نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد 29، شماره 3، پاییز 1394، ص. 367-358
شاپا: 4730 - 2008

Journal of Horticultural Science
Vol. 29, No. 3, Fall 2015, P. 358-367
ISSN: 2008 - 4730

اثر تغییر اقلیم بر روند تامین نیاز سرمایی گیاهان خزان‌دار (مطالعه موردی: استان همدان)

علی اکبر سبزی پرور[1*] - رضا نوروز ولاشدی[2]

تاریخ دریافت: 1392/06/07
تاریخ پذیرش: 1394/03/30

چکیده

بسیاری از گیاهان برای شکستن خواب زمستانه خود نیاز به سرما دارند. سناریوهای تغییر اقلیم برای آینده افزایش دمای هوا را در فصل زمستان پیش‌بینی می‌کنند. هدف از این پژوهش بررسی اثر بالقوه تغییر اقلیم بر روند تامین نیاز سرمایی گیاهان خزان‌دار در همدان است. این پژوهش بر اساس مدل‌های اقلیمی متفاوت در گزارش چهارم هیئت بین الدول تغییر اقلیم نظیر BCM2، HADCM3، GFCM21 و IPCM4 تحت سناریوهای انتشار حدی (A2 و B1) و توازنی (A1B) انجام شد. جهت ریزمقیاس‌نمایی خروجی مدل‌های گردش عمومی، مدل LARS-WG مورد استفاده قرار گرفت. پس از تولید داده‌های ساعتی فراسنج‌های هواشناختی، از سه مدل نیاز سرمایی برای برآورد و بررسی روند تامین سرمایی در فصل زمستانِ استان همدان استفاده شد. همچنین از آزمون‌های پارامتری و ناپارامتری برای بررسی تغییرات نیاز سرمایی در دو دوره آینده نزدیک (2030-2011) و آینده دور (2050-2031) نسبت به گذشته (2010-1980) بهره گرفته شد. نتایج این پژوهش حاکی از کاهش نیاز سرمایی گیاهان خزان‌دار در همدان می‌باشد. خروجی مدل‌های اقلیمی ریز مقیاس شده برای استان همدان نشان داد، اگرچه روند تغییرات در کل دوره افزایشی بوده اما روند کاهشی در دهه‌ی آخر داده‌های تاریخی و متوسط دو دهه‌ی آینده ادامه می‌یابد، به‌طوری که در افق زمانی سال‌های 2031 تا 2050 به‌میزان 25 تا 40 درصد از انباشت سرما در فصل زمستان کاسته خواهد شد. این کاهش موجب عدم تامین سرمای کافی برای شکسته شدن خواب گیاه در انتهای فصل زمستان می‌شود. در نهایت، عدم مدیریت صحیح بدون ملاحظات اقلیمی ممکن است به صدمات جدی به باغات کشور در آینده شود.

واژه‌های کلیدی: دمای هوا، رکود، ریز مقیاس کننده LARS-WG، سناریوهای انتشار، گرمایش جهانی، مدل‌های گردش عمومی جو

مقدمه

اقلیم یک نقش اساسی در تولید موفق محصولات باغی و خشکبار در تجارت جهانی ایفا می‌کند. فعالیت‌های باغبانی به‌شدت وابسته به شرایط آب و هوایی محل است. خواب زمستانه یک جنبه کلیدی در چرخه سالانه گیاهان خزان‌دار باغی و خشکبار محسوب می‌شود. گیاه برای شکوفایی مناسب در فصل رویش نیازمند شکستن خواب زمستانه است (27). درختان جهت خارج‌شدن از حالت خواب، بایستی در معرض مقادیر از پیش تعیین‌شده دماهای سرد قرار بگیرند، به این فرآیند در اصطلاح سرمای زمستانه یا بهاره‌سازی[3] گویند. نیاز سرمایی ناکافی می‌تواند موجب رشد نامنظم و جوانه‌زنی اندک، نمو ضعیف میوه، کوچک ماندن اندازه و زمان‌های غیر یکنواخت رسیدگی میوه شود (21 و 22). اگرچه اطلاعات کاملی راجع به فرآیند نیاز سرمایی درختان در اختیار نیست، اما پاسخ فیزیولوژیکی درختان در برابر مقادیر سرما اغلب با مدل‌هایی که اساس آن دماست، تخمین زده می‌شود (3). از بین مدل‌های موجود، به‌طور عمده مدل‌های 0–7/2 درجه سلسیوس (2 و 36)، مدل یوتا (26) و یوتای اصلاح شده (16) و مدل پویا (8) توسط محققان و باغبانان مورد استفاده قرار می‌گیرند. همه این مدل‌ها علی‌رغم داشتن سطوح مختلف پیچیدگی، نیاز سرمایی را طبق در معرض قرارگیری گیاه برابر چند دما و مقدار آستانه دمایی مشخص تعریف می‌کنند. مدل 0-7/2 و مدل یوتا و یوتای مثبت سه مدل پرکاربرد، از بیشمار مدلی می‌باشند که در نقاط مختلف دنیا مورد استفاده قرار گرفتند. نخستین بار در سال 1950 وینبرگر این روش را که جوانه‌ها بایستی در دمای کمتر از هفت درجه

1و 2- به‌ترتیب استاد و دانشجوی دکتری هواشناسی کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: swsabzi@basu.ac.ir)

3 - Vernalization

سانتی‌گراد قرار گیرند، را برای تعیین نیاز سرمایی گیاهان خزان‌دار مورد استفاده قرار داد (36). و این محاسبات از زمانی که جوانه گیاه به‌طور کامل در خواب باشد، آغاز می‌شود.

تغییرات آب و هوایی بر میزان دمای هوا، الگوی بارش، تنش رطوبتی، میزان رواناب و ذخیره رطوبتی خاک تاثیر گذار است (13). افزایش میزان درجه حرارت آینده، متاثر از تغییرات اقلیمی ممکن است در فرآیند تامین نیاز سرمایی فصل زمستان خلل ایجاد نموده و تولید محصولات باغی را تحت تاثیر قرار دهد. اثبات وقوع پدیده تغییر اقلیم، در سطح جهان به‌سهولت امکان پذیر نیست و نیازمند بررسی‌های جامع و طولانی مدت بر آمارهای گذشته و تولید شده در آتی است، هر چند روند گرمتر شدن دمای سطحی و افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای تقریباً قطعی می‌نماید (13). بررسی‌ها نشان داده است، غلظت گازکربنیک و سایر گازها در اتمسفر از نیمه دوم قرن نوزدهم افزایش یافته است. میزان غلظت گازکربنیک از سال 1970 تا 2004 حدود 70 درصد فزونی یافته است (13). میتچل در سال 1989 نشان داد که در اثر دو برابر شدن گازکربنیک ، درجه حرارت بین 2/8 تا 5/2 کلوین و بارندگی بین 7/1 تا 15 درصد افزایش می‌یابد. روند این تغییرات اقلیمی در همه جا اثری از خود به‌جا گذاشته است، در استان همدان نیز بررسی انجام شده (14) حاکی از آن است روند تغییرات پارامترهای هواشناسی به‌خصوص دمای میانگین زمستان و پاییز در زمان خواب درختان خزان‌دار افزایش معنی‌دار داشته‌است. از اوایل دهه 1980 تاکنون، مدل‌های متنوعی برای تولید داده‌های مصنوعی وضع هوا در نقاط مختلف جهان تدوین شده و به‌تدریج توسعه یافته است. سرکنهاتان و مک ماهان (31) تقریبا مرور کاملی بر مولدهای وضع هوا داشته‌اند. به‌طورکلی، مولدهای وضع هوا از نظر فرضیات تولید داده در یکی از سه گروه مولدهای پارامتری، نیمه پارامتری و ناپارامتری قرار می‌گیرند. مولد پارامترهای اقلیمی[1]، یک مدل عددی است که براساس تعدادی پارامترهای آماری مشخص، سری زمانی پارامترهای اقلیمی را بصورت مصنوعی جهت مطالعات تغییر اقلیم ایجاد می‌کند (23، 24 و 25). از آنجا که امکان استفادهٔ مستقیم از خروجی مدل‌های GCM به‌دلیل مقیاس مکانی بسیار بزرگ آن‌ها، وجود ندارد. از این مولد می‌توان به‌عنوان یک ابزار، برای شبیه‌سازی سناریوهای تغییر اقلیم آتی استفاده نمود. امروزه، مولدهای پارامترهای اقلیمی در زمینه‌های مختلف به‌کار می‌روند و در حال تبدیل شدن به‌یکی از اجزاء اصلی سیستم‌های تصمیم گیری در کشاورزی و هیدرولوژی هستند (30). مدل LARS-WG همانند برخی از مدل‌های پرکاربرد دیگر، که از روش زنجیرهٔ مارکوف استفاده می‌کند (25) در چندین ایستگاه در سطح جهان با شرایط اقلیمی متفاوت و متنوع مقایسه شده و عملکرد آن، در بسیاری از موارد بهتر از آن مدل‌ها بوده و یا حداقل عملکردی مشابه آن‌ها داشته است (26).

اغلب پژوهش‌های صورت پذیرفته در داخل کشور، به بررسی چگونگی پاسخ عوامل هیدرولوژیکی از قبیل تبخیر و تعرق پتانسیل، رطوبت خاک، تجمع برف، ذخیره آب زیرزمینی، رواناب و بیلان آبی و خشکسالی‌ها و... به تغییرات اقلیمی پرداخته‌اند، و کمتر به مسائل کاربردی به‌خصوص نیاز سرمایی گیاهان خزان‌دار پرداخته شده است. کوچکی و همکاران (15) به بررسی اثر تغییر اقلیم بر رفتار گلدهی زعفران در نواحی خراسان پرداختند. آن‌ها با شبیه سازی رفتار گیاه زعفران در برابر افزایش دما دریافتند، سرعت نمو کاهش یافته و طول دوره گلدهی افزایش می‌یابد. هم‌چنین آن‌ها اظهار داشتند بسته به‌میزان شدت گرمایش، زمان گلدهی می‌تواند تا اواخر آذر ماه در استان‌های خراسان رضوی و جنوبی به تعویق افتد. اسماعیلی و همکاران (7) به ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر امکان توسعه دو گونه هسته دار با ریزمقیاس نمایی داده‌های مدل گردش عمومی پرداختند، آن‌ها با تاکید بر عوامل محدود کننده همچون وقوع یخبندان مناطق مورد توسعه کشت محصول مورد نظر را به‌دست آوردند. گاراژیان و عشقی (10) به بررسی نیاز سرمایی رقم‌های انگور تجاری استان فارس پرداختند. آن‌ها به نقل از دانشمندان دیگر به‌دلیل گرم شدن غیر طبیعی کره زمین در سال‌های آینده، میزان سرمای زمستان را برای تامین نیاز سرمایی درختان مناطق معتدله و از جمله انگور کافی ندانسته‌اند.

در سطوح بین‌المللی نیز مطالعات معدودی به‌طور کمی اثرات تغییر اقلیم و درجه حرارت‌های بالا را روی نیاز سرمایی گیاهان باغی مورد بررسی قرار داده‌اند، در حالی‌که بسیاری از آنها اثرات بالقوه منفی را مورد بحث قرار داده‌اند (5 و 11). هنسی و کلایتون گرین (12) نخستین افرادی بودند که تحقیقات خود را روی نیاز سرمایی، تحت شرایط گرمایش اقلیم جهانی انجام دادند. آن‌ها در کشور استرالیا از مدل یوتای اصلاح شده استفاده کردند, دو روش را برای بررسی تغییرات مقادیر نیاز سرمایی آینده به‌کار گرفتند. رهیافت آن‌ها، آنالیز حساسیت سناریوی طراحی شده برای سال 2030 می‌باشد. آنالیز حساسیت شامل افزودن دماهای 1/2 و 3 درجه‌سانتی‌گرادی به داده‌های تاریخی دما می‌باشد. به این معنی که افزایشِ دمایی ثابت، به همه مناطق اعمال شد تا مقایسه بین مکان‌ها برای بررسی اختلافات امکان پذیر شود. آنها سناریوهایی برای سال 2030 با استفاده از 5 مدل اقلیمی و دو سناریوی انتشار در نظر گرفتند. با این حال، این داده‌ها در حال حاضر قدیمی محسوب می‌شوند. اما در سال‌های اخیر، لودلینگ و همکاران (20) به تجزیه تحلیل‌های جهانی در راستای میزان تغییرات نیاز سرمایی بر طبق مدل دینامیک پرداختند. اگرچه این مدل با دیگر مدل‌های نیاز سرمایی برابری می‌کند (32)، اما به‌دلیل اندازه‌گیری آستانه‌های متفاوت در دمای

1- Weather Generator

پایین می‌تواند از نظر کاربردی محدودیت داشته باشد. لودلینک و براون (19)، با مقایسه نتایج مدل‌های یوتا، دینامیک و مدل 0–7/2 درجه سلسیوس در مقیاس جهانی اظهار داشتند این مدل‌ها به‌طور عمده منطقه‌ای و ناپایدار می‌باشند. همچنین آستانه‌های تعیین شده برای مدل‌های مختلف و ارقام متفاوت را نمی‌توان با استفاده از نتایج مدل‌های مختلف نیاز سرمایی تفسیر کرد. ازین‌رو برخی از دانشمندان به بررسی نیاز سرمایی با استفاده از دو یا چند مدل مختلف پرداخته‌اند (1، 17 و 33). در پژوهشی لودلینگ و همکاران (18) سه مدل رایج نیاز سرمایی را تحت شرایط اقلیمی کشور استرالیا ارزیابی نمودند. با مقایسه مطالعات دیگر، آن‌ها نشان دادند که مدل‌های مختلف نیاز سرمایی به گرمایش جهانی متاثر از تغییرات اقلیمی حساسیت بالایی دارند.

در خصوص تفسیر داده‌های پیش‌بینی اقلیمی، یکی از موارد و ملاحظات مهم در این مطالعات بررسی عدم قطعیت مدل گردش اقیانوسی-جوی (AOGCM[1]) برای آنالیزهای پیش بینی آینده می‌باشد، زیرا مدل‌ها نتایج کاملا متفاوتی را در پی دارند (35). سناریوهای مربوط به انتشار گازهای گلخانه‌ای نیز از گزارش ویژه IPCC برای کاربردی بودن نتایج در صورت اعمال سیاست‌های جهانی و منطقه‌ای در راستای سناریو محتمل، مورد استفاده قرار می‌گیرند.

در این پژوهش، سناریوهای‌های اقلیمی و انتشار مختلف با استفاده از سه مدل برآورد نیاز سرمایی برای بررسی تامین آن در دوره‌های آتی محاسبه شده‌اند. سناریوهای انتشار حدی و توازن نیز با در نظر گرفتن عدم قطعیت اختلالات دمایی در آینده استان همدان انتخاب شدند. از آنجا که استان همدان یکی از قطب‌های تولیدات باغی گیاه خزان‌دار نظیر گردو، انگور، سیب، هلو و شلیل است. با توجه به این نکته که بخش باغبانی مستلزم سرمایه گذاری، صرف وقت و هزینه هنگفت چند ساله است، انجام مطالعات مربوط به تغییر اقلیم می‌تواند میزان تاثیر تغییرات اقلیمی را شناسایی و این امکان را برای کشاورزان و دست اندرکاران فراهم نماید تا با اقداماتی همچون مکان گزینی صحیح باغات و تعیین الگوهای مناسب کشت، در جهت تعدیل اثرات تغییرات اقلیمی و رسیدن به توسعه پایدار اقدام نمایند. هدف اصلی در این پژوهش سنتز داده‌های آتی دمای بیشینه و کمینه هوا با استفاده از داده‌های تاریخی و بررسی اثر سناریوهای تغییر اقلیم بر مبنای خروجی مدل‌های گردش عمومی جو[2] (GCM) به‌منظور ارزیابی پتانسیل اقلیم آینده بر توانمندی تامین نیاز سرمایی درختان خزان‌دار در استان همدان می‌باشد.

مواد و روش‌ها

ایستگاه مورد بررسی

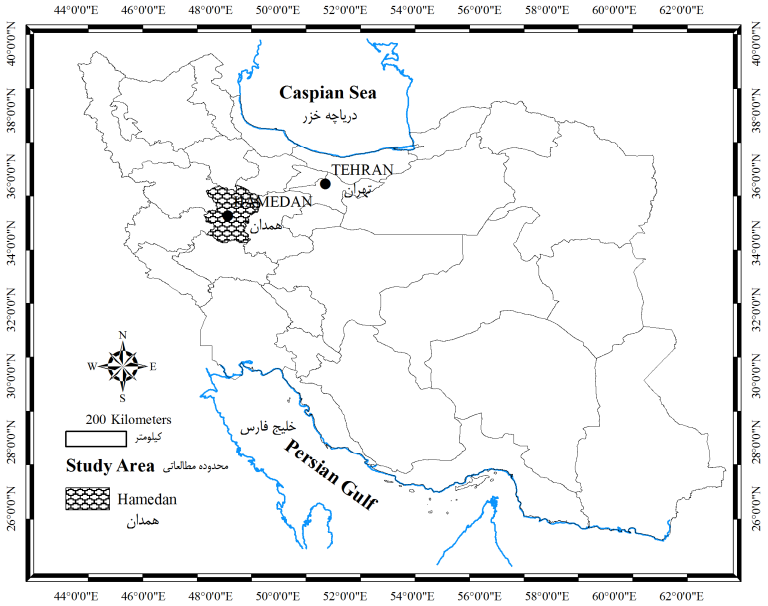
در این مطالعه برای بررسی پتانسیل تغییر اقلیم بر نیاز سرمایی گیاهان خزان‌دار از آمار روزانه ایستگاه سینوپتیک فرودگاه همدان استفاده شد. آمار روزانه (تاریخی) دوره زمانی پایه 2010-1980 میلادیِ قابل استفاده، پس از کنترل‌های آماری و پالایش، در نهایت جهت مدل‌سازی و برآورد مقادیر نیاز سرمایی استفاده شدند. این ایستگاه در طول جغرافیایی 48/53 درجه شرقی و عرض جغرافیایی 34/87 درجه شمالی در ارتفاع 1741/5 متری از سطح دریاهای آزاد واقع شده است. اقلیم آن طبق طبقه بندی دومارتن گسترش یافته، فراسرد نیمه خشک ارزیابی شده است. میانگین دمای هوا 11/3 با انحراف از معیار 1/83 درجه سانتی‌گراد و بارش سالیانه 317 میلی‌متر است. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد بررسی در شکل 1 نشان داده شده است.

مدل LARS-WG و انتخاب مدل‌های بزرگ مقیاس

در این پژوهش، عدم اطمینان ناشی از کاربرد شبیه‌سازهای گردش عمومی جو در دوره‌ی پایه برای منطقه‌ی همدان از چند مدل اقلیمی مورد تأیید گزارش چهارم IPCC (32) نظیر BCM2، HADCM3، GFCM21 و IPCM4 تحت سناریوهای انتشار حدی (A2 و B1) و توازنی (A1B) استفاده شد. برای پیش‌بینی و ارزیابی پیامدهای تغییر اقلیم در مقیاس منطقه‌ای و نقطه‌ای نمی‌توان به‌طور مستقیم از برونداد مدل‌های گردش عمومی استفاده نمود. بایستی به لحاظ رفتار اقلیمی ایستگاه مورد مطالعه برونداد آن‌ها ریزمقیاس شوند. ریزمقیاس‌نمایی داده‌های مدل‌های گردش عمومی جو به دو روش دینامیکی و آماری امکان‌پذیر است. اولین نسخه از مدل آماری مولد متغیرهای اقلیمی LARS-WG[3] در سال 1990 در بوداپست و بعنوان بخشی از پروژهٔ ارزیابی ریسک‌های کشاورزی در مجارستان توسعه داده شد (23). که هدف اصلی از این پروژه، کاستن خطا و جلوگیری از محدودیت‌های مدل زنجیرهٔ مارکوف در شبیه سازی رویدادهای بارندگی بود (24).

نسخهٔ ویرایش شدهٔ این مدل، که اکنون LARS-WG خوانده می‌شود، برای تولید سناریوهای تغییر اقلیم مورد استفاده در دو پروژه مطالعاتی عمده[4] (29) که توسط اتحادیهٔ اروپا حمایت مالی شده بودند، مورد استفاده قرار گرفت. اطلاعات بیشتر در مورد این سناریوهای اقلیمی در مطالعهٔ سمنوف و بارو (28) موجود است.

1- Atmosphere-Ocean General Circulation Model
2- General Circulation Models
3- Long Ashton Research Station Weather Generator
4- CLAIRE and CLIVARA



شکل 1- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه (استان همدان)

Figure 1-Geographical position of the study site (Hamedan province)

مدل LARS-WG (30)، بر اساس نتایج مطالعات راکسکو و همکاران (23) تدوین شده است. جهت تولید داده‌های دمای کمینه و بیشینه روزانه از توزیع نرمال و با شرط اینکه روز خشک یا مرطوب باشد، سری فوریهٔ جداگانه‌ای برای آن روزها برازش داده و از خودهمبستگی مرتبه یک (با تاخیر یک روزه) استفاده می‌کند. شبیه سازی مقادیر کمینه و بیشینه دمای روزانه بصورت فرآیندهای احتمالاتی که مقدار میانگین و انحراف استاندارد آن‌ها، وابسته به شرایط بارندگی روز مورد نظر می‌باشد، انجام می‌شود.

مدل‌های نیاز سرمایی

با فرا رسیدن فصل پاییز، رشد درختان خزان‌دار متوقف می‌شود. برگ‌های آنها می‌ریزد و در برابر سرمای زمستان مقاوم می‌شوند. در نهایت با پایان زمستان، رکود در گیاهان به‌طور طبیعی بوسیله سرمای زمستان شکسته می‌شود که مقدار سرمای مورد نیاز به گونه و رقم گیاهی بستگی دارد. حداقل زمان لازم برای سرمادهی یک رقم در طی فصل رکود که موجب از سرگیری رشد طبیعی آن در فصل رویش می‌شود در اصطلاح "نیاز سرمایی"[1] آن رقم نامیده می‌شود. عدم تأمین نیاز سرمایی درگیاهان خزان‌دار موجب کاهش رشد میان‌گره‌ای، ریزش زیاد جوانه‌ها، تأخیر در گل‌دهی و برگ‌دهی و کاهش میوه درخت حتی در سال پرمحصول فصل جاری می‌شود

1- Chilling requirement

(22). جهت برآورد مقادیر نیاز سرمایی زمستان از روش‌ها و مدل‌های متعددی استفاده می‌شود. علی رغم وجود اطلاعات اندک در خصوص فرآیندهای نیاز سرمایی (6)، پاسخ‌های فیزیولوژیکی اغلب توسط مدل‌هایی برپایه درجه حرارت برآورد می‌شوند (3). در این پژوهش از مدل‌های 0–7/2 درجه سلسیوس (2 و 36)، مدل یوتا (26) و یوتای اصلاح شده (16) استفاده شده‌است.

مدل 0–7/2 درجه سلسیوس یک تابع تک‌مرحله‌ای است که نیاز سرمایی یک ساعت را برای هر بازه زمانی با دمایی در بین 0–7/2 درجه سلسیوس ثبت می‌کند. مدل یوتا (16) مدل 0–7/2 درجه سلسیوس را ساده سازی کرد. این مدل دارای چند درجه حرارت بهینه سرمادهی است که به هر واحد سرمادهی با درجه حرارت‌های بهینه در فرآیند سرمادهی اعمال می‌شود. این مدل اثرات منفی درجه حرارت‌های بالا روی سرمادهی و بهاره سازی با دماهای بیشتر از 15 درجه را توجیه می‌کند. مدل یوتا برخلاف دیگر مدل‌ها، سرمادهی اولیه در ابتدای زمستان را با گرمایش آخر فصل جبران می‌کند. حال آن‌که مدل یوتای مثبت گرمایش آخر فصل را در نظر نمی‌گیرد. توصیفات ریاضی هر سه مدل برآورد نیاز سرمایی توسط داربیشیر و همکاران (5) ارائه شده‌اند. معادلات ریاضی این سه مدل به‌ترتیب در روابط 1 تا 3 آمده است. که در آن‌ها، حرف اختصاری CH معرف مدل ساده 0-7/2 نیاز سرمایی و UT و UTpos به‌ترتیب نماینده مدل یوتا و یوتای مثبت می‌باشد. هم‌چنین در تمامی روابط برآورد نیاز سرمایی، حرف T معادل دمای ساعتی هوا، بر حسب درجه سانتی‌گراد است.

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

$$UT = \sum_{i=1}^{t} T_{U},\quad \text{with } T_{U} = \begin{cases} T \le 1.4^{\circ}C & :0 \\ 1.4^{\circ}C < T \le 2.4^{\circ}C & :0.5 \\ 2.4^{\circ}C < T \le 9.1^{\circ}C & :1 \\ 9.1^{\circ}C < T \le 12.4^{\circ}C & :0.5 \\ 12.4^{\circ}C < T \le 15.9^{\circ}C & :0 \\ 15.9^{\circ}C < T \le 18.0^{\circ}C & :-0.5 \\ T \ge 18.0^{\circ}C & :-1 \end{cases} \quad (2)$$

$$UTpos = \sum_{i=1}^{t} T_{U+},\ \text{with } T_{U+} = \begin{cases} T \le 1.4^{\circ}C & :0 \\ 1.4^{\circ}C < T \le 2.4^{\circ}C & :0.5 \\ 2.4^{\circ}C < T \le 9.1^{\circ}C & :1 \\ 9.1^{\circ}C < T \le 12.4^{\circ}C & :0.5 \\ T \ge 12.4^{\circ}C & :0 \end{cases} \quad (3)$$

$$d = 1 - \left[\frac{\sum (S - O)^2}{\sum \left(|S - \bar{O}| + |O - \bar{O}| \right)^2} \right],\ 0 \le d \le 1 \quad (4)$$

با نظر به این‌که داده‌های دمایی ثبت شده در ایستگاه هواشناسی بصورت کمینه و بیشینه روزانه است، و مدل‌های محاسبه نیاز سرمایی فوق، نیاز به داده‌های ساعتی دارند، بایستی با روشی مناسب و دقت قابل قبول داده‌های روزانه را به ساعتی تبدیل نمود و به خورد این مدل‌ها داد. جهت تبدیل داده‌های بیشینه و کمینه دمای شبانه روزی به داده‌های ساعتی، از روش‌های مختلف نجومی (17) و مدل‌سازی دما و میانیابی (16) استفاده شد. بدین صورت در نرم افزار متلب (MATLAB R2009a) برنامه‌ای نوشته شد که بتواند با داشتن کمینه و بیشینه دمای روزانه برای هر ساعت دمای هوا را تولید نماید. با مقایسه ابتدایی روش‌های مختلف مشخص شد روش میان‌یابی برای ایستگاه مورد نظر کارایی بهتری دارد و نتایج از دقت بیشتری برخوردار بود. به‌طوری که داده‌های ساعتی تولید شده از روش میانیابی توانسته بیش از 80 درصد (ضریب تعیین نقاط پراکنش داده‌های تبدیل شده در برابر داده‌های واقعی دما) داده‌های واقعی را توجیه نماید. نمایه توافق d[1] (9) نیز مطابق رابطه 4 تعریف می‌شود.

که مقادیر بین صفر و یک را اختیار می‌کند. هرچه مقدار d به عدد یک نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده دقت و صحت بیشتر نتایج برآورد مدل مورد نظر می‌باشد. در این تحقیق نمایه توافق برای تبدیل داده‌های روزانه به ساعتی ایستگاه هواشناسی همدان برابر 0/95 بوده است. در رابطه 4، S معرف داده‌های برآورد شده و O معرف داده‌های مشاهده شده و $\bar{O}$ متوسط داده‌های مشاهده‌شده است.

جهت بررسی روند تامین نیاز سرمایی از نمودارهای سری زمانی و تغییرات روند در کل دوره و دهه آخر، به‌صورت بصری و آماری استفاده شد. همچنین جهت تعیین وجود اختلاف‌های معنی‌دار از آزمون فرض ناپارامتری اسمیرنوف استفاده شد. این آزمون به‌عنوان یک آزمون تطابق توزیع برای داده‌های کمی است. آزمون کلموگروف- اسمیرنوف یکی از قوی‌ترین آزمون‌های ناپارامتری و جانشین مفیدی برای آزمون t استیودنت است (4). در این آزمون فرض‌های صفر و یک به این صورت هستند. H_0: (توزیع مطابقت دارد)، تفاوت معنی‌داری بین نیاز سرمایی در آینده اقلیمی با مقادیر کنونی وجود ندارد. H_1: (توزیع مطابقت ندارد)، تفاوتی معنی‌دار بین نیاز سرمایی در آینده اقلیمی با مقادیر کنونی وجود دارد. چنان‌چه در این آزمون معیار تصمیم (P-Value)، کمتر از 5 درصد باشد فرض صفر رد می‌شود، یعنی داده‌ها نمی‌توانند از یک توزیع خاص مانند نرمال، پواسون، نمایی یا یکنواخت پیروی نمایند، یا به‌عبارتی تفاوتی معنی‌دار بین تامین نیاز سرمایی در آینده اقلیمی با مقادیر کنونی وجود دارد.

نتایج و بحث

نتایج این پژوهش پس از فرآیند داده‌پالایی و مقیاس‌کاهی خروجی مدل‌های بزرگ مقیاس به روش آماری مورد بررسی قرار گرفت. پس از مدل‌سازی و تولید داده‌های ساعتی دما در برنامه MATLAB مبتنی بر روش‌های بیان شده، مقادیر نیاز سرمایی برای دوره تاریخی و آینده برآورد شد. با بررسی ابتدایی از سری زمانی گذشتهِ نیاز سرمایی مطابق شکل 2 مشخص شد، اگرچه در کل دوره تاریخی داده‌های هواشناختی موجود، مقادیر نیاز سرمایی در فصل زمستان یک روندِ به‌نسبت رو به‌رشدی داشته، اما این افزایش معنی‌دار نبوده و تغییرات نیاز سرمایی در دهه آخر دوره آماری، رو به کاهش و قابل توجه بوده است. به‌طوری که در مدل یوتا و یوتای مثبت به میزان 30 تا 40 درصد از انباشت سرمای زمستانه مورد نیاز برای شکستن خواب گیاه نسبت به ابتدای دوره آماری کاهش یافته است. نکته‌ی دیگر که به ماهیت برآورد این مدل‌ها مربوط می‌شود و آن این است به طور مشترک با گرم‌ترشدن فصل زمستان روند تامین نیاز سرمایی یا بعبارتی تعداد ساعاتی که درجه‌حرارت‌های اقلیمی که در حافظه گیاه شمرده می‌شوند در اقلیم فراسرد همدان بعد از افزایش و رسیدن به درجه‌حرارت‌های مطلوب (صفر تا 7 درجه) که در زمستان‌های اوایل دوره اقلیمی کمتر بوده موجب روند افزایشی در کل پنجره زمانی شده است. از طرفی در دهه‌ی اخیر دوره اقلیمی با گرمتر شدن زمستان تامین نیاز سرمایی روند کاهشی را نشان‌می‌دهد. با توجه به گرمایش جهانی در دهه اخیر (13) و ادامه یافتن این روند در استان همدان (14)، نتایج این پژوهش نیز حاکی از ادامه روند کاهشی و از لحاظ آماری معنی‌دار مقادیر نیاز سرمایی در فصل زمستان در دهه‌های آینده می‌باشد. به طور کلی با بررسی عدم قطعیت در مدل‌ها

1- Index of agreement (d)

و سناریوهای مختلف می‌توان در مجموع روند کاهشی را برای مقادیر نیاز سرمایی پذیرفت. کم شدن مقدار ساعات سرمایشی در فصل زمستان، یعنی گیاه در معرض مقدار سرمای مورد نیاز خود برای شکسته‌شدن خواب قرار نمی‌گیرد. عدم شکوفه‌دهی و زمان‌های غیر یکنواختِ رسیدگی میوه عواقب ناشی از این کاهش و سرمای ناکافی متاثر از تغییرات اقلیمی می‌باشد (21 و 22).

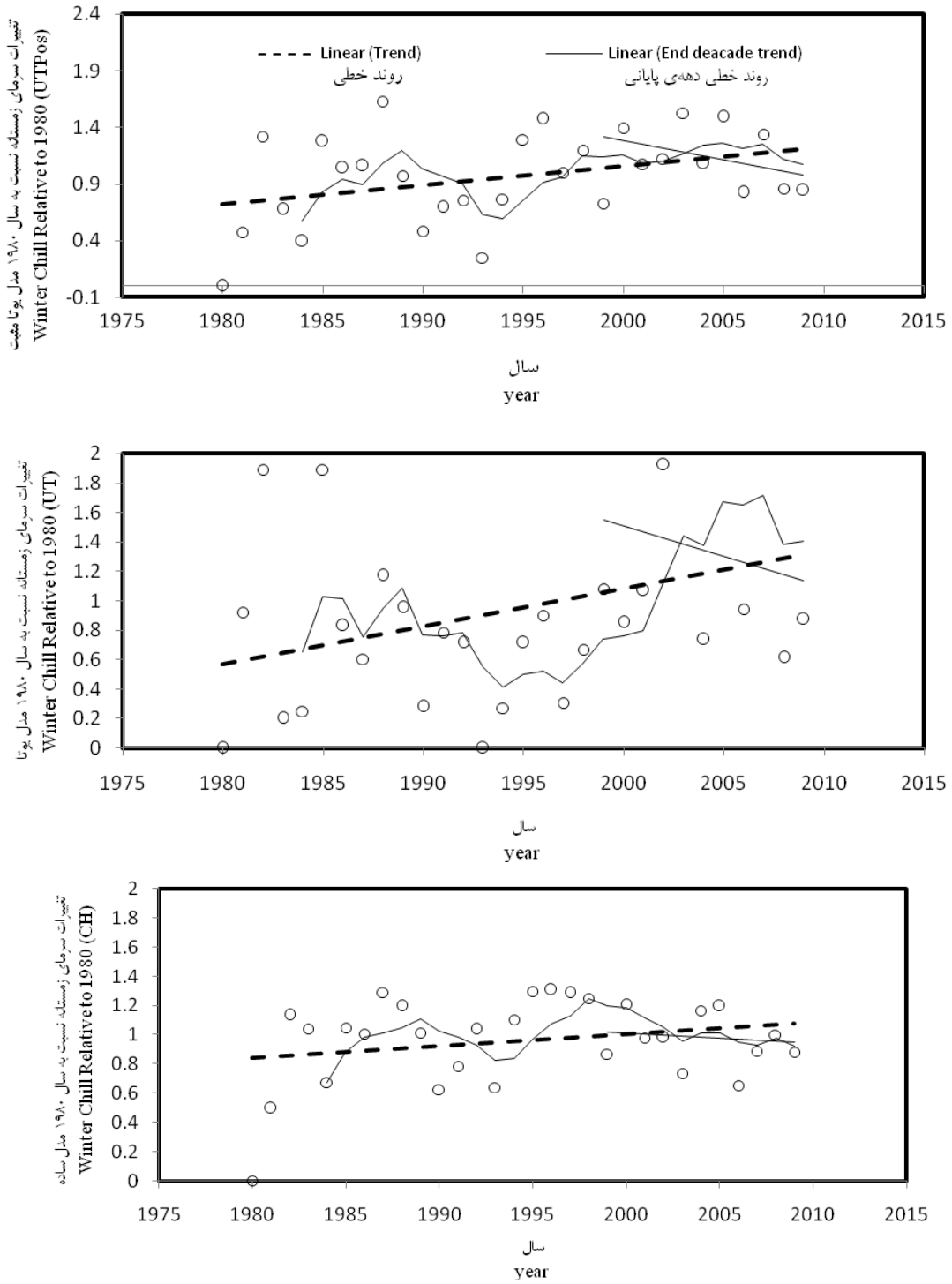
برای ارزیابی عدم قطعیت تغییرات اقلیمی آتی از سه سناریوی انتشار (32)، چهار سناریوی اقلیمی (29) که پیش‌تر بیان شد، مقادیر نیاز سرمایی مطابق با سه مدل مختلف به‌دست آمد. در این تحقیق از چهار سناریویِ اقلیمی مورد تأیید گزارش چهارم IPCC (34) نظیر BCM2، HADCM3، GFCM21 و IPCM4 در دو سناریو انتشار محتمل حدی (A2 و B1) و یک سناریوی توازنی (A1B) انتشار گازهای گلخانه‌ای استفاده شد. با بررسی و ارزیابی داده‌های تولیدشده ساعتی هوا، متوسط نیاز سرمایی در سه افق زمانی تا سال 2050 به‌دست آمده و با هم مقایسه شدند. بازه زمانی سال‌های 1980 تا 2010 به‌عنوان داده‌های تاریخی و فواصل بین 2011-2030 و 2031 - 2050 به‌ترتیب نماینده آینده اقلیمی نزدیک و دور انتخاب شده‌اند. نخست از 80 درصد داده‌های دوره پایه (تاریخی) برای ورودی مدل LARS استفاده شد. بعد از سنجش توانمندی مدل برای تولید داده‌های کمینه (d=0/88) و بیشینه دما (d=0/95)، از کل دوره تاریخی برای ریزمقیاس نمایی خروجی مدل‌های بزرگ مقیاس استفاده شد.

روند تامین نیاز سرمایی حاکی از آن است که در افق زمانی آینده نزدیک (2030-2010) تغییرات سرمای زمستانه معنی‌دار و قابل محسوس نیست. اما متوسط نیاز سرمایی در آینده دور (2050-2030) نشان دهنده یک اختلاف معنی‌دار در روند تامین نیاز سرمایی زمستانه گیاهان خزان‌دار می‌باشد. به‌عبارتی نیاز سرمایی درختان خزان‌داری که مقادیر نیاز سرمایی‌آن‌ها در محدوده مورد بحث باشد در آینده دور (دهه‌های 2030 و 2040 میلادی) به دلیل کاهش قابل توجه و معنی‌دار برای گلدهی با مشکل مواجه خواهند شد. نتایج تغییرات روند تامین نیاز سرمایی (+ افزایشی و - کاهشی) مطابق جدول 1 برای مدل‌های متفاوت نشان داده شده است. مقادیر برآورد شده نیاز سرمایی حاکی از آن است که اختلاف معنی‌داری بین نتایج مدل‌های بزرگ مقیاس متفاوت وجود نداشته است. همچنین به‌خاطر ماهیت مدل‌های برآورد نیاز سرمایی، تفاوت فاحشی بین مقادیر برآورد شده نیاز سرمایی زمستانه در سناریوهای مختلف وجود ندارد. اما در همه سناریوهای انتشار، حساسیت مدل نیاز سرمایی به افزایش درجه حرارت در افق زمانی آینده دور (2050-2031) قابل توجه است. به‌طوری‌که مطابق جدول 1 در مدل یوتا (UT) در همه‌ی سناریوهای مورد مطالعه ضریب تغییرات 25 تا 40 درصد کاهشی مشاهده می‌شود. برآورد مقادیر تامین نیاز سرمایی در این پژوهش بر اساس شرایط اقلیمی گذشته و سناریوهای اقلیمی آتی برای فصل زمستان در مدت زمان آغاز خزان (اواخر آبان) تا پایان رکود گیاه (اواخر اسفند) در استان همدان می‌باشد. به‌عبارتی مقادیر عددی برآوردشده با مدل‌های مختلف حاصل تجمیع ساعاتی از شبانه روز در هر سال هستند که دمای بحرانی مورد نظر برای شکستن رکود را فراهم می‌کند. در نهایت مقایسه با دیگر پژوهش‌های داخلی (7، 10 و 15) که در مورد برخی گیاهان خزان‌دار خاص انجام شده این پژوهش مبنی بر این اساس که میزان نیاز سرمایی هر رقم گیاهی تغییر نمی‌کند، نتایج برآوردهای اقلیمی آن می‌تواند برای دیگر ارقام قابل تعمیم باشد. برای مثال در تحقیق گاراژیان و عشقی (10) نیاز سرمایی برخی از ارقام انگور تجاری در استان فارس مورد بررسی قرار داده‌اند، که در تیمارهای مختلف در شرایط آزمایشگاهی میزان شگفتن جوانه‌ها مورد شمارش قرار گرفت، بیشترین آن مربوط به تیمارهایی بود که تامین نیاز سرمایی به‌طور کامل صورت پذیرفت و در مواردی با تیمارهای گرم تا 75 درصد از توان شگفتن جوانه کاسته شد.

با توجه به کاهش معنی‌دار در حدود 10 تا 40 درصدیِ مقادیر برآورد شده تامین نیاز سرمایی در آینده، حاصل از خروجی‌های این پژوهش و همخوانی دیگر پژوهش‌های بین المللی (12 و 18) مبنی بر گرم‌تر شدن فصل زمستان، کافی نبودن مقادیر تامین نیاز سرمایی در اقالیم مختلف و روند روبه کاهشی دهه آخر در داده‌های تاریخی همدان می‌توان با قطعیت بالا روند کاهشی تامین نیاز سرمایی را نتیجه گرفت. بنابراین با توجه به این مسئله که مقدار نیاز سرمایی گیاهان خزان‌دار ثابت بوده و برای تامین سرما و خارج شدن از رکود و به شکوفه رفتن آن تعداد ساعاتی مشخص باید در معرض سرما باشد، آگاهی از میزان تغییرات آن در آینده برای انتخاب رقم مناسب امری اجتناب ناپذیر خواهد بود.

نتیجه‌گیری کلی

با بررسی نتایج به‌دست آمده از این تحقیق و با مرور نتایج پژوهش‌های پیشین (10) و به نقل از دیگر دانشمندان (1، 17، 20 و 33) به‌دلیل گرم شدن غیر طبیعی کره زمین در سال‌های آینده، میزان سرمای زمستانه برای تامین نیاز سرمایی درختان خزان‌دار کافی نیست. با توجه به یافته‌های این پژوهش کم‌تر شدن مقادیر ساعات سرمایشی مورد نیاز برای خارج شدن از رکود به‌عنوان یکی از پیامدهای تغییر اقلیم در استان همدان می‌تواند گل‌دهی درختان خزان‌دار با نیاز سرمایی بالاتر از مقادیر موجود (بر اساس پتانسیل اقلیمی) را به تاخیر بیاندازد. به عبارتی ارقامی که نیاز به سرمای بیشتری برای خارج شدن از رکود دارند در آینده با مشکل مواجه شده و به دلیل عدم تامین نیاز سرمایی با تاخیر در گلدهی و حتی عدم تشکیل جوانه کاهش محصول را متحمل می‌شود.



شکل 2- تغییرات نسبی تامین سالانه نیاز سرمایی زمستانه درختان خزان‌دار نسبت به سال 1980 در ایستگاه همدان برای سه مدل یوتا مثبت، یوتا و مدل ساده صفر-7/2 درجه سانتی‌گراد

Figure 2- Relative change in annual winter chill as compared to 1980, in Hamedan, as run for three Models (Utha, Posetive Utha and CH 0-7.2)

جدول1- نتایج آزمون ناپارامتری تطابق توزیع و چگونگی تغییر مقادیر تامین نیاز سرمایی در دوره آتی

Table 1-Results of non-parametric test for disturbition accordance to chilling data in future and baseline

مدل بزرگ مقیاس (Large scale model)	مدل نیاز سرمایی (Chill model)	سناریوهای انتشار (Emission scenarios)	سطح معنی داری (significant level)	میانگین نیاز سرمایی در دوره (Mean of chilling requirement)		CV%	(+ or -)
				1980-2010	2031-2050		
HADCM3	CH	A1B	p <0.025	903.2	1022.9	13.3	+
		A2	p <0.025	903.2	1023.4	13.3	+
		B1	p >0.05	903.2	1019.3	12.9	+
	UT	A1B	p >0.10	87.9	56.9	-35.2	-
		A2	p >0.10	87.9	63.5	-27.8	-
		B1	p >0.10	87.9	60.2	-31.5	-
	UTPos	A1B	p > 0.01	1741.8	1612.1	-7.4	-
		A2	p >0.10	1741.8	1672.2	-4.0	-
		B1	p <0.025	1741.8	1631.2	-6.3	-
GFCM21	CH	A1B	p < 0.025	903.2	1034.8	14.6	+
		A2	p <0.025	903.2	1023.4	13.3	+
		B1	p >0.05	903.2	1019.3	12.9	+
	UT	A1B	p >0.10	87.9	66.4	-24.4	-
		A2	p >0.10	87.9	63.5	-27.8	-
		B1	p >0.10	87.9	60.2	-31.5	-
	UTPos	A1B	p >0.05	1741.8	1697.8	-2.5	-
		A2	p >0.10	1741.8	1672.2	-4.0	-
		B1	p <0.025	1741.8	1631.2	-6.3	-
BCM2	CH	A1B	p > 0.01	903.2	1024.6	13.4	+
		A2	p <0.025	903.2	1023.4	13.3	+
		B1	p >0.05	903.2	1019.3	12.9	+
	UT	A1B	p >0.10	87.9	57.0	-35.1	-
		A2	p >0.10	87.9	63.5	-27.8	-
		B1	p >0.10	87.9	60.2	-31.5	-
	UTPos	A1B	p >0.05	1741.8	1622.1	-6.9	-
		A2	p >0.10	1741.8	1672.2	-4.0	-
		B1	p <0.025	1741.8	1631.2	-6.3	-
IPCM4	CH	A1B	p > 0.005	903.2	1049.8	16.2	+
		A2	p <0.025	903.2	1023.4	13.3	+
		B1	p >0.05	903.2	1019.3	12.9	+
	UT	A1B	p >0.10	87.9	64.7	-26.4	-
		A2	p >0.10	87.9	63.5	-27.8	-
		B1	p >0.10	87.9	60.2	-31.5	-
	UTPos	A1B	p >0.10	1741.8	1716.7	-1.4	-
		A2	p >0.10	1741.8	1672.2	-4.0	-
		B1	p <0.025	1741.8	1631.2	-6.3	-

نظر به این‌که بیش از 60 درصد از باغ‌های استان همدان را گیاهان خزان‌دار تشکیل می‌دهند و این استان یکی از قطب‌های تولید محصولات خشکبار (نظیر گردو) است و حمایت‌هایی از سوی دولت‌مردان در این بخش به اصلاح باغات گردو پیش بینی شده‌است (34)، لذا پیشنهاد می‌شود جهت اتخاذ تصمیمات بهینه مدیریتی با درنظرگرفتن تغییرات احتمالی در نیازسرمایی راهکارهایی برای آینده باغات، جهت سازگاری با این پدیده اقلیمی پیش بینی گردد. برخی از این راهکارها و پیش بینی‌ها می‌تواند توسعه هدفمند باغات جدید، اصلاح باغات موجود (مدیریت بهینه)، استفاده از تکنولوژی‌های نو در تهیه و تولید نهال (مقاوم) مورد نیاز، کاهش اثرات تنش‌های محیطی، استفاده از ارقام گردو با نیاز سرمایی کمتر، آبیاری مناسب و اصولی (آبیاری قطره‌ای) و احداث باغ در مکان‌های مناسب‌تر (مناطق مرتفع‌تر و شیب‌های رو به شمال) باشد. علاوه بر این راهکارهای کلی، در راستای کاهش خسارات این پدیده زیانبخش اقلیمی بایسته است مطالعات میدانی بیشتر و دقیق‌تری انجام شود. تا با انتخاب ارقام مناسب و سازگار با اقلیم هر محل، به‌خصوص تغییرات اقلیمی آتی بهره‌وری اقتصادی در زمان اوج برداشت از باغات افزایش یابد.

منابع

1- Albuquerque N., Garcia-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 requirements. Environmental and Experimental Botany, 64: 162-170.
2- Bennett J. 1950. Temperature and bud rest period: Effect of temperature and exposure on the rest period of deciduous plant leaf buds investigated. California Agriculture, 4: 11-16.
3- Cesaraccio C., Spano D., Snyder R.L., Duce P. 2004. Chilling and forcing model to predict bud-burst of crop and forest species. Agricultural and Forest Meteorology, 126: 1-13.
4- Corder G.W., Foreman D.I. 2009. Nonparametric statistics for non-statisticians: a step-by-step approach. Wiley.com.
5- Darbyshire R., Webb L., Goodwin I., Barlow S. 2011. Winter chilling trends for deciduous fruit trees in Australia. Agricultural and Forest Meteorology, 151: 1074-1085.
6- Dennis F.G. 1994. Dormancy: what we know (and don't know). HortScience, 29: 1249-1254.
7- Esmaeili R., Ataei 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 Sustainable Agriculture and Production Science, 2(1): 145-162. (in Persian with English abstract).
8- Fishman S., Erez A., Couvillon G. 1987. The temperature dependence of dormancy breaking in plants: computer simulation of processes studied under controlled temperatures. Journal of Theoretical Biology, 126: 309-321.
9- Fox D. 1981. Judging air quality model performance: A summary of the AMS workshop on dispersion models performance. Bulletin of the American Meteorological Society, 62: 599-609.
10- Garajian M. and Eshghi S. 2013. Investigation of joinery grapes chilling requirement in Fars proviance. Journal of Horticultural Science, 26(4): 394-401. (in Persian)
11- Harrington C.A., Gould P.J., St Clair J.B. 2010. Modeling the effects of winter environment on dormancy release of Douglas-fir. Forest Ecology and Management, 259: 798-808.
12- Hennessy K.J., Clayton-Greene K. 1995. Greenhouse warming and vernalisation of high-chill fruit in southern Australia. Climatic Change, 30: 327-348.
13- IPCC, 2007. Climate change 2007: synthesis report, A. in Allali, et al., Editors. p. 23-73.
14- Karimi Kakhaki M. and Sepehri A. 2010. Climate change trends of two period in Hamedan and Tabriz. Journal of Science in Water and Soil, 20.1(4): 143-155. (in Persian).
15- Koocheki A., Nassiri M., Alizadeh A. and Ganjeali A. 2009. Modelling the impact of climate change on flowering behaviour of Saffron (*Crocus sativus* L.). Journal of Iranian Field Crop Research, 7(2): 583-594. (in Persian with English abstract).
16- Linvill D.E. 1990. Calculating chilling hours and chill units from daily maximum and minimum temperature observations. HortScience, 25: 14-16.
17- Luedeling E., Zhang M., Luedeling V., Girvetz E.H. 2009a. Sensitivity of winter chill models for fruit and nut trees to climatic changes expected in California's Central Valley. Agriculture, Ecosystems & Environment, 133: 23-31.
18- Luedeling E., Zhang M., McGranahan G., Leslie C. 2009b. Validation of winter chill models using historic records of walnut phenology. Agricultural and Forest Meteorology, 149: 1854-1864.
19- Luedeling E., Brown P.H. 2011. A global analysis of the comparability of winter chill models for fruit and nut trees. International Journal of Biometeorology, 55: 411-421.
20- Luedeling E., Girvetz E.H., Semenov M.A., Brown P.H. 2011. Climate change affects winter chill for temperate fruit and nut trees. PLoS One, 6(5): e20155.
21- Oukabli A., Bartolini S., Viti R. 2003. Anatomical and morphological study of apple (Malus X domestica Borkh.) flower buds growing under inadequate winter chilling. Journal of Horticultural Science & Biotechnology, 78: 580-585.
22- Petri J.L., Leite G.B. 2003. Consequences of insufficient winter chilling on apple tree bud-break. VII International Symposium on Temperate Zone Fruits in the Tropics and Subtropics. 662, pp. 53-60.
23- Racsko P., Szeidl L., Semenov M. 1991. A serial approach to local stochastic weather models. Ecological Modeling, 57: 27-41.
24- Richardson C.W. 1981. Stochastic simulation of daily precipitation, temperature, and solar radiation. Water Resources Research, 17: 182-190.
25- Richardson C.W., Wright D.A. 1984. WGEN: A model for generating daily weather variables. ARS.
26- Richardson E.A., S.S., Walker D. 1974. A model for estimating the completion of rest for Red haven and Elbert peach tree. HortScience, 9: 331-332.
27- Saure M. 1985. Dormancy release in deciduous fruit trees. Horticultural Reviews. 7: 239-300.

28- Semenov M.A., Barrow E.M. 1997. Use of a stochastic weather generator in the development of climate change scenarios. Climatic change, 35: 397-414.
29- Semenov M.A., Barrow E.M. 2002. LARS-WG A Stochastic Weather Generator for Use in Climate Impact Studies. User Manual.
30- Semenov M.A., Brooks R.J., Barrow E.M., Richardson C.W. 1997. Comparison of the WGEN and LARS-WG stochastic weather generators for diverse climates. Climate Research, 10: 95-107.
31- Srikanthan R., McMahon T. 1999. Stochastic generation of annual, monthly and daily climate data: A review. Hydrology and Earth System Sciences, 5: 653-670.
32- Susan S. 2007. Climate change 2007-the physical science basis: Working group I contribution to the fourth assessment report of the IPCC. Cambridge University Press.
33- Viti R., Andreini L., Ruiz D., Egea J., Bartolini S., Iacona C., Campoy J. 2010. Effect of climatic conditions on the overcoming of dormancy in apricot flower buds in two Mediterranean areas: Murcia (Spain) and Tuscany (Italy). Scientia Horticulturae, 124: 217-224.
34- Walnut Strategy in Iran. 2012. Report of the Center for Coordination Science and walnut industry. 88p.
35- Watterson I.G. 2012. Understanding and partitioning future climates for Australian regions from CMIP3 using ocean warming indices. Climatic Change, 111: 903-922.
36- Weinberger J. 1950. Chilling requirements of peach varieties. Proceedings. American Society for Horticultural Science, pp. 122-128.