی
			۰/۳۵۴	۰/۵۹	۰/۲۶۴	NVSWI-RMSE
			۰/۳۸۷	۰/۶	۰/۳۲۹	NVSWI-MRE

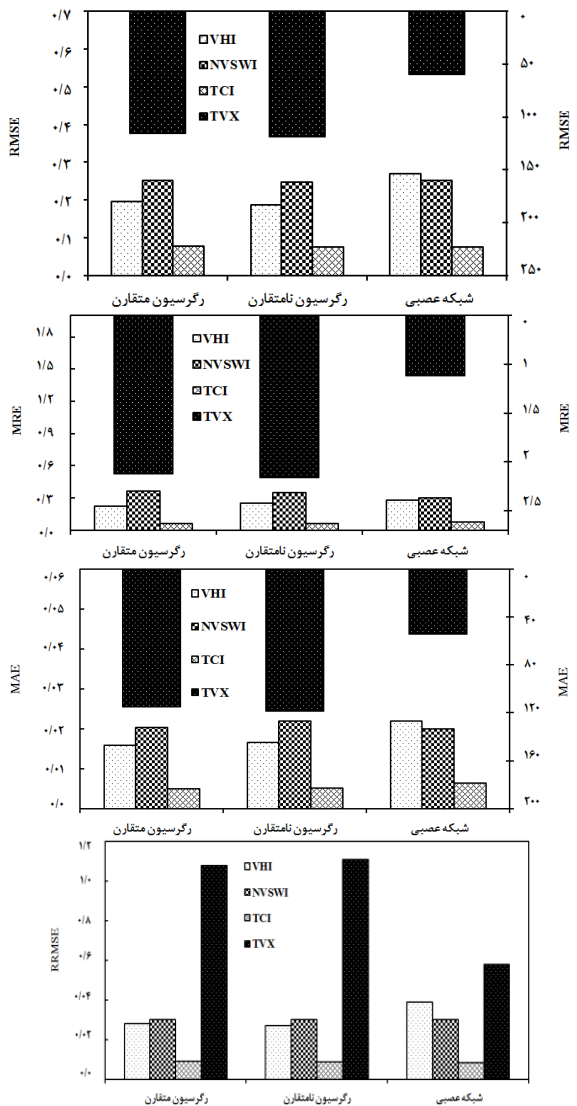
شده است. در شاخص NVSWI کم‌ترین مقدار معیارهای خطا در نورون با تعداد ۴ است. با توجه به شکل TCI نمی‌توان مقدار کمینه تمام خطاها را مربوط به یک نورون به خصوص دانست بلکه مقدار کمینه خطاها بین نورون‌های ۳ و ۵ می‌باشد بنابراین در این حالت از معیار خطای بایاس استفاده شد. به‌طور کلی از ۵ معیار خطا، ۳ مورد از کمینه خطاها مربوط به نورون ۵ است. البته قابل ذکر است که بین معیارهای خطاهای نورون‌های ۳ و ۵ اختلاف قابل توجهی مشاهده نمی‌شود. کمینه مقدار خطاها در شاخص VHI و TVX مربوط به تابع تحریک لگاریتم زیگموئیدی برای لایه میانی و خطی برای لایه خروجی است. بهترین معماری شبکه نیز برای شاخص‌های VHI و TVX به ترتیب با نورون ۴ و ۳ است.

مقایسه رهیافت‌های مورد استفاده

در ادامه براساس معیارهای خطا، مقایسه‌ای بین رهیافت‌های مورد استفاده، شبکه عصبی مصنوعی، رگرسیون فازی متقارن، رگرسیون فازی نامتقارن، در مدل‌سازی شاخص‌های VHI, TVX, NVSWI و TCI انجام

در شاخص TCI انواع توابع تحریک میانی در حالت ۳ و ۴ نورون میانی مورد بررسی قرار می‌گیرد. در شاخص NVSWI، کمینه مقدار خطاها مربوط به تابع تحریک لگاریتم زیگموئیدی برای لایه میانی و خطی برای لایه خروجی است. مقادیر RMSE در حالت تابع تحریک خطی لایه میانی و تابع خطی لایه خروجی با نورون‌های ۳ تا ۹ حاکی از عدم وجود تغییر چشم‌گیر در معیار خطا می‌باشد. بنابراین الگوهای مختلف که با تغییر در تعداد نورون‌های لایه میانی انجام می‌گیرد را با لایه میانی لگاریتم زیگموئیدی و لایه خروجی خطی مورد بررسی قرار داده می‌شود. با اثبات قضیه تقریب‌ساز چنین بیان شد که یک شبکه عصبی پیش‌رو با یک لایه مخفی زیگموئیدی و لایه خروجی خطی قادر به تخمین هر نگاشت پیچیده‌ای با هر درجه تقریبی خواهد بود (کارآموز و عراقی‌نژاد، ۱۳۸۴). در شاخص TCI کمینه مقدار خطاها مربوط به تابع تحریک لگاریتم زیگموئیدی برای لایه میانی و خطی برای لایه خروجی است که این مساله در نورون با تعداد ۴ بهتر مشاهده می‌شود. مرحله بعد مربوط به تعیین تعداد نورون‌های لایه میانی است که مراحل کار در شکل ۶ آورده

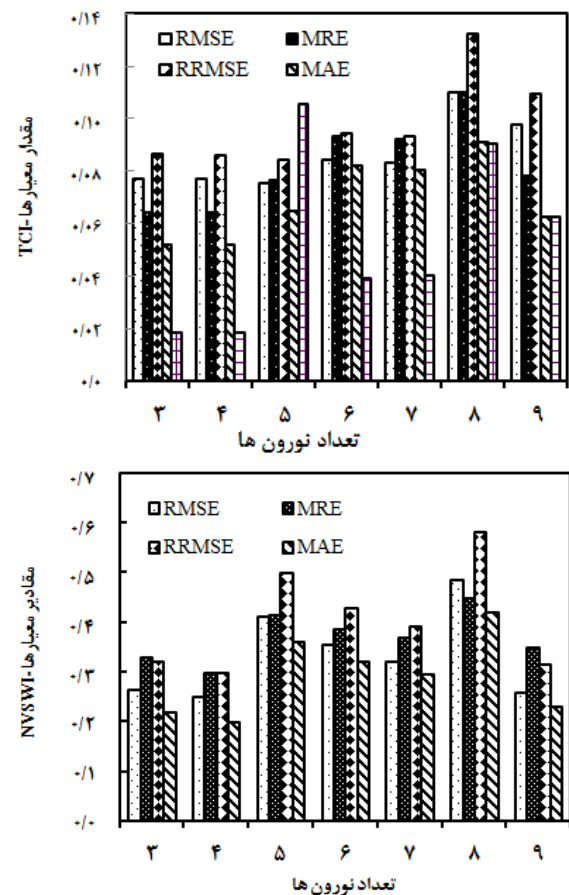
مقارن کمینه مقدار را دارد ولی اختلاف بین دو نوع رگرسیون کم است به عنوان نمونه برای دو شاخص اختلاف ۳/۷۶ درصد است. در مورد شاخص NVSWI اختلاف بین دو رهیافت رگرسیون فازی مقارن و عصبی خیلی کم است. (۱/۴۷ درصد) است.



شکل ۷- مقایسه رهیافت‌های مورد استفاده براساس معیارهای مختلف

در شاخص TVX شبکه عصبی مصنوعی از کم‌ترین مقدار خطا برخوردار است. با توجه به نمودار RRMSE شاخص‌های VHI، NVSWI و TCI با استفاده از رگرسیون فازی نامقارن و شاخص TVX با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی دارای کمینه خطا هستند. در مدل‌سازی شاخص‌های VHI و TCI رهیافت رگرسیون فازی دارای خطای کم می‌باشد. افزایش کارایی رهیافت رگرسیون فازی

می‌گیرد که نتایج در شکل ۷ آورده شده است. با توجه به نمودار RMSE کمینه مقادیر شاخص‌های VHI، NVSWI و TCI مربوط به رهیافت رگرسیون فازی نامقارن است.



شکل ۶- نمودار تغییرات معیارهای خطا با تعداد نورون‌ها، شاخص NVSWI و TCI

در مورد شاخص‌های TCI و NVSWI اختلاف بین سه رهیافت کم می‌باشد ولی در مورد شاخص VHI اختلاف بین رهیافت رگرسیون فازی و شبکه عصبی مصنوعی به شدت افزایش می‌یابد، به طوری که متوسط اختلاف بین رگرسیون فازی مقارن و نامقارن با شبکه عصبی مصنوعی ۴۱/۰۶ درصد می‌باشد. در شاخص TVX شبکه عصبی مصنوعی از کم‌ترین مقدار خطا برخوردار است. با توجه به نمودار MRE در مورد شاخص‌های VHI و TCI رگرسیون فازی مقارن دارای مقادیر کمینه خطا است ولی اختلاف بین رگرسیون فازی مقارن و نامقارن کم است به عنوان نمونه در شاخص TCI اختلاف بین دو رهیافت اخیر ۳/۱۲ درصد است. در مورد شاخص‌های NVSWI و TVX شبکه عصبی دارای کم‌ترین مقدار خطا است. با توجه به نمودار MAE در مورد شاخص‌های VHI و TCI رگرسیون فازی

و دمای سطح زمین دانست زیرا که مناطق انتخاب شده باید دارای دامنه‌های وسیعی از رطوبت خاک و NDVI باشند. در این مطالعه یک بار به صورت کلی و بار دیگر با در نظر گرفتن سه منطقه غرب، شمال و مرکز بود، ولی نتایج از کارآیی خوبی برخوردار نبود. در بین شاخص‌های خشکسالی مورد مطالعه می‌توان ادعان داشت شاخص‌هایی که از دمای سطح زمین استفاده نمی‌کنند از نتایج قابل قبولی برخوردار نیستند مانند شاخص NDVI، در صورتی که ترکیب دمای سطح زمین و شاخص پوشش گیاهی در قالب معادلات مختلف، از کارایی بهتری برخوردار است مانند تحقیقاتی از کاگن^۲ (۱۹۹۷) حاکی از عملکرد بهتر شاخص VHI نسبت به شاخص‌های TCI است. شاخص‌های مورد مطالعه در اقلیم خشک و نیمه‌خشک نسبت به اقلیم بسیار مرطوب دارای بیشترین تعداد ضریب همبستگی معنی‌دار هستند. چون اکثر ایستگاه‌ها در مناطق خشک و نیمه خشک می‌باشند باندهای حرارتی بهتر جواب می‌دهند. بررسی شاخص‌ها با معیارهای مختلف حاکی از عملکرد قابل قبول شاخص‌های NVSWI، TCI، VHI و TVX است. چهار شاخص همبستگی قابل ملاحظه‌ای با یکدیگر دارند بنابراین به نظر می‌رسد استفاده از یکی از آن‌ها برای پایش خشکسالی کافی باشد. آنچه از مقایسه شاخص‌ها بر می‌آید این است که اکثر شاخص‌ها حالت ترکیبی باندهای انعکاسی و حرارتی دارند. دقت رهیافت‌های شبکه عصبی مصنوعی، رگرسیون فازی متقارن و نامتقارن در مدل‌سازی شاخص‌های VHI، NVSWI و TCI در یک حد می‌باشند. عملکرد بهتر تابع عضویت مثلثی متقارن نسبت به نوع نامتقارن آن از حیث در نظر گرفتن عدم قطعیت حاکم بر مسئله مدل‌سازی از دیگر نتایج تحقیق بود. تئوری مجموعه‌های فازی یک ابزار نیرومند در بیان پیچیدگی‌های موجود در جهان واقعی می‌باشد که قادر است خلاء ناشی از عدم لحاظ کردن واقعیت حاکم بر بهره‌برداری در فرمول‌بندی مدل را پر نماید. شبکه عصبی مصنوعی در مدل‌سازی شاخص TVX نسبت به سایر روش‌ها دارای خطای کم‌تری است. در بخش نتایج دیده شد که پارامتر سطح اعتماد شاخص TVX دارای کم‌ترین مقدار بود و نمایان‌گر کاهش میزان فازی بودن است. بنابراین شبکه عصبی در مورد این

نسبت به شبکه عصبی در مطالعه اوزگر و میشر^۱ (۲۰۱۲) نیز دیده شد. رهیافت شبکه عصبی مصنوعی در مدل‌سازی شاخص TVX عملکرد بالایی داشت. عملکرد قابل قبول شبکه عصبی مصنوعی در مدل‌سازی داده‌های طیفی در تحقیقات استیچنکو و چیزهو (۲۰۱۵) و کیزیل و همکاران (۲۰۱۲) نیز بیان شده است. در شاخص NVSWI هر دو رهیافت نتایج قابل قبولی داشتند ولی رگرسیون فازی در موارد بیش‌تری دارای نتایج قابل قبولی است. اختلاف فاحشی بین رهیافت رگرسیون فازی متقارن و نامتقارن مشاهده نشد، ولی اکثریت معیارها با رگرسیون فازی نامتقارن هم‌سو بودند. دلیل تغییر کارایی رهیافت‌ها با توجه به شاخص‌ها را می‌توان در ماهیت داده‌ها و نوع ترکیب داده‌های طیفی و حرارتی دانست. در بخش قبلی مشاهده شد که پارامتر سطح اعتماد شاخص TVX دارای کم‌ترین مقدار بود که نمایان‌گر کاهش میزان فازی بودن است. بنابراین شبکه عصبی در مورد این شاخص از خطای کم‌تری برخوردار بود که نتایج بخش رگرسیون فازی این مسأله را تأیید می‌کنند.

نتیجه‌گیری

شاخص‌های خشکسالی بر پایه تصاویر ماهواره‌ای، از سال ۱۹۸۰ در مطالعات خشکسالی استفاده شده‌اند که نسبت به سایر روش‌های پایش خشکسالی دارای تأثیر کلیدی هستند. شاخص‌های NVSWI، TCI، TVX و VHI و شاخص‌های NDVI و VTCI به ترتیب دارای بیش‌ترین و کم‌ترین تعداد ضریب همبستگی معنی‌دار با بارش هستند. عملکرد ضعیف شاخص NDVI در مقایسه با سایر شاخص‌های خشکسالی دلایل متفاوتی دارد از جمله این که در مناطق خشک و نیمه‌خشک، اثرات بازتاب خاک زمینه می‌تواند اثر بازتاب پوشش گیاهی را تحت تأثیر قرار دهد و بر آن غلبه کند. همچنین بارندگی تنها عاملی نیست که شاخص NDVI را تحت تأثیر قرار می‌دهد بلکه فاکتورهای دیگری مانند توپوگرافی، خصوصیات خاک، تنش در سال‌های قبل و مشخصه‌های پوشش زمینی باید در نظر گرفته شود تا اثرات اقلیم بر پوشش گیاهی توضیح داده شود. کم‌بودن ضریب همبستگی شاخص VTCI را شاید بتوان در مناطق مربوط به استخراج رابطه شاخص NDVI

^۱ Ozger and Mishra

^۲Kogan

- Du, L., Tiana, Q., Yu, T., Meng, Q., Jancso, T., Udvardy, P., Huang, Y. 2013. A comprehensive drought monitoring method integrating MODIS and TRMM data. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.*, 23(1): 245-253.
- Fatehi-Marj, A., Meijerink, A. 2011. Agricultural drought forecasting using satellite images, climate indices and artificial neural network. *Int. J. Remote Sens.*, 32(24): 9707-9719.
- Fernandez-Manso, A., Quintano, C., Fernandez-Manso, O. 2011. Forecast of NDVI in coniferous areas using temporal ARIMA analysis and climatic data at a regional scale. *Int. J. Remote Sens.*, 32(6): 1595-1617.
- Jafari, R., Bakhshandehmehr, L. 2013. Quantitative mapping and assessment of environmentally sensitive areas to desertification in central Iran. *Land Degrad. Dev.*, 27(2): 108-119.
- Kogan, F. N. 1997. Global drought watch from space. *Bull. Amer. Meteorol. Soc.*, 78(4): 621-636.
- Kizil, Ü., GenÇ, L., İnalplat, M., Şapoloyo, D., Mirik, M. 2012. Lettuce yield prediction under water stress using artificial neural network (ANN) model and vegetation indices. *Žemdirbystė- Agric.*, 99(4): 409-418.
- Nichol, J. E., Abbas, S. 2015. Integration of remote sensing datasets for local scale assessment and prediction of drought. *Sci. Total Environ.*, 505: 503-507.
- Özger, M., Mishra, A. K. 2012. Long lead time drought forecasting using wavelet and fuzzy logic combination model: a case study in Texas. *J. Hydrometeorol.*, 13(1): 284-297.
- Shamsipour, A. A., Alavipanah, S. K. 2010. The role of fuzzy - AHP models in the efficiency of remotely sensed based drought indices in Kashan district, 30th EARSeL Symposium: Remote Sensing for Science, Education and Culture, France, Paris, 31 May - 03 Jun 2010.
- Stepchenko, A., Chizhov, J. 2015. NDVI short-term forecasting using recurrent neural nNetworks. *Proceedings of the 10th International Scientific and Practical Conference.*, 3:180-185.
- Wan, Z., Wang, P., Li, X. 2004. Using MODIS land surface temperature and normalized difference vegetation index products for monitoring drought in the southern Great Plains, USA. *Int. J. Remote Sens.*, 25(1): 61-72.
- Yen, K. K., Ghoshary, S., Roig, G. 1999. A linear model using triangular fuzzy number coefficients. *Fuzzy Sets and Syst.*, 106:167-177.
- شاخص از خطای کمتری برخوردار بود. بنابراین جهت افزایش کارایی پیش‌بینی در زمینه خشکسالی، بهبود باید در چندین زمینه انجام گیرد: ۱- شناسایی فاکتورهای مؤثر بر خشکسالی هواشناسی و یا استفاده ترکیبی از شاخص‌های خشکسالی با کارایی بالا به عنوان شاخص خشکی ترکیب شده ۲- نوع مدل‌سازی یا بهبود پارامترهای آن ۳- نوع سنجنده مورد استفاده با قدرت تفکیک مکانی بالا که سنجنده MODIS در این زمینه دارای قابلیت قابل قبولی است (فرناندز - مانسو^۱ و همکاران، ۲۰۱۱).
- ### منابع
- ثقفیان، ب. ۱۳۸۷. پیش‌نویس برنامه راهبردی: ارزیابی و پیش‌بینی خشکسالی منطقه‌ای کشور. مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی. وزارت جهاد کشاورزی، ستاد هماهنگی طرح‌های پژوهشی همزیستی با خشکی.
- شکبیا، ع، میرباقری، ب، خیری، ا. ۱۳۸۹. خشکسالی و تأثیر آن بر منابع آب زیرزمینی در شرق استان کرمانشاه با استفاده از شاخص SPI. فصلنامه علمی- پژوهشی انجمن جغرافیای ایران، ۸ (۲۵): ۱۰۵-۱۲۴.
- کارآموز، م، عراقی‌نژاد، ش. ۱۳۸۴. هیدرولوژی پیشرفته. انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۴۶۵ صفحه.
- کوره‌پزان، ا. ۱۳۸۴. اصول تئوری مجموعه‌های فازی و کاربردهای آن در مدل‌سازی مهندسی منابع آب. انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر، ۲۷۲ صفحه.
- محمدی‌نژاد، ا. ۱۳۹۱. استفاده از شبکه‌های بازگشتی به منظور مدل‌سازی و پیش‌بینی خشکسالی مبتنی بر داده‌های سنجش از دور. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، رشته مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف.
- Bayarjarga, Y. L., Karnieli, A., Bayasgalan, M., Khudulmur, S., Gandush, C., Tucker, C. J. 2006. A comparative study of NOAA-AVHRR derived drought indices using change vector analysis. *Remote Sens. Environ.*, 105(1): 9-22.

¹Fernandez-Manso

یادداشت فنی

چشم‌انداز تغییرات دما با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی آماری خروجی‌های مدل HadCM3

سید اسعد حسینی^{۱*}، حمزه احمدی^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۳/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۴/۱۰

چکیده

تغییرات اقلیمی به ویژه گرمایش جهانی از بزرگ‌ترین چالش‌هایی است که بشر در قرن بیست و یکم با آن مواجه است و تأثیرات مشهودی بر کشاورزی، منابع آب و محیط زیست به همراه دارد. در این پژوهش خروجی مدل گردش عمومی HadCM3 تحت سه سناریوی انتشار A1B، A2 و B1 توسط مدل آماری LARS-WG در ایستگاه سینوپتیک سقز برای دو متغیر اقلیمی دمای کمینه و دمای بیشینه ریزمقیاس‌نمایی شد و نتایج حاصل از آن در دوره پایه (۱۹۹۰-۱۹۶۱) و دوره آینده (۲۰۴۶-۲۰۶۵) مورد مقایسه قرار گرفت. عملکرد مدل LARS-WG در شبیه‌سازی داده‌های دما با استفاده از شاخص‌های MSE، RMSE و MAE ارزیابی شد. داده‌های چشم‌انداز مدل نشان داد که دمای کمینه و بیشینه در تمامی ماه‌های سال افزایش خواهد یافت. این افزایش در طی دوره ۲۰ ساله آتی، برای دمای کمینه و بیشینه به ترتیب ۳/۲ و ۳ درجه سانتی‌گراد اساس متوسط سناریوهای مورد بررسی در منطقه مطالعاتی نسبت به دوره پایه می‌باشد. بیش‌ترین و کم‌ترین افزایش در هر دو متغیر مورد بررسی نیز به ترتیب توسط سناریوهای A1B و B1 ارزیابی شده است. از نتایج حاصل از این بررسی می‌توان در مدیریت منابع آب و برآورد نیاز آبی گیاهان استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: سقز، دما، چشم‌انداز، مدل گردش عمومی جو، مولد هواشناسی

مقدمه

هستند (فولر و همکاران^۵، ۲۰۰۷)، هر چند که این مدل‌ها در مقیاس فضایی جوی و قاره‌ای نتایج معنی‌داری را به نمایش می‌گذارند و بخش بزرگی از پیچیدگی سیستم کره زمین را ترکیب می‌کنند، اما ذاتاً قادر نیستند که دینامیک و اشکال با شبکه ریزتر از مقیاس محلی را به نمایش بگذارند (کارتر و همکاران^۶، ۱۹۹۴؛ ویگلی و همکاران^۷، ۱۹۹۰؛ شارما و همکاران^۸، ۲۰۰۷). لذا ارزیابی تأثیر تغییرات اقلیمی در مقیاس محلی نیازمند رویکردی است تا شکاف موقتی و فضایی بین متغیرهای اقلیمی بزرگ مقیاس و متغیرهای هواشناسی با مقیاس محلی را پر کند که در این مورد، رویکرد اساسی همان تکنیک‌های ریز گردانی هستند (ویلبی و همکاران^۹، ۲۰۰۲). سمنوف و استراتویچ^{۱۰} (۲۰۱۰) با استفاده از مدل LARS-WG، پیامدهای تغییر اقلیم را مورد ارزیابی قرار دادند و مشخص

تغییر اقلیم و گرم شدن کره زمین، اثرات سوئی بر منابع مختلف از جمله آب، جنگل، مرتع، اراضی کشاورزی، صنعت و در نهایت زندگی انسان دارد. اولین اثر تغییر اقلیم روی عناصر اتمسفری خصوصاً درجه حرارت و بارش می‌باشد. لذا بررسی روند متغیرهای جوی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (آبکار و همکاران، ۱۳۹۲). گرمایش هوا با تحت فشار قرار دادن چرخه‌های هیدرولوژیکی منجر به تغییرات موقتی و فضایی بارش و تغییرپذیری آب و ایجاد سیل و خشکسالی‌های فراوان در آینده خواهد شد (بارنت و همکاران^۳، ۲۰۰۸؛ هانتینگتون^۴، ۲۰۰۶). مدل‌های جهانی اقلیم (GCM) مهم‌ترین مدل‌های جفت‌شده عددی و ابزارهای قدرتمندی در ارزیابی تأثیرات تغییرات اقلیمی

⁵ Fowler et al.

⁶ Carter et al.

⁷ Wigley et al.

⁸ Sharma et al.

⁹ Wilby et al.

¹⁰ Semenov and Stratonovitch

^۱ مدرس گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه پیام نور، مرکز سقز

(* ایمیل نویسنده مسئول: Hosseini.asad8@gmail.com)

^۲ دانشجوی دکتری آب و هواشناسی کشاورزی دانشگاه حکیم سبزواری

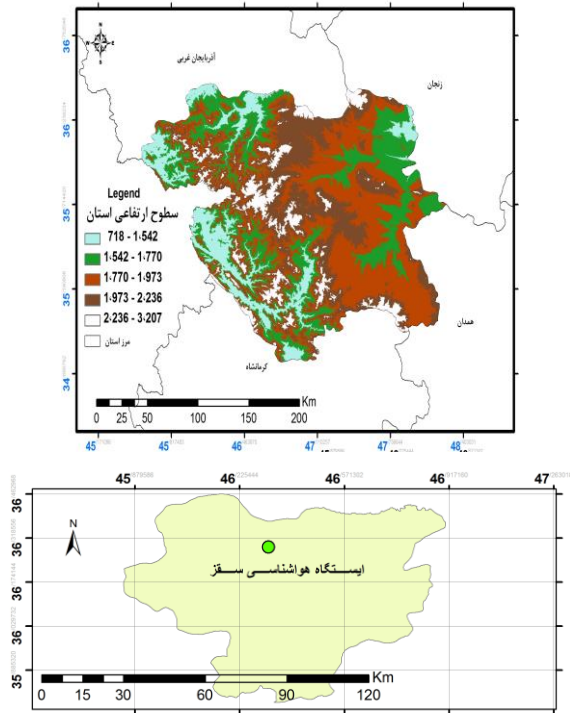
³ Barnett et al.

⁴ Huntington

جفت شده جوی- اقیانوسی HadCM3 و روش ریزمقیاس‌نمایی آماری LARS-WG پرداخته شد.

مواد و روش‌ها

شهرستان سقز با وسعت ۴۵۱۴ کیلومتر مربع در شمال غربی استان کردستان در ارتفاع ۱۵۲۲/۸ متر از سطح دریا قرار گرفته است (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

این شهرستان یکی از نقاط کوهستانی استان کردستان است که هوای آن در زمستان بسیار سرد و در تابستان نسبتاً معتدل می‌باشد. جهت این بررسی از آمار هواشناسی ایستگاه سینوپتیک سقز استفاده گردید (جدول ۱). میانگین کمینه و بیشینه دمای ایستگاه مطالعاتی در دوره آماری پایه (۱۹۶۱-۱۹۹۰) به ترتیب برابر با ۳/۶ و ۱۹/۲ درجه سانتی‌گراد و متوسط دمای منطقه نیز برابر با ۱۱/۴ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (جدول ۲).

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی ایستگاه هواشناسی مطالعاتی

سال	ارتفاع از سطح دریا	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	نوع ایستگاه
۱۹۶۱	۱۵۲۲/۸ m	۳۶° ۱۵' N	۴۶° ۱۶' E	سینوپتیک

جدول ۲- مشخصات آماری دمای ایستگاه سینوپتیک سقز

حسب درجه سانتی‌گراد

دوره آماری	میانگین دما	میانگین بیشینه دما	میانگین کمینه دما	حداکثر مطلق دما	حداقل مطلق دما
۱۹۶۱-۱۹۹۰	۱۱/۴	۱۹/۲	۳/۶	۴۳	-۳۶

نمودند که تنش‌های دمایی موجب کاهش عملکرد محصولات کشاورزی می‌گردد. ضرغامی و همکاران (۲۰۱۱) به بررسی تغییرات اقلیمی با استفاده از مدل HadCM3 و روش‌های ریزمقیاس‌نمایی آماری ANN و LARS-WG در آذربایجان شرقی پرداختند. نتایج حاکی از کاهش بارش و افزایش دما می‌باشد. عثمان و همکاران (۲۰۱۳) بارش مناطق مرکزی عراق را بر اساس هفت مدل جهانی و با استفاده از مدل LARS-WG پیش‌بینی نمودند، نتایج حاصل نشان داد که دوره‌های دسامبر- فوریه و سپتامبر- نوامبر بارش از روند افزایشی در منطقه برخوردار می‌باشد. ولیزاده و همکاران (۲۰۱۴) به بررسی عملکرد گندم تحت تغییرات آب و هوایی آینده در سیستان و بلوچستان با استفاده از مدل LARS-WG پرداختند. نتایج نشان داد که این مدل، پیش‌بینی مناسبی از پارامترهای اقلیمی دارد. آبابایی و همکاران (۱۳۹۰) به ارزیابی عملکرد مدل LARS-WG در ایستگاه‌های ساحلی کشور پرداختند. نتایج حاصل نشان داد که این مدل در شبیه‌سازی توزیع روزانه و میانگین ماهانه و فصلی اکثر سری‌ها عملکرد مناسبی دارد. خلیلی‌اقدم و همکاران (۱۳۹۱) به ارزیابی توانایی مدل LARS-WG در پیش‌بینی پارامترهای جوی در شهر سنجند پرداختند نتایج نشان داد که مدل با دقت بالایی قادر به شبیه‌سازی پارامترهای دمای حداقل و حداکثر و همچنین تابش است. صلاحی و همکاران (۱۳۹۳) به ارزیابی تغییرات اقلیمی استان اصفهان با استفاده از مدل LARS-WG پرداختند. نتایج حاصل حاکی از افزایش دمای کمینه و بیشینه در استان است. رسولی و همکاران (۱۳۹۳) به بررسی اثر عوامل مورفو- اقلیمی بر دقت ریزمقیاس‌نمایی مدل LARS-WG در شمال غرب کشور پرداختند و نشان دادند که دقت مدل در ایستگاه‌های منتخب متفاوت بوده ولی شبیه‌سازی دما با دقت مناسب‌تری انجام گرفته است. با توجه به آن که منابع آب در معرض خطرات ناشی از تغییرات اقلیمی قرار دارند، چشم‌انداز تغییرات دما در سال‌های آینده می‌تواند راه‌گشای معضلاتی همچون خشکسالی، تبخیر و تعرق زیاد و تخریب‌های زیست‌محیطی و توزیع و انتشار بیماری‌ها و غیره باشد. لذا در این پژوهش به بررسی تغییرات دمای کمینه و بیشینه در دوره آماری (۱۹۶۱-۱۹۹۰) و چشم‌انداز این تغییرات در دهه ۲۰۵۰ (۲۰۴۶-۲۰۶۵) در ایستگاه سینوپتیک سقز با استفاده از خروجی مدل

روش‌ها

مدل LARS-WG یک مدل تصادفی با استفاده از توزیع نیمه تجربی برای تولید داده‌های آب و هوایی به وسیله تکنیک‌های ریزمقیاس‌نمایی آماری است (ویلکس و ویلی،^۱ ۱۹۹۹) که به مراتب از دیگر برنامه‌ها به دلیل تکرار محاسبات، نیاز به داده‌های ورودی کم‌تر و همچنین سادگی و کارایی دارای کاربرد بیش‌تری است (دیباک و کولیبالی،^۲ ۲۰۰۵). این مدل در عین پیچیدگی کم‌تر، توانایی بالایی در پیش‌بینی تغییرات اقلیمی دارد (سمنوف و استراتونویچ، ۲۰۱۰). مدل HadCM3 نیز از نوع مدل‌های گردش عمومی جفت‌شده جو-اقیانوسی است که در مرکز هادلی سازمان هواشناسی انگلیس طراحی و توسعه یافته است که دارای شبکه‌ای به ابعاد ۲/۵ درجه عرض جغرافیایی در ۳/۷۵ درجه طول جغرافیایی است (آشسته و مساح‌بوانی، ۱۳۸۹)؛ که داده‌های آن‌ها از سال ۱۹۶۱ تا ۲۱۰۰ موجود است. در مطالعه حاضر از سه سناریوی A1B، A2 و B1 استفاده شده است که هر یک نشان‌دهنده ویژگی‌هایی از جمله مربوط به رشد اقتصادی جهان، جمعیت جهان و آگاهی‌های اجتماعی می‌باشد (هاشمی نسب و همکاران، ۱۳۹۲). جهت اجرای مدل LARS-WG از داده‌های دمای حداقل و حداکثر روزانه در دوره آماری (۱۹۹۰-۱۹۶۱) استفاده شد که به عنوان مبنای رفتار اقلیم گذشته و برای شبیه‌سازی اقلیم آینده مورد استفاده قرار گرفته است. روش کار به این صورت است که مدل، داده‌های دیدبانی شده دوره پایه را دریافت نموده، با بررسی آن‌ها مشخصه‌های آماری داده‌ها استخراج می‌شوند؛ سپس به منظور صحت‌سنجی و اطمینان از توانمندی مدل، برای دوره آماری پایه مدل را اجرا نموده تا یک سری داده‌های مصنوعی در دوره پایه مجدداً ایجاد شود، سپس این خروجی‌ها به منظور ارزیابی عملکرد مدل در بازسازی داده‌ها، با مشخصات آماری مشاهداتی به کمک آزمون‌های آماری مقایسه می‌شوند. تطابق مشخصات آماری داده‌های مشاهداتی و داده‌های باز تولیدی، نشان می‌دهد که مدل، می‌تواند سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای انتخابی و خروجی مدل‌های اقلیمی را به داده‌های دوره پایه اعمال و تغییرات را شبیه‌سازی کند (آقاشاهی و همکاران، ۱۳۹۱).

ارزیابی عملکرد مدل

جهت ارزیابی عملکرد مدل LARS-WG از معیارهای خطاسنجی زیر استفاده شده است.

۱- مجذور میانگین مربعات خطا و میانگین مطلق خطا که نشان‌دهنده میزان خطای مدل می‌باشند که بهترین مقدار آن‌ها برابر صفر است و از طریق معادله‌های (۱) و (۲) محاسبه می‌شوند (صداقت‌کردار و فتاحی، ۱۳۸۷).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_o - X_s)^2}{N}} \quad (1)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^N |X_o - X_s|}{N} \quad (2)$$

که در آن‌ها X_o مقادیر مشاهداتی، X_s مقادیر شبیه‌سازی شده و N تعداد داده‌ها می‌باشد.

۲- میانگین مربعات خطا که برای محاسبه آن از معادله (۳) استفاده می‌شود و می‌تواند از صفر در عملکرد عالی تا بی‌نهایت تغییر کند (کار آموز و همکاران، ۱۳۸۵).

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Obs - Sim)^2 \quad (3)$$

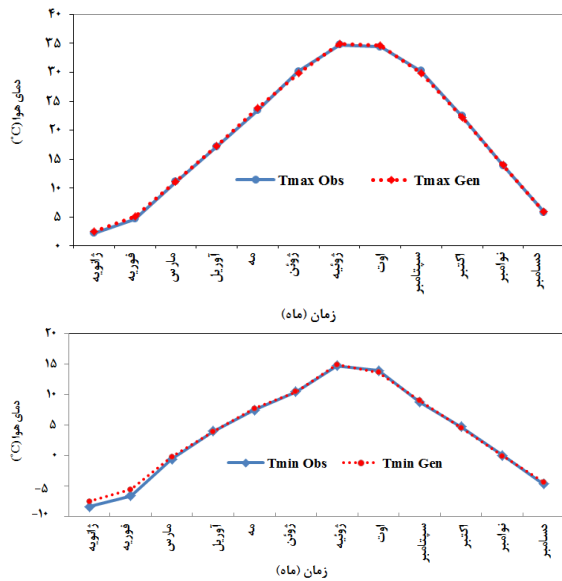
در معادله (۳)، Obs و Sim به ترتیب مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده دما در دوره پایه و n تعداد کل داده‌های مشاهداتی می‌باشد. پس از ارزیابی عملکرد مدل با استفاده از شاخص‌های خطاسنجی و اطمینان از مناسب بودن مدل، داده‌های دوره (۲۰۶۵-۲۰۴۶) با استفاده از مدل HadCM3 تحت سه سناریوی انتشار A1B، A2 و B1 تولید شد. سپس تغییرات آن‌ها نسبت به مقادیر دوره پایه به صورت ماهانه و سالانه محاسبه گردید.

نتایج و بحث

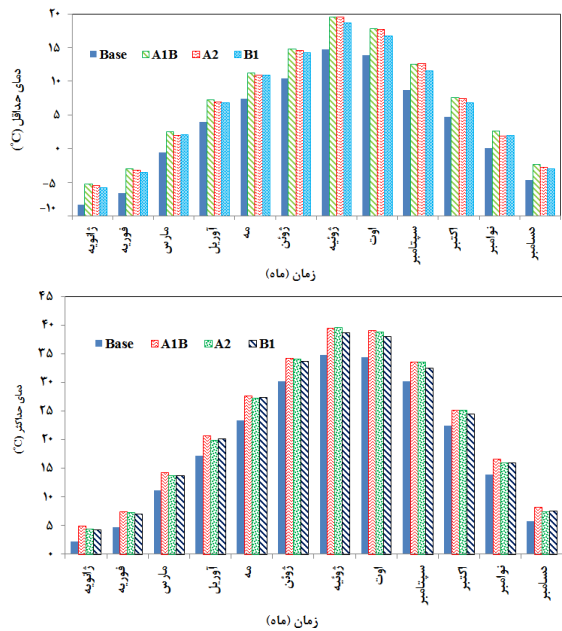
جهت ارزیابی چشم‌انداز تغییرات دما در ایستگاه سینوپتیک سقز در دهه ۲۰۵۰ از داده‌های سه سناریوی A1B، A2 و B1 مدل HadCM3 با کاربرد مدل ریزگردانی LARS-WG استفاده گردید. به منظور کالیبره کردن و اطمینان از صحت مدل، ابتدا یک سناریوی حالت پایه برای دوره آماری پایه اجرا گردید؛ سپس خروجی‌های مدل با داده‌های دوره مشاهداتی مقایسه گردید. نتایج حاصل از ارزیابی عملکرد مدل بیان‌گر آن است که اختلاف معنی‌داری بین مقادیر مدل‌سازی شده و مقادیر مشاهداتی آن‌ها با خطای بحرانی ۰/۰۵ وجود ندارد و مدل از دقت مناسبی در شبیه‌سازی پارامترهای مورد بررسی برخوردار

¹ Wilks and Wilby

² Dibike and Coulibaly



شکل ۲- مقایسه دمای کمینه و بیشینه مشاهداتی و تولید شده توسط مدل در دوره پایه



شکل ۳- تغییرات ماهانه دمای کمینه و بیشینه در دهه ۲۰۵۰ نسبت به دوره پایه تحت سه سناریوی مورد بررسی

نتیجه‌گیری

در این پژوهش با استفاده از خروجی مدل جهانی HadCM3 تحت سه سناریوی انتشار A1B، A2 و B1 تغییرات دمای ایستگاه سینوپتیک سقز در دهه ۲۰۵۰ با استفاده از مدل ریزگردانی LARS-WG مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل نشان می‌دهد که مدل LARS-WG از دقت و صحت لازم برای ارزیابی تغییرات دما در منطقه مورد مطالعه برخوردار است. نتایج حاصل از چشم‌انداز مدل برای دهه ۲۰۵۰ نیز نشان می‌دهد که مقادیر دمای کمینه

است. همچنین نتایج حاصل حاکی از دقت بیشتر مدل در شبیه‌سازی دمای بیشینه نسبت به دمای کمینه است (جدول ۳).

جدول ۳- ارزیابی عملکرد مدل LARS-WG در دوره پایه

ایستگاه	پارامتر	RMSE	MSE	MAE
سقز	دمای بیشینه	۰/۲۸	۰/۰۸	۰/۲۴
	دمای کمینه	۰/۴۴	۰/۱۹	۰/۳۳

جهت نمایش بهتر و همچنین اطمینان از صحت پیش‌بینی به مقایسه مقادیر دمای کمینه و بیشینه تولید شده توسط مدل و مقادیر مشاهداتی با استفاده از نمودارهای مقایسه‌ای در دوره پایه پرداخته شد. همان‌طور که مشاهده می‌شود داده‌های مشاهداتی و تولید شده توسط مدل تا حد زیادی به یکدیگر نزدیک‌اند که نشان‌دهنده دقت و صحت مدل جهت پیش‌بینی می‌باشد (شکل ۲). پس از ارزیابی مدل LARS-WG و اطمینان از مناسب بودن آن به بررسی داده‌های تولید شده به وسیله مدل برای سه سناریوی تغییر اقلیم با استفاده از مدل HadCM3 پرداخته شد. بیش‌ترین تغییرات دمایی نیز مربوط به پارامتر دمای کمینه می‌باشد که میزان آن به طور متوسط بر اساس هر سه سناریوی مورد بررسی در دهه ۲۰۵۰ برابر با ۳/۲ درجه سلسیوس نسبت به دوره پایه می‌باشد میزان افزایش دمای بیشینه نیز به طور متوسط بر اساس سناریوهای مورد بررسی در دهه ۲۰۵۰ برابر با ۳ درجه سلسیوس می‌باشد (شکل ۴). بیش‌ترین و کم‌ترین تغییرات ارزیابی شده توسط سناریوهای مورد بررسی نیز برای دو پارامتر دمای کمینه و بیشینه به ترتیب مربوط به سناریوی A1B و B1 می‌باشد؛ که ناشی از ویژگی‌هایی است که هر کدام از این سناریوها برای وضعیت‌های ممکن آینده به تصویر می‌کشند. نتایج حاصل از بررسی دمای کمینه و بیشینه به‌صورت ماهانه در ایستگاه مطالعاتی نشان می‌دهد که میزان دما در دهه ۲۰۵۰ بر طبق هر سه سناریوی مورد بررسی در تمامی ماه‌های سال افزایش خواهد یافت (شکل ۳). بیش‌ترین افزایش دمای ماهانه در هر دو پارامتر دمای کمینه و بیشینه نیز مربوط به ماه جولای به ترتیب به میزان ۴/۸ و ۴/۷ درجه سلسیوس نسبت به دوره پایه بر اساس سناریوی A1B می‌باشد.

عملکرد برخی محصولات که در دوره رشد و محصول‌دهی نیاز به سرما دارند، کاهش می‌یابد. از نتایج حاصل از این پژوهش می‌توان در بخش‌های مختلف کشاورزی، منابع آبی و طبیعی و محیط زیست استفاده نمود.

منابع

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

آبکار، ع.، حبیب‌نژاد، م.، سلیمانی، ک.، نقوی، ه. ۱۳۹۲. بررسی میزان کارایی مدل SDSM در شبیه‌سازی شاخص‌های دمایی در مناطق خشک و نیمه‌خشک. نشریه مهندسی آبیاری و آب، ۴ (۱۴): ۱۷-۱.

آشفته، پ.، مساح بوانی، ع. ۱۳۸۹. تأثیر تغییر اقلیم بر دبی‌های حداکثر: مطالعه موردی، حوضه آیدوغموش، آذربایجان شرقی. نشریه علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، ۱۴ (۵۳): ۳۹-۲۵.

آقشاهی، م.، اردستانی، م.، نیک‌سخن، م.، طهماسبی، ب. ۱۳۹۱. معرفی و مقایسه مدل‌های LARS-WG و SDSM به منظور ریزمقیاس‌نمایی پارامترهای زیست‌محیطی در مطالعات تغییر اقلیم. ششمین همایش ملی و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط‌زیست، تهران.

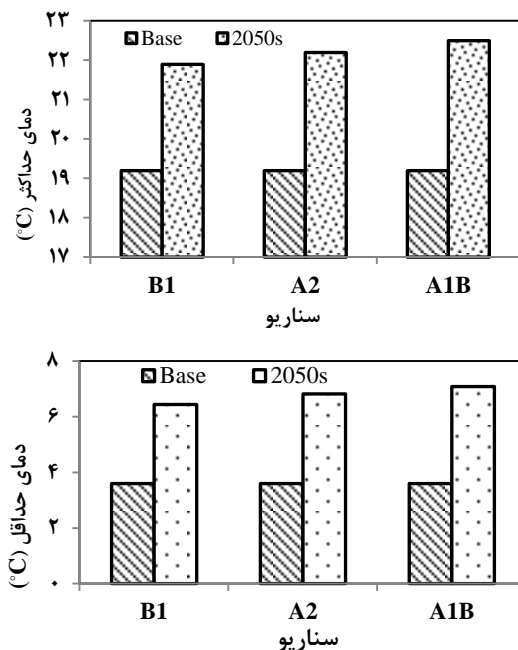
خلیلی‌اقدم، ن.، مساعدی، ا.، سلطانی، ا.، کامکار، ب. ۱۳۹۱. ارزیابی توانایی مدل LARS-WG در پیش‌بینی برخی پارامترهای جوی سندج. نشریه پژوهش حفاظت آب و خاک، ۱۹ (۴): ۱۲۲-۸۵.

رسولی، ع. ا.، رضایی‌بنفشه، م.، مساح‌بوانی، ع.، خورشید دوست، ع. م.، قرمز چشمه، ب. ۱۳۹۳. بررسی اثر عوامل مرفو- اقلیمی بر دقت ریزمقیاس‌گردانی مدل LARS-WG. نشریه علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۸ (۲۴): ۹-۱۸.

صداقت‌کردار، ع.، فتاحی، ا. ۱۳۸۷. شاخص‌های پیش‌آگاهی خشکسالی در ایران. نشریه جغرافیا و توسعه، دانشگاه سیستان و بلوچستان، ۶ (۱۱): ۷۶-۵۹.

صلاحی، ب.، فاطمی‌نیا، ف.، حسینی، س. م. ۱۳۹۳. ارزیابی تغییرات اقلیمی آینده استان اصفهان با استفاده از دو مدل BCM2 و HadCM3 در مدل ریزگردان LARS-WG. مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، ۵ (۱۶): ۷۱-۵۵.

و بیشینه در این دهه در ایستگاه مطالعاتی افزایش خواهد یافت که خلاصه نتایج آن برای هر سه سناریوی مورد بررسی نسبت به دوره پایه در جدول (۳) آورده شده است.



شکل ۴ - تغییرات دمای کمینه و بیشینه در دهه ۲۰۵۰ نسبت به دوره پایه بر اساس سناریوهای مورد بررسی

جدول ۳- تغییرات دما در دهه ۲۰۵۰ نسبت به دوره پایه

پارامتر	دمای بیشینه	دمای کمینه
دوره پایه (۱۹۶۱-۱۹۹۰)	۱۹/۲	۳/۶
A1B	۲۲/۵	۷/۰۸
A2	۲۲/۲	۶/۸۲
B1	۲۱/۹	۶/۴۴
متوسط دوره آینده	۲۲/۲	۶/۸

همان‌طور که مشاهده می‌شود میزان افزایش دمای کمینه و بیشینه به طور متوسط در دوره آینده به ترتیب به میزان ۳/۲ و ۳ درجه سلسیوس نسبت به دوره پایه خواهد بود. نتایج حاصل از این پژوهش، یافته‌های ضرغامی و همکاران (۲۰۱۱)، ولیزاده و همکاران (۲۰۱۴)، خلیلی‌اقدم و همکاران (۱۳۹۱)، صلاحی و همکاران (۱۳۹۳) را مورد تأیید قرار می‌دهد. براساس نتایج حاصل از این پژوهش در منطقه مورد مطالعه میزان دما افزایش پیدا خواهد کرد که این امر می‌تواند باعث افزایش تبخیر و تعرق و در نتیجه کاهش ذخایر منابع آبی، کاهش رطوبت خاک و افزایش نیاز آبی گیاهان، کاهش بارش‌های برفی، گسترش آفات و بیماری‌ها، خشکسالی و بحران در منابع آبی و طبیعی منطقه گردد. همچنین با افزایش متوسط دمای کمینه،

- Osman, Y., AL-Ansari, N., Abdellatif, M., Aljawad, S. B., Knutsson, S. 2013. Expected future precipitation in central Iraq using Lars-WG stochastic weather generator. *Engineering*, 6: 948-959.
- Semonov, M. A., Stratonovitch, P. 2010. Use of multi-model ensembles from global climate models for assessment of climate change impacts. *Clim. Res.*, 41: 1-14.
- Sharma, D., Gupta, A. D., Babel, M. S. 2007. Spatial disaggregation of bias-corrected GCM precipitation for improved hydrologic simulation: Ping River Basin, Thailand. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 11: 1373-1390.
- Valizadeh, J., Ziaei, S. M., Mazloumzadeh, S. M. 2014. Assessing climate change impacts on wheat production (a case study), *J. Saudi Soc. Agric. Sci.*, 13(2): 107-115.
- Wigley, T. W. L., Jones, P. D., Briffa, K. R. Smith, G. 1990. Obtaining sub-grid scale information from coarse resolution general circulation model output, *J. Geophys. Res.*, 951: 1943-1953.
- Wilby, R. L., Dawson, C. W., Barrow, E. M. 2002. SDSM- a decision support tool for the assessment of regional climate change impacts. *J. Environ. Modeling & Soft.*, 17: 147-159.
- Wilks, D. S., Wilby, R. L. 1999. The weather generation game: a review of stochastic weather models. *Progress in Physical Geography*, 2: 329-357.
- Zarghami, M., Abdi, A., Babaeian, I., Hassanzadeh, Y., Kanani, R. 2011. Impacts of climate change on runoffs in East Azerbaijan, Iran. *Global and Planetary Change*, 78(3, 4): 137-146.
- کارآموز، م.، رضوانی، ف.، رضوی، س. ۱۳۸۵. پیش‌بینی بلند مدت بارش با استفاده از سیگنال‌های هواشناسی. کاربرد شبکه‌های عصبی مصنوعی. هفتمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، تهران.
- هاشمی‌نسب، ف. ا.، موسوی بایگی، م.، بختیاری، ب.، داوری، ک. ۱۳۹۲. پیش‌بینی تغییرات بارش ۲۰ سال آینده در استان کرمان با استفاده از مدل ریزمقیاس کننده LARS-WG و گردش عمومی HadCM3. نشریه مهندسی آبیاری و آب، ۳ (۱۲): ۴۳-۵۸.
- Barnett, T. P., Pierce, D. W., Hidalgo, H. G., Bonfils, C., Santer, B. D., Das, T., Bala, G., Wood, A. W., Nozawa, T., Mirin, A. A., Cayan, D. R., Dettinger, M. D. 2008. Human-induced changes in the hydrology of the western United States. *Science*, 319(5866): 1080-1083.
- Carter, T. R., Parry, M. L., Harasawa, H., Nishioka, S. 1994. IPCC technical guidelines for assessing climate change impacts and adaptations, IPCC Special Report to Working Group II of IPCC, London.
- Dibike, Y. B., Coulibaly, P. 2005. Hydrologic impact of climate change in the Saguenay watershed: comparison of downscaling methods and hydrologic models, *J. Hydrol.*, 307: 145-163.
- Fowler, H. J., Blenkinsop, S., Tebaldi, C. 2007. Linking climate change modelling to impacts studies: recent advances in downscaling techniques for hydrological modeling. *Int. J. Clim.*, 27: 1547-1578.
- Huntington, T. G. 2006. Evidence for intensification of the global water cycle: Review and synthesis. *J. Hydrol.*, 319(1-4): 83-95.



Spatial-temporal analysis of seasonal meteorological drought

M. Faghani¹, Kh. Ghorbani^{*2}, M. Salarijazi³

Received: 22/12/2015

Accepted: 27/07/2016

Abstract

Meteorological drought is one of the most important natural hazards which frequently occur in any climate. In this study, for regionalization of similar regions from drought situation point of view, a clustering approach was used. For this purpose, 25 years rainfall data of 120 synoptic meteorological stations across Iran were retrieved from IRIMO and examined by routine quality control tests. The drought severity was evaluated using standardized precipitation index (SPI) in a three months window during different seasons of the year. The calculated SPI values were interpolated in Arc GIS environment using Kriging method. The interpolated values formed a matrix consisting 16203 grid points during the 25 years study period. The obtained values were clustered by means of K-means method in different seasons of each year based on SPI values in different seasons. Results indicated that the optimum number of clusters are 8, 10, 9 and 6 for spring, summer, autumn and winter respectively. Besides it was concluded that the type of precipitation systems arriving in Iran during different seasons can affect the clusters direction and shape.

Keywords: Drought, Clustering, Kriging, Standardized Precipitation Index, K-means

¹ M. Sc. Graduate, Water Resource Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Golestan, Iran

² Associated Professor of Water Engineering Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Golestan, Iran

(*Corresponding author email address: ghorbani.khalil@yahoo.com)

³ Assistant Professor of Water Engineering Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Golestan, Iran

Agroclimatic zoning of citrus cultivation in Khuzestan province using AHP method

R. Borna^{*1}, A. Alizadeh²

Received: 25/05/2015

Accepted: 10/01/2016

Abstract

The aim of this study is classification of suitable climatic regions of Khuzestan province, southwest of Iran, for Citrus cultivation using a four level Analytic Hierarchy Process (AHP) approach using climatic and environmental information of the region during a 20 years period of (1981-2010). After determination reference options and their ranking, the weighing coefficient of criteria and sub-criteria were calculated using Expert Choice software based on pairwise comparison matrices method. Then, using AHP model, the corresponding values of layers were allocated and generated maps were combined in GIS environment. According to final weight of each climatic and environmental sub-criteria affecting citrus cultivation, the suitable regions maps were obtained. The results of this study revealed that AHP method is capable of classification by incorporating qualitative and quantitative criteria. The generated agro-climatic suitability map of citrus cultivation regions of province consists of four classes, i.e. poor, medium, good and excellent. The northern and eastern regions are the most favorable areas. The less suitable regions are located in southern, western and central parts of province.

Keywords: Citrus, Climate, GIS, AHP Model, Khuzestan

¹ Assistant Professor of Climatology, Department of Geography, Islamic Azad University, Ahvaz Branch, Ahvaz, Iran
(*Corresponding author email address: bornareza@yahoo.com)

² M. Sc. Student of Climatology, Islamic Azad University, Ahvaz Branch, Ahvaz, Iran

Projection of the early fall and late spring frosts under climate change condition with SDSM model in several selected stations in the mid-western Iran

Z. Agha Shariatmadari^{*1}, J. Baszrafshan², S. E. Safaei³

Received: 12/10/2015

Accepted: 14/07/2016

Abstract

In recent years, many researchers have studied change in extreme climatic events (such as the early fall and late spring frosts) due to climate change. This research is aimed to evaluate the future changes in the beginning and ending dates of frost events on the basis of the HadCM3 data under two scenarios A2 and B2, which were downscaled through the SDSM software at four selected stations in western half of Iran including Arak, Zanzan, Qazvin and Saghez. To this end, the downscaling model was calibrated based on the 40-year (1961-2001) minimum daily temperature data of four selected stations in the western half of Iran. The calibrated model, then, was employed to downscale the projected minimum daily temperature data at the stations of interest for the period 2011-2051. The first and late frost dates were extracted in three temperature thresholds of slight, moderate and severe. Results showed that the future fall frost date of Qazvin station will be later and Saghez station will be sooner in comparison to the other stations. The future spring frost date of Qazvin station will be sooner and Saghez station will be later in comparison to the other stations. In general, the findings revealed that SDSM outputs under both scenarios had no significant difference in projection of the first and late frost dates.

Keywords: Downscaling, Frost, SDSM, HadCM3, Iran

¹ Assistant Professor, University of Tehran, Iran

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

² Associate Professor, University of Tehran, Iran

³ M. Sc. Student of Agricultural Meteorology, University of Tehran, Iran

Remotely sensed measurements of apple orchard actual evapotranspiration and plant coefficient using MODIS images and SEBAL algorithm (Case study: Ahar plain, Iran)

A. Rostami¹, M. Raeini-Sarjaz^{*2}

Received: 18/07/2015

Accepted: 05/07/2016

Abstract

Global warming and its consequence, climate change impede crop production in some regions. As Iran mainly consists of arid and semiarid regions and water scarcity is the main feature of such climates, decrease of the water shortage impacts is essential. Therefore, improvement of water resources management and increase of water use efficiency may be one of the main strategies to overcome these shortcomings. Precise evapotranspiration and crop water requirement estimation could beneficially improve cultivation management and water allocation. To precisely estimate actual evapotranspiration (ET_a) of apple orchard trees at Ahar plain, East Azerbaijan province, MODIS images and SEBAL algorithm were employed. The energy balance equation was used to make calculations. SEBAL model calculates the energy balance equation parameters by using of surface temperature, surface reflectance and normalized difference vegetation index. Based on achieved data the actual evapotranspiration has an increasing trend toward middle of summer and the highest actual evapotranspiration value (10.1 mm d^{-1}) occurred on 18th July, 2014. The spatial distribution of crop indices and energy balance components revealed that southern part of the plain beside of having the highest crop density it has also the highest amount of evapotranspiration. Highly significant correlation ($r = 0.92$) was found between SEBAL and Penman-Montieth-FAO estimated ET_a values. Meanwhile, t-test showed no significant difference between the two set of data with a RMSE value 0.96 mm d^{-1} . It could be concluded that regional estimation of ET based on remote sensing approach, may be used as an acceptable alternative to point methods for estimation of crop water requirement.

Keywords: Ahar, Evapotranspiration, Remote Sensing, SEBAL Model

¹ Ph. D. Candidate of Irrigation and Drainage, Water Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

² Associate Professor, Water Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

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

Disaggregation of air temperature by using fractal and periodic regression in two arid and semi-arid climate

Sh. Tajabadi¹, B. Ghahraman^{*2}, A. N. Ziaei³

Received: 26/11/2015

Accepted: 22/07/2016

Abstract

Air temperature is one the most important variables required for environmental and agricultural studies which are not generally available with sufficient spatial and temporal resolution. Thus, the spatial and temporal disaggregation of properties of the catchment is essential for optimal management of the catchment. The common interpolation functions, including fractal, and regression can produce reasonable results. In this research the interpolation functions based on fractal and periodic regression models were used for modeling and disaggregating temperature datasets for the period of 2007- 2009 at Mashhad and 1980-1982 at Kerman Synoptic stations, respectively. At first, two produced daily temperature from daily datasets. Then data with 5-day and 10-day intervals were used to produce daily temperature. Second, we considered data to be missing at random, and then periodic regression and fractal interpolation were adopted to model daily temperature and then to generate 3-hours temperature. On general results showed similar trends in both climates, and 5-day intervals performed more acceptable, such that determination coefficient for Mashhad and Kerman was 0.98 - 0.77 and 0.98 - 0.82, respectively, while RMSE was between 1.52 - 5.81 and 1.19 - 5.48 °C, respectively. The intercepts and slopes of regression lines between measured and predicted temperatures were not statistically (5% level of significant) different from 0 and 1, respectively. On the overall, fractal interpolation was better than periodic regression.

Keywords: Fourier series, Interpolation, Missing data, Modeling

¹ M. Sc. Student of Water Engineering Department, College of Agriculture, Ferdowsi University, Mashhad, Iran

² Professor of Water Engineering Department, College of Agriculture, Ferdowsi University, Mashhad, Iran

(* Corresponding author email address: bijangh@um.ac.ir)

³ Assistant Professor of Water Engineering Department, College of Agriculture, Ferdowsi University, Mashhad, Iran



Application of Artificial Neural Network and Fuzzy regression in remotely sensed monitoring of drought

L. Parviz^{1*}

Received: 28/09/2015

Accepted: 10/07/2016

Abstract

Drought monitoring is a major issue for agricultural water management and environmental protection. In this study, artificial neural network and fuzzy regression models have been used to evaluate the performance of several remotely sensed indices retrieved from MODIS images including NDVI, VTCI, VHI, NVSWI, TCI and TVX for monitoring drought in 7 meteorological station across Iran namely Kermanshah, Tabriz, Kerman, Mashhad, Urumia, Yazd and Zanjan. The VHI, NVSWI, TCI and TVX had the highest number of significant coefficient of correlation with amount of rainfall in study stations. Based on error measures, the Fuzzy regression approach had the least error in modeling correlation of VHI, TCI and NVSWI with rainfall amount. Using the ANN model, the TVX found to be the best index in monitoring drought with highest accuracy. The results revealed that in the case of symmetric membership functions, changing the value of confidence level parameter would affect the value of fuzzy spread coefficient. For example increasing the confidence level parameter in case of VHI from 0.7 to 0.8 led to 50% increase of spread. In case of non-symmetric fuzzy coefficient, the peak point is sensitive to skewness factors; such that its value was increased for 22.2% moving from minimum to maximum skewness factor in case of TVX index. The decrease in confidence level parameter of TVX, which represents the degree of fuzziness, confirmed the better performance of artificial neural network in correlating TVX index and rainfall.

Keywords: Drought, ANN, Fuzzy, Rainfall

¹ Assistant Professor, Collage of Agriculture, Azarbaijan Shahid Madani University
(*Corresponding author email address: laleh_parviz@yahoo.com)



Technical Note

Statistical downscaling of HadCM3 model for projection of temperature (Case study: Saghez station)

S. A. Hosseini^{*1}, H. Ahmadi²

Received: 17/06/2015

Accepted: 30/06/2016

Abstract

Climate change and global warming are major challenges in 21 century which affects agriculture, water resource and environment significantly. In this study, the outputs of HadCM3 general circulation model were statistically downscaled using LARS-WG model under A1B, A2 and B1 scenarios for projection of T_{max} and T_{min} variables. The outputs for future period of 2046 to 2065 were compared with baseline period of 1961-1990. The Weather generator performance in simulation of temperature data were evaluated using statistical indices of MSE, RMSE and MAE. The projected data showed that both minimum and maximum temperature would rise during all month of future period. This increase is 3.2 and 3 °C for T_{min} and T_{max} comparing to baseline period, respectively. Highest and lowest increase for both variables was projected by A1B and B1 scenarios. The results may be used in water resource management and crop water requirement calculation.

Keywords: Saghez, Temperature, Projection, General Circulation Model, LARS-WG

¹ Lecturer of Physical Geography (Climatology), Payam e Noor University ,Saghez branch, Iran
(*Corresponding author email address: Hosseini.asad8@gmail.com)

² Ph. D. Student in Physical Geography (Agroclimatology), University of Hakim Sabzavari

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 GIS و RS 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 2007 و روی صفحات سفید بدون آرم در ابعاد A4 با حفظ ۲/۵ سانتی‌متر حاشیه از هر چهار طرف (به صورت دو ستون و فاصله سطور یک سانتی‌متر) و با درج شماره صفحه (با فونت نازنین ۱۲ و عناوین اصلی به صورت Bold) و حداکثر در ۱۵ صفحه تنظیم شود و از طریق سامانه نشریه به آدرس (<http://agmj.ir>) ارسال شود. چکیده در یک ستون و بقیه مقاله در دو ستون نگارش گردند.

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: عنوان، نویسنده(گان)، چکیده فارسی، واژه‌های کلیدی فارسی، مقدمه، مواد و روش‌ها، نتایج و بحث، نتیجه‌گیری، تشکر و قدردانی، منابع، پیوست‌ها، عنوان انگلیسی، نگارنده(گان)، چکیده انگلیسی، واژه‌های کلیدی انگلیسی.

عنوان

عنوان کوتاه، جامع و بیانگر موضوع اصلی مقاله باشد (با فونت Nazanin B ۱۴ به صورت Bold).

نگارنده(گان)

آدرس و ایمیل نگارنده(گان) بعد از نام و نام خانوادگی آن‌ها آورده شود. نویسنده مسئول یکی از نویسندگان حائز رتبه دانشگاهی (مربی، استادیار، دانشیار یا استاد) باشد که تمامی مکاتبات با ایشان انجام خواهد شد.

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.

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.

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 نشریه، شماره جلد، شماره نشریه) 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، دلوار، م. ۱۳۹۰. استفاده از سیستم هشدار سریع خشکسالی برای بهره‌برداری مخزن سد زاینده رود. نشریه 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 به صورت 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.

عنوان انگلیسی

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

چکیده انگلیسی

چکیده انگلیسی باید عیناً منطبق با چکیده فارسی باشد.

واژه‌های کلیدی انگلیسی

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

جدول‌ها

جدول‌ها لازم است دارای بالانویس جامع و با کیفیت بالا (با فونت نازنین ۱۰ به صورت Bold) باشند. تا آنجا که امکان دارد تعداد جدول‌ها به حداقل ممکن برسد. عنوان جداول در بالا و وسط‌چین و گویای نتایج مندرج در آن باشد. اعداد داخل جدول حتماً فارسی و با فونت B Nazanin 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 با کیفیت بالا و زیرنویس جامع (با فونت نازنین ۱۰ پررنگ به صورت وسط‌چین) ارائه شوند. شکل بلافاصله پس از ارجاع شماره شکل در متن، ارائه شود. نمودارها به گونه‌ای تهیه شوند که در چاپ سیاه و سفید قابل تشخیص از یکدیگر باشند. محل شکل‌ها در متن مقاله باشد.

معادله‌ها

معادله‌ها باید به ترتیب با اعداد فارسی داخل پرانتز در انتهای سمت راست متن شماره‌گذاری شده و اشاره به آن‌ها در متن با آوردن شماره معادله داخل کمانک ضروری است.

تذکر مهم:

نویسندگان موظف به رعایت کلیه موارد مندرج در این دستورالعمل در هنگام ارسال و یا اعمال نظرات داوران در متن، نمودارها، عکس‌ها و جداول هستند. چنانچه پس از پذیرش در مرحله بازبینی نهایی و صفحه آرایی موارد مورد درخواست نشریه رعایت نگردد، چاپ مقاله و پذیرش آن منتفی خواهد شد.

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 ۵۰۰/۰۰۰ 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 نشریه 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 می-باشد.

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

Spatial-temporal analysis of seasonal meteorological drought M. Faghani, Kh. Ghorbani, M. Salarijazi	1
Agroclimatic zoning of citrus cultivation in Khuzestan province using AHP method R. Borna, A. Alizadeh	12
Projection of the early fall and late spring frosts under climate change condition with SDSM model in several selected stations in the mid-western Iran Z. Agha Shariatmadari, J. Bazafshan, S. E. Safaei	22
Remotely sensed measurements of apple orchard actual evapotranspiration and plant coefficient using MODIS images and SEBAL algorithm (Case study: Ahar plain, Iran) A. Rostami, M. Raeini- Sarjaz	32
Disaggregation of air temperature by using fractal and periodic regression in two arid and semi-arid climates Sh. Tajabadi, B. Ghahraman, A. N. Ziaei	44
Application of Artificial Neural Network and Fuzzy regression in remotely sensed monitoring of drought L. Parviz	55
Technical Note: Statistical downscaling of HadCM3 model for projection of temperature (Case study: Saghez station) S. A. Hosseini, H. Ahmadi	68

Reviewer and Associate Editors of this Issue

Dr. Z. Agha Shariatmadari	University of Tehran
Dr. Sh. Araghinejad	University of Tehran
Dr. I. Babaeian	Climatological Research Institute
Dr. B. Bakhtiari	Shahid Bahonar University of Kerman
Dr. S. Bazgeer	University of Tehran
Dr. J. Bazrafshan	University of Tehran
Dr. N. Ghahreman	University of Tehran
Dr. K. Ghorbani	Gorgan Agricultural Sciences and Natural Resources University
Dr. P. Irannejad	University of Tehran
Dr. Sh. Khaledi	Shahid Beheshti University of Tehran
Dr. A. Khalili	University of Tehran
Dr. Y. Khoshkhoo	University of Kurdistan
Dr. A. Mosaedi	Ferdowsi Univesity of Mashhad
Dr. N. Sayari	Shahid Bahonar University of Kerman

In the Name of God

JOURNAL OF AGRUCULTURAL METEOROLOGY

Research & Scientific Journal

Vol. 4 No. 1 Spring & Summer, 2016

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

English Text Editor: N. Ghahreman
Technical Editors: B. Bakhtiari, N. Ghahreman
Graphist: M. Ganjalikhani **Page Setting:** Z. Afzali Gorouh
Office-in-Charge: Z. Afzali Gorouh
Publisher: Iranian Society of Irrigation & Water Engineering

The papers of journal of agricultural meteorology are indexed by:

ISC, SID, Magiran

Address: Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.
Postal code: 76169-14111 Tel./Fax. : +983433226090

E-mail: Agromet_journal@yahoo.com

Website: <http://agmj.ir>

