

## ارزیابی الگوهای برآورد نیاز سرمایی زمستانه با استفاده از داده‌های مشاهده‌ای پدیده‌شناختی درخت سیب در ارومیه

رضا نوروز ولاشدی<sup>۱</sup> و علی اکبر سبزی پرور<sup>۲\*</sup>

۱ و ۲. دانشجوی سابق دکتری و استاد، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۲/۹ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۴/۱)

### چکیده

در درختان سیب مرحله گلدهی در رویارویی با دماهای پایین و یخبندان در اوایل بهار بسیار آسیب‌پذیر و زمان شکفتن گل‌ها یکی از مراحل مهم در چرخه سالانه رشد درخت سیب به شمار می‌رود. بنابراین، پیش‌بینی دقیق هنگام رخداد آن با یک الگوی توانمند می‌تواند در مدیریت خطر دماهای پایین دیررس بهاره اهمیت داشته باشد. در این پژوهش از سه الگوی نیاز سرمایی ساده (CH)، یوتا (UM) و دینامیکی (DM) برای تجمع ساعت‌های سرمایی در فصل زمستان استفاده شده است. هدف از این پژوهش مقایسه عملکرد و بررسی توانمندی الگوهای نیاز سرمایی در پیش‌بینی زمان مراحل مختلف پدیده‌شناختی (فنولوژی) درخت سیب در شمال غرب ایران است. بدین منظور، از داده‌های پدیده‌شناختی درخت سیب به مدت سیزده سال و آمار درازمدت ۲۸ ساله میانگین کمینه دما و بیشینه دمای روزانه هوا در ایستگاه تحقیقات هواشناسی کهریز واقع در استان آذربایجان غربی برای ارزیابی الگوهای نیاز سرمایی استفاده شد. نتایج اعتبارسنجی خروجی الگوها نشان داد که الگوی دینامیکی برای برآورد زمان دقیق گلدهی در منطقه مورد بررسی با ریشه میانگین مربعات خطای (RMSE) کمتر از چهار روز و با خطای نسبی کمتر از ۳ درصد، توانمندترین الگو در تجمع ساعت‌های سرمایی و گرمایشی است. همچنین، با توجه به توزیع آماری داده‌های کمینه دمای هوا در درازمدت، احتمال خطر آسیب و زیان دماهای پایین پس از تاریخ‌های معین برآورد شد. نتایج توزیع آماری در مقایسه با برآورد الگوها نشان داد، رقم‌های زود گل که پیش از پنجم فروردین جوانه‌های گل آن‌ها فعالیت خود را آغاز می‌کنند، با احتمال خطر ۵۰ درصد در معرض خطر سرمازدگی دیررس بهاره قرار دارند.

**واژه‌های کلیدی:** الگوهای برآورد نیاز سرمایی، الگوی دینامیکی، ساعت‌های سرمایی، گلدهی، سرمای دیررس بهاره.

## Evaluation of winter chill requirement models using the observed apple tree phenology data in Kahriz (Urmia, Iran)

Reza Norooz Valashedi<sup>1</sup> and Ali Akbar Sabziparvar<sup>2\*</sup>

1, 2. Former Ph.D. Student and Professor, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

(Received: Feb. 28, 2015 - Accepted: Jun. 21, 2016)

### ABSTRACT

The flowering phase of apple trees is the most critical step in relation with low temperatures and frost events. Therefore, forecasting the time of flowering is important. If a model can predict the exact time of flowering, it would be feasible to care for flowers against late spring freezing (LSF). In this study, we evaluated three temperature-base chilling models namely: Chilling Hours (CH), Utah Model (UM) and Dynamic Model (DM) versus the observed phenological records of apple tree (13 years) in Kahriz (Urmia, Iran). The said models were applied to explain their efficiency and ability for predicting apple phenological dates. The study was performed for apple cultivars in Kahriz station by using phenological observations, daily minimum temperature and maximum screen temperature data (2002-2014). The winter chilling was determined by the three chilling models and remaining heat was estimated using the Growing Degree Hour concept. The model results showed that the Dynamic Model (DM) performed the best results in explaining apple flowering phenology stage with RMSE of lower than four days and relative errors less than 3%. Meanwhile, the probability of LSF was estimated by statistical distributions. By comparing the probability of frost occurrence with the date of the predicted flowering date, the risk of frost damage on apple flowering was determined. The results demonstrated that early flowering varieties, which their flower buds are activated before 25th of March, are exposed to LSF risk, with probability of 50 percent.

**Keywords:** chilling hours, chilling requirement, dynamic model, flowering, late spring frost.

## مقدمه

سیب یکی از کهن‌ترین درختان میوه خزان‌دار در جهان است و قابلیت سازگاری در اقلیم‌های مختلف را دارد. بنا بر آخرین آمار سازمان خواربار و کشاورزی (FAO)<sup>۱</sup>، در سال ۲۰۱۳ ایران با تولید نزدیک به ۳ میلیون تن سیب در جهان از ۱۹۸ هزار هکتار سطح زیر کشت، رتبه نهم را در جهان دارد (FAOSTAT, 2015). بنابر آمار سازمان جهاد کشاورزی، استان آذربایجان غربی (سهم ۲۶ درصدی) با تنوع رقم‌های مختلف سیب زودرس، متوسط و دیررس رتبه نخست تولید و سطح زیر کشت سیب بارور کشور را دارد (MAJ, 2015). سرمازدگی و توالی دماهای پایین در بهار یک خطر جدی برای تولید محصولات باغبانی به‌ویژه سیب است. به نقل از برخی منابع علمی (Farajzadeh et al., 2010) از بین رفتن گل‌های درخت سیب در فصل بهار هنگامی که در معرض دماهای پایین‌تر از صفر درجه قرار بگیرند، حتمی است. بنابراین انتخاب رقم‌های مناسب با اقلیم محل، مقاوم به دماهای پایین با توجه به تاریخ‌های گلدهی می‌تواند راهگشا باشد. از آنجاکه 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 (Nekoonam et al., 2012). از این‌رو، بررسی تأمین نیاز سرمایی و پیش‌بینی تاریخ گلدهی در اقلیم‌های متفاوت نقشی اساسی در تولید موفق محصولات باغی و خشکبار در تجارت جهانی ایفا می‌کند.

خواب زمستانه یک جنبه کلیدی در چرخه سالانه گیاهان خزان‌دار باغی مانند سیب به شمار می‌آید. درخت سیب برای شکوفایی نیازمند شکستن رکود زمستانه است (Saure, 1985). اگرچه اطلاعات کاملی راجع به فرآیند نیاز سرمایی درختان در اختیار نیست، اما پاسخ فیزیولوژیکی درختان در برابر مقادیر سرما اغلب با الگوهایی که پایه آن دماست، برآورده می‌شود (Cesaraccio et al., 2004). از بین الگوهای موجود به‌طور عمده الگوهای  $0-7/2$  درجه سلسیوس

(Weinberger, 1950)، یوتا (Darbyshire et al., 2011)، یوتای اصلاح‌شده (Linville, 1990) و الگوی دینامیک (Fishman et al., 1987) توسط محققان باغبانی استفاده می‌شوند. همه این الگوها به‌رغم داشتن سطوح مختلف پیچیدگی، نیاز سرمایی را با رویارویی گیاه در برابر چند آستانه دمایی مشخص تعریف می‌کنند. الگوی  $0-7/2$ ، یوتا و دینامیک سه الگوی پرکاربرد، از بی‌شمار الگوهایی هستند که در نقاط مختلف جهان استفاده شده‌اند (Luedeling, 2012; Weinberger, 1950). مرور اجمالی بررسی‌های انجام‌شده در جهان از بین الگوهای موجود نشان می‌دهد، به‌رغم تنوع الگوهای برآورد نیاز سرمایی ارزیابی بر مبنای دو رهیافت نظری و عملی بر پایه داده‌های اقلیمی و پدیدشناختی (فنولوژی) محصول بررسی می‌شود. برخی بررسی‌ها بر پایه اندازه‌گیری میدانی و شرایط کنترل‌شده بر گیاهان خزان‌داری مانند گیلاس (Alburquerque et al., 2008)، پسته (Javanshah et al., 2005)، گردو (Luedeling & Gassner, 2012)، زردآلو (Zhuang et al., 2013) و سیب (Farajzadeh et al., 2010; Yazdanpanah et al., 2010) و دیگر پژوهش‌ها بر پایه اطلاعات و آمار بر پایه فرضیه برآورد نیاز سرمایی برای عموم گیاهان خزان‌دار انجام شده است، که در اغلب مناطق جهان مدل پیشنهادی (Fishman et al., 1987) را تأیید کرده‌اند (Darbyshire et al., 2011; Luedeling & Brown, 2011; Luedeling et al., 2009).

در کشور ما بررسی‌های اندکی بر چگونگی برآورد و میزان درست بودن نتایج الگوهای نیاز سرمایی یادشده انجام شده است، البته فرج‌زاده و همکاران در سال ۲۰۱۰ بر پایه تجمیع ساعت‌های سرمایی هنگام رخداد رهایی از رکود جوانه‌های درخت سیب را برآورد و احتمال رویارویی با یخبندان دیررس بهاره را محاسبه کردند (Farajzadeh et al., 2010). لذا کمتر مسئله ارزیابی و توانمندی الگوهای برآورد نیاز سرمایی مورد توجه قرار گرفته است. درحالی‌که برآورد نیاز سرمایی با توجه به مراحل پدیدشناختی گیاه در هر اقلیم می‌تواند متفاوت باشد. هدف این پژوهش بررسی میزان درستی برآورد الگوهای رایج نیاز سرمایی برای

1. Food and Agriculture Organization

لومی است، که بیشتر آن از گیاهان علفی و درختان میوه پوشیده شده است.

### مواد گیاهی

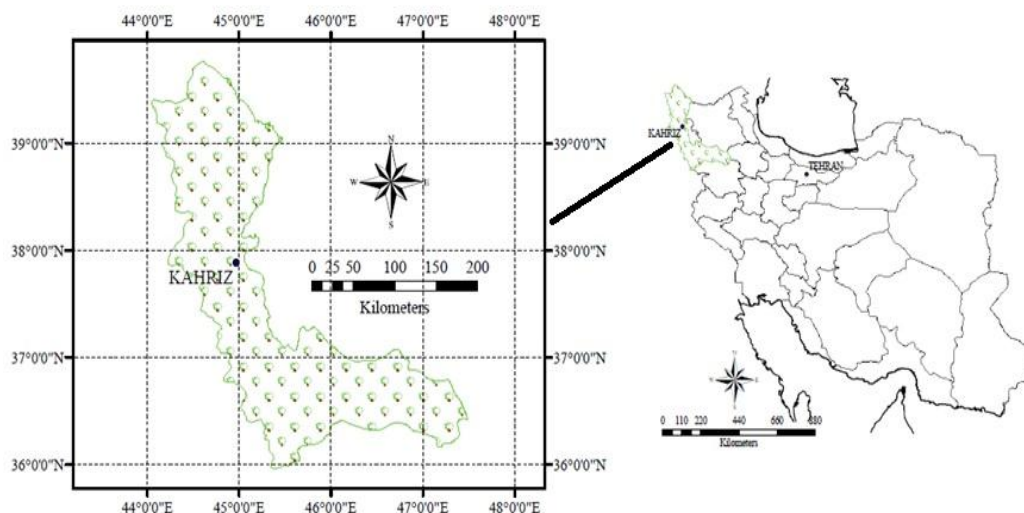
در این پژوهش برای بررسی توانمندی الگوهای تأمین نیاز سرمایی و گلدهی درختان سیب رقم مالینگ از داده‌های پدیدشناختی سیزده ساله (۱۳۸۱-۱۳۹۳) واقع در اداره تحقیقات هواشناسی کشاورزی کهرئز درون محدوده تحقیقاتی کشاورزی دکتر نخجوان از نواحی غرب شهر ارومیه استفاده شد. با توجه به هدف پژوهش و بررسی توانمندی الگوهای برآورد تأمین نیاز سرمایی زمستانه بر پایه شرایط آب و هوایی، برای تعیین زمان‌های گلدهی از آمار دمای هوا و تاریخ‌های پدیدشناختی سیب رقم گلدن بر پایه آمار سیزده ساله ثبت شده از مراحل پدیدشناختی (آغاز، پیشرفت و پایان مرحله‌هایی همچون خزان، شکفتن جوانه، گلدهی و ...) در باغ آزمایشی سیب اداره تحقیقات هواشناسی کشاورزی کهرئز استفاده شد. بنابر بررسی‌های Farajzadeh *et al.* (2010) و Yazdanpanah *et al.* (2010) و بدنه مدل ChillR تاریخ آغاز رخداد هر مرحله در کرت‌های آزمایشی برای بررسی نتایج الگوها به‌طور میانگین پیشرفت ۷۵ درصدی برای هر مرحله (فاز) در نظر گرفته شد (Luedeling, 2013).

پیش‌آگاهی از تاریخ گلدهی بر مبنای تجمیع نیازهای سرمایی و گرمایی درخت سیب است. با پیش‌بینی زمان رخداد مرحله پدیدشناختی توسط یک الگوی توانمند می‌توان احتمال خطرپذیری احداث باغ در اقلیم آن محل را محاسبه کرد، تا در نهایت رقم مناسب برای منطقه را پیشنهاد داد. هدف اصلی در این مقاله ارائه الگویی برتر برای پیش‌بینی تاریخ گلدهی سیب در اقلیم شمال غرب کشور است.

### مواد و روش‌ها

#### مشخصات جغرافیایی و اقلیمی منطقه مورد آزمایش

آمار روزانه دوره ۲۸ ساله ایستگاه هواشناسی کشاورزی کهرئز از پاییز سال ۱۳۶۶ تا بهار سال ۱۳۹۳ پس از کنترل کیفی، پالایش، رفع نواقص آماری و یافتن اطمینان از همگنی داده‌ها استفاده شد. ایستگاه هواشناسی کهرئز واقع در استان آذربایجان غربی، با ارتفاع ۱۳۳۶ متری از سطح دریاهای آزاد در ۳۷ درجه و ۵۲ دقیقه عرض شمالی و ۴۴ درجه و ۵۷ دقیقه طول شرقی است (شکل ۱). سردترین ماه سال، بهمن با دمای کمینه ۱۴- درجه سلسیوس و گرم‌ترین ماه سال مردادماه با بیشینه مطلق ۳۷ درجه سلسیوس، میانگین درازمدت دمای هوا ۱۳/۷ درجه سلسیوس است. بر پایه طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن اقلیم نیمه‌خشک دارد. نوع خاک آن رسوبی با بافت ریز-



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد بررسی درخت سیب در کهرئز استان آذربایجان غربی  
Figure 1. Geographical locations of apple farms in Kahriz (Western Azerbaijan, Iran)

در پاییز (برگریزان) در ۲۰ آبان آغاز و به‌طور میانگین تا شکفتن جوانه‌ها در ۱۰ اسفند ادامه می‌یابد، که برای برآورد نیاز سرمایی با استناد به مقاله (Luedeling, 2013) و (Campoy et al., 2011) استفاده شد. بنابر یافته‌های پژوهش حسب مشاهده‌های میدانی بر مبنای مدل ساده ۰ تا ۷/۲ درجه سبب رقم گلدن برای خارج شدن از رکود و آغاز فعالیت زیستی (بیولوژیکی) خود باید در حدود ۱۵۰۰ ساعت سرما در فصل زمستان ببیند. پس از شکفتن جوانه‌ها و تأمین نیاز گرمایی در حدود ۴۵۰۰ برحسب درجه-روز در اوایل فصل بهار گل‌ها باز می‌شود. تأمین نشدن نیاز سرمایی درختان سیب باعث تأخیر در گلدهی، گلدهی نامنظم و در نهایت کاهش عملکرد می‌شود (Campoy et al., 2011).

#### تجزیه و تحلیل داده‌ها

برای کار با داده‌های روزانه و ساعتی هواشناسی رسم نمودارها از نرم‌افزارهای آماری R 3.1.0, Excel و Minitab 14 استفاده شد. برای محاسبه احتمال خطر یخبندان و تاریخ رخداد آن (آغاز و پایان بروز دماهای آستانه) پدیده‌های اقلیمی از برازش توزیع نرمال در دوره آماری درازمدت هواشناسی استفاده شد. با استفاده از داده‌های هواشناسی کمینه و بیشینه دمای هوا در دوره سیزده ساله مشاهده‌های میدانی میزان‌های نیاز سرمایی با مدل ChillR (Luedeling, 2013) برآورد و تاریخ رخداد مرحله گلدهی برآورد شد. نتایج الگوها با میزان‌های مشاهده‌هایی تاریخ رخداد مرحله گلدهی در باغ سیب رقم گلدن مقایسه شد. برای بررسی نیکویی برازش توزیع میزان‌های برآوردشده با میزان‌های اندازه‌گیری‌شده از آزمون (کلوموکروف- اسمیرنوف) K-S در سطح معنی‌داری ۵ درصد استفاده شد. همچنین برای ارزیابی الگوهای برآورد نیاز سرمایی از سه نمایه آماری بنا بر رابطه‌های ۱ تا ۳ استفاده شده است:

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

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

تراکم باغ سیب رقم گلدن ۸۳۳ اصله در هکتار (فاصله ردیف‌های کاشت ۴ متر و فاصله درختان روی ردیف ۳ متر) بوده است که نیاز آبی آن به‌صورت غرقابی تأمین شده است. میانگین ارتفاع درختان سیب در آخرین سال اندازه‌گیری آماری ۲۳۰ سانتی‌متر، میانگین طول شاخه‌های جوان ۳۵ سانتی‌متر با میانگین ۲۵ برگ در شاخه‌های جوان بوده است که عملکردی در حدود ۱۵ تن در هر هکتار داشته است. همه مراحل پدیدشاختی درخت سیب در چهار کرت که به شمار پنج اصله درخت در آن وجود داشته، اندازه‌گیری شده است. مرحله رکود، شکفتن جوانه، گلدهی و به میوه رفتن هر درخت اندازه‌گیری و میانگین هر مرحله به‌صورت درصد بیان شد. در این تحقیق داده‌های پدیدشاختی مرحله آغاز گلدهی با شمارش گل‌های درختان هر کرت و میانگین‌گیری آن‌ها انجام شد. این عمل تا پایان مرحله گلدهی کامل هر دو روز یکبار انجام شد. طول مدت‌زمان آغاز تا پایان گلدهی برحسب درصد بیان شد. بنا بر پیشنهاد (Luedeling, 2013) گذشت ۷۵ درصدی از تاریخ آغاز گلدهی برای مقایسه و مدل‌سازی پیش‌بینی زمان گلدهی استفاده شد. تاریخ‌های مشاهده‌شده از بهار سال ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۳ در جدول ۲ ارائه شده است.

#### الگوهای نیاز سرمایی

به‌طور کلی الگوهای پرشماری برای تعیین ساعت‌های سرمایی در دوره رکود درختان خزان‌دار مناطق معتدله وجود دارد (Campoy et al., 2011). در این بررسی از الگوهای پرکاربردی مانند (Chilling Hours Model) (Dynamic Model) DM و UM (Utah Model) CH استفاده شده است. الگوی ساده CH یا ساعت‌های سرمایی (Bennett, 1950; Weinberger, 1950) از نخستین الگوهایی است که برای برآورد سرمای زمستانه، شمار ساعت‌های ۰ تا ۷/۲ درجه سلسیوس را در دوره رکود زمستانه محاسبه می‌کند. معادله ریاضی برآورد نیاز تجمعی سرما با هر سه الگوی دوره رکود در بررسی میدانی و یافته‌های پژوهش بر پایه آمار هواشناسی و مشاهده‌های پدیدشاختی در ایستگاه کهریز آغاز خزان

هواشناسی را تجربه کند. پژوهش‌های چندی نشان می‌دهد تغییر مرحله‌های پدیدشناختی گیاه بیشتر تحت تأثیر دمای هواست (Richardson *et al.*, 2013). همان‌طور که بیان شد، دماهای پایین در بهار احتمال خطر سرمازدگی را برای درخت سیب افزایش می‌دهد. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد به‌طور کلی در باغ‌های سیب پیش از تاریخ ۲۰ فروردین هر سال با دور بازگشت ۳۰ ساله و اطمینان ۹۹ درصد احتمال سرمازدگی بهاره بسیار جدی است (جدول ۱). توزیع داده‌های دمای کمینه بر مبنای تحلیل داده‌های هواشناسی بلندمدت ۲۸ ساله اقلیمی (۱۳۶۶-۱۳۹۳) نشان داد خطر سرمازدگی در رقم‌های زود گل بیشتر است. جدول ۱ که بر پایه تحلیل داده‌های هواشناسی به‌دست‌آمده احتمال برخورد گل‌های سیب با دماهای زیر صفر را در تاریخ مورد نظر پس از اول اسفند تا اواخر فروردین نشان می‌دهد. به عبارتی با احتمال ۹۹ درصد درختان سیب در کهریز با دماهای زیر صفر پس از تاریخ اول اسفند روبرویی خواهند شد. پس از اجرای الگوها و برازش توزیع‌های آماری، میزان‌های نیاز سرمایی به روش‌های UM، CH و DM برآورد شد. با توجه به نیازهای اقلیمی درخت سیب رقم گلدن و تجمیع ساعت‌های سرمایی در روش‌های مختلف در بهار سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۳ در ایستگاه هواشناسی کشاورزی کهریز ارومیه تاریخ گلدهی به دست آمد (جدول ۲).

$$MAPE = 100 \cdot \sum_{i=1}^n \frac{|S_i - O_i|}{|O_i|} \cdot \frac{1}{n} \quad (3)$$

که در این رابطه‌ها  $O$ ،  $\bar{O}$  و  $S$  به ترتیب نماینده تاریخ رخداد گلدهی مشاهده‌شده (روزشمار از مبدأ ژانویه)، میانگین مشاهده‌ها و میزان پیش‌بینی‌شده توسط الگو و  $n$  شمار داده‌ها است. نمایه RMSE ریشه میانگین مربعات خطا (Mean Squared Error Root) که در واقع خطای الگو را نشان می‌دهد، هرچه مقدارش کمتر باشد نشان‌دهنده عملکرد بهتر آن الگو برای پیش‌بینی تاریخ رخداد گلدهی است (Fox, 1981). نمایه EF بازده الگو (Modeling Efficiency) بدون بعد بوده و بنا بر رابطه ۲ می‌تواند مقادیر آن مثبت و یا منفی باشد اما هر چه به عدد یک نزدیک‌تر باشد بهتر است (Greenwood *et al.*, 1987). در مورد نمایه MAPE درصد بیشینه خطای مطلق (Maximum Absolute Percent Error) با توجه به رابطه ۳ تنها در مواردی که مقادیر اندازه‌گیری صفر باشد کارایی ندارد (Shaeffer, 1980). هر چه درصد خطا کمتر باشد الگوی مورد نظر با دقت بیشتری تاریخ رخداد گلدهی را پیش‌بینی می‌کند.

## نتایج و بحث

درخت سیب برای تکمیل مراحل رشد سالانه خود و گذر از هر مرحله پدیدشناختی بایستی شرایط مناسب آب و

جدول ۱. تاریخ و احتمال رخداد دماهای کمتر از صفر درجه سلسیوس پیش و پس از هر تاریخ روز معین از سال (Day Of Year) بر مبنای آمار درازمدت (۲۸ ساله) دمای هوا در ایستگاه هواشناسی کهریز

Table 1. Date and probability events (%) when temperatures are less than zero before and after the stated DOY (based on 28-year temperature records at Kahriz)

| Date (DOY)*                 | Probability of T< 0 C               | Probability of T< 0 C              |
|-----------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
|                             | events before the specified DOY (%) | events after the specified DOY (%) |
| 2 <sup>nd</sup> April (93)  | 90                                  | 10                                 |
| 30 <sup>th</sup> March (90) | 80                                  | 20                                 |
| 28 <sup>th</sup> March (88) | 70                                  | 30                                 |
| 25 <sup>th</sup> March (85) | 60                                  | 40                                 |
| 23 <sup>rd</sup> March (83) | 50                                  | 50                                 |
| 20 <sup>th</sup> March (80) | 40                                  | 60                                 |
| 18 <sup>th</sup> March (78) | 30                                  | 70                                 |
| 15 <sup>th</sup> March (75) | 20                                  | 80                                 |
| 9 <sup>th</sup> March (69)  | 10                                  | 90                                 |

\* Day of Year

جدول ۲. مقایسه تاریخ گلدهی پیش‌بینی‌شده با تاریخ‌های مشاهده‌ای در بهار سال ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۳

Table 2. Comparison between the predicted and observed flowering dates during Springs of 2001 to 2014.

| Predicted date of flowering (DOY)* |                              |                              | Observed date of flowering (DOY) | Year      |
|------------------------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------------|-----------|
| DM Model                           | UM Model                     | CH Model                     |                                  |           |
| 17 <sup>th</sup> April (108)       | 6 <sup>th</sup> April (97)   | 20 <sup>th</sup> April (111) | 19 <sup>th</sup> April (110)     | 2001-2002 |
| 23 <sup>rd</sup> April (114)       | 23 <sup>rd</sup> April (114) | 20 <sup>th</sup> April (111) | 19 <sup>th</sup> April (110)     | 2002-2003 |
| 18 <sup>th</sup> April (109)       | 16 <sup>th</sup> April (107) | 15 <sup>th</sup> April (106) | 18 <sup>th</sup> April (109)     | 2003-2004 |
| 26 <sup>th</sup> April (117)       | 13 <sup>th</sup> April (104) | 17 <sup>th</sup> April (108) | 23 <sup>rd</sup> April (114)     | 2004-2005 |
| 16 <sup>th</sup> April (107)       | 28 <sup>th</sup> April (119) | 12 <sup>th</sup> April (103) | 14 <sup>th</sup> April (105)     | 2005-2006 |
| 1 <sup>st</sup> May (122)          | 6 <sup>th</sup> May (127)    | 17 <sup>th</sup> April (108) | 23 <sup>rd</sup> April (114)     | 2006-2007 |
| 19 <sup>th</sup> April (110)       | 13 <sup>th</sup> April (104) | 17 <sup>th</sup> April (108) | 21 <sup>st</sup> April (112)     | 2007-2008 |
| 22 <sup>nd</sup> April (113)       | 11 <sup>th</sup> April (102) | 5 <sup>th</sup> May (100)    | 29 <sup>th</sup> April (120)     | 2008-2009 |
| 17 <sup>th</sup> April (108)       | 28 <sup>th</sup> March (88)  | 17 <sup>th</sup> April (108) | 18 <sup>th</sup> April (109)     | 2009-2010 |
| 14 <sup>th</sup> April (105)       | 18 <sup>th</sup> April (109) | 10 <sup>th</sup> April (100) | 17 <sup>th</sup> April (108)     | 2010-2011 |
| 15 <sup>th</sup> April (106)       | 15 <sup>th</sup> April (106) | 15 <sup>th</sup> April (106) | 18 <sup>th</sup> April (109)     | 2011-2012 |
| 12 <sup>th</sup> April (103)       | 29 <sup>th</sup> March (91)  | 3 <sup>rd</sup> April (94)   | 9 <sup>th</sup> April (100)      | 2012-2013 |
| 20 <sup>th</sup> April (111)       | 19 <sup>th</sup> April (110) | 22 <sup>nd</sup> April (113) | 21 <sup>st</sup> April (112)     | 2013-2014 |

\* Day of Year

نشان می‌دهد الگوی دینامیک با برآورد دقیق‌تر خود در بین الگوهای رایج تأمین نیاز سرمایی تاریخ دقیق‌تری را ارائه می‌دهد. نمایه آماری بازده الگو EF برای الگوی دینامیک به یک نزدیک‌تر است و میزان RMSE آن از همه الگوها کمتر است (جدول ۳).

برای بررسی توانمندی الگوهای برآورد نیاز سرمایی، نتایج خروجی هر کدام با تاریخ رخداد گلدهی مشاهده‌شده سبب رقم‌گدن مقایسه شد. نتایج پیش‌بینی تاریخ رخداد گلدهی بر پایهٔ جمعیت ساعت‌های سرمایی در جدول ۲ آمده است. نتایج

جدول ۳. مقایسهٔ مقادیر نمایه‌های ارزیابی الگوهای نیاز سرمایی برای پیش‌بینی زمان رخداد گلدهی و نتایج آمارهٔ تطابق توزیع

Table 3. Comparison of statistical indices for predicted flowering dates as obtained from studied chilling models

| Index                                      | Statistics of the observed and predicted dates of flowering |          |          |
|--|---|----------|----------|
|  | CH Model  | UM Model | DM Model |
| RMSE (Day)                                 | 4.4   | 10.8     | 3.8      |
| EF   | 0.2   | -4.1     | 0.4      |
| MAPE (%)                                   | 3.4   | 7.8      | 2.7      |
| K-S (based on observed distribution 0.140) | 0.167   | 0.122    | 0.134    |
| P-Value (ns: not significant)              | ns*   | ns       | ns       |

\* معنی‌دار نبودن (پذیرش فرض صفر در آزمون K-S، به عبارتی توزیع مقادیر برآوردی الگوها با توزیع مقادیر مشاهده‌ای تطابق دارد و الگوی DM کمترین اختلاف را دارد).

\* nonsignificatn (acceptance test the null hypothesis K-S, in other words, the distribution rates of the pattern of the distribution of observational data and model corresponds to the smallest difference DM).

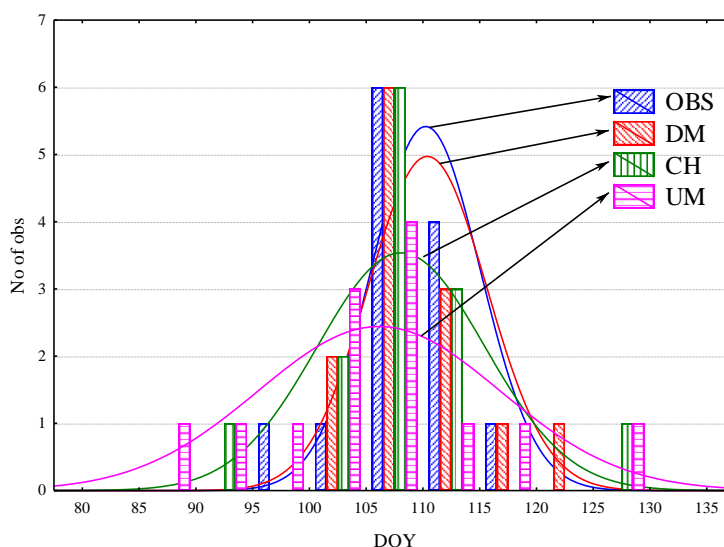
مشاهده‌ای (OBS) و برآوردشده الگوهای CH، UM و DM را برای مقایسه با یکدیگر نشان می‌دهد. به‌طور میانگین در محدودهٔ بهار سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۳ با احتمال ۵۰ درصد تاریخ گلدهی سبب پیش از تاریخ ۳۱ فروردین یا (DOY=110) است. الگوی DM نیز با خطای کمتر از ۳ درصد تاریخ گلدهی درخت سبب را با احتمال ۵۰ درصد پیش از همین تاریخ پیش‌بینی می‌کند. اما دو الگوی CH و UM به‌طور میانگین ۴ تا ۶ روز زودتر از تاریخ‌های واقعی رخداد مرحلهٔ گلدهی را برآورد می‌کنند. این امر می‌تواند به خاطر ماهیت این الگوها باشد. به‌طوری‌که در برخی از سال‌ها یک تا سه هفته تاریخ مرحلهٔ گلدهی درخت سبب را پیش‌تر از موعد برآورد می‌کنند. حال آنکه الگوی DM در

آزمون تطابق توزیع آماری داده‌های تاریخ گلدهی سبب آزمون کلوموکروف- اسمیرنوف (K-S Test) برای میزان‌های مشاهده‌ای ۰/۱۴۰ بوده است و آمارهٔ توزیع تاریخ‌های برآوردشده از الگوی دینامیک ۰/۱۳۴ بوده که کمترین اختلاف را برای برآورد تاریخ‌های گلدهی دارد، اگرچه از نظر آماری در سطح اطمینان ۹۵ درصد، پاسخ آزمون تطابق دیگر الگوها نیز معنی‌دار نیست (جدول ۳)، به عبارتی توزیع برآورد هر سه الگو از لحاظ آماری به واقعیت نزدیک است (شکل ۲).

اما بر مبنای نتایج این پژوهش، برتری و توان پاسخ فیزیولوژیکی الگوی دینامیک بیشتر از دیگر الگوهای استفاده شده است و تاریخ دقیق‌تری ارائه می‌دهد. شکل ۲ نمودار توزیع فراوانی تاریخ‌های

اردیبهشت بوده است که الگوی DM روز ۳ اردیبهشت را (با اختلاف هفت روز) برآورد کرده است حال آنکه دو الگوی CH و UM به ترتیب با اختلاف شش روز دیرتر و هجده روز زودتر برآورد کرده است. به طوری که در بهار ۱۳۹۲ الگوی DM با اختلاف سه روز و دیگر الگوها بیش از یک هفته تاریخ رخداد مرحله پدیدشناختی گلدهی را برآورد کرده‌اند.

بدترین شرایط کمتر از یک هفته خطا دارد. برای مثال در بهار سال‌های ۱۳۸۸ و ۱۳۹۲ که به ترتیب دیرترین (DOY=120) و زودترین (DOY=100) تاریخ‌های گلدهی سیب گلدن در ایستگاه کهریز رخ داده است (جدول ۲)، الگوی DM با عملکرد بهتری نسبت به دیگر الگوها تاریخ رخداد گلدهی را برآورد کرده است. برای بهار سال ۱۳۸۸ تاریخ رخداد مشاهده شده در روز ۱۰

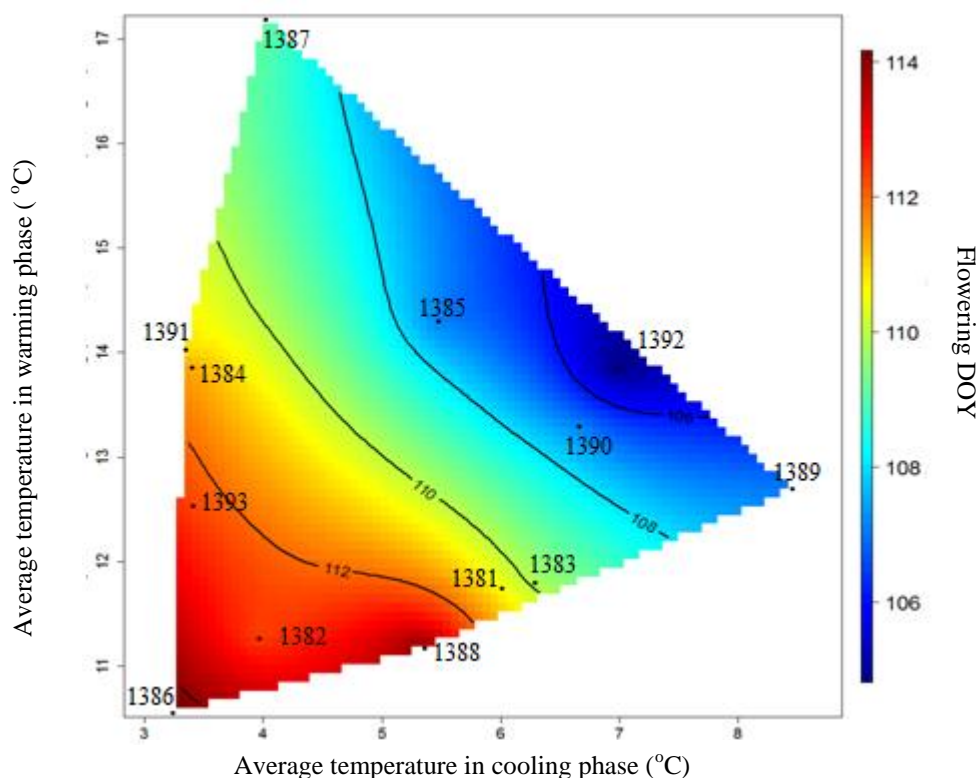


شکل ۲. توزیع فراوانی تاریخ گلدهی مشاهده شده (OBS) درخت سیب در مقایسه با میزان‌های برآورد شده با الگوها. (روزشمار از مبدأ ژانویه-DOY، مشاهده شده-OBS، مدل دینامیک-DM، مدل ساده-CH، مدل یوتا-UM)

Figure 2. Probability distribution of the observed apple flowering dates (OBS), in comparison with the model. Predicted dates (DOY: Day Of the Year; starts from the first of January); OBS (Observed); DM (Dynamic Model); CH (Chilling Hour Model); UM (Utah Model).

رقم گلدن را نسبت به تغییرپذیری دمای هوا در دو مرحله سرمایشی و گرمایشی در طول دوره آماری نشان می‌دهد. تفاوت اصلی که الگوی دینامیک با رهیافت‌های پیشین دارد، اهمیت دادن توالی دما در طول فصل سرد در مرحله سرمایشی است. بنابر الگوهای یوتا و ساعت‌های سرمایی قطع نظر از رخدادهای خاص جانبی برای دماهای یکسان به دقت نتایج و خروجی الگو همسان است. در حالی که در الگوی دینامیک فرآیندهای زیادی اثر متقابل تولید میزان نهایی نیاز سرمایی را مشروط به میزان متوسطی از سهم سرما در مدت زمان معلوم می‌کند، بنابراین در این الگو دماهای همسان در زمان‌های مختلف فصل سرد، تأثیر متفاوتی در تجمع سرما دارد (Luedeling, 2012).

ماهیت الگوی دینامیک انباشت سرما در دو مرحله است که تأثیر منفی دماهای بالا و همچنین تداوم دماهای بحرانی را لحاظ می‌کند. در حالی که الگوهای دیگر انباشت سرما، یک تابع تک مرحله‌ای هستند که با تجمع ساعت‌های سرمایی در محدوده تعریف شده در الگو تا ظهور مرحله پدیدشناختی گیاه تاریخ مورد نظر را پیش‌بینی می‌کنند. به نقل از Zhang & Taylor (2011) مدل دینامیک به دلیل ماهیت نایکنواخت با زمان نسبت به دیگر الگوها که مدت سرما را به طور همگن با زمان محاسبه می‌کنند، برتری و دقت بیشتری دارد. زیرا الگوی دینامیک قابلیت انباشت سرما در دو مرحله متفاوت را دارد. نمودار شکل ۳ حساسیت رخداد مرحله گلدهی درخت سیب



شکل ۳. تأثیر میانگین دمای هوا در طول دورهٔ مرحلهٔ سرمایش (محور افقی) و گرمایشی (محور عمودی) بر تاریخ گلدهی درخت سیب (روزشمار از مبدأ ژانویه -DOY- بر خطوط هم‌میزان از آغاز سال میلادی است و نقاط مشکی در محدودهٔ نمودار تاریخ‌های مشاهده‌شدهٔ مرحلهٔ گلدهی در بهار سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۳ است).

Figure 3. The effect of average air temperature for cooling (X axis) and warming (left Y axis) phases on the date of flowering (DOY; right Y axis); small black circles on figure are the observed flowering DOY during Springs of 1381 (2001) to 1393 (2014).

نتایج این پژوهش نشان داد افزایش یا کاهش دمای هوا در طول دورهٔ آماری به میزان ۲ تا ۳ هفته می‌تواند منجر به جابه‌جایی زمان رخداد مرحلهٔ پدیدشناختی درخت سیب شود. این تغییر با توجه به خطر سرمازدگی دماهای پایین در بهار تا ۵۰ درصد احتمال آسیب دیدن گل‌ها را به همراه دارد. بررسی‌های انجام‌شده توسط *Farajzadeh et al.* (2009) و *Eccel et al.* (2010) و *Oukabli et al.* (2010) و *Yazdanpanah et al.* (2010) که تنها از روش‌های آماری استفاده کرده‌اند، در بهترین پیش‌بینی آن‌ها کمترین RMSE برابر هفت روز به‌دست‌آمده است حال‌آنکه دقت برآورد تاریخ گلدهی با استفاده از مدل‌های نیاز سرمایی در این پژوهش کمتر از چهار روز بوده است. برای مثال *Farajzadeh et al.* (2010) با ترکیب بیش از ۵۵ حالت از میزان‌های نیاز سرمایی با دماهای بحرانی مختلف با به

در این پژوهش در کنار الگوهای سادهٔ پیشین از الگوی پیچیدهٔ دینامیک با رهیافتی متفاوت استفاده شد. همان‌طور که نتایج تحلیل تغییر دما در دو مرحلهٔ سرمایشی و گرمایشی آمار سیزده ساله در ایستگاه کهرئز نشان می‌دهد، از آغاز خزان (میانگین تاریخ رخداد برگ‌ریزان درخت سیب در کهرئز ۲۰ آبان) لغایت ۱۰ فروردین که احتمال شکفتن جوانه‌ها در نتیجهٔ تأمین ساعت‌های سرمایی می‌رود بین ۳ تا ۸ درجهٔ سلسیوس است و محدودهٔ دمای هوا در مرحلهٔ گرمایشی که پس از تأمین نیاز سرمایی تا شکوفایی گل درخت سیب ادامه دارد، بین ۱۰ تا ۱۸ درجهٔ سلسیوس است. همان‌طور که در منحنی‌های هم‌میزان شکل ۳ نشان داده‌شده است، تاریخ گلدهی با تغییر ۵ درجهٔ سلسیوسی دمای هوا در مرحلهٔ سرمایشی در طول دورهٔ آماری به میزان ده روز زودتر رخ می‌دهد.



تجمع آن در طول دوره رویش سالانه روز گلدهی را پیش‌بینی می‌کنند. از بین الگوهای پرشمار برآورد نیاز سرمایی در این تحقیق از سه الگوی انتخابی CH، UM و DM استفاده شد. نتایج نشان داد که الگوی DM کمترین خطا را در برآورد بهینه انباشت ساعت‌های سرمایی در مقایسه با اندازه‌گیری‌های میدانی داشته است. برخلاف روش‌های آماری چندی مانند روش رگرسیونی، شبکه‌های عصبی و ... که برای پیش‌بینی مراحل پدیدشناختی درختان خزان‌دار در کشور ما استفاده شده است، نتایج این تحقیق بر مبنای الگوهای برآورد نیاز سرمایی با توجه هواشناسی و پدیدشناختی دقت بیشتری در نتایج نهایی ارائه می‌دهند. به طوری که RMSE الگوی دینامیک در این تحقیق کمتر از چهار روز بوده است که در مقایسه با نتایج تحقیق Yazdanpanah *et al.* (2010) به روش شبکه عصبی با RMSE برابر یازده روز برای مرحله گلدهی سیب در شمال شرق ایران و بررسی Farajzadeh *et al.* (2010) به روش بیشینه درستی با RMSE برابر هفت روز، برتری دارد. در نهایت الگوی نیاز سرمایی دینامیک با رهیافتی متفاوت بر پایه انباشت سرما و نیازهای گرمایشی مؤثر پس از تأمین نیاز سرمایی با خطایی کمتر از ۳ درصد در طول سیزده سال داده‌برداری در باغ سیب آزمایشی با دقت شایان پذیرشی تاریخ دقیق گلدهی سیب را پیش‌بینی می‌کند. الگوهای مورد بررسی نشان داد با کمترین داده می‌توان تاریخ دقیق مراحل پدیدشناختی را تعیین کرد. البته با بررسی‌های بیشتر در مورد دیگر گیاهان خزان‌دار در اقلیم‌های ایران می‌توان به اثبات فرضیه توانمندی مدل‌های نیاز سرمایی زمستانه در جهت انتخاب رقم‌های مناسب پیش از کاشت و مدیریت باغ‌ها پرداخت.

کمینه رسانی میزان‌های RMSE به پیش‌بینی تاریخ شکفتن جوانه پرداختند. در بهترین حالت‌های ممکن RMSE بین میزان‌های پنج تا هفت روز بوده است، در حالی که RMSE پیش‌بینی رخداد مرحله پدیدشناختی در این تحقیق با الگوی دینامیک کمتر از چهار روز شده است. در تحقیقات پیشین از روش‌های آماری و دوره زمانی استفاده شده است، حال آنکه در روش الگوهای نیاز سرمایی زمستانه نتایج به دلیل توجیه فیزیکی و هواشناسی دقت بالاتری داشته است، که قابل‌تعمیم به اقلیم‌های همسان خواهد بود.

### نتیجه‌گیری کلی

این پژوهش با هدف ارزیابی برخی از الگوهای پرکاربرد تأمین نیاز سرمایی برای برآورد میزان‌های جمعی سرما و پیش‌بینی تاریخ رخداد گلدهی درخت سیب رقم گلدن برای یک دوره داده‌برداری سیزده ساله پدیدشناختی (فنولوژی) این محصول و داده‌های هواشناسی در شرایط اقلیمی ایستگاه تحقیقاتی هواشناسی کشاورزی کهزیز ارومیه انجام شد. نتایج این پژوهش نشان داد که دقت برآورد انباشت سرما توسط الگوی دینامیک از دیگر الگوها برای تعیین زمان مراحل پدیدشناختی سیب بیشتر است. نتایج با هدف ارزیابی الگوها و معرفی الگوی برتر برای برآورد زمان رخداد مرحله‌های پدیدشناختی درخت سیب رقم نشان داد که با کمترین شمار متغیرهای اقلیمی در یک محل مانند دمای کمینه و دمای بیشینه هوا در طول ساعت‌های شبانه‌روز بر پایه انباشت دماهای پدیدشناختی می‌توان تاریخ رخداد هر کدام از مرحله‌های رشد و نمو درختان خزان‌دار را با دقت شایان پذیرشی پیش‌بینی کرد. این الگوهای ساده با توجه به نیاز سرمایشی و گرمایشی روزانه گیاه و

### REFERENCES

1. 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 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. Campoy, J., Ruiz, D. & Egea, J. (2011). Dormancy in temperate fruit trees in a global warming context: A review. *Scientia Horticulturae*, 130, 357-372.

4. 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.
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. Eccel, E., Rea, R., Caffarra, A. & Crisci, A. (2009). Risk of spring frost to apple production under future climate scenarios: the role of phenological acclimation. *International Journal of Biometeorology*, 53, 273-286.
7. Farajzadeh, M., Rahimi, M., Kamali, G.A. & Mavrommatis, T. (2010). Modelling apple tree bud burst time and frost risk in Iran. *Meteorological Applications*, 17, 45-52.
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. FAOSTAT. (2015). Food and Agricultural Organisation of the United Nations, FAO statistical databases. <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/E>
10. 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.
11. Greenwood, D., Verstraeten, L., Draycott, A. & Sutherland, R. (1987). Response of winter wheat to N-fertiliser: Dynamic model. *Fertilizer Research*, 12, 139-156.
12. Javanshah, A., Alipour, H. & Hadavi, F. (2005). A model for assessing the chill units received in Kerman and Rafsanjan areas. *Acta Horticulturae*, 726, 221-226.
13. Linvill, D.E. (1990). Calculating chilling hours and chill units from daily maximum and minimum temperature observations. *HortScience*, 25, 14-16.
14. 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.
15. Luedeling, E. & Gassner, A. (2012). Partial least squares regression for analyzing walnut phenology in California. *Agricultural and Forest Meteorology*, 158, 43-52.
16. Luedeling, E. (2012). Climate change impacts on winter chill for temperate fruit and nut production: A review. *Scientia Horticulturae*, 144, 218-229.
17. Luedeling, E., (2013). ChillR: statistical methods for phenology analysis in temperate fruit trees. R package. version 0.54.
18. Luedeling, E., Gebauer, J. & Buerkert, A. (2009). Climate change effects on winter chill for tree crops with chilling requirements on the Arabian Peninsula. *Climatic Change*, 96, 219-237.
19. MAJ, Ministry of Agriculture Jihad, Database Center. Iran (2015). <http://www.maj.ir/Portal/Home/#>
20. Nekoonam, F., Fattahimoghadam, M. & A. Ebadi. (2012). A study of the environmental factors affecting some of the biological characteristics of flower in four iranian commercial apricot cultivars. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 43, 175-187.
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. Richardson, A.D., Keenan, T.F., Migliavacca, M., Ryu, Y., Sonnentag, O. & Toomey, M. (2013). Climate change, phenology, and phenological control of vegetation feedbacks to the climate system. *Agricultural and Forest Meteorology*, 169, 156-173.
23. Saure, M. (1985). Dormancy release in deciduous fruit trees. *Horticultural Reviews*, 7, 239-300.
24. Shaeffer, D.L. (1980). A model evaluation methodology applicable to environmental assessment models. *Ecological Modelling*, 8, 275-295.
25. Weinberger, J. (1950). Chilling requirements of peach varieties. *Proceedings American Society for Horticultural Science*, 56, 122-128.
26. Yazdanpanah, H., Ohadi, D. & Soleimani, M. (2010). Forecasting different phenological phases of apple using artificial neural network. *Journal of Research in Agricultural Science*, 6, 97-106.
27. Zhang, J. & Taylor, C. (2011). The Dynamic model provides the best description of the chill process on 'Sirora' pistachio trees in Australia. *HortScience*, 46, 420-425.
28. Zhuang, W., Gao, Z., Wang, L., Zhong, W., Ni, Z. & Zhang, Z. (2013). Comparative proteomic and transcriptomic approaches to address the active role of GA4 in Japanese apricot flower bud dormancy release. *Journal of Experimental Botany*, 64, 4953-4966.