

برآورد نیاز سرمایی و گرمایی جوانه‌های گل سه رقم تجاری زردآلو با استفاده از مدل‌های مختلف

فاطمه نکونام^۱، محمدرضا فتاحی مقدم^{۲*} و ذبیح اله زمانی^۲

۱ و ۲. دانشجوی سابق دکتری و استاد، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۱/۵ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۴/۲۸)

چکیده

برآورد نیاز سرمایی و گرمایی جوانه‌های گل درختان میوه و پیش‌بینی زمان گلدهی برای انتخاب رقم مناسب برای یک منطقه و پیشگیری از سرمازدگی دیررس بهاره ضروری است. بدین منظور نیاز سرمایی و گرمایی سه رقم تجاری زردآلو با نام‌های نوری، شاهرودی و نصیری در شرایط آب و هوایی کرج در سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۲ با استفاده از مدل‌های سرمایی (مدل یوتا، دینامیکی و ساعت‌های سرمایی) و مدل گرمایی آندرسون برآورد شد. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی اجرا شد. بنا بر نتایج، محدوده نیاز سرمایی رقم نوری ۹۵۱-۱۱۰۰ واحد سرمایی، ۴۱-۵۳ بخش سرمایی و ۶۹۶-۸۸۸ ساعت سرمایی، رقم شاهرودی ۱۴۰۰-۱۰۹۳/۵ واحد سرمایی، ۶۳-۵۸ بخش سرمایی و ۱۱۰۰-۹۴۵ ساعت سرمایی و رقم نصیری ۱۲۸۶-۱۰۷۱ واحد سرمایی، ۶۳-۴۷ بخش سرمایی و ۱۰۰۸-۷۶۸ ساعت سرمایی برآورد شد. نیاز گرمایی رقم‌های نوری، شاهرودی و نصیری به ترتیب معادل ۴۲۱۶/۵-۳۹۶۴/۵، ۳۵۸۷-۳۱۴۰ و ۴۴۷۷/۷-۴۸۵۹/۷ ساعت درجه رشد برآورد شد. مدل دینامیکی نسبت به دو مدل یوتا و ساعت‌های سرمایی همگونی بیشتری در محاسبه نیاز سرمایی داشت به طوری که کمترین درصد تغییرپذیری در سال‌های مختلف با مدل دینامیک ایجاد شد. همبستگی نیاز سرمایی با نیاز گرمایی منفی و بالا ($r = -0/54$) بود. ارتباط بین نیاز سرمایی و تاریخ گلدهی مثبت و همبستگی بالا ($r = 0/51$) داشت. اما ارتباط بین نیاز گرمایی و تاریخ گلدهی بسیار پایین و همبستگی کم داشت. با توجه به نتایج، نیاز سرمایی عامل مؤثرتری نسبت به نیاز گرمایی در تغییر تاریخ گلدهی رقم‌های زردآلو در شرایط آب و هوایی کرج است.

واژه‌های کلیدی: رکود، گلدهی، مدل یوتا، مدل دینامیکی، مدل ساعت‌های سرمایی.

Evaluation of chilling and heat requirements of flower buds in three commercial apricot cultivars by using different models

Fateme Nekoonam¹, Mohammadreza Fattahi Moghaddam^{2*} and Zabih-ollah Zamani²

1, 2. Former Ph.D. Student and Professor, University College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
(Received: Jan. 25, 2016 - Accepted: Jul. 18, 2016)

ABSTRACT

Estimating chilling and heat requirement of flower buds in fruit trees is important due to predicting flowering time for appropriate site selection to escape spring frost damage. In this research, chilling and heat requirements of three apricot cultivars (namely 'Noori', 'Nasiri' and 'Shahroodi') were estimated by chilling models (Chilling Hours, Utah and Dynamic) and Anderson heat model during 4 years (2009 to 2013) under Karaj climate condition. Based on different chilling models estimations, chilling requirements in apricot cultivars were estimated about 951-1100 chilling units, 41-53 chilling portion and 696-888 chilling hours in 'Noori', 1071-1286 chilling units, 47-63 chilling portion and 768-1008 chilling hours in 'Nasiri' and 1093.5-1400 chilling units, 58-63 chilling portion and 945-1100 chilling hours in 'Shahroodi'. Heat requirements for flowering in 'Noori', 'Shahroodi' and 'Nasiri' were estimated about 3964.5-4216.5, 3140-3587 and 4477.7-4859.7 growing degree-hours (GDH), respectively. Based on the results, the Dynamic model was more homogeneous rather than the Utah and Chilling Hour models in different years with showing lower coefficient of variation (4.95%) among different years. Results showed a high positive correlation between chilling requirement and flowering date, but negative correlation found between chilling and heat requirements. According to results, chilling requirement is an affective factor on change of flowering date in comparison to heat requirement in apricot cultivars under Karaj condition.

Keywords: Chilling Hour model, dormancy, dynamic model, flowering, Utah model.

* Corresponding author E-mail: fattahi@ut.ac.ir

مقدمه

گیاهان چندساله مناطق معتدله و تا حدی نیمه‌گرمسیری به‌منظور پرهیز از آسیب یخ‌زدگی در زمستان وارد رکود می‌شوند و تا هنگامی که میزان مشخصی از سرمای زمستانه را دریافت نکنند نیاز سرمایی رفع نمی‌شود (Ruiz *et al.*, 2007). همچنین پس از رفع نیاز سرمایی، رشد و نمو جوانه گل در صورت تجمع کافی دماهای بالاتر از حد آستانه (۴/۵) درجه سلسیوس برای بیشتر درختان میوه معتدله امکان‌پذیر است (Saure, 1985; Anderson *et al.*, 1986). بنابراین، میزان نیازهای سرمایی و گرمایی نقش کلیدی در انتخاب رقم برای یک منطقه جغرافیایی خاص دارند (Bassi *et al.*, 2006).

بیش از دو سده از پژوهش‌ها در مورد رفع رکود از آغاز سده نوزدهم گذشته است اما داده‌های محدودی در مورد فرآیندهای ژنتیکی و فیزیولوژیکی درختان در طول دوره تجمع سرمایی وجود دارد. بررسی فیزیولوژی گیاه و اینکه گیاه چطور به دما پاسخ می‌دهد بسیار مهم است به‌طوری‌که بسیاری از پژوهشگران تغییرات پدیدشناختی (فنولوژیکی) زیادی را در دامنه گسترده‌ای از گونه‌ها گزارش کرده‌اند (Garcia-Mozo *et al.*, 2010). تمایل به کشت گیاهان خزان‌دار در مناطق گرم‌تر، پژوهش‌های باغبانی بیشتری را در زمینه نیاز سرمای زمستانه می‌طلبد. باغداران رقم‌های گونه‌های درختان میوه مناسب برای محل موردنظر را بر پایه نیاز سرمایی آن‌ها انتخاب می‌کنند. این فرآیندهای انتخاب نیاز به ارزیابی سرمای زمستانه در منطقه و سنجش نیاز سرمایی گونه‌ها و نژادگان (ژنوتیپ)ها و کاربرد مدل‌های مختلف برای برآورد نیاز سرمایی برای رسیدن به این هدف دارد (Richardson *et al.*, 1974; Erez *et al.*, 2000).

Luedeling *et al.* (2009) در نتایج بررسی‌های خود نشان دادند، بسته به مدل استفاده‌شده سرمای تجمع یافته در یک منطقه بین سال‌های ۱۹۵۰ تا ۲۰۵۰ از ۲۲ تا ۴۶ درصد تغییر می‌کند. در بررسی دیگر میزان سرمای تجمع یافته طی زمستان در ۵۰۷۸ نقطه در سطح کره زمین با استفاده از چهار مدل سرمایی محاسبه و مشاهده شد که تفاوت‌های

زیادی بین مناطق و سال‌ها در سرمای تجمعی محاسبه‌شده با هر مدل وجود داشت و این موضوع نشان‌دهنده حساسیت بالای مدل‌های آزمون شده به تغییرات محیطی است (Luedeling & Brown, 2011). با توجه به مطالب بیان‌شده به نظر می‌رسد انتخاب یک مدل مناسب برای برآورد نیاز سرمایی مهم است. عامل‌هایی که باعث اختلاف در کارایی مدل‌ها در سال‌ها و مناطق مختلف می‌شوند باید شناسایی شوند ولی تاکنون عامل‌های بسیار کمی شناسایی شده‌اند. نیاز سرمایی هر گونه گیاهی با مدل خاصی بهتر محاسبه می‌شود (Luedeling & Brown, 2011). Viti *et al.* (2010) نیاز سرمایی و گرمایی رقم‌های مختلف زردآلو را برای رفع رکود و گلدهی با مدل‌های یوتا و دینامیکی در شرایط مزرعه‌ای در دو منطقه در اسپانیا و ایتالیا محاسبه کردند. Ruiz *et al.* (2007) در نتایج بررسی‌های خود برای برآورد نیاز سرمایی و گرمایی شماری از رقم‌های زردآلو برای پیش‌بینی زمان گلدهی با کاربرد، مدل‌های یوتا، دینامیکی و مدل ساعت‌های سرمایی (دماهای کمتر از ۷ درجه سلسیوس) طی سه سال متوالی مشاهده کردند، ضریب تغییرات در میزان نیاز سرمایی برآورد شده طی سال‌های مختلف، در مدل ساعت‌های زیر ۷ درجه سلسیوس نسبت به دو مدل دیگر بالا بود به‌طوری‌که ضریب تغییرات در این مدل ۲۵/۸ درصد، در مدل دینامیکی ۵ درصد و در مدل یوتا ۴/۲ درصد مشاهده شد و به این ترتیب مدل یوتا را بهتر از دیگر مدل‌ها برای برآورد نیاز سرمایی رقم‌های زردآلو معرفی کردند.

در بین مدل‌هایی که برای محاسبه نیاز سرمایی استفاده می‌شوند مدل یوتا بیشترین کاربرد را دارد، اما با این وجود بر این مدل انتقادهایی وارد است. مشکل مدل یوتا ناتوانی آن در پیش‌بینی دقیق پاسخ گیاه به‌ویژه در شرایط زمستان‌های ملایم است. در نیوزیلند نتایج به‌دست‌آمده از ترکیب داده‌های آزمایشگاهی و مزرعه‌ای در چندین رقم زردآلو گویای ناتوانی مدل بالا در بررسی پاسخ جوانه به دوره سرمایی در زمستان ملایم بوده است (Ruiz *et al.*, 2007). در بررسی دیگر که توسط Campoy (2009) روی شماری از رقم‌های زردآلو به‌منظور تعیین دوره رکود در آن‌ها صورت

برای هر سال در قالب جدول ۱ نمایش داده شده است. گردآوری نمونه برای بررسی نیاز سرمایی رقم‌ها در چهار سال زراعی (۸۸-۸۹)، (۸۹-۹۰)، (۹۰-۹۱) و (۹۲-۹۳) انجام شد. از هنگام آغاز تجمع سرمایی یعنی از روزی که تجمع سرمایی ثابت رخ داد و دماهای دارای تأثیر منفی بسیار محدود بود و به عبارتی از هنگامی که دمای بیشینه روزانه به پایین‌تر از ۱۹ درجه سلسیوس رسید تجمع سرمایی محاسبه شد (Campoy *et al.*, 2012). به این منظور، در فاصله‌های زمانی برای هر رقم پنج شاخه با طول حدود ۵۰ سانتی‌متر و قطر ۱۰-۵ میلی‌متر (با میانگین حدود ۱۰۰ جوانه گل در هر شاخه) در باغ انتخاب و برداشت شد. نمونه‌برداری از شاخه‌ها با فاصله‌های هفت روز و به‌طور تصادفی انجام شد و شاخه‌ها در محلول ۴ درصد ساکارز و در شرایط دمای آزمایشگاه (حدود ۲۰-۲۵ درجه سلسیوس) قرار داده شدند. هر پنج روز یکبار محلول ساکارز تجدید و ته شاخه‌ها برش داده شد. شاخه‌ها به مدت ده روز در آزمایشگاه برای تأمین کافی نیاز گرمایی نگهداری شدند. در این بررسی زمان شکستن رکود بر پایه درصد شکوفایی جوانه‌ها در شرایط آزمایشگاه تعیین شد، به‌طوری‌که زمان شکستن رکود معادل شکوفایی ۳۰ درصد جوانه‌های گل (رسیدن به مرحله پدیدشناختی B-C باگیولینی^۱ (Baggiolini, 1952) در نظر گرفته شد. برآورد نیاز سرمایی با مدل ساعت‌های سرمایی، مدل یوتا و مدل دینامیکی انجام شد.

مدل ساعت‌های سرمایی دماهای بین ۰ و ۷/۲ درجه سلسیوس را به‌عنوان تجمع ساعت‌های سرمایی مؤثر (Chilling Hours, CH) تفسیر می‌کند (Bennett 1949; Weinberger 1950; Eggert 1951).

مدل یوتا از یک تابع وزنی برای تعیین اثربخشی سرما استفاده می‌کند و تأثیر منفی دماهای بالا را در تجمع سرما زمستانه محاسبه می‌کند. این مدل دماهای زیر ۱/۴ درجه سلسیوس را در فیزیولوژی گیاه بی‌تأثیر فرض کرده، وزن ۰/۵ برای دماهای بین ۱/۴ و ۲/۴ درجه و بین ۹/۱ و ۱۲/۴ درجه، وزن ۱ برای

گرفت مشاهده شد که نیاز سرمایی محاسبه‌شده به روش یوتا، با توجه به نوع رقم، از سالی به سال دیگر و از منطقه‌ای به منطقه دیگر تفاوت می‌کند اما در مدل دینامیکی این اختلاف‌ها به کمترین رسید.

به‌رغم بررسی‌های صورت گرفته درزمینه تعیین نیاز سرمایی رقم‌های زردآلو تاکنون مدل محاسبه‌ای دقیقی برای آن گزارش نشده است (Gao *et al.*, 2007; Ruiz *et al.*, 2012). هدف از این بررسی برآورد نیاز سرمایی و گرمایی سه رقم تجاری زردآلوی ایرانی شامل رقم‌های نوری، شاهرودی و نصیری و یافتن مدل مناسب از میان پرکاربردترین مدل‌های سرمایی موجود (مدل یوتا، دینامیکی و ساعت‌های سرمایی) با توجه به ویژگی‌های زیستی (بیولوژیکی) - پدیدشناختی این رقم‌ها در شرایط آب و هوایی شهرستان کرج بوده است.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی و موقعیت جغرافیایی محل آزمایش

این پژوهش طی سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۲ در ایستگاه تحقیقات گروه علوم باغبانی دانشگاه تهران (واقع در کرج) روی سه رقم تجاری زردآلو با نام‌های نوری، شاهرودی و نصیری انجام شد. درختان مورد آزمایش ۱۵-۲۰ ساله بوده، روی پایه‌های بذری زردآلو پیوند شده بودند و فاصله کشت ۳×۴ داشتند. ایستگاه تحقیقات گروه علوم باغبانی در طول جغرافیایی ۵۱ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۸ دقیقه شمالی واقع شده است. ارتفاع از سطح دریا ۱۳۲۰ متر، میانگین دمای سالیانه ۱۳/۷ درجه سلسیوس و میانگین بارندگی سالیانه منطقه ۲۴۵ میلی‌متر است.

برآورد نیاز سرمایی

به‌منظور محاسبه میزان سرمای تجمعی در فصل‌های پاییز و زمستان طی سال‌های مختلف، داده‌های روزانه دمایی سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۲ از ایستگاه هواشناسی محمدمشهر شهرستان کرج تهیه شد که شامل دماهای بیشینه و کمینه روزانه بود. به‌منظور ایجاد یک نمای کلی از وضعیت دمایی طی سال‌های مورد بررسی، دماهای کمینه، بیشینه و میانگین به‌صورت ماهیانه

1. Baggiolini

نیاز گرمایی رقم‌های از مدل آسیمکور (ASYMCUR) پیشنهاد شده به وسیله Anderson *et al.* (1986) استفاده شد. این مدل یکی از پرکاربردترین مدل‌ها توسط پژوهشگران به منظور محاسبه ساعت‌های درجه رشد در درختان میوه است (Ruiz *et al.*, 2007; Campoy *et al.*, 2012) که شامل دو رابطه کسینوسی است:

$$GDH = FA/2 (1 + \cos(\pi + \pi (TH-TB)/(TU-TB))) \quad (1)$$

$$GDH = FA (1 + \cos(\pi/2 = \pi/2 (TH-TU) / (TC-TU))) \quad (2)$$

در این رابطه‌ها GDH، TH، TB، TU و TC به ترتیب تجمع ساعت‌های درجه رشد، دماهای ساعتی، دمای پایه (۴ درجه سلسیوس برای درختان میوه)، دمای بهینه (۲۵ درجه سلسیوس برای درختان میوه) و دمای بحرانی (۳۶ درجه سلسیوس برای درختان میوه) است. $A = (TU-TB)$ عبارت از دامنه دماهای رشدی است. F، عامل تنشی است که می‌تواند برای انواع مختلف تنش وارد شده به گیاه شامل کمبود رطوبت خاک، بیماری‌ها، رقابت، آسیب حشرات، کمبود مواد غذایی و یا ترکیبی از همه موارد استفاده شود. در صورتی که درخت تحت هیچ تنشی قرار نداشته باشد این عامل معادل عدد ۱ در نظر گرفته می‌شود.

رابطه ۱ تجمع ساعت‌های درجه رشد را در دماهای بین دمای پایه و بهینه محاسبه می‌کند. در صورتی که رابطه ۲ ساعت‌های درجه رشد را بر پایه دماهای بین دمای بهینه (اپتیمم) و دمای بحرانی تعیین می‌کند. به عبارتی اگر دماهای ساعتی پایین‌تر از دمای بهینه باشد رابطه ۱ و اگر بالاتر از حد بهینه باشد رابطه ۲ به کار می‌رود (Anderson *et al.*, 1986).

تجزیه داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 انجام گرفت. اختلافات بین گروه‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام شد. ضریب همبستگی پیرسون برای تعیین رابطه‌های صفات استفاده شد. به منظور ارزیابی مدل‌های پدیدشناختی در

دماهای بین ۲/۴ و ۹/۱ درجه، وزن منفی ۰/۵ برای دماهای بین ۱۵/۹ و ۱۸ درجه و ۱- برای دماهای بالای ۱۸ درجه سلسیوس قائل است. بنابراین مجموع واحدهای وزنی سرمایی تجمع یافته در طول دوره زمستان به عنوان واحدهای سرمایی (Chilling Units, CU) محاسبه می‌شود (Richardson *et al.*, 1974).

Erez & Couvillon (1985) فرآیند شکستن رکود را یک واکنش دو مرحله‌ای پیشنهاد کردند، به طوری که مرحله اول به وسیله دماهای بالا برگشت‌پذیر اما مرحله دوم غیرقابل برگشت است. بنابراین Fishman *et al.* (1987) مدل دینامیکی را مطرح کردند که میزانی از مشکلات مدل یوتا را به‌ویژه در زمستان‌های ملایم بهبود می‌دهد. در مدل دینامیکی تجمع پروتئین‌های سرمایی به نام ارز (ERZE) باعث تکمیل بخش‌های سرمایی (Chilling Portions, CP) می‌شود. این مدل میزان تجمع سرما را در بخش‌های سرمایی با استفاده از دامنه دمایی از ۱/۵ تا ۱۲/۵ درجه سلسیوس محاسبه می‌کند (برخی از دماها مؤثرتر از دیگران هستند). در این مدل از بین رفتن تجمع سرمایی در نوسان‌های دمایی گرم رخ می‌دهد. رابطه‌های این مدل که توسط پژوهشگران شرح داده شده است پیچیده‌تر از دیگر مدل‌ها است (Luedeling *et al.*, 2013; Luedeling & Brown, 2010).

برای تبدیل داده‌های ساعتی به ساعت‌های سرمایی (CH) و واحد سرمایی (CU) از توابع شرطی نرم‌افزار Excel 2010 استفاده شد. بخش‌های سرمایی (CP) مدل دینامیکی بر پایه شیوه‌نامه و فایل Excel موجود در وبگاه کشاورزی دانشگاه دیویس کالیفرنیا (http://fruitsandnuts.ucdavis.edu/weather_services) تعیین شد.

برآورد نیاز گرمایی

نیازهای گرمایی رقم‌ها به عنوان ساعت‌های درجه رشد تجمع یافته از زمان شکستن رکود (تعیین شده در شرایط آزمایشگاه) تا زمان شکوفایی ۵۰ درصدی گل‌ها در شرایط باغ آزمایشی محاسبه شدند. برای محاسبه

نتایج و بحث

برآورد سرمای تجمعی در فصل‌های پاییز و زمستان

میزان سرمای تجمع یافته از اول آذر تا ۲۹ اسفندماه در هفت سال از ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۲ با روش اندازه‌گیری واحدهای سرمای، بخش‌های سرمای و ساعت‌های سرمای محاسبه شد (جدول ۲). در شرایط محل آزمایش، اغلب دماهای مؤثر در ارتباط با تجمع سرمای در ماه‌های آذر، دی و بهمن فراهم بود، اگرچه در بعضی از سال‌ها تجمع سرمای تا اسفندماه ادامه یافته است (جدول ۲). بنابراین نتایج به دست آمده به نظر می‌رسد بین هفت سال مورد بررسی اختلاف‌های زیادی از نظر میزان سرمای تجمع یافته در ماه‌های مختلف وجود داشت. چه‌بسا که در شماری از سال‌ها نیاز سرمای رقم‌های در دی‌ماه رفع شده و در بعضی سال‌ها تا اسفندماه به طول انجامیده است. با توجه به مدل به کار برده شده ضریب تغییرات برای سرمای تجمع یافته تا اواخر اسفندماه برای میانگین هفت سال، با مدل یوتا ۲۵/۶۰ درصد، با مدل دینامیکی ۱۹/۹۷ درصد و با مدل ساعت‌های سرمای ۲۶/۸۹ درصد بود. کمترین ضریب تغییرات طی سال‌ها را مدل دینامیکی نسبت به دو مدل دیگر داشت که نشان از پایداری بیشتر این مدل و حساسیت کمتر آن به تغییرات محیطی است. نتایج به دست آمده با یافته‌های Luedeling & Brown (2010) همخوانی دارد. این محققان وجود اختلاف‌های زیاد بین مناطق و سال‌ها در نیاز سرمای محاسبه شده با هر مدل را گزارش و بیان کردند که این مسئله نشان از حساسیت متفاوت مدل‌های آزمون شده به تغییرات محیطی است.

پیش‌بینی زمان گلدهی از سه نمایه آماری بنابر رابطه‌های (۳) تا (۵) استفاده شده است:

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - S_i)^2 / n} \quad (3)$$

$$EF = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (4)$$

$$MAPE = 100 \cdot \sum_{i=1}^n \frac{|S_i - O_i|}{|O_i|} \cdot \frac{1}{n} \quad (5)$$

که در این رابطه‌ها O ، \bar{O} و S به ترتیب نماینده تاریخ گلدهی مشاهده شده (روزشمار از آغاز اسفندماه)، میانگین مشاهده‌ها و میزان پیش‌بینی شده توسط مدل و n شمار داده‌ها است. نمایه RMSE ریشه میانگین مربعات خطا (Mean Squared Error Root) است که در واقع خطای مدل را نشان می‌دهد، هرچه میزان آن کمتر باشد نشان‌دهنده عملکرد بهتر آن مدل برای پیش‌بینی زمان گلدهی است (Fox, 1981). نمایه EF بازده مدل (Modeling Efficiency) بدون بعد بوده و بنا بر رابطه (۴) می‌تواند مقادیر آن مثبت و یا منفی باشد اما هر چه به عدد ۱ نزدیک‌تر باشد بهتر است (Greenwood et al., 1987). نمایه MAPE درصد بیشینه خطای مطلق (Maximum Absolute Percent Error) است. در مواردی که مقادیر اندازه‌گیری ۰ باشد رابطه (۵) کارایی ندارد (Shaeffer, 1980). هر چه درصد خطا کمتر باشد مدل موردنظر با دقت بیشتری زمان گلدهی را پیش‌بینی می‌کند.

جدول ۱. دماهای کمینه، بیشینه و میانگین ماه‌های آذر، دی، بهمن و اسفندماه و میانگین کل در هفت سال مورد بررسی

(۱۳۸۶ تا ۱۳۹۲) به دست آمده از ایستگاه هواشناسی کرج

Table 1. Minimum, maximum and mean temperatures of November, December, January and February and total mean of temperatures in 7 studied years (2007-2013) obtained of Karaj weather station

Year	November			December			January			February			Total Mean
	Min	Max	Mean	Min	Max	Mean	Min	Max	Mean	Min	Max	Mean	
2007	1.11	10.38	5.59	-8.44	-0.50	-4.47	-6.38	2.46	-1.96	3.92	15.55	9.76	2.20
2008	0.78	11.02	5.90	-1.92	7.46	2.76	1.25	10.20	5.72	4.25	15.75	10.00	6.10
2009	0.93	9.4	5.16	3.60	12.90	8.25	1.53	10.60	6.06	6.31	16.62	11.46	5.20
2010	4.06	15.9	9.98	-2.60	6.80	2.06	-2.10	7.00	2.45	0.70	11.93	6.34	7.70
2011	-0.98	8.25	3.63	-1.03	8.44	3.70	-2.40	5.50	1.50	-0.82	10.08	4.63	3.37
2012	2.20	10.30	6.25	-1.70	7.60	2.96	3.10	12.90	8.01	3.90	14.20	9.04	6.56
2013	1.8	10.2	6.00	-3.00	6.00	1.30	-1.70	8.00	3.30	4.00	15.00	9.60	8.00

جدول ۲. محاسبه سرمای تجمعی از اول آذر تا ۲۹ اسفند با مدل‌های یوتا، دینامیکی و ساعت‌های سرمایی بین ۰ و ۷/۲ درجه سلسیوس در شرایط آب و هوایی شهرستان کرج طی سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۲. (برای هر ماه سرمای تجمعی از اول آذر برآورد شده است)

Table 2. Estimating of chilling accumulation from November to February with the Utah, Dynamic Models and chilling hours between 0- 7.2 °C under Karaj weather conditions in 2007 to 2013 years. (For each month the chill accumulation was estimated from November)

	November	December	January	February
Year	Chill units (Utah model)			
2007	503.5	588.5	736	999
2008	833	1242	1714.5	1996.5
2009	605.5	1111	1524.5	1751.5
2010	428.5	761	1143	1499.5
2011	952	1432	1786.5	2139.5
2012	719	1145.5	1620.5	1903
2013	712.5	1019	1386.5	1736
Mean	679.14	1042.71	1415.93	1717.86
S.D.	182.53	286.56	369.18	377.62
cv (%)	26.87	27.48	26.07	21.98
	Chill Portions (Dynamic model)			
2007	24	32	49	64
2008	41	64	86	102
2009	26	50	70	84
2010	22	39	61	79
2011	43	45	66	86
2012	30	52	74	90
2013	36	56	77	94
Mean	31.71	48.28	69	85.57
S.D.	8.38	10.68	11.91	12.05
cv (%)	26.42	22.13	17.27	14.08
	Hours between 0-7.2 °C			
2007	419	586	786	990
2008	526	957	1324	1567
2009	601	879	1207	1379
2010	242	572	955	1253
2011	766	1280	1719	2061
2012	442	881	1179	1411
2013	493	937	1217	1416
Mean	498.42	870.28	1198.14	1439.57
S.D.	162.35	241.46	293.51	327.71
cv (%)	32.57	27.74	24.49	22.76

برآورد نیاز سرمایی جوانه‌های گل رقم‌های زردآلو به‌منظور برآورد نیاز سرمایی جوانه‌های گل رقم‌های زردآلو از شاخص زیستی درصد شکوفایی جوانه استفاده شد و بر پایه زمان رسیدن به مرحله ۳۰ درصد گلدهی در شرایط آزمایشگاهی، نیاز سرمایی رقم‌ها در چهار سال ۱۳۸۸، ۱۳۸۹، ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲ با سه مدل یوتا، دینامیکی و ساعت‌های سرمایی محاسبه شد. هر سه مدل در محاسبه نیاز سرمایی رقم‌های نزدیک به ضریب تغییرات یکسانی را نشان دادند. کمترین درصد تغییرات را طی سال‌های مختلف مدل دینامیکی با ۸/۸۴ درصد، پس از آن مدل ساعت‌های سرمایی با ۹/۰۶ درصد و سپس مدل یوتا با ۹/۱۸ درصد نشان داد (جدول ۳).

بر پایه این مدل‌ها نیاز سرمایی رقم نوری معادل

۱۰۱۵/۶۳ واحد سرمایی، ۴۷/۵۰ بخش سرمایی و ۸۲۷ ساعت سرمایی، رقم نصیری ۱۱۳۵/۲۵ واحد سرمایی، ۵۶/۲۵ بخش سرمایی و ۹۲۷/۲۵ ساعت سرمایی و رقم شاهرودی معادل ۱۲۸۵ واحد سرمایی، ۶۰/۲۵ بخش سرمایی و ۱۰۱۸/۵۰ ساعت سرمایی برآورد شد.

Ruiz *et al.* (2007) در نتایج بررسی نیاز سرمایی ده رقم زردآلو در مورسیای اسپانیا مشاهده کردند که مدل ساعت‌های زیر ۷ درجه سلسیوس ضریب تغییرات ۲۶/۴ درصد را بین سال‌ها نشان داد و اختلاف‌های بین سال‌ها معنی‌دار بود. ایشان نتیجه‌گیری کردند که مدل ساعت‌های زیر ۷ درجه دقت کمی دارد. در مقابل این محققان نتایج همگونی را با مدل‌های یوتا و دینامیکی به دست آوردند. در این موارد

چهار سال بررسی بین ۳۳۳۲/۲۵ تا ۴۷۱۶ ساعت درجه رشد بود. به طوری که کمترین نیاز گرمایی متعلق به رقم شاهرودی و بیشترین نیاز گرمایی در هر چهار سال مربوط به رقم نصیری بود. نیاز گرمایی رقم نوری به طور میانگین ۴۱۴۰/۱۷ ساعت درجه رشد برآورد شد. ضریب تغییرات در مجموع سالها ۴/۱۳ درصد بود. با توجه به نتیجه به دست آمده می توان گفت مدل گرمایی آندرسون پایداری به نسبت بالایی را در برابر تغییرات شرایط آب و هوایی از زمان رفع رکود تا زمان شکوفایی کامل گلها داشته است و توانسته با خطای بسیار کمی نیاز گرمایی رقمهای زردآلوی مورد بررسی را برآورد کند. Linsley-Noakes & Allan (1994) در نتایج بررسی های خود اختلافی را در نیازهای گرمایی سه رقم هلو با نیازهای گرمایی مختلف پیدا نکردند. Egea *et al.* (2003) در نتایج بررسی های خود نیازهای گرمایی همسانی را برای گلدهی در گروهی از رقم های بادام با نیازهای گرمایی مختلف به دست آوردند. در صورتی که در این بررسی، رقم های زردآلو نیازهای گرمایی متفاوتی را نشان دادند.

اختلاف های بین سالها کمتر از ۱۰ درصد (۶/۳ درصد با مدل یوتا، ۷/۲ درصد با مدل دینامیکی) بود. Bailey *et al.* (1982) نیازهای گرمایی سه رقم زردآلو را برای چهار سال بررسی کردند و نیازهای گرمایی بین ۸۷۳ تا ۱۳۴۳ واحد گرمایی بنا بر مدل یوتا برآورد شد. با این وجود اختلاف های بین سالها برای یک رقم حدود ۳۰ درصد بود. در این پژوهش، در هر سه مدل یوتا، دینامیکی و ساعت های گرمایی (ساعت های با دمای بین ۰ و ۷/۲ درجه) اختلاف های بین سالها کمتر از ۱۰ درصد بود که نشان می دهد نیاز گرمایی محاسبه شده در هر سه مدل توانایی نسبی نزدیکی برای پیش بینی تاریخ گلدهی را دارد.

برآورد نیاز گرمایی جوانه های گل رقم های زردآلو

نیازهای گرمایی رقمها به عنوان ساعت های درجه رشد تجمع یافته از زمان شکستن رکود (تعیین شده در شرایط آزمایشگاه) تا زمان شکوفایی ۵۰ درصدی گلها در شرایط باغ آزمایشی در چهار سال ۱۳۸۸، ۱۳۸۹، ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲ با مدل گرمایی آندرسون محاسبه شدند (جدول ۳). دامنه نیاز گرمایی رقم های زردآلو در

جدول ۳. نیاز سرمایی و گرمایی محاسبه شده برای رفع رکود و گلدهی سه رقم زردآلو در شرایط آب و هوایی شهرستان کرج با استفاده از مدل های سرمایی یوتا، دینامیکی و ساعت های سرمایی و مدل گرمایی آندرسون طی سال های ۱۳۸۸، ۱۳۸۹، ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲

Table 3. chilling and heat requirements for breaking of dormancy and flowering by chilling models (Utah, Dynamic and Hours between 0-7.2 °C) and Anderson heat model in three apricot cultivars under Karaj condition in 2009, 2010, 2012 and 2013 years

Cultivar	Year	Breaking Dormancy (F30 in laboratory)	Chill Units (Utah Model)	Portions (Dynamic Model)	Hours between 0 and 7.2 °C	GDH	Flowering (F50 in field)
Noori	2009	16 January	1037.5	46	854	4198.5	8 March
	2010	20 February	1100	50	870	4216.5	30 March
	2012	6 January	951	41	696	3964.5	1 March
	2013	11 January	974	53	888	4181	9 March
	Mean		1015.63	47.50	827	4140.17	
	S.D.	67.09	5.19	88.43	117.98		
	cv (%)	6.60	10.93	10.69	2.84		
Sahroodi	2009	5 February	1362.5	61	1040	3140	9 March
	2010	19 March	1400	63	1100	3246	3 April
	2012	30 January	1284	58	945	3356	5 March
	2013	25 January	1093.5	59	989	3587	13 March
	Mean		1285	60.25	1018.50	3332.25	
	S.D.	136.50	2.21	66.77	191.36		
	cv (%)	10.62	3.68	6.55	5.74		
Nasiri	2009	1 February	1286	58	1008	4477.7	14 March
	2010	21 February	1165	63	968	4859.7	2 April
	2012	13 January	1071	47	768	4852	8 March
	2013	21 January	1091	57	937	4674.4	16 March
	Mean		1135.25	56.25	927.25	4716	
	S.D.	117.26	6.70	92.20	180.41		
	cv (%)	10.32	11.91	9.94	3.82		

مدل پدیدشناختی مناسب برای پیش‌بینی تاریخ گلدهی رقم‌های زردآلو

به‌منظور ارزیابی میزان توانمندی مدل‌های به‌کاربرده شده در برآورد نیاز سرمایی و گرمایی رقم‌های زردآلو، از روش مقایسه تاریخ گلدهی مشاهده‌شده و پیش‌بینی‌شده توسط مدل‌های پدیدشناختی (ترکیب مدل‌های سرمایی یوتا، دینامیکی و ساعت‌های سرمایی با مدل گرمایی آندرسون) در سال‌های ۱۳۸۶، ۱۳۸۷ و ۱۳۹۰ استفاده شد (جدول ۴). نتایج به‌دست‌آمده نشان داد، مدل دینامیکی توانایی بیشتری در پیش‌بینی تاریخ گلدهی نسبت به دو مدل دیگر داشت و با عملکرد بهتری تاریخ گلدهی را برآورد کرد. نتایج به‌دست‌آمده از ارزیابی نمایه‌های آماری مربوط به مدل‌های پدیدشناختی نشان داد، نمایه آماری بازده مدل (EF) برای مدل دینامیکی به یک نزدیک‌تر است و جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و بیشینه خطای مطلق (MAPE) آن از دو مدل دیگر بسیار کمتر است (جدول ۵). بیشترین میزان خطا در پیش‌بینی تاریخ گلدهی را مدل یوتا نشان داد. نمایه آماری بازده مدل (EF) فاصله زیادی با عدد یک داشت (۱۴/۵-) و بالاترین میزان RMSE (۱۰/۱۴ روز) و MAPE (۳۳/۴ درصد) نسبت به دیگر مدل‌ها بود.

با بررسی نتایج به‌دست‌آمده از مقایسه تاریخ واقعی و برآوردی گلدهی در سال‌های ۱۳۸۶، ۱۳۸۷ و ۱۳۹۰ مشاهده می‌شود به‌استثنا سال ۱۳۸۷، در سال‌های ۱۳۸۶ و ۱۳۹۰ تنها مدل دینامیکی توانسته پیش‌بینی مناسبی از تاریخ گلدهی سه رقم زردآلو داشته باشد (جدول ۴). با بررسی شرایط دمایی زمستان سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۲ مشاهده می‌شود شرایط دمایی سال‌های ۱۳۸۶ و ۱۳۹۰ متفاوت از سال‌های دیگر بوده است (جدول ۱). در سال ۱۳۸۶ زمستان بسیار سردی رخ داد و مدت زیادی دماهای زیر ۰ درجه سلسیوس در این سال وجود داشت. میانگین دمای هوا تا پایان اسفندماه در این سال، ۲/۲۰ درجه سلسیوس بود. در سال ۱۳۹۰ میانگین دمای هوا تا پایان اسفندماه تا حدودی پایین (۳/۳۷ درجه سلسیوس) و جزء سال‌های سرد طبقه‌بندی شد.

بر این پایه نیاز سرمایی محاسبه‌شده با مدل‌های

ساعت‌های سرمایی و به‌ویژه مدل یوتا در شرایط دمایی سال‌های ۱۳۸۸، ۱۳۸۹، ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲ که زمستان‌های ملایم داشتند و میانگین دمای هوا تا پایان اسفندماه در این سال‌ها به ترتیب ۵/۲۰، ۷/۷۰، ۶/۵۶ و ۸ درجه سلسیوس بود (جدول ۱) برای سال‌های سردی مانند ۱۳۸۶ و ۱۳۹۰ (به‌ویژه سال ۱۳۸۶) قابل‌استفاده نبود (جدول ۴). همین‌طور نیازهای سرمایی محاسبه‌شده با مدل یوتا، در شرایط سال‌های سرد به هیچ عنوان قابل‌استفاده برای پیش‌بینی زمان گلدهی رقم‌های در سال‌های با زمستان ملایم نخواهد بود. بنابراین، به نظر می‌رسد در این زمینه حساس‌ترین مدل به شرایط آب و هوایی مدل یوتا باشد. به عبارتی مشکل مدل یوتا ناتوانی آن در پیش‌بینی دقیق پاسخ گیاه به‌ویژه در شرایط زمستان‌های ملایم است. در نیوزیلند نتایج به‌دست‌آمده از ترکیب داده‌های آزمایشگاهی و مزرعه‌ای در چندین رقم زردآلو گویای ناتوانی مدل یوتا در بررسی پاسخ جواهر به دوره سرمایی در زمستان ملایم بود (Ruiz et al., 2007). بر پایه نظر Erez (2000) نیز در مناطقی با شرایط آب و هوایی ملایم، اختلاف‌های زیادی بین مدل‌های یوتا و دینامیکی وجود دارد. در این مناطق مدل یوتا مناسب نیست زیرا این مدل برای مناطق سردتر ارائه شده است.

بنابراین به نظر می‌رسد که در شرایط آب و هوایی شهرستان کرج و با توجه به روند گرم شدن هوا در سال‌های اخیر و وجود زمستان‌های با دمای ملایم در سال‌های پیش رو مدل دینامیکی بهتر از دیگر مدل‌ها خواهد توانست زمان گلدهی را در رقم‌های زردآلو در هر سال پیش‌بینی کند. همان‌طور که در آغاز نیز مشاهده شد مدل دینامیکی در محاسبه سرمای تجمع یافته طی هفت سال ضریب تغییرات کمتری نسبت به دو مدل دیگر نشان داد که نشان‌دهنده حساسیت کمتر آن به تغییرات آب و هوایی در مقایسه با دو مدل یوتا و ساعت‌های سرمایی است (جدول ۲).

ماهیت مدل دینامیکی تجمع سرما در دو مرحله است که تأثیر منفی دماهای بالا و همچنین تداوم دماهای بحرانی را لحاظ می‌کند. درحالی‌که مدل‌های

۴۱۴۰/۱۷ ساعت درجه رشد داشت. رقم نصیری با نیاز سرمایی متوسط بالاترین میزان نیاز گرمایی (۴۷۱۶ ساعت درجه رشد) و رقم شاهرودی با بالاترین نیاز سرمایی پایین‌ترین میزان ساعت درجه رشد (۳۳۳۲/۲۵) را داشت. این مسئله حتی بر زمان گلدهی رقم‌ها نیز تأثیر گذاشت به طوری که رقم نصیری دیر گل‌تر از رقم شاهرودی بود (جدول ۳).

بررسی ضریب‌های همبستگی نشان داد، بین نیاز سرمایی برای شکستن رکود و نیاز گرمایی برای گلدهی، ارتباط منفی با ضریب همبستگی تا حدودی بالا بود. بالاترین ضریب همبستگی برای مدل یوتا (۰/۵۴) $r = -$ به دست آمد (جدول ۶). نتیجه مربوطه با یافته‌های Ruiz *et al.* (2007) همخوانی دارد. به طوری که ایشان نیز همبستگی منفی بالایی را بین نیازهای سرمایی و گرمایی در زردآلو به دست آوردند و بیشترین همبستگی بین مدل یوتا و ساعت‌های درجه رشد (۰/۷۲) $r = -$ بود. همچنین Dejampour (2001) در نتایج بررسی نیازهای دمایی شماری از رقم‌های تجاری زردآلو در شرایط آب و هوایی تبریز گزارش کرد، این رقم‌ها به رغم داشتن زمان گلدهی یکسان از نظر مدت‌زمان مرحله‌های مختلف رکود و مقادیر نیاز سرمایی تفاوت‌های معنی‌داری داشتند. به طوری که رقم قربان مراغه کمترین نیاز سرمایی و بیشترین نیاز گرمایی را داشت در صورتی که رقم‌های نصیری و اردباد نیاز سرمایی بیشتر و نیاز گرمایی کمتری داشتند. با این وجود نتایج گزارش شده به وسیله Bailey *et al.* (1982) روی زردآلو همبستگی بین این فراسنجه (پارامترها) را نشان نداد. این نتایج متناقض می‌تواند این‌گونه توضیح داده شود که تفاوت شرایط اقلیمی به‌ویژه دما باعث ایجاد نتایج متفاوت در مناطق می‌شود.

بنابر نتایج این پژوهش، ارتباط بین نیاز سرمایی و تاریخ گلدهی مثبت و ضریب همبستگی بالا داشت. مدل دینامیکی بیشترین همبستگی را با تاریخ گلدهی (۰/۵۱) $r =$ نشان داد. اما ارتباط بین نیازهای گرمایی و تاریخ گلدهی بسیار پایین و ضریب همبستگی پایین (۰/۱۰) $r =$ داشت. بنابراین نتایج به دست آمده یک ارتباط کم بین تاریخ گلدهی و نیاز گرمایی را نشان می‌دهد (جدول ۶). البته لازم به یادآوری است که

دیگر، یک تابع تک‌مرحله‌ای هستند که با تجمیع سرما در محدوده تعریف‌شده در مدل تا ظهور مرحله پدیدشناختی گیاه تاریخ موردنظر را پیش‌بینی می‌کنند. مدل دینامیکی به دلیل ماهیت غیریکنواخت بودن با زمان نسبت به دیگر مدل‌ها که مدت سرما را به طور همگن با زمان محاسبه می‌کنند، برتری و دقت بیشتری دارد. زیرا مدل دینامیکی قابلیت تجمع سرما در دو فاز متفاوت را دارد (Zhang & Taylor, 2011).

لازم به یادآوری است که هیچ‌کدام از این مدل‌ها به طور کامل دقیق نمی‌توانند واکنش پدیدشناختی گیاه را برآورد کنند و بسته به شرایط دمایی و میزان حساسیت مدل به دما، زمان گلدهی رقم‌های زردآلو را پیش‌بینی می‌کنند. باید توجه داشت که مدل‌های سرمایی موجود به کلی تجربی و بر پایه مشاهده‌های مزرعه‌ای یا آزمایش‌های دمایی کنترل‌شده نسبت به یک دانش عملی در مورد فیزیولوژی گیاه هستند. البته با توجه به اینکه داده‌های دمایی مربوطه در ایستگاه هواشناسی ثبت شده‌اند و از سویی مقادیر دمایی شاخه‌های زردآلو در طول ساعت‌های شبانه‌روز همیشه متفاوت از مقادیر ثبت‌شده در ایستگاه هواشناسی است، این اختلاف بر دقت نتایج نیازهای سرمایی رقم‌های زردآلو تأثیر خواهد داشت.

تاریخ گلدهی رقم‌های زردآلو

بر پایه مشاهده‌ها، رقم نوری زود گل‌ترین رقم و پس از آن شاهرودی و در مرحله آخر رقم نصیری قرار داشت. با اینکه اختلاف‌های زیادی بین سال‌ها از نظر زمان گلدهی مشاهده شد اما ترتیب گلدهی رقم‌ها در همه سال‌ها به صورت بیان شده بود. در طی سال‌های آزمایش، بسته به شرایط دمایی در زمستان و به‌ویژه پس از رفع رکود، فاصله گلدهی در رقم‌ها از یک روز تا یک هفته تغییر کرد. به طور معمول در بیشتر سال‌ها هر سه رقم در یک بازه در حدود یک هفته‌ای، گلدهی خود را تکمیل کردند.

بنابر نتایج به دست آمده در این آزمایش، مشاهده شد که رقم زردآلو با نیاز سرمایی کمتر نیاز گرمایی بالاتری داشت. البته این رابطه به صورت کامل خطی نبود، به طوری که رقم نوری با کمترین نیاز سرمایی

اما باور بر این است که مجموعه‌ای از عامل‌ها در تعیین زمان گلدهی می‌توانند دخالت داشته باشند. Dejampour (2001) بیان کرده است، زمان گلدهی افزون بر نیاز سرمایی و گرمایی به عامل‌های دیگری مانند پاسخ دمایی جوانه‌ها، بالا بودن صفر گیاهی و زمان ورود گیاه به رکود و غیره وابسته است.

اگرچه نیاز گرمایی همبستگی کمی را با تاریخ گلدهی داشت، با این وجود، نیاز گرمایی زیاد رقم نصیری عاملی برای افزایش دیر گلدهی این رقم نسبت به رقم شاهرودی با بیشترین نیاز سرمایی بود (جدول‌های ۳ و ۴). در مجموع باید اذعان داشت، هرچند زمان گلدهی بیشتر تحت کنترل نیازهای سرمایی و گرمایی است

جدول ۴. مقایسه تاریخ‌های پیش‌بینی گلدهی زردآلو با تاریخ‌های مشاهده‌هایی در سال‌های ۱۳۸۶، ۱۳۸۷ و ۱۳۹۰

Table 4. Comparison between predicted and observed dates of apricot flowering in 2007, 2008 and 2011 years.

Year	Cultivar	Observed Flowering Date (F_{50})	GDH	Predicted Flowering Date		
				Utah model	Dynamic model	Hours between 0-7.2 °C
2007	Noori	18 March	4140.17	-	19 March	21 March
	Shahroodi	21 March	3332.25	-	29 March	-
	Nasiri	23 March	4716	-	24 March	24 March
2008	Noori	11 March	4140.17	8 March	9 March	10 March
	Shahroodi	12 March	3332.25	10 March	9 March	9 March
	Nasiri	14 March	4716	11 March	12 March	13 March
2011	Noori	21 March	4140.17	17 March	22 March	18 March
	Shahroodi	24 March	3332.25	16 March	22 March	15 March
	Nasiri	27 March	4716	27 March	28 March	27 March

جدول ۵. ارزیابی آماری عملکرد مدل‌های نیاز سرمایی و گرمایی برای پیش‌بینی تاریخ گلدهی زردآلو

Table 5. Statistical evaluation of chilling and heat requirement models performance for prediction of flowering date in apricot

Indices	Utah model	Dynamic model	Hours between 0- 7.2 °C
RMSE (Root Mean Squared Error)	10.14	1.51	3.95
EF (Modeling Efficiency)	-14.5	0.53	-4.09
MAPE (Maximum Absolute Percent Error)	33.4	3.75	12.31

جدول ۶. همبستگی بین نیازهای سرمایی زردآلو برای رفع رکود (واحد‌ها، بخش‌ها و ساعت‌های سرمایی) با نیازهای گرمایی برای

گلدهی (ساعت‌های درجه رشد) و تاریخ گلدهی (F_{50})

Table 6. Relationship between chilling requirements for breaking of dormancy (chill units, portions and hours between 0-7.2 °C), heat requirements for flowering (growing degree hours) and flowering date (F_{50})

Parameters	Correlation Coefficient (r)
Chill units/GDH	-0.54
Chill portions/GDH	-0.28
Hours between 0- 7.2 °C/GDH	-0.43
Chill units/flowering date	0.34
Chill portions/flowering date	0.51
Hours between 0- 7.2 °C/flowering date	0.48
GDH/ flowering date	0.10

محاسبه‌شده با این مدل در سال‌های با هوای سرد قابل کاربرد برای برآورد میزان نیاز سرمایی رقم‌ها در سال‌های گرم و ملایم و برعکس نبود. به‌طوری‌که برای مثال در سال ۱۳۸۶ مجموع سرمای تجمع یافته تا پایان اسفندماه حدود ۹۹۹ واحد سرمایی بود اما بر پایه محاسبه نیازهای سرمایی رقم‌ها در چهار سال ۱۳۸۸، ۱۳۸۹، ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲ به‌طور میانگین در رقم‌های مورد بررسی نیاز سرمایی بالاتر از این میزان سرمای تجمع یافته بوده است. همین‌طور نیاز سرمایی

نتیجه‌گیری کلی

بنابر نتایج به‌دست‌آمده، مدل دینامیکی نسبت به دو مدل یوتا و ساعت‌های سرمایی همگونی بیشتری در محاسبه نیاز سرمایی رقم‌های زردآلو طی چهار سال را داشت به‌طوری‌که کمترین درصد تغییرات در طی سال‌های پژوهش، با مدل دینامیکی ایجاد شد. با این وجود کل تغییرات ایجادشده با هر سه مدل زیر ۱۰ درصد بود. مدل یوتا مدلی بسیار پرکاربرد است اما یک مشکل اساسی دارد و آن اینکه سرمای تجمعی

کمترین نیاز گرمایی را داشت. پس از آن رقم نوری نیاز گرمایی متوسط داشت و در نهایت بیشترین نیاز گرمایی مربوط به رقم نصیری با نیاز سرمایی متوسط بود. همبستگی نیاز سرمایی در همه مدل‌ها با نیاز گرمایی منفی و بالا بود و می‌تواند گویای این مطلب باشد که رقم‌ها با نیاز سرمایی بالا نیاز گرمایی کمتری دارند و برعکس. ارتباط بین نیاز سرمایی و تاریخ گلدهی مثبت و ضریب همبستگی بالا داشت. اما ارتباط بین نیاز گرمایی و تاریخ گلدهی بسیار پایین و ضریب همبستگی کم داشت. بنابراین نتایج به دست آمده یک ارتباط محدود بین تاریخ گلدهی و نیاز گرمایی را نشان می‌دهد و بیانگر آن است که عامل‌های مؤثرتری مانند نیاز سرمایی و حتی پاسخ دمایی جوانه‌ها، بالا بودن صفر گیاهی و زمان ورود گیاه به رکود برای تغییر تاریخ گلدهی وجود دارند.

که با این روش در مناطق سرد محاسبه می‌شود به هیچ عنوان قابل استفاده در مناطق با زمستان ملایم نیست به طوری که واحدهای سرمایی محاسبه شده برای یک رقم خاص زردآلو در شرایط آب و هوایی تبریز و شاهرود قابل استفاده در شرایط آب و هوایی شهرستان کرج نیست. البته لازم به یادآوری است که این مشکل برای مدل‌های سرمایی دیگر نیز بسته به میزان حساسیت آن‌ها به شرایط محیطی وجود دارد، که در این میان به نظر می‌رسد مدل یوتا حساسیت بیشتری نسبت به دیگر مدل‌ها به ویژگی مدل دینامیکی دارد.

برای محاسبه نیاز گرمایی رقم‌های از مدل گرمایی مطرح شده به وسیله Anderson *et al.* (1986) استفاده شد. مدل مربوطه با دقت بالایی نیاز گرمایی رقم‌ها را محاسبه کرد. هر رقم نیاز گرمایی خاص خود را داشت. به طوری که رقم شاهرودی با بیشترین نیاز سرمایی

REFERENCES

- Anderson, J. L., Richardson, E. A. & Kesner, C. D. (1986). Validation of chill unit and flower bud phenology models for 'Montmorency' sour cherry. *Acta Horticulturae*, 184, 71-78.
- Bailey, C. H., Kotowski, S. & Hough, L. F. (1982). Estimate of chilling requirements of apricot selections. *Acta Horticulturae*, 121, 99-102.
- Baggiolini, M. (1952). Benchmarks stage apricot. *Journal Romande Agriculture, Viticulture and Arboriculture*, 8, 28-29. (in French)
- Bassi, D., Barrolini, S. & Viti, R. (2006). Recent advances on environmental and physiological challenges in apricot growing. *Acta Horticulturae*, 717, 23-31.
- Bennett, J. P. (1949). Temperature and bud rest period. *California Agriculture*, 3, 9-12.
- Campoy, J. A. (2009). *Dormancy in apricot (Prunus armeniaca L.)*. Factors affecting its evolution. Thesis Doctoral, Department of Plant Breeding, CEBAS-CSIC, Campus University, Espinardo, Murcia, Spain.
- Campoy, J. A., Ruiz, D., Allderman, L., Cook, N. & Egea, J. (2012). The fulfilment of chilling requirements and the adaptation of apricot (*Prunus armeniaca L.*) in warm winter climates: An approach in Murcia (Spain) and the Western Cape (South Africa). *European Journal of Agronomy*, 37, 43-55.
- Couvillon, G. A. & Erez, A. (1985). Influence of prolonged exposure to chilling temperatures on bud break and heat requirement for bloom of several fruit species. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 110, 47-50.
- Dejampour, J. (2001). Determination of temperature requirement in some commercial apricot cultivars in Tabriz. *Seed and Plant Improvement Journal*, 17, 12-20. (in Farsi)
- Egea, J., Ortega, E., Mart'inez-G'omez, P. & Dicenta, F. (2003). Chilling and heat requirements of almond cultivars for flowering. *Environmental and Experimental Botany*, 50, 79-85.
- Eggert, F. P. (1951). The study of rest in several varieties of apple and in other fruit species grown in New York State. *Proceeding Journal of the American Society for Horticultural Science*, 51, 169-178.
- Erez, A. (2000). Bud dormancy; phenomenon, problems and solutions in the tropics and subtropics. In: Erez, A. (Ed.), *Temperate Fruit Crops in Warm Climates*. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, pp: 17- 48.
- Fishman, S., Erez, A. & Couvillon, G. A. (1987). The temperature dependence of dormancy breaking in plants: Computer simulation of processes studied under controlled temperatures. *Journal of Theoretical Biology*, 126, 309-321.
- 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.

15. Gao, Z., Zhuang, W., Wang, L., Shao, J., Luo, X., Cai, B. & Zhang, Z. (2012). Evaluation of chilling and heat requirements in Japanese Apricot with three models. *Hort Science*, 47, 1826-1831.
16. Garcia-Mozo, H., Mestre, A., Galan, C. & Data, C. (2010). Phenological trends in southern Spain: a response to climate change. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150, 575-580.
17. Greenwood, D., Verstraeten, L., Draycott, A. & Sutherland, R. (1987). Response of winter wheat to N-fertiliser: Dynamic model. *Fertilizer Research*, 12, 139-156.
18. Linsley-Noakes, G. C. & Allan, P. (1994). Comparison of two models for the prediction of rest completion in peaches. *Scientia Horticulturae*, 59, 107-113.
19. Luedeling, E., Zhang, M., McGranahan, G. & Leslie, C. (2009). Validation of winter chill models using historic records of walnut phenology. *Agricultural and Forest Meteorology*, 149, 1854-1864.
20. 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.
21. Luedeling, E., Kunz, A. & Blanke, M. M. (2013). Identification of chilling and heat requirements of cherry trees - A statistical approach. *International Journal of Biometeorology*, 57, 679-689.
22. Powell, A., Dozier, W., Williams, D. & Himelrick, D. (2002). Fruit culture in Alabama: Winter chilling requirements. *Alabama Cooperative Extension*, 53, 1-4.
23. Rattigan, K. & Hill, S. J. (1986). Relationship between temperature and flowering in almond. *Australia Journal of Experimental Agriculture*, 26, 399-404.
24. Richardson, E. A., Seeley, S. D. & Walker, D. R. (1974). A model for estimating the completion of rest for 'Redhaven' and 'Elberta' peach trees. *HortScience*, 9, 331-332.
25. Ruiz, D., Campoy, J. A. & Egea, J. (2007). Chilling and heat requirements of apricot cultivars for flowering. *Environmental and Experimental Botany*, 61, 254-263.
26. Saure, M. C. (1985). Dormancy release in deciduous fruit trees. *Horticulture Reviews*, 7: 239-298.
27. Shaeffer, D. L. (1980). A model evaluation methodology applicable to environmental assessment models. *Ecological Modelling*, 8, 275-295.
28. Sheard, A. G. (2008). *Factors leading to poor fruit set and yield of sweet cherries in South Africa*. Thesis for the Degree Master of Science, University of Stellenbosch, South Africa.
29. Spiegel-Roy, P. & Alston, F. H. (1979). Chilling and post-dormant heat requirement as selection criteria for late-flowering pears. *Journal of Horticultural Science*, 54, 115-120.
30. Viti, R., Andreini, L., Ruiz, D., Egea, J., Bartolini, S., Iacona, C. & Campoy, J. A. (2010). Effect of climatic conditions on the overcoming of dormancy in apricot flower buds in two Mediterranean areas: Murcia (Spain) and Tuscany (Italy). *Scientia Horticulturae*, 124, 217-224.
31. Weinberger, J. H. (1950). Chilling requirements of peach varieties. *Proceeding Journal of the American Society for Horticultural Science*, 56, 122-128.
32. 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.