

به نام خدا

نشریه هواشناسی کشاورزی

جلد ۵، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۶

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

دانشگاه شهید باهنر کرمان

سر دبیر:

علی خلیلی

دانشگاه تهران

مدیر داخلی:

نودر قهرمان

دانشگاه تهران

اعضای هیأت تحریریه:

ایران نژاد، پرویز

دانشیار (دانشگاه تهران)

خانجانی، محمد

استاد (دانشگاه شهید باهنر کرمان)

جواد

بارانی، غلامعباس

استاد (دانشگاه شهید باهنر کرمان)

خلیلی، علی

استاد (دانشگاه تهران)

بختیاری، بهرام

استادیار (دانشگاه شهید باهنر کرمان)

رائینی، محمود

دانشیار (دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری)

بلوری زاده، محمداقا

استاد (دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته کرمان)

قهرمان، نودر

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 نودر قهرمان

ویراستاران فنی: دکتر بهرام بختیاری، دکتر نودر قهرمان

طرح روی جلد:

معین گنجعلیخانی

صفحه آرای: زهرا افضلی گروه

مسئول دبیرخانه 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://agmj.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 شهید باهنر کرمان	دکتر بهرام بختیاری
دانشگاه تهران	دکتر جواد بذرافشان
دانشگاه شهید مدنی آذربایجان	دکتر لاله پرویز
دانشگاه تهران	دکتر حسن خسروی
دانشگاه شهید بهشتی	دکتر شهریار خالدی
دانشگاه تهران	دکتر علی خلیلی
دانشگاه سمنان	دکتر محمد رحیمی
دانشگاه شهید باهنر کرمان	دکتر نسرين سياري
مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی	دکتر فریبرز عباسی
دانشگاه تهران	دکتر شهاب عراقی نژاد
دانشگاه فردوسی مشهد	دکتر علیرضا فریدحسینی
دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان	دکتر خلیل قربانی
دانشگاه فردوسی مشهد	دکتر بیژن قهرمان
دانشگاه تهران	دکتر نوذر قهرمان
دانشگاه شهید باهنر کرمان	دکتر سودابه گلستانی
دانشگاه گیلان	دکتر مریم نوابیان



فهرست مقالات

سخن نخست

- ۱ مهارت‌سنجی ساختار بیزی مدل مارکف پنهان در برآورد بی درنگ مراحل فنولوژی گیاه ذرت
مهدی قمقامی، نوذر قهرمان، پرویز ایران‌نژاد، حمید پزشک
- ۱۲ بررسی تأثیرات خشکسالی‌های هواشناسی بر عملکرد دو محصول گندم و جو دیم (مطالعه موردی: استان خراسان رضوی)
مصطفی آراسته، سید حسن کابلی، محمد یزدانی
- ۲۲ شبیه‌سازی استوکاستیکی بارش روزانه چندایستگاهی در شمال شرق ایران: تأثیر ناپایداری زمانی
بیژن قهرمان، احسان امینی
- ۳۲ پیش‌بینی خشکسالی با نمایه‌های SPI و EDI به روش مدل‌سازی ANFIS بر مبنای خوشه‌بندی C-Mean و SC (مطالعه موردی: استان کهگیلویه و بویراحمد)
مهدی کماسی، مهدی ملک‌محمودی، حسین منتصری
- ۴۴ اثر عمق غرقابی بر دمای آب و خاک در شالیزار (مطالعه موردی: رشت)
ابراهیم اسعدی اسکویی، محمد موسوی بایگی، محمدرضا یزدانی، امین علیزاده، محمد جواد زهد قدسی
- ۵۵ بررسی روند تغییرات نیازهای سرمایی و طول مراحل فنولوژیک درخت سیب (مطالعه موردی: منطقه کرج)
غلامعباس فلاح قالهری، حمزه احمدی

سخن نخست

سازمان هواشناسی جهانی به روال هر ساله، شعاری را برای سال پیش رو (۲۰۱۸) تعیین کرده است که به آن وسیله، اهمیت برخی جنبه‌های فراموش شده و یا نوظهور در گرایش‌های مختلف علوم هواشناسی را بار دیگر خاطر نشان کرده و اجماعی جهانی پیرامون آن با بحث و تبادل فراهم سازد. برگردان شعار برگزیده امسال "آمادگی در مقابل پدیده‌های هواشناسی و رویکرد اقلیم هوشمند"^۱ است.

گسترش فناوری‌های نوین سنجش، داده‌برداری و داده‌گواری پدیده‌های اقلیمی بشر را به شناخت هر چه دقیق‌تر جو پیرامونش مدد رسانده است. با این وجود، همچنان زیست‌بوم‌های طبیعی و فعالیت‌های بشر چون طفلی خردسال و آسیب‌پذیر در مواجهه به انواع مخاطرات و دگرگونی‌های جوی هستند. کسب آمادگی و سازگاری با اقلیم موجود و در حال تغییر مستلزم نوعی هوشمندسازی در کنش با طبیعت است. بشر باید قابلیت‌های فناورانه خود را به کار گیرد تا از اقلیم، خاک و سایر عوامل پیرامونش شناخت بی‌درنگ^۲، دقیق و کاربردی کسب کند.

بر این اساس هواشناسی کشاورزی در سال‌های اخیر به مؤلفه‌ای کلیدی در رهیافت نوپدید کشاورزی هوشمند اقلیم‌محور^۳ روی آورده است که در طی آن راهبردهای کشاورزی با هدف تأمین پایدار امنیت غذایی تحت شرایط تغییر اقلیم بازتعریف می‌شوند. جای بسی خوشوقتی است که در کنار گسترش سریع فناوری‌های هوشمند در مدیریت آب در مزرعه، داده‌برداری‌های هواشناسی کشاورزی و انتقال داده‌ها به صورت بی‌درنگ به کاربران نهایی در سطح جهان، کشاورزان و بهره‌برداران منابع آب در ایران نیز به این نهضت علمی جهانی توجه کرده‌اند. نمونه‌های موفق هرچند آغازینی از این طرح‌های هوشمند پایش محیط در چند استان کشور در حال اجراست و زمینه نشر یافته‌های موفق این تجارب محلی نیز فراهم شده است.^۴

نشریه هواشناسی کشاورزی از انتشار دستاوردهای نتایج کاربرد رویکردهای هوشمند در ایران و طرح تنگناها و موفقیت‌هایی که در این زمینه وجود داشته و یا حاصل شده است استقبال می‌کند.

هیأت تحریریه

^۱ Weather-Ready, Climate-smart!

^۲ Real Time

^۳ Climate Smart Agriculture

^۴ www.agrometeorology.org (Response Farming)

مهارت‌سنجی ساختار بیزی مدل مارکف پنهان در برآورد بی درنگ مراحل فنولوژی گیاه ذرت

مهدی ققمقامی^۱، نوذر قهرمان^{۲*}، پرویز ایران‌نژاد^۳، حمید پزیشک^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۳/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۵/۱۵

چکیده

مدل‌سازی درصد پیشرفت مراحل فنولوژی گیاهان با روش‌های کلاسیک عمدتاً با محدودیت‌هایی به ویژه، عدم کفایت یا دقت داده‌های مشاهداتی مورد نیاز مواجه است که جستجوی روش‌های جایگزین را ضروری می‌سازد. روش‌های آماری نظیر رهیافت‌های بیزی (Bayesian) و مدل مارکف پنهان دارای توانمندی‌های ساختاری مناسبی در حل مسائلی با طیف گسترده از داده‌های گسسته، پیوسته، شناخته شده و یا ناشناخته می‌باشند که قابل تلفیق با داده‌های سنجش از دور نیز هستند. هدف از تحقیق حاضر بررسی توانمندی مدل مارکف پنهان در برآورد بی‌درنگ^۵ درصد پیشرفت مراحل فنولوژی گیاه ذرت در مزرعه پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران واقع در کرج می‌باشد. حالت‌های مختلف متشکل از مراحل فنولوژی شامل ۷ مرحله اصلی (سبز شدن تا شیری شدن) به عنوان لایه پنهان و بردار مشخصه‌های درجه-روز رشد تجمعی (AGDD) و نمایه اختلاف استاندارد شده پوشش گیاهی (NDVI) مستخرج از تصاویر ماهواره Landsat7 ETM+ به عنوان لایه قابل رویت در نظر گرفته شدند. واسنجی و صحت‌سنجی مدل بر اساس داده‌های دیدبانی شده در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران طی دوره آماری ۲۰۱۰-۲۰۰۲ انجام شد. بر اساس نتایج، میانگین دقت مدل مارکف پنهان بر اساس RMSE حدود ۱۴٪ است که نشانگر امکان کاربست آن به عنوان یک ابزار کمکی در کنار مشاهدات مزرعه‌ای است. مطالعات تکمیلی جهت تدقیق مدل‌های فنولوژیک مبتنی بر روش‌های آماری-دورسنجی در سایر مناطق اقلیمی و گیاهان راهبردی پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: درصد پیشرفت، فنولوژی، NDVI، AGDD

مقدمه

متولی اندازه‌گیری میدانی این کمیت مهم هستند. روش اندازه‌گیری به این صورت است که تعدادی کرت به صورت تصادفی انتخاب می‌شوند و در هر کرت وضعیت فنولوژی ۱۰ بوته بررسی می‌شود. در نهایت درصد پیشرفت هر مرحله فنولوژی با متوسط‌گیری روی کرت‌های مختلف (با احتساب زمان آغاز و پایان مرحله) محاسبه می‌شود. با وجود دقت قابل توجه، اندازه‌گیری‌های میدانی، مشکلات مختلفی نیز دارند (توکیلگلو^۷، ۲۰۰۷؛ شن و همکاران^۸، ۲۰۱۳؛ گائو و همکاران^۹، ۲۰۱۷)، (۱) عموماً این اطلاعات به صورت منظم ثبت نمی‌شوند (همواره خلأهای آماری ناشی از عدم امکان داده‌برداری به علل مختلف نظیر انجام آبیاری یا شیوه‌های مدیریت مزرعه، وجود دارد؛ (۲) روش‌های بررسی میدانی عموماً مبتنی بر فنون نمونه‌گیری و مکان ویژه هستند و تعمیم آن به کل مزرعه با گستره‌های وسیع به علت تغییرات مکانی خصوصیات فنولوژیک، از دقت

درصد پیشرفت هر گیاه^۶ در یک مرحله معین فنولوژی، نشانگر وضعیت رویش و میزان تکمیل آن مرحله از چرخه زندگی گیاه است. به عنوان مثال، هنگامی که درصد پیشرفت مرحله «شیری شدن» گیاه ذرت در تاریخ معینی ۳۳ درصد باشد، به این معنی است که ۳۳ درصد گیاهان کرت‌های مورد دیدبانی در آن تاریخ، وارد مرحله فنولوژیکی شیری شدن شده‌اند. این کمیت، نقش تعیین‌کننده‌ای در مدیریت زراعی و آگاهی از وضعیت عمومی رشد در مزارع دارد. در ایران، ایستگاه‌های تحقیقاتی هواشناسی کشاورزی

^۱ دانشجوی دکتری هواشناسی کشاورزی، دانشکده مهندسی فناوری،

دانشگاه تهران، کرج، ایران

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

(*نویسنده مسئول: nghahreman@ut.ac.ir)

^۳ دانشیار گروه فیزیک فضا، مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران

^۴ استاد، گروه علوم ریاضی و آمار، دانشگاه تهران

^۵ Real time

^۶ Crop Progress Percentage

^۷ Toukiloglou

^۸ Shen et al.

^۹ Gao et al.

در مورد فنولوژی، با توجه به اینکه گیاه طی فرآیند رشد فیزیولوژیکی از یک مرحله وارد مرحله جدید شده و مرحله قبلی تکرار نمی‌شود، احتمال می‌رود که مدل همگن عملکرد مناسبی نداشته باشد. به عنوان مثال، در شروع چرخه زندگی، ذرت در اولین مرحله نمودی (مثلاً سبز شدن) است. بنابراین احتمال انتقال از مرحله فعلی به خودش بیشتر و به مرحله بعدی کمتر است. با گذر زمان این شرایط عکس می‌شود یعنی انتقال به مرحله بعدی از ماندن در مرحله فعلی محتمل‌تر است تا جایی که احتمال انتقال از مرحله فعلی به خود صفر می‌شود. این زمان می‌تواند به عنوان زمان انتقال مرحله فنولوژیکی در نظر گرفته شود. بر این اساس مدل مارکف پنهان استفاده شده برای پیش‌بینی فنولوژی باید یک مدل ناهمگن یا نایستا^۶ با زمان باشد. برای اولین بار ویوی و همکاران^۷ (۱۹۹۲) از الگوریتم مارکف پنهان در مدل‌سازی پویای فنولوژی گیاهی استفاده کردند. روش آن‌ها مبتنی بر تحلیل سری زمانی داده‌های سنجش از دور نمایه NDVI^۸ بوده است. نتایج آن‌ها حکایت از کارکرد مناسب رهیافت در شبیه‌سازی تاریخ سه مرحله خاک بدون پوشش، رشد رویشی و بلوغ (تکمیل مرحله زایشی) داشته است. بر این اساس، اردال و همکاران^۹ (۲۰۰۵) ایده طبقه‌بندی پوشش گیاهی را با داده‌های سنجش از دور و الگوریتم مارکف پنهان پیگیری کردند. در روش آن‌ها که روی هر پیکسل اجرا می‌شود، به تعداد تیپ‌های پوشش گیاهی موجود در منطقه، مدل دو لایه مارکف پنهان شکل می‌گیرد. طبق الگوریتم پیشرو، آن پیکسل به تیپ متناظر با مدل دارای بیشترین احتمال تعلق می‌گیرد. روش مارکف پنهان در طبقه‌بندی تیپ‌های جنگلی در نروژ جنوبی دارای عملکرد بهتری (۶۲/۴٪) نسبت به روش نظارت‌شده حداکثر درست‌نمایی (۵۶/۳٪) است. لیت و همکاران (۲۰۱۱) با بهبود روش‌های حل مسائل موجود در الگوریتم مارکف پنهان، روشی جدید برای طبقه‌بندی پوشش گیاهی مبتنی بر فنولوژی گیاهی در برزیل ارائه دادند. در این روش انتشار هر مشاهده (نمایه رادیومتریک نظیر NDVI) از هر حالت از توزیع گسن تبعیت می‌کند. بر این اساس احتمالات انتقال و انتشار طی نیمرخ زمانی تصاویر نایستا

کافی برخوردار نیست؛ ۳) دقت چنین روش‌هایی به عوامل غیرمحیطی مانند مهارت داده‌بردار، نوع و کیفیت تجهیزات مورد استفاده، انتخاب مناسب مکان‌های نمونه‌گیری و نوع روش برون‌یابی بستگی دارد؛ ۴) در گستره‌های وسیع، بررسی میدانی مستلزم بکارگیری تعداد زیادی داده‌بردار است که زمان‌بر، مستلزم هزینه زیاد و متضمن خطاهای ناشی از تفاوت مهارت‌های فردی است و ۵) به علت محدودیت‌های موجود در این نوع روش‌ها، برخی مناطق فاقد اطلاعات کافی و قابل اعتماد هستند. پیش‌بینی غیرمیدانی پوشش گیاهی عبارت است از توسعه و کاربست سامانه‌های برآورد بی‌درنگ جهت پیش‌آگاهی ویژگی‌های نمو نظیر درصد پیشرفت فنولوژیکی گیاه. البته برخی از این سامانه‌ها مانند مدل‌های رشد زراعی، دارای همان محدودیت‌های روش‌های میدانی مانند مکان‌ویژه^۱ بودن هستند. به علاوه، این روش‌ها درصد پیشروی را بیان نمی‌کنند بلکه صرفاً حالت فنولوژی را نشان می‌دهند. رهیافت‌های مبتنی بر استنباط بیزی^۲ در تحلیل پویای توالی داده‌ها بسیار سودمند هستند. برخلاف روش‌های کلاسیک که در آن‌ها صرفاً همبستگی بین داده‌های ورودی و خروجی و یا میزان برازیدگی یک مدل خاص معیار مدل‌سازی است، روش‌های مبتنی بر رهیافت بیزی به ارزیابی احتمالات و به خصوص احتمالات شرطی می‌پردازند. یکی از مدل‌های مبتنی بر رهیافت بیزی، مدل مارکف پنهان^۳ می‌باشد که ساختار متداول آن دارای یک لایه پنهان و یک لایه قابل رویت است. در کاربست پیش‌بینی فنولوژی گیاهی، لایه پنهان عبارت است از توالی زمانی حالت‌های مختلف فنولوژی شامل فازهای سبزشدن، سه برگی‌شدن و غیره و لایه قابل‌رویت نیز شامل توالی زمانی داده‌های سنجش از دور و داده‌های هواشناسی و یا متغیر وابسته به عوامل هواشناسی نظیر درجه-روز رشد می‌باشد. با توجه به پیوستگی اطلاعات در لایه قابل رویت، به جای ماتریس احتمالات انتشار، از توزیع‌های آماری شرطی مانند توزیع گسن استفاده می‌شود (لیت و همکاران^۴، ۲۰۱۱). ماتریس احتمال انتقال می‌تواند با زمان ثابت و یا متغیر باشد که در این صورت مدل به ترتیب همگن یا ناهمگن^۵ می‌شود.

^۶ Non-stationary

^۷ Viovy et al.

^۸ Normalized Difference Vegetation Index

^۹ Aurdal et al.

^۱ Site-specific

^۲ Bayesian Inference

^۳ Hidden Markov Model (HMM)

^۴ Leite et al.

^۵ Homogeneous or Non-homogeneous

درصد است. در این مزرعه گندم با ذرت به صورت تناوبی کشت می‌شوند و عموماً ماه‌های تیر و مرداد زمان‌های کاشت ذرت و ماه‌های مهر و آبان زمان‌های برداشت آن هستند. مساحت مزرعه بیش از ۲۰ هکتار بوده و ذرت رقم K704 در آن کشت می‌شود. در تحقیق حاضر از گروه داده‌هایی به شرح ذیل استفاده شد:

- توالی زمانی رخدادهای فنولوژی گیاه ذرت به همراه درصد پیشرفت هر مرحله که در قالب داده‌های دیدبانی فنولوژی توسط بخش تحقیقات اداره کل هواشناسی البرز در دوره ۹ ساله (۲۰۱۰-۲۰۰۲) ثبت شده است. این توالی شامل زمان کاشت و برداشت و درصد پیشرفت ۸ مرحله جوانه‌زنی، سبز شدن، سه برگی، برگ‌دهی، ظهور گل آذین، گل‌دهی و شیرگی شدن می‌باشد که هر دو روز یک بار ثبت شده‌اند. این اطلاعات دارای خلأهای آماری به علل عملیات زراعی یا کمبود پرسنل در زمان‌های مقرر دیدبانی هستند که برای رفع این خلأها و تکمیل مجموعه اطلاعات، اقدام به درون‌یابی با روش‌های خطی و غیرخطی شد. در شکل ۱، درصد پیشرفت مراحل مختلف فنولوژی مربوط به سال ۲۰۰۲ با استفاده از داده‌های دریافتی از اداره کل هواشناسی استان البرز ارائه شده است. تاریخ متناظر تقاطع نقطه‌چین افقی با خط منحنی درصد پیشرفت هر مرحله فنولوژی به عنوان تاریخ شروع آن مرحله در نظر گرفته می‌شود. مرحله جوانه‌زنی به دلیل کوتاه بودن و عدم دسترسی به اطلاعات کافی از مراحل کنار گذاشته شد و طول فصل رشد از ابتدای سبز شدن تا انتهای شیرگی شدن در نظر گرفته شد.

- تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه سنجنده لندست ۷ (ETM+) پوشش مزرعه مورد مطالعه که قابل دریافت از سایت <http://reverb.echo.nasa.gov> به صورت رایگان هستند. با توجه به قرارگیری مزرعه در محل هم‌پوشانی دو تصویر با مشخصه‌های #LE7164035 و #LE7165035، تعداد تصاویر موجود افزایش یافت. باندهای مورد استفاده از تصاویر باندهای ۳ و ۴ هستند که برای استخراج نمایه پوشش گیاهی استفاده شده‌اند. توالی زمانی تصاویر سنجنده منظم نبوده و از این‌رو، تعداد تصاویر در سال‌های مختلف متفاوت بوده است. کمترین تعداد تصاویر معادل ۸ تصویر در سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۰۳ و بیشترین تعداد معادل ۲۳ تصویر در سال ۲۰۰۵ است.

است. روش ارائه شده توسط این محققین در طبقه‌بندی پوشش گیاهی قادر به تخمین ۹۳٪ تیپ‌های گیاهی بوده است. شن و همکاران (۲۰۱۳) از رهیافت منابع چندگانه^۱ برای برآورد بی‌درنگ درصد پیشرفت مراحل فنولوژی ذرت در سطح سه ایالت آمریکا استفاده کردند. بردار سه آرایه‌ای این مشخصه‌ها به عنوان لایه قابل رویت و درصد استاندارد شده پیشرفت فنولوژیکی ذرت به عنوان لایه پنهان در نظر گرفته شد. روش آن‌ها برخلاف رهیافت پیشنهادی ویوی و همکاران (۱۹۹۲) که به صورت پیکسل به پیکسل به برآورد فنولوژی می‌پردازد، به صورت کلی و بر اساس میانگین طیفی و دو مشخصه دیگر اجرا شده است و حسب نتایج از انعطاف‌پذیری و دقت بیشتری برخوردار است. گائو و همکاران (۲۰۱۷) مطالعه‌ای موردی در یک مزرعه ذرت با هدف بررسی ارتباط بین معیارهای فنولوژی مستخرج از داده‌های چندزمانه سنجنده اسپکترورادئومتر تصویربردار با قدرت تفکیک متوسط یا MODIS^۲ و درصد پیشرفت انجام دادند. نتایج نشان‌گر یک ارتباط قوی بین نقاط عطف منحنی NDVI و داده‌های پیشرفت مرحله فنولوژی گزارش شده توسط سرویس ملی تامین آماره‌های کشاورزی یا NASS^۳ است. یافته‌های مطالعه تایید کرد که فنولوژی و فیزیولوژی گیاه در مقیاس مزرعه قابل پایش توسط تصاویر ماهواره‌ای (تفکیک مکانی ۳۰ متر) است. در تحقیق حاضر از ساختار بی‌زی مدل مارکف پنهان برای مدل‌سازی درصد پیشرفت فنولوژی ذرت در مقیاس مزرعه استفاده شد. دو مشخصه یکی مبتنی بر تصاویر سنجنش از دور و دیگری داده‌های هواشناسی به عنوان لایه قابل رویت بکار گرفته شده‌اند. هدف اصلی در این پژوهش، بررسی میزان مهارت مدل مارکف پنهان در برآورد بی‌درنگ فنولوژی ذرت است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه، مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران در کرج با طول و عرض جغرافیایی به ترتیب ۵۰ درجه و ۵۶ دقیقه و ۵۸ ثانیه شرقی و ۳۵ درجه و ۴۸ دقیقه و ۱۹ ثانیه شمالی و ارتفاع ۱۳۲۰ متر از سطح دریا است. متوسط درازمدت بارندگی ثبت شده در آن ۲۵۰/۱ میلی‌متر با ضریب تغییرات ۱/۲۴

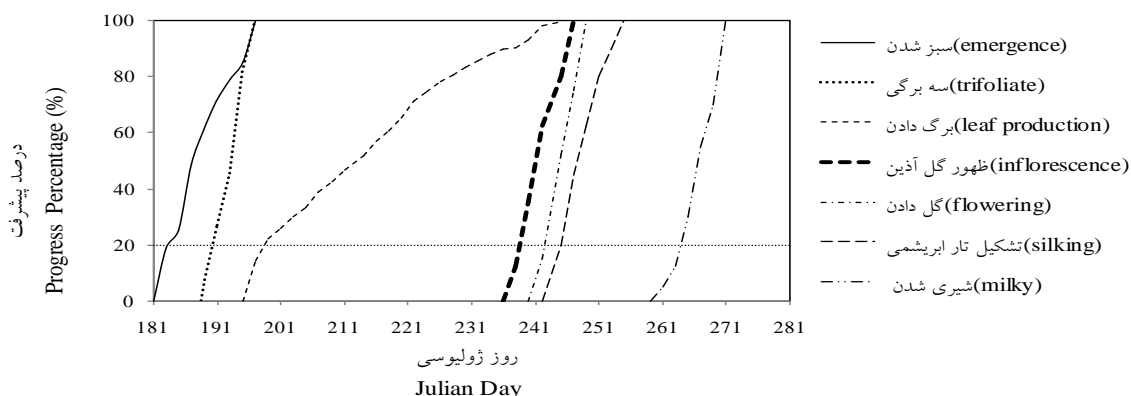
¹ Multisource

² Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

³ National Agricultural Statistics Service

دماهای کاردینال گیاه ذرت برای محاسبه واحدهای گرمایی.

- داده‌های بیشینه و کمینه روزانه دمای هوا دریافت شده از ایستگاه همدیدی کرج در مجاورت مزرعه به همراه



شکل ۱- درصد پیشرفت مراحل مختلف فنولوژی ذرت از سبز شدن تا شیری شدن در سال ۲۰۰۲.

دمای کمینه موثر و یا بالاتر از دمای بیشینه موثر است که واحد گرمایی معادل صفر می‌شود و به عبارت دیگر، آن روز نقشی در پیشرفت فنولوژیک ندارد. میزان واحد گرمایی در دو وضعیت دیگر طبق معادله ۱ به دست می‌آید.

$$TT = \begin{cases} T - T_{min} & , T_{min} \leq T \leq T_{opt} \\ \frac{(T_{max} - T)(T_{opt} - T_{min})}{(T_{max} - T_{opt})} & , T_{opt} < T \leq T_{max} \end{cases} \quad (1)$$

پس از محاسبه واحد گرمایی در هر روز، واحدهای گرمایی تجمعی یا AGDD محاسبه می‌شوند.

NDVI: نمایه NDVI پاسخ طیفی تصاویر ماهواره‌ای به میزان سبزیگی گیاه است. این نمایه پس از انجام پیش‌پردازش روی تصاویر ماهواره‌ای برای هر پیکسل واقع در مزرعه محاسبه و سپس برای دستیابی به یک الگوی معرف فصل رشد میانگین مقادیر روی پیکسل‌های مختلف برآورد شد. مقادیر NDVI دارای نوفه‌های فراوانی در تصاویر چندزمانه است. علاوه بر این، محدودیت تعداد تصاویر باعث می‌شود که در همه روزها دسترسی به مقدار NDVI وجود نداشته باشد. از این رو به منظور تولید سری‌های زمانی با کیفیت بالا از نمایه‌های پوشش گیاهی، از تابع لجستیک دوگانه^۵ (وو و همکاران^۶، ۲۰۱۴) در ترکیب با روش رگرسیون وزنی^۷ (آرور و همکاران^۸، ۲۰۰۸) استفاده شده است.

۱- استخراج مشخصه‌ها

مشخصه‌های چندگانه NDVI و AGDD^۱ به عنوان ورودی مدل مارکف پنهان استفاده شده‌اند. این مشخصه‌ها برای مزرعه مورد مطالعه در طی دوره رشد ذرت استخراج شدند که دارای منحنی توزیع مختلف می‌باشند. در شکل ۲ منحنی تغییرات دو مشخصه طی فصل رشد ذرت در سال ۲۰۰۴ برای نمونه آورده شده است. منحنی NDVI یک منحنی تک مدی^۲ است و منحنی AGDD یک منحنی صعودی و یکنواخت^۳ است. مقدار NDVI از تصویر سنجش از دور و AGDD از دیدبانی‌های دما در ایستگاه همدیدی مجاور مزرعه استخراج شده است. فرآیند اجرای هر مشخصه در ادامه به تفکیک آمده است.

الف) AGDD: در مطالعات نمو گیاه، تأثیر دما با کمیت درجه-روز رشد تجمعی بیان می‌شود. بنابراین AGDD یک متغیر توصیفی از نحوه تامین گرمای موردنیاز بین تاریخ شروع یک مرحله تا تاریخی معین به صورت بخشی از چرخه زندگی گیاه است. بنابراین اساس محاسبه AGDD بر محاسبه واحدهای گرمایی در طول فصل رشد استوار است. طبق تعریف استرک و همکاران^۴ (۲۰۰۸) سه دمای کاردینال دمای کمینه موثر (T_{min})، دمای بیشینه موثر (T_{max}) و دمای بهینه (T_{opt}) در محاسبه واحدهای گرمایی نقش ایفا می‌کنند. با لحاظ این سه دما، سه وضعیت برای محاسبه واحد گرمایی وجود دارد، وضعیت اول هنگامی است که دمای میانگین روزانه (T) پایین‌تر از

⁵ Double Logistic Function

⁶ Wu et al.

⁷ Weighted Regression Method

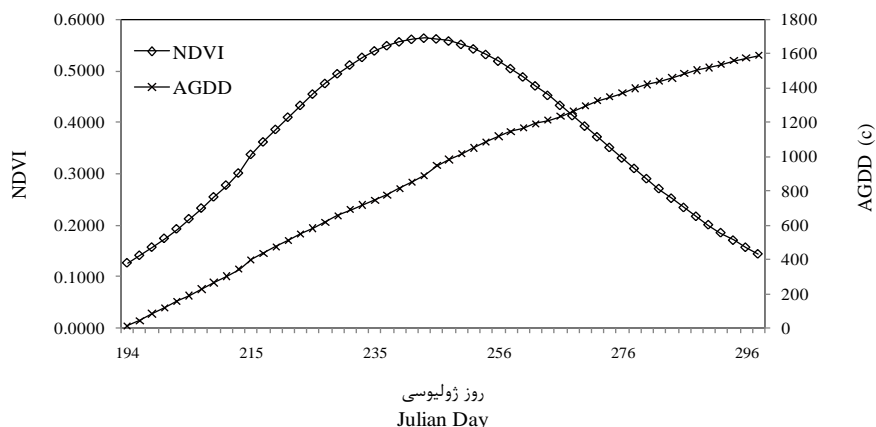
⁸ Arvor et al.

¹ Accumulated Growth Degree Day

² Unimodal

³ Monotonic

⁴ Streck et al.



شکل ۲- منحنی تغییرات NDVI و AGDD در طول فصل رشد ذرت در سال ۲۰۰۴

توالی زمانی است که با متغیر $q_t, (t=1, \dots, T)$ نمایش داده می‌شود. برای مثال درصد پیشرفت مرحله $S_i, (i=1, \dots, N)$ در زمان t به صورت $q_t = S_i$ بیان می‌شود. متناظر با توالی زمانی درصد پیشرفت، توالی مشاهدات به صورت $O = \{O_1, O_2, \dots, O_T\}$ وجود دارد. طبق تعریف مدل مارکف پنهان، درصد پیشرفت فنولوژی ذرت، بر اساس سه پارامتر $\lambda = (A, B, \Pi)$ تعریف می‌شود، که A ماتریس احتمال انتقال است و با زمان متغیر است و به صورت $A = a_{ij}(t) = P(q_t = S_j | q_{t-1} = S_i), (i, j = 1, \dots, N)$ نمایش داده می‌شود که بیانگر احتمال انتقال از مرحله S_i به S_j است. پارامتر B توزیع احتمال انتشار است و به صورت $B = b_j(O_t) = P(O_t | q_t = S_j)$ نمایش داده می‌شود و نشانگر احتمال تولید مشاهده O_t از مرحله S_j در زمان t است. می‌توان از یک توزیع آماری (مثلاً گسین) برای بیان این پارامتر استفاده کرد. پارامتر Π توزیع احتمال آغازین و به صورت $\Pi = \pi_i = P(q_1 = S_i)$ تعریف می‌شود و بیانگر احتمال قرارگیری مدل در ابتدای فرآیند (زمان $t=1$) در حالت S_i است. طبق الگوریتم شن و همکاران (۲۰۱۳) این پارامتر می‌تواند به احتمال پیشین^۳ مرحله S_i در زمان t تعمیم داده شود یعنی $\pi_i(t) = P(q_t = S_i)$. با دستیابی به سه پارامتر فوق و فرض مارکف مرتبه یک در توالی پنهان، طبق تعریف آمار بیزی، توزیع احتمال توام به ازای کل توالی‌های زمانی از معادله ۲ به دست می‌آید.

$$P(q_1 = S_1, \dots, q_t = S_j, O_1, \dots, O_t | \lambda) = \pi_{q_1} \cdot \prod_{k=2}^t a_{q_{k-1}, q_k}(k) \cdot \prod_{k=1}^t b_{q_k}(O_k) \quad (2)$$

توصیف این روش به طور کامل در پژوهشی توسط (قمقامی و همکاران، ۲۰۱۷) آورده شده است. با بکارگیری این الگوریتم سری زمانی هموار و بدون نوفه از این نمایه پوشش گیاهی در طی فصل رشد ذرت به دست آمد.

۲- تعریف مدل مارکف پنهان

مدل‌های مارکف پنهان تعمیم یافته مدل‌های مارکف هستند که در آن‌ها فرض می‌شود زنجیر مارکف به طور مستقیم قابل مشاهده نبوده و به عبارتی پنهان است (جکولا^۱، ۲۰۰۶). بنابراین، مدل مارکف پنهان یک فرآیند تصادفی دوگانه بوده و شامل دو سطح عدم قطعیت است: فرآیند تصادفی پنهان که به طور مستقیم قابل رویت نیست و تنها از طریق مجموعه دیگری از فرآیندهای تصادفی که توالی مشاهدات را تولید می‌کند قابل رویت است (الیوت و سیو^۲، ۲۰۱۲). در مدل به کار رفته در تحقیق حاضر، لایه قابل رویت شامل بردار دوبعدی از مشخصه‌های NDVI و AGDD است و لایه پنهان توالی زمانی درصد پیشروی فنولوژی ذرت است. درصد پیشرفت ذرت یک فرآیند مبتنی بر مدل مارکف فرض می‌شود که دارای N حالت پنهان است $S = \{S_1, S_2, \dots, S_N\}$ که شامل ۸ مرحله مختلف فنولوژی است: قبل از رشد (S_1)، سبز شدن (S_2)، سه‌برگی (S_3)، برگ‌دهی کامل (S_4)، تشکیل گل‌آذین (S_5)، گل‌دهی (S_6)، تشکیل تارهای ابریشمی (S_7) و شیری شدن (S_8). مرحله قبل از رشد حد فاصل کاشت تا سبز شدن می‌باشد و برای تسهیل طراحی مدل به مراحل فنولوژی اضافه می‌شود. این مراحل دارای یک

³ Priori probability

¹ Jaakkola

² Elliott and Siu

۳- مدل ترکیبی^۱ در مارکف پنهان

تئوری مدل ترکیبی در ساختار مارکف پنهان توسط جکولا (۲۰۰۶) بیان و توسط ویوی و همکاران (۱۹۹۲) در تحلیل پوشش گیاهی و شن و همکاران (۲۰۱۳) در برآورد درصد پیشرفت فنولوژی به کار گرفته شده است. در این مدل، فرآیند تصادفی لایه پنهان از زنجیر مارکف و پارامتر احتمال انتشار از یک توزیع آماری ترکیبی تبعیت می‌کند. مطابق نظرات ویوی و همکاران (۱۹۹۲) مارکف پنهان با توزیع ترکیبی، عدم قطعیت را در هر دو سطح فرآیند کاهش می‌دهد. همچنین سریهاری^۲ (۲۰۱۱) بیان کرد که در یک مدل مارکف پنهان با توزیع ترکیبی، مشاهدات در هر گام زمانی می‌توانند توسط مراحل متعدد پنهان (در اینجا مراحل فنولوژی) تحت تأثیر قرار گیرند و این مهم، انعطاف پذیری مدل را بالا می‌برد. بر این اساس احتمال مشاهده در زمان t می‌تواند از معادله ۳ به دست آید.

$$P(O_t) = \sum_{i=1}^N \pi_i(t) \cdot b_i(O_t) \quad (3)$$

ضریب $\pi_i(t)$ (احتمالات پیشین) به عنوان وزن مولفه λ در نظر گرفته می‌شود که $\sum_{i=1}^N \pi_i(t) = 1$. چنانچه گفته شد مدل ترکیبی به دلیل ماهیت غیرخطی باعث افزایش انعطاف‌پذیری و دقت در مدل‌سازی آماره‌های اساسی پیشرفت فنولوژی می‌شود. در تحقیق حاضر به دلیل پیوستگی مشاهدات از توزیع آماری گسین برای برآورد تابع چگالی احتمال یعنی $b_i(O_t)$ و سپس از احتمالات پیشین به عنوان وزن‌هایی برای تعریف مدل ترکیبی گسین استفاده شده است.

۴- نرمال سازی درصد پیشرفت فنولوژی ذرت

درصد پیشرفت مرحله S_i فنولوژی ذرت در زمان t با p_i^t نشان داده می‌شود. این مقدار معرف درصد پیشرفت گیاه در آن مرحله است. به عبارت دیگر اگر این مقدار معادل ۲۰ درصد باشد به این معنی است که ۲۰ درصد گیاهان وارد مرحله معین S_i شده‌اند. این درصد معرف میزان پیشرفت است اما معرف نسبت تصرف^۳ هر مرحله در یک زمان معین نیست (شن و همکاران، ۲۰۱۳). برای اینکه مقادیر درصد پیشرفت به نسبت پیشرفت تبدیل

شوند یک نرمال‌سازی باید انجام شود. در تحقیق حاضر این نسبت‌های پیشرفت به عنوان ماتریس احتمالات پیشین $\pi_i(t)$ نیز در نظر گرفته شدند. قبل از محاسبه این نسبت‌ها، ابتدا باید همه درایه‌های ماتریس درصد پیشرفت را تکمیل کرد. از این رو به ازای هر مرحله معین، اگر فرآیند رشد گیاه هنوز به آن مرحله نرسیده است، مقدار درصد پیشرفت معادل صفر و اگر فرآیند رشد گیاه آن مرحله را پشت سر گذاشته باشد، مقدار درصد پیشرفت معادل ۱ یا ۱۰۰ در نظر گرفته می‌شود. با توجه به ماهیت توالی مراحل فنولوژی گیاه، فرض می‌شود که هر مرحله تنها به خود و مرحله بعد از خود انتقال می‌یابد و از این رو نسبت پیشرفت یا همان احتمالات پیشین به طور مستقیم از روی درصدهای پیشرفت قابل محاسبه خواهند بود.

$$\pi_i(t) = \begin{cases} p_i^t & , \text{if } i=N \\ p_i^t - p_{i+1}^t & , \text{if } i \neq N \end{cases} \quad (4)$$

در حالی که طبق شکل ۱ منحنی تغییرات زمانی درصد پیشرفت یک منحنی صعودی است، انتظار می‌رود که منحنی تغییرات زمانی احتمالات پیشین عموماً یک منحنی تک‌مدی باشد، به این معنی که احتمال پیشین حالت معین i با گذر زمان افزایش و سپس کاهش یابد. چنانچه در بخش ۳ گفته شد، حاصل جمع احتمالات پیشین در زمان معین t و به ازای حالات مختلف معادل یک است و بدیهی است که احتمال پیشین یا نسبت پیشرفت حالت معین i در زمان معین t هر چه بزرگتر باشد، احتمال اینکه مدل مارکف در آن زمان در حالت i قرار گیرد بیشتر خواهد بود.

۵- برآورد پارامترهای مدل مارکف پنهان

پارامترهای مدل مارکف پنهان عبارتند از توزیع احتمال اولیه، ماتریس احتمالات انتقال و توزیع احتمال انتشار که می‌توانند از روی داده‌های میدانی طبق فرآیند زیر برآورد شوند.

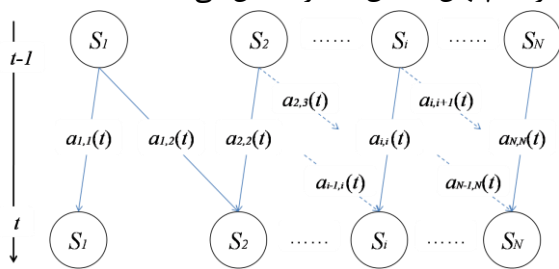
الف) ماتریس احتمال پیشین یا اولیه: توزیع احتمال اولیه یا احتمالات پیشین، حالت مدل را هنگامی که مشاهدات در نظر گرفته نشوند توصیف می‌کند (ویوی و همکاران، ۱۹۹۲). برای برآورد احتمال هر مرحله در شروع فصل رشد نیاز به تعریف مرحله «قبل از رشد» وجود دارد. این مرحله که از تاریخ کاشت تا شروع دوره جوانه‌زنی است بین ۲ تا ۱۰ روز در سال‌های مختلف متغیر است. برای هر

¹ Mixture model

² Srihari

³ Occupancy ratio

۱۹۹۲؛ سکز و کوچریک^۴، ۲۰۱۱). شکل ۴، انتقال مراحل فنولوژی ذرت را در طول چرخه حیات خود بر اساس مدل مارکف پنهان تحقیق حاضر نمایش می‌دهد.



شکل ۳- توصیف فرآیند انتقال مارکف مراحل فنولوژی ذرت در طول فصل رشد

اگر ماتریس احتمال انتقال به عنوان یک پارامتر محلی در نظر گرفته شود، بنابراین ماتریس A دارای درایه‌های $a_{ij}(t)$ می‌باشد که یک ماتریس سه بعدی است. از آنجا که هر حالت فنولوژی در گام زمانی یا به خود یا به حالت بعدی انتقال پیدا کند (شکل ۴)، می‌توان چرخه حیات ذرت را یک چرخه تک‌مدی فرض کرد (شن و همکاران، ۲۰۱۳). در این صورت درایه‌های ماتریس احتمال انتقال به راحتی و به طور مستقیم از روی ماتریس احتمال پیشین قابل محاسبه می‌باشد به صورت:

$$a_{ij}(t) = \begin{cases} 1 & , \text{if } i=j=N, \pi_N(t-1) > 0 \\ 1 - \sum_{k=i+1}^N \frac{(\pi_k(t) - \pi_k(t-1))}{\pi_i(t-1)} & , \text{if } i=j \neq N, \pi_i(t-1) > 0 \\ \sum_{k=i+1}^N \frac{(\pi_k(t) - \pi_k(t-1))}{\pi_i(t-1)} & , \text{if } i=j-1, \pi_i(t-1) > 0 \\ 0 & , \text{else} \end{cases} \quad (6)$$

که $\sum_{j=1}^N a_{ij}(t) = 1$ در توصیف چهار وضعیت موجود در معادله

۶ باید گفت که وضعیت اول مربوط است به احتمال انتقال به خود در انتهای زنجیر، وضعیت دوم مربوط است به احتمال انتقال به خود در طول زنجیر، وضعیت سوم مربوط است به تغییر حالت رو به جلو و وضعیت چهارم شامل بیشتر درایه‌های ماتریس احتمال انتقال می‌شود. به عنوان مثال اگر $q_{t-1} = S_6$ سپس همه انتقال‌ها به جز $a_{6,6}(t)$ و $a_{6,7}(t)$ صفر هستند که این دو درایه به ترتیب مربوط می‌شوند به وضعیت‌های دو و سه در معادله ۶ و جمع آن‌ها یک است. برای دستیابی به توزیع احتمالات انتقال برای کل سری زمانی رشد گیاه، دو گام عملیاتی زیر پیگیری شده است: (۱) میانگین ماتریس احتمالات

سال در دوره آموزش مدل، این ماتریس طبق معادله ۴ محاسبه می‌شود و برای هر روز از شروع فصل رشد اقدام به میانگین‌گیری روی همه سال‌ها می‌شود. طول فصل رشد (فاصله زمانی بین آغاز سبز شدن تا پایان شیری شدن) در سال‌های مختلف بین ۷۹ تا ۱۱۰ روز متغیر است، از این رو برای حذف اثر طول فصل رشد اقدام به میانگین‌گیری وزنی به صورت معادله ۵ شده است.

$$\bar{\pi}_i(t) = \frac{\sum_{k=1}^M \frac{1}{I_{k+1}^k(t)}}{\sum_{k=1}^M \frac{1}{I_k}} \quad (5)$$

که M تعداد سال‌ها در دوره آموزش مدل و I_k طول فصل رشد متناظر با سال kام می‌باشد. با توجه به وابستگی پارامتر توزیع احتمال پیشین به دو متغیر زمان و حالت، این پارامتر به صورت یک ماتریس دو بعدی بیان می‌شود که سطرهاى آن معادل گام زمانی و ستون‌های آن حالت‌های مختلف فنولوژی است.

ب) ماتریس احتمال انتقال حالت‌ها: در مدل مارکف پنهان مرسوم، ماتریس احتمال انتقال حالات یا A یک ماتریس دو بعدی و فراگیر^۱ است. به عبارت دیگر همه روزها طی فصل رشد دارای یک ماتریس مشابه هستند. ولی در مورد مدل‌سازی مراحل فنولوژی گیاهان از جمله ذرت این امر نادرست است. در این مورد باید به ماتریس احتمال انتقال اجازه داد که با زمان تغییر کند و عملکردی مشابه با یک مدل ناهمگن مارکف پنهان داشته باشد (نب و همکاران، ۲۰۰۳). بنابراین ماتریس احتمال انتقال مدل فنولوژی تحقیق حاضر یک ماتریس وابسته به زمان یا محلی^۲ است که در طی فصل رشد تغییر می‌کند. برای مثال در شروع چرخه زندگی، ذرت تمایل به ماندن در اولین حالت را دارد به عبارتی احتمال انتقال از حالت فعلی به خودش بیشتر و به حالت بعد از خود کمتر است. با این وجود با سپری شدن زمان، احتمال انتقال به خود ضعیف و به حالت بعدی بیشتر می‌شود. به طور کلی، فرآیند انتقال فنولوژیک به سازوکارهای بیوفیزیک و عوامل بیرونی مانند میزان آبیاری، ویژگی‌های خاک، عوامل هواشناسی و شیوه‌های مدیریتی وابسته است (ویوی و همکاران،

¹ Global

² Knab et al.

³ Time-dependent or Local

⁴ Sacks and Kucharik

$$\ln L(\Theta|O_t) = \sum_{t=1}^T \ln \sum_{j=1}^N \pi_j(t) \cdot N_j(O_t | \mu_j, \Sigma_j) \quad (8)$$

بردار احتمالات پیشین نیز چنانچه گفته شد از روی مشاهدات زمینی به دست می‌آید. برای رسیدن به همگرایی در برآورد پارامترهای معادله ۷ می‌توان از الگوریتم‌های تکرار^۲ مانند بیشینه‌سازی امید ریاضی یا EM^۳ (دمستر و همکاران^۴، ۱۹۷۷) استفاده کرد. این الگوریتم دو گام را برای دریافت یک جواب با بیشترین مقدار در معادله ۸ طی می‌کند: (۱) E-step و (۲) M-step. الگوریتم با مقادیر اولیه برای پارامترهای μ_i و Σ_i اجرا می‌شود و سپس دو گام فوق را تا رسیدن به همگرایی در بیشینه محلی تابع درست‌نمایی ادامه می‌دهد. مبنای محاسبه پارمترها در تکرارهای بعدی، برآورد کمیت تکرارپذیر $\beta_i^q(t)$ است که q نشان‌دهنده شماره تکرار است. این کمیت در حقیقت به صورت یک ضریب عمل نموده و در هر تکرار جدید این ضریب تعدیل می‌شود تا اینکه بهترین برآورد را از پارامترهای تابع داشته باشد.

۶- برآورد درصد پیشرفت فنولوژی

هدف تحقیق حاضر برآورد درصد پیشرفت مراحل فنولوژی ذرت است. این مساله با محاسبه احتمالات پسین^۵ پسین^۵ روی حالات پنهان در هر زمان معین t به ازای پارامتر λ و همه مشاهدات تا زمان فعلی می‌تواند پیگیری شود (یعنی $P(q_t = S_j | O_1, \dots, O_t)$). این برآورد به صورت بی‌درنگ می‌باشد و در هر گام زمانی (در تحقیق حاضر، روز است) به ازای مشاهدات تا آن گام زمانی و پارامترهای مدل با بکارگیری الگوریتم پالایش^۶ انجام می‌شود. در اینجا لازم است تأکید شود که سه وضعیت برای فرآیند برآورد درصد پیشرفت فنولوژی به ازای مشاهدات O_1, \dots, O_h وجود دارد: (۱) اگر $t < h$ از الگوریتم هموارسازی^۷ استفاده می‌شود، (۲) اگر $t = h$ از الگوریتم پالایش استفاده می‌شود که عبارت است از برآورد بی‌درنگ و (۳) اگر $t > h$ از الگوریتم‌های پیش‌بینی^۸ استفاده می‌شود. در بکارگیری الگوریتم پالایش، احتمالات پسین طبق قانون احتمالات بیزی از معادله ۹ به دست می‌آیند.

پیشین برای سال‌های آموزش (طبق معادله ۱) برای متوسط فصل رشد محاسبه می‌شود و (۲) فرآیند محاسبه توزیع احتمالات انتقال بر روی خروجی گام یک خواهد بود.

(ج) توزیع احتمال انتشار: توزیع احتمال انتشار، احتمال وقوع مشاهدات را از یک حالت معین توصیف می‌کند. در تحقیق حاضر بردار وضعیت مشاهدات شامل دو مشخصه یا متغیر AGDD و NDVI است. مقادیر مشاهدات به طور مستمر در اثر تناوب فنولوژیکی تغییر می‌کنند (شن و همکاران، ۲۰۱۳). در یک واحد زمانی از شروع فصل رشد، هر مرحله دارای احتمال پیشین معینی است و بنابراین چنانچه در بخش ۳ نیز گفته شد، مدل‌سازی احتمالات انتشار مبتنی بر یک مدل ترکیبی است که هر مرحله در احتمال انتشار مشاهده معینی سهم مشخصی دارد. این سهم توسط وزن‌هایی تعیین شده که نسبت فضایی اشغال هر مرحله را تعیین می‌کنند و مطابقت با همان احتمالات پیشین هر مرحله یعنی $\pi_i(t)$ دارند. (شن و همکاران، ۲۰۱۳) از توزیع چندمتغیره گسن به عنوان یک تابع چگالی احتمال برای بیان احتمالات انتشار استفاده کردند. در تحقیق حاضر نیز از همین روش استفاده شده است. بنابراین در معادله ۳ $P(O_t)$ برهم‌نهی خطی^۱ توزیع گسن و $b_i(O_t)$ با بردار میانگین μ_i و ماتریس کوواریانس Σ_i پارامتری می‌شود.

$$b_i(O_t) = N_i(O_t | \mu_i, \Sigma_i) = \frac{1}{\sqrt{(2\pi)^d |\Sigma_i|}} \cdot \exp\left(\frac{-(O_t - \mu_i)' \Sigma_i^{-1} \cdot (O_t - \mu_i)}{2}\right) \quad (7)$$

که در آن، d تعداد بعد فضای مشاهدات است که در اینجا به دلیل انتخاب مشخصه‌های AGDD و NDVI معادل ۲ است. معادله ۷ نشان می‌دهد که پارامترهای این تابع، فراگیر و مستقل از زمان هستند. این پارامترها هم می‌توانند از روی مشاهدات زمینی محاسبه شوند و هم می‌توانند ناشناخته در نظر گرفته شوند که باید با روش‌هایی برآورد می‌شوند. در وضعیت اول یعنی محاسبه پارامترها، پارامترهای هر حالت از روی بردار مشاهدات به ازای آن حالت ($0 < \pi_i(t) < 1$) به دست می‌آیند. در شرایط برآورد پارامترها، به ازای توالی معین O_1, \dots, O_T مقادیر پارامترها با استفاده از روش حداکثر درست‌نمایی برآورد می‌شوند. تابع لگاریتمی درست‌نمایی بر اساس بردار پارامتر $\Theta = \{\mu, \Sigma\}$ از قرار زیر است.

² Iterative algorithm
³ Expectation Maximization
⁴ Dempster et al.
⁵ Posteriori probabilities
⁶ Filtering
⁷ Smoothing
⁸ Prediction

¹ Linear Superposition

برای مراحل مختلف برای سال صحت‌سنجی ۲۰۰۲ با استفاده از دوره واسنجی ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۰ آورده شده است. چنانچه مشخص است؛ مرحله «قبل از سبز شدن» دارای افت در احتمال پیشین با گذر زمان بوده و سایر مراحل دارای افت و خیزهای متعدد می‌باشند. این افت و خیزها به صورتی است که در هر واحد زمانی مجموع بردار احتمالات معادل ۱ خواهد بود. محاسبه ماتریس سه بعدی احتمالات انتقال، گام بعدی فرآیند تحقیق بوده است. بیشتر درایه‌های این ماتریس صفر بوده و هر گام زمانی یک ماتریس مختص به خود دارد. مقادیر بزرگ‌تر از صفر ماتریس به طور عمده حول قطر اصلی آن بوده و با گذر زمان از بالای قطر به سمت پایین قطر جابجا می‌شوند. همچنین برای آزمون کارکرد الگوریتم EM در برآورد پارامترهای تابع توزیع ترکیبی گسن $(\Theta = \{\mu, \Sigma\})$ از آزمون‌های آماری t و χ^2 استفاده شد. برای این منظور، پارامتر Θ یک بار از روی داده‌های تاریخی محاسبه و بار دیگر با الگوریتم EM برآورد می‌شوند. با مقایسه این دو نمونه، می‌توان به کیفیت عملکرد الگوریتم برآورد دست یافت. در جدول ۱ آماره‌های آزمون‌های آماری به تفکیک مراحل مختلف فنولوژی آورده شده است. برای هر مرحله ۹ بردار میانگین μ و ۹ ماتریس کوواریانس Σ وجود دارد که آزمون آماری روی این مجموعه داده انجام شد. چنانچه مشخص است بر اساس هر دو آزمون، تا مرحله ظهور گل آذین و همچنین مرحله شیری شدن، برآورد پارامترهای مدل با الگوریتم EM اختلاف معنی داری در هیچکدام از سطوح عدم اطمینان ۰/۰۵ و ۰/۰۱ با مقادیر محاسبه شده ندارد. در دو مرحله گل‌دهی و تشکیل تارهای ابریشمی معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ در برخی موارد مشاهده شده است. با این وجود می‌توان اذعان کرد که در سطح عدم اطمینان ۰/۰۱، الگوریتم EM توانسته است تمامی پارامترها را بدون تفاوت معنی‌دار با پارامترهای محاسبه شده از سری اطلاعات تاریخی برآورد نماید. با بکارگیری پارامترهای برآورد شده از الگوریتم EM تابع توزیع احتمال انتشار که از تابع گسن تبعیت می‌کند برآورد شد. در شکل ۶، این توابع برای هر هشت مرحله و همچنین برای تابع توزیع ترکیبی آورده شده است.

$$P(q_t = S_j | O_1, \dots, O_t) = \frac{P(q_t = S_j, O_1, \dots, O_t)}{\sum_{i=1}^N P(q_t = S_i, O_1, \dots, O_t)} \quad (9)$$

صورت کسر عبارت است از احتمال توأم حالت معین j و توالی مشاهدات تا زمان t که به وسیله الگوریتم پیشرو^۱ به طور مستقیم محاسبه می‌شود.

$$P(q_t = S_j, O_1, \dots, O_t) = \begin{cases} \pi_j \cdot b_j(O_1) & , \text{if } t=1 \\ \left(\sum_{i=1}^N k_i(t-1) \cdot a_{ij}(t) \right) \cdot b_j(O_t) & , \text{if } t>1 \end{cases} \quad (10)$$

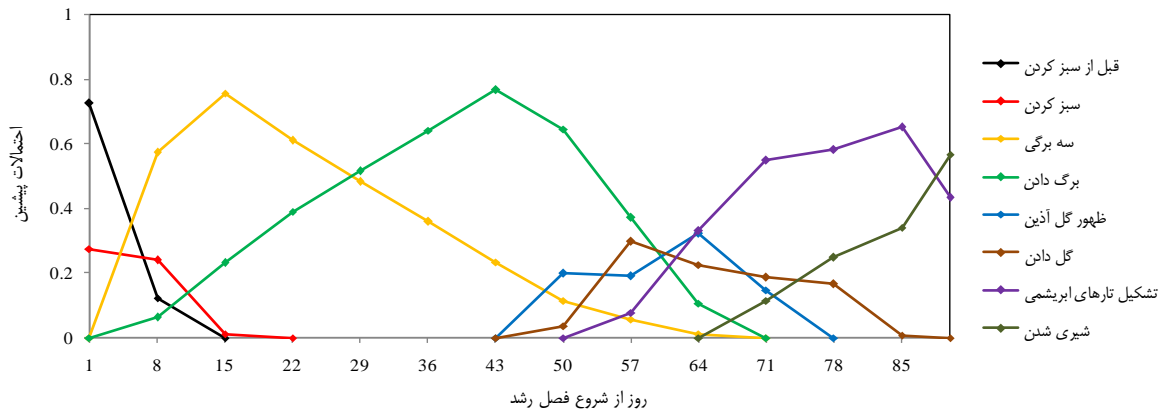
احتمالات پسین همچنین می‌توانند به عنوان نسبت تصرف یک حالت معین نیز در نظر گرفته شوند که با یک تبدیل نرمال‌سازی معکوس می‌توانند به درصد پیشرفت مرحله معین فنولوژی در زمان مشخص یعنی $\delta_i(t)$ تبدیل شوند.

$$\delta_i(t) = \sum_{k=1}^N P(q_t = S_k | O_1, \dots, O_t) \quad (11)$$

نتایج و بحث

با شکل‌دهی چارچوب مدل مارکف پنهان طبق ساختار فنولوژی گیاه ذرت با مشخصه‌های چندگانه، همه هفت مرحله اصلی فنولوژی ذرت و درصد پیشرفت هر مرحله در یک وضعیت بی‌درنگ برآورد شدند. مدل، ۹ بار اجرا شد و در هر بار ۸ سال به مرحله واسنجی و ۱ سال به مرحله صحت‌سنجی اختصاص یافت. در اولین گام، ماتریس احتمالات پیشین برای هر سال محاسبه شد. به عنوان مثال در روز ۵۹ از شروع فصل رشد در سال ۲۰۰۲، درصد پیشرفت مراحل فنولوژی از سبز شدن تا شیری شدن به ترتیب ۰/۱۰۰، ۰/۱۰۰، ۰/۹۹/۵۴، ۰/۴۴/۹۹، ۰، ۰ و ۰ بوده است. طبق معادله ۴ احتمال پیشین در این روز و سال به ترتیب برای مراحل فنولوژی معادل ۰، ۰/۰۰۴، ۰/۵۴۶، ۰/۴۵، ۰ و ۰ به دست آمده است. برای توصیف این احتمال می‌توان گفت که احتمال اولیه اینکه در روز ۵۹ سال ۲۰۰۲ گیاهان در مرحله سه برگی، برگ‌دهی و ظهور گل‌آذین باشند به ترتیب ۰/۴۶، ۰/۵۴/۵۵ و ۰/۴۴/۹۹ است. باقی مراحل در این روز دارای احتمال اولیه صفر بوده به این معنی که شانس برای وقوع در این روز ندارند. در مرحله واسنجی، ابتدا میانگین ماتریس دو بعدی احتمالات پیشین طی ۸ سال محاسبه شد. در شکل ۵، تغییرات زمانی میانگین احتمالات پیشین

¹ Forward algorithm

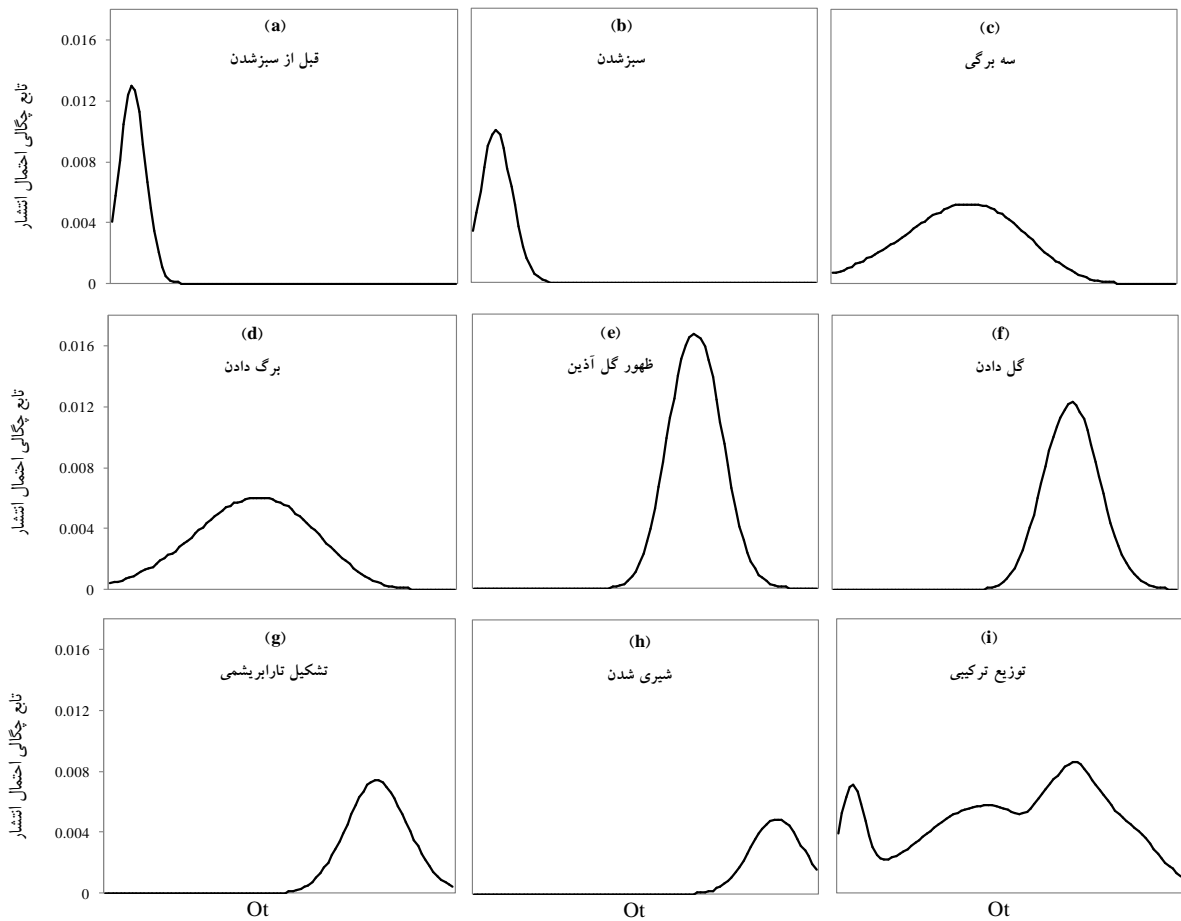


شکل ۴- تغییرات زمانی میانگین مقادیر ماتریس احتمالات پیشین برای سال صحت‌سنجی ۲۰۰۲

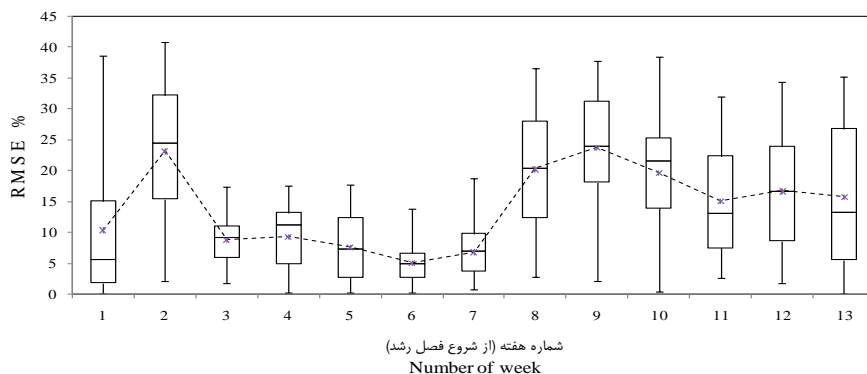
جدول ۱- آماره آزمون های t و χ^2 مقایسه دو روش محاسبه و برآورد پارامترهای مدل ترکیبی

قبل از سبز شدن	سبز شدن	سه برگی	برگ دادن	ظهور گل آذین	گل دهی	تشکیل تارهای ابریشمی	شیری شدن	NDVI	p-value
۰/۸۴۱	۰/۷	۰/۳۰۲	۰/۴۶۶	۰/۰۵۹	*۰/۰۴	۰/۰۶۱	۰/۰۸		
۲/۵۶۱	۰/۴۵	۰/۱۰۶	۰/۱	۰/۲۳۶	۰/۱۴	*۰/۰۱۲	۰/۰۶۳	AGDD	(t-test)
۱/۲۴۱	۰/۹۶۱	۲/۹۶۸	۳/۵۰۸	۳/۲۴۱	*۵/۰۰۳	*۴/۰۶۳	۳/۷۵۹		χ^2

* معنی داری در سطح اطمینان ۹۵٪ و ** معنی داری در سطح اطمینان ۹۹٪



شکل ۵- توابع توزیع احتمال انتشار در مراحل فنولوژی (a-h) به همراه توزیع ترکیبی (i)



شکل ۶- نمودارهای جعبه‌ای و ویسکر^۱ میانگین هفتگی مقادیر RMSE (در سطح اطمینان ۹۵٪)

یک کاهش در روند خطا تا انتهای فصل رشد مشاهده گردید. بیشترین میانگین خطا حدود ۲۵٪ و مربوط به هفته نهم بوده که مقارن است با مراحل از ظهور گل آذین تا تشکیل تارهای ابریشمی (بسته به سال) و کمترین میانگین خطا حدود ۷٪ و مربوط به هفته ششم بوده که مقارن است با اواخر مرحله برگ دهی. با کمک شکل ۵ می‌توان دریافت که هم پوشانی مراحل تأثیر شایانی بر اندازه خطا دارد. چنانچه در شکل ۵ دیده می‌شود، از هفته سوم تا هفته ششم کمترین هم‌پوشانی مراحل فنولوژی وجود دارد و فقط دو مرحله «سه‌برگی» و «برگ‌دهی» در بردار احتمالات پیشین دارای مقداری بزرگ‌تر از صفر هستند. از هفته هفتم به بعد میزان هم پوشانی مراحل افزایش می‌یابد. با مقایسه نتایج شکل‌های ۵ و ۶ می‌توان دریافت با افزایش هم پوشانی مراحل، خطای مدل افزایش می‌یابد. شکل ۶ ترکیب همه سال‌های مورد مطالعه است. در حالی که دامنه خطا در سال‌های مختلف متفاوت است. به‌عنوان یک ارزیابی کلی، میانگین RMSE برای سال‌های مختلف همواره کوچک‌تر از ۲۰٪ و بین ۸/۸٪ و ۱۹/۴٪ متغیر بوده است. تحقیق حاضر در مقیاس مزرعه انجام شده است، با این وجود می‌توان نتایج تحقیق حاضر را با مطالعاتی که روی درصد پیشرفت فنولوژی در مقیاس منطقه‌ای تمرکز داشته‌اند، مقایسه نمود. برای مثال می‌توان به تحقیق یو و همکاران^۳ (۲۰۱۲) اشاره کرد که یک روش مبتنی بر کرنل را برای برآورد درصد پیشرفت ذرت بکاربردند. مقدار RMSE روش آن‌ها هیچ‌گاه از ۲۴٪ کمتر نشد. شن و همکاران (۲۰۱۳) نیز روش مورد استفاده در تحقیق را (با اندکی تغییرات) بکار بردند و برای سه ایالت آمریکا میانگین RMSE معادل ۱۳/۲۷٪

هر چه کشیدگی منحنی کمتر باشد به معنی کوتاه‌تر بودن مرحله فنولوژی است. پایین‌ترین منحنی سمت راست مربوط به توزیع ترکیبی است که برای اجرای الگوریتم برآورد درصد پیشرفت فنولوژی در نظر گرفته شده است. از ریشه میانگین مربعات خطا یا RMSE برای سنجش مهارت مدل بیزی در برآورد درصدهای پیشرفت فنولوژی استفاده شده است (هیج و همکاران^۲، ۲۰۰۴). این سنجه بیانگر اختلاف بین مقادیر برآورد شده و مشاهده شده است. مقادیر کوچک‌تر نشان‌دهنده واریانس باقیمانده کمتر هستند. ارزیابی RMSE فصل رشد ذرت را از «سبز شدن» تا «شیری شدن» پوشش می‌دهد. مرحله «قبل از سبز شدن»، در ارزیابی خطا در نظر گرفته نمی‌شود چراکه برای تسهیل در اجرای مدل به عنوان لایه مرزی تعریف شده است. شکل ۷، دامنه تغییرات RMSE را نشان می‌دهد که مربوط به همه هفت مرحله فنولوژی است. نتایج به صورت هفتگی بوده و شامل هر ۹ اجرای مدل می‌باشد. نتایج گزارش‌شده در نمودار جعبه‌ای معرف سطح احتمال ۹۵ درصدی اطمینان و نتایج گزارش شده در نمودار خطی معرف میانگین گام زمانی (هفته) می‌باشد. با تحلیل خطاها در فرآیند تعیین درصد پیشرفت از شکل ۷ دریافته شد که در هفته اول که همزمان با «سبز شدن» است میانگین خطا حدود ۱۰٪ بوده که با یک افزایش در هفته دوم همراه است. سپس از هفته سوم میزان خطا کاهش یافته و این روند تا هفته هفتم پس از شروع فصل رشد ادامه دارد. متوسط خطاها در این بازه زمانی زیر ۱۰٪ می‌باشد. از هفته هشتم روند خطا یک روند افزایشی بوده که تا هفته نهم ادامه داشته و سپس

^۱ Box and Whisker Plots

^۲ Heij et al.

^۳ Yu et al.

کردن زیرروالی به مدل که نسبت به طول فصل عکس العمل نشان دهد می‌تواند به کارآمدی آن کمک کند.

ب) کیفیت داده‌های فنولوژی دیدبانی شده: داده‌های دیدبانی شده اصولاً وابستگی زیادی به ارزیابی شخصی دیدبان دارند. از این رو خطای اریبی به طور اجتناب‌ناپذیری در برداشت این اطلاعات وجود خواهد داشت. علاوه بر این، وجود خلأهای آماری ناشی از جنبه‌های اقلیمی و مدیریتی باعث بکارگیری روش‌های بازسازی می‌شود که این روش‌ها می‌توانند بخشی از منابع عدم قطعیت را با خود به همراه داشته باشند.

ج) کیفیت داده‌های سنجش از دور: نوبه‌های ناشی از پوشش ابرناکی، داده‌های مفقود، پیکسل‌های بی‌کیفیت و یا برخی خطاهای سامانمند^۱ به راحتی می‌توانند کیفیت داده‌های اولیه سنجش از دور را کاهش دهند؛ هر چند با بکارگیری روش‌های هموارسازی تا حدی می‌توان بر این مشکل فائق آمد.

د) روش محاسبه AGDD: هر چند در این تحقیق تلاش شد که آستانه‌های بالا، بهینه و پایین دمایی برای محاسبه AGDD در نظر گرفته شوند، با این وجود بکارگیری روش خطی برای این امر ممکن است در هر مجموعه داده‌ای صحیح نباشد. به عبارت دیگر ترکیب روش‌های خطی و غیر خطی برای محاسبه واحدهای گرمایی می‌تواند در کاهش منابع عدم قطعیت موثر باشد.

ه) بی‌نظمی در الگوهای دما و بارش: تغییر الگوی دمایی به طور مستقیم بر تأمین نیاز گرمایی گیاه و به تبع آن بر طول فصل رشد تأثیر می‌گذارد. حتی با وجود کشت فاریاب ذرت، تغییر الگوهای بارش و وقوع خشکسالی‌های شدیدتر می‌تواند ناهمگنی در رشد ذرت طی سال‌های مختلف ایجاد نماید. دلیل آن این است که، رخداد حدی در یک سال خاص اتفاق می‌افتد و روی ثبات نتایج تأثیر می‌گذارد. این امر به دلیل تأثیر این بی‌نظمی بر برآورد پارامترهای مدل مانند ماتریس احتمالات انتقال در مرحله آموزش است.

و) تابع چگالی احتمال انتشار: این تابع، انتشار لایه قابل رویت را مدیریت می‌کند و میزان برآزش آن بر داده‌ها می‌تواند بر کیفیت نتایج تأثیر داشته باشد. در تحقیق حاضر فرض شده است که برای هر مرحله فنولوژی، بردار قابل رویت از توزیع نرمال تبعیت می‌کند. توزیع نرمال

۱۶/۱۴٪ و ۱۲/۹٪ را به دست آوردند که با میانگین RMSE به دست آمده در تحقیق حاضر (۱۴٪) کاملاً قابل قیاس است. مزیت مطالعه شن و همکاران (۲۰۱۳) دسترسی به داده‌های همگن و مدیریت شده (دریافت شده از NASS) بود که تأثیر بسزایی در کاهش خطا دارد. داده‌های مربوط به فنولوژی در تحقیق حاضر بسیار ناهمگن از نظر زمان کاشت، جنبه‌های مدیریتی و کیفیت داده برداری بودند که نتایج را بسیار تحت تأثیر قرار داد. باتوجه به نتایج می‌توان گفت که مدل استفاده شده در تحقیق حاضر قادر به برآورد بی‌درنگ درصد پیشرفت فنولوژی ذرت است. مراحل فنولوژی به طور معمول دارای هم‌پوشانی هستند. یعنی زمانی که برخی بوته‌ها وارد مرحله برگ‌دهی شده‌اند، هنوز برخی از بوته‌ها ممکن است در مرحله سه برگگی باقی مانده باشند. در نظر گرفتن این جنبه فنولوژی در روش‌های مدل‌سازی غیربیزی ناممکن است. با این وجود عوامل زیر تأثیر در دریافت نتایج داشته‌اند که بهبود آن‌ها می‌تواند منجر به نتایج بهتر شود.

الف) طول فصل رشد: طول فصل رشد که حد فاصل سبز شدن تا انتهای شیری شدن است، نقش بسزایی در برآورد درصد پیشرفت فنولوژی دارد. در داده‌های فنولوژی دیدبانی شده، طول فصل رشد از ۷۹ تا ۱۱۰ روز متغیر بوده است و این امر، نوعی ناهمگنی در داده‌های سال‌های مختلف ایجاد می‌کند. در تحقیق حاضر برای تسهیل در اجرای مدل، به میانگین طول فصل رشد (۹۰ روز) بسنده شد. به این معنی که همه سال‌ها به طور پیش‌فرض دارای ۹۰ روز فصل رشد ذرت هستند. هر چند با بکارگیری میانگین‌گیری وزنی از ماتریس احتمالات پیشین سعی شد تا حدی اثر طول فصل رشد جبران شود با این وجود کم برآوردی‌ها و بیش‌برآوردی‌ها در درصد پیشرفت منجر به تشدید خطای مدل می‌شود. برای مثال در سال ۲۰۰۹ که طول فصل رشد ذرت ۷۹ روز است، روز ۷۹ به عنوان انتهای شیری شدن (درصد پیشرفت شیری شدن معادل ۱۰۰٪ است) در نظر گرفته شده است. با این وجود درصد پیشرفت شیری شدن در این روز توسط مدل معادل ۳۰٪ برآورد شده است. حالت عکس این امر زمانی است که طول فصل رشد دیدبانی شده بزرگتر از میانگین باشد. در اینجا عدم انعطاف‌پذیری مدل در برخورد با مقادیر مختلف طول فصل رشد روشن می‌شود. برای حل این معضل، اضافه

^۱ Systematic

پارامترها با زمان تغییر کنند؛ ۲) به دلیل پیوستگی لایه قابل رویت (مشخصه‌های چندگانه)، از یک تابع چگالی احتمال انتشار به جای ماتریس احتمالات انتشار استفاده شده است. ۳) از آنجا که مراحل مختلف فنولوژی می‌توانند به صورت مشترک روی مشاهدات لایه قابل رویت تاثیر بگذارند از یک مدل ترکیبی احتمال انتشار استفاده شده است که سهم هر تابع به صورت ضریبی از آن تعیین می‌شود. در واقع یک مدل تعمیم‌یافته مارکف پنهان می‌تواند قادر به برآورد درصد پیشرفت فنولوژی باشد. مقدار متوسط RMSE به دست آمده از ۹ بار اجرای مدل حدود ۱۴٪ در مقیاس روزانه است. وجود منابع متعدد خطا ریشه در داده‌های مورد استفاده، الگوریتم‌های متعدد مورد استفاده در مدل و عدم قطعیت در وقوع رخداد‌های هواشناسی دارد؛ با این وجود، مدل مارکف پنهان قادر است که درصد پیشرفت مراحل مختلف فنولوژی ذرت را به صورت بی‌درنگ در دامنه قابل قبول خطا در مقایسه با مطالعات دیگر برآورد نماید.

سپاسگزاری

داده‌های فنولوژی مورد استفاده در این پژوهش توسط اداره کل هواشناسی استان البرز تأمین شده است. مؤلفین به این وسیله مراتب تشکر و قدردانی خود را اعلام می‌دارند.

منابع

- Arvor, D., Jonathan, M., Meirelles, M. S. P., Dubreuil, V., Lecerf, R. 2008. Comparison of multitemporal MODIS-EVI smoothing algorithms and its contribution to crop monitoring. in Geoscience and Remote Sensing Symposium. IGARSS 2008. IEEE International, 2: 958-961, 7-11 July, doi: 10.1109/IGARSS.2008.4779155.
- Aurdal, L., Huseby, R. B., Eikvil, L., Solberg, R., Vikhamar, D., Solberg, A. 2005. Use of Hidden Markov Models and phenology for multitemporal satellite image classification: applications to mountain vegetation classification, published in: Analysis of Multi-Temporal Remote Sensing Images, 2005 International on the Date 16-18 May, 220-224.
- Dempster, A. P., Laird, N. M., Rubin, D. B. 1977. Maximum likelihood from incomplete data via the EM algorithm. J. Roy. Stat. Soc. B., 39: 1-38.
- Derrode, S., Carincotte, C., Bourenane, S. 2004. Unsupervised image segmentation based on high-order hidden MARKOV chains. In Proceedings of IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing

قادر نیست چولگی داده‌ها را لحاظ نماید. این در حالی است که ممکن است از همه یا برخی حالت‌های فنولوژی لایه قابل رویت با توزیعی غیر از نرمال منتشر شوند. به نظر می‌رسد استفاده از توابع چگالی انعطاف‌پذیرتر بتواند در کیفیت نتایج تاثیر داشته باشد.

ز) مرتبه مارکفی: راه حل بالقوه دیگر برای حصول نتایج دقیق‌تر استفاده از مدل‌های مارکف پنهان با مرتبه بالاتر^۱ است. در زمینه‌های مختلفی مانند تشخیص کلمات (مری و همکاران^۲، ۱۹۹۷)، مدل‌سازی وابستگی‌های مکانی بین مناطق کروموزومی (سیفرت و همکاران^۳، ۲۰۱۲) و طبقه‌بندی نظارت نشده تصاویر (درود و همکاران^۴، ۲۰۰۴) از مرتبه‌های بالاتر مدل مارکف پنهان استفاده شده است. وارد کردن وابستگی‌های زمانی بیشتر در مدل مارکف پنهان می‌تواند منجر به مدل‌سازی بهتر پیچیدگی‌های فیزیولوژیک چرخه حیات گیاه شود. در نتیجه بخشی از عواملی که در یک مدل ساده در نظر گرفته نمی‌شوند، در یک مدل پیچیده‌تر مورد توجه قرار می‌گیرند.

نتیجه‌گیری

درصد پیشرفت فنولوژی به عنوان یک ویژگی پوشش گیاهی، نشانگر آهنگ رشد و نمو گیاه بوده و نقش کلیدی در تعیین پارامترهای رشد دارد. بنابراین پایش بی‌درنگ آن می‌تواند بر آگاهی محققین از نحوه رشد گیاه در طول فصل رشد بیفزاید. علاوه بر این، پایش میدانی این ویژگی مستلزم صرف وقت، نیرو و هزینه زیاد است. داده‌های چندزمانه سنجش از دور و داده‌های هواشناسی هر کدام به طور مجزا در کاربردهای مختلفی از جمله پایش ویژگی‌های پوشش گیاهی استفاده شده‌اند. در تحقیق حاضر از این داده‌ها به عنوان مشخصه‌های چندگانه برای گرفتن سنجه پیشرفت ذرت استفاده شده است و جهت برآورد بی‌درنگ، مدل مارکف پنهان پیشنهاد گردید. این مدل با مدل مرسوم مارکف پنهان دارای تفاوت‌هایی به شرح ذیل می‌باشد:

۱) به دلیل ویژگی ذاتی رشد گیاه، یک مدل ناهمگن است. مفهوم ناهمگن زمانی به کار می‌رود که پارامترهای مدل وابسته به زمان یا محلی باشند و به عبارت دیگر این

¹ High-order HMMs

² Mari et al.

³ Seifert et al.

⁴ Derrode et al.

- Sacks, W. J., Kucharik, C. J. 2011. Crop management and phenology trends in the U.S. corn belt: Impacts on yields, evapotranspiration and energy balance. *Agr. Forest Meteorol.*, 151: 882–894.
- Seifert, M., Cortijo, S., Colomé-Tatché, M., Johannes, F., Roudier, F., Colot, V. 2012. MeDIP-HMM: Genome-wide identification of distinct DNA methylation states from high-density tiling arrays. *Bioinformatics*. doi:10.1093/bioinformatics/bts562.
- Shen, Y., Di, L., Wu, L., Yu, G., Tang, H., Yu, G., Shao, Y. 2013. Real-time estimation of corn progress stages using hidden markov models with multisource features. *Remote Sens.*, 5: 1734-1753; doi:10.3390/rs5041734.
- Srihari, S. N. 2011. Machine Learning and Probabilistic Graphical Models Course: Hidden Markov Models. Available online: <http://www.ced.ar.buffalo.edu/srihari/CSE574/index.html> (accessed on 18 November 2012).
- Streck, N. A., Lago, I., Gabriel, L. F., Samboranza, F. K. 2008. Simulating maize phenology as a function of air temperature with a linear and a nonlinear model. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 43: 449–455.
- Toukiloglou, P. 2007. Comparison of AVHRR, MODIS and VEGETATION for land cover mapping and drought monitoring at 1 km spatial resolution. Ph. D. Thesis, Cranfield University, Bedford, UK.
- Viovy, N., Arino, O., Belward, A. S. 1992. The best index slope extraction (BISE): a method for reducing noise in NDVI time series. *Int. J. remote sens.*, 13(8): 1585-1590.
- Wu, C., Gonsamo A., Gough C. M., Chen J. M., Xu S. 2014. Modeling growing season phenology in North American forests using seasonal mean vegetation indices from MODIS. *Remote Sens. Environ.*, 147: 79–88.
- Yu, G., Di, L., Yang, Z., Shen, Y., Zhang, B., Chen, Z. 2012. Corn growth stage estimation using time series vegetation index. In Proceedings of 2012 First International Conference on Agro-Geoinformatics (Agro-Geoinformatics), Shanghai, China, 2–4 August 2012: 1–6.
- (ICASSP), Marseille, France, 17–21 May 2004: 769–772.
- Elliott, R. J., Siu, T. K. 2012. An HMM approach for optimal investment of an insurer. *Int. J. Robust Nonlinear Contr.*, 22: 778–807.
- Gao, F., Anderson, M. C., Zhang, X., Yang, Z., Alfieri, J. G., Kustas, W. P., Mueller, R., Johnson, D. M., Prueger, J. H. 2017. Toward mapping crop progress at field scales through fusion of Landsat and MODIS imagery. *Remote Sens. Environ.*, 188: 9–25.
- Ghamghami, M., Ghahreman, N., Irannejad, P., Ghorbani, K. 2017. Application of multi-temporal satellite images to improve prediction models of maize phenology. *J. water and soil res.*, In press.
- Heij, C., de Boer, P., Franses, P. H., Kloek, T., van Dijk, H. K. 2004. *Econometric methods with applications in business and economics*; Oxford University Press Inc.: New York, NY, USA, 2004.
- Jaakkola, T. S. 2006. Machine Learning, Lecture Notes 19: Hidden Markov Models (HMMs); Available online: <http://ocw.mit.edu/courses/electrical-engineering-and-computer-science/6-867-machine-learning-fall-2006/lecture-notes/lec19.pdf> (accessed on 18 November 2012).
- Knab, B., Schliep, A., Steckemetz, B., Wicher, B. 2003. Model-based clustering with Hidden Markov Models and its application to financial time-Series data. In *Between Data Science and Applied Data Analysis*; Schader, M., Gaul, W., Vichi, M., Eds.; Springer: New York, NY, USA: 561–569.
- Leite, P., Feitosa, R., Formaggio, A., Costa, G., Pakzad, K., Sanches, I. 2011. Hidden Markov models for crop recognition in remote sensing image sequences. *Pattern Recognition Lett.*, 32: 19–26.
- Mari, J. F., Haton, J. P., Kriouile, A. 1997. Automatic word recognition based on second-order hidden Markov models. *IEEE Trans. Speech Audio Proc.*, 5: 22–25.

بررسی تأثیرات خشکسالی‌های هواشناسی بر عملکرد دو محصول گندم و جو دیم (مطالعه موردی: استان خراسان رضوی)

مصطفی آراسته^۱، سید حسن کابلی^{۲*}، محمد یزدانی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۲/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۱/۳۱

چکیده

پدیده خشکسالی صدمات قابل ملاحظه‌ای به بخش کشاورزی به خصوص عملکرد غلات دیم وارد می‌سازد. در این پژوهش تأثیر عوامل هواشناختی خشکسالی در غالب نمایه‌های خشکسالی هواشناسی بر عملکرد گندم و جو دیم و همزمانی آن‌ها ارزیابی شد. داده‌های ۱۹ ساله (۱۳۷۳-۱۳۹۱) ایستگاه‌های هواشناسی استان خراسان رضوی شامل بارندگی، دما، ساعت آفتابی، تبخیر و رطوبت نسبی تهیه و پردازش‌های لازم صورت گرفت. نمایه‌های استاندارد بارش، بارش استاندارد شده، درصد از نرمال و نمایه دهک محاسبه شدند. همچنین عملکرد گندم و جو در سال‌های مذکور گردآوری و روابط آماری بین عملکرد و نمایه‌های خشکسالی به کمک آزمون‌های همبستگی و رگرسیون تحلیل گردید. نتایج نشان داد در سال زراعی ۷۸-۷۹، در ایستگاه‌های مشهد، سرخس، سبزوار، گناباد، کاشمر، نیشابور، گل‌مکان، کمترین مقدار بارندگی ثبت شده و به دنبال آن خشکسالی هواشناسی خیلی شدید و شدید اتفاق افتاده است. کمترین عملکرد گندم و جو دیم در طول دوره مطالعاتی، با انطباق زمانی کامل، در همان سال ۷۸-۷۹ ثبت شده است. در سال زراعی ۸۷-۸۶ در ایستگاه‌های تربت‌جام، قوچان، تربت‌حیدریه، کمترین مقدار بارندگی و به دنبال آن خشکسالی خیلی شدید و شدید اتفاق افتاده است ولی انطباق با عملکرد گندم و جو دیم نداشت. بر اساس همبستگی بین عملکرد گندم و جو دیم و پارامترهای هواشناسی نقش بارندگی و رطوبت نسبی از سایر عوامل بیشتر بود. روابط رگرسیونی متغیرهای اقلیمی با عملکرد گندم و جو دیم در اغلب موارد معنی‌دار بود. نتایج نشانگر انطباق نسبی خشکسالی کشاورزی با نمایه‌های خشکسالی هواشناسی بود ولی این انطباق در مناطق با بارش کم، ناچیز بوده است.

واژه‌های کلیدی: بارندگی، خشکسالی، دیمکاری، خراسان

مقدمه

از میانگین بارندگی سنجیده می‌شود (زارع ایبانه و محبوبی، ۱۳۸۳). کمبود آب غالباً یکی از مهم‌ترین علل کاهش عملکرد در واحد سطح مناطق خشک و نیمه‌خشک به شمار می‌آید (متلون^۴، ۱۹۹۰). ورگینی و تودیسکو^۵ (۲۰۱۱) گزارش نمودند که بخش کشاورزی نخستین بخشی است که تحت تأثیر خشکسالی قرار گرفته و بیشترین صدمه را از آن متحمل می‌شود. با توجه به اثرات منفی گسترده خشکسالی، شناخت و پایش آن اهمیت بسزایی دارد و نمایه‌های متنوعی جهت ارزیابی آن ارائه شده است. مک کی و همکاران^۶ (۱۹۹۳) نمایه بارش استاندارد شده را برای پایش خشکسالی ارائه داده و از این نمایه برای پایش خشکسالی در کلرادو استفاده نمودند. لوکاس و همکاران^۷ (۲۰۰۳) به محاسبه سه نمایه عدد، ناهنجاری بارش،

کشور ایران در پهنه‌ای از مناطق خشک و نیمه‌خشک واقع شده و وقوع خشکسالی با تاریخ منطقه عجین و آیین‌های باران‌خواهی با سابقه هفت‌هزار ساله، مؤید این نکته است (پاپلی یزدی، ۱۳۷۸). خشکسالی پدیده طبیعی خزنده با اثراتی در سطوح گسترده جغرافیایی است که شروع و پایان آن دقیقاً مشخص نبوده و برنامه‌ریزی را با مشکل مواجه می‌سازد. بارش عمده‌ترین متغیری است که در تعریف خشکسالی بکار رفته است، یعنی خشکسالی و ترسالی در مقایسه با کمتر یا بیشتر بودن ریزش‌های جوی

^۱ دانشجوی کارشناس ارشد هواشناسی کشاورزی، دانشگاه سمنان
^۲ استادیار گروه مدیریت مناطق بیابانی، دانشکده کویر شناسی،

دانشگاه سمنان

(*) نویسنده مسئول: (hkaboli@semnan.ac.ir)

^۳ دانشیار گروه بیابان‌زدایی، دانشکده کویر شناسی، دانشگاه سمنان

^۴ Matlon

^۵ Vergni and Todisco

^۶ Mckee et al.

^۷ Loukas et al.

تغییرپذیری عملکرد چهار محصول دیم در مشهد و بیرجند پرداخت و برای پیش‌بینی عملکرد محصولات مدل چند متغیره با ساختار اطلاعاتی همه عوامل شامل پارامترهای هواشناسی و مقادیر کمی شده نمایه خشکسالی را توصیه کرد. نصرالهی و همکاران (۱۳۹۴) به تهیه الگوهای زمانی و مکانی نمایه خطر خشکسالی در استان سمنان پرداختند که در گام زمانی ۱۲ ماهه مناطق جنوبی استان از خطر خشکسالی بیشتری برخوردار بودند. احمدی و فلاح قاله‌ری (۱۳۹۴) به طبقه‌بندی اقلیم کشاورزی منطقه شمال شرق بر اساس نمایه‌های اکولوژیکی پرداختند که با توجه به شرایط گرمایی و رطوبتی، منطقه در طبقات اقلیمی بری بیابانی، بیابانی و نیمه‌خشک بری قرار گرفت. رجبی (۲۰۱۶) با استفاده از نمایه SPI و مدل LARS-WG به بررسی اثر تغییرات آب و هوایی در خشکسالی در کرمانشاه پرداخت و گزارش کرد که تغییرات بارش به دلیل تنوع آب‌وهوا در آینده افزایش در شدت خشکسالی متوسط و شدید ایجاد نمی‌کند. گندم و جو از محصولات دارای اهمیت و در اولین گروه محصولات متأثر از خشکسالی قرار دارند. در پژوهش حاضر انطباق نمایه‌های خشکسالی هواشناسی با عملکرد محصول دیم گندم و جو به عنوان نمایه خشکسالی کشاورزی مورد ارزیابی قرار گرفت تا ضمن ارزیابی روابط متغیرهای هواشناسی با تغییرات عملکرد محصول، کارایی نمایه‌های مختلف در تعیین واقعی شرایط خشکسالی مشخص گردد.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه از داده‌های ده ایستگاه هواشناسی واقع در استان خراسان رضوی مطابق با جدول ۱ استفاده شده است. همچنین داده‌های مربوط به عملکرد محصول گندم و جو دیم از سازمان جهاد کشاورزی استان اخذ شد (آمارنامه کشاورزی، ۱۳۹۱؛ سالنامه آماری هواشناسی، ۱۳۹۱). اطلاعات هواشناسی شامل بارندگی، دما، ساعات آفتابی، تبخیر از تشت و رطوبت نسبی از سازمان هواشناسی اخذ گردید و متوسط دمای سالیانه و رطوبت نسبی و مجموع سالانه ساعات آفتابی و تبخیر از تشت و بارندگی بر اساس سال زراعی در دوره مشترک آماری ۱۹ ساله از سال زراعی ۷۳-۷۴ تا ۹۱-۹۲ برای ایستگاه‌ها استخراج گردید.

بارش استاندارد در مقیاس‌های زمانی متفاوت در یونان پرداختند که هر سه روند مشابهی در مقیاس ۱۲ ماهه داشتند. خوش‌اخلاق (۱۳۷۶) برای شناسایی دوره‌های خشک و مرطوب سالانه از ضرایب آماری به‌ویژه نمایه استاندارد بارش ۳۷ ایستگاه سینوپتیک استفاده کرد و الگوهای ماهانه خشکسالی و ترسالی ایران را تحلیل کرد. خلیلی و بذرافشان (۱۳۸۲) گزارش کردند نمایه‌های خشکسالی و ترسالی در اقلیم مختلف ایران طی یک دوره بلندمدت نشان‌دهنده خشکسالی شدید یا بسیار شدید است که در منطقه اتفاق افتاده است. نتایج این پژوهش نشان‌دهنده دقت نمایه نمرات نرمال شده بارش و نمایه SPI^۱ نسبت به سایر نمایه‌ها بوده است. صفدری و همکاران (۱۳۸۲) با توجه به فراوانی خشکسالی‌های به وقوع پیوسته در حوزه کارون با استفاده از نمایه SPI به پهنه‌بندی خشکسالی پرداخته‌اند. انصافی مقدم (۱۳۸۶) در ارزیابی نمایه خشکسالی اقلیمی و تعیین مناسب‌ترین نمایه در حوضه دریاچه نمک به این نتیجه رسید که نمایه SPI و دهک‌ها، مقارن با سال وقوع کمینه بارندگی، رخداد خشکسالی شدید و بسیار شدید است و کارایی بیشتری نسبت به سایر نمایه‌ها از جنبه نمایش خشکسالی بسیار شدید دارند. بداق جمالی و جوانمرد (۱۳۸۱) پایش و پهنه‌بندی خشکسالی استان خراسان را با استفاده از نمایه SPI انجام دادند و نقشه‌های پهنه‌بندی خشکسالی استان را با استفاده از دو مدل عکس فاصله وزنی و کریجینگ به دست آوردند. کنسلیر و همکاران^۲ (۲۰۰۷) خشکسالی‌های ماهانه را با توابع انتقال احتمال، شاخص‌های SPI و فرض بهنجار بودن داده‌های بارندگی ماهانه پیش‌بینی کردند. گمرکچی و همکاران (۱۳۸۸) ارزیابی خشکسالی و تاثیر آن بر عملکرد گندم دیم استان قزوین را انجام دادند و گزارش کردند که نمایه خشکسالی بارش استاندارد شده در ایستگاه معرف بهترین نمایه در بررسی اثرات خشکسالی بوده و این نمایه با مقیاس سالانه بیشترین همبستگی با عملکرد گندم دیم دارد. میردار سلطانی (۱۳۹۱) ایستگاه‌های هواشناسی استان مازندران را از نظر احتمال بالقوه خشکسالی رتبه‌بندی نمود و نشان داد که مشخصه‌های خشکسالی‌ها از شرق به غرب افزایش می‌یابند. زارع‌ابیان (۱۳۹۲) به بررسی نقش عوامل اقلیمی و خشکسالی بر

¹ Standard Precipitation Index

² Cancelliere et al.

رگرسیون شامل نرمال بودن، خطی بودن، ثابت بودن واریانس و فرض استقلال خطاها مورد بررسی و تأیید قرار گرفته و بررسی رگرسیون صورت گرفت. روش رگرسیون گام‌به‌گام برای مدل‌سازی معادله‌های رگرسیونی برای پیش‌بینی عملکرد گندم و جو دیم انتخاب شد. پهنه‌بندی و ترسیم نقشه‌ها به کمک نرم‌افزار ArcGIS(10.2) انجام گردید. اطلاعات سطح و عملکرد محصولات مربوط به دو بخش از منطقه پژوهش (به عنوان نمونه) به تفکیک سال زراعی در جدول ۲ و ۳ ارائه و میانگین بلندمدت تمام مناطق در جدول ۴ درج شده است.

نتایج و بحث

میزان متوسط بارندگی در استان خراسان رضوی ۲۰۵/۶ میلی‌متر بوده که از متوسط جهانی کمتر است و توزیع بارش از شمال به جنوب استان کاهش می‌یابد. این استان دارای تابستان‌های گرم و زمستان‌های نسبتاً سرد است. میانگین دمای سالانه از شمال به جنوب افزایش می‌یابد. به استناد آمار ثبت شده، بیشترین و کمترین میزان عملکرد گندم و جو دیم در دوره آماری به ترتیب در قوچان و گناباد حاصل شده است. استان خراسان رضوی در طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن جزو مناطق خشک کشور به شمار می‌رود. از نظر فراوانی خشکسالی‌های ایستگاه‌ها بر مبنای کمتر از میانگین درازمدت بارندگی، بر اساس نمایه Z، سبزوار و گناباد با یازده سال و قوچان، سرخس و مشهد با هشت سال دارای بیشترین و کمترین تعداد خشکسالی بوده‌اند. شایان ذکر است که طبق جدول ۵ نمایه PN کمترین فراوانی و نمایه Z بیشترین فراوانی خشکسالی‌ها را به خود اختصاص داده‌اند. تغییرات عملکرد گندم و جو دیم در این دوره مشهود بوده (شکل ۱) و در ارتباط با نمایه‌های خشکسالی قرار داشته است. در سال‌هایی که نمایه‌ها، خشکسالی را تأیید کردند، عملکرد محصولات نسبت به سال قبل کاهش چشمگیری داشت. در شکل‌های ۲ و ۳ پهنه‌بندی میزان متوسط عملکرد گندم و جو دیم بیانگر کاهش عملکرد از شمال به جنوب استان است.

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک

نام ایستگاه	ارتفاع		عرض جغرافیایی N		طول جغرافیایی E	
	(متر)	دقیقه	درجه	دقیقه	درجه	دقیقه
قوچان	۱۲۸۷	۳۷	۱۰	۵۸	۳۰	۵۸
سرخس	۲۸۰	۳۶	۳۲	۶۱	۰۸	۶۱
سبزوار	۹۴۳	۳۶	۱۰	۳۹	۵۷	۳۹
گلمکان	۱۱۷۶	۳۶	۲۹	۵۹	۱۷	۵۹
مشهد	۹۹۹/۲	۳۶	۱۶	۵۹	۳۸	۵۹
نیشابور	۱۲۱۳	۳۶	۱۶	۵۸	۴۸	۵۸
ترت حیدریه	۱۴۵۱	۳۵	۱۶	۵۹	۱۳	۵۹
کاشمر	۱۱۱۰	۳۵	۱۲	۵۸	۲۸	۵۸
گناباد	۱۰۵۶	۳۴	۲۱	۵۸	۴۱	۵۸
ترت‌جام	۹۵۰	۳۵	۱۵	۶۰	۳۵	۶۰

نمایه‌های خشکسالی هواشناسی

نمایه درصدی از بارش نرمال

این نمایه از تقسیم میزان بارندگی رخ داده بر مقدار بارندگی نرمال میانگین درازمدت به دست می‌آید و حسب درصد بیان می‌شود. نمایه Z استاندارد^۱ از ضرایب آماری است که به احتمال وقوع و عدم وقوع خشکسالی می‌پردازد. نمایه دهک^۲ مرتب کردن داده‌های بارندگی ماهانه یا سالانه برحسب دهک‌ها و بر اساس توزیع نرمال، یکی دیگر از روش‌های پایش خشکسالی است. اساس کار نمایه SPI احتمالات بارندگی برای هر مقیاس زمانی است. طبق این روش دوره خشکسالی هنگامی اتفاق می‌افتد که SPI به‌طور مستمر منفی و به مقدار ۱- یا کمتر برسد و هنگامی پایان می‌یابد که SPI مثبت گردد. داده‌های بارندگی به‌عنوان داده اصلی برای تعیین نمایه‌های خشکسالی، نسبت به نرمال بودن و همگنی (تصادفی بودن) آن‌ها به ترتیب با آزمون کلمگروف اسمیرونوف و آزمون ران تست در نرم‌افزار SPSS(16) بررسی شد. داده‌های بارندگی وارد محیط نرم‌افزار Excel و با فرمت text وارد نرم‌افزار DIP(2) شده و نمایه‌های Z، DI، SPI و PN^۳ محاسبه شدند. همبستگی با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون بین عملکرد گندم و جو دیم با عوامل هواشناسی (بارندگی، دما، تبخیر از تشت، مجموع سالانه ساعت آفتابی و رطوبت نسبی) و نمایه‌های خشکسالی (DI، SPI، PN و Z) به‌عنوان متغیر مستقل با کمک نرم‌افزار SPSS(16) محاسبه شد. فرضیه‌های اصلی مدل

¹ Z-Score Index

² DI: Deciles of precipitation Index

³ PN: Percent of Normal

جدول ۲- اطلاعات زراعی و پارامترهای محاسبه شده هواشناسی محدوده شهرستان مشهد

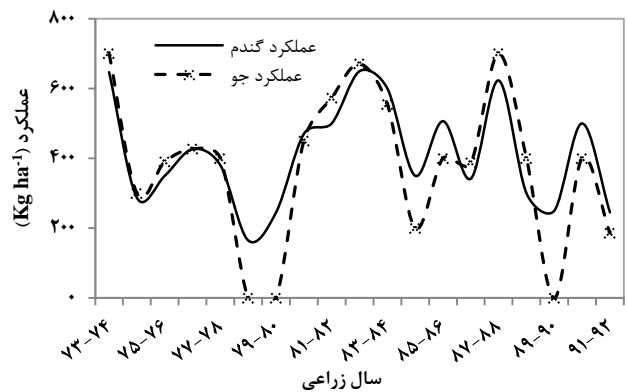
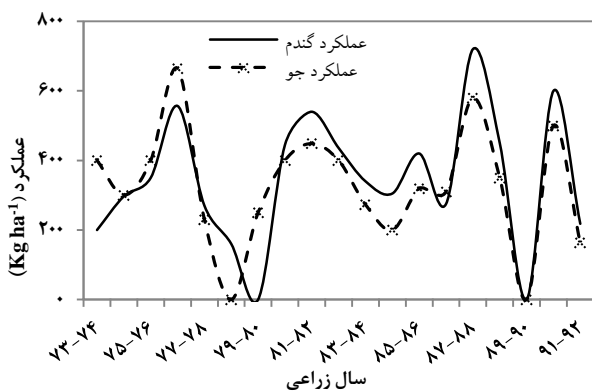
سال	سطح (ha)	عملکرد (Kg ha ⁻¹)	گندم دیم		رطوبت نسبی (%)	ساعات آفتابی (مجموع سالانه)	تبخیر از تشت (mm)	دما (°C)	بارش (mm)
			سطح (ha)	عملکرد (Kg ha ⁻¹)					
۱۳۷۳	۳۵۰۰۰	۷۰۰	۴۲۰۰۰	۶۴۶/۶۷	۴۹	۲۱۳۱/۹	۱۸۵۹/۵	۱۵/۵	۲۶۱/۸
۱۳۷۴	۱۰۰۰۰	۳۰۰	۵۹۹۰۰	۲۸۷/۰۸	۵۵	۲۹۰۰/۹	۱۶۶۴/۴	۱۴/۵	۱۷۴
۱۳۷۵	۱۸۰۰۰	۳۹۰	۶۷۰۰۰	۳۵۰	۵۴	۳۰۵۸/۱	۱۷۸۲/۳	۱۵/۴	۲۰۲/۴
۱۳۷۶	۱۷۰۳۱	۴۲۶/۸۷	۶۲۹۳۵	۴۲۶/۵۲	۵۷	۲۸۸۷/۶	۱۹۲۰/۷	۱۵/۰	۳۹۴/۸
۱۳۷۷	۲۱۴۷۲	۴۰۰/۰۱	۳۶۸۵۵	۳۸۰	۵۳	۳۰۷۹/۶	۱۸۷۴/۵	۱۶/۱	۲۳۴/۹
۱۳۷۸	۰	۰	۱۸۵۰	۱۶۴/۸۶	۴۷	۳۱۴۴/۳	۱۹۵۰/۶	۱۶/۱	۱۰۴/۷
۱۳۷۹	۰	۰	۱۰۰۸	۲۴۵/۰۴	۴۵	۳۰۳۶/۲	۱۹۸۲/۵	۱۶/۰	۱۵۷/۸
۱۳۸۰	۲۰۰۰	۴۵۰	۳۱۲۰۰	۴۷۰	۴۶	۲۸۸۶/۶	۱۸۴۷/۹	۱۶/۳	۲۵۳/۱
۱۳۸۱	۷۲۲۰	۵۷۳/۲۷	۲۶۰۸۸	۵۰۰	۶۰	۲۷۸۷/۹	۱۷۷۴/۲	۱۵/۳	۲۳۱/۲
۱۳۸۲	۱۵۹۱۱	۶۷۱/۱۱	۲۵۰۸۰	۶۴۹/۵۲	۵۳	۲۹۷۶/۹	۱۶۱۵/۷	۱۵/۹	۲۷۰/۹
۱۳۸۳	۱۳۸۰۰	۵۵۴/۷۱	۲۷۵۰۰	۶۰۰	۵۱	۲۹۴۲/۴	۱۸۹۲/۶	۱۵/۶	۲۸۰/۶
۱۳۸۴	۳۳۰۰	۲۰۰	۷۴۰۰	۳۵۰	۴۶	۳۱۳۳/۱	۲۱۸۵/۹	۱۶/۴	۱۶۵/۵
۱۳۸۵	۱۰۸۵۰	۴۰۰	۲۱۷۰۰	۵۰۶/۴۵	۵۱	۲۹۸۲/۴	۱۹۰۸/۱	۱۶/۰	۲۸۵/۶
۱۳۸۶	۲۴۲۸	۳۸۷/۵۶	۹۰۶۰	۳۴۱/۶۱	۴۴	۳۰۹۷/۹	۲۱۶۸/۷	۱۵/۱	۱۳۹/۵
۱۳۸۷	۱۷۰۰۰	۷۰۰	۳۹۲۱۵	۶۲۲/۹۲	۵۳	۲۸۴۲/۷	۱۸۱۳/۲	۱۵/۵	۲۹۲/۴
۱۳۸۸	۷۰۰۰	۴۰۰	۲۷۰۰۰	۳۰۰	۴۷	۲۹۰۰	۱۷۳۹	۱۶/۲	۱۷۴/۹
۱۳۸۹	۱۲۰۰	۰	۱۳۰۰۰	۲۵۰	۴۵	۳۱۳۳/۵	۱۹۴۱/۵	۱۶/۸	۱۲۰/۱
۱۳۹۰	۹۰۰۰	۴۰۰	۳۱۰۰۰	۵۰۰	۴۶	۲۹۵۸/۳	۱۸۳۹/۱	۱۴/۸	۲۹۷/۶
۱۳۹۱	۷۵۵۷	۱۸۶/۴	۲۳۶۵۶	۲۴۵/۲	۴۵	۳۰۷۸/۴	۱۸۶۲/۹	۱۶/۲	۲۵۸

جدول ۳- اطلاعات زراعی و پارامترهای محاسبه شده هواشناسی محدوده شهرستان تربت جام

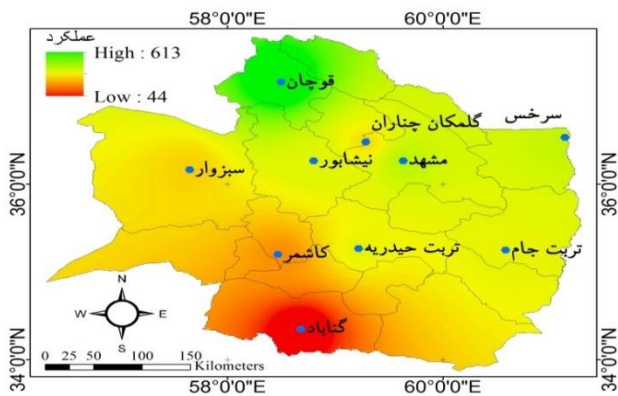
سال	سطح (ha)	عملکرد (Kg ha ⁻¹)	گندم دیم		رطوبت درصد (%)	ساعات آفتابی (مجموع سالانه)	تبخیر از تشت (mm)	دما (°C)	بارش (mm)
			سطح (ha)	عملکرد (Kg ha ⁻¹)					
۱۳۷۳	۳۰۰۰	۴۰۰	۲۰۰۰۰	۲۰۰	۴۴	۲۰۶۱	۲۵۲۰/۳	۱۵/۵	۱۸۹
۱۳۷۴	۶۵۰۰	۳۰۰	۳۰۰۰۰	۲۹۷	۴۵	۲۷۸۵/۱	۲۴۹۳/۷	۱۴/۶	۱۴۸/۹
۱۳۷۵	۷۰۰۰	۴۰۰	۳۰۰۰۰	۳۵۰	۴۶	۲۸۷۶/۱	۲۳۷۷/۳	۱۵/۳	۱۸۹/۶
۱۳۷۶	۵۶۶۸	۶۶۳/۹	۲۹۰۹۶	۵۵۶/۷	۵۰	۳۱۹۹/۴	۲۳۶۴/۸	۱۶/۴	۳۰۴/۸
۱۳۷۷	۷۵۰۰	۲۳۰	۲۰۰۰۰	۲۷۰	۴۸	۳۲۵۹/۵	۲۷۱۹/۸	۱۶/۱	۲۱۸/۷
۱۳۷۸	۰	۰	۵۰۰	۱۶۰	۴۵	۳۳۹۱/۸	۶۴۴۴/۶	۱۵/۹	۸۶/۶
۱۳۷۹	۴۰	۲۵۰	۰	۰	۴۵	۳۳۱۰/۳	۲۶۴۵	۱۵/۹	۲۱۶/۴
۱۳۸۰	۵۱۰۰	۴۰۰	۱۳۲۰۰	۴۴۵	۴۵	۳۱۳۶/۴	۲۷۴۵/۹	۱۶/۵	۱۴۵
۱۳۸۱	۵۰۵۰	۴۴۸/۵	۱۴۶۰۰	۵۴۰	۴۶	۳۰۷۳/۴	۲۴۸۸/۱	۱۵/۶	۲۰۲/۸
۱۳۸۲	۵۱۸۴	۴۰۰/۱	۱۱۳۰۰	۴۳۵/۷	۴۴	۳۲۱۳/۲	۲۷۱۹/۴	۱۶/۲	۱۶۹/۹
۱۳۸۳	۵۰۴۰	۲۷۳	۱۳۱۰۰	۳۴۰	۴۸	۳۱۰۰/۱	۲۵۹۸/۳	۱۵/۶	۱۷۲/۴
۱۳۸۴	۷۵۰	۲۰۰	۲۴۰۰	۳۰۵	۴۳	۳۳۳۸/۵	۲۸۳۸/۵	۱۶/۱	۱۰۷/۲
۱۳۸۵	۵۳۵۰	۳۱۹/۱	۲۷۰۰۰	۴۲۰	۵۱	۳۱۴۹/۵	۲۶۲۴/۹	۱۶/۱	۲۲۴/۴
۱۳۸۶	۱۲۰۰	۳۱۰	۳۰۰۰	۲۷۵	۴۵	۳۲۸۱/۶	۲۸۸۷/۹	۱۵/۰	۶۷/۹
۱۳۸۷	۴۷۰۰	۵۸۰	۱۹۰۰۰	۷۲۰	۵۳	۲۹۸۲/۹	۲۴۱۲/۱	۱۵/۶	۲۴۱/۵
۱۳۸۸	۳۳۰۰	۲۵۰	۱۱۶۱۸	۴۵۰	۴۸	۳۲۶۶/۷	۲۴۵۳/۸	۱۶/۳	۱۹۲
۱۳۸۹	۷۰۰	۰	۰	۰	۴۳	۳۶۴۶/۱	۳۲۱۶/۵	۱۶/۶	۹۲
۱۳۹۰	۲۰۰۰	۵۰۰	۴۰۰۰	۶۰۰	۴۵	۳۱۶۸/۹	۲۵۹۹/۶	۱۵/۱	۱۲۴/۵
۱۳۹۱	۱۲۳۷	۱۶۳/۳	۴۴۴۷	۲۱۷/۹	۴۶	۳۲۶۰/۵	۲۵۰۹	۱۶/۳	۱۴۶/۶

جدول ۴- سطح و عملکرد محصولات و پارامترهای هواشناسی در دوره آماری ۱۹ ساله

ایستگاه	جو		گندم		رطوبت نسبی (%)	ساعات آفتابی (مجموع سالانه)	تبخیر از تشت (mm)	دما (°C)	بارش (mm)
	سطح (ha)	عملکرد (Kg ha ⁻¹)	سطح (ha)	عملکرد (Kg ha ⁻¹)					
مشهد	۱۰۴۶۱/۵	۳۷۵/۸	۲۹۱۲۸/۸	۴۱۲/۴	۵۰	۲۹۴۴/۲	۱۸۷۴/۹	۱۵/۷	۲۲۶/۳
ترت جام	۳۶۴۸/۴	۳۲۵/۷	۱۳۳۲۹/۵	۳۴۶/۴	۴۶	۳۱۳۰/۶	۲۸۲۴/۲	۱۵/۸	۱۷۰/۶
سرخس	۱۹۶۶/۸	۳۶۵/۱	۱۷۲۲۸/۲	۴۳۹/۲	۵۰	۲۹۷۷/۳	۲۳۳۳/۸	۱۸/۵	۱۷۸/۳
سبزوار	۲۸۰۸/۸	۲۷۱/۸	۱۱۷۴۵/۹	۳۲۵/۱	۴۱	۳۱۴۳/۰	۲۰۷۲/۲	۱۸/۳	۱۷۹/۸
گناباد	۲۹/۵	۴۴/۵	۳۷۶/۵	۹۳/۵	۳۹	۳۲۸۴/۹	۲۶۵۶/۷	۱۷/۶	۱۲۳/۶
کاشمر	۵۶۶/۷	۲۰۶/۹	۱۶۶۸/۲	۲۵۳/۱	۴۱	۳۲۰۲/۶	۲۳۹۶/۳	۱۸/۰	۱۸۱/۹
نیشابور	۲۲۲۶/۷	۳۳۷/۱	۱۵۸۵۲/۲	۴۰۲/۷	۵۰	۳۰۷۳/۸	۲۰۶۲/۵	۱۴/۵	۲۲۷/۸
قوچان	۱۲۲۲۱/۰	۶۱۴/۰	۳۵۶۶۵/۴	۶۲۸/۳	۵۷	۲۸۸۹/۴	۱۴۹۰/۰	۱۲/۹	۳۱۶/۶
گلمکان	۲۵۹۵/۱	۲۸۷/۱	۶۶۴۰/۰	۳۴۱/۵	۵۰	۲۹۹۱/۰	۱۸۰۳/۸	۱۳/۸	۲۰۵/۴
ترت حیدریه	۳۹۲۱/۸	۳۲۵/۱	۱۵۷۷۵/۹	۳۹۵/۷	۴۶	۳۲۵۴/۱	۲۶۷۷/۸	۱۴/۴	۲۴۶/۲
قوچان	۱۲۲۲۱/۰	۶۱۴/۰	۳۵۶۶۵/۴	۶۲۸/۳	۵۷	۲۸۸۹/۴	۱۴۹۰/۰	۱۲/۹	۳۱۶/۶

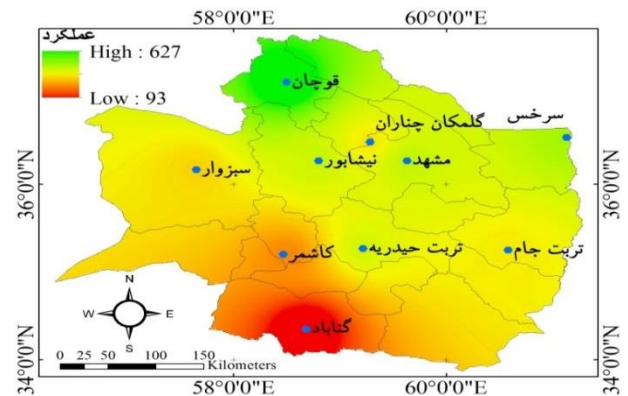


شکل ۱- تغییرات عملکرد گندم و جو در دو شهرستان مشهد (راست) و تربت جام (چپ) در دوره آماری



شکل ۳- پهنه‌بندی میزان متوسط عملکرد جو در دوره آماری (Kg ha⁻¹)

ایستگاه‌ها خشکسالی رخ داده است. سال ۷۸-۷۹ و ۸۶-۸۷ مطابق با سال‌های کمینه بارندگی است و در سال ۷۹-۸۰ به جز تربت جام و در سال ۸۹-۹۰ به جز سبزوار در بقیه ایستگاه‌ها خشکسالی رخ داده است. نمودار پهنه‌بندی این ۵ سال با توجه به نمایه SPI، که به عنوان برترین نمایه پژوهش در شکل ۴ ترسیم شده است. بر اساس نتایج، کاهش عملکرد گندم و جو در سال‌های خشک مشهود است.



شکل ۲- پهنه‌بندی میزان متوسط عملکرد گندم در دوره آماری (Kg ha⁻¹)

ارتباط عملکرد گندم و جو در دوره آماری با عوامل و نمایه‌ها ضریب همبستگی پیرسون بین عملکرد گندم و جو در دوره آماری با عوامل هواشناسی (بارندگی، دما، تبخیر از تشت، مجموع سالانه ساعت آفتابی و رطوبت نسبی) و نمایه‌های خشکسالی (نمایه‌های DI و SPI، PN و Z) بررسی و نتایج دو شهرستان مشهد و تربت جام در جدول ۸ و نتایج بررسی همبستگی در جدول ۹ ارائه گردید. بر اساس جدول‌های ۶ و ۷، در سال‌های ۷۸-۷۹، ۸۴-۸۵ و ۸۶-۸۷ در کل

جدول ۵- تعداد فراوانی خشکسالی‌ها

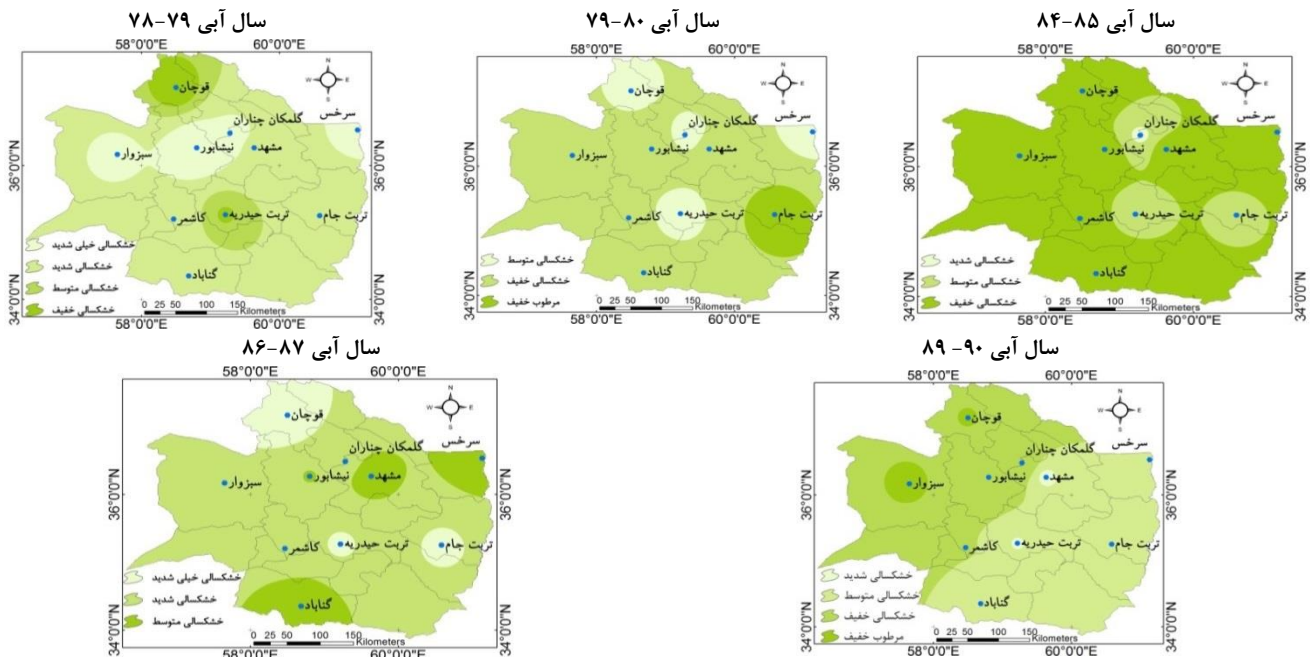
ایستگاه	Z	SPI	PN	DI	ایستگاه	Z	SPI	PN	DI
مشهد	۸	۷	۷	۸	کاشمر	۹	۷	۶	۶
ترت جام	۹	۹	۳	۸	نیشابور	۱۰	۹	۳	۹
سرخس	۸	۷	۴	۶	قوچان	۸	۷	۴	۷
سبزوار	۱۱	۱۱	۴	۹	گلمکان	۹	۸	۴	۷
گناباد	۱۱	۱۱	۵	۷	ترت حیدریه	۹	۸	۵	۶

جدول ۶- سال وقوع کمینه بارندگی و شدت خشکسالی در آن

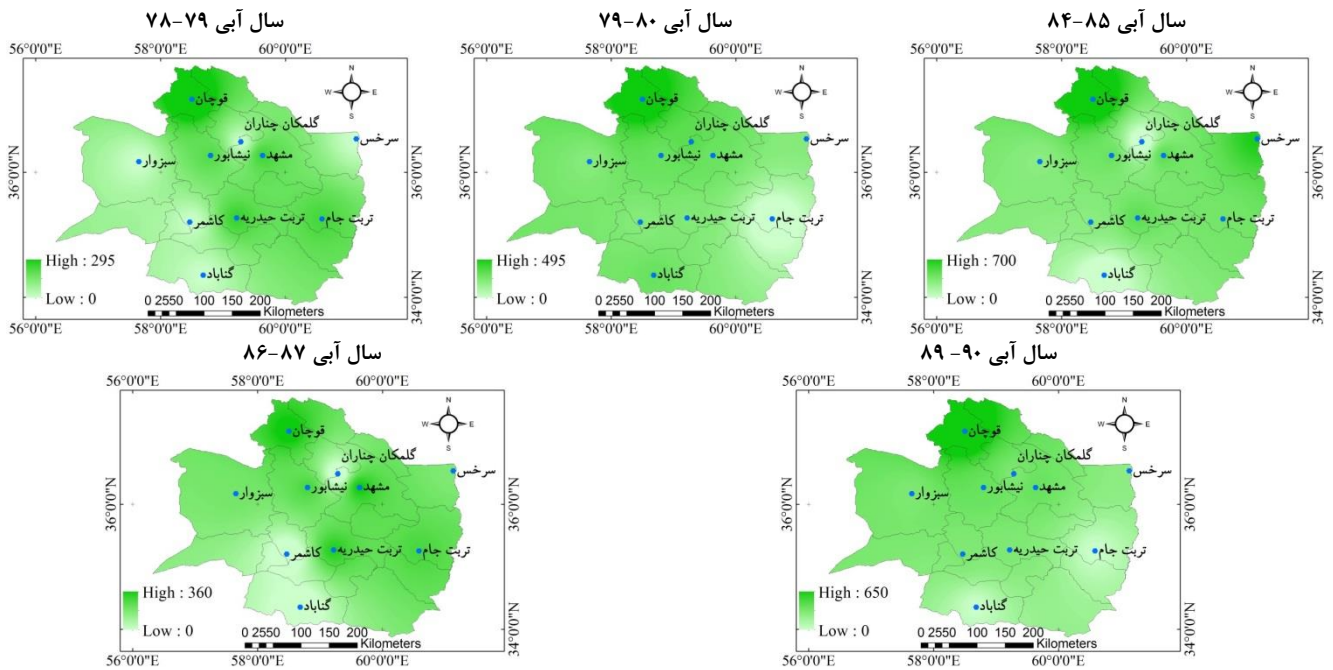
ایستگاه	سال وقوع	کمینه بارش	Z	SPI	PN	DI
مشهد	۷۸	۱۰۴/۸	شدید	شدید	شدید	خیلی شدید
ترت جام	۸۶	۶۷/۹	شدید	خیلی شدید	خیلی شدید	خیلی شدید
سرخس	۷۸	۷۷/۵	شدید	خیلی شدید	شدید	خیلی شدید
سبزوار	۷۸	۸۲/۷	شدید	خیلی شدید	شدید	خیلی شدید
گناباد	۷۸	۴۷/۳	متوسط	شدید	خیلی شدید	خیلی شدید
کاشمر	۷۸	۷۸/۸	شدید	شدید	شدید	خیلی شدید
نیشابور	۷۸	۹۳/۷	شدید	خیلی شدید	شدید	خیلی شدید
قوچان	۸۶	۱۴۷/۹	شدید	خیلی شدید	شدید	خیلی شدید
گلمکان	۷۸	۱۰۷/۴	شدید	خیلی شدید	شدید	خیلی شدید
ترت حیدریه	۸۶	۹۷/۲	شدید	خیلی شدید	خیلی شدید	خیلی شدید

جدول ۷- تعداد خشکسالی‌های ایستگاه‌ها بر مبنای بارش کمتر از میانگین (نمایه Z)

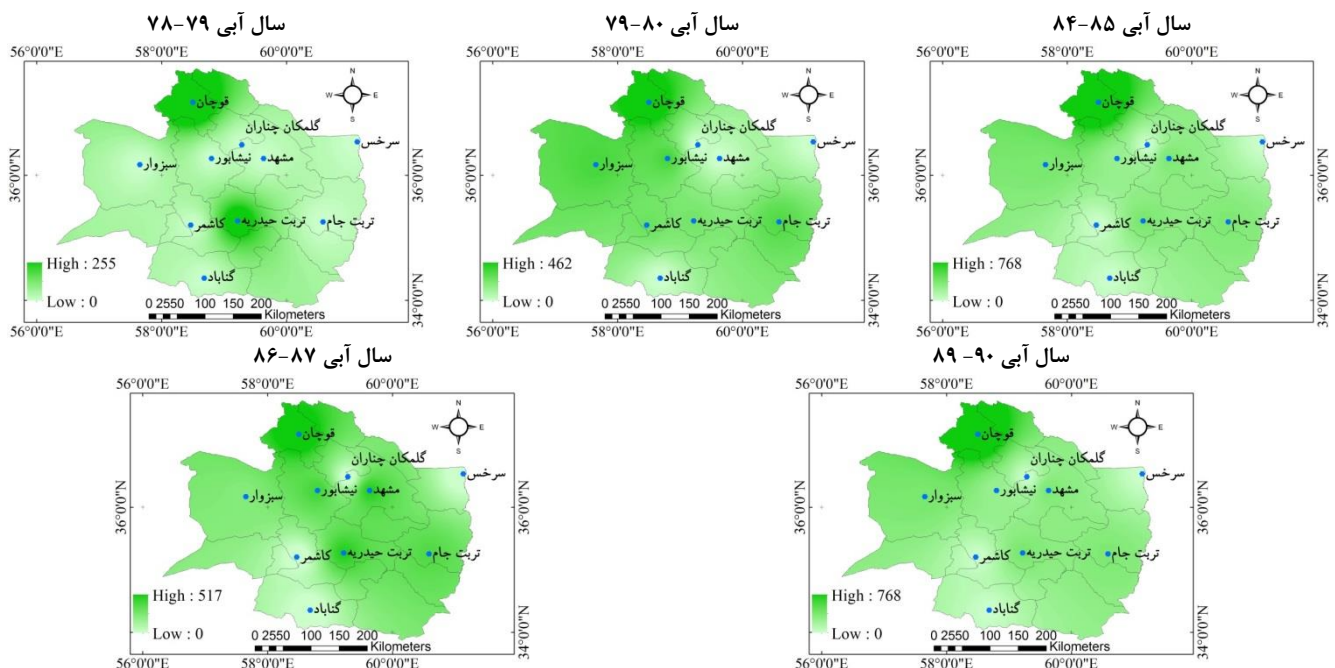
سال	۷۳	۷۴	۷۵	۷۶	۷۷	۷۸	۷۹	۸۰	۸۱	۸۲	۸۳	۸۴	۸۵	۸۶	۸۷	۸۸	۸۹	۹۰	۹۱	مجموع
مشهد	*	*	*				*	*				*	*	*						۸
ترت جام								*	*	*		*	*	*						۹
سرخس					*	*	*					*	*	*						۸
سبزوار	*				*	*	*	*	*	*		*	*	*						۱۱
گناباد			*	*	*	*	*	*	*	*		*	*	*						۱۱
کاشمر			*	*	*	*	*	*	*	*		*	*	*						۹
نیشابور	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		*	*	*						۱۰
قوچان	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		*	*	*						۸
گلمکان	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		*	*	*						۹
ترت حیدریه	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		*	*	*						۹



شکل ۴- نقشه پهنه بندی خشکسالی در پنج سال آبی با نمایه SPI در سطح استان



شکل ۵- نقشه پهنه بندی عملکرد گندم دیم (Kg ha^{-1}) در پنج سال آبی با وضعیت خشکسالی در سطح استان



شکل ۶- نقشه پهنه بندی عملکرد گندم جو (Kg ha^{-1}) در پنج سال آبی با وضعیت خشکسالی در سطح استان

همبستگی چندگانه به این صورت است که مقدار R میزان همبستگی را نشان می‌دهد و R^2 نشان می‌دهد که چه مقدار از متغیر وابسته یعنی عملکرد گندم و جو دیم، می‌تواند توسط متغیر مستقل یعنی، عوامل هواشناسی (بارندگی، دما، تبخیر از تشت، مجموع سالانه ساعت آفتابی و رطوبت نسبی) و از نمایه‌های خشکسالی (نمایه‌های DI ، SPI ، PN و Z) تبیین شود.

نتایج روش رگرسیونی به روش گام به گام در تمام ایستگاه‌ها بررسی شد. جهت تلخیص در ارائه مطالب نتایج دو ایستگاه مشهد و قوچان در جدول ۱۰ ارائه شده است که در آن r بارندگی، t دما، m رطوبت، PN نمایه درصد نرمال، e تبخیر از تشت، sd ساعات آفتابی، SPI نمایه بارش استاندارد، Z نمایه استاندارد، R ضریب همبستگی، w عملکرد جو دیم، y عملکرد گندم دیم، DI نمایه دهک، $significant$ معنی‌داری و R^2 ضریب تبیین است. نتایج

جدول ۸- بررسی همبستگی بین عملکرد گندم و جو دیم با عوامل هواشناسی

ایستگاه تربت جام				ایستگاه مشهد					
جو		گندم		جو		گندم			
p-value	correlation	p-value	correlation	p-value	correlation	p-value	correlation		
**	۰/۶۵۲	*	۰/۴۳۱	**	۰/۶۴۵	**	۰/۶۸۷	بارندگی	
ns	-۰/۲۱۲	ns	-۰/۱۳۶	**	-۰/۴۰۴	ns	-۰/۲۶۷	دما	
**	-۰/۵۹۲	*	-۰/۳۵۴	*	-۰/۴۳۳	*	-۰/۳۲۱	تبخیر از تشت	
**	-۰/۴۳	ns	-۰/۱۶۸	**	-۰/۶۱۹	**	-۰/۵۹۳	ساعت آفتابی	
*	۰/۴۹۵	۰/۰۰۴	۰/۵۸۹	**	۰/۵۲۷	*	۰/۳۹۹	رطوبت نسبی	
**	۰/۶۵۰	۰/۰۲۸	۰/۴۴۴	**	۰/۷۰۷	*	۰/۷۶۳	DI	
**	۰/۶۵۲	۰/۰۳۳	۰/۴۳۱	**	۰/۶۴۴	**	۰/۶۸۷	PN	
**	۰/۶۳۴	۰/۰۳۴	۰/۴۲۶	**	۰/۶۸۹	**	۰/۷۲۰	SPI	
**	۰/۶۵۲	۰/۰۳۳	۰/۴۳۱	**	۰/۶۴۴	**	۰/۶۸۷	Z	

ایستگاه سبزوار				ایستگاه سرخس					
جو		گندم		جو		گندم			
p-value	correlation	p-value	correlation	p-value	correlation	p-value	correlation		
۰/۰۱۷	۰/۴۸۸	۰/۰۰۱	۰/۶۶۲	*	۰/۷۲۹	۰/۰۰۱	۰/۶۵۱	بارندگی	
۰/۱۴۸	-۰/۲۵۳	۰/۲۲۵	-۰/۱۸۴	۰/۱۵۹	-۰/۲۴۳	۰/۲۵	-۰/۱۶۵	دما	
۰/۲۴۴	-۰/۱۶۹	۰/۱۸	-۰/۲۲۳	۰/۰۰۷	-۰/۵۵۷	۰/۱۰۵	-۰/۳۰۱	تبخیر از تشت	
۰/۰۱۳	-۰/۵۰۷	۰/۰۲۳	-۰/۴۶۱	۰/۰۰۲	-۰/۶۱۹	۰/۰۰۲	-۰/۶۳۸	ساعت آفتابی	
۰/۰۱۶	۰/۴۹۹	۰/۰۱۷	۰/۴۷۵	۰/۰۱۳	۰/۵۱	۰/۰۰۱	۰/۶۸۳	رطوبت نسبی	
۰/۰۱۷	۰/۴۸۸	۰/۰۰۱	۰/۶۵۳	*	۰/۷۸۶	*	۰/۷۲۱	DI	
۰/۰۱۷	۰/۴۸۸	۰/۰۰۱	۰/۶۶۲	*	۰/۷۲۹	۰/۰۰۱	۰/۶۵۰	PN	
۰/۰۱۴	۰/۵۰۱	۰/۰۰۱	۰/۶۸۹	*	۰/۷۲۸	۰/۰۰۱	۰/۶۵۰	SPI	
۰/۰۱۷	۰/۴۸۸	۰/۰۰۱	۰/۶۶۲	*	۰/۷۲۸	۰/۰۰۱	۰/۶۵۰	Z	

علائم اختصاری: correlation: ضریب همبستگی، p-value: سطح معنی داری رابطه، ** سطح یک درصد، * سطح پنج درصد، non significant: معنی دار نیست (ns)

جدول ۹- بررسی همبستگی بین عملکرد گندم و جو دیم با عوامل هواشناسی و نمایه‌ها در استان

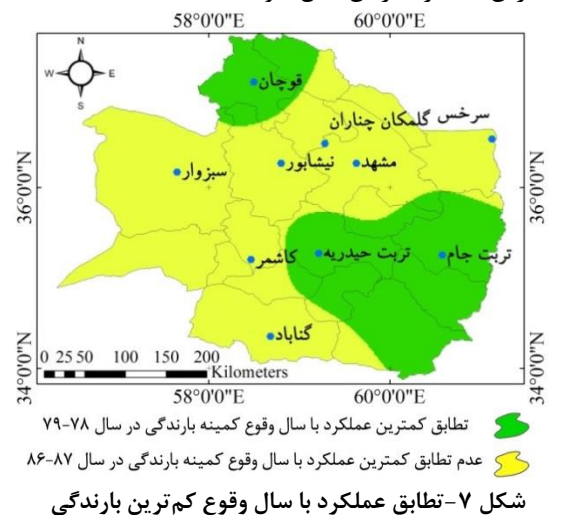
جو		گندم		
p-value	correlation	p-value	correlation	
*	۰/۷۶۴	**	۰/۸۲۷	بارندگی
*	-۰/۳۳۳	۰/۲۴۰	-۰/۱۷۲	دما
*	-۰/۴۹۷	**	-۰/۶۳۲	تبخیر از تشت
*	-۰/۴۲۰	۰/۰۴۴	-۰/۴۰۳	ساعت آفتابی
**	۰/۸۵۷	**	۰/۸۸۷	رطوبت نسبی
**	۰/۸۰۶	**	۰/۸۵۶	DI
**	۰/۷۶۴	**	۰/۸۲۷	PN
**	۰/۷۶۹	**	۰/۸۲۶	SPI
**	۰/۷۶۴	**	۰/۸۲۷	Z

علائم اختصاری: correlation: ضریب همبستگی، p-value: سطح معنی داری رابطه، ** سطح یک درصد، * سطح پنج درصد، non significant: معنی دار نیست (ns)

جدول ۱۰- رابطه عملکرد گندم و جو دیم با عوامل هواشناسی در دو منطقه

ایستگاه	محصول	R	R ²	significant	مدل پیش‌بینی عملکرد (Kg ha ⁻¹)
مشهد	گندم	۰/۷۷۷	۰/۶۰۴	*	y=۱/۱۰۳r-۰/۲۶۱ sd+۹۳۰/۴۳
	جو	۰/۷۶۴	۰/۵۸۳	*	w=۱/۴۴۳r -۰/۴۳۲sd +۱۳۲۱/۱
	گندم	۰/۷۶۳	۰/۵۸۳	**	y=۴۵/۹DI+۴۱۷/۲
	جو	۰/۷۰۷	۰/۵	**	w=۶۲/۶DI+۳۸۲/۳
قوچان	گندم	۰/۷۷۷	۰/۶۰۴	*	y=۱/۱۰۳r-۰/۲۶۱ sd+۹۳۰/۴۳
	جو	۰/۷۶۴	۰/۵۸۳	*	w=۱/۴۴۳r -۰/۴۳۲sd +۱۳۲۱/۱
	گندم	۰/۷۶۳	۰/۵۸۳	**	y=۴۵/۹DI+۴۱۷/۲
	جو	۰/۷۰۷	۰/۵	**	w=۶۲/۶DI+۳۸۲/۳

خشکسالی را تأیید کرده و عملکرد محصولات نسبت به سال قبل کاهش چشم‌گیری داشت. نمایه‌های مورد استفاده بر مبنای بارندگی محاسبه شده بود که مؤثرترین عامل بر عملکرد محصول است. بررسی‌های خشکسالی‌ها که نشان می‌دهد در سال زراعی ۷۹-۷۸، در ایستگاه‌های مشهد، سرخس، سبزوار، گناباد، کاشمر، نیشابور، گل‌مکان، کمترین مقدار بارندگی و به دنبال آن خشکسالی در طول دوره آماری ۱۹ ساله اتفاق افتاده است و گندم و جو دیم کمترین عملکرد را در طول دوره آماری در همان سال ۷۹-۷۸، داشته است. در همین راستا پیری و همکاران (۱۳۹۲) بر اساس نمایه‌های RAI و PN در استان سیستان و بلوچستان در کل شهرهای استان خشکسالی شدید و بسیار شدید گزارش کردند که بیانگر خشکسالی گسترده در این سال است. در سال زراعی ۸۷-۸۶ در ایستگاه‌های تربت‌جام، قوچان، تربت‌حیدریه، کمترین مقدار بارندگی در طول دوره آماری ۱۹ ساله و به دنبال آن خشکسالی اتفاق افتاده است، اما گندم و جو دیم کمترین عملکرد را در طول دوره آماری در همان سال ۸۷-۸۶، نداشته است. با توجه به شکل ۷، به دلیل اینکه در سال قبل یعنی ۸۶-۸۵ برای کلیه ایستگاه‌ها از جمله در ایستگاه‌های تربت‌جام، قوچان و تربت‌حیدریه سال مرطوبی بوده و احتمالاً رطوبت خاک سال قبل تا حدودی حفظ شده است و لذا کمترین عملکرد در آن سال نبوده است.



در مدل برآورد عملکرد گندم و جو دیم در معادلات معنادار بیشترین نمایه تأثیرگذار نمایه DI و پس از آن نمایه SPI بود و همبستگی معنادار در نتایج مشهود بود. از نمایه‌های خشکسالی هواشناسی بر اساس بارش در کنار عوامل هواشناسی تبخیر از تشت، مجموع سالانه ساعات

رابطه بین عملکرد و عوامل هواشناسی

در ایستگاه مشهد به عنوان معرف شرایط اقلیمی محدوده شهرستان، بررسی روابط داده‌ها با عملکرد گندم دیم به دو مدل منجر شد که مدل اول تک متغیره (بارندگی) و مدل دوم از نوع دو متغیره (بارندگی و ساعت آفتابی) بودند. بررسی‌ها در مشهد برای عملکرد جو دیم منجر به ارائه دو مدل شد که مدل اول فقط شامل بارندگی (۰/۰۵) و در مدل دوم بارندگی و ساعت آفتابی در سطح (۰/۰۵) به‌عنوان متغیر تأثیرگذار تعیین شد. در قوچان عملکرد گندم دیم با دو مدل قابل برآورد بود که مدل اول فقط بارندگی را شامل (۰/۰۵) و مدل دوم بارندگی در سطح (۰/۰۵) و ساعت آفتابی در سطح ۰/۰۱ به‌عنوان متغیر تأثیرگذار تعیین شد. در قوچان برای عملکرد جو دیم به یک مدل منجر شد که در آن ساعت آفتابی در سطح (۰/۰۱) به‌عنوان متغیر تأثیرگذار تعیین شد.

رابطه بین عملکرد و نمایه‌های خشکسالی

نتایج معادلات رگرسیونی نشان داد در ۵ ایستگاه مشهد، سرخس، قوچان، گل‌مکان، تربت‌حیدریه نمایه DI در مدل برآورد عملکرد گندم دیم به معادله معنادار منجر شد (۰/۰۵) و در ۳ ایستگاه سبزوار، کاشمر، نیشابور، نمایه SPI در مدل برآورد عملکرد گندم دیم به معادله معنادار منجر شد (۰/۰۵) و در ایستگاه گناباد و تربت‌جام به مدلی منجر نشد. نتایج معادلات رگرسیونی نشان داد در ۶ ایستگاه مشهد، سرخس، قوچان، گل‌مکان، تربت‌حیدریه، کاشمر نمایه DI در مدل برآورد عملکرد جو دیم به معادله معنادار منجر شد (۰/۰۵) و در ۲ ایستگاه سبزوار، نیشابور، نمایه SPI در مدل برآورد عملکرد جو دیم به معادله معنادار منجر شد (۰/۰۵) و در ایستگاه تربت‌جام نمایه Z در مدل برآورد عملکرد جو دیم به معادله معنادار منجر شد (۰/۰۵) و در ایستگاه گناباد به مدلی منجر نشد. نتایج معادلات رگرسیونی نشان داد در استان خراسان رضوی نمایه DI در مدل برآورد عملکرد گندم و جو دیم به معادله معنادار منجر شد.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که عملکرد محصولات زراعی گندم و جو دیم (خشکسالی کشاورزی) در ارتباط مستقیم با نمایه‌های خشکسالی است. در سال‌هایی که نمایه‌ها،

و جو دیم به‌عنوان متغیر وابسته با عوامل هواشناسی (بارندگی، دما، تبخیر از تشت، مجموع سالانه ساعات آفتابی و رطوبت نسبی) بارندگی و رطوبت وجود داشت، یعنی با افزایش آن‌ها عملکرد افزایش یافته است. ضمن اینکه ضریب همبستگی عملکرد گندم و جو دیم با نمایه‌های خشکسالی (DI، SPI، PN و Z) در همه ایستگاه‌ها به جز گناباد معنی‌دار بود. در این رابطه مساعدی و همکاران (۱۳۹۴) شاخص‌های خشکسالی و متغیرهای هواشناسی را مبنای مدلسازی عملکرد گندم و جو دیم قرار داده و کارایی استفاده همزمان از این متغیرها را گزارش نمودند. نتایج معادلات رگرسیونی نشان داد که بارندگی تأثیرگذارترین عامل هواشناسی بود و پس از آن مجموع سالانه ساعت آفتابی و رطوبت نسبی و فقط یک مورد متغیر دما در مدل برآورد عملکرد جو دیم در تربت‌حیدریه به معادله منجر شد و در واقع تبخیر از تشت و دما در معادلات رگرسیونی برای برآورد عملکرد گندم و جو دیم نقش معنی‌دار نداشتند. همانگونه که ذکر شد شاخص‌های خشکسالی اقلیمی در اغلب موارد در ارتباط با شاخص‌های خشکسالی کشاورزی یعنی کاهش محصولات دیم داشته‌اند ولی در سال‌های که خشکسالی پس از ترسالی اتفاق افتاده بود عملکرد این محصولات که در کشت پاییزه کاشته می‌شوند تا حدی تحت تأثیر رطوبت ذخیره شده خاک قرار گرفته و نسبت به حداقل‌های بلند مدت مقادیر بیشتری داشت.

منابع

احمدی، ح.، فلاح قاله‌ری، غ. ۱۳۹۴. طبقه‌بندی اقلیم کشاورزی منطقه شمال شرق بر اساس شرایط گرمایی و رطوبتی. نشریه هواشناسی کشاورزی، ۳(۱): ۶۷-۸۱.
انصافی‌مقدم، ط. ۱۳۸۶. ارزیابی چند نمایه خشکسالی اقلیمی و تعیین مناسب‌ترین نمایه در حوضه دریاچه نمک. تحقیقات مرتع و بیابان، ۱۴(۲): ۲۷۱-۲۷۸.
آمارنامه کشاورزی. ۱۳۹۱. عملکرد محصولات زراعی سال ۱۳۷۳-۱۳۹۱. سازمان جهاد کشاورزی استان خراسان رضوی.
بداق جمالی، ج. جوانمرد، س. ۱۳۸۱. پایش و پهنه‌بندی وضعیت خشکسالی استان خراسان با استفاده از نمایه استاندارد شده بارش. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۱۷(۴): ۴-۲۱.

آفتابی، رطوبت نسبی و دما به‌عنوان عوامل تأثیرگذار در بحث خشکسالی کشاورزی که بر مبنای رطوبت خاک می‌باشد و اندازه‌گیری آن مشکل است می‌توان بهره برد؛ نمایه SPI را می‌توان به‌عنوان برترین نمایه در نظر گرفت چون این نمایه از لحاظ فراوانی خشکسالی، به نمایه Z که بیشترین فراوانی خشکسالی را داراست نزدیک است و در مقارن با سال وقوع کمینه بارندگی، بعد از نمایه DI که شدت خشکسالی همه سال‌های وقوع کمینه بارندگی را خیلی شدید تعیین کرده تعداد خشکسالی‌ها را با شدت خیلی شدید، بعد از نمایه DI، بیشتر نشان داده است یعنی مبالغه در بزرگ‌نمایی خشکسالی‌ها در نمایه DI وجود دارد و در مواردی که عملکرد کاهش داشته خشکسالی را بهتر نشان داده است. گمرکچی و همکاران (۱۳۸۸) در ارزیابی خشکسالی و تأثیر آن بر عملکرد گندم دیم در استان قزوین نشان دادند که نمایه خشکسالی SPI با مقیاس سالانه بهترین معادله همبستگی با عملکرد گندم دیم از خود نشان می‌دهد. پیری و همکاران (۱۳۹۲) گزارش کردند که به رغم استفاده همه گیر از شاخص SPI، شاخص مزبور برای تعیین شدت خشکسالی در استان سیستان و بلوچستان مناسب نمی‌باشد. دربندی و همکاران (۱۳۸۶) و مقدسی و همکاران (۱۳۸۴) نشان دادند از نظر شدت خشکسالی‌ها نمایه SPI در برآورد عملکرد گندم و جو دیم نتایج بهتری داشته است و این در حالی است که در بین نمایه‌های مبتنی بر بارش نمایه SPI یکی از پرکاربردترین نمایه‌های بررسی خشکسالی هواشناسی در جهان و ایران محسوب می‌شود. این نمایه از برآزش توزیع گاما به داده‌های بارندگی مقادیر بی‌بعدی را ارائه می‌کند که خود حالت نرمال دارد نمایه استاندارد بارش در مقیاس‌های زمانی متفاوتی در مناطق متخلف بررسی شده بررسی‌ها نشان از بالا بودن میزان دقت نمایه در مقیاس‌های زمانی بلندمدت مدت از جمله سالانه می‌باشد. تحقیقات صمدی نقاب (۱۳۸۶) نشان می‌دهد تغییرات عوامل هواشناسی تا حد زیادی بیانگر تغییرات خشکسالی نیز هست و عوامل هواشناسی هر منطقه، بخش عمده‌های از ویژگی‌های خشکسالی آن منطقه را نمایندگی می‌نماید. همین امر می‌تواند توجیه‌کننده نقش عوامل هواشناسی و خشکسالی در عملکرد محصولات کشاورزی و به‌عنوان متغیرهای مستقل در مدل‌های رگرسیونی باشد. نتایج نشان داد بیشترین همبستگی مستقیم بین عملکرد گندم

- قزوین. همایش منطقه‌ای بحران آب و خشکسالی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر ری، ۳۲۰-۳۲۶.
- مساعدی، ا. محمدی مقدم، س. قبائی سوق، م. ۱۳۹۴. مدل‌سازی عملکرد گندم و جو دیم بر اساس شاخص‌های خشکسالی و متغیرهای هواشناسی. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۹(۳): ۷۳۰-۷۴۹.
- مقدوسی، م. مرید، قائمی، ه.، محمدولی سامانی، ج. ۱۳۸۴. پایش روزانه خشکسالی در استان تهران. نشریه علوم کشاورزی ایران، ۳۷(۱): ۵۱-۶۲.
- میردار سلطانی، ش. ۱۳۹۱. رتبه‌بندی ایستگاه‌های هواشناسی از نظر استعداد خشکسالی با استفاده از روش TOPSIS در استان مازندران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.
- نصرالهی، م. خسروی، ح. مقدم نیا، ع. ملکیان، ا. ۱۳۹۴. ارزیابی خطر خشکسالی استان سمنان با استفاده از نمایه SPI. نشریه هواشناسی کشاورزی، ۳(۱): ۵۷-۶۶.
- Cancelliere, A., Mauro, G., Bonaccorso, B. Rossi, G. 2007. Drought forecasting using the standardized precipitation index. *J. Water Resour. Manage.*, 21(1): 801-819.
- Loukas, A., Vasilides, L. N. R., Dalezios, N. R. 2003. Intercomparison of meteorological drought indices for drought assessment and monitoring in Greece. *Proceeding of the 8th international conferences on Environmental Science and Technology*. Lemons Island, Greece, 8-10.
- Matlon, P. J. 1990. Improving productivity in sorghum and pearl millet in semi-arid Africa. *Food Research Institute Studies*, 22(1): 1-43.
- Mckee, T. B., Doesken, N. J., Kleist, J. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Preprints 8th Conference on Applied Climatology*, 179-184.
- Rajabi, A. 2016. Analysis of SPI Drought Class Transitions Due to Climate Change. Case Study: Kermanshah (Iran). *Water Resour.*, 43(1): 238-248.
- Vergni, L., Todisco, F. 2011. Spatio-temporal variability of precipitation, temperature and agricultural drought indices in Central Italy. *Agric. Forest Meteorol.*, 151(1): 301-311.
- پاپلی یزدی، م. ۱۳۷۸. آیین‌های باران خواهی در زمان خشکسالی. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، (۵۴ و ۵۵): ۱۸۶-۲۱۱.
- پیری، ح.، عباس زاده، م.، راهداری، و.، ملکی، س. ۱۳۹۲. ارزیابی تطبیقی ۴ نمایه خشکسالی هواشناسی با استفاده از روش تحلیل خوشه‌ای (مطالعه موردی استان سیستان و بلوچستان). نشریه مهندسی منابع آب، ۳۶(۳): ۲۵-۳۶.
- خوش‌اخلاق، ف. ۱۳۷۶. تحقیق در خشکسالی‌های فراگیر ایران با استفاده از تحلیل سینوپتیکی، پایان‌نامه دکترای جغرافیای طبیعی، دانشگاه تبریز.
- خلیلی، ع.، بذرافشان، ج. ۱۳۸۲. ارزیابی کارایی چند نمایه خشکسالی هواشناسی در نمونه‌های اقلیمی مختلف ایران. نشریه نیوار، (۴۸ و ۴۹): ۷۹-۹۳.
- دربندی، ص. کاوه، ف. فاخری فرد، ا. صدقی، ح. کمالی، غ. ۱۳۸۶. معرفی یک نمایه جدید برای ارزیابی شدت خشکسالی کشاورزی بر پایه عملکرد نسبی محصول. نشریه علوم کشاورزی، ۱۳(۴): ۱۰۷-۱۲۳.
- زارع ابیانه، ح. ۱۳۹۲. نقش عوامل اقلیمی و خشکسالی بر تغییرپذیری عملکرد چهار محصول دیم در مشهد و بیرجند. نشریه دانش آب و خاک، ۲۳(۱): ۲۹-۵۶.
- زارع ابیانه، ح. محبوبی، ع. ۱۳۸۳. بررسی وضعیت خشکسالی و روند آن در منطقه همدان بر اساس نمایه‌های آماری خشکسالی. نشریه پژوهش و سازندگی، ۳(۳): ۲-۷.
- سالنامه آماری هواشناسی. ۱۳۹۱. اداره کل هواشناسی استان خراسان رضوی.
- صفدری، ع. ا.، محسنی ساروی، م.، ثقفیان، ب.، مهدوی، م. ۱۳۸۲. پهنه‌بندی فراوانی خشکسالی‌های حوزه کارون به کمک نمایه بارش استاندارد (SPI) در محیط GIS. سومین کنفرانس منطقه‌ای تغییر اقلیم، اصفهان.
- صمدی نقاب، س. ۱۳۸۶. پیش‌بینی خشکسالی با روش ریزگردانی خروجی الگوهای GCM. نشریه جغرافیا و توسعه روستا، ۸(۱): ۱۹۳-۲۱۲.
- گمرکچی، ی. قربانیان، د. جمشیدی، ا. ۱۳۸۸. ارزیابی خشکسالی و تأثیر آن بر عملکرد گندم دیم در استان

شبیه‌سازی استوکاستیکی بارش روزانه چندایستگاهی در شمال شرق ایران: تأثیر نایستایی زمانی

بیژن قهرمان^{۱*}، احسان امینی^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۸/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۱/۲۱

چکیده

شبیه‌سازی استوکاستیکی باران روزانه در بسیاری از مدل‌ها (برای مثال هیدرولوژی، هواشناسی و تولید محصول) کاربرد دارد. بیش‌تر مدل‌های شبیه‌سازی استوکاستیکی تک‌ایستگاهی بوده و مدل‌های اندکی ساختار همبستگی بارندگی (وقوع و مقدار) را در قالب چندایستگاهی در نظر می‌گیرند. با این حال در مدل‌های موجود توجهی به احتمال نایستایی پارامترهای دخیل نمی‌شود. تعداد ۳۶ ایستگاه باران‌سنجی در گستره سه استان خراسان شمالی، رضوی و جنوبی با طول دوره آماری ۳۰ سال در نظر گرفته شد. از مدل شبیه‌سازی استوکاستیکی باران روزانه که در آن وقوع بارندگی از فرآیند مارکوف مرتبه اول و وقوع مقدار بارندگی از تابع چگالی گامای دومتغیره پیروی می‌کرد برای ۶ ماه بارانی سال (آبان تا فروردین) استفاده شد. نشان داده شد که پارامترهای این مدل (۲ پارامتر احتمال بارانی بودن مشروط بر بارانی بودن یا نبودن روز پیش برای وقوع بارندگی و دو پارامتر تابع چگالی گاما) به طور معنی‌داری به ماه، سال و محل ایستگاه بستگی دارد؛ ولی هیچ رابطه معنی‌داری برای برآورد آن‌ها به دست نیامد. نشان داده شد که هر ۴ پارامتر مدل شبیه‌سازی در زمان نایستا بوده و در نظر گرفتن این نایستایی موجب افزایش دقت فرآیند شبیه‌سازی می‌شود.

واژه‌های کلیدی: بارندگی، تابع چگالی گاما، ماتریس احتمال انتقال، اقلیم خشک و نیمه خشک

مقدمه

(لیو و همکاران^۵، ۲۰۰۹؛ ریچاردسون^۶، ۱۹۸۱). کاربرد آسان و سریع آن‌ها باعث شده است که از آن‌ها به طور گسترده در سطح جهان استفاده شود (ویلکس، ۱۹۹۹). با این حال محدودیت عمده چنین مدل‌هایی این است که ویژگی‌های مکانی را در نظر نمی‌گیرند و با وجود این‌که غالباً باران در مناطق مختلف با هم همبسته هستند ولی سری‌های زمانی باران‌های تولید شده به صورت مستقل از هم به دست می‌آیند (قیان و همکاران^۷، ۲۰۰۲؛ ویلکس، ۱۹۹۹). اهمیت عمده همبستگی مکانی باران در شبیه‌سازی جریان رودخانه‌ای است (قیان و همکاران، ۲۰۰۲). در استفاده از سناریوهایی منطقی برای اهداف مدیریتی نیز در نظر گرفتن همبستگی مکانی بارندگی اهمیت دارد. چندین مدل (برای مثال مارکوف پنهان) برای شبیه‌سازی بارندگی که در آن‌ها به همبستگی مکانی نیز توجه شده باشد در منابع موجود است (برس و رودریگوئز-ایتورب^۸،

بسیاری از مدل‌های کشاورزی، هیدرولوژی و اقلیمی به داده‌های باران روزانه نیاز دارند. با این حال چنین داده‌هایی در بسیاری از مناطق کامل نبوده، طول دوره آماری آن‌ها کوتاه بوده و استفاده از آن‌ها با محدودیت مواجه می‌باشد. از این رو مدل‌های استوکاستیکی که نوعی خاص از مدل‌های ریاضی هستند تهیه شده؛ به طوری که داده‌های شبیه‌سازی شده توسط آن‌ها ویژگی‌های سری‌های واقعی را حفظ کند (ویلکس و ویلیبی^۳، ۱۹۹۹). مدل‌های بسیاری (برای مثال موداوک^۴) برای تولید باران روزانه در یک ایستگاه واحد در منابع هیدرولوژی و اقلیمی موجود است

^۱استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

(*)نویسنده مسئول: bijangh@um.ac.ir

^۲دانش آموخته کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

^۳Wilks and Wilby

^۴MODAWEK

^۵ Liu et al.

^۶ Richardson

^۷ Qian et al.

^۸ Bras and Rodriguez-Iturbe

گونه‌ای که مشکلات مربوط به ماتریس‌های نامعین مثبت برطرف شده و رابطه بین همبستگی اعداد تصادفی و اعداد واقعی (مربوط به وقوع باران و یا مقدار باران) قابل حل باشد. مشکل باقی مانده در روش‌های شبه‌سازی استوکاستیکی، از جمله برای روش ویلکس (۱۹۹۸) و حنا و بائوونز (۲۰۱۱)، این است که در آن‌ها پارامترهایی از جمله ماتریس‌های احتمال انتقال وقوع بارندگی و پارامترهای تابع چگالی احتمال (نمایی برای روش ویلکس (۱۹۹۸) و گاما برای روش حنا و بائوونز (۲۰۱۱)) از داده‌های مشاهده شده استخراج می‌شوند. این پارامترها به‌طور کلی وابسته به مکان بوده و برای ایستگاه‌های مختلف متفاوت خواهند بود. با این حال این نکته باقی می‌ماند که به نوسانات زمانی آن‌ها توجه نشده و رفتار آن‌ها در زمان ثابت فرض شده است. در صورتی که نه تنها نوسانات تصادفی در سری‌های زمانی پذیرفته شده است (نلسون و پلوسر^۸، ۱۹۸۲) بلکه در حال حاضر وقوع سری‌های زمانی ناپیستا امری غیرعادی به‌شمار نمی‌آید (فریزلویز و همکاران^۹، ۲۰۰۳؛ راثو و همکاران^{۱۰}، ۲۰۰۳). به‌طور مشخص اخیراً قهرمان و امینی (۱۳۹۴) نشان دادند که پارامترهای مدل استوکاستیکی باران (وقوع و مقدار) در خراسان دارای روند است و تغییرات پله‌ای غیرنظام‌مند آن‌را نشان دادند. بنابراین هدف این مقاله شبه‌سازی استوکاستیکی باران روزانه به صورت چندایستگاهی و برای شرایطی است که تغییرات زمانی پارامترهای مدل شبه‌سازی (هم مربوط به وقوع بارندگی و هم مربوط به مقدار آن) نیز مدنظر باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه خراسان بزرگ (شامل سه استان خراسان رضوی، شمالی و جنوبی) جهت مطالعه در این پژوهش انتخاب شده است. از این پس برای سهولت نوشتار از «منطقه خراسان» به‌جای منطقه خراسان بزرگ استفاده می‌شود. این منطقه با توجه به شرایط اقلیمی، علاوه بر کمبود بارش، دارای توزیع نامناسب زمانی و مکانی بارندگی در طول سال نیز هست. به‌طور کلی از جنوب به شمال بر میزان بارندگی افزوده می‌شود. داده‌های مورد استفاده از ۱۸۴ ایستگاه باران‌سنجی و هواشناسی در

۱۹۷۶؛ هوگز و همکاران^۱، ۱۹۹۹؛ ولی واسنجی و استفاده از این مدل‌ها بیش از اندازه پیچیده بوده که کاربرد عملی آن‌ها را محدود می‌سازد (قیان و همکاران، ۲۰۰۲؛ ویلکس، ۱۹۹۹). برای رفع این محدودیت‌ها، ویلکس (۱۹۹۸) برای شبه‌سازی استوکاستیکی باران روزانه در چندین ایستگاه به‌طور توأم، یک مدل دو مرحله‌ای (زنجره مارکف مرتبه اول برای وقوع بارندگی و تابع توزیع نمایی برای مقدار باران) را ارائه داد. به نظر می‌رسد که این روش اولین روشی باشد که در شبه‌سازی باران چندایستگاهی، ویژگی‌های آماری را حفظ می‌کند (بريست و همکاران^۲، ۲۰۰۷). از این‌رو، این روش مورد استفاده بسیاری بوده است (بريست و همکاران، ۲۰۰۷؛ قیان و همکاران، ۲۰۰۲؛ سریکانتهان^۳، ۲۰۰۵؛ سریکانتهان و پگرام^۴، ۲۰۰۹؛ تامپسون و همکاران^۵، ۲۰۰۷). یکی از دشواری‌های روش ویلکس (۱۹۹۸) مربوط به تولید اعداد تصادفی است که توالی آن‌ها مستقل بوده ولی می‌باید ساختار همبستگی مکانی مربوط به هر دو ویژگی وقوع بارندگی و مقدار آن را حفظ کند. به‌دلیل نامحدود بودن تعداد اعداد تصادفی با توزیع یکنواخت در چند مکان (فاکالر^۶، ۱۹۹۹)، می‌باید از اعداد تصادفی نرمال چندمتغیره استفاده کرد. مشکلی که در این‌جا بروز می‌کند این است که تبدیل این اعداد به اعداد متناظر با توزیع یکنواخت به منظور حفظ ساختار همبستگی مکانی، حل مستقیم نداشته و باید از برخی روش‌های عددی استفاده شود که موجب کاهش سرعت در اجرا می‌شود. افزون بر این در این تبدیل نیاز به استفاده از تبدیل چولسکی وجود دارد که در بسیاری از شرایط ماتریس معین مثبت وجود ندارد. ویلکس (۱۹۹۸) همبستگی بین جفت ایستگاه‌ها (هم برای وقوع باران و هم برای مقدار آن) را با تابعی از ویژگی‌های موقعیتی آن‌ها بررسی و از تابعی با ماهیت تجربی استفاده کرد. بررسی‌های مقدماتی نشان داد که نمی‌توان از چنین روشی برای داده‌های باران روزانه استان خراسان استفاده کرد. حنا و بائوونز^۷ (۲۰۱۱) برخی دشواری‌های روش ویلکس (۱۹۹۸) را برطرف کردند؛ به

¹ Hughes et al.

² Brissette et al.

³ Srikanthan

⁴ Srikanthan and Pegram

⁵ Thompson et al.

⁶ Fackler

⁷ Mhanna and Bauwens

⁸ Nelson and Plosser

⁹ Fryzlewicz et al.

¹⁰ Rao et al.

وقوع بارندگی

در مجموع $N \times M$ مدل (N ایستگاه باران سنجی و M ماه بارانی - آبان تا فروردین) برای وقوع بارندگی برآش داده شد. با کمک این مدل‌ها، احتمال انتقال وقوع بارندگی برای هر ایستگاه به دست خواهد آمد. در شبیه‌سازی وقوع باران و برای تولید بارندگی به صورت چندایستگاهی، از اعداد تصادفی که توالی آن‌ها مستقل بوده و در مکان همبسته هستند استفاده می‌شود. در این صورت همبستگی مکانی در شبیه‌سازی سری‌های بارندگی در کل منطقه در نظر گرفته می‌شود.

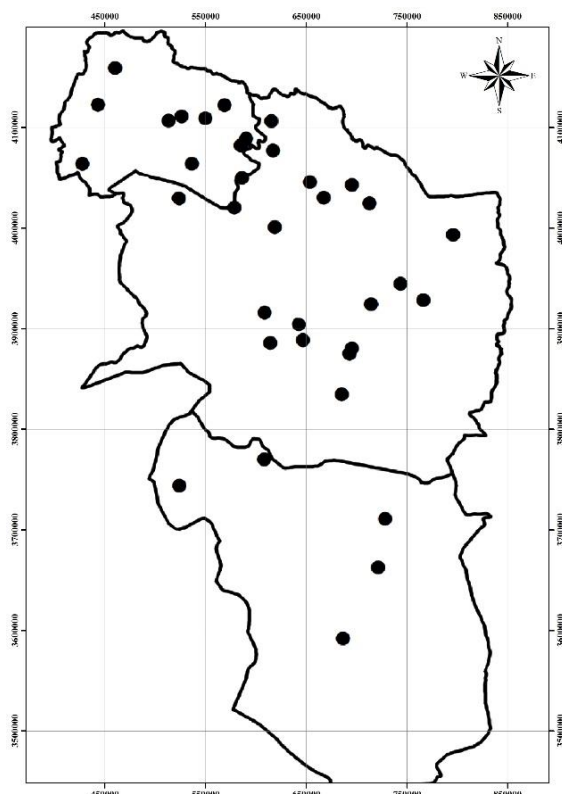
۱- تعیین احتمال شرطی و غیرشرطی بارندگی: وقوع بارندگی با استفاده از «فرآیند زنجیره‌ای وابسته» در قالب فرآیند مارکوف مرتبه اول دوحالتی انجام می‌شود. این مدل برپایه معیار اطلاعاتی بیزین بوده و بر مدل‌های مارکوف مرتبه صفر و ۲ برتری دارد (کاتز و پارلانگ^۱، ۱۹۹۸؛ شوارز^۲، ۱۹۷۸).

مدل مارکوف مرتبه اول بر این فرض استوار است که احتمال وقوع بارندگی در روزی معین به بارانی بودن یا نبودن در روز پیش از آن بستگی دارد. رخداد دوحالتی بارانی بودن یا نبودن در روز معین t با X_t نشان داده می‌شود. در این مقاله روز بارانی روزی است که مقدار باران در آن روز بیش‌تر از 0.1 میلی‌متر باشد. از دو احتمال شرطی $P_{01}(k)$ [یعنی احتمال شرطی برای بارانی بودن روز مورد نظر ($X_t=1$) مشروط بر بارانی نبودن روز پیش $(X_{t-1}=0)$] و $P_{11}(k)$ [یعنی احتمال شرطی برای بارانی بودن روز مورد نظر مشروط بر بارانی بودن روز پیش] برای تبیین فرآیند باران در ایستگاه k ام استفاده می‌شود. این دو احتمال می‌باید برای هر ماه به‌طور جداگانه محاسبه شود. تخمین‌هایی از این دو احتمال را برای ایستگاه k ام می‌توان در قالب معادله ۱ و ۲ نشان داد (ژنگ و کاتز^۳، ۲۰۰۸).

$$\hat{P}_{01}(k) = \frac{n_{01}(k)}{n_{01}(k) + n_{00}(k)} \quad (1)$$

$$\hat{P}_{11}(k) = \frac{n_{11}(k)}{n_{11}(k) + n_{10}(k)} \quad (2)$$

سطح منطقه خراسان به دست آمد. امینی و همکاران (۱۳۹۰) قبلاً از این داده‌ها برای شبیه‌سازی تک‌ایستگاهی بارندگی روزانه استفاده کرده بودند. با توجه به نقش اساسی کشاورزی در اقتصاد این منطقه و تأثیر بسزایی که بارندگی در برنامه‌ریزی‌های اقتصادی و مدیریت منابع آب دارد، پیش‌بینی بارش اهمیت زیادی دارد. به دلیل ناچیز بودن بارندگی در ۶ ماه از سال (اردیبهشت تا مهر) تنها ۶ ماه بارانی آبان تا فروردین در شبیه‌سازی‌ها در نظر گرفته شد (برای ایده‌ای از باران در ماه‌های پر باران و کم باران به امینی و همکاران (۱۳۹۰) مراجعه شود). حنا و باثوونز (۲۰۱۱) نیز از همین بازه زمانی برای شبیه‌سازی بارندگی استفاده کردند. موقعیت نسبی این ایستگاه‌ها در شکل ۱ ارائه شده است. برای شبیه‌سازی بارندگی از الگوی دو جزئی استفاده می‌شود (حنا و باثوونز، ۲۰۱۱). از زنجیره مارکوف مرتبه اول برای بررسی وقوع بارندگی روزانه و تابع توزیع گامای دوپارامتری برای پیش‌بینی مقدار آن استفاده شده است.



شکل ۱- نقشه پراکندگی ایستگاه‌های باران سنجی منتخب استان‌های خراسان رضوی، جنوبی و شمالی. خطوط ترسیم شده مربوط به مرز سیاسی سه استان مورد نظر است.

¹ Katz and Parlange

² Schwarz

³ Zheng and Katz

$$u_t(k) = \Phi[w_t(k)] \quad (9)$$

که در آن $\Phi[\bullet]$ تابع توزیع تجمعی نرمال استاندارد است. برای فرآیند وقوع، اعداد تصادفی با توزیع نرمال باید ویژگی همبستگی مکانی سری‌های وقوع بارندگی را حفظ کنند. همبستگی بین متغیرهای نرمال استاندارد [برای مثال $w_t(k)$ و $w_t(l)$] با نماد $\omega(k,l)$ نشان داده شده و توسط توزیع نرمال دومتغیره تولید می‌شود. سپس مقداری برای $\omega(k,l)$ تعیین می‌شود که بتواند منجر به همبستگی $\xi^0(k,l)$ [مقدار مشاهده شده‌ای از $\xi(k,l)$] برای وقوع بارندگی در دو ایستگاه k و l گردد. در این‌جا این مشکل بروز می‌کند که امکان محاسبه مستقیم $\omega(k,l)$ از روی $\xi^0(k,l)$ وجود ندارد. ویلکس (۱۹۹۸) نشان داد که برای جفت ایستگاه‌های k و l ، رابطه‌ای یک‌سویه بین $\omega(k,l)$ و $\xi(k,l)$ وجود دارد. وی فرآیندی را پیشنهاد کرد که در آن این رابطه برای هر دو ایستگاه و برای هر ماه بارانی تهیه و سپس از روی آن مقدار $\omega(k,l)$ به دست آید. به دلیل زمان‌بر بودن این روش، حنا و باوونز (۲۰۱۱) نشان دادند که $\omega(k,l)$ با ضریب گاما $\gamma(k,l)$ ، که توسط روسون^۱ (۲۰۰۷) ارائه گردید، برابر بوده و از معادله ۱۰ محاسبه می‌شود.

$$\gamma(k,l) = \frac{\pi_{00}(k,l)\pi_{11}(k,l) - \pi_{10}(k,l)\pi_{01}(k,l)}{\pi_{00}(k,l)\pi_{11}(k,l) + \pi_{10}(k,l)\pi_{01}(k,l)} \quad (10)$$

که در آن $\pi_{00}(k,l)$ احتمال توأمی است که هر دو ایستگاه خشک باشند، $\pi_{11}(k,l)$ احتمال توأمی است که هر دو ایستگاه بارانی باشند و غیره. حال متغیرهای نرمال چندمتغیره را می‌توان با استفاده از معادله ۱۱ تولید کرد (فاکالر، ۱۹۹۹).

$$w_t = UR_t \quad (11)$$

که در آن بردار نرمال مستقل و U ماتریسی با ویژگی معادله ۱۲ است.

$$U^T U = \Omega \quad (12)$$

که در آن Ω ماتریس کوواریانس بوده به طوری که درایه‌های آن برابر با مقدار همبستگی بین متغیرهای نرمال متناظر با ایستگاه‌های k و l [یعنی $\omega(k,l)$] می‌باشد. محاسبه U از روی Ω توسط تجزیه چولسکی زمانی امکان‌پذیر است که ماتریس کوواریانس، معین مثبت باشد. در نتیجه هر مجموعه‌ای از اعداد تصادفی $w_t(k)$ که توالی آن‌ها مستقل بوده و ساختار همبستگی

که در آن π_{00} و π_{01} (به ترتیب تعداد روزهای بارانی و خشک مشروط بر خشک بودن روز پیش از آن) از روی داده‌های تاریخی به دست می‌آیند. دو نماد دیگر (یعنی π_{10} و π_{11}) نیز به طور مشابه تعریف می‌شود. احتمال غیر شرطی برای روز بارانی (π_1) و روز خشک (π_0) به ترتیب از معادلات ۳ و ۴ به دست می‌آیند (کاتز و پارلانگ، ۱۹۹۸).

$$\pi_1(k) = \Pr\{X_t(k)=1\} = \frac{P_{01}(k)}{P_{01}(k) + P_{11}(k)} \quad (3)$$

$$\pi_0(k) = 1 - \pi_1(k) \quad (4)$$

۲- تعیین همبستگی بین سری‌های وقوع بارندگی. برای هر دو ایستگاه k و l ، همبستگی بین سری‌های وقوع بارندگی [یعنی $X_t(k)$ و $X_t(l)$] با معادله ۵ داده می‌شود.

$$\xi(k,l) = \text{Corr}[X_t(k), X_t(l)] \quad (5)$$

مقدار این همبستگی را می‌توان به صورت معادله ۶ به دست آورد (سریکانتهان و پگرام، ۲۰۰۹؛ تامپسون و همکاران، ۲۰۰۷).

$$\xi(k,l) = \frac{\pi_{00}(k,l) - \pi_0(k)\pi_0(l)}{\sigma(k)\sigma(l)} \quad (6)$$

که در آن σ انحراف استاندارد سری دودویی وقوع بارندگی (معادله ۷) و $\pi_{00}(k,l)$ احتمال توأم این که هر دو ایستگاه خشک باشند (معادله ۸) می‌باشد (n تعداد روزهایی است که هر دو ایستگاه خشک باشند و d_{joint} تعداد کل روزها است).

$$\sigma(k) = \sqrt{\pi_0(k)\pi_1(k)} \quad (7)$$

$$\pi_{00}(k,l) = \frac{d_{\text{joint}}}{n} \quad (8)$$

گام سوم. تعیین مدل استوکاستیکی وقوع بارندگی. برای شبه‌سازی‌های استوکاستیکی سری‌های X_t از مولد اعداد تصادفی که در آن اعداد تصادفی با توزیع یکنواخت [یعنی $u_t(k)$] تولید می‌شود استفاده می‌گردد. در این‌جا نمی‌توان اعداد تصادفی با توزیع یکنواخت را مستقیماً تولید کرد؛ زیرا برای حفظ کردن ویژگی ماتریس همبستگی مکانی ایستگاه‌ها، جواب منحصر به فردی برای چنین اعداد تصادفی وجود ندارد (فاکالر، ۱۹۹۹). در چنین شرایطی در ابتدا باید اعداد تصادفی نرمال استاندارد همبسته [یعنی $w_t(k) \sim N[0,1]$] را تولید (حنا و باوونز، ۲۰۱۱؛ ویلکس، ۱۹۹۸) و سپس آن‌ها را با استفاده از معادله ۹ به متغیرهای یکنواخت تبدیل کرد.

¹ Rousson

۲- همبستگی بین سری‌های مقدار بارندگی: همبستگی بین سری‌های زمانی بارندگی در دو ایستگاه k و l [یعنی $Y_t(k)$ و $Y_t(l)$] با معادله ۱۸ نشان داده می‌شود.

$$\eta(k,l) = \text{Corr}[Y_t(k), Y_t(l)] \quad (18)$$

در این‌جا از همبستگی حاصل ضرب گشتاوری پیرسون استفاده می‌شود. مدل گاما مقادیر بارندگی را تنها برای روزهای بارانی تولید می‌کند؛ از این رو همبستگی بین سری‌های زمانی مقدار بارندگی در دو ایستگاه k و l نیز تنها برای جفت وقایعی که هر دو ایستگاه بارانی باشند محاسبه خواهد شد.

۳- تعریف مدل استوکاستیکی مقدار باران. با استفاده از بردار متغیرهای یکنواخت همبسته $v_t(k)$ ، همبستگی مکانی در مقادیر باران روزانه حفظ می‌شود. در این‌جا نیز، همچون شبیه‌سازی وقوع بارندگی، درایه‌های این بردار به صورت $v_t(k) = \Phi[z_t(k)]$ از روی مصداقی از متغیرهای نرمال استاندارد همبسته [یعنی $z_t(k)$] به دست می‌آید. بردار z_t را می‌توان از روی توزیع نرمال چند متغیره با میانگین صفر و ماتریس کوواریانس $[\Psi]$ که درایه‌های آن با معادله ۱۹ داده می‌شود نمونه‌گیری کرد.

$$\zeta(k,l) = \text{Corr}[z_t(k), z_t(l)] \quad (19)$$

مقداری مشخص از $\zeta(k,l)$ به همراه همبستگی متناظر $\omega(k,l)$ و زنجیره مارکوف و پارامترهای گاما برای ایستگاه‌های k و l به مقداری واحد برای همبستگی $\eta(k,l)$ بین مقادیر شبیه‌سازی شده مقادیر بارندگی برای این دو ایستگاه منجر می‌شود. در این‌جا نیز به دلیل این که مقادیر z_t را نمی‌توان مشاهده کرد، امکان به دست آوردن مستقیم Ψ وجود ندارد. برای شبیه‌سازی استوکاستیکی از مولد اعداد تصادفی که متغیرهای همبسته نرمال را تولید می‌کند استفاده شد، سپس اعداد تصادفی را به طور جداگانه تبدیل کرده تا توزیع‌های حاشیه‌ای یکنواخت به دست آید. در این‌جا این مشکل بروز می‌کند که وجود وابستگی بین متغیرهای نرمال به این تبدیل غیرخطی حساس است؛ زیرا همبستگی (خطی) حاصل ضرب گشتاوری پیرسون تحت تبدیلات توزیع‌های حاشیه‌ای لایتغیر نمی‌باشد (فاکالر، ۱۹۹۱). بنابراین اگر بین متغیرهای نرمال اولیه همبستگی خطی وجود داشته باشد، بعد از انجام تبدیل مقدار آن تغییر خواهد کرد. استفاده از سایر روابطی که همبستگی را بعد از هر تبدیل

مکانی وقوع بارندگی ایستگاه‌ها در آن‌ها حفظ شده است، برای تولید سری زمانی وقوع بارندگی در ایستگاه مشخص k استفاده می‌شود. به این صورت که این اعداد با احتمال شرطی مناسب برای الگوی بارانی بودن-نبودن با توجه به بارانی بودن-نبودن روز پیش [به ترتیب $P_{01}(k)$ و $P_{11}(k)$] مقایسه می‌شود. احتمال آستانه با معادله ۱۳ داده می‌شود (ویلکس، ۱۹۹۸).

$$P_c(k) = \begin{cases} P_{01}(k) & \text{if } X_{t-1}(k) = 0 \\ P_{11}(k) & \text{if } X_{t-1}(k) = 1 \end{cases} \quad (13)$$

سپس روز بعد بارانی خواهد بود اگر عدد تصادفی به اندازه کافی کوچک باشد:

$$X_t(k) = \begin{cases} 1 & \text{if } \Phi[w_t(k)] \leq P_c \\ 0 & \text{if } \Phi[w_t(k)] > P_c \end{cases} \quad (14)$$

مقدار بارندگی

همچون مدل وقوع بارندگی، تولید مقدار بارندگی نیز توسط متغیرهای تصادفی که توالی آن‌ها مستقل بوده ولی همبستگی مکانی آن‌ها موجب حفظ شدن همبستگی مکانی سری‌های مقدار بارندگی می‌شود، صورت می‌پذیرد. ۱- تعیین پارامترهای مدل: از تابع توزیع گامای دو-پارامتری (کاتز^۱، ۱۹۷۷) برای تولید مقدار باران در روزهای بارانی در ایستگاه k ام استفاده می‌شود.

$$f[r_t(k)] = \frac{[r_t(k)/\beta(k)]^{\alpha(k)-1} \exp[-r_t(k)/\beta(k)]}{\beta(k) \Gamma[\alpha(k)]}; \quad (15)$$

$$r_t(k), \alpha, \beta > 0$$

که در آن $r_t(k)$ مقدار بارندگی (بزرگ‌تر از صفر)، α و β به ترتیب پارامترهای شکل و مقیاس مدل و $\Gamma(\alpha)$ تابع گاما به ازای مقدار α می‌باشد. برای برآورد پارامترهای مدل در ایستگاه k ام و برای هر ماه بارانی، از روش حداکثر درست‌نمایی استفاده می‌شود (تام^۲، ۱۹۵۸).

$$\hat{\alpha}(k) = \frac{1 + \sqrt{1 + 4A(k)/3}}{4A(k)} \quad (16)$$

$$\hat{\beta}(k) = \frac{\bar{Y}(k)}{\hat{\alpha}(k)} \quad (17)$$

که در آن‌ها \bar{Y} متوسط باران روزانه حسب میلی‌متر برای ماه مورد نظر (تنها برای روزهای بارانی) و A اختلاف بین لگاریتم‌های میانگین‌های حسابی و هندسی می‌باشد.

¹ Katz

² Thom

ایستگاه i و ماه بارانی j ، تمامی روزهای ماه مورد نظر در سال k به دنبال روزهای همان ماه مربوط به سال $k-1$ نوشته شده و سپس پارامتر مورد نظر به صورت واحد به عنوان میانگینی در کل دوره آماری استخراج گردید (مثلاً رجوع شود به (حنا و بائوونز، ۲۰۱۱)). برای حالت حدی دیگر، نایستایی در مقیاس سال پذیرفته شد و مقادیر پارامترها برای سال k متفاوت با سال $k-1$ استخراج گردید. سپس به شیوه توضیح داده شده در بالا، ابتدا وقوع بارندگی و سپس مقدار بارندگی شبه‌سازی گردید. آن‌گاه آماره‌هایی برای هر دو حالت حدی محاسبه و با یکدیگر و نیز با مقادیر استخراج شده از باران‌های مشاهده شده مقایسه گردید.

نتایج و بحث

بررسی رفتار مکانی پارامترها

جدول ۱ تغییرات پارامترها را برای ۶ ایستگاه منتخب (این ایستگاه‌ها صرفاً جهت نشان دادن تغییرات مکانی پارامترها بوده و به طور تصادفی انتخاب شده‌اند) نشان می‌دهد (جهت مشاهده موقعیت نسبی این ایستگاه‌ها به شکل ۱ رجوع شود). تمامی تغییرات پارامترها در هر دو بعد زمانی (ماه‌های بارانی سال) و مکانی قابل ملاحظه است. وجود تغییرات در بعد زمان نشان می‌دهد که تفکیک سال به ۶ ماه بارانی منطقی بوده و نمی‌توان شبه‌سازی را به طور یکپارچه برای تمامی روزهای سال انجام داد. از طرف دیگر وجود تغییرات مکانی و در ایستگاه‌های مختلف بیانگر تغییرپذیری مکانی بارندگی بوده که احتمالاً ناشی از پستی و بلندی زمین و طول و عرض جغرافیایی می‌باشد، به طوری که این عوامل به طور مشخص پارامترهای مدل استوکاستیکی باران (وقوع و مقدار) را تحت تأثیر قرار داده است. با این حال هیچ رابطه معنی‌داری بین این پارامترها با ویژگی‌های موقعیتی ایستگاه‌ها به دست نیامد. به بیان دیگر استفاده از یک مقدار میانگین برای هر پارامتر (متناظر با ایستگاه و ماه بارانی مشخص)، مشابه آنچه حنا و بائوونز (۲۰۱۱) انجام دادند، نمی‌تواند درست باشد. این روال برای تمامی ماه‌های بارانی سال و برای تمامی ایستگاه‌ها مشابه بود (نتایج نشان داده نشد). با این حال محدوده تغییرات پارامترها در خراسان با آن‌چه حنا و بائوونز (۲۰۱۱) برای نوار غزه گزارش کرده‌اند متفاوت است.

یک‌سویه حفظ کنند راهکاری مناسب قلمداد می‌شود (فاکالر، ۱۹۹۱). یکی از این روش‌ها، همبستگی رتبه‌ای (یا همبستگی چندکی) است. این روش بر این پایه استوار است که ابتدا برای محاسبه همبستگی بین سری‌های بارندگی استفاده شده و سپس به‌طور خطی به همبستگی حاصل ضرب گشتاوری تبدیل شود تا همبستگی مورد نظر بین اعداد تصادفی به دست آید. در نتیجه، همبستگی خطی بین متغیرهای یکنواخت که از متغیرهای نرمال به دست می‌آیند به سری‌های شبه‌سازی شده بارندگی منجر می‌شود که می‌توانند همبستگی رتبه‌ای بین مقادیر بارندگی را نشان دهند. کروسکال^۱ (۱۹۵۸)، او-برین و گریفیتس^۲ (۱۹۶۵) و حنا و بائوونز (۲۰۱۱) با مقایسه دو روش همبستگی رتبه‌ای [یعنی اسپیرمن $\rho(k,l)$ و آماره کندال $\tau(k,l)$ که از روی هر کدام از آن‌ها می‌توان همبستگی دوجمله‌ای $\zeta(k,l)$] همبستگی بین متغیرهای استاندارد $Z_t(k)$ و $Z_t(l)$ نشان دادند که همبستگی اسپیرمن (معادله ۲۰) مناسب‌تر است. در نتیجه، استفاده از ترکیب خطی $\zeta(k,l)$ به مقادیر باران شبه‌سازی شده‌ای منجر خواهد شد که همبستگی اسپیرمن بین مقادیر باران [یعنی $\eta^0(k,l)$ که مقدار مشاهده شده‌ای از $\eta(k,l)$ است] را حفظ می‌کند.

$$\zeta(k,l) = 2 \sin \left[\pi \frac{\rho(k,l)}{6} \right] \quad (20)$$

متغیرهای نرمال چندمتغیره همبسته از روی متغیرهای نرمال مستقل و از طریق اعمال تبدیل مشابه با بکارگیری معادلات ۱۱ و ۱۲ به دست می‌آیند.

تأثیر نایستایی زمانی

در این مقاله تأثیر نایستایی زمانی در قالب چگونگی در نظر گرفتن پارامترهای موثر در فرآیند شبه‌سازی بارندگی دیده شده است. برای هر ایستگاه و برای هر ماه بارانی (آبان تا فروردین)، ۴ پارامتر (دو پارامتر برای شبه‌سازی وقوع بارندگی - P_{01} و P_{11} احتمال بارانی بودن روزی مشخص اگر روز پیش به ترتیب خشک یا بارانی باشد - و دو پارامتر برای شبه‌سازی مقدار بارندگی - α و β به عنوان پارامترهای تابع توزیع احتمال گامی دو پارامتری) وجود دارد. برای نشان دادن تأثیر احتمالی نایستایی، دو حالت حدی در نظر گرفته شد. در حالت اول نایستایی در نظر گرفته نشد. برای محاسبه پارامترهای مربوط به

¹ Kruskal

² O'Brien and Griffiths

جدول ۱- تغییرات پارامترهای مدل شبیه‌سازی بارندگی روزانه ۶ ایستگاه منتخب استان خراسان برای ماه‌های بارانی. موقعیت نسبی ایستگاه‌ها در شکل ۱ نشان داده شده است.

ایستگاه ⁺	پارامتر ⁺⁺	ماه					
		آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین
تبارک آباد (۱۱۰۰۱)	α	۶/۷۲	۹/۸۰	۳۳/۹۴	۲۱/۳۸	۴/۴۳	۵/۱۹
	β	۰/۹۹	۲/۱۳	۱/۵۶	۱/۸۱	۲/۳۴	۲/۶۶
	P_{01}	۰/۰۷	۰/۰۹	۰/۱۰	۰/۱۳	۰/۱۶	۰/۱۷
	P_{11}	۰/۱۰	۰/۱۳	۰/۱۰	۰/۱۸	۰/۱۲	۰/۲۷
علی محمد (۱۱۰۰۸)	α	۱۰/۸۴	۱۵/۴۷	۲۹/۶۵	۸/۸۵	۱۴/۲۷	۷/۳۲
	β	۱/۱۹	۱/۷۸	۱/۱۹	۱/۹۵	۱/۵۶	۱/۹۸
	P_{01}	۰/۰۷	۰/۱۲	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۸	۰/۱۵
	P_{11}	۰/۰۸	۰/۱۵	۰/۱۳	۰/۲۱	۰/۱۷	۰/۱۹
گرمخان (۱۱۲۰۴)	α	۲/۹۵	۱۹/۴۳	۱۰/۰۰	۴/۵۴	۵/۸۵	۸/۵۲
	β	۱/۶۰	۱/۸۹	۱/۷۱	۲/۴۸	۲/۵۱	۲/۷۷
	P_{01}	۰/۱۵	۰/۱۲	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۸	۰/۱۵
	P_{11}	۰/۱۶	۰/۱۸	۰/۱۴	۰/۲۵	۰/۲۶	۰/۲۰
صنوبرحیدریه (۴۷۰۷۱)	α	۲/۹۲	۴/۴۷	۴/۴۲	۳/۸۳	۴/۴۳	۶/۹۰
	β	۱/۱۲	۴/۲۶	۳/۷۲	۴/۳۴	۴/۶۰	۳/۵۷
	P_{01}	۰/۰۷	۰/۱۱	۰/۱۵	۰/۱۸	۰/۱۷	۰/۱۶
	P_{11}	۰/۱۹	۰/۲۳	۰/۲۳	۰/۳۶	۰/۳۵	۰/۴۰
غرقاب قائن (۵۵۰۰۷)	α	۲/۴۳	۴/۴۹	۷/۸۹	۴/۲۰	۲/۷۹	۲/۳۵
	β	۱/۲۴	۲/۴۰	۱/۹۷	۲/۸۶	۲/۷۲	۳/۴۳
	P_{01}	۰/۰۶	۰/۰۹	۰/۱۵	۰/۱۶	۰/۱۹	۰/۱۶
	P_{11}	۰/۱۷	۰/۲۱	۰/۲۱	۰/۲۸	۰/۳۱	۰/۳۶
پل‌خاتون (۶۴۰۳۹)	α	۳/۱۹	۴/۷۷	۲۶/۵۹	۲/۶۳	۲/۷۲	۲/۰۰
	β	۱/۷۷	۲/۹۳	۳/۶۰	۲/۹۸	۳/۸۵	۴/۳۷
	P_{01}	۰/۰۷	۰/۱۲	۰/۱۵	۰/۱۸	۰/۲۱	۰/۱۷
	P_{11}	۰/۲۱	۰/۳۵	۰/۳۱	۰/۳۹	۰/۴۷	۰/۴۶

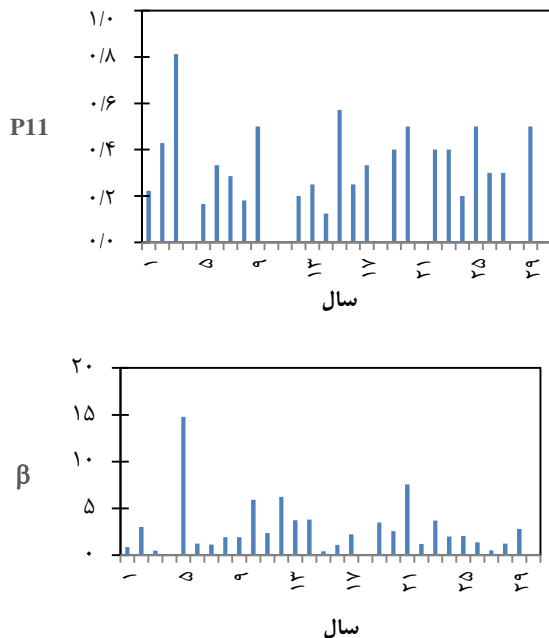
⁺ عدد داخل پرانتز (۰)، کد ایستگاه مربوط به سازمان مدیریت منابع آب، عدد داخل کروشه []، ارتفاع ایستگاه برحسب متر و عدد داخل قلاب { }، میانگین بارندگی سالانه برحسب میلی‌متر است.

⁺⁺ P_{01} و P_{11} احتمال وقوع بارندگی روزی مشخص اگر روز پیش به ترتیب خشک یا بارانی باشد (مربوط به شبیه‌سازی وقوع بارندگی) و α و β پارامترهای تابع چگالی گامای دوبارامتری برای مقدار باران روزانه (مربوط به شبیه‌سازی مقدار بارندگی) است.

پارامتر β معکوس بود. دامنه برای خراسان بین ۰/۹۹ تا ۴/۳۷ بود ولی حنا و باثونز آن را بین ۶/۷۰ تا ۱۸/۷۳ به دست آوردند. انتظار نمی‌رفت که در حالی که اقلیم هر دو منطقه خشک و نیمه‌خشک است چنین تفاوتی مشاهده شود. یک مشکل ممکن است مربوط به کیفیت داده‌ها باشد. گرچه از وضعیت کیفیت ثبت باران‌های روزانه در نوار غزه اطلاعی در دست نیست ولی دست کم در یک مورد باقری (۱۳۹۰) نشان داد که گرچه رفتار باران‌های ماهانه و سالانه خوب بود ولی همخوانی داده‌های باران روزانه در چند ایستگاه دشت نیشابور رضایت‌بخش نبود. دلیل احتمالی دوم ممکن است مربوط به تفاوت‌هایی در منشاء بارندگی باشد. بارندگی‌های زمستانه در هر دو منطقه

کم‌ترین تفاوت مربوط به پارامترهای مدل وقوع بارندگی بود. احتمال وقوع روزی بارانی به شرط خشک بودن روز پیش (P_{01}) در پهنه خراسان بین ۰/۰۶ تا ۰/۲۱ به دست آمد در حالی که این محدوده برای نوار غزه با اندکی تفاوت بین ۰/۰۳ تا ۰/۲۲ است. دامنه احتمال وقوع روزی بارانی به شرط بارانی بودن روز پیش (P_{11}) برای خراسان بین ۰/۰۸ تا ۰/۴۷ و برای نوار غزه از آن بیش‌تر و بین ۰/۱۹ تا ۰/۶۱ می‌باشد. جدای از این تفاوت به نسبت کم، پارامترهای مدل شبیه‌سازی مقدار باران بسیار متفاوت بود. در حالی که برای خراسان پارامتر α بین ۲/۰۰ تا ۳۳/۹۴ بود محدوده متناظر برای نوار غزه به مراتب کم‌تر و تنها بین ۰/۷۶ تا ۱/۲۷ بود. از طرف دیگر رفتار برای

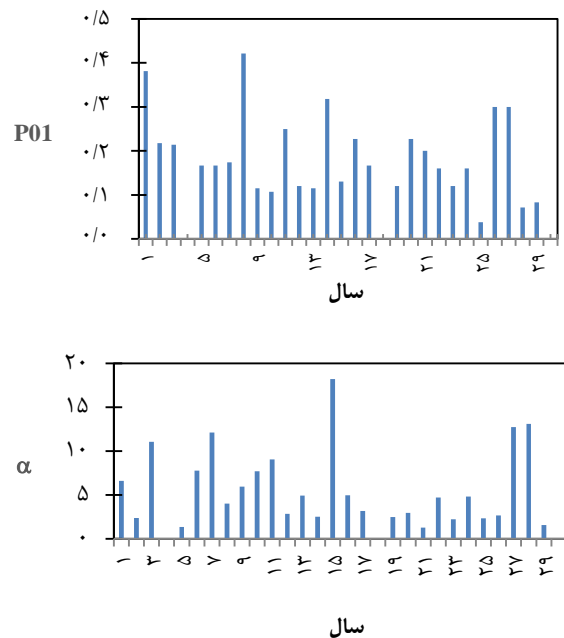
کامل به سال بستگی داشته و در زمان نایستا هستند. پارامترهای گزارش شده برای ایستگاه تبارک آباد و ماه فروردین که با نگرش یکپارچه به دست آمده بود به خوبی بیانگر میانگین پارامترهای نظیر در شکل ۲ می باشد. این امر نشان می دهد که نگرش پیشنهادی حنا و باثوونز صرفاً نگرشی مبتنی بر میانگین زمانی پارامترها بوده و قادر به در نظر گرفتن ماهیت متغیر زمانی آن ها (مثلا شکل ۲) را نمی تواند در مدل سازی در نظر بگیرد. چنین نایستایی زمانی در تمامی ایستگاه ها و در تمامی ماه های بارانی سال وجود داشت (نتایج نشان داده نشد) گرچه درجه نایستایی یکسان نبود. بنابراین اگر در شبهه سازی به چنین موضوعی توجه نشود نتایج به دست آمده قابل استناد نخواهد بود ولو تفاوتها معنی دار نباشد.



ناشی از سامانه مدیترانه ای است ولی این سامانه با حرکت به سمت شرق از قدرت آن کاسته می شود. در نتیجه نه تنها مقدار باران سالانه به طور کلی در خراسان (حدود ۲۰۰ میلی متر) از نوار غزه (حدود ۳۵۰ میلی متر) کم تر است بلکه با کم شدن مقدار باران ضریب تغییرات آن نیز افزایش می یابد که موجب تغییر در پارامترهای مدل مقدار بارندگی می شود.

بررسی تغییرات سالانه پارامترها

شکل ۲ روند زمانی پارامترهای مدل شبهه سازی بارندگی روزانه ماه فروردین برای یک ایستگاه نمونه (تبارک آباد) را در طول ۳۰ سال آماری نشان می دهد. مشخص است که تمامی ۴ پارامتر مدل شبهه سازی بارندگی (هم مدل وقوع بارندگی و هم مدل مقدار بارندگی) به طور



شکل ۲- روند زمانی پارامترهای مدل شبهه سازی بارندگی روزانه ماه فروردین برای یک ایستگاه نمونه (تبارک آباد) در طول ۳۰ سال (از ۱ تا ۳۰ بر روی محور افقی): P_{01} (بالا سمت راست)، P_{11} (بالا سمت چپ)، α (پایین سمت راست) و β (پایین سمت چپ)

با آن چه در واقعیت وجود دارد، تمامی شش ماه بارانی و تمامی ایستگاه ها به صورت یک پارچه دیده شده و تمایز احتمالی بین تفاوت در نتایج بین ماه های سال و بین موقعیت مشخص ایستگاه ها نادیده گرفته شده است. آماره آزمون به خوبی نشان می دهد که در نظر گرفتن نایستایی زمانی موجب تقویت شبهه سازی ها شده است. این نتیجه در راستای شکل ۲ بوده و مجدداً تأیید می کند که نگرش به کار رفته توسط حنا و باثوونز (۲۰۱۱) نمی تواند درست باشد.

تأثیر نایستایی زمانی پارامترها بر شبهه سازی بارندگی گرچه به طور منطقی نمی توان پارامترهایی را که ماهیت نایستا دارند را به طور ایستا برآورد کرد و از آن ها در مدل شبهه سازی استوکاستیکی باران استفاده نمود ولی در اینجا تفاوت نتایج به طور مقایسه ای ارائه گردید. جدول ۲ مقایسه ای را بین کارایی دو حالت حدی (بدون در نظر گرفتن نایستایی زمانی و با در نظر گرفتن آن، به ترتیب سناریوهای ۱ و ۲) نشان می دهد. در محاسبه ریشه میانگین مربعات خطا به عنوان معیاری برای خطای شبهه سازی ها

اقلیم های دیگر و با شرایط آب و هوایی متفاوت تکرار شود.

منابع

امینی، ا.، قهرمان، ب.، داوری، ک.، موسوی بایگی، م. ۱۳۹۰. ترمیم بارش روزانه در منطقه خراسان بزرگ به روش دو جزئی. نشریه آب و خاک، ۲۵(۵): ۱۱۴۷-۱۱۵۷.

باقری، ع. ر. ۱۳۹۰. بررسی روابط بارش، رواناب در حوضه آبریز نیشابور. پایان نامه کارشناسی ارشد آبیاری-زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

قهرمان، ب.، امینی، ا. ۱۳۹۴. تغییرات پله‌ای غیرنظاممند در پارامترهای مربوط به شبیه‌سازی استوکاستیکی بارش روزانه چند ایستگاهی. نشریه تحقیقات منابع آب ایران، ۱۱(۲): ۴۷-۵۶.

- Bras, R., Rodriguez-Iturbe, I. 1976. Rainfall generation: a nonstationary time varying multi-dimensional model. *Water Resour. Res.*, 12: 450-456.
- Brissette, F. P., Khalili, M., , Leconte, R. 2007. Efficient stochastic generation of multi-site synthetic precipitation data. *J. Hydrol.*, 345: 121-133.
- Fackler, P. L. 1991. Modeling Interdependence: an Approach to Simulation and Elicitation. *Am. J. Agric. Econ.*, 73: 1091-1097.
- Fackler, P. L. 1999. Generating correlated multidimensional variates. available at <http://www4.ncsu.edu/pfackle>.
- Fryzlewicz, P., Van Belleghem, S., Von Sachs, R. 2003. Forecasting non-stationary time series by wavelet process modelling. *Ann. Inst. Stat. Math.*, 55: 737-764.
- Hughes, J.P., Guttorp, P., Charles, S. 1999. A nonhomogeneous hidden Markov model for precipitation occurrence. *J. R. Stat. Soc (Series C): Appl. Stat.*, 48: 15-30.
- Katz, R. W. 1977. Precipitation as a chain-dependent process. *J. Appl. Meteorol.*, 16: 671-676.
- Katz, R. W., Parlange, M. B. 1998. Overdispersion phenomenon in stochastic modeling of precipitation. *J. Clim.*, 11: 591-601.
- Kruskal, W. 1958. Ordinal measures of association. *J. Am. Stat. Assoc.*, 53: 814-61.
- Liu, J., Williams, J. R., Wang, X., Yang, H. 2009. Using MODAWEC to generate daily weather data for the EPIC model. *Environ. Model. Softw.*, 24: 655-664.
- Mhanna, M., Bauwens, W. 2011. A stochastic space-time model for the generation of daily

جدول ۲- بررسی ریشه‌ی میانگین مربعات خطا برای چند پارامتر سنجش مدل‌های شبیه‌سازی بارندگی (وقوع و مقدار) بدون در نظر گرفتن (سناریو ۱) و با آن (سناریو ۲) برای تمامی ماه‌های بارانی و تمامی ایستگاه‌ها

پارامترهای سنجش مدل‌ها	سناریو	RMSE
میانگین سالانه تعداد روزهای بارانی	۱	۰/۶۷
	۲	۰/۵
میانگین ماهانه تعداد روزهای بارانی	۱	۱/۱۴
	۲	۰/۹۱
میانگین ماهانه بارندگی (م.م.)	۱	۱۰/۹۳
	۲	۱۰/۶
میانگین سالانه بارندگی (م.م.)	۱	۷/۴۱
	۲	۷/۱۱
میانگین روزانه بارندگی در روزهای بارانی (م.م.)	۱	۱/۲۸
	۲	۱/۲۱

نتیجه‌گیری

شبیه‌سازی استوکاستیکی باران روزانه در بسیاری از مدل‌ها (برای مثال هیدرولوژی، هواشناسی و تولید محصول) کاربرد دارد. بیشتر مدل‌های شبیه‌سازی استوکاستیکی تک‌ایستگاهی بوده و مدل‌های اندکی ساختار همبستگی بارندگی (وقوع و مقدار) را به صورت چندایستگاهی در نظر می‌گیرند. با این حال در مدل‌های موجود توجهی به احتمال نایستایی پارامترهای دخیل نمی‌شود. با توجه به ۳۶ ایستگاه در گستره سه استان خراسان شمالی، رضوی و جنوبی نشان داده شد که هر ۴ پارامتر مدل‌های شبیه‌سازی (دو پارامتر احتمال بارانی بودن به شرط خشک بودن روز پیش و احتمال بارانی بودن به شرط بارانی بودن روز پیش در مدل وقوع بارندگی و دو پارامتر شکل و مقیاس در مدل مقدار بارندگی توسط تابع چگالی گاما) در زمان نایستا هستند. احتمال وقوع روزی بارانی به شرط خشک بودن روز پیش بین ۰/۰۶ تا ۰/۲۱ و دامنه احتمال وقوع روزی بارانی به شرط بارانی بودن روز پیش بین ۰/۰۸ تا ۰/۴۷ به دست آمد. دو پارامتر مدل شبیه‌سازی (به ترتیب α و β به ترتیب بین ۲/۰۰ تا ۳۳/۹۴ و بین ۰/۹۹ تا ۴/۳۷ به دست آمد. به طور کلی در نظر گرفتن نایستایی موجب افزایش دقت فرآیند شبیه‌سازی گردید. با این حال ممکن است برخی از پارامترها در چندین سال تفاوت معنی‌داری با هم نداشته باشد. این مطالعه جامع نبوده و پیشنهاد می‌شود برای

- Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology, Technical Report: 05/7.
- Srikanthan, R., Pegram, G. G. S. 2009. A nested multisite daily rainfall stochastic generation model. *J. Hydrol.*, 371: 142–153.
- Thom, H. C. S. 1958. A note on the gamma distribution. *Mon. Weather Rev.*, 86: 117–122.
- Thompson, C. S., Thomson, P. J., Zheng, X. 2007. Fitting a multisite daily rainfall model to New Zealand data. *J. Hydrol.*, 340: 25–39.
- Wilks, D. S. 1998. Multisite generalization of a daily stochastic precipitation generation model. *J. Hydrol.*, 210: 178–191.
- Wilks D. S. 1999. Simultaneous stochastic simulation of daily precipitation, temperature and solar radiation at multiple sites in complex terrain. *Agric. For. Meteorol.*, 96: 85–101.
- Wilks, D. S., Wilby, R. L. 1999. The weather generation game: a review of stochastic weather models. *Prog. Phys. Geogr.*, 23: 329–357.
- Zheng, X., Katz, R. W. 2008. Simulation of spatial dependence in daily rainfall using multisite generators. *Water Resour., Res.*, 44: W09403.
- rainfall in the Gaza Strip. *Int. J. Climatol.*, 32:1098-1112.
- Nelson, C. R. Plosser, C. I. 1982. Trends and random walks in macroeconomic time series; Some evience of implications. *J. Monetary Econ.*, 10, 139-162.
- O'Brien, J. J., Griffiths, J. F. 1965. The Rank Correlation Coefficient as an Indicator of the Product-Moment Correlation Coefficient for Small Samples (10–100). *J. Geophys. Res.*, 70:1995–1998.
- Qian, B., Corte-Real, J., Xu, H. 2002. Multisite stochastic weather models for impact studies. *Int. J. Climat.*, 22:1377–1397.
- Rao A. R., Hamed K. H., Chen H. L. 2003. Nonstationarities in Hydrologic and Environmental Time Series. *Water Science and Technology Library, Volume 45, Springer Science Business Media, B.V.*, 362P.
- Richardson, C. W. 1981. Stochastic simulation of daily precipitation, temperature, and solar radiation. *Water Resour. Res.*, 17:182–190.
- Rousson, V. 2007. The gamma coefficient revisited. *Stat. Probabil. Lett.*, 77: 1696–1704.
- Schwarz, G. 1978. Estimating the dimension of a model. *Ann. Stat.*, 6: 461–464.
- Srikanthan, R. 2005. Stochastic Generation of Daily Rainfall Data at a Number of Sites.

پیش‌بینی خشکسالی با نمایه‌های SPI و EDI به روش مدل‌سازی ANFIS بر مبنای خوشه‌بندی C-Mean و SC (مطالعه موردی: استان کهگیلویه و بویراحمد)

مهدی کماسی^۱، مهدی ملک‌محمودی^۲، حسین منتصری^{۳*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۳/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۵/۳۰

چکیده

خشکسالی از جمله اصلی‌ترین و قدیمی‌ترین بلای طبیعی است که اثرات زیست محیطی مهمی را به دنبال دارد. استان کهگیلویه و بویر احمد علیرغم آنکه از لحاظ میزان بارش مقام سوم را در سطح کشور دارا می‌باشد، اما خشکسالی‌ها به‌طور متناوب این استان را تحت تأثیر قرار داده و خسارات بسیار سنگینی را به دنبال دارند. یافتن نمایه‌های اندازه‌گیری خشکسالی برای پیش‌بینی و ارزیابی مکانی و زمانی این پدیده به‌منظور مدیریت بحران آن ضروری و حیاتی به نظر می‌رسد. در این پژوهش با استفاده از مبنای شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) و مدل عصبی فازی تطبیقی (ANFIS) به همراه آنالیز خوشه‌بندی فازی برای پیش‌بینی خشکسالی با نمایه بارش استاندارد (SPI) و نمایه خشکسالی مؤثر (EDI) استفاده گردیده است. نتایج به دست آمده از پژوهش بیانگر آن است که نمایه SPI با ضریب صحت‌سنجی ۰/۸۷ نسبت به نمایه EDI با ضریب صحت‌سنجی ۰/۷۳ قابلیت و دقت بیشتری در پیش‌بینی خشکسالی دارد و از طرف دیگر راهبرد شبکه عصبی- فازی تطبیقی بر مبنای روش خوشه‌بندی تکراری (C-Mean) و کاهش (SC) در امر مدل‌سازی برای پیش‌بینی خشکسالی از کارایی بالایی برخوردار است. نتایج نشان می‌دهد که خوشه‌بندی باعث افزایش دقت مدل‌سازی در مرحله صحت‌سنجی و واسنجی شده است. همچنین خوشه‌بندی تکراری با ضریب واسنجی ۰/۹۳ و ضریب صحت‌سنجی ۰/۸۷ بهترین مدل می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: خشکسالی، خوشه‌بندی فازی، شبکه عصبی- فازی تطبیقی، کهگیلویه و بویراحمد، نمایه‌های EDI و SPI

مقدمه

این پدیده مطرح نگردیده است. مطالعات نشان می‌دهد که تا اوایل دهه ۱۹۸۰ بیش از ۱۵۰ نوع تعریف از خشکسالی در جهان ارائه گردیده است. دلیل وجود این تنوع معنایی آن است که کاربران و محققان رشته‌های گوناگون از دیدگاه خود به این پدیده نگرسته‌اند. نمایه خشکسالی امکان توصیف و بیان خشکسالی به‌صورت کمی را فراهم می‌کند. نمایه خشکسالی تابعی از عوامل مختلف محیطی است که بر پدیده خشکسالی اثر می‌گذارند. استفاده از فرم تجربی نمایه کمبود توأم برای پایش خشکسالی کافی نمی‌باشد و توصیه می‌شود از فرم نظری آن استفاده شود (بذرافشان و همکاران، ۱۳۹۴). جمشیدی و همکاران (۱۳۸۸) در تحقیقی با استفاده از آمار سال‌های ۱۹۶۷ تا ۲۰۰۵ تعداد ۳۹ ایستگاه سینوپتیک در گستره‌های اقلیمی مرطوب، نیمه‌خشک و خشک ایران، به پایش خشکسالی بر اساس دو نمایه خشکسالی احیایی^۴ (RDI) و بارش

خشکسالی یکی از پدیده‌های محیطی و بخش جدایی‌ناپذیر تغییرات اقلیمی می‌باشد. این پدیده در واقع از ویژگی‌های اصلی و تکرارشونده اقلیم‌های مختلف به شمار می‌آید. خشکسالی ممکن است در هر جایی رخ دهد و باعث کمبود آب گردد اما ویژگی‌های آن از قبیل شدت، مدت و بزرگی خشکسالی از محلی به محل دیگر متفاوت می‌باشد. به دلیل اینکه عوامل مختلفی به‌طور مستقیم و غیرمستقیم در وقوع خشکسالی مؤثرند تعریف واژه خشکسالی مشکل است و به همین جهت تاکنون تعریف جامع و کاملی از

^۱ استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آیت الله العظمی بروجردی (ره)، بروجرد، خرم آباد
^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه یاسوج
^۳ استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه یاسوج

*نویسنده مسئول: hmontaseri@gmail.com

^۴ Reclamation Drought Index

همکاران (۱۳۹۲) به مطالعه پیش‌بینی خشکسالی با نمایه SPI به روش مدل‌سازی ANFIS^۴ پرداختند. نتایج نشان داد که SPI قابلیت بیشتری نسبت به سایر نمایه‌ها دارد و شبکه عصبی-فازی تطبیقی در امر مدل‌سازی برای پیش‌بینی خشکسالی از کارایی بالایی برخوردار است. ابراهیم پور و قادری (۱۳۹۳) برای کاربرد روش‌های هوش مصنوعی در پیش‌بینی خشکسالی بر اساس شاخص SPI از دو روش هوش مصنوعی شامل شبکه عصبی پرسپترون چندلایه (MLP) و سیستم استنباط عصبی-فازی تطبیقی استفاده کردند نتایج نشان داد هر دو روش با دقت قابل قبولی خشکسالی را پیش‌بینی می‌کنند. چوبین و همکاران (۲۰۱۴) در مطالعه‌ای به منظور پیش‌بینی خشکسالی در حوضه مهارلو بختگان از مدل عصبی فازی استفاده کردند که نتایج حاکی از برتری این مدل نسبت به مدل رگرسیونی است. دهقانی و همکاران (۲۰۱۴) به بررسی عدم قطعیت پیش‌بینی خشکسالی به وسیله شبکه عصبی مصنوعی و مدل شبیه‌سازی مونت کارلو پرداختند. نتایج نشان داد که شبکه عصبی مصنوعی به طور قابل توجهی بهتر از مدل مونت کارلو عمل کرده است. باکانلی و همکاران^۵ (۲۰۰۹) از مدل ANFIS به منظور پیش‌بینی خشکسالی در کشور ترکیه استفاده نمودند. همچنین در این پژوهش از مدل ANFIS جهت پیش‌بینی خشکسالی استفاده گردیده است که نتایج به دست آمده بیانگر دقت مناسب مدل ANFIS می‌باشد. مدل‌های پیش‌بینی مختلفی برای SPI با مقیاس‌های زمانی ۱، ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که ترکیب مقادیر پیشین بارندگی و شاخص SPI با یکدیگر بهبود عملکرد مدل‌ها را به همراه دارد و مقایسه‌های انجام‌گرفته با نتایج روش‌های شبکه عصبی FFNN و رگرسیون خطی چندگانه، نشان از ارجحیت مدل ANFIS نسبت به دو مدل دیگر داشت اما با توجه به اینکه نمایه‌های خشکسالی دارای دامنه‌های متفاوتی هستند. موریرا^۶ (۲۰۱۶) به بررسی شاخص SPI شش ماهه و دوازده ماهه با استفاده از مدل لگاریتم خطی پرداخت، در واقع می‌توان گفت که این مدل یک مدل‌سازی نیمه خطی می‌باشد در صورتی که شبکه‌های عصبی همانند مدل شبکه عصبی فازی تطبیقی (ANFIS)

استاندارد^۱ (SPI) پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که نمایه RDI در اکثر ماه‌ها از مشابهت رفتاری بالایی با نمایه SPI برخوردار است، اگرچه در برخی از ماه‌ها افزایش یا کاهش مقدار تبخیر - تعرق پتانسیل سبب نوساناتی در نمایه RDI می‌گردد. آن‌ها همچنین نشان دادند که در طبقه خشکسالی شدید به‌علت مقادیر بارندگی کم و تبخیر - تعرق زیاد، مقادیر نمایه RDI افزایش می‌یابد. آن‌ها در پایان با تعیین ضرایب همبستگی بین نمایه RDI و SPI بیان داشتند نمایه RDI به دلیل همبستگی بالا با نمایه SPI می‌تواند در پایش خشکسالی در طرح‌های منابع آب در ایران مورد توجه قرار گیرد. یزدانی و همکاران (۱۳۹۱) به‌منظور بررسی خشکسالی‌ها از نمایه SPI در دو مقیاس زمانی ۳ و ۱۲ ماهه و داده‌های بارش ۱۱۹ ایستگاه واقع در داخل کشور با طول دوره آماری مشترک ۳۲ ساله (۱۳۸۴-۱۳۵۳) استفاده نمودند. نتایج نشان دادند که تعداد خشکسالی‌ها در فواصل زمانی کوتاه‌تر بیش از تعداد آن‌ها در فواصل زمانی طولانی‌تر نیز می‌باشند، همچنین در سال‌های اخیر، تکرار خشکسالی در ایران افزایش داشته ولی از شدت آن کاسته شده است. نمایه خشکسالی مؤثر (EDI)^۲ می‌تواند برای بازبینی خشکسالی مناطق بزرگ به کار رود. ولی مشکل اصلی در فرم اولیه آن، استفاده از داده‌های روزانه بارندگی است که همواره موجود نمی‌باشد برای رفع این مشکل اسماختین و هوگر^۳ (۲۰۰۴) الگوریتم EDI را با حفظ اصول محاسبات آن تغییر دادند تا بتوانند با به‌کارگیری مقادیر بارندگی ماهانه، مقدار ماهانه EDI را محاسبه کنند. بنی‌مهد و خلیلی (۱۳۹۰) به بررسی و مقایسه شاخص‌های SPI و EDI در ایستگاه‌های منتخب استان مازندران پرداختند. نتایج نشان داد که این دو شاخص رفتار مشابهی دارند. همچنین با افزایش بازه زمانی تداوم خشکسالی بر اساس این دو شاخص افزایش و شدت خشکسالی کاهش می‌یابد. شیرمحمدی و همکاران (۲۰۱۳) از شبکه عصبی تطبیقی (ANFIS) برای مدل‌سازی و تجزیه و تحلیل سری زمانی شاخص‌های خشکسالی استفاده کردند، که این مقالات بر کارایی روش‌های بالا در مدل‌سازی رفتار غیر خطی سری زمانی شاخص‌های خشکسالی اذعان دارند. کماسی و

^۴ Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System

^۵ Bacanlı et al.

^۶ Moreira

^۱ Standardized Precipitation Index

^۲ Effective Drought Index

^۳ Smakhtin and Hughes

توجه به حداقل طول دوره آماری برابر ۳۰ و پراکندگی مناسب ایستگاه‌ها در سطح استان ۱۱ ایستگاه یاسوج، دهدشت، سی سخت، دوگنبدان، بوطاری، کتا، شامختار، سپیدار، پاتاوه، بی‌بی حکیمه و بی‌بی جان آباد برای محاسبه شاخص‌ها انتخاب شد که مشخصات این ایستگاه‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های منتخب

ایستگاه	سال تأسیس	عرض جغرافیایی (N)	طول جغرافیایی (E)
یاسوج	۱۳۴۵	۳۰° ۴۰'	۵۱° ۳۵'
دهدشت	۱۳۶۰	۳۰° ۴۸'	۵۰° ۳۴'
سی سخت	۱۳۵۰	۳۰° ۵۱'	۵۱° ۲۷'
دوگنبدان	۱۳۳۹	۳۰° ۲۶'	۵۰° ۴۸'
بوطاری	۱۳۴۹	۳۰° ۵۲'	۵۱° ۲۰'
کتا	۱۳۵۵	۳۱° ۱۱'	۵۱° ۱۵'
شامختار	۱۳۵۰	۳۰° ۴۲'	۵۱° ۳۲'
سپیدار	۱۳۵۸	۳۰° ۳۶'	۵۱° ۲۲'
پاتاوه	۱۳۵۰	۳۰° ۵۷'	۵۱° ۱۶'
بی‌بی حکیمه	۱۳۷۹	۳۰° ۰۲'	۵۰° ۳۶'
بی‌بی جان آباد	۱۳۴۶	۳۰° ۱۵'	۵۰° ۴۵'

شبکه عصبی فازی تطبیقی (ANFIS)

این ساختار حاصل تلفیق شبکه تطبیقی با قوانین فازی است. در این ساختار هیچ محدودیتی بر روی توابع گره‌ای وجود ندارد به‌جز اینکه باید به‌طور قطعه‌ای مشتق‌پذیر باشند. قوانین فازی به‌صورت تاکاگی-سوگینو در نظر گرفته می‌شوند و اگر x و y دو متغیر بخش مقدمه قانون فازی نام باشند، مؤخره این قانون فازی به‌صورت ترکیب خطی x و y به همراه یک مقدار ثابت خواهد بود. ساختار شبکه ANFIS با پنج لایه، در شکل ۱ نشان داده شده است. لایه اول دارای گره‌های قابل تنظیم است که معمولاً توابع تعلق مربوط به آن‌ها به‌صورت گاوسی یا زنگوله شکل، با مقدار بیشینه‌ای برابر یک و کمینه‌ای برابر صفر می‌باشند. پارامترهای توابع تعلق که همان پارامترهای مقدمه قوانین فازی هستند، بر اساس توصیف زبانی مربوط به متغیرها و زیر فضاهای فازی و بر اساس روش هایبرید تنظیم می‌شوند. گره‌های لایه دوم ثابت در نظر گرفته می‌شوند. این گره‌ها دو سیگنال ورودی را در هم ضرب کرده و حاصل را به‌عنوان خروجی تحویل شبکه می‌دهند. سیگنال‌های ورودی این گره‌ها در واقع میزان سازگاری ورودی با هریک از توابع تعلق و خروجی آن‌ها، وزن مربوط به هریک از قوانین است. گره‌های لایه سوم نیز ثابت بوده

در واقع یک مدل غیرخطی می‌باشد. در این راستا، اصفهانیان و همکاران (۲۰۱۷) در یک پژوهش جامع به ارزیابی شاخص‌های مختلف خشکسالی پرداختند. چوبین و همکاران^۱ (۲۰۱۶) دریافتند که امروزه استقبال نسبت به مدل‌های داده کاوی در پیش‌بینی پدیده پیچیده خشکسالی مورد توجه فرا گرفته است. در این راستا دثو و همکاران^۲ (۲۰۱۷) به ارزیابی خشکسالی با شاخص SPI توسط سه مدل ماشین بردار پشتیبان با حداقل مربعات (LSSVM) مدل درختی (M5Tree) و مدل مارس (MARS) پرداختند. بهره‌گیری از یک آنالیز پیش‌پردازشگر می‌تواند روند بهتری در فرایند مدل‌سازی به وجود آورد از این رو در این پژوهش از خوشه‌بندی فازی به روش C-mean و SC جهت آنالیز و مدل‌سازی با استفاده از روش ANFIS پرداخته شده است همچنین به علت اهمیت این پدیده و اثرات آن بر جنبه‌های مختلف زندگی، در این تحقیق سعی بر آن است که با استفاده از نمایه‌های SPI و EDI خشکسالی هواشناسی استان کهگیلویه و بویراحمد را بررسی کرده و با قرار دادن این نمایه‌ها به‌عنوان ورودی مدل ANFIS به پیش‌بینی خشکسالی استان کهگیلویه و بویراحمد پرداخته شود و با استفاده از تکنیک خوشه‌بندی دقت مدل را تا حد بالایی افزایش داد.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی

استان کهگیلویه و بویراحمد در جنوب غربی ایران بین عرض‌های $۳۰^{\circ} ۰۹'$ تا $۳۱^{\circ} ۳۲'$ شمالی و $۴۹^{\circ} ۵۷'$ تا $۵۱^{\circ} ۴۲'$ شرقی واقع گردیده است. وسعت این استان ۱۶۲۶۴ کیلومترمربع است. بلندترین نقطه استان قله دنا به ارتفاع ۴۴۰۹ متر و پست‌ترین نقطه آن چرهن با ارتفاع ۱۹۷ متر از سطح دریا است. در مجموع شرایط جغرافیایی و طبیعی منطقه به‌گونه‌ای است که هر چه از نواحی شمال و شمال شرق به‌سوی جنوب و جنوب غرب نزدیک‌تر شوید، از ارتفاع کوه‌ها کاسته شده و به همین نسبت میزان بارندگی نیز کاهش می‌یابد و متقابلاً بر دما و خشکی هوا افزوده می‌شود. طولانی بودن دوره آماری و پراکنش مکانی ایستگاه‌ها دو معیار اساسی در انتخاب ایستگاه جهت تحلیل خشکسالی می‌باشد. همچنین با

^۱ Choubin et al.

^۲ Deo et al.

بهبود کارایی روش‌های پیشین خوشه‌بندی مطرح گشت. در این روش نحوه‌ی گروه‌بندی داده‌ها در فضای چندبعدی به تعداد معینی از خوشه‌های مختلف تشریح شده است. تابع FCM با شروع از یک حدس اولیه به‌عنوان مراکز خوشه‌ها کار خود را آغاز می‌کند. معمولاً این حدس اولیه نادرست بوده و مکان درست مراکز را مشخص نمی‌کند. سپس FCM هر یک از نقاط را با درجه‌ای از عضویت به هر یک از خوشه‌ها مربوط می‌سازد. با تکرار به‌روزرسانی مراکز خوشه‌ها و درجه عضویت هر یک از نقاط، به تدریج مراکز خوشه‌ها به مکان درست و واقعی خود در مجموعه داده‌ها انتقال پیدا می‌کنند. این به‌روز رسانی‌ها بر مبنای حداقل سازی تابع هدف انجام می‌شود. تابع هدف ارائه‌دهنده فاصله بین هر یک از نقاط تا مرکز خوشه، بر مبنای درجه عضویت آن هست.

خوشه‌بندی کاهشی^۳ (SC)

در این روش داده‌ها به گروه‌هایی دسته‌بندی می‌شوند. به‌طوری‌که داده‌های مشابه در یک گروه قرار می‌گیرند. در روش خوشه‌بندی کاهشی انتخاب تعداد خوشه‌ها به عهده سیستم هست. عملکرد خوشه‌بندی کاهشی در چند مرحله در زیر بیان شده است:

۱. یافتن داده‌ای که بیشترین پتانسیل اولین مرکز بودن را دارا باشد.

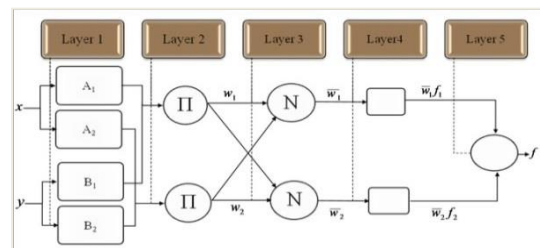
۲. جداسازی همه داده‌های مجاور اولین مرکز توسط شعاع مشخص شده به‌منظور تعیین خوشه و مرکز خوشه بعدی.

۳. تکرار مراحل بالا تا زمانی که همه داده‌ها در مراکز خوشه‌ها قرار گیرند.

شعاع خوشه را باید برای هر دسته از داده‌های ورودی و دسته داده خروجی در برنامه تعیین کرد و مقدار آن را می‌توان برای دسته‌های پارامترهای ورودی و دسته پارامتر خروجی یکسان فرض کرد و یا به هر دسته، از بازه (۰-۱) عددی نسبت داد که معمولاً مقادیر میانی به علت بازدهی بهتر انتخاب می‌شود. هر نقطه مانند x_i می‌تواند برای مرکز خوشه کاندید شود. تابع چگالی برای نقطه x_i به صورت معادله ۱ تعریف می‌شود (توافان و همکاران، ۲۰۱۲).

$$D_i = \sum_{j=1}^n \exp\left(-\frac{\|x_i - x_j\|^2}{\left(\frac{r_a}{2}\right)^2}\right) \quad (1)$$

و وظیفه آن‌ها محاسبه وزن نرمال نمودن هر یک از قوانین است. گره‌های لایه چهارم وزن نرمال نمودن هر یک از قوانین فازی را در خروجی بخش مؤخره آن قانون ضرب کرده و تنها گره لایه پنجم نیز کلیه سیگنال‌های خروجی از گره‌های لایه چهارم را جمع کرده و به‌عنوان خروجی شبکه تحویل می‌دهد. الگوریتم هیبرید به‌صورت مستقیم برای شناسایی و تخمین پارامترهای شبکه قابل اعمال است. پارامترهای مؤخره پارامترهای خطی شبکه هستند که به روش تخمین زده می‌شوند. پارامترهای مقدمه نیز به روش کاهش گرادیان تنظیم می‌شود. الگوریتم هیبرید به‌صورت مستقیم برای شناسایی و تخمین پارامترهای شبکه قابل اعمال است. پارامترهای مؤخره قوانین همان پارامترهای خطی شبکه هستند که به روش LSE تخمین زده می‌شوند. پارامترهای مقدمه نیز به روش کاهش گرادیان تنظیم می‌شود.



شکل ۱- ساختار شبکه ANFIS با پنج لایه (جانگ، ۱۹۹۳)

خوشه‌بندی فازی

خوشه‌بندی داده‌های عددی، پایه و اساس بسیاری از الگوریتم‌های طبقه‌بندی و مدل‌سازی سیستم‌ها می‌باشد. هدف از خوشه‌بندی، گروه‌بندی مجموعه داده‌های بسیار بزرگ و فراهم آوردن یک نمایش ساده و مختصر از رفتار سیستم می‌باشد. جعبه‌ی ابزار منطق فازی، قابلیت یافتن خوشه‌ها در داده‌های آموزشی و ورودی-خروجی را در اختیار کاربر قرار می‌دهد. می‌توان از داده‌های کلاستر شده برای ایجاد یک سیستم استنتاج فازی نوع سوگنو با حداقل قواعد و حداکثر کارایی استفاده کرد.

خوشه‌بندی تکراری (C-Means)

خوشه‌بندی فازی تکراری یک تکنیک خوشه‌بندی است که در آن هر نقطه با درجه‌ی خاصی (که با توجه به امتیاز عضویت تعیین می‌شود) به یک خوشه متعلق می‌باشد. این تکنیک اولین بار توسط جیم بزدک^۲ (۱۹۸۱) در راستای

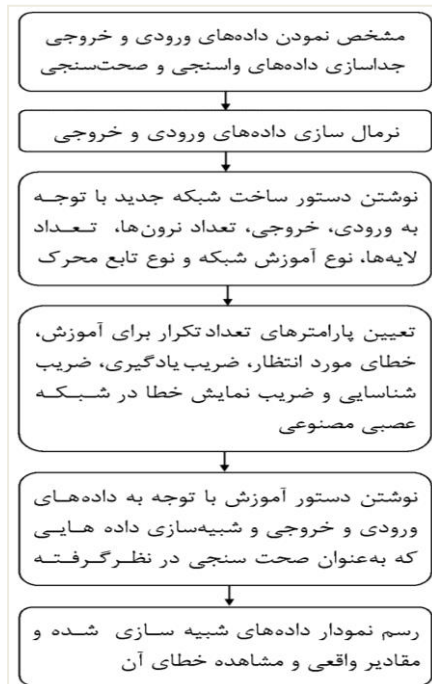
^۳Subtractive Clustering

^۴Tawafan et al.

^۱Jang

^۲Bezdek

در منطقه مورد مطالعه کدام شاخص بهتر عمل می‌کند، از یک فرضیه به‌عنوان سنجه کارآمد برای پایش خشکسالی استفاده شد (خلیلی و بذرافشان، ۱۳۸۲). طبق این فرضیه در ابتدا کمینه مقادیر بارندگی در طول دوره مشترک آماری استخراج و توسط شاخص‌های خشکسالی ارزیابی شده است. نحوه وارد نمودن داده‌های ورودی و چگونگی نوشتن برنامه شبکه عصبی و عصبی- فازی در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲- روندنمای تهیه کد برنامه شبکه عصبی و عصبی- فازی

نتایج و بحث

نتایج مدل‌سازی، تجزیه و تحلیل

با استفاده از آزمون سنجه کارآمد شاخص SPI به عنوان مناسب‌ترین شاخص در ایستگاه‌های مورد مطالعه انتخاب گردید و همچنین شاخص EDI به دلیل شباهت در استانداردسازی و طبقه‌بندی به شاخص SPI مورد بررسی قرار گرفت. در گام نخست به‌منظور بررسی تأثیر فازی سازی داده‌ها از روش شبکه عصبی مصنوعی استفاده شده است. به این منظور آرایش‌های مختلفی از این شبکه که دارای ورودی‌های متفاوتی است به‌صورت کلی $(P, n, 1)$ مورد آزمایش قرار گرفت که در این ساختار P تعداد ورودی‌های شبکه (نرون‌های ورودی) و n تعداد نرون‌های لایه میانی است که به‌صورت متغیر می‌تواند انتخاب گردد. به این منظور چهار ساختار برای حالت‌هایی که به تعداد

که در این معادله، x_j نقاط همسایگی x_i و r_a مقدار مثبت دارد که درواقع radii انتخابی خوشه می‌باشد. از میان نقاط داده‌ها، نقطه‌ای که دارای نقاط بیشتری در همسایگی خود باشد، چگالی بالاتری خواهد داشت و به‌عنوان اولین مرکز خوشه انتخاب خواهد شد. اگر x_{C1} به‌عنوان اولین مرکز خوشه و چگالی آن R^2 باشد آنگاه تابع چگالی بعدی برای هر نقطه x_i به‌صورت معادله ۲ تعریف می‌شود.

$$D_i = D_i - D_{C1} \exp\left(-\frac{\|x_i - x_j\|}{\left(\frac{r_b}{2}\right)^2}\right) \quad (2)$$

که در این معادله r_b ثابت مثبت است که ۱/۵ برابر r_a است و دومین مرکز خوشه انتخاب می‌شود. این فرآیند تا زمانی ادامه دارد که تعداد کافی مراکز خوشه تولید شود (تاوفان و همکاران، ۲۰۱۲).

روش مدل‌سازی

در مدل‌سازی سری زمانی SPI، با استفاده از نرم‌افزار DIP، داده‌های بارندگی به SPI تبدیل شد و سپس از این داده‌ها به‌عنوان متغیر ورودی در روش شبکه عصبی - فازی تطبیقی استفاده گردید. در این پژوهش از دوره ماهانه برای مدل‌سازی خشکسالی استفاده گردید. برای دستیابی به نتایج حاصله از روش شبکه عصبی - فازی تطبیقی برای مدل‌سازی خشکسالی با دوره ماهانه، برنامه‌ای به زبان Matlab نوشته شد. که این برنامه برای حالت‌های مختلف آرایش شبکه می‌تواند اجرا گردد. همچنین در این برنامه‌ها برای ارزیابی و مقایسه عملکرد مدل‌ها در پیش‌بینی نتایج از آماره‌های ضریب تبیین (R^2) و جذر میانگین مربع خطاها (RMSE) بر اساس معادلات ۳ و ۴ استفاده شد.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (SPI_i - \widehat{SPI}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (\widehat{SPI}_i - \overline{SPI}_i)^2} \quad (3)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (SPI_i - \widehat{SPI}_i)^2}{n}} \quad (4)$$

که \widehat{SPI}_i ، \overline{SPI}_i و SPI_i به ترتیب داده‌های مشاهده‌ای، داده‌های محاسباتی، میانگین داده‌های مشاهده‌ای و تعداد داده‌ها می‌باشند. مشخص است که نزدیک بودن R^2 به عدد یک و کم بودن مقدار RMSE حاکی از دقت روش است.

ارزیابی شاخص‌های منتخب خشکسالی

به منظور بررسی انتخاب بهترین شاخص توصیف‌گر ابتدا محاسبات کلیه شاخص‌ها در مقیاس سالانه انجام گردید. برای تشخیص اینکه برای ارزیابی شدت خشکسالی

۲، ۳، ۴ و ۵ وابستگی در شبکه وجود دارد با تعداد ۱ تا ۳۰ نرون برای لایه میانی مورد آموزش قرار گرفت که نتایج

جدول ۲- نتایج و آماره‌های مدل‌سازی نمایه SPI با روش شبکه عصبی مصنوعی

RMSE		R ²		ساختار بهینه شبکه	متغیرهای ورودی به شبکه	ساختار شبکه
صحت سنجی	واسنجی	صحت سنجی	واسنجی			
۰/۱۱	۰/۱۲	۰/۶۹	۰/۷	(۲،۱۵،۱)	SPI _{t-1} , SPI _t	(۲،n،۱)
۰/۱۲	۰/۱۱	۰/۷۲	۰/۷۳	(۳،۸،۱)	SPI _{t-2} , SPI _{t-1} , SPI _t	(۳،n،۱)
۰/۱۳	۰/۱۰	۰/۶۸	۰/۷۶	(۴،۸،۱)	SPI _{t-3} , SPI _{t-2} , SPI _{t-1} , SPI _t	(۴،n،۱)
۰/۱۵	۰/۰۹	۰/۶۴	۰/۷۷	(۵،۵،۱)	SPI _{t-4} , SPI _{t-3} , SPI _{t-2} , SPI _{t-1} , SPI _t	(۵،n،۱)

جدول ۳- نتایج و آماره‌های مدل‌سازی نمایه EDI با روش شبکه عصبی مصنوعی

RMSE		R ²		ساختار بهینه شبکه	متغیرهای ورودی به شبکه	ساختار شبکه
صحت سنجی	واسنجی	صحت سنجی	واسنجی			
۰/۱۴	۰/۱۳	۰/۶۴	۰/۷۱	(۲،۶،۱)	EDI _{t-1} , EDI _t	(۲،n،۱)
۰/۱۲	۰/۱۱	۰/۷۰	۰/۷۵	(۳،۹،۱)	EDI _{t-2} , EDI _{t-1} , EDI _t	(۳،n،۱)
۰/۱۱	۰/۱۲	۰/۷۰	۰/۷۱	(۴،۱۴،۱)	EDI _{t-3} , EDI _{t-2} , EDI _{t-1} , EDI _t	(۴،n،۱)
۰/۰۹	۰/۱۰	۰/۶۸	۰/۷۱	(۵،۹،۱)	EDI _{t-4} , EDI _{t-3} , EDI _{t-2} , EDI _{t-1} , EDI _t	(۵،n،۱)

نتایج حاصله در جدول ۴ آورده شده است. در گام دوم این پژوهش برای در نظر گرفتن ماهیت فازی و عدم قطعیت‌های موجود در پدیده خشکسالی از روش شبکه عصبی- فازی تطبیقی به‌عنوان مدل پیش‌بینی کننده استفاده گردید. در این میان یکی از نکات مهم و اساسی در مورد مدل عصبی - فازی تنظیم پارامترهای شبکه است بنابراین برای یافتن ساختاری مناسب که انطباق بهتری با داده‌های سری زمانی SPI یا EDI دارد می‌توان از آنالیز حساسیت استفاده نمود. به این معنی که ساختارهای متفاوتی از تعداد ورودی‌ها و تعداد و شکل تابع عضویت باید مورد بررسی قرار گیرد. برای این منظور چهار سناریوی زیر با توابع عضویت گوسی، مثلثی و پیش‌فرض برنامه که از توابع پرکاربرد و مهم در سیستم‌های فازی هستند در این پژوهش استفاده گردید.

همان‌طور که از جدول‌های ۲ و ۳ پیداست علت اینکه تعداد وابستگی‌ها بیشتر گرفته نشده این است که در صورت افزایش وابستگی، دقت در مرحله صحت‌سنجی افزایش یافته ولی در مرحله واسنجی تأثیر چندانی ندارد و حتی باعث کاهش دقت می‌گردد؛ بنابراین داشتن دید دو سویه به نتایج صحت‌سنجی و واسنجی یک اصل مهم در مدل‌سازی می‌باشد. در بخش دوم این گام برای بررسی متغیرهای مختلف برای پیش‌بینی خشکسالی از متغیرهای دما، رطوبت و نم نسبی نیز استفاده گردید. آرایش‌های مختلفی از این شبکه که دارای چهار ورودی است به‌صورت کلی (1, n, 4) مورد آزمایش قرار گرفت که در این ساختار ۴ تعداد ورودی‌های شبکه (نرون‌های ورودی) شامل SPI یا EDI، نم نسبی، دما و رطوبت و n تعداد نرون‌های لایه میانی است که به‌صورت متغیر می‌تواند انتخاب گردد که

جدول ۴- نتایج و آماره‌های مدل‌سازی متغیرهای مختلف برای پیش‌بینی خشکسالی با روش شبکه عصبی مصنوعی

RMSE		R ²		ساختار بهینه شبکه	متغیرهای ورودی به شبکه	ساختار شبکه عصبی
صحت سنجی	واسنجی	صحت سنجی	واسنجی			
۰/۱۰	۰/۱۱	۰/۶۹	۰/۷۲	(۴،۶،۱)	Evaporation, Temp, Moisture, SPI _{t-1}	(۴،n،۱)
۰/۱۱	۰/۱۲	۰/۷۹	۰/۸۰	(۴،۱۲،۱)	Evaporation, Temp, Moisture, EDI _{t-1}	(۴،n،۱)

خوشه‌بندی و بالحاظ کردن خوشه‌بندی در مرحله واسنجی و صحت‌سنجی ارائه شده است. در بخش دوم برای بررسی متغیرهای مختلف برای پیش‌بینی خشکسالی از متغیرهای دما، رطوبت و تبخیر نیز استفاده گردید که در جداول ۷ و ۸ پیداست که در این حالت تابع عضویت زنگوله‌ای (gbellmf) نتایج بهتری را ارائه داده است. نتایج نشان می‌دهد که نمایه SPI دقت بالاتری نسبت به نمایه EDI دارد

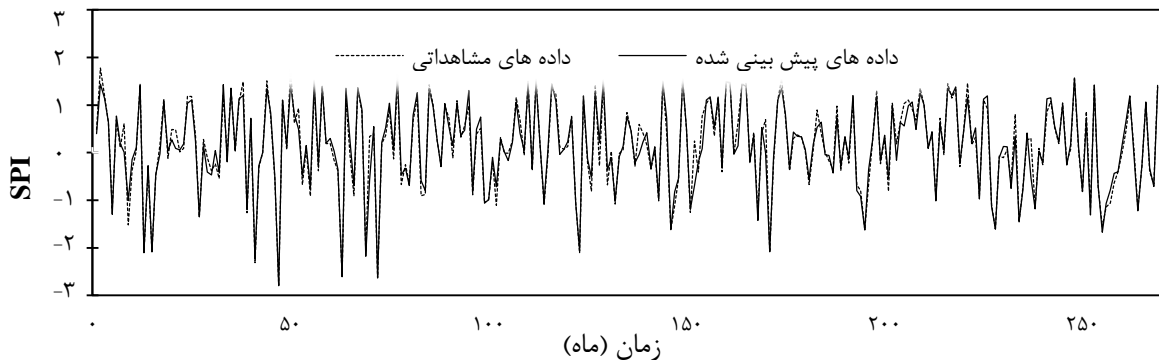
برای ارزیابی تأثیر تعداد و شکل تابع عضویت، هر سناریو به همراه سه نوع تابع عضویت مورد آزمایش قرار گرفت که نتایج آن برای هر یک از حالت‌ها به‌صورت ضریب تبیین مرحله صحت‌سنجی و واسنجی در جداول ۵ و ۶ آورده شده است. در شکل‌های ۳ تا ۱۰ به ترتیب مقایسه مقادیر محاسباتی و پیش‌بینی‌شده نمایه SPI و EDI با مدل‌های شبکه عصبی- فازی تطبیقی بدون در نظر گرفتن

دانست و دلیل افت سناریوی ۴ در قیاس با سناریوی ۲ را می‌توان در تعداد زیاد پارامترها و قوانین حاکم بر آنها دانست؛ زیرا با فرض یک خطای کوچک برای هر یک از پارامترها در کل خطای مجموع عدد بزرگی را نتیجه می‌دهد.

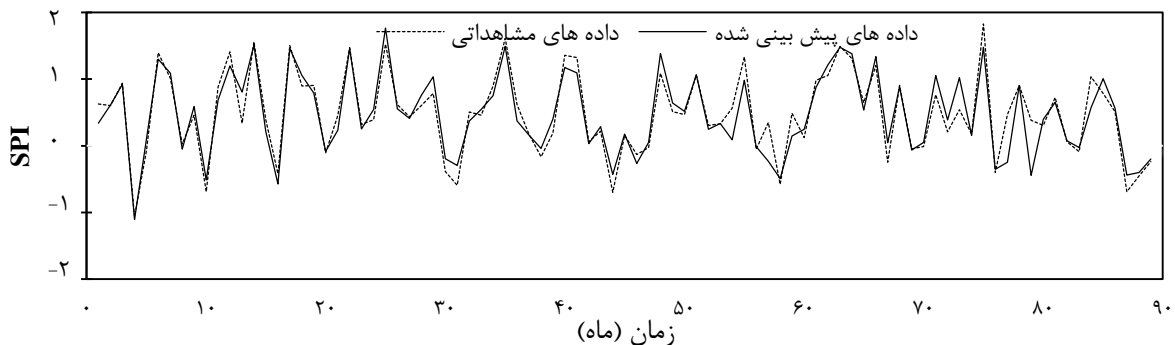
و همچنین سناریوی ۲ و تابع زنگوله‌ای نسبت به سایر سناریوها ضریب تبیین بیشتری دارد. دلیل اینکه سناریوی ۱ دارای کارایی و دقت کمتری نسبت به سناریوی ۲ است را می‌توان در تعداد کم متغیرهای ورودی در امر مدل‌سازی

جدول ۵- بررسی تأثیر ورودی‌ها و شکل تابع عضویت نمایه SPI در مدل‌سازی ANFIS

RMSE		R ²		ورودی مدل	نوع تابع عضویت
صحت‌سنجی	واسنجی	صحت‌سنجی	واسنجی		
۰/۰۸	۰/۰۵	۰/۸۲	۰/۹۱	Comb (1): SPI _t , SPI _{t-1}	trimf
۰/۰۷	۰/۰۴	۰/۸۵	۰/۹۵	Comb (2): SPI _t , SPI _{t-1} , SPI _{t-2}	trimf
۰/۰۹	۰/۰۳	۰/۶۱	۰/۹۷	Comb (3): SPI _t , SPI _{t-1} , SPI _{t-2} , SPI _{t-3}	trimf
۰/۱۵	۰/۰۳	۰/۳۰	۰/۹۷	Comb (4): SPI _t , SPI _{t-1} , SPI _{t-2} , SPI _{t-3} , SPI _{t-4}	trimf
۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۸۷	۰/۹۲	Comb (1): SPI _t , SPI _{t-1}	gaumf
۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۸۷	۰/۹۴	Comb (2): SPI _t , SPI _{t-1} , SPI _{t-2}	gaumf
۰/۱۳	۰/۰۳	۰/۵۶	۰/۹۶	Comb (3): SPI _t , SPI _{t-1} , SPI _{t-2} , SPI _{t-3}	gaumf
۰/۱۳	۰/۰۲	۰/۳۳	۰/۹۸	Comb (4): SPI _t , SPI _{t-1} , SPI _{t-2} , SPI _{t-3} , SPI _{t-4}	gaumf
۰/۰۸	۰/۰۶	۰/۸۶	۰/۸۸	Comb (1): SPI _t , SPI _{t-1}	define
۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۸۶	۰/۹۳	Comb (2): SPI _t , SPI _{t-1} , SPI _{t-2}	define
۰/۰۸	۰/۰۴	۰/۷۷	۰/۹۶	Comb (3): SPI _t , SPI _{t-1} , SPI _{t-2} , SPI _{t-3}	define
۰/۱	۰/۰۳	۰/۶۷	۰/۹۶	Comb (4): SPI _t , SPI _{t-1} , SPI _{t-2} , SPI _{t-3} , SPI _{t-4}	define
۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۸۵	۰/۹۲	Comb (1): SPI _t , SPI _{t-1}	gbellmf
۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۸۶	۰/۹۵	Comb (2): SPI _t , SPI _{t-1} , SPI _{t-2}	gbellmf
۰/۰۸	۰/۰۳	۰/۷۲	۰/۹۷	Comb (3): SPI _t , SPI _{t-1} , SPI _{t-2} , SPI _{t-3}	gbellmf
۰/۱	۰/۰۳	۰/۶۳	۰/۹۷	Comb (4): SPI _t , SPI _{t-1} , SPI _{t-2} , SPI _{t-3} , SPI _{t-4}	gbellmf



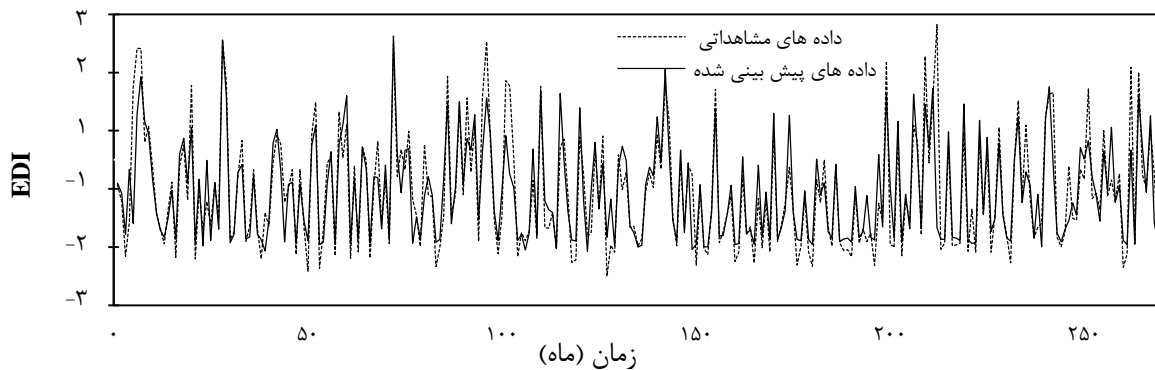
شکل ۳- مقایسه مقادیر مشاهداتی و پیش‌بینی‌شده SPI با استفاده از شبکه عصبی- فازی تطبیقی در مرحله واسنجی



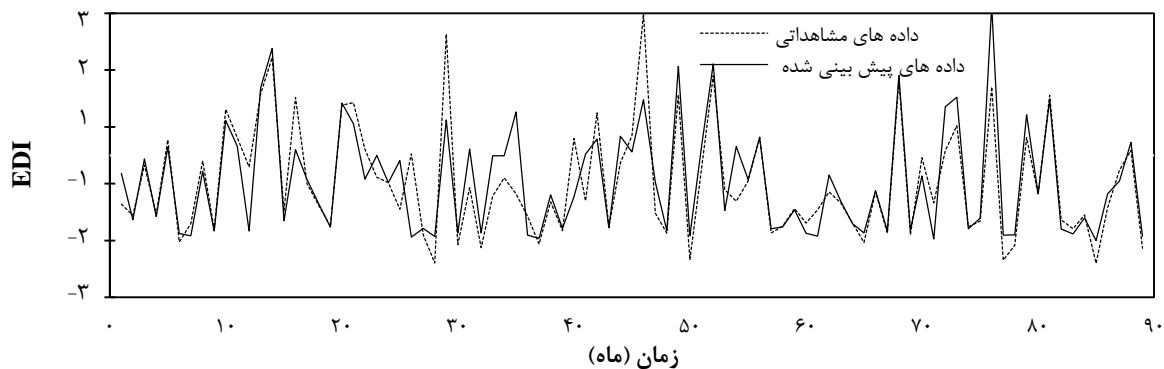
شکل ۴- مقایسه مقادیر مشاهداتی و پیش‌بینی‌شده SPI با استفاده از شبکه عصبی- فازی تطبیقی در مرحله صحت‌سنجی

جدول ۶- بررسی تأثیر ورودی‌ها و شکل تابع عضویت نمایه EDI در مدل‌سازی ANFIS

RMSE		R ²		ورودی مدل	نوع تابع عضویت
صحت‌سنجی	واسنجی	صحت‌سنجی	واسنجی		
۰/۱۲	۰/۱۱	۰/۷۰	۰/۷۱	Comb (1): EDI _t , EDI _{t-1}	trimf
۰/۱۲	۰/۱۰	۰/۶۹	۰/۷۶	Comb (2): EDI _t , EDI _{t-1} , EDI _{t-2}	trimf
۰/۱۳	۰/۱۰	۰/۶۲	۰/۷۷	Comb (3): EDI _t , EDI _{t-1} , EDI _{t-2} , EDI _{t-3}	trimf
۰/۱۵	۰/۰۹	۰/۳۸	۰/۸۳	Comb (4): EDI _t , EDI _{t-1} , EDI _{t-2} , EDI _{t-3} , EDI _{t-4}	trimf
۰/۱۴	۰/۱	۰/۵۹	۰/۷۵	Comb (1): EDI _t , EDI _{t-1}	gaumsf
۰/۱۱	۰/۱	۰/۷۰	۰/۷۷	Comb (2): EDI _t , EDI _{t-1} , EDI _{t-2}	gaumsf
۰/۱۵	۰/۱	۰/۵۰	۰/۷۹	Comb (3): EDI _t , EDI _{t-1} , EDI _{t-2} , EDI _{t-3}	gaumsf
۰/۱۷	۰/۱	۰/۳۲	۰/۷۹	Comb (4): EDI _t , EDI _{t-1} , EDI _{t-2} , EDI _{t-3} , EDI _{t-4}	gaumsf
۰/۱۲	۰/۱۱	۰/۶۷	۰/۷۳	Comb (1): EDI _t , EDI _{t-1}	define
۰/۱۲	۰/۱۰	۰/۶۹	۰/۷۶	Comb (2): EDI _t , EDI _{t-1} , EDI _{t-2}	define
۰/۱۴	۰/۱	۰/۵۴	۰/۷۹	Comb (3): EDI _t , EDI _{t-1} , EDI _{t-2} , EDI _{t-3}	define
۰/۱۹	۰/۰۸	۰/۳۰	۰/۸۴	Comb (4): EDI _t , EDI _{t-1} , EDI _{t-2} , EDI _{t-3} , EDI _{t-4}	define
۰/۱۰	۰/۱۱	۰/۷۱	۰/۷۲	Comb (1): EDI _t , EDI _{t-1}	gbellmf
۰/۱۱	۰/۱۰	۰/۷۱	۰/۷۵	Comb (2): EDI _t , EDI _{t-1} , EDI _{t-2}	gbellmf
۰/۱۴	۰/۰۹	۰/۵۴	۰/۷۹	Comb (3): EDI _t , EDI _{t-1} , EDI _{t-2} , EDI _{t-3}	gbellmf
۰/۱۶	۰/۰۸	۰/۳۹	۰/۸۴	Comb (4): EDI _t , EDI _{t-1} , EDI _{t-2} , EDI _{t-3} , EDI _{t-4}	gbellmf



شکل ۵- مقایسه مقادیر مشاهده‌ای و پیش‌بینی شده EDI با استفاده از شبکه عصبی - فازی تطبیقی در مرحله واسنجی



شکل ۶- مقایسه مقادیر مشاهده‌ای و پیش‌بینی شده EDI با استفاده از شبکه عصبی - فازی تطبیقی در مرحله صحت‌سنجی

جدول ۷- نتایج و آماره‌های مدل‌سازی متغیرهای مختلف برای پیش‌بینی خشکسالی با روش شبکه عصبی - فازی تطبیقی

RMSE		R ²		ورودی مدل	نوع تابع عضویت
صحت‌سنجی	واسنجی	صحت‌سنجی	واسنجی		
۰/۱۱	۰/۰۸	۰/۶۳	۰/۸۲	SPI _{t-1} , Moisture, Temp, Evaporation	define
۰/۱۲	۰/۰۹	۰/۶۲	۰/۷۸	SPI _{t-1} , Moisture, Temp, Evaporation	trimf
۰/۱	۰/۰۸	۰/۶۴	۰/۸۰	SPI _{t-1} , Moisture, Temp, Evaporation	gaumsf
۰/۱۱	۰/۰۷	۰/۶۶	۰/۸۲	SPI _{t-1} , Moisture, Temp, Evaporation	gbellmf

جدول ۸- نتایج و آماره‌های مدل‌سازی متغیرهای مختلف برای پیش‌بینی خشکسالی با روش شبکه عصبی - فازی تطبیقی

RMSE		R ²		ورودی مدل	نوع تابع عضویت
صحت سنجی	واسنجی	صحت سنجی	واسنجی		
۰/۱	۰/۰۹	۰/۷۳	۰/۸۷	EDI _{t-1} , Moisture, Temp, Evaporation	define
۰/۱۲	۰/۰۸	۰/۷۲	۰/۸۵	EDI _{t-1} , Moisture, Temp, Evaporation	trimf
۰/۱۱	۰/۰۷	۰/۷۶	۰/۸۶	EDI _{t-1} , Moisture, Temp, Evaporation	gausmf
۰/۰۹	۰/۰۶	۰/۸۱	۰/۸۷	EDI _{t-1} , Moisture, Temp, Evaporation	gbellmf

به ذکر است که ضریب R_{adii} برداری است که محدوده مراکز خوشه‌ها را مشخص می‌کند. از طریق آزمون و خطا مقدار بهینه آن برابر با ۰/۳ در نظر گرفته می‌شود. نتایج برای چهار سناریوی بالا برای ورودی‌های EDI و SPI در جداول ۹ و ۱۰ آمده است.

در گام سوم این پژوهش برای پیاده‌سازی خوشه‌بندی کاهشی (SC) در مدل anfis از تابع genfis2 استفاده گردید. تابع genfis2 از تابع subclust برای ایجاد یک سیستم استنتاج فازی سوگنو با استفاده از مجموعه داده‌های آموزشی ورودی/ خروجی استفاده می‌کند. لازم

جدول ۹- نتایج و آماره‌های مدل‌سازی نمایه SPI با روش شبکه عصبی - فازی تطبیقی بر مبنای خوشه‌بندی کاهشی

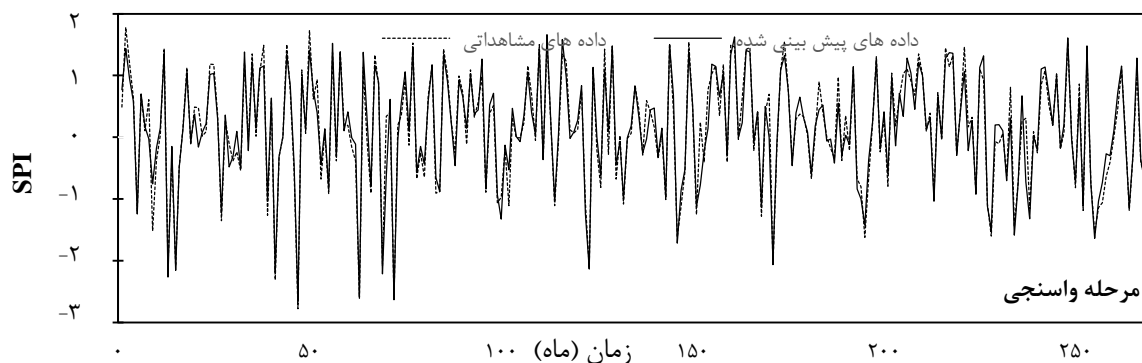
RMSE		R ²		ورودی مدل
صحت‌سنجی	واسنجی	صحت‌سنجی	واسنجی	
۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۸۷	۰/۸۸	Comb (1): SPI _t , SPI _{t-1}
۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۸۶	۰/۹۳	Comb (2): SPI _t , SPI _{t-1} , SPI _{t-2}
۰/۰۸	۰/۰۵	۰/۷۷	۰/۹۶	Comb (3): SPI _t , SPI _{t-1} , SPI _{t-2} , SPI _{t-3}
۰/۱	۰/۰۳	۰/۶۶	۰/۹۶	Comb (4): SPI _t , SPI _{t-1} , SPI _{t-2} , SPI _{t-3} , SPI _{t-4}
۰/۰۹	۰/۰۸	۰/۷۱	۰/۷۹	SPI _{t-1} , Moisture, temp, evaporation

جدول ۱۰- نتایج و آماره‌های مدل‌سازی نمایه EDI با روش شبکه عصبی - فازی تطبیقی بر مبنای خوشه‌بندی کاهشی

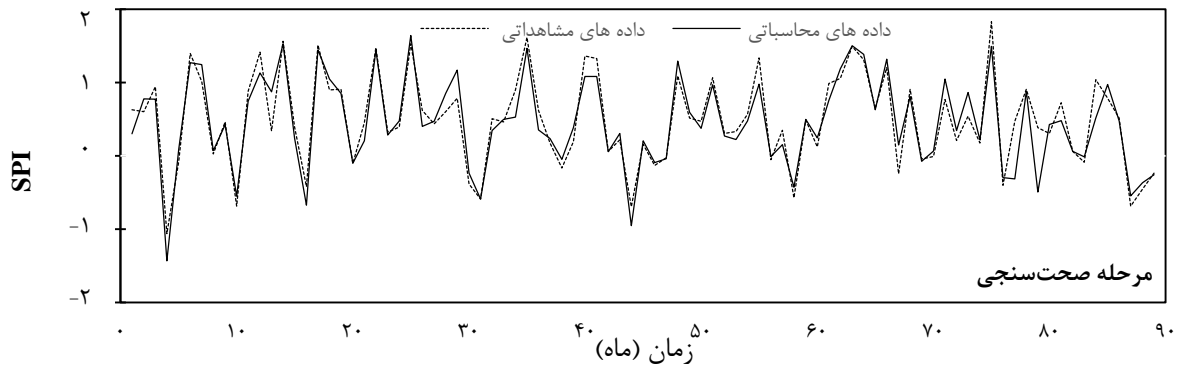
RMSE		R ²		ورودی مدل
صحت‌سنجی	واسنجی	صحت‌سنجی	واسنجی	
۰/۱۲	۰/۱۱	۰/۷۰	۰/۷۳	Comb (1): SPI _t , SPI _{t-1}
۰/۱۱	۰/۱۰	۰/۷۲	۰/۷۷	Comb (2): EDI _t , EDI _{t-1} , EDI _{t-2}
۰/۱۴	۰/۱۲	۰/۵۳	۰/۷۸	Comb (3): EDI _t , EDI _{t-1} , EDI _{t-2} , EDI _{t-3}
۰/۱۹	۰/۰۸	۰/۳۰	۰/۸۴	Comb (4): EDI _t , EDI _{t-1} , EDI _{t-2} , EDI _{t-3} , EDI _{t-4}
۰/۱۲	۰/۰۷	۰/۶۶	۰/۸۹	EDI _{t-1} , Moisture, Temp, Evaporation

شده است. در گام چهارم این پژوهش برای اجرای خوشه‌بندی تکراری در مدل ANFIS از تابع genfis3 استفاده گردید. تابع genfis3 یک FIS با استفاده از خوشه‌بندی تکراری به وسیله استخراج مجموعه‌ای از قوانینی که مدل رفتار کرده است را تولید می‌کند.

نتایج نشان می‌دهد که در خوشه‌بندی کاهشی هم نمایه SPI دقت بالاتری نسبت به نمایه EDI داشته است و سناریوی ۲ نسبت به سایر سناریوها ضریب تبیین بیشتری دارد و همچنین نتایج بیانگر این مهم است که خوشه بندی کاهشی سبب افزایش دقت مدل ANFIS



شکل ۷- مقایسه مقادیر مشاهده‌ای و پیش‌بینی شده SPI با استفاده از شبکه عصبی - فازی تطبیقی بر مبنای خوشه‌بندی کاهشی



شکل ۸- مقایسه مقادیر مشاهداتی و پیش‌بینی شده SPI با استفاده از شبکه عصبی- فازی تطبیقی بر مبنای خوشه‌بندی کاهشی

داده‌های ورودی خیلی زیاد نمی‌باشد برابر با ۳ در نظر گرفته می‌شود. در نهایت جهت مقایسه نهایی نتایج به دست آمده از روش‌های مدل‌سازی سری زمانی خشکسالی ارائه شده در این مقاله، نتایج بهترین ساختار برای هر یک از روش‌های یاد شده در جداول ۱۴ و ۱۵ آورده شده است که از مقایسه کلی جداول نتیجه‌گیری می‌شود که کاربرد روش عصبی- فازی به همراه آنالیز خوشه‌بندی می‌تواند به عنوان یک ابزار مناسب برای پیش‌بینی این پدیده به کار گرفته شود و همچنین نمایه SPI نتایج بهتری نسبت به نمایه EDI گزارش کرده است.

خوشه‌های تخمین زده شده در گام سوم (روش خوشه‌بندی کاهشی) را به عنوان مقدار اولیه در روش خوشه‌بندی تکراری (FCM) در نظر گرفته شده است که نتایج برای این مرحله در جداول ۱۲ و ۱۳ آمده است. با توجه به اعداد جدول ۱۱ می‌توان دریافت که افزایش دقت نتایج برای حالتی که از ۲ خوشه استفاده گردیده است چندان تأثیرگذار نبوده اما با افزایش خوشه‌ها به ۳ و ۴ خوشه مدل کارایی بهتری نسبت به حالت عدم خوشه‌بندی نشان داده و کارایی آن افزایش یافت. با توجه به جدول ۱۰ مقدار بهینه تعداد خوشه‌ها با توجه به اینکه تعداد

جدول ۱۱- بررسی تأثیر تعداد خوشه‌ها در نتایج مدل‌سازی نمایه SPI با روش شبکه عصبی- فازی تطبیقی

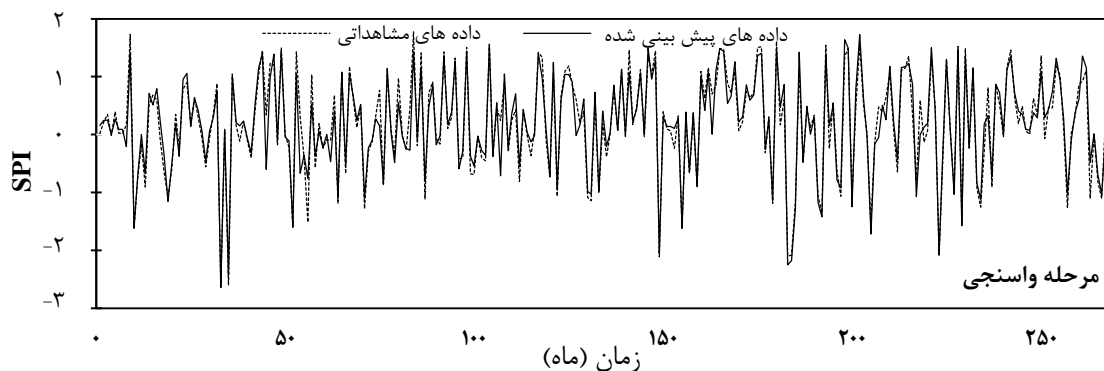
RMSE		R ²		متغیرهای ورودی به شبکه	تعداد خوشه‌ها
صحت‌سنجی	واسنجی	صحت‌سنجی	واسنجی		
۰/۰۸	۰/۰۴	۰/۸۳	۰/۹۳	Comb (2): SPI _t , SPI _{t-1} , SPI _{t-2}	۲
۰/۰۷	۰/۰۶	۰/۸۷	۰/۹۳	Comb (2): SPI _t , SPI _{t-1} , SPI _{t-2}	۳
۰/۰۸	۰/۰۴	۰/۸۳	۰/۹۳	Comb (2): SPI _t , SPI _{t-1} , SPI _{t-2}	۴
۰/۰۷	۰/۰۵	۰/۸۸	۰/۹۳	Comb (2): SPI _t , SPI _{t-1} , SPI _{t-2}	۸

جدول ۱۲- نتایج و آماره‌های مدل‌سازی نمایه SPI با روش شبکه عصبی- فازی تطبیقی بر مبنای خوشه‌بندی تکراری

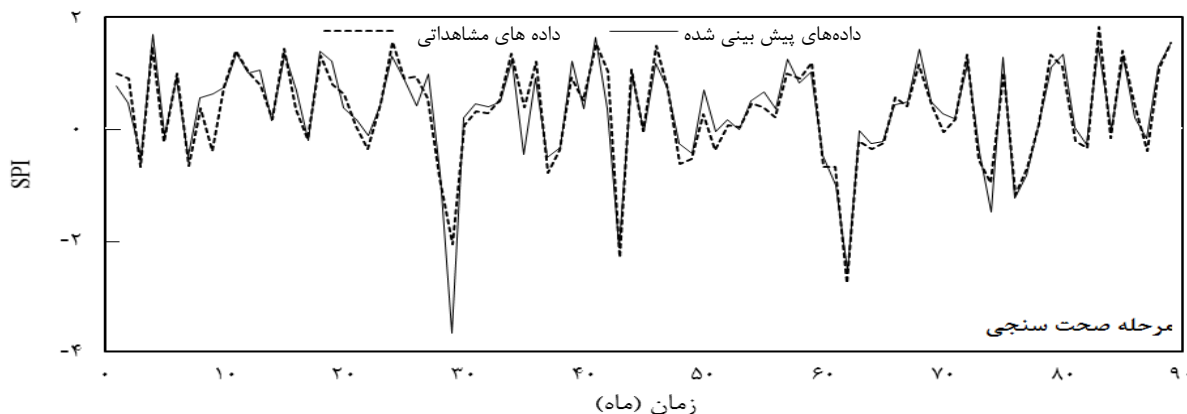
RMSE		R ²		ورودی شبکه	N=3
صحت‌سنجی	واسنجی	صحت‌سنجی	واسنجی		
۰/۰۸	۰/۰۶	۰/۸۱	۰/۹۰	Comb (1): SPI _t , SPI _{t-1}	
۰/۰۷	۰/۰۴	۰/۸۷	۰/۹۳	Comb (2): SPI _t , SPI _{t-1} , SPI _{t-2}	
۰/۰۸	۰/۰۵	۰/۸۰	۰/۹۵	Comb (3): SPI _t , SPI _{t-1} , SPI _{t-2} , SPI _{t-3}	
۰/۱	۰/۰۳	۰/۶۴	۰/۹۵	Comb (4): SPI _t , SPI _{t-1} , SPI _{t-2} , SPI _{t-3} , SPI _{t-4}	
۰/۱۱	۰/۰۸	۰/۶۰	۰/۸۱	SPI _{t-1} , Moisture, Temp, Evaporation	

جدول ۱۳- نتایج و آماره‌های مدل‌سازی نمایه EDI با روش شبکه عصبی- فازی تطبیقی بر مبنای خوشه‌بندی تکراری

RMSE		R ²		ورودی شبکه	N=3
صحت‌سنجی	واسنجی	صحت‌سنجی	واسنجی		
۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۷۰	۰/۷۲	Comb (1): EDI _t , EDI _{t-1}	
۰/۱۲	۰/۱	۰/۷۳	۰/۷۷	Comb (2): EDI _t , EDI _{t-1} , EDI _{t-2}	
۰/۱۴	۰/۰۹	۰/۵۳	۰/۸۰	Comb (3): EDI _t , EDI _{t-1} , EDI _{t-2} , EDI _{t-3}	
۰/۱۵	۰/۰۸	۰/۴۵	۰/۸۱	Comb (4): EDI _t , EDI _{t-1} , EDI _{t-2} , EDI _{t-3} , EDI _{t-4}	
۰/۱۴	۰/۰۸	۰/۶۵	۰/۸۷	EDI _{t-1} , Moisture, Temp, Evaporation	



شکل ۹- مقایسه مقادیر مشاهده‌ای و پیش‌بینی شده SPI با استفاده از شبکه عصبی- فازی تطبیقی بر مبنای خوشه‌بندی تکراری



شکل ۱۰- مقایسه مقادیر مشاهده‌ای و پیش‌بینی شده SPI با استفاده از شبکه عصبی- فازی تطبیقی بر مبنای خوشه‌بندی تکراری

جدول ۱۴- ارزیابی مدل‌های مختلف در مدل‌سازی خشکسالی با نمایه SPI

RMSE		R ²		روش مدل‌سازی
صحت سنجی	واسنجی	صحت سنجی	واسنجی	
۰/۱۲	۰/۱۱	۰/۷۲	۰/۷۳	شبکه عصبی- مصنوعی
۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۸۶	۰/۹۵	شبکه عصبی- فازی تطبیقی بدون خوشه‌بندی
۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۸۶	۰/۹۳	شبکه عصبی- فازی تطبیقی با خوشه‌بندی کاهشی
۰/۰۷	۰/۰۴	۰/۸۷	۰/۹۳	شبکه عصبی- فازی تطبیقی با خوشه‌بندی تکراری

جدول ۱۵- ارزیابی مدل‌های مختلف در مدل‌سازی خشکسالی با نمایه EDI

RMSE		R ²		روش مدل‌سازی
صحت سنجی	واسنجی	صحت سنجی	واسنجی	
۰/۱۲	۰/۱۱	۰/۷۰	۰/۷۵	شبکه عصبی- مصنوعی
۰/۱۱	۰/۱	۰/۷۱	۰/۷۵	شبکه عصبی- فازی تطبیقی بدون خوشه‌بندی
۰/۱۱	۰/۱	۰/۷۰	۰/۷۷	شبکه عصبی- فازی تطبیقی با خوشه‌بندی کاهشی
۰/۱۱	۰/۱	۰/۷۳	۰/۷۷	شبکه عصبی- فازی تطبیقی با خوشه‌بندی تکراری

ورودی به شبکه عصبی و عصبی- فازی استفاده گردید که نتایج حاصل از این مدل‌سازی نشان می‌دهد که ضریب تبیین (R²) در مرحله واسنجی و صحت‌سنجی برای شاخص SPI با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی به ترتیب ۰/۷۳ و ۰/۷۲ می‌باشد که با فازی سازی داده‌ها این ضرایب به ۰/۹۵ و ۰/۸۶ افزایش یافته است که نشان می‌دهد بهره‌گیری از شبکه عصبی- فازی به خوبی

نتیجه‌گیری

ترکیب مدل شبکه عصبی- فازی با آنالیز خوشه‌بندی یک ایده نو برای به‌وجود آمدن شبکه‌ای توانمندتر است. در این پژوهش از داده‌های نمایه SPI و EDI که با استفاده از آزمون سنجه کارآمد در مقایسه با سایر نمایه‌ها از شرایط مطلوب‌تری برخوردار است به عنوان داده‌های

اساس نمایه‌های آماری. اولین همایش بیابان تهران،

مرکز تحقیقات بین‌المللی بیابان، دانشگاه تهران.

- Bacanli, U. G., Firat, M., Dikbas, F. 2009. Adaptive neuro-fuzzy inference system for drought forecasting. *Stoch. Environ. Res. Risk Assess.*, 23(8): 1143-1154.
- Bezdek, J. C. 1981. *Pattern recognition with fuzzy objective function algorithms*, Plenum Press, New York.
- Choubin, B., Khalighi, Sh., Malekian, A., Ahmad, S., Attarod, P. 2014. Drought forecasting in a semi-arid watershed using climate signals: a neuro fuzzy modeling approach. *J. Mt. Sci.*, 11(6): 1593-1605.
- Choubin, B., Malekian, A., Golshan, M. 2016. Application of several data-driven techniques to predict a standardized precipitation index. *Atmosfera*, 29(2): 121-128.
- Dehghani, M., Saghaian, B., Naseri, F., Farokhnia, A., Noori, R. 2014. Uncertainty analysis of streamflow drought forecast using artificial neural networks and Monte-Carlo simulation. *Int. J. Climatol.*, 34(6): 1169-1180.
- Deo, R. C., Kisi, O., Singh, V. P. 2017. Drought forecasting in eastern Australia using multivariate adaptive regression spline, least square support vector machine and M5Tree model. *Atmos. Res.*, 184: 149-175.
- Esfahanian, E., Nejadhashemi, A. P., Abouali, M., Adhikari, U., Zhang, Z., Daneshvar, F., Herman, M. R. 2017. Development and evaluation of a comprehensive drought index. *J. Environ. Manag.*, 185: 31-43.
- Jang, J. S. R. 1993. ANFIS: Adaptive network based fuzzy inference system. *IEEE Trans. Syst. Man Cybern.*, 23 (3): 665-683.
- Moreira, E. E. 2016. SPI drought class prediction using log-linear models applied to wet and dry seasons. *J. Phys. Chem. Earth*, 94(A/B/C): 136-145.
- Shirmohammadi, B., Moradi, H., Moosavi, V., Semiromi, M. T., Zeinali, A. 2013. Forecasting of meteorological drought using Wavelet-ANFIS hybrid model for different time steps (case study: southeastern part of east Azerbaijan province, Iran). *Nat. hazards*, 69(1): 389-402.
- Smakhtin, V. U., Hughes, D. A. 2004. Review, automated estimation and analyses of drought indices in South Asia. *IWMI*, (Vol. 83).
- Tawafan, A. H., Bin Sulaiman, M., Bin Ibrahim, Z. 2012. Adaptive Neural Subtractive Clustering Fuzzy Inference System for the Detection of High Impedance Fault on Distribution Power System. *Int. J. Artif. Intell.*, 1(2): 63-72.

توانسته الگوی سری زمانی داده‌ها را تشخیص داده و به نتایج منجر گردد. همچنین از خوشه‌بندی داده‌ها برای افزایش کارایی مدل استفاده شد که نتایج نشان داد که خوشه‌بندی تکراری با ضریب واسنجی ۰/۹۳ و ضریب صحت سنجی ۰/۸۷ بهترین مدل می‌باشد. نتایج نشان می‌دهند شاخص SPI قابلیت و دقت بیشتری نسبت به شاخص EDI در پیش‌بینی خشکسالی در منطقه مورد مطالعه داشته است. از مقایسه نتایج این پژوهش با پژوهشی که چوبین و همکاران (۲۰۱۴) در حوضه مهارلو بختگان انجام دادند نتیجه می‌شود که خوشه‌بندی فازی نتایج بهتری به دنبال داشته است.

منابع

- ابراهیم پور، ا.، قادری، س. ج. ۱۳۹۳. کاربرد روش‌های هوش مصنوعی در پیش‌بینی خشکسالی بر اساس شاخص SPI. پانزدهمین کنفرانس دانشجویان عمران سراسر کشور، دانشگاه ارومیه، ارومیه.
- بذرافشان، ج.، هاشمی نسب، آ.، نازی قمشلو، آ. ۱۳۹۴. ارزیابی نمایه‌های خشکسالی کمبود توأم تحت شرایط اقلیمی ایران. نشریه حفاظت منابع آب و خاک، ۴(۳)، ۵۳-۶۳.
- بنی‌مهد، س. ا.، خلیلی، د. ۱۳۹۰. بررسی و مقایسه شاخص‌های خشکسالی EDI و SPI در ایستگاه‌های منتخب استان مازندران. همایش منطقه‌ای دانش محوری در مدیریت پایدار کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان.
- جمشیدی، ج.، خلیلی، د.، کامگار، ع. ۱۳۸۸. بررسی و مقایسه نمایه‌های خشکسالی SPI و RDI در ایستگاه‌های منتخب سینوپتیک کشور، دومین همایش ملی اثرات خشکسالی و راهکارهای مدیریت آن، اصفهان، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی.
- خلیلی، ع.، بذرافشان، ج. ۱۳۸۲. ارزیابی کارایی چند نمایه خشکسالی هواشناسی در نمونه‌های اقلیمی مختلف ایران. نشریه نیوار، ۴۸ (۴ و ۴۹): ۷۹-۹۳.
- کماسی، م.، اعلمی، م.، نورانی، و. ۱۳۹۲. پیش‌بینی خشکسالی با نمایه SPI به روش مدل‌سازی ANFIS. نشریه آب و فاضلاب، ۲۴(۴): ۱۰۲-۹۰.
- یزدانی، م.، رفیعیانی، ا.، رحیمی، م. ۱۳۹۱. بررسی و تحلیل خشکسالی هواشناسی در استان اصفهان بر

اثر عمق غرقابی بر دمای آب و خاک در شالیزار (مطالعه موردی: رشت)

ابراهیم اسعدی اسکویی^۱، محمد موسوی بایگی^{۲*}، محمدرضا یزدانی^۳، امین علیزاده^۴ و محمد جواد زهد قدسی^۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۵/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۵/۰۱

چکیده

دمای خاک در فرآیندهای زیستی و شیمیایی، جذب آب توسط ریشه و نیز تبخیر تعرق نقش بسزایی دارد. این کمیت خود متأثر از میزان رطوبت خاک است. در سال‌های اخیر پدیده کم آبی موجب اتخاذ روش آبیاری تناوبی در شبکه آبیاری سپیدرود گردیده است. در تناوب‌ها، عمق‌های غرقابی متفاوت مشاهده می‌شوند که خود دمای محیط ریشه (خاک و آب) را تغییر می‌دهند. هدف از این تحقیق، بررسی اثر عمق غرقابی بر دمای خاک و آب شالیزار می‌باشد. طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با استفاده از ۱۵ مینی لایسیمتر شالیزاری برای ۵ تیمار سطح ثابت ارتفاع آب و در سه تکرار اعمال گردید. در هر لایسیمتر روزانه در دو نوبت صبح و عصر، دمای خاک (در اعماق ۵ و ۱۰ از سطح) و دمای آب اندازه‌گیری گردید. نتایج نشان داد که دمای خاک در عمق ۵ سانتی‌متر با اختلاف معنی‌داری بیشتر از عمق ۱۰ سانتی‌متری بود. در تیمارهای صفر و منفی (غیر غرقابی) در صبح، دمای آب از دمای خاک در همان عمق کمتر بود در حالی‌که در عصر دمای آب از دماهای خاک در عمق مشابه بیشتر مشاهده شد. در مقیاس روزانه نیز دمای آب از خاک همان عمق بیشتر بوده و این مسأله بیانگر این است که با کاهش عمق آب در خاک محیط خاک سردتر می‌گردد. وجود لایه نازکی از آب بر روی سطح خاک بر خنک‌تر شدن محیط آب و خاک مؤثر است اما با رسیدن آب به سطح خاک (ارتفاع صفر) محیط به شدت گرم‌تر می‌شود و کاهش غرقاب تا عمق ۱۰- سانتی‌متر به طور معنی‌داری در خنک شدن محیط مؤثر است، اختلاف این دو حالت به طور متوسط به ۱/۵ درجه سلسیوس می‌رسد.

واژه‌های کلیدی: ارتفاع غرقاب، دمای محیط ریشه، گیاه برنج، لایسیمتر

مقدمه

تنها تبادل ماده و انرژی را در خاک تحت تأثیر قرار می‌دهد، بلکه می‌توان گفت میزان و جهت کلیه فرآیندهای فیزیکی خاک به صورت مستقیم یا غیرمستقیم وابسته به دمای خاک است. دمای خاک در فرآیندهای تبخیر و تعرق، تهویه خاک، جوانه‌زنی بذر، رشد گیاه و توسعه ریشه‌ها نقش مهمی دارد. دمای خاک متأثر از عوامل متعددی از جمله توپوگرافی، تابش خورشید، دمای هوا، توزیع بارش، میزان رطوبت خاک، نوع و ویژگی گرمایی خاک، همانند ظرفیت گرمایی، ضریب رسانایی گرمایی و گرمای ویژه می‌باشد (نجفی مود و همکاران، ۱۳۸۷). رفتار حرارت در خاک بر فعالیت میکروارگانیسم‌ها در خاک، جذب عناصر مهم مانند فسفر و پتاسیم و دیگر فعالیت‌های بیولوژیکی درون خاک تأثیر بسزایی دارد (کرین و همکاران^۸، ۲۰۰۴). با شناخت تغییرات دمای خاک و سرعت انتقال حرارت در پروفیل سطحی می‌توان میزان تبخیر از خاک، نیاز آبی گیاهان، سرعت تجزیه مواد،

خاک بستر حیات است و از جهات گوناگون بر سایر سامانه‌های محیطی تأثیر می‌گذارد. یکی از ویژگی‌های عمده خاک رژیم حرارتی حاکم بر آن می‌باشد که روی بسیاری از جنبه‌های زیستی به ویژه پراکنش گیاهان و جانوران، فعالیت‌های بیولوژیکی و حرکت آب در خاک اثرگذار است (المارس و همکاران^۵، ۱۹۶۴؛ بری و رادک^۶، ۱۹۹۵؛ پست و دریبلیس^۷، ۱۹۴۲). دمای خاک و چگونگی تغییرات آن نسبت به زمان و مکان یکی از مهمترین عواملی است که نه

^۱ دانشجوی دکتری رشته هواشناسی کشاورزی، دانشکده کشاورزی،

دانشگاه فردوسی مشهد

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

مشهد

(*نویسنده مسئول: mousavi500@yahoo.com)

^۳ استادیار پژوهشی، موسسه تحقیقات برنج کشور، رشت

^۴ کارشناس ارشد، اداره کل هواشناسی استان گیلان

^۵ Allmaras et al.

^۶ Berry and Radke

^۷ Post and Dreibelbis

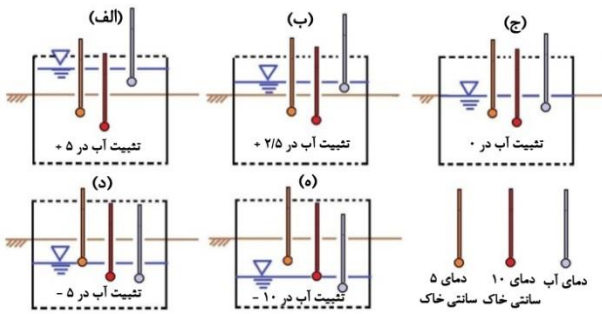
^۸ Keryn et al.

خواهد شد و گیاه را از بین می‌برد. دمای مذکور به‌ویژه در زمان گل دادن باید متناسب و کافی باشد، زیرا در این دوره گیاه به حداکثر درجه حرارت نیاز دارد. بهترین دما در این زمان ۲۳ درجه سانتی‌گراد است. چنانچه در این مرحله از رشد برنج، دمای محیط پیرامون به عللی پایین باشد و رطوبت هوا نیز بیش از اندازه طبیعی یعنی بالاتر از ۸۰ درصد باشد تلقیح به خوبی انجام نشده و دانه تشکیل نخواهد شد، به‌عبارت دیگر برنج پوک شده و در نتیجه میزان تولید محصول به اندازه قابل ملاحظه‌ای پایین خواهد بود. بطور کلی رطوبت در محیط کشت برنج نباید کمتر از ۴۰ درصد و بیش از ۹۰ درصد باشد. برنج گیاهی است ویژه کاشت در مناطق باتلاقی و بنابراین محیط کشت برنج همیشه باید به صورت غرقاب باشد. با این وجود در عمل تنفس این گیاه اختلالی بوجود نمی‌آید زیرا برنج می‌تواند از اکسیژن محلول در آب استفاده نموده و نیاز تنفس خود را برطرف نماید همچنین می‌تواند مقداری از این اکسیژن را از طریق ساقه تأمین نماید. بطور کلی دمای آب در روز باید دو برابر شب یعنی حدود ۳۱ درجه سانتی‌گراد باشد (اخوت و وکیلی، ۱۳۷۶). از جمله مسائل مهم در زراعت برنج آبیاری و مدیریت آبیاری می‌باشد. در حال حاضر کامل نبودن شبکه‌های آبیاری، مشکلات و نارسایی‌های شبکه آبیاری موجود، عدم توزیع یکنواخت بارندگی و نابهنگام بودن آن (که باعث بروز خشکسالی در بعضی از سال‌ها می‌گردد)، عدم تسطیح و یکپارچه نبودن اراضی و همچنین عدم تجهیز مزارع به امکانات زیربنایی نظیر کانال‌های آبیاری و زهکشی در سطح مزارع و تأسیسات کنترل و هدایت و تقسیم آب، آبیاری کرت به کرت و ... باعث بروز مشکلات زیادی در امر آبیاری می‌شود (یزدانی و همکاران، ۱۳۸۱). یافته‌های مختلف تحقیقاتی و مدیریتی در زمینه مدیریت آب در اراضی شالیزاری در سطح جهانی منجر به ارائه روش آبیاری غرقابی متناوب در مقابل آبیاری غرقابی دائم گردیده است (چاپاگین و رایسمن^۳، ۲۰۱۱؛ واتانابه و همکاران^۴، ۲۰۰۶؛ بومن و تانگ^۵، ۲۰۰۱؛ لی و پلک^۶، ۱۹۹۲؛ میشر و همکاران^۷، ۱۹۹۱). بر این اساس روش آبیاری نوبتی در

فعالیت‌های بیولوژیکی و زمان کاشت بذرها را ارزیابی نمود (قائم‌نیا و همکاران، ۱۳۹۰). انتقال حرارت در خاک و دمای خاک در اعماق مختلف که ناشی از این انتقال می‌باشد به نوع خاک، میزان رطوبت آن، دمای هوا، ساعات آفتابی و جنس سطح خاک بستگی دارد. در نتیجه میزان دمای اعماق مختلف خاک از جایی به جای دیگر تغییر می‌کند. به‌طور کلی دمای خاک دارای یک نوسان روزانه و یک نوسان سالانه است (جعفرپور، ۱۳۷۷). خاکوانی و همکاران^۱ (۲۰۰۵) در عمق‌های مختلف آب، اثر دمای بالا را روی شالیزار مطالعه کردند. یافته‌ها نشان داد که دمای آب تا عمق ۱۰ سانتی‌متر متغیر ولی زیر این عمق ثابت بود. آب‌های عمیق باعث کاهش پنجه زنی، حداقل افزایش وزن خشک اندام‌های هوایی و سطح برگ، کاهش در طول ریشه و کاهش در وزن خشک ریشه مخصوصاً در عمق ۲۰ سانتی‌متر می‌شود. همچنین نتایج نشان داد که نشاء برنج، به ویژه در نشاهای جوان، در آب‌های کم عمق به خوبی ایستاده و می‌توانند با دماهای بالا مقابله کنند. تالپور و همکاران^۲ (۲۰۱۳) اثر عمق‌های مختلف آب (۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ سانتی‌متر) را بر رشد و عملکرد گیاه برنج ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که عمق ۵ سانتی‌متر بهترین عمق در مرحله رویشی (نشاء) و زهکشی میان فصل) از دوره رشد برنج است در حالی که عمق ۱۰ سانتی‌متر برای زمان بعد از زهکشی میان فصل تا برداشت مناسب تشخیص داده شد. در عین حال بیشترین عملکرد در همین عمق (۱۰ سانتی‌متر) مشاهده گردید. کلیه فرآیندهای فیزیکی خاک به صورت مستقیم یا غیرمستقیم وابسته به دما هستند. برنج به عنوان زراعت عمده در کشاورزی استان گیلان از اهمیت بالایی برخوردار بوده و بررسی مسایل مختلف زراعت برنج در جهت شکوفایی و پایداری هر چه بیشتر اقتصاد این منطقه لازم و ضروری می‌باشد. همانند سایر گیاهان برای برنج نیز دمای محیط کشت در طول دوره رشد همواره باید متناسب با مراحل رشد گیاه باشد، میانگین دمای محیط کشت برنج باید بین ۲۲ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد باشد (اخوت و وکیلی، ۱۳۷۶). هرگاه دمای محیط از ۱۳ درجه سانتی‌گراد پایین‌تر آید برنج با سرما روبرو می‌شود. همچنین هرگاه دمای محیط از ۴۰ درجه سانتی‌گراد بیشتر شود باعث اختلال در رشد ریشه

³ Chapagain and Riseman⁴ Watanabe et al.⁵ Bouman and Tuong⁶ Lee and Pielke⁷ Mishra et al.¹ Khakwani et al.² Talpour et al.

صورت ایستاده در داخل خاک شالیزار و در عمق ۵۰ سانتی متری بعد از آماده سازی زمین نصب گردیدند.



شکل ۱- الف) تیمار ارتفاع صفر (اشباع)، ب) تیمار غرقاب ۵ سانتی متری، ج) تیمار غرقاب ۲/۵ سانتی متری، د) تیمار ۵- سانتی متری، ه) تیمار ۱۰- سانتی متری



شکل ۲- نمای کلی لایسیمترها و نشاهای کاشته شده

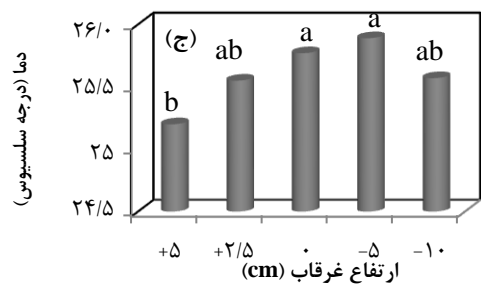
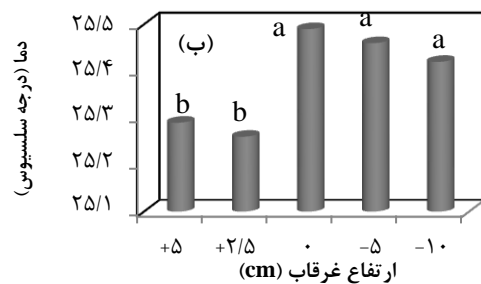
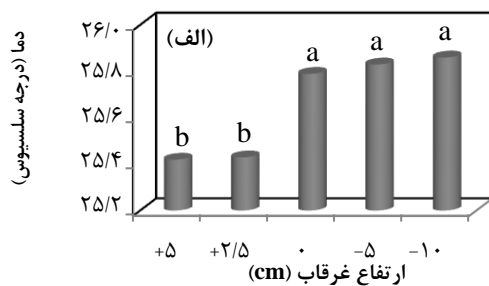
تثبیت ارتفاع آب در صفر و ۵- و ۱۰- در یک بازه و با نوسان حداقل صورت گرفت. مثلاً در ارتفاع صفر تلاش بر این بوده است که خاک همیشه در حالت اشباع قرار گیرد، اما در عین حال ارتفاع سطح آب در بالای سطح خاک به بیش از یک سانتی متر نرسد. به عبارت دیگر سطح آب در این تیمار در ارتفاع ۱ و ۱- سانتی متری در نوسان بوده است. با اضافه کردن روزانه آب به لایسمترها میزان افت آب ناشی از نفوذ، تبخیر و تعرق جبران شد و سطح غرقاب در تمامی لایسمترها در ارتفاع مورد نظر تثبیت گردید. در هر کدام از این لایسمترها به صورت مستمر دمای خاک در اعماق ۵ و ۱۰ سانتی متر و دمای آب آبیاری (در هر سطحی که قرار داشته) روزانه و در دو نوبت (صبح و عصر) در حوالی ساعت های ۹ و ۱۹ قرائت گردید. در تمامی تیمارها، اندازه گیری دمای خاک در دو عمق ثابت ۵- و ۱۰- از سطح خاک صورت گرفته اما

سطح شبکه، و هم‌ارز با آن روش آبیاری تناوبی در سطح مزارع، به عنوان مهم‌ترین راهکار مواجهه با کم‌آبی فزاینده ناشی از برداشت بی‌رویه آب در سرشاخه‌های سپیدرود به طور وسیع مورد استفاده دست‌اندرکاران قرار گرفته است. در این روش در هر دوره تناوب مزارع شالیزاری غرقاب گردیده و سپس ورود آب قطع می‌گردد. طول دوره قطع و وصل آب بر اساس میزان آب موجود در سد سپیدرود تعیین می‌گردد. بدیهی است که در فاصله قطع آب تا وصل مجدد عمق‌های مختلف غرقابی در مزرعه بروز خواهد نمود که در صورت تمدید دوره قطع آب نیز می‌تواند به زیر سطح خاک برسد. به نظر می‌رسد که عمق غرقابی می‌تواند در دمای محیط ریشه و به تبع آن در میزان تبخیر آب از سطح خاک و همچنین تعرق و سایر فعالیت‌های زیستی گیاه مؤثر باشد. روشن است اعمال مدیریت‌های جدید آبی در میزان تبخیر و تعرق گیاه تغییراتی ایجاد خواهد کرد. فرض بر این است که تغییرات ارتفاع سطح آب داخل شالیزار (ناشی از اعمال مدیریت‌های آبیاری مختلف) بر مقادیر تبخیر و تعرق اثرگذار باشد (یزدانی و همکاران، ۱۳۸۱). این تحقیق به منظور بررسی تأثیر مدیریت‌های مختلف آبیاری (اعماق مختلف آب) بر دمای محیط، آب و خاک در شالیزار انجام شد. در هر کدام از لایسمترها ۶ بوته برنج از رقم هاشمی بر اساس تراکم توصیه شده (۵ بوته در اطراف و ۱ بوته در وسط) نشاء گردید (شکل ۲). نشاء بوته‌ها هم‌زمان و به صورت هماهنگ با کل مزرعه انجام گرفت. آبیاری مزرعه و سایر عملیات داشت نیز به صورت عرف رایج منطقه انجام گرفت. پس از طی ۳۰ روز (استقرار کامل نشاء و ورود به مرحله پنجه‌زنی) در هر کدام از کرت‌ها و لایسمترهای موجود در آن‌ها به صورت روزانه تا انتهای دوره آبیاری سطح آب در ارتفاع ۵، ۲/۵، ۰، ۵- و ۱۰- سانتی متر از سطح خاک به وسیله شاخص و چاهک تثبیت گردید.

مواد و روش‌ها

این پروژه در زمینی به وسعت ۱/۵ هکتار در یک مزرعه در محل موسسه تحقیقات برنج کشور (رشت) انجام شد (E) ۳۶/۸۲° ۳۸' ۴۹° و (N) ۱۳/۳۲° ۱۲' ۳۷°). زمین زراعی به پنج کرت اصلی (به ابعاد ۵۰×۵۰ متر) تقسیم گردید (شکل ۱-الف). در وسط هر کرت سه مینی لایسیمتر استوانه‌ای فلزی به ارتفاع ۶۰ و به قطر ۵۶/۵ سانتی متر به

سانتی‌متری عمق خاک دیده شد و تیمارهای دارای عمق مثبت آب ضمن قرار گرفتن در یک گروه مشابه دمای کمتری داشتند. در گروه دوم به تدریج با افزایش عمق آب، دمای خاک در عمق ۱۰ سانتی‌متری کاهش یافت و بیشترین دما در تیمار عمق صفر (تیمار اشباع) دیده شد (شکل ۳-ب). صرف‌نظر از معنی‌داری، در تیمارهای اشباع و منفی ۵ سانتی‌متری، دمای سطح (عمق ۵ سانتی‌متری) خاک بیشتر بود. اما دمای عمق (۱۰ سانتی‌متری خاک) با خشک‌تر شدن خاک روندی کاهشی داشت.



شکل ۳- مقایسه میانگین دمای اعماق خاک و دمای آب در صبح: الف) ۵ سانتی‌متری، ب) ۱۰ سانتی‌متری و ج) دمای آب. این امر نشان دهنده نقش رطوبت در توزیع دما در پروفیل خاک می‌باشد. به طوریکه کمترین اختلاف بین دو عمق ۵ و ۱۰ سانتی‌متر و در تیمار اشباع و بیشترین اختلاف در تیمار ۱۰- دیده شد.

دمای آب (صبح)

مقایسه میانگین اندازه‌گیری‌های دمای آب در نیمه اول روز با استفاده از آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد نشان داد که بین تیمار اول (+۵) با تیمارهای سوم

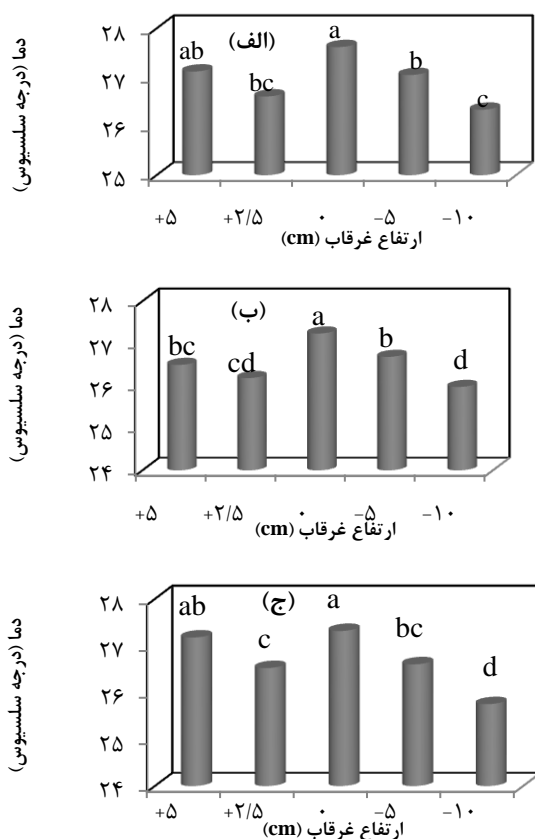
اندازه‌گیری دمای آب آبیاری در هر تیمار در عمق متوسط ارتفاع آب در تیمار مزبور انجام گرفت. بنابراین در مقایسه دمای آب در تیمارهای مختلف باید توجه داشت که اندازه‌گیری‌ها در یک سطح ارتفاعی ثابت انجام نگرفته است. از آنجایی‌که تغییرات دمای محیط خاک و آب نسبت به ارتفاع قابل توجه است و بررسی دو عمق مختلف در دو تیمار مختلف (به دلیل دارا بودن اثر توأم عمق و تیمار) نتایج روشنی به دست نمی‌دهد و نمی‌توان دمای آب را در دو تیمار متفاوت مقایسه نمود و مقایسات دمای آب بایست در درون یک تیمار ثابت صورت گیرد.

نتایج و بحث

در بررسی تیمارها، تیمار +۵ به عنوان تیمار اول، تیمار +۲/۵ به عنوان تیمار دوم، تیمار عمق صفر به عنوان تیمار سوم، تیمار -۵ به عنوان تیمار چهارم و تیمار -۱۰ به عنوان تیمار پنجم در نظر گرفته شدند. در تمامی مقایسه و اندازه‌گیری‌ها (در دورن هر تیمار) همیشه دمای عمق ۱۰- از عمق ۵- کمتر بوده که امری طبیعی است و برای جلوگیری از تکرار از ذکر این نکته به عنوان یکی از نتایج بررسی در متن اجتناب شده است. در تحلیل دمای لایسمترهای مختلف ابتدا دماهای اندازه‌گیری در صبح و عصر و سپس به صورت میانگین روزانه بررسی شده‌اند.

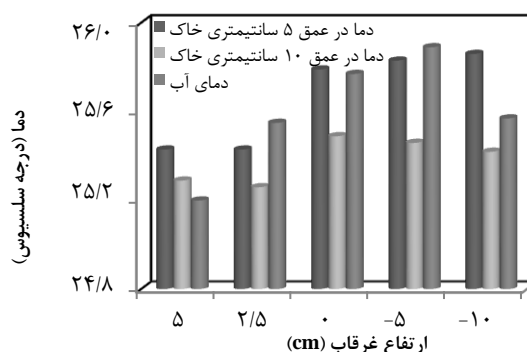
دمای خاک (صبح)

در شکل ۳ میانگین‌های دماهای اندازه‌گیری شده در صبح و در تیمارهای مختلف با استفاده از آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد با یکدیگر مقایسه شده‌اند. مقایسه میانگین دمای خاک در عمق ۵ سانتی‌متری از سطح خاک در صبح در سطح احتمال ۵ درصد نشان داد که بین تیمارهای اول و دوم (ارتفاع آب در +۵ و +۲/۵) تفاوت معنی‌داری وجود ندارد، همچنین بین تیمارهای سوم، چهارم و پنجم (۰، -۵ و -۱۰) تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. اما تفاوت بین تیمارهای اول و دوم با تیمارهای سوم، چهارم و پنجم معنی‌دار است (شکل ۳- الف) میزان این اختلاف به نیم درجه می‌رسد که در طول فصل مقدار قابل توجهی است. به طور کلی در صبح با کاهش سطح آب از ۵ به ۲/۵ سانتی‌متر دمای آب ثابت است و پس از رسیدن به صفر به ترتیب در تیمارهای با عمق آب منفی‌تر، دما افزایش یافت. در دمای ۱۰ سانتی‌متری عمق خاک وضعیتی مشابه دمای ۵



شکل ۵- مقایسه میانگین دمای اعماق مختلف خاک و دمای آب در عصر: (الف) ۵ سانتی متری، (ب) ۱۰ سانتی متری و (ج) دمای آب. نتایج آزمون توکی در سطح احتمال ۰/۰۵ نشان داد که تیمار ۱۰ سانتی متری تفاوت بیشتری با بقیه تیمارها دارد و از همه آن‌ها سردتر است. با این حال روند تغییرات دمای تیمارها در عمق ۱۰ سانتی متری مشابه عمق ۵ سانتی متری است. به عبارت دیگر ابتدا با کاهش عمق غرقاب در سطح خاک دمای خاک کمتر شده و پس از آن با رسیدن آب به سطح اشباع دما به شکل قابل توجهی افزایش می‌یابد. سپس مجدداً با پایین رفتن سطح آب در خاک و خشک شدن لایه‌های فوقانی خاک از میزان دما کاسته شده و در تیمار سطح غرقاب ۱۰- به حداقل خود می‌رسد. طبق شکل ۵-ب تیمار یک اختلاف معنی‌داری با تیمارهای سه و پنج دارد. بین تیمار دو با تیمارهای سه و چهار تفاوت معنی‌دار است. تیمار سه با همه تیمارها تفاوت معنی‌داری را در سطح احتمال ۰/۰۵ دارد. بین تیمارهای غرقابی (یک و دو) و همچنین تیمارهای یک و چهار تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. تفاوت بین تیمارهای دو و پنج هم معنی‌دار نبود. در اینجا نیز کمترین دما در تیمار ۱۰-

و چهارم (۰ و ۵-) اختلاف معنی‌داری وجود داشت. بین تیمارهای اول، دوم و پنجم و همچنین بین تیمارهای دوم، سوم، چهارم و پنجم تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۳-ج). بیشترین دمای آب مربوط به تیمار چهارم و کمترین مربوط به تیمار اول بود. در شکل زیر سه دمای اندازه‌گیری شده در هر تیمار (در صبح) قابل مشاهده و مقایسه است. در شکل ۴ مجموعه اندازه‌گیری‌های دمای دو عمق خاک و همچنین آب آبیاری در تیمارهای مختلف و در نوبت اندازه‌گیری صبح قابل مشاهده می‌باشند.

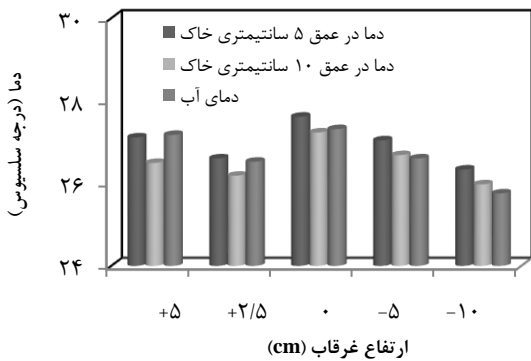


شکل ۴- تغییرات دما در لایسمترهای مختلف (صبح)

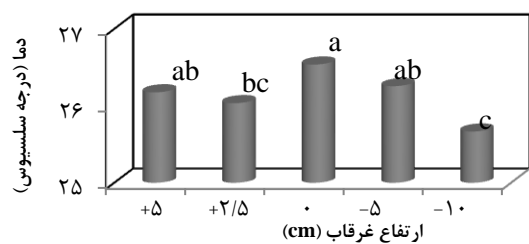
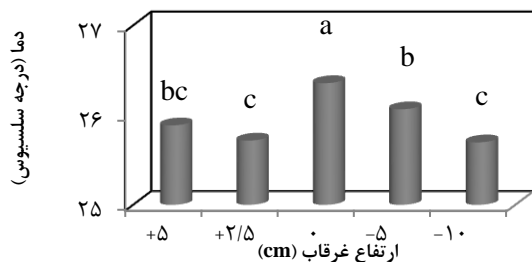
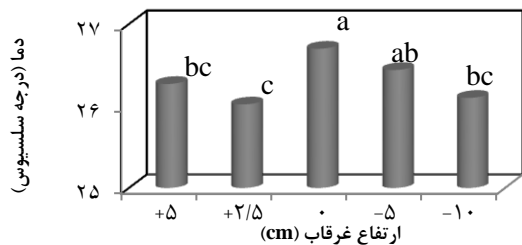
دمای خاک (عصر)

این سری داده‌ها، علاوه بر این که دماها در تیمارهای مختلف بصورت بارزی بیشتر از دمای اندازه‌گیری شده در نیمه اول روز می‌باشند، اختلاف بین دماهای هر تیمار نیز آشکارتر است و میزان ارتفاع آب آبیاری در مزرعه تاثیر بارزی در جذب انرژی خورشید می‌گذارد. در شکل ۵ نتایج آزمون مقایسه میانگین در تیمارهای مختلف در نیمه دوم روز قابل مشاهده است. همانطور که در شکل ۵-الف نشان داده شده است بین تیمار پنج با تیمارهای یک، سه و چهار اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۵ وجود دارد. همچنین اختلاف بین تیمارهای دو و سه نیز معنی‌دار است. در اینجا کمترین دما مربوط به تیمار ۱۰- سانتی متری از سطح خاک است که در حدود ۱/۵ درجه از تیمار صفر کمتر است. خاک سطحی در این تیمار یا قدرت کمتری در جذب انرژی محیط داشته و یا در صورت جذب، توانایی کمتری در نگهداشت انرژی جذب شده از خود نشان داده و زودتر سرد شده است. بیشترین دمای ۵ سانتی متری خاک در تیمار عمق صفر قابل مشاهده است.

تیمار ۲/۵ سانتی‌متر و پس از آن تیمار ۱۰- و سپس تیمار ۵ سانتی‌متر بود.



شکل ۶- لایسیمترهای تبخیر (عصر)



شکل ۷- مقایسه میانگین روزانه دمای اعماق مختلف خاک و دمای آب: الف) ۵ سانتی‌متری، ب) ۱۰ سانتی‌متری و ج) دمای آب

بیشترین دما نیز در تیماری بود که آب در سطح خاک قرار داشت (تیمار عمق صفر). به نظر می‌رسد بودن یک لایه نازک از آب در سطح خاک موجب خنک شدن خاک می‌گردد و البته پس از آن در صورت رسیدن آب به سطح خاک دمای خاک به شدت بالا می‌رود. پس از آن با کاهش عمق آب در خاک دمای خاک نیز کاهش می‌یابد (شکل ۷- الف). مقایسه دماهای اندازه‌گیری شده در عمق

سانتی‌متر از سطح خاک و سپس در تیمار ۲/۵ سانتی‌متر دیده شد. بیشترین دما نیز همچنان در تیمار اشباع بود.

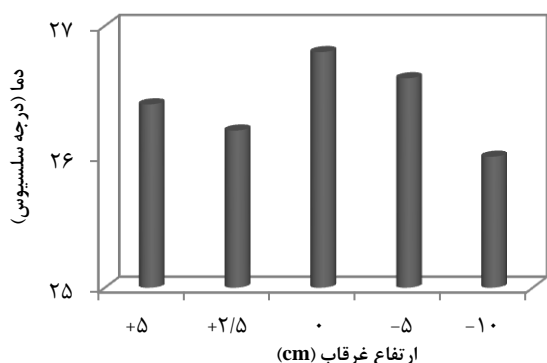
دمای آب (عصر)

دسته‌بندی دمای آب اندازه‌گیری شده در هنگام عصر در تیمارهای مختلف نیز شباهت زیادی به دسته‌بندی دمای خاک ۱۰ سانتی‌متر داشت. بیشترین دما نیز به عمق صفر مربوط می‌شود. نتایج نشان داد که تیمار یک اختلاف معنی‌داری با تیمارهای دو و پنج دارد. تیمار دو تفاوت معنی‌داری را در سطح احتمال ۰/۰۵ با سایر تیمارها به جز تیمار چهار نشان داد. اختلاف تیمار سه با تیمار یک معنی‌دار نبود، اما با سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری را نشان داد. بین تیمار چهار با تیمارهای یک و دو اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۵- ج). با توجه به نتایج به دست آمده و شکل ۶ به طور کلی می‌توان وضعیت و تغییرات دما در تیمارهای مختلف آزمایش را به این شکل بیان نمود که ابتدا با کاهش ارتفاع سطح آب آبیاری از میزان دمای محیط کاسته می‌شود و سپس با نزدیک شدن آب به سطح خاک در تیمار صفر دما به میزان چشمگیری زیاد شده و مجدداً با کاهش ارتفاع آب در خاک و استقرار آن در اعماق از میزان گرمای خاک کاسته شد؛ بطوریکه کمترین دماها در حالتی بود که آب در عمق ۱۰- سانتی‌متر قرار داشت. بررسی میانگین روزانه دما (که از میانگین دو سری داده‌های فوق به دست آمده است) نیز روند مشابهی را نشان داد.

میانگین دمای صبح و عصر

از میانگین‌گیری مجموعه اندازه‌گیری‌های انجام گرفته در صبح و عصر مقادیر میانگین روزانه هر تیمار محاسبه شد. در این سری داده‌ها نیز در سطح احتمال ۰/۰۵ اختلاف معنی‌داری در تکرارها وجود نداشت اما اختلافات بین تیمارها معنی‌دار بود. مقایسه میانگین دمای ۵ سانتی‌متری عمق خاک نشان داد که تیمار یک با تیمارهای دو، چهار و پنج اختلاف معنی‌داری ندارد اما بین تیمار یک و سه تفاوت معنی‌دار بود. تیمار دو با تیمارهای سه و چهار تفاوت معنی‌داری را در سطح احتمال ۰/۰۵ نشان داد. تیمار سه با همه تیمارها به جز تیمار چهار، اختلاف معنی‌دار و نزدیک به ۱ درجه سانتی‌گراد داشت (شکل ۷- الف). در اندازه‌گیری دمای ۵ سانتی‌متری عمق خاک، کمترین دما در مقیاس روزانه

مقایسه دمای خاک تیمارهای مختلف در یک سطح ثابت (ارتفاع ۵- سانتی متری) تیمار ۲/۵ سانتی متر خنک ترین تیمار بود و نشان می دهد که وجود یک لایه نازک بر روی خاک بر کاهش دمای ارتفاع سطوح بالایی خاک موثر است. اما چنانچه دمای میانگین دو عمق ۵- و ۱۰- به عنوان معرف دمای اعماق خاک در منطقه توسعه ریشه فرض شود کمترین دما در تیمار ۱۰- مشاهده می گردد و بیشترین دما در تیمار عمق صفر و ۵- مشاهده می گردند. نتایج این میانگین گیری برای تمامی تیمارها در شکل ۹ قابل مشاهده است.



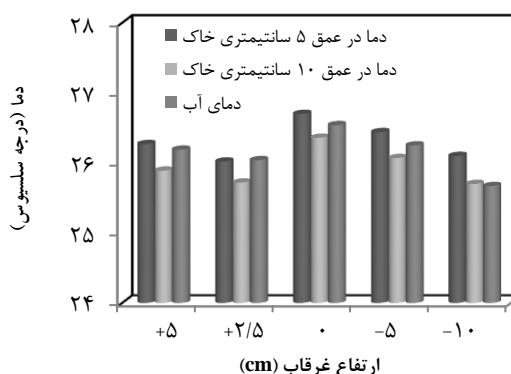
شکل ۹- میانگین دمای اعماق خاک (دو عمق ۵ و ۱۰ سانتی متری)

تغییرات دمای روزانه اعماق ۵- و ۱۰- سانتی متری در تیمارهای مختلف مشابه بوده و به طور نسبی افزایش ها و کاهش های دمای ثبت شده در روزهای مختلف مشابه اند. در اندازه گیری های دمای آب نیز اگرچه اختلافات بیشتر بود ولی تغییرات نسبت به زمان در تیمارها مشابه است. اختلافات رفتار دما در تیمار و اعماق مختلف در اندازه گیری های عصر بیشتر بود و مقادیر اندازه گیری شده در صبح اختلاف کمتری نسبت به هم نشان دادند.

نتیجه گیری

در اندازه گیری های دمای آب و اعماق خاک شالیزار در نوبت صبح شباهت بیشتری در تیمارها دیده می شود. همچنین با نزدیک شدن به آخر فصل تفاوت در دمای تیمارهای مختلف افزایش پیدا می کند. تغییر در ارتفاع سطح غرقاب در شالیزار موجب ایجاد اختلافات معنی دار در دمای اعماق خاک و همچنین دمای آب شالیزار می گردد. در ارتفاع مثبت آب آبیاری، بالا بودن ارتفاع آب آبیاری باعث بالاتر بودن دمای خاک سطحی می گردد که می تواند به ظرفیت گرمایی آب و کاهش سرمای شبانه در

۱۰ سانتی متری خاک نشان داد که تفاوت معنی داری بین تیمارهای یک، دو و پنج وجود ندارد. همچنین اختلاف معنی داری بین تیمارهای یک و چهار مشاهده نشد. تیمارهای دو و پنج تفاوت معنی داری در سطح احتمال ۰/۰۵ با تیمارهای سه و چهار داشتند. بین تیمارهای سه و چهار نیز تفاوت به میزان یک درجه سانتی گراد، معنی دار بود (شکل ۷-ب). نتایج آزمون دمای آب در لایسمترهای مختلف با استفاده از آزمون توکی در سطح احتمال ۰/۰۵ نشان داد که تفاوت معنی داری بین تیمارهای یک، دو و چهار و همچنین تیمار یک و سه وجود ندارد. همچنین نتایج این آزمون نشان داد که تیمار پنج تفاوت معنی داری با سایر تیمارها به جز تیمار دو داشت (شکل ۷-ج). با بررسی نمودار میانگین در شکل ۸ می توان نتیجه گرفت در ارتفاع مثبت آب آبیاری (غرقابی) بالا بودن ارتفاع آب آبیاری باعث بالاتر بودن دمای محیط می گردد که می تواند به ظرفیت گرمایی آب و کاهش سرمای شبانه ناشی از آن مربوط باشد.



شکل ۸- لایسمترهای تبخیر (میانگین)

در تیمارهای عمق صفر و منفی (غیر غرقابی) به دلیل مواجهه مستقیم نور خورشید با سطح خاک، امکان جذب حداکثر انرژی خورشید وجود دارد اما چنانچه آب در اعماق پایین تر قرار داشته باشد میزان حفظ انرژی جذب شده به شدت کاهش می یابد و در نهایت میزان دمای میانگین کم می شود بنابراین در تیمار منهای ۱۰ کمترین دما مشاهده گردید. در تیمارهای صفر و منفی در صبح دمای آب از دمای خاک در همان عمق کمتر بود در حالی که در عصر دمای آب از دماهای خاک در عمق مشابه بیشتر بود. در مقایسه روزانه نیز دمای آب از خاک همان عمق بیشتر بود و این مسأله بیانگر این است که با کاهش عمق آب در خاک محیط خاک سردتر می گردد. در

شالیزار و کاهش تلفات تبخیر، خروج خاک از حالت اشباع در اولویت قرار دارد و بهتر است مدیریتی اعمال شود که سطح آب در اعماق بیش از ۵ سانتی متر پایین تر از سطح خاک قرار گیرد. پایین نگهداشتن سطح آب در شالیزار موجب استقرار آب در فضای خنک تری می شود و انتظار می رود که به کاهش تلفات تبخیر بیانجامد (اسعدی اسکویی و همکاران، ۱۳۹۶).

منابع

- اخوت، م.، وکیلی، د. ۱۳۷۶. کتاب کاشت، داشت، برداشت برنج. فارابی، ۲۱۲ صفحه.
- اسعدی اسکویی، ا.، موسوی بایگی، م.، یزدانی، م.ر.، علیزاده، ا. ۱۳۹۶. اثر عمق غرقابی در تلفات تبخیر از سطوح شالیزاری. مجله پژوهش های حفاظت آب و خاک، در مرحله چاپ.
- قائمی نیا، ع. م.، عضیم زاده، ح. ر.، مبین، م. ح. ۱۳۹۰. شبیه سازی تغییرات دمای اعماق مختلف خاک و بررسی برخی عامل های جوی تأثیر گذار بر آن (مطالعه موردی: ایستگاه سینوپتیک یزد). فصلنامه علمی و پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۱۱۸(۱): ۴۲-۵۷.
- جعفرپور، ا. ۱۳۷۷. اقلیم شناسی. دانشگاه تهران، ۳۷۲ صفحه.
- نجفی مود، م. ح.، علیزاده، ا.، محمدیان، آ.، موسوی، ج. ۱۳۸۷. بررسی رابطه دمای هوا و دمای اعماق مختلف خاک و برآورد عمق یخبندان (مطالعه موردی: استان خراسان رضوی). نشریه علمی پژوهشی آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۲(۲): ۴۵۶-۴۶۶.
- یزدانی، م. ر.، شریفی، م.، رضوی پور، ت.، شرفی، ن. ۱۳۸۱. مقایسه مدیریت های مختلف آبیاری در زراعت برنج گیلان. یازدهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران.
- Allmaras, R. R., Burrows, W. C., Larson, W. E. 1964. Early growth of corn as affected by soil temperature. Soil Sci. Soc. Am. J., 28 (2): 271-275.
- Berry, E. C., Radke, J. K. 1995. Biological Processes: relationships between earthworms and soil temperatures. J. Minn. Acad. Sci., 59: 6-8.
- Bouman, B. A. M., Tuong, T. P. 2001. Field water management to save water and increase its productivity in irrigated lowland rice. Agric. water manag., 49 (1): 11-30.

محیط آب و خاک مربوط باشد. در تیمارهای عمق صفر و منفی به دلیل مواجهه مستقیم نور خورشید با سطح خاک، امکان جذب حداکثر انرژی خورشید وجود دارد و در روز گرم ترند، اما چنانچه آب در اعماق پایین تر قرار داشته باشد میزان حفظ انرژی جذب شده به شدت کاهش می یابد و در نهایت میزان دمای میانگین روزانه کم می شود، بنابراین در تیمار منهای ۱۰ کمترین دماها مشاهده می گردند. در تیمارهای عمق صفر و منفی در ساعات اولیه روز دمای آب از دمای خاک در همان عمق کمتر است در حالی که در ساعات پایانی دمای آب از دماهای خاک در عمق مشابه بیشتر است. در مقایسه روزانه نیز دمای آب از خاک همان عمق بیشتر است و این مسأله بیانگر این است که با کاهش عمق آب در خاک محیط خاک زودتر سرد می گردد. در مقایسه دمای خاک تیمارهای مختلف در یک سطح ثابت (ارتفاع ۵-) تیمار ۲/۵ سانتی متر خنک ترین تیمار است و نشان می دهد که وجود یک لایه نازک بر روی خاک بر کاهش دمای ارتفاع سطوح بالایی خاک موثر است. صرف نظر از معنی داری، در تیمارهای خشک تر دمای سطح (عمق ۵ سانتی متری) خاک بیشتر است. اما دمای عمق (۱۰ سانتی متری خاک) با خشک تر شدن خاک روندی کاهشی دارد. این امر نشان دهنده نقش رطوبت در توزیع دما در پروفیل خاک است. بطوریکه کمترین اختلاف بین دو عمق ۵ و ۱۰ سانتی متر و در تیمار اشباع و بیشترین اختلاف در خشک ترین تیمار (۱۰- سانتی متری) دیده می شود. در تیمارهای صفر و منفی در ساعات اولیه روز دمای آب از دمای خاک در همان عمق کمتر است در حالی که در ساعات پایانی دمای آب از دماهای خاک در عمق مشابه بیشتر است. در مقایسه روزانه نیز دمای آب از خاک همان عمق بیشتر است و این مسأله بیانگر این است که با کاهش عمق آب در خاک محیط خاک سردتر می گردد. از آنجایی که بالا بودن دمای آب در شالیزار یکی از عوامل تقویت کننده تبخیر می باشد، به نظر می رسد در شرایط وجود آب کافی، وجود لایه نه چندان ضخیم غرقاب (بین ۲ تا ۳ سانتی متر) ضمن تأمین آب کافی و اثرات مفید جانبی (کنترل رشد علف های هرز، سهولت بکارگیری کودهای شیمیایی و ...) باعث جلوگیری از بالا رفتن دمای آب می گردد. اما در غیر این صورت و نبود آب لازم برای حفظ حالت غرقاب، برای جلوگیری از افزایش دمای محیط

- Mishra, H. S., Rathore, T. R., Pant, R. C. 1991. Effect of varying water regimes on soil physical properties and yield of rice in mollisols of Tarai region. *Agric. water manag.*, 20 (1): 71-80.
- Post, F. A., Dreibelbis, H. C. 1942. Some influence of frost penetration and microclimate on the water relationships of woodland, pasture and cultivated soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 7: 95-104.
- Talpur, M. A., Changying, Ji., Junejo, S. A., Tagar, A. A., Ram, B. K. 2013. Effect of different water depths on growth and yield of rice crop. *Afr. J. Agric. Res.*, 8 (37): 4654-4659.
- Watanabe, H., Kakegava, Y., Vu, S. H. 2006. Evaluation of the management practice for controlling herbicide runoff from paddy fields using intermittent and spillover-irrigation schemes. *Paddy and water environ.*, 4 (1): 21-28.
- Chapagain, T., Riseman, A. 2011. Achieving More with Less Water: Alternate Wet and Dry Irrigation (AWDI) as an Alternative to the Conventional Water Management Practices in Rice Farming. *Agric. Sci. J.*, 3 (3): 3-13.
- Keryn, I. P., Polglase, P. J., Smethurst, P.J., OConnell, A., Carlyle, C. J., Khanna, P. K. 2004. Soil temperature under forests: a simple model for predicting soil temperature under a range of forest types. *Agric. For. Meteorol.*, 121 (3): 167-182.
- Khakwani, A. A., Shiraiishi, M., Zubair, M., Baloch, M. S., Naveed, Kh., Awan, I. 2005. Effect of seedling age and water depth on morphological and physiological aspects of transplanted rice under high temperature. *Zhejiang University Sci. J.*, 6 (5): 389-395.
- Lee, T. J., Pielke, R. A. 1992. Estimating the soil surface specific humidity. *Appl. Meteorol. J.*, 31 (5): 480-484.



بررسی روند تغییرات نیازهای سرمایی و طول مراحل فنولوژیک درخت سیب (مطالعه موردی:

منطقه کرج)

غلامعباس فلاح قاله‌ری^{۱*}، حمزه احمدی^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۶/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۵/۱۹

چکیده

تعیین نیازهای سرمایی و گرمایی برای انتخاب درختان میوه سازگار با اقلیم هر منطقه حائز اهمیت می‌باشد. در این تحقیق، بعد از تعیین آستانه‌های دمایی هریک از مراحل فنولوژی درخت سیب رقم red delicious در شهر کرج، آمار دمای ساعتی و روزانه بلند مدت از سال ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۴ جمع آوری و سه مدل نیاز سرمایی CH، UTAH و CP اجرا گردید. نتایج مدل‌های فوق نشان داد که در شرایط اقلیمی کرج، نیاز سرمایی این واریته دیررس سیب تأمین نمی‌شود و روند تغییرات میزان واحدهای سرمایشی جمعی کاهش یافته است. اما کاربست مدل‌های درجه-روز نشان داد نیاز گرمایی ارقام سیب دیررس بدون محدودیت خاصی در منطقه تأمین می‌شود. تغییرات کاهش و معنی‌دار روزشمار ژولیوسی تاریخ مراحل فنولوژی، مبین کوتاه‌تر شدن مراحل نمو و احتمالاً به دلیل افزایش دمای هوا می‌باشد. این شرایط (وقوع زودتر مراحل حساس زایشی) ریسک صدمه سرمازدگی و یخبندان را بیشتر می‌کند. در بیشتر مراحل فنولوژی درخت سیب، روند افزایشی و معنی‌دار دمای هوا مشاهده شد. با توجه به نتایج، کشت واریته‌های دیررس برای شرایط اقلیمی کرج مناسب نبوده و باید از ارقام زودرس استفاده شود. رعایت ملاحظات اقلیمی در توصیه ارقام باغی سازگار در اقلیم مختلف کشور با توجه به پیامدهای گرمایش جهانی توصیه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: درخت سیب، دمای ساعتی، درجه-روز رشد، فنولوژی، نیاز سرمایی

مقدمه

مسائل به زراعی آگاهی داشت (میرحاجی و همکاران، ۱۳۸۹). با مطالعات فنولوژی می‌توان تاریخ و زمان گذر مراحل فنولوژی را در هر منطقه مشخص نمود و با مدیریت درست از هدر رفت سرمایه و منابع جلوگیری کرد (ژانگ^۴، ۲۰۱۲). از آنجا که شرایط آب و هوایی محل همانند دما (طول و مدت سرما)، عامل اساسی در کنترل مراحل رشد و نمو، مانند گلدهی درختان به شمار می‌آید. از این رو، بررسی تأمین نیاز سرمایی و پیش‌بینی تاریخ گلدهی در اقلیم‌های متفاوت نقش اساسی در تولید موفق محصولات باغی در تجارت جهانی ایفا می‌کند (ولاشدی و سبزی پرور، ۱۳۹۵). ارزیابی نیاز سرمایی و گرمایی یکی از عوامل تعیین‌کننده در تولید موفق میوه‌های خزان‌کننده از جمله سیب محسوب می‌شود (داربیش و همکاران^۵، ۲۰۱۱). مطالعه رفتار فنولوژیکی محصولات به صورت بخشی از تأثیر شرایط محیطی حائز اهمیت است، زیرا برای دستیابی به تولید مطلوب و همچنین اعمال مدیریت

هوا و اقلیم‌شناسی اساسی‌ترین علمی است که هر کس بخواهد در بستر طبیعت به فعالیت‌های تولیدی بپردازد باید از آن اطلاع داشته باشد (علیزاده، ۱۳۸۹). اقلیم یک نقش اساسی در تولید موفق محصولات باغی در تجارت جهانی ایفا می‌کند. فعالیت‌های باغبانی به شدت وابسته به شرایط آب و هوایی محل است (سبزی پروری و ولاشدی، ۱۳۹۴). باغداران با شناخت از تأثیر شرایط اقلیمی بر روی فنولوژی درختان خران‌دار منطقه معتدله از عملکرد و بهره‌وری بالاتری برخوردار می‌باشند (آلبرکور و همکاران^۳، ۲۰۰۸). با تعیین مراحل فنولوژی در هر منطقه و دانستن نیازهای دمایی در هر مرحله فنولوژی می‌توان بسیاری از

^۱ دانشیار اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، خراسان رضوی

(*نویسنده مسئول: ab_fa789@yahoo.com)

^۲ دانشجوی دکتری آب و هواشناسی کشاورزی، گروه جغرافیا، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، خراسان رضوی

^۳ Albuquerque et al.

^۴ Zhang

^۵ Darbyshire et al.

مناسب‌تر، دانستن مراحل فنولوژی و تغییرات آن برای محصول ضروری است (ولنتینی و همکاران^۹، ۲۰۰۱). در معمول‌ترین حالت، ارزیابی سرمای و گرمایی و مطالعه فنولوژی درختان میوه تنها رهیافت ممکن برای درک اثرات آب و هوا و انتخاب گونه‌های سازگار می‌باشد (رعا و اسل^{۱۰}، ۲۰۰۶). بررسی نیاز سرمای و گرمایی درختان میوه نقش کلیدی در انتخاب گونه‌های سازگار با شرایط جغرافیایی هر منطقه دارد (مالیون و همکاران^{۱۱}، ۲۰۱۴). در بین عناصر اقلیمی به جرأت می‌توان گفت دما از اهمیت اساسی برخوردار است. دمای هوا تأثیر عمده‌ای بر روی چرخه حیاتی گیاه از زمان گلدهی تا برداشت دارد (مک‌مستر و ویلهلم^{۱۲}، ۱۹۹۷؛ النصر و الازبا^{۱۳}، ۲۰۱۶). واحدهای گرمایی و سرمای تجمع یافته به عنوان یک معیار سنجش رشد و نمو گیاهان محسوب می‌شوند (سیساریو و همکاران^{۱۴}، ۲۰۰۱). خواب زمستانه یک جنبه کلیدی در چرخه سالانه گیاهان خزان‌دار باغی مانند سیب به شمار می‌آید (ولاشدی و سبزی‌پرور، ۱۳۹۵). جوانه‌های درختان میوه مناطق معتدله به منظور شکستن دوره رکود خود به سرما نیاز دارند (ارز و فیشمن^{۱۵}، ۱۹۹۷). به منظور انتخاب گونه‌ها و رقم‌های مناسب درختان میوه برای هر آب و هوایی در هر منطقه مشخص، محققان مدل‌های سرمای را ارائه نموده‌اند که این مدل‌ها، دماهای ثبت شده را به صورت کمی از سرما تبدیل می‌کنند (سیساریو و همکاران، ۲۰۰۴؛ گیو و همکاران^{۱۶}، ۲۰۱۴). درخت سیب یکی از قدیمی‌ترین و کهن‌ترین درختان در جهان است که در شرایط اقلیمی مختلف از سازگاری مناسبی برخوردار می‌باشد (کمالی و همکاران، ۱۳۸۶؛ فرج‌زاده و همکاران، ۲۰۱۰؛ ولاشدی و سبزی‌پرور، ۱۳۹۵). سیب با نام علمی (*Malus domestica* Borks) مهم‌ترین درخت خزان‌کننده در مناطق معتدله محسوب می‌شود (ارز و فیشمن، ۱۹۹۷). باغبانی مزیت شناخته شده کشاورزی محسوب می‌شود. با توجه به اهمیت باغبانی و تولید میوه در توسعه اقتصادی، بررسی نیاز گرمایی و سرمای درختان میوه کانون توجه مطالعات

⁹ Anderson et al.

¹⁰ Valentini et al.

¹¹ Egea et al.

¹² Wolfe et al.

¹³ Severino et al.

¹⁴ Ruze et al.

¹⁵ Litschmann et al.

¹⁶ Aslamarz et al.

¹⁷ Viti et al.

¹ Valentini et al.

² Rea and Eccel

³ Maulion et al.

⁴ McMaster and Wilhelm

⁵ Elnesr and Alazba

⁶ Cesaraccio et al.

⁷ Erez and Fishman

⁸ Guo

کشت می‌شود. به طوری که بر اساس آخرین آمار رسمی وزارت جهاد کشاورزی، محصول سیب در کشور با میزان تولید ۳۴۸۲۱۰۸ میلیون تن، ۱۹/۱۱ درصد از کل میزان تولید محصولات باغی را به خود اختصاص می‌دهد (آمارنامه محصولات باغی، ۱۳۹۴). ارقام تجاری این درخت نیاز سرمایی بالایی نیاز دارند و بسیاری از مناطق کشور از توان اقلیمی لازم برای رشد و نمو بهینه آن‌ها برخوردار نیستند. با توجه به حادث شدن تغییرات آب و هوایی و کمبود منابع آبی در کشور، واکاوی الگوی انباشت سرمایی و گرمایی مناطق مختلف، برای انتخاب واریته‌های مناسب و سازگار با اقلیم هر منطقه ضروری به نظر می‌رسد. در مورد واکاوی تعیین نیاز سرمایی و گرمایی درخت سیب در قالب مدل‌های مختلف و همچنین وضعیت تغییرات مراحل فنولوژی و پارامترهای اقلیمی موثر، مطالعات جامعی انجام نشده است، لذا مطالعه حاضر با هدف واکاوی الگوی نیازهای سرمایی و گرمایی و تعیین تغییرات روزشمارهای مراحل فنولوژی و پارامترهای اقلیمی موثر بر اساس آمار دمای هوا و مشاهدات فنولوژی بر روی درخت سیب دیررس واریته رد دلشز، طراحی و اجرا شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی

در بخش میدانی مطالعه حاضر به منظور شناسایی زمان رخداد مراحل فنولوژی درخت سیب، اقدام به سلسله بازدیدهای روزانه و یادداشت‌برداری هفتگی به صورت متوالی در فصل رشد و نمو درخت سیب گردید. فنولوژی به مطالعه زمان وقوع رخدادهای تکرار پذیر زندگی گیاهان در رابطه با عوامل زنده و غیر زنده می‌پردازد (ژانگ^۳، ۲۰۱۲؛ رشوند و همکاران، ۱۳۹۳). به این منظور، یک باغ تجاری خصوصی و بارور با سطح زیر کشت مناسب از درختان سیب و رقم دیررس رد دلشز^۴ انتخاب گردید. مجموعه باغ مورد مطالعه با ۲۰ هکتار سطح زیر کشت در شهرستان کرج، جاده کرج - ماهدشت به عنوان یکی از باغ‌های تجاری عمده در شهرستان کرج محسوب می‌شود. این باغ تجاری در موقعیت ۳۵ درجه و ۳۳ دقیقه عرض شمالی و ۵۱ درجه و ۲ دقیقه طول شرقی و ارتفاع ۱۱۹۸

درخت زردآلو در مناطق مدیترانه را بررسی نمودند. لودلینگ و براون^۱ (۲۰۱۱) در تحلیلی جهانی سازگاری مدل‌های نیاز سرمایی درختان میوه و آجیلی را بررسی نمودند. گیو و همکاران (۲۰۱۴) به ارزیابی نیاز سرمایی و گرمایی درختان میوه مناطق معتدله بر اساس آمار دمای ساعتی و روزانه پرداختند. فیچت و همکاران^۲ (۲۰۱۴) بر اساس آمار دمای هوا به وضعیت مراحل فنولوژی مرکبات و توزیع زمانی و مکانی آن در ایران پرداختند. مالیون و همکاران (۲۰۱۴) با بررسی مدل‌های مختلف برآورد نیاز سرمایی و گرمایی بر روی هلو و شلیل مشخص نمودند که نیاز سرمایی اهمیت بالایی دارد و بین زمان گلدهی و انباشت سرمایی ارتباط مستقیمی وجود دارد. اوحدی (۱۳۸۴) برای بررسی کمی سرمازدگی در مراحل مختلف فنولوژی محصول سیب به مشاهدات میدانی در یک سال زراعی از مرحله جوانه زنی تا گلدهی پرداختند. کمالی و همکاران (۱۳۸۶) زمان گلدهی سیب رقم گلدن بر اساس نیازهای تجمعی سرمایی جهت جلوگیری از یخبندان در منطقه گل‌مکان خراسان را بررسی نمودند. خوشحال و همکاران (۱۳۹۲) مراحل فنولوژی و نیازهای حرارتی گل محمدی در منطقه برزک کاشان را بررسی نمودند. آن‌ها با مشاهدات میدانی یک ساله مراحل فنولوژی را شناسایی و سپس نیاز گرمایی را مشخص نمودند. سبزی‌پرور و ولاشیدی (۱۳۹۴) با بررسی اثر تغییر اقلیم بر روند تأمین نیاز سرمایی گیاهان خزان‌دار، مشخص نمودند که تحت شرایط تغییر اقلیم میزان نیاز سرمایی کاهش می‌یابد. ولاشیدی و سبزی‌پرور (۱۳۹۵) با ارزیابی الگوهای برآورد نیاز سرمایی زمستانه با استفاده از داده‌های مشاهده‌ای فنولوژی درخت سیب در ارومیه، مشخص نمودند که مدل دینامیکی از عملکرد بالایی در برآورد انباشت سرمایی برخوردار بوده و ارقام زودگل سیب در اواخر زمستان در خطر سرما و یخبندان قرار دارند. خورشیددوست و همکاران (۱۳۹۶) بر اساس آمار ایستگاه‌های هواشناسی در سال ۱۳۸۹ مشخص نمودند که ویژگی‌های کیفی میوه پرتقال تامسون ناول تحت تأثیر عنصرهای اقلیمی می‌باشد. در بین درختان خزان‌دار میوه سیب به دلیل نیاز بازار و شرایط فیزیولوژیک بهتر برای ذخیره در انبار، مورد توجه باغداران می‌باشد و تقریباً در بیشتر مناطق معتدله کشور

³ Zhang

⁴ Red Delicious

¹ -Luedeling & Brown

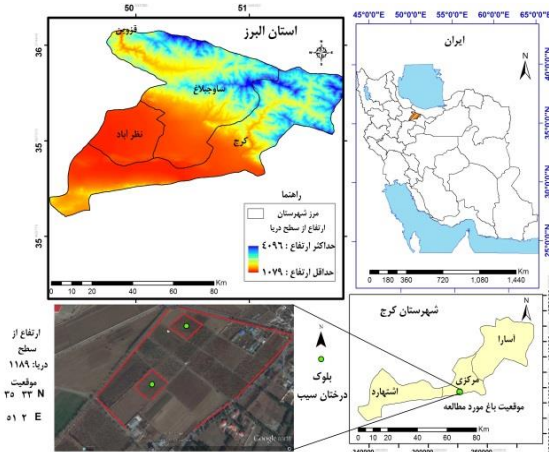
² Fitchett et al.

صورت یک سیستم کدگذاری دهگانی برای محصولات چوبی و گیاهان علفی بوده است (فدون و همکاران^۳، ۲۰۱۵؛ خوشحال و همکاران، ۱۳۹۲). با کمک کارشناسان باغبانی از مجموعه یک هکتاری از درختان سیب، ۴ درخت در مناطق مختلف باغ مشخص گردید. از هر درخت چند شاخه با سیخک‌های آشکار و سالم در میانه درخت مشخص و علامت‌گذاری گردید، سپس از زمان پایان رکود و آغاز تورم جوانه تا شروع دوره رکود یا خواب، مراحل فنولوژی و شرایط دمایی در کدهای اصلی و فرعی با بازدیدهای روزانه و هفتگی ثبت گردید. در فرایند بازدید میدانی وضعیت فنولوژیکی درختان با همدیگر بررسی و مقایسه شد. سپس آستانه دمایی و تاریخ نهایی ثبت گردید. به منظور ارزیابی نیاز گرمایی از مدل‌های درجه روزهای رشد موثر و فعال و مدل‌های درجه ساعت‌های رشد اندرسون و ریچاردسون استفاده شد. برای بررسی نیاز سرمایی از مدل‌های ساعات سرمایی CH^۴، واحدهای سرمایی UTAH و دینامیکی یا بخش‌های سرمایی CP^۵ استفاده گردید. بر اساس آستانه‌های دمایی و آمار روزانه دمای هوا سری روزشمار رخداد مراحل فنولوژی مشخص شد. در روزشمار ژولیوسی^۶ اولین روز ماه ژانویه به عنوان مبدأ شمارش روز انتخاب شد و سایر روزهای سال با توجه به آن شماره‌گذاری گردید. بر روی روند تغییرات روزشمارهای زمان مراحل فنولوژی در بلند مدت از سال ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۳ و پارامترهای اقلیمی مؤثر در مراحل فنولوژی مختلف بر اساس آزمون ناپارامتری من‌کنندال بررسی شد. روش من‌کنندال که به طور گسترده در مباحث علوم محیطی و هواشناسی کاربرد دارد، یکی از روش‌های ناپارامتری مهم برای آزمون روند سری‌های زمانی محسوب می‌شود (سبزی پرور و شادمانی، ۱۳۹۰).

مدل‌های تعیین نیاز گرمایی

برای تعیین درجه روزهای رشد هر مرحله فنولوژی با استفاده از آمار کمینه و بیشینه دما درجه روزهای رشد موثر و فعال مشخص گردید. دمای پایه برای درخت سیب ۴/۵ درجه سانتی‌گراد (فری و وارینگتون^۷، ۲۰۰۳) مشخص شده است.

متر از سطح دریا واقع شده است (شکل ۱). باغ مورد مطالعه در فاصله ۱۰۰۰ متری از ایستگاه هواشناسی همدید کرج قرار دارد. موقعیت جغرافیایی و شرایط طبیعی باغ مورد مطالعه، کاملاً با ایستگاه هواشناسی همدید کرج همخوانی لازم را دارا می‌باشد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

در بخش آماری، از آمار بلند مدت دمای هوا به صورت سه ساعته و روزانه ایستگاه همدید کرج استفاده شد. آمار لازم از سال ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۳، از سازمان هواشناسی کشور و اداره هواشناسی استان البرز، تهیه و تنظیم گردید. منطقه مورد مطالعه بر اساس روش طبقه‌بندی دمارتن و کوپن به ترتیب از اقلیمی نیمه خشک و نیمه خشک گرم (BSK) برخوردار می‌باشد. میانگین دمای سالانه منطقه ۱۵/۱ درجه سانتی‌گراد، میانگین بارش سالانه ۲۵۱/۸ میلی‌متر، میانگین کمینه‌های دما، میانگین بیشینه‌های دما و میانگین سردترین دماهای مطلق به ترتیب ۸/۸، ۲۱/۳ و ۱۰- درجه سانتی‌گراد می‌باشد. در این مطالعه برای ثبت مراحل فنولوژی درخت سیب دیررس پاییزه وارپته رد دلپشز به عنوان یکی از ارقام تجاری عمده در ایران، از سیستم کدبندی BBCH^۱ استفاده گردید. این مقیاس به صورت کد دو رقمی معیار استاندارد برای مراحل نمو گیاهان و درختان میوه محسوب می‌شود (کورنیلیوس^۲، ۲۰۱۱). این مقیاس دارای یک جدول ۱۰۰ قسمتی به صورت کدهایی از ۰ تا ۹۹ بوده و برای فازهای مختلف طراحی شده است. در دهه‌های گذشته مقیاس BBCH به

³ Fadón

⁴ Chilling Hours

⁵ Chilling Portion

⁶ Julian Day

⁷ Ferree and Warrington

¹ Biologische Bundesantalt, Bundessortenamt Chemis-che Industrie

² Cornelius

$$GDH = \begin{cases} F \left(\frac{T_u - T_b}{2} \right) \left(1 + \cos \left(\pi + \pi \frac{T_i - T_b}{T_u - T_b} \right) \right), T_u \geq T_i \geq T_b \\ F (T_u - T_b) \left(1 + \cos \left(\frac{\pi}{2} + \pi \frac{T_i - T_u}{T_c - T_u} \right) \right), T_c \geq T_i \geq T_u \\ 0, T_i > T_c \text{ or } T_i < T_b \end{cases} \quad (2)$$

در این معادله، F فاکتور تنش گیاه است، اگر تنش خاصی وجود نداشته باشد، به طور معمول مقدار ۱ در نظر گرفته می‌شود. T_u ، T_b و T_c به ترتیب مقادیر ۴، ۲۵ و ۳۶ درجه سانتی‌گراد است که توسط (اندرسون و همکاران، ۱۹۸۵) برای درختان میوه پیشنهاد شده است.

مدل ریچاردسون و همکاران^۵ (۱۹۷۴)

ریچاردسون و همکاران (۱۹۷۴) یک درجه ساعت رشد GDH را به صورت یک ساعت در دمای ۱ درجه سانتی‌گراد بالاتر از دمای پایه ۴/۵ درجه سانتی‌گراد تعریف نموده‌اند. GDH به وسیله تفریق کردن ۴/۵ درجه سانتی‌گراد از هر ساعت دما بین ۴/۵ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد محاسبه می‌گردد. تمام دماهای بالاتر از ۲۵ درجه سانتی‌گراد، برابر با ۲۰/۵ درجه در نظر گرفته می‌شوند (ریچاردسون و همکاران، ۱۹۷۴؛ ولنتینی و همکاران، ۲۰۰۱). معادله ۳ را ریچاردسون و همکاران (۱۹۷۴) بر اساس دمای ساعتی ارائه کردند.

$$\begin{aligned} GDH &= 0.0 \text{ for } T < 4.5 \\ GDH &= (T - 4.5), \text{ for } 4.5 < T < 25 \\ GDH &= 20.5 \text{ for } T > 25 \end{aligned} \quad (3)$$

مدل‌های تعیین نیاز سرمای

برای تعیین نیاز سرمای منطقه از آمار دماهای ساعتی استفاده شد. ورودی تمام مدل‌های برآورد کننده نیاز سرمای، داده دمای ساعتی می‌باشد. از آنجایی که این آمار به صورت سه ساعته اندازه گیری و گزارش شده لذا برای تعیین نیاز سرمای بایستی به دمای هر ساعت یا ساعتی تبدیل گردد. برای این منظور از روش درون‌یابی خطی استفاده گردید. در این روش مجموع دمای سه ساعت قبل با مجموع دمای سه ساعت بعد بر ۳ تقسیم شده و یک سوم به دمای قبلی اضافه می‌گردد (غریبی، ۱۳۹۵). با تبدیل دمای سه ساعته به دمای ساعتی برای ۲۴ شبانه روز، میزان نیاز سرمای در دوره رکود درخت سیب از ماه نوامبر تا آخر مارس تعیین گردید. تشریح هر

درجه روزهای رشد موثر و فعال^۱ GDD

در این شاخص میانگین دمای هوای روزانه از آستانه دمای یخبندان (صفر درجه سانتی‌گراد) تا تکمیل ضریب حرارتی آن گونه درختی مورد نظر محاسبه می‌شود. معادله ۱ روش محاسبه درجه روز را نشان می‌دهد.

$$GDD = \sum_i^N \left[\frac{T_{\max} + T_{\min}}{2} \right] - T_{\text{Base}} \quad (1)$$

در این معادله، GDD معرف درجه روز است که طی N روز جمع‌آوری شده است، T_{\max} بیشینه دمای هوای روزانه، T_{\min} کمینه دمای هوای روزانه و T_{Base} دمای هوای پایه یا صفر فیزیولوژیکی گیاه و N تعداد روزها در یک زمان مشخص را نشان می‌دهد (مک مستر و ویلهلم، ۱۹۹۷). درجه روزهای فعال به مانند روش درجه روزهای موثر با این تفاوت که میانگین دمای هوا از دمای پایه کسر نمی‌شود.

مدل‌های درجه ساعت‌های رشد GDH

درجه ساعات رشد (GDH)^۲ عبارت است از تعداد ساعات گرمایی مورد نیاز برای شکوفایی جوانه‌ها یا شکوفه‌دهی بعد از تأمین نیاز سرمای (زنگ و تیلور^۳، ۲۰۱۱). برای تعیین درجه ساعت‌های رشد از دماهای ساعتی استفاده می‌گردد. برای تعیین GDH از مدل‌های مختلفی استفاده می‌شود که عمده‌ترین این مدل‌ها؛ مدل‌های اندرسون (۱۹۸۵) و ریچاردسون (۱۹۷۴) می‌باشد.

مدل آندرسون و همکاران (۱۹۸۵)

آندرسون و همکاران (۱۹۸۶) مدلی برای درجه ساعات رشد ارائه کرده‌اند. در این مدل فرض می‌شود که انباشت گرمایی زمانی رخ می‌دهد که دمای هوای ساعتی (T_i) در دامنه‌ای بین دمای پایه (T_b) و دمای بحرانی (T_c) یا آستانه بالا برای رشد گیاه و بیشینه انباشت گرما در دمای بهینه گیاه (T_o) قرار بگیرد. تابع لازم برای محاسبه GDH در معادله ۲ ارائه شده است (گیو و همکاران، ۲۰۱۴؛ لودلینگ و همکاران^۴، ۲۰۰۹).

¹ Growing Degree Day

² Growing Degree Hours

³ Zhang and Taylor

⁴ Luedeling et al.

⁵ Richardson et al.

مدل دینامیکی (بخش‌های سرمایه) CP

مدل دینامیکی، برای تولید میوه در خاورمیانه توسط ارز و همکاران^۱ (۱۹۸۹) توسعه داده شده است (لودلینگ و همکاران، ۲۰۱۳). مدلی که نتایج بهتری در آب و هواهای جنب حاره و معتدله گرم نشان می‌دهد، مدل دینامیکی می‌باشد (ارز و همکاران ۱۹۸۹؛ ارز و فیشرمن، ۱۹۹۷). دقیق‌ترین مدل بیولوژیکی برای تعیین نیاز سرمایه، مدل دینامیکی است که در سراسر جهان در ۲۰ منطقه آزمایش شده است. این مدل سرما را بر مبنای دمای ساعتی اندازه‌گیری می‌کند و واحدهای انباشته شده را تحت عنوان سهم‌ها یا بخش‌های سرمایه، CP^۲ مشخص می‌نماید. بخش‌های سرمایه به اختصار CP معرفی می‌گردد (ارز و همکاران، ۱۹۸۹). در این مدل فرض می‌شود انباشت سرمایه از یک فرایند دو مرحله‌ای تشکیل شده است که در طی آن یک محصول حد واسط نخست در یک فرایندی که توسط دماهای سرد تسریع شده، تشکیل می‌شود. دماهای گرم می‌تواند این محصول حد واسط را تخریب نماید. به محض اینکه یک مقدار مشخصی از محصول حد واسط تشکیل شد، این محصول به طور برگشت ناپذیری به بخش‌های سرمایه تبدیل می‌شود (داربیش و همکاران، ۲۰۱۱؛ پپ و همکاران^۳، ۲۰۱۵). معادلات ۶ تا ۱۲ مربوط برای محاسبه تعداد سهم‌های سرمایه در زمان t عبارتست از:

$$x_i = \frac{e^{\frac{slp.tetmlt - T_K - tetmlt}{T_K}}}{1 + e^{\frac{slp.tetmlt - T_K - tetmlt}{T_K}}} \quad (6)$$

$$X_S = \frac{a_0}{a_1} \cdot e^{\frac{e_1 - e_0}{T_K}} \quad (7)$$

$$\alpha_{k1} = a_1 \cdot e^{\frac{-e_1}{T_K}} \quad (8)$$

$$inter_E = X_S - (X_S - inter_S) \cdot e^{-\alpha_{k1}} \quad (9)$$

$$chill\ portions_t = \begin{cases} t=t_0 & \text{delt} \\ t>t_0 & \text{delt} + chill\ portions_{t-1} \end{cases} \quad (10)$$

$$delt = \begin{cases} t=t_0 & :0 \\ t>t_0 & inter_E < 1 :0 \\ t>t_0 & inter_E \geq 1 :X_i \cdot inter_E \end{cases} \quad (11)$$

کدام از این مدل‌ها در ادامه مشخص شده است. از مدل‌های ساعات سرمایه CH (دماهای ساعتی ۰ تا ۷/۲ درجه سانتی‌گراد)، یوتا Utah و دینامیکی CP برای محاسبه نیاز سرمایه استفاده شد.

مدل ساعات سرمایه CH

به احتمال زیاد معمول‌ترین مدل سرمایه و یکی از پرکاربردترین مدل‌ها می‌باشد. مدل CH یا ساعات سرمایه، اولین بار برای درختان هلو در جرجیا در ایالات متحده آمریکا ارائه شده است. تمام ساعات با دماهایی بین صفر تا ۷/۲ درجه سانتی‌گراد به صورت موثر برای انباشت نیاز سرمایه استفاده می‌شود (لودلینگ و همکاران، ۲۰۱۳). این مدل معادله ۴، ساده‌ترین و قدیمی‌ترین روش محاسبه انباشت سرمایه است. تعداد ساعات سرمایه در زمان t (زمان از آغاز دوره رکود بر حسب ساعت) محاسبه می‌شود (داربیش و همکاران، ۲۰۱۱).

$$CH_t = \sum_{i=1}^t T_{7.2} \quad T_{7.2} = \begin{cases} 0^\circ C < T < 7.2^\circ C & :1 \\ \text{else} & :0 \end{cases} \quad (4)$$

مدل واحدهای سرمایه Utah

مدل یوتا Utah بر اساس معادله ۵، توسط ریچاردسون (۱۹۷۴) ارائه شده است. این مدل که به صورت یک تابع وزنی برای تعیین سرماهای اثر بخش استفاده می‌شود، تأثیر منفی دماهای بالا بر روی تجمع سرمای زمستان را نیز محاسبه می‌نماید.

$$UCU_t = \sum_{i=1}^t T_U \quad T_U = \begin{cases} T_U = T < 1.4 & :0 \\ 1.4 < T \leq 2.4 & :0.5 \\ 2.4 < T \leq 9.1 & :1 \\ 9.1 < T \leq 12.4 & :0.5 \\ 12.4 < T \leq 15.9 & :0 \\ 15.9 < T \leq 18 & :-0.5 \\ 18 \leq T & :0.5 \end{cases} \quad (5)$$

در این مدل دماهای پایین‌تر از ۱/۴ و بالاتر از ۱۲/۴ درجه سانتی‌گراد هیچ ارزش سرمایه ندارند (ریچاردسون و همکاران، ۱۹۷۴). مدل یوتا دماهای ساعتی را به صورت واحدهای سرمایه انباشته می‌کند. دماهای ساعتی بین ۲/۴ تا ۹/۱ بیشترین ارزش سرمایه را دارا می‌باشند.

1 - Erez et al.

2 -Chilling portions

3 - Pope et al.

دهه اول فروردین ماه شروع شده و تا اواسط ماه فروردین ماه به مدت ۱۲ روز به طول می‌انجامد. مرحله سوم فنولوژی برای ظهور گل آذین با کد اصلی (۵) هشت کد فرعی در مقیاس BBCH را در بر می‌گیرد. کد (۵۱) با عنوان تورم جوانه گل آذین، ۱۰ تا ۱۳ فروردین مشاهده گردید. کد (۵۲) برای انتهای تورم گل آذین و ظهور گل، در روزهای ۱۲ تا ۱۳ فروردین مشاهده شد. کد (۵۳) برای تنزیدن جوانه از ۱۳ تا ۱۴ فروردین مشاهده شده است. کد (۵۴) برای جوانه برگ سبز بالاتر از ۱۰ میلی متر در روزهای ۱۳ تا ۱۵ فروردین رخ می‌دهد. کد فرعی ۵۵ برای ظهور جوانه گل به صورت بسته، در روزهای ۱۵ تا ۱۶ فروردین رخ می‌دهد. کد ۵۶ برای جوانه گل در حال جداسازی (به صورت بسته) در روزهای ۱۵ تا ۱۷ فروردین رخ می‌دهد. کد (۵۷) برای جوانه صورتی و مشاهده گلبرگ‌ها از ۱۶ تا ۱۸ فروردین مشاهده گردید. در کد (۵۹) بیشتر گل‌ها و گلبرگ‌ها به صورت توپ خالی از ۱۷ تا ۱۹ فروردین رخ می‌دهد (شکل ۳). این مرحله از ابتدای تا انتهای دهه دوم ماه فروردین به مدت ۱۰ روز به طول می‌انجامد. مرحله چهارم فنولوژی سیب با عنوان گلدھی با کد اصلی (۶) با ۱۲ کد فرعی یکی از مهم‌ترین و متنوع‌ترین مراحل فنولوژی در بین مراحل فنولوژی سیب محسوب می‌شود. کد فرعی (۶۰) برای باز شدن گل‌ها، از ۱۸ تا ۲۰ فروردین مشاهده گردید. کد (۶۱) برای آغاز گلدھی (۱۰ درصد گل‌ها باز شده) از ۲۰ تا ۲۲ فروردین رخ می‌دهد. کد (۶۲) که حدود ۲۰ درصد گل‌ها باز شده از ۲۲ فروردین تا ۲۴ فروردین رخ می‌دهد. کد (۶۳) حدود ۳۰ درصد گل‌ها باز شده از ۲۴ تا ۲۶ فروردین رخ می‌دهد. کد (۶۴) که حدود ۴۰ درصد گل‌ها باز شده، از ۲۴ تا ۲۶ فروردین رخ می‌دهد. کد (۶۵) حدود ۵۰ درصد گل‌ها باز شده (شروع ریزش گلبرگ‌ها) از ۲۵ تا ۲۷ فروردین رخ می‌دهد. در کد (۶۶) با عنوان محو شدن گل‌ها (ریزش اکثریت گل‌ها) از ۲۷ تا ۳۰ فروردین رخ می‌دهد. کد (۶۹) یا انتهای گلدھی و ریزش بیشتر گل‌ها، از ۳۰ تا ۱ اردیبهشت رخ می‌دهد (شکل ۳). این مرحله به مدت ۱۰ روز از اول تا آخر دهه اول ماه فروردین طول می‌کشد.

$$\text{inter}_S = \begin{cases} t=t_0 & :0 \\ >t_0 \text{ inter}_{E-t-1} < 1: \text{inter}_{E-t-1} \\ >t_0 \text{ inter}_{E-t-1}^{31}: \text{inter}_{E-t-1} \cdot (1-X_1) \end{cases} \quad (12)$$

مقادیر عددی ثابت‌های slp ، tetmlt ، α_0 ، α_1 و e_0 و e_1 که به طور تجربی به دست آمده‌اند و در عملیات مربوط به باغبانی از آن‌ها استفاده می‌نمایند، به ترتیب عبارتند از: ۱/۶، ۲۷۷، ۱۳۹۵۰۰، $2/567 \times 10^{18}$ ، ۴۱۵۳/۵ و ۱۲۸۸۸/۸. برای هر کدام از مدل‌ها در محیط نرم‌افزار اکسل برنامه لازم مشخص گردید و سپس با اعمال دماهای ساعتی بر این مدل‌ها، انباشت سرمای مشخص گردید.

نتایج و بحث

نتایج مشاهدات میدانی، ثبت زمان رخداد مراحل

فنولوژی درخت سیب دیررس رقم رد دلپشز

شکل ۲، مرحله اول فنولوژی درخت سیب رقم رد دلپشز را در مقیاس BBCH نشان می‌دهد. این مرحله در درخت سیب، ۵ کد فرعی را شامل می‌شود. مرحله اول با کد (۰۰) مرحله انتهای رکود و آغاز تورم جوانه و جوانه‌زنی می‌باشد. این رقم در دشت کرج از ۲۵ اسفند شروع به تورم جوانه می‌کند. کد (۰۱) برای تورم و آغاز جوانه‌زنی از ۲۵ تا ۲۸ اسفند را در بر می‌گیرد. کد (۰۳) انتهای تورم جوانه از ۲۶ اسفند تا ۲۹ اسفند را شامل می‌شود. کد (۰۷) آغاز ظهور جوانه از ۲۹ اسفند تا ۲ فروردین و کد (۰۹) آغاز ظهور جوانه از ۲ تا ۴ فروردین شکل می‌گیرد. مرحله فنولوژی جوانه‌زنی سیب دیررس پاییزه از اواخر اسفند آغاز می‌شود و تا دهه اول فروردین به مدت ۹ روز برای تکمیل تمام کدهای فرعی به طول می‌انجامد. مرحله دوم فنولوژی با عنوان نمو برگ با کد اصلی (۱) در شکل ۲، نشان داده شده است. این مرحله با کدهای فرعی ۱۰، ۱۱، ۱۵ و ۱۹ از ۴ تا ۱۲ فروردین به طول می‌انجامد. در واقع کد (۱۰) برای مرحله اندازه جوانه برگ سبز تا ۱۰ میلی‌متر از ۴ تا ۶ فروردین و کد (۱۱) برای رخداد برگ‌های اولیه که هنوز باز نشده از ۶ تا ۸ فروردین رخ می‌دهد. کد (۱۵) کامل نشدن بیشتر برگ‌ها از ۸ تا ۱۱ فروردین ماه و کد (۱۹) برگ‌های اولیه در توسعه کامل از ۱۰ تا ۱۲ آوریل رخ می‌دهد. این مرحله از



شکل ۲- مرحله اول فنولوژیکی درخت سیب دیررس پاییزه رقم رد دلشز با کد اصلی (۰۰) در (شکل چپ) و مرحله دوم با عنوان نمو برگ با کد (۱) در (شکل راست)



شکل ۳- مرحله سوم فنولوژیکی درخت سیب دیررس پاییزه رقم رد دلشز ، با کد اصلی (۵) با عنوان ظهور ظهور گل آذین در (شکل چپ) و مرحله چهارم فنولوژی با کد (۶)، با عنوان ظهور گلدهی در (شکل راست)

(۷۸) از ۲۸ ماه خرداد تا ۲۰ جولای رخ می‌دهد. مرحله میوه به حدود ۹۰ درصد اندازه نهایی رسیده با کد (۷۹) از ۳۰ جولای تا ۱۲ مرداد رخ می‌دهد (شکل ۴). این مرحله فنولوژیکی از اوایل اردیبهشت ماه تا اواسط مرداد ماه به طول می‌انجامد. مرحله فنولوژیکی بلوغ میوه و بذر با کد اصلی (۸) چهار کد فرعی را در بر می‌گیرد. مرحله آغاز رسیدن میوه با کد (۸۱) از ۲۸ مرداد تا ۵ شهریور رخ می‌دهد. مرحله رسیدن میوه با کد (۸۵) از ۵ تا ۲۰ شهریور و مرحله میوه رسیده برای برداشت با کد (۸۷) از ۲۰ تا ۲۵ شهریور مشاهده گردید. مرحله میوه رسیده برای مصرف با کد ۸۹ از ۲۲ تا ۲۷ شهریور به طول می‌انجامد (شکل ۴). این مرحله از اواخر مرداد ماه تا اواخر شهریور ماه به طول می‌انجامد. مرحله فنولوژیکی آغاز رکود با کد ۹ از شش کد فرعی در مقیاس BBCH تشکیل شده است. مرحله فنولوژیکی کامل شدن رشد شاخه و جوانه نهایی با کد (۹۱) ۱۸ مهرماه رخ می‌دهد.

مرحله فنولوژیکی نمو میوه با کد اصلی (۷) از ۷ کد فرعی تشکیل شده است. مرحله فرعی زمانی که اندازه میوه به ۱۰ میلی‌متر رسیده و ریزش اولیه میوه با کد (۷۱) در ۳ تا ۸ اردیبهشت ماه مشاهده گردید. مرحله اندازه میوه تا ۲۰ میلی‌متر با کد (۷۲) از ۸ تا ۱۷ اردیبهشت ماه مشاهده شد. مرحله ریزش ثانویه میوه با کد (۷۳) از ۲۶ تا ۳۰ اردیبهشت ماه رخ می‌دهد. مرحله قطر میوه برابر با ۴۰ میلی‌متر با کد (۷۴) از ۱ تا ۱۷ اردیبهشت ماه به طول می‌انجامد. مرحله میوه به حدود نیمی از اندازه نهایی خود رسیده با کد (۷۵) از ۱۷ ماه می تا ۷ تا ۱۰ خرداد ماه رخ می‌دهد. مرحله میوه به حدود ۶۰ درصد اندازه نهایی خود رسیده با کد فرعی (۷۶) از ۱۲ ماه می تا ۲۲ ماه می (اردیبهشت ماه) رخ می‌دهد. مرحله میوه به حدود ۷۰ درصد اندازه نهایی رسیده با کد (۷۷) از ۲۲ تا ۲۸ خرداد ماه مشاهده گردید. مرحله میوه به حدود ۸۰ درصد اندازه نهایی رسیده با کد



شکل ۴ - مرحله فنولوژیکی، نمو میوه درخت سیب دیررس پاییزه رقم رد دلشیز با کد ۷ (شکل سمت چپ) و مرحله فنولوژیکی بلوغ میوه و بذر با کد اصلی ۸ در شکل (سمت راست)

تکمیل نمو خود نیاز دارد. فصل رشد به صورت رشد رویشی و زایشی در این وارسته، ۲۰۱ روز به طول می‌انجامد. کوتاه‌ترین طول درون مراحل فنولوژی در مراحل اول و دوم فنولوژی یعنی نمو جوانه و نمو برگ و طولانی‌ترین طول درون مراحل در مرحله گلدهی تا نمو میوه رخ می‌دهد. درجه روزهای رشد موثر و فعال از ۵۰ درجه‌روز در مرحله اول فنولوژی به تدریج تا بیش از ۲۰۰۰ درجه‌روز در مرحله نمو میوه افزایش می‌یابد. بعد از مرحله نمو میوه میزان درجه روزها به تدریج روند نزولی پیدا می‌کنند. درخت سیب وارسته دیررس از پایان رکود، زمانی که که ۵۰ درصد جوانه‌ها متورم شده باشند، تا گلدهی کامل، زمانی که ۵۰ درصد گل‌ها باز شده باشند (ریوز و همکاران، ۲۰۰۷؛ اجا و همکاران، ۲۰۰۳)، بر اساس مدل اندرسون و همکاران ۸۸۸۹ و بر اساس مدل ریچاردسون و همکاران ۱۵۹۸۳ درجه ساعت رشد GDH، نیاز دارد. در واقع درختان سیب علاوه بر نیاز سرمایی بالا برای حیات مجدد خود به تکمیل مراحل فنولوژیکی خود به نیاز گرمایی و درجه ساعت‌های بالایی نیاز دارند، این نتایج با مطالعات (اجا و همکاران، ۲۰۰۳) مطابقت دارد. همچنین نیاز درجه روزهای رشد موثر و فعال به ترتیب ۳۴۳۸ و ۴۲۱۵ مشخص شده است. بر مبنای آمار ایستگاه همدید کرج توان گرمایی لازم برای درخت سیب به راحتی تأمین می‌شود. نتایج این بخش با مطالعات ولنتینی و همکاران (۲۰۰۱) بر روی وارسته‌های مختلف سیب و از نظر رویکرد با مطالعات آلبرکور و همکاران (۲۰۰۸) بر روی درخت گیلاس همخوانی دارد.

مرحله فنولوژیکی شروع تغییر رنگ برگ‌ها با کد (۹۲) از ۲۷ مهرماه تا ۱۰ آبان رخ می‌دهد. مرحله فنولوژیکی آغاز ریزش برگ‌ها با کد (۹۳) از ۲۷ مهرماه تا ۱۹ آبان رخ می‌دهد. مرحله فنولوژیکی ۵۰ درصد گل‌ها تغییر رنگ داده‌اند با کد (۹۵) از ۲۰ تا ۲۵ آبان رخ می‌دهد. مرحله فنولوژیکی ریزش تمام برگ‌ها با کد (۹۷) از ۲۵ آبان تا اوایل دسامبر رخ می‌دهد (شکل ۵). مرحله آخر فنولوژیکی درخت سیب دیررس، از اواسط مهرماه تا اوایل آذر ماه طول می‌کشد.



شکل ۵- مرحله فنولوژیکی آغاز رکود درخت سیب دیررس پاییزه رقم رد دلشیز با کد اصلی (۹)

نیاز گرمایی مراحل فنولوژی درخت سیب دیررس

بر مبنای آمار ایستگاه همدید کرج، کمینه و بیشینه دما، میزان درجه روزهای رشد موثر و فعال، طول روز و نیاز گرمایی در قالب درجه ساعت‌های رشد GDH، در جدول ۱ مشخص شده است. درخت سیب دیررس وارسته رد دلشیز از زمان گلدهی تا برداشت میوه ۱۵۸ روز برای

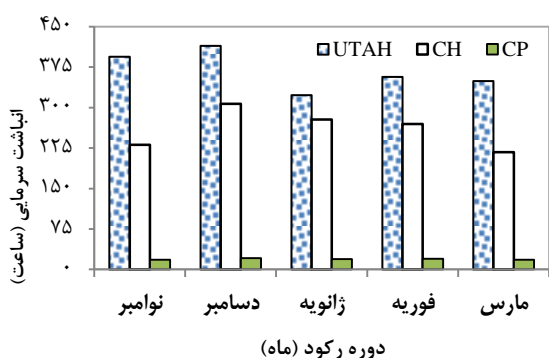
جدول ۱- تاریخ تکمیل مراحل فنولوژی و نیاز گرمایی سبب دیررس رد دلشیز در سال ۹۴-۱۳۹۳ بر اساس ایستگاه همدید کرج

مرحله رشد	تاریخ		طول مرحله (روز)	دما (°C)			GDD موثر	GDD فعال	GDH آندرسون و همکاران (۱۹۸۶)	GDH ریچاردسون و همکاران (۱۹۷۵)
	شروع	پایان		کمینه	بیشینه	میانگین				
نمو جوانه و جوانه زنی	۹۳/۱۲/۲۵	۹۴/۱/۴	۹	۵/۸	۱۶	۱۰/۵	۵۰	۹۵	۱۱۸۸	۲۰۸۴
نمو برگ	۹۴/۱/۴	۹۴/۱/۱۲	۹	۵/۹	۱۵/۷	۱۰/۸	۵۱	۹۶	۱۲۱۶	۱۹۲۴
ظهور گل آذین	۹۴/۱/۱۰	۹۴/۱/۱۹	۱۰	۷/۶	۲۰/۴	۱۴/۵	۹۵	۱۴۵	۲۲۸۰	۵۲۷۹
گلدهی	۹۴/۱/۱۸	۹۴/۲/۱	۱۵	۱۱/۸	۲۵/۶	۱۹	۲۰۹	۲۹۴	۴۲۰۵	۶۶۹۷
نمو میوه	۹۴/۲/۳	۹۴/۵/۱۲	۱۰۳	۱۷/۴	۳۱/۳	۲۴/۳	۲۱۳۹	۲۶۵۴	-	-
بلوغ میوه و بذر	۹۴/۵/۲۸	۹۴/۷/۱	۳۰	۱۵	۲۴	۱۹/۵	۶۸۷	۸۶۷	-	-
آغاز رکود	۹۴/۷/۲۷	۹۴/۸/۲۸	۲۵	۷	۱۴	۱۰/۵	۲۰۷	۳۶۷	-	-
مجموع			۲۰۱				۳۴۳۸	۴۲۱۵	۸۸۸۹	۱۵۹۸۳

و تجاری به خود نمی‌گیرد که دلیل عمده آن را می‌توان عدم تأمین نیاز سرمایی کافی درختان دیررس بیان نمود. با توجه به این نتایج انتخاب و کاشت ارقام زودرس و میان‌رس مانند سیب گلاب و ارقام دلبار استوال و گالا، برای منطقه پیشنهاد می‌گردد. نتایج و دستاوردهای تعیین نیاز سرمایی دوره رکود برای دیگر درختان خزان‌دار به خصوص گلابی، حائز اهمیت می‌باشد.

جدول ۲- وضعیت انباشت سرمای در دوره رکود از ماه نوامبر تا مارس بر اساس ایستگاه همدید کرج

مدل ساعات سرمایی CH ۰ - ۷/۲c			مدل واحدهای سرمایی UTAH			مدل دینامیکی (بخش‌های سرمایی) CP		
CV	σ	μ	CV	σ	μ	CV	σ	μ
۷	۷	۹۶	۱۲/۳	۲۲۶	۱۸۲۶	۷۰/۳	۱۶۷	۱۳۰۲



شکل ۶- توزیع ماهانه انباشت سرمایی در دوره رکود بر اساس ایستگاه همدید کرج

به منظور اعتبارسنجی مدل‌های مختلف برآورد کننده نیاز سرمایی، از معیارهای اعتبارسنجی MAE، MBE و RMSE استفاده شده است. در این راستا بر اساس روش اعتبارسنجی تقاطعی اقدام به ارزیابی این معیارها گردید (جدول ۳). نتایج نشان می‌دهد که مدل دینامیکی با توجه

وضعیت و الگوی نیاز سرمایی دوره رکود درخت سیب

بر مبنای ایستگاه همدید کرج میزان انباشت سرمایی بر اساس مدل ساعات سرمایی ۱۳۰۲ ساعت، بر اساس مدل یوتا ۱۸۳۶ واحد سرمایی و بر اساس مدل دینامیکی ۹۶ سهم یا بخش سرمایی رخ می‌دهد. بیشترین ضریب تغییرات با ۷۰/۳ درصد در مدل ساعات سرمایی مشاهده گردید. روش دینامیکی نسبت به دیگر مدل‌ها از تغییرات کمتری برخوردار می‌باشد (جدول ۲). بر اساس نتایج مدل ساعات سرمایی در شرایط ایستگاه همدید کرج، ماه‌های دسامبر، ژانویه و فوریه تأمین‌کننده عمده سرمای زمستانه برای درختان میوه خزان‌دار به خصوص سیب محسوب می‌شوند. در ماه‌های نوامبر و مارس تأمین سرمایی کمتری رخ می‌دهد. بر اساس مدل یوتا بیشترین نیاز سرمایی در ماه‌های نوامبر، دسامبر، فوریه و مارس رخ می‌دهد. ساختار مدل یوتا موجب شده که دماهای بین ۱/۴ تا ۱۰ درجه سانتی‌گراد وزن‌دار شوند و در واقع دماهای ملایم نیز به عنوان ارزش سرمایی در انباشت تجمعی سرما موثر باشند. بر اساس مدل دینامیکی بیشترین توان سرمایی دوره رکود، در ماه‌های دسامبر و فوریه با ۲۰ بخش سرمایی برای هر ماه رخ می‌دهد (شکل ۶). بر اساس نتایج مدل‌ها، شرایط اقلیمی کرج از توان تأمین‌کنندگی نیاز سرمایی نسبتاً متوسطی برخوردار می‌باشد، با توجه به نیاز بسیار بالای درختان سیب به میزان ۱۲۰۰ تا ۱۶۰۰ ساعت (فری و وارینگتون، ۲۰۰۳) انباشت سرمایی در شرایط اقلیمی دشت کرج برای دوره رکود تأمین‌کننده نیاز سرمایی وارپته‌های دیررس و تجاری درخت سیب نیست. مشاهدات میدانی نشان داد که سیب قرمز یا رد دلشیز در اقلیم دشت کرج رنگ کامل

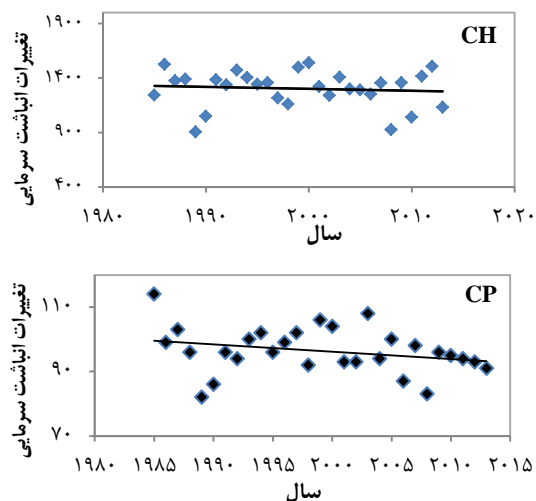
درخت سیب به تفکیک هر مرحله فنولوژی در دوره آماری بلند مدت، روند تغییرات سری روزشمارهای رخداد مراحل فنولوژی و پارامترهای اقلیمی مؤثر از طریق روش من کندانال در جدول ۴ مشخص شده است. روند تغییرات روزشمارهای زمان تکمیل مراحل فنولوژی از روندی کاهشی و معنی دار در سطح ۰/۰۱ برخوردار می باشد. روند منفی یا کاهشی روزشمارها تداعی کننده رخداد زود هنگام زمان مراحل فنولوژی درختان میوه بخصوص سیب در سالهای اخیر می باشد، در واقع هر چقدر به انتهای دوره آماری در سالهای اخیر می رسیم، تکمیل مراحل فنولوژی درخت سیب به دلیل افزایش دمای هوا زودتر رخ می دهد. در تمام مراحل فنولوژی بین ابتدا و انتهای دوره مورد مطالعه، ۳-۴ روز به طور متوسط اختلاف زمان تکمیل رخداد مراحل فنولوژی وجود دارد. هر چقدر روزهای ژولیبوسی کوتاه تر شود یعنی دماهای گرم تری رخ داده و به تناسب آن تاریخ تکمیل مراحل فنولوژی زودتر شکل می گیرد. این شرایط خطر سرما و یخبندان دیررس بهاره برای مراحل اول تا چهارم (جوانه زنی تا گلدهی) بیشتر می کند. روند تغییرات پارامترهای اقلیمی در جدول ۴ مشخص شده است. نتایج نشان داد که دمای کمینه در مراحل اولیه فنولوژی، مرحله جوانه زنی و نمو برگ از روندی افزایشی در سطح ۰/۰۱ معنی داری برخوردار می باشد. این شرایط در ظهور زود هنگام مراحل فنولوژی و بالارفتن ریسک یخبندانهای دیررس حائز اهمیت است. در کلیه مراحل فنولوژی بجز مرحله آغاز رکود یا مرحله پایانی، روند افزایشی معنی داری در سطح ۰/۰۱ در پارامتر میانگین دمای هوا مشاهده شد. در مرحله نمو و بلوغ میوه که مصادف با ایام گرم سال است، روند افزایشی در بیشینه دما مشاهده شد. برای پارامترهای بارش و رطوبت نسبی روند معنی داری مشاهده نگردید اما شیب تغییرات منفی حائز اهمیت می باشد. در پارامتر روزهای گرم در مرحله نمو میوه روند افزایشی در سطح ۰/۰۱ معنی دار مشاهده شد. به طور کل روند افزایشی دمای هوا در چرخه رویشی و زایشی درخت سیب حائز اهمیت است. هر چند بیشتر درختان میوه برای تکمیل چرخه زیستی خود به دماهای بالا خیلی واکنش نشان نمی دهند، اما این شرایط برای درختان سیب به عنوان یک گونه مناطق سردسیر و خنک، می تواند پیامدهای از جمله کاهش عملکرد و کیفیت را به همراه داشته باشد. شیب تغییرات کاهشی پارامترهای بارش

به ریشه میانگین مربعات RMSE، کمتر نسبت به دیگر مدل ها از عملکرد بالاتری برخوردار می باشد.

جدول ۳- نتایج معیارهای اعتبار سنجی بین مدل های مختلف تعیین الگوی نیاز سرمایی برای دوره رکود

مدل	MAE	MBE	RMSE
ساعات سرمایی (CH)	۰/۰۷۲۰۲	-۰/۰۰۲۴۸	۰/۳۸۷
واحد های سرمایی (Utah)	۰/۰۸۶۹۹	-۰/۰۰۳	۰/۴۶۸
دینامیکی (CP)	۰/۰۰۰۷۵	-۲/۲۷۰۰۵	۰/۰۰۴

برای شناخت بیشتر از نیاز سرمایی به عنوان یکی از موارد حیاتی در درختان خزان کننده، روند تغییرات سری زمانی نیاز سرمایی دراز مدت از سال ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۴ بر اساس مدل های ساعات سرمایی، یوتا و دینامیکی در شکل ۷ مشخص شده است. هر چند بر اساس روش من کندانال روند معنی داری در سری انباشت سرمایی مشاهده نگردید، اما برای هر سه مدل شیب منفی انباشت سرمایی در سال های اخیر حائز اهمیت می باشد. در واقع در دهه های اخیر بخصوص از سال ۱۹۹۵ تا حال حاضر، شیب نزولی نیاز سرمایی بیشتر شده است و این می تواند نشانه ای آشکار از تغییرات اقلیمی و گرم شدن دمای هوا در ایام سرد سال باشد.



شکل ۷- توزیع زمانی و تغییرات انباشت سرمایی بر اساس برون داد مدل های ساعات سرمایی CH و دینامیکی CP

روند تغییرات روزشمارهای زمان رخداد مراحل فنولوژی و پارامترهای اقلیمی مؤثر در درخت سیب درختان میوه برای تکمیل مراحل فنولوژی خود نیازمند واحدهای حرارتی می باشند. هر مرحله فنولوژی پس از دریافت مقدار معینی واحد حرارتی یا گرمای لازم رخ می دهد. پس از تعیین تاریخ تکمیل مراحل فنولوژی

درختان خزان‌دار مانند سیب به خصوص در سال‌های اخیر را تأیید می‌نماید. نتایج عملکرد بهتر مدل دینامیکی برای برآورد انباشت سرمایه درختان میوه خزان‌دار و همچنین کاهش نیاز سرمایه در سال‌های اخیر با مطالعات لودلینگ و براون (۲۰۱۱) و پوپ و همکاران (۲۰۱۵) همخوانی دارد. نتایج مطالعات از نظر اهمیت و نقش تعیین‌کننده انباشت سرمایه در رشد و نمو درختان سیب با مطالعات داربیش و همکاران (۲۰۱۱) همخوانی دارد.

و رطوبت نسبی و روند افزایشی دمای هوا، میزان تقاضا برای نیاز آبی این نوع درختان را افزایش می‌دهد. با توجه به این نتایج و با در نظر گرفتن وضعیت انباشت سرمایه در دوره رکود، استفاده از واریته‌های دیررس تجاری مانند رد دلشیز برای منطقه اقلیمی دشت کرج مقرون به صرفه نیست و بهتر است از واریته‌های زودرس تا میان‌رس استفاده شود. نتایج مطالعه حاضر همگام با مطالعه سبزی‌پرور و ولاشدی (۱۳۹۴) کاهش انباشت سرمایه برای

جدول ۴ - روند تغییرات تاریخ تکمیل مراحل فنولوژی و تغییرات پارامترهای اقلیمی در درخت سیب واریته رد دلشیز

روزهای گرم	رطوبت نسبی	بارش	میانگین دما	بیشینه دما	اختلاف روزهای			پارامتر مرحله فنولوژی
					تاریخ تکمیل از ابتدا تا انتهای دوره مطالعاتی	روند تاریخ به صورت روزشمار	کمینه دما	
۰/۹۸	-۱/۵۶	-۱/۲	*۲/۲۲	۰/۶۵	* ۲/۴	۴	-۱/۹۹	مرحله جوانه زنی
۱	-۰/۹۸	-۱/۵۸	* ۲	۱/۱	* ۱/۹	۳	* -۲	مرحله نمو برگ
۰/۹۸	-۰/۹۸	-۰/۵۶	*۲/۲	۱/۲	۱	۵	* -۲/۲	مرحله گل آذین
۱	-۱/۲	-۱/۵	*۲/۳	۱/۵	۱/۲	۴	-۱/۹۸	مرحله گلدهی
*۲	-۱	-۰/۹۹	*۱/۹	۲/۱	۱	۴	* -۲/۲	مرحله نمو میوه
۱/۸۶	-۱/۱	۱	*۲/۳	* ۲	۱/۵	۳	* -۲	مرحله بلوغ میوه
۰/۰۰۱	۰/۹۸	۰/۵۷	-۱/۲	-۰/۵۶	-۱	۴	* -۱/۹۹	مرحله آغاز رکود

* روند در سطح ۰/۰۵ معنی داری

درخت سیب نیست. به دلیل عدم تأمین نیاز سرمایه به واسطه سرماهای ملایم، رنگ قرمز به طور مناسب در میوه سیب قرمز یا رد دلشیز ظاهر نمی‌شود. در مشاهدات میدانی نیز رنگ قرمز مناسب بر میوه سیب قرمز مشاهده نشد. تغییرات کاهشی در سری زمانی انباشت سرمایه به دست آمده از برونداد مدل‌های یوتا و CP مشاهده شد. در بین مدل‌های برآورد کننده نیاز سرمایه، مدل دینامیکی از عملکرد بهتری برخوردار می‌باشد. کاهش انباشت سرمایه در زمستان یا دوره رکود درختان میوه خزان‌دار در پیوند با گرمایش جهانی می‌تواند نشانه بارزی از تغییرات اقلیمی در دهه‌های اخیر باشد. بر اساس برونداد مدل‌های تعیین نیاز گرمایی، منطقه کرج از توان گرمایی بالایی برخوردار بوده و نیاز گرمایی درختان سیب دیررس به راحتی تأمین می‌شود. روند تغییرات کاهشی معنی‌داری در سری روزشمارهای ژولیوسی تاریخ تکمیل مراحل فنولوژی مشاهده شد. در واقع کوتاه‌تر شدن روزشمارهای ژولیوسی، نشان‌دهنده ظهور زود هنگام مراحل فنولوژی به دلیل گرمای هوا می‌باشد. از طرفی روند تغییرات افزایشی دمای کمینه در انتهای فصل سرد نیز ظهور زود هنگام

رویکرد تحقیق حاضر همسو با مطالعات ولنتینی و همکاران (۲۰۰۱) و آلبرکور و همکاران (۲۰۰۸) می‌باشد. مطالعات مذکور ارزیابی مراحل فنولوژی و نیازهای گرمایی و سرمایه درختان میوه از طریق داده‌های اقلیمی برای انتخاب گونه‌های سازگار حائز اهمیت دانستند. نتایج کوتاه‌تر شدن زمان تکمیل مراحل فنولوژی و خطر یخبندان‌های دیررس بهاره برای مرحله گلدهی با نتایج ولاشدی و سبزی‌پرور (۱۳۹۵) همخوانی دارد. به طور کل در تحقیق حاضر با تکمیل مطالعات دیگر، الگوی تغییرات انباشت سرمایه بر اساس آمار بلندمدت دماهای ساعتی هوا و تغییرات زمان رخداد مراحل فنولوژی و پارامترهای اقلیمی موثر در مراحل فنولوژی نیز مشخص گردید.

نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر با هدف ارزیابی نیاز سرمایه و گرمایی و الگوی تغییرات آن برای درخت سیب دیررس واریته رد دلشیز با رهیافتی میدانی - آماری انجام شد. نتایج برونداد مدل‌های مختلف برآورد کننده نیاز سرمایه بر مبنای ایستگاه همدید کرج نشان داد که شرایط اقلیمی دشت کرج، تأمین‌کننده انباشت سرمایه واریته‌های دیررس

در مناطق خشک ایران. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۴(۲۵): ۸۲۳-۸۳۴.

سبزی پرور ع. ا.، ولاشدی، ر. ن. ۱۳۹۴. اثر تغییر اقلیم بر روند تأمین نیاز سرمایی گیاهان خزان‌دار (مطالعه موردی: استان همدان). نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)، ۳: ۳۶۷-۳۵۸.

علیزاده، ا. ۱۳۸۹. اقلیم و هواشناسی کشاورزی، چاپ اول، انتشارات آستان قدس رضوی، ۵۰۴ صفحه.

غریبی، خ. ۱۳۹۵. مدیریت ریسک و بیمه باغبانی (نمونه‌های الگویی: زیتون، موز و انبه). انتشارات پژوهشکده بیمه، ۲۹۵ صفحه.

کمالی، غ.، رحیمی، م.، محمدیان، ن.، مهدویان، ع. ۱۳۸۶. پیش‌بینی زمان گلدهی سیب رقم Golden بر اساس نیازهای تجمعی سرمایی جهت جلوگیری از خسارت یخبندان در منطقه گل‌مکان خراسان. نشریه پژوهشی علوم انسانی دانشگاه اصفهان، ۱(۲۲): ۱۷۱ - ۱۸۲.

میرحاجی، ت.، سندگل، ع.، قاسمی، م. ح.، نوری، سهیلا. ۱۳۸۹. کاربرد درجه روز رشد (GDD) در تعیین مراحل فنولوژی چهارگونه از گندمیان در ایستگاه تحقیقات مراتع همدان آبرسد. فصلنامه تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۱۷(۳): ۳۶۲-۳۷۶.

ولاشدی، ر. ن.، سبزی پرور ع. ا. ۱۳۹۵. ارزیابی الگوهای برآورد نیاز سرمایی زمستانه با استفاده از داده‌های مشاهده‌ای پدیده‌شناختی درخت سیب در ارومیه. علوم باغبانی ایران، ۴۷(۳): ۵۷۰-۵۶۱.

Anderson, J. L., Richardson, E. A., Kesner, C. D. 1985. Validation of chill unit and flower bud phenology models for 'Montmorency' sour cherry. In I International Symposium on Computer Modelling in Fruit Research and Orchard Management, 184: 71-78).

Albuquerque, N., García-Montiel, F., Carrillo, A., Burgos, L. 2008. Chilling and heat requirements of sweet cherry cultivars and the relationship between altitude and the probability of satisfying the chill requirement. Environ. Exper. Bot., 64: 162-170.

Aslamarz, A. A., Vahdati, K., Rahemi, M., Hassani, D. 2009. Estimation of chilling and heat requirements of some Persian walnut cultivars and genotypes. Hort. Sci., 44(3): 697-701.

Cesaraccio, C., Spano, D., Duce, P., Snyder, R. L. 2001. An improved model for determining degree-day values from daily temperature data, Int. J. Biometeorol., 45(4): 161-169.

مراحل فنولوژی را تسریع می‌بخشد. این شرایط ریسک سرما و یخبندان برای مرحله اول تا چهارم (جوانه زنی تا گلدهی) درخت سیب را بیشتر می‌کند. همزمان با مرحله فنولوژیکی نمو میوه سیب روند افزایشی معنی‌دار در پارامتر روزهای گرم مشاهده گردید. این شرایط می‌تواند ریسک آسیب گرمایی و کاهش کیفیت میوه و همچنین افزایش نیاز آبی درخت سیب را به همراه داشته باشد. بنابراین، توان اقلیمی دشت کرج برای کشت واریته‌های تجاری دیررس درخت سیب مانند رد دلشز مناسب نبوده و بهتر است که از ارقام بومی و زودرس تا میان‌رس استفاده گردد. نتایج و دستاوردهای این تحقیق برای آگاهی بخشی در مورد نقش و اهمیت شرایط اقلیمی در انتخاب گونه‌های سازگار با اقلیم هر منطقه و همچنین ارائه الگویی برای مدیریت صحیح و مدیریت ریسک محصولات باغی حائز اهمیت می‌باشد.

منابع

اوحدی، د. ۱۳۸۴. بررسی کمی سرمازدگی در مراحل مختلف فنولوژی محصولات باغی (مطالعه موردی محصول سیب در مناطق سمیرم، کرج و گل‌مکان). پایان‌نامه کارشناسی ارشد هواشناسی کشاورزی، دانشکده آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران.

آمار نامه محصولات باغی. ۱۳۹۴. وزارت جهاد کشاورزی، معاونت باغبانی. بخش میوه‌های سردسیری و خشک. خورشید دوست، ع. م.، زارع نهندی، ف.، خلیلی، ۱۳۹۶. تأثیر عامل‌های اقلیمی بر برخی ویژگی‌های کیفی میوه پرتقال تامسون ناول در استان مازندران. علوم باغبانی ایران، ۴۸(۱): ۳۹-۴۷.

خوشحال، ج.، رحیمی، د.، مجد، م. ۱۳۹۲. تعیین مراحل فنولوژی و محاسبه نیازهای حرارتی گل محمدی منطقه برزک کاشان. نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۴: ۱۶۹-۱۷۸.

رشوند، س.، یگانه، ح.، سنایی، ا. ۱۳۹۳. بررسی روند مراحل فنولوژی دو گونه *Bromus tomentellus* و *Festuca ovina* در ایستگاه الموت قزوین. نشریه پژوهش‌های گیاهی (نشریه زیست‌شناسی ایران)، ۲۷(۴): ۶۴۶-۶۳۵.

سبزی پرور ع. ا.، شادمانی م. ۱۳۹۰. تحلیل روند تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از آزمون من‌کندال و اسپیرمن

- Maulión, E., Valentini, G. H., Kovalevski, L., Prunello, M., Monti, L. L., Daorden, M. E., Quaglino, M., Cervign, G. D. L. C. 2014. Comparison of methods for estimation of chilling and heat requirements of nectarine and peach genotypes for flowering. *Sci. Hort.*, 177 : 112-117.
- McMaster, G. S., Wilhelm, W. W. 1997. Growing degree-days: one equation, two interpretations. *Agric. for. Meteorol.*, 87(4): 291-300.
- Pope, K. S., Dose, V., DaSilva, D., Brown, P. H., DeJong, T. M. 2015. Nut crop yield records show that budbreak-based chilling requirements may not reflect yield decline chill thresholds. *Int. J. Biometeorol.*, 59(6): 707-715.
- Rahemi, M., Pakkish, Z. 2009. Determination of chilling and heat requirements of Pistachio (*Pistacia vera* L.) cultivars. *Agric. Sci. China.*, 8(7): 803-807.
- Rea, R. Eccel, E. 2006. Phenological models for blooming of apple in a mountainous region, *Int. J. Biometeorol.*, 51:1-16.
- Richardson, E. A., Seeley, S. D., Walker, D. R. 1974. A model for estimating the completion of rest for "Redhaven" and "Elberta" Peach Trees. *Hort. Sci.*, 9:331-332.
- Ruiz, D. Campoy, J. A. Egea, J. 2007. Chilling and heat requirements of apricot cultivars for flowering. *Environ. Experim. Bot.*, 61: 254-263.
- Severino, V., Gravina, A., Manzi, M., Arias, M. 2007. Models for Quantifying Effective Winter Chill on Apple Endodormancy. In VIII International Symposium on Temperate Zone Fruits in the Tropics and Subtropics, 872: 113-120.
- Valentini, N., Me, G., Ferrero, R., Spanna, F. 2001. Use of bioclimatic indexes to characterize phenological phases of apple varieties in Northern Italy. *Int. J. Biometeorol.*, 45(4): 191-195.
- Viti, R., Andreini, A., Ruiz, D., Egea, J., Bartolini, S., Iacona, C., Campoy, J. A. 2010. Effect of climatic conditions on the overcoming of dormancy in apricot flower buds in two Mediterranean areas: Murcia (Spain) and Tuscany (Italy). *Sci. Hort.*, 124: 217-224.
- Wolfe, D. W., Schwartz, M. D., Lakso, A. N., Otsuki, Y., Pool, R. M., Shaulis, N. J. 2005. Climate change and shifts in spring phenology of three horticultural woody perennials in north-eastern USA. *Int. J. Biometeorol.*, 49:303-309.
- Zhang, J. 2012. Phenology and climate change. Published by InTech, Rijeka, Croatia. 332 pages.
- Zhang, J., Taylor, C. 2011. The dynamic model provides the best description of the chill process on 'Sirora' pistachio trees in Australia. *Hort. Sci.*, 46(3): 420-425.
- Cesaraccio, C., Spano, D., Snyder, R. L., Duce, P. 2004. Chilling and forcing model to predict bud-burst of crop and forest species. *Agric. For. Meteorol.*, 126(1): 1-13.
- Cornelius, C., Petermeier, H., Estrella, N., Menzel, A. 2011. A comparison of methods to estimate seasonal phenological development from BBCH scale recording. *Int. J. Biometeorol.*, 55(6): 867-877.
- Darbyshire, R., Webb, L., Goodwin, I., Barlow, S. 2011. Winter chilling trends for deciduous fruit trees in Australia. *Agric. For. Meteorol.*, 151(8): 1074-1085.
- Egea, J., Ortega, E., Martínez-Gómez, P., Dicenta, F. 2003. Chilling and heat requirements of almond cultivars for flowering. *Environ. Exper. Bot.*, 50(1): 79-85.
- Elnesr, M. N., Alazba, A. A. 2016. An integral model to calculate the growing degree-days and heat units, a spreadsheet application. *Comput. Electron. Agric.*, 124: 37-45.
- Erez, A., Fishman, S. 1997. The dynamic model for chilling evaluation in peach buds. In IV International Peach Symposium, 465 : 507-510.
- Erez, A., Fishman, S., Linsley-Noakes, G. C., Allan, P. 1989. The dynamic model for rest completion in peach buds. In II International Symposium on Computer Modelling in Fruit Research and Orchard Management, 276: 165-174.
- Fadón, E., Herrero, M., Rodrigo, J. 2015. Flower development in sweet cherry framed in the BBCH scale. *Sci. Hort.*, 192: 141-147.
- Farajzadeh, M., Rahimi, M., Kamali, G. A., Mavrommatis, T. 2010. Modelling apple tree bud burst time and frost risk in Iran. *Meteorol. App.*, 17(1): 45-52.
- Ferree, D. C., Warrington, I. J. 2003. Apples: botany, production and uses. CABI publishing. 635 pages.
- Fitchett, J. M., Grab, S. W., Thompson, D. I., Roshan, G. 2014. Spatio-temporal variation in phenological response of citrus to climate change in Iran: 1960 - 2010. *Agric. For. Meteorol.*, 198: 285-293.
- Gue, L. Dai, J. Ranjitkar, S. Yu, H. 2014. Chilling and heat requirements for flowering in temperate fruit trees. *Int. J. Biometeorol.*, 58:1195-1206.
- Litschmann, T., Oukropec, I., Krizan, B. 2008. Predicting individual phenological phases in peaches using meteorological data. *Hort. Sci.*, 35 (2): 65-71.
- Luedeling, E., Brown H. P. 2011. A global analysis of the comparability of winter chill models for fruit and nut trees, *Int. J. Biometeorol.*, 55: 411-421.
- Luedeling, E., Kunz, A., Blanke, M. M. 2013. Identification of chilling and heat requirements of cherry trees- a statistical approach. *Int. J. Biometeorol.*, 57(5): 679-689.

Assessment of Bayesian structure of hidden Markov model for real time prediction of maize phenology

M. Ghamghami¹, N. Ghahreman^{2*}, P. Irannejad³, H. Pezeshk⁴

Received: 12/06/2016

Accepted: 06/08/2017

Abstract

The Crop Progress Percentage (CPP) in a given phenology stage reflects growth status in life cycle. Generally, routine field measurements of this parameter are lacking, hence various alternative approaches have been proposed for its estimation. The statistical methods such as Bayesian approaches and hidden Markov models (HMMs) have appropriate structural skills for solving problems with variety of continuous or discrete data and can be combined with remotely sensed data also. The aim of this study is evaluation of hidden Markov models' skill in real time prediction of maize progress percentage in research field of university of Tehran located in Karaj. The HMMs follow the Bayesian structure in which, there are usually two layers; hidden and observable. Different phenological stages including Emergence to Milky were considered as the hidden layer and both Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and Accumulated Growth Degree-Day (AGDD) features, extracted from air temperature and LANDSAT7 ETM+ images, as a vector variable of observable layer. Calibration and evaluation of the model was performed using a 9 years (2002-2010) data set of the field phenology observations and meteorological data. According to the results, in general, for all phenological stages, the HMM was able to estimate the CPPs with average RMSE of 14%, which confirms the applicability of this approach as a suitable tool. Further studies in other climatic regions of the country are recommended for more scrutiny of phenological prediction models using remotes sensing and statistical approaches.

Key words: Progress percentage, Phenology, AGDD, NDVI



¹ Ph. D. Student of Agrometeorology, University of Tehran, Karaj, Iran

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

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

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

⁴ Professor, Department of Statistics, College of Mathematics, Statistics and Computer Sciences, University of Tehran



Assessing the impacts of meteorological drought on yield of rainfed wheat and barley (Case study: Khorasan Razavi province)

M. Araste¹, S. H. Kaboli^{2*}, M. Yazdani³

Received: 20/02/2016

Accepted: 20/04/2017

Abstract

The drought causes severe damages to agricultural sector especially rainfed crops production. In this study, the impacts of meteorological drought, in terms of some common indices, on rainfed wheat and barley were assessed. 19 years (1995-2013) weather data including rainfall, temperature, sundial, evaporation and relative humidity of meteorological stations in Khorasan Razavi province, north east of Iran, were collected and examined. Several drought indices namely, The Standardized Z index, Standardized Precipitation Index, Percentage of normal and Deciles were worked out. The statistical relation of both crops' yield with meteorological data was determined. During the cropping year 2000-2001, Mashhad, Sarakhs, Sabzevar, Gonabad, Kashmar, Nishapur and Golmakan stations, had the lowest amount of rainfall which led to severe and extreme drought. The minimum amount of the crops yield was recorded at the same year. For the rest of stations, i.e. Torbatjam, Ghoochan and Torbat Heydarieh stations, the driest year was 2007-2008 followed by an intense to extreme drought but the lowest yield was not observed in the same year. The most significant variables affecting the yield were found to be rainfall and relative humidity. The relations between yield and meteorological variables were significant in most of the cases. In general, the agricultural and meteorological droughts occurred almost simultaneously, except for the regions with very low rainfall.

Keywords: Rainfall, Drought, Rainfed cropping, Khorasan province



¹ M. Sc. Student of Agricultural Meteorology, Semnan University, Semnan, Iran

² Assistant Professor, Faculty of Desert Studies, Semnan University, Semnan, Iran
(*Corresponding Author's Email Address: hkaboli@semnan.ac.ir)

³ Associate Professor, Faculty of Desert Studies, Semnan University, Semnan, Iran



A stochastic multi-station model for daily rainfall generation in North-East of Iran: Effect of time non-stationarity

B. Ghahraman^{1*}, E. Amini²

Received: 21/11/2015

Accepted: 10/04/2017

Abstract

For many models (e.g. hydrological, meteorological, crop yield) stochastic daily rainfall generation is required. Most of the stochastic models are single-site, while there are rather few ones that deal with the rainfall correlation structure (occurrence and amount) as a multi-site approach. A plausible shortcoming of these models, however, is due to not considering the possible time-non-stationarity. A total of 36 raingauges stations in North, Razavi and South Khorasan provinces, northeast of Iran with 30 years of record were considered in this study. A stochastic rainfall simulation model for 6 rainy months of November to May was adopted, in which, first order Markov approach for rainfall occurrence and Gamma probability density function for rainfall amount were involved. Model parameters (rainfall probability conditioned to rainy and dry for previous day for rainfall occurrence and two parameters of Gamma distribution) were found to be dependent on the month of the year and geographical location; yet, no significant relations were found to describe them. It was showed that all parameters were non-stationary in time, such that considering this behavior, increased the accuracy of simulations.

Keywords: Arid and semi-arid climates, Gamma probability density function, transition matrix, Iran, Rainfall



¹ Professor, Water Engineering Department, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

(*Corresponding Author's Email Address: bijangh@um.ac.ir)

² Former Graduate Student of Irrigation and Drainage, Water Engineering Department, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran



Drought forecasting by SPI and EDI indices using ANFIS method based on C-mean and SC clustering (Case study: Kohgiluyeh and Boyer Ahmad province)

M. Komasi¹, M. Malekmahmoudi², H. Montaseri^{3*}

Received: 25/05/2016

Accepted: 21/08/2017

Abstract

Drought is one of the most and oldest natural disaster that cause significant environmental impacts. Despite Kohgiluyeh and Boyerahmad is in the third place in terms of rainfall but the drought has affect the province intermittently and causes many heavy losses. In other to drought crisis management, finding the index measurement of the drought to predict and evaluate the spatial and temporal of this phenomenon, seems essential. In this research, using Artificial Neural Networks (ANN) and Adaptive Neuro Fuzzy System (ANFIS) model with phase clustering analysis with standardized precipitation index (SPI) and effective drought index (EDI) were used to predict drought. The results of study indicate that the SPI index by validation coefficient 0.87 has more capability and accuracy than EDI index by validation coefficient 0.73 in predicting of drought. On the other hand according to C-mean and SC clustering in modeling for predicting the drought, ANFIS approach has more efficacy the result show that, clustering causes the increasing of model accuracy in verification and calibration stages. C-mean clustering by calibration coefficient 0.93 and validation coefficient 0.87 is the best model.

Keywords: Drought, Clustering, ANFIS, Kohgilouyeh and Boyer Ahmad, SPI and EDI



¹ Assistant Professor, Department of Civil Engineering, University of Ayatollah Ozma Borujerdi, Iran

² M.Sc. of Water Resources Management, Department of civil Engineering, Yasouj University, Iran

³ Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Yasouj University, Iran

(*Corresponding Author's Email Address: hmontaseri@gmail.com)

The effect of submergence depth on water and soil temperature in paddy field (Case study: Rasht)

E. Asadi Oskouei¹, M. Mousavi Baygi^{2*}, M. R. Yazdany³, A. Alizadeh⁴, M. J. Zohd Ghodsi⁵

Received: 25/07/2016

Accepted: 23/07/2017

Abstract

Soil temperature plays very important role in bio chemical processes, root water uptake and also evapotranspiration. This parameter is influenced by environmental factors such as soil moisture content. Recently water shortage has led to adopt intermittent irrigation in Sepidroud Irrigation network in Gilan province, north of Iran. In this method, different submergence depth is applied, which change the root zone (soil and water) temperature. The aim of this study was to investigate the effects of water depth on soil and water temperature in a paddy field. Paddy minis lysimeters, based on completely randomized block design with 5 treatments of constant level of water in the field, (5, 2.5, 0, -5 and -10 cm of the soil surface) in three repetitions. Measurements were including soil temperature at the depths of 5 and 10 cm from soil surface (T_5 and T_{10}) and water temperature in the morning and evening. The results showed that T_5 was significantly more than T_{10} . In the morning, water temperature, at and below surface (non-submerged treatments) was lower than soil temperature at the same depth, while in the evening, water temperature was more than soil temperature at the same depth. In daily scale, the water temperature was more than soil temperature at the same depth. Soil temperature was decreased by reduction of soil water depth. In general, the presence of a thin layer of the water on soil surface had a cooling effect on soil but as the water reaches the soil surface, the soil environment becomes much warmer. The reduction of the submergence depth 10 cm below the surface significantly affected the made microclimate of the soil colder, by 1.5° Celsius in average.

Keywords: Lysimeter, Rice, Root zone temperature, Water depth



¹ Ph. D. Student of Agrometeorology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

² Professor of Irrigation and Drainage, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
(*Corresponding Author's Email Address: mousavi500@yahoo.com)

³ Member of Scientific Staff of Rice Research Institute of Iran, Rasht

⁴ Professor of Irrigation and Drainage, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

⁵ Expert of Agrometeorology, Guilan Meteorological Office, Rasht



Trend analysis of phenological stages length and chilling requirements of apple tree (Case study :Karaj station)

G. Fallah Ghalhari^{1*}, H. Ahmadi²

Received: 02/09/2016

Accepted: 10/08/2017

Abstract

Determination of chilling and heating requirements is an important process for selecting fruit trees specifically adapted to climatic regions. In this study, the thermal thresholds of different phenological stages of apple tree (Red Delicious variety) were determined for further analysis. Long-term hourly and daily temperature data from 1985 to 2014 of Karaj station were collected and used for running three chilling requirement models namely CH, UTAH and CP. The results showed that the chilling requirement of this late variety is not satisfied. A significant decreasing trend in accumulated chilling units was observed. Application of growing degree days (GDD) model confirmed that the required heat units are maintained without limitation. The findings revealed that there exists a significant decreasing trend in occurrence date of phenological stages which might be due to higher temperature during the season. These conditions (earlier onset of vulnerable reproductive phases) increase the risk of frost and chilling damage. In most phenological stages of the apple tree, the mean air temperature showed an increasing trend. According to the results, late varieties are not suitable for current climatic conditions of Karaj climate and should be replaced with early ones. Further agroclimatic studies are recommended for more scrutiny across the country considering the sequences of global warming.

Keywords: Apple tree, GDD, Hourly temperature, Chilling requirement, Phenology, Iran



¹ Associate Professor of Climatology, Geography Department, Hakimsabzevari University, Sabzevar, Iran
(*Corresponding Author's Email Address: ab_fa789@yahoo.com)

² Ph. D. Student of Agricultural Climatology, Geography Department, Hakimsabzevari University, Sabzevar, 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 تحریر

مقاله لازم است به صورت Word 2007 و روی صفحات سفید بدون آرم در ابعاد A4 با حفظ ۲/۵ سانتی‌متر حاشیه از هر چهار طرف (به صورت دو 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://agmj.ir>) ارسال شود. چکیده در یک ستون و بقیه مقاله در دو ستون نگارش گردند.

در متن مقاله تا حد امکان از معادل فارسی واژه‌های تخصصی لاتین، مصوب فرهنگستان زبان و ادب فارسی استفاده شود. چنانچه معادل فارسی به اندازه کافی رسا نباشد، عین کلمه لاتین بلافاصله در کمانک (پرانتزها) آورده شود. نام اشخاص و محل‌ها به فارسی آوانگاری شود.

ترتیب بخش‌ها

بخش‌های مختلف مقاله به ترتیب عبارتند از: عنوان، نویسنده(گان)، چکیده فارسی، واژه‌های کلیدی فارسی، مقدمه، مواد و روش‌ها، نتایج و بحث، نتیجه‌گیری، تشکر و قدردانی، منابع، پیوست‌ها، عنوان انگلیسی، نگارنده(گان)، چکیده انگلیسی، واژه‌های کلیدی انگلیسی.

عنوان

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

نگارنده(گان)

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

چکیده

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

واژه‌های کلیدی فارسی

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

مقدمه

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

مواد و روش‌ها

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

نتایج و بحث

دربرگیرنده نتایج حاصل از پژوهش به صورت متن، جدول، نمودار و تصویر است. علل و روابط بین نتایج حاصل، با استفاده از منابع علمی دیگر مورد بحث قرار می‌گیرد.

نتیجه‌گیری

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

سپاسگزاری (در صورت نیاز)

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

منابع

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

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

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

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

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

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

در متن مقاله روش ذکر منابع به صورت زیر است:

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

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

عنوان انگلیسی

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

چکیده انگلیسی

چکیده انگلیسی باید عیناً منطبق با چکیده فارسی باشد.

واژه‌های کلیدی انگلیسی

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

جدول‌ها

جدول‌ها لازم است دارای بالانویس جامع و با کیفیت بالا (با فونت B nazanin 10 Bold به صورت وسط چین) باشند. تا آنجا که امکان دارد تعداد جدول‌ها به حداقل ممکن برسد. عنوان جداول در بالا و وسط چین و گویای نتایج مندرج در آن باشد. اعداد داخل جدول حتماً فارسی و با فونت B Nazanin اندازه ۹ پررنگ باشد. هر جدول با یک خط افقی از عنوان آن و با یک خط افقی از متن جدول جدا و زیر متن جدول نیز خطی کشیده شود. از کشیدن هر گونه خط عمودی در جدول خودداری شود (مانند جدول ۱). محل جدول‌ها در متن مقاله باشد.

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

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

شکل‌ها

شکل‌ها لازم است با کیفیت بالا و زیرنویس جامع (با فونت B nazanin 10 Bold به صورت وسط چین) ارائه شوند. شکل بلافاصله پس از ارجاع شماره شکل در متن، ارائه شود. نمودارها به گونه‌ای تهیه شوند که در چاپ سیاه و سفید قابل تشخیص از یکدیگر باشند. محل شکل‌ها در متن مقاله باشد.

معادله‌ها

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

تذکر مهم:

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

نشریه هواشناسی کشاورزی

فرم اشتراک نشریه

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

- نام شرکت / سازمان متقاضی:
آدرس شرکت / سازمان متقاضی:
تلفن:
فکس:
شماره و تاریخ فیش / حواله بانکی:

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

Email:

مبلغ اشتراک یکساله ۵۰۰/۰۰۰ ریال می باشد که بایستی به شماره حساب ۲۲۵۱۱۱۹۷۲۷ به نام بهرام بختیاری، محمد جواد خانجانی و نوذر قهرمان نزد بانک تجارت شعبه دانشگاه شهید باهنر کرمان واریز و تصویر فیش واریزی به دفتر نشریه ارسال گردد. شروع اشتراک بر حسب تاریخ دریافت یا درخواست مشترک از همان شماره یا ابتدای سال خواهد بود. لازم به توضیح است در صورت نیاز به شماره‌های قبلی مراتب را ذیلاً اعلام فرمایید. بهای دو جلد قبلی نیز به شرح فوق می‌باشد.

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

امضاء:

** در صورت تغییر آدرس مراتب را اعلام فرمائید.

In The Name of God

Contents

Assessment of Bayesian structure of hidden Markov model for real time prediction of maize phenology M. Ghamghami, N. Ghahreman, P. Irannejad, H. Pezeshk	1
Assessing the impacts of meteorological drought on yield of rainfed wheat and barley (Case study: Khorasan Razavi province) M. Araste, S. H. Kaboli, M. Yazdani	15
A stochastic multi-station model for daily rainfall generation in North-East of Iran: Effect of time non-stationarity B. Ghahraman, E. Amini	26
Drought forecasting by SPI and EDI indices using ANFIS method based on C-mean and SC clustering (Case study: Kohgiluyeh and Boyer Ahmad province) M. Komasi, M. Malekmahmoudi, H. Montaseri	36
The effect of submergence depth on water and soil temperature in paddy field (case study: Rasht) E. Asadi Oskouei, M. Mousavi Baygi, M. R. Yazdany, A. Alizadeh, M. J. Zohd Ghodsi	48
Trend analysis of phenological stages length and chilling requirements of apple tree (Case study: Karaj station) G. Fallah Ghalhari, H. Ahmadi	57

Reviewer and Associate Editors of this Issue

Dr. F. Abbasi	Research Institute of Agricultural Engineering
Dr. Sh. Araghinejad	University of Tehran
Dr. I. Babaeian	Climatological Research Institute
Dr. B. Bakhtiari	Shahid Bahonar University of Kerman
Dr. J. Bazrafshan	University of Tehran
Dr. A. Farid Hoseini	Ferdowsi University of Mashhad
Dr. B. Ghahraman	Ferdowsi University of Mashhad
Dr. N. Ghahreman	University of Tehran
Dr. K. Ghorbani	Gorgan Agricultural Sciences and Natural Resources University
Dr. S. Golestani	Shahid Bahonar University of Kerman
Dr. Sh. Khaledi	Shahid Beheshti University of Tehran
Dr. A. Khalili	University of Tehran
Dr. H. Khosravi	University of Tehran
Dr. A. Mosaedi	Ferdowsi University of Mashhad
Dr. M. Navabian	University of Gilan
Dr. L. Parviz	Azərbaycan Şahid Madani University
Dr. M. Rahimi	University of Semnan
Dr. N. Sayari	Shahid Bahonar University of Kerman

In the Name of God

JOURNAL OF AGRUCULTURAL METEOROLOGY

Research & Scientific Journal

Vol. 5 No. 1 Spring & Summer, 2017

Published by: Iranian Society of Irrigation and Water Engineering
Executive Director: B. Bakhtiari Shahid Bahonar University of Kerman
Editor- in-Chief: A. Khalili University of Tehran
Internal Manager: N. Ghahreman University of Tehran

Editorial board:

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

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

The papers of journal of agricultural meteorology are indexed by:

ISC, SID, Magiran

Address: Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.
Postal code: 76169-14111 Tel./Fax. : +983433257190

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

