

The Reconstruction the Past Climate based on Temperature Pattern Changes from Tree Rings on Oak Habitats in Golestan Province

Abdolazim Ghanghermeh ¹ *, Gholamreza Roshan ², Nooreddin Nazarnezhad ³

1- Assistant Professor, Department of Geography, Golestan University, Gorgan, Iran

2- Associate Professor, Department of Geography, Golestan University, Gorgan, Iran

3- Associate Professor, Department of Wood and Paper Industries, Sari Agricultural and Natural Resources University, Mazandaran, Iran

Abstract

Trees can record the long-term effects of climate variables. With the help of dendroclimatology knowledge, these variables can be reconstructed, especially for areas with short-term climatic data. For this purpose, in this study, six forestry plans were selected by using the thickness of Iranian oak tree rings in Golestan province. Then, using a multivariate surface response regression analysis in the STATISTICA software environment, different temperature components (including monthly, maximum average, and minimum average) of 15 meteorological stations for the growing period from April to September were reconstructed. The research findings showed that the temperature variations in the growing season over the past 170 years in Golestan province have been characterized by six major oscillatory cycles. Also, according to the results of the present study, it was found that the recent 40-year period (1971 to 2011) has had significant changes in the mean and median temperature compared to the former three 40-year periods.

Keywords: Golestan Province, Climate Variability, Dendroclimatology, Oak Tree, Climate Modeling.

* aghanghermeh@gmail.com



بازسازی اقلیم گذشته بر مبنای تغییرات الگوی درجه حرارت از روی حلقه‌های درختی رویشگاههای بلوط در پهنه استان گلستان

عبدالعظیم قانقرمه^{*}، استادیار اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران

غلامرضا روشن، دانشیار اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران

نورالدین نظرنژاد، دانشیار صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

چکیده

درختان تأثیرات طولانی‌مدت متغیرهای اقلیمی را در خود ثبت می‌کنند. به کمک دانش اقلیم‌شناسی درختی می‌توان این متغیرها را به‌ویژه برای مناطقی بازسازی کرد که از داده‌های اقلیمی کوتاه‌مدت برخوردارند. به همین منظور در این پژوهش به کمک پهنای حلقه‌های سالیانه گونه بلوط ایرانی در استان گلستان، ۶ منطقه طرح جنگل‌داری انتخاب شد؛ سپس با استفاده از یک تحلیل رگرسیون چندمتغیره پاسخ سطحی در محیط نرم‌افزار STATISTICA، مؤلفه‌های مختلف درجه حرارت (متوسط ماهیانه، متوسط حداکثر و حداقل) ۱۵ ایستگاه هواشناسی برای دوره رشد شامل ماههای فروردین تا شهریور، بازسازی شد.

یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد تغییرات دمایی در فصل رشد در استان گلستان طی ۱۷۰ سال گذشته، شش چرخه عمده نوسانی دارد؛ همچنین با توجه به نتایج پژوهش حاضر مشخص شد دوره ۴۰ساله اخیر (۱۳۵۰ تا ۱۳۹۰) در قیاس با سه دوره ۴۰ساله پیش از خود، تغییرات عمده‌ای در میانگین و میانه دمایی دارد.

واژه‌های کلیدی: استان گلستان، تغییرپذیری اقلیم، گاه‌شناسی درختی، درخت بلوط، مدل‌سازی اقلیم

مقدمه

تغییرات اقلیم از پیچیده‌ترین چالش‌هایی است که بشر در حال حاضر و آینده با آن مواجه است و خواهد بود. اساساً اقلیم زمین طی هزاران تا میلیون‌ها سال پیش تغییراتی داشته است. تغییرات اقلیم گذشته، بیش از ۱۵۰ سال پیش از سال ۱۹۵۰ و پیش از این روی داده است که فعالیت‌های بشر به انتشار گازهای گلخانه‌ای منجر شود (Crowley and North, 1991: 283). اهمیت اقلیم گذشته در شناخت بیشتر از تغییرات اقلیمی آینده است. اقلیم‌شناسان دیرینه با استفاده از روش‌های مختلفی مانند سن‌یابی با مغزه‌های یخی، گرده‌های گیاهی، شواهد رسوبی کف اقیانوس‌ها، بررسی‌های ایزوتوپ، اقلیم‌شناسی درختی و...، تغییرات آب‌وهوایی گذشته را بازسازی می‌کنند؛ از این بین، اقلیم‌شناسی درختی، مدل‌سازی شرایط آب‌وهوایی گذشته را با استفاده از حلقه‌های رویشی تاریخ‌گذاری شده ممکن می‌سازد؛ به گونه‌ای که این روش با دقت زیاد در تاریخ‌گذاری سال‌به‌سال، یکی از روش‌های مناسب برای شناسایی تغییرات اقلیمی گذشته محسوب می‌شود (Kaennel and Schweingruber, 2001: 67).

تنوع‌پذیری عوامل اقلیمی و محیطی بر بستر کره زمین موجب توزیع گونه‌های مختلف گیاهی و درختی در مناطق مختلف کره زمین شده است. ارتباط تنگاتنگی بین الگوهای غالب اقلیمی هر منطقه با رویشگاه‌های جنگلی دیده می‌شود، ولی متغیرهای اقلیمی در گونه‌های مختلف درختی تأثیرات متفاوتی بر حلقه‌های رویشی درختان دارند. از بین عوامل محیطی، اثر اقلیم به‌خوبی با تأثیر بر میزان بافت چوبی سالیانه تولیدشده هر درخت قابل ردیابی است. هر

درخت سالیانه یک حلقه رویشی به مجموع حلقه‌های سالیانه خود اضافه می‌کند که با شمارش این حلقه‌ها، سن درخت تشخیص داده می‌شود و همچنین با اندازه‌گیری مؤلفه‌های هر حلقه رویشی، شرایط محیطی تأثیرگذار بر تشکیل آن حلقه سالیانه امکان بازسازی می‌یابد. به علمی که امکان اندازه‌گیری حلقه‌های رویشی سالیانه و ساخت سری زمانی از آنها را فراهم می‌کند، «دندروکرونولوژی» یا «گاه‌شناسی درختی» و به علمی که امکان استخراج اطلاعات اقلیمی را از روی سری‌های زمانی و گاه‌شناسی درختی فراهم می‌کند، «دندروکلیماتولوژی» یا «اقلیم‌شناسی درختی» گفته می‌شود (ارسلانی و همکاران، ۱۳۹۱: ۹۷). ارزش و اهمیت این روش بررسی اقلیم گذشته به این دلیل است که امکان بازسازی اطلاعات اقلیمی گذشته را به‌صورت ریزمقیاس فراهم می‌کند؛ به گونه‌ای که اطلاعات اقلیمی ذخیره‌شده در بافت چوبی درختان در مقیاس‌های ماهیانه، فصلی و سالیانه امکان بازسازی دارد.

در دنیا طی دو سده اخیر، بانک اطلاعاتی ارزشمندی از سیگنال‌های اقلیمی استخراج شده از حلقه‌های درختی تشکیل شده است. با بازسازی متغیرهای اقلیمی با مؤلفه‌های مختلف حلقه‌های رویشی سالیانه درختان، درک بهتری از وضعیت اقلیم گذشته مناطق وسیعی از زمین طی سده‌ها و هزاره‌های اخیر به دست آمده است؛ برای نمونه پژوهش‌های متعددی در چین و تبت درباره اقلیم‌شناسی درختی انجام شده است؛ از جمله پژوهش‌های فان و همکاران^۱ (۲۰۰۸؛ ۲۰۱۰)، لئو و همکاران^۲ (۲۰۱۰) و های و همکاران^۳ (۲۰۱۱). به‌طور کلی از جمله دستاوردهای

^۱ Fan et al.

^۲ Liu et al.

^۳ Hai et al.

رویشی داشته و دما فقط در ماههای مارس و آوریل به علت اینکه دوره رشد در آغاز مارس شروع می‌شود، تأثیرگذار بوده و در سایر فصول اثر مهمی بر رشد نداشته است.

از سوی دیگر پژوهش‌های متنوع و مختلف دیگری درباره اقلیم‌شناسی درختی در سرتاسر دنیا انجام شده است؛ از جمله پژوهش‌های مورالز و همکاران^۸ (۲۰۱۹) برای اسپانیا، ماریا و همکاران^۹ (۲۰۱۹) برای آرژانتین، ناگوسیوکا و همکاران^{۱۰} (۲۰۱۹) برای رومانی، حداد و همکاران^{۱۱} (۲۰۱۹) برای پاتاگونیا، بورگائونکار و همکاران^{۱۲} (۲۰۱۸) و همچنین گایر و همکاران^{۱۳} (۲۰۱۹) برای هیمالیا و کولن دووایز و همکاران^{۱۴} (۲۰۱۸) برای لهستان.

جدای از پژوهش‌های اقلیم‌شناسی درختی که در سرتاسر دنیا انجام شده است، نتایج بعضی پژوهش‌ها درباره این حوزه علمی در سطح کشور به شرح زیر است:

پروانه و ولی‌پور^{۱۵} (۲۰۱۲) اثر تغییرات اقلیمی را بر رشد حلقه‌های درختی بلوط برای نواحی غرب ایران واکاوی کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد رابطه‌ای بسیار قوی بین بارش‌های پیش از دوره رشد با حلقه‌های درختی با $r = 0.82$ وجود دارد؛ ولی این رابطه بین بارش در طول فصل رشد با حلقه‌های درختی در سطح پایین‌تری از معناداری به مقدار 0.48 دیده می‌شود.

این پژوهشگران درباره موضوع مدنظر، بازسازی دمای تابستان برای حوضه رودخانه یانگ‌تسه^۱ در فلات تبت در دوره‌های ۳۷۹ ساله، بازسازی دمای حداکثر ژوئن - جولای برای جنوب غرب یوکان طی ۳۰۰ سال گذشته، بازسازی دمای سالیانه در کوه‌های هنگدوان^۲ مرکزی چین، بررسی تغییرپذیری دمای آگوست از ۱۵۸۵ میلادی در جنوب شرقی تبت و بررسی تغییرپذیری دمای آگوست از سال ۱۳۸۵ میلادی در جنوب شرقی تبت با استفاده از حلقه‌های درختی است.

بورتوزی^۳ (۲۰۰۲) اثر شرایط اقلیمی را بر رویش پیسی ابیس^۴ در منطقه آلوین^۵ ایتالیا در چند افق ارتفاعی بررسی کرد. وی برای تعیین همبستگی رویش با شرایط آب‌وهوایی، اطلاعات مربوط را گردآوری کرد و نشان داد در مقیاس بزرگ، همبستگی زیادی بین اقلیم و رویش سوزنی‌برگ‌ها در شرایط مناسب رویشگاهی وجود ندارد. در ارتفاع کم آثار شرایط اقلیمی ضعیف بوده، ولی در ارتفاع زیاد ماکزیمم درجه حرارت تابستان و متوسط بارندگی بهاری، بیشترین اثر را بر رویش سوزنی‌برگ‌ها داشته است.

آکمیک^۶ (۲۰۰۰) برای تعیین واکنش حلقه رویشی به اقلیم، اطلاعات ۲۰ درخت از گونه پینوس پینه^۷ را در استانبول استخراج کرد و از آنالیز تابع پاسخ برای بررسی ارتباط حلقه رویشی و اقلیم بهره گرفت. دستاوردهای این پژوهش نشان داد بارش سال جاری و دما در دوره رشد، اثر مثبت معناداری بر رشد حلقه

8. Morales et al.

9. María et al.

10. Nagavciuca et al.

11. Hadad et al.

12. Borgaonkar et al.

13. Gaire et al.

14. Kolendowicz et al.

15. Parvaneh and Valipour

1. Yangtze River

2. Hengduan Mountains

3. Bortouzzi

4. Picea abies

5. Aloin

6. Akkemik

7. Pinus pinea

است؛ از سوی دیگر، نتایج این پژوهش نشان داد رابطه معناداری بین مقادیر بارش با تغییرات شاخص‌های پیوند از دور SOI^۴، NAO^۵ و PDO^۶ وجود دارد. از جمله پژوهش‌های انجام شده برای ایران پژوهش خالقی^۷ (۲۰۱۸) در نواحی شمال شرق ایران (بجنورد) روی رویشگاههای درخت بلندمازوست. وی در پژوهش خود برای یک دوره ۲۱۵ ساله شامل سال‌های ۱۸۰۰-۲۰۱۵، مقادیر دما و بارش را برای این ناحیه بازسازی کرد؛ به طوری که نتایج این پژوهش گویای روند تغییرات اقلیمی در بجنورد است. این روند تغییر اقلیم به گونه‌ای بوده که تیپ اقلیمی منطقه برای دو سده اخیر از نیمه‌بیابانی به بیابانی تمایل یافته است.

در دو پژوهش متفاوت، بازسازی درجه‌حرارت نیمه گرم (زارعان، ۱۳۹۴) و نیمه سرد سال (موحدی، ۱۳۹۵) با استفاده از حلقه‌های درختی بلوط برای جنگل‌های منطقه دنا انجام شد. در این پژوهش‌ها، کار بازسازی بیش از یک قرن میانگین دمای نیمه گرم و سرد سال انجام پذیرفت. نتایج این پژوهش‌ها برای نیمه گرم سال نشان داد میانگین دمای اردیبهشت تا شهریور منطقه در سه دهه اخیر نسبت به یک قرن پیش از خود، تا حدودی افزایش یافته است. به نوعی دیگر، مشابه این نتیجه برای نیمه سرد سال نیز استخراج شد؛ به طوری که از خروجی‌ها مشخص شد کمینه دمای ماهیانه نیمه سرد سال در منطقه دنا نسبت به یک قرن پیش از خود، روند افزایشی داشته و تا حدودی از سرمای فصل سرد سال کاسته شده است.

عزیزی و همکاران^۱ (۲۰۱۳) با استفاده از حلقه‌های درختی بلوط در مرکز کوه‌های زاگرس، تغییرات الگوی بارش را برای سال‌های ۱۸۴۰ تا ۲۰۱۰ بازسازی کردند. یافته‌های این پژوهش نشان داد خشکسالی‌های این منطقه به سال‌ها و دهه‌های ۱۸۴۰، ۱۸۵۰، ۱۸۷۰، ۱۸۸۰، ۱۹۰۰، ۱۹۲۰، ۱۹۴۰، ۱۹۶۰، ۱۹۸۰، ۱۹۹۹-۲۰۰۳ متعلق بوده است؛ از سوی دیگر، خروجی‌ها گویای افزایش طول دوره‌های خشکسالی نسبت به ترسالی است.

ارسلانی و همکاران^۲ (۲۰۱۴) با استفاده از حلقه‌های درختی بلوط، مقادیر بیشینه دما را برای نواحی مرکزی زاگرس بازسازی کردند. آنها در پژوهش خود بر مبنای بازسازی بیشینه دما برای ژوئن تا می برای یک دوره ۱۷۰ ساله (سال‌های ۱۸۴۰ تا ۲۰۱۰) نشان دادند طول دوره‌های سرد کوتاه‌تر از دوره‌های گرم بوده است؛ از سوی دیگر، نتایج کار آنها نشان داد یک رابطه منفی بسیار معنادار بین بیشینه دما با رشد حلقه‌ها برای دسامبر سال‌های قبل وجود دارد که این رابطه منفی معنادار برای ماه‌های فوریه، می، ژوئن و آگوست به دهه‌ها و سال‌های اخیر متعلق بوده است.

ارسلانی و همکاران^۳ (۲۰۱۸) در مقاله‌ای دیگر با استفاده از حلقه‌های درختی بلندمازو، مقادیر بارش را برای دوره دسامبر تا فوریه سال‌های ۱۸۵۰ تا ۲۰۱۵ بازسازی کردند. نتایج کار آنها نشان داد شدیدترین خشکسالی‌ها برای این دوره مطالعاتی به سال‌های ۱۸۷۰-۱۸۷۱، ۱۸۹۸، ۱۹۶۰ و ۱۹۶۳-۱۹۶۴ و دوره‌های خیلی مرطوب به سال‌های ۱۸۵۱، ۱۸۸۵، ۱۹۱۶ و ۱۹۲۱ در نواحی جنوبی زاگرس مربوط بوده

4. Southern Oscillation Index

5. North Atlantic Oscillation

6. Pacific Decadal Oscillation

7. khaleghi

1. Azizi et al.

2. Arsalani et al.

3. Arsalani et al.

پاسخ به این پرسش که آیا استان گلستان وارد فاز جدیدی از تغییرات اقلیمی شده است، نیازمند واکاوی رفتار داده‌های مختلف اقلیمی از جمله دما برای یک دوره طولانی مدت است؛ همچنین هرچا سخن از گرمایش جهانی مطرح می‌شود، یکی از محورهای اصلی، تمرکز بر تغییرات روند و دگرگونی‌های مؤلفه دمایی است؛ بنابراین بر مبنای مباحث یادشده، یکی از اهداف پژوهش حاضر، بازسازی الگوی دمایی دهه‌های گذشته برای این استان است تا مشخص شود آیا با بسط طول داده‌های دما، روند معناداری از تغییرپذیری این مؤلفه اقلیمی متأثر از رخداد گرمایش جهانی شناسایی می‌شود؛ بر این اساس در این پژوهش با استفاده از اقلیم‌شناسی درختی، الگوی دمایی دهه‌های گذشته بر مبنای نمونه‌های درختی از رویشگاههای بلوط استان گلستان بازسازی می‌شود.

روش پژوهش

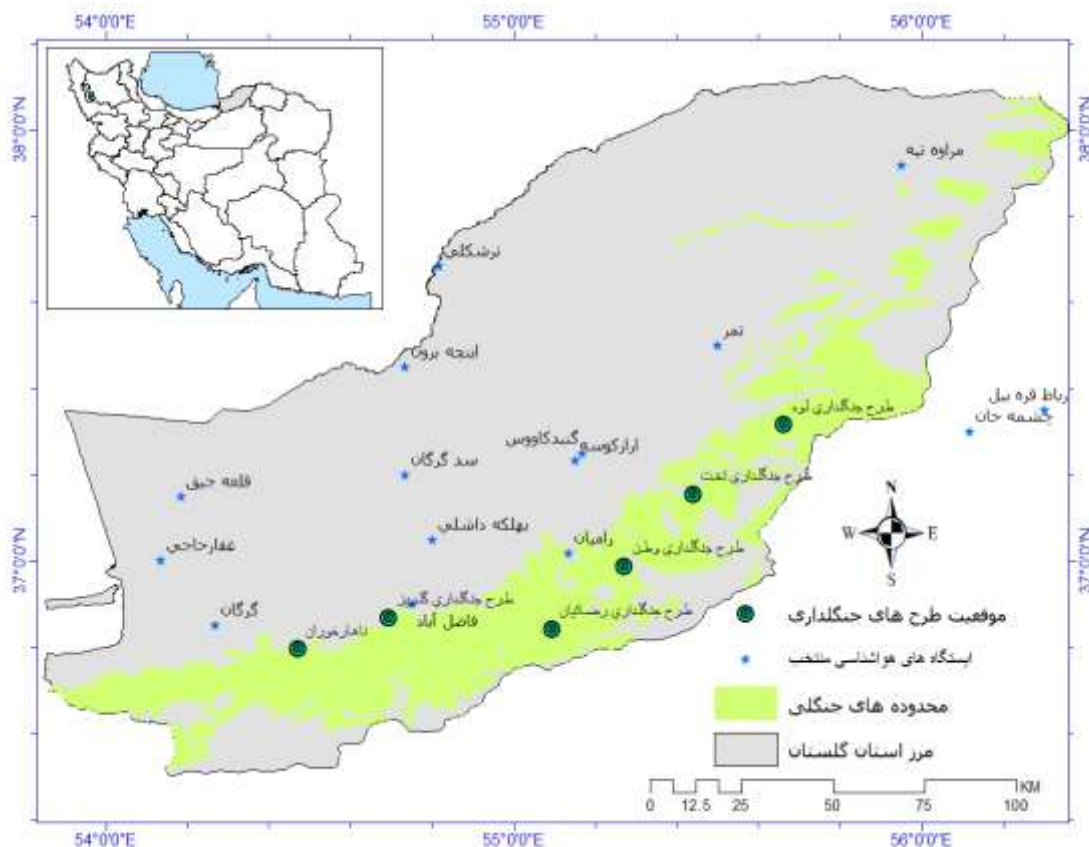
معرفی محدوده پژوهش

در پژوهش حاضر از میانگین داده‌های دما (متوسط ماهیانه، متوسط حداکثر و حداقل) برای ۱۵ ایستگاه هواشناسی استفاده شده است. ۱۳ ایستگاه به ایستگاههای تبخیرسنجی وزارت نیرو و ۲ ایستگاه دیگر نیز به سازمان هواشناسی مربوط است. طول دوره داده‌های مشاهداتی ایستگاههای بررسی شده شامل سال‌های ۱۳۵۰ تا ۱۳۹۰ است. در این دوره به طور متوسط ۹۴٪ ایستگاهها، داده‌های مشاهداتی دارند؛ بنابراین کمبود داده‌ها بازسازی شد؛ از سوی دیگر، به منظور بازسازی داده‌های دمایی برای دهه‌های گذشته تاکنون، نمونه‌هایی از حلقه‌های رویشی بلوط برای ۶ رویشگاه طرح جنگل‌داری در سطح استان

متأسفانه در ایران طول داده‌های اقلیمی ثبت شده در ایستگاههای هواشناسی به طور عمده از نیمه دوم قرن بیستم فراتر نرفته است؛ بنابراین به منظور بررسی اقلیم گذشته با تکیه بر این داده‌ها، فقط ارزیابی اقلیم ایران برای چند دهه محدود امکان پذیر است. برای اینکه بتوان اطلاعات اقلیمی خود را به دوره‌های پیش از تأسیس ایستگاههای هواشناسی گسترش داد ناگزیر باید سراغ شواهدی رفت که آثار اقلیم گذشته را در خود ذخیره کرده‌اند؛ یکی از این شواهد ارزشمند اقلیم گذشته، حلقه‌های درختی هستند؛ از سوی دیگر، بیان این نکته ضروری است که از جمله روش‌های سازگاری با تغییرات و کاهش تهدیدات اقلیمی، شناخت مناسب اقلیم گذشته است. تجربه‌ها و یافته‌های علمی مؤید این واقعیت است که شناخت مناسب از دگرگونی‌های آب‌وهوایی گذشته بر کاهش مخاطرات اقلیمی و جوی تأثیرگذار است.

استان گلستان از جمله استان‌های آسیب‌پذیر کشور در تأثیرپذیری از رخدادهای حدی و ناهنجاری‌های اقلیمی نظیر سیل، یخبندان و حریق بوده است. بسیاری از کارشناسان وقوع این رخدادهای حدی را با ورود به دوره‌ای جدید از تغییرات آب‌وهوایی مرتبط می‌دانند. از نمونه‌های این رخدادهای حدی اقلیمی، سیل ۲۰ مرداد سال ۱۳۸۰ در شرق گلستان است که حدود ۵ هزار کیلومتر را دربرگرفت و براساس اعلام سازمان ملل در اوت سال ۲۰۰۱، این سیل در آن سال رتبه یک تلفات انسانی سیل را در جهان به خود اختصاص داد. در این سیل، هزاران تن خاک جابه‌جا و مخزن سد گلستان پر شد و بسیاری از روستاها در این استان تخریب شدند. این سیل در سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۹۸ با حجم تخریبی بیشتری تکرار شد.

استفاده شده است. در شکل ۱، پراکنش ایستگاه‌های مطالعاتی و محدوده‌های طرح جنگلداری استفاده‌شده نمایش داده شده است.



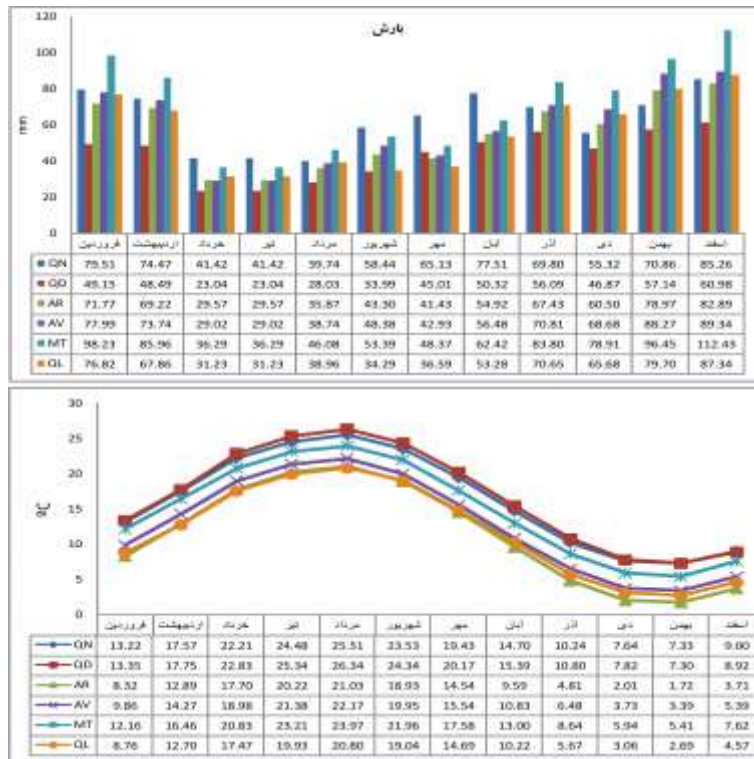
شکل ۱. نقشه پراکنش ایستگاه‌های هواشناسی و محدوده‌های طرح جنگلداری استفاده‌شده در پژوهش حاضر

بلوط در رویشگاه‌های مختلف بارش‌های یکسانی دریافت نمی‌کند؛ همچنین رویشگاه طرح جنگلداری گلریز، گرم‌ترین و طرح جنگلداری رضاییان، سردترین دما را نسبت به سایر رویشگاه‌ها به خود اختصاص داده‌اند؛ به طوری که متوسط دمای سالیانه در طرح جنگلداری ناهارخوران ۱۶/۲۴، طرح جنگلداری گلریز ۱۶/۷۰، طرح جنگلداری رضاییان ۱۱/۲۹، طرح جنگلداری وطن ۱۲/۶۷، طرح جنگلداری تخت ۱۴/۷۳ و طرح جنگلداری لوه ۱۱/۶۳ درجه سانتی‌گراد برآورد شد. نگاهی به این ارقام مشخص می‌کند ماه‌های خرداد تا مهر، گرم‌ترین

در ادامه به منظور ارائه دیدی کلی از شرایط دمای ماهیانه رویشگاه‌های مدنظر در سطح استان، نخست نقشه‌های هم‌بارش و هم‌دمای ماهیانه برای سطح استان گلستان تهیه و سپس بر مبنای این نقشه‌ها، نمودارهای ماهیانه مؤلفه‌های بالا برای رویشگاه‌های مدنظر تهیه شد (شکل ۲)؛ به طوری که مشاهده می‌شود بیشترین مقدار بارش در ماه‌های مختلف در رویشگاه طرح جنگلداری تخت با مقدار مجموع بارش سالیانه ۸۳۸ میلی‌متر و کمترین آن در رویشگاه طرح جنگلداری گلریز با مقدار مجموع بارش سالیانه ۵۲۲ میلی‌متر دیده می‌شود. بر مبنای این شکل، گونه

اختصاص داده شده که در بعضی خروجی‌ها، جزئیات آنها بر مبنای این کدها نمایش داده شده است.

و خشک‌ترین دوره سال در این رویشگاههاست. لازم به توضیح است که کد مخصوصی به هر رویشگاه



شکل ۲. نمودار متوسط بارش و درجه حرارت ماهیانه در رویشگاههای بلوط استان گلستان

انتخاب شدند؛ به طوری که ناهارخوران در ارتفاع ۳۸۹، گلریز در ارتفاع ۴۰۰، رضاییان در ارتفاع ۱۱۸۳، وطن در ارتفاع ۶۴۰، تخت در ارتفاع ۷۱۴ و لوه در ارتفاع ۱۲۱۰ متر از سطح دریاست.

داده‌های استفاده‌شده و روش پژوهش

این پژوهش شامل دو مرحله است؛ مرحله اول، داده‌سازی حلقه‌های درختی و مرحله دوم، ارتباط‌سنجی شاخص حلقه‌های درختی با ویژگی‌های دمایی است. برای این منظور، نخست نمونه‌هایی از تعدادی درخت برای رویشگاههای مختلف برداشت شد. در این مرحله از کار با استفاده از متد سال‌سنج مخصوص درختان پهن‌برگ، نمونه‌های رویشی از

(QN: طرح جنگل‌داری ناهارخوران، QD: طرح جنگل‌داری گلریز، AR: طرح جنگل‌داری رضاییان، AV: طرح جنگل‌داری وطن، MT: طرح جنگل‌داری تخت و QL: طرح جنگل‌داری لوه)

از نظر فاصله و ارتفاع، رویشگاهها و ایستگاههای منتخب در موقعیت‌های متفاوتی نسبت به هم قرار دارند؛ به طوری که از بین ۱۵ ایستگاه منتخب، بیشترین فاصله بین ایستگاههای مختلف با رویشگاهها شامل ایستگاه مراوه‌تپه با رویشگاه ناهارخوران معادل ۱۸۱٫۲ کیلومتر و کمترین آن نیز، بین ایستگاه فاضل‌آباد با رویشگاه گلریز ۶٫۲ کیلومتر است؛ همچنین علاوه بر تفاوت رویشگاهها با ایستگاههای مختلف از نظر ارتفاع، خود رویشگاهها نیز در ارتفاعات مختلف

نشان‌دادن میزان نوسان رویشی در درختان، آماره EPS برای سطح اطمینان و اعتبار گاه‌شناسی تهیه‌شده و آماره SNR برای تعیین نسبت سیگنال به ناهنجاری به کار رفت. در نهایت پس از بازسازی داده‌های گاه‌شناسی درختی، در نخستین گام، تغییر روند مربوط به سری زمانی ضخامت حلقه‌های درختی برای دوره آماری مدنظر واکاوی شد. این کار برای گونه‌های مختلف و مناطق بررسی شده انجام و با یکدیگر مقایسه شد؛ سپس در گام بعدی، رشد حلقه‌های درختی با شاخص‌ها و مؤلفه‌های اقلیمی ارتباط‌سنجی شد.

در این پژوهش به‌منظور حذف آثار روندهای ناهمگون در سطح مناطق جنگلی استان گلستان برای گونه درختی بلوط با استفاده از منحنی برازش خطی استانداردسازی انجام شد؛ سپس مقادیر داده‌های اصلی نسبت به معادله فوق کسر شد تا روند از درون داده‌ها برداشته شود و آنچه می‌ماند، مقادیر باقی‌مانده است. در این مرحله، داده‌های تولیدشده با عنوان prediction معرفی می‌شوند. در مرحله بعد، مقادیر داده‌های اصلی برداشت‌شده که پیش از این هیچ نوع استانداردسازی روی آنها انجام نشده است، بر مقادیر prediction تقسیم می‌شود تا داده‌های استاندارد تولید شود. در مرحله نهایی نیز به‌منظور بازسازی میانگین دمای فصل رشد در استان گلستان با استفاده از شاخص رشد حلقه‌های درختی در نقاط مختلف، نخست فصل رویش برای استان گلستان دوره ماههای فروردین تا شهریور تعریف و سپس با توجه به رفتارهای متفاوت حلقه‌های رویشی بلوط در رویشگاههای استان گلستان، هرکدام به‌منابه بخشی از رفتار اقلیمی در فصل رشد در نظر گرفته شد؛ به‌طوری که برای رابطه‌سنجی با دمای هر ایستگاه با شاخص رشد بلوط،

درختان استخراج شد. این نمونه‌ها همان‌طور که در شکل ۱ از روی نقشه دیده می‌شود، از طرح جنگل‌داری ناهارخوران، طرح جنگل‌داری گلریز، طرح جنگل‌داری رضاییان، طرح جنگل‌داری وطن، طرح جنگل‌داری تخت و طرح جنگل‌داری لوه استان گلستان انتخاب شدند. نمونه‌ها پس از استخراج از تنه درختان، در قاب‌هایی استاندارد قرار گرفتند تا از خم‌شدگی (بر اثر خشک‌شدن) و شکستن جلوگیری شود؛ سپس در آزمایشگاه روی نمونه‌های به‌دست‌آمده از درخت، تاریخ‌گذاری تطبیقی انجام شد. روش کار در این پژوهش بدین صورت بود که نمونه‌های اندازه‌گیری‌شده با استفاده از میز اندازه‌گیری LINTAB6 به همراه برنامه TSAPWIN ثبت شد؛ سپس مقادیر پهنای حلقه رویشی با فرمت‌های مدنظر استخراج شد. برای انجام این مرحله، پژوهشگران مختلفی در پژوهش‌های خود روش‌های معمول را معرفی کردند؛ از جمله بالاپور و کاظمی (۱۳۹۱)، ارسلانی و همکاران (۱۳۹۱)، عزیزی و همکاران (۱۳۹۱)، کاظمی و همکاران (۱۳۹۱)، جلیلونند و بالاپور (۱۳۹۲)، زارغان (۱۳۹۴) و موحدی (۱۳۹۵).

اندازه‌گیری پهنای حلقه‌های رویشی (RW) با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر با بینوکولار^۱ و میز اندازه‌گیری ساخت Frankrinn آلمان و برنامه تحلیل سری‌های زمانی TSAP^۲ انجام شد. در این پژوهش با استفاده از روش هموارسازی^۳ با بسامد کم (۱۵ساله)، استانداردسازی انجام شد. به‌منظور اطمینان‌یافتن از اعتبار گاه‌شناسی تهیه‌شده، روش‌های معمول شامل آماره GLK برای تطابق سری زمانی، ضریب حساسیت (ms_x) برای

1. Binocular

2. Time Series Analysis program

3. Cubic smoothing spline

محدوده اطمینان انتخاب شده است؛ همچنین مقدار MS برای گونه مدنظر، ۰/۲۵ محاسبه شده که نشان دهنده مقادیر قابل قبولی است.

از طرح جنگل‌داری گلریز نیز، ۱۰ درخت با ۲۰ نمونه استخراج و در نهایت یک گاه‌شناسی درختی به طول دوره آماری ۱۱۵ ساله تهیه شد. ابتدای دوره همزمان با سال ۱۲۷۸ بوده و انتهای دوره نیز، سال ۱۳۹۲ است. میانگین کلی برای مقادیر GLK بین گاه‌شناسی‌های فردی و گاه‌شناسی اصلی گونه بلوط در محدوده طرح جنگل‌داری گلریز، ۶۴٫۶۵ محاسبه شد که در سطح ۹۵ درصد معنادار است (جدول ۱). با در نظر گرفتن میزان EPS (۰٫۷۸)، تعداد سال‌های مؤثر و قابل اعتماد از ۱۱۵ سال به ۹۰ سال کاهش یافت. مقدار میانگین ضریب حساسیت نیز برای این گونه درختی، $MS = 0/12$ محاسبه شده است.

از سایت طرح جنگل‌داری رضاییان از تعداد ۵ درخت بلوط، ۱۰ نمونه برداشت شد؛ یعنی برای هر درخت، دو نمونه استخراج شد. میانگین کلی مقادیر GLK بین گاه‌شناسی‌های فردی و گاه‌شناسی اصلی گونه بلوط در این سایت، ۷۵/۳۹ محاسبه شد که در سطح ۹۵ درصد معنادار است. بر مبنای میانگین کلی در این سایت، یک دوره گاه‌شناسی ۸۰ ساله از سال ۱۳۱۳ تا ۱۳۹۲ مشخص شد. با در نظر گرفتن میزان EPS (۰/۸۶)، سال مؤثر و قابل اعتماد برای بلوط در این سایت، ۵۶ سال به دست آمد. مقدار میانگین ضریب حساسیت برای این گونه، $MS = 0/12$ محاسبه شد.

از سایت وطن آزادشهر از ۱۰ درخت، ۲۰ نمونه انتخاب و در نهایت نتایج در قالب یک میانگین درازمدت از سال ۱۲۶۰ تا ۱۳۹۲ بازسازی شد. میزان GLK برای گونه مدنظر با ۷۲/۴۸ در سطح قابل قبولی

از روابط آماری چندمتغیره رگرسیون پاسخ سطحی^۱ در محیط نرم‌افزار STATISTICA استفاده شد. روش پاسخ سطحی، یک تکنیک آماری و ریاضی است که برای تعیین مدل، فرایند و بهینه‌سازی مدل مفید است؛ به‌ویژه برای زمانی که تعداد متغیرهای مدل کم است (Xiong et al., 2012: 174). طرح‌های پاسخ سطحی معمولاً در آزمایش‌های صنعتی استفاده می‌شود تا روابط غیرخطی بین متغیرهای پیش‌بینی‌کننده مداوم و متغیرهای وابسته را بررسی کنند. چنین روابطی معمولاً زمانی روی می‌دهد که متغیرهای پیش‌بینی‌کننده به گونه‌ای تنظیم شوند که متغیر وابسته در بهترین حالت باشد. نخستین گام در روش‌شناسی پاسخ سطحی، یافتن یک رابطه تقریبی مناسب میان متغیرهای ورودی مؤثر و متغیر پاسخ سطحی است. برای مدل‌سازی این رابطه از تابع رگرسیون استفاده می‌شود (یزدانی و همکاران، ۱۳۹۰).

یافته‌های پژوهش

یافته‌های اولیه از نمونه‌های برداشت‌شده مطابق جدول ۱ از هر سایت در استان گلستان نشان می‌دهد از طرح جنگل‌داری ناهارخوران از ۵ درخت بلوط، ۱۰ نمونه برداشت و در مرحله بعد با توجه به میانگین کلی به دست آمده، یک سری زمانی گاه‌شناسی درختی به طول ۷۶ سال تهیه شد که ابتدای دوره با سال ۱۲۷۶ آغاز می‌شود. میانگین کلی GLK برای درختان کل منطقه طرح، ۸۲٫۶۹ محاسبه شد که در سطح ۹۹ درصد معنادار است. پس از اعمال محدوده، مقدار EPS معادل ۰/۸۹ برآورد شد که با اعمال آن، برای دوره ۷۶ سال معادل ۶۸ سال گاه‌شناسی مدنظر به‌مثابه

^۱. Response Surface Regression

در منطقه طرح جنگل‌داری تخت در حوالی شهرستان مینودشت به مقدار $MS = 0/16$ محاسبه شد که میزان آن جالب توجه است.

از طرح جنگل‌داری لوه گالیکش نیز از ۱۰ درخت گونه بلوط، ۲۰ نمونه انتخاب و سپس نتایج گاه‌شناسی در قالب یک میانگین کلی ارائه شد. نتایج این گاه‌شناسی برای یک طول آماری ۲۱۵ ساله بازسازی شد که ابتدای دوره به سال ۱۱۷۸ و انتهای آن به سال ۱۳۹۲ مربوط است؛ به هر حال میانگین کلی GLK عدد $66/76$ محاسبه شد که در سطح ۹۵ درصد معنادار و مقدار EPS نیز $0/80$ است. بر مبنای خروجی EPS ، فقط می‌توان به گاه‌شناسی درختی مربوط به ۱۷۲ سال اخیر اعتماد کرد که یک دوره کوتاه‌تر نسبت به گاه‌شناسی اولیه شامل ۲۱۵ سال است.

جدول ۱. خلاصه آماری گاه‌شناسی گونه‌های مختلف درختی برای طرح‌های جنگل‌داری مختلف

در سطح استان با استفاده از برنامه ARSTAN

محل	رویشگاه	کد	نام گونه	طول کرونولوژی	SNR^1	MS^2	GLK^3	EPS^4	سال‌های مؤثر
گرگان	طرح جنگل‌داری	QN	بلوط	۱۳۱۷-۱۳۹۲	۸۹/۰	۲۵/۰	۶۹/۸۲	۸۹/۰	۶۸
گرگان	طرح جنگل‌داری گلریز	QD	بلوط	۱۲۷۸-۱۳۹۲	۷۸/۰	۱۲/۰	۶۵/۶۴	۷۸/۰	۹۰
علی‌آباد	طرح جنگل‌داری	AR	بلوط	۱۳۲۸-۱۳۹۲	۸۶/۰	۱۲/۰	۳۹/۷۵	۸۶/۰	۵۶
آزادشهر	طرح جنگل‌داری وطن	AV	بلوط	۱۲۶۰-۱۳۹۲	۸۷/۰	۱۳/۰	۴۸/۷۲	۸۷/۰	۱۱۶
مینودشت	طرح جنگل‌داری تخت	MT	بلوط	۱۳۲۵-۱۳۹۲	۹۳/۰	۱۶/۰	۶۸/۷۵	۹۳/۰	۶۳
گالیکش	طرح جنگل‌داری لوه	QL	بلوط	۱۱۷۸-۱۳۹۲	۸/۰	۱۳/۰	۷۶/۶۶	۸/۰	۱۷۲

۱. نسبت سیگنال به ناهنجاری؛ ۲. ضریب حساسیت؛ ۳. درصد تطابق؛ ۴. سیگنال معرف جمعیت آماری

Fitting در نرم‌افزار MATLAB به صورت شکل ۳، روندهای رویشی حذف شدند؛ به طوری که از شکل برمی‌آید، نمونه میانگین بلوط در رویشگاه‌های مختلف روندهای متفاوتی به خود گرفته است و این

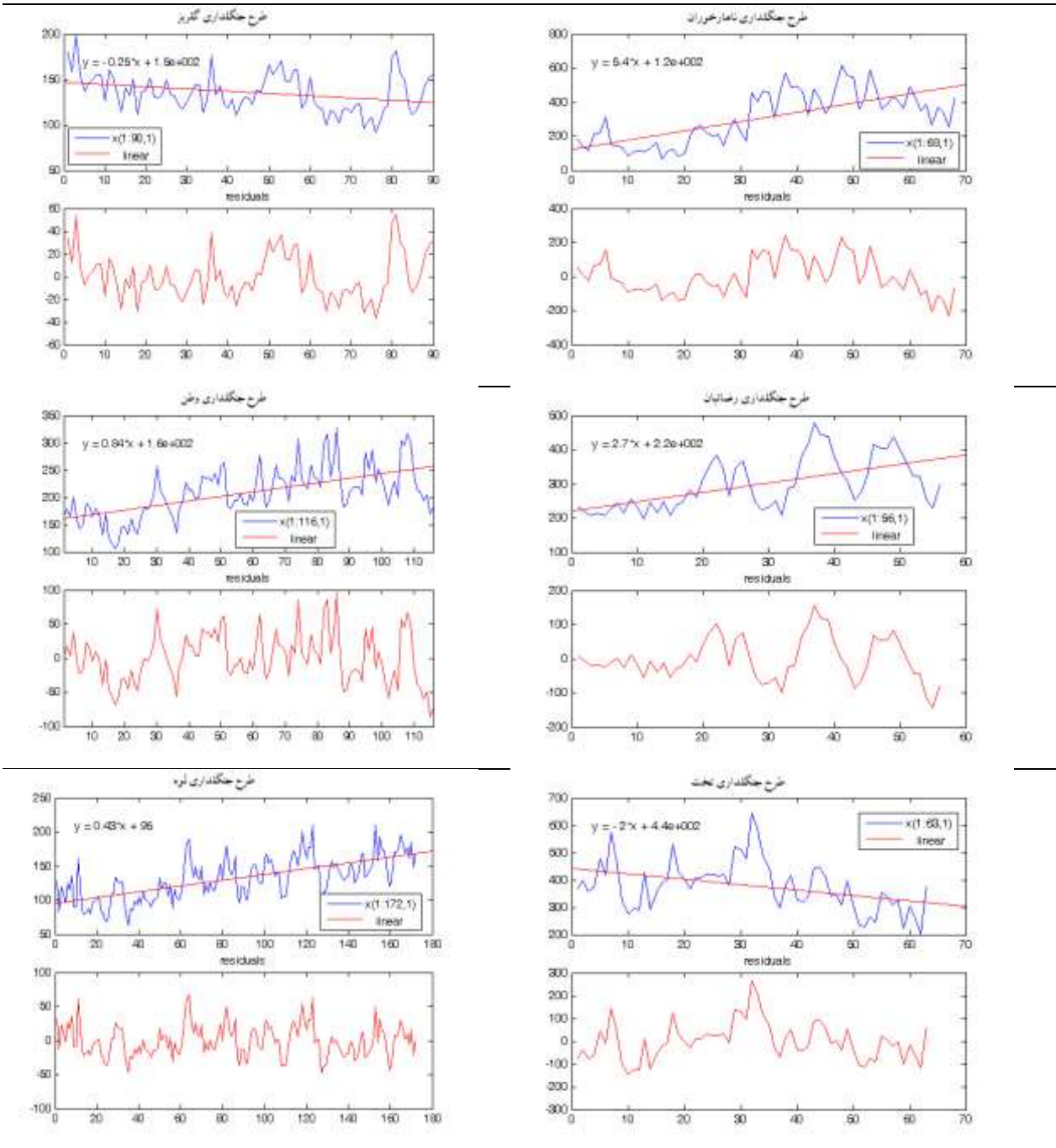
قرار گرفته است. با در نظر گرفتن میزان $EPS (0/78)$ ، تعداد سال‌های مؤثر و قابل اعتماد، ۱۱۶ سال تعیین شد. مقدار میانگین ضریب حساسیت برای گونه درختی بلوط در سایت جنگل‌داری وطن معادل $0/13$ $MS =$ محاسبه شد.

از طرح جنگل‌داری تخت در مینودشت نیز از ۱۰ گونه درخت بلوط، ۲۰ نمونه انتخاب و در نهایت نتیجه کلی گاه‌شناسی درختی در قالب یک میانگین کلی برای یک دوره ۶۹ ساله از سال ۱۳۲۵ تا ۱۳۹۲ تهیه شد. میانگین کلی GLK ، عدد $75/68$ محاسبه شد و مقدار EPS نیز، $0/93$ است؛ یعنی بر مبنای خروجی EPS ، فقط می‌توان به گاه‌شناسی درختی مربوط به ۶۳ سال اخیر اعتماد کرد؛ از سوی دیگر، خروجی‌های آماری برای میانگین کلی ضریب حساسیت گونه بلوط

در ادامه به منظور مقایسه و همسان‌سازی شاخص رشد گونه بلوط، دوره‌های زمانی مؤثر بر سایت‌های مختلف مقایسه شدند. با استفاده از تابع Basic

به صورت Zscore به مثابه شاخص حلقه‌های درختی استخراج شد.

روندها امکان نشان دادن ویژگی‌های اقلیمی آن محل را ندارند؛ بنابراین حذف آنها برای تحلیل‌های اقلیم درختی ضروری است. در نهایت باقی‌مانده آنها



شکل ۳. حذف روند (عوامل غیراقلیمی) از درون سری زمانی حلقه‌های رویشی برای رویشگاههای مطالعاتی

زمانی حلقه‌های رویشی مربوط است که از حذف

(نمودارهای آبی‌رنگ به روند موجود درون سری

معنادار است و بیشترین آن با طرح جنگل‌داری وطن دیده می‌شود؛ از سوی دیگر، طرح جنگل‌داری ناهارخوران با طرح جنگل‌داری گلریز با وجود نزدیک‌ترین فاصله از همبستگی معناداری پیروی نمی‌کند؛ اما علاوه بر طرح جنگل‌داری رضاییان، با طرح جنگل‌داری تخت نیز رابطه معناداری دارد. برعکس، طرح جنگل‌داری گلریز نیز علاوه بر طرح جنگل‌داری رضاییان، با طرح جنگل‌داری تخت و طرح جنگل‌داری لوه رابطه معناداری دارد.

روندها (عوامل غیراقليمی)، نمودارهای قرمز رنگ حاصل شده‌اند. در مرحله بعد به منظور مشخص کردن رفتارهای همسان شاخص حلقه‌های درختی گونه بلوط در رویشگاههای شش‌گانه منتخب، همبستگی و رفتار همزمانی آنها با هم مقایسه شد؛ بر مبنای جدول ۲، تمامی رویشگاهها از نظر رفتار حلقه‌های درختی با هم در ارتباط‌اند؛ به طوری که همبستگی بین رویشگاه طرح جنگل‌داری رضاییان با تمامی رویشگاههای دیگر

جدول ۲. ماتریس همبستگی حلقه‌های گونه بلوط در دوره زمانی ۱۳۳۷ تا ۱۳۹۲

رویشگاه	طرح جنگل‌داری ناهارخوران	طرح جنگل‌داری گلریز	طرح جنگل‌داری رضاییان	طرح جنگل‌داری وطن	طرح جنگل‌داری تخت	طرح جنگل‌داری لوه
طرح جنگل‌داری ناهارخوران	۱	۰.۶۳/۰-	*۴۷۱/۰	۱۷۷/۰	*۶۵۵/۰	*۳۱۴/۰-
طرح جنگل‌داری گلریز	۰.۶۳/۰-	۱	۱۴۸/۰	*۳۶۷/۰	۰.۰۳/۰	۰.۴۹/۰
طرح جنگل‌داری رضاییان	*۴۷۱/۰	۱۴۸/۰	۱	*۶۱۳/۰	*۴۰۶/۰	*۲۶۸/۰
طرح جنگل‌داری وطن	۰/۱۷۷	*۳۶۷/۰	*۶۱۳/۰	۱	*۳۲۰/۰	*۲۱۲/۰
طرح جنگل‌داری تخت	*۶۵۵/۰	۰.۰۳/۰	*۴۰۶/۰	*۳۲۰/۰	۱	*۲۵۶/۰-
طرح جنگل‌داری لوه	*۳۱۴/۰-	۰.۴۹/۰	*۲۶۸/۰	*۲۱۲/۰	*۲۵۶/۰-	۱

*در سطح ۰.۵٪ معنادار

نرم‌افزار STATISTICA استفاده شد. بدین منظور متغیرهای پیش‌بینی‌کننده یعنی شاخص رشد حلقه‌های درختی بلوط بین طرح‌های شش‌گانه جنگل‌داری به ۲۷ حالت درآمد که به ترتیب شامل متغیرهای ناهارخوران، ناهارخوران^{۲۸}، گلریز، گلریز^{۲۸}، رضاییان، رضاییان^{۲۸}، وطن، وطن^{۲۸}، تخت، تخت^{۲۸}، لوه، لوه^{۲۸}، ناهارخوران×گلریز، ناهارخوران×رضاییان، گلریز×رضاییان، ناهارخوران×وطن، گلریز×وطن،

بررسی و رابطه‌سنجی حلقه‌های درختی با مؤلفه‌های دمایی (حداقل، حداکثر و میانگین)

همان‌طور که در روش پژوهش بیان شد، به منظور بررسی روابط بین شاخص رشد حلقه‌های درختی بلوط بین طرح‌های شش‌گانه جنگل‌داری در استان گلستان با ایستگاههای دماسنجی (حداقل، حداکثر و میانگین فصل رشد) استان از روش رگرسیون پاسخ سطحی (Response Surface Regression) در محیط

دمای فصل رشد ایستگاه اینچه برون با ۲۵ مؤلفه پیش‌بینی کننده بیشترین مؤلفه و ایستگاه بهلکه داشلی با ۳ مؤلفه پیش‌بینی کننده کمترین مؤلفه و برای حداقل دمای فصل رشد نیز، ایستگاه اینچه برون با ۲۶ مؤلفه پیش‌بینی کننده بیشترین مؤلفه و ایستگاه ارازکوسه با ۷ مؤلفه پیش‌بینی کننده کمترین مؤلفه را دارند؛ از سوی دیگر، میانگین مؤلفه‌های پیش‌بینی کننده برای متوسط حداکثر و حداقل دما، ۱۶ مورد و برای دمای متوسط نیز، ۱۷ مورد برآورد شد.

رضاییان×وطن، ناهارخوران×تخت، گلریز×تخت، رضاییان×تخت، وطن×تخت، ناهارخوران×لوه، گلریز×لوه، رضاییان×لوه، وطن×لوه و تخت×لوه است. به کمک آزمون والد بر مبنای جدول ۳ مشخص شد هر کدام از ایستگاهها به چند حالت در سطح معناداری بیش از ۵ درصد قرار دارند؛ به طوری که دیده می‌شود برای حداکثر دمای فصل رشد ایستگاه رباط قره‌بیل با ۲۶ مؤلفه پیش‌بینی کننده بیشترین مؤلفه و گنبد کاووس با ۳ مؤلفه پیش‌بینی کننده کمترین مؤلفه، برای متوسط

جدول ۳. تعداد پاسخ متغیرهای پیش‌بینی کننده برای حداکثر، متوسط و حداقل دمای منتخب استان گلستان

ایستگاه	تعداد پاسخ		
	حداکثر دما	متوسط دما	حداقل دما
غفار حاجی	۲۱	۱۷	۱۱
فاضل آباد	۶	۲۰	۲۴
سد گرگان	۱۴	۱۷	۲۲
رامیان	۱۵	۱۳	۸
ارازکوسه	۱۹	۱۴	۷
بهلکه داشلی	۱۲	۳	۱۱
تمر	۲۱	۲۱	۲۰
چشمه خان	۲۰	۱۹	۱۸
رباط قره‌بیل	۲۶	۱۴	۱۴
ترشکلی	۱۹	۱۶	۱۴
مراوه تپه	۱۹	۲۲	۲۴
قلعه جیق	۱۱	۱۱	۱۶
اینچه برون	۲۳	۲۵	۲۶
گنبد کاووس	۳	۱۹	۱۹
گرگان	۱۷	۱۹	۹

داده‌های دوره پایه ۱۳۵۰-۱۳۹۰ به دو دوره آموزشی (۱۳۶۱-۱۳۹۰) و آزمایشی (۱۳۵۰-۱۳۶۰) تقسیم شد (جدول ۴). در این ارزیابی از Scatter Index (SI)

ارزیابی کارایی مدل بازسازی دمای فصل رشد و کالیبراسیون

در این پژوهش برای بازسازی دمای فصل رشد،

شاخص SI برای دوره آموزش (۱۳۶۱-۱۳۹۰) بین ۰/۳۱۴ تا ۱/۴۴۰ درصد و برای دوره آزمایش (۱۳۵۰-۱۳۶۰) نیز بین ۱/۹۹۵ تا ۱۴/۹۷۴ درصد و همچنین NS نیز تطابق بسیار زیاد مدل را با مشاهدات در دوره آموزش و آزمایش نشان می‌دهد.

دامنه RMSE برای تمامی ایستگاهها در دوره آموزش بین ۰/۰۸۰ تا ۰/۳۰۷ و برای دوره آزمایش نیز بین ۰/۴۴۴ تا ۲/۱۴۲، دامنه BIAS نیز در دوره آموزش بین ۰/۰۰ تا ۰/۰۰۵ و برای دوره آزمایش بین ۰/۰۰۹ تا ۰/۳۳۳ درجه سانتی‌گراد و دامنه ضریب تعیین R2 نیز در دوره آموزش بین ۰/۹۹۳ تا ۰/۸۶۲ و در دوره آزمایش بین ۰/۳۷۲ تا ۰/۷۵۱ است.

برای ارزیابی ضریب تغییرپذیری نسبت انحراف معیار خطا به میانگین مشاهدات استفاده شد؛ به طوری که هرچه مقدار آن به صفر نزدیک شود، کارایی مدل بهتر است؛ همچنین به منظور ارزیابی کارایی مدل از روش نش ساتکلیف (NS) نیز استفاده شد. در این مدل، دامنه جواب بین یک تا بی نهایت منفی است؛ بنابراین هرچه میزان آن به یک نزدیک تر شود، مدل کارایی مناسبی در شبیه‌سازی ایجاد خواهد کرد؛ علاوه بر این از سه شاخص شامل RMSE، BIAS و R2 در ارزیابی خطا استفاده شد.

بر اساس جدول ۴، برای میانگین دمای فصل رشد با توجه به شاخص‌های SI و NS، ۱۵ ایستگاه هواشناسی استان از کارایی بسیار زیادی برخوردار است. همان‌گونه که از این جدول برمی‌آید، دامنه

جدول ۴. ارزیابی عملکرد مدل بازسازی میانگین دمای فصل رشد

با استفاده از شاخص حلقه رشد بلوط در جنگل‌های استان گلستان

ایستگاه	دوره	SI	NS	MAE	RMSE	BIAS	R2
غفارحاجی	آزمایش (۱۳۵۰-۶۰)	۹۹۵/۱	۹۹۹/۰	۰۹/۰	۴۴۴/۰	۰۰۹/۰	۶۱/۰
	آموزش (۱۳۶۱-۹۰)	۶۳۹/۰	۱	۰	۱۴۲/۰	۰۰۱/۰	۹۵۷/۰
فاضل‌آباد	آزمایش (۱۳۵۰-۶۰)	۶۴۱/۳	۹۹۳/۰	۶۸/۰	۰۳۶/۱	۰۶۳/۰	۳۷۲/۰
	آموزش (۱۳۶۱-۹۰)	۹۴۷/۰	۱	۰	۲۰۳/۰	۰۰۲/۰	۹۶/۰
سد گرگان	آزمایش (۱۳۵۰-۶۰)	۴۷۶/۲	۹۹۹/۰	۳۲/۰	۶۸۵/۰	۰۲/۰	۶۱۵/۰
	آموزش (۱۳۶۱-۹۰)	۹۱۶/۰	۱	۰	۲۴/۰	۰۰۳/۰	۹۲۵/۰
رامیان	آزمایش (۱۳۵۰-۶۰)	۴۲۷/۳	۹۹۸/۰	۱۲۴/۰	۷۰۱/۰	۰۲۳/۰	۴۷۲/۰
	آموزش (۱۳۶۱-۹۰)	۳۵۶/۱	۱	۰	۳۰۷/۰	۰۰۴/۰	۸۷۹/۰
ارازکوسه	آزمایش (۱۳۵۰-۶۰)	۸۳۵/۳	۹۹۷/۰	۴۸۸/۰	۰۱۶/۱	۰۴۷/۰	۴۹۳/۰
	آموزش (۱۳۶۱-۹۰)	۴۴/۱	۱	۰	۳۰۷/۰	۰۰۵/۰	۹۴۳/۰
بهلکه داشلی	آزمایش (۱۳۵۰-۶۰)	۴۱۳/۴	۹۹۶/۰	۳۷۱/۰	۰۶۶/۱	۰۵۳/۰	۶۸۳/۰
	آموزش (۱۳۶۱-۹۰)	۰۵۷/۱	۱	۰	۲۳۴/۰	۰۰۲/۰	۹۲۹/۰
تمر	آزمایش (۱۳۵۰-۶۰)	۷۲۵/۳	۹۹۱/۰	۶۲۲/۰	۹۴۳/۰	۰۵۲/۰	۷۵۱/۰
	آموزش (۱۳۶۱-۹۰)	۰۵۷/۱	۱	۰	۲۴۸/۰	۰۰۳/۰	۹۵۷/۰
چشمه خان	آزمایش (۱۳۵۰-۶۰)	۵۲۶/۸	۹۷۶/۰	۹۶۸/۰	۴۳۹/۱	۲۰۵/۰	۴۳۱/۰
	آموزش (۱۳۶۱-۹۰)	۲۲۱/۱	۱	۰	۱۷۳/۰	۰۰۲/۰	۹۵۸/۰

۶۲۹/۰	۳۳۳/۰	۱۴۲/۲	۴۲/۰	۹۵۱/۰	۹۷۴/۱۴	آزمایش (۱۳۵۰-۶۰)	رباط قره‌بیل
۹۸۵/۰	۰۰۳/۰	۱۶۴/۰	۰۰۲/۰	۹۹۹/۰	۴۳۱/۱	آموزش (۱۳۶۱-۹۰)	
۵۹۵/۰	۰۴۸/۰	۰۵۴/۱	۷۰۷/۰	۹۹۷/۰	۵۴۳/۳	آزمایش (۱۳۵۰-۶۰)	ترشکلی
۹۴۴/۰	۰۰۳/۰	۲۶۸/۰	۰	۱	۱۹۷/۱	آموزش (۱۳۶۱-۹۰)	
۵۷۴/۰	۱/۰	۳۱۸/۱	۵۹۷/۰	۹۶۱/۰	۸۲۹/۵	آزمایش (۱۳۵۰-۶۰)	مراوه‌تپه
۹۷۲/۰	۰۰۲/۰	۱۹۸/۰	۰	۱	۹۶۷/۰	آموزش (۱۳۶۱-۹۰)	
۴۳۷/۰	۰۲۸/۰	۷۸۹/۰	۵۶۶/۰	۹۹۹/۰	۴۷۵/۲	آزمایش (۱۳۵۰-۶۰)	قلعه جیق
۹۱۴/۰	۰۰۲/۰	۲۱۱/۰	۰	۱	۹۸۱/۰	آموزش (۱۳۶۱-۹۰)	
۶۹۸/۰	۰۶۵/۰	۲۰۷/۱	۹۶۲/۰	۹۹۵/۰	۲۲۱/۳	آزمایش (۱۳۵۰-۶۰)	اینچه‌برون
۹۹۳/۰	۰	۰۸/۰	۰	۱	۳۱۴/۰	آموزش (۱۳۶۱-۹۰)	
۴۸۲/۰	۰۲۵/۰	۷۳۵/۰	۴۲/۰	۹۹۸/۰	۵۶۸/۲	آزمایش (۱۳۵۰-۶۰)	گنبد کاووس
۸۶۲/۰	۰۰۴/۰	۲۹۸/۰	۰	۱	۲۶۳/۱	آموزش (۱۳۶۱-۹۰)	
۶۱۱/۰	۰۲۸/۰	۷۹۶/۰	۴۳۳/۰	۹۹۸/۰	۹۲۶/۲	آزمایش (۱۳۵۰-۶۰)	گرگان
۹۳۱/۰	۰۰۲/۰	۲۱۹/۰	۰	۱	۸۵۸/۰	آموزش (۱۳۶۱-۹۰)	

شش مرحله کالیبره انجام شد که شامل دوره‌های پایه ۱۳۵۰-۱۳۹۰ با دوره سال‌های ۱۲۲۱-۱۲۳۷، ۱۲۳۸-۱۲۷۶، ۱۲۳۹-۱۲۹۹، ۱۳۰۰-۱۳۲۴، ۱۳۲۵-۱۳۳۶، ۱۳۲۶-۱۳۴۹ است. در نهایت به منظور کالیبراسیون دمای تاریخی از معادله ۱ استفاده شد

$$H_{historical} = \left(\frac{Sim_i - Sim_{avg}}{STD_{sim}} \times STD_{obs} \right) + Obs_{avg} \quad (۱)$$

حداقل و میانگین ۱۷۰ سال گذشته بازسازی شده است. در نگاهی کلی مشخص می‌شود روند جالب توجهی در تغییرات دمایی دیده نمی‌شود، اما نوسانات دمایی متعددی در این دوره روی داده است. در شکل ۵ حالتی از میانگین بین ۱۵ ایستگاه با میانگین متحرک ۲۱ ساله برای سه متغیر دما نمایش داده شده است؛ به طوری که برای مؤلفه حداکثر دما در سطح استان گلستان، ۶ چرخه دمایی بین سال‌های ۱۲۲۱-۱۲۳۸، ۱۲۳۹-۱۲۷۲، ۱۲۷۳-۱۳۲۳، ۱۳۲۴-۱۳۴۹، ۱۳۵۰-۱۳۷۱ و ۱۳۷۲-۱۳۹۰ قابل شناسایی است؛ همچنین

در این پژوهش با توجه به اینکه شاخص حلقه رشد در طرح‌های مختلف جنگل‌داری از دوره‌های آماری متفاوتی گرفته شده بود، به منظور کالیبره کردن دمای تاریخی (دمای بازسازی از شاخص حلقه‌ها) در هر ایستگاه با دمای پایه مشاهداتی (۱۳۵۰-۱۳۹۰)،

در این معادله، $H_{historical}$ دمای تاریخی کالیبره شده، Sim_i مقدار شبیه‌سازی شده، Sim_{avg} و STD_{sim} میانگین و انحراف معیار شبیه‌سازی شده و Obs_{avg} و STD_{obs} میانگین و انحراف معیار دوره پایه است.

ارزیابی دمای فصل رشد برای دوره بازسازی شده به منظور ارزیابی نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌ها، شکل ۴ ارائه می‌شود. در این شکل با توجه به ارزیابی دقت مدل‌سازی و همچنین تطبیق شبیه‌سازی با دوره مشاهدات، دمای فصل رشد برای مؤلفه‌های حداکثر،

دوره چهارم نسبت به دوره قبل کاهش دما دیده شده است. در ایستگاههای ترشکلی، چشمه خان و مراوه‌تپه نیز در دوره دوم بالاترین دما، دوره سوم کاهش دما و درنهایت دوره چهارم افزایش دما رخ داده است؛ در حالی که در سایر ایستگاهها در دوره اول بالاترین دما، تا دوره سوم کاهش دما و درنهایت در دوره چهارم افزایش دما رخ داده است.

رفتار آماره میانگین برای متوسط دمای فصل رشد نیز در ایستگاه سد گرگان و مراوه‌تپه مشابه است؛ به گونه‌ای که بالاترین دما در دوره دوم، پایین‌ترین آن در دوره سوم و سپس افزایش در دوره چهارم دیده می‌شود.

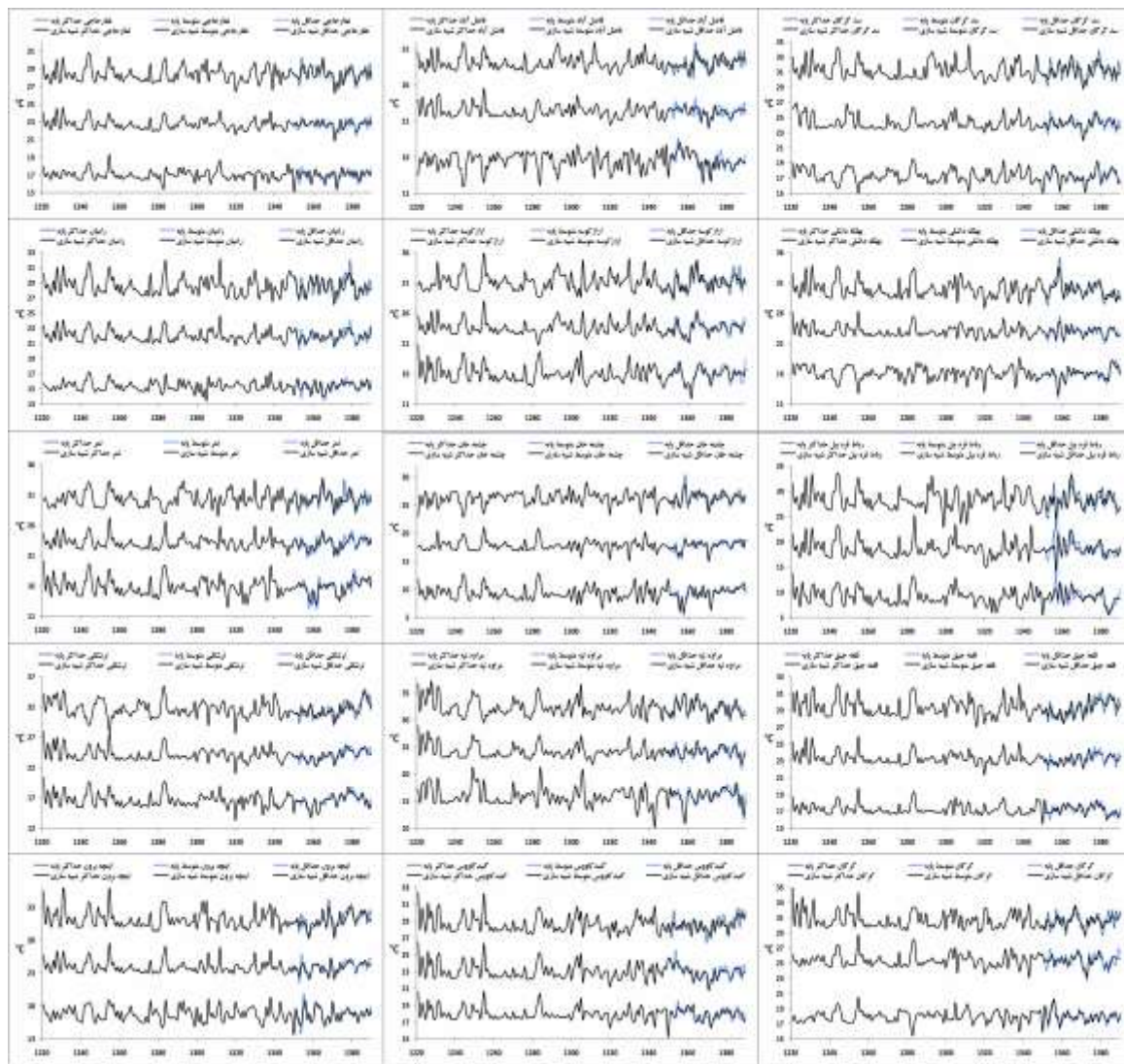
در ایستگاههای رامیان و ارازکوسه نیز رفتار مشابهی دیده می‌شود. این الگوی رفتاری طوری بوده است که از دوره دوم به دوره سوم افزایش دما و سپس در دوره چهارم مقادیر کاهش دما دیده می‌شود. به این ترتیب که بالاترین دما در دوره اول رخ داده و در دوره دوم به کمترین میزان رسیده است و سپس در دوره‌های بعد روند افزایشی دما ادامه می‌یابد.

در ایستگاههای غفارحاجی، فاضل‌آباد، بهلکه داشلی، تمر، رباط قره‌بیل، ترشکلی، قلعه‌جیق، گنبد کاووس و گرگان نیز رفتارهای مشابهی دیده می‌شود؛ به طوری که از دوره اول تا دوره سوم کاهش دما و در دوره چهارم افزایش دما روی داده است.

رفتار آماره میانگین در حالت حداقل دمای فصل رشد نیز در بیشتر ایستگاهها به گونه‌ای است که در دوره سوم کمترین دما و در دوره چهارم افزایش دما رخ می‌دهد.

برای متوسط دما نیز، این چرخه حاکم است؛ با این تفاوت که در دامنه‌های بلندمدت زیرچرخه‌های کوتاه‌تری نیز دیده می‌شود؛ برای نمونه بین دوره ۱۲۷۳ تا ۱۳۲۳، دو زیرچرخه شکل گرفته است؛ همچنین از سال ۱۳۴۹ به بعد همراه با چرخه‌های جزئی‌تری دما در حال افزایش است. در حالت حداقل دمای فصل رشد نیز، این زیرچرخه‌های بین دوره ۱۲۷۳ تا ۱۳۲۳ به دو چرخه کامل تبدیل شده است. در این حالت نیز، ۶ چرخه دمایی شکل گرفته که شامل دوره‌های زمانی ۱۲۲۱-۱۲۳۸، ۱۲۳۹-۱۲۷۲، ۱۲۷۳-۱۲۹۶، ۱۲۹۷-۱۳۲۲، ۱۳۲۳-۱۳۶۰ و ۱۳۶۱-۱۳۹۰ است. در کل با توجه به بازسازی انجام شده برای فصل رشد طی ۱۷۰ سال گذشته، ۶ چرخه دمایی روی داده است که در حالت حداکثر دمایی با حداقل آن با کمی تغییر در دو دوره ۱۲۷۳-۱۳۲۳ و ۱۳۴۹-۱۳۹۰ دیده می‌شود.

همچنین در این پژوهش به منظور مشخص کردن تغییرات اقلیمی در پیش از دوره مشاهداتی ۴۰ساله اخیر، سه دوره ۴۰ساله پیش از آن بررسی شد. بر مبنای این تقسیم‌بندی، دوره اول معادل سال‌های ۱۲۲۱ تا ۱۲۷۰، دوره دوم ۱۲۷۱ تا ۱۳۱۰، دوره سوم ۱۳۱۱ تا ۱۳۵۰ و درنهایت دوره چهارم نیز بین سال‌های ۱۳۵۰ تا ۱۳۹۰ در نظر گرفته شدند. به منظور واکاوی تفاوت‌های دمایی بین این ۴ دوره، از آماره‌های میانگین، میانه و چولگی استفاده شد (جدول ۵). بر مبنای جدول ۵، برای آماره میانگین برای حداکثر دمای فصل رشد در ایستگاههای ارازکوسه، تمر و رباط قره‌بیل در دوره اول بالاترین دما، در دوره دوم کاهش دما، در دوره سوم افزایش دما و درنهایت در



شکل ۴. متوسط حداکثر، حداقل و میانگین ماهیانه دمای فصل رشد شبیه‌سازی شده و پایه ایستگاههای استان گلستان بر اساس شاخص حلقه رشد درختان بلوط

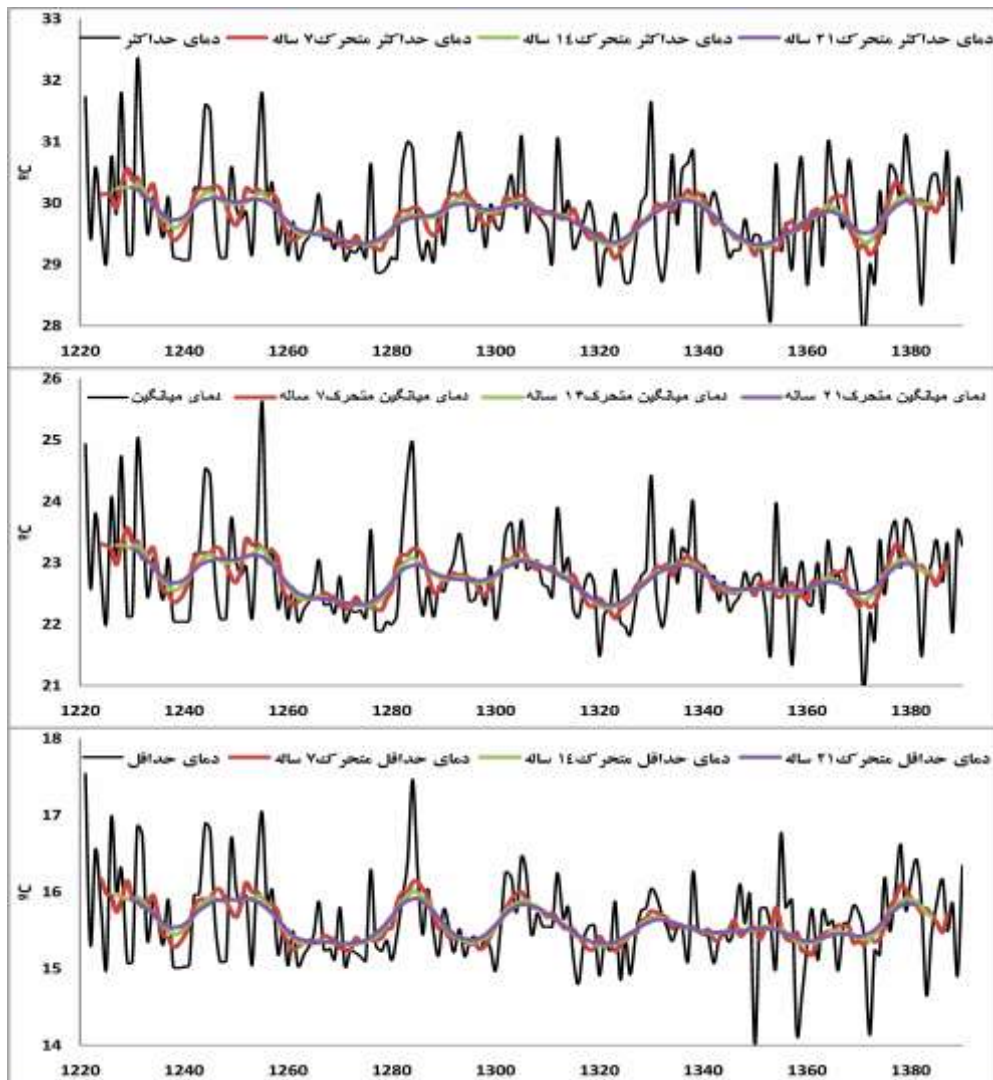
بررسی رفتار آماره میانه دمایی برای حالت حداکثر دمای فصل رشد به صورت کلی در ۱۵ ایستگاه مدنظر حاکی است از دوره دوم تا چهارم، روند افزایشی دما دیده می‌شود. این حالت در ایستگاههای چشمه خان، رباط قره‌بیل، ترشکلی، قلعه جیق و اینچه‌برون کمی متفاوت از سایر ایستگاههاست. آماره میانه در حالت متوسط نیز مشابه حداکثر دمای فصل رشد است؛ با این تفاوت که در این حالت ایستگاههای غفارحاجی،

سد گرگان، رباط قره‌بیل، مراوه‌تپه و قلعه جیق رفتار متفاوتی دارند. در نهایت آماره میانه برای حالت حداقل دمای فصل رشد نیز در ایستگاههای فاضل‌آباد، سد گرگان، ارازکوسه، بهلکه داشلی، چشمه خان، قلعه جیق و گرگان رفتاری متفاوت از سایر ایستگاهها دارد. به‌طور کلی برای میانگین و میانه دوره‌های چهارگانه در ایستگاههای مختلف هواشناسی، اینگونه نتیجه‌گیری می‌شود که در دوره چهارم نسبت به

ایستگاهها، چولگی مثبت برای دوره‌های اول تا سوم وجود دارد؛ اما در دوره چهارم، چولگی به سمت مقادیر منفی گرایش یافته است. به‌طور ویژه در حالت حداکثر دمای فصل رشد در ایستگاههای ارازکوسه، بهلکه داشلی، تمر، چشمه خان، رباط قره‌بیل و ترشکلی و همچنین در حالت حداقل دمای فصل رشد در ایستگاههای فاضل‌آباد، بهلکه داشلی، اینچه‌برون و گرگان، چولگی متفاوت از حالت غالب یادشده است.

دوره‌های پیش از آن، افزایش دما روی داده است و این حالت شرایطی خاص در دمای استان گلستان نیست؛ به‌طوری که در دوره‌های پیش نیز میانگین دمایی بیش از این را تجربه کرده است.

در نهایت به‌منظور ارزیابی تغییرکردن یا نکردن نرمال دمایی از آماره چولگی به‌مثابه شاخصی از شرایط نرمال اقلیمی برای چهار دوره ۴۰ساله استفاده و نتایج مقایسه شد. بر مبنای جدول ۵ برای مؤلفه‌های حداکثر، متوسط و حداقل دمای فصل رشد در بیشتر



شکل ۵. میانگین کلی ۱۵ ایستگاه هواشناسی از تغییرات دمای متوسط حداکثر، حداقل و میانگین ماهیانه فصل رشد شبیه‌سازی شده بر اساس شاخص حلقه رشد درختان بلوط در سطح استان گلستان

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر به منظور بازسازی اقلیم گذشته ۱۵ ایستگاه هواشناسی استان گلستان، از ۶ منطقه طرح جنگل‌داری بلوط، نمونه‌هایی برداشت و مقادیر مؤلفه‌های مختلف دمایی (متوسط حداکثر، حداقل و میانگین) برای یک دوره ۱۷۰ ساله مدل‌سازی شد. در این پژوهش، آماره‌های گاه‌شناسی باقی‌مانده و رویشگاه، مقدار سیگنال جمعیت (EPS)، درصد تطابق واریانس بین نمونه‌ها (GLK)، نسبت سیگنال به اغتشاش و میانگین حساسیت نشان داد تعداد نمونه‌های استخراجی برای بررسی‌های آب‌وهواشناسی درختی منطقه از اعتبار لازم برخوردار است. در این پژوهش، ارزیابی و اعتبارسنجی مدل بازسازی متوسط حداکثر، میانگین و حداقل دمای فصل رشد با استفاده از شاخص حلقه رشد بلوط در جنگل‌های استان گلستان با بهره‌گیری از آماره‌های مختلف SI، NS، MAE، RMSE، BIAS و R2 انجام شد که در مجموع نتایج این آزمون‌ها مؤید اعتبار مدل‌سازی‌ها در بازسازی مقادیر مؤلفه‌های دمایی بوده است.

با توجه به دستاوردهای این پژوهش مشخص شد بر مبنای دوره آماری ۱۷۰ ساله، روند معنادار چشمگیری در تغییرات دمایی دیده نمی‌شود؛ برخلاف این موضوع، نوسانات مختلفی با توجه به میانگین متحرک ۲۱ ساله برای این دوره مطالعاتی دیده می‌شود که این الگوها برای دو مؤلفه متوسط حداکثر و حداقل دما از رفتارهای نسبتاً مشابهی برخوردار بوده است؛ اما رفتارهای جزئی متفاوتی نیز دیده می‌شود و این موضوع حاکی است دامنه نوسانات دمایی شبانه‌روزی تغییرات نیز داشته است؛ برای نمونه نتایج نشان داد نوسانات مؤلفه حداکثر دما در فصل رشد، ۶ چرخه

دمایی بین سال‌های ۱۲۲۱-۱۲۳۸، ۱۲۳۹-۱۲۷۲، ۱۲۷۳-۱۳۲۳، ۱۳۲۴-۱۳۴۹، ۱۳۵۰-۱۳۷۱ و ۱۳۷۲-۱۳۹۰ داشته است که این الگو با تغییراتی جزئی‌تر برای متوسط حداقل دما و متوسط ماهیانه فصل رشد دیده می‌شود.

از سوی دیگر، دوره مطالعاتی به ۴ زیردوره تقسیم و تغییرات مؤلفه‌های دمایی برای دوره اخیر (۱۲۲۱-۱۲۷۰) در قیاس با سایر دوره‌ها با توجه به آماره‌های مختلف میانگین، میانه و چولگی واکاوی شد. رفتار آماره میانگین در حالت حداقل دمای فصل رشد در بیشتر ایستگاهها نشان داد متوسط حداقل دما در دوره سوم و چهارم افزایش می‌یابد. تغییرات آماره میانگین برای حداکثر دما، الگوی کاملاً یکسانی بین ایستگاههای مختلف ندارد، ولی در بیشتر ایستگاهها مشاهده شد دوره اول و چهارم از بیشترین میانگین برخوردار بوده‌اند؛ از سوی دیگر برای تغییرات متوسط ماهیانه فصل رشد، ایستگاههای مختلف در سطح استان الگوهای مختلفی دارند که نمی‌توان به یک نتیجه کلی از آنها اشاره کرد. برآیند کلی از بررسی آماره میانه برای سه مؤلفه دمایی مدنظر نشان می‌دهد مقادیر میانه در دوره چهارم نسبت به دوره‌های پیش از آن افزایش داشته است؛ البته این حالت شرایطی خاص در دمای استان گلستان نیست؛ زیرا در دوره اول نیز، میانگین دمایی بیش از این تجربه شده است. مقایسه چولگی دمایی چهار دوره نیز حاکی است نرمال دمایی از حالت چوله مثبت به چوله منفی در حال تبدیل است. هرچند نسبت به چوله مثبت شدت کمتری دارد، ولی با این تغییر مشخص می‌شود نسبت به گذشته در ۴۰ ساله اخیر به نرمال اقلیمی نزدیک‌تر شده است؛ اگرچه انحراف منفی ضعیفی مشاهده می‌شود.

گرمایش جهانی نیاز است جدای از تمرکز بر ماههای فصل رشد، تغییرات دمایی برای سایر ماههای سال نیز بازسازی شود تا بهتر بتوان درباره رخداد تغییرات اقلیمی و اثر گرمایش جهانی بر تغییرات دما در سطح استان گلستان اظهار نظر کرد.

تقدیر و تشکر

این مقاله بخشی از پروژه تحقیقاتی ملی با عنوان «بررسی و ارزیابی تغییر اقلیم یا دگرگونی اقلیمی بر منابع و مصارف آب به منظور اعمال مدیریت ریسک به جای مدیریت بحران در شرایط واقعی و پیش‌بینی» با کد پروژه (GLW-91006) است که با حمایت مالی شرکت آب منطقه‌ای گلستان انجام شده است؛ بنابراین نویسندگان بر خود لازم می‌دانند صمیمانه از حمایت‌های مالی و معنوی شرکت آب منطقه‌ای گلستان تقدیر و تشکر کنند.

منابع

ارسلانی، محسن، عزیزی، قاسم، خوش‌اخلاق، فرامرزی، (۱۳۹۱). بازسازی تغییرات دمای حداکثر استان کرمانشاه با استفاده از حلقه‌های درختی، مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی، دوره ۱، شماره ۱، ۹۷-۱۱۰.

بالاپور، شمس‌الدین، کاظمی، محمود، (۱۳۹۱). مطالعه اثر متغیرهای اقلیمی (دما و بارندگی) بر رویش سالیانه گونه آزاد (*Zelkovicarpinifolia*)، نشریه تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران، دوره ۲۷، شماره ۱، شماره پیاپی ۳۸، ۶۹-۸۰.

جلیوند، حمید، بالاپور، شمس‌الدین، (۱۳۹۲). تأثیر

در بسیاری از پژوهش‌ها نتایج مشابهی همانند پژوهش حاضر به دست آمده که مؤید اعتبار خروجی‌های این مقاله است؛ برای نمونه در پژوهش حاضر مشخص شد بین تغییرات مؤلفه حلقه‌های درختی با مؤلفه‌های اقلیمی دما رابطه معنادار و پذیرفته‌ای وجود دارد. مشابه این نتایج در پژوهش‌های جلیوند (۱۳۸۶)، صفاری و همکاران (۱۳۸۹)، ارسلانی و همکاران (۱۳۹۱) و عزیزی و همکاران (۱۳۹۱) دیده می‌شود. همچنین مشابه نتایج پژوهش کنونی، در بسیاری از پژوهش‌های دیگر این نتیجه به دست آمده است که دهه‌های کنونی، افزایش دمای بیشتری نسبت به سایر دهه‌های گذشته داشته‌اند. ارسلانی و همکاران (۲۰۱۴) بر مبنای پژوهش خود با استفاده از بازسازی مؤلفه حداکثر دما در رویشگاههای بلوط در زاگرس مرکزی، نتایجی مشابه پژوهش حاضر استخراج کردند. در دو پژوهش متفاوت، بازسازی درجه حرارت نیمه گرم (زارعان، ۱۳۹۴) و نیمه سرد سال (موحدی، ۱۳۹۵) با استفاده از حلقه‌های درختی بلوط برای جنگل‌های منطقه دنا انجام شد که در هر دو این پژوهش‌ها مشخص شد در دهه‌های اخیر نسبت به یک قرن پیش تا حدودی افزایش دما رخ داده است.

تغییرات الگوی دما برای دهه‌های اخیر ایستگاههای مطالعاتی استان گلستان افزایشی است؛ این به‌تنهایی و بدون در نظر گرفتن الگوی دمایی برای سده گذشته گویای یک روند افزایش دمایی است؛ اما با در نظر گرفتن تغییرات دما از سده گذشته تاکنون ملاحظه می‌شود این الگوی افزایشی دما که هم‌اکنون در دهه حاضر با آن مواجه هستیم، پیش‌تر نیز روی داده است؛ از سوی دیگر، به‌منظور واکاوی دقیق‌تر اثر

جغرافیای طبیعی، دوره ۴۴، شماره ۷۹، ۳۷-۵۳.
 کاظمی، محمود، اسدپور، حمیده، بالاپور، شمس‌الدین،
 (۱۳۹۱). مطالعه روابط بین حلقه‌های رویشی
 زربین و متغیرهای اقلیمی، نشریه تحقیقات علوم
 چوب و کاغذ ایران، دوره ۲۷، شماره ۱، شماره
 پیاپی ۳۹، ۳۶۱-۳۷۱.

یزدانی، مهدی، ایوبی، مهشید، غروری، امین، (۱۳۹۰).
 کاربرد روش‌شناسی سطح پاسخ برای تعیین
 عوامل مؤثر بر فرایند آبریزی الکتریکی،
 مطالعات مدیریت صنعتی، دوره ۸، شماره ۲۱،
 ۱۳۱-۱۴۲.

Akkemik, U., (2000). **Dendroclimatology of
 Umerella Pine (Pinuspinea L) in
 Istanbul-Turkey**, Tree ring Bulletin, 56:
 17- 20.

Akkemik, U., (2004). **Dendrochronology (its
 Principles-Basic-Methods-Application
 Fields)**, Istanbul university press, 260 p.

Azizi, Gh., Arsalani, M., Bräuning, A., 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.

Arsalani, M., Pourtahamsi, K., Azizi, Gh.,
 Bräuning, A., Mohammadi, A., (2018).
**Tree-ring based December-February
 precipitation reconstruction in the
 southern Zagros Mountains, Iran**,
 Dendrochronologia, 49: 45- 56.

Arsalani, M., Azizi, Gh., Bräuning, A., (2014).
**Dendroclimatic reconstruction of May-
 June maximum temperatures in the
 central Zagros Mountains, western Iran**,
 Int. J. Climatol, DOI: 10.1002/joc.3988.

Bortouzzi, D., (2002). **Analysis of climate-
 growth relationships for piceaabies karst
 in Alpineenvironment for the forest to the
 cells**, Dendrochronology, Environmental
 change and History, 6 th international
 conference on Dendrochronology, 29- 31,
 America.

Borgaonkar, H.P., Gandhi, N., Ram, S.,

اقلیم بر رویش سالانه اوری
 (QuercusmacrantheraFisch. etMey.) در
 حد فوقانی جنگل‌های هیرکانی، نشریه
 پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل، دوره
 ۲۰، شماره ۴، ۱-۱۹.

جلیوند، حمید، (۱۳۸۶). واکنش رشد حلقه‌های
 رویشی زبان گنجشک به متغیرهای اقلیمی در
 شمال ایران با استفاده از رگرسین چندگانه،
 مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال
 ۱۱، شماره ۴۲، ۵۹۷-۶۰۹.

زارعان، حسین، (۱۳۹۴). بازسازی درجه‌حرارت نیمه
 گرم سال از روی حلقه‌های درختی بلوط ایرانی
 منطقه دنا در جنگل‌های زاگرس، نشریه
 تحقیقات کاربردی جغرافیایی، دوره ۱۵، شماره
 ۳۷، ۱۱۱-۱۳۲.

موحدی، سعید، (۱۳۹۵). بازسازی بیش از یک قرن
 کمینه دمای ماهانه نیمه سرد سال از روی
 حلقه‌های درختی بلوط ایرانی در جنگل‌های
 زاگرس؛ مطالعه موردی: منطقه دنا، جغرافیا و
 برنامه‌ریزی محیطی، دوره ۲۷، شماره ۱، ۱۴۷-۱۶۲.

صفری، محسن، ایوبی، ابراهیم، بخشی، رضا، کیایی،
 مجید، (۱۳۸۹). بررسی اثر متغیرهای اقلیمی بر
 حلقه‌های رویشی چوب گونه بلوط؛ مطالعه
 موردی: طرح تلیم رود تنکابن، فصلنامه علوم و
 فنون منابع طبیعی، دوره ۶، شماره ۲۶، ۱۰۵-۱۱۳.

عزیزی، قاسم، ارسلان، محسن، یمانی، مجتبی،
 (۱۳۹۱). بازسازی تغییرات بارش اکتبر-می
 شهر کرمانشاه طی دوره ۲۰۱۰-۱۷۰۵ با
 استفاده از حلقه‌های درختی، مجله پژوهش‌های

- M., Taszarek, M., Tomczyk, A.M., Szyga-Pluga, K., (2018). **Homogenization of air temperature and its long-term trends in Poznań (Poland) for the period 1848–2016**, *TheorApplClimatol*, doi.org/10.1007/s0070.
- Khaleghi, M.R., (2018). **Application of dendroclimatology in evaluation of climatic changes**, *Journal of Forest Science*, 64, 3: 139– 147.
- Kaennel, M., Schweingruber, F.H., (2001). **Multilingual Glossary of Dendrochronology**, Translated by: Parsapajouh, D., Taghiyari, H.R., FaeziPour, M., Tehran University Press.
- Liu, J., Yang, B., Chun, Q. (2010). **Tree-ring Based Annual precipitation Reconstruction of Since AD 1480 in south central Tibet**, *Quaternary Research*, Vol 75: No 3: 438- 450.
- María, S.B., Cangiano, L., Dussart, E., Medina, A., Pineauf, V., Landa, C., Montanarif, E., Dovalf, J., Tapi, A., (2019). **Dendrochronological studies of indigenous and creole archeological remains in the Argentinean Pampas (19th and 20th centuries)**, *Dendrochronologia*, Vol 54: 56- 63.
- Nagavciuca, V., Roibua, C.C., Ionita, M., Mursa, A., Cotos, M.G., Popa, I., (2019). **Different climate response of three tree ring proxies of Pinussylvestris from the Eastern Carpathians, Romania**, *Dendrochronologia*, Vol 55: 1- 15.
- Parvaneh, B., Valipour, M., (2012). **Investigation on Effects of Climatic Variables on Zagros Oak Q. Brantiilindl Tree Rings: A Case Study of Shurab Park (Western Iran)**, *World Applied Sciences Journal*, 17 (5): 626-630,
- Sanchez-Morales, J., Pardo-Igúzquiza, E., Rodríguez-Tovar, F.J., Dowd, F.A., (2019). **A new method for reconstructing past-climate trends using tree-ring data and kernel smoothing**, *Dendrochronologia*, Vol 55: 25- 32.
- Shen, X., Zhang, G., Bjerg, B., (2012). **Investigation of response surface methodology for modelling ventilation rate of a naturally ventilated building**, *Building and Environment*, Vol 54: 174- 185.
- Krishnan, R., (2018). **Tree-ring reconstruction of late summer temperatures in northern Sikkim (eastern Himalayas)**, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 504: 125- 135.
- Crowley, T.J., North, G.R., (1991). **Paleoclimatology**, Oxford Univ. Press, Clarendon Press, Oxford, 360 p.
- Cook, E.R., Holmes, R.L., (1999). **Users Manual for Program ARSTAN**, Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona, Tucson, Arizona USA.
- Fan, Z.X., Brauning, A., Kun-Fang, C., (2008). **Annual temperature reconstruction in the Central Hengduan Mountains, China, as deduced from tree rings**, *Dendrochronologia*, 26: 97- 106.
- Fan, Z.X., Brauning, A., Tian, Q.H., Yang, B., Cao, K.F., (2010). **Tree ring recorded May-August temperature variations since A.D. 1585 in the Gaoligong Mountains, southeastern Tibetan Plateau**, *PALAEO*, 296: 94- 102.
- Fritts, H.C., (1976). **Tree ring and climate**, Academic prees, London, 567 p.
- Ghanghermeh, A., Roshan, G., Orosa, J.A., Costa, Á.M., (2019). **Analysis and Comparison of Spatial–Temporal Entropy Variability of Tehran City Microclimate Based on Climate Change Scenarios**, *Entropy* 2019, 21: 13.
- Gaire, N.P., Dhakal, Y.R., Shah, S.K., Fan, Z.X., Bhujju, D.R., (2019). **Drought (scPDSI) reconstruction of trans-Himalayan region of central Himalaya using Pinuswallichiana tree-rings**, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, Volume 514, 15: 251- 264.
- Hadad, M.A., Molina, J.A., Roig Juñent, F.A., Amoroso, M.M., Tardif, J.C., (2019). **Frost record in tree rings linked to atmospheric circulation in northern Patagonia**, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, Volume 524: 201- 211.
- Hai, F.Z., Xue, M.S., Zhi, Y.Y., Peng, X., Yan, X., Hua, T., (2011). **August temperature variability in the southeastern Tibetan Plateau since A.D.1385 inferred from tree rings**, *PALAEO*, 5: P703.
- Kolendowicz, L., Czernecki, B., Pórolniczak,

