

## دویست سال بازسازی حلقه درختی دمای حداکثر در کلیک نوشهر

مهدی نادى<sup>۱</sup>، جوادبذرافشان<sup>۲\*</sup>، کامبیز پورطهماسی<sup>۳</sup> و آخیم براونینگ<sup>۴</sup>

۱. دکتری هواشناسی کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی،

گروه آبیاری و آبادانی، بخش هواشناسی کشاورزی

۲. استادیار، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، گروه آبیاری و

آبادانی، بخش هواشناسی کشاورزی

۳. دانشیار، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، دانشکده منابع طبیعی، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ

۴. عضو هیئت علمی گروه جغرافیای دانشگاه ارلانگن- نورنبرگ

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۲/۱۱ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۴/۵/۶)

### چکیده

یکی از روش‌های بازسازی متغیرهای اقلیمی، به‌ویژه دما، استفاده از گاه‌شناسی درختی (عرض حلقه‌های درختان) است. تاکنون تحقیقی در زمینه بازسازی درازمدت دما در اکوسیستم خزری انجام نشده است. تحقیق حاضر با استفاده از گاه‌شناسی درختان راش ارتفاعات نوشهر به بازسازی دما پرداخته است. برای این منظور، همبستگی حلقه‌های سالانه درختان با متغیرهای هواشناسی ایستگاهی و جهانی بررسی شد. تحلیل همبستگی نشان داد که کاهش دمای حداکثر در دوره رشد عامل محدودکننده رشد درختان است. بنابراین، متوسط دمای حداکثر مارس- سپتامبر ایستگاه هواشناسی نوشهر بازسازی شد. نتایج بازسازی دما نشان داد که در دو قرن گذشته، در این منطقه سال‌های بسیار سرد بیش از سال‌های بسیار گرم بوده است. همچنین، دهه اول قرن بیستم و سال‌های ۱۹۵۰-۱۹۷۰ گرم‌ترین و دهه ۱۸۳۰ و سال‌های ۱۹۳۰-۱۹۵۰ سردترین دوره‌ها بوده‌اند. به‌علاوه، تأثیر معنادار فاز منفی NAO در ماه‌های ابتدایی رشد بر افزایش دما مشخص شد. دماهای بازسازی‌شده در این تحقیق مشابه تحقیقات انجام‌شده در شرق مدیترانه، روند جهانی افزایش دما در سال‌های اخیر را نشان نداد.

کلید واژگان: بازسازی دما، حلقه‌های درخت، راش، نوشهر، NAO.

(2005, 2006, 2011; Coppola *et al.*, 2013; IPCC, 2007).

### مقدمه

درک نوسان‌های دما در منطقه اهمیت زیادی در ریسک سلامت انسان، ریسک تولیدات کشاورزی و منابع طبیعی دارد. تغییرات درازمدت دما علاوه بر تأثیر بر سایر مؤلفه‌های هواشناسی و جابه‌جایی طبقات اقلیمی منطقه، اثر بسزایی بر سیستم‌های بیولوژیکی دارد، به‌طوری که در بعضی اکوسیستم‌ها سبب رشد سریع‌تر گونه‌ها و در بعضی دیگر، موجب انقراض گونه‌ها شده است (Rahimi *et al.*, 2013). از طرف دیگر، امروزه با توجه به گزارش‌های مختلف هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم از گرم‌شدن کره زمین در دهه‌های اخیر و نیز یافته‌های محققان در نقاط مختلف جهان از وقوع دماهای بی‌سابقه در دهه اخیر در مقایسه با دماهای هزاره قبل، اهمیت بررسی نوسان‌های درازمدت دما دو چندان شده است (Zhang *et al.*, 2014; Büntgen *et al.*, ).

تحلیل تغییرات درازمدت دما در منطقه نیازمند دسترسی به داده‌های تاریخی طولانی‌مدت است. متأسفانه در ایران دوره آمارگیری مطمئن داده‌های هواشناسی ایستگاهی به‌جز چند ایستگاه هواشناسی محدود، حداکثر به ۱۳۶۰ سال می‌رسد، در حالی که برای درک نوسان‌های درازمدت دما این طول دوره آماری ناکافی به‌نظر می‌رسد. یکی از راه‌های نسبتاً مطمئن برای طولانی‌ساختن داده‌ای هواشناسی استفاده از علم اقلیم‌شناسی درختی<sup>۱</sup> است. این علم با اندازه‌گیری حلقه‌های سالانه درختان حساس به شرایط آب‌وهوایی منطقه، مؤثرترین متغیرهای آب‌وهوایی بر رشد درختان را شناسایی می‌کند و در نهایت، به بازسازی متغیر هواشناسی تأثیرگذار بر رشد درختان در دوره آماری حلقه‌های موجود می‌پردازد (Fritts, 1976).

در ایران بیشتر مطالعات در علم اقلیم‌شناسی درختی

درک نوسان‌های دما در منطقه اهمیت زیادی در ریسک سلامت انسان، ریسک تولیدات کشاورزی و منابع طبیعی دارد. تغییرات درازمدت دما علاوه بر تأثیر بر سایر مؤلفه‌های هواشناسی و جابه‌جایی طبقات اقلیمی منطقه، اثر بسزایی بر سیستم‌های بیولوژیکی دارد، به‌طوری که در بعضی اکوسیستم‌ها سبب رشد سریع‌تر گونه‌ها و در بعضی دیگر، موجب انقراض گونه‌ها شده است (Rahimi *et al.*, 2013). از طرف دیگر، امروزه با توجه به گزارش‌های مختلف هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم از گرم‌شدن کره زمین در دهه‌های اخیر و نیز یافته‌های محققان در نقاط مختلف جهان از وقوع دماهای بی‌سابقه در دهه اخیر در مقایسه با دماهای هزاره قبل، اهمیت بررسی نوسان‌های درازمدت دما دو چندان شده است (Zhang *et al.*, 2014; Büntgen *et al.*, ).

\* نویسنده مسئول: jbazr@ut.ac.ir

فلات تبت در ۱۰۰۰ سال گذشته را قرن سیزدهم و سردترین دوره را بین سال‌های ۱۰۰۰ تا ۱۲۰۰ معرفی کردند. Zhang et al. (2014) نیز با استفاده از گیاه‌شناسی درختان ارس کوهستان کیلیان دمای حداقل را در شمال شرق فلات تبت بازسازی کردند و دریافتند که از سال ۶۷۰ میلادی تاکنون سردترین دوره طی سال‌های ۱۶۹۰-۱۸۸۰ و گرم‌ترین دوره در ۵۰ سال اخیر به وقوع پیوسته است.

مطالعات بازسازی حلقه‌درختی دما در اروپا اغلب در رویشگاه‌های موجود در رشته‌کوه‌های آلپ به انجام رسیده است. برای مثال، Büntgen et al. (2011) به منظور درک تغییرات آب‌وهوایی مرکز اروپا در اواخر دوره هولوسن دمای ۲۵۰۰ سال قبل در منطقه کوه‌های آلپ را بازسازی کردند و دریافتند که دوره مهاجرت در اروپا (بین سال‌های ۲۵۰ تا ۵۵۰ میلادی) که در آن نابسامانی‌های سیاسی، اجتماعی و اقتصادی زیادی به وجود آمد، مقارن با نوسان‌های شدید و استثنایی تغییرات متغیرهای اقلیمی بوده است. در مطالعه دیگری Büntgen et al. (2006) برای درک تغییرات آب‌وهوایی دوره گرم قرون وسطی و عصر یخبندان کوچک اروپا با استفاده از گیاه‌شناسی دانسیته درختان کاج در سوئیس به بازسازی دما در دوره ۷۵۵-۲۰۰۴ میلادی پرداختند. نتایج ایشان شباهت دوره‌های گرم قرن دهم و سیزدهم میلادی را با قرن بیستم نشان می‌دهد. همچنین، پس از قرن سیزدهم، به مدت چهار قرن، یک دوره سرد مداوم و طولانی به وقوع پیوست. ایشان همچنین، بیان کردند که از ده مورد از گرم‌ترین دهه‌های بازسازی، شش مورد در قرن بیستم به وقوع پیوسته است.

Büntgen et al. (2005) در کوه‌های آلپ واقع در شرق سوئیس، دما را بازسازی کردند. نتایج مطالعه ایشان نشان داد که از اوایل هزاره قبل تا سال ۱۳۵۰ (که به دوره گرمایش قرون وسطی معروف است) دمای هوا افزایشی بوده و پس از آن تا سال ۱۸۵۰ عصر یخبندان کوچک به وقوع پیوسته و دما در این دوره کاهش یافته است. پس از آن تا عصر کنونی دما در یک سیر صعودی قرار دارد. همچنین ایشان بیان کردند که افزایش دما طی دهه گذشته در مقایسه با میانگین ۱۰۰۰ ساله بی‌سابقه بوده است. نتایج بازسازی دمای تابستان در یکی از بزرگ‌ترین مناطق کوهستانی یخچالی ایتالیا را Coppola et al. (2013) عصر یخبندان کوچک و سال‌های ۱۸۱۳، ۱۸۱۶، ۱۸۲۱ را سردترین سال‌های قرن ۱۹ عنوان کردند. همچنین، نتایج ایشان افزایش دماهای تابستان طی دهه‌های اخیر (پس از ۱۹۷۰) را به خوبی نشان داد. در جنوب غرب ترکیه نیز Heinrich et al. (2013) با اندازه‌گیری ایزوتوپ پایدار کربن ۱۳ ( $\delta^{13}C$ ) در

صرفاً به بررسی ارتباط بین حلقه‌های سالانه درختان با عوامل هواشناسی محدود شده است (Pourtahmasi et al., 2007, 2009; Balapour et al., 2010; Najafi et al., 2012; Nadi et al., 2013). البته، در زمینه بازسازی متغیرهای هواشناسی در ایران نیز مطالعات اندکی در غرب کشور به انجام رسیده است. برای مثال، Azizi et al. (2013) با استفاده از گیاه‌شناسی منطقه‌ای در غرب کشور داده‌های بارش را در دوره‌ای (۱۸۴۰-۲۰۱۰) بازسازی کردند. همچنین، Arsalani et al. (2014) نیز با گیاه‌شناسی درختی مذکور دمای حداکثر را در همان منطقه بازسازی کردند. اما در دنیا مطالعات ارزشمندی در بازسازی حلقه‌درختی دما در شرق ایران (چین) و غرب ایران (اروپا) انجام شده است. برای مثال، مطالعات چین بیشتر در فلات تبت انجام شده است. Bräuning (2006) با تعیین سن درختان در رویشگاه‌های ایجادشده روی رسوبات یخچالی به مطالعه تاریخچه نوسان‌های یخچالی در اواخر دوره هولوسن در شرق تبت پرداخت. در ارتفاعات کوهستان هنگدوان در جنوب غرب چین Fan et al. (2008) چهار گیاه‌شناسی از درختان کاج به دست آوردند. سپس، با استفاده از تکنیک تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) گیاه‌شناسی منطقه‌ای را تعیین و دمای سالانه (اکتبر، قبل از فصل رشد تا سپتامبر، دوره رشد) را بازسازی کردند. ایشان دهه‌های ۱۸۱۰، ۱۸۶۰ و ۱۹۶۰-۱۹۸۰ را سردترین و دهه‌های ۱۸۵۰، ۱۹۴۰-۱۹۶۰ و دو دهه اخیر را گرم‌ترین دوره‌ها در ۲۵۰ سال گذشته معرفی کردند. Li et al. (2012) دماهای تابستان پنج قرن گذشته را در جنوب غرب چین بازسازی کردند و دریافتند که دهه‌های ۱۶۸۰، ۱۷۵۰، ۱۸۵۰، ۱۹۲۰ و ۱۹۵۰ و از سال ۱۹۹۰ تا زمان فعلی گرم‌ترین دوره‌ها در ۵۰ سال گذشته بوده است. به علاوه، دوره‌های گرم و سرد بازسازی‌شده تطابق خوبی با دوره‌های پسرقت و پیشرفت سطح یخچال‌های طبیعی منطقه داشت.

علاوه بر حلقه‌های سالانه درختان، محققانی مانند Yang and Bräuning (2007) با اندازه‌گیری اختلاف ایزوتوپ کربن ۱۳ موجود در حلقه‌های درختان منطقه کامدو<sup>۱</sup> به بررسی نوسان‌های دمای فلات تبت در هزاره قبل پرداختند. ایشان دریافتند که در دوره ۱۲۰۰ تا ۱۴۰۰ دوره گرمی با میانگین دمای ۱/۲ درجه سانتی‌گراد بالاتر از میانگین درازمدت کل فلات تبت رخ داد. سپس، طی سال‌های ۱۴۰۰ تا ۱۷۰۰ دماهای تابستانه ۰/۵ درجه سانتی‌گراد کمتر از میانگین درازمدت مطابق با عصر یخبندان کوچک<sup>۲</sup> بود. همچنین، ایشان گرم‌ترین دوره

1. Qamdo  
2. Little Ice Age

است که سایت نمونه‌برداری درخت بیش از ۱۵۰۰ متر اختلاف ارتفاع با ایستگاه هواشناسی سینوپتیک نوشهر دارد که قطعاً بسیار سردتر از مناطق کم‌ارتفاع ساحلی است.

#### نحوه نمونه‌گیری و اندازه‌گیری پهنای دواير رویشی

برای به‌دست‌آوردن منحنی گاه‌شناسی درختی با کیفیت مناسب هر مقدار تعداد نمونه درختان بیشتر باشد، مناسب‌تر خواهد بود. اما با توجه به یکنواختی توده درختان در منطقه مورد مطالعه و نیز آموزشی و پژوهشی بودن سایت نمونه‌برداری از حداقل تعداد مورد نیاز درخت برای تهیه گاه‌شناسی درختی یعنی پانزده درخت راش و از هر درخت دو بار (در مجموع سی نمونه) نمونه‌برداری به‌عمل آمد. در مرحله پس از اندازه‌گیری نیز به‌واسطه رابطه خوب بین نمونه‌ها در تطابق زمانی، افزایش تعداد نمونه‌ها لازم نشد. پس از انتخاب درختان با استفاده از متد رویش‌سنج از هر درخت در جهت عمود بر هم و از ارتفاع برابر سینه درخت دو نمونه گرفته شد. قطر نمونه و به تبع آن حفره ایجادشده در درخت ۵ میلی‌متر بود که با چسب پیوند برای پرهیز از ورود عوامل مخرب به چوب مسدود شد. سپس، این نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل و در نگهدارنده تثبیت شد و سطح نمونه‌ها به منظور وضوح بیشتر با تیغ آماده و با گچ سفید لایه‌ای روی سطح نمونه‌ها کشیده شد. پس از آن نمونه‌ها روی میز LINTAB قرارگرفت و زیر بینوکولار پهنای دواير درختان از سمت پوست به سمت مغز با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. برای بررسی تطابق زمانی بین نمونه‌های اندازه‌گیری شده از نرم‌افزار TSAP استفاده شد تا تاریخ‌گذاری دقیق حلقه‌های رویش به انجام برسد.

پس از تهیه سری زمانی تغییرات پهنای دواير سالانه برای هر درخت، باید گرایش‌های رویشی حذف و به اصطلاح سری زمانی استاندارد شود. برای این کار از نرم‌افزار ARSTAN استفاده شد. در این نرم‌افزار ابتدا تابعی بر مقادیر پهنای رویشی اندازه‌گیری شده برازش می‌یابد. سپس، از تقسیم مقدار اندازه‌گیری شده بر مقدار به‌دست‌آمده از منحنی برازش داده‌شده مقدار گاه‌شناسی یا نمایه رویشی هر درخت به‌دست می‌آید. در نهایت، با میانگین‌گیری از گاه‌شناسی‌های به‌دست‌آمده از درختان مختلف، گاه‌شناسی پهنای دواير رویش سالانه درختان منطقه به‌دست آمد. به منظور ارزیابی کیفیت گاه‌شناسی تهیه‌شده در این تحقیق از میانگین حساسیت سری زمانی حلقه‌های رویش درختان استفاده شد که ۰/۳۲ به دست آمد. این میزان تغییرات یک حلقه رویش به حلقه رویش بعدی را نشان می‌دهد. به منظور حصول اطمینان از همبستگی مناسب

درختان ارس، دماهای زمستان و بهار را در دوره ۲۰۲۲-۲۰۰۶ بازسازی کردند. نتایج بازسازی ایشان پدیده‌های حدی و با فراوانی وقوع کم مانند عصر یخبندان کوچک و دوره گرم قرون وسطی را به خوبی نشان داد، اما روند صعودی دمای برآمده از بیشتر تحقیقات اخیر (گرمایش جهانی) را نشان نداد.

بررسی کلی مطالعات انجام‌شده در ایران و جهان نشان می‌دهد که بازسازی متغیرهای هواشناسی از روی حلقه‌های درخت چندین دهه است که به صورت جدی در دنیا در حال انجام است. اما در ایران بیشتر مطالعات مربوط به شناسایی عوامل هواشناسی مؤثر بر رشد درختان بوده و تنها مطالعات محدودی در بازسازی دما و بارش در غرب کشور انجام شده است. همچنین، بر اساس اطلاعات نگارندگان، تاکنون مطالعه‌ای در زمینه بازسازی متغیرهای هواشناسی از روی درختان رویشگاه‌های موجود در منطقه جنگلی شمال کشور به انجام نرسیده است و تحقیق حاضر سعی دارد که نخست پاسخ رشد درختان به شرایط آب‌وهوایی محلی (داده‌های هواشناسی ایستگاهی) و جهانی (داده‌های هواشناسی شبکه نقاط) را بررسی کند و متغیر هواشناسی مؤثر بر رشد درختان راش جبهه شمالی رشته‌کوه‌های البرز مرکزی را شناسایی کند؛ سپس، به بازسازی درازمدت متغیر هواشناسی مؤثر از روی حلقه‌های درختان بپردازد.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

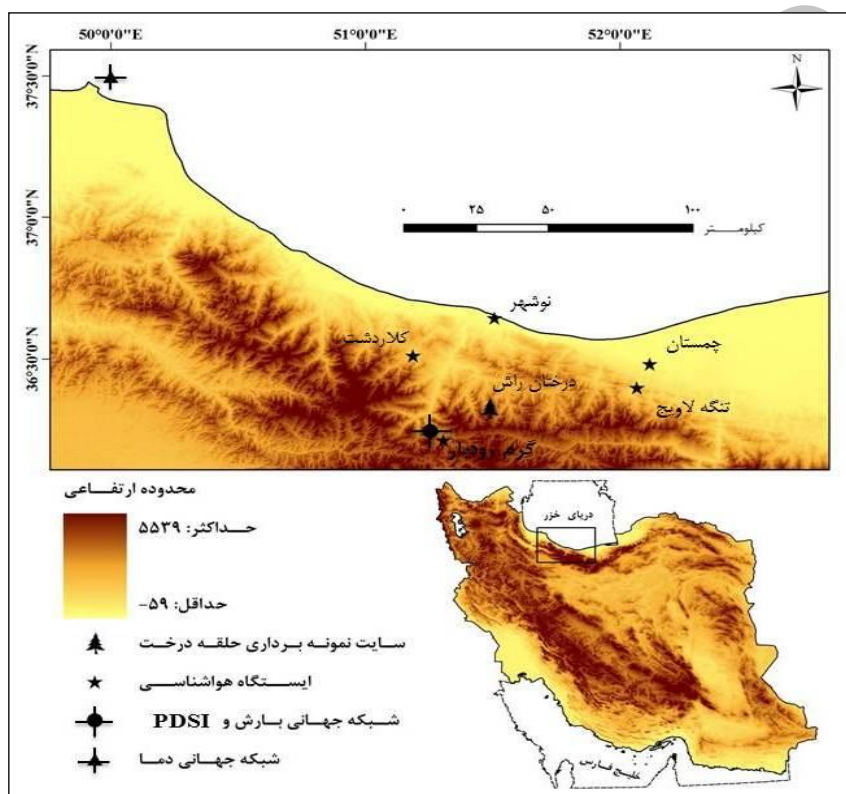
در این تحقیق از گاه‌شناسی درختان راش گونه *Fagus orientalis* L. واقع در رویشگاه مرتفع جنگلی منطقه کلیک استفاده شد. این منطقه در ارتفاعات نوشهر استان مازندران و در بخش میانی رشته‌کوه‌های البرز و در جنگل تحقیقاتی دانشگاه تهران واقع شده است. درختان این منطقه به‌دلیل قرارگیری در جبهه شمالی رشته‌کوه‌های البرز و نزدیک‌بودن به خط ساحلی، تحت تأثیر جریان‌های مرطوب خزری همچنین، توده‌های هوای غربی از سمت دریای سیاه قرار دارد که رطوبت زیادی را در فصول زمستان و بهار دریافت می‌کند. مقدار متوسط بارش و دمای سالانه ایستگاه سینوپتیک نوشهر در این منطقه به ترتیب ۱۳۰۰ میلی‌متر و ۱۶/۱ درجه سانتی‌گراد است که بر اساس سیستم طبقه‌بندی اقلیمی دمارتن گسترش یافته و دارای آب‌وهوای مرطوب نوع الف معتدل است (Rahimi et al., 2013). سایت نمونه‌برداری درختی در طول جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۷ دقیقه شمالی و عرض ۵۱ درجه و ۳۰ دقیقه شرقی و ارتفاع متوسطی از سطح دریا قرار دارد (شکل ۱). البته، شایان ذکر

### داده‌های هواشناسی

برای تعیین مؤثرترین متغیرهای هواشناسی دما و بارش ماهانه بر رشد درختان راش منطقه از دو دسته متغیرهای هواشناسی استفاده شد:

۱. داده‌های ایستگاهی در این تحقیق از داده‌های متوسط ماهانه دما و بارندگی پنج ایستگاه هواشناسی مجاور به محل نمونه‌برداری گردآوری شد که اطلاعات ایستگاه‌ها و موقعیت آن‌ها در جدول ۱ و شکل ۱ نشان داده شده است.

بین سری‌های زمانی حاصل از هر یک از نمونه‌ها میانگین همبستگی بین سری زمانی محاسبه شد که ۰/۵ به دست آمد. دوره آماری گاه‌شناسی حلقه‌های درختان راش به دست آمده ۱۸۰۰-۲۰۰۶ است. از آنجا که برای بازسازی داده‌های اقلیمی از روی حلقه‌های رویش، همبستگی بین سری‌های زمانی حلقه‌درختی و نیز تعداد نمونه باید مناسب باشد، از فاکتور ارزیابی کیفی دیگری به نام سیگنال معرف جمعیت<sup>۱</sup> (EPS) استفاده شد که میزان آن از سال ۱۸۰۶ به بالاتر از حد مورد نیاز (۰/۸۵) رسیده است.



شکل ۱. سایت نمونه‌برداری، موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی و نزدیک‌ترین نقاط از شبکه جهانی به سایت نمونه‌گیری حلقه‌درختی در منطقه کلیک نوشهر

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی مورد استفاده و خصوصیات آماری داده‌های بارش ایستگاه‌های هواشناسی

ایستگاه هواشناسی	نوع ایستگاه هواشناسی	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع (متر)	دوره آماری
گرم‌رودبار	تبخیرسنجی	۳۶/۲	۵۱/۳	۲۰۰۰	۱۹۷۵-۱۹۸۵
تنگه لایوچ	باران‌سنجی	۳۶/۴	۵۲/۰	۵۰۰	۱۹۶۶-۱۹۹۸
چمستان	تبخیرسنجی	۳۶/۵	۵۲/۱	۴۵۰	۱۹۷۳-۲۰۰۸
نوشهر	سینوپتیک	۳۶/۷	۵۱/۵	-۲۱	۱۹۷۷-۲۰۱۰
کلاردشت	باران‌سنجی	۳۶/۵	۵۱/۲	۱۱۰۰	۱۹۵۸-۲۰۰۵

۲. داده‌های شبکه جهانی تحلیل مجدد از شبکه NCEP/NCAR. این داده‌ها در تارنمای مرکز ملی مطالعات جوی و اقیانوسی ایالات متحده (NOAA) در دسترس است و متغیرهای اصلی هواشناسی کل کره زمین را در شبکه‌ای منظم به ابعاد ۲/۵×۲/۵ درجه در اختیار کاربران قرار می‌دهد. در این

و ارزیابی است. این شاخص‌ها هر چه به عدد یک نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده قدرت بالای معادله بازسازی است. البته، هر مقدار مثبت این شاخص‌ها اعتبار کافی مدل را نشان می‌دهد. آزمون ST نشان‌دهنده تعداد برآوردهای درست به نادرست است. چنانچه تعداد برآوردهای نادرست از حداکثر مجاز آن در سطح ۹۵ درصد کمتر باشد، بازسازی‌ها قابل قبول است. پس از بازسازی دما دوره‌های سرد و گرم گذشته تعیین شد.

### نتایج و بحث

در این بخش ابتدا همبستگی حلقه‌های سالانه درختان راش با متغیرهای هواشناسی ایستگاهی و جهانی بررسی و مؤثرترین متغیر هواشناسی بر رشد درختان منطقه تعیین شد. سپس، متغیر مذکور در دوره آماری موجود حلقه‌های درختی بازسازی و در انتها داده‌های بازسازی‌شده درازمدت تحلیل شد.

#### همبستگی حلقه‌های سالانه درختان راش با داده‌های ایستگاهی

در این بخش، ابتدا ایستگاه‌های هواشناسی معتبر و قابل اعتماد شامل پنج ایستگاه شناسایی شد (شکل ۱). از بین این پنج ایستگاه، تنها در سه ایستگاه داده‌های دما ثبت شد. همچنین، از چهار ایستگاه هواشناسی ثبت داده‌های بارش استفاده شد که همبستگی قوی با داده‌های پهنای دایره سالانه درختان داشت (جدول ۲). ضرایب همبستگی و *P-value* پهنای دایره سالانه درختان با متغیرهای دمای میانگین و بارش ماهانه این ایستگاه‌ها محاسبه شد.

بررسی نتایج جدول ۲ نشان می‌دهد که همبستگی حلقه‌های رشد سالانه درختان راش با داده‌های بارش همه ایستگاه‌های هواشناسی به‌خصوص در ماه‌های ابتدایی و انتهایی رشد منفی است. به عبارتی در سال‌های پر بارش، درختان منطقه رشد کمتری دارد که منطقی به‌نظر نمی‌رسد، اما با توجه به همبستگی منفی و معنادار داده‌های بارش و دمای میانگین در سال‌های پر بارش ایستگاه هواشناسی نوشهر ( $t = -0.16$ )، می‌توان استدلال کرد که وقوع بارش بیش از نرمال باعث کاهش دما و در نتیجه کاهش رشد درختان می‌شود. در مورد دمای متوسط ماهانه، گرچه تأثیر ماه‌های قبل از شروع رشد منفی است، افزایش دما به‌خصوص در ماه‌های ابتدا (مارس و آوریل) و انتهای رشد تأثیر مثبت و معنادار بر رشد درختان دارد. با توجه به همبستگی منفی دما و بارش، همچنین ارتفاع زیاد رویشگاه می‌توان گفت که رشد درختان راش این منطقه با متغیرهای دمایی محدود می‌شود. همچنین، در بین ایستگاه‌های ثبت دما، داده‌های دمای متوسط ماهانه ایستگاه نوشهر با رشد درختان

پس از بررسی اولیه داده‌های هواشناسی در ایستگاه‌های منتخب، داده‌های مفقود ایستگاه‌ها با استفاده از تکنیک زمین‌آماری وزنی مربع عکس فاصله بازسازی شد. سپس، به منظور تعیین مؤثرترین متغیر هواشناسی بر رشد درختان راش منطقه، همبستگی پهنای دایره سالانه درختان با متغیرهای هواشناسی ماهانه دما و بارش ایستگاهی و منطقه‌ای بررسی شد. پس از آن متغیر هواشناسی منتخب در دوره آماری حلقه‌های موجود بازسازی شد.

#### واسنجی و ارزیابی معادله بازسازی متغیرهای هواشناسی

برای بازسازی متغیر هواشناسی منتخب در منطقه مطالعاتی، ابتدا رابطه رگرسیون خطی ساده متغیر هواشناسی منتخب با حلقه‌های سالانه درختان در دوره آماری موجود حلقه‌ها محاسبه شد. سپس، با استفاده از گاه‌شناسی حلقه‌های سالانه درختان راش به منزله پیش‌بینی‌کننده، متغیر هواشناسی مورد نظر بازسازی شد. به منظور ارزیابی معادله واسنجی، کل دوره آماری به دو دوره مساوی تقسیم شد (۱۹۹۲-۲۰۰۶ و ۱۹۷۷-۱۹۹۱) و در یکی از دوره‌ها پارامترهای معادله بازسازی برآورد شد. سپس، با استفاده از پارامترهای برآوردشده معادله بازسازی در دوره دیگر ارزیابی شد (Cook and Kairiukstis, 1990). همچنین، به روش ارزیابی متقاطع<sup>۱</sup> نیز بازسازی‌ها در کل دوره ارزیابی شد. آزمون‌های مورد استفاده برای ارزیابی معادله بازسازی عبارت بود از ضریب همبستگی پیرسون ( $r$ )، آزمون علامت<sup>۲</sup> (ST)، آماره ضریب کارایی<sup>۳</sup> (CE) و کاهش خطا<sup>۴</sup> (RE) (Fritts, 1976).

$$RE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \hat{x}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_c)^2} \quad (\text{رابطه ۱})$$

$$CE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \hat{x}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_v)^2} \quad (\text{رابطه ۲})$$

فرمول محاسبه شاخص‌های CE و RE به ترتیب در فرمول‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است. در این معادله  $\hat{x}_i$  و  $x_i$  به ترتیب مقادیر واقعی و برآوردی در سال  $i$  در دوره ارزیابی و  $\bar{x}_v$  و  $\bar{x}_c$  به ترتیب میانگین داده‌های واقعی در دوره واسنجی

1. Cross Validation
2. Sign Test
3. Coefficient of Efficiency
4. Reduction Error

متوسط ماهانه، همبستگی پهنای دواير سالانه درختان با میانگین ماهانه دماهای حداقل و حداکثر ایستگاه نوشهر نیز بررسی شد (شکل ۲).

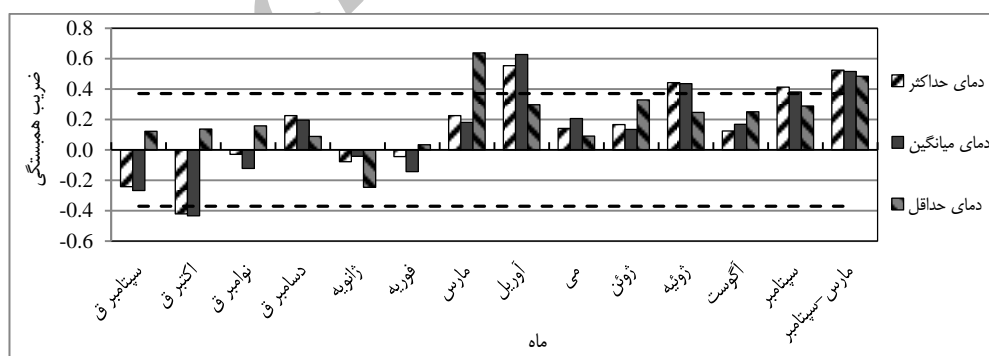
این منطقه همبستگی بهتری از خود نشان داد. از داده‌های این ایستگاه برای مطالعات اقلیم‌شناسی درختی استفاده شد. به منظور بررسی دقیق‌تر تأثیر دما بر رشد درختان علاوه بر دمای

جدول ۲. ضرایب همبستگی (r) و P-value (p) پهنای دواير سالانه درختان راش منطقه کليک با دما و بارش ماهانه ایستگاه‌های هواشناسی

ماه	بارش ماهانه						دمای متوسط ماهانه						
	نوشهر		تنگه لاويج		کلاردشت		گرم‌رودبار		چمستان		گرم‌رودبار		
	p	r	p	r	p	r	p	r	p	r	p	r	
سپتامبر*	۰/۰۷	-۰/۷۱	۰/۲۴	۰/۱۹	-۰/۲۴	۰/۱۹	۰/۳۳	۰/۱۸	۰/۲۷	-۰/۲۰	۰/۲۶	-۰/۵۳	۰/۰۰
اکتبر	۰/۲۹	۰/۱۳	۰/۰۱	۰/۹۴	۰/۰۶	۰/۷۷	۰/۰۲	۰/۴۲	۰/۰۲	-۰/۱۸	۰/۳۱	-۰/۱۰	۰/۵۶
نوامبر	-۰/۳۸	۰/۰۴	-۰/۳۳	۰/۰۷	-۰/۲۳	۰/۲۲	۰/۳۴	۰/۱۸	۰/۱۲	۰/۱۰	۰/۵۸	-۰/۰۱	۰/۹۴
دسامبر	۰/۰۶	۰/۷۷	-۰/۱۰	۰/۵۹	-۰/۵۶	۰/۰۰	۰/۱۸	-۰/۲۵	۰/۲۰	۰/۳۲	۰/۰۵	۰/۱۰	۰/۵۹
ژانویه	۰/۳۵	۰/۰۶	۰/۲۲	۰/۲۳	-۰/۱۶	۰/۳۹	۰/۱۴	-۰/۲۷	-۰/۰۴	۰/۸۳	۰/۹۷	-۰/۱۲	۰/۵۰
فوریه	-۰/۰۵	۰/۷۸	-۰/۰۶	۰/۷۴	-۰/۲۱	۰/۲۶	۰/۰۳	-۰/۴۰	-۰/۱۴	۰/۴۶	-۰/۰۳	-۰/۱۵	۰/۴۱
مارس	-۰/۱۵	۰/۴۴	-۰/۲۱	-۰/۲۶	-۰/۲۰	۰/۲۹	۰/۰۰	-۰/۴۹	۰/۱۸	۰/۳۶	۰/۱۹	۰/۰۲	۰/۹۲
آوریل	-۰/۳۵	۰/۰۶	-۰/۱۸	۰/۳۴	-۰/۰۲	۰/۹۰	۰/۳۵	-۰/۱۷	۰/۶۳	۰/۰۰	۰/۱۹	۰/۲۷	۰/۳۵
می	-۰/۱۲	۰/۵۳	۰/۱۵	۰/۴۲	-۰/۴۲	۰/۰۲	۰/۲۸	۰/۲۰	۰/۲۱	۰/۲۹	۰/۱۹	۰/۱۷	۰/۳۳
ژوئن	۰/۰۷	۰/۷۰	۰/۲۵	۰/۱۷	-۰/۱۲	۰/۵۲	۰/۵۰	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۲۵	۰/۱۶	۰/۲۳	۰/۲۱
ژوئیه	-۰/۳۵	۰/۰۶	-۰/۰۷	۰/۷۲	-۰/۱۷	۰/۳۵	۰/۷۲	-۰/۰۷	۰/۴۴	۰/۰۲	۰/۴۳	۰/۰۱	۰/۰۶
آگوست	-۰/۳۰	۰/۱۱	-۰/۰۹	۰/۶۳	-۰/۵۴	۰/۰۰	۰/۱۵	-۰/۲۷	۰/۱۷	۰/۳۹	۰/۲۸	۰/۱۱	۰/۳۷
سپتامبر	-۰/۳۰	۰/۱۱	-۰/۳۶	۰/۰۵	-۰/۱۶	۰/۴۰	۰/۱۹	-۰/۲۴	۰/۳۸	۰/۰۵	۰/۲۲	۰/۲۱	۰/۲۵
سالانه	-۰/۴۲	۰/۰۲	-۰/۱۵	۰/۴۳	-۰/۵۹	۰/۰۰	۰/۲۲	-۰/۲۳	۰/۲۳	۰/۲۵	۰/۲۶	۰/۲۱	۰/۲۴

اعداد سیاه ضرایب همبستگی معنادار در سطح احتمال ۹۵ درصد

\* ماه سپتامبر قبل از شروع سال جدید رویش



شکل ۲. همبستگی حلقه‌های سالانه درختان راش منطقه کليک با متغیرهای دمایی ایستگاه هواشناسی نوشهر (حدود ۹۵ درصد اطمینان با خط چین نشان داده شده است)

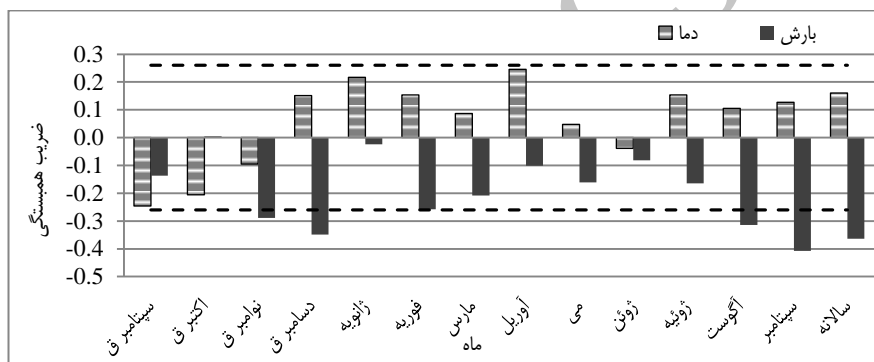
سالانه می‌شود. در ادامه، این دمای حداکثر است که تأثیر غالب را بر رشد درختان منطقه دارد. همچنین، با توجه به تأثیر مثبت دما در کل دوره رشد، همبستگی پهنای دواير سالانه درختان با متوسط دمای کل دوره رشد (مارس - سپتامبر) نیز محاسبه شد که نتیجه آن تأثیر مثبت و معنادار و غالب دمای حداکثر کل دوره رشد را بر رشد درختان راش این منطقه نشان می‌دهد.

نتایج شکل ۲ نشان می‌دهد که افزایش دمای انتهای دوره رشد سال قبل باعث کاهش رشد درختان در سال بعد می‌شود که به نظر می‌رسد طولانی‌شدن دوره رشد قبل از سال جاری باعث مصرف ذخیره شیره گیاهی انتهای دوره و ضعف درخت در سال بعد می‌شود. این نتیجه را قبلاً Pourtahmasi et al. (2009) نیز گزارش کرده‌اند. پس از آن، در روزهای ابتدایی شروع رشد و وقوع دماهای بسیار کم باعث کاهش رشد حلقه‌های

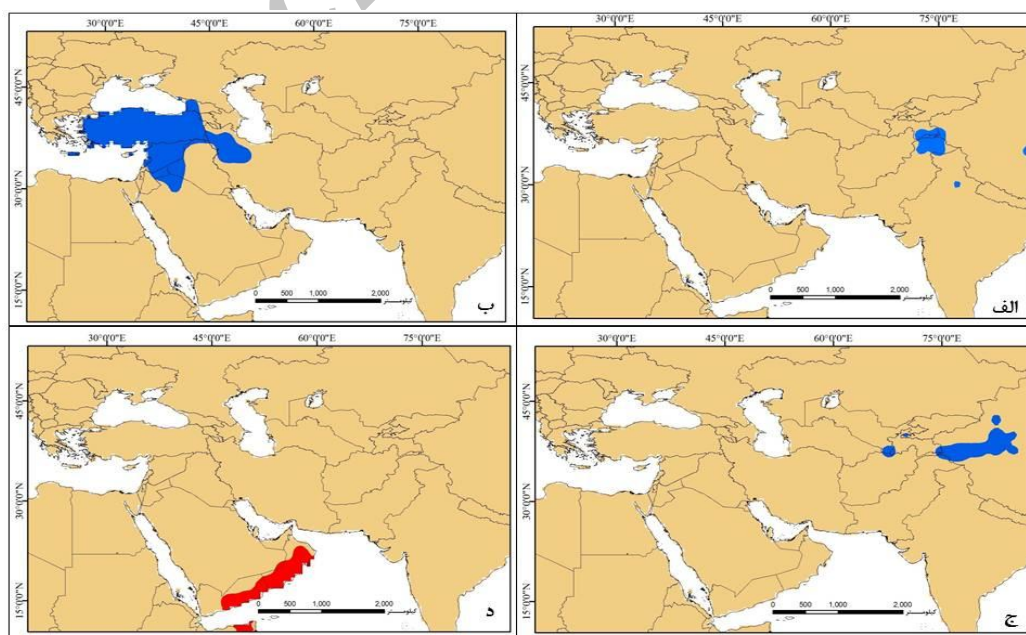
نقشه‌های ضرایب همبستگی داده‌های دما در فصول مختلف ترسیم شد (شکل ۴). بررسی این شکل نشان می‌دهد که تنها دمای چند ماه قبل از شروع رشد در فصل زمستان تأثیر مثبتی بر رشد درختان راش دارد. همچنین، با توجه به همبستگی مثبت و معنادار مناطق واقع در مسیر جریان‌های دریای سیاه یعنی شمال غرب کشور و جنوب غربی دریای سیاه، می‌توان نتیجه گرفت که جریان‌های دمایی دریای سیاه در فصل زمستان تأثیر معناداری بر رشد درختان این منطقه دارد. علاوه بر دما، نقشه ضرایب همبستگی بارش و PDSI جهانی با پهنای دوایر سالانه درختان نیز ترسیم و بررسی شد. در هیچ یک از ماه‌های مورد بررسی پهنه‌های معنادار و منطقی به دست نیامد که خود نشان‌دهنده بی‌تأثیر بودن این داده‌ها در مقیاس جهانی بر رشد درختان راش منطقه است.

رابطه حلقه‌های رشد درختان راش با داده‌های تحلیل مجدد ضرایب همبستگی حلقه‌های سالانه درختان راش منطقه کلیم با نزدیک‌ترین نقطه شبکه داده‌های جهانی به سایت نمونه‌برداری درختی، حاکی از تأثیر منفی بارش در کل دوره رشد است (شکل ۳) که البته تأثیر منفی بارش ماه‌های قبل و ماه‌های انتهایی رشد معنادار است. همچنین، همبستگی داده‌های PDSI با پهنای دوایر سالانه درختان در کل دوره رشد منفی بود. در مقابل، تأثیر دمای ماه‌های قبل تا انتهای دوره رشد بر رشد درختان مثبت بود، اما در هیچ یک از ماه‌ها معنادار نشد.

با توجه به بخش قبل در خصوص تأثیر مثبت، معنادار و منطقی داده‌های دما بر رشد درختان راش منطقه کلیم می‌توان نتیجه گرفت که تأثیر منفی بارش طی رشد ممکن است به دلیل کاهش دما در سال‌های پربارش باشد. به همین دلیل



شکل ۳. همبستگی پهنای دوایر سالانه درختان راش منطقه کلیم با متغیرهای دما، بارش و PDSI بر مبنای شبکه جهانی نقاط



شکل ۴. نواحی دارای ضرایب همبستگی معنادار (در سطح ۹۵ درصد) مثبت (آبی) و منفی (قرمز) پهنای دوایر سالانه درختان راش منطقه کلیم با داده‌های دمای فصلی شبکه جهانی نقاط الف) پاییز، ب) زمستان، ج) بهار، د) تابستان

آزمون علامت نشان می‌دهد که تعداد عدم‌توافق‌ها از حداکثر مجاز در سطح احتمال ۹۵ درصد (یعنی پنج مورد) تجاوز نمی‌کند. به‌علاوه، مقادیر مثبت ضریب کارایی و آماره کاهش خطا نشان از قدرت خوب معادله بازسازی دارد. مقدار RMSE نیز از مقدار انحراف استاندارد داده‌های واقعی دما (۰/۷۲) کمتر است.

ارزیابی معادله بر اساس داده‌های نیمه دوم کمی ضعیف‌تر بود، اما همچنان تعداد عدم‌توافق‌ها در آزمون علامت معنادار نیست، ولی ضریب همبستگی داده‌های واقعی و برآوردی کاهش یافته است. همچنین، مقادیر منفی ضرایب کارایی و آماره کاهش خطا نشان از ضعیف‌تر بودن بازسازی‌ها دارد. به‌علاوه، مقدار RMSE نیز از مقدار انحراف استاندارد داده‌های واقعی دما (۰/۷۲) بیشتر است. در مجموع، در دو دوره مقدار آماره دوربین- واتسون معنادار نبود که نشان‌دهنده عدم وجود خودهمبستگی مرتبه اول در داده‌های بازسازی است. نتایج ارزیابی معادله بازسازی بر اساس داده‌های کل دوره آماری ایستگاه به روش ارزیابی متقاطع کارایی خوب معادله را نشان می‌دهد که در آن آزمون علامت و آماره دوربین- واتسون معنادار نبود. همچنین، مقدار RMSE از ۰/۷۲ کمتر است.

از مجموع بررسی ارتباط پهنای دوایر سالانه درختان راش با داده‌های هواشناسی ایستگاهی و جهانی می‌توان گفت که نخست رشد درختان راش در این منطقه با داده‌های دما محدود می‌شود و همبستگی منفی رشد با داده‌های بارش نیز به دلیل کاهش دما طی سال‌های پربارش است. دوم، درختان راش این منطقه تحت تأثیر شرایط محلی است و با داده‌های جهانی همبستگی معناداری ندارد.

### بازسازی دمای حداکثر مارس-سپتامبر

از مجموع بررسی ارتباط حلقه‌های سالانه درختان راش مشخص شد که مناسب‌ترین و منطقی‌ترین رابطه مربوط به متوسط دمای حداکثر مارس تا سپتامبر است. بنابراین، متوسط دمای حداکثر مارس- سپتامبر ایستگاه نوشهر در دوره آماری حلقه‌های موجود درختان راش (۱۸۰۶-۲۰۰۶) بازسازی شد. نتایج واسنجی و ارزیابی معادله بازسازی در جدول ۳ نشان داده شده است. بررسی نتایج واسنجی معادله بازسازی نشان می‌دهد که همبستگی معادله در دوره اول (۱۹۷۷-۱۹۹۱) نسبت به دوره دوم (۱۹۹۲-۲۰۰۶) کمتر است اما معادله بازسازی بر اساس داده‌های کل دوره (۱۹۷۷-۲۰۰۶) بیش از یک‌سوم واریانس را توجیه می‌کند. ارزیابی معادله بازسازی بر اساس داده‌های نیمه دوم نتایج بسیار خوبی را نشان می‌دهد که در آن

جدول ۳. نتایج واسنجی و ارزیابی معادله بازسازی دمای حداکثر مارس-سپتامبر

RE	CE	RMSE	DW	R	ST	دوره ارزیابی	$R^2_{adj}$	$R^2$	R	دوره واسنجی
۰/۱۹	۰/۱۲	۰/۷۱	۱/۴۱	۰/۸۰	۱۲/۳	۱۹۹۲-۲۰۰۶	۰/۱۵	۰/۱۷	۰/۴۱	۱۹۷۷-۱۹۹۱
-۰/۰۶	-۰/۳۹	۰/۸۱	۱/۸۷	۰/۳۱	۱۰/۵	۱۹۷۷-۱۹۹۱	۰/۶۱	۰/۶۴	۰/۸۰	۱۹۹۲-۲۰۰۶
---	---	۰/۵۶	۱/۹۱	۰/۵۱	۲۲/۸	۱۹۷۷-۲۰۰۶	۰/۳۳	۰/۳۶	۰/۶۱	۱۹۷۷-۲۰۰۶ (کل دوره)

نمودار تغییرات دما با استفاده از معادله ۳ و گاه‌شناسی درختان راش در دوره بازسازی ۱۸۰۶-۲۰۰۴ در شکل ۶ ترسیم شده است. از بررسی این شکل می‌توان دریافت که دمای حداکثر مارس- سپتامبر حدوداً تغییرات دو درجه‌ای دارد و بین ۲۱/۵ تا ۲۳/۵ درجه در ۲۰۰ سال گذشته تغییر می‌کند. به منظور تعیین دوره‌های گرم و سرد از میانگین متحرک هفت ساله داده‌های بازسازی استفاده شد. بر اساس نتایج این تحقیق در دو قرن گذشته طولانی‌ترین دوره گرم در خلال سال‌های ۱۹۵۰-۱۹۷۰ به وقوع پیوست. همچنین، از اواسط دهه ۱۸۴۰ تا اواسط دهه ۱۸۵۰ و در دهه اول قرن بیستم این منطقه با دوره‌ای گرم همراه بوده است. البته، دهه ۱۹۸۰ به جز سال ۱۹۸۷ را می‌توان دوره‌ای گرم در نظر گرفت. به هر حال، درختان این منطقه

برای بازسازی نهایی دمای حداکثر مارس- سپتامبر از معادله ۳ استفاده شد.

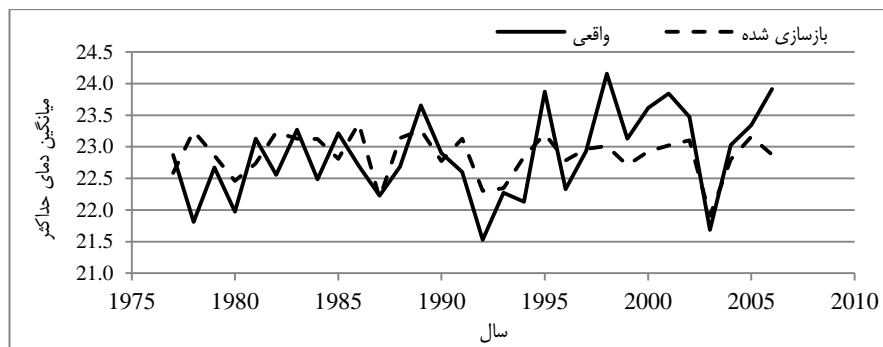
$$T = 1/14 * Tr + 21/73 \quad (\text{رابطه ۳})$$

در معادله ۳، T دمای حداکثر مارس- سپتامبر بازسازی و Tr پهنای دوایر سالانه درخت است. به منظور بررسی تطابق ظاهری نتایج، داده‌های واقعی و بازسازی‌شده در دوره آماری ایستگاه (۱۹۹۷-۲۰۰۶) در شکل ۵ ترسیم شد. بررسی این شکل نشان می‌دهد که تبعیت روند داده‌های بازسازی از داده‌های واقعی در نیمه دوم دوره بیش از نیمه اول است ولی در مجموع می‌توان گفت تغییرات داده‌های بازسازی‌شده شبیه داده‌های واقعی است. با این حال، دامنه تغییرات داده‌های بازسازی کمتر از داده‌های واقعی است.

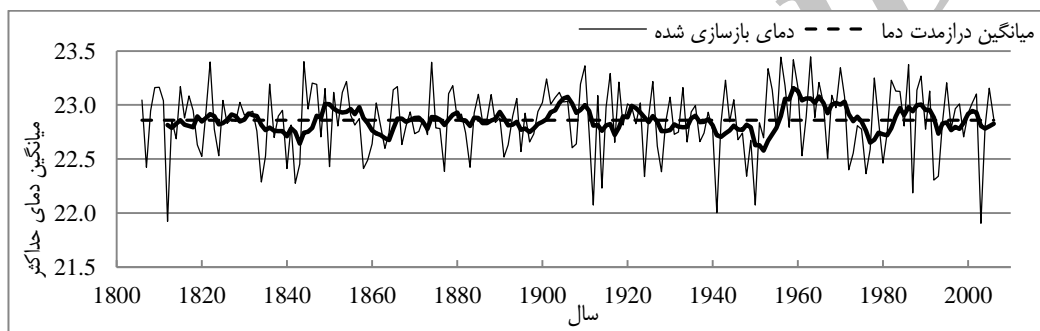


همچنین در دهه ۱۹۷۰ نیز دو دوره نسبتاً سرد در منطقه ثبت شده است.

طولانی‌ترین دوره سرد را در فاصله سال‌های ۱۹۳۰-۱۹۵۰ داشتند. علاوه بر آن، از اواسط دهه ۱۸۳۰ تا اواسط دهه ۱۸۴۰،



شکل ۵. مقادیر واقعی و بازسازی شده دمای حداکثر مارس-سپتامبر در کلیک نوشهر



شکل ۶. دمای حداکثر مارس-سپتامبر بازسازی شده در دوره ۱۸۰۶-۲۰۰۶ (خط سیاه میانگین متحرک هفت ساله را نشان می‌دهد)

سال‌های نمادین مثبت (منفی) با حد ۹۵ (۵) درصد نرمال استاندارد یعنی  $+1/64$  (- $1/64$ ) تعیین شد. سال‌های نمادین مثبت (بسیار گرم) و منفی (بسیار سرد) در جدول ۴ نشان داده شده است. بر اساس نتایج این جدول، کمترین و بیشترین متوسط حداکثر دمای مارس-سپتامبر منطقه کلیک ۲۱/۹ و ۲۳/۵ بود که به ترتیب در سال‌های ۲۰۰۳ و ۱۹۶۳ به وقوع پیوست. همچنین، از مجموع سال‌های نمادین، حدود ۶۰ درصد سال‌ها، بسیار سرد و بقیه، بسیار گرم بود. در مورد دوره‌های گرم و سرد بازسازی شده، دوره‌های زمانی ۱۸۹۹-۱۹۰۶ و ۱۹۶۲-۱۹۶۶ طولانی‌ترین دوره‌ها با سال‌های متمادی گرم بود که میانگین دمای مارس-سپتامبر طی این دوره‌ها به  $23/1$  درجه سانتی‌گراد رسید. طولانی‌ترین سال‌های متوالی سرد بازسازی شده مربوط به دوره‌های زمانی ۱۹۶۴-۱۹۵۲ و ۱۹۷۲-۱۹۷۷ بود که متوسط دما طی این دوره‌ها به  $22/6$  رسید.

بررسی ارتباط دماهای بازسازی شده با شاخص‌های دور پیوند پس از بازسازی دما به منظور بررسی احتمال وجود ارتباط بین نتایج بازسازی شده در این تحقیق با شاخص‌های دور پیوند، همبستگی دماهای بازسازی شده با دو شاخص یکی، نوسان‌های

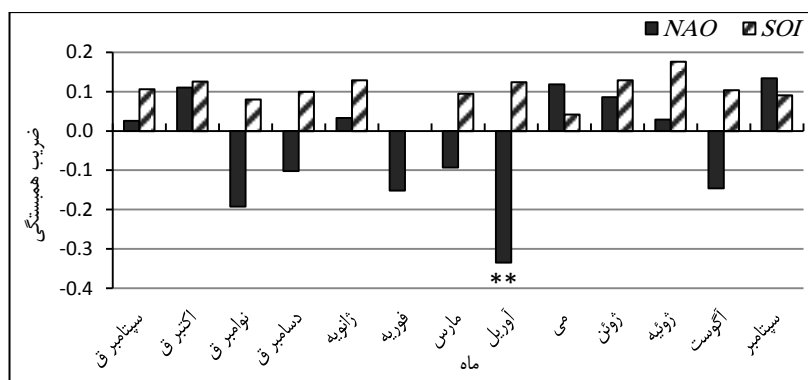
جدول ۴. سال‌های نمادین بسیار گرم و بسیار سرد بازسازی شده در ۲۰۰ سال گذشته در منطقه کلیک نوشهر

شماره	سال‌های نمادین سرد		سال‌های نمادین گرم	
	سال	دما	سال	دما
۱	۲۰۰۳	۲۱/۹۱	۱۹۶۳	۲۳/۴۵
۲	۱۸۱۲	۲۱/۹۲	۱۹۵۶	۲۳/۴۴
۳	۱۹۴۱	۲۲/۰۰	۱۹۵۹	۲۳/۴۲
۴	۱۹۱۲	۲۲/۰۷	۱۸۲۲	۲۳/۴۰
۵	۱۹۵۰	۲۲/۰۷	۱۸۴۴	۲۳/۴۰
۶	۱۹۸۷	۲۲/۱۹	۱۸۷۴	۲۳/۴۰
۷	۱۹۱۴	۲۲/۲۳	۱۹۸۶	۲۳/۳۷
۸	۱۸۴۲	۲۲/۲۷	۱۹۱۰	۲۳/۳۶
۹	۱۸۳۴	۲۲/۲۹		
۱۰	۱۹۹۲	۲۲/۳۱		
۱۱	۱۹۲۴	۲۲/۳۴		
۱۲	۱۹۴۸	۲۲/۳۴		
۱۳	۱۹۹۳	۲۲/۳۴		

برای تعیین گرم‌ترین و سردترین سال‌ها در ۲۰۰ سال گذشته، شاخص Zscore در کل دوره بازسازی محاسبه و

بررسی شاخص‌های دور پیوند تنها نتیجه منطقی و قابل استنباط، همبستگی منفی و معنادار دماهای بازسازی شده با شاخص NAO در ماه آوریل است. مقایسه نتیجه اخیر با ضرایب همبستگی در شکل ۲ نشان می‌دهد که نوسان‌های دما در این ماه بیشترین تأثیر را بر رشد درختان راش این منطقه دارد.

اطلس شمالی (NAO) و دیگری نوسان‌های جنوبی (SOI) بررسی شد (شکل ۷). بررسی این شکل نشان می‌دهد که همبستگی دماهای بازسازی شده با شاخص نوسان‌های جنوبی مثبت ولی غیرمعنادار است. اما در مورد شاخص نوسان‌های اطلس شمالی نیمی از ماه‌ها همبستگی منفی و نیمی دیگر همبستگی مثبت با دماهای بازسازی شده دارد. از مجموع



شکل ۷. همبستگی دماهای بازسازی با شاخص‌های دور پیوند (\*\* معناداری در سطح احتمال ۱ درصد)

بازسازی شد. نتایج بررسی تأثیر متغیرهای مختلف هواشناسی در مقیاس ایستگاهی و جهانی نشان داد که نخست کاهش دمای حداکثر در دوره رشد عامل محدودکننده رشد درختان این منطقه است. دوم، حلقه‌های سالانه درختان راش برخلاف داده‌های جهانی با دماهای محلی و ایستگاهی همبستگی‌های معنادارتری دارد. بنابراین، متوسط دمای حداکثر مارس تا سپتامبر بازسازی شد. برای بازسازی دما از رابطه رگرسیون خطی ساده استفاده شد. نتایج ارزیابی معادله بازسازی نشان داد که معادله بازسازی دما در نیمه دوم دوره ارزیابی (سال‌های اخیر) نسبت به نیمه اول صحت بیشتری دارد. ولی در مجموع دوره، معادله نهایی بازسازی در حدود یک‌سوم از واریانس تغییرات دما را توجیه می‌کند. نتایج بازسازی دما نشان داد که سال‌های ۱۹۳۰-۱۹۵۰ و ۱۹۵۰-۱۹۷۰ به ترتیب طولانی‌ترین دوره‌های سرد و گرم منطقه در بخش مرکزی رشته‌کوه‌های البرز بود. اما در مورد دوره‌های گرم و سرد متوالی، طولانی‌ترین دوره گرم به مدت هشت سال متوالی در اوایل قرن بیستم و در خلال سال‌های ۱۸۹۹-۱۹۰۶ به وقوع پیوست. همچنین، طولانی‌ترین دوره سرد به مدت هفت سال پیاپی در دوره ۱۹۴۶-۱۹۵۲ رخ داد. تحلیل سال‌های نمادین سرد و گرم نشان داد که این منطقه سال‌های بسیار سرد را به اندازه ۱۰ درصد بیش از سال‌های بسیار گرم تجربه کرده است. بررسی رابطه دماهای بازسازی شده با شاخص‌های دور پیوند NAO و SOI نشان داد که SOI با دماهای بازسازی شده در این تحقیق همبستگی معناداری ندارد. در مقابل، فاز منفی NAO در ماه آوریل باعث

با توجه به اینکه فاز منفی NAO همراه با تضعیف پرفشار آژورس و شارش هوای مرطوب به سمت مناطق جنوبی اروپا و مدیترانه است (Bazrafshan, 2012)، به نظر می‌رسد که در ماه آوریل این شارش رطوبت در اثر منفی شدن فاز NAO باعث ایجاد شرایط مناسب دمایی برای درختان راش در مرکز رشته‌کوه‌های البرز می‌شود. البته، تأثیر معنادار فاز منفی NAO بر افزایش دمای زمستان در ترکیه را Türkes and Erlat (2003) نیز گزارش کردند.

مقایسه دماهای بازسازی شده در این تحقیق با یافته‌های محققان در کشورهای همجوار نتایج جالبی را نشان داد. برای مثال، Arsalani *et al.* (2014) در غرب ایران همانند نتایج این تحقیق، دهه‌های گرم ۱۸۴۰ و ۱۹۶۰ را بازسازی کردند. Heinrich *et al.* (2013) نیز کاهش دمای جنوب غرب ترکیه را در دهه چهارم و پنجم قرن بیستم و اواخر دهه اول قرن نوزدهم نشان دادند. تقریباً همه مطالعات بازسازی در منطقه آلپ، دهه دوم قرن نوزدهم را سردترین دهه در دو قرن گذشته بازسازی کردند (Büntgen *et al.*, 2005, 2006, 2007, 2011). همچنین، این مطالعات دهه‌های گرم ششم و هفتم قرن بیستم را مشابه نتایج این تحقیق بازسازی کرد؛ اما نتایج ایشان برخلاف نتایج این تحقیق حاکی از افزایش بی‌سابقه دما طی دو دهه اخیر است.

### نتیجه‌گیری

در این تحقیق برای اولین بار متغیر دما در اکوسیستم‌های خزری حلقه‌های سالانه درختان راش منطقه کلیک نوشهر

مبنای پهنای دواير سالانه درختان روند افزایشی دما در شرق مدیترانه را نشان نداده است. همچنین، این نکته شایان ذکر است که سال‌های بسیار گرم دهه‌های اخیر کمتر از مقدار واقعی برآورد شده است که این را می‌توان یکی از دلایل احتمالی عدم نمایش گرمایش جهانی دما در سری‌های بازسازی‌شده دما دانست. البته، اظهار نظر قطعی در این مورد به مطالعات بیشتری نیازمند است.

## REFERENCES

- Arsalani, M., Azizi, G. and Bräuning, A. 2014. Dendroclimatic reconstruction of May–June maximum temperatures in the central Zagros Mountains, western Iran. *International Journal of Climatology*, DOI: 10.1002/joc.3988.
- Azizi, Gh., Arsalani, M., Bräuning, A. and Moghimi, E. 2013. Precipitation variations in the central Zagros Mountains (Iran) since A.D. 1840 based on oak tree rings. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 386: 96-103.
- Balapour, Sh., Jalilvand, H., Raeini, M., and Asadpour, H. 2010. Relationship between tree rings of Beech (*Fagus orientalis*) with some climatic variables in experimental forest of Natural Resources Faculty (Darabcola). *Watershed Management Research Journal (Pajouhesh & Sazandegi)*. 88. 1-10. (In Persian)
- Bazrafshan, O. (2012). Hydrologic Drought Forecasting using Teleconnection and Intelligent Models (Case Study: Karkheh watershed Basin). Ph. D. Dissertation. University of Tehran. Karaj.
- Bräuning, A. 2006. Tree-ring evidence of 'Little Ice Age' glacier advances in southern Tibet. *The Holocene*, 16(3), 369–380.
- Büntgen, U., Frank, D.C., Kaczka, R., Verstege, A., Zwijacz-Kozica, T., ESPER, J. 2007. Growth responses to climate in a multi-species tree-ring network in the Western Carpathian Tatra Mountains, Poland and Slovakia. *Tree Physiology*. 27: 689–702.
- Büntgen, U., Tegel, W., Nicolussi, K., McCormick, M., Frank, D., et al. 2011. 2500 Years of European Climate Variability and Human Susceptibility. *Science*, 331: 578-582.
- Büntgen, U., Frank, D. C., Nievergelt, D., and Esper, J. 2006. Summer Temperature Variations in the European Alps, A.D. 755–2004. *J. Climate*, 19, 5606–5623.
- Büntgen, U., Esper, J., Frank, D.C., Nicolussi, K., Schmidhalter, M. 2005. A 1052-year tree-ring proxy for Alpine summer temperatures. *Climate Dynamics*. 25: 141–153.
- Cook, E.R. and Kairiukstis, L.A. 1990. *Methods of Dendrochronology: Applications in the Environmental Sciences*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. 394p.
- Coppola, A., Leonelli, G., Salvatore, M. C., Pelfini, M. and Baroni, C. 2013. Tree-ring-based summer mean temperature variations in the Adamello–Presanella Group (Italian Central Alps), 1610–2008 AD. *Clim. Past*. 9. 211–221.
- Fan, Z.X., Brauning, A., Cao, K.F. 2008. Annual temperature reconstruction in the central Hengduan Mountains, China, as deduced from tree rings. *Dendrochronologia*. 26. 97–107.
- Fritts, H.C. 1976. *Tree Rings and Climate*. Academic Press, London, 567 pp.
- Heinrich, I., Touchan, R., Linan, I.D., Vos, H., Helle, G. 2013. Winter-to-spring temperature dynamics in Turkey derived from tree rings since AD 1125. *Clim Dyn*. 41. 1685–1701.
- IPCC. 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Li, Z.S., Zhang, Q.B., Ma, K. 2012. Tree ring reconstruction of summer temperature for A.D. 1475–2003 in the central Hengduan Mountains, Northwestern Yunnan, China. *Climatic Change*. 110: 455-467.
- Nadi, M., Khalili, A., Pourtahmasi, K. and Bazrafshan, J. 2013. Comparison of Various Interpolation Techniques of Climatic Data for Determining the Most Important Factors Affecting the Trees Growth at the Elevated Areas of Chaharbagh, Gorgan. *Journal of Forest and Wood Products*. 66: 1. 83-95. (In Persian)
- Najafi Harsini, F., Pourtahmasi, K. and Karimi, A.N. 2012. Dendrochronological Investigation of Radial Growth of *Quercus infectoria* in Kermanshah Oak Forests. *Journal of Forest and Wood Products*. 65: 1. 119-129. (In Persian)
- Pourtahmasi, K., Parsapajouh, D., Brauning, A., Esper, J., Schweingruber, H.F. 2007. Climatic analysis of pointer years in Tree-ring chronologies from northern Iran and neighboring high mountain areas. *GEOÖKO*. 28: 27-42.
- Pourtahmasi, K., Poursartip, L., Bräuning, A. and Parsapajouh, D. 2009. Comparison between the radial growth of juniper (*Juniperus polycarpus*) and Oak (*Quercus macranthera*) trees in two sides of the Alborz Mountains in Chaharbagh region of gorgan. *Journal of Forest and Wood Products*. 62: 2. 159-169. (In Persian) [www.SID.ir](http://www.SID.ir)

- Rahimi, J. Ebrahimpour, M. Khalili, A. 2013. Spatial changes of extended De Martonne climatic zones affected by climate change in Iran. *Theor. Appl. Climatol.*, 112(3-4): 409-418.
- Türkes, M. Erlat, E. 2003. Precipitation changes and variability in Turkey linked to the North Atlantic oscillation during the period 1930–2000. *Int J Climatol.* 23:1771–1796.
- Yang, B. Brauning, A. 2007. Temperature variations on the Tibetan Plateau during the Last Millennium. *Adv. Clim. Change Res.* 3: 31-34.
- Zhang, Y., Shao, X. M., Yin, Z.-Y., Wang, Y. 2014. Millennial minimum temperature variations in the Qilian Mountains, China: evidence from tree rings, *Clim. Past*, 10, 1763-1778, doi:10.5194/cp-10-1763-2014.

Archive of SID