

به نام خدا

نشریه هواشناسی کشاورزی

جلد ۶، شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۳۹۷

اعتبار: علمی - پژوهشی

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

صاحب امتیاز:

انجمن مهندسی آبیاری و آب ایران

مدیر مسئول:

بهرام بختیاری

سر دبیر:

علی خلیلی

مدیر داخلی:

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	دانشیار (دانشگاه شهید باهنر کرمان)	رائینی، محمود	استاد (دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری)
بلوری زاده، محمد آقا	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 گنجعلیخانی

مسئول دبیر خانه نشریه: زهرا افضلی 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: ۰۳۴-۳۳۲۵۷۱۹۰

وب سایت: <http://agrimet.ir>

پست الکترونیک: agromet_journal@yahoo.com

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



داوران این شماره

پژوهشکده اقلیم‌شناسی مشهد	دکتر ایمان بابائیان
دانشگاه تهران	دکتر سعید بازگیر
دانشگاه شهید باهنر کرمان	دکتر بهرام بختیاری
دانشگاه تهران	دکتر جواد بذرافشان
دانشگاه تهران	دکتر علی خلیلی
دانشگاه کردستان	دکتر یونس خوشخو
دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری	دکتر محمود رائینی سرجاز
دانشگاه شهید باهنر کرمان	دکتر نسرین سیاری
دانشگاه ملایر	دکتر بهنوش فرخزاده
دانشگاه شهید باهنر کرمان	دکتر کوروش قادری
دانشگاه فردوسی مشهد	دکتر بیژن قهرمان
دانشگاه تهران	دکتر نوذر قهرمان
دانشگاه تهران	دکتر عبدالمجید لیاقت
دانشگاه تهران	دکتر حمیده نوری



فهرست مقالات

- ۱ سخن سردبیر
علی خلیلی
- ۳ پهنه‌بندی آسیب‌پذیری از خشکسالی در ایران با استفاده از مدل AHP و منطق فازی
سحر نسب پور، اسماعیل حیدری علمدارلو، حسن خسروی، علی وصالی
- ۱۳ کاربرد طرح‌واره برهمکنش جو- سطح خشکی (ALSIS) در شبیه‌سازی جریان رودخانه با تأکید بر ناهمگنی مکانی سطح خشکی در مقیاس زیر یاخته‌ای (مطالعه موردی: حوضه کرخه)
سمیه حجابی، جواد بذرافشان، پرویز ایران‌نژاد، شهاب عراقی نژاد، سرمد قادر
- ۳۰ پیش‌بینی فصلی به روش تلفیقی بازنمونه‌گیری k-نزدیک‌ترین همسایه و مدل CERES-Wheat در کشت گندم دیم
سید بهرام اندرزیان، ایمان بابائیان، سید بهنام اندرزیان
- ۴۴ تعیین لایسیمتری تبخیر تعرق و ضریب گیاهی گندم در دشت تبریز و مقایسه آن با روش پیشنهادی فائو ۵۶
اژدر عنابی میلانی، شیوا موسوی‌منش
- ۵۸ مطالعه تطبیقی دقت مدل‌های زمین‌آماری و رگرسیونی جهت پهنه‌بندی دما در مرکز و شمال ایران
زهرا آقاشریعتمداری، مهسا اتحادی، خلیل قربانی
- ۷۱ کاربرد شاخص‌های آسایش اقلیمی و خشکسالی کشاورزی جهت تعیین مقاصد آگروتوریسم در استان کرمان
آرشین بختیاری
- ۸۰ یادداشت فنی: تأثیرات محتمل تغییر اقلیم بر مناطق مستعد کشت گندم دیم در استان کردستان
حمیدرضا امیری، حسن حبیبی، مسعود حقیقت، حامد عینی نرگسه

سخن سردبیر

ارتباط تنگاتنگ "هواشناسی" با "کشاورزی" قدمتی به درازای تاریخ زراعت دارد و به حدود ده هزارسال پیش بر می‌گردد. در طول این مدت تکاپوی انسان برای بهره‌گیری هر چه بیشتر و بهتر از منابع آب، خاک، گیاه و اقلیم و چاره‌جویی در مقابل شرایط نامساعد و خشم‌آگین طبیعت هیچ زمانی متوقف نشده، تکاپویی که ارتقاء فن/ دانش کشاورزی، و تمام شاخه‌های مرتبط با آن را به وجود آورده است. شواهد این گفته در آثار و نوشته‌های به جامانده از عصر طلایی تمدن قدیم یونان کم‌شمار نیستند. ادامه این شواهد به موازات گسترش علوم و معارف بشری در بعد از دوره نوزایی (رنسانس) نیز دیده می‌شود ولی شیب تند بررسی‌های علمی هواشناسی در همه شاخه‌ها و انتشار یافته‌های علمی- تجربی مربوط به آن‌ها به اوایل قرن گذشته بر می‌گردد و از نیمه این قرن تقریباً در تمام کشورهای عضو سازمان هواشناسی جهانی (در حال حاضر ۱۸۶ کشور) رو به گسترش است و البته فعالیت آکادمی‌ها، دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی مستقل یا وابسته به آن‌ها سهم بزرگی در غناء یافته‌های تحقیقاتی داشته‌اند به قسمی که اکنون نشریات علمی، پژوهشی، کاربردی و ترویجی در تمام رشته‌ها از جمله هواشناسی کشاورزی انباشتی از تولیدات علمی را به وجود آورده‌اند و خوشبختانه سیستم‌های نمایه‌سازی و موتورهای متعدد جستجو، تمهیدات درخشانی برای دسترسی سریع به آن‌ها را فراهم کرده است.

حال سوالی که پیش می‌آید این است که آیا عملکرد و انتشارات پژوهشی ما بهینه است و ما از مدیریت تحقیقات و اولویت‌بندی موضوعات و تنظیم سیاست‌های پژوهشی مورد عمل خود بی‌نیاز هستیم؟ پاسخ مسلماً مثبت نیست.

در ایران بر اساس داده‌های سامانه رتبه‌بندی نشریات علمی وزارت علوم، تحقیقات و فناوری ۱۲۹۶ عنوان مجله در سال ۱۳۹۶ منتشر شده‌اند که از آن میان ۱۰۴ عنوان با موضوع‌های مطرح در هواشناسی کشاورزی همپوشی دارند. تعداد نشریاتی که مطلقاً به هواشناسی یا هواشناسی کشاورزی می‌پردازند به ده عنوان نمی‌رسد.

متأسفانه با همان دقتی که رشد کمی مجلات علمی کشور را می‌توان تعیین کرد، ارزیابی کیفی پژوهش‌های منتشر شده میسر، ساده و دقیق نیست و به نظر نمی‌رسد بررسی جامعی در این زمینه به انجام رسیده باشد.

اخیراً یک بررسی نمونه‌ای در فرهنگستان علوم برای ارزیابی کیفی مجلات علمی-پژوهشی شاخه‌های مختلف از جمله شاخه آبیاری که هواشناسی کشاورزی هم جزئی از آنست انجام گرفته و نتایج آن در دست انتشار است.

بررسی بر اساس تک‌خوانی مقالات ۲۴ عنوان مجله و ارزیابی شکلی- ساختاری و محتوایی آن‌ها با شاخص‌های کمی متعدد انجام پذیرفته و بر اساس آن‌ها مجلات از بسیار خوب تا بسیار ضعیف به پنج گروه رده‌بندی شده‌اند. نتایج به رغم کوچک بودن نمونه قابل تعمق است. از جمله اینکه هیچکدام از مجلات از نظر اثرگذاری علمی یا عملی در درجه بسیار خوب قرار ندارند، احتمالاً به این دلیل که معمولاً پژوهشگران مقالات برجسته خود را در نشریات معتبر بین‌المللی منتشر می‌کنند همچنین به دلیل اینکه در مقررات تحصیلات تکمیلی یا آیین‌نامه‌های ارتقای شغلی موسسات علمی اهمیت زیادی به تعداد مقالات داده می‌شود و کیفیت کمتر مورد توجه قرار دارد. بر اساس یافته‌های این بررسی مجلات خوب ۳۳، متوسط ۳۸، ضعیف ۲۱ و بسیار ضعیف ۸ درصد فراوانی را به خود تخصیص داده‌اند. این بررسی نشان داد که شاخص کاربردی همه مجلات کمتر از حد مورد نظر بوده است و از این نظر مجلات برتری خاصی بر یکدیگر ندارند.

بررسی نتیجه می‌گیرد که به طور کلی بیشتر مقالات مجله‌ها تکراری و تقلیدی است، نتایج آن‌ها از نظر کاربردی قابل عملیاتی شدن نیست و به گسترش مرزهای دانش کمک شایانی نمی‌کند.

نگارنده در پیگیری این یادداشت جستجوی مختصری در مجلات بین‌المللی مطرح در هواشناسی کشاورزی از نظر بهره‌گیری از تجربه دیگران را مفید دانست. مجله هواشناسی کشاورزی که از ۱۹۶۴ مرتباً منتشر می‌شود و در ۱۹۸۴ به هواشناسی کشاورزی و جنگل^۱ تغییر نام داد یکی از نشریات بسیار معتبر و وزین بین‌المللی است که هر سال در ۱۲ شماره پر

^۱ Agricultural and forest meteorology

مایه منتشر می‌شود و شماره‌های موضوعی خاصی را نیز به مناسبت‌های علمی جامعه علمی ارائه می‌دهد. چکیده تمامی مقالات تمامی شماره‌های این مجله در اینترنت قابل دسترسی است^۱. مجله طیف وسیعی از مقالات نظری، آزمایشی میدانی، تحلیلی کاربردی، سیاست‌گذاری در مسائل مختلف هواشناسی کشاورزی و مقالاتی که ماده اصلی آن‌ها در آغوش مزرعه فراهم شده است را پوشش می‌دهد. چندین مجله مشابه دیگر نیز در همین زمینه توسط موسسات دیگر منتشر می‌شوند. نتیجه آن که بررسی موضوعات مطرح در این مجلات با نگرش به نیازهای ملی و بومی کشور می‌تواند موضوعات تحقیقاتی مناسب‌تر و مفیدتری برای اصحاب تحقیق فراهم کند و جمع‌بندی موضوعی محورهای پژوهش مطرح در اینگونه مجلات می‌تواند کمک ارزشمندی در این زمینه باشد.

نتیجه‌گیری مقدماتی دیگر از این گفتار آنست که قویاً نیاز به آسیب‌شناسی تحقیقات کاربردی در هواشناسی کشاورزی داریم، آشتی دادن بیشتر محققان با مزرعه نیز مقوله‌ای است که در مطالعات هواشناسی کشاورزی لازم است به آن پرداخته و برایش برنامه‌ریزی شود. برنامه‌ای که لازمه موفقیت در آن همکاری بسیار نزدیک سازمان هواشناسی کشور و وزارت جهاد کشاورزی را می‌طلبد و به کارشناسی دقیق برای روشن کردن خط ارتباط سازمانی دو نهاد نیاز دارد.

علی خلیلی

سردبیر

¹ <https://www.sciencedirect.com/journal/agricultural-and-forest-meteorology/issues>

پهنه‌بندی آسیب‌پذیری از خشکسالی در ایران با استفاده از مدل AHP و منطق فازی

سحر نسب پور^۱، اسماعیل حیدری علمدارلو^۲، حسن خسروی^{۳*}، علی وصالی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۶/۰۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۸/۰۹

چکیده

در مطالعه حاضر، به منظور ارزیابی آسیب‌پذیری به خشکسالی از روش تحلیل سلسله مراتبی متشکل از پنج شاخص اقلیم، توپوگرافی، تراکم آبراهه، کاربری اراضی و منابع آب زیرزمینی استفاده شد. پس از تعیین وزن هر یک از شاخص‌ها و زیر شاخص‌ها، با استفاده از توابع منطق فازی در نرم‌افزار ArcGIS، نقشه عضویت فازی هر یک از شاخص‌ها محاسبه و با استفاده از عملگر فازی امگا ($\gamma=0/9$) هم‌پوشانی آن‌ها ترسیم و طبقه‌بندی شد. بررسی نقشه آسیب‌پذیری خشکسالی ایران نشان داد نواحی مرکزی، شرقی، جنوبی، شمال شرقی و جنوب شرقی کشور به طور عمده در دو کلاس آسیب‌پذیری خیلی کم یا خیلی زیاد قرار گرفته‌اند. همچنین نواحی رشته‌کوه‌های زاگرس و البرز در کلاس زیاد قرار می‌گیرند. اکثر مناطق شمال غرب و غرب کشور همچنین سواحل شمالی در کلاس‌های آسیب‌پذیری متوسط تا خیلی کم قرار دارند. این عامل در ناحیه اطراف دریاچه ارومیه در محدوده زیاد تا متوسط متغیر بود.

واژه‌های کلیدی: ایران، آسیب‌پذیری خشکسالی، تحلیل سلسله مراتبی، مدیریت ریسک

مقدمه

(Zehtabian et al., 2013). تعاریف متعددی از خشکسالی موجود است اما بسط یک تعریف واحد از خشکسالی مشکل است. خشکسالی یک پدیده منطقه‌ای و یک رویداد سه بعدی با مشخصه‌های شدت، دوام و گستره فضایی می‌باشد (Rossi et al., 1992). خشکسالی بیش از هر مخاطره دیگر، تأثیر بیشتری بر مردم می‌گذارد، اما با این وجود، در بین تمام مخاطره‌های طبیعی، کمتر قابل‌درک است (Mishra and Desai, 2005). شناسایی رویدادهای خشکسالی و ارزیابی شدت آن‌ها با ابزار مناسب، خیلی با اهمیت خواهد بود (Tigkas, 2008). با افزایش آسیب‌های ناشی از خشکسالی در بخش‌های اقتصادی و اجتماعی، مدیریت خشکسالی به عنوان یکی از چالش‌های مهم در سراسر جهان محسوب می‌شود (He et al., 2013). در سال‌های اخیر بسیاری از دولت‌ها تلاش‌های فراوانی را برای توسعه سیاست‌های مدیریت خشکسالی با تأکید بر مدیریت ریسک به جای رویکرد سنتی مدیریت بحران انجام داده‌اند (Wilhite, 2000; Sivakumar and Wilhite, 2002). خشکسالی یکی از پر هزینه‌ترین بلاهای طبیعی در ایران نیز می‌باشد (Lee et al., 1999; Khoshnodifar et al., 2012). بنابراین، با توجه به درجه اهمیت خشکسالی، نوع و شدت آن، سطوح اطلاع‌رسانی و در نتیجه مدیریت آن متفاوت خواهد بود (Adalat Gostar et al., 2010).

خشکسالی یکی از بلاهای فاجعه‌بار جهانی محسوب می‌شود که هر ساله بر زندگی بسیاری از مردم جهان اثرگذار است (Hewitt et al., 1997; Walter, 2004; Fathabadi et al., 2009; Statistical Yearbook of Road Maintenance and Road Transport, 2012; Xiao-Chen et al., 2013). آسیب‌های ناشی از خشکسالی در بسیاری از کشورها خصوصاً در بخش کشاورزی تا حدی بوده که موجب شده این پدیده به عنوان مهم‌ترین مخاطره طبیعی به شمار آید (Song et al., 2003; Han et al., 2010). این پدیده می‌تواند در هر منطقه‌ای رخ دهد، اما اثرات آن در مناطق خشک و نیمه‌خشک زیان‌بارتر خواهد بود (Montasari et al., 2015).

^۱ دانشجوی دکتری مدیریت و کنترل بیابان، گروه احیا مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

^۲ دانشجوی دکتری بیابان‌زدایی، گروه احیا مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

^۳ دانشیار، گروه احیا مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

*نویسنده مسئول: (hakhosravi@ut.ac.ir)

DIO: 10.22125/agmj.2019.113607.

^۴ دانشجوی دکتری بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کاشان

که در نهایت نقشه آسیب‌پذیری به خشکسالی به دست آمد. (Ghaseminejad et al., 2014) در ارزیابی ریسک خشکسالی استان اصفهان از شاخص‌های فیزیکی، شامل کاربری اراضی، ظرفیت آب قابل استفاده در خاک و شاخص‌های اقتصادی اجتماعی شامل تراکم جمعیت و درصد شاغلین بخش کشاورزی استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که بیش‌ترین آسیب‌پذیری در غرب، جنوب و شمال استان و به صورت پراکنده در شرق استان وجود دارد. (Nasimia and Zibae, 2016) در تحقیقی با عنوان سنجش ابعاد آسیب‌پذیری استان‌ها نسبت به خشکسالی، راهکاری به سوی مدیریت ریسک در سطح کشور، از روش Fuzzy-AHP برای تعیین وزن ابعاد آسیب‌پذیری، استفاده کردند. آسیب‌پذیری شامل ابعاد آسیب‌پذیری اقتصادی، آسیب‌پذیری اجتماعی و آسیب‌پذیری فیزیکی بود نتایج این مطالعه نشان داد اهمیت آسیب‌پذیری فیزیکی بیش از آسیب‌پذیری اقتصادی و اجتماعی و اهمیت آسیب‌پذیری اقتصادی و اجتماعی یکسان است. همان‌گونه که گفته شد خشکسالی یکی از پرهزینه‌ترین بلاهای طبیعی در ایران می‌باشد. به نظر می‌رسد گام ضروری برای مقابله با خشکسالی و تعدیل تبعات آن، شناخت و درک دقیق ابعاد آسیب‌پذیری هر منطقه است که متأسفانه در کشور ما مورد غفلت واقع شده است. این امر ضرورت مطالعه در زمینه تعیین آسیب‌پذیری و شناسایی عوامل اثرگذار بر آن در مناطق مختلف کشور را مشهود می‌سازد. در این تحقیق سعی شده با استفاده از روش مدل AHP و منطق فازی در نرم‌افزار ArcGIS مناطق آسیب‌پذیر نسبت به خشکسالی در کشور تعیین شود.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی

کشور ایران با وسعت ۱۶۴۸۱۹۵ کیلومتر مربع بین ۲۵ تا ۴۰ درجه عرض شمالی و ۴۴ تا ۶۳ درجه طول شرقی واقع شده است (شکل ۱). مجاورت ایران با منطقه نزول پرفشارهای جنب مداری باعث شده که نوار بیابانی نیم‌کره شمالی از قلب این کشور عبور کند و شرایط نامساعد طبیعی را بر وسعت زیادی از این سرزمین حکم‌فرما سازد.

ایران نیز مانند بسیاری از کشورها نگرش غالب بر کلیه فعالیت‌ها و برنامه‌ریزی‌ها در مواجهه با خشکسالی، رویکرد "مدیریت بحران" است (Ghaseminejad et al., 2014). در بحث مدیریت بحران خشکسالی، اقدامات در راستای تشخیص نواحی بحران‌زده و امداد رسانی به آن نواحی است که بسیار پرهزینه و ناپهنگام می‌باشد. در صورتی که مدیریت ریسک و آمادگی مقابله با خشکسالی قبل از وقوع و گسترش آن مد نظر قرار می‌گیرد، به طوری که با آگاهی از شرایط فعلی منطقه، تصمیمات لازم و از قبل طراحی شده برای مقابله با خشکسالی اعمال می‌گردد (Bazza, 2002). یکی از بخش‌های مدیریت ریسک تعیین آسیب‌پذیری مناطق نسبت به خشکسالی است. آسیب‌پذیری نسبت به خشکسالی به معنای ارزیابی تهدید ناشی از مخاطرات خشکسالی در بخش‌های مختلف در زمینه‌های اجتماعی، اقتصادی، سیاسی و زیست‌محیطی است (Deressa, 2010). به عبارت دیگر، اختلاف بین ویژگی‌های طبیعی و خصوصیات اقتصادی- اجتماعی مناطق مختلف سبب می‌شود که اثرپذیری مناطق از پدیده خشکسالی متفاوت باشد (Santos et al., 2001). تاکنون مطالعات اندکی در زمینه ارزیابی آسیب‌پذیری نسبت به خشکسالی انجام شده است. Nasimi and Mohammadi (2014) به بررسی آسیب‌پذیری استان یزد نسبت به خشکسالی پرداختند. نکته مهم در تحقیق آن‌ها استفاده از شاخص SPI در تعیین مناطق آسیب‌پذیر و عدم توجه به ویژگی‌های طبیعی استان یزد می‌باشد. Shahid and Behravan (2008) در تهیه نقشه آسیب‌پذیری به خشکسالی غرب بنگلادش، از چندین فاکتور فیزیکی (مانند ظرفیت آب قابل‌استفاده در خاک، مقدار تولید در واحد سطح و درصد زمین‌های تحت آبیاری) و اقتصادی- اجتماعی (مانند تراکم جمعیت، نسبت جمعیت زنان به مردان و درصد شاغلین بخش کشاورزی) استفاده کردند. در نهایت نقشه ریسک از تلفیق نقشه خطر و آسیب‌پذیری حاصل شد. (Bella and Nemath, 2005) آسیب‌پذیری خشکسالی در جنوب غربی مجارستان را با استفاده از مجموعه داده‌های خاک، کاربری اراضی، سطح آب زیرزمینی و ژئومورفولوژی منطقه، مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها ابتدا نقشه ترکیب سه پارامتر اصلی بارش، خاک و آب زیرزمینی را تهیه کردند سپس نقشه به دست آمده را با نقشه کاربری اراضی و نقشه ژئومورفولوژی ترکیب کردند

نظر گرفتن اهمیت متفاوت و اختصاص وزن‌های متفاوت برای عوامل ایجادکننده آسیب‌پذیری می‌باشد. در روش دوم رویکردهای متفاوتی برای در نظر گرفتن وزن‌های متفاوت برای عوامل ایجادکننده آسیب‌پذیری وجود دارد. روش تحلیل سلسله مراتبی که در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفته است، یکی از این رویکردهایی است که در آن وزن‌های متفاوتی برای ابعاد آسیب‌پذیری منظور می‌شود. روش AHP توسط محققى به نام ساعتى در سال ۱۹۸۰ ارائه گردید. در این روش برای محاسبه وزن معیارها از روش مقایسه زوجی استفاده می‌شود. مراحل اصلی روش AHP در شکل ۲ نشان داده شده است (Sadeghravesh et al., 2015; Ghodsipour, 2016).

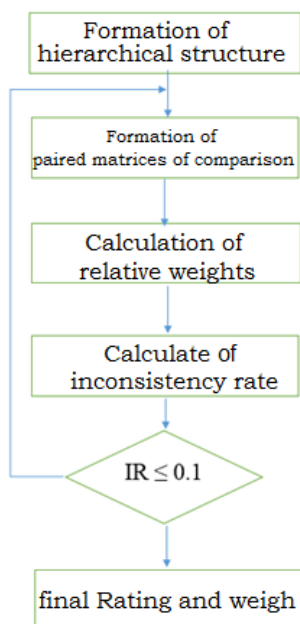


Figure 2- Steps of Analytical Hierarchy Process
 شکل ۲- مراحل فرایند تحلیل سلسله مراتبی

ورودی روش AHP ماتریس مقایسه زوجی است که درایه‌های آن بیان‌کننده میزان اهمیت نسبی معیارها می‌باشد. پس از تشکیل ماتریس مقایسه زوجی، نرخ ناسازگاری ماتریس مقایسه تعیین و در صورت قابل قبول بودن قضاوت‌ها، وزن هر کدام از معیارها به دست می‌آیند (Malczewski, 1999; Hill et al., 2005). برای محاسبه وزن، ابتدا ماتریس مقایسه تشکیل و پارامترها به صورت دوتایی با هم مقایسه و اهمیت نسبی آن‌ها سنجیده می‌شود. به منظور محاسبه وزن نسبی دو معیار نسبت به همدیگر، اهمیت نسبی آن‌ها به صورت عباراتی نظیر کاملاً مهم‌تر، اهمیت خیلی قوی و غیره بیان می‌شود و بر اساس نظرات کارشناسان هر یک از این عبارات به امتیازی بین

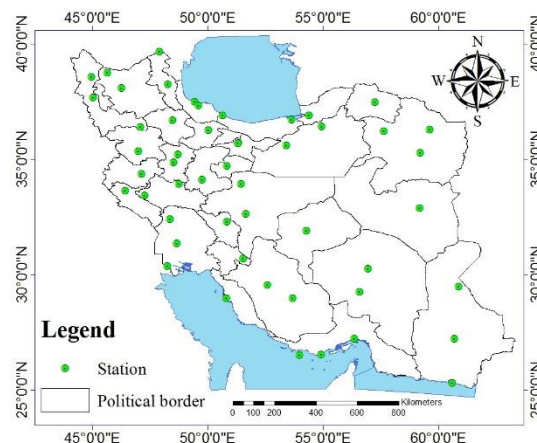


Figure 1- Geographical location of Iran and the study stations

شکل ۱- موقعیت جغرافیایی ایران و ایستگاه‌های مطالعاتی

ایران به دلیل گستردگی و تنوع بوم‌شناختی و بلندی‌های متنوع دارای شرایط آب و هوایی بسیار متفاوت است. با توجه به گردش عمومی جو در نیم‌کره شمالی، موقعیت ایران به گونه‌ای است که در دوره سرد سال از توده‌های هوایی گوناگون تأثیر می‌پذیرد. با حرکت پرفشار جنب حاره و رودباد همراه با آن به عرض‌های پایین‌تر، از ماه دسامبر ورود بادهای غربی به ایران آغاز می‌گردد. توده‌های هوایی به وسیله سامانه‌های چرخندی و واپرخندی و یا گسترش زبانه‌های آن‌ها، به ایران می‌رسند و شرایط رطوبتی و دمایی روزمره ایران را تعیین می‌کنند (Farajzadeh and Ahmadian, 2014).

روش‌ها

به طور کلی روش‌های متفاوتی برای سنجش آسیب‌پذیری وجود دارد. یکی از مرسوم‌ترین روش‌ها، روش‌های مبتنی بر شاخص (IBVA^۱) است. روش‌های مبتنی بر شاخص برای کمی کردن آسیب‌پذیری بر پایه انتخاب تعدادی شاخص بالقوه و ترکیب آن‌ها با سطوح آسیب‌پذیری مربوطه است. این روش در مقیاس‌های محلی و در سطح جهانی توسط محققان زیادی مورد استفاده قرار گرفته است (Leichenko and O'Brien, 2001; Moss et al., 2001; Vincene, 2004; Ashok and Sasikala, 2012). برای محاسبه آسیب‌پذیری با استفاده از IBVA دو گزینه وجود دارد. گزینه اول در نظر گرفتن اهمیت مساوی و در نتیجه وزن مساوی برای تمامی عوامل (Me-Bar and Valdez, 2005) و گزینه دوم در

¹ Indicator-Based Vulnerability Assessments (IBVA)

تقسیم شاخص ناسازگاری (II) بر شاخص ناسازگاری ماتریس تصادفی (IIR) هم‌بعد آن، معیار مناسبی برای قضاوت در مورد ناسازگاری می‌باشد که به آن نرخ ناسازگاری (IR) گفته می‌شود. نزدیک‌تر بودن بیشتر II و به تبع آن IR به صفر، نشان‌دهنده سطح بالاتری از سازگاری در ماتریس مقایسه است. چنانچه نرخ ناسازگاری کمتر از ۰/۱ باشد، سازگاری سیستم قابل قبول است، وگرنه باید در قضاوت‌ها تجدیدنظر نمود. در این تحقیق با توجه به مطالعات صورت گرفته پنج شاخص اقلیم، توپوگرافی، تراکم آبراهه، کاربری اراضی و منابع آب زیرزمینی در نظر گرفته شد. همچنین شاخص اقلیم دارای زیرشاخص‌های میانگین بارش، تبخیر و دما، شاخص توپوگرافی دارای زیرشاخص‌های شیب، جهت و ارتفاع و شاخص منابع آب زیرزمینی دارای زیرشاخص‌های میانگین عمق آب زیرزمینی و افت آب زیرزمینی می‌باشد (شکل ۳). همچنین به منظور تشکیل ماتریس مقایسه و محاسبه مقادیر نرخ ناسازگاری و اوزان نسبی و نهایی معیارها و زیرمعیارها از نرم‌افزار Expert Choice استفاده شده است. این نرم‌افزار مورد حمایت پروفیسور ساعتی، بنیان‌گذار روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی نیز می‌باشد. در مرحله بعد لایه‌های هر یک از شاخص‌ها و زیرشاخص‌ها در نرم‌افزار ArcGIS تهیه شد. برای درک بهتر، مراحل تهیه و امتیازدهی شاخص‌ها بیان می‌شود.

۱ تا ۹ تبدیل می‌گردد که به آن‌ها وزن نسبی گفته می‌شود. سپس، اعداد مقایسه زوجی حاصل در قالب ماتریسی با عنوان ماتریس مقایسه آورده می‌شود. در این ماتریس درایه a_{ij} نتیجه مقایسه معیار i ام با معیار j ام می‌باشد. بعد از آماده شدن ماتریس مقایسه و قابل قبول بودن سطح سازگاری آن، وزن پارامترها از روش بردار ویژه محاسبه می‌شود (Saaty, 1990; Marinoni, 2004). معیار اصلی برای پذیرفتن مقایسه‌های زوجی این است که مقایسه‌ها با هم سازگار باشند، به این منظور باید نشان داده شود که:

$$W \cdot w = \begin{bmatrix} 1 & \frac{w_1}{w_2} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_2}{w_1} & 1 & \dots & \frac{w_2}{w_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \dots & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = \lambda \cdot w \quad (1)$$

در این معادله λ یک مقدار ویژه، W ماتریس مقایسه زوجی و w یک بردار ویژه متناظر با مقدار ویژه λ می‌باشد که یک ماتریس $n \times 1$ است. ساعتی شاخص ناسازگاری (II)، را به صورت معادله ۲ تعریف نمود.

$$II = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (2)$$

در این معادله، λ_{\max} بزرگ‌ترین مقدار ویژه ماتریس مقایسه و n تعداد معیارها می‌باشد. مقادیر شاخص ناسازگاری را برای ماتریس‌هایی که اعداد آن‌ها کاملاً تصادفی انتخاب شده باشند شاخص ناسازگاری ماتریس تصادفی (IIR) نام‌گذاری کرده‌اند. برای هر ماتریس حاصل

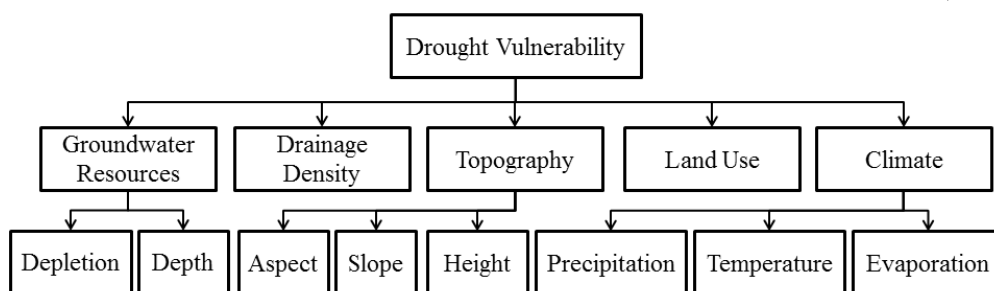


Figure 3- The Analytic Hierarchy Process (AHP) for determining vulnerability to drought

شکل ۳- ساختار سلسله مراتبی برای تعیین آسیب‌پذیری نسبت به خشکسالی

شاخص کاربری اراضی: لایه این شاخص با استفاده از لایه کاربری اراضی کل کشور در نرم‌افزار ArcGIS به دست آمد. در مرحله بعد بیشترین وزن به مناطق با کشت آبی و کمترین وزن به مراتع و مناطق بدون پوشش داده شد. شاخص منابع آب زیرزمینی: این شاخص از دو زیرشاخص متوسط سطح عمق آب زیرزمینی و متوسط افت سالانه

شاخص تراکم آبراهه: لایه این شاخص با استفاده از لایه آبراهه‌های کل کشور در نرم‌افزار ArcGIS به دست آمد. بدیهی است هر چه تراکم آبراهه بیشتر باشد آب زودتر از دسترس خارج می‌شود، لذا به مناطقی که تراکم شبکه آبراهه‌ها در آنجا بیشتر بود، ارزش وزنی بیشتری اختصاص یافته است.

قرار بگیرد. هر چه این اختلاف بیشتر باشد حساسیت به خشکسالی نیز بیشتر خواهد بود. بنابراین مناطق با اختلاف بیشتر، وزن بیشتری به خود اختصاص دادند.

در مرحله نهایی برای تلفیق و همپوشانی لایه‌های شاخص‌ها و زیرشاخص‌ها از منطق فازی استفاده شد. در منطق فازی، میزان عضویت یک عنصر در یک مجموعه، با مقداری در بازه یک (عضویت کامل) تا صفر (عدم عضویت کامل) تعریف می‌شود. درجه عضویت معمولاً با یک تابع عضویت بیان می‌شود که شکل تابع می‌تواند به صورت خطی، غیرخطی، پیوسته و یا ناپیوسته باشد (Bonham-Carter, 1991). رسیدن به موفقیت در بکارگیری ریاضیات فازی در کاربردهای مختلف تا حد زیادی به تعریف توابع عضویت مناسب بستگی دارد (Sui, 1992). در این تحقیق از روش خطی که یکی از توابع عضویت در درجات فازی است استفاده و در نتیجه لایه‌ها استانداردسازی شد. با این کار ارزش پیکسل‌ها در نقشه‌های شاخص‌ها و زیرشاخص‌ها بین صفر تا یک قرار می‌گیرد که صفر نشانگر تاثیر کم در آسیب‌پذیری نسبت به خشکسالی و یک نشانگر تاثیر زیاد در آسیب‌پذیری نسبت به خشکسالی است. در پایان با استفاده از عملیات همپوشانی فازی در نرم‌افزار ArcGIS نقشه آسیب‌پذیری نسبت به خشکسالی ایران محاسبه و ترسیم شد. به این منظور پس از تشکیل نقشه‌های عضویت فازی مربوط به هر یک از شاخص‌ها و زیرشاخص‌ها، لایه‌ها در وزن‌های به دست آمده از روش تحلیل سلسله مراتبی ضرب و سپس با استفاده از عملگر فازی گاما^۲ در نرم‌افزار ArcGIS با یکدیگر ترکیب شدند. عملگر فازی گاما از حاصل‌ضرب عملگرهای ضرب و جمع فازی به صورت معادله ۳ تعریف می‌شود.

$$\mu(x) = ((\text{Fuzzy Algebraic Sum})^\gamma * (\text{Fuzzy Algebraic Product}))^{1-\gamma} \quad (3)$$

که در آن، γ عددی بین ۰ تا ۱ می‌باشد. انتخاب صحیح و آگاهانه γ ، مقادیری را در خروجی به وجود می‌آورد که نشان‌دهنده سازگاری قابل انعطاف میان گرایش‌های کاهش ضرب فازی و گرایش‌های افزایش جمع فازی می‌باشد (Bonham-Carter, 1991). در این تحقیق $\gamma=0/9$ در نظر گرفته شد.

زیرزمینی تشکیل شده است. داده‌های پایه این دو شاخص از گزارش وضعیت منابع آب زیرزمینی در سایت دفتر مطالعات پایه منابع آب ایران^۱ تهیه شد. سپس داده‌های هر کدام از این دو زیرشاخص در لایه زیرحوزه‌های آبخیز ایران وارد و لایه‌های زیر شاخص‌ها تهیه شد. به عبارت دیگر به هر زیرحوزه، با هر اندازه مساحت، یک مقدار متوسط سطح عمق آب زیرزمینی و یک مقدار متوسط افت سالانه زیرزمینی نسبت داده شد. سپس به هر حوزه آبخیز که دارای افت و عمق بیشتر بود وزن بیشتری تعلق گرفت زیرا به خشکسالی حساس‌تر خواهد بود و برعکس.

شاخص توپوگرافی: این شاخص از سه زیرشاخص شیب، جهت و ارتفاع تشکیل شده است. این سه لایه از نقشه DEM ۹۰ متر ایران در نرم‌افزار ArcGIS تهیه شد. مشخص است افزایش ارتفاع به دلیل کاهش دما (در نتیجه کاهش تبخیر و تعرق) و افزایش نسبی بارش، باعث کاهش حساسیت به خشکسالی می‌شود بنابراین به نواحی با ارتفاع ماکزیمم در لایه حساسیت به خشکسالی بر حسب ارتفاع، ارزش کمتر و به نواحی با کمترین ارتفاع ارزش بیشتر تعلق گرفت. افزایش شیب باعث می‌شود تا آب سریع از دسترس گیاهان خارج شود، در نتیجه در این تحقیق، به نواحی با شیب بیشتر، ارزش وزنی بیشتر اختصاص یافت. در نقشه استانداردسازی شده پارامتر جهت نیز بیشترین وزن به ترتیب به شیب‌های جنوبی، غربی، شرقی و شمالی اختصاص یافت.

شاخص اقلیم: از سه زیرشاخص میانگین بارش، میانگین تبخیر و میانگین دما تشکیل شده است. برای تهیه لایه‌های این سه زیرشاخص از داده‌های میانگین بارش، تبخیر و دمای سالانه ۴۶ ایستگاه سینوپتیک کشور در بازه زمانی ۱۹۸۱ تا ۲۰۱۰ (۳۰ سال) استفاده شد. سپس با استفاده از روش کریجینگ معمولی در نرم‌افزار ArcGIS پهنه‌بندی برای این سه زیرشاخص انجام شد. افزایش بارندگی باعث کاهش شدت خشکسالی می‌شود، بنابراین مناطق با بارندگی بیشتر، دارای ارزش وزنی کمتری خواهند بود. افزایش دما باعث افزایش حساسیت به خشکسالی می‌شود. بر این اساس حداکثر ارزش وزنی به نواحی با حداکثر دما و کمترین ارزش وزنی به نواحی با حداقل دما اختصاص یافت. اختلاف میزان تبخیر و بارندگی می‌تواند عاملی در بررسی خشکسالی مورد توجه

شاخص تراکم آبراهه‌ها ضرب شده تا برای همپوشانی آماده شود (شکل ۴). نتایج شاخص تراکم آبراهه نشان می‌دهد که مناطقی مثل کویر لوت و دشت کویر به علت تراکم کم آبراهه، آسیب‌پذیری کم‌تری نسبت به خشکسالی از نظر تراکم آبراهه دارند و قسمت‌های جنوبی زاگرس و شمالی خوزستان به علت تراکم آبراهه بالا آسیب‌پذیری بیشتری نسبت به خشکسالی دارند. نقشه عضویت فازی شاخص کاربری اراضی: بعد از تعیین وزن کاربری‌ها، نقشه عضویت فازی کاربری اراضی در نرم‌افزار ArcGIS تهیه شد و سپس در وزن ۰/۱۶۴ ضرب شد (شکل ۵).

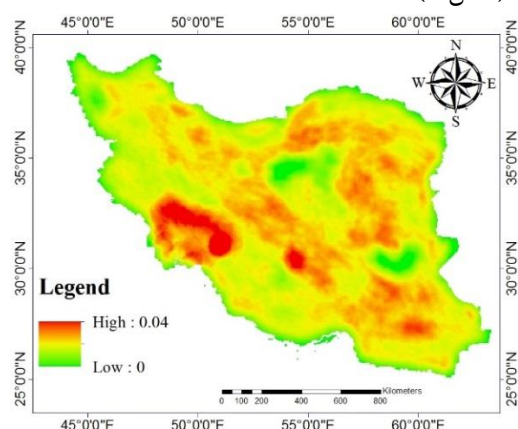


Figure 4- Fuzzy membership map of drainage density

شکل ۴- نقشه عضویت فازی تراکم آبراهه

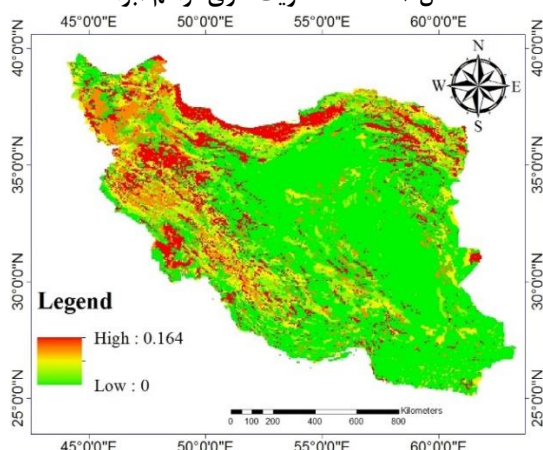


Figure 5- Fuzzy membership map of land use

شکل ۵- نقشه عضویت فازی کاربری اراضی

نقشه عضویت فازی کاربری اراضی نشان می‌دهد که مناطقی با پوشش گیاهی بیشتر، نقش بیشتری در تعیین آسیب‌پذیری به خشکسالی دارند. ایران مرکزی به خصوص دشت کویر و کویر لوت از نظر کاربری اراضی آسیب‌پذیری چندانی به خشکسالی ندارند. نقشه عضویت فازی شاخص منابع آب زیرزمینی: برای تهیه نقشه عضویت فازی شاخص منابع آب زیرزمینی،

نتایج و بحث

پس از تهیه پرسش‌نامه و انجام مراحل تحلیل سلسله مراتبی (AHP) اوزان هر یک از شاخص‌ها و زیرشاخص‌ها محاسبه شد. جدول ۱ نشان‌دهنده اوزان شاخص‌های این تحقیق می‌باشد که نشان می‌دهد شاخص اقلیم بیش‌ترین وزن را در تعیین آسیب‌پذیری نسبت به خشکسالی دارد. به عبارت دیگر شاخص اقلیمی بیش از ۵۰ درصد در تعیین مناطق آسیب‌پذیر نسبت به خشکسالی نقش دارند. بعد از شاخص اقلیم به ترتیب شاخص‌های منابع آب زیرزمینی، کاربری اراضی، توپوگرافی و تراکم آبراهه قرار می‌گیرند. جدول ۲ وزن زیرشاخص‌ها را برای شاخص‌های اقلیم توپوگرافی و منابع آب زیرزمینی نشان می‌دهد. با توجه به این جدول زیر شاخص‌های بارش، شیب و افت سطح آب زیرزمینی بیش‌ترین تأثیر را در شاخص‌های اقلیم، توپوگرافی و منابع آب زیرزمینی برای تعیین آسیب‌پذیری نسبت به خشکسالی نشان می‌دهد.

Table 1- Determined weights for indices using the Analytic Hierarchy Process (AHP)

جدول ۱- وزن‌های تعیین‌شده به روش سلسله مراتبی برای شاخص‌ها

Index	Weight
Climate	0.516
Topography	0.0161
Drainage Density	0.04
Groundwater	0.219
Land Use	0.164

Table 2- Determined weights for sub-indices using the Analytic Hierarchy Process (AHP)

جدول ۲- وزن‌های تعیین‌شده به روش سلسله مراتبی برای زیر شاخص‌ها

Index	Sub-Index	Weight
Climate	Precipitation	0.693
	Evaporation	0.088
	Temperature	0.219
Topography	Slope	0.49
	Aspect	0.197
	Height	0.313
Groundwater	Depletion	0.875
	Depth	0.125

در مرحله بعد عضویت فازی هر شاخص آماده شد که در ادامه به بررسی آن‌ها پرداخته می‌شود.

نقشه عضویت فازی شاخص تراکم آبراهه: همان‌طور که گفته شد نقشه تراکم آبراهه‌های ایران در نرم‌افزار ArcGIS ترسیم و سپس با استفاده از تابع عضویت خطی استانداردسازی شد و سپس در عدد ۰/۰۴ به عنوان وزن

شمالی حساسیت بیشتری نسبت به خشکسالی دارند و آسیب پذیرتر هستند. بعد از تهیه عضویت فازی شاخص‌ها، با استفاده از هم‌پوشانی فازی در نرم‌افزار ArcGIS نقشه آسیب‌پذیری نسبت به خشکسالی ایران محاسبه و ترسیم شد. سپس نقشه نهایی در پنج کلاس آسیب‌پذیری خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی شد (شکل ۹).

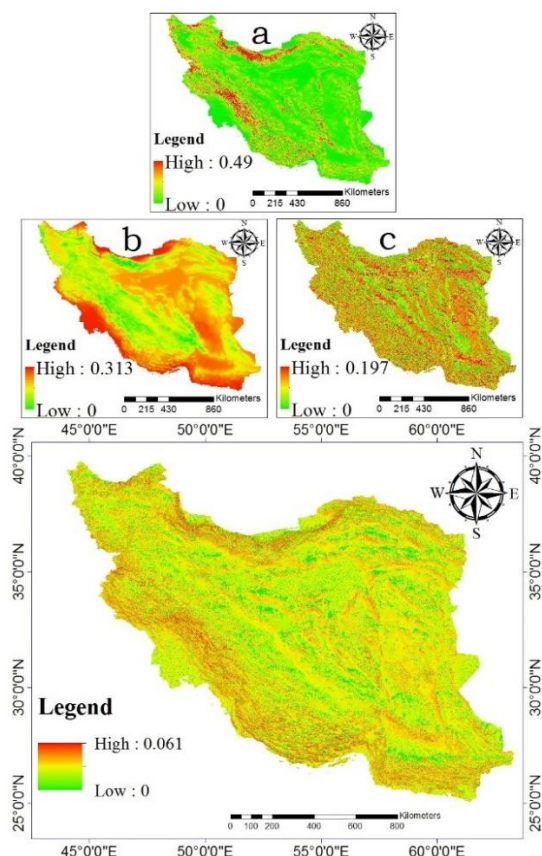


Figure 7- Fuzzy membership map of Topography and its sun-indices: a. slope, b. height, c. aspect
 شکل ۷- نقشه عضویت فازی شاخص توپوگرافی و زیرشاخص‌های آن: a. شیب، b. ارتفاع، c. جهت

بررسی نقشه آسیب‌پذیری خشکسالی ایران نشان می‌دهد نواحی ایران مرکزی، شرق، جنوب، شمال شرق و جنوب شرق کشور به طور عمده در دو کلاس آسیب‌پذیری خیلی کم یا خیلی زیاد قرار گرفته‌اند. همچنین مناطق مرتفع رشته‌کوه‌های زاگرس و البرز در کلاس زیاد قرار می‌گیرد و اکثر مناطق شمال غرب و غرب کشور همچنین سواحل شمالی در کلاس‌های متوسط تا خیلی کم قرار می‌گیرد. لازم به ذکر است در این ناحیه از کشور (شمال غرب) مناطقی از استان اردبیل و اطراف دریاچه ارومیه در کلاس آسیب‌پذیری زیاد قرار گرفته‌اند.

ابتدا نقشه‌های زیرشاخص‌های افت آب زیرزمینی و عمق آب زیرزمینی با استفاده از وزن‌هایشان هم‌پوشانی فازی شد. سپس نقشه عضویت فازی شاخص منابع آب زیرزمینی به دست آمد (شکل ۶).

نقشه عضویت فازی منابع آب زیرزمینی نشان می‌دهد هر حوزه آبخیز شرایط خاص خود را دارد که بستگی به مدیریت منابع آب زیرزمینی در آن حوزه آبخیز دارد.

نقشه عضویت فازی شاخص توپوگرافی: با تهیه نقشه هم‌پوشانی فازی سه زیر شاخص شیب، جهت و ارتفاع نقشه شاخص توپوگرافی تهیه شد. سپس نقشه عضویت فازی شاخص توپوگرافی محاسبه و در وزن آن (۰/۰۶۱) ضرب شد (شکل ۷).

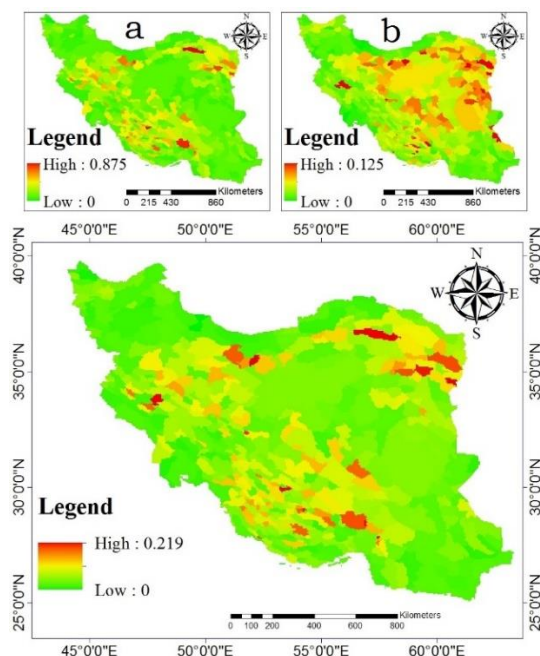


Figure 6- Fuzzy membership map of groundwater index and its sub-indices: a. groundwater depletion, b. groundwater depth

شکل ۶- نقشه عضویت فازی شاخص منابع آب زیرزمینی و زیرشاخص‌های آن: a. افت آب زیرزمینی، b. عمق آب زیرزمینی

نقشه عضویت فازی توپوگرافی روند خاصی را نشان نمی‌دهد و هر پیکسل از نقشه با توجه به شیب، جهت و ارتفاعی که داشته وزن آن مشخص شده است. شاخص اقلیم: بعد از تهیه نقشه شاخص اقلیم به وسیله هم‌پوشانی فازی سه زیر شاخص میانگین بارش، میانگین دما و میانگین تبخیر، نقشه عضویت فازی این شاخص محاسبه شد سپس در وزن آن (۰/۵۱۶) ضرب شد (شکل ۸). بررسی نقشه عضویت فازی اقلیم نشان می‌دهد که مناطق ایران مرکزی نسبت به قسمت‌های غربی، شمال غربی و

تصمیم‌گیری سلسله‌مراتبی و توابع فازی نرم‌افزار ArcGIS آسیب‌پذیری کشور نسبت به خشکسالی محاسبه شود. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که شاخص اقلیم، شاخص آب زیرزمینی و شاخص کاربری اراضی با وزن‌های ۰/۵۱۶، ۰/۲۱۹ و ۰/۱۶۴ بیش‌ترین سهم را در تعیین مناطق آسیب‌پذیر کشور به خود اختصاص دادند. از این مطلب می‌توان نتیجه گرفت که بحث مدیریت منابع آب زیرزمینی و تغییر کاربری اراضی سهم بسیار زیادی در مدیریت ریسک خشکسالی در کشور دارد. برداشت بیش از حد مجاز از سفره‌های آب زیرزمینی کشور باعث به وجود آمدن خسارات جبران‌ناپذیری به این منابع شده است. از طرف دیگر تغییرات کاربری اراضی نادرست باعث تخریب سرزمین و کاهش وسعت اراضی مرغوب شده است. برای مثال بر اساس گزارش‌ها رسمی اخیر وسعت جنگل‌های طبیعی با پوشش ۵۰-۱۰۰ درصد (هیرکانی) و جنگل‌های دست‌کاشت در شمال ایران به ترتیب حدود ۱۸۴۷۸۸۶ و ۵۹۲۹۲۲ هکتار است که سال به سال از وسعت آن‌ها کاسته می‌شود (FAO, 2010). با توجه به نقشه‌هایی آسیب‌پذیری خشکسالی ایران، بخش ایران مرکزی، شرق، جنوب شرق، شمال شرق و جنوب به طور عمده دو کلاس دیده آسیب‌پذیری خیلی کم و یا آسیب‌پذیری خیلی زیاد قرار می‌گیرند. با بررسی دقیق مشخص می‌شود که در این ناحیه از کشور به علت وجود اقلیم و همچنین وضعیت آب زیرزمینی تقریباً یکسان، کاربری اراضی نقش تعیین‌کننده‌ای در آسیب‌پذیر بودن یا نبودن مناطق دارد. در نواحی اطراف دریاچه ارومیه کلاس‌های با آسیب‌پذیری زیاد و متوسط قرار گرفته که در احیای دریاچه ارومیه و مدیریت ریسک خشکسالی باید مورد توجه قرار بگیرد. سواحل غربی دریای خزر نسبت به سواحل شرقی آسیب‌پذیری کمتری نسبت به خشکسالی دارند که این امر به علت اقلیم مرطوب‌تر نواحی غربی است. رشته‌کوه‌های البرز و زاگرس و نواحی اطراف آن در محدوده کلاس آسیب‌پذیری زیاد قرار گرفته‌اند که علت این امر اثر تجمعی تمام شاخص‌ها است. لازم به ذکر است که درست است که مناطقی با آسیب‌پذیری کم نسبت به مناطق دیگر از اولویت مدیریت کمتری برخوردارند ولی این به این معنا نیست که آسیبی از خشکسالی نمی‌بینند و حتماً آن‌ها را نیز باید در امر مدیریت ریسک خشکسالی در نظر گرفت.

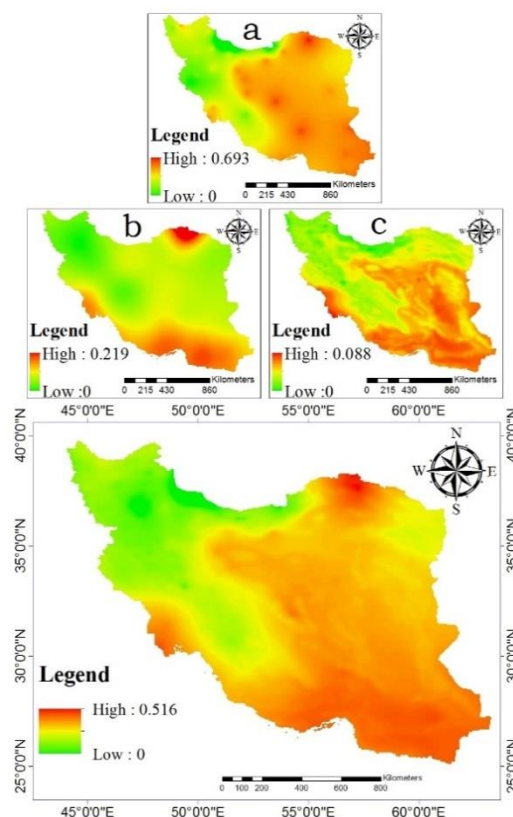


Figure 8- Fuzzy membership map of climate index and its sun-indices: a. precipitation, b. temperature, c. evaporation

شکل ۸- نقشه عضویت فازی شاخص اقلیم و زیرشاخص‌های

آن: a. بارش، b. دما، c. تبخیر

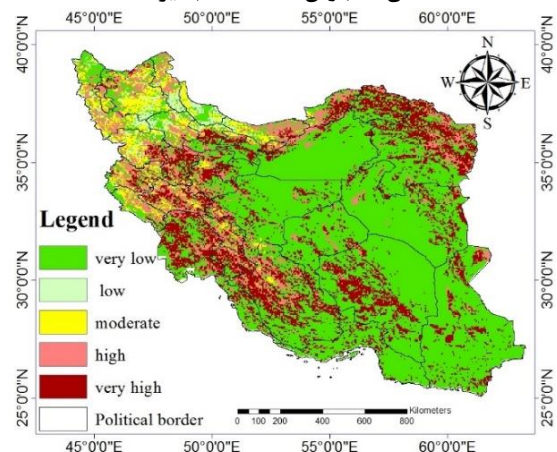


Figure 9- The drought vulnerability map of Iran

شکل ۹- نقشه آسیب‌پذیری خشکسالی ایران

نتیجه‌گیری

در واقع خشکسالی به عنوان یک بحران ملی و حتی جهانی، در نوع خود پدیده‌ای پیچیده و بغرنج است که مدیریت و مقابله موثر در راستای کاهش اثرات آن نیازمند رویکردی جامع در مدیریت ریسک خشکسالی است. یکی از بخش‌های مدیریت ریسک خشکسالی تعیین آسیب‌پذیری کشور است. در این تحقیق سعی شده تا با استفاده از مدل

منابع

- Adalat Gostar, M. D., Farzadian, A., Amiri, S. N. 2010. Presentation of Stochastic Model for Drought Forecasting in Shiraz . The National Conference on Water Crisis Managemen. Islamic Azad University of Marvdasht. (In Farsi)
- Ashok, K. R., Sasikala, C. 2012. Farmers' vulnerability to rainfall variability and technology adoption in rain-fed tank irrigated agriculture. *Agricultural economics Research Review*, 25(2): 267-278
- Bazza, M. O. 2002. Water Resources Planning and Management for Drought Mitigation. Regional Workshop on Capacity Building on Drought Mitigation in the Near East.
- Bella, S. Z., Nemath, A. D., Szalai, S. 2005. Application of gis tools: drought vulnerability in Somogy County, Hungary. *Geophysical Research Abstracts*. 7(02530):1076-1083.
- Bonham-Carter, G. F. 1991. Geographic Information System for Geoscientists: Modeling with GIS. *Computer Methods in the Geosciences*, 398 Pages.
- Deressa, T. 2010. Assessing of vulnerability in Ethiopian agriculture to the climate change and adaption strategies. Ph. D thesis. Environmental economics, university of Pretoria.
- FAO. 2010. Global forest resources assessment, FRA 2010-Country report, Iran. [Online]. Available at <http://www.fao.org/forestry/fra>.
- Farajzadeh, M., Ahmadian, K. 2014. Temporal and Spatial Analysis of Drought with use of SPI Index in Iran. *Natural Environmental Hazards*.3(4): 1-16 (In Farsi)
- Fathabadi, A., Gholami, H., Salajeghe, A., Azanivand, H., Khosravi, H. 2009. Drought forecasting using neural network and stochastic models. *Advances in Natural and Applied Sciences*, 3(2), 137-147.
- Ghaseminejad, S., Soltani, S., Soffianian, A. 2014. Drought Risk Assessment in Isfahan Province. *Journal of Water and Soil Science*, 18 (68): 213-226 (In Farsi)
- Ghodsipour, S, H. 2016. Analytical Hierarchy Process. Amirkabir University of Technology Press Publishing House. 222. (In Farsi)
- Han, P., Wang, P. X., Zhang, S. Y., Zhu, D. H. 2010. Drought forecasting based on the remote sensing data using ARIMA models. *Mathematical and Computer Modeling*, 51(11-12): 1398-1403
- He, B., Wu, J., Lu, A., Cui, X., Zhou, L., Liu, M., Zhao, L. 2013. Quantitative assessment and spatial characteristic analysis of agricultural drought risk in China. *Natural Hazards*, 66(2): 155-166.
- Hewitt, K. 1997. Regions of risk: A geographical introduction to disasters. England: Addison Wesley Longman Harlow, 23 (4): 365-382.
- Hill, M. J., Braaten, R., Veitch, S. M., Lees, B. G., Sharma, S. 2005. Multi-criteria decision analysis in spatial decision support: the ASSESS analytic hierarchy process and the role of quantitative methods and spatially explicit analysis. *Environmental Modeling and Software*, 20(7) 955-976.
- Khoshnodifar, Z., Sookhtanlo, M., Gholami, H. 2012. Identification and measurement of indicators of drought vulnerability among wheat farmers in Mashhad County Iran. *Annals of Biological Research*, 3(9): 4593-4600.
- Lee, M., Pham, H., Zhang, X. 1999. A methodology for priority setting with application to software development process. *European Journal of Operational Research*, 118(2):375-89.
- Leichenko, R. M., O'Brien., K. L. 2001. The Dynamics of Rural Vulnerability to Global Change: The Case of southern Africa. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 7 (1):1-18.
- Malczewski, J. 1999. GIS and Multi Criteria Decision Analysis. John Wiley and Sons INC., 408 pages.
- Marinoni, O. 2004. Implementation of the analytical hierarchy process with VBA in ArcGIS. *Computers and Geosciences*., 30(6):637-646.
- Me-Bar, Y., Valdez, J. 2005. On the vulnerability of the ancient Maya society to natural threats. *Journal of Archaeological Science*, 32(6): 813-825.
- Mishra, A. K., Desai, V. R. 2005. Drought forecasting using stochastic models. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*., 19(5): 326-339.
- Montasari, M ., Amirataee, B ., Khalili, K. 2015. Identification of Trend in Spatial and Temporal Dry and Wet Periods in Northwest of Iran Based on SPI and RAI Indices. *Journal of Water and Soil*, 30(2): 655-671. (In Farsi)
- Moss, R., Brenkert A., Malone, E. 2001. Vulnerability to climate change: aMulti-criteria decision analysis. *Global environmental change*, 18 (1):112-127.
- Nasimi, A., Mohammadi, Z. 2014. Vulnerability of Yazd Province in Drought Using Standardized Precipitation Index and Geostatistical Methods. *Journal Management System*. 7(20): 79-90. (In Farsi)
- Nasrnia, F., Zibae, M. 2016. Vulnerability assessment to Drought in Various Provinces, approach towards risk management in the country. *Agricultural Economics and Development*, 29(4): 359-373. (In Farsi)

- Rossi, G., Benedini, M., Tsakiris, G., Giakoumakis, S. 1992. On regional drought estimation and analysis. *Water Resources Management*, 6(4): 249-277.
- Saaty, T. L. 1990. How to make a decision: the analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, 48(1): 9-26,
- Sadeghravesh, M., Khosravi, H., Ghasemian, S. 2015. Application of fuzzy analytical hierarchy process for assessment of combating-desertification alternatives in central Iran. *Natural Hazards: Journal of the International Society for the Prevention and Mitigation of Natural Hazards*, 75(1): 653-667.
- Santos, M. J. J., Verissimo, R., Rodrigues, R. 2001. Hydrological drought computation and its comparison with meteorological drought. In: Demuth, S., Stahl, K. (Eds.), *ARIDE—Assessment of the Regional Impact of Droughts in Europe*. Final Report to the European Union. ENV4-CT97-0553. Institute of Hydrology, Freiburg, Germany, pp. 78-79.
- Shahid, S., Behravan, H. 2008. Drought risk assessment in the western part of Bangladesh. *Journal of Natural Hazard Review*, 46(3): 391-413.
- Sivakumar, M., Wilhite, D. A. 2002. Drought preparedness and drought management. *Drought Mitigation and Prevention of Land Desertification, Drought Mitigation and Prevention of Land Desertification (Proc. Intern. Conf., Bled, Slovenia)*, UNESCO/Slov. Nat. Com. ICID, Ljubljana, paper 2.
- Song, L. C., Deng, Z. Y., Dong, A. X. 2003. *Drought*. China Meteorological Press, Beijing. 162 pages.
- Statistical Yearbook of Road Maintenance and Road Transport. 2012. Planning, Office of the Information and Communication Technology. Available at <http://www.rmto.ir>.
- Sui, D. Z. 1992. A Fuzzy GIS Modeling Approach for Urban Land Evaluation. *Journal of computers. Environment and Urban Systems*, 16(2):101-115.
- Tigkas, D. 2008. Drought Characterisation and Monitoring in Regions of Greece. *European Water*, 24(24): 29-39
- Vincent, K. 2004. Creating an index of social vulnerability to climate change for Africa. Technical Report 56, Center Tyndall Climate Change Research, University of East Anglia, Norwich.
- Walter, J. 2004. *World disasters report 2004: focus on community resilience*. Kumarian, Bloomfield.
- Wilhite, D. A. 2000. Drought as a natural hazard: concepts and definitions, chapter 1. In: Wilhite DA (ed) *Drought: a global assessment*. Natural hazards and disasters series, Routledge Publishers, UK.
- Xiao-Chen, Y., Yu-Liang, Z., Ju-Liang, J., Yi-Ming, W. 2013. Risk analysis for drought hazard in China: a case study in Huaibei Plain. *Natural Hazards*, 67(2): 879-900.
- Zehtabian, G., Karimi, K., Mirdashtvan, M., Khosravi, H. 2013. Comparability Analyses of the SPI and RDI Meteorological Drought Indices in South Khorasan Province in Iran. *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, 1(9): 981-992.



کاربرد طرح‌واره برهمکنش جو- سطح خشکی (ALISIS) در شبیه‌سازی جریان رودخانه با تأکید بر ناهمگنی مکانی سطح خشکی در مقیاس زیر یاخته‌ای (مطالعه موردی: حوضه کرخه)

سمیه حاجبی^۱، جواد بذرافشان^{۲*}، پرویز ایران نژاد^۳، شهاب عراقی نژاد^۴، سرمد قادر^۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۰/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۴/۱۷

چکیده

در این مطالعه، کاربرد طرح‌واره برهم‌کنش جو- سطح خشکی (ALISIS) در شبیه‌سازی جریان رودخانه در حوضه آبریز کرخه مورد بررسی قرار می‌گیرد. از داده‌های شبکه‌بندی شده پایگاه داده‌های بازتحلیل سامانه پیش‌بینی اقلیم (CFSR) برای دوره ۱۹۸۲-۲۰۱۱ به عنوان داده‌های واداشت جوی استفاده شده است و پیاده‌سازی اثرات ناهمگنی در مقیاس زیریاخته‌ای مبتنی بر تقسیم یاخته‌های شبکه به موزائیک‌های خاک-پوشش گیاهی است. برای مدل‌سازی جریان پایه از مدل آبشار مخازن خطی و برای روندیابی رواناب از یک مدل روندیابی جریان در پیوند با طرح‌واره سطح خشکی استفاده شده است. مقایسه جریان شبیه‌سازی شده و مشاهده شده در شش ایستگاه هیدرومتری در سطح حوضه کرخه حاکی از توانایی خوب طرح‌واره در شبیه‌سازی جریان ماهانه رودخانه است. به علاوه، مدل توانایی خوبی در شبیه‌سازی رژیم ماهانه مؤلفه‌های ترازمندی آب، توزیع مکانی میانگین بلندمدت مؤلفه‌ها و رابطه بین آن‌ها دارد.

واژه‌های کلیدی: طرح‌واره برهم‌کنش جو- سطح خشکی، ناهمگنی مکانی سطح خشکی، جریان رودخانه، حوضه کرخه

مقدمه

مدل‌های هیدرولوژیکی فیزیکی توزیعی (et al., 2004). مدل‌های هیدرولوژیکی فیزیکی توزیعی، ناهمگنی ورودی‌ها را در نظر می‌گیرند و قابلیت توصیف مکانی متغیرهای هیدرولوژیکی را دارند. آن‌ها همچنین می‌توانند برای حوضه‌های آبریزی که داده‌های کافی برای واسنجی مدل‌های تجربی و مفهومی ندارند، استفاده شوند (Smith et al., 2004). با این حال، این مدل‌ها معمولاً بیان ساده شده‌ای از تبخیرتقرق و سایر فرآیندهای سطح خشکی دارند. در برخی از مدل‌های هیدرولوژیکی، تبخیرتقرق پتانسیل محاسبه نمی‌شود و باید به عنوان واداشت جوی تعیین شود. مثال‌هایی از این مدل‌ها شامل مدل‌های WASH123D^۴ (Yeh et al., 2006) و IHDM^۵ (Beven et al., 1987) هستند. برخی دیگر از مدل‌های هیدرولوژیکی، مانند مدل VIC^۶ (Liang et al., 1994) و SWAT^۷ (Arnold et al., 1998)، با استفاده از معادلات تجربی ساده، تبخیرتقرق پتانسیل را محاسبه می‌کنند. تبخیرتقرق یکی از مؤلفه‌های مهم هیدرولوژیکی و عامل اتصال چرخه‌های آب و انرژی است. تبادل آب و انرژی

مدل‌های هیدرولوژیکی ابزار مهمی برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی رخداد‌های هیدرولوژیکی هستند. علی‌رغم ساختار ساده، هزینه محاسباتی کم و موفقیت در پیش‌بینی سیلاب، مدل‌های مفهومی کمک کمی به درک فرآیندهای هیدرولوژیکی می‌کنند. بیش‌تر پارامترهای مورد استفاده در این مدل‌ها اعداد بهینه‌ای هستند که می‌توانند بهترین پیش‌بینی‌ها را فراهم کنند اما فاقد معنای فیزیکی هستند و تنها می‌توانند از طریق واسنجی به دست آیند (Shi, 2012). به علاوه، واسنجی مدل‌های مفهومی نیاز به تعداد کافی از داده‌های هواشناسی و پاسخ‌های حوضه آبریز دارد که به ویژه برای حوضه‌های آبریز کوچک مقیاس، همواره موجود نیستند. ضرایب واسنجی مدل مفهومی به دست آمده در یک مقیاس یا در یک حوضه آبریز به سختی قادر به انتقال به مقیاس دیگر یا حوضه آبریز دیگر است (Reed

^۱ دانشجوی دکترای هواشناسی کشاورزی، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران

^۲ دانشیار، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران

(*) نویسنده مسئول: jbazr@ut.ac.ir

DOI: 10.22125/agmj.2019.113711.

^۳ دانشیار، گروه فیزیک فضا، دانشگاه تهران

^۴ WaterShed Systems of 1-D Stream-River Network, 2-D Overland Regime, and 3-D Subsurface Media

^۵ Institute of Hydrology Distributed Model

^۶ Variable Infiltration Capacity

^۷ Soil and Water Assessment Tool

وضع هوا^۳ (WRF) برای شبیه‌سازی جریان در حوضه رودخانه کارون استفاده کردند. نتایج توانایی بسیار ضعیف مدل OSU-WRF را در شبیه‌سازی جریان رودخانه نشان داد. Parviz et al., (2011) نشان دادند که مدل VIC توانایی زیادی در شبیه‌سازی جریان رودخانه در حوضه سفیدرود دارد. کاربرد مدل VIC در فلات لوئیس^۴ توسط Zhang et al., (2013) نیز نشان داد که شبیه‌سازی‌های جریان رودخانه همبستگی زیادی با مشاهدات دارند. Bai et al., (2016) شبیه‌سازی جریان رودخانه به وسیله چهار مدل سطح خشکی CLM, Noah, VIC و Mosaic را در پنج رودخانه در فلات تبت ارزیابی کردند. نتایج حاکی از فراب‌آورد جریان به وسیله مدل‌های Noah و CLM و فروبر‌آورد جریان به وسیله مدل‌های VIC و Mosaic بود. به علاوه، مدل Noah بهترین عملکرد از نظر شبیه‌سازی جریان ماهانه و چرخه فصلی را داشت، در حالی که مدل VIC بهترین عملکرد از نظر شاخص‌های اریبی و مدل Mosaic بهترین عملکرد از نظر مدل‌سازی روند جریان سالانه را داشت. به دلیل تنوع زیست‌بوم‌های طبیعی، دخالت‌های بشری، ویژگی‌های توپوگرافیکی، گوناگونی خاک و شرایط اقلیمی، سطح خشکی در مقیاس شبکه مدل‌های جوی به ندرت همگن است (Irannejad, 1999; Giorgi, 1997). به دلیل ماهیت غیرخطی بسیاری از فرایندهای سطح خشکی، ناهمگنی می‌تواند بر تبادل آب و انرژی بین سطح خشکی و جو تأثیرگذار باشد. لذا، شارهای سطحی مبتنی بر فرض همگن بودن سطح خشکی می‌توانند به طور قابل ملاحظه‌ای متفاوت از مقادیر مبتنی بر ناهمگنی ویژگی‌های سطح خشکی باشند. برای لحاظ کردن اثر ناهمگنی سطح خشکی در مقیاس زیرمکانه‌ای بر تبادلات تکانه، انرژی و آب بین سطح خشکی و جو می‌توان از مدل‌های اثرات جمعیتی استفاده کرد (Avisar and Pielke, 1989; Koster and Suarez, 1992). روش‌های گسسته و پیوسته، روش‌های مورد استفاده در طرح‌واره‌های سطح خشکی به منظور پیاده‌سازی اثرات جمعیتی هستند. روش‌های پیوسته مبتنی بر تابع چگالی احتمال^۵ (PDF) تحلیلی یا تجربی برای تعریف توزیع مکانی متغیرهای ناهمگن و انتگرال‌گیری

بین سطح خشکی و جو به طور قابل توجهی روی مشخصه‌های هیدرولوژیکی تأثیرگذار است (Singh and Woolhiser, 2002). تقسیم انرژی در دسترس به شار گرمای نهان و محسوس در سطح خشکی، به دلیل وابستگی بالای تبخیر/تعرق به موجودی رطوبت خاک، در ارتباط تنگاتنگ با ترازمندی آب است (Irannejad and Shao, 1998). خشکی‌ها به دلیل ناهمگنی قابل ملاحظه، چرخه هیدرولوژیکی پویا و تغییرات شدید دما، پوشش و کاربری نقش مهمی در ترازمندی انرژی، رطوبت و تکانه ایفا می‌کنند (Yang, 2004). تبادلات انرژی، جرم و تکانه در سطح مشترک جو و سطح خشکی صورت می‌گیرد. این تبادلات نه تنها به وسیله تلاطم و حرکات مولکولی در جو، بلکه به وسیله فرایندهای هیدرولوژیکی سطح خاک و رفتار زیست‌سپهر قاره‌ای نیز کنترل می‌شود. از این دیدگاه، می‌توان سطح خشکی را در حکم لایه‌ای که در بردارنده پایین‌ترین بخش لایه مرزی جو، چند متر بالایی خاک، زیست‌سپهر قاره‌ای و سطح آب‌های داخل قاره‌ها است، در نظر گرفت (Irannejad and Shao, 2002). طرح‌واره‌های پارامترسازی سطح خشکی یا به بیان ساده‌تر طرح‌واره‌های سطح خشکی الگوریتمی برای تعیین تبادلات انرژی، جرم و تکانه بین جو و سطح خشکی هستند. این طرح‌واره‌ها به طور کلی از دو بخش ترمودینامیکی برای محاسبه شارهای انرژی سطح (گرمای نهان، گرمای محسوس، گرمای زمین و انرژی ذوب برف) و بخش هیدرودینامیکی برای محاسبه شار آب (تقسیم بارش به تبخیر/تعرق، رواناب و تغییرات رطوبت خاک) تشکیل شده‌اند. چرخه‌های آب و انرژی از طریق شار گرمای نهان (تبخیر/تعرق) با یکدیگر در ارتباط هستند. در سال‌های اخیر، استفاده از طرح‌واره‌های سطح خشکی در شبیه‌سازی‌های هیدرولوژیکی مورد توجه بسیار قرار گرفته‌اند. Lohmann et al., (1998b) توانایی مدل سطح خشکی VIC-2L را در شبیه‌سازی جریان رودخانه در حوضه رودخانه وسر^۱ بررسی کردند. نتایج بیان‌گر دقت بالای مدل در شبیه‌سازی روزانه، ماهانه و سالانه جریان رودخانه بود. (Khodamorad Pour et al., 2010) از مدل سطح خشکی OSU^۲ جفت‌شده با مدل پیش‌بینی عددی

³ Weather Research and Forecasting Model

⁴ Loess

⁵ Probability Distribution Function

¹ Weser

² Oregon State University Land Surface Model

شارهای سطحی برای واحد سطح هر موزائیک به طور جداگانه محاسبه و بر اساس مساحت آن‌ها میانگین‌گیری می‌شوند. به دلیل تفاوت در مشخصه‌های آیرودینامیکی، مقاومت سطحی و پاسخ به ذخایر متفاوت رطوبت خاک، خاک عریان و پوشش گیاهی از نظر تبدلات گرما و رطوبت با جو رفتار بسیار متفاوتی دارند. بنابراین، تبدلات آب و انرژی برای خاک عریان و پوشش گیاهی به طور مجزا محاسبه می‌شود. برای سطح پوشیده از گیاه، ALSIS یک لایه کانوپی در نظر می‌گیرد که بخشی از سطح خاک را می‌پوشاند. تبخیر از سطح خاک و بخش مرطوب کانوپی و تعرق از بخش خشک کانوپی به طور جداگانه محاسبه شود و میانگین تبادل رطوبت واحد سطح خشکی با جو برای هر موزائیک به دست می‌آید. کانوپی به عنوان یک محیط متخلخل نیمه‌شفاف در نظر گرفته می‌شود که تابش خورشید قبل از رسیدن به سطح خاک زیر کانوپی را تضعیف می‌کند. خاک در جهت قائم به چند لایه موازی تقسیم می‌شود که با افزایش عمق، ضخامت لایه‌ها افزایش می‌یابد. همچنین فرض می‌شود که خاک در جهت قائم ناهمگن است و مشخصه‌های فیزیکی و هیدرولیکی آن با عمق تغییر می‌کند. روش داریسی-باکینگهام^۳ و قانون فوریه^۴ برای محاسبه انتقال رطوبت و گرما درون خاک به کار برده می‌شود.

ساختار کلی ALSIS

جزئیات ALSIS در (Irannejad and Shao, 1998) آمده است. در این بخش، ساختار کلی ALSIS به طور مختصر شرح داده می‌شود.

ترازمندی انرژی سطحی

تابش خالص برای کانوپی (R_{nc}) و سطح خاک (R_{ns}) از معادلات ۱ و ۲ محاسبه می‌شود.

$$R_{nc} = R_{sc} + R_{lc} + R_{lus} \sigma_f (1 - f_{ext}) - 2R_{luc} \quad (1)$$

$$R_{ns} = R_{ss} + R_{ls} + R_{luc} - R_{lus} \quad (2)$$

که R_{sc} و R_{ss} تابش جذب شده توسط کانوپی و خاک، R_{lc} و R_{ls} تابش موج بلند رو به پایین جذب شده توسط کانوپی و خاک، R_{lus} و R_{luc} تابش موج بلند گسیل شده از کانوپی و سطح خاک، σ_f کسری از سطح است که با

فرایندهای مربوطه روی PDF است. حساسیت نتایج به انتخاب PDF، نبود اطلاعات در مورد میانگین، واریانس، چولگی و کشیدگی توزیع پارامترها و همچنین وابستگی زیاد توابع احتمال به مکان و زمان، به دلیل پیچیدگی اثرات متقابل بسیاری از فرایندها در محیط زیست طبیعی، از دشواری‌های روش‌های پیوسته می‌باشند (Irannejad, 1999). در روش‌های گسسته فرض می‌شود که یاخته شبکه با تعدادی زیریاخته همگن پوشیده می‌شود. محاسبه شارها و متغیرهای حالت هر یاخته مبتنی بر محاسبات مجزا برای هر زیریاخته و میانگین‌گیری وزنی بر اساس مساحت نسبی زیریاخته‌ها است. از جمله روش‌های گسسته می‌توان به روش موزائیک (Avisar and Pielke, 1989) اشاره کرد. این روش مبتنی بر تقسیم کردن یاخته شبکه به تعدادی موزائیک همگن است که سطح آن‌ها مستقل از یکدیگر با جو تبادل انرژی، جرم و تکانه دارد. بنابراین، در این روش فرض بر جفت‌شدگی افقی ضعیف بین موزائیک‌ها و جفت‌شدگی قائم قوی با جو است (Giorgi and Avisar, 1997). هدف از مطالعه حاضر ارزیابی عملکرد یک طرح‌واره سطح خشکی با تأکید بر ناهمگنی مکانی سطح خشکی در مقیاس زیریاخته‌ای در شبیه‌سازی جریان ماهانه رودخانه در حوضه آبریز کرخه است.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه از طرح‌واره برهمکنش جو-سطح خشکی^۱ (ALSIS, Irannejad and Shao, 1998) در پیوند با یک مدل آب زیرزمینی و مدل روندیابی جریان برای شبیه‌سازی جریان رودخانه استفاده می‌شود. ALSIS یک طرح‌واره پارامترسازی سطح خشکی است که می‌تواند به صورت تک‌ایستای^۲ و یا جفت‌شده با مدل جوی برای محاسبه شارهای انرژی، جرم و تکانه به کار رود. نسخه تک‌ایستای طرح‌واره ALSIS در محیط FORTRAN 77 نوشته شده و دارای یک ساختار ماژولی و تعدادی زیربرنامه برای نمایش پارامترسازی‌های گوناگون فرایندهای سطح خشکی است. در ALSIS هر یاخته شبکه به چند موزائیک، که دارای مشخصه‌های گوناگون سطحی از نظر نوع خاک و پوشش گیاهی هستند، تقسیم می‌شود و

³ Darcy-Buckingham

⁴ Fourier's law

¹ Atmosphere-Land-Surface Interaction Scheme

² Stand-alone

$$G_s = K_{h1} \frac{2(T_s - T_{s1})}{dz_1} \quad (9)$$

که K_{h1} قابلیت هدایت گرمایی و T_{s1} دمای مرکز لایه فوقانی خاک با ضخامت dz_1 است. تبخیر از سطح مرطوب کانوپی (E_w) با استفاده از روش انتقال کپه‌ای محاسبه می‌شود.

$$E_w = f_w \rho_a \frac{q_{sat}(T_c) - q_a}{r_a} \quad (10)$$

که $q_{sat}(T_c)$ رطوبت ویژه اشباع در دمای کانوپی و f_w کسر مرطوب کانوپی است. تعرق از بخش خشک کانوپی، E_t به صورت معادله ۱۱ محاسبه می‌شود.

$$E_t = (1 - f_w) \rho_a \frac{q_{sat}(T_c) - q_a}{r_a + r_c} \quad (11)$$

که r_c مقاومت کانوپی است. شار گرمای محسوس کانوپی از معادله ۱۲ محاسبه می‌شود.

$$H_c = \rho_a c_p \frac{T_c - T_a}{r_a} \quad (12)$$

برای محاسبه تبدلات گرما و حل معادلات ۴ و ۵ تعیین دمای کانوپی (T_c) و دمای سطح خاک (T_s) مورد نیاز است. T_c در هر گام زمانی با حل تکراری معادله ۵ محاسبه می‌شود تا زمانی که به دقت مورد نظر برسد. روش مشابهی برای معادله ۴ برای محاسبه T_s به کار برده می‌شود. در صورت وجود پوشش برف، معادله ۴ با جایگزین کردن دمای سطح برف (T_{sn})، به جای دمای سطح خاک (T_s) محاسبه می‌شود و شار گرما به درون برف، H_{sn} ، به صورت معادله ۱۳ محاسبه می‌شود.

$$H_{sn} = K_{sn} \frac{T_{sn} - T_s}{z_{sn}} \quad (13)$$

که K_{sn} قابلیت هدایت گرمایی برف و z_{sn} عمق برف است. شار قائم گرما در خاک با استفاده از قانون هدایت گرمایی فوریه در خاک چند لایه توصیف می‌شود.

$$G_h = -K_h \frac{\partial T}{\partial z} \quad (14)$$

که K_h قابلیت هدایت گرمایی خاک و T دمای خاک است. معادلات پایستاری انرژی در خاک به صورت معادله ۱۵ است.

$$\frac{\partial T}{\partial t} = -\frac{1}{C_h} \frac{\partial G_h}{\partial z} \quad (15)$$

کانوپی پوشیده شده است و f_{ext} کسری از تابش است که به سطح خاک زیر کانوپی می‌رسد. تابش خالص سطح خشکی (R_n) از مجموع تابش خالص در سطح خاک و کانوپی به دست می‌آید.

$$R_n = R_{ns} + R_{nc} \quad (3)$$

تابش خالص سطح خاک و پوشش گیاهی به شارهای مختلف گرمای سطحی تقسیم می‌شود. معادله ترازمندی انرژی سطح خاک به صورت معادله ۴ است.

$$R_{ns}(T_s) - \lambda E_s(T_s) - H_s(T_s) - G_h(T_s) = 0 \quad (4)$$

که λE_s شار گرمای نهان، E_s آهنگ تبخیر از سطح خاک، λ گرمای نهان تبخیر، H_s شار گرمای محسوس و $G_h(T_s)$ ($G_s =$) شار گرمای زمین است. همه مؤلفه‌ها تابعی از دمای سطح خاک T_s هستند. ترازمندی انرژی کانوپی به صورت معادله ۵ خواهد بود.

$$R_{nc}(T_c) - \lambda E_c(T_c) - H_c(T_c) = 0 \quad (5)$$

با

$$E_c = E_w + E_t \quad (6)$$

که λE_c شار گرمای نهان کانوپی، E_c آهنگ تبخیر تعرق کانوپی و H_c شار گرمای محسوس از کانوپی، E_w آهنگ تبخیر از سطح مرطوب کانوپی و E_t آهنگ تعرق کانوپی است. تبخیر از سطح خاک (E_s) با استفاده از معادله انتقال کپه‌ای^۱ محاسبه می‌شود.

$$E_s = \rho_a \beta \frac{q_{sat}(T_s) - q_a}{r_a + r_d} \quad (7)$$

که ρ_a چگالی هوا، β فاکتور بازدهی تبخیر، q_a رطوبت ویژه هوا در سطح مرجع (z_r ، ارتفاع ابزار هواشناسی)، r_d رطوبت ویژه اشباع در دمای سطح خاک، $q_{sat}(T_s)$ مقاومت آیرودینامیکی به شار رطوبت از ارتفاع زبری سطح خاک برای رطوبت (z_{0q}) به ارتفاع منبع کانوپی ($z_{0q} + z_d$)، z_d جابه‌جایی سطح صفر و r_a مقاومت آیرودینامیکی به شار رطوبت از ارتفاع منبع کانوپی به z_r است. شار گرمای محسوس از سطح خاک از معادله ۸ به دست می‌آید.

$$H_s = \rho_a c_p \frac{T_s - T_a}{r_a + r_d} \quad (8)$$

که c_p گرمای ویژه هوا در فشار ثابت و T_a دمای هوا در ارتفاع مرجع است. G_s با استفاده از قانون فوریه برای لایه سطحی خاک محاسبه می‌شود.

¹ Bulk transfer

Brooks and Corey,) ALSIS از مدل‌های بروکس-کوری (1966) و فرم ساده شده آن به نام مدل کلب-هورنبرگر (Clapp and Hornberger, 1978)، مدل ون-گناختن (Van Broadbridge, 1980) و برودبریج-وایت (Genuchten, 1980 and White, 1988) نیز استفاده می‌کند. انتگرال‌گیری عددی با استفاده از روش تفاضل کرنک-نیکلسون^۳ انجام می‌شود. معادله ترازمندی لایه‌ها، B_i ، به صورت تفاضل محدود معادله ۱۸ نوشته می‌شود.

$$B_i = \frac{\theta_i^{j+1} - \theta_i^j}{dt} dz_i + \delta(q_i^{j+1} - q_{i-1}^{j+1}) + (1 - \delta)(q_i^j - q_{i-1}^j) + S_i = 0 \quad (22)$$

که i و z معرف عمق و زمان، δ وزن زمانی تفاضل مکانی که بین صفر (کاملاً صریح) و یک (کاملاً ضمنی) تغییر می‌کند ($\delta = 0.5$) برای روش کرنک-نیکلسون) و S_i عبارت چاهه برای لایه خاک i است که مجموع شدت جریان جانبی و تعرق لایه است. در معادله ۲۲، q_i و q_{i-1} جریان آب در مرزهای بالا و پایین لایه i هستند. شرایط مرزی سطحی، q_0 ، به عنوان نفوذ منهای آهنگ تبخیر از سطح خاک محاسبه می‌شود. شرایط مرزی زیرین، q_m ، برابر قابلیت هدایت هیدرولیکی عمیق‌ترین لایه خاک در نظر گرفته می‌شود. q_m می‌تواند با یک فاکتور بازدهی زهکشی کنترل شود. در ALSIS، این فاکتور بین صفر (مرز غیر قابل نفوذ) و یک (کاملاً نفوذپذیر) قابل تعریف است. در هر گام زمانی، معادله ۲۲ برای ψ_i^{j+1} به روش نیوتن-رافسون^۴ با افزودن تصحیحات $\Delta\psi_i$ به تقریب اولیه ψ_i^{j+1} حل می‌شود تا زمانی که B_i با دقت مورد نظر موازنه شود.

مدل آب زیرزمینی

برای مدل‌سازی پاسخ کلی ذخیره آب زیرزمینی از مدل آبشار مخازن خطی^۵ (Nash, 1958) استفاده می‌شود که دارای دو پارامتر تعداد مخازن n و ثابت زمانی آن‌ها K (ضریب فروکش جریان) است. برای سهولت کاربرد، به جای استفاده از تابع توزیع گاما برای بیان تابع واکنش لحظه‌ای^۶ از یک رهیافت عددی استفاده می‌شود. این مدل مبتنی بر این فرض است که حجم آب ذخیره شده در مخزن i متناسب با خروجی آن است، یعنی $S_i = KB_i^i$.

که C_h ظرفیت گرمایی حجمی است. با قرار دادن معادله ۱۴ در ۱۵ معادله پیش‌یابی برای دمای خاک به دست می‌آید.

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} D_h \frac{\partial T}{\partial z} \quad (16)$$

که $D_h = K_h / C_h$ پخش گرمایی خاک است.

ترازمندی آب خاک

جریان قائم یک بعدی آب در یک خاک همگن و غیر اشباع با استفاده از معادله داریسی-باکینگهام توصیف می‌شود.

$$q = K \left(1 - \frac{\partial \psi}{\partial z}\right) \quad (17)$$

که ψ پتانسیل خمیره آب خاک، $K(\psi)$ قابلیت هدایت هیدرولیکی و z عمق خاک است. معادله ۱۷ تنها برای توصیف نیم‌رخ آب خاک تحت جریان پایدار مناسب است. برای جریان ناپایدار، که در آن اندازه و احتمالاً جهت جریان و گرادیان پتانسیل با زمان تغییر می‌کند، معرفی قانون پایستاری آب مورد نیاز است. برای جریان قائم یک بعدی معادله پایستاری آب به صورت معادله ۱۸ است.

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = - \frac{\partial q}{\partial z} - S \quad (18)$$

که θ مقدار رطوبت حجمی خاک، t زمان و S عبارت چاهه برای آب است که ناشی از تبخیر تعرق و تخلیه افقی است. با جایگزین کردن معادله ۱۷ در ۱۸ معادله ریچاردز^۱ به دست می‌آید.

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = - \frac{\partial}{\partial z} \left(K - K \frac{\partial \psi}{\partial z} \right) - S \quad (19)$$

از آنجا که K و θ توابع غیرخطی از ψ هستند، معادله ریچاردز شدیداً غیرخطی است. (Redinger et al., 1984) و (Campbell 1985) تبدیل کرشهف^۲ را برای عبارت پخش معادله ریچاردز به کار بردند.

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = - \frac{\partial}{\partial z} \left(K - \frac{\partial U}{\partial z} \right) - S \quad (20)$$

$$U = \int_{-\infty}^{\psi} K d\psi = \int_0^{\theta} D d\theta \quad (21)$$

که $D = K(d\psi/d\theta)$ پخش هیدرولیکی خاک است. حل معادله ریچاردز نیاز به معادلات بستر بین قابلیت هدایت هیدرولیکی، رطوبت خاک و پتانسیل خمیره آب خاک دارد.

³ Crank-Nicolson

⁴ Newton-Raphson

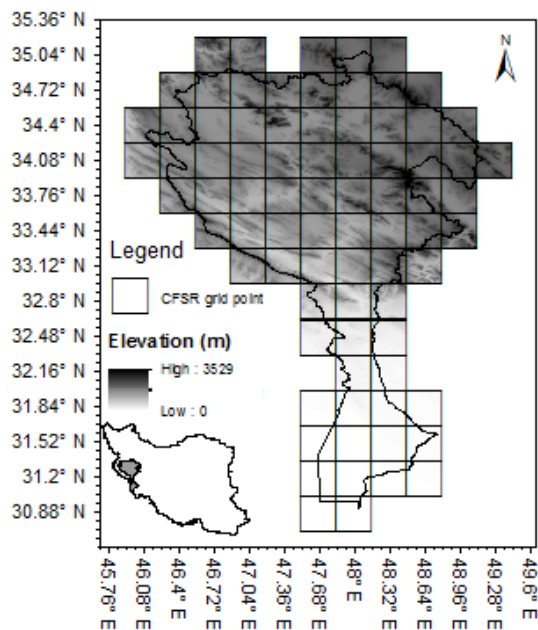
⁵ Cascade of Linear Reservoirs Model

⁶ Impulse response function

¹ Richards' Equation

² Kirchhoff transform

بین طول‌های جغرافیایی $۴۶^{\circ}۰۶'$ و $۴۹^{\circ}۱۱'$ شرقی و عرض‌های جغرافیایی $۳۰^{\circ}۵۴'$ و $۳۵^{\circ}۰۴'$ شمالی قرار گرفته است. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی و مدل رقومی ارتفاع حوضه آبریز کرخه را نشان می‌دهد. حدود ۷۰ درصد مساحت حوضه را مناطق کوهستانی و حدود ۳۰ درصد آن را دشت‌ها، که عموماً در بخش‌های شمالی و جنوبی قرار دارند، می‌پوشانند. کوه الوند در سر حد شمال شرقی حوضه، مرتفع‌ترین قله حوضه و دشت آزادگان پست‌ترین نقطه آن به شمار می‌روند. تمرکز ارتفاعات در نواحی میانی، شرقی و همچنین مناطق شمالی حوضه است و دشت‌های آبرفتی با وسعت قابل ملاحظه در مناطق شمالی حوضه نظیر ملایر، نهاوند، کنگاور، سنقر، ماهیدشت و اسلام‌آباد قرار دارند که ارتفاع آن‌ها بیش از ۱۲۰۰ متر است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و نقشه مدل رقومی ارتفاع حوضه کرخه به همراه یاخته‌های شبکه داده‌های بازتحلیل CFSR با تفکیک ۰/۳۲ درجه

Figure 1- Geographic location and digital elevation model of Karkheh basin and grid points of CFSR reanalysis dataset network with the resolution of 0.32 degree

داده‌های واداشت جوی

متغیرهای جوی مورد نیاز برای اجرای طرح‌واره ALSIS شامل دمای هوا (K)، رطوبت ویژه هوا ($kg\ kg^{-1}$)، تابش موج کوتاه و موج بلند رو به پایین ($W\ m^{-2}$)، سرعت باد ($m\ s^{-1}$)، شدت بارش ($mm\ s^{-1}$) و فشار هوا (Pa) است

بنابراین، معادله پیوستگی برای مخزن i به صورت معادله ۲۳ خواهد بود.

$$K \frac{\partial B_t^i}{\partial t} = B_t^{i-1} - B_t^i \quad (23)$$

که پس از گسسته‌سازی زمانی به روش تفاضل محدود مرکزی در زمان $t+\Delta t/2$ معادله ۲۴ برقرار است.

$$B_{t+\Delta t}^i = \frac{2K - \Delta t}{2K + \Delta t} B_t^i + \frac{\Delta t}{2K + \Delta t} (B_{t+\Delta t}^{i-1} + B_t^{i-1}) \quad (24)$$

که B^i جریان خروجی از مخزن i است؛ B^0 شار رطوبت از عمیق‌ترین لایه خاک است که از طرح‌واره ALSIS به دست می‌آید؛ و B^n جریان پایه است.

مدل روندیابی جریان

برای روندیابی جریان رودخانه از یک مدل روندیابی تک‌ایستا که توسط Lohmann et al., (1996) ارائه شده است، استفاده می‌شود. جریان سطحی و دبی پایه شبیه‌سازی شده توسط طرح‌واره سطح خشکی، ابتدا به خروجی هر یاخته (روندیابی درون‌یاخته‌ای، بر اساس هیدروگراف واحد) و سپس با این فرض که همه رواناب هر یاخته در یک جهت واحد ایجاد می‌شود، به شبکه رودخانه (روندیابی بین یاخته‌ای) روندیابی می‌شود. روندیابی کانال مبتنی بر معادله خطی شده سنت-ونانت^۱ است و تاخیر زمانی روندیابی بین یاخته‌ای بر اساس سرعت جریان و فاصله طی شده (مراکز بین یاخته‌ای) است. در معادله خطی شده سنت-ونانت:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = D \frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} - C \frac{\partial Q}{\partial x} \quad (25)$$

D و C به ترتیب پارامترهای سرعت موج و ضریب پخشیدگی هستند. تابع واکنش لحظه‌ای با مقادیر مرزی و شرایط آغازین $h(x,0)=0$ برای $x>0$ و $h(0,t)=\delta t$ برای $t \geq 0$ به صورت معادله ۲۶ است.

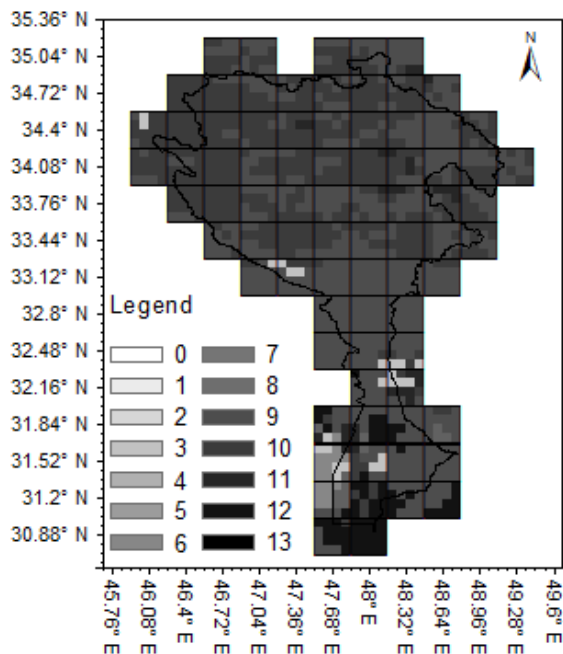
$$h(x, t) = \frac{x}{2t\sqrt{\pi t D}} \exp\left(-\frac{(Ct - x)^2}{4Dt}\right) \quad (26)$$

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز رودخانه کرخه با مساحتی در حدود ۵۱۶۴۰ کیلومتر مربع در غرب کشور و در مناطق میانی و جنوب غربی رشته‌کوه‌های زاگرس قرار دارد. این حوضه

^۱ Saint-Venant equation

دوره ۱۹۹۴-۱۹۸۱ بوده و در سه تفکیک مکانی 1° ، 0.1° و 0.08° موجود می‌باشد. نقشه توزیع جغرافیایی پوشش سطح خشکی با تفکیک 0.08° در گستره حوضه کرخه در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲- توزیع جغرافیایی پوشش سطح خشکی با تفکیک 0.08° درجه در محدوده حوضه کرخه: (۰ آب، ۱) جنگل سوزنی-برگ همیشه‌سبز، (۲) جنگل پهن‌برگ همیشه‌سبز، (۳) جنگل سوزنی‌برگ برگ‌ریز، (۴) جنگل پهن‌برگ برگ‌ریز، (۵) جنگل مخلوط، (۶) درختزار، (۷) مرتع پوشیده از درخت، (۸) بوته‌زار بسته، (۹) بوته‌زار باز، (۱۰) مرتع، (۱۱) اراضی تحت کشت، (۱۲) زمین عربان و (۱۳) شهری

Figure 2- Geographic distribution of land surface cover with the resolution of 0.08 degree over Karkheh basin: 0) water, 1) Evergreen Needleleaf Forest, 2) Evergreen Broadleaf Forest, 3) Deciduous Needleleaf Forest, 4) Deciduous Broadleaf Forest, 5) Mixed Forest, 6) Woodland, 7) Wooded Grassland, 8) Closed Shrubland, 9) Open Shrubland, 10) Grassland, 11) Cropland, 12) Bare Ground, 13) Urban

با توجه به اینکه تفکیک مکانی داده‌های واداشت جوی 0.32° درجه است، هر یاخته شبکه شامل ۱۶ زیریاخته می‌باشد. بنابراین تعداد موزائیک‌های خاک-پوشش هر یاخته حداقل یک و حداکثر ۱۶ می‌تواند باشد. بر اساس پارامترهای پوشش گیاهی موجود در پایگاه داده سامانه جهانی گوارد داده‌های زمین^۴ (GLDAS)، پارامترهای ارتفاع گیاه، درصد پوشش زمین توسط گیاه، آلبيدو و کمینه مقاومت روزنه‌ای برای ۱۴ نوع پوشش

که در سطح هر یاخته همگن لحاظ می‌شود. در این مطالعه از داده‌های جهانی واداشت جوی شبکه‌بندی‌شده پایگاه داده‌های بازتحلیل سامانه پیش‌بینی اقلیم^۱ (CFSR) مراکز ملی پیش‌بینی محیطی^۲ (NCEP) به عنوان ورودی طرح‌واره استفاده می‌شود. جزئیات بیشتر در مورد CFSR در (Saha et al., 2010) تشریح شده است. علت عدم استفاده از داده‌های واداشت جوی ایستگاه‌های همدید شامل موارد زیر است:

(۱) داده‌های با تفکیک زمانی ساعتی برای دوره زمانی بلندمدت موجود نیست؛ (۲) بهترین تفکیک زمانی ایستگاه‌های همدید، تفکیک ۳ ساعتی است و علی‌رغم امکان استفاده از روش‌های درون‌یابی زمانی، داده‌های تایش خلاء آماری زیادی دارد؛ (۳) تراکم ایستگاه‌های دارای آمار بلندمدت برای انجام درون‌یابی‌های مکانی کافی نیست؛ (۴) تلفیق داده‌های مشاهداتی با پیش‌بینی‌های عددی کوتاه‌مدت، ماهیت شبکه‌ای بودن، تفکیک زمانی و مکانی بالا و نبود خلاء در داده‌های بازتحلیل باعث تسهیل مطالعات اقلیمی می‌شود. متغیرهای واداشت جوی با تفکیک زمانی یک ساعتی و تفکیک مکانی T382 ($\sim 3 \text{ km}$) از پایگاه مراکز ملی اطلاعات محیطی^۳ (https://www.ncdc.noaa.gov/) برای دوره زمانی ۱۹۸۲ تا ۲۰۱۱ بارگیری و برای حوضه کرخه استخراج و تفکیک مکانی یاخته‌های شبکه به 0.32° در راستای طول و عرض جغرافیایی تغییر یافتند. همچنین درون‌یابی زمانی داده‌ها از تفکیک یک ساعتی به ۳۰ دقیقه‌ای انجام شد. شکل ۱ یاخته‌های شبکه داده‌های بازتحلیل CFSR با تفکیک 0.32° را در محدوده حوضه کرخه نشان می‌دهد.

پیکربندی ناهمگنی سطح خشکی در مقیاس زیر یاخته‌ای

برای شمول ناهمگنی مکانی در مقیاس زیر یاخته‌ای، هر یاخته شبکه بر اساس نوع پوشش سطح خشکی و خاک به تعدادی موزائیک همگن تقسیم می‌شود. برای این منظور، از محصول جهانی طبقه بندی پوشش سطح خشکی AVHRR (Hansen et al., 1998) استفاده می‌شود. این محصول که شامل ۱۴ نوع پوشش زمین است، مبتنی بر تحلیل تصاویر ماهواره‌ای AVHRR برای

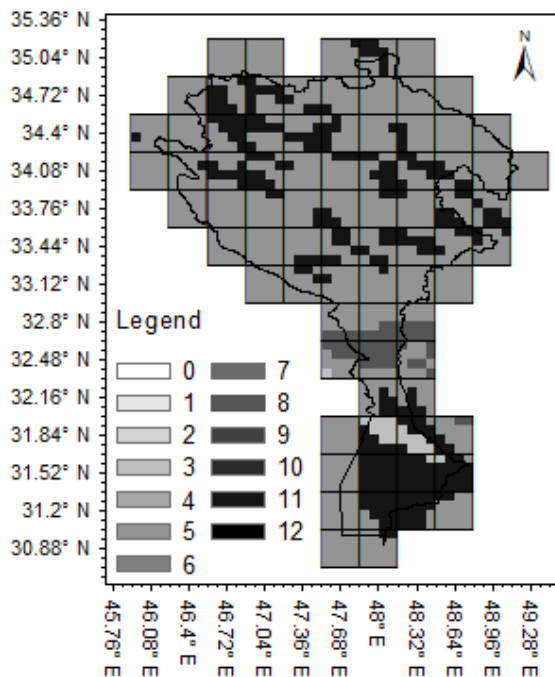
¹ Climate Forecast System Reanalysis

² National Centers for Environmental Prediction

³ National Centers for Environmental Information

⁴ Global Land Data Assimilation System

استفاده از بافت خاک قابل تخمین است. آن‌ها مقادیر پارامتر مربوط به ۱۱ نوع بافت خاک USDA را پیشنهاد کردند.



شکل ۳- توزیع جغرافیایی بافت افق A خاک با تفکیک ۰/۰۸ درجه در محدوده حوضه کرخه: (۰ آب، (۱ شن، (۲ شن لومی، (۳ لوم شنی، (۴ لوم سیلتی، (۵ لوم، (۶ لوم رسی شنی، (۷ لوم رسی سیلتی، (۸ لوم رسی، (۹ رس شنی، (۱۰ رس سیلتی، (۱۱ رس، (۱۲ سیلت

Figure 3- Geographic distribution of soil texture for A horizon with the resolution of 0.08 degree over Karkheh basin: (0) Water, (1) Sand, (2) Loamy sand, (3) Sandy loam, (4) Silty loam, (5) Loam, (6) Sandy clay loam, (7) Silty clay loam, (8) Clay loam, (9) Sandy clay, (10) Silty clay, (11) Clay, (12) Silt

مقادیر متوسط پارامترهای هیدرولیکی برای بافت‌های مختلف خاک در جدول ۱ آورده شده است (Clapp and Hornberger, 1978). این مقادیر در فایل ذخیره و هنگام اجرای طرح‌واره بر اساس بافت خاک موزائیک فراخوانی می‌شود. سایر پارامترهای خاک مورد نیاز برای اجرای طرح‌واره ALSIS شامل پتانسیل خمیره خاک در ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی هستند که در فایل اطلاعات طرح‌واره تعریف شدند. از طریق هم‌پوشانی نقشه توزیع جغرافیایی بافت افق A و B خاک و پوشش سطح خشکی، نقشه توزیع جغرافیایی ترکیب‌های بافت خاک-پوشش خشکی به دست آمد (شکل ۵).

زمین تهیه شد و متغیرهای مربوطه در طرح‌واره ALSIS (cov, hc, $g_{sMax}=1/r_{sMin}$) مقداردهی شدند. در مورد شاخص سطح برگ ^۱(LAI)، از داده‌های جهانی تهیه شده توسط گروه پژوهش اقلیم و پوشش گیاهی ^۲ دانشگاه بوستن (Zhu et al., 2013) استفاده شد. این داده‌ها از نسل سوم داده‌های شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی ^۳(NDVI) گروه مطالعات مدل‌سازی و نقشه‌برداری جهانی ^۴(NDVI3g) مشتق شده‌اند و با تفکیک مکانی ۰/۰۸۳° و تفکیک زمانی ۱۵ روزه برای ژوئیه ۱۹۸۱ تا دسامبر ۲۰۱۱ موجود هستند. تفکیک مکانی داده‌های LAI از ۰/۰۸۳° به ۰/۰۸° تغییر یافتند. برای تهیه نقشه بافت خاک از نسخه ۱/۲ پایگاه داده جهانی هماهنگ خاک ^۵(HWSD v1.2) استفاده می‌شود. این پایگاه داده شامل پارامترهای مختلف خاک از جمله درصد رس، شن و سیلت برای دو افق خاک A (صفر تا ۳۰ سانتی‌متر) و افق B (۳۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متر) است و با تفکیک مکانی ۰/۰۵° می‌باشند. از آن‌جا که پارامترهای هیدرولیکی خاک وابسته به بافت خاک هستند، ابتدا داده‌های درصد رس، شن و سیلت از تفکیک مکانی ۰/۰۵° به تفکیک مکانی ۰/۰۸° انتقال یافت. سپس بر اساس طبقه‌بندی بافت خاک وزارت کشاورزی ایالات متحده (USDA) و با استفاده از درصد رس و شن افق‌های A و B خاک، بافت خاک هر یک از دو افق خاک برای نقاط واقع در محدوده مورد مطالعه تعیین شد. نقشه توزیع جغرافیایی بافت افق‌های A و B خاک با تفکیک ۰/۰۸° در گستره حوضه کرخه در شکل‌های ۳ و ۴ نشان داده شده است. همان‌طور که ذکر شد طرح‌واره ALSIS از چهار مدل هیدرولیکی خاک پشتیبانی می‌کند. در این مطالعه از مدل کلپ و هورنبرگر (Clapp and Hornberger, 1978) استفاده شد، زیرا این مدل نسبت به مدل‌های دیگر تعداد پارامتر کم‌تر و شکل ریاضی ساده‌ای دارد و از نظر محاسباتی کارآتر است (Irannejad, 1999). Clapp and Hornberger (1978) داده‌های ۱۴۴۶ خاک را تحلیل کردند و دریافتند که پارامتر مربوط به توزیع اندازه خلل و فرج ($b=1/\lambda$) در توابع نگهداشت آب خاک و قابلیت هدایت هیدرولیکی با

¹ Leaf Area Index

² Climate and Vegetation Research Group

³ Normalized Difference Vegetation Index

⁴ Global Inventory Modeling and Mapping Studies

⁵ Harmonized World Soil Database

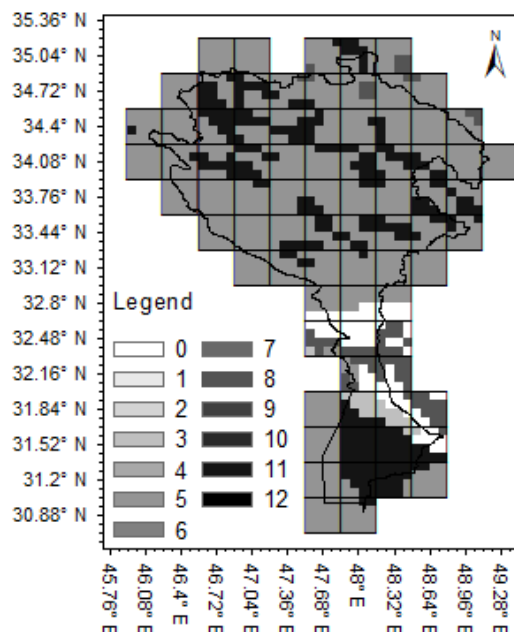
موزائیک و میانگین‌گیری وزنی بر اساس مساحت نسبی موزائیک‌ها است. نقشه شیب زمین با استفاده از نقشه توپوگرافی (شکل ۱) برای تفکیک مکانی 0.08° تهیه شد (شکل ۶) و میانگین شیب برای موزائیک‌های هر یک از یاخته‌ها محاسبه شد.

جدول ۱- پارامترهای هیدرولیکی خاک برای مدل کلاپ-هورنبرگر، شامل: رطوبت اشباع (θ_s)، هدایت هیدرولیکی اشباع (K_s)، پتانسیل ماتریک مقیاس (ψ_s) و پارامتر b (Clapp and Hornberger, 1978)

Table 1- Soil Hydraulic Parameters for Clapp-Hornberger Model, including: Saturation moisture (θ_s), Saturated hydraulic conductivity (K_s), Scale matric Potential (ψ_s) and b parameter (Clapp and Hornberger, 1978).

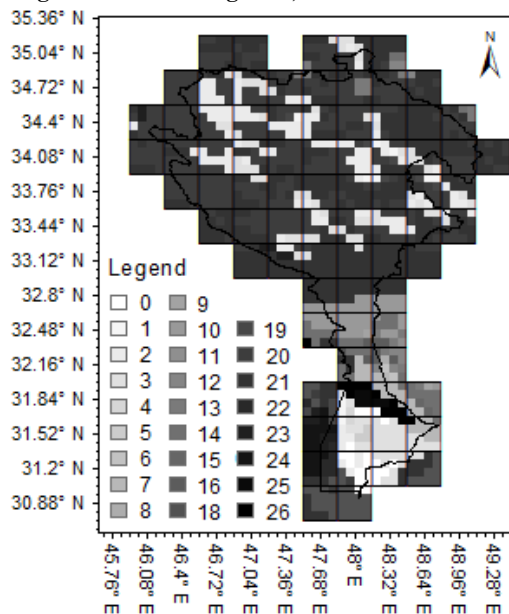
Soil Texture	θ_s ($m^3 m^{-3}$)	K_s ($m s^{-1}$)	ψ_s (m)	b (-)
Sand	0.395	1.76×10^{-3}	-0.0350	4.05
Loamy Sand	0.410	1.56×10^{-3}	-0.0178	4.38
Sandy Loam	0.435	3.47×10^{-5}	-0.0718	4.90
Silty Loam	0.485	7.20×10^{-7}	-0.5660	5.30
Loam	0.451	6.95×10^{-6}	-0.1460	5.39
Sandy Clay Loam	0.420	6.30×10^{-6}	-0.0863	7.12
Silty Clay Loam	0.477	1.70×10^{-6}	-0.1460	7.75
Clay Loam	0.476	2.45×10^{-6}	-0.3610	8.52
Sandy Clay	0.426	2.17×10^{-6}	-0.0616	10.40
Silty Clay	0.492	1.03×10^{-6}	-0.1740	10.40
Clay	0.482	1.28×10^{-6}	-0.1860	11.40

در گام بعد، تعداد موزائیک‌های هر یاخته، کد بافت خاک، کد پوشش زمین، درصد پوشش یاخته توسط هر یک از موزائیک‌های هر یاخته و شیب زمین (بر حسب درجه) به عنوان پارامترهای سطح خشکی مقاردهی شدند. پس از تعیین موزائیک‌ها، سری زمانی LAI برای هر موزائیک، از طریق میانگین‌گیری سری‌های زمانی LAI زیرباخته‌های تشکیل‌دهنده آن موزائیک به دست آمد. سپس تفکیک زمانی LAI به ۳۰ دقیقه تغییر و برای هر یک از موزائیک‌ها استخراج شد. سایر اطلاعات مورد نیاز برای اجرای طرح‌واره شامل تعداد لایه‌های خاک، ضخامت افق A خاک، فاکتور وزنی تجمیع رواناب، گام زمانی محاسبات، زمان آغاز و پایان، نام فایل داده‌های واداشتی، نام فایل اطلاعات سطح خشکی، نام فایل شاخص سطح برگ، نام فایل خروجی، ارتفاع مرجع داده‌های جوی، زبری سطح خاک، گسیلندگی (جذبندگی) تابش موج بلند برای گیاه و خاک، ضریب خاموشی تابش در پوشش گیاهی، ضریب شار آب (زهکشی) در کف عمیق‌ترین لایه خاک و



شکل ۴- مشابه شکل ۳، اما برای بافت افق B خاک

Figure 4- Same as Figure 3, but for soil B horizon

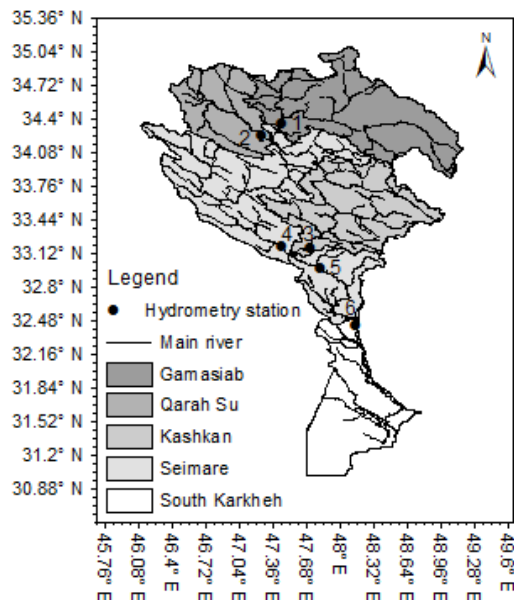


شکل ۵- نقشه توزیع جغرافیایی ترکیب‌های بافت خاک - پوشش زمین با تفکیک 0.08° درجه در محدوده حوضه کرخه

Figure 5- Geographic distribution map of soil texture-land cover combinations with the resolution of 0.08 degree over Karkheh basin

برای تعیین موزائیک‌های هر یاخته، زیر باخته‌های دارای کد ترکیب مشابه به‌عنوان یک موزائیک در نظر گرفته شدند. بنابراین مشاهده می‌شود که در برخی یاخته‌ها فقط یک موزائیک و در برخی تا ۷ موزائیک وجود دارد. علاوه بر تعیین تعداد موزائیک‌ها، درصد پوشش یاخته توسط هر موزائیک نیز محاسبه شد، زیرا محاسبه شارهای هر یاخته مبتنی بر محاسبات مجزا برای هر

کشکان، سیمره و کرخه جنوبی را همراه آبراهه‌های اصلی و شش ایستگاه هیدرومتری پل چهر، قورباغستان، پل دختر، نظرآباد، جلوگیر و پای پل نشان می‌دهد. از آن‌جا که هدف بررسی مقادیر جریان ماهانه است، نیاز به دقت زیادی در پارامترهای مدل روندیابی نیست.



شکل ۷- نقشه موقعیت جغرافیایی زیرحوضه‌های کرخه

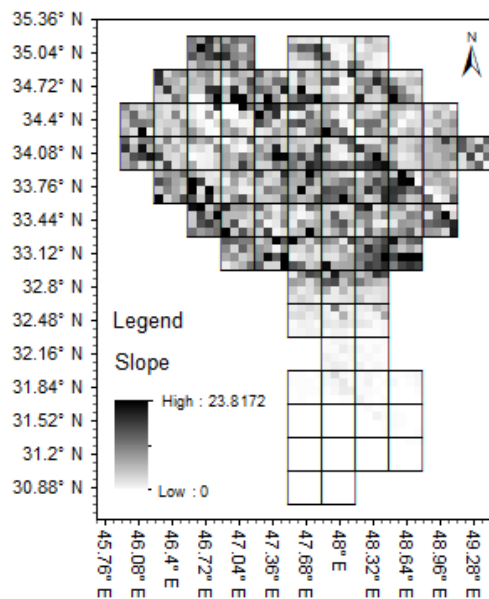
(گاماسیاب، قره سو، کشکان، سیمره و کرخه جنوبی)،

آبراهه‌های اصلی و ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه: ۱) پل چهر، ۲) قورباغستان، ۳) پل دختر، ۴) نظرآباد، ۵) جلوگیر و ۶) پای پل

Figure 7- Geographic location map of Karkheh sub-basins (Gamasiab, Qarah Su, Kashkan, Seimare, South Karkheh), main rivers and studied hydrometric stations: 1) Pol Chehr, 2) Ghurbaghestan, 3) Pol Dokhtar, 4) Nazar Abad, 5) Jelogir and 6) Pay Pol

لذا، مدل روندیابی جریان برای جریان ماهانه عموماً واسنجی نمی‌شود (Lohmann et al., 1996). پارامترهای جهت جریان و فاکتور سهم رواناب از نقشه مدل رقومی ارتفاع به دست می‌آیند و برای سایر پارامترها مانند سرعت جریان، پخشیدگی و هیدروگراف واحد جریان مقادیر قابل قبول فیزیکی بدون واسنجی استفاده می‌شوند. (Lohmann et al., 1996) در مورد جریان ماهانه مقدار $800 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ را برای پخشیدگی و مقدار $1/5 \text{ m s}^{-1}$ را برای سرعت پیشنهاد کردند. سهم هر یک از یاخته‌ها در حجم رواناب حوضه وابسته به نسبتی از مساحت یاخته است که سطح حوضه را پوشش می‌دهد. برای محاسبه این فاکتور، با استفاده از نرم‌افزار ArcMap 10.3، مساحت

فاکتور رواناب زیرسطحی می‌باشند که در فایل اطلاعات طرح‌واره تعریف می‌شوند.



شکل ۶- نقشه توزیع جغرافیایی شیب زمین (بر حسب درجه) با تفکیک ۰/۰۸ درجه در محدوده حوضه کرخه

Figure 6- Geographic distribution map of land slope (in degree) with the resolution of 0.08 degree over Karkheh basin

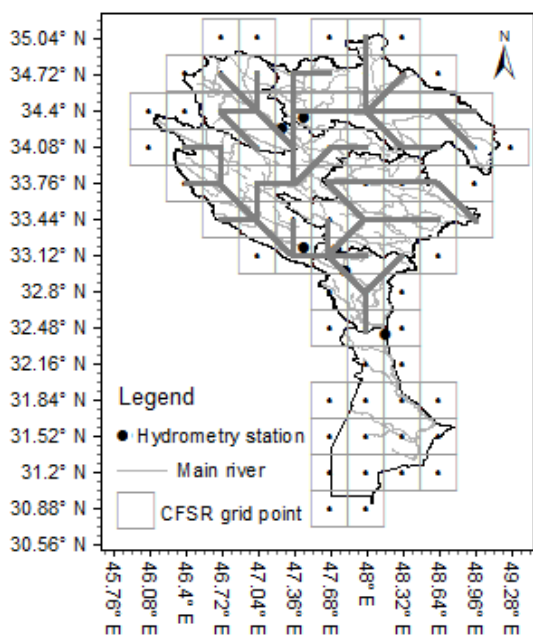
به‌علاوه، شش متغیر شامل ارتفاع آب روی کانویی، ارتفاع برف روی کانویی، ارتفاع برف روی سطح، دمای سطح کانویی، دمای سطح خاک و پارامتر پایداری مونین-ابوخوف^۱ به‌عنوان متغیرهای آغازگری مقداردهی می‌شوند.

واسنجی و صحت‌سنجی طرح‌واره

علاوه بر پارامترهای خاک و پوشش گیاهی که نحوه تعیین آن‌ها در بخش قبل توضیح داده شد، پارامتر بازدهی تبخیر و ضریب فروکش آب زیرزمینی از طریق واسنجی تعیین می‌شود. دوره ۱۹۹۲-۱۹۸۲ برای واسنجی و دوره ۲۰۱۱-۱۹۹۳ برای صحت‌سنجی مدل استفاده می‌شود. مقدار آغازگری رطوبت برابر ظرفیت زراعی و مقدار آغازگری دمای خاک برابر دمای هوا در نظر گرفته شد. سال ۱۹۸۲ به عنوان دوره گرم شدن^۲ مدل در نظر گرفته می‌شود. واسنجی و صحت‌سنجی طرح‌واره از طریق مقایسه جریان رودخانه شبیه‌سازی شده و مشاهده شده شش ایستگاه هیدرومتری در حوضه کرخه انجام می‌شود. شکل ۷ موقعیت زیرحوضه‌های گاماسیاب، قره‌سو،

¹ Monin-Obukhov stability parameter

² Warm-up period



شکل ۹- شبکه جریان آب یاخته‌های بالادست ایستگاه‌های مورد مطالعه

Figure 9- Stream flow network of upstream grid cells of studied stations

نتایج و بحث

نتایج شبیه‌سازی جریان رودخانه

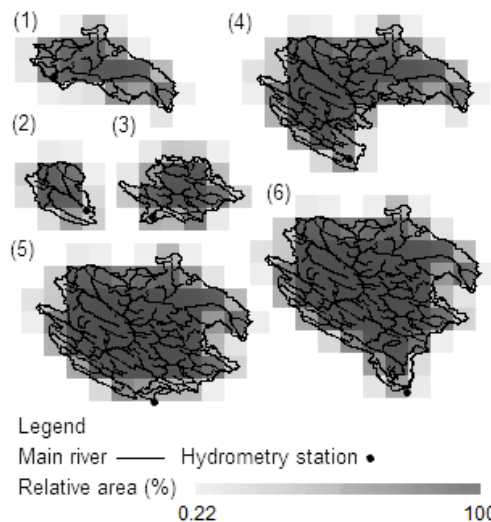
شکل ۱۰ مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده جریان ماهانه رودخانه را برای دوره واسنجی (۱۹۸۳-۱۹۹۲) و صحت‌سنجی (۲۰۱۱-۱۹۹۳) به صورت سری زمانی و نمودار پراکنش برای شش ایستگاه نشان می‌دهد. بررسی چشمی نمودارها نشان می‌دهد که به طور کلی توافق خوبی بین مشاهدات و مقادیر شبیه‌سازی شده وجود دارد. توافق ضعیف بین مشاهدات و مقادیر شبیه‌سازی شده ایستگاه پای پل در نیمه دوم دوره مورد مطالعه علاوه بر خطای داده‌های واداشت جوی و خطای مدل می‌تواند ناشی از عوامل انسانی در بالادست ایستگاه باشد. شاخص‌های آماری عملکرد مدل در شبیه‌سازی جریان رودخانه در جدول ۲ آورده شده است. نتایج حاکی از ضریب همبستگی بالای ۰/۸ برای همه ایستگاه‌ها (غیر از ایستگاه پل‌چهر با ضریب همبستگی ۰/۷۵) برای دوره واسنجی و ضریب همبستگی بالای ۰/۷ برای همه ایستگاه‌ها (غیر از ایستگاه پل‌چهر با ضریب همبستگی ۰/۶۴) در دوره صحت‌سنجی است. به علاوه میزان شاخص NSE برای دوره‌های واسنجی و صحت‌سنجی غیر از ایستگاه پل‌چهر (با مقدار ۰/۵۷ و ۰/۳۷) در سایر

بخشی از حوضه که توسط هر یاخته پوشش داده می‌شود محاسبه و با تقسیم بر مساحت یاخته، فاکتور سهم رواناب هر یاخته به دست آمد. شکل ۸ توزیع فاکتور سهم رواناب یاخته‌ها را برای شش زیرحوضه بر حسب درصد نشان می‌دهد. به علاوه، چون الگوریتم روندیابی جریان همه رواناب هر یاخته در یک جهت از هشت جهت اصلی جریان می‌یابد، با استفاده از نقشه شبکه آبراهه‌های حوضه، جهت جریان برای هر یک از یاخته‌ها تعیین شد. شکل ۹ شبکه جریان آب یاخته‌های بالادست ایستگاه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. ارزیابی آماری عملکرد مدل، از طریق بررسی رابطه همبستگی خطی بین مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده جریان و شاخص کارایی نش- ساتکلیف^۱ (NSE) انجام می‌شود.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n [(S_i - \bar{S})(O_i - \bar{O})]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2 \sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}} \quad (27)$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (28)$$

که S_i و O_i به ترتیب مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده جریان، \bar{S} و \bar{O} مقادیر میانگین متناظر و n تعداد مشاهدات است.



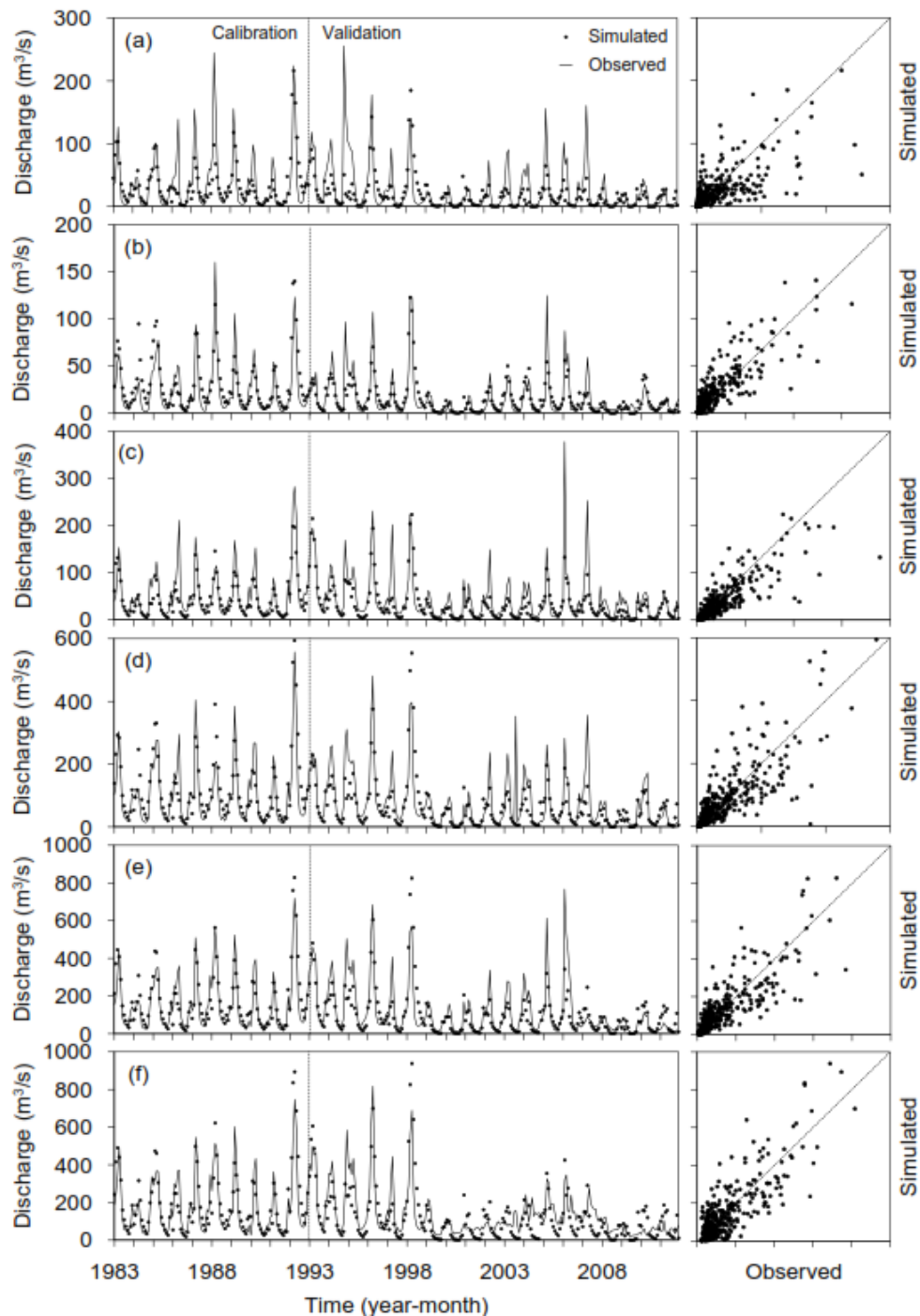
شکل ۸- توزیع جغرافیایی فاکتور سهم رواناب یاخته‌ها در هر یک از شش زیرحوضه بر حسب درصد

Figure 8- Geographic distribution of runoff contribution factor (%) of grid cells over six sub-basins

¹ Nash-Sutcliffe Efficiency

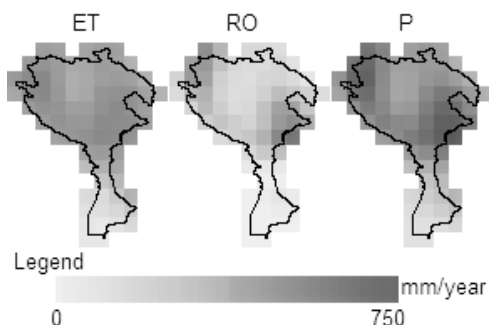
طور کلی، می‌توان نتیجه گرفت که مدل توانایی قابل قبولی در شبیه‌سازی جریان ماهانه رودخانه دارد.

ایستگاه‌ها بیش از ۰/۶ و ۰/۵ است. کاهش قابل ملاحظه شاخص NSE در دوره صحت‌سنجی در ایستگاه پای‌پل ناشی از اثرات حاصل بهره‌برداری از سد کرخه است. به



شکل ۱۰- سری زمانی و نمودار پراکنش مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده جریان ماهانه رودخانه در ایستگاه‌های پل چهر (a)، قورباغستان (b)، پل دختر (c)، نظرآباد (d)، جلوگیر (e) و پای پل (f)

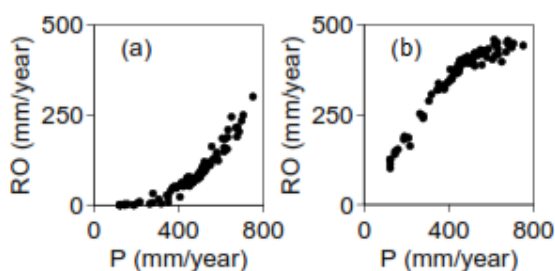
Figure 10- Time series and scatter plots of observed and simulated values of monthly stream flow at stations: Pol Chehr (a), Ghurbaghestan (b), Pol Dokhtar (c), Nazar Abad (d), Jelogir (e) and Pay Pol (f)



شکل ۱۲- توزیع مکانی میانگین بلندمدت سالانه تبخیرتعلق (ET)، رواناب (RO) و بارش (P) بر حسب mm year^{-1} در حوضه کرخه برای دوره ۲۰۱۱-۱۹۸۳

Figure 12- Spatial distribution of long-term annual average of evapotranspiration (ET), runoff (RO) and precipitation (P) (in mm year^{-1}) in Karkheh basin for the period 1983-2011

برای ماه‌های مارس تا سپتامبر مجموع تبخیرتعلق و رواناب بیشتر از بارش است، در حالی که برای ماه‌های اکتبر تا فوریه عکس این حالت رخ می‌دهد. در ماه‌های سپتامبر/ اکتبر خاک کم‌ترین میزان رطوبت را دارد و در ماه‌های فوریه/ مارس بیش‌ترین مقدار رطوبت را دارد که منجر به حداقل و حداکثر شدت رواناب می‌شوند. تغییرات ذخیره رطوبت خاک طی این ماه‌ها نزدیک به صفر است. تبخیرتعلق طی ماه‌های ژوئن-سپتامبر به دلیل خشک شدن خاک به شدت محدود می‌شود. عدم قطعیت مربوط به سایر مؤلفه‌های ترازمندی آب (تغییرات ذخیره رطوبت و تبخیرتعلق) تنها از طریق برآوردهای مستقل از رطوبت خاک یا تبخیرتعلق به وسیله تحلیل ترازمندی جوی قابل بررسی است (Lohmann et al., 1998b). در مقیاس سالانه تغییرات ذخیره رطوبتی خاک نزدیک به صفر است، بنابراین بارش مساوی مجموع رواناب و تبخیرتعلق است.



شکل ۱۳- نمودار پراکنش میانگین بلندمدت سالانه (a) رواناب و بارش و (b) تبخیرتعلق و بارش بر حسب mm year^{-1} برای

همه یاخته‌های حوضه کرخه برای دوره ۲۰۱۱-۱۹۸۳
Figure 13- Scatter plot of long-term annual average of a) Runoff and precipitation and b) evapotranspiration and precipitation (in mm year^{-1}) for all the grid cells of Karkheh basin for the period 1983-2011

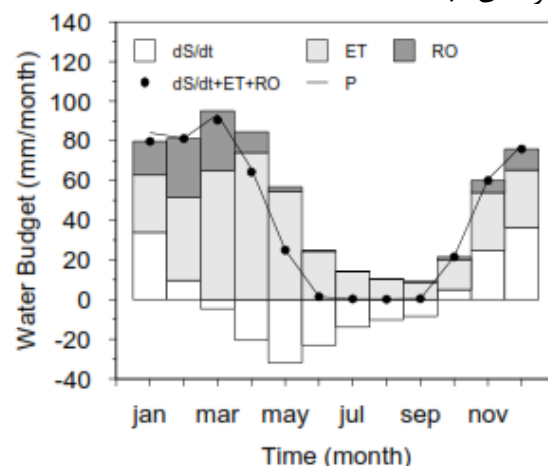
جدول ۲- شاخص‌های آماری عملکرد مدل در شبیه‌سازی جریان رودخانه برای دوره‌های واسنجی، صحت‌سنجی و کل دوره مورد مطالعه در ایستگاه‌های آب‌سنجی (PC: پل چهر، GH: قورباغهستان، PD: پل دختر، N: نظرآباد، J: جلوگیر، P: پای پل)

Table 2- Statistical indices of model performance in simulating the streamflow for the periods of calibration, validation and total studied period at hydrometric stations (PC: Pol Chehr, G: Ghurbaghestan, PD: Pol Dokhtar, N: Nazar Abad, J: Jelogir, P: Pay Pol)

Station	1983-1992		1993-2011		1983-2011	
	r	NSE	r	NSE	r	NSE
PC	0.75	0.57	0.64	0.37	0.70	0.46
G	0.85	0.62	0.84	0.70	0.84	0.67
PD	0.84	0.68	0.81	0.61	0.83	0.64
N	0.85	0.65	0.77	0.55	0.80	0.60
J	0.88	0.74	0.79	0.61	0.83	0.66
P	0.87	0.71	0.79	0.49	0.83	0.60

نتایج ترازمندی آب

تقسیم ماهانه بارش به مؤلفه‌های مختلف ترازمندی آب (تغییرات ذخیره رطوبت خاک، تبخیرتعلق و رواناب) برای یاخته‌های بالادست سد کرخه میانگین‌گیری شد. شکل ۱۱ مقادیر میانگین شدت بارش، تبخیرتعلق، رواناب و تغییرات ذخیره رطوبت خاک را بر حسب mm month^{-1} برای دوره ۲۰۱۱-۱۹۸۳ نشان می‌دهد. انطباق نقاط (مجموع تغییرات ذخیره رطوبت خاک، تبخیرتعلق و رواناب) و خط ممتد (بارش) حاکی از دقت بالای مدل ترازمندی آب است.



شکل ۱۱- مقادیر میانگین ماهانه شدت بارش (P)، تبخیرتعلق (ET)، رواناب (RO) و تغییرات ذخیره رطوبت خاک (dS/dt)

یاخته‌های بالادست سد کرخه برای دوره ۲۰۱۱-۱۹۸۳

Figure 11- Monthly average values of precipitation rate (P), evapotranspiration (ET), runoff (RO) and soil moisture storage changes (dS/dt) in upstream grid cells of Karkheh dam for the period 1983-2011

al., 2001; Wu et al., 2007; Tang and Piechota, 2013; Zhang et al., 2009). Arnell (1995) اظهار داشته که توانایی یک مدل در شبیه‌سازی شارهای گرمای نهان و محسوس با استفاده از مشاهدات رواناب قابل ارزیابی است. بنابراین، از آنجا که شبیه‌سازی رواناب در این مطالعه از دقت قابل قبول برخوردار است، می‌توان استدلال کرد که برآورد تبخیرتعرق نیز قابل قبول است. مقایسه نتایج این مطالعه با مطالعات مشابه در حوضه کرخه بیان‌گر این است که عملکرد مدل هیدرولوژیکی نیمه‌توزیعی HBV¹ بسیار نزدیک به مطالعه حاضر است (Muthuwatta et al., 2009). استفاده از مدل فیزیکی SWAT برای شبیه‌سازی جریان ماهانه رودخانه در زیرحوضه قره‌سو نیز عملکرد مشابهی با مطالعه حاضر داشته است. استفاده از مدل مفهومی HEC-HMS، در مقایسه با مطالعه حاضر، عملکرد بهتری در شبیه‌سازی جریان رودخانه دارد (Davtalab et al., 2017). همچنین، کمترین عملکرد شبیه‌سازی به طور مشابه در ایستگاه پل‌چهر مشاهده شد. عملکرد ضعیف مدل در مناطق کوهستانی تا حد زیادی مربوط به عدم شمول توپوگرافی در شبیه‌سازی‌های ترازمندی انرژی است. علی‌رغم لحاظ کردن شیب متوسط موزائیک‌ها در محاسبات مربوط به رواناب، اثر زاویه و جهت شیب روی میزان تابش ورودی در مدل لحاظ نشده است. این امر می‌تواند سبب خطاهای قابل ملاحظه‌ای در شار گرمای سطحی به ویژه در مناطق دارای شیب‌های رو به جنوب یا رو به شمال شود (Shi, 2012). عامل دیگر خطا می‌تواند مربوط به داده‌های واداشت جوی باشد. با وجود تفکیک زمانی و مکانی بالا، ماهیت شبکه‌ای و نبود خلاء در داده‌های بازتحلیل، وجود اریبی احتمالی در این داده‌ها در مقایسه با مشاهدات منجر به خطا در شبیه‌سازی‌های مدل می‌شود. علی‌رغم امکان استفاده از روش‌های تصحیح اریبی، کاربرد آن‌ها در اهداف مدل‌سازی به دلیل تصحیح اریبی مستقل متغیرها و لحاظ نکردن سازگاری فیزیکی بین متغیرها کارا نیست (Hoffmann and Rath, 2012). لذا، استفاده از روش‌های تصحیح اریبی مبتنی بر سازگاری متغیرها در مطالعات آتی اهمیت دارد. با وجود ماهیت فیزیکی‌تر مدل‌های سطح خشکی، شبیه‌سازی‌های رواناب معمولاً از دقت کافی برخوردار نیستند. نتایج بررسی شبیه‌سازی‌های رواناب طرح‌واره‌های

توزیع مکانی میانگین بلندمدت سالانه تبخیرتعرق، رواناب و بارش برای دوره ۲۰۱۱-۱۹۸۳ در شکل ۱۲ نشان می‌دهد که تبخیرتعرق و رواناب همبستگی بالایی با توزیع بارش دارند. دامنه تغییرپذیری مکانی تبخیرتعرق (حدود 360 mm year^{-1}) از دامنه تغییرپذیری مکانی رواناب (حدود 300 mm year^{-1}) بیش‌تر است. همچنین نمودار پراکنش میانگین بلندمدت سالانه رواناب در مقابل بارش و نمودار پراکنش میانگین بلندمدت سالانه تبخیرتعرق در مقابل بارش (شکل ۱۳) نشان می‌دهد که شیب تغییرات رواناب نسبت به بارش با افزایش بارش افزایش می‌یابد اما در مورد تبخیرتعرق با افزایش بارش شیب تغییرات تبخیرتعرق نسبت به بارش کاهش می‌یابد. دلیل آن این است که در مناطق کم‌باران مهم‌ترین عامل کنترل‌کننده تبخیر-تعرق، بارش و رطوبت خاک است اما در مناطقی از حوضه که میزان بارش زیاد است، عامل کنترل‌کننده تبخیرتعرق میزان انرژی در دسترس است. تغییرپذیری مکانی رواناب که به‌طور عمده در ماه‌های ژانویه-مارس رخ می‌دهد، وابسته به شدت بارش و سرعت پر شدن ذخیره خاک از طریق بارش است. در مناطق پر باران حوضه، ذخیره خاک سریع‌تر پر می‌شود، در حالی که در مناطق کم‌باران پر شدن ذخیره خاک مدت بیشتری به طول می‌انجامد.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه توانایی طرح‌واره برهمکنش جو-سطح خشکی (ALISIS) در شبیه‌سازی جریان ماهانه رودخانه در حوضه کرخه مورد بررسی قرار گرفت. از آنجایی که ناهمگنی سطح خشکی در مقیاس زیربایخته‌ای می‌تواند به طور قابل توجهی بر تبادلات تکانه، انرژی و آب بین سطح خشکی و جو تاثیرگذار باشد، از روش موزائیک برای بیان ناهمگنی سطح خشکی استفاده شد. بررسی نتایج شبیه‌سازی در شش ایستگاه هیدرومتری در سطح حوضه کرخه نشان داد که طرح‌واره ALISIS در پیوند با یک مدل آب زیرزمینی و یک مدل روندیابی جریان، توانایی خوبی در شبیه‌سازی جریان ماهانه رودخانه دارد. از آنجا که جریان رودخانه یک پاسخ تجمعی به فرایندهای هیدرولوژیکی درون حوضه است، می‌تواند به عنوان سنج‌های برای ارزیابی طرح‌واره سطح خشکی در مقیاس‌های مکانی بزرگ در نظر گرفته شود (Nijssen et

¹ Hydrologiska Byråns Vattenbalansavdelning model

منابع

- Arnell, N. W. 1995. River runoff data for the validation of climate simulation models. Oliver, H. R., Oliver, S. A. (Eds.), *The Role of Water and the Hydrological Cycle in Global Change*. Springer, pp. 349-371.
- Arnold, J. G., Srinivasan, R., Muttiah, R. S., Williams, J. R. 1998. Large area hydrologic modeling and assessment part I: Model development. *Journal of American Water Resources Association*, 34(1): 73-89.
- Avissar, R., Pielke, R.A. 1989. A parameterization of heterogeneous land surfaces for atmospheric numerical models and its impact on regional meteorology. *Monthly weather review*, 117(10): 2113-2136.
- Bai, P., Liu, X., Yang, T., Liang, K., Liu, C.H. 2016. Evaluation of streamflow simulation results of land surface models in GLDAS on the Tibetan plateau. *Journal of Geophysics Research*, 121(20): 12180-12197.
- Beven, K. J., Calver, A., Morris, E. M., 1987. *The Institute of Hydrology Distributed Model*. Institute of Hydrology Report 98, Wallingford, UK.
- Broadbridge, P., White, I. 1988. Constant rate infiltration: a versatile non- linear model. 1. Analytic solution. *Water Resources Research*, 24: 145-154.
- Brooks, R.H., Corey, A.T. 1966. Properties of porous media affecting fluid flow. *Journal of Irrigation and Drainage Division*, 92(2): 61-90.
- Campbell, G.S. 1985. *Soil Physics with Basic: transport models for soil-plant systems*. Elsevier, New York, pp. 149.
- Clapp, R.B., Hornberger, G.M. 1978. Empirical equations for some soil hydraulic properties. *Water Resources Research*, 14: 601-604.
- Davtalab, R., Mirchi, A., Khatami, S., Gyawali, R., Massah, A., Farajzadeh, M., Madani, K. 2017. Improving Continuous Hydrologic Modeling of Data-Poor River Basins Using Hydrologic Engineering Center's Hydrologic Modeling System: Case Study of Karkheh River Basin. *Journal of Hydrologic Engineering*, 22(8): 1-13.
- Giorgi, F. 1997. An approach for the representation of surface heterogeneity in land surface models. Part I: Theoretical framework. *Monthly weather review*, 125(8): 1885-1899.
- Giorgi, F., Avissar, R. 1997. Representation of heterogeneity effects in earth system modeling: Experience from land surface modeling. *Reviews of Geophysics*, 35(4): 413-437.
- Hansen, M., DeFries, R., Townshend, J.R., Sohlberg, R. 1998. UMD global land cover
- مختلف سطح خشکی در فاز 2(c) پروژه مقایسه متقابل طرح‌واره‌های پارامترسازی سطح خشکی^۱ (PILPS) نشان می‌دهد که توزیع مکانی رواناب شبیه‌سازی شده از طرح‌واره‌ای به طرح‌واره دیگر کاملاً متفاوت است. شبیه‌سازی‌های رواناب در فصل زمستان و در مناطق خشک معمولاً با بیش‌برآوردهای شدیدی همراه بوده است. با وجود این که هر دو مکانیزم رواناب مازاد اشباع و مازاد نفوذ در طرح‌واره ALSIS لحاظ شده است، استفاده از یک مدل آب زیرزمینی مخازن خطی فرایند برهمکنش آب زیرزمینی و رطوبت خاک را به طور کامل نمایش نمی‌دهد و قادر نیست شرایط مرزی زیرین ناشی از آب زیرزمینی را برای انتقال رطوبت خاک فراهم کند. با این وجود، با توجه به توانایی قابل قبول مدل در شبیه‌سازی رژیم ماهانه مؤلفه‌های ترازمندی آب، می‌توان از آن در مطالعات مبتنی بر مؤلفه‌های ترازمندی آب، مانند محاسبه شاخص شدت خشکسالی پالمر^۲ (PDSI)، استفاده کرد.
- classification, 8 kilometers, 1.0. Department of Geography, University of Maryland, College Park, Maryland.
- Hoffmann, H, Rath, T. 2012. Meteorologically consistent bias correction of climate time series for agricultural models. *Theoretical and Applied Climatology*, 110: 129-141
- Irannejad, P. 1999. Impact of land surface scheme structure on the prediction of soil moisture and surface energy fluxes. University of New South Wales.
- Irannejad, P., Shao, Y. 1998. Description and validation of the atmosphere- land-surface interaction scheme (ALSIS) with HAPEX and Cabauw data. *Global Planetary Change*, 19: 87-114.
- Irannejad, P., Shao, Y. 2002. Land Surface Processes, Peng, G., Leslie, L. M., Shao, Y. (Eds.), *Environmental Modelling and Prediction*, Springer, pp 173-213.
- Khodamorad Pour, M., Irannejad, P., Hajjam, S. 2010. The evaluation of simulated discharge of coupled surface scheme and river routing in numerical weather prediction WRF (Case study Karoon river). *Journal of earth space physics*, 37(1):199-214. (In Farsi)
- Koster, R. D., Suarez, M.J. 1992. Modeling the land surface boundary in climate models as a

¹ Project for Intercomparison of Land-surface Parameterization Schemes

² Palmer Drought Severity Index

- composite of independent vegetation stands. *Journal of Geophysic Research*, 97(3): 2697-2715.
- Liang, X., Lettenmaier, D. P., Wood E. F., Burges, S. J. 1994. A simple hydrologically based model of land surface water and energy fluxes for general circulation models. *Journal of Geophysic Research*, 99(7): 14415-14428.
- Lohmann, D., Lettenmaier, D. P., Liang, X., Wood, E.F., Boone, A., Chang, S., Chen, F., Dai, Y., Desborough, C., Dickinson, R.E., Duan, Q., Ek, M., Gusev, Y.M., Habets, F., Irannejad, P., Koster, R., Mitchell, K.E., Nasonova, O.N., Noilhan, J., Schaake, J., Schlosser, A., Shao, Y., Shmakin, A.B., Verseghy, D., Warrach, K., Wetzel, P., Xue, Y., Yang, Z.L., Zeng, Q.C. 1998a. The Project for Intercomparison of Land-surface Parameterization Schemes (PILPS) phase 2 (c) Red-Arkansas River basin experiment: 3. Spatial and temporal analysis of water fluxes. *Global Planetary Change*, 19(1): 161- 179.
- Lohmann, D., Nolte Holube, R., Raschke. E. 1996. A large-scale horizontal routing model to be coupled to land surface parametrization schemes. *Tellus*, 48: 708-721.
- Lohmann, D., Raschke, E., Nijssen, B., Lettenmaier, D.P. 1998b. Regional scale hydrology: II. Application of the VIC-2L model to the Weser River, Germany. *Hydrological Science Journal*, 43(1):143-158.
- Muthuwatta, L.P., Booij, M.J., Rientjes, T.H.M., Bos, M.G., Gieske, A.S.M., Ahmad, M. 2009. Calibration of a semi-distributed hydrological model using discharge and remote sensing data, Yilmaz, K., Yucel, I., Gupta, H.V., Wagener, T., Yang, D., Savenije, H., Neale, C., Kunstmann, H., Pomeroy, J. (Eds.), *News approaches to hydrological prediction in data sparse regions*. IAHS Press, pp. 52-58.
- Nash, J.E. 1958. The form of the instantaneous unit hydrograph. *IAHS Publ.*, 45: 114-121.
- Nijssen, B., Schnur, R., Lettenmaier, D.P. 2001. Global retrospective estimation of soil moisture using the variable infiltration capacity land surface model, 1980-93. *Journal of Climate*, 14(8): 1790-1808.
- Parviz, L., Kholghi, M., Irannejad, P., Araghinejad, S., Valizadeh, K. 2011. An Assessment of the Integrated Variable Infiltration Capacity and Routing Model in the Sefidrood River Basin. *Journal of Water and Soil*, 25(3): 570-582. (In Farsi)
- Redinger, G.J., Campbell, G.S., Saxton, K.E., Papendick, R.I. 1984. Infiltration rate of slot mulches: measurement and numerical simulation. *Soil Science Society of America Journal*, 48: 982-986.
- Reed, S.M., Koren, V.I., Smith, M., Zhang, Z., Moreda, F., Seo, D.J. 2004. Overall distributed model intercomparison project results. *Journal of Hydrology*, 298(1): 27-60.
- Saha, S., Moorthi, S., Pan, H.L., Wu, X., Wang, J., Nadiga, S., Tripp, P., Kistler, R., Woollen, J., Behringer, D. 2010. The NCEP climate forecast system reanalysis. *Bulletin of American Meteorological Society*, 91(8): 1015.
- Shi, Y. 2012. Development of a land surface hydrologic modeling and data assimilation system for the study of subsurface-land surface interaction. The Pennsylvania State University.
- Singh, V., Woolhiser, D. A. 2002. Mathematical modeling of watershed hydrology. *Journal of Hydrologic Engineering*, 7(4): 270-292.
- Smith, M. B., Seo, D.J., Koren, V. I., Reed, S.M., Zhang, Z., Duan, Q., Moreda, F., Cong, S. 2004. The distributed model intercomparison project (DMIP): motivation and experiment design. *Journal of Hydrology*, 298(1): 4-26.
- Tang, C., Piechota, T.C. 2009. Spatial and temporal soil moisture and drought variability in the Upper Colorado River Basin. *Journal of Hydrology*, 379(1): 122-135.
- van Genuchten, M.T.H. 1980. A close-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of America Journal*, 44: 892-898.
- Wieder, W., Boehnert, J., Bonan, G., Langseth, M. 2014. RegridDED Harmonized World Soil Database v1. 2, Data set. Available on-line [<http://daac.ornl.gov>] from Oak Ridge National Laboratory Distributed Active Archive Center, Oak Ridge, Tennessee, USA.
- Wood, E.F., Lettenmaier, D.P., Liang, X., Lohmann, D., Boone, A., Chang, K.S., Chen, F., Dai, Y., Dickinson, R.E., Duan, Q., Ek, M., Gusev, T.M., Habets, F., Irannejad, P., Koster, R., Mitchel, K.E., Nasonova, O.N., Noilhan, J., Schaake, J., Schlosser, A., Shao, Y., Shmakin, A.B., Verseghy, D., Warrach, K., Wetzel, P., Xue, Y., Yang, Z.L., Zeng, Q.C. 1998. The Project for Intercomparison of Land-surface Parameterization Schemes (PILPS) Phase 2(c) Red-Arkansas River basin experiment: 1. Experiment description and summary intercomparisons. *Global Planetary Change*, 19(1): 115-135.
- Wu, Z., Lu, G., Wen, L., Lin, C.A., Zhang, J., Yang, Y. 2007. Thirty five year (1971-2005) simulation of daily soil moisture using the variable infiltration capacity model over China. *Atmosphere-ocean*, 45(1): 37-45.
- Yang, Z. L. 2004. Modeling land surface processes in short-term weather and climate studies. *World Scientific Series on Meteorology of east*

- Asia, Zhu, X., Li, X., Cai, M. Zhou, S. Zhu, Y., Jin, F.-F., Zou, X., Zhang, M. (Eds.), World Scientific, New Jersey, pp. 288–313.
- Yeh, G. T., Huang, G. B., Cheng, H. P., Zhang, F., Lin, H. C., Edris, E., Richards, D. 2006. A first-principle, physics-based watershed model: WASH123D. Singh, V. P., Frevert, D. K. (Eds.), Watershed Models, CRC Press, Boca Raton, Florida, pp. 211–244.
- Zhang, B., Wu, P., Zhao, X., Wang, Y., Gao, X., Cao, X. 2013. A drought hazard assessment index based on the VIC-PDSI model and its application on the Loess Plateau, China. Theoretical and Applied Climatology, 114(1): 125-138.
- Zhu, Z., Bi, J., Pan, Y., Ganguly, S., Anav, A., Xu, L., Samanta, A., Piao, S., Nemani, R.R., Myneni, R.B. 2013. Global data sets of vegetation leaf area index (LAI)3g and Fraction of Photosynthetically Active Radiation (FPAR)3g derived from Global Inventory Modeling and Mapping Studies (GIMMS) Normalized Difference Vegetation Index (NDVI3g) for the period 1981 to 2011. Rem. Sens., 5(2): 927-948.



پیش‌بینی فصلی به روش تلفیقی بازنمونه‌گیری k-نزدیک‌ترین همسایه و مدل CERES-Wheat

در کشت گندم دیم

سید بهرام اندرزیان^{۱*}، ایمان بابائیان^۲، سید بهنام اندرزیان^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۱/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۱۳

چکیده

اطلاع از شرایط آب و هوایی فصل پیش رو امکان اتخاذ راهبردهای مدیریتی متناسب در مزرعه را فراهم ساخته و در کاهش هزینه‌ها و ریسک تولید نقش مهمی ایفا نماید. در این مطالعه، به منظور پیش‌بینی فصلی عوامل جوی و انتخاب دو گزینه مدیریت زراعی (تاریخ کاشت و مصرف نیتروژن) برای فصل آبی در شهرستان ایذه در استان خوزستان، از روش k-نزدیک‌ترین همسایه (k-NN) اصلاح شده و مدل شبیه‌ساز رشد و نمو گندم CERES-Wheat استفاده شد. نتایج نشان داد که روش k-NN برای پیش‌بینی شرایط آب و هوایی و مدل CERES-Wheat جهت شبیه‌سازی عملکرد گندم از دقت مناسبی برخوردارند. از تلفیق روش پیش‌بینی فصلی k-NN با مدل CERES-Wheat تاریخ کاشت مناسب گندم دیم در منطقه مطالعاتی، بین ۵ آبان تا اوایل آذر تعیین شد. مقدار نیتروژن مصرفی در سال‌های کم‌باران و سال‌های نرمال به ترتیب ۵۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار پیشنهاد می‌گردد. این رهیافت می‌تواند به عنوان یک ابزار پشتیبان تصمیم در مدیریت زراعت دیم پیش از آغاز سال فصل زراعی در سایر مناطق اقلیمی مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: پیش‌بینی فصلی، زراعت دیم، گرمایش جهانی، گندم، مدل‌های گیاهی

مقدمه

شرایط آب و هوایی از مؤلفه‌های اصلی و اساسی است که رشد و عملکرد گیاهان را بالاخص در شرایط دیم شدیداً تحت تأثیر قرار می‌دهد (Asseng et al., 2012). بررسی‌ها نشان داده‌اند که شرایط آب و هوایی تعیین‌کننده چگونگی مدیریت در سطح مزرعه است (Semenov et al., 2007; Domunt et al., 2015). تغییرات آب و هوایی از یک فصل به فصل دیگر حتی برای یک منطقه خاص، مدیریت مزرعه را تحت تأثیر قرار داده و امکان مدیریت یکسان در فصول مختلف را منتفی ساخته و ایجاب می‌نماید که متناسب با شرایط آب و هوایی هر فصل مدیریت خاص آن فصل را اعمال نمود (Domunt et al., 2015). به کارگیری راه‌کارهای مدیریتی (مانند تاریخ کاشت، مدیریت نیتروژن، تناوب زراعی، آبیاری تکمیلی) متناسب با شرایط آب و هوایی هر فصل مستلزم آگاهی از شرایط آب و هوایی فصل پیش رو است تا با در اختیار داشتن زمان کافی قبل از وقوع شرایط مطلوب و یا شرایط نامساعد آب و هوایی تصمیم مقتضی را اتخاذ نمود (Capa-Morocho et al., 2016)، تا بتوان علاوه بر دستیابی به منافع تحت شرایط مطلوب، اثرات ریسک را برای شرایط نامساعد نیز کاهش داد (Mavromatis, 2016). تلفیق مدل‌های پیش‌بینی فصلی و مدل‌های شبیه‌ساز رشد و عملکرد گیاهان، توانسته است به عنوان یک سیستم پیش‌آگاهی به تولیدکنندگان، صنایع وابسته به کشاورزی، شرکت‌های بیمه محصولات کشاورزی و مسئولین دولتی در تصمیم‌سازی و تصمیم‌گیری کمک شایانی نماید (Mavromatis, 2016; Capa-Morocho et al., 2016). (Marletto et al., 2007). دو روش پیش‌بینی فصلی شامل مولد تصادفی شرایط آب

شرایط آب و هوایی از مؤلفه‌های اصلی و اساسی است که رشد و عملکرد گیاهان را بالاخص در شرایط دیم شدیداً تحت تأثیر قرار می‌دهد (Asseng et al., 2012). بررسی‌ها نشان داده‌اند که شرایط آب و هوایی تعیین‌کننده چگونگی مدیریت در سطح مزرعه است (Semenov et al., 2007; Domunt et al., 2015). تغییرات آب و هوایی از یک فصل به فصل دیگر حتی برای یک منطقه خاص، مدیریت مزرعه را تحت تأثیر قرار داده و امکان مدیریت یکسان در فصول مختلف را منتفی ساخته و ایجاب می‌نماید که متناسب با شرایط آب و هوایی هر فصل مدیریت خاص آن فصل را اعمال نمود (Domunt et al., 2015).

^۱ استادیار بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران

*نویسنده مسئول: bahramandarzian@yahoo.com

DOI: 10.22125/agmj.2019.128547.1011

^۲ استادیار پژوهشکده اقلیم‌شناسی، مشهد

^۳ دانشجوی کارشناسی ارشد امنیت سایبری، دانشگاه اصفهان

و سپس با اجرای مدل APSIM مدیریت مصرف کود نیتروژن (مقدار و زمان مصرف) را برای گندم دیم توصیه نمودند. (Marletto et al., 2007) برای پیش‌بینی فصلی عملکرد جهت تصمیم‌سازی و کمک به تصمیم‌گیران دولتی و شرکت‌های تجاری از تلفیق مدل اقلیمی DEMETER و مدل گیاهی WOFOST استفاده نمودند. در این روش تا دو ماه قبل از برداشت از داده‌های سال‌های گذشته استفاده کردند و داده‌های دو ماه باقی‌مانده را با استفاده از پیش‌بینی فصلی تولید نمودند. برای پیش‌بینی فصلی از روش‌های متفاوتی مانند مولدهای تصادفی داده‌های آب و هوایی (که مبتنی بر آمار پارامتری هستند) و مدل‌های اقلیمی جهانی یا منطقه‌ای GCM/RCM استفاده می‌شود. مولد داده‌های آب و هوایی (مانند LARS-WG) نوعاً از بارش به عنوان متغیر پیش‌ران استفاده می‌نمایند. در این مدل‌ها زمان وقوع و مقدار بارش به طور مستقل تولید شده، سپس متغیرهای دیگر آب و هوا بر مبنای بارش به طور تصادفی تولید می‌شوند. نقطه ضعف این نوع مدل‌ها عدم شبیه‌سازی حوادث حدی مانند خشکی یا بارندگی طولانی (سیل) است (Sharif and Burns, 2005; Bannayan and Hoogenboom, 2007). مدل‌های جهانی یا منطقه‌ای داده‌های آب و هوایی را در مقیاس‌های مکانی و زمانی ارائه می‌نمایند که برای مدل‌های رشد گیاهان زراعی (که در سطح مزرعه و بر اساس داده‌های روزانه آب و هوا شبیه‌سازی می‌نمایند) دارای دقت کافی نیستند. این مدل‌ها داده‌های فصلی آب‌وهوایی را در مقیاس ماهانه و به صورت کیفی (نرمال، نزدیک نرمال و پائین تر از نرمال) پیش‌بینی می‌نمایند. به‌کارگیری خروجی این مدل‌ها برای مدل‌های شبیه‌سازی رشد و عملکرد گیاه، مستلزم ریزمقیاس نمودن این نوع داده‌های آب و هوایی است (Semenov et al., 2007; Capa-Morcho et al., 2016; Klemm and Mcpherson, 2017). استفاده از روش‌های آمار ناپارامتری برای پیش‌بینی فصلی تا حدودی محدودیت‌های فوق‌الذکر را ندارد. در این روش هیچ‌گونه فرضی درباره توزیع هر یک از متغیرهای آب و هوایی و وابستگی آن‌ها به یکدیگر لحاظ نشده است (Brandsma and Konnen, 2006). یکی از این روش‌ها روش بازنمونه‌گیری k -نزدیک‌ترین همسایه^۳ (k-NN) است که از تشخیص الگوی آماری ناپارامتری

و هوا به نام predictWDT و نمونه‌گیر پیش‌بینی احتمال به نام FRersampler را با مدل گیاهی^۱ CERES-Wheat برای پیش‌بینی بارندگی طی سه فصل و اثرات آن‌ها بر عملکرد گندم دیم و ذرت آبی مورد ارزیابی قرار دادند و نتیجه گرفتند که هر دو روش پیش‌بینی فصلی نتایج خوبی را برای مدیریت مزرعه ارائه نمودند. Roel and Baethegan (2007) برای پیش‌بینی فصلی عملکرد برنج در اروگوئه، فازهای مختلف ENSO^۲ شامل گرم، سرد و خنثی را به مدل شبیه‌ساز رشد گیاه داده و عملکرد را شبیه‌سازی نمودند. آن‌ها نتیجه گرفتند اگرچه مدل عملکردها را کم‌تر از مقادیر واقعی پیش‌بینی نمود، لیکن ضرایب همبستگی بالایی برای هر سه فاز شبیه‌سازی به دست آمد ($r=0.78$ تا $r=0.9$). (Zinyanger et al., 2011). پنج فاز ENSO (النینو- نوسانات جنوبی) شامل مثبت، خنثی، افزایشی و کاهش‌ی را به عنوان ورودی به مدل اقلیمی Rainman دادند تا پیش‌بینی فصلی را برای فازهای ذکر شده در زیمبابوه پیش‌بینی نمایند. سپس خروجی‌های حاصل را به عنوان ورودی به مدل AquaCrop دادند تا عملکردهای ذرت را شبیه‌سازی نماید. آن‌ها این روش را به عنوان یک ابزار تصمیم‌یار برای تعیین زمان شروع کشت ذرت معرفی نمودند. Semenov et al., (2007) برای پیش‌بینی فصلی مراحل فنولوژیکی و عملکرد گیاهان زراعی از تلفیق دو مدل، یکی مدل مولد داده‌های آب‌وهوایی (LARS-WG) و مدل رشد گیاه (Sirius) استفاده نمودند. روش آن‌ها مبتنی بر این بود که داده‌های آب‌وهوایی فصل تا زمان پیش‌بینی به صورت داده‌های اندازه‌گیری شده تهیه شده، سپس مدل LARS-WG بر اساس داده‌های اندازه‌گیری شده سال جاری و داده‌های ثبت شده سال‌های گذشته به صورت تصادفی داده‌های فصل پیش رو را تولید می‌کرد. سپس داده‌های تولید شده به عنوان ورودی به مدل Sirius وارد و مدل مراحل فنولوژیکی و عملکرد را برای فصل پیش رو پیش‌بینی می‌کرد و هر چه به پایان فصل رشد نزدیک‌تر می‌شدند به علت جایگزین شدن داده‌های اندازه‌گیری شده واقعی، عدم قطعیت پیش‌بینی‌ها کم‌تر می‌شد. Asseng et al., (2012) با استفاده از مدل اقلیمی POAMA بارش فصلی را در مناطقی از استرالیا پیش‌بینی

^۱ Crop estimation through resources and environment synthesis

^۲ El Niño-Southern Oscillation

^۳ k-Nearest Neighbor Resampling

عنوان عامل اصلی و سه رقم گندم کریم، دهدشت و کوهدهشت (که برای کشت در مناطق دیم توصیه شده‌اند) به عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد. در طی دره رشد گیاه داده‌های موردنیاز نظیر، مراحل فنولوژیکی، روند توسعه سطح برگ، روند تجمع ماده خشک اندام‌های هوایی یادداشت‌برداری و اندازه‌گیری شد. در پایان دوره رشد عملکرد و اجرا عملکرد اندازه‌گیری و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. بر اساس نتایج از بین سه رقم، رقم برتر (دهدشت) انتخاب و به عنوان ژنوتیپ گندم مورد نظر به مدل داده شد تا واسنجی و پارامترهای رشدی آن برآورد گردید.

پیش‌بینی فصلی از طریق تعیین سال آنالوگ (مشابه) به روش باز نمونه‌گیری K- نزدیک‌ترین

همسایه توسط نرم‌افزار Weather Analogue

روش K- نزدیک‌ترین همسایه به شرح مراحل شکل ۱ اجرا می‌شود.

الف- یک بردار شامل خصوصیات داده‌های مشاهده‌شده سال هدف (تابش خورشیدی، بارش و درجه حرارت‌های حداقل و حداکثر) تشکیل شد.

ب- همه روزها درون یک پنجره متحرک به پهنای w و مرکزیت روز t قرار گرفتند تا روز بعد $(t+1)$ پیش‌بینی شود. برای مثال یک پنجره زمانی ۱۵ روزه برای اول آذر نیاز به داده‌های ۲۳ آبان تا ۷ آذر دارد. به جز داده‌ها برای روز t از داده‌های سال‌های گذشته مشابه مطالعات (Yates et al., 2003) و (Gangopadhyay and Rajagopalan, 2005) یک پنجره ۱۵ روزه یعنی ۷ روز قبل $(K=7)$ و ۷ روز بعد $(K=7)$ در این پژوهش استفاده گردید. بنابراین برای n روز به عنوان پنجره متحرک و t روزهای یک سال با Z متغیر آب و هوایی یک ماتریس توسعه داده شد که دارای $n \times t$ ردیف و Z ستون است. لازم به یادآوری است Z بسته به تعداد متغیرهای آب و هوایی که می‌خواهند هم‌زمان استفاده شوند می‌تواند تغییر کند. در این تحقیق Z معادل چهار متغیر شامل تابش خورشیدی، بارش، درجه حرارت‌های حداکثر و حداقل است. ساختار ماتریس داده‌ها در معادله ۱ ارائه شده است.

$$[A]_{n \times 4}^f = \begin{bmatrix} a_{1,1} & \dots & a_{1,4} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n,t} & \dots & a_{n,t} \end{bmatrix} \quad (1)$$

مشتق شده و برای تشخیص یک الگوی هدف از بین الگوهای مختلف مطابق با معیار انتخاب استفاده می‌شود. در این روش فرض بر این است که فصل پیش رو می‌تواند تکراری از همین فصل در یکی سال‌های گذشته باشد که داده‌های آن ثبت گردید (Bannayan and Hoogenboom, 2007). هدف از این تحقیق استفاده از روش بازنمونه‌گیری k - نزدیک‌ترین همسایه $(K-NN)$ برای پیش‌بینی فصلی و به‌کارگیری داده‌های پیش‌بینی فصلی برای شبیه‌سازی رشد و نمو گیاه در طی فصل پیش رو و به‌کارگیری راه‌کارهای مدیریت مزرعه برای دستیابی به عملکرد بیشتر و یا کاهش ریسک تولید گندم در شرایط دیم به عنوان معرفی یک روش برای مطالعات مشابه در آینده است.

مواد و روش‌ها

داده‌های آب و هوایی

داده‌های آب و هوایی ایستگاه سینوپتیک شهرستان ایزه (عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۵۰ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۵۲ دقیقه شرقی و ارتفاع از سطح دریا ۷۶۰ متر) از سال ۱۳۷۲ تا ۱۳۹۵ (۲۳) سال تهیه و بعد از بررسی و رفع نواقص به فرمت مورد نیاز تبدیل و به مدل داده شد تا توانایی تکنیک $K-NN$ در پیش‌بینی الگوی فصل پیش رو ارزیابی شود. در این بررسی ارزیابی برای سال‌های زراعی ۹۲-۱۳۹۱ و ۹۳-۱۳۹۲ و ۹۴-۱۳۹۳ انجام گردید. همچنین برای ارزیابی آماری، متوسط ماهانه متغیرهای آب و هوایی (بارندگی درجه حداقل و حداکثر و تابش خورشیدی) محاسبه و سپس با استفاده از رگرسیون یک به یک و جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده $(N-RMSE)$ توانایی تکنیک در تشخیص الگوی فصلی مورد ارزیابی قرار گرفت.

آزمایش مزرعه‌ای

به منظور واسنجی و صحت‌سنجی مدل CERES-Wheat برای شبیه‌سازی و رشد و نمود عملکرد گندم در طی فصل پیش رو (فصل پیش‌بینی شده) و تعیین راه‌کارهای مناسب مدیریت مزرعه (تاریخ کاشت و نیتروژن) یک آزمایش مزرعه‌ای در قالب کرت‌های خرد شده در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ اجرا گردید. در این آزمایش سه تاریخ کاشت ۱۵ آبان، ۱ آذر و ۱۵ آذر به

انتخاب می‌شود. اگر $u \leq p_k$ سپس روز مطابق با d_k انتخاب می‌شود. برای $p_1 < u < p_k$ ، روز t مطابق با d_j برای آن u انتخاب می‌شود که به p_j نزدیک‌تر باشد.

۵- پس از پردازش با استفاده از میانگین و انحراف استاندارد داده‌های مشاهده شده سال مشابه انتخاب شده از مقادیر استاندارد شده به مقادیر اولیه‌شان تغییر شکل می‌یابند.

توصیف مدل رشد و نمو گندم

مدل CERES-Wheat قادر است تأثیر عوامل محیطی مانند آب و هوا، خصوصیات خاک و همین‌طور تصمیمات مدیریتی مزرعه را ارزیابی نماید. این مدل مراحل فنولوژی، تجمع و تسهیم ماده خشک، شاخص سطح برگ، رشد ریشه، ساقه، برگ و دانه و همچنین توازن رطوبت و نیتروژن خاک، میزان مصرف آب و نیتروژن گیاه و تنش‌های آب و نیتروژن را شبیه‌سازی می‌نماید (Jones et al., 2003). بخش‌های اصلی مورد استفاده در ساختن مدل CERES-Wheat به شرح ذیل است.

بخش فتوسنتز

تولید ماده خشک از طریق حاصل ضرب تشعشع فعال فتوسنتزی جذب شده (PAR) در ضریب تبدیل (کارایی تشعشع فعال فتوسنتزی) محاسبه می‌شود. تشعشع جذب شده (IPAR) با استفاده از معادله ۵ محاسبه می‌گردد.

$$\begin{aligned} PAR &= 0.45 \times R \\ IPAR &= PAR \times (1 - \exp(-0.85 \times LAI)) \end{aligned} \quad (5)$$

که LAI شاخص سطح برگ و R تشعشع ورودی کل حسب مگاژول بر متر مربع می‌باشد. سپس تولید ماده خشک با استفاده از معادله ۶ محاسبه می‌شود.

$$\begin{aligned} PCARB &= 7.5 \times IPAR^{0.6} \\ ARBO &= PCARB \times K \end{aligned} \quad (6)$$

که $PCARB$ تولید ماده خشک پتانسیل، $ARBO$ تولید ماده خشک واقعی (هر دو حسب گرم در متر مربع) می‌باشد و K فاکتور تنش آب و نیتروژن است که بسته به شدت تنش بین ۰ تا ۱ تغییر می‌کند.

بخش تعرق

این قسمت از مدل تولید ماده خشک را به مصرف آب گیاه متصل می‌نماید، به صورت معادله ۷ است.

$$Y = T \times \frac{Y_p}{T_p} \quad (7)$$

که j و i مقدار متغیر آب و هوایی برای اندیس زمان i ($i=1, \dots, nt$) و متغیر آب و هوایی j ($j=1, \dots, 4$) است.

ج- برای این که متغیرها بدون بعد شوند و تغییر فصلی کاهش یابد، داده‌ها به متغیرهای استاندارد شده تبدیل می‌شوند (Brandsma and Buishand, 1998). در این مطالعه مطابق معادله ۲ برای هر سال از سال‌های آب و هوایی گذشته داده‌های روزانه هر متغیر از میانگین سالانه آن (m_d) کسر و بر انحراف استاندارد سالیانه (s_d) تقسیم گردید.

$$x_{st} = (x_{it} - m_d) / s_d \quad (2)$$

که x_{st} و x_{it} به ترتیب متغیر اولیه و استاندارد شده برای روز t هستند.

د- فاصله اقلیدسی d_j بین بردار خصوصیات آب و هوایی روز جاری و بردار داده‌های مشاهده شده برای هر ۱۵ روز از هر یک از سال‌های گذشته با استفاده از معادله ۳ محاسبه می‌شود.

$$d_j = \sqrt{\sum_{j=1}^d W_j (V_{ij} - V_{mj})^2} \quad (3)$$

d_j فاصله اقلیدسی است، V_{ij} و V_{mj} مؤلفه‌های j ام هر یک از بردارها (خصوصیات فصل پیش رو و سال‌های گذشته) هستند. d تعداد متغیرهای آب و هوایی است و W_j وزن‌های مقیاس ($1/s_j$) هستند که s_j انحراف استاندارد داده‌های مشاهده شده است. نزدیک‌ترین همسایه بر اساس فواصل اقلیدسی و اوزان احتمال تخصیصی برای زیرمجموعه‌ای از فواصل k از کم‌ترین به بیش‌ترین فاصله اقلیدسی بردار خصوصیات انتخاب می‌شود. فاصله اقلیدسی d_j ، به ترتیب صعودی ذخیره می‌شوند و k نزدیک‌ترین همسایه اول نگه داشته می‌شود. هدف نهایی انتخاب سال‌های k است که بیش‌ترین شباهت را با سال هدف، برای همه روزهای پیش‌بینی شده دارد.

و- اوزان همسایه‌های k بر مبنای فاصله رتبه‌شان از مقدار وزن هدف است. و بر اساس معادله ۴ محاسبه می‌شود.

$$p_j = \frac{1/j}{\sum_{j=1}^k 1/j}, j=1, \dots, k \quad (4)$$

که Z رتبه سال‌های گذشته در ترتیب صعودی است. تابع وزنی وزن هر یک از K -NNها را تعیین می‌کند. به طوری که به همسایه با کوتاه‌ترین فاصله بیش‌ترین وزن تخصیص داده می‌شود. سپس یک شماره تصادفی یکسان (u 0 و 1) تولید می‌شود. اگر $u \geq p$ سپس روز مطابق با فاصله d_1

حداقل و حداکثر، تشعشع خورشیدی و مقدار بارندگی)، اطلاعات خاک‌شناسی (بافت خاک، ساختمان خاک، تعداد و عمق هریک از لایه‌ها، وزن مخصوص ظاهری، عناصر غذایی و ظرفیت نگهداری، نقطه پژمردگی، عمق نفوذ ریشه، میزان EC و pH) و اطلاعات عملیات زراعی (نوع رقم و تیپ آن، تاریخ کاشت، عمق کاشت، فاصله خطوط، تراکم کاشت، تاریخ‌های آبیاری، مقدار آب آبیاری) بودند.

داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز برای واسنجی و بررسی

صحت مدل

این اطلاعات شامل تاریخ‌های جوانه‌زنی، پنجه‌زنی، ساقه‌دهی، گلدهی، شروع پرشدن دانه، رسیدگی فیزیولوژیک، اطلاعات مربوط به حداقل سه نمونه برداری شاخص سطح برگ و ماده خشک در طول دوره رشد و نمو، عملکرد دانه، ماده خشک کل، شاخص برداشت، وزن هزار دانه، تعداد دانه در سنبله و تعداد برگ می‌باشند.

واسنجی مدل CERES-Wheat

واسنجی مدل معمولاً تعیین ضرایب ژنتیکی (Genotype File) برای رقم مورد کشت است به نحوی که مراحل فنولوژی، رشد و عملکرد اندازه‌گیری شده با شبیه‌سازی شده کم‌ترین تفاوت با یکدیگر را داشته باشند.

حساسیت به ورنالیزاسیون (PIV): ضریب PIV برای تعیین میزان حساسیت ارقام گندم به ورنالیزاسیون به کار می‌رود. گیاهانی که ورنالیزه (بهاره‌سازی) نمی‌شوند نمو آن‌ها به تأخیر می‌افتد. ضریب PIV تأخیر در نمو گیاه به ازای هر روز تأمین نشدن نیاز ورنالیزاسیون (روز) را نشان می‌دهد. به طوری که هر چه نیاز سرمایی رقم بیش‌تر باشد، PIV به ازای هر روز برآورده نشدن نیاز ورنالیزاسیون، مقدار بیش‌تری خواهد شد.

حساسیت به فتوپریود (PID): در ارقام مختلف گندم اختلافات ژنتیکی از نظر حساسیت به طول روز وجود دارد و میزان تأخیر در نمو گندم در صورت عدم تأمین طول روز مطلوب، بستگی به حساسیت رقم به فتوپریود خواهد داشت. ضریب PID میزان تأخیر در نمو گندم را به ازای قرار گرفتن گیاه در فتوپریودی با یک ساعت کوتاه‌تر از فتوپریود مطلوب نشان می‌دهد.

P5: ضریب P5 طول دوره پرشدن دانه را براساس درجه-روز نشان می‌دهد.

که Y ماده خشک واقعی، Y_p ماده خشک پتانسیل، T تعرق واقعی و T_p تعرق پتانسیل است.

بخش رشد برگ و پنجه‌زنی

سطح برگ یکی از مؤلفه‌های مهم و مؤثر بر نور دریافتی و تولید ماده خشک است. مدل سطح برگ ساقه اصلی را محاسبه نموده و سپس بر مبنای تعداد پنجه در گیاه آن را تعدیل می‌نماید. سرعت ظهور برگ به عنوان تابعی از درجه حرارت بین ۰ تا ۲۶ درجه سانتی‌گراد است و سرعت رشد سطح برگ به عنوان تابعی از درجه حرارت و فیلوکرون (فاصله زمانی بین ظهور دو برگ متوالی) محاسبه می‌شود. سپس زوال برگ، رشد سنبله و پر شدن دانه با استفاده از معادلاتی که براساس درجه حرارت، فیلوکرون و تنش آب هستند، محاسبه می‌شوند.

زیرمدل توازن آب خاک

این زیرمدل در برگ‌برنده مقدار کمی آب خاک است که این مقدار آب برآیند آب آبیاری و بارندگی ورودی، تبخیر و تعرق خروجی، رواناب و زهکشی از پروفیل خاک می‌باشد. در مدل، توازن رطوبت خاک تا ۱۰ لایه خاک منظور گردیده است و کاربر باید عمق هر لایه را مشخص نماید.

زیرمدل بویایی نیتروژن

در مدل CERES-Wheat این زیرمدل طوری طراحی شده که فرآیندهای تلفات نیتروژن (شستشو از خاک، تلفات گازی) و معدنی شدن نیتروژن را شبیه‌سازی می‌نماید. این مدل جذب نیتروژن توسط گیاه و کارایی مصرف نیتروژن را توصیف می‌کند. غیر متحرک شدن نیتروژن، نیتریفیکاسیون و دنیتریفیکاسیون، هیدرولیز دوره و تلفات نیترات بر اثر حرکت آب در خاک را نیز شبیه‌سازی می‌نماید. این زیرمدل مصارف کودها، جذب نیتروژن توسط اندام‌های مختلف گیاه، توزیع مجدد نیتروژن در طی رشد دانه را نیز در برمی‌گیرد.

داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز برای اجرای مدل

داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز برای اجرای مدل شامل داده‌های موقعیت مکانی (طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع از سطح دریا، میانگین درجه حرارت سالانه)، اطلاعات هواشناسی (داده‌های روزانه مربوط به درجه حرارت

$$d = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i - O_{iavg}|) + (|O_i - O_{iavg}|)^2} \quad (10)$$

که P_i و O_i به ترتیب مقادیر پیش‌بینی شده و مشاهده شده، n تعداد مشاهدات و O_{iavg} میانگین مقادیر مشاهده می‌باشد.

کاربرد مدل برای پیش‌بینی فصلی و راه‌کارهای مدیریت مزرعه

برای ارزیابی و به‌کارگیری پیش‌بینی فصلی برای مدیریت مزرعه، اطلاعات و داده‌های هواشناسی شهرستان ایزده که یکی از مناطق دیم خوزستان است، به عنوان منطقه مطالعاتی در نظر گرفته شد. داده‌های ایستگاه هواشناسی این شهرستان بعد از بررسی و رفع نواقص به فرمت‌های موردنیاز تبدیل و به مدل داده شد. سپس فصل پیش‌رو به روش ناپارامتری K-NN توسط نرم‌افزار Weather Analogue (Bannayan and Hoogenboom, 2008) پیش‌بینی و متناسب با فصل پیش‌رو تاریخ کاشت تعیین و مقدار نیتروژن موردنیاز رشد گندم توسط مدل CERES-Wheat مطابق شکل ۱ مشخص گردید. برای تعیین تاریخ کاشت در هر فصل، معیارهایی برای مدل CERES-Wheat تعریف شد تا بر مبنای آن‌ها تاریخ کاشت برای فصل پیش‌رو مشخص گردد. این معیارها شامل درجه حرارت و رطوبت خاک است. در مدل تعریف گردید که در دامنه زمانی ۲۰ آبان لغایت ۱۰ دی که رژیم دمایی در شهرستان ایزده برای کاشت گندم مناسب است. مدل باید روز یا روزهایی را مشخص کند که بارندگی رطوبت خاک را در عمق ۲۰ سانتی‌متری به ۵۰٪ ظرفیت زراعی برساند (Raes et al., 2004). این روز یا روزهای پیش‌بینی‌شده به عنوان تاریخ کاشت گندم در فصل پیش‌رو در نظر گرفته می‌شوند. تحت شرایط دیم، مدیریت نیتروژن شدیداً به میزان بارندگی و رطوبت خاک وابسته است. لذا مقدار و زمان مصرف نیتروژن نیز در فصول مختلف متفاوت بوده و از سالی به سال دیگر نیز تغییر می‌کند. برای تعیین مقدار نیتروژن مورد نیاز در فصل پیش‌رو می‌توان مقادیر دلخواه (۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰، ۱۲۵، ۱۵۰، ۱۷۵ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) را بر اساس دو مرحله مصرف به صورت سرک برای مدل تعریف‌شده تا مناسب‌ترین توصیه را برای فصل پیش‌رو برای تصمیم‌سازی و تصمیم‌گیری ارائه نماید.

G1: این ضریب برای محاسبه تعداد دانه در سنبله به کار می‌رود. در مدل CERES-Wheat تعداد دانه بر اساس همبستگی که بین وزن ساقه در زمان گرده‌افشانی و تعداد دانه وجود دارد، محاسبه می‌شود.

G2: از این ضریب برای مشخص کردن سرعت پر شدن دانه استفاده می‌شود. سرعت پر شدن دانه به تأمین مواد فتوسنتزی از منابع تأمین‌کننده آن بستگی دارد. فتوسنتز جاری برگ‌ها، سنبله‌ها و نیز انتقال مجدد مواد فتوسنتزی ذخیره‌ای ساقه، منابع تأمین‌کننده مواد فتوسنتزی دانه‌ها هستند و ضریب G2، سرعت پر شدن دانه را بر اساس فراهمی منابع فوق محاسبه خواهد کرد.

G3: این ضریب وزن سنبله و ساقه، در زمان کاهش طویل شدن ساقه، را محاسبه می‌کند.

PHINT: این ضریب فاصله زمانی بین ظهور نوک دو برگ متوالی (Phyllochron) را نشان می‌دهد. این فاصله زمانی بر مبنای واحد درجه-روز بیان می‌شود. پارامترهای اکوتیپ و جنس به روش آزمون و خطا و ضرایب کولتیوار با GENCALC2 (Hunt et al., 1993) محاسبه گردیدند.

ارزیابی مدل CERES-Wheat

بر اساس داده‌ها و اطلاعات حاصل از تاریخ کاشت اول (۱۵ آبان) مدل CERES-Wheat برای گندم رقم دهدشت واسنجی^۱ و با استفاده از داده‌های تاریخ کاشت‌های دوم و سوم (۱ و ۱۵ آذر) مدل صحت‌سنجی^۲ گردید. برای مقایسه داده‌های شبیه‌سازی شده با داده‌های به دست آمده از آزمایش‌های مزرعه‌ای، از شاخص‌های ارزیابی مطابق معادلات ۸، ۹ و ۱۰ به ترتیب ریشه میانگین مربعات خطا^۳ (RMSE)، ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده^۴ (NRMSE)، شاخص توافق ویلموت^۵ (d)، و خط رگرسیون یک به یک استفاده شد.

$$RMSE = \left[\sum_{i=1}^n \frac{(P_i - O_i)^2}{n} \right]^{0.5} \quad (8)$$

$$NRMSE = \frac{1}{O_{iavg}} \times \left[\sum_{i=1}^n \frac{(P_i - O_i)^2}{n} \right]^{0.5} \quad (9)$$

¹ Calibration

² Validation

³ Root Mean Square Error

⁴ Normalized Root Mean Square Error

⁵ Willmott Index

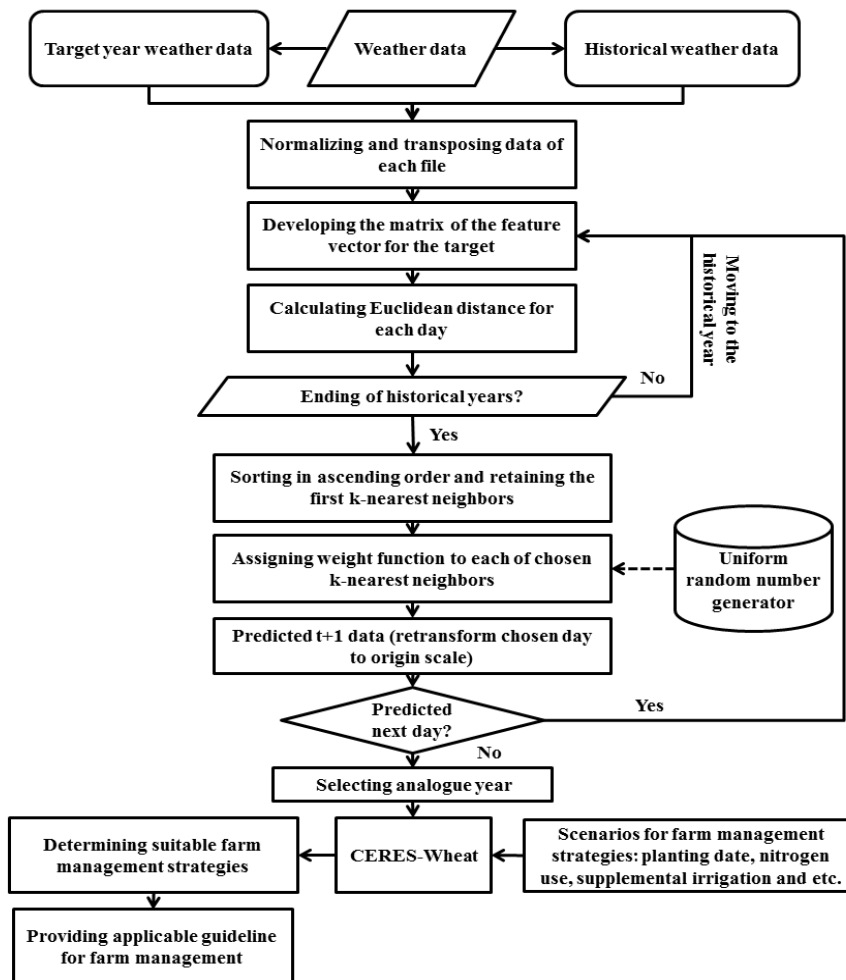


Figure 1- Flowchart of seasonal forecasting methodology and determination of farm management strategies

شکل ۱- فلوجارت روش کار (متدولوژی) پیش‌بینی فصلی و تعیین راه‌کارهای مدیریت مزرعه

سنبلچه انتهایی و ظهور برگ پرچم چشم‌گیر بود. لذا پارامترهای P1، P2، P3 و P4 (در فایل اکوتیپ) تنظیم گردیدند تا مراحل ذکر شده در حالت‌های شبیه‌سازی شده و مشاهده شده با یکدیگر منطبق شوند (Johen et al., 2012; Thorp et al., 2010). همچنین با توجه به شرایط اقلیمی و خصوصیات رقم زراعی برای شبیه‌سازی بهتر روند توسعه سطح برگ و تجمع ماده خشک، پارامترهای PARU2، SLAS، TIL#S، LAFR، LAFV و PARUE (به ترتیب مربوط به سطح مخصوص برگ و راندمان تشعشع فعال فتوسنتزی) در فایل اکوتیپ تنظیم شدند (Andarzian et al., 2015). برای انطباق زمان سبز شدن بذر پارامتر PEMRG در فایل گونه (Species File) واسنجی گردید تا زمان سبز شدن گیاهچه شبیه‌سازی شده با اندازه‌گیری شده نزدیک شود.

نتایج و بحث

واسنجی مدل CERES-Wheat

به منظور انطباق شبیه‌سازی مراحل نمو، توسعه سطح برگ، تولید ماده خشک، عملکرد دانه و اجزای آن با مقادیر اندازه‌گیری شده آن‌ها (جدول ۲)، علاوه بر ضرایب ژنتیکی مربوط به کولتیوار (Cultivar file)، بعضی از پارامترهای موجود در فایل‌های اکوتایپ (Ecotype File) و (Species File) در دامنه تغییرات خود در جدول ۱ تنظیم شدند. اگر چه بیشتر نوشته‌های مرتبط با واسنجی مدل بر روی تعیین ضرایب ژنتیکی کولتیوار متمرکز شده‌اند، لیکن نتایج نشان داد که بعد از تعیین ضرایب ژنتیکی و بدون اصلاح ضرایب اکوتیپ و گونه، مدل به خوبی مراحل ظهور سنبله و رسیدگی فیزیولوژیکی را شبیه‌سازی می‌نماید، اما تفاوت بین زمان‌های شبیه‌سازی شده (پیش‌بینی شده) و مشاهده شده برای مراحل تمایز

با توجه به این که مصادف شدن مرحله پر شدن دانه گندم (به ویژه در تاریخ کاشت‌های دیر هنگام) با درجه حرارت‌های بالا در شرایط آب و هوایی خوزستان یک امر متداول است، به منظور اعمال تأثیر تنش دمای بالا (گرما) بر کاهش وزن دانه، دماهای اصلی (کاردینال) تابع پاسخ فرآیند پر شدن دانه به درجه حرارت اصلاح گردید تا مدل بتواند به خوبی تأثیر تنش گرما را بر افزایش وزن دانه شبیه‌سازی نماید. بنابراین برای این منظور پارامتر TRGF مربوط به فایل گونه (Species File) مطابق با یافته‌های Porter and Gawith, 1999; Zahedi and Jener, 2003; Spiertz et al., 2006; Wahid et al., 2007; Farooq et al., 2011) اصلاح گردید. بهترین ترکیب ضرایب ژنتیکی کولتیوار، اکوتایپ و گونه که موجب ایجاد کم‌ترین تفاوت بین مقادیر شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده گردیده است، در جدول ۱ نشان داده شده است.

Table 2- Calibration results based on traits of Dehdasht cultivar

جدول ۲- نتایج واسنجی براساس خصوصیات گندم رقم

دهدشت		
Trait	Measured	Simulated
Anthesis Date (DAP)	100	100
Maturity Date (DAP)	150	149
Grain yield	4350	4336
Biomass	11400	11511
LAI _{max}	5	5

DAP: Day after planting

ارزیابی مدل

شبیه‌سازی مراحل فنولوژی

نتایج حاصل از شبیه‌سازی مراحل گل‌دهی و رسیدگی نشان می‌دهد که مدل با دقت خوبی مراحل مذکور را مطابق شکل‌های ۲ و ۳ شبیه‌سازی نموده است، به طوری که مقادیر شاخص‌های ارزیابی کارکرد مدل RMSE و D-Index برای مرحله گل‌دهی به ترتیب برابر ۲/۳ روز و ۰/۸۸ و برای مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی به ترتیب برابر ۲ روز و ۰/۹۷ می‌باشد. مقادیر شاخص‌های آماری مذکور مبین توانایی بالای مدل در پیش‌بینی مراحل گل‌دهی و رسیدگی فیزیولوژیکی می‌باشد. با توجه به نقش مهمی که مراحل فنولوژی در مدیریت مزرعه (آبیاری، مصرف کود و دیگر نهاده‌ها) برای دستیابی به حداکثر تولید محصول دارند، به نظر می‌رسد مدل CERES-Wheat می‌تواند با پیش‌بینی مراحل فنولوژی در اقلیم‌های متفاوت به عنوان

Table 1- Calculated the genetic coefficients for Dehdasht cultivar

جدول ۱- ضرایب ژنتیکی تعیین شده برای رقم دهدشت

Crop file	Coefficient	Value
(Species File)	PEMRG (TU/cm)	25
	TRGF	
	T _{base}	9.5
	T _{opt1}	16
	T _{opt2}	25
(Ecotype File)	T _{max}	35
	P1	400
	P2	260
	P3	172
	LAFV	0.15
	LAFR	0.30
	TIL#S	4
	SLAS	300
	PARUE	2.6
	PARU2	2.6
(Genotype File)	P1V	0.3
	P1D	79.6
	P5	810.7
	G1	17.7
	G2	47
	G3	0.50
	PHINT	119.2

PEMRG (TU/cm): طول دوره سبز شدن (واحد حرارتی به ازای عمق خاک).

TRGF: واکنش وزن خشک دانه به درجه حرارت در طی دوره پر شدن دانه (درجه سانتی‌گراد).

T_{base}: دمای پایه، کم‌تر از این دما افزایش وزن دانه صفر است.

T_{opt1}: دمای بهینه اول، بالاتر از این دما افزایش وزن دانه تسریع می‌شود

T_{opt2}: دمای بهینه دوم، حداکثر دمایی است که در آن افزایش وزن دانه هنوز در حداکثر خود است

T_{max}: دمای حداکثر، دمایی است که در آن افزایش وزن دانه صفر است.

P1: دوره زمانی فاز گیاهچه‌ای تا تمایز سنبلچه انتهایی (GDD).

P2: دوره زمانی فاز تمایز سنبلچه انتهایی تا پایان رشد برگ (GDD).

P3: دوره زمانی فاز پایان رشد برگ تا پایان رشد سنبله (GDD).

SLAS: سطح برگ ویژه (g-1 cm³).

PARUE: نسبت تبدیل تشعشع فعال فتوسنتزی (PAR) به ماده خشک قبل از مرحله آخرین برگ (g MJ⁻¹).

PARU2: نسبت تبدیل تشعشع فعال فتوسنتزی (PAR) به ماده خشک بعد از مرحله آخرین برگ (g MJ⁻¹).

LAFV: افزایش سطح پتانسیل برگ در مرحله رویشی (fr/leaf).

LAFR: افزایش سطح پتانسیل برگ در مرحله زایشی (fr/leaf).

TIL#S: شروع تولید پنجه (تعداد برگ).

PARUE: نسبت تبدیل تشعشع فعال فتوسنتزی (PAR) به ماده خشک قبل از مرحله آخرین برگ (g MJ⁻¹).

PARU2: نسبت تبدیل تشعشع فعال فتوسنتزی (PAR) به ماده خشک بعد از مرحله آخرین برگ (g MJ⁻¹).

به خوبی شبیه‌سازی نموده است، به طوری که RMSE و D-Index به ترتیب ۶۹۵ کیلوگرم در هکتار و ۰/۷۷ می‌باشد. مقادیر این شاخص‌ها که در شکل ۵ نشان داده شد، بیان‌گر دقت خوب مدل در شبیه‌سازی رشد و ماده خشک گیاه است. مقدار RMSE و D-Index محاسبه شده برای عملکرد دانه به ترتیب ۷۸ کیلوگرم در هکتار و ۰/۹۶ است که نشان‌گر کارایی بسیار خوب مدل در پیش‌بینی عملکرد دانه می‌باشد.

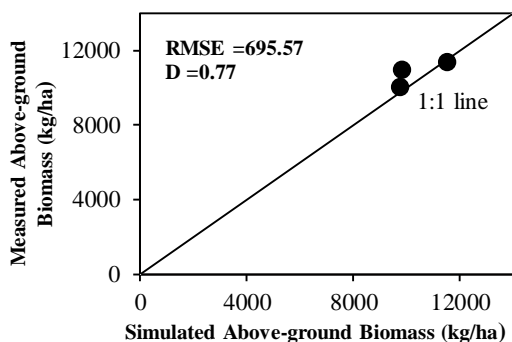


Figure 4- Comparison of measured and simulated aboveground biomass (kg ha⁻¹)

شکل ۴ - مقایسه ماده خشک اندام‌های هوایی اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده

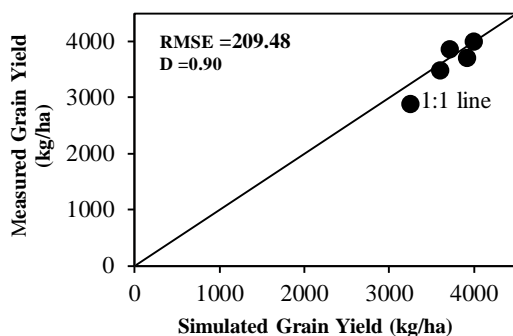


Figure 5- Comparison of measured and simulated grain yield (kg ha⁻¹)

شکل ۵ - مقایسه عملکرد دانه اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده

کاربرد مدل برای پیش‌بینی فصلی

نتایج پیش‌بینی فصلی به روش ناپارامتری K-NN برای فصل زراعی ۱۵-۲۰۱۴ (سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳) برای ایستگاه هواشناسی شهر ایذه در شکل ۶ نشان داده شده است. در این تحقیق فرض بر این است که داده‌های هواشناسی فصل پیش رو تا ۲۵ مهر ثبت شده و ما می‌خواهیم از ۲۵ مهر فصل زراعی پیش رو را برای مدیریت کاشت و داشت گندم پیش‌بینی و نسبت به به‌کارگیری راه‌کارهای مدیریتی مزرعه تصمیم‌گیری کنیم. نتایج استفاده از روش K-NN نشان داد که فصل زراعی پیش رو بیش‌ترین نزدیکی و تشابه را با فصل زراعی ۸۷-

یک ابزار برای مدیریت مزرعه مورد استفاده قرار گیرد. با عنایت به دقت قابل قبول مدل CERES-Wheat در پیش‌بینی مراحل فنولوژی، تاکنون از این مدل در مطالعات زیادی استفاده شده است (Andarzian et al., 2015).

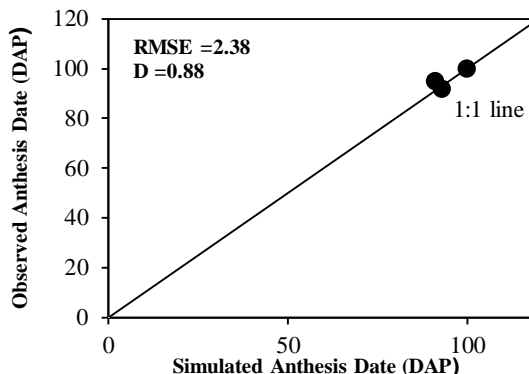


Figure 2- Comparison of observed and simulated anthesis date (DAP)

شکل ۲ - مقایسه زمان گل‌دهی مشاهده شده و شبیه‌سازی شده

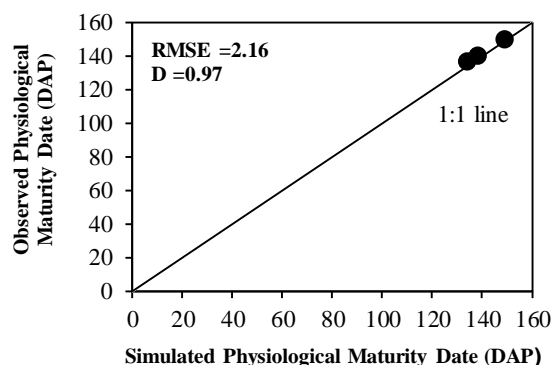


Figure 3- Comparison of observed and simulated Physiological maturity date (DAP)

شکل ۳ - مقایسه زمان رسیدگی فیزیولوژیکی مشاهده شده و شبیه‌سازی شده

علاوه بر نقش مهم مراحل نموی در مدیریت مزرعه، تعیین زمان دقیق این مراحل برای شبیه‌سازی رشد اندام‌های گیاهی و در نهایت عملکرد دانه نیز دارای اهمیت است. چون میزان تسهیم مواد فتوسنتزی بین اندام‌های رویشی و زایشی گیاه (ضرایب تخصیص) متناسب با مراحل نموی گیاه انجام می‌گیرد. از این رو پیش‌بینی دقیق مراحل فنولوژی و تعیین مقدار فیلوکرون (فاصله زمانی بین ظهور دو برگ متوالی) برای ارقام مختلف برای شبیه‌سازی رشد و عملکرد گیاه ضروری است.

شبیه‌سازی ماده خشک اندام‌های هوایی و عملکرد دانه نتایج شبیه‌سازی ماده خشک اندام‌های هوایی در شکل ۴ نشان می‌دهند که مدل تولید ماده خشک اندام‌های هوایی را

حداکثر را نیز برآورد نمود. مقدار RMSE و NRMSE برای این متغیر نیز به ترتیب ۰/۷۱ و ۳/۱ درصد بود. مقدار تابش خورشیدی برای فصل پیش رو نیز به نحو مطلوبی پیش‌بینی گردید مقدار RMSE و NRMSE برای این متغیر آب و هوایی به ترتیب ۰/۶۱ مگاژول بر مترمربع در روز و ۴ درصد بود. این تکنیک در برآورد الگوی بارش در مقایسه با الگوهای درجه حرارت و تابش خورشیدی ضعیف‌تر عمل نموده و دارای دقت کم‌تری است. به طوری که مقدار RMSE و NRMSE به ترتیب ۱۵/۷ میلی‌متر و ۲۴ درصد است. هرچند این دقت در برآورد بارندگی مناسب است. کارایی این روش برای پیش‌بینی تغییرات متغیرهای آب و هوایی قبلاً توسط (Bannayan and Hoogenboom, 2007) نیز مورد ارزیابی قرار گرفت و بیان نمودند این روش می‌تواند به‌خوبی الگوی فصلی را تشخیص و پیش‌بینی نماید.

۱۳۸۶ دارد. همان طور که در شکل ۶ نشان داده شده روند تغییرات روزانه پیش‌بینی فصلی درجه حرارت حداقل، درجه حرارت حداکثر، تابش خورشیدی و بارندگی با روند تغییرات روزانه اندازه‌گیری شده در الگوی مشابه تشخیص داده شده، تقریباً مشابه هستند. اگرچه دقیقاً بر هم منطبق نیستند ولی این عدم انطباق به حدی نیست که رشد گیاه را تا حد زیادی تحت تأثیر قرار دهد و رشد گیاه و عملکرد آن برای این دو فصل تقریباً مشابه و دارای عملکرد یکسان است. با میانگین‌گیری ماهانه از هر یک از متغیرها و ارزیابی آماری آن‌ها این انطباق در شکل ۷ مورد تصدیق قرار می‌گیرد. همان‌طور که در شکل ۸ نشان داده شده، توافق بالایی بین مقدار درجه حرارت حداقل پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده وجود دارد. مقدار شاخص آماری RMSE و NRMSE برای این متغیر آب و هوایی به ترتیب ۵۳/۱، درجه سانتی‌گراد و ۶/۵ درصد است. نتایج نشان می‌دهد این تکنیک به خوبی درجه حرارت

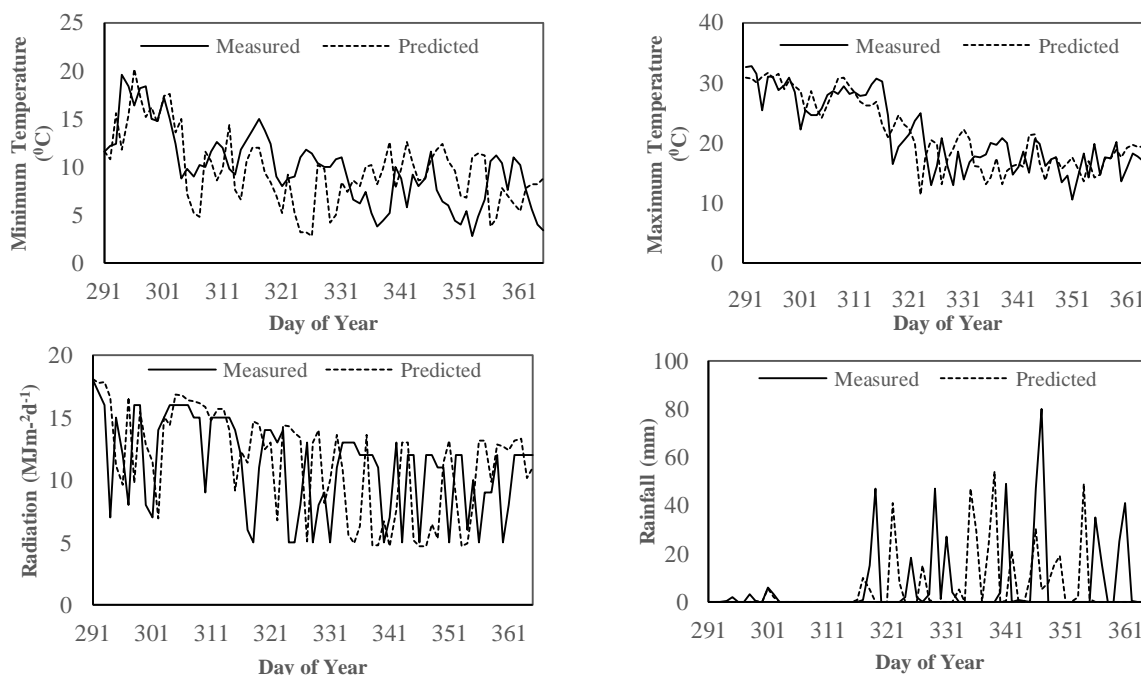


Figure 6- Daily variations trend of weather variables in seasonal forecasting 2014-15

شکل ۶- روند تغییرات روزانه متغیرهای آب و هوایی در پیش‌بینی فصلی ۱۳۹۳-۹۴

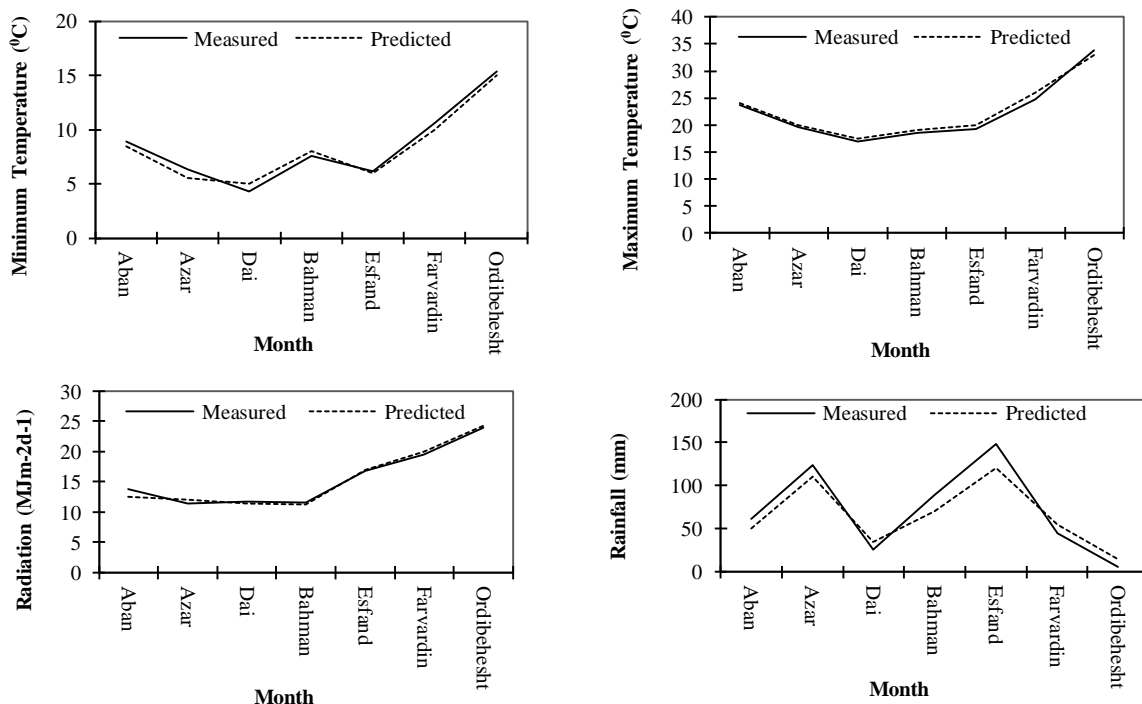


Figure 7- Monthly variations trend of weather variables in seasonal forecasting 2014-15

شکل ۷- روند تغییرات ماهانه متغیرهای آب و هوایی در پیش‌بینی فصلی ۱۳۹۳-۹۴

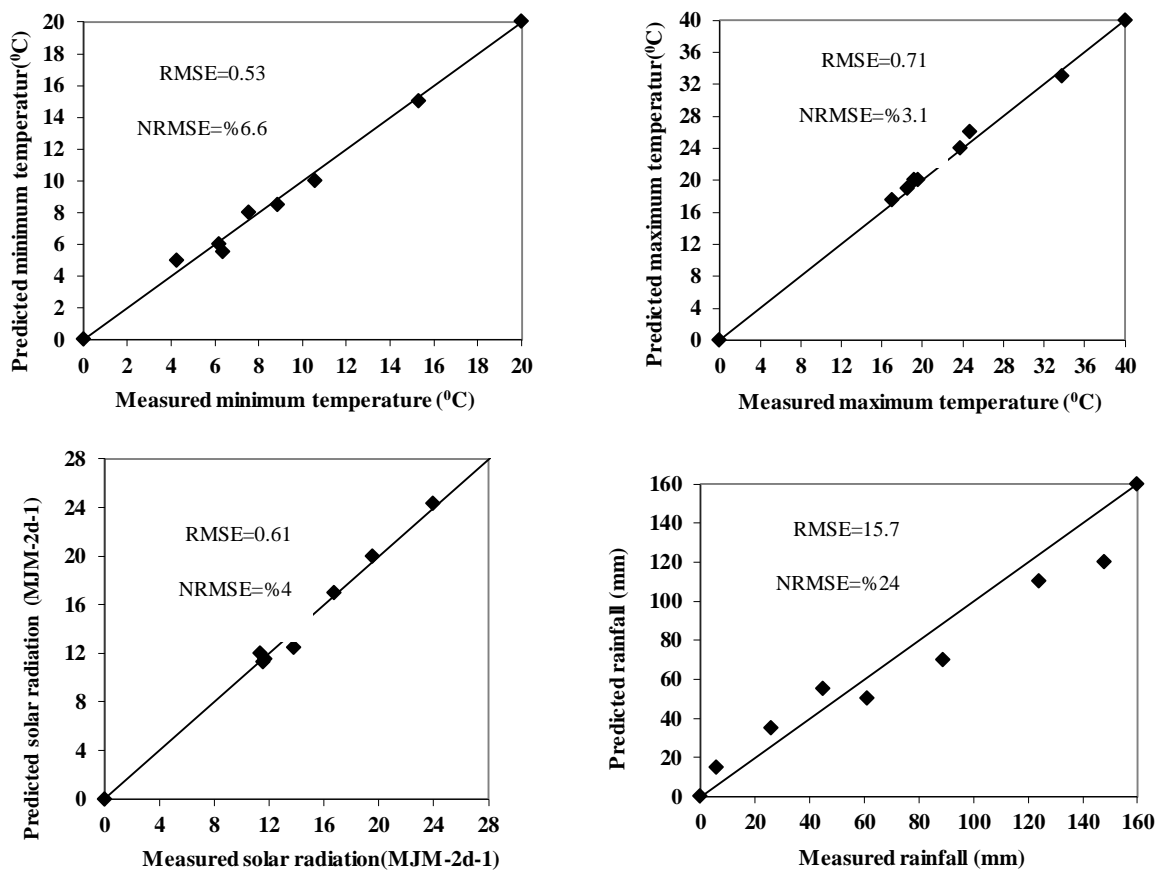


Figure 8- A comparison of measured and predicted Monthly weather variables in seasonal forecasting 2014-15

شکل ۸- مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده ماهانه متغیرهای آب و هوایی در پیش‌بینی فصلی ۱۳۹۳-۹۴

است و بیشتر سالها در دامنه‌ای از ۵ آبان تا اوایل آذر اتفاق می‌افتد. لذا با پیش‌بینی فصلی پیش رو و زمان و مقدار بارندگی می‌توان با کمک مدل زمان کاشت در آن فصل را مشخص نمود و تمهیدات لازم جهت مدیریت کاشت را به کار گرفت تا علاوه بر کاهش خطرات عدم سبز شدن گیاه در شرایط نامساعد از پتانسیل‌ها و ظرفیت‌ها در شرایط مناسب نیز بهره برد.

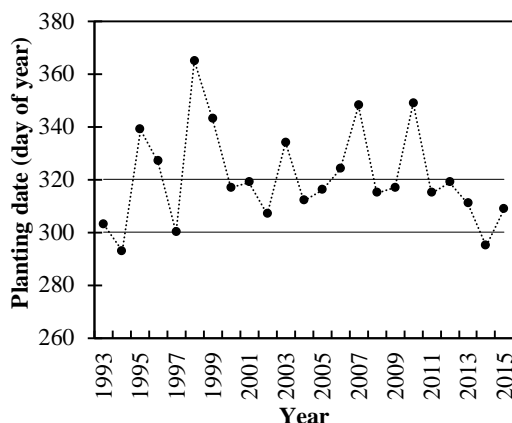


Figure 10- Variations of suitable planting date over different years

شکل ۱۰- تغییرات زمان مناسب کاشت در سال‌های مختلف

مقدار مصرف نیتروژن گندم برای شرایط دیم ایده در دو فصل زراعی ۱۲-۲۰۱۱ و ۱۵-۲۰۱۴ که به ترتیب فصل زراعی نسبتاً کم‌باران و دارای بارندگی مناسب بودند، توسط نرم‌افزار پیش‌بینی و سپس مقدار مصرف نیتروژن موردنیاز متناسب با فصل رشد گندم توسط مدل محاسبه شد. مطابق نتایج در شکل ۱۱ نشان داده شد که در سال‌های کم‌باران با مصرف ۵۰ کیلوگرم نیتروژن، پتانسیل عملکرد دیم در آن فصل (۲۸۵۰ کیلوگرم در هکتار) قابل‌دست‌یابی است و مصرف مقادیر بیشتر نیتروژن نه تنها باعث افزایش عملکرد نشده، بلکه مقادیر خیلی بالا باعث کاهش عملکرد نیز شده است. چون تحت این شرایط به علت رطوبت پایین خاک و افزایش پتانسیل اسمزی محلول خاک گیاه نیز با تنش کم‌آبی مواجه شده و رشد و عملکرد آن تقلیل می‌یابد (Asseng et al., 2012)، اما در سال‌هایی که بارندگی دارای مقدار و پراکنش مناسب است با مصرف ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن خالص، امکان دست‌یابی به پتانسیل عملکردهای بالا (۶ تن در هکتار) امکان‌پذیر است و مصرف بیشتر از این مقدار تأثیر بر عملکرد ندارد. تحت این شرایط به علت شرایط مناسب رطوبت خاک گیاه رشد نموده و نیتروژن موردنیاز خود را متناسب باشد

برای ارزیابی بیشتر این روش، فصل زراعی گندم برای سال‌های ۹۳-۱۳۹۲ و ۹۲-۱۳۹۱ (به ترتیب ۱۴-۲۰۱۳ و ۱۳-۲۰۱۲) مطابق شکل ۹ مورد ارزیابی قرار گرفت. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد فصل زراعی سال‌های ۱۴-۲۰۱۳ و ۱۳-۲۰۱۲ به ترتیب بیش‌ترین مشابهت را با فصول زراعی مذکور در سال‌های ۲۰۰۲-۲۰۰۳ و ۲۰۰۲-۲۰۰۱ دارند. نتایج حاصل از اجرای مدل شبیه‌سازی نشان می‌دهد که عملکرد سال‌های فصل‌های زراعی مشابه به هم نزدیک می‌باشد.

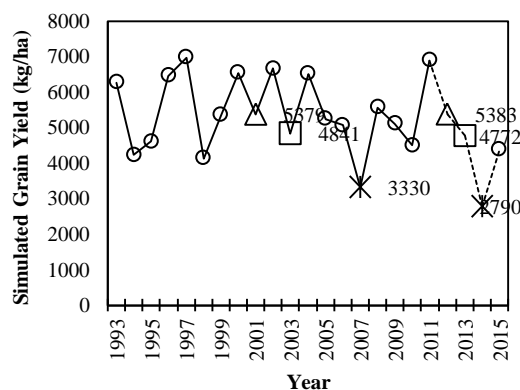


Figure 9- Variations trend of attainable yield over different seasonal forecast (case study Izeh County)

شکل ۹- روند تغییرات عملکرد قابل دست‌یابی در سال‌های مختلف و فصول پیش‌بینی شده (مطالعه موردی شهرستان ایذه)

تعیین تاریخ کاشت و مقدار مصرف نیتروژن برای فصل پیش رو

در شرایط دیم تاریخ کاشت علاوه بر دما به بارندگی وابستگی تام دارد (Bannayan et al., 2013). در شرایط دیم بارندگی نقش اصلی را در تعیین تاریخ کاشت ایفا می‌نماید. معمولاً در دامنه دمایی مناسب تاریخ کاشت زمانی صورت می‌گیرد که رطوبت موجود در خاک برای جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه‌ها کافی باشد در صورت کشت بعد از بارندگی بدون توجه به میزان ذخیره آب در خاک ممکن است موجبات جوانه‌زنی بذور را فراهم نموده اما به دلیل تأخیر در بارندگی‌های بعدی و ناکافی بودن ذخیره رطوبت خاک، بذور جوانه‌زده با خشکی مواجه شده و گیاهچه‌های تولید شده تلف شده و درنهایت منجر به عدم موفقیت در زراعت گردد. با توجه به متغیر بودن زمان شروع بارندگی مؤثر در سال‌های مختلف زمان کاشت گندم نیز متغیر است. همان‌طور که در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود تاریخ کاشت در شرایط دیم شهرستان ایذه متغیر

سیاسگزاری

بدین‌وسیله از سازمان جهاد کشاورزی خوزستان به خاطر حمایت مالی این پروژه پژوهشی قدردانی می‌شود.

منابع

- Andarzian, B., Hoogenboom, G., Bannayan, M., Shirali, M., Andarzian, B. 2015. Determining optimum sowing date of wheat using CSM-CERES-Wheat model. *Journal of Saudian Society of Agricultural Science*, 14(2): 189-199.
- Asseng, S., McIntosh, P. C., Wang, G., Khimashia, N. 2012. Optimal Nfertilizer management based on a seasonal forecast. *European Journal of Agronomy*, 38: 66-73.
- Bannayan, M., Eyshi Rezaei, E., Hoogenboom, G. 2013. Determining optimum planting dates for rainfed wheat using the precipitation uncertainty model and adjusted crop evapotranspiration. *Agricultural Water Management*, 126: 56-63.
- Bannayan, M., Hoogenboom, G. 2007. Daily weather sequence prediction realization using the non-parametric nearest-neighbor resampling technique. *International Journal of Climatology*, 28: 1357-1368.
- Bannayan, M., Hoogenboom, G. 2008. Weather Analogue: a tool for real-time prediction of daily weather data realizations based on a modified k-nearest neighbor approach. *Environmental Modeling and Software*, 23: 703-713.
- Brandsma, T., Konnen, G. P. 2006. Application of nearest-neighbor resampling for homogenizing temperature records on a daily to sub-daily level. *International Journal of Climatology*, 26: 75-89.
- Brandsma, T., Buishand, T. A. 1998. Simulation of extreme precipitation in the Rhine basin by nearest neighbor resampling. *Hydrology and Earth System Sciences*, 2: 195-209.
- Capa-Morocho, M., Ines, A., Amor, V. M., Baethgeen, W. E., Rodríguez-Fonseca, B., Han, E., Ruiz-Ramos, M. 2016. Crop yield outlooks in the Iberian Peninsula: Connecting seasonal climate forecasts with crop simulation models. *Agricultural Systems*, 149: 75-87.
- Dumont, B., Basso, B., Leemans, V., Bodson, B., Destain, J. P., Destain, M. F. 2015. A comparison of within-season yield prediction algorithms based on crop model behavior analysis. *Agricultural and Forest Meteorology*, 204: 10-21.
- Farooq, M., Bramley, H., Palata, J. A., Siddique, K. H. M. 2011. Heat stress in wheat during reproductive and grain-filling phases. *Critical Review in Plant Science*, 30: 1-17.

رشد از خاک جذب می‌نماید. لذا به‌کارگیری فن پیش‌بینی فصلی و برآورد مقدار موردنیاز نیتروژن از یک‌سو می‌تواند در سال‌های خشک از مصرف بیش از حد کود، تحمیل هزینه و آلودگی خاک و محیط‌زیست جلوگیری نموده و از سوی دیگر می‌تواند در سال‌های مطلوب با به‌کارگیری تمهیدات لازم نیتروژن مورد نیاز گیاه را فراهم نمود تا از ظرفیت محیطی استفاده و موجبات افزایش عملکرد و سود اقتصادی بیش‌تر را برای کشاورزان رقم زد.

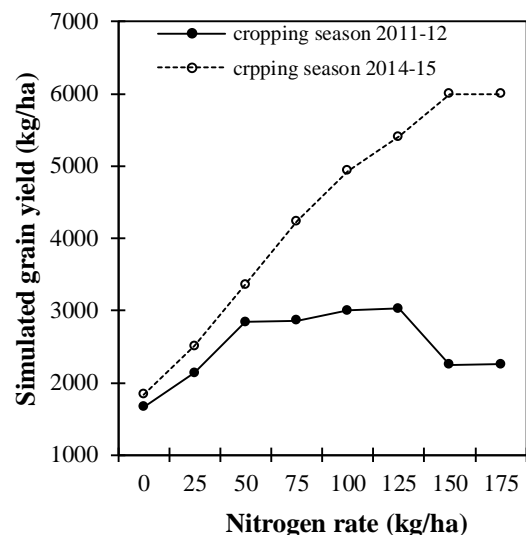


Figure 11- Suitable amount of nitrogen use for two forecasted seasons

شکل ۱۱- مقدار مناسب مصرف نیتروژن در دو فصل پیش‌بینی شده

نتیجه‌گیری

تغییرات سالانه شرایط آب و هوایی در طی فصل رشد گندم تحت شرایط دیم امکان اعمال مدیریت یکسان در سال‌های مختلف را منتفی می‌نماید. اطلاع از شرایط آب و هوایی فصل پیش‌رو و به‌کارگیری تمهیدات و راه‌کارهای مدیریت مزرعه متناسب با شرایط آب و هوایی نه تنها می‌تواند موجبات افزایش عملکرد را فراهم آورد بلکه می‌تواند در کاهش هزینه‌ها و ریسک تولید نقش مهمی ایفا نماید. نتایج این پژوهش نشان داد که تلفیق مدل‌های پیش‌بینی فصلی مانند k-NN (K - نزدیک‌ترین همسایه) با نرم‌افزار Weather Analogue با مدل CERES-Wheat می‌تواند نقش مؤثری در پیش‌بینی فصلی و به‌کارگیری راه‌کارهای مدیریت مزرعه برای شرایط دیم فصل پیش‌رو داشته باشد.

- Gangopadhyay, S. M., Rajagopalan, C. B. 2005. Statistical downscaling using K-nearest neighbors. *Water Resources Research*, 41: 1-23.
- Hunt, L. A., Pararajasingham, S., Jones, J. W., Hoogenboom, G., Imamura, D. T., Ogoshi, R. M. 1993. GENCALC-Software to facilitate the use of crop models for analyzing field experiments. *Agronomy Journal*, 85: 1090-1094.
- Johen, T., Boettcher, U., Kage, H. 2012. A variable thermal time of the double ridge to flag leaf emergence phase improves the predictive quality of a CERES-Wheat type phenology model. *Computer and Electronic in Agriculture*, 89: 62-69.
- Jones, J. W., Hoogenboom, G., Porter, C. H., Boot, K. J., Batchelor, W. D., Hunts, L. A., Wilkens, P. W., Singh U., Gijssman, A. J., Ritchie, J. T. 2003. DSSAT Cropping System Model. *European Journal of Agronomy*, 18: 235-265.
- Kelmm, T., Mcpherson, R. A. 2017. The development of seasonal climate forecasting for agricultural producers. *Agricultural and Forest Meteorology*, 232: 384-399.
- Marletto, V., Ventura, F., Fontana, G., Tomei, F. 2007. Wheat growth simulation and yield prediction with seasonal forecast and a numerical model. *Agricultural and Forest meteorology*, 147: 71-79.
- Mvromatis, T. 2016. Spatial resolution effects on crop yield forecasts: an application to rainfed wheat yield in north Greece with CERES-Wheat. *Agricultural Systems*, 143: 38-48.
- Porter, J. R., Gawith, M., 1999. Temperature and growth and development of wheat: a review. *European Journal of Agronomy*, 10: 23-36.
- Raes, D., Sithole, A., Markarau, A., Milford, J. 2004. Evaluation of first planting date recommended by criteria currently used in Zimbabwe. *Agricultural and Forest Meteorology*, 125: 17-185
- Roel, A., Baethegan, W. E., 2007. Towards the development of a spatial decision support system (SDSS) for the application of climate forecasts in uruguayan rice production sector. In: Hansen, J.W., Sivakumar, M.V.K. (Eds.), *Climate Prediction and Agriculture*. Springer, pp. 89-97.
- Semenov, M. A., Doblas-Reyes, F. J., Martre, P. 2007. Utility of dynamical seasonal forecasts in predicting crop yield. *Climate Research*, 34(1): 71-81.
- Sharif, M., Burn, D. H., 2005. Simulating climate change scenarios using an improved K-nearest neighbor model. *Journal of Hydrology*, 325: 179-196.
- Spiertz, J. H. J., Hamer, R. J., Xu, H., Primo-Martin, C., Don, C., Van der Putten, P. E. L., 2006. Heat stress in wheat: Effects on grain growth and quality traits. *European Journal of Agronomy*, 25: 89-95.
- Thorp, K. R., Hunsaker, D. J., French, A. N., White, J. W., Clark, T. R. Pinter, J. P. J. 2010. Evaluation of the CSM-CROPSIM-CERES-Wheat model as a tool for crop water management. *American Society Agricultural and Biological Engineers* 53: 87-102.
- Wahid, A., Gelani, S., Ashraf, M., Foolad, M. R., 2007. Heat tolerance in plants: An overview. *Environmental and Experimental Botany*, 61: 199-223.
- Yates D., Gangopadhyay, S., Rajagopalan, B., Strzepek, K. 2003. A technique for generating regional climate scenarios using a nearest neighbor algorithm. *Water Resources Research*, 39(7): 1199.
- Zahedi, M., Jenner, C. F., 2003. Analysis of effects in wheat of high temperature on grain filling attributes estimated from mathematical models of grain filling. *Journal of Agricultural Science*, 141: 203-212.
- Zinyengere, N., Mhiza, T., Mashonjowa, E., Chipindu, B., Geerts, S., Raes, D. 2011. Using seasonal climate forecasts to improve maize production decision support in Zimbabwe. *Agricultural and Forest Meteorology*, 151: 1792-1799.



تعیین لایسیمتری تبخیرتعرق و ضریب گیاهی گندم در دشت تبریز و مقایسه آن با روش پیشنهادی فائو ۵۶

اژدر عنابی میلانی^{۱*}، شیوا موسوی منش^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۱/۰۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۰۹

چکیده

این مطالعه برای تعیین تبخیرتعرق و ضریب گیاهی گندم رقم الوند در طول فصل رشد در دشت تبریز توسط لایسیمتر زهکش دار و مقایسه آن با مقدار برآوردی توسط روش پنمن مانیتث FAO-56 انجام شد. مقدار تبخیرتعرق با اندازه‌گیری عوامل معادله بیلان آبی در طی چهار سال در دوره‌های ده روزه محاسبه گردید. نتایج نشان داد که متوسط این کمیت در طول فصل رشد ۷۳۲ میلی‌متر بوده است که از این مقدار به طور متوسط ۱۳۲ میلی‌متر توسط بارندگی تأمین می‌گردد و بقیه (۶۰۰ میلی‌متر) باید توسط آبیاری تأمین شود. تبخیرتعرق اندازه‌گیری شده تطابق مناسبی ($R^2 = 0.92$, $NRMSE = 0.11$) با مقدار برآورد شده توسط روش پیشنهادی FAO-56 (۷۲۱ میلی‌متر) داشت. متوسط تبخیرتعرق مرجع برای طول دوره رشد گندم در یک مطالعه هم‌زمان لایسیمتری ۷۱۵ میلی‌متر اندازه‌گیری گردید که همخوانی خوبی ($R^2 = 0.98$, $NRMSE = 0.08$) با مقدار برآورد شده توسط روش پنمن-مانیتث پیشنهادی فائو (۷۴۳ میلی‌متر) داشت. مقدار ضریب گیاهی متوسط برای کل دوره رشد ۱/۰۲ محاسبه شد که به طور متوسط برای اوایل دوره رشد، اواسط دوره و دوره رشد انتهایی به ترتیب ۰/۵۴، ۱/۲۲ و ۰/۳۹ بود.

واژه‌های کلیدی: بیلان رطوبت خاک، پنمن-مانیتث، تبخیرتعرق مرجع، گندم

مقدمه

تجدیدپذیر در کشور ۱۶۵۹ متر مکعب است (متوسط سرانه سالیانه آب در دنیا ۶۵۰۰ متر مکعب است) و از این نظر رتبه ۶۹ را در بین ۱۷۷ کشور مورد بررسی دارد (World Bank, 2013). استان آذربایجان شرقی و دشت تبریز با میانگین بارندگی به ترتیب ۲۵۰ و ۲۸۵ میلی‌متر در ناحیه نیمه‌خشک واقع شده‌اند. پهنه‌بندی خشکسالی هواشناسی در سطح کشور (Anonymous, 2014) نشان می‌دهد که استان‌های شمالی کشور و از جمله استان آذربایجان شرقی به شدت‌های مختلف تحت تأثیر خشکسالی قرار دارند. به علت کاهش منابع آب استان و به ویژه دشت تبریز استفاده مدبرانه از منابع آب و صرفه‌جویی آب در امر آبیاری بسیار حائز اهمیت می‌باشد. برای برنامه‌ریزی در سطح کلان، تعیین الگوی کاشت برای دشت‌های مختلف و اجرای پروژه‌های آبیاری، علاوه بر مطالعه‌های اجتماعی و اقتصادی و بررسی منابع موجود، یکی از فاکتورهای اساسی، تعیین نیاز آبی محصولات مختلف می‌باشد. چرا که تنها با آگاهی از نیاز آبی گیاهان می‌توان از منابع موجود آب استفاده بهینه و اقتصادی به عمل آورد. پژوهشگران برای ارزیابی و تعیین میزان دقت

تقاضای رو به رشد جهانی برای آب، استفاده بهینه از آن را به ویژه در بخش کشاورزی که به تنهایی بزرگترین مصرف کننده آب است، گریزناپذیر می‌سازد. اهمیت مدیریت منابع آب به واسطه افزایش جمعیت و تقاضای آب به ویژه در خاورمیانه که جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک طبقه‌بندی می‌شود، واضح و روشن است. ایران جزء کشورهایی است که دچار محدودیت‌های شدید منابع آب بوده و بحران آب در آینده کاملاً ملموس است که عمدتاً به واسطه هم‌افزایی اثرات خشکی و تقاضای روزافزون آب به ویژه در بخش کشاورزی است. سرانه آب

^۱ استادیار، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تبریز، ایران
(*نویسنده مسئول: a_o_milani@yahoo.com)

DOI: 10.22125/agmj.2019.171004.1057

^۲ کارشناس آزمایشگاه، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تبریز، ایران

روسیعی مورد استفاده قرار می‌گیرد، روش پیشنهادی فائو در نشریه ۵۶ (Allen et al., 1998) می‌باشد. در این روش تبخیرتعرق با ترکیب تبخیرتعرق مرجع حاصل از معادله پنمن-مانتیث و ضریب گیاهی گیاه مورد نظر، برآورد می‌شود. مقایسه نتایج حاصل از روش پنمن-مانتیث و داده‌های لایسیمتری نشان‌دهنده دقت بیشتر نسبت به سایر روش‌های برآورد تبخیرتعرق مرجع، بوده است (Smith et al., 1992; Onnabi Milani and Neyshabouri, 2018). اهمیت گندم به دلیل ارزش راهبردی آن در کالاهای تغذیه ایرانیان است، چراکه قسمت اعظم انرژی و پروتئین دریافتی مردم ایران از طریق این گیاه تامین می‌شود. عملکرد دانه گندم تحت تأثیر شدت تنش و مرحله رشدی است که تنش در آن به وقوع پیوسته باشد (Salter and Good, 1994). مطالعات فراوانی برای تعیین نیاز آبی گندم به طور مستقیم (Singh and Handal, 1989; Farshi, 1993; Vaziri, 1993; Shariati, 1995; Razavi, 1997; Sattar, 1998; Meyer et al., 1999; Guerra and Jacomazzi, 2001) و به صورت غیر مستقیم و از روی داده‌های هواشناسی و ویژگی‌های خاک و گیاه (Doorenbos and Pruitt, 1977; Cooper, 1980; Bunyolo et al., 1985; Singh and Handal, 1989; Farshi et al., 1997) صورت گرفته و بر اساس نوع رقم و شرایط آب و هوایی، مقادیر متفاوت نیاز آبی از ۳۰۹ تا ۸۵۰ میلی‌متر به دست آمده است. کم‌ترین مقدار تبخیرتعرق فصلی ۳۰۰ تا ۳۶۰ میلی‌متر از هندوستان (Mogensen and Reedy and Bhardwaj, 1982) و دانمارک (et al., 1985) گزارش شده است. در هندوستان به علت کوتاه بودن دوره رشد و در دانمارک به علت دمای پایین در طول فصل رشد، مقادیر تبخیرتعرق پایین است. در مقابل بیش‌ترین مقدار تبخیرتعرق گیاه گندم ۸۱۸ میلی‌متر مربوط به استرالیا (Cooper, 1980) و ۸۵۰ میلی‌متر مربوط به کرج ایران (Shariati, 1995) می‌باشد. اطلاعات به دست آمده از شرایط آب و هوایی مختلف نشان داده است که برای دوره رشد نسبتاً کوتاه، تبخیرتعرق ۳۰۰ تا ۳۵۰ میلی‌متر در هندوستان و زامبیا (Bunyolo et al., 1985) اندازه‌گیری شده است ولی در جنوب غربی آمریکا جایی که طول دوره رشد طولانی‌تر است و مرحله توسعه رشد با دماهای بالا هم‌زمان است، تبخیرتعرق در محدوده ۶۵۰ تا ۷۰۰ میلی‌متر از آریزونا (Erie et al., 1982) گزارش شده است. Singh and

روش‌های برآورد آب مورد نیاز گیاهان، نیازمند به تعیین تبخیرتعرق پتانسیل در شرایط مزرعه‌ای هستند. لایسیمتر یکی از مهم‌ترین دستگاه‌هایی است که برای تعیین دقیق نیاز آبی محصولات متداول گردید و امروزه لایسیمترهای وزنی که دقت بالایی دارند، مورد استفاده قرار می‌گیرند. نیاز آبی محصول طبق تعریف عبارت است از عمق آب مورد نیاز برای برآورده کردن آب از دست رفته در طی تبخیرتعرق از محصول بدون بیماری که در یک مزرعه بزرگ تحت شرایط بدون محدودیت آب و عناصر غذایی خاک رشد کرده و بیش‌ترین مقدار محصول را تولید می‌کند (Doorenbos and Pruitt, 1977). تبخیرتعرق (ET) جزء کلیدی و حیاتی چرخه هیدرولوژیکی است و به صورت مجموع آب ازدست رفته از گیاه (تعرق) و سطح خاک (تبخیر) تعریف می‌شود (Rawat et al., 2017). برای به دست آوردن نیاز آبی (تبخیرتعرق گیاه) روش‌های مختلفی ابداع شده است که برخی از آن‌ها میزان تبخیرتعرق را از روی روابط نظری و تجربی برآورد می‌نمایند و برخی دیگر آن را به طور مستقیم اندازه‌گیری می‌کنند. یکی از روش‌های دقیق اندازه‌گیری تبخیرتعرق گیاه روش بیلان آبی و تعیین پارامترهای آن توسط لایسیمتر می‌باشد. تبخیرتعرق یک گیاه تابع سه عامل اصلی شرایط آب و هوایی، ویژگی‌های گیاه و شرایط محلی و عملیات زراعی (مدیریت مزرعه) می‌باشد (Doorenbos and Pruitt, 1977). در شرایط مدیریت بهینه برای رسیدن به بیشینه مقدار محصول (تغذیه مناسب گیاهی، رطوبت کافی ناحیه ریشه، عدم محدودیت عوامل بازدارنده مانند شوری، آفات، بیماری و غیره) تنها دو عامل شرایط آب و هوایی و ویژگی‌های گیاه تعیین کننده نیاز آبی محصول خواهند بود. در اندازه‌گیری نیاز آبی یک محصول این دو عامل تماماً اندازه‌گیری می‌شوند ولی با توجه به اینکه این اندازه‌گیری توسط لایسیمتر پرهزینه و وقت‌گیر است، در برآورد نیاز آبی، این دو عامل از هم جدا شده و اولی به عنوان تبخیرتعرق مرجع و دومی به عنوان ضریب گیاهی تعریف می‌شوند. به علت آنکه عامل اول تنها به شرایط آب و هوایی منطقه بستگی دارد به آسانی و به طور قابل قبولی از روی داده‌های هواشناسی قابل برآورد می‌باشد. در نتیجه داشتن ضریب گیاهی یک محصول در طول دوره رشد، برای تعیین نیاز آبی آن کافی خواهد بود. روش عمومی و کاربردی برای برآورد نیاز آبی گیاه و پایش بیلان آبی خاک که به طور

گیاهی مرحله ابتدایی گندم را از ۰/۵ تا ۰/۷ به دست آوردند. بیشترین مقدار ضریب گیاهی گندم در پژوهش‌های (Tyagi et al., 2000; Liu et al., 2002; Hunsaker et al., 2005; Laaboudi et al., 2015; Rawat et al., 2017) به ترتیب ۱/۲۴، ۱/۱۹ تا ۱/۳۵ برحسب شرایط اقلیمی مختلف، ۱/۴۲ و ۱/۴۴ به دست آمده است. Ebrahimi Pak (2009) بیشترین و کمترین مقدار ضریب گیاهی گندم برای شهرکرد را به ترتیب ۰/۱۷ و ۰/۹۱ به دست آورد. در یک مطالعه لایسیمتری مقادیر ضریب گیاهی برای چهار مرحله رشد گندم در زرقان فارس به ترتیب ۰/۳۷، ۰/۶۸، ۱/۱۱ و ۰/۵۱ اندازه‌گیری گردید (Niazi et al., 2005). در پژوهشی مشابه در مشهد ضرایب گیاهی برای مراحل چهارگانه به ترتیب ۰/۳، ۰/۸، ۱/۱۴ و ۰/۴ تعیین گردید (Ghaemi et al., 2013). Shahrokhnia (2009) توسط لایسیمتر وزنی مقدار ضریب گیاهی گندم را برای مراحل رشد سه‌گانه (ابتدایی، میانی و انتهایی) به ترتیب ۰/۶۱، ۱/۴۵ و ۰/۲۷ تعیین کرد و اذعان نمود که مقدار ضریب گیاهی به دست آمده برای مرحله میانی رشد بیش‌تر از مقدار ارائه شده توسط FAO است. این اعداد بیش از پیش لزوم تعیین K_c برای ارقام پرمحصول جدید (و نه صرفاً اتکاء به اعداد ارائه شده توسط FAO) را روشن‌تر می‌سازد. Doorenbos and Pruitt (1977) پیشنهاد کردند که نیاز است مقادیر K_c به صورت تجربی با استفاده از لایسیمتر برای گیاه و منطقه مورد نظر تعیین گردد. Doorenbos and Pruitt (1977) و Allen et al., (1998) ضرایب گیاهی را برای تعدادی از گیاهان و شرایط آب و هوایی مختلف ارائه کردند، اما به لزوم واسنجی محلی آن‌ها برای شرایط آب و هوایی معین تأکید کرده‌اند. بر این اساس، این پژوهش با هدف (۱) تعیین تبخیرتعرق و نیاز آبی گندم در دوره‌های ده روزه، ماهانه و کل فصل رشد برای استفاده بهینه از منابع محدود آب در دشت تبریز، (۲) تعیین ضرایب گیاهی برای مراحل مختلف رشد (تا با برآورد تبخیرتعرق مرجع با استفاده از داده‌های هواشناسی بتوان با دقت بیشتری تبخیرتعرق گندم را برآورد کرد) و (۳) مقایسه نتایج تبخیرتعرق و ضرایب گیاهی اندازه‌گیری شده با مقادیر برآورد شده توسط روش پیشنهادی فائو ۵۶ (تا در صورت بالا بودن دقت این روش، از آن برای برآورد نیاز آبی در

Handal (1989) تبخیرتعرق گندم را به روش‌های مستقیم و غیر مستقیم تعیین نمودند. تبخیرتعرق فصلی به دست آمده از لایسیمتر برابر ۳۰۹ میلی‌متر بود. روش استفاده از تخلیه رطوبت خاک، تبخیرتعرق را ۱۲۴ میلی‌متر بیش‌تر از لایسیمتر برآورد کرده بود و تبخیرتعرق پتانسیل در طول فصل رشد توسط روش پنمن اصلاح شده، پاپاداکیس، تشت تبخیر و جنسن-هیز به ترتیب ۳۲۸، ۳۱۴، ۳۷۸ و ۴۳۷ میلی‌متر به دست آمد. در روش غیرمستقیم برآورد تبخیرتعرق گندم بیش‌تر دو روش مد نظر می‌باشد که اولی اندازه‌گیری تبخیر از تشت و برآورد تبخیرتعرق محصول با استفاده از نسبت ETC/Ep می‌باشد که برای محصولات مختلف توسط پژوهشگران تعیین شده‌اند (Choudhary and Kumar, 1980; Jalota et al., 1980; Shimshi et al., 1981; Miller and Hang, 1982; Bunyolo et al., 1985). در روش دوم نیز مقدار ETo توسط معادلات تجربی تعیین می‌شود و سپس با استفاده از ضریب گیاهی مقدار تبخیرتعرق محصول برآورد می‌گردد. یکی از معمول‌ترین منابع برای تعیین K_c نشریات FAO می‌باشند که بیش‌ترین مقدار آن برای گندم ۱/۲۵ در مرحله میانی رشد و کمترین آن ۰/۲۵ و در انتهای رشد و رسیدگی کامل می‌باشد (Doorenbos and Pruitt, 1977; Allen et al., 1998). اما به علت شرایط آب و هوایی و رقم مورد کاشت متفاوت در نقاط مختلف دنیا، ضرایب گیاهی مختلفی برای این گیاه گزارش شده است که بیش‌ترین مقدار آن ۱/۹ در مرحله میانی رشد در ایران (Shariati, 1995) و استرالیا (Meyer et al., 1999) و کمترین مقدار آن نیز ۰/۱ و مربوط به انتهای رشد در منطقه‌ای در تگزاس آمریکا (Anonymous, 2003) می‌باشد. Singh and Handal (1989) نیز در پژوهش خود متوسط ضریب گیاهی را در طول فصل رشد در روش‌های پنمن اصلاح شده، پاپاداکیس، تشت تبخیر، جنسن-هیز و لایسیمتر به ترتیب ۰/۹۴، ۰/۹۸، ۰/۸۲، ۰/۷۱ و ۱/۰۰ به دست آوردند. در پژوهشی که Guerra and Jacomazzi (2001) در ناحیه سرادو برزیل انجام دادند، ضریب گیاهی برای ابتدای رشد ۰/۸۲ اندازه‌گیری گردید و در منطقه تگزاس آمریکا (Anonymous, 2003) بین ۰/۱ تا ۰/۵ برآورد شد. Laaboudi et al., (2015) در شرایط مختلف آب و هوایی الجزایر از نیمه‌مرطوب تا خیلی‌خشک، مقدار ضریب

زهکش دار بدون سطح ایستابی از نوع تعادل آبی با سطح مقطع دایره به شعاع و ارتفاع ۱/۵ متر با کف مخروطی شیب دار حاوی سنگریزه به عنوان فیلتر و یک خروجی با قطر ۴۰ میلی متر برای خارج کردن زه آب کار گذاشته شد (Aboukhaled et al., 1982). قبل از نصب لایسیمتر نیم رخی در نزدیکی محل نصب حفر شده و به دقت لایه بندی آن تعیین گردید. جاگذاری لایسیمتر مطابق استاندارد (Aboukhaled et al., 1982) انجام گرفت. افق های خاک مطابق لایه بندی اولیه خاک، به دقت در داخل لایسیمتر قرارداد شدند تا حتی الامکان خاک داخل لایسیمتر از نظر لایه بندی و تراکم با خاک خارج آن مشابه باشد. یکی از لایسیمترها برای اندازه گیری تبخیر تعرق مرجع تحت کاشت چمن قرار گرفت و لایسیمتر دیگر برای کاشت گندم استفاده شد. در شکل های ۲ و ۳ به ترتیب لایسیمترهای مورد استفاده برای گندم و چمن نشان داده شده است.



Figure 2- Wheat lysimeter at its initial stage
شکل ۲- لایسیمتر گندم در اوایل مراحل رشد



Figure 3- Grass lysimeter with FDR access tube
شکل ۳- لایسیمتر چمن و لوله اندازه گیری رطوبت در وسط آن در سال اول و قبل از کاشت برای مدیریت مناسب

مناطقی که دسترسی به لایسیمتر وجود ندارد، استفاده گردد) انجام شد.

مواد و روش ها

منطقه مورد مطالعه و داده ها

این پژوهش به مدت چهار سال در دشت تبریز و در ایستگاه تحقیقات کشاورزی خسروشاه (طول جغرافیایی ۳۹° ۰۲' ۴۶" و عرض جغرافیایی ۴۲° ۵۸' ۳۷") به مرحله اجرا درآمد. بر اساس اطلاعات ایکاردا (De Pauw, 2003) دشت تبریز با زمستان سرد و تابستان گرم از نظر تقسیم بندی آب و هوایی به روش یونسکو (UNESCO, 1979) در ناحیه نیمه خشک واقع شده است و دارای ۵ ماه خشک، ۵ ماه مرطوب و ۲ ماه متوسط از نظر بارندگی است. بر اساس اطلاعات اداره کل هواشناسی استان، متوسط دمای سردترین و گرمترین ماه سال به ترتیب ۱/۴- و ۲۶/۲ درجه سانتی گراد می باشد. از کل ۲۶۷ میلی متر بارندگی سالیانه (متوسط ۳۰ ساله)، ۴۳ درصد (۱۱۵ میلی متر) در بهار، ۶ درصد (۱۶ میلی متر) در تابستان، ۲۶ درصد (۶۹ میلی متر) در پاییز و ۲۵ درصد (۶۸ میلی متر) در زمستان اتفاق می افتد. شکل ۱ رژیم آب و هوایی ایستگاه تبریز را نشان می دهد.

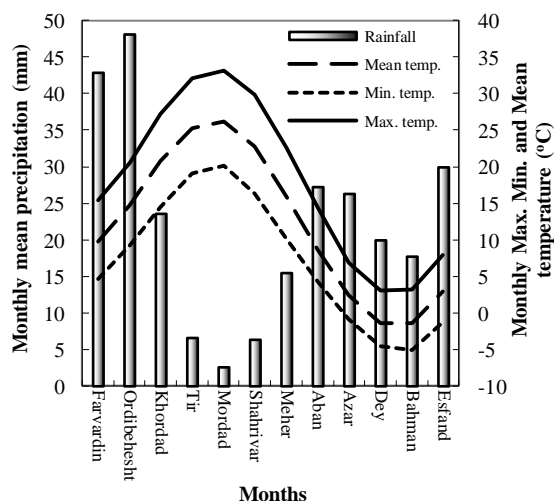


Figure 1- Climate regime of Tabriz plain based on 30 years weather data of Tabriz weather station

شکل ۱- رژیم آب و هوایی دشت تبریز براساس آمار ۳۰ ساله ایستگاه هواشناسی تبریز

برای اجرای آزمایش ابتدا دو قطعه زمین در کنار هم هر کدام به مساحت ۳۶۰۰ متر مربع (۶۰ × ۶۰ متر) که در اطراف آن تا شعاع ۵۰۰ متری هیچ گونه مانعی نبود در نظر گرفته شده و در وسط هر کدام یک لایسیمتر حجمی

عدد تانسیومتر یکی در عمق ۶۰ سانتی‌متری و ثابت و دیگری هنگام کاشت در عمق ۱۰ سانتی‌متری قرار داده شد که عمق قرار گرفتن تانسیومتر اخیر با افزایش عمق ریشه افزایش یافته و در نهایت در عمق ۳۰ سانتی‌متری خاک ثابت گردید.

آبی و کودی، نمونه‌های خاک از لایه‌های مختلف نیم‌رخ خاک تهیه و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن‌ها تعیین گردید که نتایج به دست آمده در جدول ۱ ارائه شده است. برای جلوگیری از تنش رطوبتی و نگهداشتن رطوبت خاک داخل لایسیمتر نزدیک به رطوبت گنجایش مزرعه‌ای، دو

Table 1- Physio-chemical properties of soil of lysimeters
جدول ۱- ویژگی‌های شیمیایی خاک محل قرارگیری لایسیمترها

Depth (cm)	EC (dS m ⁻¹)	pH	Organic C (%)	N	P (mg kg ⁻¹)	K	Saturation (%)	Soil Particles (%)			Soil Texture
								Sand	Silt	Clay	
0-30	3.7	7.6	0.59	0.06	12.0	400	36	41	38	21	Loam
30-60	5.0	7.9	0.27	0.03	4.4	270	32	49	33	18	Loam
60-95	8.0	7.9	0.10	0.00	2.6	210	25	67	11	22	Sandy Clay Loam
95-110	8.7	8.0	0.06	0.00	0.8	130	25	77	18	5	Loamy Sand
110-150	18.4	7.9	0.08	0.00	1.2	210	32	47	40	13	Loam

طور متوسط در هر روز ۱۰۰ لیتر آب به داخل لایسیمتر داده می‌شد. البته با توجه به عدم استقرار به موقع چمن در سال اول، اندازه‌گیری ETo در سال اول اجرای پژوهش میسر نگردید و در سال اول مقدار ETo از طریق معادله ۴ محاسبه شد.

$$ET_o = K_p \times E_p \quad (۴)$$

که در آن Kp ضریب تشت تبخیر کلاس A است که بر اساس شرایط آب و هوایی دشت تبریز و جدول ارائه شده توسط (Doorenbos and Pruitt, 1977; Allen et al., 1998) برابر ۰/۶۵ اختیار شد و Ep تبخیر انباشته از تشت تبخیر کلاس A در فواصل ده روزه می‌باشد. برای مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده تبخیرتعلق گندم با مقادیر برآورد شده، از روش پیشنهادی فائو ۵۶ استفاده گردید در این روش که امروزه به عنوان روش مرجع توسط FAO ارائه شده و به طور گسترده به کار گرفته می‌شود، برای برآورد تبخیرتعلق مرجع از روش پنمن-مانتیت (Allen et al., 1998) استفاده می‌شود که به صورت معادله ۵ ارائه شده است.

$$ET_o = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \left(\frac{900}{T + 273} \right) u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 u_2)} \quad (۵)$$

که در آن ET_o تبخیرتعلق مرجع (میلی‌متر در روز)، R_n تشعشع خالص (مگاژول بر متر مربع در روز)، G جریان دمای خاک (مگا ژول بر متر مربع در روز)، T دمای هوا در ارتفاع ۲ متری (درجه سانتی‌گراد)، u₂ سرعت باد در ارتفاع ۲ متری (متر بر ثانیه)، e_s و e_a به ترتیب فشار بخار اشباع و واقعی (کیلوپاسکال)، Δ شیب منحنی فشار بخار (کیلوپاسکال بر درجه سانتی‌گراد) و γ ثابت

زمانی که مکش خاک در یکی از تانسیومترها به ۰/۱ بار بیش‌تر از مکش مربوط به رطوبت گنجایش مزرعه‌ای می‌رسید، آبیاری انجام می‌گرفت. در طول فصل رشد، آماربرداری و اندازه‌گیری پارامترهای فرمول بیلان آبی خاک انجام گردید. علاوه بر پارامترهای فرمول بیلان آبی خاک، میزان تبخیر از تشت کلاس A در طول فصل رشد ثبت گردید. در هر دوره ده روزه و همچنین در طی کل دوره رشد تبخیرتعلق محصول توسط معادله بیلان آبی خاک (معادله ۱) محاسبه گردید.

$$ET_c = P + I - D - R + \Delta SW \quad (۱)$$

که در آن ET_c تبخیرتعلق گیاه، P مقدار بارندگی، I مقدار آبیاری، D مقدار آب زهکشی، R مقدار رواناب سطحی و ΔSW تغییرات رطوبت خاک در ابتدا و انتهای هر دوره می‌باشد. تمامی پارامترهای معادله بیلان آبی حسب میلی‌متر می‌باشد. ΔSW از معادله ۲ محاسبه می‌شود.

$$\Delta SW = SW_1 - SW_2 \quad (۲)$$

مقدار بارندگی از ایستگاه هواشناسی مرکز (به فاصله تقریبی ۱۵۰ متر از لایسیمتر) اخذ گردید. مقدار آبیاری داخل لایسیمتر توسط کنتور و حجم آب خروجی از زهکش توسط استوانه مدرج یک لیتری اندازه‌گیری گردید. بعد از تعیین تبخیرتعلق بالقوه گندم در هر دوره ده روزه، ضریب گیاهی برای آن دوره از طریق معادله ۳ تعیین شد.

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_o} \quad (۳)$$

که در آن K_c ضریب گیاهی گندم و ET_o تبخیرتعلق مرجع می‌باشد که توسط لایسیمتر چمن اندازه‌گیری می‌گردید. آبیاری چمن به طور روزانه انجام می‌گرفت و به

سایکرومتری (کیلوپاسکال بر درجه سانتی‌گراد) می‌باشد. بعد از برآورد تبخیرتعلق مرجع، مقدار تبخیرتعلق گندم از معادله ۶ برآورد گردید.

$$ET_c = K_c \times ET_o \quad (6)$$

که در آن ET_c تبخیرتعلق برآورد شده گندم، K_c ضریب گیاهی ارائه شده توسط فائو برای گندم (Allen et al., 1998) و ET_o تبخیرتعلق مرجع برآورد شده توسط معادله پنمن-مانتیث (معادله ۵) می‌باشد. در پایان هر فصل رشد، عملکرد دانه و کاه برای بوته‌های داخل لایسیمتر اندازه‌گیری شده و پارامترهای شاخص برداشت و کارایی مصرف آب (WUE) برای آن تعیین گردید.

نتایج و بحث

برای تعیین میزان تبخیرتعلق و ضریب گیاهی گندم رقم الوند نتایج چهار ساله با هم ادغام شد. میانگین عملکرد بیولوژیک و دانه در داخل لایسیمتر ۱۸/۳۲ و ۷/۴۵ تن در هکتار به دست آمد و براساس آن بهره‌وری آب داخل لایسیمتر بر پایه عملکرد بیولوژیک و دانه به ترتیب ۲/۵۰ و ۱/۰۲ کیلوگرم بر متر مکعب محاسبه شد. متوسط شاخص برداشت در طی چهار سال ۰/۴۱ تعیین گردید.

تبخیرتعلق

کل متوسط مقدار تبخیرتعلق گندم از کاشت (اول آبان ماه) تا برداشت (آخر تیر ماه) (۲۷۳ روز) در طی این چهار سال برابر ۷۳۲/۲ میلی‌متر اندازه‌گیری گردید. از این مقدار ۵۵/۴ میلی‌متر در پاییز و زمستان (۱۴۹ روز) و بقیه یعنی ۶۷۶/۸ میلی‌متر در بهار و تابستان (۱۲۴ روز) صورت گرفته است. در طول همین دوره روش فائو ۵۶ مقدار تبخیرتعلق گندم را ۷۲۰/۷ میلی‌متر برآورد نمود که حدود ۱/۶ درصد کم‌تر از مقدار اندازه‌گیری شده توسط لایسیمتر است. این نتایج با نتایج Farshi (1993) و Shariati (1993) که مقدار متوسط تبخیرتعلق گندم را در کرج (آب و هوایی کمابیش مشابه دشت تبریز) به ترتیب ۷۴۹/۹ و ۷۵۹ میلی‌متر به دست آوردند و همچنین با نتایج Sattar (1998) در اصفهان با ۶۶۲ میلی‌متر، مطابقت دارد ولی با نتایج برآورد تبخیرتعلق از روی داده‌های هواشناسی توسط Farshi et al., (1997) اختلاف زیادی دارد به طوری که میزان

تبخیرتعلق برآورد شده برای گندم در دشت تبریز، ۵۱۱/۶ میلی‌متر می‌باشد (Farshi et al., 1997) که نسبت به نتایج به دست آمده در پژوهش حاضر (روش لایسیمتر) حدود ۳۰ درصد کم‌تر است. البته اختلاف اساسی در میزان تبخیرتعلق از میزان ضریب گیاهی انتخاب شده توسط آن‌ها ناشی می‌شود چرا که اختلاف مقدار تبخیرتعلق مرجع در هر دو روش کم است. متوسط کل مقدار تبخیرتعلق مرجع در طول فصل رشد گندم در طی این چهار سال در یک مطالعه لایسیمتری چمن برابر ۷۱۵/۴ میلی‌متر اندازه‌گیری گردید و تبخیرتعلق مرجع برآورد شده برای دشت تبریز توسط پنمن-مانتیث FAO و Farshi et al., (1997) به ترتیب ۷۴۳/۳ و ۷۴۴/۷ میلی‌متر بوده است و ملاحظه می‌گردد که اختلاف کم (حدود ۴ درصد) می‌باشد و هم‌چنان که قبلاً اشاره گردید علت اصلی اختلاف در تبخیرتعلق گندم بین روش اندازه‌گیری مستقیم توسط لایسیمتر و روش برآورد توسط Farshi et al., (1997) از ضریب گیاهی ناشی می‌شود که در تشریح ضریب گیاهی به این اختلاف پرداخته خواهد شد. Mohseni Movahed et al., (2011) نیز در اراک نتایج مشابهی در خصوص کم برآورد تبخیرتعلق گندم توسط Farshi et al., (1997) به دست آوردند با این تفاوت که کم برآوردی در اراک (۸ درصد) بسیار کم‌تر از پژوهش جاری بود. در شکل ۲ روند تغییرات تبخیرتعلق مرجع و گندم ارائه شده است. همان طوری که ملاحظه می‌شود در تبخیرتعلق‌های کم (قدرت تبخیرکنندگی کم اتمسفر) میزان تبخیرتعلق برآورد شده توسط روش FAO-56 بیش‌تر از مقدار اندازه‌گیری شده توسط لایسیمتر است (تا اواخر اردیبهشت) ولی در تبخیرتعلق‌های زیاد (از اول خرداد تا پایان فصل رشد گندم) این روند برعکس شده و مقدار اندازه‌گیری شده بیش‌تر از روش FAO-56 می‌باشد. همین روند در مورد تبخیرتعلق مرجع نیز دیده می‌شود و این مسأله حاکی از آن است که علت بیش‌تر بودن تبخیرتعلق اندازه‌گیری شده گندم نسبت به برآورد شده در ماه‌های گرم و برعکس، از تبخیرتعلق مرجع ناشی می‌شود. منحنی یک به یک تبخیرتعلق مرجع (شکل ۵) این مورد را بهتر توضیح می‌دهد.

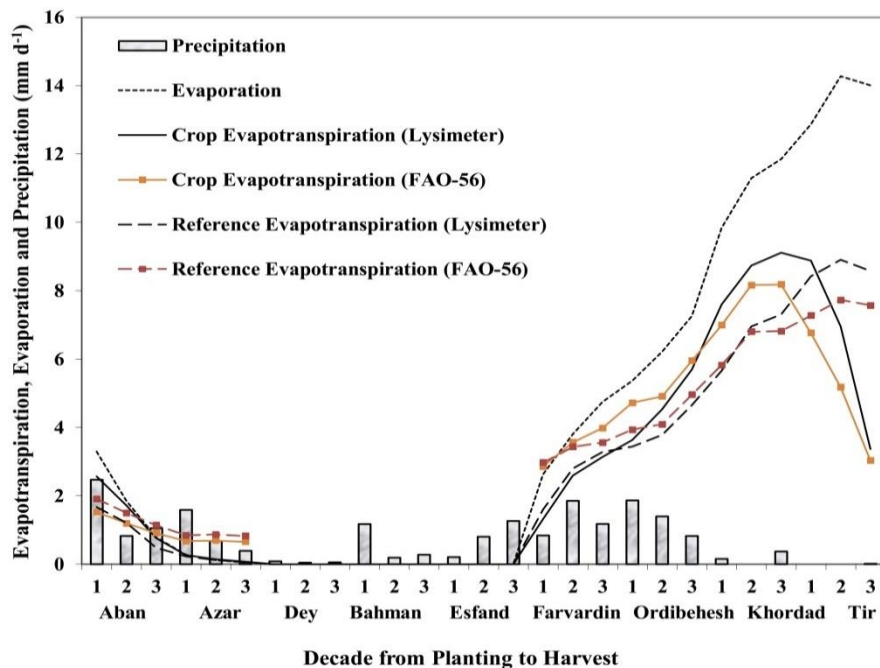


Figure 4- Crop and reference evapotranspiration, evaporation and precipitation during wheat growing season (4 years average)

شکل ۴- روند تغییرات تبخیر، تبخیرتعرق مرجع و محصول و بارندگی در دوره‌های ده روزه از کاشت تا برداشت (متوسط چهار ساله)

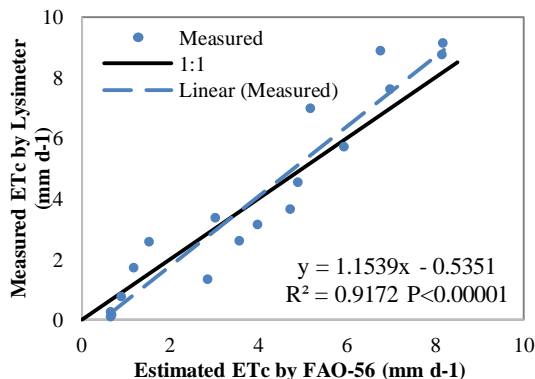


Figure 6- Measured crop evapotranspiration against estimated crop evapotranspiration by FAO

شکل ۶- مقادیر تبخیرتعرق گندم اندازه‌گیری شده توسط لایسیمتر و برآورد شده توسط روش FAO ۵۶ اندازه‌گیری شده توسط لایسیمتر با مقدار برآورد شده توسط روش FAO-56 کم است حتی در تبخیرتعرق‌های زیاد (۸ میلی‌متر بر روز) اختلاف تنها حدود ۰/۷ میلی‌متر بر روز (۸ درصد) است. مقایسه مقدار تبخیرتعرق گندم برآورد شده به روش FAO-56 و روش Farshi et al., (1997) نشان داد که استفاده از روش FAO-56 برای تعیین ضریب گیاهی گندم در طول دوره رشد بسیار دقیق‌تر از ضرایب گیاهی استفاده شده توسط Farshi et al., (1997) است. در کل مطالعات انجام شده در نقاط مختلف دنیا نشان داده است که تبخیرتعرق گندم براساس شرایط آب و هوایی منطقه (قدرت تبخیرکنندگی

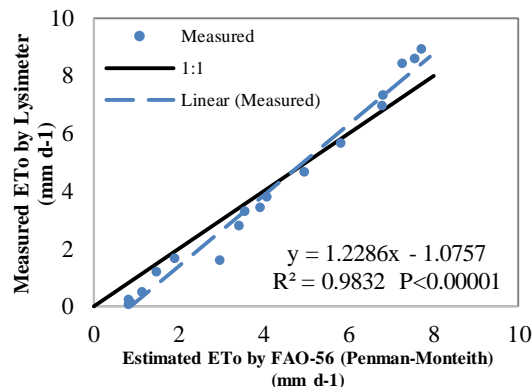


Figure 5- Measured reference evapotranspiration against estimated reference evapotranspiration by FAO

شکل ۵- مقادیر تبخیرتعرق مرجع اندازه‌گیری شده توسط لایسیمتر و برآورد شده توسط روش پنمن-مانتیث FAO همان طوری که دیده می‌شود در تبخیرتعرق‌های کم‌تر از ۵ میلی‌متر بر روز، مقدار تبخیرتعرق برآورد شده بیش‌تر از اندازه‌گیری شده است و بر عکس در تبخیرتعرق‌های بیش‌تر از ۵ میلی‌متر بر روز، تبخیرتعرق اندازه‌گیری شده بیش‌تر از برآورد شده می‌باشد. این مطلب توسط Onnabi Milani and Neyshabouri (2018) و Onnabi Milani (2006) نیز نشان داده شده است. البته مقداری از انحراف بین تبخیرتعرق مرجع اندازه‌گیری شده و برآورد شده، در تبخیرتعرق گندم با وارد شدن ضریب گیاهی تعدیل می‌یابد به طوری که همانطوری که در شکل ۴ دیده می‌شود اختلاف تبخیرتعرق گندم

دشت تبریز نیز در جدول ۲ ارائه شده است. همان طوری که ملاحظه می‌شود بیش‌ترین مقدار تبخیرتعلق مربوط به خرداد ماه و برابر ۲۶۳/۷ میلی‌متر (۸/۵۱ میلی‌متر بر روز) است که مصادف با تشکیل سنبله، مرحله گل‌دهی و تشکیل دانه می‌باشد و مراحل بیش‌ترین نیاز گیاه به آب هستند. در مقابل کم‌ترین مقدار تبخیرتعلق در آذر ماه اتفاق می‌افتد (۰/۱۶ میلی‌متر بر روز) که علت امر پایین بودن قدرت تبخیرکنندگی آتمسفر می‌باشد (شکل ۲).

آتمسفر)، طول دوره رشد (مصادف شدن دوره رشد با شرایط تبخیرکنندگی زیاد و برعکس) و نوع رقم بسیار متفاوت است. بیش‌ترین مقدار تبخیرتعلق گندم در دشت تبریز در دهه سوم خرداد اتفاق می‌افتد (۹/۱۱ میلی‌متر بر روز) که مصادف با مرحله تشکیل دانه است. کم‌ترین مقدار نیاز آبی هم مربوط به دهه سوم آذر است (۰/۰۸ میلی‌متر بر روز) که به علت سردی هوا گیاه آماده خواب زمستانی می‌شود (شکل ۴). تبخیرتعلق ماهانه گندم در

Table 2- The results of Mean monthly evapotranspiration, evaporation, precipitation, irrigation requirement and crop (K_c) and Pan (K_p) coefficients

جدول ۲- نتایج متوسط ماهانه تبخیرتعلق، تبخیر از تشت کلاس A، بارندگی، نیاز آبیاری و ضرایب گیاهی (K_c) و تشت تبخیر (K_p)

Month	Evapotranspiration				Precipitation (mm d ⁻¹)	Irrigation Requirement	Evaporation (Ep)	K _p	K _{CL}	K _{CF}	ETc/Ep
	Lysimeter		FAO-56								
	Reference	Crop	Reference	Crop							
Aban	1.12	1.68	1.52	1.21	1.45	0.33	1.98	0.57	1.50	0.80	0.85
Azar	0.14	0.16	0.84	0.68	0.89	0.00	0.15	0.93	1.20	0.80	1.11
Dey	-	-	-	-	0.06	0.00	-	-	-	-	-
Bahman	-	-	-	-	0.55	0.00	-	-	-	-	-
Esfand	-	-	-	-	0.76	0.00	-	-	-	-	-
Farvardin	2.58	2.38	3.33	3.47	1.29	1.09	3.76	0.69	0.92	1.04	0.63
Ordibehesht	3.98	4.66	4.35	5.19	1.35	3.31	6.31	0.63	1.17	1.20	0.74
Khordad	6.66	8.51	6.49	7.78	0.18	8.32	11.02	0.60	1.28	1.20	0.77
Tir	8.63	6.30	7.53	4.99	0.00	6.30	13.73	0.63	0.73	0.66	0.46
Average	3.89	3.98	4.04	3.89	0.86	3.23	6.21	0.63	1.02	0.97	0.64

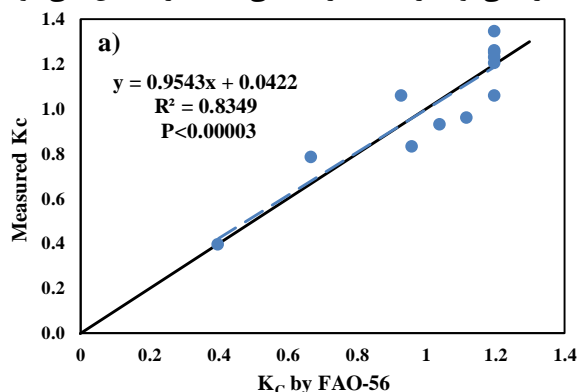
K_p, K_{CL}, K_{CF}, Ep و ETc به ترتیب ضریب تشت کلاس A، ضریب گیاهی حاصل از لایسیمتر، ضریب گیاهی فائو، تبخیر از تشت و تبخیرتعلق محصول می‌باشند.

ضریب گیاهی

مختلف الجزایر متوسط ضریب گیاهی گندم در طول دوره رشد در شرایط آب و هوایی خشک و بسیار خشک بیش‌تر از یک و در شرایط نیمه خشک و نیمه مرطوب کم‌تر از یک به دست آمد (Laaboudi et al., 2015). تمامی این پژوهش‌ها حاکی از آن است که متوسط ضریب گیاهی گندم در طول دوره رشد برای شرایط آب و هوایی خشک و نیمه خشک نظیر دشت تبریز نمی‌تواند کم‌تر از ۰/۹ باشد و به همین دلیل است که تبخیرتعلق برآورد شده توسط (Farshi et al., 1997) به مقدار قابل توجهی کم‌تر از مقدار اندازه‌گیری شده می‌باشد. البته باید اذعان داشت که ضرایب استفاده شده توسط ایشان بیش‌تر بر اساس ویرایش قدیمی تر FAO (Doorenbos and Pruitt, 1977) و ارقام قدیمی گندم که عملکرد کم‌تری داشته‌اند بوده است و ارقام جدید گندم به دلیل داشتن عملکرد بیش‌تر، نیاز آبی زیادتری نیز دارند. مقایسه ضریب گیاهی اندازه‌گیری شده با ضرایب به دست آمده از جداول FAO (Allen et al., 1998) و (Farshi et al., 1997) برای طول دوره رشد به جز مرحله اولیه رشد (به دلیل عدم پوشش کامل و تأثیر شدید تبخیر از سطح خاک در میزان

متوسط چهار ساله ضریب گیاهی برای کل دوره رشد براساس نسبت تبخیرتعلق گندم (۷۳۲/۲ میلی‌متر) به تبخیرتعلق مرجع (۷۱۵/۴ میلی‌متر) برابر ۱/۰۲ به دست آمد (جدول ۲) در حالی که متوسط ضریب گیاهی استفاده شده توسط (Farshi et al., 1997) برای برآورد نیاز آبی گندم برای دشت تبریز برابر ۰/۷۰ بوده است. (Singh and Handal 1989) نیز در پژوهش خود که برای مقایسه روش‌های مستقیم و غیر مستقیم تعیین تبخیرتعلق گندم انجام داده بودند، متوسط ضریب گیاهی را در طول فصل رشد توسط لایسیمتر برابر ۱/۰۰ به دست آوردند که با پژوهش حاضر همخوانی بالایی دارد. (Abedinpour 2016) نیز متوسط ضریب گیاهی را برای گندم در کاشمر ۰/۹۶ تعیین نمود. (Tyagi et al., 2000) نیز در یک مطالعه لایسیمتری متوسط ضریب گیاهی را برای گندم در هندوستان (آب و هوای مرطوب) برابر ۰/۸۸ تعیین کردند. (Liu et al., 2002) متوسط ضریب گیاهی را در کل دوره رشد گندم در چین با استفاده از لایسیمتر ۰/۹۳ به دست آوردند. در پژوهشی در شرایط آب و هوایی

(2011) نیز همبستگی خوبی ($R^2 = 0.92$) بین ضریب گیاهی برآورد شده و ضریب گیاهی ارائه شده توسط FAO در غرب ایران (دشت آزادگان) به دست آوردند. با توجه به شکل ۷، علت مغایرت بین نتایج به دست آمده در پژوهش جاری در خصوص تبخیرتعرق گندم با آنچه که توسط Farshi et al., (1997) برای دشت تبریز ارائه شده است، مشخص می‌شود. همان طوری که در شکل ۷ دیده می‌شود ضرایب گیاهی استفاده شده توسط Farshi et al., (1997) در تمامی مراحل رشد (به جز دهه سوم فروردین) کم‌تر از مقدار اندازه‌گیری شده بوده است. بر اساس روش پیش‌نهادی FAO برای تعیین ضریب گیاهی در اوایل دوره رشد که سهم بیش‌تر تبخیرتعرق را به علت کم بودن پوشش گیاهی، تبخیر به عهده دارد، از منحنی مربوطه استفاده می‌شود که بر اساس تناوب آبیاری و یا بارندگی و قدرت تبخیرکنندگی اتمسفر تعیین می‌شود.



تبخیرتعرق (Vieira et al., 2016) نشان داد که تطابق خوبی بین ضرایب گیاهی حاصل از روش FAO-56 و ضرایب گیاهی اندازه‌گیری شده وجود دارد، به طوری که خط رگرسیونی حاصل، تقریباً بر خط یک به یک منطبق است (شکل ۷). این تطابق نشان می‌دهد در صورتی که ضرایب ارائه شده توسط FAO برای شرایط آب و هوایی منطقه تصحیح شوند به خوبی قادرند تأثیر ویژگی‌های گندم را بر میزان تبخیرتعرق در طول دوره رشد نشان دهند و به شرط تعیین دقیق تبخیرتعرق مرجع، میزان تبخیرتعرق و نیاز آبی گندم را با دقت خوبی برآورد کنند. Vieira et al., (2016) نیز در برزیل تطابق خوبی بین ضریب گیاهی اندازه‌گیری شده و FAO به ویژه برای مرحله میانی رشد به دست آوردند و بر لزوم تعدیل ضرایب ارائه شده FAO برای شرایط آب و هوایی منطقه طبق پیشنهاد FAO تأکید کردند. Rahimian et al.,

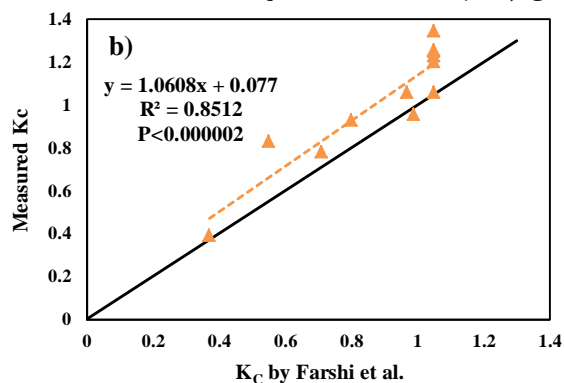
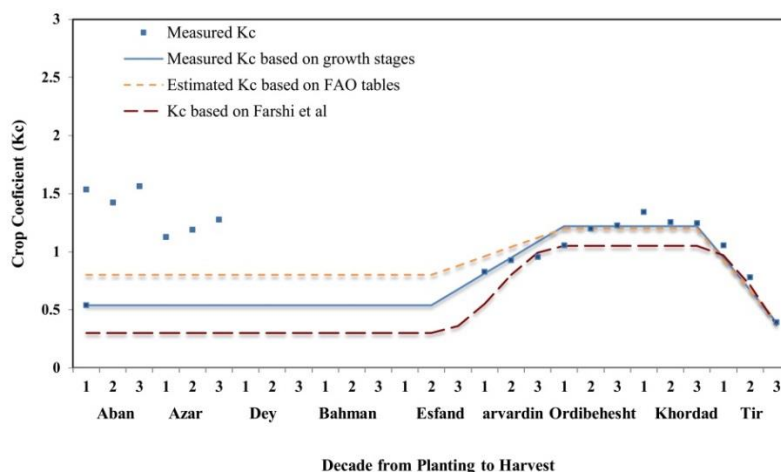


Figure 7- Measured crop coefficient (K_c) against estimated K_c by FAO-56 (a) and Farshi et al., (b) for Tabriz plain
 شکل ۷- ضرایب گیاهی اندازه‌گیری شده به ضرایب گیاهی به دست آمده از (a) جدول FAO و (b) Farshi et al., (1997) برای دشت تبریز

برای تبخیر-تعرق مرجع ۳-۱ میلی‌متر بر روز و فواصل خیس شدن سطح خاک کم‌تر از یک هفته، محدوده ضریب گیاهی برای مراحل اولیه رشد، ۰/۸ تا ۱/۲ تعیین شده است که در پژوهش جاری براساس ویژگی‌های منطقه ۰/۸ در نظر گرفته شد (شکل ۸). پژوهش‌هایی نیز وجود دارند که نشان می‌دهند در اوایل دوره رشد در بعضی شرایط ضرایب گیاهی بیش‌تر از مورد انتظار است به عنوان نمونه در پژوهشی در گریفیس استرالیا (Meyer et al., 1999) در طول دوره رشد ابتدایی در بعضی دهه‌ها اعداد بزرگتری مانند ۱/۷۸ نیز دیده شده است، هر چند که متوسط ضریب گیاهی برای این مرحله ۰/۳ بوده است. Vieira et al., (2016) در مارینگا برزیل مقدار ضریب گیاهی گندم را برای مرحله ابتدایی رشد ۰/۳ تعیین

این مقدار توسط Farshi et al., (1997) برای دشت تبریز برابر ۰/۳ در نظر گرفته شده است ولی با توجه به اینکه در پژوهش حاضر به دلیل عدم ایجاد تنش آبی در مرحله اولیه رشد که سیستم ریشه‌ای گیاه سطحی است، آبیاری‌ها با تناوب دو روز صورت گرفته و با توجه به متوسط تبخیرتعرق مرجع برای اوایل دوره رشد (۰/۶۳ میلی‌متر بر روز) طبق منحنی ارائه شده توسط FAO، ضریب گیاهی برای اوایل دوره رشد زیاد بوده و اعداد دور از انتظاری مثل ۱/۵۷، ۱/۵۴ و ۱/۴۲ نیز دیده می‌شوند که علت امر زیاد بودن تبخیر از سطح خاک به دلیل مرطوب بودن پی در پی سطح خاک است ولی متوسط ضریب گیاهی برای دوره رشد ابتدایی ۰/۵۴ می‌باشد (شکل ۸) ولی در نشریه FAO ۵۶ (Allen et al., 1998)،

شده در ایران نشان می‌دهد که مقادیر متفاوتی برای ضریب گیاهی گندم در مرحله ابتدایی رشد بر حسب شرایط آب و هوایی و ارقام مورد مطالعه ارائه شده است. Niazi et al., (2013) در مشهد ۰/۳، Gholami et al., (2010) در فارس ۰/۳۷، و Shariati (1995) در کرج بین ۰/۵ تا ۰/۷۲ تعیین نمودند.



شکل ۸ - تغییرات ضریب گیاهی گندم در طول دوره رشد در دشت تبریز (متوسط چهار ساله)
Figure 8- Wheat crop coefficient during growing season at Tabriz plain (4 years average)

(2000)، ۱/۲۴ به دست آمده است که با نتایج پژوهش حاضر تطابق بیشتری دارند. برای انتهای دوره رشد و رسیدگی، ضریب گیاهی به دست آمده در این پژوهش (۰/۳۹) با مقدار برآورد شده توسط Farshi et al., (1997) (۰/۳۷) و مقدار پیشنهادی FAO (Allen et al., 1998) برای برداشت محصول با دست (۰/۴) تقریباً یکسان است (شکل ۶). همانند مراحل ابتدایی و میانی رشد برای مرحله پایانی رشد نیز مقادیر متفاوتی از ضریب گیاهی گزارش شده است. مقدار ضریب گیاهی برای انتهای دوره رشد و رسیدگی فیزیولوژیکی در تگزاس امریکا (Anonymous, 2003) ۰/۱، مارینگا برزیل (Vieira et al., 2016) ۰/۳، هنان چین (Gao et al., 2009) ۰/۳۴، هاریانا هندوستان (Rawat et al., 2017) ۰/۴، گریفیس استرالیا (Meyer et al., 1999) و کارنال هندوستان (Tyagi et al., 2000) ۰/۴۲، سرادو برزیل (Guerra and Jacomazzi, 2001) ۰/۶۲، آریزونای آمریکا (Hunsaker et al., 2005) ۰/۶۵، مناطق مختلف الجزایر (Laaboudi et al., 2015) ۰/۶۷ تا ۱، شمال چین (Liu et al., 2002) ۰/۷۲ و کرج ایران (Shariati, 1995) ۰/۹۴ تعیین شده است که نتایج مربوط به کارنال و هاریانا هندوستان و گریفیس استرالیا با

کردند و اذعان داشتند که به دلیل عدم پوشش کامل در این مرحله و زیاد بودن تبخیر از خاک نسبت به تعرق گیاه، مقدار ضریب گیاهی با آنچه که FAO پیشنهاد کرده است متفاوت است. در هندوستان (Rawat et al., 2017) و (Tyagi et al., 2000) مقدار ضریب گیاهی برای مرحله ابتدایی رشد را به ترتیب ۰/۴ و ۰/۵ تعیین کردند که با پژوهش حاضر همخوانی خوبی دارد. پژوهش‌های انجام

برای اواسط دوره رشد (اول اردیبهشت تا آخر خرداد)، متوسط مقدار Kc در پژوهش ما ۱/۲۲ به دست آمد که بیشترین مقدار آن برابر ۱/۳۴ در دهه اول خرداد و کمترین مقدار ۱/۰۶ و مربوط به دهه اول اردیبهشت بوده است (شکل ۶). Farshi et al., (1997) متوسط ضریب گیاهی را برای این مرحله، ۱/۰۵ در نظر گرفته‌اند. نشریه ۵۶ فائو برای شرایط آب و هوایی دشت تبریز (نیمه خشک و سرعت باد متوسط ۲ متر بر ثانیه) مقدار Kc را برای اواسط دوره رشد ۱/۲۰ تعیین کرده است که همخوانی بیشتری با نتایج پژوهش حاضر دارد. اعداد مختلفی نیز برای این دوره رشد از نقاط مختلف دنیا گزارش شده است به عنوان مثال در گریفیس استرالیا با وجود بیشینه مقدار ۱/۹، متوسط ضریب گیاهی برای اواسط دوره رشد ۱/۰۵ به دست آمده است (Meyer et al., 1999). در نشریه‌ای از مرکز آب و هوایی تگزاس آمریکا (Anonymous, 2003) ضریب گیاهی بین ۱/۰۵ تا ۱/۱۰ گزارش شده است. Shariati (1995) نیز در منطقه کرج ضریب گیاهی برای مرحله میانی را بین ۱/۲۴ تا ۱/۹ به دست آورد. بیشترین مقدار ضریب گیاهی گندم در پژوهش‌های (Rawat et al., 2017) و (Tyagi et al.,

است. همان طوری که ملاحظه می‌شود بیش‌ترین مقدار ضریب گیاهی برابر $1/50$ و مربوط به آبان ماه است و چنانکه قبلاً توضیح داده شد این بالا بودن ضریب گیاهی به علت تبخیر زیاد از سطح خاک در اوایل دوره رشد و بعد از کاشت می‌باشد. با صرف‌نظر کردن از این مقدار بیش‌ترین مقدار ($1/28$) مربوط به ماه خرداد است و زمانیست که محصول به علت پوشش گیاهی کامل بیش‌ترین تبخیرتعلق را دارد.

تبخیر از تشت کلاس A

کل متوسط چهار ساله تبخیر از تشت کلاس A در دوره رشد گندم برابر $1143/0$ میلی‌متر بوده که $63/7$ میلی‌متر آن در پاییز و زمستان و بقیه یعنی $1079/3$ میلی‌متر در بهار و تابستان رخ داده است. بیش‌ترین مقدار تبخیر در دوره رشد گندم مربوط به دهه سوم تیر ماه است (شکل ۲) ولی با توجه به این که در این ماه، گندم مراحل پایانی رشد خود را می‌گذراند و به رسیدگی فیزیولوژیکی می‌رسد تبخیرتعلق کم‌تر از ماه خرداد است و به همین جهت نسبت تبخیرتعلق به تبخیر (ETc/Ep) سیر نزولی خود را می‌پیماید (جدول ۲). متوسط نسبت تبخیرتعلق گندم به تبخیر از تشت در کل دوره رشد $0/64$ به دست آمد. این نسبت برای پاییز و زمستان $0/87$ و برای بهار و تابستان $0/63$ محاسبه گردید. ولی بعد از کامل شدن پوشش گیاهی (اول اردیبهشت تا آخر خرداد) این نسبت به $0/76$ رسید. پژوهش‌های متعددی (Shimshi et al., 1981; Miller and Hang, 1982; Onnabi Milani, 2001) نشان داده است که مناسب‌ترین نسبت تبخیرتعلق گندم به تبخیر از تشت کلاس A بین $0/75$ تا $0/80$ می‌باشد که مطابقت خوبی با نتایج به دست آمده در پژوهش جاری دارد. از طرف دیگر نسبت‌های بزرگ‌تری مانند $1/4$ (Shariati, 1995) و $1/04$ (Razavi, 1997) نیز به دست آمده‌اند که با یافته‌های پژوهش حاضر کاملاً مغایرت دارند.

ضریب تشت تبخیر

ضریب تشت تبخیر یکی از ضرایب بسیار مهمی است که می‌توان با استفاده از آن از اطلاعات سهل‌الوصول تبخیر برای برآورد تبخیرتعلق مرجع و در صورت وجود ضریب گیاهی یک گیاه، نسبت به برآورد نیاز آبی آن اقدام نمود که روشی بسیار ساده و کم‌هزینه می‌باشد. هر چند که ضرایب تشت تبخیر برحسب شرایط استقرار تشت،

پژوهش حاضر کاملاً منطبق است. در نتیجه می‌توان چنین استدلال نمود که ضریب گیاهی گندم رقم الوند بیش‌تر از آن چیزی است که توسط (Farshi et al., 1997) ارائه شده است و احتمال می‌رود که ارقام پرمحصول اصلاح شده جدید به علت داشتن ضریب گیاهی بالا نیاز آبی بیش‌تری نیز دارند و این همان چیزیست که باعث شده است FAO ضرایب گیاهی ارائه شده در نشریه ۲۴ خود را در نشریه ۵۶ اصلاح نماید. همچنین زیاد بودن ضرایب گیاهی و تبخیرتعلق گندم، توسط برخی از پژوهشگران در کشور نیز به اثبات رسیده است به عنوان مثال (Shariati (1993) میزان تبخیرتعلق پتانسیل گندم را برای مدت ۹۰ روز 850 میلی‌متر به دست آورد. همچنین (Sattar (1998) در اصفهان میزان تبخیرتعلق گندم را $634/5$ میلی‌متر اندازه‌گیری کرد و (Vaziri (1993) آب مصرفی گندم رقم قدس را در کرمانشاه در فصل رشد بهار 590 میلی‌متر تعیین نمود. تمامی این پژوهش‌ها و پژوهش حاضر لزوم تعیین ضریب گیاهی را برای ارقام پرمحصول و اصلاح شده جدید بیش از پیش نشان می‌دهد تا بتوان از اطلاعات تبخیرتعلق مرجع برآورد شده توسط روابط تجربی و به ویژه پنمن-مانتیت FAO که دقت قابل قبولی نیز دارند بهتر استفاده نمود. البته به این نکته هم باید اشاره نمود که برآورد تبخیرتعلق مرجع توسط فرمول پنمن-مانتیت هر چند که از نظر مقدار کل عددی برای دوره رشد گندم با نتایج به دست آمده از لایسیمتر اختلاف ناچیزی دارد ولی از نظر توزیع زمانی اختلاف در بعضی از دهه‌ها بیش‌تر است به گفته دیگر، فرمول پنمن-مانتیت میزان تبخیرتعلق مرجع را در اوایل دوره رشد گندم تا مرحله پنجه‌زنی بیش‌تر از مقدار واقعی و در اواخر رشد و کامل شدن پوشش گیاهی کم‌تر از مقدار واقعی برآورد می‌کند، به طوری که از کل $743/3$ میلی‌متر تبخیرتعلق مرجع برآورد شده برای کل دوره رشد گندم، $70/8$ میلی‌متر (۱۰ درصد) در پاییز و زمستان و $672/5$ میلی‌متر (۹۰ درصد) در فصل رشد بهار صورت می‌گیرد در حالیکه از مقدار کل $715/4$ میلی‌متر تبخیرتعلق مرجع اندازه‌گیری شده توسط لایسیمتر برای همین مدت تنها $37/7$ میلی‌متر (۵ درصد) مربوط به پاییز و زمستان و بقیه یعنی $677/7$ میلی‌متر (۹۵ درصد) در فصل رشد بهار اتفاق می‌افتد (جدول ۲). ضریب گیاهی برای دوره‌های ماهانه نیز محاسبه و در جدول ۲ ارائه شده

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج به دست آمده در پژوهش، روش FAO56 مقدار تبخیرتغرق گندم برای دشت تبریز را به خوبی برآورد نمود به طوری که مقدار برآورد شده فصلی (۷/۷۲۰ میلی‌متر) تنها ۱/۶ درصد از مقدار اندازه‌گیری شده (۲/۷۳۲ میلی‌متر) کم‌تر بود. روش FAO56 در تبخیرتغرق‌های پایین (کم‌تر از ۳ میلی‌متر بر روز) بیش برآورد و در تبخیرتغرق‌های بالا (بیش‌تر از ۵ میلی‌متر بر روز) کم‌برآورد نشان داد. همچنین مقدار تبخیرتغرق مرجع برآورد شده به روش FAO56 (پنمن-مانتیت) (۳/۷۴۳ میلی‌متر) با مقدار اندازه‌گیری شده توسط لایسیمتر (گیاه چمن) (۴/۷۱۵ میلی‌متر) توافق بسیار خوبی داشت. بر این اساس می‌توان نتیجه گرفت که روش پنمن-مانتیت FAO با دقت خوبی می‌تواند تبخیرتغرق مرجع فصلی را برآورد کند و برای برآورد ماهانه و دهه‌ای و روزانه آن نیاز به واسنجی منطقه‌ای است. این واسنجی برای دشت تبریز به صورت معادله $ET_0 = 1.23ET_{p-M} - 1.08$ به دست آمد. مقایسه ضریب گیاهی اندازه‌گیری شده با ضرایب به دست آمده از جداول FAO برای طول دوره رشد (به جز مرحله اولیه رشد) نشان داد که تطابق خوبی بین ضرایب گیاهی حاصل از روش FAO-56 و ضرایب گیاهی اندازه‌گیری شده وجود دارد و به شرط تعدیل ضرایب گیاهی ارائه شده توسط FAO برای شرایط آب و هوایی (سرعت باد و رطوبت نسبی) منطقه مورد نظر، روش FAO با دقت قابل قبولی می‌تواند تبخیرتغرق محصول را برآورد نماید. البته با افزایش قدرت تبخیرکنندگی اتمسفر میزان خطا افزایش یافته و نیاز به واسنجی منطقه‌ای خواهد بود. معادله بین تبخیرتغرق اندازه‌گیری شده و تبخیرتغرق برآورد شده توسط روش FAO برای گندم در دشت تبریز به صورت $ET_C = 1.15ET_{FAO} - 0.54$ به دست آمد.

منابع

- Abedinpour, M. 2016. Determination of Wheat Growth, Crop Coefficient (Kc) and Water Stress Coefficient (Ks) under Different Salinity. Available at: <https://www.preprints.org/manuscript/201611.0091/v1/download>.
- Aboukhalel, A., Alfaro, A., Smith, M. 1982. Lysimeters. FAO Irrigation and Drainage No. 39. Rome.

رطوبت نسبی هوا و سرعت باد در محل، توسط FAO ارائه شده است با این حال با توجه به اینکه در شرایط مختلف مغایرت‌هایی دیده می‌شود اندازه‌گیری آن می‌تواند سودمند باشد. متوسط ضریب تشت تبخیر در دوره رشد گندم برابر ۰/۶۳ به دست آمد و در طول فصل رشد گندم بین ۰/۵ تا ۰/۸ در نوسان بود (جدول ۲). البته در آذر ماه ضریب تشت افزایش غیر منتظره‌ای داشته است که احتمالاً علت امر بالا بودن تبخیرتغرق چمن نسبت به تبخیر به دلیل گرمای سطح زمین بوده است. به گفته دیگر در این ماه به علت سردی هوا تبخیر از تشت بسیار کم بوده (۴/۴ میلی‌متر در ماه) ولی چون اوایل دوره سرما بوده هنوز زمین گرم بوده و چمن به علت ارتفاع کم توانسته از این گرما استفاده کرده و تبخیرتغرق نماید. البته به علت تبخیر و تبخیرتغرق کم در این ماه، وجود خطا در اندازه‌گیری آب خروجی لایسیمتر و تأثیر شگرف آن در نسبت تبخیرتغرق به تبخیر، دور از ذهن نیست.

بارندگی

متوسط کل مقدار بارندگی از کاشت تا برداشت در این چهار سال، ۱۹۸/۳ میلی‌متر بوده است که بسته به توزیع آن در طول فصل رشد، به طور متوسط مقدار ۱۳۲/۸ میلی‌متر (تقریباً ۶۷ درصد) مورد استفاده محصول قرار گرفته (باران موثر) و بقیه (۶۵/۵ میلی‌متر) به صورت نفوذ عمقی منطقه ریشه را ترک نموده است.

نیاز آبیاری

نیاز آبیاری کل گندم در طول فصل رشد برابر ۵۹۹/۴ میلی‌متر بوده است که از این مقدار ۹/۹ میلی‌متر هنگام کاشت و رشد اولیه در پاییز مورد نیاز است و بقیه (۵۸۹/۵ میلی‌متر) در بهار و تابستان سال بعد مورد نیاز خواهد بود. همان‌طور که از جدول ۲ و شکل ۲ مشخص است بیش‌ترین نیاز آبیاری گندم در دشت تبریز در ماه خرداد و دهه سوم این ماه می‌باشد چراکه از یک طرف در این محدوده زمانی قدرت تبخیرکنندگی اتمسفر زیاد است و پوشش گیاهی کامل شده و به علت قرار گرفتن گیاه در مرحله گل‌دهی و تشکیل دانه شدت فتوسنتز و به تبع آن شدت تبخیرتغرق زیاد است و از طرف دیگر بارندگی بسیار ناچیز می‌باشد و در نتیجه آب از دست رفته در جریان تبخیرتغرق می‌بایست با آبیاری جبران گردد.

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrig. Drain. Pap. 56. FAO, Rome.
- Anonymous. 2014. IR. Of Iran Meteorological Organization. http://ndwmc.irimo.ir//parameters/weather/modules/cdk/upload/content/publications/114/142234161241781u779va81_0h11en1rjco bk875.pdf
- Anonymous. 2003. Crop coefficient and phenology. High Plains Regional Climate Center http://www.hprcc.unl.edu/crop/crop_wheat.txt
- Bank. Renewable internal freshwater resources per capita (cubic meters). Available at: <http://data.worldbank.org>.
- Bunyolo, A., Munyinda, K., Karamanos, R. E. 1985. The effect of water and nitrogen on wheat yield on a Zambian soil. II. Evaluation of irrigation schedules. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 16: 43–53.
- Choudhary, P. N., Kumar, V. 1980. The sensitivity of growth and yield of dwarf wheat to water stress at three growth stages. Irrig. Sci. 1:223–231.
- Cooper, J. L. 1980. The effect of nitrogen fertilizer and irrigation frequency on a semi dwarf wheat in southeast Australia. I. Growth and yield. 2. Water use. Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb. 20: 359–369.
- De Pauw, E. 2003. Climate charts for CWANA and the Mediterranean countries. Agroecological Characterization Project. Natural Resources Management Program. ICARDA. Aleppo. Syria.
- Doorenbos, J., Pruitt, W. O. 1977. Guidelines for predicting crop water requirements. FAO Irrig. Drain. Pap. 24. FAO, Rome.
- Ebrahimi Pak, N. A. 2009. Estimation of crop evapotranspiration coefficient of wheat at full irrigation and water stress condition. In Proceeding of 10th National Seminar on Irrigation and Evaporation Reduction. Kerman, Iran. (In Farsi)
- Erie, L. J., French, O. F., Bucks, D. A., Harris, K. 1982. Consumptive use of water by major crops in the southwestern United States. U.S., Agric. Res. Serv. Conserv. Res. Rep. 29.
- Farshi, A. A. 1993. Determination of actual evapotranspiration of wheat by lysimeter and using of results for calibration of CROPWAT. Soil and Water Research Institute Annual Report: 149-154. (In Farsi).
- Farshi, A. A., Shariati, M. R., Jarollahi, R., Ghaemi, M. R., Shahabifar, M., Tavallaee, M.M. 1997. An Estimate of Water Requirement of Main Field Crops and Orchards in Iran. Vol 1. Field Crops. Nashr-e Amouzesh Keshavarzi, Karaj, Iran. PP. 900. (In Farsi).
- Ghaemi, M., Raeini Sarjaz, M., Mosavi, M. 2013. Estimating the crop coefficient and the water requirement of the Gascogne wheat by using energy balance method in Mashhad. Irrigation and Water Engineering, 3(11): 58-68. (In Farsi)
- Gao, Y. Duan, A., Sun, J., Li, F. Liu, Z., Liu, H., Liu, Z. 2009. Crop coefficient and water-use efficiency of winter wheat/spring maize strip intercropping. Field Crops Research, 111: 65-73.
- Gholami, M. A., Mirlatifi, S. M., Mohammadi, K., Alimohammadi, A. 2010. Estimating crop coefficient and actual evapotranspiration of wheat by remote sensing: A case study, Gorganrood command area, Golestan, Iran. Iranian Journal of Irrigation and Drainage, 2(4): 222-231. (In Farsi)
- Guerra, A. F., Jacomazzi, M. A. 2001. Class A pan evaporation method for wheat irrigation in the Cerrado region. Comunicado Tecnico Embrapa Cerrados, No. 58, 2 pp. <http://bbeletronica.cpac.embrapa.br/2001/comtec/comtec58a.pdf>.
- Hunsaker, D. J., Pinter Jr, P. J., Kimball, B. A. 2005. Wheat basal crop coefficients determined by normalized difference vegetation index. Irrigation Science 24: 1–14.
- Jalota, S. K., Prihar, S. S., Sundhu, B. A., Khera, K. L. 1980. Yield, water use, and root distribution of wheat as affected by presowing and postsowing irrigation. Agric. Water Manage. 2:289–297.
- Laaboudi, A., Allaoua, C., Hafouda, L., Ballague, D., Sbagoud, S., Meterfi, J., Herda, F. 2015. Crop coefficient and water requirement for wheat (*Triticum aestivum*) in different climate regimes of Algeria. Journal of Agricultural Policy and Research 3(8): 328–336.
- Liu, C., Zhang, X., Zhang, Y. 2002. Determination of daily evaporation and evapotranspiration of winter wheat and maize by large-scale weighing lysimeter and micro-lysimeter. Agricultural and Forest Meteorology 111: 109–120.
- Meyer, W. S., Smith, D. J., Shell, G. 1999. Estimating reference evaporation and crop evapotranspiration from weather data and crop coefficients. Technical Report 34/98. CSIRO Land and Water. <http://www.clw.csiro.au/publications/technical98/tr34-98.pdf>
- Miller, D. G., Hang, A. N. 1982. Deficit, high-frequency sprinkler irrigation of wheat. Soil Science Society of America Journal, 46: 386-38.
- Mogensen, V. O., Jensen, H. E., Rab, M. A. 1985. Grain yield, yield components, drought sensitivity, and water use efficiencies of spring wheat subjected to water stress at various growth stages. Irrigation Science, 6: 131–140.
- Mohseni Movahed, S. A., Akbari, M., Dadivar, M., Khodshenas, M. A. 2011. Evaluation of yield, crop coefficient and water use efficiency of wheat proposed by FAO No. 33 paper and lysimeter in Arak. 3rd Irrigation and Drainage Network Management National Conference,

- March 1-3, 2011. Ahvaz, Iran.
- Niazi, J., Fooladmand, H.R., Ahmadi, S.H., Vaziri, J. 2005. Water requirement and crop coefficient of wheat in Zarghan area, Fars Province. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 9(1): 1-8 (In Farsi).
- Onnabi Milani, A. 2001. Study of the combined effect of water and nitrogen fertilizer on wheat yield and nitrogen leaching. *Agricultural Scientific Information and Documentation Center, AREEO*, No. 80/403: 1-14. (In Farsi).
- Onnabi Milani, A. 2006. Evaluating direct and indirect estimation methods of reference evapotranspiration (ET_o). *Agricultural Scientific Information and Documentation Center, AREEO*, Paper No. 85/1135: 1-54. (In Farsi).
- Onnabi Milani, A., Neyshabouri, M. R. 2018. Comparison of some empirical estimating methods of reference evapotranspiration in Tabriz plain using lysimeter and proposing a model for its determination from climatic data. *Water and Soil Science*, 28(3): 53-64. (In Farsi).
- Rahimian, M. H., Poormohammadi, S., Mokhtari, M. H. 2011. Determination of winter wheat crop coefficient using Modis-derived vegetation indices: A case study of the Azadegan plain, Iran. 21st International Congress on Irrigation and Drainage, 15-23 October, Tehran, Iran.
- Rawat, K. S., Bala, A., Singh, S. K., Pal, R. K. 2017. Quantification of wheat crop evapotranspiration and mapping: A case study from Bhiwani District of Haryana, India. *Agricultural Water Management* 187: 200-209.
- Razavi, R. 1997. Determination of wheat water requirement using lysimeter. *Agricultural Scientific Information and Documentation Center, AREEO*, No. 76/329: 1-10. (In Farsi).
- Reedy, A. S., Bhardwaj, R. B. L. 1982. Water use studies in wheat as influenced by levels of nitrogen and phosphorus under limited and adequate irrigation. *Indian Journal of Agronomy*, 27: 22-27.
- Salter, P. J., Good, J. E. 1994. Crop response to water at different stage of growth, *Common Wealth Agric. Bur. Farham Royal, Bucks, England*, p. 246.
- Sattar, M. 1998. Determination of wheat potential evapotranspiration. *Agricultural Scientific Information and Documentation Center, AREEO*, Paper No. 77/359: 1-12. (In Farsi).
- Shahrokhnia, M. H. 2009. Determination of crop coefficient and evapotranspiration of Wheat and maize using the weighted lysimeter in Koshkak region, Fars. M. Sc. thesis in Mechanics of Agricultural Machinery Engineering, University of Shiraz. (In Farsi).
- Shariati, M. R. 1993. Determination of potential water requirement and crop coefficient of wheat. *Soil and Water Research Institute Annual Report*: 160-164. (In Farsi).
- Shariati, M. R. 1995. Determination of potential water requirement and crop coefficient of wheat. *Agricultural Scientific Information and Documentation Center, AREEO*, No. 74/430: 1-14. (In Farsi).
- Shimshi, D., Gairon, S., Rubin, J., Khilfa, M., Khilmi, Y. 1981. Field crops: Wheat. p. 7-15. In J. Shalhevet et al. (ed.) *Irrigation of field and orchard crops under semiarid conditions*. International Irrigation Information Center.
- Singh, R., Handal, S. S. 1989. Direct and indirect methods of estimation of evapo-transpiration in wheat (*Triticum aestivum*). *Indian Journal Agricultural Sciences*. 59(8): 508-514.
- Smith, M., Allen, R. G., Monteith, J. L., Pereira, L. S. Perrier, A., Pruitt, W. O. 1992. Report on the expert consultation on revision of FAO methodologies for crop water requirements. *Land and Water Development Division, Rome*.
- Tyagi, N. K., Sharma, D. K., Luthra, S. K. 2000. Evapotranspiration and crop coefficients of wheat and sorghum. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 126(4): 215-222.
- UNESCO. 1979. Map of the world distribution of arid regions. Map at scale 1:25,000,000 with explanatory note. *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Paris*, 54 pp. ISBN 92-3-101484-6.
- Vaziri, J. 1993. Determination of water requirement of wheat (Ghods) using lysimeter. *Kermanshah Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Annual Report*: 121-126. (In Farsi).
- Vieira, P. V. D., de Freitas, P. S. L., Biscaia, A. L., da Silva, R., Hashiguti, H. T., Rezende, R., Faria Jr, C. A. 2016. Determination of wheat crop coefficient (K_c) and soil water evaporation (K_e) in Maringa, PR, Brazil. *African Journal of Agricultural Research*. 11(44): 4551-4558.



مطالعه تطبیقی دقت مدل‌های زمین‌آماری و رگرسیونی جهت پهنه‌بندی دما در مرکز و شمال ایران

زهرا آقاشریعتمداری^{۱*}، مهسا اتحادی^۲، خلیل قربانی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۲۱

چکیده

دمای هوا از مهم‌ترین متغیرهای مورد نیاز در مطالعات اقلیم‌شناسی کشاورزی است. داده‌های دیدبانی شده دما ماهیت نقطه‌ای دارند و جهت برآورد منطقه‌ای این کمیت نیاز به کاربرد روش‌های درون‌یابی است که تغییرات دما بر حسب ارتفاع و عرض جغرافیایی را برآورد کنند. در این پژوهش، کارایی روش‌های کریجینگ، کوکریجینگ، رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی و رگرسیون چندمتغیره خطی برای پهنه‌بندی میانگین ماهانه دما ۵۶ ایستگاه همدیدی واقع در مرکز و شمال ایران، مورد ارزیابی قرار گرفته است. تحلیل آماری نتایج نشان داد که رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی در ماه دسامبر بیش‌ترین اختلاف را با دیگر روش‌های مورد مطالعه دارد به طوری که ریشه میانگین مربعات خطا در این روش برابر ۰/۸۳ درجه سانتی‌گراد می‌باشد، در حالی که این مقدار در روش کوکریجینگ که در رتبه بعدی قرار دارد برابر با ۲/۳۸ درجه سانتی‌گراد است. کم‌ترین میانگین مقادیر RMSE تمام ماه‌های سال، متعلق به روش رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی به میزان ۱/۲ درجه سانتی‌گراد و پس از آن به ترتیب روش‌های رگرسیون چند متغیره خطی (۲/۲۴ درجه سانتی‌گراد)، کریجینگ (۲/۵۲ درجه سانتی‌گراد) و کوکریجینگ (۲/۸۶ درجه سانتی‌گراد) در اولویت‌های بعدی قرار دارند، لذا روش وزن‌دار جغرافیایی برای پهنه‌بندی دما در این منطقه، مناسب‌تر می‌باشد. این رهیافت، به دلیل در نظر گرفتن گرادین‌های محلی ارتفاعی، مقادیر دما در مناطق مرتفع فاقد ایستگاه هواشناسی را دقیق‌تر پیش‌بینی می‌کند.

واژه‌های کلیدی: درون‌یابی موضعی، دما، رگرسیون چندمتغیره، رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی

مقدمه

اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌ها، برای تحلیل‌های منطقه‌ای، به منطقه مطالعاتی تعمیم داده شوند و توزیع آن‌ها در پهنه جغرافیایی ترسیم شود. روش‌های مختلفی به این منظور توسط محققین مختلف مورد بررسی قرار گرفته است که از آن جمله می‌توان به روش‌های درون‌یابی اشاره کرد. روش‌های درون‌یابی با استناد به این قانون جغرافیایی که هر پدیده با پدیده دیگری مرتبط است، اما پدیده‌های نزدیک نسبت به پدیده‌های دور به هم وابسته‌تر هستند، از یک سری نقاط با مقادیر معلوم در اطراف نقاط با مقادیر مجهول استفاده کرده و مقادیر آن‌ها را تخمین می‌زنند (Tobler, 1970). چگونگی مشارکت نقاط معلوم در تخمین مقادیر مجهول سبب می‌شود تا روش‌های درون‌یابی به دو دسته سراسری و موضعی تقسیم‌بندی شوند. در درون‌یابی سراسری، برای برآورد نقاط مجهول از داده‌های تمام نقاط اندازه‌گیری شده استفاده می‌شود، اما در مدل موضعی، از داده‌های همه نقاط برداشت شده برای برآورد مقدار نقطه مجهول استفاده نمی‌شود. در این روش

دما و تغییرات آن، در مکان‌های مختلف و در طول زمان، اساسی‌ترین عامل تغییرات آب و هوایی است و می‌تواند به عنوان پایه‌ای برای درک فرآیندهایی همچون تبخیر/تعرق و توزیع پوشش گیاهی در نظر گرفته شود. آگاهی از توزیع مکانی این متغیر به منظور بررسی روند تغییر اقلیم و اثر گلخانه‌ای مورد نیاز است. متغیرهای هواشناسی از جمله دمای هوا به دلیل هزینه‌بر بودن نمونه‌برداری از ایستگاه‌های هواشناسی که به خصوص در نواحی کوهستانی به طور گسترده و نامنظم توزیع شده‌اند، جمع‌آوری می‌شوند. ضرورت ایجاب می‌کند که اطلاعات

^۱ استادیار گروه آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

(*نویسنده مسئول: zagha@ut.ac.ir)

DOI: 10.22125/agmj.2019.148887.1034

^۲ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد هواشناسی کشاورزی، دانشگاه تهران

^۳ دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

دقت برآورد مفید واقع شود. امکان دستیابی به این روش‌ها در نرم‌افزارهای سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، راه را برای کاربری و ارزیابی این روش‌ها هموار ساخته است (Mehdizadeh, 2002). با توجه به مطرح شدن روش‌های زمین‌آمار محققین مختلفی در سراسر جهان به استفاده از این شیوه در درون‌یابی متغیرهای هواشناسی روی آوردند. به عنوان مثال Hevesi et al., (1992) برای برآورد و درون‌یابی بارندگی متوسط سالانه در منطقه کوه‌های یوکا واقع در جنوب نوادا و جنوب شرقی کالیفرنیا روش‌های عکس فاصله، عکس مجذور فاصله، عکس مکعب فاصله، کریجینگ، همبستگی خطی، همبستگی خطی لگاریتمی، متوسط همسایگی و کوکریجینگ را بررسی نمودند و روش‌هایی که از ارتفاع به عنوان متغیر کمکی استفاده می‌کنند، و در راس آن‌ها کوکریجینگ را روش برتر معرفی کردند. Abtew et al., (1993) نیز روش‌های زمین‌آمار را برای آنالیز مکانی بارندگی ۲۵ ایستگاه با دوره‌های آماری متفاوت، از سال ۱۹۲۹ الی ۱۹۹۲ ماهانه با حداقل طول دوره آماری ۱۵ سال در جنوب فلوریدا بررسی کردند. در این راستا روش‌های تیسن، روش وزنی عکس فاصله، چندجمله‌ای محلی درجه دو، کریجینگ عام و کریجینگ معمولی را مورد آزمون قرار دادند و روش‌های چندجمله‌ای محلی و کریجینگ معمولی را جزء مناسب‌ترین روش‌های برآورد بارندگی ماهانه معرفی کردند. مقایسه دیگری نیز بین روش‌های کوکریجینگ، کریجینگ معمولی، کریجینگ عام، کریجینگ معمولی، نزدیک‌ترین همسایگی، عکس مجذور فاصله و روش گرادیان همراه با عکس مجذور فاصله (GIDS¹) توسط Nalder and Wein (1998) به منظور بررسی توزیع مکانی بارندگی و دمای ماهانه در جنگل‌های شمال کانادا انجام شد. آن‌ها در این مطالعه، از متوسط دما و بارندگی ماهانه در ۳۲ ایستگاه با دوره آماری سی ساله استفاده کردند. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که روش GIDS برای بارندگی ماهانه از سایر روش‌ها مناسب‌تر است و روش‌های کریجینگ رونددار، نزدیک‌ترین همسایگی، کوکریجینگ، عکس مجذور فاصله، کریجینگ عام و کریجینگ معمولی، برای دمای ماهانه، و روش‌های کوکریجینگ، عکس مجذور فاصله، نزدیک‌ترین همسایگی، کریجینگ معمولی برای درون‌یابی بارندگی ماهانه به ترتیب در مراتب بعدی قرار دارند. Benavides et

ممکن است، تعداد نقاط محدودی که تا نقطه مورد نظر کمترین فاصله را دارند، در درون‌یابی به کار گرفته شوند، و یا از داده‌هایی استفاده شود که تا نقطه مورد نظر کم‌ترین فاصله را دارند. به بیانی دیگر در این روش نقاط همسایه بر اساس تعداد یا فاصله تعریف می‌شوند. اگر تغییرات مکانی متغیر زیاد باشد، مدل‌های موضعی نتایج بهتری به دست می‌دهد. با این حال تعداد نقاط همسایه که برای برآورد در یک نقطه معین به کار گرفته می‌شوند، در کیفیت نتایج تأثیر به‌سزایی دارد (Ghorbani, 2013). برخی روش‌های درون‌یابی با برقراری روابط آمار کلاسیک بین مقادیر نقاط معلوم، اقدام به تخمین مقادیر مجهول می‌کنند. آن‌ها را درون‌یاب‌های قطعی می‌نامند. اما برخی از روش‌ها با استفاده از ویژگی‌های وابستگی مکانی متغیر مورد نظر اقدام به تخمین مقادیر نقاط مجهول می‌کنند. آن‌ها را درون‌یاب‌های زمین‌آماری می‌نامند (Ghorbani, 2013). با گسترش کاربرد رایانه، استفاده از روش‌های پیچیده‌ای همچون روش‌های زمین‌آمار فراهم شده است. با استفاده از این روش‌ها، برآورد متغیر مورد نظر در نقاط فاقد آمار امکان‌پذیر می‌باشد. روش‌های فوق‌الذکر با متغیرهای پیوسته سروکار دارند و برای تخمین متغیرهای تصادفی پیوسته استفاده می‌شوند. کاربرد این روش‌ها ابتدا در علوم معدن شروع شد و سپس در سایر علوم، از جمله ژئوشیمی، زمین‌شناسی، ژئوفیزیک، مکانیک سنگ، تخمین ذخایر هیدروکربن، هیدرولوژی و منابع آب، توسعه پیدا نمود (Mehdizadeh, 2002). به دنبال روند تکاملی روش‌های زمین‌آماری مورد استفاده در تخمین ذخایر معدنی و پژوهش‌های افرادی چون کریگ و سیشل، پژوهشگری فرانسوی به نام ماترون، با انتشار مقاله‌ای در سال ۱۹۶۲، پایه‌های زمین‌آمار را بنا کرد (Rahimi, 2000). این روش‌ها به طور موفقیت‌آمیز، برای شماری از متغیرهایی که ساختار مکانی دارند، از جمله متغیرهای هیدرولوژیکی به کار می‌روند و هر جا که به حل مسائل میان‌یابی، میانگین‌گیری و طراحی بهینه شبکه‌های نمونه‌برداری نیاز باشد، می‌توان از این روش‌ها کمک گرفت. در واقع مطابق با فرضیات زمین‌آماری، احتمال میزان تشابه بین مقادیر مربوط به نمونه‌های نزدیک‌تر بیشتر است. زمین‌آمار با در نظر گرفتن همبستگی و ساختار مکانی داده‌ها و قابلیت استفاده از روابط بین متغیرها در حل مسائل، می‌تواند در افزایش

¹ Gradient Plus Inverse Distance Squared

روش کریجینگ که در رتبه دوم قرار دارد، اختلاف زیادی دارد. بر این اساس مناسب‌ترین روش برای ترسیم هم‌بارش در استان گیلان روش رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی معرفی شد. همچنین Ghorbani and Aghashariatmadari (2014) با در نظر گرفتن میانگین ۳۰ ساله دمای هوا و رطوبت نسبی ۲۴۰ ایستگاه همدیدی و اقلیم‌شناسی در ایران، دقت روش رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی با سایر روش‌های درون‌یابی در پهنه‌بندی این دو پارامتر اقلیمی را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج این بررسی در مورد دمای هوا که تحت تاثیر ارتفاع می‌باشد، نشان داد که نتایج درون‌یابی به کمک روش رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی با دیگر روش‌های درون‌یابی اختلاف معنی‌داری دارد، در حالی که این اختلاف در مورد رطوبت نسبی مشاهده نشد و این می‌تواند به دلیل نبود رابطه مشخصی بین ارتفاع و رطوبت نسبی باشد. (Georganos et al., 2017) از روش رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی برای بررسی رابطه بارندگی- پوشش گیاهی نرمال شده در مناطق نیمه‌خشک ساحل استفاده کردند و نشان دادند که روش رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی نسبت به روش رگرسیون بر مبنای حداقل مربعات رابطه بارندگی و پوشش گیاهی را به صورت معنی‌داری بهتر توجیه می‌کند. (Zhai et al., 2018) روش‌های مدل‌سازی بر اساس رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی، رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی در ترکیب با تحلیل مولفه‌های اصلی را به منظور پهنه‌بندی تغییرات مقدار ذرات آلاینده PM2.5 مورد مقایسه قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که روش ترکیبی مورد استفاده نتیجه قابل اعتمادتری را حاصل می‌سازد. (Zhou et al., 2018) از روش رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی به منظور ارزیابی اثرات عوامل مختلف موثر بر آلودگی هوا با هدف جلوگیری و اتخاذ سیاست‌های محیطی استفاده کردند. Johnson et al., (2019) رابطه بین مخاطرات اقلیمی نظیر خطر سیل و امکان دسترسی مکانی به سرمایه‌گذاری‌های کوچک را با استفاده از روش‌های رگرسیون معمولی و رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی مورد بررسی قرار دادند و نشان دادند که رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی هدف مورد نظر را با دقت بالاتری برآورد می‌کند. بنابراین وجود روابط مکانی بین متغیرهای اقلیمی با عوارض طبیعی مانند ارتفاع باعث شده تا جستجوی گرادیان‌ها اولین گزینه در پهنه‌بندی آن‌ها باشد. اما در مناطق بزرگ وجود گرادیان‌های متعدد

al., (2006) مدل‌های برآورد دمای هوا، شامل پنج مدل زمین‌آماری و دو مدل رگرسیونی را در منطقه آستوریاس در شمال اسپانیا مقایسه کرده و به این نتیجه رسیدند که، روش رگرسیون چند متغیره که عوامل ارتفاع، عرض جغرافیایی، فاصله از دریا و تابش ورودی خورشید به سطح زمین را در نظر می‌گیرد، برآورد بهتری از دمای هوا در سطح زمین دارد. استفاده از روش‌های رگرسیونی نیز در پهنه‌بندی متغیرهای هواشناسی متداول بوده است. می‌توان میزان متغیر وابسته را در روش‌های رگرسیونی در صورت برقراری رابطه بین یک متغیر وابسته با یک یا چند متغیر مستقل در کل پهنه تخمین زد. در الگوهای رگرسیونی نیز استفاده از روش‌های محلی باعث شده تا جزئیاتی که در روش‌های سراسری نادیده گرفته می‌شوند، تا حدی به تصویر کشیده شود. روش رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی یکی از روش‌های رگرسیونی محلی است. (Bostan and Akyurek 2007) برای آشکارسازی توزیع مکانی میانگین سالانه بارش و دمای هوا از روش‌های درون‌یابی کوکریجینگ و رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی استفاده کردند و با مقایسه همبستگی مقادیر پیش‌بینی و اندازه‌گیری شده به این نتیجه رسیدند که روش رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی برای دما و بارش نسبت به روش کوکریجینگ درون‌یابی با دقت بالاتری را ارائه می‌کند. همچنین Gundogdu and Esen (2010) سه روش کوکریجینگ، کوکریجینگ و رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی را برای پهنه‌بندی میانگین ۲۵ ساله بارش سالانه در ترکیه بررسی کردند. آن‌ها با محاسبه ضریب همبستگی بین مقدار پیش‌بینی شده و الگو شده نتیجه گرفتند، که روش رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی کم‌ترین مقدار خطای پیش‌بینی را دارا می‌باشد. در ایران نیز (Ghorbani 2013) تغییرات مکانی بارش سالانه در استان گیلان را تحت روش رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی برای ۱۸۵ ایستگاه هواشناسی در استان گیلان و مجاورت آن را مورد بررسی قرار داد. آمار میانگین ده ساله بارش و موقعیت نقاط نسبت به دریا، الگوسازی شد. برای ارزیابی دقت روش رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی و روش‌های معمول درون‌یابی شامل چندجمله‌ای سراسری و محلی، اسپلین، وزن عکس فاصله‌ها، کریجینگ و کوکریجینگ از فن اعتبارسنجی متقابل استفاده شد و نشان داد که روش رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی دارای کمترین مقدار خطا بوده و نتایج آن با

مواد و روش‌ها

داده‌ها و منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه شامل استان‌های البرز، اصفهان، تهران، زنجان، سمنان، قزوین، قم، گیلان، گلستان، مازندران، مرکزی و همدان می‌باشد (شکل ۱). اطلاعات مورد نیاز، شامل دما، رطوبت نسبی، ساعت آفتابی، تابش کل خورشیدی و بارندگی ماهانه ۵۶ ایستگاه سینوپتیک نیمه شمالی و مرکزی کشور، از ابتدای تاسیس ایستگاه‌ها تا سال ۲۰۱۰ میلادی، جمع‌آوری گردیده و پس از کنترل کیفی داده‌ها مورد استفاده قرار گرفت. در کنار داده‌های دریافتی از سازمان هواشناسی کشور، از مدل رقومی ارتفاع نیز به‌عنوان داده ورودی جهت توسعه مدل استفاده شد.

و نبود شناختی از آن‌ها باعث می‌شود تا پژوهشگران از روش‌های درون‌یابی قطعی و زمین‌آمار استفاده کنند. رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی یکی از روش‌هایی است که می‌تواند گرادیان‌های موضعی را به خوبی شناسایی کند و در صورت وجود گرادیان، دقت درون‌یابی را افزایش دهد. در این پژوهش ابتدا مدل‌های رگرسیونی دمای هوا با فرض این که تغییرات دما تحت تاثیر عواملی مانند ارتفاع، رطوبت نسبی، ساعت آفتابی، بارندگی و تابش ورودی است به صورت تابعی از این عوامل بسط داده می‌شود. علاوه بر این روش‌های زمین‌آمار و رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی نیز جهت درون‌یابی متغیر دما استفاده شده و در نهایت مناسب‌ترین روش جهت تعیین توزیع مکانی دما در نیمه شمالی و مرکزی کشور انتخاب می‌شود و بر مبنای آن نقشه هم‌دمای این منطقه ترسیم می‌گردد.

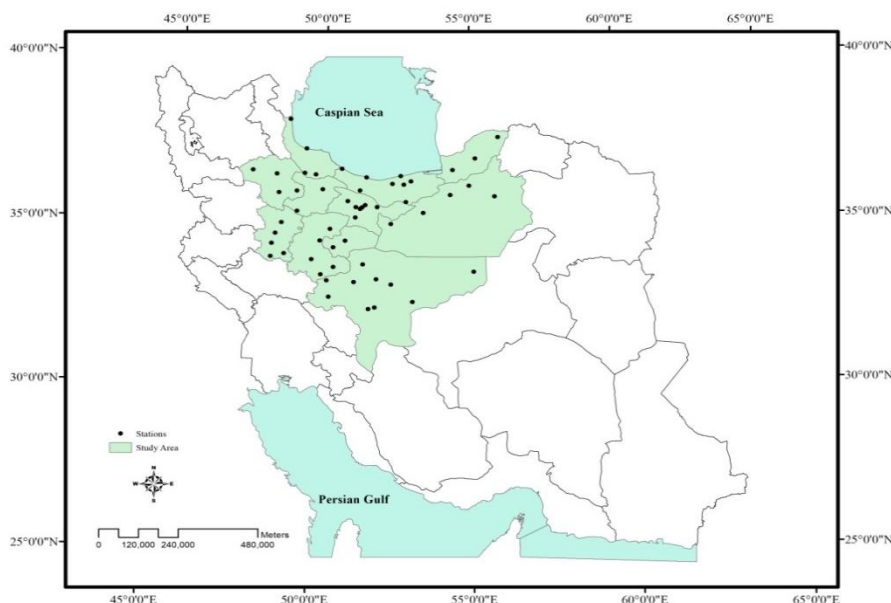


Figure 1- Location of the studied stations

شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های مورد بررسی

روش کریجینگ^۲

روش کریجینگ برای برآورد نقطه ناشناخته، به هر یک از نمونه‌های اندازه‌گیری شده وزنی را نسبت می‌دهد. این تخمین‌گر به افتخار یکی از پیشگامان آمار، کریجینگ نام‌گذاری شد. کریجینگ یک تخمین‌گر خطی به صورت معادله ۱ است.

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

که در آن Z^* مقدار متغیر مکانی برآورد شده، $Z(x_i)$ مقدار متغیر مکانی مشاهده شده در نقطه x_i و λ_i وزن

روش‌های درونیابی^۱

روش‌های مختلفی برای برآورد متغیرهایی که تغییرات زمانی و مکانی دارند، وجود دارد. تفاوت عمده این روش‌ها، محاسبه فاکتور وزنی است که به نقاط مشاهده شده اطراف نقطه مورد تخمین داده می‌شود. در این تحقیق از روش‌های کریجینگ معمولی، کوکریجینگ، رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی و رگرسیون چند متغیره خطی به منظور درون‌یابی متغیر دما استفاده شده است.

² Kriging

¹ Interpolation

حاصل خیزی خاک و یا رطوبت خاک نیز ممکن است بر روی محصول تولیدی اثر داشته باشند. به علاوه تحلیل رگرسیون ممکن است فقط بر اساس داده‌های مشاهده شده در عرصه طبیعت نباشد، بلکه ممکن است در مطالعات آزمایشی نیز از رگرسیون چندگانه استفاده شود، که معمولاً محقق به طور همزمان تعدادی متغیر پیش‌بینی را تحت بررسی قرار می‌دهد تا بتواند اثر آن‌ها را بر روی متغیر پاسخ به دست آورد (Mesdaghi, 2004). رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی یک روش آماری توسعه یافته جدید است، که مدل رگرسیون خطی معمولی را با برآورد پارامترهای موضعی توسعه می‌دهد. رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی برخلاف الگوهای رگرسیون معمول که یک معادله رگرسیونی را برای توصیف روابط کلی بین متغیرها برقرار می‌کنند، اطلاعات مکانی تولید می‌کند، که تغییرات مکانی بین متغیرها را بیان می‌کند. این معادلات مجزا را با استفاده از متغیر وابسته و متغیرهای توصیفی، با توجه به پهنای باند هدف، تشکیل می‌دهد. شکل و سایز پهنای باند، وابسته به ورودی‌های کاربر برای نوع کرنل^۳، نوع پهنای باند، فاصله و تعداد عرضه‌ها دارد. بنابراین نقشه‌های تولید شده از این تحلیل‌ها نقش کلیدی در توصیف غیر ایستایی مکانی بین متغیرها بازی می‌کند (Mennis, 2006). در مدل‌های رگرسیون موضعی، هنگامی که دو یا چند متغیر دارای هم خطی هستند، (دو یا چند متغیر زائد هستند و یا یک موضوع دارند)، نتایج غیر قابل اطمینان است. GWR یک معادله رگرسیون موضعی برای هر عرضه در مجموعه داده‌ها می‌سازد. هنگامی که مقادیر متغیرهای توصیفی قالب مکانی دارند، به احتمال خیلی زیاد با هم خطی موضعی به مشکل خواهند خورد. فرم کلی مدل GWR به صورت معادله ۳ است.

$$y_i = \beta_{i0} + \sum_{k=1}^m \beta_{ik} x_{ik} + \varepsilon_i \quad (3)$$

که در آن، y_i متغیر وابسته در موقعیت i ، x_{ik} ، x آمین متغیر مستقل در i آمین موقعیت بوده است. K آمین متغیر مستقل در موقعیت i ، m تعداد متغیرهای مستقل، β_{i0} عرض از مبدا در موقعیت i ، β_{ik} ضریب سراسری رگرسیون برای k آمین متغیر مستقل در موقعیت i ، و ε_i خطای تصادفی در موقعیت i است. GWR به ضرایب این اجازه را می‌دهد که به طور پیوسته در منطقه مورد مطالعه تغییر

آماری که به نمونه x_i نسبت داده می‌شود و بیان‌گر اهمیت نقطه i ام در برآورد است. این نوع کریجینگ را کریجینگ خطی گویند، زیرا ترکیبی خطی از n داده می‌باشد. شرط استفاده از این تخمین‌گر آن است که متغیر Z ، توزیع نرمال داشته باشد. در غیر این صورت باید متغیر مورد نظر را نرمال نمود و سپس از این روش استفاده کرد (Mehdizadeh, 2002). در روش کریجینگ معمولی، میانگین محلی نمونه‌ها با میانگین جامعه برابر است، ولی مقدار آن مجهول و مستقل از مختصات فرض می‌شود. بنابراین فقط از نمونه‌های محلی برای برآورد مقادیر مجهول استفاده می‌شود (Nadi, 2010). در برخی موارد ممکن است از یک متغیر به اندازه کافی نمونه‌برداری نشده باشد بنابراین بر اساس نمونه‌های موجود نمی‌توان تخمین را با دقت مورد نظر انجام داد. در چنین مواردی می‌توان با استفاده از روش کوکریجینگ و در نظر گرفتن رابطه مکانی بین متغیر مورد نظر و متغیر کمکی که داده‌های آن موجود می‌باشد، تخمین را اصلاح کرد. البته این روش زمانی به کار می‌رود که ضریب همبستگی بین دو متغیر، معنی‌دار و قوی باشد ($r \geq 0.5$). معادله کوکریجینگ به صورت معادله ۲ است.

$$Z^*(x_i) = \sum_{i=1}^n (\lambda_i \cdot Z(x_i)) + \sum_{k=1}^n (\lambda_k \cdot Z(x_k)) \quad (2)$$

که در آن Z^* مقدار تخمین زده شده برای نقطه x_i ، λ_i وزن مربوط به متغیر Z ، λ_k وزن مربوط به متغیر کمکی، $Z(x_i)$ مقدار مشاهده شده متغیر اصلی و $Z(x_k)$ مقدار مشاهده شده متغیر کمکی است. در این روش برای تخمین از نیم‌تغییرنمای متقابل^۱ استفاده می‌شود (Madani, 1994).

رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی^۲

تحلیل رگرسیون روشی آماری است که در آن از رابطه بین دو یا چند متغیر کمی استفاده می‌شود، تا یک متغیر، توسط متغیر یا متغیرهای دیگر پیش‌بینی گردد. مدل رگرسیون ساده فقط با یک متغیر پیش‌بینی x مورد بررسی قرار می‌گیرد. در بسیاری از مطالعات میدانی علوم زیستی و کشاورزی، معمولاً بیش از یک متغیر پیش‌بینی روی متغیر پاسخ تاثیر می‌گذارد. مثلاً فقط میزان بارندگی تعیین کننده تولید نیست و عوامل دیگری مانند

¹ Cross variogram

² GWR: Geographically Weighted Regression

³ Kernel

که در آن‌ها $\tilde{Z}(x_i)$ مقدار برآورد شده متغیر x_i ، $Z(x_i)$ مقدار مشاهده شده متغیر x_i و n تعداد داده‌ها است. مناسب‌ترین روش، روشی است که کمترین MAE، MBE و RMSE را داشته باشد. هرچه MAE به صفر نزدیک‌تر باشد، بیانگر این است که مقادیر برآورد شده توسط مدل، به مقادیر حقیقی نزدیک‌تر و در نتیجه مدل از خطای کمتری برخوردار است و هرچه MBE به صفر نزدیک‌تر باشد، بیانگر این مطلب است که متوسط مقادیر مشاهده شده و برآورد شده اختلاف کمتری دارند و در نتیجه مدل، فضای مورد مطالعه را با خطای کمتری برآورد می‌کند. همچنین به منظور بیان معنی‌دار بودن اختلاف میانگین‌ها در روش‌های استفاده شده، از آزمون t-student استفاده شده است.

تجزیه و تحلیل آماری و بررسی نرمال بودن داده‌ها

پیروی داده‌ها از توزیع نرمال یکی از شرایط اصلی استفاده از روش کریجینگ است، به این منظور با انجام آزمون آماری کلموگروف-اسمیرنوف و محاسبه P-Value حاصل از این آزمون، نرمال بودن داده‌ها مورد بررسی قرار گرفت. در این رابطه داده‌هایی که از توزیع نرمال پیروی نمی‌کردند، یا به عبارت دیگر، P-Value به دست آمده از آن‌ها در آزمون مورد نظر، کمتر از ۰/۰۵ بود، با تبدیلی مناسب به توزیع نرمال تبدیل شدند. به منظور تجزیه و تحلیل آماری داده‌های دما، مقادیر میانگین، انحراف معیار، ضریب تغییرات، ضریب کشیدگی و ضریب چولگی متوسط ماهانه و سالانه داده‌های ۵۶ ایستگاه دماسنجی در منطقه مورد مطالعه محاسبه شد. نتایج حاصل از این بررسی در جدول ۱ ارائه شده است. بر اساس مقادیر ذکر شده در جدول ماه ژوئیه با میانگین دمای ۲۷/۳۲ درجه سانتی‌گراد و انحراف معیار ۳/۳۱ درجه سانتی‌گراد گرم‌ترین و ژانویه با متوسط ۲/۷۶ درجه سانتی‌گراد و انحراف معیار ۳/۵۳ درجه سانتی‌گراد سردترین ماه سال در منطقه مطالعاتی است. ژانویه با ضریب تغییرات ۱۲۷ درصد بیش‌ترین ضریب تغییرات را دارد. بررسی ارتفاع ایستگاه‌های دماسنجی منطقه به عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل موثر بر دما، نشان می‌دهد که متوسط ارتفاع ایستگاه‌ها ۱۲۲۵ متر و حداقل ارتفاع ایستگاه‌ها ۲۳- متر و حداکثر آن ۲۴۶۵ متر می‌باشد. جدول ۲ نتایج حاصل از این بررسی را نشان می‌دهد.

کنند، و مجموعه‌ای از ضرایب در هر موقعیت می‌تواند تخمین زده شود. مشاهدات نزدیک اثر بیشتری در تخمین مجموعه ضرایب نسبت به مشاهدات دورتر دارند (Fotheringham, 2003). در اصل، GWR روابط اساسی اطراف هر نقطه رگرسیون i را اندازه‌گیری می‌کند، در حالی که هر مجموعه‌ای از ضرایب رگرسیون توسط حداقل مربعات برآورد می‌شود. ضرایب علی‌رغم فرض ثابت بودن، نسبت به مکان i حساس هستند. کالیبراسیون مدل GWR، به توالی رگرسیون‌های خطی موضعی برای برآورد هر نقطه در فضا با استفاده از زیر نمونه‌های وزن‌دار داده‌ها از مشاهدات نزدیک، بستگی دارد. مدل برای هر مشاهده i ماتریس وزن‌ها را که در آن مقادیر بزرگتر به نزدیکترین مشاهده i تعلق می‌گیرد، محاسبه می‌کند. رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی برای برآورد ضرایب خطی موضعی استفاده می‌شود و متغیرهای وابسته را برآورد می‌کند.

معیارهای ارزیابی

برای ارزیابی دقت روش‌های به‌کار رفته، از تکنیک اعتبارسنجی متقابل استفاده شده است. در این تکنیک، یک نقطه به طور موقت حذف می‌شود و با استفاده از سایر نقاط، و روش میان‌یابی مورد نظر، مقدار نقطه مذکور محاسبه می‌شود. سپس مقدار حقیقی آن نقطه به محل خود برگردانده شده و این عمل برای نقطه بعدی تکرار می‌شود و به این ترتیب برای کلیه نقاط برآورد صورت می‌گیرد. در نهایت می‌توان نتیجه حاصل از این محاسبات را به صورت جدولی که دارای ستونی از مقادیر مشاهده شده و ستونی دیگر از مقادیر برآورد شده است، ارائه نمود، و با مقایسه این دو ستون بر اساس معیارهای پیش‌بینی روش‌ها ارزیابی می‌شوند. شاخص‌های به‌کار رفته برای این منظور میانگین خطا (MAE)^۱، میانگین خطای اربیبی (MBE)^۲ و ریشه مجذور مربعات خطا (RMSE)^۳ با استفاده از معادله‌های ۴ تا ۶ محاسبه می‌شود.

$$MAE = \sum_{i=1}^n |\tilde{Z}(x_i) - Z(x_i)| / n \quad (4)$$

$$MBE = \sum_{i=1}^n (\tilde{Z}(x_i) - Z(x_i)) / n \quad (5)$$

$$RMSE = \left(\sum_{i=1}^n (\tilde{Z}(x_i) - Z(x_i))^2 / n \right)^{1/2} \quad (6)$$

¹ MAE: Mean Absolute Error

² MBE: Mean Bios Error

³ RMSE: Root Mean Square Error

Table 1- The statistical parameters of mean monthly air temperature (°C)

جدول ۱- پارامترهای آماری متوسط دمای ماهانه (درجه سانتی گراد)

Month	Average	Minimum	Maximum	Variation coefficient	Skewness coefficient	Kurtosis coefficient
Jan.	2.76	-4.61	8.71	127.67	-0.14	-0.79
Feb.	4.92	-2.87	9.55	65.47	-0.63	-0.41
Mar.	9.32	0.98	14.75	30.53	-0.58	0.24
Apr.	14.56	7.21	21.17	20.79	-0.12	-0.28
May	19.43	12.09	26.51	17.08	-0.08	-0.50
Jun.	24.54	17.16	31.24	13.94	-0.15	-0.49
Jul.	27.32	18.60	33.27	12.11	-0.38	0.06
Aug.	26.87	19.92	31.64	10.70	-0.44	-0.09
Sep.	22.84	16.05	27.42	12.37	-0.52	-0.35
Oct.	17.24	10.35	21.41	15.80	-0.64	-0.32
Nov.	10.15	3.63	14.34	28.95	-0.33	-0.84
Dec.	5.23	-1.25	10.27	58.52	-0.05	-0.68

Table 2- The Statistical parameters of stations' altitude

جدول ۲- پارامترهای آماری ارتفاع ایستگاهها

Average	Minimum	Maximum	Variation coefficient	Skewness coefficient	Kurtosis coefficient
1225.6	-23.6	2465.2	58.09	-0.56	-0.62

بحث و نتایج

همبستگی ساده خطی دما با متغیرهای محیطی

بیشترین ضریب همبستگی مربوط به ارتفاع، در ماههای آوریل و مه بارندگی و در ماههای ژوئن و ژوئیه بیشترین ضریب همبستگی مربوط به متغیر رطوبت نسبی است. لذا دما بیشترین همبستگی را با ارتفاع دارد.

مقادیر ضریب همبستگی دما با سایر متغیرها در جدول ۳ نشان داده شده است. بر این اساس در ماههای ژانویه، فوریه، مارس، اوت، سپتامبر، اکتبر، نوامبر و دسامبر

Table 3- Correlation coefficients of temperature with environmental parameters

جدول ۳- ضرایب همبستگی دما با پارامترهای محیطی

Month	Variable						
	Elevation	Relative Humidity	Sunshine Hour	Precipitation	Solar radiation	Latitude	longitude
Jan.	-0.81	-0.19	-0.19	0.27	-0.78	0.24	0.47
Feb.	-0.69	-0.04	0.16	-0.06	-0.66	0.05	-0.48
Mar.	-0.48	-0.19	-0.13	-0.42	-0.45	-0.14	0.42
Apr.	-0.36	-0.32	-0.09	-0.74	-0.3	0.23	0.48
May	-0.37	-0.31	-0.13	-0.61	-0.32	-0.2	0.49
Jun.	-0.26	-0.39	-0.19	-0.26	-0.23	-0.29	0.42
Jul.	-0.2	-0.46	-0.2	-0.36	-0.16	-0.35	0.34
Aug.	-0.32	-0.27	-0.18	-0.16	-0.28	-0.21	0.36
Sep.	-0.47	-0.082	-0.062	-0.002	-0.45	-0.095	0.43
Oct.	-0.61	0.085	-0.126	0.13	-0.59	0.041	0.42
Nov.	-0.78	0.24	-0.18	0.33	-0.74	0.19	0.44
Dec.	-0.82	0.32	-0.19	0.38	-0.18	0.25	0.40

تحلیل روش رگرسیون چندگانه خطی دما با سایر پارامترها به روش گام به گام

جدول ۴ میزان خطای حاصل از روش رگرسیون چندگانه خطی و متغیرهای موثر را نشان می دهد. همان طور که در جدول آمده است، متغیرهای ارتفاع، رطوبت نسبی و تابش ورودی در پیش بینی دما در تمامی ماهها استفاده شده اند و بیشترین اثر را در این روش داشته اند. در این جدول، Z، ارتفاع، RH، رطوبت نسبی، P، بارندگی، S، تابش ورودی دریافتی، Lat، عرض جغرافیایی و Lon، طول جغرافیایی است.

در روش رگرسیون چندگانه خطی، متغیرهای رطوبت نسبی، بارندگی، ساعت آفتابی، تابش ورودی خورشید، ارتفاع، طول و عرض جغرافیایی را به مدل اضافه کرده و زیرمجموعه های دو، تا هفت تایی را مشخص نموده و در نهایت بهترین زیرمجموعه را که بالاترین ضریب تبیین را داراست، به عنوان بهترین متغیرها برای پیش بینی دمای هوا انتخاب و معادله رگرسیون خطی آن را به دست آمد.

Table 4- Error criteria in multiple linear regression
جدول ۴- معیارهای خطا در روش رگرسیون چندگانه خطی

Month	Regression variables	RMSE (°C)	MBE (°C)	R ² (%)
Jan.	Z, RH, P, S, Lat, Lon	1.78	-0.11	80
Feb.	Z, RH, N, P, S, Lat	1.65	-0.14	79
Mar.	Z, RH, N, S, Lat	1.94	-0.11	73
Apr.	Z, RH, P, S	2.36	-0.32	78
May	Z, RH, P, S	2.67	-0.33	76
Jun.	Z, RH, S, Lat, Lon	2.92	-0.23	73
Jul.	Z, RH, S, Lon	2.48	-0.18	74
Aug.	Z, RH, S, Lon	2.60	-0.25	69
Sep.	Z, RH, S, Lon	2.43	-0.22	65
Oct.	Z, RH, S	1.86	-0.15	65
Nov.	Z, RH, p, S	1.68	-0.10	75
Dec.	Z, RH, P, S, Lat	2.47	0.33	79

در ماه ژانویه، ضریب تبیین در مدل رگرسیون چندگانه خطی ۸۰٪ است و متغیر تابش ورودی دریافتی با ضریب تبیین ۵۹٪ کمترین اثر را بر مدل دما داشته است. در ماه فوریه، ضریب تبیین مدل رگرسیون چندگانه خطی به ۷۹٪ می‌رسد. در این مدل بیشترین اثر را زیرمجموعه دوتایی ارتفاع و رطوبت نسبی با ضریب تبیین ۷۵٪ داشته‌اند. در ماه مارس، ضریب تبیین مدل رگرسیون چندگانه خطی ۷۳٪ برآورد شده است و تابش ورودی دریافتی، با ضریب تبیین ۲۲٪ کمترین اثر را در مدل کردن دما داشته است. در ماه آوریل، ضریب تبیین مربوط به مدل رگرسیون چندگانه خطی برابر با ۷۸٪ و کمترین اثر مربوط به متغیر عرض جغرافیایی با ضریب تبیین ۱۹٪ می‌باشد. ضریب تبیین برآورد دما در مدل رگرسیون چندگانه خطی ماه مه ۷۶ است. کمترین اثر را در این ماه متغیرهای ارتفاع و سپس طول جغرافیایی دارند. ضریب تبیین مدل رگرسیون چندگانه خطی ماه ژوئن، ۷۳٪ برآورد شد. کمترین تاثیر را در این ماه، مجموع دوتایی متغیرهای رطوبت نسبی و طول جغرافیایی داشته‌اند. ضریب تبیین مدل رگرسیون چندگانه خطی ماه ژوئیه به ۷۴٪ می‌رسد. این مقدار در حالتی است که متغیرهای ارتفاع، تابش ورودی، طول جغرافیایی، ساعت آفتابی و رطوبت در نظر گرفته می‌شوند. کمترین تاثیر را ابتدا رطوبت نسبی و سپس بارندگی داشته است. ضریب تبیین در مدل رگرسیون چندگانه خطی در ماه اوت، برابر با ۶۹٪ است. طول جغرافیایی و ارتفاع در این مدل کمترین اثرگذاری را داشته‌اند. در ماه سپتامبر، ضریب تبیین در مدل رگرسیون چندگانه خطی ۶۵٪ است. کمترین اثر را در این ماه، متغیرهای ارتفاع و تابش در مدل دارند. در ماه دهم، یعنی ماه اکتبر نیز ضریب تبیین ۶۵٪ است. کمترین

اثر را متغیرهای تابش ورودی و ارتفاع بر مدل داشته‌اند. در ماه نوامبر، ضریب تبیین مدل رگرسیون چندگانه خطی برابر با ۷۵٪ است. در این ماه نیز کمترین اثر را متغیرهای ارتفاع و تابش ورودی بر مدل داشته‌اند. در ماه دسامبر، ضریب تبیین مدل رگرسیون چندگانه خطی برابر با ۷۹٪ است. مانند ماه قبل، کمترین اثر را باز هم متغیرهای ارتفاع و تابش ورودی با ضریب تبیین ۶۷٪ به خود اختصاص داده‌اند. طبق نتایج به دست آمده ماه‌های فوریه و نوامبر با کمترین خطا، بهترین پیش‌بینی را داشته‌اند و بیشترین ضریب تبیین مربوط به ماه ژانویه با پارامترهای ارتفاع، رطوبت نسبی، بارندگی، تابش خورشید، طول و عرض جغرافیایی برابر با ۸۰٪ است.

ارزیابی روش‌های زمین‌آمار

در ادامه، نتایج حاصل از روش‌های مختلف زمین‌آمار، برای برآورد دمای متوسط ماهانه در منطقه مورد مطالعه به طور کامل بیان شده است.

کریجینگ معمولی

در روش کریجینگ، باید داده‌ها از توزیع نرمال پیروی نمایند، لذا قبل از انجام این روش، نرمال بودن داده‌های متوسط دمای ماهانه بررسی گردید و نمودار توزیع فراوانی آن‌ها رسم شد. نتیجه این بررسی حاکی از آن است که به غیر از ماه‌های فوریه و اکتبر، سایر ماه‌ها از توزیع نرمال پیروی می‌کنند. برای نرمال کردن داده‌ها می‌توان از توابع تبدیل مختلف نظیر لگاریتم‌گیری، استفاده از جذر داده‌ها و توابع دیگر استفاده کرد، که انتخاب تابع مناسب با سعی و خطا و بررسی نرمال بودن داده‌های تبدیل شده میسر است. پس از بررسی و تبدیل داده‌ها، با استفاده از نرم‌افزار GS+ نیم‌تغییرنمای تجربی و مدل مناسب برای دما در ماه‌های مختلف رسم گردید. در این نرم‌افزار شش نوع مدل نیم‌تغییرنما شامل مدل‌های کروی^۱، نمایی^۲، خطی^۳، خطی دارای حد آستانه^۴ و گوسی^۵ بر داده‌ها برازش داده شده و از بین آن‌ها نیم‌تغییرنمای بهینه بر اساس مقدار مجموع مربعات خطا (RSS)^۶ کمتر و ضریب تبیین (R²) بالاتر انتخاب شد. سپس، دقت و انحراف مدل با استفاده از

¹ Spherical

² Exponential

³ Linear

⁴ Linear to sill

⁵ Gaussian

⁶ Residual Sums of Squares

می‌کنند. همچنین نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه دارای میانگین ۴۰ درصد می‌باشد که از ۱۹ درصد در آوریل تا ۵۰ درصد در ماه‌های اکتبر و مارس متغیر است و این نشان‌دهنده ساختار مکانی قوی در داده‌ها است. همچنین میانگین دامنه تاثیر ۱۴/۵۵ کیلومتر است، که نسبت به روش کریجینگ تغییرات زیادی نداشته است و از ۷ کیلومتر در دسامبر تا ۲۱ کیلومتر در مارس متغیر است.

روش رگرسیون وزن دار جغرافیایی

رگرسیون وزن دار جغرافیایی بر خلاف الگوهایی رگرسیون معمول که یک معادله رگرسیونی را برای توصیف روابط کلی بین متغیرها برقرار می‌کنند، اطلاعات مکانی تولید کرده، که تغییرات مکانی بین متغیرها را بیان می‌کند. برای استفاده از این روش، با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS، رابطه بین متغیرهای مختلف بررسی شده و با استفاده از ضریب تبیین آن‌ها، بررسی می‌شود که کدام متغیرها برای درون‌یابی دما در هر ماه مناسب هستند. در مدل‌های رگرسیون موضعی، هنگامی که دو یا چند متغیر دارای هم‌خطی هستند، (دو یا چند متغیر زائد هستند و یا یک موضوع دارند)، نتایج غیر قابل اطمینان است. پهنای باند، پارامتر کنترل‌کننده کلیدی است که می‌تواند توسط فاصله ثابت (پهنای باند ثابت) و یا تعداد ثابت همسایگی‌های نزدیک (پهنای باند تطبیقی) مشخص شود. به منظور بررسی متغیرهای مختلف، باید نوع هسته و پهنای باندهای مختلف را مورد آزمون قرار داده و از بین آن‌ها مدلی را که بیشترین ضریب تبیین را دارد، انتخاب شوند. جدول ۸ نوع هسته، روش تعیین پهنای باند، متغیرهای مورد استفاده و ضریب تبیین در ماه‌های مختلف را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است، در ماه‌هایی که دو متغیر رطوبت نسبی و ارتفاع بیشترین تاثیر را داشته‌اند، ضریب تبیین اختلاف ناچیزی با حالت انتخاب هر سه متغیر بالا داشته است. با این توضیح، می‌توان اظهار کرد که در تمامی ماه‌ها، هر سه متغیر ارتفاع، رطوبت نسبی و ساعت آفتابی بیشترین اثر را در مدلسازی دما داشته‌اند و بهترین نوع هسته، تطبیقی، با پهنای باند تعیین شده توسط کاربر است. با توجه به RMSE به دست آمده در ماه‌های مختلف، می‌توان اظهار کرد، ماه دسامبر با کمترین خطا بهترین نتیجه را در پیش‌بینی دما داشته است. بیشترین خطا نیز در ماه ژوئن مشاهده شده است.

عمل اعتبارسنجی حذفی محاسبه شد. جدول ۵ نتیجه ارزیابی روش کریجینگ معمولی و پارامترهای نیم‌تغییرنمای تجربی برای داده‌های دما را در منطقه مطالعاتی نشان می‌دهد.

کوکریجینگ

زمانی که از داده‌های متغیر اصلی به تعداد کافی موجود نباشد و یک متغیر کمکی در منطقه باشد که به تعداد بیشتری در منطقه موجود باشد و با متغیر اصلی همبستگی قوی داشته باشد، از این روش استفاده می‌شود اما شرط استفاده از این روش آن است که، قدر مطلق ضریب همبستگی بین متغیر اصلی و متغیر کمکی، معنی‌دار و بزرگتر از ۰/۵ باشد. به همین منظور، رابطه بین دما در ماه‌های مختلف سال با متغیرهای دیگر، همچون ارتفاع، رطوبت نسبی، بارندگی و غیره بررسی گردید. نتیجه این بررسی نشان داد که در هشت ماه از سال، متوسط دما با ارتفاع ایستگاه‌ها، در دو ماه از سال با بارندگی و در دو ماه دیگر با رطوبت نسبی دارای همبستگی بیش از ۵۰ درصد است. جدول ۶ ضرایب همبستگی دما با این متغیرها به علاوه معادلات همبستگی آن‌ها را در ماه‌های مختلف نشان می‌دهد. همان‌طور که در جدول ۶ دیده می‌شود، بیشترین همبستگی را متغیر کمکی ارتفاع با دما دارد و دمای دسامبر بیشترین همبستگی را با ارتفاع دارد، همچنین دمای اوت دارای کمترین همبستگی با ارتفاع می‌باشد. در ماه‌های آوریل و مه، ضریب همبستگی نشان از همبستگی بالای این متغیر با دما دارند، اما در ماه‌های ژوئن، ژوئیه، اوت و سپتامبر، قدر مطلق ضریب همبستگی کمتر از ۰/۵ است، و به همین دلیل در این چهار ماه از روش کوکریجینگ استفاده نشده است که در جدول بعد با خط‌چین مشخص گردیده است. در این روش، تغییرات همزمان دو متغیر اصلی و کمکی (نیم‌تغییرنمای متقابل)^۱ نیز باید ساختاردار باشد. پس از تعیین متغیر کمکی و ضریب همبستگی آن با دمای هوا، نیم‌تغییرنمای متقابل متغیر کمکی با دما در ماه‌های مختلف رسم گردید و با عمل اعتبارسنجی حذفی، دقت و انحراف مدل محاسبه شد که حاصل آن در جدول ۷ خلاصه شده است. همان‌طور که در این جدول دیده می‌شود، ۷۵ درصد نیم‌تغییرنماها از مدل کروی پیروی

^۱ Cross-Variogram

Table 5- Optimal Semivariogram characteristics and the results of the Kriging method evaluation for monthly mean temperature

جدول ۵- مشخصات نیم تغییرنمای بهینه و نتایج ارزیابی روش کوریجینگ برای داده‌های دمای متوسط ماهانه

Month	مدل	Nugget (C ₀)	Sill=C ₀ +C	Range	C/Sill	C ₀ /Sill	RMSE (°C)	MBE (°C)
Jan.	Exponential	4.47	16.78	3.30	0.61	0.39	2.60	-0.67
Feb.	Exponential	7.56	20.66	13.69	0.63	0.37	2.51	-0.60
Mar.	Exponential	6.98	13.97	20.99	0.50	0.50	2.44	-0.34
Apr.	Spherical	6.97	16.18	19.71	0.57	0.43	2.62	-0.44
May	Spherical	8.30	20.10	20.36	0.59	0.41	2.83	-0.47
Jun.	Exponential	10.10	20.15	20.99	0.50	0.50	2.74	-0.34
Jul.	Linear	10.65	10.65	6.38	0.00	1.00	2.56	-0.24
Aug.	Linear	8.01	8.01	6.38	0.00	1.00	2.39	-0.37
Sep.	Linear	7.71	7.98	6.38	0.03	0.97	2.38	-0.47
Oct.	Exponential	6.39	12.78	20.99	0.50	0.50	2.38	-0.49
Nov.	Exponential	6.74	15.46	13.43	0.56	0.44	2.43	-0.60
Dec.	Exponential	6.37	19.88	13.11	0.68	0.32	2.36	-0.70

Table 6- Coefficient of determination and Relationship between monthly temperature and auxiliary variable

جدول ۶- ضریب تبیین و رابطه بین دمای ماهانه و متغیر کمکی

Month	Auxiliary variable	Correlation equation	Coefficient of determination	P-Value
Jan.	Altitude	T=7.692-0.004Z	-0.81	0.00
Feb.	Altitude	T=8.797-0.003Z	-0.70	0.00
Mar.	Altitude	T=11.67-0.002Z	-0.48	0.00
Apr.	Precipitation	T=19.42-0.113Z	-0.74	0.00
May	Precipitation	T=23.23-0.151Z	-0.61	0.00
Jun.	Relative Humidity	T=27.13-0.067Z	-0.39	0.003
Jul.	Relative Humidity	T=30.32-0.078Z	-0.46	0.00
Aug.	Altitude	T=28.49-0.001Z	-0.32	0.015
Sep.	Altitude	T=25.12-0.002Z	-0.47	0.00
Oct.	Altitude	T=20.12-0.002Z	-0.61	0.00
Nov.	Altitude	T=14.11-0.003Z	-0.78	0.00
Dec.	Altitude	T=9.566-0.003Z	-0.82	0.00

Table 7- Semivariogram characteristics of the variation of the auxiliary temperature data and the results of the evaluation of the Co-Kriging method

جدول ۷- مشخصات نیم تغییرنمای متقابل داده‌های متغیر کمکی - دما و نتایج ارزیابی روش کوکوریجینگ

Month	Model	Nugget (C ₀) Nugget variance	Sill=C ₀ +C	Range	C/Sill	C ₀ /Sill	RMSE (°C)	MBE (°C)
Jan.	Spherical	-1131.00	-2707.00	7.35	0.58	0.42	2.78	-0.50
Feb.	Spherical	-1158.00	-2481.00	13.95	0.53	0.47	2.96	0.40
Mar.	Exponential	-845.00	-1691.00	20.99	0.50	0.50	3.13	-0.08
Apr.	Spherical	-21.30	-113.60	17.37	0.81	0.19	3.00	-0.41
May	Spherical	-16.40	-55.07	17.06	0.70	0.30	3.20	-0.46
Jun.	-	-	-	-	-	-	-	-
Jul.	-	-	-	-	-	-	-	-
Aug.	-	-	-	-	-	-	-	-
Sep.	-	-	-	-	-	-	-	-
Oct.	Spherical	-958.00	-1920.00	18.90	0.50	0.50	2.71	-0.38
Nov.	Exponential	-1115.00	-3688.00	13.75	0.70	0.30	2.69	-0.44
Dec.	Spherical	-1035.00	-2304.00	7.02	0.55	0.45	2.38	-0.46

روش کوکوریجینگ در برخی ماه‌ها به دلیل پایین بودن ضریب همبستگی متغیر کمکی، از این روش استفاده نشد. بر اساس جدول ۹، در تمامی ماه‌ها، رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی کمترین میزان خطا را دارد.

انتخاب مناسب‌ترین روش در پهنه‌بندی دمای ماهانه برای انتخاب روش مناسب میان‌یابی دمای ماهانه، نتایج میانگین مربعات خطای روش‌های به کار رفته در این تحقیق، با استفاده از جدول ۹ با یکدیگر مقایسه شدند. در

Table 8- Monthly results of geographically weighted regression method

جدول ۸- نتایج ماهانه حاصل از روش رگرسیون وزن دار جغرافیایی

Month	Kernel type		Band Width Method		Effective variables			Error indices			
	Fixed	Adaptive	AICc	CV	Bandwidth parameter	Altitude	Relative humidity	Sunshine Hour	RMSE	MBE	R ²
Jan.		*		*		*	*		1.15	0.003	0.86
Feb.		*	*			*	*		1.30	-0.07	0.83
Mar.		*			*	*			1.32	-0.15	0.82
Apr.		*			*	*	*		1.06	-0.09	0.87
May		*			*	*	*		1.49	-0.04	0.83
Jun.		*			*	*	*		1.54	-0.03	0.83
Jul.		*			*	*	*		1.39	-0.08	0.84
Aug.		*			*	*	*		1.38	-0.004	0.79
Sep.		*			*	*	*		1.38	-0.01	0.78
Oct.		*			*	*	*		1.30	-0.06	0.79
Nov.		*			*	*	*		0.95	-0.08	0.86
Dec.		*			*	*	*		0.83	-0.02	0.87

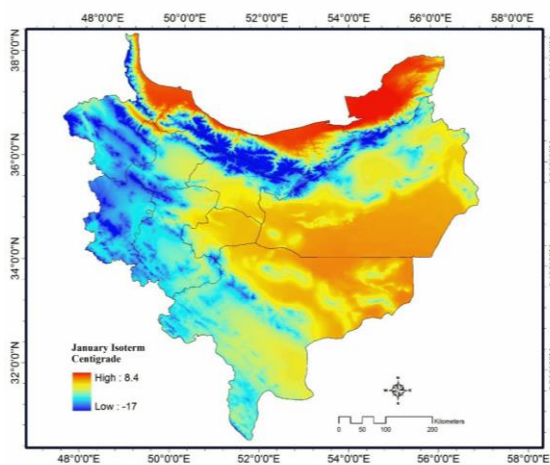


Figure 2- January temperature zoning map using geographical weighting regression

شکل ۲- نقشه پهنبندی دمای ماه ژانویه با استفاده از روش رگرسیون وزن دار جغرافیایی

نتیجه گیری

دما یکی از عناصر اساسی شناخت هوا می باشد، با توجه به دریافت نامنظم انرژی خورشیدی توسط زمین، دمای هوا در سطح زمین دارای تغییرات زیادی است که این تغییرات به نوبه خود سبب تغییرات دیگری در سایر عناصر هوا می گردد. در این تحقیق، کارایی روش های درون یابی زمین آماری مانند کریجینگ و کوکریجینگ، روش رگرسیون وزن دار جغرافیایی و رگرسیون چندمتغیره خطی بررسی و تحلیل گردید. ارزیابی بر اساس تکنیک اعتبارسنجی متقابل انجام شد. بر اساس نتایج اصلی به دست آمده در ماه های ژانویه، فوریه، مارس، اوت، سپتامبر، اکتبر، نوامبر و دسامبر بیشترین ضریب همبستگی مربوط به ارتفاع، در ماه های آوریل و مه، بارندگی و در ماه های ژوئن و ژوئیه بیشترین ضریب همبستگی مربوط به پارامتر رطوبت نسبی است. پس می توان نتیجه گرفت، دما

بنابراین این روش به عنوان بهترین روش برآورد داده های دمای ماهانه در نیمه شمالی و مرکزی ایران معرفی می گردد. پس از آن به ترتیب، روش رگرسیون چند متغیره خطی، کریجینگ و کوکریجینگ در اولویت های بعدی قرار دارند.

نقشه پهنبندی دما در نیمه شمالی کشور

در آخر با استفاده از بهترین روش معرفی شده، یعنی روش رگرسیون وزن دار جغرافیایی، نقشه پهنبندی دمای ماهانه را رسم شده است. در شکل ۲ نقشه پهنبندی دمای ماه ژانویه با استفاده از روش رگرسیون وزن دار جغرافیایی ملاحظه می شود. بررسی این شکل نشان می دهد که در روش رگرسیون وزن دار جغرافیایی اثر ارتفاع بر تغییرات دما به خوبی منعکس شده است به صورتی که دماهای پایین منطبق بر مناطق مرتفع و دماهای بالا منطبق بر مناطق کم ارتفاع به ویژه در بخش جنوب شرقی ناحیه مورد مطالعه می باشند.

Table 9- The mean square error of the used methods
جدول ۹- میانگین مربعات خطا در روش های استفاده شده

Month	Multivariate linear regression	Geographical Weighted Regression	Cokriging	Kriging
Jan.	1.78	1.15	2.78	2.6
Feb.	1.65	1.3	2.96	2.51
Mar.	1.94	1.32	3.13	2.44
Apr.	2.36	1.06	3	2.62
May	2.67	1.49	3.2	2.83
Jun.	2.92	1.54	-	2.74
Jul.	2.48	1.39	-	2.56
Aug.	2.6	1.38	-	2.39
Sep.	2.43	1.38	-	2.38
Oct.	1.86	1.3	2.71	2.38
Nov.	1.68	0.95	2.69	2.43
Dec.	2.47	0.83	2.38	2.36

ماه‌های مختلف، می‌توان اظهار کرد، ماه دسامبر با کمترین خطا بهترین نتیجه را در پیش‌بینی دما داشته است. بیشترین خطا نیز در ماه ژوئن مشاهده شده است. در پایان با توجه به نتایج به دست آمده در تمامی ماه‌ها، رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی کمترین میزان خطا را نشان می‌دهد. بنابراین این روش به عنوان بهترین روش برآورد داده‌های دمای ماهانه در نیمه شمالی و مرکزی ایران معرفی می‌گردد. نتایج این تحقیق با سایر مطالعات صورت گرفته در این زمینه همخوانی دارد. به عنوان مثال Ghorbani et al., (2012) روش‌های مختلف درون‌یابی قطعی و زمین‌آمار را با روش رگرسیون وزندار جغرافیایی برای پهنه‌بندی و ترسیم نقشه‌همبارش در استان گیلان مورد ارزیابی قرار دادند و نتیجه گرفتند روش رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی در مقایسه با روش کریجینگ به ترتیب با ریشه میانگین مربعات خطای برابر با ۱۴۷ و ۱۸۷ میلی‌متر با مقدار خطای کمتر می‌تواند در درون‌یابی و پهنه‌بندی میانگین بارش سالانه مورد استفاده قرار گیرد. Benavides et al., (2007) مدل‌های برآورد دمای هوا، شامل پنج مدل زمین‌آمار و دو مدل رگرسیونی را در منطقه آستوریاس در شمال اسپانیا مقایسه کرده و به این نتیجه رسیدند که روش‌های رگرسیونی محلی از جمله روش رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی جزئیاتی که در روش‌های سراسری نادیده گرفته می‌شوند، تا حدی به تصویر می‌کشند. همچنین Ghorbani and Aghashariatmadari (2014) با در نظر گرفتن میانگین ۳۰ ساله دمای هوا و رطوبت نسبی ۲۴۰ ایستگاه همدیدی و اقلیم‌شناسی در ایران، نشان دادند که در مورد دمای هوا که تحت تاثیر ارتفاع می‌باشد درون‌یابی به کمک روش رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی با دیگر روش‌های درون‌یابی اختلاف معنی‌داری دارد و بهتر می‌باشد، در حالی که این اختلاف در مورد رطوبت نسبی مشاهده نشد و این می‌تواند به دلیل نبود رابطه مشخصی بین ارتفاع و رطوبت نسبی باشد. با توجه به نتایج و روش‌های مورد استفاده در این تحقیق و مطالعات مشابه پیشنهاد می‌شود که روش‌های به کار رفته در این تحقیق، در سایر مناطق کشور نیز انجام و مورد مقایسه قرار گیرند و در صورتی که با تقسیم‌بندی منطقه از نظر ارتفاعی، رابطه مناسبی بین متغیرهای مورد مطالعه و ارتفاع حاصل شود، این روش‌ها در هر طبقه ارتفاعی انجام شود.

بیشترین همبستگی را با ارتفاع دارد. طبق نتایج به دست آمده از روش رگرسیون چند متغیره خطی با استفاده از مدل گام به گام، ماه‌های فوریه و نوامبر با کمترین خطا، بهترین پیش‌بینی را داشته‌اند و بیشترین ضریب تبیین مربوط به ماه ژانویه با پارامترهای ارتفاع، رطوبت نسبی، بارندگی، تابش خورشید، طول و عرض جغرافیایی برابر با ۸۰٪ است. در روش کریجینگ، حدود ۶۰ درصد موارد مدل تئوری نیم تغییرنما، مدل نمایی بوده است و در بقیه موارد کروی و خطی است. همچنین نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه، دارای میانگین ۵۷ درصد می‌باشد، که از ۳۲٪ در دسامبر تا ۱۰۰٪ در ژوئیه و اوت متغیر است. ساختار مکانی دما در سه ماه ژوئیه، اوت و سپتامبر با توجه به اینکه نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه بیشتر از ۰/۵ است، نامناسب است و کاربرد زمین‌آمار در این ماه‌ها مفید واقع نمی‌شود. همچنین با توجه به نتایج، بهترین نیم تغییرنما مربوط به ماه فوریه است، زیرا میزان اثر قطعه‌ای به آستانه، حداقل است. نتایج تعیین متغیر کمکی در روش کوکریجینگ نشان داد، در هشت ماه از سال، متوسط دما با ارتفاع ایستگاه‌ها، در دو ماه از سال با بارندگی و در دو ماه دیگر با رطوبت نسبی دارای همبستگی بیش از ۵۰ درصد است و بدین ترتیب این سه متغیر به عنوان متغیر کمکی مورد استفاده قرار گرفتند. با توجه به اینکه در روش کوکریجینگ، تغییرات همزمان دو متغیر اصلی و کمکی (نیم تغییرنمای متقابل) نیز باید ساختاردار باشد. پس از تعیین متغیر کمکی و ضریب همبستگی آن با دمای هوا، نیم تغییرنمای متقابل متغیر کمکی با دما در ماه‌های مختلف رسم گردید و نشان داد که بیشترین همبستگی را متغیر کمکی ارتفاع با دما دارد و دمای دسامبر بیشترین همبستگی را با ارتفاع دارد، همچنین دمای اوت دارای کمترین همبستگی با ارتفاع می‌باشد. در ماه‌های آوریل و مه، ضریب همبستگی نشان از همبستگی بالای این متغیر با دما دارند، اما در ماه‌های ژوئن، ژوئیه، اوت و سپتامبر، قدر مطلق ضریب همبستگی کمتر از ۰/۵ است، و به همین دلیل در این چهار ماه از روش کوکریجینگ استفاده نشده است. در روش رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی، در تمامی ماه‌ها، هر سه متغیر ارتفاع، رطوبت نسبی و ساعت آفتابی بیشترین اثر را در مدل‌سازی دما داشته‌اند و بهترین نوع هسته، تطبیقی، با پهنای باند تعیین شده توسط کاربر است. همچنین با توجه به RMSE به دست آمده در

منابع

- Abtew, W., Obeysekera, J., Shin, G. 1993. Spatial Analysis for monthly rainfall in south Florida. *Water Resources Bulletin*, 29(2): 179-188.
- Benavides, R., Montes, F., Rubio, A., Osoro, K. 2006. Geostatistical modelling of air temperature in a mountainous region of Northern Spain. *Agricultural and forest meteorology*, 146: 173-188.
- Bostan, P. A., Akyürek, Z. 2007. Exploring the mean annual precipitation and temperature values over Turkey by using environmental variables. In ISPRS Joint Workshop "Visualization and Exploration of Geospatial Data". University of Applied Sciences, Stuttgart.
- Fotheringham, A. S., Brunson, C., Charlton, M. 2003. Geographically weighted regression: the analysis of spatially varying relationships. John Wiley and Sons, 268 pages.
- Georganos, S., Abdi, A. M., Tenenbaum, D. E., Kalogirou, S. 2017. Examining the NDVI-rainfall relationship in the semi-arid Sahel using geographically weighted regression. *Journal of Arid Environments*, 146: 64-74.
- Ghorbani, Kh. 2013. Geographically Weighted Regression: A Method for Mapping Isohyets in Gilan Province. *Journal of water and soil*, 26(3): 743-752. (In Farsi)
- Ghorbani, Kh., Aghashariatmadari, Z. 2014. The Effect of Local Gradients on Increasing of Climatic Data Interpolation Accuracy by Geographically Weighted Regression (Case Study: Air Temperature and Relative Humidity). *Journal of Watershed Management Research*, 5(1): 132-143. (In Farsi)
- Gundogdu, I. B., Esen, O. 2010. The importance of secondary variables for mapping of meteorological data. In International Conference on Cartography and GIS. 12-15 June. Nessebar, Bulgaria. 15-20.
- Hevesi, J. A., Istok, J. D., Flint, A. L. 1992. Precipitation estimation in mountainous terrain using multivariate geostatistics. Part I: structural analysis. *Journal of applied meteorology*, 31(7): 661-676.
- Johnson, B. A., Scheyvens, H., Khalily, M. B., Onishi, A. 2019. Investigating the relationships between climate hazards and spatial accessibility to microfinance using geographically-weighted regression. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 33: 122-130.
- Madani, H. 1994. Geostatistical basics. Amirkabir University publication. (In Farsi).
- Mehdizadeh, H. 2002. Evaluation of Geostatistical methods to estimate temperature and rainfall in Ourmieh lake basin. Master's thesis of Agricultural Meteorology. University of Tehran. (In Farsi)
- Mennis, J. 2006. Mapping the results of geographically weighted regression. *The Cartographic Journal*, 43(2): 171-179.
- Mesdaghi, M. 2004. Regression methods for research in agriculture and natural resources. Imam Reza University, Mashhad. 290. (In Farsi)
- Nadi, M. 2010. Using the Various Interpolation Techniques of Climatic Data for Determining the Most Important Factors Affecting the Trees Growth in the Elevated Areas of Chaharbagh, Gorgan. Master's thesis of Agricultural Meteorology. University of Tehran. (In Farsi)
- Nalder, I. A., Wein, R. W. 1998. Spatial interpolation of climatic normals: test of a new method in the Canadian boreal forest. *Agricultural and forest meteorology*, 92(4): 211-225.
- Rahimi Bandarabadi, S. 2000. Investigating the Application of Geostatistic Methods for Estimating Precipitation in Arid and Semi-Arid Areas of Southeast of Iran. Master's thesis of desertification. University of Tehran. (In Farsi)
- Tobler, W. R. 1970. A computer movie simulating urban growth in the Detroit region. *Economic geography*, 46(sup1): 234-240.
- Zhai, L., Li, S., Zou, B., Sang, H., Fang, X., Xu, S. 2018. An improved geographically weighted regression model for PM_{2.5} concentration estimation in large areas. *Atmospheric Environment*, 181: 145-154.
- Zhou, Q., Wang, C., Fang, S. 2018. Application of geographically weighted regression (GWR) in the analysis of the cause of haze pollution in China. *Atmospheric Pollution Research* (In Press).
<https://doi.org/10.1016/j.apr.2018.12.012>



کاربرد شاخص‌های آسایش اقلیمی و خشکسالی کشاورزی جهت تعیین مقاصد گردشگری کشاورزی در استان کرمان

آرشین بختیاری^{۱*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۲/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۶/۳۱

چکیده

خشکسالی در تمام فصول سال به طور مستقیم و غیرمستقیم بر گردشگری کشاورزی تأثیر دارد. هدف از این مطالعه تعیین مقاصد گردشگری کشاورزی (آگریوتوریسم) تحت تأثیر پدیده خشکسالی است. به این منظور از داده‌های ۱۴ ایستگاه همدیدی در استان کرمان از بدو تأسیس تا سال ۲۰۱۷ استفاده گردید. شاخص‌های متوسط آرای پیش‌بینی شده (PMV) و شناسایی خشکسالی (RDI) به ترتیب جهت بررسی وضعیت آسایش اقلیمی و خشکسالی استفاده شدند. برای محاسبه شاخص RDI و PMV به ترتیب از بسته‌های نرم‌افزاری DrinC V 1.5.73 و RayMan استفاده شد. برای تهیه نقشه‌های خشکسالی و اقلیم آسایش، گرادیان ارتفاعی بین این دو شاخص بررسی شد. توزیع مکانی شاخص‌ها در ماه‌هایی که گرادیان معنی‌دار بود، با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی (DEM)، در محیط نرم‌افزاری ArcGIS V. 10.5 ترسیم شدند. نتایج نشان دادند که همه ایستگاه‌های مطالعاتی در فصول سرد سال دارای وضعیت نرمال از دیدگاه خشکسالی کشاورزی بودند. در فصول گرم سال قسمت‌های شرقی و جنوبی استان با خشکسالی‌های شدید مواجه بودند. همچنین نتایج شاخص PMV نشان داد که بخش‌های شرقی و جنوبی استان در فصل‌های سرد دارای شرایط مناسب برای فعالیت‌های آگریوتوریسم هستند. در حالی که در فصل‌های گرم بخش‌های مرکزی، شمالی و غربی استان مناسب می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: آسایش گردشگری، دوره خشکی، شاخص متوسط آرای پیش‌بینی شده، گردشگری کشاورزی

مقدمه

فعالیت‌های جایگزین که خود تکمیل کننده صنعت کشاورزی باشند احساس می‌شود. صنعت گردشگری نیز با تأمین یک دهم تولید ناخالص داخلی و اشتغال، بزرگ‌ترین منبع تولید ناخالص داخلی و اشتغال در دنیا محسوب می‌شود. از طرفی در بسیاری از روستاهای کشور به دلیل شرایط اقلیمی، کشاورزی از شرایط بهینه خود به دور مانده و لذا توریسم روستایی و کشاورزی می‌تواند باعث افزایش درآمد خانوار روستایی، اشتغال‌زایی و در نتیجه بهبود فرآیند توسعه روستایی گردد (Bakhtiari, 2015). توسعه روستایی که منجر به بهبود کیفیت زندگی ساکنان روستا و توسعه پایدار کشاورزی می‌شود سه بخش کشاورزی، صنعت و خدمات را در بر می‌گیرد (Papoli Yazdi and Ebrahimi, 2001). گردشگری کشاورزی یا آگریوتوریسم^۲، شاخه‌ای از گردشگری روستایی است که ارتباط مستقیم با کشاورزی در مناطق روستایی دارد. بر این اساس کشاورزان با شیوه‌های مختلف می‌توانند علاوه

خشکسالی یکی از پدیده‌های محیطی و بخشی جدایی‌ناپذیر از تغییرات اقلیمی می‌باشد. این پدیده از ویژگی‌های اصلی و تکرار شونده اقلیم مختلف به شمار می‌رود. به دلیل اینکه عوامل مختلفی به طور مستقیم و غیرمستقیم در وقوع خشکسالی تأثیر می‌گذارند ارائه تعریف دقیقی از آن مشکل بوده و به همین جهت تا کنون تعریف جامع و کاملی از این پدیده مطرح نشده است (Komasi et al., 2017). بخش کشاورزی نخستین بخشی است که تحت تأثیر خشکسالی قرار گرفته و بیش‌ترین صدمه را متحمل می‌شود (Vergini and Todisco, 2011). لذا با کاهش درآمد کشاورزان در نتیجه کاهش کشاورزی و گسترش مهاجرت روستائیان به شهرها، نیاز به

^۱ مربی گروه جهانگردی و هتلداری، مجتمع آموزش عالی بم، کرمان، ایران

*نویسنده مسئول: Bakhtiari@bam.ac.ir

DOI: 10.22125/agmj.2019.176734.1059

^۲ Agritourism

منظور ارزیابی تطبیقی زیست اقلیم انسانی شهر اصفهان از شاخص‌های ترجونگ، PMV، PET و TCI استفاده کردند. نتایج اغلب روش‌ها نشان دادند ماه‌های مه و سپتامبر بهترین ماه‌ها از لحاظ آسایش اقلیمی بوده و شرایط اقلیمی در ماه‌های ژانویه، فوریه و دسامبر و ماه‌های ژوئن، ژوئیه و اوت به سمت نامطلوب سوق پیدا می‌کنند. Zolfaghari (2008) با استفاده از شاخص دمایی معادل فیزیولوژیک و روش متوسط نظرسنجی پیش‌بینی شده تقویم زمانی مناسب برای گردشگری تبریز را تعیین نموده است. بر اساس تحقیقات وی دوره آسایش اقلیمی در تبریز بسیار محدود بوده به طوری که دوره آسایش اقلیمی در مدت ۴۵ روز (از اوایل خرداد تا اواسط تیر ماه) به طول می‌انجامد. این در حالی است که دوره تنش گرما ۷۲ روز از حوالی ۱۰ تیر ماه تا ۲۰ شهریور و دوره تنش سرما با درجات مختلف به مدت ۲۲۵ روز (از ۱۵ مهر تا پایان اردیبهشت) طول می‌کشد. در این راستا پیشنهاد گردیده است در زمینه برنامه‌ریزی‌های گردشگری و تنظیم تورهای مسافرتی و تبلیغات بازاریابی شهر تبریز به این تغییرات توجه ویژه شود.

به طور کلی گردشگری کشاورزی از طریق فعالیت‌هایی همچون بازدید یا مشارکت در فعالیت‌های مزرعه، خرید مستقیم محصولات، گذراندن مدت‌زمانی در مزرعه، کنجکاو و آموختن در مورد مزرعه و محصولات کشاورزی، به عنوان محرکی برای اقتصاد ناموزون بخش کشاورزی به شمار می‌آید. استان کرمان با اقلیم متفاوت و پتانسیل‌های کشاورزی فراوان در محصولاتی مانند گیاهان دارویی، خرما، مرکبات، پسته، زعفران، گردو، انار، گل محمدی و باغات سردسیری نظیر گلابی، هلو، آلبالو، آلو، گیلاس و سیب می‌تواند نمونه مناسبی از مقاصد گردشگری کشاورزی باشد. از آن‌جا که خشکسالی مستقیماً بر فعالیت‌های کشاورزی و نیز توریسم کشاورزی تاثیرگذار است، هدف از این مطالعه بررسی اثرات خشکسالی کشاورزی بر آگريوتوریسم این منطقه می‌باشد. همچنین مناطق مختلف استان از نظر شاخص خشکسالی کشاورزی^۲ (RDI) و شاخص متوسط نظرسنجی پیش‌بینی شده (PMV) جهت فعالیت‌های آگريوتوریسم بررسی شدند.

بر درآمد ناشی از تولید کشاورزی یک درآمد مکمل از گردشگری نیز به دست بیاورند. گردشگری کشاورزی با زمین‌گردی و طبیعت‌گردی ارتباط نزدیکی دارد و علاوه بر آن می‌تواند در عرضه مستقیم محصولات کشاورزی نقش بسزایی داشته باشد (Oppermann, 1996). از طرفی تأثیر اقلیم بر تقاضای گردشگری و رضایت گردشگران باعث گردیده تا این عامل به عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر تصمیم‌گیری‌ها جهت برنامه‌ریزی و انتخاب محل اقامت محسوب شود (Scott et al., 2004). در زمینه بررسی تأثیر اقلیم بر گردشگری مطالعات گسترده‌ای در سراسر دنیا اجرا گردیده است که از این جمله می‌توان به مطالعه (Matzarakis and Alcoforado, 2007) در زمینه اهمیت آسایش حرارتی و زیست اقلیمی بر گردشگری در فرایبورگ، (De Freitas et al., 2008) در زمینه بررسی کاربرد شاخص اقلیم گردشگری در زمینه‌های مختلف گردشگری و (Bakhtiari et al., 2018) در زمینه بررسی اثر تغییر اقلیم بر اقلیم آسایش در ایران اشاره کرد. در زمینه بررسی اثرات شرایط اقلیمی بر گردشگری کشاورزی می‌توان به مطالعه Bakhtiari (2015) اشاره کرد که به این منظور از شاخص دمایی معادل فیزیولوژیک در استان کرمان استفاده کرده و مناطق مستعد برای گردشگری کشاورزی در این استان را تعیین کرد. Arvin and Shojaezadeh (2015) جهت ارزیابی شرایط اقلیم گردشگری شهر شیراز از شاخص‌های دمایی معادل فیزیولوژیک (PET) و متوسط نظرسنجی پیش‌بینی شده (PMV)^۱ استفاده کردند و نشان دادند که بهترین شرایط اقلیمی برای فعالیت‌های گردشگری در این شهر به صورت دو دوره مجزا در اواسط فصل بهار (ماه مه) و ابتدای فصل پاییز (ماه اکتبر) بوده و شهر شیراز حدود دو ماه از سال شرایط مطلوب برای گردشگری را دارا می‌باشد. Baaghdeh et al., (2014) برای تعیین زمان مناسب گردشگری در شهر اصفهان از شاخص‌های زیست اقلیمی، PET و PMV استفاده کردند و بهترین زمان حضور گردشگران در شهر اصفهان را در قالب یک تقویم گردشگری ارائه کردند. در نهایت مقایسه نتایج به دست آمده از هر سه شاخص نشان داد که شاخص‌های PMV و PET شناخت بهتری از زیست اقلیم منطقه مورد مطالعه ارائه می‌دهند. Hesheminasab and Ataei (2012) به

² Reconnaissance Drought Index (RDI)

¹ Predicted Mean Vote (PMV)

مواد و روش‌ها

داده‌ها و منطقه مطالعاتی

استان کرمان با مساحت ۱۸۳۰۷۰/۶ کیلومترمربع در جنوب شرقی ایران واقع شده است. اقلیم متنوع و پتانسیل‌های کشاورزی فراوان این استان آن را به یکی از مهم‌ترین مقاصد گردشگری کشور بدل کرده است. از محصولات بومی استان کرمان می‌توان به خرما (متعلق به شهرستان‌های بم، شهداد، گلباف، جیرفت، کهنوج و منوجان)، مرکبات (متعلق به بم، جیرفت، شهداد و ارزوئیه)، پسته (انار، رفسنجان، زرنند و سیرجان)، زعفران (دشت خاک زرنند)، گردو (بافت، بردسیر، لاله‌زار و راین)، انار (چترود و شهرابک)، گل محمدی (لاله‌زار، بردسیر، بافت و قریه‌العرب) و باغات سردسیری نظیر بادام، گلابی، هلو، آلبالو، آلو، گیلاس و سیب (ماهان، جوپار، شهرابک، کوه‌پایه، بافت، راین، لاله‌زار، ساردوئیه و دلفارد) اشاره کرد. در این مطالعه جهت ارزیابی اثر خشکسالی بر نیاز گردشگری کشاورزی منطقه از شاخص شناسایی خشکسالی (RDI) و شاخص آسایش حرارتی متوسط نظرسنجی پیش‌بینی شده (PMV) استفاده گردید. به این منظور از داده‌های متوسط دمای خشک (°C)، متوسط رطوبت نسبی (%، متوسط سرعت باد ($m s^{-1}$))، متوسط فشار بخار (Hpa)، میزان ابرناکی (اکتاو) و متوسط بارش ماهانه (mm) در ۱۴ ایستگاه هم‌دیدگی واقع در این استان از بدو تاسیس تا سال ۲۰۱۷ استفاده گردید. در شکل ۱ پراکنش ایستگاه‌های مطالعاتی بر گستره استان کرمان

نشان داده شده است. مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه و اقلیم آن‌ها در طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن گسترش یافته (Rahimi et al., 2013) در جدول ۱ نشان داده شده است. در این مطالعه سعی گردید از داده‌های اکثر ایستگاه‌های هواشناسی حتی با کوتاه‌ترین طول دوره آماری استفاده شود تا نتایج مبتنی بر آمار تک تک مناطق مورد بررسی ارائه شوند.

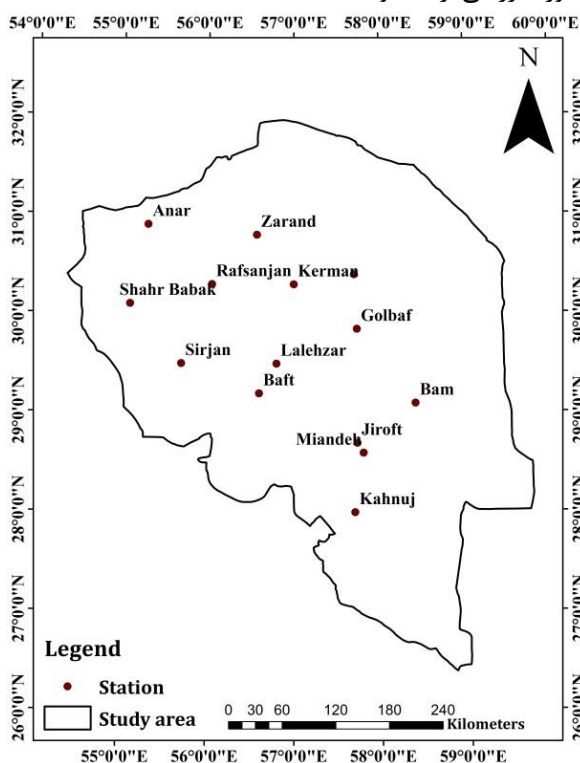


Figure 1- The geographic location of the study area and the spatial distribution of the synoptic weather stations

شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی و توزیع مکانی ایستگاه‌های هم‌دیدگی

Table 1- The geographical characteristics of the weather stations located in Kerman province and their climates based on Extended De Martonne classification

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی استان کرمان و اقلیم آن‌ها در طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن گسترش یافته

Station	Latitude (N)	Longitude (E)	Elevation (m)	Climate classification
Anar	35° 53'	55° 15'	1408.8	Extra arid- Warm
Baft	29° 14'	56° 35'	2280.0	Semi-arid- Cold
Bam	29° 06'	58° 21'	1066.9	Extra arid- Warm
Kahnuj	27° 58'	57° 42'	469.7	Arid- Warm
Kerman	30° 15'	56° 58'	1753.8	Arid- Cold
Miandeh	28° 35'	57° 48'	639.0	Arid- Warm
Shahdad	30° 25'	57° 42'	482.0	Extra arid- Warm
Shahr Babak	30° 06'	55° 08'	1834.1	Arid- Warm
Sirjan	29° 28'	55° 41'	1739.4	Arid- Cold
Lalehzar	29° 31'	56° 50'	2860.6	Semi-arid- Cold
Golbaf	57° 43'	29° 51'	1665.0	Arid- Warm
Jiroft	57° 43'	28° 42'	722.0	Arid- Warm
Rafsanjan	56° 03'	30° 18'	1605.0	Extra arid- Warm
Zarand	56° 34'	30° 48'	1670.0	Extra arid- Warm

روش‌ها

شاخص شناسایی دوره‌های خشک

شاخص شناسایی دوره‌های خشک با استفاده از آمار بارندگی و تبخیرتعرق پتانسیل ماهانه و یا مجموع سالانه این دو پارامتر محاسبه می‌شود (Tsakiris and Vangelis, 2005). این شاخص به سه شکل مقدار اولیه، شاخص شناسایی نرمال و شاخص شناسایی استاندارد ارائه شده است. مقادیر آستانه شاخص RDI در جدول ۲ ارائه شده است. به منظور محاسبه آن، ابتدا با استفاده از معادله ۱ برای هر سال (i) از دوره آماری مورد مطالعه مقدار a_0 محاسبه می‌شود.

$$a_0^{(i)} = \frac{\sum_{j=1}^{j=N} P_{ij}}{\sum_{j=1}^{j=N} ETP_{ij}} \quad (1)$$

که در آن، P بارندگی و ETP تبخیرتعرق پتانسیل در ژامین ماه سال i می‌باشد و مقدار i از یک تا N (تعداد سال‌هایی که آمار در دسترس است) متغیر است. در ادامه باید RDI نرمال برای هر سال از معادله ۲ محاسبه گردد.

$$RDI_n^{(i)} = \frac{a_0^i}{\bar{a}_0} - 1 \quad (2)$$

که در آن \bar{a}_0 میانگین حسابی اعداد a_0 برای هر سال می‌باشد. جهت محاسبه شاخص استاندارد RDI از مقادیر سالانه a_0 لگاریتم گرفته که عددی با عنوان Y_i به دست می‌آید و نهایتاً شاخص استاندارد RDI در هر سال از معادله ۳ حاصل می‌گردد.

$$RDI_{st}^{(i)} = \frac{Y_k^{(i)} - \bar{Y}_k}{\bar{\sigma}_{yk}} \quad (3)$$

در این مطالعه جهت برآورد مقادیر شاخص RDI از بسته نرم‌افزاری DrinC V 1.5.73 استفاده شد.

Table 2- Classification of drought according to the RDI values (Tsakiris et al., 2007)

جدول ۲- طبقه‌بندی خشکسالی بر اساس مقادیر RDI

(Tsakiris et al., 2007)

RDI	Class
2 or more	Extremely wet
1.5 to 1.99	Very wet
1.0 to 1.49	Moderately wet
-0.99 to 0.99	Normal
-1.0 to -1.49	Moderately dry
-1.5 to -1.99	Severely dry
-2 and less	Extremely dry

شاخص متوسط نظرسنجی پیش‌بینی شده

امروزه در مطالعات زیست اقلیم‌شناسی شاخص‌های مرتبط با فیزیولوژی انسان که از معادله بیلان بدن انسان

مشتق شده‌اند دارای اهمیت بسزایی می‌باشند. شاخص‌های متعددی در این زمینه پیشنهاد شده که از این بین، متوسط نظرسنجی پیش‌بینی شده (PMV) به دلیل در نظر گرفتن جنبه‌های هواشناختی، انسانی و محیطی دارای اهمیت بالایی است. این شاخص جزء خروجی‌های مدل بیلان انرژی بدن انسان (MEMI)^۱ بوده و یکی از جامع‌ترین و پرکاربردترین شاخص‌ها جهت شرایط زیست هواشناختی و شناسایی منابع اقلیم گردشگری در محیط‌های باز از جمله گردشگری کشاورزی می‌باشد (Hoppe, 1999; Matzarakis, 2010). جهت برآورد شاخص PMV از معادلات ۴ تا ۸ استفاده می‌شود.

$$PMV = (0.303e^{-0.036M} + 0.028) (M-W) - H - E_C - C_{rec} - E_{rec} \quad (4)$$

$$E = 3.05 \times 10^{-3} (256T_{sk} - 3373 - P_a + E_{sw}) \quad (5)$$

$$E_C = 3.05 \times 10^{-3} 5733 - 6.99 \times (M-W) - P_a + 0.42(M-W - 58.15) \quad (6)$$

$$C_{rec} = 0.0014M(34 - T_a) \quad (7)$$

$$E_{rec} = 1.72 \times 10^{-6} M(5867 - P_a) \quad (8)$$

که در آن‌ها M نرخ سوخت و ساز بدن ($W m^{-2}$)، T_a دمای هوا ($^{\circ}C$)، T_{sk} دمای پوست ($^{\circ}C$)، P_a فشار بخار جزئی (pa)، C_{rec} و E_{rec} به ترتیب تبادل گرمای همرفتی و تبخیری تعرق ($W m^{-2}$)، E_{sw} تلفات گرمای تبخیری تعرق ($W m^{-2}$)، E_C تبادل گرمای تبخیری در سطح پوست موقعی که در حالت حرارت خنثی قرار دارد ($W m^{-2}$)، W نیروی مکانیکی موثر ($W m^{-2}$) و H تلفات گرمای خشک به صورت همرفت، هدایت و تابش ($W m^{-2}$) می‌باشد. روش کار به این گونه می‌باشد که پس از دریافت اطلاعات از سازمان هواشناسی و حصول اطمینان از صحت آماری، داده‌ها جهت یکسان‌سازی و انجام تحلیل‌های مورد نیاز وارد محیط اکسل شده و سپس داده‌های مورد نیاز به طور جداگانه وارد نرم‌افزار RayMan^۲ نموده و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. نتایج محاسبات و خروجی مدل منجر به تشکیل ماتریس ارزش عددی شاخص PMV گردید. برای محاسبه این شاخص، تهیه داده‌های هواشناسی نظیر دما، رطوبت نسبی و سرعت باد امکان‌پذیر بوده و برای محاسبه و به دست آوردن برخی پارامترها مانند متوسط دمای تابشی محیط (IMRT) به سادگی امکان‌پذیر نمی‌باشد و از آنجا که پارامتر مزبور بیش‌ترین تأثیر را در محاسبه شاخص فوق دارد، لذا برای محاسبه این پارامتر از

¹ Munich Energy Balance Model for Individuals

کل استان کرمان دارای شرایط ترسالی هستند که ایستگاه‌های بافت و لاله‌زار در این گروه قرار گرفتند.

Table 4- The equations of RDI and PMV based on elevation for each month

جدول ۴- معادله RDI و PMV حسب ارتفاع در هر ماه		
Month	RDI	r
Jan.	$RDI = 0.00007H - 0.0624$	0.50
Feb.	$RDI = -0.00001H - 0.0133$	0.07
Mar.	$RDI = 0.0001H - 0.2752$	0.42
Apr.	$RDI = 0.0003H - 0.8006$	0.75
May.	$RDI = 0.0004H - 1.1437$	0.68
Jun.	$RDI = 0.0003H - 2.0028$	0.26
Jul.	$RDI = 0.0004H - 1.8651$	0.43
Aug.	$RDI = -0.00077H - 1.4222$	0.04
Sep.	$RDI = -0.0002H - 1.9251$	0.09
Oct.	$RDI = -0.00001H - 1.0948$	0.02
Nov.	$RDI = 0.0003H - 0.8395$	0.72
Dec.	$RDI = 0.00007H - 0.1055$	0.23
Month	PMV	r
Jan.	$PMV = -0.0017H - 1.4113$	0.93
Feb.	$PMV = -0.0018H - 0.6161$	0.94
Mar.	$PMV = -0.0019H + 0.6683$	0.93
Apr.	$PMV = -0.002H + 2.3244$	0.94
May.	$PMV = -0.002H + 3.8007$	0.94
Jun.	$PMV = -0.0019H + 4.6833$	0.93
Jul.	$PMV = -0.0018H + 4.7986$	0.9
Aug.	$PMV = -0.0018H + 4.4499$	0.9
Sep.	$PMV = -0.0018H + 3.6951$	0.9
Oct.	$PMV = -0.0019H + 2.3846$	0.9
Nov.	$PMV = -0.0017H + 0.4518$	0.9
Dec.	$PMV = -0.0016H - 0.9537$	0.9

به طور کلی در این ماه، مناطق شمال غرب، غرب و جنوب غربی استان دارای شرایط نرمال و مناطق شمال شرق، شرق، جنوب و جنوب شرق دارای شرایط خشکسالی بسیار شدید هستند. در ماه ژوئیه ۴۳ درصد از مساحت استان شامل شهرستان‌های زرنده، رفسنجان، کرمان، شهداد، بم و میانه جیرفت دارای شرایط نسبتاً خشک، کمتر از یک درصد شامل ایستگاه‌های انار، شهرباک و جیرفت دارای شرایط نرمال، ۴۵ درصد شامل لاله‌زار، سیرجان، بافت و کهنوج دارای شرایط خیلی خشک و ۱۲ درصد از مساحت کل استان شامل ایستگاه گلباف شرایط بسیار خشک را تجربه کرده است. در ماه ژوئیه مساحت مناطق دارای شرایط نرمال و نسبتاً خشک کاهش یافته و مساحت مناطق دارای شرایط خیلی خشک و بسیار خشک به میزان ۵۵ و ۳۴ درصد افزایش می‌یابد. در این ماه، ایستگاه‌های بافت، لاله‌زار، گلباف و کرمان شدیدترین شرایط خشکسالی را تجربه کرده‌اند. در ماه اوت ۲۸ درصد از مساحت استان شامل ایستگاه‌های کرمان، گلباف، بافت، لاله‌زار، میانه و کهنوج خشکسالی

نرم‌افزار RayMan کمک گرفته شد تا ضریب دقت محاسبات افزایش یابد. مقادیر آستانه این شاخص در جدول ۳ ذکر شده است.

Table 3- Threshold values of PMV index (Matzarakis et al., 1999)

جدول ۳- مقادیر آستانه شاخص PMV (Matzarakis et al., 1999)

PMV	Class
more than 3	Very hot, great discomfort
2 to 3	Hot, very unacceptable
1 to 2	Warm, uncomfortable, unacceptable
0.5 to 1	Slightly warm, slightly unacceptable
-0.5 to 0.5	comfortable, acceptable
-1 to -0.5	Slightly cool, Slightly unacceptable
-2 to -1	Cool, unacceptable
3- to -2	Cold, very unacceptable
Less than -3	Very cold, great discomfort

نتایج و بحث

جدول ۴ معادلات گرادیان ارتفاعی شاخص‌های RDI و PMV را نشان می‌دهد. بر اساس ضریب همبستگی (r) گرادیان ارتفاعی RDI ماه‌های آوریل، مه و نوامبر در سطح اعتماد ۹۹ درصد معنی‌دار بودند و پهنه‌بندی آن‌ها بر اساس معادله گرادیان ارتفاعی شاخص RDI در محیط ArcMAP V. 10.5 انجام شد و برای سایر ماه‌ها از روش درون‌یابی IDW استفاده گردید. همچنین بر اساس ضریب همبستگی گرادیان ارتفاعی شاخص PMV در همه ماه‌ها معنی‌دار بوده و جهت ترسیم نقشه‌های هم‌مقدار PMV از روش گرادیان استفاده شد. پهنه‌های هم‌مقدار متعلق به شاخص‌های RDI و PMV به ترتیب در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است. تغییرات مقادیر شاخص RDI در منطقه مطالعاتی نشان می‌دهد که در نیمی از سال شامل ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، آوریل، نوامبر و دسامبر همه نقاط منطقه مطالعاتی از دیدگاه خشکسالی کشاورزی دارای شرایط نرمال است. در ماه مه ۴۱ درصد از مساحت استان در نواحی شرق، شمال شرق، جنوب و جنوب شرقی شامل شهداد، فهرج، ریگان، جیرفت، عنبرآباد، رودبار، کهنوج، فاریاب، قلعه‌گنج و منوجان با شرایط خشکسالی بسیار شدید مواجه هستند. شهرستان بم و نواحی جنوب غربی بافت (ارزوئیه و شاهماران) با در بر گرفتن ۶ درصد از مساحت کل استان دارای شرایط خیلی خشک هستند. ۳۹ درصد مساحت استان شامل زرنده، کرمان، رفسنجان، سیرجان، گلباف، بردسیر و شهرباک دارای شرایط نرمال هستند. در ماه مه ۸ درصد از مساحت

می‌رسد. در این ماه مساحت مناطق تحت تاثیر خشکسالی شدید ۵۴ درصد و مناطق نسبتاً خشک ۳۰ درصد بودند و مناطق دارای شرایط نرمال دارای مساحتی حدود ۱۲ درصد بودند. طبقات خشکسالی در ماه اکتبر محدود به سه دسته شدید با مساحت ۲۱ درصد، نسبتاً خشک با مساحت ۷۸ درصد و نرمال با مساحت ۱ درصد می‌شود.

بسیار شدید را تجربه کردند و ۴۰ درصد از مساحت استان خشکسالی شدید را تجربه کردند. نواح شمال و شمال غرب استان با مساحت‌های ۱۹ و ۱۳ شرایط نسبتاً خشک و نرمال را تجربه کردند. در ماه سپتامبر با نزدیک شدن به پایان فصل تابستان و خنک‌تر شدن هوا، مساحت مناطق تحت تاثیر خشکسالی شدید کاهش یافته و به ۴ درصد

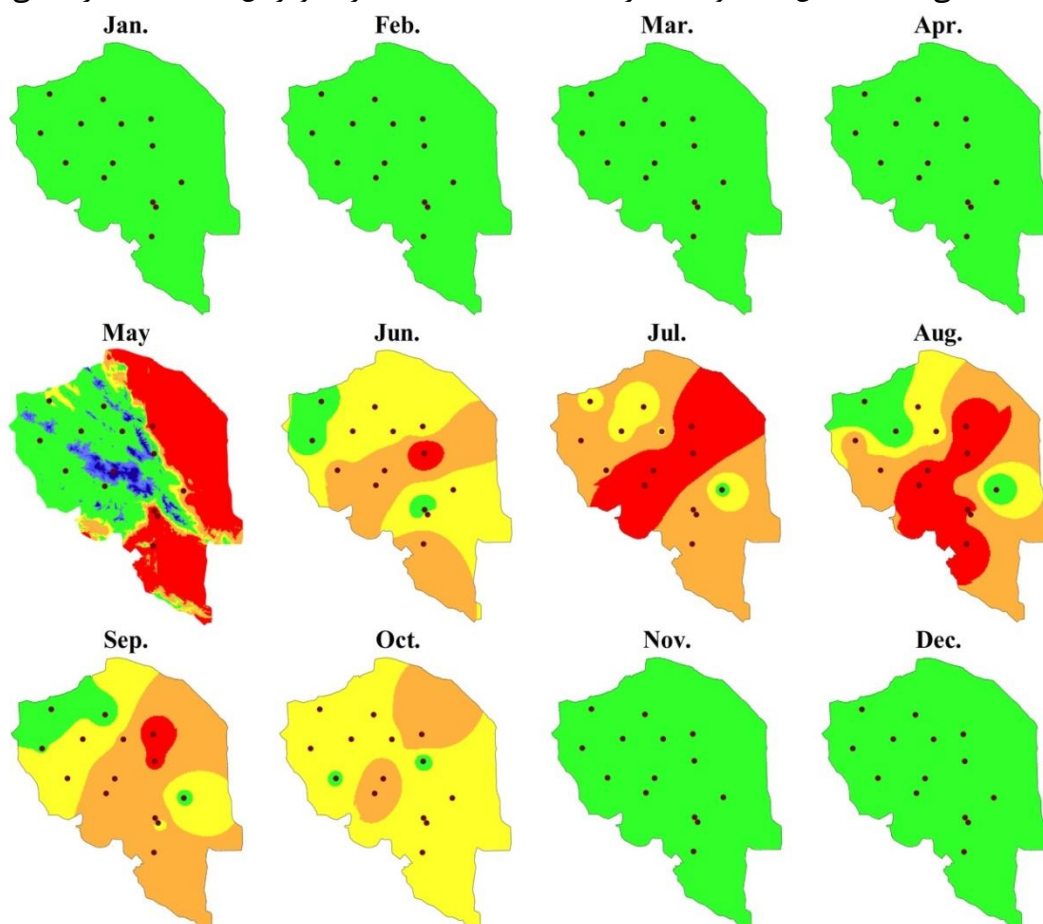


Figure 2- Spatial distribution of RDI index across the study area

شکل ۲- توزیع مکانی شاخص RDI در منطقه مطالعاتی

مقصد جهت فعالیت‌های آگریتوریسم در نظر گرفته می‌شود. هم‌زمان با پایان فصل زمستان و آغاز فصل بهار، در ماه مارس ۲۸/۲ درصد از مساحت استان شامل مناطق شمال شرق، شرق، جنوب شرق و جنوبی استان از نظر حساسیت گرمایی دارای شرایط راحت و بدون تنش سرما هستند. شرایط نرمال از نظر خشکسالی نیز این مناطق را، که ایستگاه‌های شهاداد و کهنوج را در بر می‌گیرد، به مقصد مناسبی جهت انجام فعالیت‌های آگریتوریسم تبدیل کرده است. ایستگاه‌های جیرفت و میانده دارای تنش سرمای اندک و هوای کمی خنک بوده و نیز ایستگاه‌های انار و بهم تنش سرمای متوسط و هوای خنک را تجربه می‌کنند.

پهنه‌های هم‌مقدار شاخص PMV در ماه‌های ژانویه و دسامبر و فوریه نشان‌دهنده تنش سرمای بسیار شدید در در کل استان هستند. به گونه‌ای که در ماه‌های ژانویه، فوریه و دسامبر به ترتیب ۵۸/۵، ۴۹/۷ و ۵۰/۷ درصد از مساحت کل استان، که اکثراً در نواحی شمال، شمال غرب، غرب و جنوب غرب استان واقع شده‌اند، دارای شرایط آب و هوایی خیلی سرد و تنش سرمایی بسیار شدید مواجه هستند. با توجه به این که در ماه‌های مذکور وضعیت آسایش اقلیمی در نواحی جنوب و شرق استان دارای تنش سرمای متوسط و آب و هوای خنک است و از دیدگاه خشکسالی کشاورزی دارای شرایط نرمال است و از طرفی هم‌زمانی با زمان برداشت محصول مرکبات، بهترین

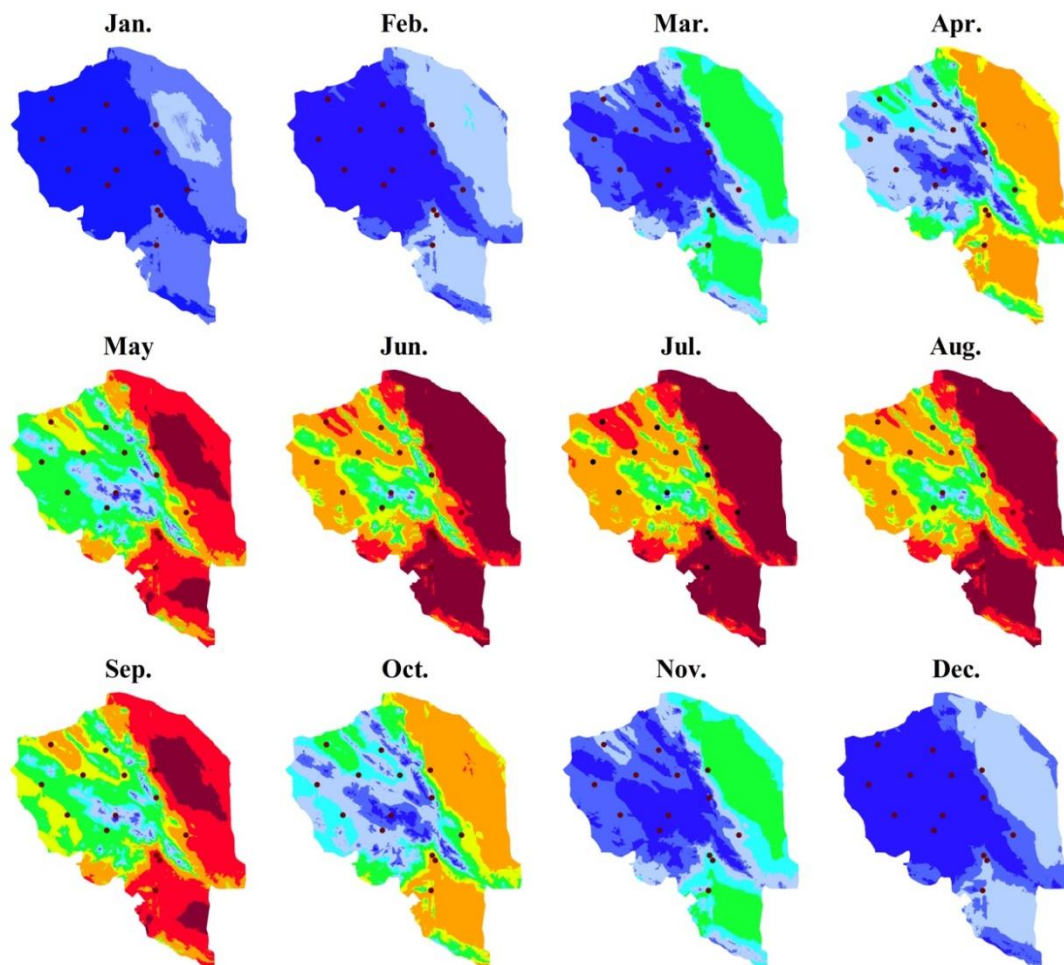


Figure 3- Spatial distribution of PMV index across the study area

شکل ۳- توزیع مکانی شاخص PMV در منطقه مطالعاتی

مساحت استان دارای شرایط راحت و مطلوب برای گردشگری در مناطق بازااست. ماه مه بهترین دوره زمانی برای فعالیتهای آگریتوریسم و استفاده از چشم‌اندازها و مناظر طبیعی است. همچنین منطقه شهرباک در این دوره زمانی دارای شرایط آب و هوایی مطلوب بوده و مناظر بی‌نظیر دشت ریواس یکی از قابلیت‌های این شهرستان برای جذب گردشگر می‌باشد. در ماه ژوئن شهرستان انار و نیز مناطق گرمسیری استان شامل ایستگاه‌های شهداد، بم، کهنوج، جیرفت و میانه که در نیمه شرق و جنوبی استان واقع شده‌اند تنش گرمایی شدید و بسیار شدید را تجربه کرده و با توجه به وضعیت خشکسالی کشاورزی در این منطقه، جهت فعالیتهای گردشگری کشاورزی توصیه نمی‌شوند. با توجه به برداشت گل محمدی و گلاب‌گیری در این زمان مناطق مرکزی استان شامل بردسیر، بافت، لاله‌زار، قریه‌العرب و راین بهترین مناطق جهت فعالیتهای آگریتوریسم به شمار

سایر ایستگاه‌های مورد مطالعه که اغلب مناطق شمالی، مرکزی و غربی استان را شامل می‌شوند تنش گرمایی شدید و بسیار شدید را تجربه کرده و جهت فعالیتهای آگریتوریسم مناسب نمی‌باشند. در ماه آوریل که هم‌زمان با اواخر ماه فروردین و اوایل ماه اردیبهشت است، مناطق شرقی استان شامل ایستگاه شهداد و نیز مناطق جنوبی استان شامل ایستگاه کهنوج تنش گرمایی اندک و هوای کمی گرم را تجربه می‌کنند. در این زمان سایر مناطق استان به جز ایستگاه‌های لاله‌زار و بافت شرایط آب و هوایی و تنش گرمایی مطلوب را دارا بوده و مقاصد مناسبی جهت فعالیتهای آگریتوریسم هستند. در ماه مه استان از دیدگاه شاخص PMV به ۹ منطقه تقسیم می‌شود؛ که به طور کلی مناطق شرقی و جنوبی با در برگرفتن ۶۰/۲ درصد از کل مساحت استان دارای تنش گرمایی و مناطق مرکزی با ۱۶/۱ درصد از مساحت کل استان با تنش سرما مواجه هستند و ۲۳/۷ درصد از کل

نظیر خشکسالی به طور مستقیم و غیر مستقیم بر آن تاثیر می‌گذارند. این مطالعه با هدف تعیین زمان و مقصدهای مناسب فعالیت آگریتوریسم از طریق کاربرد شاخص خشکسالی کشاورزی RDI و شاخص آسایش اقلیمی PMV اجرا گردید. به این منظور از داده‌های ایستگاه‌های همدیدی واقع در استان کرمان استفاده شد. پس از محاسبه مقادیر مربوط به شاخص‌ها، نقشه‌های ماهانه خشکسالی کشاورزی و آسایش اقلیمی ترسیم شدند. بر این اساس فصل‌های سرد سال از نظر خشکسالی دارای وضعیت نرمال بودند و با گرم شدن هوا و نزدیک شدن به فصل تابستان، با افزایش میزان تبخیرتعرق گیاه وضعیت خشکسالی کشاورزی از حالت نرمال فاصله گرفته و در ماه‌های ژوئن تا سپتامبر مساحت پهنه‌های تحت تاثیر خشکسالی افزایش می‌یابد. با این وجود تنوع اقلیمی استان کرمان موجب شده تا همچنان مقاصد گردشگری مناسب با آب و هوای مطلوب جهت استفاده گردشگران وجود داشته باشد. بر اساس نتایج حاصل از شاخص بیواقلمی PMV، بهترین مقاصد گردشگری کشاورزی در فصل زمستان مناطق شرق، جنوب شرق و جنوب استان کرمان است که با زمان برداشت محصولات مرکبات هم‌زمان می‌باشد. در فصل بهار و در ماه‌های فروردین و اردیبهشت نیز مناطق جنوب و شرق استان دارای شرایط مطلوب برای گردشگری کشاورزی هستند. اگرچه مناطق جنوبی استان کرمان به واسطه کشت‌های گلخانه‌ای همواره مقصدی مناسب جهت فعالیت‌های آگریتوریسم در نظر گرفته می‌شود. در اواخر فصل بهار مناطق سردسیر استان نظیر بافت، لاله‌زار و بردسیر با آب و هوای مطبوع و هم‌زمانی با برداشت گل‌های محمدی و گلاب‌گیری و نیز برداشت گیاهان دارویی مقصدی مطلوب و مناسب جهت فعالیت‌های گردشگری در مناطق باز می‌باشد. در فصل تابستان تنها مناطق گرمسیری استان شامل مناطق شرقی و جنوبی شرایط نامناسبی دارند و سایر مناطق استان قابلیت اجرای فعالیت‌های گردشگری کشاورزی را دارا می‌باشد. به طور کلی نتایج حاصل از این مطالعه گویای توانایی بالقوه استان کرمان در زمینه آگریتوریسم است و مدیریت و همکاری سرمایه‌گذاران و برنامه‌ریزان در زمینه گردشگری را می‌طلبد تا به واسطه ترویج گردشگری زمینه توسعه پایدار کشاورزی نیز فراهم شود.

می‌روند. این مناطق از نظر گیاهان دارویی نیز دارای اهمیت بسیاری می‌باشد و بومیان این مناطق در دوره زمانی مذکور علاوه بر برداشت گل‌های محمدی اقدام به جمع‌آوری گیاهان دارویی خودرو نیز نمی‌نمایند. همچنین این زمان مقارن با آغاز برداشت محصولات نوبرانه گیلاس و آلبالو بوده و شهرهای خوش آب و هوایی نظیر ماهان و جوپار و روستاهای اطراف آن‌ها جذابیت‌های فراوانی جهت فعالیت‌های آگریتوریسم دارند. در ماه‌های ژوئیه و اوت نیز برداشت محصولات تابستانه نظیر گلابی، هلو، آلو و سیب قوت گرفته و موجب ایجاد بستر مناسب برای فعالیت‌های آگریتوریسم است. این درحالی است که پهنه مناطق دارای شرایط مناسب از نظر آسایش اقلیمی در ماه اوت نسبت به ماه ژوئیه افزایش پیدا می‌کند. ماه‌های سپتامبر و اکتبر زمان‌های اوج فعالیت‌های آگریتوریسم در استان کرمان به حساب می‌آید؛ چراکه در پایان فصل تابستان در سراسر این استان کشاورزان مشغول برداشت محصول هستند و از طرفی خنک شدن هوا موجب بهبود وضعیت اقلیم آسایش و بهبود رضایتمندی گردشگران می‌شود. این دوره زمانی مقارن با برداشت محصول نخلستان‌های مناطق شرق و جنوب استان نظیر شهداد، گلباف، بم، جیرفت، منوجان، عنبرآباد و کهنوج است. هم‌زمان در مناطق شمالی و غربی استان نظیر زرنند، رفسنجان، انار، سیرجان، شهربابک کشاورزان به برداشت محصول باغات پسته مشغول هستند. همچنین در مناطق مرکزی و سردسیر استان شامل بافت، بردسیر و لاله‌زار محصول گردو برداشت می‌شود. در ماه نوامبر نیمه شرقی و جنوبی کشور دارای شرایط مطلوب برای فعالیت‌های گردشگری است و با توجه به هم‌زمانی با زمان برداشت گل‌های زعفران، مناطقی مثل شهرستان زرنند و کوهبنان برای فعالیت آگریتوریسم پیشنهاد می‌شوند. همچنین در این زمان کشاورزان مناطق چترود زرنند و شهربابک محصول باغات انار را برداشت می‌کنند و زمینه برای فعالیت گردشگری کشاورزی در این منطقه فراهم است.

نتیجه‌گیری

آگریتوریسم یکی از روش‌های نوین جذب گردشگر در مناطقی است که قابلیت کشاورزی دارند. از طرفی گردشگری و به طور خاص گردشگری کشاورزی مستقیماً تحت تاثیر شرایط اقلیمی بوده و وقوع پدیده‌های حدی

منابع

- Arvin, A. A., Shojaezadeh, K. 2015. Assessment of Climate Tourism in City Shiraz Using Physiologic Equivalence Temperature and Predicted Mean Vote Indexes. *Natural Geographic Journal*, 7(26): 97-98.
- Baaghdeh, M., Asgari, E., Shoja, F., Jamalabadi, J. 2014. Study and comparison of the function of RAYMAN model parameters in determining proper tourism calendar case study: Isfahan. *Geography and development*, 12(36): 135-144. (In Farsi)
- Bakhtiari, B., Bakhtiari, A., Afzali-Gorouh, Z. 2018. Investigation of climate change impacts on tourism climate comfort in Iran. *Global NEST Journal*, 20(2): 291-303.
- Bakhtiari, A. 2015. Application of physiological equivalent temperature index for determination of suitable regions for agritourism in Kerman province. *Journal of Agricultural Meteorology*, 3(2): 34-44. (In Farsi)
- De Freitas, C. R., Scott, D., Mc Boyle, G. 2008. A second generation climate index for tourism (CIT): Specification and verification. *International Journal of Biometeorology*, 52: 399-407.
- Hasheminasab, S., Ataei, H. 2012. Comparative Evaluation of Human Bioclimatic of Isfahan city using the Terjung methods, TCI, PET, PMV. *Urban regional studies and research*, 4(14): 63-82.
- Hoppe, P. 1999. The physiological equivalent temperature – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. *International Journal of Agricultural Meteorology*, 43: 71-75.
- Komasi, M., Malekmahmoudi, M., Montaseri, H. 2017. Drought forecasting by SPI and EDI indices using ANFIS method based on C-mean and SC clustering (Case study: Kohgiluyeh and Boyer Ahmad Province). *Journal of Agricultural Meteorology*, 5(1): 36-47. (In Farsi)
- Matzarakis, A. 2010. Assessing climate for tourism purposes: existing methods and tools for the thermal complex. *Proceeding of the International workshop on climate and tourism and recreation. International Society of Biometeorology*, 171-184.
- Matzarakis, A., Mayer, H., Iziomon, M. G. 1999. Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature. *International Journal of Biometeorology*, 43:76-84.
- Matzarakis, A., Alcoforado, M. J. 2007. Importance of thermal comfort and bioclimate for tourism. *Climate change and tourism*, 7-8sept., Freiburg.
- Oppermann, M. 1996. Rural tourism in southern Germany. *Annals of Tourism Research*, 23(1):86-102.
- Papoli Yazdi, M.H., Ebrahimi, M.A. 2001. theory in rural development, SAMT publication, University of Tehran, 328 pages. (In Farsi)
- Rahimi, J., Malekian, A., Khalili, A. 2013. Climate change impacts in Iran: assessing our current knowledge. *Theoretical and Applied Climatology*, 1-20.
- Scott, D., Mc Boyle, G., Schwartztrube, M. 2004. Climate change and the distribution of climatic resources for tourism in North America. Department of Geography, University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada.
- Tsakiris, G., Loukas, A., Pangalou, D., Vangelis, H., Tigkas, D., Rossi, G., Cancelliere, A. 2007. Drought characterization. *Options Mediterraneennes publication*, 58:85-102.
- Tsakiris, G., Vangelis, H. 2005. Establishing a drought index incorporating evapotranspiration. *European Water Publication*, 9/10:3-11.
- Vergni, L., Todisco, F. 2011. Spatio-temporal variability of precipitation, temperature and agricultural drought indices in Central Italy. *Agriculture and Forest Meteorology*, 151(1): 301-311.
- Zolfaghari, H. 2008. Determination of tourism calendar for Tabriz city using physiological equivalent temperature (PET) and Predicted Mean Vote (PMV) indices. *Physical Geography Research*, 39(62): 129-141.

یادداشت فنی

تأثیرات محتمل تغییر اقلیم بر مناطق مستعد کشت گندم در استان کردستان

حمیدرضا امیری^۱، حسن حبیبی^{۲*}، مسعود حقیقت^۳ و حامد عینی نرگسه^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۸/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۹/۲۶

چکیده

هدف از این مطالعه بررسی اثرات محتمل تغییر اقلیم بر مناطق مساعد کشت گندم در بخش‌هایی منتخب از استان کردستان با استفاده از مدل HadCM3 تحت سه سناریوی انتشار (A2 و A1B، B1) در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ می‌باشد. برای ریزمقیاس‌نمایی خروجی‌های این مدل، مولد داده LARS-WG مورد استفاده قرار گرفت. پهنه‌بندی مناطق مستعد کشت گندم در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی ArcGIS نسخه 9.3 انجام شد. نتایج نشان داد که در دوره پایه (۱۹۹۱-۲۰۱۰) پهنه‌های مناسب برای کشت گندم در غرب و شمال غرب استان (محدوده ایستگاه‌های بانه، مریوان و سقز) واقعند که حدود ۲۸/۶ درصد از مساحت استان را در بر می‌گیرند. نتایج پهنه‌بندی نشان داد که تحت سناریوهای A2 و A1B، B1 در آینده محدوده مناسب برای کشت گندم ۳۴/۴ درصد افزایش می‌یابد و حدود ۶۳ درصد مساحت استان را شامل خواهد شد. بین سناریوهای مورد بررسی (A2 و A1B، B1) اختلاف معنی‌داری در تغییر سطح مناطق مطلوب دیم‌کاری گندم مشاهده نشد.

واژه‌های کلیدی: گرمایش جهانی، پهنه‌بندی اقلیمی، مدل گردش عمومی، بارش فصلی، گندم

مقدمه

مناطق خشک و نیمه‌خشک واقع شده و با توجه به ساختارهای محیط زیستی خود نسبت به تغییرات محیطی آسیب‌پذیر است. لذا با توجه به اینکه پدیده تغییر اقلیم در حال وقوع است، می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر سیستم‌های تولید محصولات کشاورزی داشته باشد (Eyshi Rezaie and Bannayan, 2012). تا کنون در زمینه پهنه‌بندی مناطق مستعد کشت محصولات کشاورزی در داخل از کشور مطالعات متعددی انجام شده است. در یک پژوهش مناطق مستعد کشت زعفران به لحاظ میزان رطوبت نسبی و بارندگی در خراسان جنوبی بررسی شد (Kouzegaran et al., 2014). نتایج آن‌ها نشان داد که بیشتر مناطق استان در شرایط مناسب یا نیمه‌مناسب قرار دارند. آن‌ها بیان کردند که مناطق شمال و شمال شرقی استان دارای بهترین موقعیت از لحاظ بارندگی و رطوبت نسبی برای کشت زعفران می‌باشند و مناطق مرکزی نیمه مستعد و جنوب استان نامستعد هستند. (Bidadi et al., 2014) در یک مطالعه در حوزه قره‌سو مناطق مستعد کشت سویا را با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) پهنه‌بندی کردند. نتایج این

یکی از مهم‌ترین عواملی که بر عملکرد و تولید گیاهان زراعی تأثیر می‌گذارد، شناخت پارامترهای آب و هوایی از جمله دما و بارش (Eyshi Rezaie and Bannayan, 2012) است که این موضوع به خصوص در کشاورزی دیم از اهمیت بالایی برخوردار است (Sari Sarraf et al., 2009). یکی از تفاوت‌های عمده کشورهای توسعه یافته با سایر کشورها شناخت کامل از پارامترهای کنترل نشده مانند پارامترهای اقلیمی و بهره بردن از آن‌ها به نفع تولید و کشاورزی است. در حالی که همین پارامترهای اقلیمی به علت عدم شناخت کافی از آن‌ها همه‌ساله خسارت‌های بسیاری به کشاورزی وارد می‌نمایند (Soltani et al., 2006). کشور ایران در

^۱ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد کشاورزی اکولوژیک، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهد، تهران

^۲ استادیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهد، تهران

(*نویسنده مسئول: habibih2011@gmail.com)

DOI: 10.22125/agmj.2019.113745.

^۳ کارشناس ارشد هواشناسی کشاورزی، سازمان هواشناسی کشور، تهران

^۴ دانشجوی دکتری زراعت، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه

تربیت مدرس، تهران

محاسبه داده‌های پرت و گم شده از برنامه WeatherMan استفاده شد (Hoogenboom et al., 2003).

مدل گردش عمومی جو و سناریوهای انتشار

پس از آماده‌سازی داده‌های آب و هوایی، برای شبیه‌سازی اقلیم آینده مناطق مورد مطالعه از مدل گردش عمومی HadCM3 استفاده شد. به دلیل ماهانه بودن دما و بارش و بزرگ مقیاس بودن این مدل، و نیاز به داده‌های روزانه از تکنیک ریزمقیاس‌نمایی استفاده شد (Wilby and Wigley, 1997). یکی از کاربردی‌ترین برنامه‌هایی که در داخل و خارج از کشور برای ریزمقیاس‌نمایی از آن استفاده می‌شود (LARS-WG (Semenov and Barrow, 2002) است. به دلیل عدم قطعیت روند انتشار گازهای گلخانه‌ای از سناریوهای مختلف استفاده می‌شود (Agarwal, 1994). تحقیق حاضر تحت سه سناریوی انتشار (A1B, B1, A2) در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ به انجام رسید. شرح بیشتر سناریوهای مورد استفاده در منبع (Nakicenovic and Swart, 2000) ارائه شده است.

اعتبارسنجی مدل اقلیمی

پس از شبیه‌سازی اقلیم در مناطق مورد مطالعه، به منظور اطمینان از دقت شبیه‌سازی LARS-WG از شاخص جذر میانگین مربعات (nRMSE) استفاده شد (Wallach and Goffinet, 1987) که اختلاف نسبی بین مقادیر شبیه‌سازی و واقعی را نشان می‌دهد. در نهایت خروجی LARS-WG شامل تابش، بارش، دمای کمینه و بیشینه در مقیاس روزانه در هر ایستگاه هواشناسی برای پهنه‌بندی مناطق مستعد کشت در استان کردستان مورد استفاده قرار گرفتند.

پهنه‌بندی

به منظور پهنه‌بندی مناطق مستعد کشت گندم دیم مراحل حساس دوره رشد گندم شامل جوانه‌زنی، گلدهی و دوره پر شدن دانه تعیین شدند. نیازهای رویشی مطلوب برای کشت گندم دیم در مراحل حساس دوره رشد انتخاب شدند. سپس با توجه به نیاز رطوبتی سالانه گندم دیم و تفاوت‌های میزان بارش سالانه در قسمت‌های مختلف استان، کلاس‌های مختلف تعریف و برای هر کلاس بر اساس اهمیت مراحل رشد گندم دیم ارزش وزنی (Sys et al., 1993) در نظر گرفته شد و اطلاعات

بررسی نشان داد حدود ۹۳ درصد از مساحت اراضی زراعی حوزه قره‌سو و ۱۲ درصد از مساحت کل اراضی حوزه برای کشت سویا دارای تناسب بالایی بودند. نتایج یک بررسی دیگر نشان دادند که استان فارس را می‌توان از نظر قابلیت کشت گندم دیم به چهار ناحیه بسیار مناسب، مناسب، متوسط و نامناسب تقسیم‌بندی کرد (Fallah Ghalhari et al., 2015). در تحقیقی با استفاده از سه روش طبقه‌بندی فائو، پاپاداکیس و یونسکو نشان داده شد که استان کرمانشاه مطلوبیت قابل قبولی برای دیم‌کاری گندم دارد (Bazgeer et al., 2018). استان کردستان در بین سایر مناطق کشور بیشترین سطح زیر کشت گندم دیم را دارا بوده به طوری که حدود ۵۳۶ هزار هکتار از اراضی این استان به کشت گندم دیم تعلق دارد (Ministry of Agriculture Jihad, 2014). لذا در صورتی که بتوان با توجه به نیازهای دمایی و رطوبتی این محصول، مناطق مستعد کشت گندم دیم استان کردستان را در شرایط تغییر اقلیم آینده شناسایی کرد، در نهایت می‌توان امیدوار بود با توجه به پدیده تغییر اقلیم، با شناسایی مناطق مستعد کشت به عملکرد بیشتری دست یافت. با توجه به این که تاکنون تحقیقی در زمینه شناسایی مناطق مستعد کشت گندم دیم در استان کردستان به انجام نرسیده است، لذا این تحقیق به منظور پهنه‌بندی مناطق مستعد کشت گندم دیم استان کردستان در شرایط تغییر اقلیم به انجام خواهد رسید.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی

تحقیق حاضر در هفت منطقه بیجار، قروه، سنندج، زرینه، سقز، بانه و میوان در استان کردستان به منظور بررسی مناطق مستعد کشت گندم دیم در شرایط تغییر اقلیم انجام شد. در این مطالعه به منظور شبیه‌سازی اقلیم آینده استان کردستان تحت سناریوهای مختلف انتشار داده‌های بلندمدت آب‌وهوایی مورد نیاز شامل تابش ($MJ \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$)، بارش (mm) و دماهای کمینه و بیشینه ($^{\circ}C$) از سازمان هواشناسی کشور دریافت شدند. اما با توجه به این که در بسیاری از ایستگاه‌های هواشناسی مقدار تابش ثبت نمی‌شود، لذا با در اختیار داشتن تعداد ساعات آفتابی و با استفاده از رابطه آنگستروم (Prescott, 1940) مقدار تابش در مناطق مورد مطالعه به دست آمد. برای اصلاح و

Ghahroudi) و روش Thiessen استفاده شد (ArcMap9.3 (et al., 2015).

نتایج و بحث

ارزیابی مدل LARS-WG

نتایج نشان داد که مدل LARS-WG مقادیر تابش (۱/۸۶)، دمای کمینه (۴/۶) و بیشینه (۱/۴۵) را به خوبی شبیه‌سازی می‌کند اما در شبیه‌سازی بارش (۱۲/۹۶) در مقایسه با دیگر پارامترهای اقلیمی ضعیف‌تر عمل می‌کند. در مطالعات دیگر نیز نشان داده شده که دقت این مدل در شبیه‌سازی بارش در مقایسه با سایر پارامترها کمتر است (Deihimfard et al., 2016; Rahmani et al., 2016). البته لازم به ذکر است که با وجود اینکه دقت شبیه‌سازی بارش در این مدل کمتر از دیگر پارامترها است، اما در مطالعات مختلف داخل و خارج از کشور از این مدل به عنوان یک ریزمقیاس‌کننده کاربردی استفاده می‌شود (Semenov, 2009; Semenov and Stratonovitch, 2010; Gohari et al., 2013).

تحلیل داده‌های گندم دیم بر اساس مراحل حساس رشد در استان کردستان

به طور کلی نتایج نشان دادند که مقدار پارامترهای اقلیمی (بارش و دما) تحت شرایط تغییر اقلیم در بیشتر موارد نسبت به دوره پایه افزایش خواهند یافت (جدول ۱). بر اساس نتایج به دست آمده تنها در پارامترهای بارش دوره جوانه‌زنی (تحت همه سناریوهای مورد بررسی) و بارش دوره گلدهی (تحت سناریوهای A1B و A2) درصد تغییرات نسبت به گذشته منفی بود.

پهنه‌بندی مناطق مستعد کشت گندم دیم تحت شرایط تغییر اقلیم آینده

نتایج پهنه‌بندی مناطق مستعد کشت گندم دیم در شرایط تغییر اقلیم آینده نشان داد که تحت سناریوهای B1، A1B و A2 در آینده محدوده مناسب با ۳۴/۴ درصد رشد به ۱۷۷۵۵ کیلومترمربع (۶۳ درصد مساحت استان) افزایش می‌یابد و از محدوده متوسط و نامناسب کاسته خواهد شد به نحوی که منطقه متوسط به ایستگاه زرینه و منطقه نامناسب به ایستگاه بیجار محدود می‌شود (شکل ۱). لازم به ذکر است که در دوره پایه ۲۸/۶ درصد از

حاصل با استفاده از نرم‌افزار ArcMap به نقشه رقمی تبدیل شد. به منظور مکان‌یابی مناطق مستعد کشت گندم دیم و انطباق نیازمندی‌های اقلیمی گیاه زراعی با خصوصیات اراضی، بر اساس روش پارامتریک (عددی) عمل شد. در این روش یک درجه‌بندی در مقیاس ۱۰۰-۰ به سطوح محدودیت نسبت داده شد و با استفاده از معادله ۱ (روش استوری) شاخص نهایی اقلیمی به دست آمد (Storei, 1976).

$$CI = \frac{A}{100} \times \frac{B}{100} \times \dots \quad (1)$$

برای محاسبه شاخص اقلیم، پایین‌ترین درجه اختصاص داده شده در هر گروه انتخاب شد. اگر مقدار عددی شاخص اقلیم کمتر از ۲۵ باشد برای تبدیل این شاخص به درجه اقلیم از معادله ۲ استفاده می‌شود.

$$CR = 1.6 \times CI \quad (2)$$

چنانچه مقدار شاخص اقلیم بیشتر از ۲۵ باشد از معادله ۳ استفاده می‌شود.

$$CR = 16.6 + 0.9 \times CI \quad (3)$$

در این معادله‌ها CI و CR به ترتیب شاخص اقلیم و درجه اقلیم می‌باشند. شاخص‌ها با استفاده از درجات اختصاص داده شده به هر مشخصه اقلیم با روش عددی (روش استوری) محاسبه شد. سپس کم‌ترین شاخص به عنوان عامل اصلی محدود کننده در معادله‌های ۲ و ۳ قرار گرفت و شاخص اقلیمی هر ایستگاه تعیین شد. مبنای این درجه‌بندی بر اساس روش Sys et al., (1993) می‌باشد. سپس بر اساس پارامترهای درجه و کلاس اقلیمی لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز در محیط ArcMap تهیه شد که عبارت از توزیع بارش سالانه، بارش دوره رشد، بارش دوره جوانه‌زنی (آبان)، بارش دوره گل‌دهی (اردیبهشت)، بارش دوره دانه‌بندی (خرداد) و میانگین دماهای سالانه، دوره رشد، دوره جوانه‌زنی (آبان)، دوره گل‌دهی (اردیبهشت) و دوره دانه‌بندی (خرداد) بودند. بعد از تهیه این لایه‌ها، کار طبقه‌بندی و رتبه‌بندی هر لایه بر اساس روش عددی (روش استوری) و جدول نیازهای اقلیمی گندم دیم (Sys et al., 1993) در چهار طبقه بسیار مناسب (بسیار مستعد)، مناسب (مستعد)، متوسط و نامناسب (غیر مستعد) صورت گرفت (Mehraban et al., 2006). در این مطالعه برای تهیه نقشه‌های مناطق مستعد کشت گندم دیم و پهنه‌بندی آن در استان کردستان از نرم‌افزار

سطح استان کردستان در طبقه مناسب قرار داشت (۸۰۶۶ کیلومتر مربع از مساحت استان).

جدول ۱- تغییرات پارامترهای اقلیمی (درصد) برای مراحل حساس فصل رشد تحت شرایط تغییر اقلیم در استان کردستان

Table 1- Changes in climate parameters (%) for critical stages of growing season under climate change conditions in Kurdistan province

climate parameters	Baseline	Changes (%)		
		A2	A1B	B1
Annual rainfall (mm)	499.62	+1.9	+1.6	+6.6
Annual temperature (°C)	11.63	+6.6	+5.5	+6.1
Rainfall during growing season (mm)	227.25	+3.1	+3	+7.7
Temperature during growing season (°C)	13.22	+6.6	+5.6	+6.2
Rainfall during germination period (mm)	76.41	-5	-8.9	-1.2
Temperature during germination period (°C)	8.82	+9.8	+5.5	+6.4
Rainfall during flowering period (mm)	56.67	-4.7	-2.8	+1
Temperature during flowering period (°C)	13.38	+7.2	+6.8	+7.4
Rainfall during grain filling period (mm)	11.84	+18.1	+21	+26.2
Temperature during grain filling period (°C)	19.68	+4.5	+4.8	+4.7

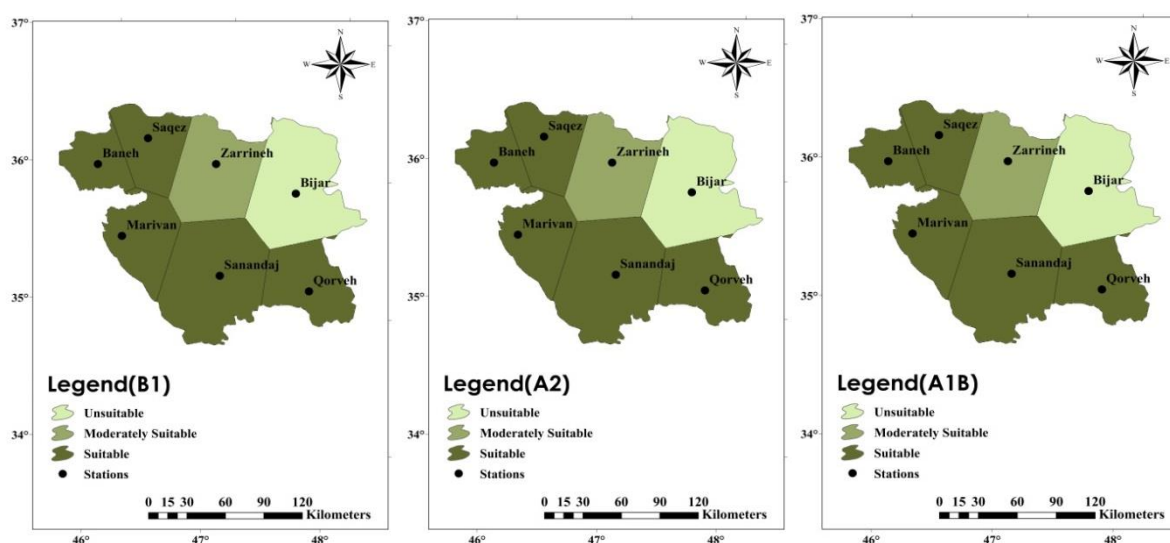


Figure 1- Zoning suitable regions for rain-fed wheat cultivation under different scenarios in Kurdistan Province

شکل ۱- پهنه‌بندی مناطق مستعد کشت گندم دیم تحت سناریوهای مختلف در استان کردستان

به ۶۰۱۳ کیلومتر مربع (۲۱/۳ درصد از مساحت استان) رسید (واقع در شرق استان کردستان در محدوده شهرستان بیجار). دلیل این امر نیز دماهای بحرانی در طول سال و مرحله جوانه‌زنی و بارش نامناسب در طول دوره رشد بود. لازم به ذکر است بین سناریوهای مورد بررسی (B1، A1B و A2) اختلافی مشاهده نشد. با توجه به اینکه تحقیق حاضر در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ انجام شده است، به نظر می‌رسد بررسی دوره‌های دورتر (تا انتهای قرن جاری) می‌تواند تاثیر تغییر اقلیم را بهتر و دقیق‌تر بررسی کند تا اختلاف بین سناریوها مشخص‌تر شود. در همین راستا نتایج پهنه‌بندی وقوع خشکسالی در استان فارس نشان داد که بین سناریوهای مورد بررسی (B1، A1B و A2) اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده نشد (Deihimfard et al., 2016).

به طور کلی نیمه غربی و جنوبی استان شامل مناطق سقز، بانه، مریوان، سنندج و قروه در طبقه مناسب برای کشت گندم دیم قرار خواهد گرفت. از دلایل مناسب بودن این محدوده می‌توان به دارا بودن بارش مناسب سالانه و بارش دوره جوانه‌زنی و گل‌دهی و فقدان دماهای خیلی پایین به ویژه در مرحله جوانه‌زنی و گل‌دهی، اشاره کرد. در شرایط تغییر اقلیم آینده از مساحت طبقه متوسط برای کشت گندم دیم کاسته شد و از ۱۰۸۳۴ کیلومتر مربع (۳۸/۴ درصد از مساحت استان کردستان) در دوره پایه به ۴۴۳۵ کیلومتر مربع (۱۵/۷ درصد از مساحت استان کردستان) از کل مساحت استان رسید (قسمت شمالی استان در ایستگاه زرینه) که از دلایل این امر می‌توان از بارش نسبتاً کافی در طول دوره رشد و گل‌دهی نام برد. در نهایت مساحت طبقه نامناسب از ۹۳۰۲ کیلومتر مربع (۳۳ درصد از مساحت استان) در دوره پایه

سالانه، ۱۰/۴۸ میلی‌متر افزایش بارندگی دوره رشد، ۹/۲۴ میلی‌متر بارندگی مرحله گل‌دهی و ۲/۵۷ میلی‌متری بارندگی مرحله دانه‌بندی، مناطق مستعد کشت گندم دیم در آینده افزایش می‌یابد (از ۲۸/۶ به ۶۳ درصد کل مساحت استان). این در حالی بود که از مناطق نامناسب کشت گندم دیم در شرایط تغییر اقلیم در مقایسه با دوره پایه کاسته شد (از ۳۳ درصد به ۲۱/۳ درصد مساحت استان کاهش یافت).

منابع

- Aggarwal, P. K. 1994. Simulating the effect of climatic factors, genotype and management on productivity of wheat in India. Agricultural Research Institute, PP. 1-11.
- Bazgeer, S., Momenpour, S. E., Mohammadi, H. 2018. Comparative study of three agroclimatic classification methods for determination of suitable regions of rainfed wheat cultivation. *Journal of Agricultural Meteorology*, 6(1): 50-61. (In Farsi)
- Bidadi, M. J., Kamkar, B., Abdi, O. 2014. Suitable areas zoning of soybean cropping in Qaresoo basin by geographical information systems (GIS). *Electronic Journal of Crop Production*, 7(2): 175-187. (In Farsi)
- Deihimfard, R., Eyni-Nargeseh, H., Haghghat, M. 2016. Zoning of drought incident in Fars province under climate change conditions using standardized precipitation index. *Journal of Agroecology*, 7(4): 528-546. (In Farsi)
- Eyshi Rezaie, E., Bannayan, M. 2012. Rainfed wheat yields under climate change in northeastern Iran. *Meteorological Applications*, 19: 346-354.
- Fallah Ghalhari, Gh., Asadi, M., Dadashi Roudbari, A. 2015. Determination of suitable regions for wheat cultivation in Fars province. *Journal of Agricultural Meteorology*, 3(2): 68-73. (In Farsi)
- Ghahroudi Tali, M., Babaei Fini, O., Ataei, H. 2015. Introduction to Geographic Information Systems. Payam Noor University, 234 pages.
- Gohari, A., Eslamian, S., Abedi-Koupaei, J., Massah Bavani, A., Wang, D., Madani, K. 2013. Climate change impacts on crop production in Iran's Zayandeh-Rud River Basin. *Science of Total Environment*, 44: 405-419.
- هدف از این تحقیق، بررسی و تعیین مناطق مستعد کشت گندم دیم تحت شرایط تغییر اقلیم در استان کردستان بود. بر اساس یافته‌های این پژوهش LARS-WG به خوبی تابش و دماهای کمینه و بیشینه را در آینده شبیه‌سازی کرد اما در شبیه‌سازی بارش ضعیف عمل کرد. در مجموع با توجه به افزایش ۰/۷ درجه سانتی‌گراد میانگین دمای استان و ۱۶/۸۹ میلی‌متر افزایش بارندگی
- Hoogenboom, G., Jones, J. W., Porter, C. H., Wilkens, P. W., Boote, K. J., Batchelor, W. D., Hunt, L. A., Tsuji, G. Y. (Editors). 2003. Decision Support System for Agrotechnology Transfer Version 4.0. Vol. 1: Overview. University of Hawaii, Honolulu, HI.
- Kouzegaran, S., Mousavi Baygi, M., Sanaeinejad, H., Behdani, M. A. 2014. Identification relevant areas for saffron cultivation according to precipitation and relative humidity in South Khorasan using GIS. *Journal of Saffron Research*, 1(2): 85-96. (In Farsi)
- Mehraban, A., Ghafari, A., Ghanbari Banjar, A., Jalali, N. 2005. Climatic zoning for rainfed wheat in Moghan and Ardabil townships. *Journal of Agriculture Science*, 15 (4): 1-13. (In Farsi)
- Ministry of Agriculture Jihad. 2014. Agricultural statistics, 2013-2014, volume 1. Available at: <http://www.maj.ir/Portal/Home/>.
- Nakicenovic, N., Swart, R. 2000. Emissions scenarios Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge.
- Prescott, J. A. 1940. Evaporation from a water surface in relation to solar radiation. *Transactions of the Royal Society of South Australia*, 64: 114-118.
- Rahmani, M., Jami Al-Ahmadi, M., Shahidi, A., Hadizadeh Azghandi, M. 2016. Effects of climate change on length of growth stages and water requirement of wheat (*Triticum aestivum* L.) and barley (*Hordeum vulgare* L.) (Case study: Birjand plain). *Journal of Agroecology*, 7(4): 443-460. (In Farsi)
- Sari Sarraf, B., Bazgir, S., Mohammadi, Gh. H. 2009. Zoning the climatic potentials of dry-farming wheat cultivation in the west Azarbaijan (Iran). *Geography and Development Iranian Journal*, 7(13): 5-26. (In Farsi)

- Semenov, M. A. 2009. Impacts of climate change on wheat in England and Wales. Royal Society, 6: 343-350.
- Semenov, M. A., Barrow, E. M. 2002. LARS-WG: A Stochastic Weather Generator for Use in Climate Impact Studies, Version 3.0, User's Manual.
- Semenov, M. A., Stratonovitch, P. 2010. Use of multi-model ensembles from global climate models for assessment of climate change impacts. *Climate Research*, 41: 1-14.
- Soltani, A., Robertson, M. J., Mohammad-Nejad, Y., Rahemi-Karizaki, A. 2006. Modeling chickpea growth and development: leaf production and senescence. *Field Crops Research*, 99: 14-23.
- Storie, R. E. 1976. Storie Index Soil Rating. Special publication Div. Journal of Agricultural Science. No. 3203, University of California, Berkeley.
- Sys, C., Van Ranst, E., Debaveye, I. J., Beernaert, F. 1993. Land evaluation. Part III: Crop Requirements. General Administration for Development Cooperation, Agricultural Publication-No. 7, Brussels-Belgium. 199 pages.
- Wallach, D., Goffinet, B. 1987. Mean squared error of prediction in models for studying economic and agricultural systems. *Biometrics*, 43: 561-576.
- Wilby, R. L., Wigley, T. M. L. 1997. Downscaling general circulation model output: A review of methods and limitations. *Progress in Physical Geography*, 21: 530-548.



Drought vulnerability mapping using AHP and Fuzzy Logic in Iran

S. Nasabpour¹, E. Haydari Alamdarloo², H. Khosravi^{3*}, A. Vesali⁴

Received: 30/08/2016

Accepted: 31/10/2017

Abstract

In this study, Analytic Hierarchy Process method was used to assess drought vulnerability in different regions of Iran, using five indices including climate, topography, drainage density, land use and groundwater resources. After determining the weight of each index and sub-index, the fuzzy membership maps were calculated using Fuzzy logic functions in ArcGIS software. Then, by use of omega fuzzy operator ($\gamma=0.9$) the maps over laps were drawn and classified. Drought vulnerability map of Iran showed that central, Eastern, Southern, North East and South East regions are mainly located in two vulnerability classes of very low and very high. Also, Zagros and Alborz mountains region classified as highly vulnerable. Most areas in north and northwest of the country as well as northern coastal region are located in medium to very low vulnerable classes. Lake Urmia region is mostly occupied by high and medium vulnerability classes.

Keywords: AHP, Drought vulnerability, Iran, Risk management



¹ Ph. D. Student of Desert Management and Control, Faculty of Natural resources, University of Tehran, karaj, Iran

² Ph. D. Student of Combating Desertification, Faculty of Natural resources, University of Tehran, karaj, Iran

³ Assistant Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran

(*Corresponding Author's Email Address: hakhosravi@ut.ac.ir)

DOI: 10.22125/agmj.2019.113607.

⁴ Ph. D. Student of Combating Desertification, Faculty of Natural Resources, Kashan University

Application of Atmosphere-Land Surface Interaction System (ALSIS) scheme in simulating the streamflow with emphasis on the spatial heterogeneity of land surface in sub-grid scale (Case study: Karkheh river basin)

S. Hejabi¹, J. Bazrafshan^{2*}, P. Irannejad³, S. Araghinejad², S. Ghader³

Received: 01/01/2017

Accepted: 08/07/2017

Abstract

This study evaluates the application of Atmosphere-Land Surface Interaction System (ALSIS) scheme in simulating the streamflow in Karkheh river basin. The Climate Forecast System Reanalysis (CFSR) data for the period 1982-2011 are used as atmospheric forcing data and sub-grid scale heterogeneity of the land-surface is represented by soil-vegetation mosaics. The cascade of linear reservoirs model is used for modelling the base flow and a routing model, linked to the land surface scheme, is used for modelling river discharge. The comparison of simulated and observed streamflow in six hydrometric stations over Karkheh basin reveals the model ability in simulating the monthly streamflow. Moreover, the model has a good ability in simulating the monthly regime of water balance components, spatial distribution of long-term average of components and their relationships.

Keywords: Atmosphere-Land Surface Interaction System, Karkheh basin, Spatial heterogeneity of land surface, Streamflow



¹ Ph. D. Student of Agrometeorology, Department of Irrigation and Reclamation, University of Tehran

² Associate Professor, Department of Irrigation and Reclamation, University of Tehran

(*Corresponding Author Email Address: jbazr@ut.ac.ir)

DOI: 10.22125/agmj.2019.113711.

³ Associate Professor, Department of Space Physics, University of Tehran



Integrating seasonal forecasting using K- nearest neighbor (k-NN) method and CERES-wheat model for management of rainfed wheat cultivation

S. B. Andarzian^{1*}, I. Babaeian², S. B. Andarzian³

Received: 25/01/2018

Accepted: 02/02/2019

Abstract

Seasonal weather forecast for the upcoming season may serve as a usefool tool for making management decisions which may decrease the production costs and associated risks. In this study attempts haven been made to combine a seasonal weather forecast approach based on k-NN nearest neighbor and dynamic simulation model CERES-Wheat model as a decision support system of farm management practices (planting date and nitrogen applicatin level) for rainfed wheat (variety Dehdasht) using the data of a field experiment at Izeh research station, Khuzastan province, Iran during 2015-2016 growing season. The results showed that the k-NN approach and CERES-Wheat model have an acceptable performance in seasonal weather forecast and crop growth simulation, respectively. By combining k-NN and CERES-Wheat models, the appropriate sowing time of the selected variety in Izeh region was determined to be between November 5 and early December. The recommended amount of applied nitrogen fertilizer in dry and rainy seasons are 50 and 150 kg ha⁻¹, respectively. The proposed combined approach can be used as a suitable decision support system of rainfed crops in other climatic regions.

Keywords: Crop models, Dry-land Farming, Global warming, Seasonal forecasting, Wheat



¹ Assistant Professor, Seed and Plant Improvement Department, Research and Education Center of Agricultural and Natural Resources of Khuzestan, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Ahvaz, Iran

(*Corresponding Author's Email Address: bahramandarzian@yahoo.com)

DOI: 10.22125/agmj.2019.128547.1011

² Assistant Professor, Climatological Research Institute, Mashhad, Iran

³ M. Sc. student of Cyber Security, Isfahan University, Isfahan, Iran



Determination of evapotranspiration and crop coefficient of wheat, in Tabriz plain using lysimeter and comparing with FAO-56 approach

A. Onnabi Milani^{*1}, Sh. Mousavimanesh²

Received: 27/01/2018

Accepted: 29/01/2019

Abstract

A lysimetric study was conducted to determine the evapotranspiration (ET_c) and crop coefficient (K_c) of wheat (*Triticum aestivum* L., cultivar Alvand) during growing season in Tabriz plain, northwest of Iran. The obtained values were compared to estimations made by FAO-56 Penman-Monteith equation. Wheat evapotranspiration was measured in ten days interval using a drained lysimeter. Results indicated that seasonal ET_c of wheat is 732 mm, from which an average of 132 mm was supplied by precipitation and the remaining (i.e. 600 mm) by irrigation. Highest and lowest amount of ET_c was observed in 2nd decade of June and 2nd decade of December, respectively. The average amount of measured ET_c was in good agreement ($R^2=0.92$, NRMSE=0.11) with the estimated value by FAO-56 approach (721 mm). Similarly, the mean measured grass reference evapotranspiration value for the entire wheat growing season was 715 mm, which was statistically consistent with the estimated value (743 mm) obtained by FAO Penman-Monteith method ($R^2=0.98$, NRMSE=0.08). K_c for the initial stage, mid- and late season were 0.54, 1.22 and 0.39, respectively. The K_c values were also in close agreement with those estimated using modified empirical equation of FAO56-PM. in climatic condition of study region.

Keywords: Soil water balance, Penman-Monteith, Reference evapotranspiration, Wheat



¹ Assistant Professor, Soil and Water Research Department, East Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Tabriz, Iran

(*Corresponding Author's Email Address: a_o_milani@yahoo.com)

DOI: 10.22125/agmj.2019.171004.1057

² B. Sc., Soil and Water Research Department, East Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Tabriz, Iran

Comparative study of geo-statistical and multivariate models for air temperature interpolation in central and northern regions of Iran

Z. Aghashariatmadari¹, M. Etehadi², Kh. Ghorbani³

Received: 10/03/2018

Accepted: 10/02/2019

Abstract

Air temperature is one of the major variables required for agroclimatic classifications. For spatial zoning of temperature point observations, the interpolation approaches in which the horizontal and vertical gradients are included may be applied. In this research, the skill of Kriging, Co-Kriging, geographically weighted regression and Linear Multivariate Regression was evaluated for the interpolation of the monthly mean temperature values using the data of 56 synoptic stations located in the northern and central regions of Iran. The results of the statistical analysis indicated that the geographically weighted regression have the greatest difference with the other methods in month of December, with root mean square error (RMSE) equal to 0.83 °C, Based on the RMSE values of all months, the geographically regression method (with RMSE of 1.26°C) is the most suitable approach for temperature spatial zoning in this region. and then linear multiple regression method with RMSE of 2.24 °C, Kriging with RMSE of 2.52 °C and Cokriging with highest RMSE of 2.86 °C were ranked second to fourth, respectively. Besides, it is concluded that for high altitude areas where almost no weather station exist, the geographically weighted regression method provided the most accurate interpolated data of the air temperature.

Keywords: Geographically weighted regression, Local interpolation, Multivariable regression, Temperature



¹ Assistant professor, Irrigation and Reclamation Engineering Department, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

(*Corresponding Author Email Address: zagha@ut.ac.ir)

DOI: 10.22125/agmj.2019.148887.1034

² Graduated student of agrometeorology, Irrigation and Reclamation Engineering Department, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

³ Associate Professor of Agrometeorology, Department of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources



Climatic comfort and agricultural drought indices application in determination of agritourism destinations in Kerman province

A. Bakhtiari^{1*}

Received: 11/05/2017

Accepted: 22/09/2018

Abstract

The drought has direct and indirect impacts on agritourism in all seasons. The purpose of this study is determination of agricultural tourism destinations affected by drought. To this end, existing data of fourteen meteorological stations in Kerman province from their establishment till 2017 were collected. Predicted Mean Vote (PMV) and Reconnaissance Drought Indices (RDI) were used to investigate climatic comfort and drought condition using DrinC Ver. 1.5.73 and RayMan, respectively. In order to prepare the drought and climatic comfort maps, the elevation gradient between two indices were investigated. The spatial distribution of two indices was prepared using digital elevation model (DEM) in ArcGIS v 10.5 for the month in which the gradient was significant. The results showed that all of the study stations had a normal condition from the viewpoint of agricultural drought in the cold seasons. The eastern and southern part of the province experienced severe drought in the warm seasons. Moreover, the results of PMV index showed that the eastern and southern part of the province had a suitable condition for agritourism activities in the cold seasons, while the central, northern and western parts are suitable in the warm seasons.

Keywords: Agritourism, Drought, Predicted mean vote index, Tourism comfort



¹ Instructor, Department of Tourism and Hospitality Management, Faculty of Tourism, Higher Education Complex of Bam, Bam, Iran

(*Corresponding Author Email Address: bakhtiari@bam.ac.ir)

DOI: 10.22125/agmj.2019.176734.1059



Technical Note

Possible effects of climate change on suitable rain-fed wheat cultivation regions in Kurdistan province

H. Amiri¹, H. Habibi^{2*}, M. Haghghat³, H. Eyni-Nargeseh⁴

Received: 06/11/2017

Accepted: 17/12/2018

Abstract

This study was aimed to investigate the possible effects of climate change on rain-fed wheat cultivation regions in Kurdistan province, Iran, using HadCM3 model outputs under three climate change scenarios (B1, A1B and A2) during 2011-2030 period. The statistical weather generator model, LARS-WG was used to downscale climate variables. The agroclimatic zoning of suitable regions was performed utilizing ArcGIS 9.3 program. In the baseline period (1991-2010), suitable regions for rain-fed wheat cultivation were mainly located in west and northwestern regions of Kurdistan Province namely, Baneh, Marivan and Saqez stations which cover about 28.6 % of the total province area. Results of agroclimatic zoning during the future period showed that suitable regions area will increase by 34.4 % (63 % of the total area) under B1, A1B and A2 scenarios. No significant difference was observed between three climate change scenarios.

Keywords: Global warming, Climatic zoning, Global circulation model, Seasonal rainfall, Wheat



¹ M. Sc. Graduate in Agroecology, Department of Agronomy, faculty of Agronomy, Shahed University, Tehran, Iran

² Assistant Professor, Department of Agronomy, faculty of Agronomy, Shahed University, Tehran, Iran
(*Corresponding Author's Email Address: habibih2011@gmail.com)

DOI: 10.22125/agmj.2019.113745.

³ M. Sc. in Agricultural Meteorology, Iran Meteorological Organization, Tehran, Iran

⁴ Ph. D. Candidate, Department of Agronomy, faculty of Agronomy, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

بسمه تعالی

راهنمای تهیه مقاله

نشریه هواشناسی کشاورزی نشریه علمی- پژوهشی انجمن مهندسی آبیاری و آب ایران است که دو شماره در سال منتشر می‌شود. مقاله‌های پژوهشی در زمینه‌های رابطه گیاه و محیط، کمی‌سازی تأثیر پدیده‌های زیان‌بخش بر کشاورزی، مدل‌سازی و پیش‌بینی‌های هواشناسی کشاورزی، جفت‌سازی مدل‌های جوی- اقیانوسی و مدل‌های زراعی، ارتباط آفات و بیماری‌های گیاهی و دامی با عوامل هواشناسی، کاربرد ابزارها و تکنیک‌های نوین در اندازه‌گیری‌های میدانی هواشناسی کشاورزی، هواشناسی کشاورزی محصولات خاص، برهمکنش گیاه و فرایندهای هیدرومتئورولوژیک، مدیریت ریسک در هواشناسی کشاورزی، هواشناسی کشاورزی و امنیت غذایی، اقلیم‌شناسی کشاورزی، اثر تغییر اقلیم بر فرآیندهای فنولوژیک و تولیدات دامی و گیاهی، کاربرد 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 نگارش

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 ستونه 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://agrimet.ir>) ارسال شود. چکیده در یک ستون و بقیه مقاله در دو ستون نگارش گردند. متن اصلی مقالات باید با فونت (B Nazanin 12) و فاصله سطور یک سانتی‌متر و کلیه عبارات انگلیسی با قلم (Times New Roman 10) به صورت غیر ایتالیک تایپ شوند. 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.

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 B Nazanin 14 Bold).

نگارنده(گان)

نام و نام خانوادگی نگارندگان در پایین عنوان مقاله ذکر شود و پس از آن مرتبه علمی، محل اشتغال، آدرس ایمیل نگارنده(گان) آورده شود (با فونت B Nazanin 11 Bold).

*** 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 (کلمات فارسی با فونت (B Nazanin 12) و کلمات انگلیسی با فونت (Times New Roman 10)).

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 (کلمات فارسی با فونت B Nazanin 12 و کلمات انگلیسی با فونت Times New Roman 10).

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

درب‌گیرنده 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

کلید منابع مورد استفاده اعم از فارسی و انگلیسی در پایان مقاله به زبان انگلیسی برگردانده و به ترتیب حروف الفبای نام خانوادگی اولین نگارنده مرتب می‌شوند. در انتهای منابع فارسی عبارت (In Farsi) قید می‌شود. در برگردان منابع فارسی نام منابع و نام نویسندگان باید از خود مجلات اخذ شود و به صورت ترجمه دلخواه انجام نشود. در ارجاع به منابع باید تا جای ممکن از نام بردن افراد در شروع جمله خودداری و منابع در انتهای جمله و در پرانتز ارائه شوند مانند (Keller, 1982). برای جداسازی منابع در انتهای جمله از نقطه ویرگول ";" استفاده می‌شود مانند (Keller, 1982; Hargreaves and Samani, 1982; Ghamghami et al., 2017).

چنانچه منبعی در شروع جمله استناد شود به صورت نام (سال) انجام می‌گیرد و اسامی فارسی نیز باید به لاتین و سال شمسی به میلادی برگردان شوند.

نحوه ارجاع مقاله‌ها نام خانوادگی نگارنده (گان)، حرف اول نام آن‌ها، سال انتشار مقاله، عنوان مقاله، عنوان 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). شماره ردیف برای منابع نیاز نمی‌باشد.

Ghamghami, M., Ghahreman, N., Irannejad, P., Pezeshk, H. 2017. Assessment of Bayesian structure of hidden Markov model for real time prediction of maize phenology. *Journal of Agricultural Meteorology*, 5(1): 1-14. (In Farsi)

He, B., Wu, J., Lu, A., Cui, X., Zhou, L., Liu, M., Zhao, L. 2013. Quantitative assessment and spatial characteristic analysis of agricultural drought risk in China. *Natural Hazards*, 66(2):155-166.

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.

عنوان انگلیسی

عنوان مقاله به زبان انگلیسی، باید متناظر با عنوان فارسی باشد و پس از آن مرتبه علمی، محل اشتغال، آدرس ایمیل نگارنده (گان) تمامی به لاتین آورده شود (با فونت Times New Roman 10).

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 به انگلیسی و فارسی (با فونت B nazanin 10 Bold به صورت وسط‌چین به فارسی و Times New Roman 9 Bold به انگلیسی) 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 و عبارات داخل جدول حتماً انگلیسی و با فونت Times New Roman 9 Bold 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. ضروری است فرمت جداول انگلیسی باشد به گونه‌ای که مطالب جدول از چپ به راست خوانده شود. واحدهای فیزیکی استفاده شده در سیستم متریک (SI) باشند.

Table 1- Mean hourly meteorological variables in studied station

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

Time (hr)	6	9
Temperature (°C)	12.5	15.1
Relative Humidity (%)	35	33
Wind Speed (m s ⁻¹)	1.2	0.3

شکل‌ها

شکل‌ها لازم است با کیفیت بالا و زیرنویس به انگلیسی و فارسی (با فونت B nazanin 10 Bold به صورت وسط‌چین به فارسی و Times New Roman 9 Bold به انگلیسی) ارائه شوند. اعداد و عبارات داخل شکل‌ها حتماً انگلیسی و با فونت Times New Roman 9 Bold باشد. 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. نقشه‌ها باید دارای فرمت استاندارد (جهت شمال، مختصات، راهنمای نقشه و مقیاس) باشند.

معادله‌ها

معادله‌ها باید به ترتیب با اعداد فارسی داخل پرانتز در انتهای سمت راست متن شماره‌گذاری شده و اشاره به آن‌ها با ذکر فقط واژه معادله (نه رابطه و فرمول) در متن با آوردن شماره آن معادله داخل کمانک ضروری است. کلیه متغیرها و پارامترها در متن تعریف شده باشند. کلیه معادلات و پارامترهای آن‌ها باید به صورت فرمول تایپ شوند و غیرایتالیک باشند و مشابه متغیرهای ارائه شده در معادلات باشند. اندازه قلم برای کلیه روابط و متغیرهای ریاضی ۱۰ است.

***** تذکر مهم:**

نویسندگان موظف به رعایت کلیه موارد مندرج در این دستورالعمل در هنگام ارسال بوده و در صورت عدم رعایت نکات فوق مرحله داورى به تعویق افتاده و مقاله جهت تصحیح عودت داده خواهد شد. همچنین نویسندگان موظف به 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 ۲۲۵۱۱۹۷۲۷ 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.

** در صورت تغییر آدرس مراتب را اعلام فرمائید. امضاء:

In The Name of God

Contents

Drought vulnerability mapping using AHP and Fuzzy Logic in Iran S. Nasabpour, E. Haydari Alamdarloo, H. Khosravi, A. Vesali	3
Application of Atmosphere-Land Surface Interaction System (ALSIS) scheme in simulating the streamflow with emphasis on the spatial heterogeneity of land surface in sub-grid scale (Case study: Karkheh river basin) S. Hejabi, J. Bazrafshan, P. Irannejad, S. Araghinejad, S. Ghader	13
Integrating seasonal forecasting using K- nearest neighbor (k-NN) method and CERES-wheat model for management of rainfed wheat cultivation S. B. Andarzian, I. Babaeian, S. B. Andarzian	30
Determination of evapotranspiration and crop coefficient of wheat, in Tabriz plain using lysimeter and comparing with FAO-56 approach A. Onnabi Milani, Sh. Mousavimanesh	44
Comparative study of geo-statistical and multivariate models for air temperature interpolation in central and northern regions of Iran Z. Aghashariatmadari, M. Ettehad, Kh. Ghorbani	58
Climatic comfort and agricultural drought indices application in determination of agritourism destinations in Kerman province A. Bakhtiari	71
Technical Note: Possible effects of climate change on suitable rain-fed wheat cultivation regions in Kurdistan province H. Amiri, H. Habibi, M. Haghighat, H. Eyni-Nargeseh	80

Reviewer and Associate Editors of This Issue

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. B. Farrokhzadeh	University of Malayer
Dr. B. Ghahraman	Ferdowsi University of Mashhad
Dr. N. Ghahreman	University of Tehran
Dr. A. Khalili	University of Tehran
Dr. Y. Khoskhoo	University of Kurdistan
Dr. A. Liaghat	University of Tehran
Dr. H. Nouri	University of Tehran
Dr. K. Qaderi	Shahid Bahonar University of Kerman
Dr. M. Raeini Sarjaz	Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
Dr. N. Sayari	Shahid Bahonar University of Kerman

In the Name of God

JOURNAL OF AGRUCULTURAL METEOROLOGY

Research and Scientific Journal

Vol. 6 No. 2 Autumn and Winter, 2019

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.	Asso., 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, Science 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, Science and Research Branch, Tehran	Raeini, M.	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 and 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. : +983433257190

E-mail: Agromet_journal@yahoo.com Website: <http://agrimet.ir>

