

## بررسی اثرات تغییر اقلیم بر طول دوره رشد درخت سیب (مطالعه موردی: ایستگاه‌های سمیرم و ارومیه)

بهروز سبحانی\* - عضو هیئت علمی و دانشیار دانشگاه محقق اردبیلی  
مینو احمدیان - دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی دانشگاه محقق اردبیلی  
سعید جهان‌بخش اصل - عضو هیئت علمی و استاد دانشگاه تبریز

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۶/۹

### چکیده

هدف از پژوهش حاضر بررسی اثرات تغییر اقلیم بر نیاز آبی و طول فصل رشد درخت سیب است. بدین منظور، از آمار پایگاه ECMWF برای داده‌های مشاهداتی دو ایستگاه سمیرم و ارومیه طی بازه زمانی بیست‌ساله (۱۹۹۶-۲۰۱۶) استفاده شد. برای بررسی اثرات تغییر اقلیم از داده‌های روزانه ریزگردانی دینامیک پروژه CORDEX برای خروجی مدل ICHEC-EC-EARTH تحت دو خط سیر ۴/۵ و ۸/۵ واداشت تابشی (RCP) برای بازه زمانی (۲۰۱۷-۲۰۳۷) بهره گرفته شد. به منظور کاهش خطاهای موجود در برآوردهای مدل، عمل پس‌پردازش روی داده‌های برآوردشده انجام گرفت. سپس، تبخیر- تعرق پتانسیل به روش پنمن مانتیث فائو و مراحل رشد با استفاده از شاخص درجه- روز محاسبه شد و با استفاده از آزمون ناپارامتریک من- کندال و شیب سن در محدوده اطمینان ۹۵ درصد روندها بررسی شد. نتایج نشان داد که در هر دو ایستگاه روند تبخیر- تعرق در طول فصل رشد رو به افزایش است. بیشترین میزان تبخیر و نیاز آبی در داده‌های مشاهداتی و برآوردشده برای دوره رشد میوه رخ داده است. تأمین زودتر نیاز حرارتی موجب کاهش طول دوره رشد درخت سیب شده است. از طرفی، افزایش تبخیر و بالارفتن میزان درجه- روزهای رشد باعث افزایش نیاز آبی درخت سیب خواهد شد.

واژگان کلیدی: درخت سیب، تبخیر- تعرق، نیاز آبی، طول رشد، روش پنمن مانتیث فائو.

### مقدمه

کشت درختان میوه و تولیدات باغی مزیت شناخته‌شده اقتصاد کشاورزی ایران به‌شمار می‌رود. از محصولات عمده باغی استراتژیکی، که ایران را به یکی از کشورهای صادرکننده آن تبدیل کرده، میوه سیب است. ظهور پدیده گرمایش جهانی، تغییر مراحل رشد، و افزایش میزان تقاضای منابع آبی میزان تولید و عملکرد محصولات باغی را مخاطره‌آمیز کرده است. با توجه به اهمیت نیاز آبی و طول دوره رشد درختان سیب، پژوهش حاضر با هدف بررسی موارد مذکور در دو منطقه عمده تولید سیب در ایران تحت شرایط دو نوع آب و هوای متفاوت (ایستگاه‌های سمیرم و ارومیه) انجام شده است. بدیهی است در صورت استفاده از نتایج به‌دست‌آمده از مدیریت‌های کشاورزی مناطق مورد مطالعه، میزان خسارات وارده بر محصول درخت سیب کاهش خواهد یافت.

تغییر آب و هوا بخش‌های بسیاری را متأثر می‌کند؛ یکی از مهم‌ترین آن‌ها کشاورزی و امنیت غذایی است. آگاهی از واکنش گیاهان زراعی و باغی به گرمایش جهانی و پیش‌بینی اثرهای آن بر عملکرد و قلمرو کشت گیاهان زراعی و باغی

در آینده مستلزم آگاهی از اثرهای تغییر آب و هوا بر فنولوژی و نیاز آبی گیاهان است که عملکرد آن به شدت به پارامترهای آب و هوایی وابسته است. با توجه به اینکه در ایران بخش کشاورزی عمده‌ترین مصرف‌کننده آب است، واکاوی نیاز آبی براساس متغیرهای آب‌وهوایی اهمیت ویژه‌ای دارد. نیاز آبی گیاهان و میزان تولیدات در بخش کشاورزی به تغییرات آب و هوایی و متغیرهای آن بسیار حساس است. با توجه به روند گرم‌شدن کره زمین و تأثیرات تغییر آب و هوا، وضعیت منابع آبی با تنش‌های جدی مواجه است. تنش آبی از مشکلات اساسی تأمین نیاز آبی درختان میوه به‌شمار می‌رود. بنابراین، سنجش نیاز آبی درختان و گیاهان براساس شرایط آب و هوایی ضروری به‌نظر می‌رسد. عنصر دما یکی از مهم‌ترین عوامل کنترل‌کننده تغییرات فنولوژی است. از این نظر، بررسی آثار و پیامدهای تغییر اقلیم و گرمایش جهانی بر فنولوژی گیاهی اهمیت بسیار زیادی دارد. در این راستا، دستیابی به تولید مطلوب و همچنین اعمال مدیریت مناسب‌تر مصرف آب در کشاورزی مطالعه تغییرات نیاز آبی، طول رشد، و رفتار فنولوژیکی محصولات و گیاهان براساس شرایط آب و هوایی ضروری به‌نظر می‌رسد. در این راستا، مطالعاتی در ایران و جهان انجام شده است؛ از جمله نتایج مطالعه دول (۲۰۰۲: ۲۷۰) نشان داد که در دوسوم اراضی جهان نیاز خالص آبیاری در دهه‌های ۲۰۲۰ و ۲۰۷۰ افزایش می‌یابد. همچنین، تغییر اقلیم در بیشتر مناطق باعث جابه‌جایی فصل رشد و تغییر اقلیم الگوی کشت خواهد شد. رعا و اسل (۲۰۰۶: ۱۳) شرایط فنولوژیکی و تغییرات گل‌دهی سبب در مناطق کوهستانی را براساس آمار دماهای ساعتی و روزانه در کنار عوامل توپوکلیمایی بررسی کردند. گرپ و کاپرور (۲۰۱۱: ۴۱۶) واکنش درخت سبب به تغییر اقلیم در جنوب غربی کیپ تاون در افریقای جنوبی را بررسی کردند. نتایج نشان داد که درخت سبب واکنش بسیار زیادی به تغییرات آب و هوا نشان خواهد داد؛ به طوری که در این منطقه، تاریخ گل‌دهی درختان دیررس سبب در اثر افزایش دمای هوا زودتر رخ خواهد داد. لیانگ و همکاران (۲۰۱۵: ۶) اثر تغییر آب و هوا بر فنولوژی درختان زردآلو را در پنج منطقه چین با مدل رگرسیون ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که در مناطق با آب و هوای سرد، با گرم‌شدن بیشتر فصل بهار، شکوفه‌دهی درختان زردآلو زودتر اتفاق می‌افتد. اما در نقاط گرم‌تر، گرم‌شدن بیشتر فصل زمستان باعث تأخیر در مراحل فنولوژیک دوره بهاره می‌شود. شرندرن و همکاران (۲۰۱۵: ۱۲۱۴) مدل‌سازی نیاز آبی با نرم‌افزار CROPWAT در بخش پلاکاد از نواحی مرطوب هندوستان را برای محصولات گرمسیری مانند نارگیل، موز، و چای انجام دادند. نتایج نشان داد که، با توجه به افزایش جمعیت و میزان تقاضای آب و نیز کاهش بارش، نیاز آبی و منابع آبی محصولات مختلف با ریسک همراه خواهد بود. آپراچی و همکاران (۲۰۱۷: ۱۷۴) اثر تغییر اقلیم بر نیاز آبی را در فصل خشک برنج بورو<sup>۱</sup> بررسی کردند. در این پژوهش بخش‌های شمال غربی بنگلادش با روش ریزمقیاس‌نمایی آماری تحت ۴/۵ و ۸/۵ RCP برای سال‌های ۲۰۵۰-۲۰۸۰ بررسی شد. نتایج حاکی از افزایش تبخیر- تعرق در نتیجه افزایش درجه حرارت بود. باین‌حال، به دلیل کاهش روزهای رشد در اثر افزایش درجه حرارت نیاز آبی کاهش نشان داده است. میرصانع و همکاران (۱۳۸۹: ۵۶۷) اثر تغییر اقلیم بر نیاز آبی و طول دوره رشد گیاه چغندر را در دشت قزوین با استفاده از خروجی‌های مدل اقلیمی CGCM3 و Hadcm3 تحت سناریوی A2 بررسی کردند. نتایج نشان داد، با افزایش درجه حرارت ناشی از تغییر اقلیم در آینده، طول دوره رشد گیاه چغندر کاهش می‌یابد و نیاز آبی آن با افزایش همراه خواهد بود. سلیمانی نادگانی و همکاران (۱۳۹۱: ۱۱) اثر تغییر اقلیم بر زمان کاشت، طول دوره رشد، و نیاز آبی گندم زمستانه را در بهشهر با استفاده از خروجی مدل CGCM3 و HadCM3 بررسی کردند. نتایج نشان داد که در دوره‌های آبی درجه حرارت در همه ماه‌های

سال افزایشی خواهد بود و دوره زمانی مناسب برای کاشت گندم بین ۹ تا ۲۷ روز افزایش می‌یابد. از طرفی، طول دوره رشد گیاه بین ۴ تا ۱۴ روز کوتاه‌تر خواهد شد. یزدان‌پناه و سلیمانی‌تبار (۱۳۹۲: ۴۳۷) اثرهای تغییر آب و هوا بر مراحل فنولوژی محصول سیب را در ایستگاه هواشناسی کشاورزی گل‌مکان با کمک نرم‌افزار LARS-WG برای سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 در بازه زمانی ۲۰۱۲-۲۰۳۹ بررسی کردند. نتایج نشان داد که با اجرای هر دو سناریو، طول گل‌دهی تا رسیدن محصول کاهش می‌یابد. رحمانی و همکاران (۱۳۹۴: ۴۶۲) تأثیر تغییر اقلیم در طول مراحل رشد و نیاز آبی گندم و جو را در دشت بیرجند برای دوره زمانی ۲۰۱۲-۲۰۳۹ بررسی کردند. نتایج حاکی از آن است که با وجود بیشتر شدن تبخیر- تعرق گیاه مرجع، به دلیل کاشت زودتر گندم و جو و کوتاه شدن طول دوره رشد هر دو گیاه، نیاز آبی گندم در آینده ۱۹٫۵٪ و در جو ۲۲٫۵٪ کمتر خواهد شد. قادرزاده (۱۳۹۴: ۱۳۰) پیامدهای تغییر آب و هوا و تأثیر آن بر مراحل فنولوژیک درختان سیب شهرستان ارومیه را با کمک نرم‌افزار LARS-WG تحت سه سناریوی A1B، A2، و B1 مدل گردش عمومی جو HADCM3 در افق سال‌های ۲۰۱۲-۲۰۳۹، ۲۰۴۶-۲۰۵۶، و ۲۰۹۹ بررسی کرد. نتایج حاکی از آن است که بیشترین اثرهای تغییرپذیری دما در مرحله شکفتن جوانه و گل‌دهی بوده است. قهرمان و همکاران (۱۳۹۵: ۶۵) اثر تغییر اقلیم بر نیاز آبی و فصل رشد نیشکر را براساس خروجی مدل اقلیم جهانی EC-EARTH تحت دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 بررسی کردند. نتایج نشان داد که طول دوره رشد در سناریوی RCP8.5 به شکل معنی‌داری در همه ایستگاه‌ها کاهش نشان می‌دهد، اما تغییرات تبخیر در طول دوره رشد معنی‌دار نیست. احمدی و همکاران (۱۳۹۷: ۱۵۰) به بررسی الگوی فضایی نیاز آبی درخت سیب در ایران طی سال‌های ۱۳۶۴ تا ۱۳۹۲ با استفاده از ArcGIS 10.2 پرداختند. نتایج نشان داد که مرحله میانی رشد در درختان سیب بیشترین نیاز آبی را داشته و تغییرات مکانی تبخیر- تعرق و نیاز آبی بیشتر ناشی از عامل ارتفاع از سطح دریاست.

## داده‌ها و روش‌ها

### مناطق مورد مطالعه

مناطق مورد بررسی در این پژوهش شهرستان‌های سمیرم و ارومیه‌اند. شرایط طبیعی و جغرافیایی استان آذربایجان غربی برای تولید و صادرات سیب بسیار مناسب است. باغ‌های سیب در همه شهرهای این استان وجود دارد. ولی ارومیه با داشتن ۴۵ درصد از این باغ‌ها در رتبه اول قرار دارد. شهرستان ارومیه مهد تولید و برداشت انواع سیب درختی در کشور ایران به‌شمار می‌آید. شهرستان سمیرم ۴/۹ درصد مساحت استان اصفهان را شامل می‌شود. سمیرم دارای آب‌وهوای کوهستانی با زمستان‌های سرد و پُربرف و تابستان‌های خشک و معتدل است. ارتفاع بلند، چشمه‌ها، و رودهای این دیار کوهستانی و آب و هوای معتدل آن از جمله علل مرغوبیت و تفاوت سیب سمیرم با دیگر انواع و ارقام این محصول است. داده‌های مشاهداتی پژوهش حاضر، به دلیل کوتاه‌مدت بودن طول دوره آماری ایستگاه سمیرم، شامل دوره پایه ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۶ بوده و پارامترهای اقلیمی از جمله کمینه، بیشینه، و متوسط دما، بارش، رطوبت نسبی، سرعت باد، و ساعات آفتابی به صورت روزانه از نسخه ERA-Interim<sup>۱</sup> با تفکیک مکانی  $0.125 \times 0.125$  درجه قوسی از سازمان هواشناسی کشور دریافت شده‌اند. برای شناخت و ارزیابی مقدار دقت و صحت داده‌های پایگاه ERA-Interim با داده‌های مشاهداتی سازمان هواشناسی کشور طی بازه زمانی مشترک (ایستگاه ارومیه از سال ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۶ و ایستگاه سمیرم از سال ۲۰۰۲ تا سال ۲۰۱۶) از آماره‌های ضریب همبستگی پیرسون (R)، ضریب تعیین (R<sup>2</sup>)، میانگین قدر مطلق خطا

۱. ECMWF پایگاه داده مرکز پیش‌بینی میان‌مدت جوی اروپا

(MSE)، ریشه دوم میانگین مربعات خطا (RMSE)، و NRMSE استفاده شد (رضیعی و ستوده، ۱۳۹۶: ۱۴۰). این آماره‌ها بیشترین کاربرد را در تجزیه و تحلیل‌های مقایسه‌ای دارند و از آن‌ها برای مقایسه پیش‌بینی‌های یک مدل در برابر داده‌های مشاهده‌ای استفاده می‌شود (موریاسی و همکاران، ۲۰۰۷: ۸۸۶).

### مدل اقلیمی

به‌منظور بررسی اثر تغییر اقلیم بر تبخیر- تعرق و نیاز آبی ایستگاه‌های مورد مطالعه مدل اقلیمی جهانی منتخب از مرکز هواشناسی و آب‌شناسی سوئد (SMHI)، که طی طرح CORDEX ریزمقیاس شده بود، تحت دو خط سیر RCP4.5 و RCP8.5 برای دوره بیست‌ساله ۲۰۱۷-۲۰۳۷ تهیه شد. در پروژه CORDEX از سناریوهای جدید (IPCC, 2013)، که برای غلظت‌های مختلف دی‌اکسیدکربن تعریف شده است، به جای سناریوهای پیشین استفاده می‌شود. سناریوهای جدید براساس سطح تکنولوژی و وضعیت اجتماعی و اقتصادی چهار نوع آب‌وهوای احتمالی را برای آینده توصیف می‌کنند که هر یک مربوط به سطح انتشار متفاوت گازهای گلخانه‌ای و تغییرات آب‌وهوایی است. این چهار مسیر را RCP2.6، RCP4.5، RCP6، RCP8.5 و RCP8.5 می‌نامند و براساس نقش انتشار گازهای گلخانه‌ای بر سطح واداشت تابشی برای سال ۲۱۰۰ طبقه‌بندی شده‌اند (وان ورن و همکاران، ۲۰۱۱). سناریوهای RCP نشان‌دهنده محرک‌های تابشی است و در میان آن‌ها سناریوی RCP ۸/۵، که سناریویی بدبینانه تلقی می‌شود، با انتشار زیاد گازهای گلخانه‌ای بدون اتخاذ سیاست‌های کاهش آثار و مقابله با پیامدهای تغییر اقلیم در آب و هوای کره زمین پیش خواهد رفت. به‌طوری‌که ادامه این روند به واداشت تابشی به میزان ۸/۵ وات بر متر مربع در سال ۲۱۰۰ منجر می‌شود. در این هنگام غلظت دی‌اکسید کربن به ۱۰۰۰ ppm می‌رسد و همچنان روند افزایش خواهد داشت. سایر ویژگی‌های این سناریو عبارت‌اند از: نبودن برنامه‌ای برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، سرعت انتشار زیاد متان، و استفاده بیش از حد از زمین‌های زراعی و مراتع به دلیل افزایش جمعیت کره زمین. سناریوهای RCP۴/۵ حالت متوسط دارند و در آن‌ها واداشت تابشی ناشی از گازهای گلخانه‌ای قبل از سال ۲۱۰۰ در مقدار ۴/۵ وات بر متر مربع ثابت می‌ماند. همچنین، میزان غلظت CO تا سال ۲۱۰۰، ۶۵۰ ppm تخمین زده شده است. سایر ویژگی‌های این سناریو عبارت‌اند از: کاهش بلندپروازنه در انتشار گازهای گلخانه‌ای، مشابه b1 در سری SRES، و شدت کم تقاضای انرژی (حجازی‌زاده و طولابی‌نژاد، ۱۳۹۵).

خروجی CORDEX برای دوره تاریخی (۱۸۵۰-۲۰۰۵) و برای دوره آینده (۲۰۰۶-۲۱۰۰) در شبکه ۰/۲۲ و ۰/۴۴ درجه فراهم شده است (میان‌آبادی و همکاران، ۱۳۹۵: ۴۰۰). با توجه به اینکه داده‌های CORDEX با قدرت تفکیک مکانی ۴۴ درصد داده‌های برآوردشده تحت سناریوی تغییر اقلیم و داده‌های تاریخی برای دامنه منا را پوشش می‌دهند، از داده‌های این تفکیک مکانی در پژوهش حاضر استفاده شد. از میان سه مدل پیشنهادی، CNRM-CERFACS، CNRM-CM5، ICHEC-EC-EARTH، NOAA-GFDL-GFDL-ESM2M، پایگاه CORDEX با توجه به نتایج حاصل از تخمین‌گرهای خطا (R)، (R2)، (MSE)، (RMSE)، و NRMSE بر رویدادهای تاریخی، مدل مرکز اروپایی تحقیقات زمین (ICHEC-EC-EARTH) انتخاب شد. سپس، داده‌های روزانه دماهای کمینه و بیشینه، بارش، رطوبت نسبی، تابش، و سرعت باد این مدل استخراج شد.

در راستای تعدیل خطای مدل از عملیات پس‌پردازش به روش عامل تغییر<sup>۱</sup> استفاده شد (رابطه‌های ۱ و ۲). در نهایت، این مقدار پس‌پردازش در مدل اعمال شد (بابائیان و همکاران، ۱۳۸۸: ۱۳۷).

1. Change factor

$$F_{fut} = F_{obs} + (F_{GCM}^{fut} - F_{GCM}^{base}) \quad (1)$$

$$f_{fut} = f_{obs} \times \left( \frac{f_{GCM}^{FUT}}{f_{GCM}^{base}} \right) \quad (2)$$

در رابطه‌های فوق،  $f_{GCM}^{base}$ ،  $f_{GCM}^{FUT}$ ،  $f_{T_{obs}}$ ،  $f_{T_{fut}}$  به ترتیب مربوط به متغیرهای آب و هوایی پس‌پردازش‌شده، مشاهده‌شده، پیش‌بینی‌شده بر روی شبکه مدل در دوره آینده، و بر روی شبکه مدل در دوره گذشته‌اند. رابطه ۱ برای پارامترهای دما و رابطه ۲ برای بارش به کار برده شده است. در نهایت، سه سری داده تولید شد: سری اول داده‌های مربوط به متغیر آب‌وهوایی محاسبه‌شده با توجه به داده‌های پایگاه ECMWF برای هر دو ایستگاه می‌باشند که تحت عنوان متغیر آب‌وهوایی مشاهده‌شده (obs) ثبت شده‌اند. سری دوم داده‌های مربوط به متغیر آب‌وهوایی محاسبه‌شده با توجه به داده‌های حاصل از خروجی مدل در دوره پایه ICHEC-EC-EARTH هستند که این دسته از داده‌ها تحت عنوان داده‌های تاریخی برآوردشده (hist) نام‌گذاری شدند. و دسته سوم داده‌های پس‌پردازش‌شده (pp) می‌باشند.

### واحدهای حرارتی

با توجه به اینکه بیشترین سطح زیر کشت درخت سیب در مناطق مورد مطالعه از نوع پاییزه‌اند، نوع سیب دیررس پاییزه برای بررسی انتخاب شد. با توجه به همبستگی هر مرحله از رشد سیب با عامل حرارتی دما، طول دوره رشد و مراحل رویشی آن (شامل مراحل تشکیل جوانه، شکفتن جوانه، گل‌دهی، رشد میوه، و رسیدن میوه) با استفاده از شاخص درجه-روز براساس رابطه ۳ محاسبه شد.

$$GDD = \sum_{t=1}^N \frac{(T_{max} + T_{min})}{2} - T_{Bas} \quad (3)$$

در معادله ۳، GDD معرف درجه-روز است که طی N روز جمع‌آوری شده است،  $T_{max}$  و  $T_{min}$  به ترتیب بیشینه و کمینه دماهای روزانه‌اند و  $T_{Bas}$  دمای هوای پایه یا صفر فیزیولوژیکی گیاه و N تعداد روزها در یک زمان معین را نشان می‌دهد (مک‌مستر و یلهلم، ۱۹۹۷: ۳۰۰). برای مشخص کردن روند داده‌ها از آزمون آماری-گرافیکی من-کندال و برای برآورد کردن شیب واقعی روند زمان از روش ناپارامتریک سن استفاده شد.

### نیاز آبی سیب درختی

نیاز آبی به مقدار آبی گفته می‌شود که باید به صورت آبیاری به زمین داده شود تا گیاه با حداکثر توان خود رشد و محصول تولید کند (میرموسوی، ۱۳۹۱: ۴۸). مهم‌ترین عامل در تعیین نیاز آبی برآورد دقیق ETO در هر منطقه است که توزیع مکانی آن در مدیریت منابع آبی، مطالعات بیلان آبی، و برآورد نیاز آبی گیاهان اهمیت زیادی دارد. در این پژوهش مقادیر تبخیر-تعرق پتانسیل (ETO) به روش پنمن-مونتیث فائو محاسبه شده است (رابطه ۴):

$$ETO = \frac{0.408 \Delta (Rn - G) + y \left( \frac{900}{T} + 273 \right) (US) (es - ea)}{\Delta + y(1 + 0.34US)} \quad (4)$$

در رابطه ۴، ETO تبخیر- تعرق پتانسیل (mm/day)، Rn تابش خالص در سطح پوشش گیاهی ( $\text{MJ M}^{-2} \text{ day}^{-1}$ )، T متوسط دمای هوا ( $^{\circ}\text{C}$ )،  $e_s - e_d$  اختلاف فشار بخار آب در ارتفاع دومتری نسبت به حالت اشباع ( $\text{kPa}^{\circ} \text{C}^{-1}$ )، و G شار گرمایی به داخل خاک (MJ) است. ضریب رطوبتی است و میانگین روزانه رطوبت نسبی هوا بر حسب درصد است. با توجه به واحدهای پارامترهای یادشده، داده‌های پایگاه ECMWF نیز تبدیل واحد شدند. به منظور محاسبه مقدار نیاز آبی ( $ET_c$ ) و باران مؤثر ( $p_e$ ) برای شرایط اقلیمی فعلی و آینده از روابط مختلفی استفاده می‌شود. در این پژوهش نیاز آبی گیاه از طریق رابطه ۵ محاسبه شد:

$$ET_c = ETO * KC \quad \text{KC} = \text{ضریب گیاهی} \quad \text{ETO} = \text{تبخیر و تعرق مرجع} \quad (5)$$

مقادیر ضریب گیاهی KC در مراحل مختلف رشد براساس گزارش فائو لحاظ شدند. ضریب گیاهی در گیاهان مختلف متفاوت است و به عواملی مانند نوع، مرحله رشد، و شرایط آب و هوایی بستگی دارد و در طول دوره رشد گیاه تغییر می‌کند (علیزاده، ۱۳۹۰: ۲۲۴). محاسبه باران مؤثر با استفاده از روش سازمان حفاظت خاک آمریکا، USDA، به صورت زیر انجام شد (رابطه‌های ۶ و ۷):

$$p_e = \frac{p \times (4.17 - 0.2p)}{4.17} \quad p \leq 8.3 \frac{\text{mm}}{\text{day}} \quad (6)$$

$$p_e = (4.17 + 1p) \quad p > 8.3 \frac{\text{mm}}{\text{day}} \quad (7)$$

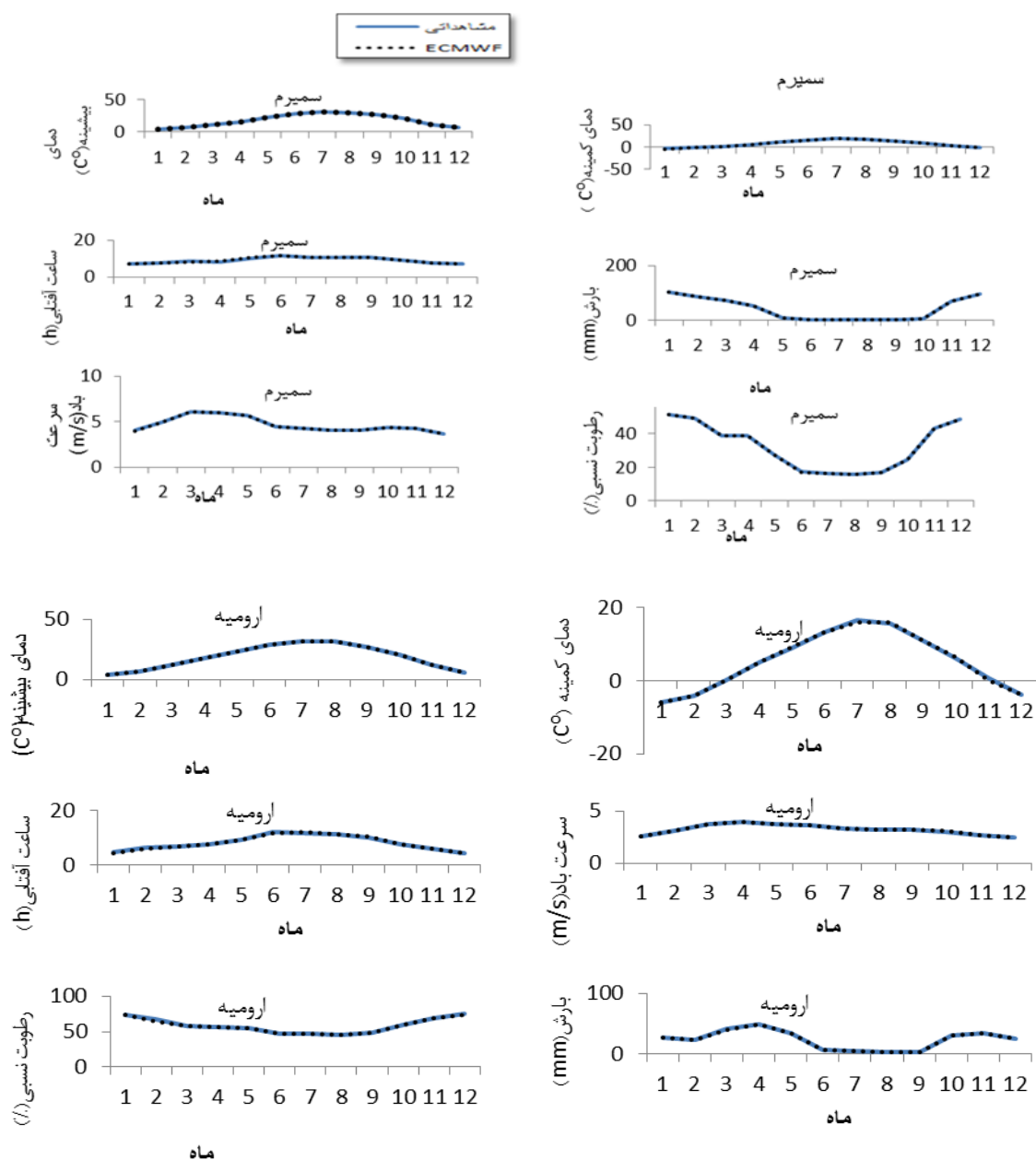
در رابطه‌های ۶ و ۷، p متوسط بارندگی در دوره مورد نظر (روزانه یا ماهانه) (mm/d) و  $p_e$  بارش مؤثر است (سلیمانی ننادگانی و همکاران، ۱۳۹۰: ۳۹۰).

## یافته‌های پژوهش

نتایج حاصل از این پژوهش در چند بخش ارائه شده است: در بخش اول نتایج آماری بین داده‌های ERA-Interim و داده‌های مشاهداتی در ایستگاه‌های مورد بررسی در جدول و نمودار ۱ نمایش داده شده‌اند. دقت زیاد داده‌های این پایگاه برای ایستگاه‌های سمیرم و ارومیه تأیید شد. یافته‌های این پژوهش با یافته‌های دیگر پژوهشگران در زمینه دقت زیاد داده‌های نسخه ERA-Interim از جمله دارند و کریمی (۱۳۹۴: ۶۵۲) همخوانی دارد.

جدول ۱. مقادیر RMSE، MSE، R<sup>2</sup>، و NRSME متغیرهای آب و هوایی مشاهداتی با داده‌های پایگاه ECMWF

ارومیه					سمیرم					
NRSME	R	R <sup>2</sup>	MSE	RMSE	NRSME	R	R <sup>2</sup>	MSE	RMSE	
۰/۰۴	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۰۴	۰/۲۲	۰/۰۱	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۰۱	۰/۱۱	دمای کمینه ( $^{\circ}\text{C}$ )
۰/۰۳	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۰۲	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۰۱	۰/۰۳	دمای بیشینه ( $^{\circ}\text{C}$ )
۰/۰۰۲	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۰۰۳	۰/۰۶	۰/۰۰۶	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۰۷	۰/۲۸	بارش (mm)
۰/۰۰۵	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۰۰۱	۰/۰۴	۰/۰۰۶	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۰۰۳	۰/۰۵	ساعت آفتابی (h)
۰/۰۱	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۳۸	۰/۰۶۱	۰/۰۰۷	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۰۰۶	۰/۰۲	رطوبت نسبی (%)
۰/۰۲	۰/۹۸	۰/۹۶	۰/۰۰۸	۰/۰۹	۰/۰۰۶	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۰	۰/۰۰۲	باد ( $\text{m/s}$ )



شکل ۱. مقایسه متغیرهای آب و هوایی مشاهداتی با داده‌های پایگاه ECMWF

در مرحله بعد، به منظور انتخاب بهترین مدل برای مناطق مورد مطالعه، نخست خروجی داده‌های فصل رشد دوره پایه مدل‌های مختلف پروژه CORDEX با داده‌های مشاهداتی مقایسه شد. همان‌طور که در جدول‌های ۲ تا ۴ مشخص شده است، مدل ICHEC-EC-EARTH خطای کمتری در مقایسه با دو مدل دیگر دارد. اعمال پس‌پردازش رویدادهای تاریخی توانسته است به مقدار بسیار زیادی کارایی مدل را در شبیه‌سازی داده‌ها افزایش دهد. سپس، با استفاده از داده‌های مشاهداتی و خروجی مدل تحت دو خط سیر RCP4.5 و RCP8.5 برای دوره آینده میزان تغییرات تبخیر-تعرق و نیاز آبی و طول دوره رشد درخت سیب بررسی شد.

جدول ۲. مقادیر  $R^2$ , MSE, RMSE و NRSME متغیرهای مدل NOAA-GFDL-GFDL با داده‌های مشاهداتی

ارومیه					سمیرم					
NRSME	R	R <sup>2</sup>	MSE	RMSE	NRSME	R	R <sup>2</sup>	MSE	RMSE	
-۰٫۳۵	۰٫۹۸	۰٫۹۶	۱٫۹۳	۱٫۰۳۹	۰٫۲۲	۰٫۹۸	۰٫۹۹	۲٫۷۷	۱٫۶۶	دمای کمینه (°C)
-٪۰٫۷	٪۹۸	٪۹۷	۲٫۱۵	۱٫۴۶	٪۰٫۳	٪۹۹	٪۹۹	٪۳۶	٪۳۶	دمای بیشینه (°C)
۰٫۰۰۲	۰٫۹۹	۰٫۹۸	۰٫۰۰۳	۰٫۶	۰٫۰۲	۰٫۹۹	۰٫۹۹	۱٫۴۷	۱٫۲۸	بارش (mm)
٪۰٫۰۵	٪۹۹	٪۹۹	٪۰٫۰۱	٪۰٫۴	٪۱۵	٪۶۷	٪۴۵	۱٫۹۶	۱٫۴۰	ساعت آفتابی (h)
٪۱۹	٪۸۴	٪۷۱	۲٫۴۶	۱٫۵۶	٪۱۱	٪۹۹	٪۹۳	۴٫۲۳	۲٫۵	رطوبت نسبی (%)
٪۰٫۳	۰٫۹۸	۰٫۹۶	۳٫۹۹	۱٫۹۸	۰٫۳۲	۰٫۳۵	۰٫۱۲	۲٫۳۵	۱٫۵۳	باد ( $m/s$ )

جدول ۳. مقادیر  $R^2$ , MSE, RMSE و NRSME متغیرهای مدل CNRM-CERFACS-CNRM-CM5 با داده‌های مشاهداتی

ارومیه					سمیرم					
NRSME	R	R <sup>2</sup>	MSE	RMSE	NRSME	R	R <sup>2</sup>	MSE	RMSE	
۰٫۳۶	۰٫۹۸	۰٫۹۵	۳٫۸۱	۱٫۹۵	۰٫۱۹	۰٫۹۸	۰٫۹۷	۲٫۰۷	۱٫۴۳	دمای کمینه (°C)
٪۰٫۶	٪۹۹	٪۹۸	۱٫۴۶	۱٫۲۱	٪۹۸	٪۹۸	٪۹۶	۳٫۰۷	۱٫۷۵	دمای بیشینه (°C)
۰٫۱۰	۰٫۹۸	۰٫۹۷	۶٫۲۵	۲٫۰۵	۰٫۰۴	۰٫۹۹	۰٫۹۹	۲٫۸۷	۱٫۶۹	بارش (mm)
٪۰٫۰۵	٪۹۹	٪۹۹	٪۰٫۰۱	٪۰٫۴	٪۱۸	٪۷۷	٪۵۹	۲٫۷۴	۱٫۶۵	ساعت آفتابی (h)
٪۰٫۴	٪۸۳	٪۶۹	۲٫۸۲	۱٫۶۷	٪۰٫۴	٪۹۹	٪۹۸	۲٫۵۱	۱٫۸	رطوبت نسبی (%)
٪۰٫۶۵	۰٫۱۷	۰٫۰۳	۴٫۵۵	۲٫۱۳	۰٫۳۶	۰٫۴۱	۰٫۱۷	۲٫۸۶	۱٫۶۹	باد ( $m/s$ )

جدول ۴. مقادیر  $R^2$ , MSE, RMSE و NRSME متغیرهای مدل ICHEC-EC-EARTH با داده‌های مشاهداتی

ارومیه					سمیرم					
NRSME	R	R <sup>2</sup>	MSE	RMSE	NRSME	R	R <sup>2</sup>	MSE	RMSE	
۰٫۱۴	۱٫۰۰	۰٫۹۹	۰٫۶۴	۰٫۸۰	۰٫۱۱	۰٫۹۹	۰٫۹۸	٪۷۳	٪۸۵	دمای کمینه (°C)
٪۰٫۴	٪۹۹	٪۹۹	٪۶۶	٪۸۱	٪۰٫۳	٪۹۹	٪۹۹	٪۰٫۱	٪۰٫۳	دمای بیشینه (°C)
۰٫۰۰۲	۰٫۹۹	۰٫۹۸	۰٫۰۰۳	۰٫۶	۰٫۰۲	۰٫۹۹	۰٫۹۹	٪۸۳	٪۹۱	بارش (mm)
٪۰٫۹	٪۹۲	٪۹۶	٪۵۶	٪۷۵	٪۰٫۹	٪۸۵	٪۷۲	٪۷۳	٪۸۵	ساعت آفتابی (h)
٪۰٫۱	٪۹۹	٪۹۹	٪۵۹	٪۷۶	٪۰٫۲	٪۹۹	٪۹۹	٪۸۹	٪۹۴	رطوبت نسبی (%)
٪۲۱	۰٫۵۲	۰٫۷۲	۰٫۴۷	۰٫۶۹	۰٫۱۷	۰٫۷۳	۰٫۵۳	٪۶۶	٪۸۱	باد ( $m/s$ )

### روند تغییرات تبخیر- تعرق گیاه مرجع

محاسبه مقادیر تبخیر- تعرق پتانسیل، علاوه بر نشان دادن ویژگی‌های اقلیمی یک منطقه، در محاسبه نیاز آبی گیاهان مختلف و نیز طراحی سیستم‌های آبیاری، زهکشی، و ذخیره آب کاربرد دارد. به منظور شناخت روند تغییرات تبخیر- تعرق گیاه مرجع، آزمون من- کندال و شیب سن بر روی سری‌های ETO طول فصل رشد درخت سیب اعمال شد. نتایج آماره آزمون من-کندال و شیب سن در جدول ۵ نشان داده شده است. در ایستگاه سمیرم بر رویدادهای مشاهداتی شیب تغییرات منفی و روند آن کاهش است. ولی در ایستگاه ارومیه شیب تغییرات مثبت است. روندهای هر دو ایستگاه در سطح ۵ درصد معنی‌دار است. میزان تبخیر- تعرق پتانسیل برآورد شده در فصل رشد تحت خط سیر RCP ۴/۵ و ۸/۵ RCP برای ایستگاه‌ها روندی افزایشی را نشان می‌دهد. در بیشتر سال‌ها، میزان تبخیر- تعرق برآورد شده تحت سناریوی RCP ۴/۵ بیش از مقدار تبخیر- تعرق برآورد شده تحت سناریوی RCP ۸/۵ است؛ اما روند افزایشی آن‌ها تقریباً مشابه است.



جدول ۵. نتایج آماره Z من - کندال و Q شیب سن بر روی ETO در فصل رشد درخت سیب در ایستگاه‌های مورد مطالعه

ایستگاه	داده‌های مشاهداتی		سناریوی ۴/۵		سناریوی ۸/۵	
	Z	Q	Z	Q	Z	Q
سمیرم	-۱/۹۷	-۰/۰۲	-۰/۲۹	۰/۰۲	۱/۲۸	-۰/۰۷
ارومیه	۳/۱۴	۰/۰۷	۱/۶۵	۰/۰۵	۱/۳۳	-۰/۰۶

افزایش ETO فصل رشد ایستگاه‌ها نسبت به دوره پایه با سناریوهای ۴/۵ و ۸/۵ برای ایستگاه سمیرم به ترتیب ۳/۸۴ و ۷/۳۷ میلی‌متر و برای ایستگاه ارومیه ۵/۰۴ و ۸/۱۶ میلی‌متر پیش‌بینی می‌شود. کمترین میزان افزایشی ETO نسبت به دوره پایه برای ایستگاه‌ها تحت هر دو سناریو به ترتیب در مراحل جوانه‌زنی و رشد میوه رخ می‌دهد. ذکر این نکته لازم است که درصد نرخ تغییرات ETO از رابطه ۸ محاسبه شد:

$$\text{Change rate}\% = \frac{ETO_{(future)} - ETO_{(baseline)}}{ETO_{(baseline)}} \times 100 \quad (8)$$

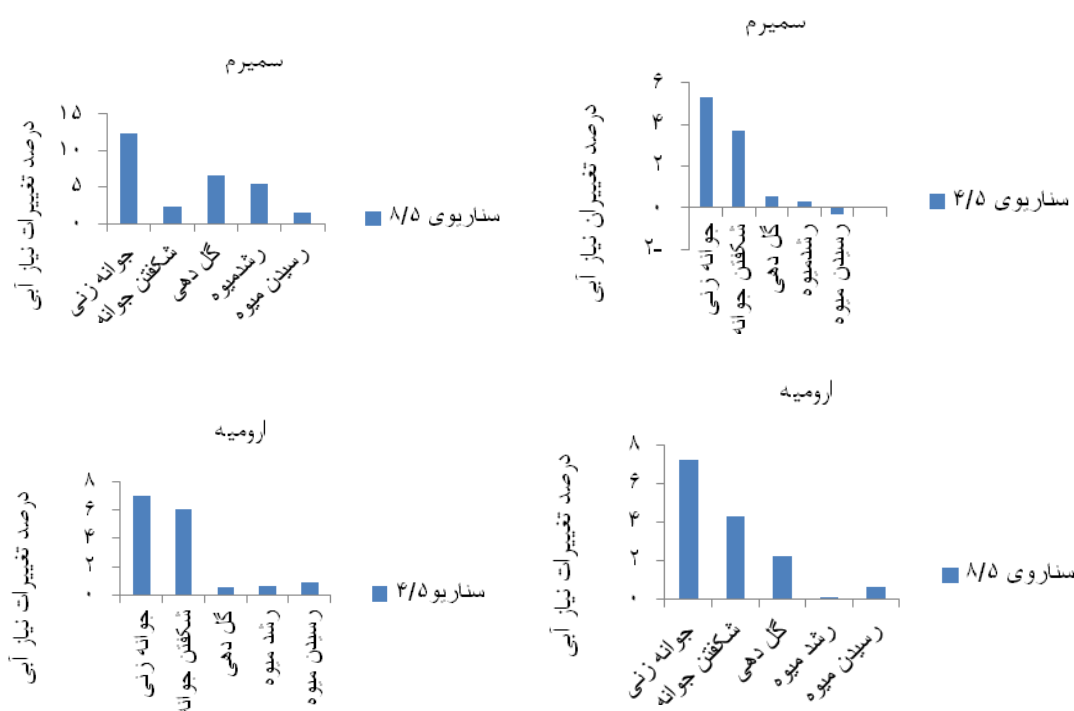
در رابطه ۸،  $ETO_{(future)}$  مقدار متوسط تبخیر- تعرق در دوره آینده و  $ETO_{(baseline)}$  مقدار متوسط تبخیر- تعرق در دوره پایه است.

### نیاز آبی

نیاز آبی گیاه نشان‌دهنده مقدار آبی است که گیاه در کل فصل رشد برای رشد کامل و محصول‌دهی به آن نیاز دارد. در ایستگاه‌های ارومیه و سمیرم متوسط سالانه بارش مؤثر در دوره مشاهداتی به ترتیب ۲۶۹ و ۴۳۲ میلی‌متر است. از این مقادیر ۴۳ درصد در ایستگاه ارومیه و ۱۷ درصد در ایستگاه سمیرم در طول فصل رشد سیب رخ می‌دهد. برای داده‌های برآوردشده نیز بارش مؤثر فصل رشد در ایستگاه ارومیه بیش از ایستگاه سمیرم است؛ به تبع آن در طول فصل رشد درخت سیب، ایستگاه سمیرم در دوره مشاهداتی و سال‌های پیش‌بینی نسبت به ایستگاه ارومیه نیاز آبی بیشتری خواهد داشت. در هر دو ایستگاه در دوره مشاهداتی طبق برآوردهای انجام‌شده میزان بارش مؤثر در مرحله جوانه‌زنی بیش از چرخه‌های دیگر است. در خط سیر ۸/۵ برای هر دو ایستگاه بارش مؤثر نسبت به دوره مشاهداتی افزایش خواهد یافت. این نتیجه مشابه با نتایج کار قهرمان و همکاران (۱۳۹۵: ۶۴) است. نتایج بررسی نام‌برندگان نشان داده بود که، براساس هر دو سناریوی ۴/۵ و ۸/۵ مقدار بارش در انتهای قرن بیست‌ویکم در دشت اهواز نسبت به مقدار میانگین اقلیمی این کمیت افزایش خواهد یافت. گووا و همکاران (۲۰۰۹) نیز در مطالعه خود به اهمیت بسزای دما در تغییر نیاز آبی نیشکر اشاره کرده‌اند.

با توجه به مقدار تبخیر- تعرق و بارش مؤثر در طول فصل رشد سیب، نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان داد که در شرایط تغییر اقلیم نسبت به دوره پایه نیاز آبیاری درخت سیب در ایستگاه‌های ارومیه و سمیرم تحت هر دو سناریو افزایش یافته است. این نتیجه با نتایج پژوهش نهبندانی و سلطانی (۱۳۹۵: ۸۰) مطابقت دارد. در پژوهش یادشده نشان داده شده است که تحت شرایط سناریوهای مختلف اقلیمی (کاهش دما، افزایش دما، و افزایش  $CO_2$ ) در گیاه سویا، افزایش یک تا سه درجه سانتی‌گراد دما به افزایش نیاز آبیاری به ۳۰ میلی‌متر منجر خواهد شد. نتایج مطالعات باگیس و همکاران (۲۰۱۰: ۲۸۰) نشان داد که در مورد محصولات بهاره و تابستانه، نظیر گوجه فرنگی، افزایش معنی‌داری در نیاز آبی رخ خواهد داد؛ به نحوی که این افزایش حتی با بستن روزنه‌ها به‌منظور کاهش دوره رشد گیاهان نیز جبران نخواهد شد.

در ایستگاه ارومیه با اینکه میزان تبخیر- تعرق در سناریوی ۸/۵ نسبت به خط سیر RCP۴/۵ روند صعودی بیشتری داشته، به دلیل افزایش بارش مؤثر نیاز آبی آن نسبت به خط سیر RCP۴/۵ کاهش نشان می‌دهد. بنابراین، در خط سیر RCP۴/۵ این ایستگاه به آبیاری بیشتری نیازمند است. در ایستگاه سمیرم، با وجود اینکه بارش‌های مؤثر در سناریوی ۸/۵ نسبت به خط سیر RCP۴/۵ افزایش یافته است، به دلیل افزایش مقادیر تبخیر، طبق خط سیر RCP۸/۵، نیاز آبی در این سناریو نسبت به RCP۴/۵ بیشتر شده است. در هر دو ایستگاه بیشترین نیاز آبی در مرحله رشد میوه مشاهده می‌شود که در این مرحله کمترین بارش مؤثر با بیشترین مقادیر تبخیر- تعرق و میانگین دما همراه است. بنابراین، در این مرحله درخت سیب به بیشترین میزان آبیاری نیاز دارد. ولی در مرحله جوانه‌زنی، نیاز آبی به کمترین مقدار خود می‌رسد، زیرا بیشترین بارش مؤثر در این دوره رخ داده است. همچنین، در دوره جوانه‌زنی بیشترین درصد تغییرات در نیاز آبی اتفاق می‌افتد.



شکل ۲. میزان تغییرات نیاز آبی طی مراحل رشد درخت سیب در ایستگاه‌های مورد مطالعه

### تغییرات دما و بارندگی

در ایستگاه سمیرم برای داده‌های مشاهده‌ای روند دماهای کمینه و بیشینه در مرحله رشد و رسیدن میوه کاهش است، ولی در بقیه مراحل افزایشی است. روند دمای بیشینه در دوره رشد در سطح ۵ درصد معنی‌دار است. روند بارش به غیر از مرحله رشد میوه، که افزایشی است، در مراحل دیگر کاهش است. در این ایستگاه برای خط سیر ۴/۵ روند دماهای کمینه و بیشینه به غیر از مراحل گل‌دهی و رسیدن میوه در سایر مراحل افزایشی است. روند بارش به غیر از مراحل شکفتن و گل‌دهی در سایر مراحل کاهش است. برای خط سیر ۸/۵ روند دمای بیشینه در مراحل جوانه‌زنی و شکفتن جوانه افزایشی است و در سایر مراحل کاهش است. روند دمای کمینه در مرحله جوانه‌زنی کاهش است و در سایر مراحل افزایشی است. روند بارش در مراحل جوانه‌زنی، رشد، و رسیدن میوه معنی‌دار است. روند بارش در سایر مراحل افزایشی است. از نظر آماری، روند جوانه‌زنی در سطح ۵ درصد معنی‌دار است.

برای ایستگاه ارومیه در داده‌های مشاهداتی روند دمای کمینه در مراحل رشد و رسیدن میوه کاهش یافته است و در سایر مراحل افزایش یافته است. روند دمای بیشینه در همه مراحل افزایش یافته است. از نظر آماری، روند مراحل شکفتن و رشد میوه معنی‌دار است. روند بارش به غیر از مرحله گل‌دهی و رشد میوه در سایر مراحل کاهش یافته است. در خط سیر ۴/۵ روند دمای بیشینه مراحل شکفتن جوانه و گل‌دهی کاهش یافته است و در سایر مراحل افزایش یافته است. روند دمای کمینه به غیر از مرحله جوانه‌زنی و شکفتن جوانه در سایر مراحل کاهش یافته است. روند بارش در همه مراحل افزایش یافته است. در سناریوی ۸/۵ روند دمای بیشینه در مرحله گل‌دهی و دمای کمینه در مراحل رشد و رسیدن میوه کاهش یافته است و در سایر مراحل افزایش یافته است. بارش تمام مراحل افزایش یافته است.

### طول دوره رشد درخت سیب

با استفاده از درجه رشد، در دوره مشاهداتی، تاریخ شروع و پایان رشد درخت سیب در مناطق مورد مطالعه به دست آمد. براساس نتایج پژوهش، مشخص شد که در هر دو ایستگاه زمان شروع و پایان مراحل رشد متفاوت است. این امر می‌تواند به دلیل وجود شرایط آب و هوایی متفاوت در مناطق مطالعاتی باشد. براساس محاسبه درجه رشد، طول دوره رشد درخت سیب در ایستگاه سمیرم از اول آوریل تا اوایل اکتبر و در ایستگاه ارومیه از نهم آوریل تا نهم اکتبر است. مرحله تشکیل جوانه در ایستگاه سمیرم از اوایل آوریل تا نهم این ماه و در ایستگاه ارومیه از نهم آوریل تا هفدهم این ماه است. مرحله دوم یعنی شکفتن جوانه در دوره مشاهداتی در ایستگاه سمیرم از دهم آوریل تا هجدهم این ماه و در ایستگاه ارومیه از هجدهم آوریل تا سی‌ام این ماه رخ داده است. مرحله گل‌دهی حساس‌ترین مرحله فنولوژی درختان میوه به شرایط اقلیمی به‌ویژه دما است. آغاز و پایان مرحله سوم در ایستگاه سمیرم از نوزدهم آوریل تا سوم ماه مه و در ایستگاه ارومیه از اول مه تا پانزدهم این ماه است. آغاز و پایان مرحله رشد میوه در ایستگاه سمیرم از چهارم مه تا چهاردهم سپتامبر و در ایستگاه ارومیه از شانزدهم سپتامبر تا بیست‌وسوم این ماه است. آغاز مرحله رسیدن میوه در ایستگاه سمیرم پانزدهم سپتامبر و پایان آن اوایل اکتبر است و این مرحله در ایستگاه ارومیه از بیست‌وچهارم سپتامبر تا نهم اکتبر است. نتایج حاصل از مقایسه طول دوره رشد در پایه و داده‌های برآوردشده در ایستگاه‌های مورد مطالعه تحت هر دو سناریو حاکی از کاهش طول دوره رشد در آینده است که روند آن‌ها از لحاظ آماری تأیید نشد. نتایج این بخش با مطالعات احمدی و همکاران (۱۳۹۷) همخوانی دارد. نام‌برندگان براساس سناریوها مشخص کرده‌اند که در آینده با توجه به افزایش دمای هوا و بالا رفتن میزان درجه-روزهای رشد طول فصل رشد درخت سیب کوتاه‌تر خواهد شد. همچنین، نتایج کار اسماعیلی و همکاران (۱۳۸۹) در ایستگاه تربت حیدریه نشان داد که طول دوره رشد در این ایستگاه کاهش می‌یابد. در دوره‌های آتی افزایش دمای هوا و بالا رفتن میزان درجه-روزهای رشد و تجمع زود هنگام واحدهای حرارتی در مراحل رشد و نمو باعث کاهش طول دوره رشد درخت سیب خواهد شد. در واقع، درخت سیب دوره رویشی و زایشی خود را زودتر تکمیل خواهد کرد؛ به طوری که براساس داده‌های مشاهداتی آغاز مرحله تشکیل جوانه به طور متوسط در ایستگاه سمیرم اول آوریل است. در این ایستگاه در دوره پیش‌بینی شده در خط سیر ۴/۵ متوسط آغاز مرحله جوانه‌زنی از ۲۵ مارس و در خط سیر ۸/۵ از بیست‌وسوم مارس خواهد بود. بر این اساس، میزان تغییرپذیری برای خط سیر ۴/۵ با ۵ روز و برای خط سیر ۸/۵ با ۷ روز اختلاف جوانه‌زنی زودتر رخ داده است. در ایستگاه ارومیه آغاز مرحله جوانه‌زنی در داده‌های مشاهداتی ۹ آوریل، برای خط سیر ۴/۵ متوسط آغاز ۶ آوریل، و برای خط سیر ۸/۵ روز ۷ آوریل خواهد بود. بر این اساس، میزان تغییرپذیری برای خط سیر ۴/۵ با چهار روز و برای خط سیر ۸/۵ با سه روز اختلاف همراه است؛ به عبارتی، شروع جوانه‌زنی زودتر رخ داده است.

تأمین زودتر نیاز حرارتی در اثر افزایش دما کوتاه‌تر شدن برخی مراحل را در پی داشته است. نتایج نشان داد که برای ایستگاه سمیرم در خط سیر ۴/۵ طول دوره جوانه‌زنی شکفتن جوانه و رشد میوه و در خط سیر ۸/۵ به‌جز دوره جوانه‌زنی طول دوره سایر مراحل کوتاه‌تر خواهد شد. برای ایستگاه ارومیه در خط سیر ۴/۵ طول دوره جوانه‌زنی و شکفتن جوانه‌ها و در خط سیر ۸/۵ دوره‌های جوانه‌زنی، شکفتن جوانه، و گل‌دهی کوتاه‌تر خواهد شد. کاهش طول دوره رشد در سناریوی ۸/۵ بیش از سناریوی ۴/۵ خواهد بود. نتایج پژوهش حیدری بنی و همکاران (۱۳۹۷) نیز نشان داد که با سناریوی ۸/۵ مدت زمان مراحل فنولوژیکی سبز کردن، گل‌دهی، غلاف‌بندی و رسیدن و با سناریوی ۴/۵ مراحل گل‌دهی و غلاف‌بندی کلزا کاهش خواهد داشت. اثر بالا رفتن درجه حرارت بر الگوی گل‌دهی در مورد بسیاری از گونه‌های گیاهی مطالعه شده و به تأیید رسیده است (فول و همکاران، ۲۰۰۶: ۸۴).

### بحث و نتیجه‌گیری

بر پایه روش‌های ارزیابی، مقایسه داده‌های برآوردشده پایگاه ECMWF با مقادیر مشاهده‌شده نشان می‌دهد که در همه پارامترها همبستگی (R) بسیار زیاد است. مقدار خطای برآوردشده داده‌های پایگاه ECMWF در مقایسه با داده‌های مشاهداتی بسیار ناچیز است و داده‌های این پایگاه برای ایستگاه‌های مورد مطالعه قابل‌تأییدند. مدل ICHEC-EC-EARTH توانایی به نسبت بهتری در برآورد میزان تبخیر- تعرق پتانسیل در مقایسه با دو مدل دیگر را دارد. نتایج این پژوهش نشان داد که مجموع تبخیر- تعرق مناطق مورد مطالعه در هر دو سناریو نسبت به دوره مشاهداتی افزایش یافته است. در مجموع ETO خط سیر ۴/۵ RCP در مقایسه با شرایط کنونی (۱۹۹۶-۲۰۱۶) به نسبت خط سیر ۸/۵ RCP تفاوت و تغییرات کمتری نشان می‌دهد. اما به دلیل افزایش بارش مؤثر در خط سیر ۸/۵ RCP آبیاری کمتر مورد نیاز خواهد بود. نسبت تغییرات ETO فصل رشد ایستگاه‌ها نسبت به دوره پایه برای سناریوهای ۴/۵ و ۸/۵ برای ایستگاه سمیرم به ترتیب ۳/۸۴ و ۷/۳۷ و برای ایستگاه ارومیه به ترتیب ۵/۰۴ و ۸/۱۶ پیش‌بینی شد. میزان تغییرات ETO برای ایستگاه ارومیه بیش از ایستگاه سمیرم است، اما بیشتر بودن بارش مؤثر ایستگاه ارومیه در فصل رشد موجب شده است که ایستگاه سمیرم در دوره مشاهداتی و سال‌های پیش‌بینی نسبت به ایستگاه ارومیه نیاز آبی بیشتری را نشان دهد. در هر دو ایستگاه بیشترین نیاز آبی سیب در مرحله رشد میوه است، زیرا در این مرحله کمترین بارش مؤثر و بیشترین مقادیر در تبخیر- تعرق و میانگین دما اتفاق افتاده است. مرحله جوانه‌زنی نیازمند کمترین نیاز آبی است، زیرا بیشترین بارش مؤثر در این دوره رخ داده است. درصد تغییرات آینده نسبت به دوره پایه در مرحله جوانه‌زنی بیش از دو مرحله دیگر به دست آمد. تأمین زودتر نیاز حرارتی موجب کاهش طول دوره رشد درخت سیب شده و در واقع درخت چرخه رویشی و زایشی خود را زودتر تکمیل کرده است. پیامدهای این رخداد می‌تواند کاهش عملکرد، کاهش کیفیت و رنگ‌پذیری، افزایش دما، و افزایش نیاز آبی را در پی داشته باشد. تأمین زودتر نیاز حرارتی در اثر افزایش دما کوتاه‌تر شدن برخی مراحل را در پی داشته است. کاهش طول دوره رشد در سناریوی ۸/۵ بیش از سناریوی ۴/۵ خواهد بود. روند افزایش تبخیر- تعرق، دمای هوا، و بالا رفتن میزان درجه- روزهای رشد در طول فصل باعث افزایش نیاز آبی درخت سیب خواهد شد.

## منابع

- اسماعیلی، ر.؛ حبیبی نوخندان، م. و فلاح قاهره‌ری، غ. (۱۳۸۹). ارزیابی تغییرات طول دوره رشد و یخبندان ناشی از نوسانات اقلیمی، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۷۳: ۶۹-۸۲.
- احمدی، ح.؛ فلاح قاهره‌ری، غ. و گودرزی، م. (۱۳۹۷). برآورد و تعیین الگوی فضایی نیاز آبی درخت سیب در ایران، اکو هیدرولوژی، ۱۶(۱): ۱۴۹-۱۶۰.
- بابائیان، ا.؛ نجفی نیک، ز.؛ زابل عباسی، ف.؛ حبیبی نوخندان، م.؛ ادب، ح. و ملبوسی، ش. (۱۳۸۸). ارزیابی تغییر اقلیم کشور در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ میلادی با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی داده‌های مدل گردش عمومی جو ECHO-G، جغرافیا و توسعه، ۱۶: ۱۳۵-۱۵۲.
- حجازی‌زاده، ز. و طولابی‌نژاد، م. (۱۳۹۵). شبیه‌سازی اقلیمی با تأکید بر مدل منطقه‌ای (RegCM4)، انتشارات آکادمیک، انجمن جغرافیایی ایران.
- حیدری بنی، م.؛ یزدان‌پناه، ح. و محنت‌کش، ع. (۱۳۹۷). بررسی اثرات تغییر اقلیم بر عملکرد و مراحل فنولوژیکی کلزا (مطالعه موردی: استان چهارمحال و بختیاری)، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۵۰(۲): ۳۷۳-۳۸۹.
- دارند، م. و زند کریمی، س. (۱۳۹۴). واکاوی سنجش دقت زمانی- مکانی بارش پایگاه داده مرکز پیش‌بینی میان‌مدت جوی اروپایی (ECMWF) بر روی ایران زمین، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۴۷(۴): ۶۵۱-۶۷۵.
- رحمانی، م.؛ جامی الاحمدی، م.؛ شهیدی، ع. و هادی‌زاده ازغندی، م. (۱۳۹۴). تأثیر تغییر اقلیم بر طول مراحل رشد و نیاز آبی گندم (*Triticum aestivum* L) و جو (*Hordeum vulgare* L) مطالعه موردی: دشت بیرجند، نشریه بوم‌شناسی کشاورزی، ۷(۴): ۴۴۳-۴۶۰.
- رضیعی، ط. و ستوده، ف. (۱۳۹۶). بررسی دقت مرکز اروپایی پیش‌بینی‌های میان‌مدت جوی (ECMWF) در پیش‌بینی بارش مناطق گوناگون اقلیمی ایران، فیزیک زمین و فضا، ۴۳(۱): ۱۳۳-۱۴۷.
- سلیمانی ننادگانی، م.؛ پارس‌نژاد، م.؛ عراقی‌نژاد، ش. و مساح بوانی، ع. (۱۳۹۱). بررسی رخداد تغییر اقلیم و تأثیر آن بر زمان کاشت، طول دوره رشد، و نیاز آبی گندم زمستانه (مطالعه موردی بهشر)، مجله پژوهش آب ایران، ۶(۱۰): ۱۱-۲۰.
- سلیمانی ننادگانی، م.؛ پارس‌نژاد، م.؛ عراقی‌نژاد، ش. و مساح بوانی، ع. (۱۳۹۰). تأثیر تغییر اقلیم بر نیاز خالص آبیاری و عملکرد گندم دیم (مطالعه موردی بهشر)، نشریه آب‌و خاک (علوم صنایع و کشاورزی)، ۲۵(۲): ۳۸۹-۳۹۷.
- علی‌زاده، ا. (۱۳۹۰). اصول هیدرولوژی کاربردی، چ ۳۲، مشهد: انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.
- قادرزاده، آ. (۱۳۹۴). ارزیابی پیامدهای تغییرات آب‌وهوا بر مراحل فنولوژی درختان سیب شهرستان ارومیه، استاد راهنما بهروز سبحانی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل.
- قهرمان، ن.؛ بابائیان، ا. و طباطبایی، س.م.ر. (۱۳۹۵). بررسی اثرات تغییر اقلیم بر نیاز آبی و طول دوره رشد گیاه نیشکر تحت سناریوهای واداشت تابشی، نشریه حفاظت منابع آب‌و خاک، ۱۶(۱): ۶۳-۷۴.
- میان‌آبادی، آ.؛ علی‌زاده، ا.؛ ثنایی‌نژاد، ح.؛ قهرمان، ب. و داوری، ک. (۱۳۹۵). پیش‌بینی تغییرات تبخیر واقعی سالانه در مناطق خشک با استفاده از چهارچوب اصلاح‌شده بادیکو (مطالعه موردی: حوضه آبریز نیشابور- رخ)، نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۱۰(۳): ۳۹۸-۴۱۱.

- میرصانع، م.؛ مساح بوانی، ع.ر.؛ بلوک آذری، س. و سهرابی ملایوسف، ت. (۱۳۸۹). ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر نیاز آبی چغندرقد و طول دوره رشد آن، دومین کنفرانس سراسری مدیریت جامع منابع آب، ص ۵۶۷.
- میر موسوی، ح.؛ اکبری، ح.؛ پناهی، ح. و اکبرزاده، ی. (۱۳۹۱). واسنجی روش‌های برآورد تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه مرجع (ETO) و محاسبه نیاز آبی گیاه (ETC) زیتون در استان کرمانشاه، *جغرافیا و پایداری محیط*، ۲(۳): ۴۴-۴۵.
- نهبندانی، ع. و سلطانی، ا. (۱۳۹۵). شبیه‌سازی تأثیر تغییرات اقلیمی بر نیازهای آبیاری و عملکرد سویا در گرگان، نشریه منابع آب‌و خاک (علوم صنایع و کشاورزی)، ۳۰(۱): ۷۷-۸۷.
- یزدان‌پناه، ح. و سلیمانی‌تبار، م. (۱۳۹۲). بررسی اثرات تغییر آب‌وهوا بر مراحل فنولوژی سیب در شمال شرق ایران، نخستین کنفرانس ملی آب و هواشناسی، کرمان، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته.
- Acharjee, TK.; Ludwig, F.; Van Halsema, G.; Hellegers, P. and Supit, I. (2017). Future changes in water requirements of Boro rice in the face of climate change in North-West Bangladesh, *Agricultural Water Management*, 194: 172-183.
- Ahmadi H.; Fallah Ghalhari, Gh. and Goodarzi M. (2018). Estimation and determination of spatial pattern of Apple tree water requirement in Iran, *Eco hydrology*, 5(1): 149-160.
- Alizadeh, A. (2011). Principles of Applied Hydrology, Ferdowsy University Press, Mashhad, Second Edition.
- Babaian, I.; Nagafi Neik, Z.; Zabol Abbasi, F.; Habeibei Nokhandan, M.; Adab, H. and Malbisei F. (2010). Climate Change Assessment over Iran During 2010-2039 by Using Statistical Downscaling of ECHO- G Model, *Geography and development Iranian Journal*, 7(16): 135-152.
- Baguis, P.; Roulin, E.; Willems, P. and Ntegeka, V. (2010). Climate change scenarios for recipitation and crop evapotranspiration over central Belgium, *Theoretical Applied Climatology*, 99: 273-286.
- Corobov, R. (2000). Estimation on Climate change impacts crop production in the Republic of Moldova, *Geojournal*, 57: 195-202.
- Darand, M. and Zande Karimi, S. (2016). Evaluation of Spatio-Temporal Accuracy of Precipitation of European Center for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) over Iran, *Physical geography pesearch quartery*, 47(4): 651-675.
- Doll, P. (2002). Impact of climate change and variability on irrigation requirement: a global perspective, *J. of Climate Change*, 54: 269-293.
- Fulu, T.; Masayuki, Y.; Yinlong, X.; Yousay, H. and Zhao, H. (2006). Climate changes and trends in phenology and yields of field crops in China, *Agricultural and Forrest Meteorology*, 138: 82-92.
- Hejazizadeh, Z. and Toulabi nejad. (2016). Climate simulation, emphasizing in Regional Climate Model (Regcm4), *academic*, Geographical Society of Iran.
- Heidarybeni, M.; Yazdanpanh, H. and Mehnatkesh, A. (2018). Impacts of Climate Change on Canola Yields and Phenology (Case Study: Chahrmahal Va Bakhtiari, Iran), *Physical Geograohy Reserch Quarterly*, 50(2):373-386
- Grab, S. and Craparo, A. (2011). Advance of apple and pear tree full bloom dates in response to climate change in the southwestern Cape, South Africa: 1973-2009. *Agric. For. Meteorol.* 151: 406-413.
- Ghaderzade, A. (2015). Assessment of the Climate Change Effects on the Phonological Stages of Apple Apples in Urmia, Ghad, Master's Degree in Natural Geography, Supervisor: Behrouz Sobhani, University of Mohaghegh Ardabili, Ardebi.

- Ghahramn, N.; Babaian, A. and Tabatabaei, MR. (2016). Investigation the effect of climate change on sugarcane growing season and water requirement under RCP scenarios, *Journal Water and Soil Resources Conservation*, 6(1): 64-74.
- Gouvea, J.R.F.; Sentelhas, P.C.; Gazzoal, S.T. and Santos, M.C. (2009). Climate Change and technological advances: impact on sugarcane productivity in tropical southern Brazil, *Scientia Agricoal*, 66: 593-605.
- Liang, G.; Jun, H.; Ming, CH.; Jian, CH. and Eile, L. (2015). Responses of spring phenology in temperate zone trees to climate warming: A case study of apricot flowering in china, *Agricultural and forest Meteorology*, 201: 1-7.
- McMaster, G.S. and Wilhelm, W.W. (1997). Growing degree-days: one equation, two interpretations, *Agricultural and Forest Meteorology*, 87(4): 291-300.
- MirMoussavi, H.; Akbari, H.; Panahi, H. and Akbarzadeh, Y. (2012). Calibration Methods to Estimate Reference Crop Evapotranspiration and Calculated Potential Water Requirements of Olive Plant in Kermanshah Province, *Geography and Sustainability OF Environmental*, 2( 3). 64-45.
- Mianabadi, A.; Alizadeh, A.; Sanaeinejad, H.; Ghahram, B. and Davary, K. (2016). Prediction of Annual Evaporation Change in Dry Regions Using the Budyko-type framework (Case Study of Neishaboor-RokhWatershed), *Iraian journal of irrigation and Drainage*, 3: 411-398.
- Mirsanah, M.; Moshan Bouwani, A.; Azari Blok, S. and Sohrabi Mollayosef, T. (2009). Assessment of the impact of climate change on the need for sugar beet and its growth period, *Second National Conference on Integrated Water Resources Management*.
- Moriasi, D.N.; Arnold, M.W.; Van Liew, R.L.; Harmel, R.D and Veith, T.L. (2007). Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations, *Transactions of the ASABE*, 50(3): 885-900.
- Nehbandani, A.R. and Soltani, A. (2016). Simulate the Effect of Climate Change on Development, Irrigation Requirements and Soybean Yield in Gorgan, *Journal of water and soil*, 30(1): 77-87.
- Rahmani, M.; Jami Al-Ahmadi, M.; Shahidi, A. and Hadizadeh Azghandi, M. (2016). Effects of climate change on the length of growth stages and water requirement of wheat and barley (Case Study: Birjand Plain), *Agroecology*. 7(4): 460-432.
- Raziei, T. and Sotoudeh, F. (2017). Investigation of the accuracy of the European Center for Medium Range Weather Forecast (ECMWF) in forecasting observed precipitation in different climates of Iran, *Journal of the earth and space physic*, 43(1): 133-147.
- Rea, R. and Eccel, E. (2006). Phenological models for blooming of apple in a mountainous region, *Int. J. Biometeorol*, 51: 1-16.
- Sabziparvar, A.A. and Norooz Valashedi, R. (2015). Impact of climate change on winter Chiling trend for Deciduous fruit tree (case study: Hamadan), *journal of Water and Soil*, 29(3): 358-367.
- Soleymani Nanadgani, M.; Parsinejad, M.; Araghinejad, Sh. and Massah, A. (2012). Occurrence of climate change and its effect on sowing date, length of growing cycle and evapotranspiration of winter wheat (case study: Behshahr), *IWRJ*, 6: 11-20.
- Soleymani Nandadgani, M.; Parsinejad, M.; Araghinejad, Sh. and Masoumeh Boavani, A. (2011). Study on Climate change Effect on net irrigation Requirement and yield for Rainfed Wheat (Case Study: Behshahr), *Journal of Water and Soil (Agricultural Sciences and Technology Journal)*, 25(2): 389-397.
- Surendran, U.; Sushanth, CM.; Mammen, G. and Joseph, EJ. (2015). Modeling the crop water requirement using FAO-CROPWAT and assessment of water resources for sustainable water

- resource management: A case study in Palakkad district of humid tropical Kerala, India. *Aquatic Procedia*, 4: 1211-1219.
- Valentini, N.; Me, G.; Ferrero, R. and Spanna, F. (2001). Use of bioclimatic indexes to characterize phenological phases of apple varieties in Northern Italy, *Int. J. Biometeorol*, 45(4): 191-195.
- Van Vuuren, D.P.; Edmonds, J.; Kainuma, M.; Riahi, K.; Thomson, A.; Hibbard, K.; Hurtt, G.C.; Kram, T.; Krey, V.; Lamarque, J.F.; Masui, T.; Meinshausen, M.; Nakicenovic, N.; Smith, S.J.; Rose, S.K. (2011). The representative concentration pathways: an overview. *Climatic Change*. 109:5-31.
- Yazdanpanah, H. and Soleymani, M. (2013). Investigating the Effects of Climate Change on Apple Nutrition Phases in Northeast Iran, First National Climate Conference, Kerman, Industrial and Advanced Technology Graduate University.