

پیش‌آگاهی رخدادهای سرمازدگی باغات بادام در منطقه نجف‌آباد

مهرداد نصر اصفهانی - دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیا و برنامه‌ریزی، دانشگاه اصفهان
حجت‌اله یزدان‌پناه* - دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه‌ریزی، دانشگاه اصفهان

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۵/۲۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۲/۲۴

چکیده

امروزه یکی از بزرگ‌ترین چالش‌ها در کشاورزی بررسی اثر عوامل آب و هوایی بر محصولات کشاورزی است. هدف از این تحقیق پیش‌آگاهی رخدادهای سرمازدگی باغات بادام در منطقه نجف‌آباد است. با توجه به آمار بلندمدت فنولوژی درختان بادام در منطقه نجف‌آباد، تاریخ‌های گل‌دهی استخراج و براساس تاریخ‌های ژولیوسی محاسبه شد. سپس، جدول شاخص‌های حرارتی ترسیم شد. از میان پارامترهای موجود، به ترتیب تعداد روزهای بالاتر از دمای میانگین، مجموع واحدهای حرارتی بیشتر از صفر ($GDD > 0$)، و تعداد روزهای پایین‌تر از دمای میانگین بیشترین همبستگی مستقیم معنی‌داری ($P\text{-value} < 0.01$) را با تاریخ گل‌دهی نشان داد که به ترتیب معادل $+۰.۹۲۱$ ، $+۰.۹۳۸$ و $+۰.۹۴۵$ بود. معادلات رگرسیون چندمتغیره خطی و شبکه عصبی مصنوعی نیز بین گل‌دهی و شاخص‌های حرارتی بررسی شد؛ ضریب همبستگی این معادلات به ترتیب $+۰.۹۹۸$ و $+۰.۹۹۵$ ملاحظه شد. سپس، راست‌آزمایی خروجی دمای روزانه مدل WRF در منطقه مورد مطالعه انجام و مشخص شد که پیش‌بینی دمای مدل از لحاظ آماری قابل قبول است. براساس نتایج، با تلفیق دو مدل فنولوژی و پیش‌بینی دما به وسیله مدل WRF می‌توان هشدار سریع ۴۸ ساعته رخدادهای سرمازدگی در باغات منطقه را با دقت کافی انجام داد.

واژگان کلیدی: پیش‌بینی دما، تاریخ گل‌دهی، مدل WRF، مدل فنولوژی.

مقدمه

شرایط آب و هوایی یک منطقه تعیین‌کننده نوع محصولاتی است که در آن منطقه به‌عمل می‌آید. یکی از مهم‌ترین عوامل آب و هوایی، که تأثیر زیادی در میزان تولید محصولات کشاورزی در یک منطقه دارد، عامل یخبندان است. پدیده یخبندان بر اثر نزول دما به آستانه‌های بحرانی ایجاد می‌شود و در صورت شدید و طولانی‌بودن آن می‌تواند خسارات زیادی به محصولات کشاورزی وارد کند. از دیدگاه هواشناسی، هنگامی که دمای کمینه به زیر صفر درجه سلسیوس برسد یخبندان رخ می‌دهد. اگرچه دماهای صفر و زیر صفر درجه سلسیوس در فصل سرد سال و در عرض‌های میانی لزوماً یک پدیده حادی به‌شمار نمی‌آیند، ماندگاری طولانی‌مدت آن‌ها در یک ناحیه وسیع یا وقوع ناگهانی آن‌ها در ابتدا و انتهای فصل سرما می‌تواند این دماها را به یک پدیده حادی تبدیل کند (محمودی، ۱۳۹۱: ۱). با تعیین مراحل فنولوژی در هر منطقه و دانستن نیازهای دمایی در هر مرحله فنولوژی می‌توان از بسیاری مسائل به‌زراعی آگاهی یافت (میرحاجی و همکاران، ۱۳۸۹: ۳۶۳). با مطالعه فنولوژی می‌توان تاریخ و زمان گذر مراحل فنولوژی را در هر منطقه مشخص کرد و با مدیریت درست از هدررفت سرمایه و منابع جلوگیری کرد (ژانگ، ۲۰۱۲). به‌منظور انتخاب گونه‌ها و رقم‌های مناسب درختان میوه برای هر آب و هوایی در هر منطقه مشخص، محققان مدل‌های سرمایی را ارائه کرده‌اند که این مدل‌ها دماهای ثبت‌شده را به‌صورت کمی از سرما تبدیل می‌کنند (سیسارسیو و

همکاران، ۲۰۰۴؛ گیو و همکاران، ۲۰۱۴). 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 به‌شمار می‌آید، 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 سبزی‌پرور، ۱۳۹۵: ۵۶۲). کشت و کار بادام از دیرباز در دنیا و ایران رایج بوده است. ایران به‌عنوان یکی از قدیمی‌ترین کشورهای تولیدکننده بادام و زیستگاه بادام‌های وحشی شناخته شده است؛ در حال حاضر، کشورهای ایالات متحده آمریکا و اسپانیا بیش از ۵۰ درصد از کل تولید جهانی بادام را به خود اختصاص داده‌اند. کشورهای ایتالیا، چین، و ایران در رده‌های بعدی‌اند. در دهه‌های اخیر درحالی‌که روند تولید بادام در کشورهای نظیر آمریکا رو به افزایش بوده است، در کشور ما، با وجود برخورداری از استعدادهای فراوان برای تولید این محصول، افزایش چشم‌گیری در زمینه افزایش تولید وجود نداشته است. در سال‌های اخیر با حمایت وزارتخانه‌های کشاورزی و جهاد سازندگی سطح زیر کشت آبی و دیم بادام افزایش داشته است (اکبری، ۱۳۸۱: ۲). سرمزدگی به وقوع پدیده افت ناگهانی دما خارج از زمان مورد انتظار اطلاق می‌شود. گیاهان می‌توانند فقط در محدوده حرارتی معین رشد کنند و تحمل‌پذیری آن‌ها در مقابل دماهای بالا و پایین محدود است. پدیده سرمزدگی با خشک‌سالی و کمبود بارندگی و به تبع آن افزایش درجه حرارت و گل‌دهی زودرس محصولات زراعی و بیدارشدن جوانه‌های گونه‌های زراعی ارتباط مستقیم دارد. بررسی سرما و یخبندان در گیاهان نشان داده است که در اثر سرما پیوندهای دی‌سولفید بین مولکول‌های پروتئین غیرفعال می‌شود و این تغییرات سبب نشت مواد و یون‌ها از سلول می‌شود و فعالیت‌های حیاتی سلول مختل و به خسارات منجر می‌گردد؛ به‌طور کلی، دو نوع یخبندان وجود دارد: یکی یخبندان تشعشعی یا تابشی و دیگری یخبندان جبهه‌ای یا انتقالی. علاوه بر این دو نوع اصلی، برخی معتقد به یخبندان نوع سوم نیز می‌باشند که در صورت رخداد هم‌زمان تشعشعی و جبهه‌ای به‌وقوع می‌پیوندد و به آن یخبندان مختلط اطلاق می‌شود (امیرقاسمی، ۱۳۸۱). از محصولات عمده کشاورزی تولید بادام است که عرضه آن به بازار جهانی موجب اشتغال و باعث افزایش توان اقتصادی کشاورزان می‌شود. متأسفانه، هر ساله شاهد بروز خسارات بیولوژیک و غیربیولوژیک این محصول اقتصادی می‌باشیم که از عوامل بیولوژیک می‌توان به زنبور مغزخوار بادام، سوسک چوب‌خوار، بیماری لکه‌آجری، و خشکیدگی بادام اشاره کرد. از مهم‌ترین عوامل غیربیولوژیک سرمای دیررس بهاره است که در بسیاری از سال‌ها موجب نابودی صددرصد محصول شده و خسارات جبران‌ناپذیری به جامعه کشاورزان وارد کرده است. مطابق بررسی‌های به‌عمل‌آمده چنین سرماهایی که متأثر از دمای زمستان است از نیمه اسفندماه تا اوایل خردادماه با وابستگی مستقیم از میانگین دمای روزانه تکرار می‌شود و بسته به مرحله فنولوژی گیاه، شدت سرما، و زمان ماندگاری سرما موجب خسارت می‌شود؛ به‌طوری‌که در مرحله خواب زمستانی دمای ۲۴- درجه سانتی‌گراد را تحمل می‌کنند و با بازشدن شکوفه‌ها میزان تحمل گیاه تا ۴/۵- درجه به شرط ماندگاری کمتر از ۳۰ دقیقه است. حساس‌ترین مرحله، زمان تلقیح گل‌ها و ایجاد میوه است که آستانه در این زمان فقط تا ۲- درجه سانتی‌گراد است (وزوایی و همکاران، ۱۳۸۲). پدیده سرمزدگی و خسارت‌های ناشی از آن نه‌تنها در کشور ما بلکه در بیشتر کشورهای جهان وجود دارد و غالباً با پیش‌بینی به‌موقع و دقیق زمان وقوع آن می‌توان با به‌کارگیری شیوه‌های مقابله با این پدیده جوی خسارات آن را به حداقل میزان ممکن رسانید. اگر این امر با اجرای طرح‌های مربوط به جلوگیری از آسیب‌های سرمزدگی با اتکای تسهیلات بانکی و حمایت‌های فنی وزارت جهاد کشاورزی انجام پذیرد، سالیانه میلیاردها تومان به درآمد کشاورزان افزوده و از این رهگذر نه‌فقط از صرف منابع مالی به‌عنوان بیمه سرمزدگی و تأمین خسارت ناشی از بلایای طبیعی جلوگیری می‌شود، بلکه با رونق کشاورزی و افزایش صادرات کالاهای غیرنفتی اشتغال‌زایی بیشتری در این زمینه فراهم خواهد شد (ضیایی و همکاران، ۱۳۸۵: ۱۴). کلوپانی و همکاران (۱۳۸۱: ۴۹)، با بهره‌گیری از روش‌های آماری درصد احتمال وقوع و دوره‌های بازگشت سرمزدگی در مراحل مختلف رشد

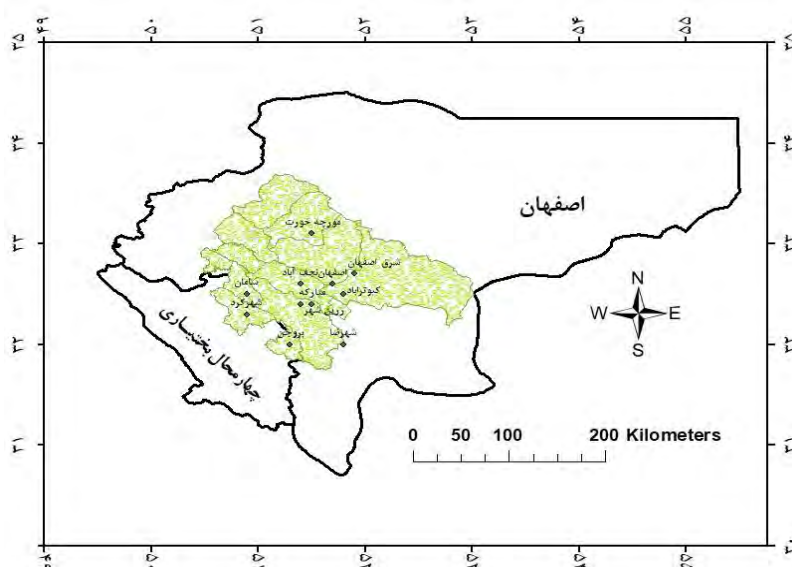
بادام و استفاده از معادله ویبول^۱، به این نتیجه رسیدند که بیشتر سرمازدگی‌ها از نوع انتقالی است. با تعیین مراحل فنولوژی در هر منطقه و دانستن نیاز حرارتی هر مرحله فنولوژی و کل دوره رشد گیاه، می‌توان بسیاری از مسائل به‌زرعی از جمله تاریخ کاشت مناسب، آبیاری به‌موقع، زمان مناسب برداشت، زمان مناسب مبارزه با آفات و بیماری‌ها، و انتخاب ارقام مناسب در بهترین زمان ممکن، انجام و بیشترین تولید را از محصول زراعی داشت (حسینی، ۱۳۸۸: ۲). از میان عوامل اقلیمی، رژیم حرارتی بیشترین تأثیر را در مراحل مختلف نمو گیاهان دارد و طبق اصل ثبات حرارتی هر گیاهی زمانی به مرحله خاصی از نمو خود می‌رسد که مقدار مشخص حرارت از محیط دریافت کند. بنابراین، در هر مرحله متوالی نمو، مقدار معینی گرما لازم است که با توجه به متغیر بودن درجه حرارت و طول روز و عدم تخمین دقیق مراحل فنولوژی گیاه، استفاده از درجه روز رشد (GDD) جهت تعیین دقیق مراحل مختلف فنولوژی گیاه امری ضروری است (حسینی، ۱۳۸۸: ۳). زادنی (۱۳۷۷) پس از پژوهش‌های انجام‌شده دریافت اساسی‌ترین مسائل و مشکلات مدیریت باغ‌های بادام خسارت ناشی از سرمای دیررس بهاره است؛ زیرا شکوفه‌های بادام به دلیل نیاز سرمایی کمتر زودتر از سایر درختان باز می‌شوند و در این مرحله مقاومت آنها در برابر سرما به شدت پایین است. نتایج مطالعه علافچیان و غیور (۱۳۹۲: ۱) نشان می‌دهد که بادام از مرحله تمام‌گل تا رسیدن میوه شش الی هشت ماه زمان نیاز دارد و رشد آن از اواخر اسفند شروع می‌شود و تا اواسط آبان‌ماه به طول می‌انجامد. با توجه به اینکه درخت بادام زمانی که میانگین دمای روزانه به بالای ۵ درجه سانتی‌گراد برسد فعالیت خود را شروع می‌کند و برای باز شدن شکوفه بسته به رقم بین ۱۰۰-۱۴۰ درجه روز نیاز دارد، به‌طور طبیعی باز شدن شکوفه در اوایل فروردین‌ماه باید انجام پذیرد که این امر موجب می‌شود که محصول از سرماهای اوایل فروردین در امان بماند. اما اگر در طول زمستان هوا گرم باشد، موجب باز شدن زودتر از موعد شکوفه‌های بادام می‌شود و این شرایط موجب تأثیر سرماهای اوایل فروردین‌ماه در تولید بادام در شهرستان نجف‌آباد می‌شود. نامداری و امید (۱۳۹۰) با محاسبه دوره‌های کوتاه‌مدت سرما در زمان رشد و آخرین وقوع یخبندان و شروع رشد گیاه و آستانه بحرانی برای محصول بادام در محدوده تیران به این نتیجه رسیدند که درختان در این منطقه در مرحله خواب زمستانی باید دمای ۲۴- درجه سانتی‌گراد را تحمل کنند. همچنین، بیشتر آسیب سرما در این منطقه سرمایی است که متأثر از دمای زمستان است و بسته به مرحله فنولوژی گیاه، شدت سرما، و زمان ماندگاری سرما موجب خسارت می‌شود. خلجی (۱۳۸۰: ۱۲۶) جهت پیش‌بینی سرمای دیررس بهاره و یخبندان زودرس پاییزه برای برخی گیاهان زراعی و باغی در استان چهارمحال و بختیاری به بررسی آماری زمان وقوع حداقل مطلق دما و آخرین و اولین دمای زیر صفر نسبت به بهار و پاییز ایستگاه‌های استان پرداخت. اسماعیلی و همکاران (۱۳۹۰: ۱۴۵) اثرهای تغییر اقلیم بر امکان توسعه دو گونه هسته‌دار بادام و زردآلو در خراسان رضوی را با تأکید بر وقوع یخبندان‌ها به‌خصوص یخبندان‌های دیررس بهاره و شدید زمستانی به‌عنوان عامل محدودکننده ارزیابی کردند. نتایج این پژوهش حاکی از آن است که به‌طور متوسط تاریخ وقوع یخبندان‌های دیررس سبک سیزده روز و یخبندان‌های سنگین هفت روز زودتر از میانگین بلندمدت اقلیمی در منطقه مورد مطالعه به اتمام خواهند رسید و متوجه شدند که فراوانی و شدت یخبندان‌های دیررس در سه ایستگاه منتخب مشهد، تربت حیدریه، و سبزوار کاهش چشم‌گیری نسبت به دوره اقلیمی گذشته خواهد داشت و محدودیت توسعه بادام و زردآلو وجود خواهد داشت. یزدان‌پناه و سلیمانی‌تبار (۱۳۹۲)، ضمن بررسی تغییر اقلیم بر مراحل فنولوژی سبب در شمال شرق ایران، به این نتایج دست یافتند که برای هر دو سناریوی rcp4.5 و rcp8.5 طول دوره زمانی از زمان گل‌دهی تا رسیدن محصول کاهش می‌یابد و زمان گل‌دهی محصول در تاریخ‌های جلوتر نسبت به میانگین دوره تاریخی مشاهده می‌شود. همچنین، زمان رسیدن میوه

متأثر از افزایش دما در زمان‌های جلوتر نسبت به میانگین حاضر اتفاق خواهد افتاد. راتینگن و هیل (۱۹۹۶: ۳۹۹)، با انتخاب دوازده رقم بادام طی دوره هفت‌ساله، با در نظر گرفتن اطلاعات هواشناسی، نیازهای حرارتی لازم برای شکسته شدن دوره خواب زمستانه و باز شدن گل‌ها برای هر رقم را محاسبه کردند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که نیاز حرارتی واریته‌های مختلف از ۲۲۰ تا ۲۳۰ واحد سرمایی روزانه و واحدهای گرمایی ساعتی ۵۳۰۰ تا ۸۹۰۰ ساعت بالای دمای حدود ۴ الی ۵ درجه سانتی‌گراد است. رامو و ادلمان (۱۹۹۵: ۴۱۵) بیان کردند که از بین عوامل محیطی، عوامل اقلیمی- خصوصاً درجه حرارت- بیشترین اثر را بر روی نمو گیاه از جمله در طول دوره رویش و مراحل فنولوژی گیاهان دارد. از این‌رو، آگاهی از مراحل فنولوژی گیاه *S.laricina* (علف شور) به‌عنوان یکی از منابع مهم تأمین علوفه مراتع استپی با استفاده از دماهای روز- رشد و رطوبت خاک به‌منزله ابزاری در دست مدیر مرتع برای مدیریت بهتر است. سانچز و همکاران (۲۰۰۷) پس از تحقیقات روی بادام به این نتیجه رسیدند که خطر سرمای دیررس بهاره در مناطق معتدله همواره تهدیدی به‌شمار می‌رود و همچنین تراکم گل‌دهی، میزان عملکرد، زمان رسیدن میوه، درصد مغز، و صفات کیفی میوه، که بهبود آن از نظر اقتصادی حائز اهمیت‌اند، از معیارهای شناسایی انتخاب رقم‌های برتر در بادام‌اند. وستال (۱۹۷۱) احتمال وقوع اولین و آخرین یخبندان‌ها را، که به ترتیب در پاییز و بهار اتفاق می‌افتد، براساس آستانه‌های مورد نظر در ایالت‌های ساحلی و جنوب شرقی آمریکا بررسی کرد. او یک روش احتمالی را برای ایجاد سری‌های اولین و آخرین آستانه‌های دمایی پایین به کار گرفت که برای تعدادی احتمالات وقوع اولین و آخرین یخبندان‌ها به آستانه معلوم مورد استفاده قرار می‌گیرد. او با استفاده از یک مثال عددی وقوع یخبندان‌های زودرس پاییزه و دیررس بهاره را با توزیع نرمال بررسی کرد. اجا و همکاران (۲۰۰۳) با بررسی نیاز سرمایی و گرمایی ارقام بادام براساس آمار دمای ساعتی مشخص کردند که ارقام بادام بین ۵۵۰۰ تا ۷۸۰۰ درجه ساعت‌های رشد نیاز دارند. پرسی (۲۰۰۱) پس از تحقیقاتی که بر روی مرحله فنولوژی بادام انجام داد به این نتیجه رسید که گل‌های بادام به دمای زیر صفر حساس‌اند و در این دما دچار آسیب می‌شوند و در اثر یخ‌زدگی ابتدا تخمدان در حال نمو سیاه می‌شود و فرایندهای فیزیولوژیکی آن مختل می‌گردد و این روند به از بین رفتن گل و عدم تشکیل میوه منجر می‌شود. اگرچه در مورد سرمادگی مطالعات زیادی انجام شده، غالب این تحقیقات صرفاً این پدیده را از دیدگاه آب و هواشناسی و به‌ویژه الگوهای همدید مولد آن بررسی کرده‌اند. درحالی‌که در مقیاس کشاورزی دیدگاه کلان غالباً نتایج کاربردی نخواهد داشت و لازم است به کمک مدل‌های منطقه‌ای این پیش‌بینی‌ها در مقیاس‌های مکانی و زمانی ریزمقیاس‌نمایی شود. هدف از اجرای این تحقیق تلفیق دو مدل فنولوژی و هواشناسی (مدل WRF) جهت پیش‌آگاهی پدیده سرمادگی بهاره در باغات بادام منطقه مورد مطالعه است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق بادامستان‌های نجف‌آباد و برای اجرای مدل WRF حوضه آبریز زاینده‌رود است. حوضه آبریز زاینده‌رود و منطقه تحقیق در مختصات جغرافیایی ۵۰ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۵۲ درجه و ۲۴ دقیقه طول شرقی و ۳۱ درجه و ۱۲ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۴۲ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. مساحت حوضه مزبور ۴۱۳۴۷ کیلومتر مربع است. این حوضه دارای اقلیم خشک یا نیمه‌خشک است. رودخانه زاینده‌رود اصلی‌ترین منبع تأمین‌کننده آب کشاورزی در حوضه آبریز زاینده‌رود است. در این مطالعه از یازده ایستگاه هواشناسی همدیدی در حوضه آبریز زاینده‌رود، که در شکل ۱ آمده، استفاده شده است.



شکل ۱. منطقه تحقیق و پراکندگی ۱۱ ایستگاه مورد مطالعه در حوضه آبریز زاینده‌رود (ترسیم نگارنده)

روش تحقیق

اجرای مدل WRF

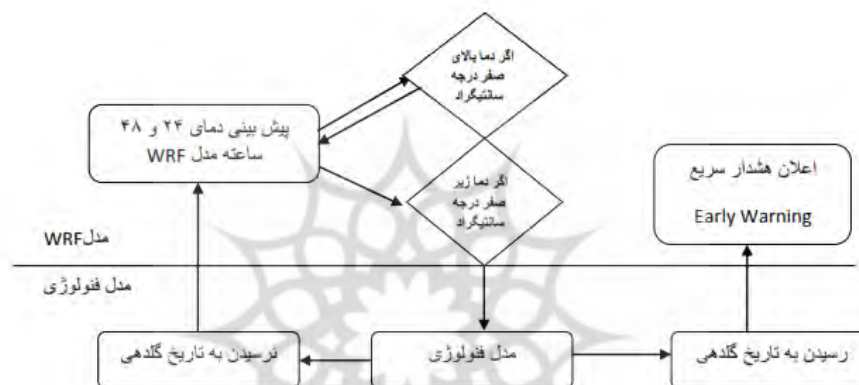
مدل WRF در تاریخ‌هایی که سرمای دیررس بهاره اتفاق افتاده اجرا شده و این تاریخ‌ها از سازمان جهاد کشاورزی استخراج شده است. اجرای مدل در چهار تفکیک افقی یک کیلومتر (domain4)، سه کیلومتر (domain3)، نه کیلومتر (domain2)، و بیست‌وهفت کیلومتر (domain1) انجام شده و بازه زمانی آن ۲۴ و ۴۸ ساعته بوده است. یازده ایستگاه یادشده در منطقه تفکیک یک کیلومتر (domain4) قرار گرفتند. دمای دومیتری سطح زمین با استفاده از نرم‌افزار Grads در دو بازه زمانی ۲۴ و ۴۸ استخراج و با مقادیر واقعی مشاهده‌شده مقایسه و صحت‌سنجی شدند. مقادیر مدل WRF به‌عنوان متغیر مستقل و مقادیر دیدبانی‌شده به‌عنوان متغیر وابسته است. مقدار ضریب تعیین در دو بازه زمانی محاسبه شد و بیانگر ارتباطی خوب بین داده‌های WRF و دیدبانی‌شده است. تعداد داده‌ها در محاسبات ارزیابی دقت مدل ۴۳۲ داده بوده است.

اجرای مدل فنولوژی

از آنجا که مفهوم خسارت سرما در کشاورزی بدون در نظر گرفتن مراحل رشدی محصول (فنولوژی) و صرفاً بررسی دما فاقد ارزش کاربردی است، لازم بود که ابتدا مدلی برای برآورد مرحله گل‌دهی بادام در باغات مورد مطالعه توسعه یابد تا نتایج آن با مدل پیش‌بینی هواشناسی (مدل WRF) تلفیق شود.

ایستگاه هواشناسی کشاورزی نجف‌آباد در جنوب شرقی شهر نجف‌آباد قرار دارد. مختصات جغرافیایی این ایستگاه عبارت است از ۵۱ درجه و ۲۲ دقیقه طول شرقی و ۳۲ درجه و ۳۸ دقیقه عرض شمالی با ارتفاع ۱۶۴۱ متر از سطح دریا. نظر به اهمیت کشت درختان میوه به‌خصوص بادام با هدف اجرای تحقیقات کشاورزی تأسیس شده است. در این تحقیق، با توجه به آمار بلندمدت فنولوژی درختان بادام در منطقه نجف‌آباد، تاریخ‌های گل‌دهی از ایستگاه هواشناسی کشاورزی نجف‌آباد استخراج شد و براساس تاریخ‌های ژولیوسی محاسبه گردید. سپس، جدول ماتریس GDD (جدول ۱) ترسیم شد. این جدول شامل مواردی است که در پی می‌آید: شماره روز ژولیوسی تاریخ شروع گل‌دهی، میانگین دما از اول اسفند تا شروع گل‌دهی،

مجموع دمای میانگین روزانه بالاتر از صفر (+) برای هر سال، مجموع دمای میانگین روزانه منهای عدد ۵ برای هر سال، شماره روز ژولیوسی آخرین یخبندان، میانگین شدت امواج گرمایی اتفاق افتاده در هر سال برحسب درجه سانتی‌گراد، مجموع تداوم امواج گرمایی رخ داده در هر سال براساس روز، مقدار Z، تعداد روزهایی که دمایی بالاتر از میانگین دارند، تعداد روزهایی که دمایی پایین‌تر از میانگین دارند، تعداد روزهایی که دمایی برابر میانگین دارند. در مرحله بعد ارتباط تاریخ گل‌دهی با پارامترهای ذکر شده ارزیابی و قوی‌ترین رابطه انتخاب می‌شود. در اینجا گل‌دهی متغیر وابسته و سایر موارد فوق‌الذکر به‌عنوان متغیر مستقل مطرح می‌شوند و مرتبط‌ترین معادله رگرسیون با ضریب همبستگی بالا برای آن تعیین می‌شود. حال، با توجه به مدل WRF، که راست‌آزمایی آن در منطقه مورد مطالعه توسط پژوهشگران (نصراصفهانی و همکاران، ۱۳۹۸: ۱۶۳) انجام و صحت پیش‌بینی دمای مدل از لحاظ آماری معنی‌دار بوده، می‌توان هشدار سریع رخداد سرمازدگی را در روزهای آینده برای تاریخ گل‌دهی پیش‌گویی کرد که در فلوچارت زیر تبیین شده است.



شکل ۲. تلفیق مدل فنولوژی با مدل WRF (ترسیم نگارنده)

محاسبه گل‌دهی سالانه و جدول GDD

جدول ۱ جدول GDD است؛ هر ستون این جدول به‌صورت جداگانه در زیر توضیح داده شده است: به‌ترتیب از ستون یک، تاریخ شروع گل‌دهی و تشکیل میوه (۱۰ درصد)، میانگین دما از اول اسفند تا شروع گل‌دهی، مجموع دمای میانگین روزانه بالاتر از صفر (+) برای هر سال، مجموع دمای میانگین روزانه منهای عدد ۵ برای هر سال، شماره روز ژولیوسی آخرین یخبندان، تاریخ آخرین یخبندان، شماره روز ژولیوسی تاریخ شروع گل‌دهی، میانگین شدت امواج گرمایی اتفاق افتاده در هر سال برحسب درجه سانتی‌گراد، مجموع تداوم امواج گرمایی رخ داده در هر سال براساس روز. توزیع نرمال با پارامترهای $\mu = 0$, $\sigma = 1$ را توزیع نرمال استاندارد می‌گویند که معیاری مناسب برای مقایسه داده‌ها با توزیع نرمال است. برای این کار باید داده‌ها را استاندارد کرد. به این صورت که تفاضل هر داده از میانگین جامعه را به‌دست می‌آوریم و بر انحراف استاندارد تقسیم می‌کنیم. $z = \frac{x - \mu}{\sigma}$ در اینجا تعداد Zهایی که بیشتر از عدد ۱ بوده برای هر سال به‌دست آمده است. متوسط میانگین دمای روزانه μ ، میانگین دمای روزانه x ، انحراف معیار σ . ستون ۱۱ تعداد روزهایی را که دمایی بالاتر از میانگین دارند نشان می‌دهد. ستون ۱۲ تعداد روزهایی را که دما برابر با دمای میانگین بوده و ستون ۱۳ تعداد روزهایی را که دمایی پایین‌تر از میانگین دارند نشان می‌دهد.

جدول ۱. ماتریس GDD از سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۷ (از سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۶)

۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳
تاریخ شروع گل‌دهی و تشکیل میوه (درصد)	تاریخ شروع گل‌دهی	GDD>0	GDD>5	شماره روز زوئیوسه آخرین یخبندان	تاریخ آخرین یخبندان	شماره روز زوئیوسه تاریخ شروع گل‌دهی	شدت امواج گرمایی	تداوم امواج گرمایی	>1	روزهای بالاتر از میانگین	روزهای برابر با میانگین	روزهای کمتر از میانگین
27/03/2017 ۱۳۹۶/۰۱/۰۷	۸/۱	۴۲۹/۳	۱۸۷/۷	۵۶	25/02/2017 ۱۳۹۵/۱۲/۰۷	۸۶	۱/۴	۲۱	۴۳	۲۰	۱	۲۲
14/03/2016 ۱۳۹۴/۱۲/۲۴	۹/۸	۳۹۳	۲۰۳/۵	۸۰	20/03/2016* ۱۳۹۵/۰۱/۰۱	۷۴	۱/۸	۷	۲۶	۲۲	۰	۱۸
10/03/2015 ۱۳۹۳/۱۲/۱۹	۸/۶	۳۰۲/۳	۱۳۸/۳	۸۳	24/03/2015* ۱۳۹۴/۰۱/۰۴	۶۹	۰/۵	۱۴	۵۴	۲۱	۰	۱۴
29/03/2014 ۱۳۹۳/۰۱/۰۹	۸/۳	۴۴۶/۸	۲۲۳/۴	۸۲	23/03/2014 ۱۳۹۳/۰۱/۰۳	۸۸	۱/۹	۱۰	۳۱	۳۲	۱	۲۱
14/03/2013 ۱۳۹۱/۱۲/۲۴	۹/۴	۳۷۴/۶	۱۷۸/۴	۶۸	09/03/2013* ۱۳۹۱/۱۲/۱۹	۷۳	۰/۸	۷	۴۱	۱۸	۱	۲۱
04/04/2012 ۱۳۹۱/۰۱/۱۶	۷/۵	۴۵۶/۳	۲۰۱/۷	۸۱	21/03/2012 ۱۳۹۱/۰۱/۰۲	۹۵	۰/۲	۲	۲۶	۳۱	۱	۲۹
31/03/2011 ۱۳۹۰/۰۱/۱۱	۸/۶	۴۸۰/۷	۲۲۰/۹	۷۴	15/03/2011 ۱۳۸۹/۱۲/۲۴	۹۰	۱/۳	۸	۲۶	۲۹	۰	۲۷
20/02/2010 ۱۳۸۸/۱۲/۰۱	۷/۵	۱۲۷/۱	۵۲/۸	۴۴	13/02/2010 ۱۳۸۸/۱۱/۲۴	۵۱	۲/۴	۲۴	۴۲	۹	۰	۸
02/04/2007 ۱۳۸۶/۰۱/۱۳	۸	۴۶۲/۶	۱۷۵/۹	۷۸	19/03/2007 ۱۳۸۵/۱۲/۲۸	۹۲	۱/۴	۵	۱۵	۲۷	۰	۳۱
24/03/2006 ۱۳۸۵/۰۱/۰۴	۹/۸	۴۸۱/۴	۲۳۶/۸	۷۲	13/03/2006 ۱۳۸۴/۱۲/۲۲	۸۳	۰/۷	۱۷	۳۲	۲۸	۱	۱۹

در جدول ۱ در سال‌های زراعی ۱۳۹۴-۱۳۹۵، ۱۳۹۴-۱۳۹۳، و ۱۳۹۲-۱۳۹۱ گل‌دهی قبل از وقوع یخبندان آغاز شده که با علامت ستاره مشخص شده است. در سال ۱۳۸۸ شروع گل‌دهی در اول اسفند اتفاق افتاده است. با بررسی ماه قبل از آن، یعنی بهمن‌ماه، موج گرمایی در سه روز متوالی ۲۷، ۲۸، و ۲۹ بهمن و همین‌طور ۱۲ بهمن مشاهده می‌شود.

امواج گرمایی

تعریفی جامع و جهانی برای امواج گرمایی وجود ندارد؛ حتی سازمان جهانی هواشناسی نتوانسته تعریف جامعی از امواج گرمایی ارائه دهد (کسلی، ۲۰۰۴)، زیرا امواج گرمایی از لحاظ ویژگی‌ها و شدت در یک مکان متغیرند. تعاریف جدید که در سال‌های اخیر ارائه شده است موج گرما را با توجه به روش‌های آماری و ریاضی مشخص می‌کند (رافائل و همکاران، ۲۰۰۹)، ولی تعریف عمومی از آنها وجود دارد. به دوره‌های شدیدی از گرما که برای محیط زیست و سلامت انسان‌ها بحران ایجاد کنند امواج گرمایی می‌گویند. برطبق تعریف ساده انجمن هواشناسی آمریکا، موج گرمایی در دوره‌ای از ناهنجاری‌ها و گرماهای ناخوشایند است که معمولاً با رطوبت هوا همراه است. به‌هرحال، موج‌های گرمایی بر پایه عناصر دما شکل می‌گیرند و انحراف از میانگین‌های دما در دوره گرم و تداوم آن را می‌توان موج گرما تلقی کرد (اسماعیل نژاد و همکاران، ۱۳۹۲).

در این پژوهش برای محاسبه شاخص موج گرمایی از شاخص بالدی استفاده شد.

$$T_{\max \text{ daily}} \geq T_{\text{mean max daily}} + 1.5sd_{\max \text{ daily}}$$

برای محاسبه شاخص موج گرمایی نخست میانگین و انحراف معیار داده‌ها به کمک رابطه‌های ۱ و ۲ محاسبه شد:

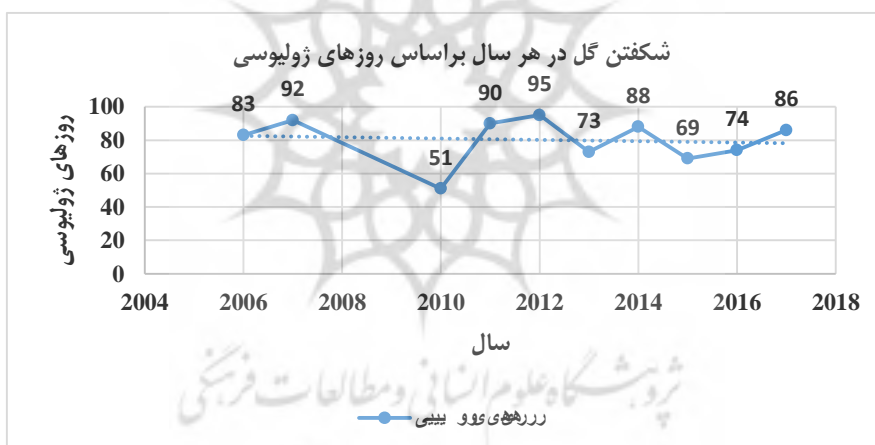
$$m = \frac{\sum x_i}{n} \quad (۱)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - m)^2}{n}} \quad (۲)$$

در رابطه ۱، m میانگین داده‌ها و x_i دمای حداکثر روزانه، و n تعداد روز است. در رابطه ۲، σ انحراف معیار دمای حداکثر روزانه است که برای کل روزهای آماری محاسبه شده است (یزدان‌پناه و همکاران، ۱۳۹۲).

یافته‌های پژوهش

براساس داده‌های فنولوژی ایستگاه هواشناسی کشاورزی نجف‌آباد، تاریخ گل‌دهی برای هر سال و براساس ژولین‌دی در دوره آماری ۱۲ سال (۲۰۰۶-۲۰۱۷) بررسی و تجزیه و تحلیل شد. همان‌گونه که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، میانگین دوره گل‌دهی هشتادمین روز ژولیوسی است. ملاحظه می‌شود که در سال ۲۰۱۰ زودترین تاریخ گل‌دهی در بین سال‌های دیگر اتفاق افتاده و سال‌های ۲۰۰۷، ۲۰۱۱، و ۲۰۱۴ بالاترین زمان گل‌دهی را نسبت به سال‌های دیگر دارند، که گل‌دهی در سال ۲۰۰۷ دوازده روز، در سال ۲۰۱۱ ده روز، در سال ۲۰۱۲ پانزده روز، در سال ۲۰۱۴ هشت روز، و در سال ۲۰۱۷ شش روز دیرتر از میانگین اتفاق افتاده است.



شکل ۳. تاریخ ژولیبوسی گل‌دهی بادام در ایستگاه نجف‌آباد در طول دوره آماری (۲۰۰۶-۲۰۱۷)

همان‌گونه که در جدول ۲ ملاحظه می‌شود، از میان پارامترهای موجود، بین تاریخ گل‌دهی و تعداد روزهای بالاتر میانگین بیشترین همبستگی وجود دارد که معادل ۰/۹۴۵ است. این رابطه مثبت است و نشان می‌دهد که تعداد روزهای بالاتر از میانگین موجب تسریع گل‌دهی بادام می‌شود و مقدار $P\text{-value} < 0.01$ و در سطح خطای ۱ درصد معنی‌دار است. پس از آن بین تاریخ گل‌دهی و GDD بزرگ‌تر از صفر (معادل ۰/۹۳۸) با سطح معناداری ۰/۰۱ و همچنین بین تاریخ گل‌دهی و تعداد روزهای پایین‌تر از میانگین بزرگ‌تر از پنج (معادل ۰/۹۲۱) با سطح معناداری ۰/۰۵ به ترتیب بیشترین همبستگی وجود دارد. معادله رگرسیون بین تاریخ گل‌دهی و تعداد روزهای بالاتر از میانگین در شکل ۴ آورده شده است. در اینجا متغیر مستقل x تعداد روزهای بالاتر از میانگین و متغیر وابسته Y تاریخ گل‌دهی است. معادلات رگرسیون

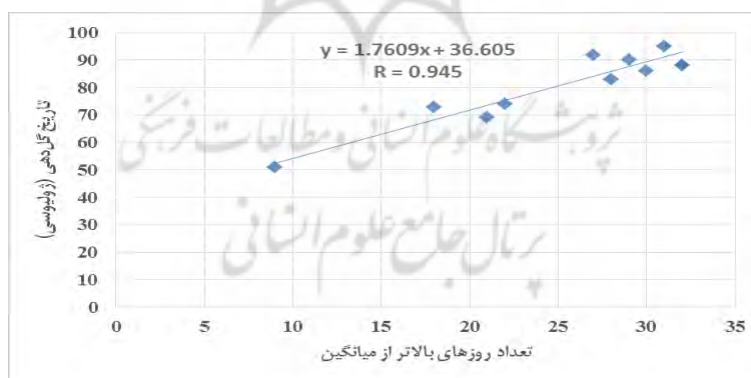
چندمتغیره خطی نیز بررسی شد و همین معادله با ضریب همبستگی ۰/۹۶ به دست آمد که ارتباط خیلی قوی بین متغیر وابسته و مستقل وجود دارد.

$$Y=36.605+1.761X$$

جدول ۲. ماتریس همبستگی بین تاریخ گل‌دهی و متغیرهای مستقل

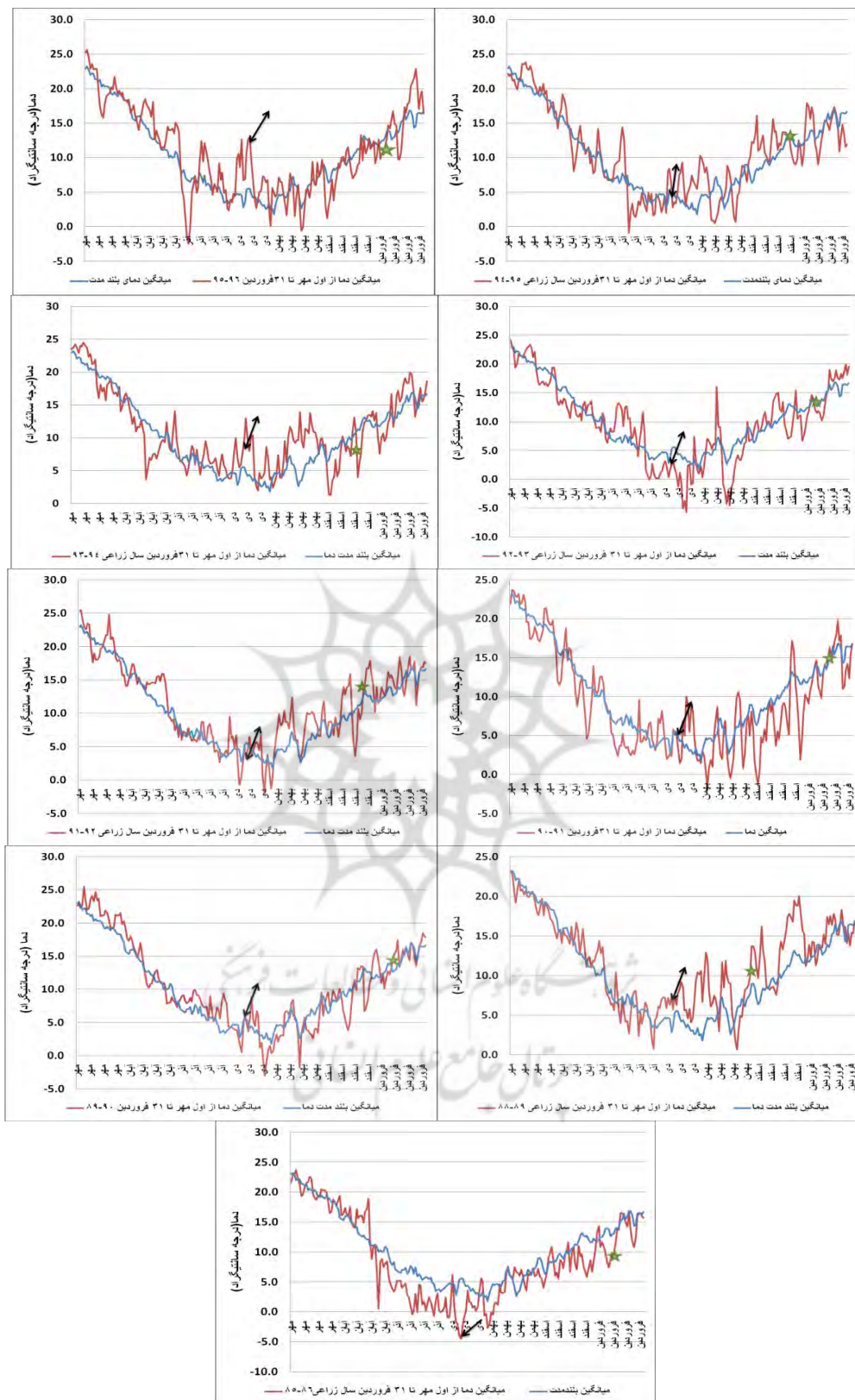
	Flowering date	GDD0	GDD5	Freeze date	Heat wave intensity	Heat wave Continuance	Z	Upper of mean	Lower of mean
Flowering date Pearson Correlation Sig. (2-tailed) N	1 10	0.938** 0.000 10	.814** 0.004 10	0.572 0.084 10	-0.411 0.238 10	-0.601 0.066 10	-0.624 0.054 10	0.945** 0.000 10	0.921** 0.000 10
GDD0 Pearson Correlation Sig. (2-tailed) N	0.938** 0.000 10	1 10	0.947** 0.000 10	0.609 0.062 10	-0.426 0.219 10	-0.573 0.084 10	-0.591 0.072 10	0.908* 0.003 10	0.832* 0.003 10
Pearson Correlation GDD5 Sig. (2-tailed) N	.814** 0.004 10	0.947** 0.000 10	1 10	0.630 0.051 10	-0.375 0.285 10	-0.516 0.127 10	-0.483 0.157 10	0.849** 0.002 10	0.644* 0.045 10
Pearson Correlation freeze date Sig. (2-tailed) N	0.572 0.084 10	0.609 0.062 10	0.630 0.051 10	1 10	-0.489 0.151 10	-0.771** 0.009 10	-0.363 0.302 10	0.570 0.085 10	0.492 0.149 10
Pearson Correlation heat wave Sig. (2-tailed) intensity N	-0.411 0.238 10	-0.426 0.219 10	-0.375 0.285 10	-0.489 0.151 10	1 10	0.409 0.241 10	-0.110 0.762 10	-0.360 0.307 10	-0.389 0.266 10
Pearson Correlation heat wave Sig. (2-tailed) continuance N	-0.601 0.066 10	-0.573 0.084 10	-0.516 0.127 10	-0.771** 0.009 10	0.409 0.241 10	1 10	0.624 0.054 10	-0.417 0.231 10	-0.732* 0.016 10
Pearson Correlation Z Sig. (2-tailed) N	-0.624 0.054 10	-0.591 0.072 10	0.483 0.157 10	-0.363 0.302 10	-0.110 0.762 10	0.624 0.054 10	1 10	-0.454 0.188 10	-0.720* 0.019 10
Pearson Correlation upper of mean Sig. (2-tailed) N	0.945** 0.000 10	0.908* 0.003 10	0.849* 0.045 10	0.570 0.149 10	-0.360 0.266 10	-0.417 0.016 10	-0.454 0.019 10	1 10	0.747* 0.013 10
Pearson Correlation lower of mean Sig. (2-tailed) N	0.921** 0.000 10	0.832* 0.003 10	0.644* 0.045 10	0.492 0.149 10	-0.389 0.266 10	-0.732 0.016 10	-0.720 0.019 10	0.747* 0.013 10	1 10

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed). * . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).



شکل ۴. معادله رگرسیون بین تاریخ ژولایوسی گل‌دهی بادام و تعداد روزهای بالاتر از میانگین در ایستگاه نجف‌آباد در طول دوره آماری (۲۰۰۶-۲۰۱۷)

برای محاسبه موج گرما، میانگین دمای روزانه برای هر سال از اول پاییز امسال تا آخر فروردین سال بعد در نظر گرفته شده (به مدت ۷ ماه). سپس، به برآورد امواج گرمایی پرداخته و نمودارهای آن در شکل ۵ آورده شده است. همچنین، میانگین متوسط دمای ده سال روزانه (از سال زراعی ۱۳۸۵-۱۳۸۶ تا ۱۳۹۵-۱۳۹۶) از اول پاییز تا آخر فروردین سال بعد حساب شده و نمودار آن رسم گردیده است.



شکل ۵. مقایسه میانگین بلندمدت دما و متوسط دمای سال‌های زراعی مورد مطالعه ایستگاه نجف‌آباد (تاریخ گل‌دهی ★، اول زانویه ↖)

به‌علت آنکه در اینجا چند متغیر مستقل برای پیش‌بینی یک متغیر وابسته به نام تاریخ گل‌دهی وجود دارد، از مدل رگرسیون خطی چندگانه استفاده می‌شود. برای ورود متغیرهای رگرسیونی به مدل، در نرم‌افزار SPSS از روش گام به گام ۱ استفاده شده است. در این روش در هر مرحله متغیری که بیشترین ارتباط را با متغیر وابسته دارد وارد می‌شود و این ورود متغیرها تا جایی ادامه می‌یابد که همه متغیرهایی که می‌توانند برای برآورد متغیر وابسته مفید باشند وارد مدل شوند.

جدول ۳. برآورد ضرایب رگرسیون

Model Coefficients	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Correlations			Collinearity Statistics	
	B	Std. Error	Beta			Zero-order	partial	part	Tolerance	VIF
1 (Constant)	36.605	5.514		6.638	.000					
Upperofmean	1.761	0.215	0.945	8.185	.000	0.945	0.945	0.945	1.000	1.000
2 (Constant)	33.514	0.784		42.730	0.000					
Upperofmean	1.083	0.045	0.581	23.978	0.000	0.945	0.944	0.386	0.442	2.264
Lowerofmean	0.945	0.047	0.487	20.106	0.000	0.921	0.991	0.324	0.442	2.264

در جدول ۳ برآورد ضرایب رگرسیون برای دو مدل به‌طور جداگانه آورده شده است. با استفاده از ستون اول جدول، می‌توان مدل رگرسیون مورد نظر را به صورت $Y = 36.605 + 1.761X_1$ برای مدل اول برآورد کرد که در آن مقدار X تعداد روزهای بالاتر از میانگین و Y تاریخ گل‌دهی است.

برآورد مدل رگرسیونی مناسب برای مدل دوم به صورت $Y = 33.514 + 1.083X_1 + 0.945X_2$ است که در آن X_1 تعداد روزهای بالاتر از میانگین و X_2 تعداد روزهای پایین‌تر از میانگین است. در این جدول ستونی با نام Tolerance وجود دارد که اگر مقدار آن برای یک متغیر خیلی کم مثلاً از ۰/۰۵ کمتر باشد، باید آن متغیر را به‌دلیل هم‌خطی با دیگر متغیرها از مدل حذف کرد و از بخش‌های دیگر خروجی استفاده نمی‌شود. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، در این مثال هم‌خطی وجود ندارد. برای انتخاب بهترین مدل از جدول ۴ (خلاصه مدل) استفاده می‌شود.

جدول ۴. خلاصه مدل

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
Model 1	.945 ^a	.893	0.880	4.65497
Model 2	.999 ^b	.998	.998	0.64924

a. Predictors: (Constant), upperofmean b. Predictors: (Constant), upperofmean, lowerofmean

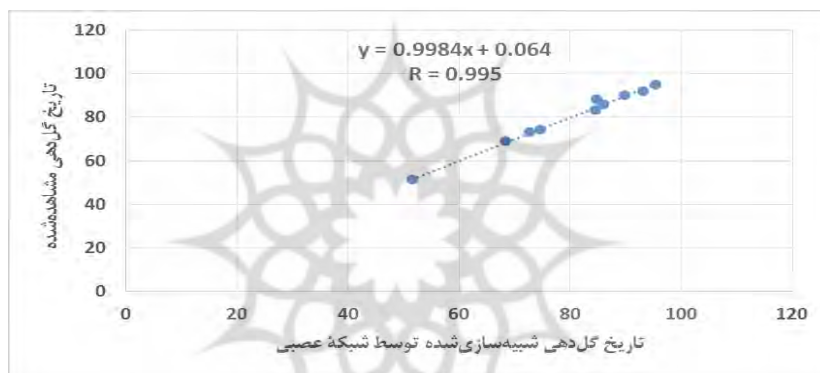
در جدول ۴ برای هر دو مدل ضریب تعیین داده شده است. ملاحظه می‌شود ضریب تعیین اصلاح‌شده مدل دوم، که دو متغیر مستقل دارد، ۰/۹۹۸ است که از ضریب تعیین اصلاح‌شده مدل اول، که ۰/۸۸ است، بیشتر است. می‌توان نتیجه گرفت که مدل دوم نسبت به مدل اول بهتر است.

معادلات رگرسیونی خطی شبکه عصبی مصنوعی نیز بین گل‌دهی و شاخص‌های حرارتی بررسی شد که ضریب همبستگی این معادلات پس از سعی و خطا ۰/۹۹۵ محاسبه شد (شکل ۶).

جدول ۵ اطلاعات شبکه مربوط به مدل طراحی شده را نشان داده و جهت حصول اطمینان از این که موارد اختصاص یافته صحیح می‌باشد کاربرد دارد که شامل اطلاعات مربوط به هر سه لایه شبکه ورودی، مخفی و خروجی می‌باشد. لایه ورودی تعداد متغیرهای مستقل را نشان می‌دهد که شامل ۷ نرون ورودی به شبکه ($GDD > 0$)، $GDD > 5$ ، تاریخ آخرین یخبندان،

تداوم امواج گرمایی، $z > 1$ ، تعداد روزهای بالاتر از میانگین، تعداد روزهای پایین‌تر از میانگین) می‌باشد. در لایه پنهان یا مخفی ابتدا تعداد لایه های پنهان را نشان می‌دهد که در این تحقیق شامل یک لایه پنهان است. سپس تعداد نرون‌های اختصاص یافته در این لایه جهت پردازش را نشان می‌دهد که ساختار اتوماتیک انتخاب شده، چهار نرون جهت پردازش در این مثال در نظر گرفته است. تابع محرک این لایه نیز سیگموئید انتخاب شده است. در لایه خروجی نیز ابتدا تعداد متغیر وابسته را نشان می‌دهد که شامل یک متغیر (تاریخ گلدهی) می‌باشد. سپس روش مقیاس‌بندی مجدد برای متغیر وابسته نشان داده می‌شود که در اینجا روش استاندارد شده انتخاب شده است. سپس تابع محرک در لایه خروجی آورده شده است که در این پژوهش تابع همانی (Identity) است و در آخر تابع خطا که مجموع مربعات خطا در نظر گرفته شده است.

در جدول ۶ نتایج مربوط به آموزش و آزمون مدل آورده شده که شامل مجموع مربعات خطا است. باید تلاش شود با اجرای ساختار مختلف میزان خطاهای مربوطه به حداقل میزان خود برسند. مطابق جدول ۷، دقت مدل با اجرای ارزیابی خطا بررسی شده است؛ بنابراین، مدلی که کمترین خطا را دارد انتخاب می‌شود؛ در اینجا مدل رگرسیون چندمتغیره خطی دارای خطای کمتری است.



شکل ۶. معادله رگرسیون بین تاریخ زولبوسی گلدهی بادام و تاریخ گلدهی شبیه‌سازی شده توسط شبکه عصبی

جدول ۵. اطلاعات شبکه

Input Layer	Covariates	1	GDD0
		2	GDD5
		3	freezedate
		4	heatwavecontinuance
		5	Z
		6	upperofmean
		7	lowerofmean
	Number of Units ^a		7
Rescaling Method for Covariates		Standardized	
Hidden Layer(s)	Number of Hidden Layers		1
	Number of Units in Hidden Layer 1 ^a		4
	Activation Function		Sigmoid
Output Layer	Dependent Variables	1	floweringdate
	Number of Units		1
	Rescaling Method for Scale Dependents		Standardized
	Activation Function		Identity
	Error Function		Sum of Squares

a. Excluding the bias unit

جدول ۶. ساختار مناسب شبکه عصبی مصنوعی پس از سعی و خطا

مرحله	تابع محرک	تعداد نرون	ساختار لایه	خطای RMSE
آموزش	سیگموئید	۷	۱-۴-۱	۰/۰۴۲
تست	سیگموئید	۷	۱-۴-۱	۰/۰۱۴

جدول ۷. مقایسه دقت دو مدل

معادله رگرسیون	RMSE	MAD	MSE	MAPE
روش رگرسیون چندمتغیره خطی	0.543	0.417	0.295	0.520
روش شبکه عصبی مصنوعی	1.255	0.879	1.574	1.091

بحث و نتیجه‌گیری

معادلات رگرسیون چندمتغیره خطی و شبکه عصبی مصنوعی بین گل‌دهی و شاخص‌های حرارتی نشان می‌دهند که ارتباطی بسیار قوی بین متغیر وابسته و مستقل وجود دارد؛ ضریب همبستگی این معادلات به ترتیب ۰/۹۹۸ و ۰/۹۹۵ محاسبه شد. همان‌طور که ملاحظه شد، معادله رگرسیون چندمتغیره خطی برای پیش‌بینی تاریخ گل‌دهی در سطح یک درصد معنی‌دار بود. حال با داشتن پیش‌بینی دما توسط مدل WRF و محاسبه تعداد روزهای بالاتر از میانگین و پایین‌تر از میانگین، می‌توان تاریخ گل‌دهی را به‌دست آورد و هشدار سرمازدگی را در صورت وجود گل‌دهی اعلان کرد. مشابه این تحقیق را تاگلیاتی و همکاران (۲۰۱۷) در ایالت آیووا آمریکا برای پیش‌بینی پارامترهای مختلف جوی مانند بیشینه و کمینه دما با استفاده از مدل WRF در بازه زمانی صفر، ۳، ۷، و ۱۴ روزه انجام دادند و نتیجه گرفتند که بیشینه دما بیشترین صحت پیش‌بینی شده توسط مدل WRF را برای پیش‌بینی گل‌دهی دارد. اولاتینو و همکاران (۲۰۱۱) در ایالت جرجیا آمریکا توانستند بیماری قارچی لکه‌برگی زودهنگام بادام زمینی را با تلفیق مدل WRF و مدل بیماری لکه‌برگی پیش‌کنند و هزینه‌های کنترل این بیماری را کاهش دهند و پیشنهاد دادند برای جلوگیری و پایش بیماری‌های مهم گیاهی از لحاظ اقتصادی می‌توان این روش را اجرایی کرد. پرابها و هوگن بوم (۲۰۰۸) نشان دادند که استفاده از مدل میان‌مقیاس WRF جهت مدیریت مؤثر برای محافظت از محصولات و کاهش خسارات سرمازدگی یک راهبرد است. آن‌ها دو بازه زمانی رخداد سرمازدگی را انتخاب کردند: یکی ۳ تا ۹ دسامبر ۲۰۰۶ و دیگری ۳ تا ۱۱ آوریل ۲۰۰۷، که بیشترین خسارات محصولات کشاورزی ناشی از سرمازدگی در جنوب شرق ایالات متحده آمریکا رخ داده بود. آن‌ها مدل شبیه‌سازی شده WRF را با داده‌های دیدبانی شده از ایستگاه‌های هواشناسی جرجیا مستقر در باغات هلو و بلوبری مقایسه کردند. صحت پیش‌بینی حداقل دما در وضعیت ماه آوریل برای همه ایستگاه‌های هواشناسی جرجیا بالای ۹۰ درصد بود. در صورتی که این صحت برای ماه دسامبر تا ۸۰ درصد کاهش یافت. نتایج این مطالعه قابلیت اجرایی و صحت مدل WRF را برای هشدار سرمازدگی تشعشعی و تابشی نشان می‌دهد. با توجه به راست‌آزمایی خروجی دمای روزانه مدل WRF در منطقه مورد مطالعه، که از صحت خوبی در مناطق هموار و پست برخوردار است، می‌توان با تلفیق دو مدل فنولوژی و پیش‌بینی دما به وسیله مدل WRF، هشدار سریع ۴۸ ساعته رخداد سرمازدگی در باغات منطقه را با دقت کافی انجام داد.

منابع

- اسماعیل‌نژاد، م.؛ خسروی، م.؛ علیجانی، بهلول. و مسعودیان، ا. (۱۳۹۲). شناسایی امواج گرمایی ایران، مجله جغرافیا و توسعه، ۳۳: ۳۹-۵۴.
- اسماعیلی، ر.؛ عطایی، ه. و فلاح قاله‌ری، غ. (۱۳۹۰). ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر امکان توسعه دو گونه هسته دار بادام و زردآلو (مطالعه موردی خراسان رضوی)، نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار، ۲(۱): ۱۴۵-۱۶۳.
- اکبری، ح.ر. (۱۳۸۱). بررسی ویژگی‌های کمی موج‌های یخبندان بهاره شمال غرب و غرب ایران با تأکید بر خصوصیات سینوپتیک موج‌های شاخص [پایان‌نامه].
- امیرقاسمی، ت. (۱۳۸۱). سرمازدگی گیاهان، خطر یخبندان، پیش‌بینی و حفاظت، نشر آیندگان.
- حسینی، م. (۱۳۸۸). بررسی و مطالعه شاخص درجه روز رشد پرتقال، پنبه، گندم، برنج، و تأثیر آن در زمان رسیدن این گیاهان در قراخیل. نیوار، نشریه اداره کل هواشناسی استان مازندران.
- خلجی، م. (۱۳۸۰). پیش‌بینی سرمای دیررس بهاره و یخبندان زودرس پاییزه برای تعدادی از گیاهان زراعی و باغی در استان چهارمحال و بختیاری، نشریه به نژادی نهال و بذر، ۱۷(۲): ۱۲۶-۱۳۹.
- رسول‌زادگان، ی. (۱۳۷۰). میوه کاری در مناطق معتدله (ترجمه)، انتشارات اردکان (شفق نشر) ۷۵۹ صفحه.
- زادنی، ح. (۱۳۷۷). پروش فندق، بادام، گردو، جهاد کشاورزی ارومیه.
- ضیایی، ع.؛ کامکار حقیقی، ع.؛ سپاس‌خواه، ع. و رنجبر، س. (۱۳۸۵). تعیین اطلس احتمال وقوع حداقل دمای استان فارس با استفاده از آمار هواشناسی، مجله علمی- پژوهشی علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، ۱۰(۳): ۱۳-۲۶.
- علافچیان، ا. و غیور، ح.ع. (۱۳۹۲). بررسی تأثیر تنش سرمازدگی و یخبندان بر عملکرد محصول بادام و راه‌های مقابله با آن، دومین کنفرانس بین‌المللی مخاطرات محیطی، تهران، دانشگاه خوارزمی.
- کاویانی، م.؛ حسینی ابری، ح. و اسدی بروجنی، ا. (۱۳۸۱). تعیین احتمال وقوع تجربی و دوره بازگشت حداقل دما در ماه‌های اسفند، فروردین، و اردیبهشت در باغ‌های بادام منطقه سامان، مجله علم و کشاورزی و منابع طبیعی، ۹(۳): ۳۹.
- محمودی، پ.؛ علیجانی، ب.؛ سلیقه، م. و ریگی چاهی، ا. (۱۳۹۰). بررسی تغییرات کمینه‌ها و بیشینه‌های سالانه دما در ایران، فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی، ۶۲(۳): ۱۷۳۵۲-۱۷۳۷۴.
- محمودی، پ. (۱۳۹۱). پهنه‌بندی و پایش یخبندان هوای ایران، پایان‌نامه دکتری اقلیم‌شناسی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی. دانشگاه سیستان و بلوچستان، مهر ۱۳۹۱.
- میرحاجی، ت.؛ سندگل، ع.؛ قاسمی، ح. و نوری، س. (۱۳۸۹). کاربرد درجه روز رشد (GDD) در تعیین مراحل فنولوژی چهارگونه از گندمیان در ایستگاه تحقیقات مراتع همد آسرد، فصل‌نامه علمی- پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۱۷(۳): ۳۶۲-۳۷۶.
- نامداری، آ. و امیدی، س. (۱۳۹۰). پیش‌بینی سرمای دیررس بهاره و زودرس پاییزه و تأثیر آن بر درخت بادام، مجموعه مقالات دومین همایش ملی بادام، شهر کرد.
- نصراصفهانی، م.؛ یزدان‌پناه، ح. و نصراصفهانی، م.ع. (۱۳۹۸). ارزیابی مدل WRF برای پیش‌بینی دما و رخداد سرمازدگی در حوضه آبریز زاینده رود. مجله علمی- پژوهشی پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۵۸(۱): ۱۶۳-۱۸۲.

- وزوایی، ع؛ وحدتی، ک. و تاج‌آبادی، ع. (۱۳۸۲). *راهنمای ارزیابی درختان گردو، پسته، و بادام، انتشارات خانیران.*
- ولاشدی، ر.ن. و سبزی‌پرور، ع.ا. (۱۳۹۵). ارزیابی الگوهای برآورد نیاز سرمایی زمستانه با استفاده از داده‌های مشاهده‌ای پدیده‌شناختی درخت سیب در ارومیه، *علوم باغبانی ایران*، ۴۷(۳): ۵۶۱-۵۷۰.
- یزدان‌پناه، ح. و سلیمانی‌تبار، م. (۱۳۹۲). بررسی اثرات تغییر اقلیم بر مراحل فنوژی سیب در شمال شرق ایران، *نخستین کنفرانس ملی آب و هواشناسی، کرمان، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته.*
- یزدان‌پناه، ح؛ سپندار، ن؛ احمدیان، م. و فدایی، پ. (۱۳۹۱). بررسی امواج گرمایی حادث‌شده در کرمانشاه، *همایش ملی شهرهای مرزی و امنیت، چالش‌ها و رهیافت‌ها، زاهدان، دانشگاه سیستان و بلوچستان.*
- Akbari, H. (2002). Evaluation of Quantity Characters of Spring Freezing waves in West Northwest of Iran, Emphatically on Characters of Synoptics Waves Index, Thesis.
- Allafchian, E. and Ghayour, H.A. (2013). Evaluation of Frost and freezing Stress Effect on efficiency almond and confront ways whit it, Second International Conference on Environmental, Tehran, Kharazmi University.
- Amirghasemi, T. (1381). Plant Frosting, Freezing Risk, Forecasting and Protection, Ayandegan Publications.
- Cesaraccio, C.; Spano, D.; Snyder, R.L. and Duce, P. (2004). Chilling and forcing model to predict bud-burst of crop and forest species, *Agric. For. Meteorol*, 126(1): 1-13.
- Egea, O.; Martinez -Gómez, P. and Dicenta, F. (2003). Chilling and heat requirements of almond cultivars for flowering, *Environ. Exper. Bot.*, 50(1): 79-85.
- Esmail Negad, M.; Khosrave, M.; Aliganei, B. and Masoodeian, A. (2013). Identifying Heat Waves of Iran, *Iranian journal of Geography and Development*, 11(33): 39-54.
- Esmaili, R.; Ataie, H. and Fallah Ghalhary, G. (2011). Assessment of Climate Change Impact on the Future Development of Apricot and Almond Species. (Case Study: Khorasan Razavi Province), *Journal of Agricultural science and sustainable production*, 21(1): 145-163.
- Gue, L.; Dai, J.; Ranjitkar, S. and Yu, H. (2014). Chilling and heat requirements for flowering in temperate fruit trees, *Int. J. Biometeorol.*, 58: 1195-1206.
- Hossayni, M. (2009). Evaluation and study of heat unit index about orange, cotton, wheat, rice and effect of time on crop ripening in Gharakhil, *The Scientific & Technical Journal of IRIMO*, 33(1): 39-54.
- Kavani, M.; Hosseini Abri, H. and Asadi Broujeny, A. (2002). Probability of occurrence and return period of minimal temperature in almond orchards at saman region during March, *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 33(3): 49-57.
- Khalaji, M. (2001). Estimation of Late Spring Cold and Early: Autumn Freezing for Some Crops in Charmahal and Bakhtiari Province, *Iranian journal of Seed and Plant Improvment*, 17(2): 126-139.
- Kysely, J. (2004). Mortality and displaced mortality .Turing heat waves in the Czech Republic, *Int J Biometeorol*, 49: 91-97.
- Mahmoodi, P. (2012). Mapping and Monitoring of Iran Freezing air. Climatology PHD Thesis, Faculty of Geography and Enviromental Planning, University of Sistan and Baluchestan, Mehr 1372.
- Mahmoudi, P.; Alijani, B.; Salighe, M. and Rigi Chahi, M. (2011). Variation analysis of minimum maximum annual temperature of Iran, *Geographical Researches Quarterly Journal*, 26(3): 17352-17374.
- Mirhaji, T.; Sanadgol, A.A.; Ghasemi, M.H. and Nouri, S. (2010). Application of Growth Degree-Days in determining phenological stages of four grass species in Homand Absard Research Station, *Iranian journal of Range and Desert Reseach*, 17(3): 362-376.

- Namdari, A. and Omid, S. (2011). Forecasting of Late Spring Cold and Early Autumn Freezing and Effect on almond tree, 2nd National Almond Symposium: Focus on Export, Shahrekord.
- Nasr Esfahani, M.; Yazdanpanah, H. and Nasr Esfahani, M.A. (2019). Evaluation of WRF Model for Temperature Forecast and frosting occurrence in Zayandeh Rud Basin, *Journal of Physical Geography Research*, 58(1): 163-182.
- Olatinwo, R.; Prabha, T.; Paz, J. and Hoogenboom, G. (2011). Predicting favorable conditions for early leaf spot of peanut using output from the Weather Research and Forecasting (WRF) model, *Int J Biometeorol*, 56: 259-268.
- Pearce, R.S. (2001). Plant freezing and damage, *Ann.Bot.*, 87: 417-424.
- Prabha, T. and Hoogenboom, G. (2008). Evaluation of the Weather Research and Forecasting model for two frost events, *Computers and Electronics in Agriculture*, 64(2): 234-247.
- Garcia Cueto, R; Tejada Martinez ,A; Jauregui Ostos, E; (2009). Heat waves and heat days in an arid city in an the northwest of mexico: current trends and in climate change scenarios, *Int J Biometeorol*, 54: 355-345.
- Rasoolzadegan, Y. (1991). *Temperate-Zone pomology (Traslation)*. Ardekan Publications (Shafag Nashr) 759 pages.
- Rattigan, K. and Hill, S.j. (1996). Relationship Between temperature and flowering in Almond, *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 26: 399-404.
- Romo, J.T. and Eddleman, L.E. (1995). Use of degree days in multiple temperature experiment, *Journal of Range management*, 48(5): 410-416.
- Sanchez-perez, R.; Ortega, E.; Duval, H.; Martinez-Gez, P. and Dicenta, F. (2007). Inheritance and relationships of important agronomic traits, *Euphytica*, 155: 381-391.
- Togliatti, K.; Archontoulis, S.; Dietzel, R.; Puntel, L. and VanLoocke, V. (2017). How does inclusion of weather forecasting impact in-season crop model predictions?, *Field Crops Research*, 214: 261-272.
- Valashedi, R. and Sabziparvar, A. (2016). Evaluation of winter chill requirement models using the observed apple tree phenology data in Kahriz (Urmia, Iran), *Journal of Horticultural science*, 47(3): autumn 561-570.
- Vestal, C.K. (1971). First and last Occurrences of low temperatures during the cold season, *Montly weather review*, 98(8): 650-652.
- Vezevae, A.; Vahdati, K. and Tajabadi, A. (2003). *Evaluation Guide of Walnut, pistachio, Almond*, Khaniran Publications.
- Yazdanpanah, H. and Soleimanitabar, M. (2013). Evaluation Effect of Climate Change on Apple phenology process in Iran north east, First National Conference on Climatology of Iran, Kerman, Graduate University of Advanced Technology.
- Yazdanpanah, H.; Sepandar, N.; Ahmadian, M. and Fadaee, P. (2012). Evaluation of Occurred Heat Unit in Kermanshah, *National Congress on Border Cities and Security; Challenges and Strategies*.
- Zadnia, H. (1998). *Breeding of Hazelnut, Almond, Walnut*, Urmia Agriculture-Jihad.
- Zhang, J. (2012). *Phenology and climate change*, Published by InTech, Rijeka, Croatia, 332 p.
- Ziaee, A.R.; Kamgar-Haghighi, A.A.; Sepaskhah, A.R. and Ranjbar, S. (2006). Development of Fars Province Probable Minimum Temperature Atlas Using Meteorological Data, *Journal of Crop Production and Processing Esfahan University of Technology*, 10(3): 13-26.