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.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

* aghanghermeh@gmail.com

جغرافیـــا و برنامـــه‌ریـــزی محیطـــی
سال ۳۰، پیاپی ۷٦، شماره ٤، زمستان ۱۳۹۸
10.22108/gep.2020.120332.1235

بازسازی اقلیم گذشته برمبنای تغییرات الگوی درجه‌حرارت از روی حلقه‌های درختی رویشگاههای بلوط در پهنهٔ استان گلستان

عبدالعظیم قانقرمه *، استادیار اقلیم شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران
غلامرضا روشن، دانشیار اقلیم شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران
نورالدین نظرنژاد، دانشیار صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
وصـول: ۱۳۹۸/۹/۱٤ پـذیرش: ۱۳۹۹/٤/۳۰ صص ۱۳۸-۱۱۵

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 سالیانهٔ گونهٔ بلوط ایرانی در استان گلستان، ٦ منطقهٔ طرح جنگل‌داری انتخاب شد؛ سپس با استفاده از یک تحلیل رگرسیون چندمتغیرهٔ پاسخ سطحی در محیط نرم‌افزار STATISTICA، مؤلفه‌های مختلف درجه‌حرارت (متوسط ماهیانه، متوسط حداکثر و حداقل) ۱۵ ایستگاه هواشناسی برای دورهٔ 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 چرخهٔ عمدهٔ نوسانی دارد؛ همچنین با توجه به نتایج پژوهش حاضر مشخص شد دورهٔ ٤۰سالهٔ اخیر (۱۳۵۰ تا ۱۳۹۰) درقیاس با سه دورهٔ ٤۰سالهٔ پیش از خود، تغییرات عمده‌ای در میانگین و میانهٔ دمایی دارد.

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

*نویسنده مسؤول: aghanghermeh@gmail.com

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 تاریخ‌گذاری‌شده 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 کرهٔ زمین موجب توزیع گونه‌های مختلف گیاهی و درختی در مناطق مختلف کرهٔ 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 سالیانهٔ تولیدشدهٔ هر درخت قابل ردیابی است. هر درخت سالیانه یک حلقهٔ رویشی به مجموع حلقه‌های سالیانهٔ خود اضافه می‌کند که با شمارش این حلقه‌ها، سن درخت تشخیص داده می‌شود و همچنین با اندازه‌گیری مؤلفه‌های هر حلقهٔ رویشی، شرایط محیطی تأثیرگذار بر تشکیل آن حلقهٔ 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 سدهٔ اخیر، بانک اطلاعاتی ارزشمندی از سیگنال‌های اقلیمی استخراج‌شده از حلقه‌های درختی تشکیل شده است. با بازسازی متغیرهای اقلیمی با مؤلفه‌های مختلف حلقه‌های رویشی سالیانهٔ درختان، درک بهتری از وضعیت اقلیم گذشتهٔ مناطق وسیعی از زمین طی سده‌ها و هزاره‌های اخیر به دست آمده است؛ برای نمونه پژوهش‌های متعددی در چین و تبت دربارهٔ اقلیم‌شناسی درختی انجام شده است؛ ازجمله پژوهش‌های فان و همکاران[1] (۲۰۰۸؛ ۲۰۱۰)، لئو و همکاران[2] (۲۰۱۰) و های و همکاران[3] (۲۰۱۱). به‌طور کلی ازجمله دستاوردهای

[1]. Fan et al.
[2]. Liu et al.
[3]. Hai et al.

این پژوهشگران دربارهٔ موضوع مدنظر، بازسازی دمای تابستان برای حوضهٔ رودخانهٔ یانگ‌تسه[1] در فلات تبت در دوره‌ای ۳۷۹ساله، بازسازی دمای حداکثر ژوئن- جولای برای جنوب غرب یوکان طی ۳۰۰ سال گذشته، بازسازی دمای سالیانه در کوههای هنگدوان[2] 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[3] (۲۰۰۲) اثر شرایط اقلیمی را بر رویش پیسی ابیس[4] در منطقهٔ آلوین[5] 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 درجه‌حرارت تابستان و متوسط بارندگی بهاری، بیشترین اثر را بر رویش سوزنی‌برگ‌ها داشته است.

آکمیک[6] (۲۰۰۰) برای تعیین واکنش حلقهٔ رویشی به اقلیم، اطلاعات ۲۰ درخت از گونهٔ پینوس پینه[7] را در استانبول استخراج کرد و از آنالیز تابع پاسخ برای بررسی ارتباط حلقهٔ رویشی و اقلیم بهره گرفت. دستاوردهای این پژوهش نشان داد بارش سال جاری و دما در دورهٔ رشد، اثر مثبت معناداری بر رشد حلقهٔ رویشی داشته و دما فقط در ماههای مارس و آوریل به علت اینکه دورهٔ 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 دربارهٔ اقلیم‌شناسی درختی در سرتاسر دنیا انجام شده است؛ ازجمله پژوهش‌های مورالز و همکاران[8] (۲۰۱۹) برای اسپانیا، ماریا و همکاران[9] (۲۰۱۹) برای آرژانتین، ناگاوسیوکا و همکاران[10] (۲۰۱۹) برای رومانی، حداد و همکاران[11] (۲۰۱۹) برای پاتاگونیا، بورگائونکار و همکاران[12] (۲۰۱۸) و همچنین گایر و همکاران[13] (۲۰۱۹) برای هیمالیا و کولن دووایز و همکاران[14] (۲۰۱۸) برای لهستان.

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

پروانه و ولی‌پور[15] (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 دورهٔ رشد با حلقه‌های درختی با ۰/۸۲ =r وجود دارد؛ ولی این رابطه بین بارش در طول فصل رشد با حلقه‌های درختی در سطح پایین‌تری از معناداری به مقدار ۰/۴۸ =r دیده می‌شود.

1. Yangtze River
2. Hengduan Mountains
3. Bortouzzi
4. Picea abies
5. Aloin
6. Akkemik
7. Pinus pinea
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

عزیزی و همکاران[1] (۲۰۱۳) با استفاده از حلقه‌های درختی بلوط در مرکز کوههای زاگرس، تغییرات الگوی بارش را برای سال‌های ۱۸٤۰ تا ۲۰۱۰ بازسازی کردند. یافته‌های این پژوهش نشان داد خشکسالی‌های این منطقه به سال‌ها و دهه‌های ۱۸٤۰، ۱۸۵۰، ۱۸۷۰، ۱۸۸۰، ۱۹۰۰، ۱۹۲۰، ۱۹٤۰، ۱۹٦۰، ۱۹۸۰، ۱۹۹۹– ۲۰۰۳ متعلق بوده است؛ از سوی دیگر، خروجی‌ها گویای افزایش طول دوره‌های خشکسالی نسبت به ترسالی است.

ارسلانی و همکاران[2] (۲۰۱٤) با استفاده از حلقه‌های درختی بلوط، مقادیر بیشینهٔ دما را برای نواحی مرکزی زاگرس بازسازی کردند. آنها در پژوهش خود برمبنای بازسازی بیشینهٔ دما برای ژوئن تا می برای یک دورهٔ ۱۷۰ساله (سال‌های ۱۸٤۰ تا ۲۰۱۰) نشان دادند طول دوره‌های سرد کوتاه‌تر از دوره‌های گرم بوده است؛ از سوی دیگر، نتایج کار آنها نشان داد یک رابطهٔ منفی بسیار معنادار بین بیشینهٔ دما با رشد حلقه‌ها برای دسامبر سال‌های قبل وجود دارد که این رابطهٔ منفی معنادار برای ماههای فوریه، می، ژوئن و آگوست به دهه‌ها و سال‌های اخیر متعلق بوده است.

ارسلانی و همکاران[3] (۲۰۱۸) در مقاله‌ای دیگر با استفاده از حلقه‌های درختی بلندمازو، مقادیر بارش را برای دورهٔ دسامبر تا فوریهٔ سال‌های ۱۸۵۰ تا ۲۰۱۵ بازسازی کردند. نتایج کار آنها نشان داد شدیدترین خشکسالی‌ها برای این دورهٔ مطالعاتی به سال‌های ۱۸۷۰– ۱۸۷۱، ۱۸۹۸، ۱۹٦۰ و ۱۹٦۳– ۱۹٦٤ و دوره‌های خیلی مرطوب به سال‌های ۱۸۵۱، ۱۸۸۵، ۱۹۱٦ و ۱۹۲۱ در نواحی جنوبی زاگرس مربوط بوده است؛ از سوی دیگر، نتایج این پژوهش نشان داد رابطهٔ معناداری بین مقادیر بارش با تغییرات شاخص‌های پیوند از دور SOI[4]، NAO[5] و PDO[6] وجود دارد. ازجمله پژوهش‌های انجام‌شده برای ایران، پژوهش خالقی[7] (۲۰۱۸) در نواحی شمال شرق ایران (بجنورد) روی رویشگاههای درخت بلندمازوست. وی در پژوهش خود برای یک دورهٔ ۲۱۵ساله شامل سال‌های ۱۸۰۰– ۲۰۱۵، مقادیر دما و بارش را برای این ناحیه بازسازی کرد؛ به‌طوری که نتایج این پژوهش گویای روند تغییرات اقلیمی در بجنورد است. این روند تغییر اقلیم به گونه‌ای بوده که تیپ اقلیمی منطقه برای دو سدهٔ اخیر از نیمه‌بیابانی به بیابانی تمایل یافته است.

در دو پژوهش متفاوت، بازسازی درجه‌حرارت نیمهٔ گرم (زارعان، ۱۳۹٤) و نیمهٔ سرد سال (موحدی، ۱۳۹۵) با استفاده از حلقه‌های درختی بلوط برای جنگل‌های منطقهٔ دنا انجام شد. در این پژوهش‌ها، کار بازسازی بیش از یک قرن میانگین دمای نیمهٔ گرم و سرد سال انجام پذیرفت. نتایج این پژوهش‌ها برای نیمهٔ گرم سال نشان داد میانگین دمای اردیبهشت تا شهریور منطقه در سه دههٔ اخیر نسبت به یک قرن پیش از خود، تا حدودی افزایش یافته است. به نوعی دیگر، مشابه این نتیجه برای نیمهٔ سرد سال نیز استخراج شد؛ به‌طوری که از خروجی‌ها مشخص شد کمینهٔ دمای ماهیانهٔ نیمهٔ سرد سال در منطقهٔ دنا نسبت به یک قرن پیش از خود، روند افزایشی داشته و تا حدودی از سرمای فصل سرد سال کاسته شده است.

1. Azizi et al.
2. Arsalani et al.
3. Arsalani et al.
4. Southern Oscillation Index
5. North Atlantic Oscillation
6. Pacific DecadalOscillation
7. khaleghi

متأسفانه در ایران طول داده‌های اقلیمی ثبت‌شده در ایستگاههای هواشناسی به‌طور عمده از نیمهٔ دوم قرن بیستم فراتر نرفته است؛ بنابراین به‌منظور بررسی اقلیم گذشته با تکیه بر این داده‌ها، فقط ارزیابی اقلیم ایران برای چند دههٔ محدود امکان‌پذیر 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 ازجمله 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 جوّی تأثیرگذار است.

استان گلستان ازجمله 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 رتبهٔ یک تلفات انسانی سیل را در جهان به خود اختصاص داد. در این سیل، هزاران تُن 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.

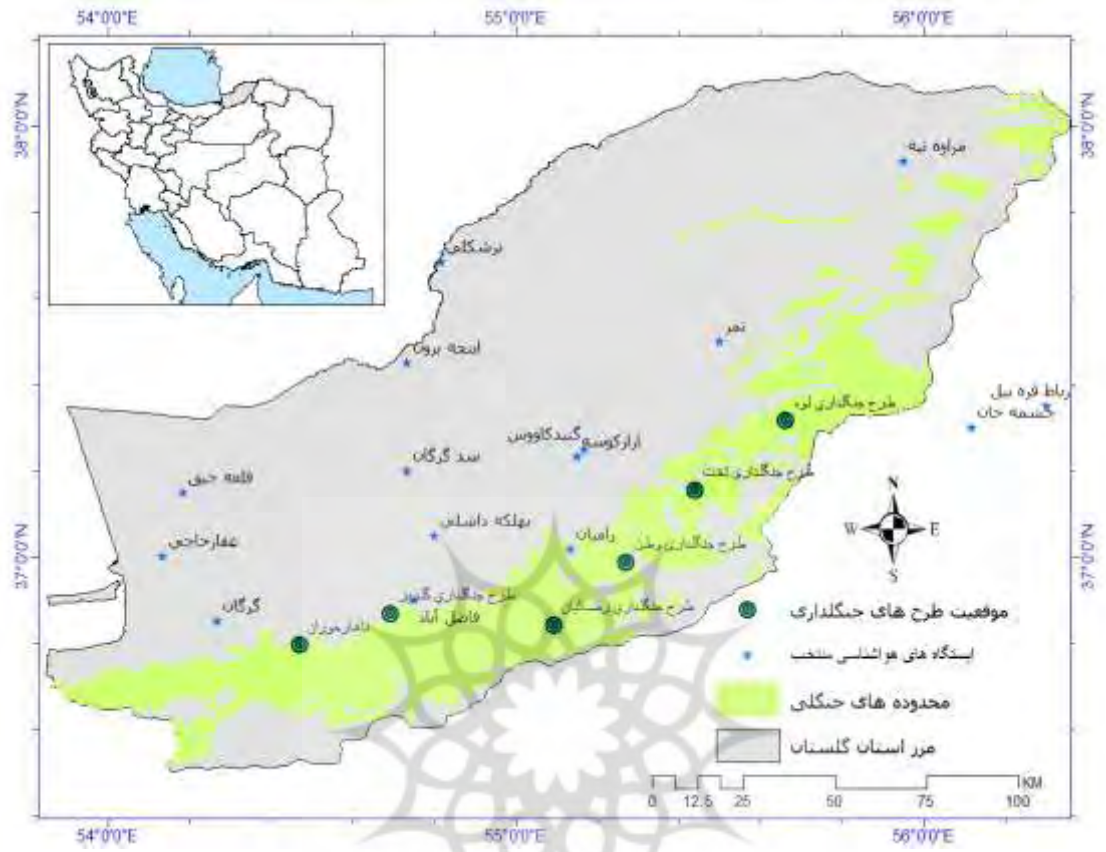
پاسخ به این پرسش که آیا استان گلستان وارد فاز جدیدی از تغییرات اقلیمی شده است، نیازمند واکاوی رفتار داده‌های مختلف اقلیمی ازجمله دما برای یک دورهٔ طولانی‌مدت است؛ همچنین هرجا سخن از گرمایش جهانی مطرح می‌شود، یکی از محورهای اصلی، تمرکز بر تغییرات روند و دگرگونی‌های مؤلفهٔ دمایی است؛ بنابراین برمبنای مباحث 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 مؤلفهٔ اقلیمی متأثر از رخداد گرمایش جهانی شناسایی می‌شود؛ بر این اساس در این پژوهش با استفاده از اقلیم‌شناسی درختی، الگوی دمایی دهه‌های گذشته برمبنای نمونه‌های درختی از رویشگاههای بلوط استان گلستان بازسازی می‌شود.

روش پژوهش

معرفی محدودهٔ 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 دورهٔ داده‌های مشاهداتی ایستگاههای بررسی‌شده شامل سال‌های ۱۳۵۰ تا ۱۳۹۰ است. در این دوره به‌طور متوسط ٪۹٤ ایستگاهها، داده‌های مشاهداتی دارند؛ بنابراین کمبود داده‌ها بازسازی شد؛ از سوی دیگر، به‌منظور بازسازی داده‌های دمایی برای دهه‌های گذشته تاکنون، نمونه‌هایی از حلقه‌های رویشی بلوط برای ٦ رویشگاه طرح جنگل‌داری در سطح استان

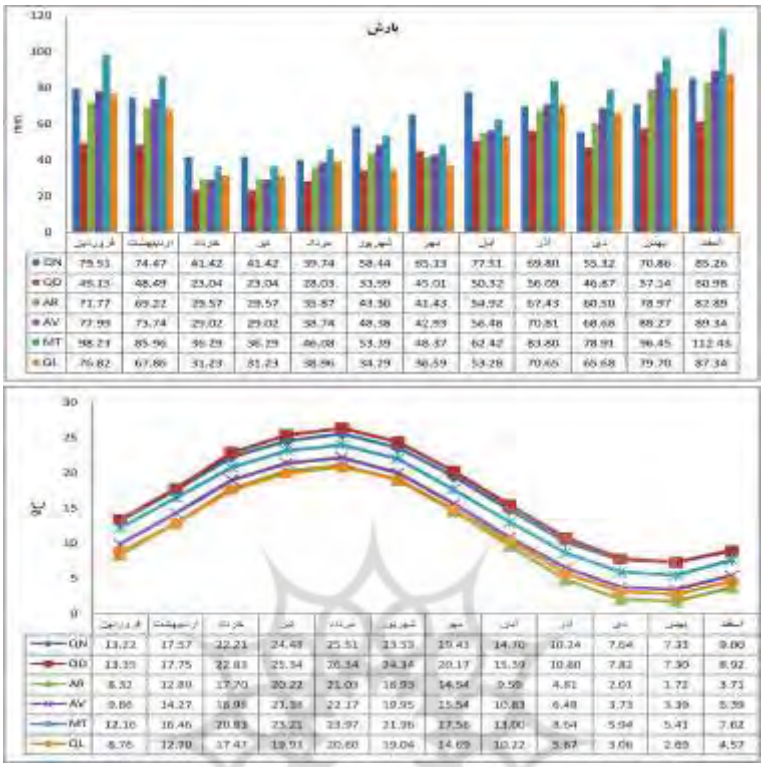
استفاده شده است. در شکل ۱، پراکنش ایستگاههای مطالعاتی و محدوده‌های طرح جنگل‌داری استفاده‌شده نمایش داده شده است.



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

در ادامه به‌منظور ارائهٔ دیدی کلی از شرایط دمای ماهیانهٔ رویشگاههای مدنظر در سطح استان، نخست نقشه‌های هم‌بارش و هم‌دمای ماهیانه برای سطح استان گلستان تهیه و سپس برمبنای این نقشه‌ها، نمودارهای ماهیانهٔ مؤلفه‌های بالا برای رویشگاههای مدنظر تهیه شد (شکل ۲)؛ به‌طوری که مشاهده می‌شود بیشترین مقدار بارش در ماههای مختلف در رویشگاه طرح جنگل‌داری تخت با مقدار مجموع بارش سالیانهٔ ۸۳۸ میلی‌متر و کمترین آن در رویشگاه طرح جنگل‌داری گلریز با مقدار مجموع بارش سالیانهٔ ۵۲۲ میلی‌متر دیده می‌شود. برمبنای این شکل، گونهٔ 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؛ به‌طوری که متوسط دمای سالیانه در طرح جنگل‌داری ناهارخوران ۱٦/۲٤، طرح جنگل‌داری گلریز ۱٦/۷۰، طرح جنگل‌داری رضاییان ۱۱/۲۹، طرح جنگل‌داری وطن ۱۲/٦۷، طرح جنگل‌داری تخت ۱٤/۷۳ و طرح جنگل‌داری لوه ۱۱/٦۳ درجهٔ سانتی‌گراد برآورد شد. نگاهی به این ارقام مشخص می‌کند ماههای خرداد تا مهر، گرم‌ترین

و خشک‌ترین دورهٔ سال در این رویشگاههاست. لازم به توضیح است که کد مخصوصی به هر رویشگاه اختصاص داده شده که در بعضی خروجی‌ها، جزئیات آنها برمبنای این کدها نمایش داده شده است.



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

(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)

ازنظر فاصله و ارتفاع، رویشگاهها و ایستگاههای منتخب در موقعیت‌های متفاوتی نسبت به هم قرار دارند؛ به‌طوری 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 ٦٫۲ کیلومتر است؛ همچنین علاوه بر تفاوت رویشگاهها با ایستگاههای مختلف ازنظر ارتفاع، خود رویشگاهها نیز در ارتفاعات مختلف انتخاب شدند؛ به‌طوری که ناهارخوران در ارتفاع ۳۸۹، گلریز در ارتفاع ٤۰۰، رضاییان در ارتفاع ۱۱۸۳، وطن در ارتفاع ٦٤۰، تخت در ارتفاع ۷۱٤ و لوه در ارتفاع ۱۲۱۰ متر از سطح دریاست.

داده‌های استفاده‌شده و روش پژوهش

این پژوهش شامل دو مرحله است؛ مرحلهٔ اول، داده‌سازی حلقه‌های درختی و مرحلهٔ 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 متهٔ سال‌سنج مخصوص درختان پهن‌برگ، نمونه‌های رویشی از

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 لوهٔ استان گلستان انتخاب شدند. نمونه‌ها پس از استخراج از تنهٔ درختان، در قاب‌هایی استاندارد قرار گرفتند تا از خم‌شدگی (براثر 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 برنامهٔ TSAPWIN ثبت شد؛ سپس مقادیر پهنای حلقهٔ رویشی با فرمت‌های مدنظر استخراج شد. برای انجام این مرحله، پژوهشگران مختلفی در پژوهش‌های خود روش‌های معمول را معرفی کردند؛ ازجمله بالاپور و کاظمی (۱۳۹۱)، ارسلانی و همکاران (۱۳۹۱)، عزیزی و همکاران (۱۳۹۱)، کاظمی و همکاران (۱۳۹۱)، جلیلوند و بالاپور (۱۳۹۲)، زارعان (۱۳۹٤) و موحدی (۱۳۹۵).

اندازه‌گیری پهنای حلقه‌های رویشی (RW) با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر با بینوکولار[1] و میز اندازه‌گیری ساخت Frankrinn آلمان و برنامهٔ تحلیل سری‌های زمانی TSAP[2] انجام شد. در این پژوهش با استفاده از روش هموارسازی[3] با بسامد کم (۱۵ساله)، استانداردسازی انجام شد. به‌منظور اطمینان‌یافتن از اعتبار گاه‌شناسی تهیه‌شده، روش‌های معمول شامل آمارهٔ GLK برای تطابق سری زمانی، ضریب حساسیت (ms_x) برای نشان‌دادن میزان نوسان رویشی در درختان، آمارهٔ EPS برای سطح اطمینان و اعتبار گاه‌شناسی تهیه‌شده و آمارهٔ SNR برای تعیین نسبت سیگنال به ناهنجاری به کار رفت. درنهایت پس از بازسازی داده‌های گاه‌شناسی درختی، در نخستین گام، تغییر روند مربوط به سری زمانی ضخامت حلقه‌های درختی برای دورهٔ آماری مدنظر واکاوی شد. این کار برای گونه‌های مختلف و مناطق بررسی‌شده 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 گونهٔ درختی بلوط با استفاده از منحنی برازش خطی استانداردسازی انجام شد؛ سپس مقادیر داده‌های اصلی نسبت به معادلهٔ فوق کسر شد تا روند از درون‌داده‌ها برداشته شود و آنچه می‌ماند، مقادیر باقی‌مانده است. در این مرحله، داده‌های تولیدشده با عنوان prediction معرفی می‌شوند. در مرحلهٔ 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 مرحلهٔ 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 دورهٔ ماههای فروردین تا شهریور تعریف و سپس با توجه به رفتارهای متفاوت حلقه‌های رویشی بلوط در رویشگاههای استان گلستان، هرکدام به‌مثابهٔ بخشی از رفتار اقلیمی در فصل رشد در نظر گرفته شد؛ به‌طوری که برای رابطه‌سنجی با دمای هر ایستگاه با شاخص رشد بلوط،

1. Binocular
2. Time Series Analysis program
3. Cubic smoothing spline

از روابط آماری چندمتغیرهٔ رگرسیون پاسخ سطحی[1] 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 پیش‌بینی‌کنندهٔ 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 رابطهٔ 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 مرحلهٔ بعد با توجه به میانگین کلی به‌دست‌آمده، 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 منطقهٔ 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 دورهٔ ۷۶ سال معادل ۶۸ سال گاه‌شناسی مدنظر به‌مثابهٔ محدودهٔ اطمینان انتخاب شده است؛ همچنین مقدار MS برای گونهٔ مدنظر، ۰/۲۵ محاسبه شده که نشان‌دهندهٔ مقادیر قابل قبولی است.

از طرح جنگل‌داری گلریز نیز، ۱۰ درخت با ۲۰ نمونه استخراج و درنهایت یک گاه‌شناسی درختی به طول دورهٔ آماری ۱۱۵ساله 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 گونهٔ بلوط در محدودهٔ طرح جنگل‌داری گلریز، ٦٤,٦٥ 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 گونهٔ درختی، MS= ۰/۱۲ 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 گونهٔ بلوط در این سایت، ۷۵/۳۹ محاسبه شد که در سطح ۹۵ درصد معنادار است. برمبنای میانگین کلی در این سایت، یک دورهٔ گاه‌شناسی ۸۰ساله از سال ۱۳۱۳ تا ۱۳۹۲ مشخص شد. با در نظر گرفتن میزان EPS (۰/۸٦)، سال مؤثر و قابل اعتماد برای بلوط در این سایت، ٥٦ سال به دست آمد. مقدار میانگین ضریب حساسیت برای این گونه، MS= ۰/۱۲ محاسبه شد.

از سایت وطن آزادشهر از ۱۰ درخت، ۲۰ نمونه انتخاب و درنهایت نتایج در قالب یک میانگین درازمدت از سال ۱۲٦۰ تا ۱۳۹۲ بازسازی شد. میزان GLK برای گونهٔ مدنظر با ۷۲/٤۸ در سطح قابل قبولی

[1]. Response SurfaceRegression

قرار گرفته است. با در نظر گرفتن میزان EPS (۰/۷۸)، تعداد سال‌های مؤثر و قابل اعتماد، ۱۱٦ سال تعیین شد. مقدار میانگین ضریب حساسیت برای گونهٔ درختی بلوط در سایت جنگل‌داری وطن معادل ۰/۱۳ =MS محاسبه شد.

از طرح جنگل‌داری تخت در مینودشت نیز از ۱۰ گونه درخت بلوط، ۲۰ نمونه انتخاب و درنهایت نتیجهٔ کلی گاه‌شناسی درختی در قالب یک میانگین کلی برای یک دورهٔ ٦۹ساله از سال ۱۳۲۵ تا ۱۳۹۲ تهیه شد. میانگین کلی GLK، عدد ۷۵/٦۸ محاسبه شد و مقدار EPS نیز، ۰/۹۳ است؛ یعنی برمبنای خروجی EPS، فقط می‌توان به گاه‌شناسی درختی مربوط به ٦۳ سال اخیر اعتماد کرد؛ از سوی دیگر، خروجی‌های آماری برای میانگین کلی ضریب حساسیت گونهٔ بلوط در منطقهٔ طرح جنگل‌داری تخت در حوالی شهرستان مینودشت به مقدار ۰/۱٦ =MS محاسبه شد که میزان آن جالب توجه است.

از طرح جنگل‌داری لوهٔ گالیکش نیز از ۱۰ درخت گونهٔ بلوط، ۲۰ نمونه انتخاب و سپس نتایج گاه‌شناسی در قالب یک میانگین کلی ارائه شد. نتایج این گاه‌شناسی برای یک طول آماری ۲۱۵ساله بازسازی شد که ابتدای دوره به سال ۱۱۷۸ و انتهای آن به سال ۱۳۹۲ مربوط است؛ به هر حال میانگین کلی GLK عدد ٦٦/۷٦ محاسبه شد که در سطح ۹۵ درصد معنادار و مقدار EPS نیز ۰/۸۰ است. برمبنای خروجی EPS، فقط می‌توان به گاه‌شناسی درختی مربوط به ۱۷۲ سال اخیر اعتماد کرد که یک دورهٔ کوتاه‌تر نسبت به گاه‌شناسی اولیه شامل ۲۱۵ سال است.

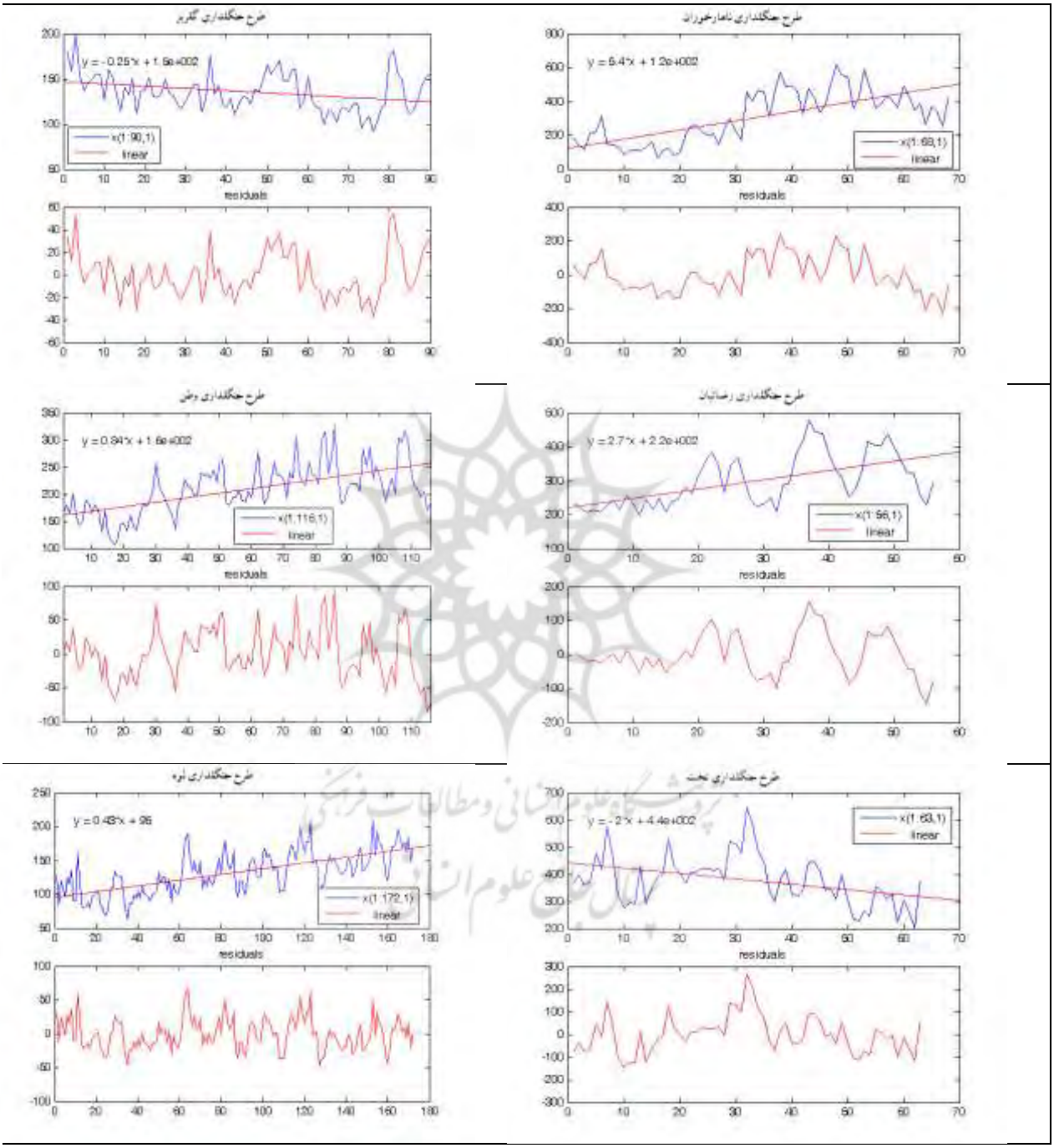
جدول ۱. خلاصهٔ آماری گاه‌شناسی گونه‌های مختلف درختی برای طرح‌های جنگل‌داری مختلف در سطح استان با استفاده از برنامهٔ ARSTAN

محل	رویشگاه	کد	نام گونه	طول کرونولوژی	SNR[1]	MS[2]	GLK[3]	EPS[4]	سال‌های مؤثر
گرگان	طرح جنگل‌داری	QN	بلوط	۱۳۹۲–۱۳۱۷	۸۹/۰	۲۵/۰	٦۹/۸۲	۸۹/۰	٦۸
گرگان	طرح جنگل‌داری گلریز	QD	بلوط	۱۳۹۲–۱۲۷۸	۷۸/۰	۱۲/۰	٦۵/٦٤	۷۸/۰	۹۰
علی‌آباد	طرح جنگل‌داری	AR	بلوط	۱۳۹۲–۱۳۲۸	۸٦/۰	۱۲/۰	۳۹/۷۵	۸٦/۰	۵٦
آزادشهر	طرح جنگل‌داری وطن	AV	بلوط	۱۳۹۲–۱۲٦۰	۸۷/۰	۱۳/۰	٤۸/۷۲	۸۷/۰	۱۱٦
مینودشت	طرح جنگل‌داری تخت	MT	بلوط	۱۳۹۲–۱۳۲۵	۹۳/۰	۱٦/۰	٦۸/۷۵	۹۳/۰	٦۳
گالیکش	طرح جنگل‌داری لوه	QL	بلوط	۱۳۹۲–۱۱۷۸	۸/۰	۱۳/۰	۷٦/٦٦	۸/۰	۱۷۲

۱. نسبت سیگنال به ناهنجاری؛ ۲. ضریب حساسیت؛ ۳. درصد تطابق؛ ٤. سیگنال معرف جمعیت آماری

در ادامه به‌منظور مقایسه و همسان‌سازی شاخص رشد گونهٔ بلوط، دوره‌های زمانی مؤثر بر سایت‌های مختلف مقایسه شدند. با استفاده از تابع Basic Fitting در نرم‌افزار MATLAB به‌صورت شکل ۳، روندهای رویشی حذف شدند؛ به‌طوری که از شکل برمی‌آید، نمونهٔ میانگین بلوط در رویشگاههای مختلف روندهای متفاوتی به خود گرفته است و این

روندها امکان نشان‌دادن ویژگی‌های اقلیمی آن محل را ندارند؛ بنابراین حذف آنها برای تحلیل‌های اقلیم درختی ضروری است. درنهایت باقی‌ماندهٔ آنها به‌صورت Zscore به‌مثابهٔ شاخص حلقه‌های درختی استخراج شد.



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

(نمودارهای آبی‌رنگ به روند موجود درون سری زمانی حلقه‌های رویشی مربوط است که از حذف

روندها (عوامل غیراقلیمی)، نمودارهای قرمزرنگ حاصل شده‌اند.)

در مرحلهٔ بعد به‌منظور مشخص‌کردن رفتارهای همسان شاخص حلقه‌های درختی گونهٔ بلوط در رویشگاههای شش‌گانهٔ منتخب، همبستگی و رفتار همزمانی آنها با هم مقایسه شد؛ برمبنای جدول ۲، تمامی رویشگاهها ازنظر رفتار حلقه‌های درختی با هم در ارتباط‌اند؛ به‌طوری که همبستگی بین رویشگاه طرح جنگل‌داری رضاییان با تمامی رویشگاههای دیگر 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 رابطهٔ معناداری دارد. برعکس، طرح جنگل‌داری گلریز نیز علاوه بر طرح جنگل‌داری رضاییان، با طرح جنگل‌داری تخت و طرح جنگل‌داری لوه رابطهٔ معناداری دارد.

جدول ۲. ماتریس همبستگی حلقه‌های گونهٔ بلوط در دورهٔ 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	۰٦۳/۰-	*٤۷۱/۰	۱۷۷/۰	*٦٥٥/۰	*۳۱٤/۰-
طرح جنگل‌داری گلریز	۰٦۳/۰-	۱	۱٤۸/۰	*۳٦۷/۰	۰۰۳/۰	۰٤۹/۰
طرح جنگل‌داری رضاییان	*٤۷۱/۰	۱٤۸/۰	۱	*٦۱۳/۰	*٤۰٦/۰	*۲٦۸/۰
طرح جنگل‌داری وطن	۰/۱۷۷	*۳٦۷/۰	*٦۱۳/۰	۱	*۳۲۰/۰	*۲۱۲/۰
طرح جنگل‌داری تخت	*٦٥٥/۰	۰۰۳/۰	*٤۰٦/۰	*۳۲۰/۰	۱	*۲٥٦/۰-
طرح جنگل‌داری لوه	*۳۱٤/۰-	۰٤۹/۰	*۲٦۸/۰	*۲۱۲/۰	*۲٥٦/۰-	۱

*در سطح ۵٪ معنادار

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

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

همان‌طور که در روش پژوهش بیان شد، به‌منظور بررسی روابط بین شاخص رشد حلقه‌های درختی بلوط بین طرح‌های شش‌گانهٔ جنگل‌داری در استان گلستان با ایستگاههای دماسنجی (حداقل، حداکثر و میانگین فصل رشد) استان از روش رگرسیون پاسخ سطحی (Response Surface Regression) در محیط نرم‌افزار STATISTICA استفاده شد. بدین منظور متغیرهای پیش‌بینی‌کننده یعنی شاخص رشد حلقه‌های درختی بلوط بین طرح‌های شش‌گانهٔ جنگل‌داری به ۲۷ حالت درآمد که به ترتیب شامل متغیرهای ناهارخوران، ناهارخوران^۲، گلریز، گلریز^۲، رضاییان، رضاییان^۲، وطن، وطن^۲، تخت، تخت^۲، لوه، لوه^۲، ناهارخوران×گلریز، ناهارخوران×رضاییان، گلریز×رضاییان، ناهارخوران×وطن، گلریز×وطن،

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 برمبنای جدول ۳ مشخص شد هرکدام از ایستگاهها به چند حالت در سطح معناداری بیش از ۵ درصد قرار دارند؛ به‌طوری که دیده می‌شود برای حداکثر دمای فصل رشد ایستگاه رباط قره‌بیل با ۲۶ مؤلفهٔ پیش‌بینی‌کننده بیشترین مؤلفه و گنبد کاووس با ۳ مؤلفهٔ پیش‌بینی‌کننده کمترین مؤلفه، برای متوسط دمای فصل رشد ایستگاه اینچه‌برون با ۲۵ مؤلفهٔ پیش‌بینی‌کننده بیشترین مؤلفه و ایستگاه بهلکه داشلی با ۳ مؤلفهٔ پیش‌بینی‌کننده کمترین مؤلفه و برای حداقل دمای فصل رشد نیز، ایستگاه اینچه‌برون با ۲۶ مؤلفهٔ پیش‌بینی‌کننده بیشترین مؤلفه و ایستگاه ارازکوسه با ۷ مؤلفهٔ پیش‌بینی‌کننده کمترین مؤلفه را دارند؛ از سوی دیگر، میانگین مؤلفه‌های پیش‌بینی‌کننده برای متوسط حداکثر و حداقل دما، ۱۶ مورد و برای دمای متوسط نیز، ۱۷ مورد برآورد شد.

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

ایستگاه	تعداد پاسخ		
	حداکثر دما	متوسط دما	حداقل دما
غفارحاجی	۲۱	۱۷	۱۱
فاضل‌آباد	٦	۲۰	۲٤
سد گرگان	۱٤	۱۷	۲۲
رامیان	۱۵	۱۳	۸
ارازکوسه	۱۹	۱٤	۷
بهلکه داشلی	۱۲	۳	۱۱
تمر	۲۱	۲۱	۲۰
چشمه‌خان	۲۰	۱۹	۱۸
رباط قره‌بیل	۲٦	۱٤	۱٤
ترشکلی	۱۹	۱٦	۱٤
مراوه‌تپه	۱۹	۲۲	۲٤
قلعه جیق	۱۱	۱۱	۱٦
اینچه‌برون	۲۳	۲۵	۲٦
گنبد کاووس	۳	۱۹	۱۹
گرگان	۱۷	۱۹	۹

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

ارزیابی کارایی مدل بازسازی دمای فصل رشد و کالیبراسیون

در این پژوهش برای بازسازی دمای فصل رشد، داده‌های دورهٔ پایهٔ ۱۳۵۰– ۱۳۹۰ به دو دورهٔ آموزشی (۱۳٦۱– ۱۳۹۰) و آزمایشی (۱۳۵۰– ۱۳٦۰) تقسیم شد (جدول ٤). در این ارزیابی از Scatter Index (SI)

برای ارزیابی ضریب تغییرپذیری نسبت انحراف معیار خطا به میانگین مشاهدات استفاده شد؛ به‌طوری که هرچه مقدار آن به صفر نزدیک شود، کارایی مدل بهتر است؛ همچنین به‌منظور ارزیابی کارایی مدل از روش نش ساتکلیف (NS) نیز استفاده شد. در این مدل، دامنهٔ جواب بین یک تا بی‌نهایت منفی است؛ بنابراین هرچه میزان آن به یک نزدیک‌تر 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.

براساس جدول ٤، 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، دامنهٔ شاخص SI برای دورهٔ آموزش (۱۳٦۱– ۱۳۹۰) بین ۰/۳۱٤ تا ۱/٤٤۰ درصد و برای دورهٔ آزمایش (۱۳۵۰–۱۳٦۰) نیز بین ۱/۹۹۵ تا ۱٤/۹۷٤ درصد و همچنین NS نیز تطابق بسیار زیاد مدل را با مشاهدات در دورهٔ آموزش و آزمایش نشان می‌دهد.

دامنهٔ RMSE برای تمامی ایستگاهها در دورهٔ آموزش بین ۰/۰۸۰ تا ۰/۳۰۷ و برای دورهٔ آزمایش نیز بین ۰/٤٤٤ تا ۲/۱٤۲، دامنهٔ BIAS نیز در دورهٔ آموزش بین ۰/۰۰ تا ۰/۰۰۵ و برای دورهٔ آزمایش بین ۰/۰۰۹ تا ۰/۳۳۳ درجهٔ سانتی‌گراد و دامنهٔ ضریب تعیین R2 نیز در دورهٔ آموزش بین ۰/۹۹۳ تا ۰/۸٦۲ و در دورهٔ آزمایش بین ۰/۳۷۲ تا ۰/۷۵۱ است.

جدول ٤. ارزیابی عملکرد مدل بازسازی میانگین دمای فصل رشد با استفاده از شاخص حلقهٔ رشد بلوط در جنگل‌های استان گلستان

ایستگاه	دوره	SI	NS	MAE	RMSE	BIAS	R2
غفارحاجی	آزمایش (۱۳۵۰–٦۰)	۹۹۵/۱	۹۹۹/۰	۰۹/۰	٤٤٤/۰	۰۰۹/۰	٦۱/۰
	آموزش (۱۳٦۱–۹۰)	٦۳۹/۰	۱	۰	۱٤۲/۰	۰۰۱/۰	۹۵۷/۰
فاضل‌آباد	آزمایش (۱۳۵۰–٦۰)	٦٤۱/۳	۹۹۳/۰	٦۸/۰	۰۳٦/۱	۰٦۳/۰	۳۷۲/۰
	آموزش (۱۳٦۱–۹۰)	۹٤۷/۰	۱	۰	۲۰۳/۰	۰۰۲/۰	۹٦/۰
سد گرگان	آزمایش (۱۳۵۰–٦۰)	٤۷٦/۲	۹۹۹/۰	۳۲/۰	٦۸۵/۰	۰۲/۰	٦۱۵/۰
	آموزش (۱۳٦۱–۹۰)	۹۱٦/۰	۱	۰	۲٤/۰	۰۰۳/۰	۹۲۵/۰
رامیان	آزمایش (۱۳۵۰–٦۰)	٤۲۷/۳	۹۹۸/۰	۱۲٤/۰	۷۰۱/۰	۰۲۳/۰	٤۷۲/۰
	آموزش (۱۳٦۱–۹۰)	۳۵٦/۱	۱	۰	۳۰۷/۰	۰۰٤/۰	۸۷۹/۰
ارازکوسه	آزمایش (۱۳۵۰–٦۰)	۸۳۵/۳	۹۹۷/۰	٤۸۸/۰	۰۱٦/۱	۰٤۷/۰	٤۹۳/۰
	آموزش (۱۳٦۱–۹۰)	٤٤/۱	۱	۰	۳۰۷/۰	۰۰۵/۰	۹٤۳/۰
بهلکه داشلی	آزمایش (۱۳۵۰–٦۰)	٤۱۳/٤	۹۹٦/۰	۳۷۱/۰	۰٦٦/۱	۰۵۳/۰	٦۸۳/۰
	آموزش (۱۳٦۱–۹۰)	۰۵۷/۱	۱	۰	۲۳٤/۰	۰۰۲/۰	۹۲۹/۰
تمر	آزمایش (۱۳۵۰–٦۰)	۷۲۵/۳	۹۹۱/۰	٦۲۲/۰	۹٤۳/۰	۰۵۲/۰	۷۵۱/۰
	آموزش (۱۳٦۱–۹۰)	۰۵۷/۱	۱	۰	۲٤۸/۰	۰۰۳/۰	۹۵۷/۰
چشمه خان	آزمایش (۱۳۵۰–٦۰)	۵۲٦/۸	۹۷٦/۰	۹٦۸/۰	٤۳۹/۱	۲۰۵/۰	٤۳۱/۰
	آموزش (۱۳٦۱–۹۰)	۲۲۱/۱	۱	۰	۱۷۳/۰	۰۰۲/۰	۹۵۸/۰

رباط قره‌بیل	آزمایش (۶۰-۱۳۵۰)	۹۷٤/۱٤	۹۵۱/۰	٤۲/۰	۱٤۲/۲	۳۳۳/۰	٦۲۹/۰
	آموزش (۹۰-۱۳٦۱)	٤۳۱/۱	۹۹۹/۰	۰۰۲/۰	۱٦٤/۰	۰۰۳/۰	۹۸۵/۰
ترشکلی	آزمایش (۶۰-۱۳۵۰)	۵٤۳/۳	۹۹۷/۰	۷۰۷/۰	۰۵٤/۱	۰٤۸/۰	۵۹۵/۰
	آموزش (۹۰-۱۳٦۱)	۱۹۷/۱	۱	۰	۲٦۸/۰	۰۰۳/۰	۹٤٤/۰
مراوه‌تپه	آزمایش (۶۰-۱۳۵۰)	۸۲۹/۵	۹٦۱/۰	۵۹۷/۰	۳۱۸/۱	۱/۰	۵۷٤/۰
	آموزش (۹۰-۱۳٦۱)	۹٦۷/۰	۱	۰	۱۹۸/۰	۰۰۲/۰	۹۷۲/۰
قلعه جیق	آزمایش (۶۰-۱۳۵۰)	٤۷۵/۲	۹۹۹/۰	۵٦٦/۰	۷۸۹/۰	۰۲۸/۰	٤۳۷/۰
	آموزش (۹۰-۱۳٦۱)	۹۸۱/۰	۱	۰	۲۱۱/۰	۰۰۲/۰	۹۱٤/۰
اینچه‌برون	آزمایش (۶۰-۱۳۵۰)	۲۲۱/۳	۹۹۵/۰	۹٦۲/۰	۲۰۷/۱	۰٦۵/۰	٦۹۸/۰
	آموزش (۹۰-۱۳٦۱)	۳۱٤/۰	۱	۰	۰۸/۰	۰	۹۹۳/۰
گنبد کاووس	آزمایش (۶۰-۱۳۵۰)	۵٦۸/۲	۹۹۸/۰	٤۲/۰	۷۳۵/۰	۰۲۵/۰	٤۸۲/۰
	آموزش (۹۰-۱۳٦۱)	۲٦۳/۱	۱	۰	۲۹۸/۰	۰۰٤/۰	۸٦۲/۰
گرگان	آزمایش (۶۰-۱۳۵۰)	۹۲٦/۲	۹۹۸/۰	٤۳۳/۰	۷۹٦/۰	۰۲۸/۰	٦۱۱/۰
	آموزش (۹۰-۱۳٦۱)	۸۵۸/۰	۱	۰	۲۱۹/۰	۰۰۲/۰	۹۳۱/۰

در این پژوهش با توجه به اینکه شاخص حلقهٔ رشد در طرح‌های مختلف جنگل‌داری از دوره‌های آماری متفاوتی گرفته شده بود، به‌منظور کالیبره‌کردن دمای تاریخی (دمای بازسازی از شاخص حلقه‌ها) در هر ایستگاه با دمای پایهٔ مشاهداتی (۱۳۵۰- ۱۳۹۰)، شش مرحلهٔ کالیبره انجام شد که شامل دوره‌های پایهٔ ۱۳۵۰- ۱۳۹۰ با دورهٔ سال‌های ۱۲۲۱- ۱۲۳۷، ۱۲۳۸- ۱۲۷٦، ۱۲۳۹- ۱۲۹۹، ۱۳۰۰- ۱۳۲٤، ۱۳۲۵- ۱۳۳٦، ۱۳۲٦- ۱۳٤۹ است. درنهایت به‌منظور کالیبراسیون دمای تاریخی از معادلهٔ ۱ استفاده شد

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

در این معادله، $\mathrm{H_{historical}}$ دمای تاریخی کالیبره‌شده، $\mathrm{Sim_i}$ مقدار شبیه‌سازی‌شده، $\mathrm{Sim_{avg}}$ و $\mathrm{STD_{sim}}$ میانگین و انحراف معیار شبیه‌سازی‌شده و $\mathrm{STD_{obs}}$ و $\mathrm{Obs_{avg}}$ میانگین و انحراف معیار دورهٔ پایه است.

ارزیابی دمای فصل رشد برای دورهٔ بازسازی‌شده

به‌منظور ارزیابی نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌ها، شکل ٤ ارائه می‌شود. در این شکل با توجه به ارزیابی دقت مدل‌سازی و همچنین تطبیق شبیه‌سازی با دورهٔ مشاهدات، دمای فصل رشد برای مؤلفه‌های حداکثر، 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 ۲۱ساله برای سه متغیر دما نمایش داده شده است؛ به‌طوری که برای مؤلفهٔ حداکثر دما در سطح استان گلستان، ٦ چرخهٔ دمایی بین سال‌های ۱۲۲۱- ۱۲۳۸، ۱۲۳۹- ۱۲۷۲، ۱۲۷۳- ۱۳۲۳، ۱۳۲٤- ۱۳٤۹، ۱۳۵۰- ۱۳۷۱ و ۱۳۷۲- ۱۳۹۰ قابل شناسایی است؛ همچنین

برای متوسط دما نیز، این چرخه حاکم است؛ با این تفاوت که در دامنه‌های بلندمدت زیرچرخه‌های کوتاه‌تری نیز دیده می‌شود؛ برای نمونه بین دورهٔ ۱۲۷۳ تا ۱۳۲۳، دو زیرچرخه شکل گرفته است؛ همچنین از سال ۱۳٤۹ به بعد همراه با چرخه‌های جزئی‌تری دما در حال افزایش است. در حالت حداقل دمای فصل رشد نیز، این زیرچرخه‌های بین دورهٔ ۱۲۷۳ تا ۱۳۲۳ به دو چرخهٔ کامل تبدیل شده است. در این حالت نیز، ٦ چرخهٔ دمایی شکل گرفته که شامل دوره‌های زمانی ۱۲۲۱– ۱۲۳۸، ۱۲۳۹– ۱۲۷۲، ۱۲۷۳– ۱۲۹٦، ۱۲۹۷– ۱۳۲۲، ۱۳۲۳– ۱۳٦۰ و ۱۳٦۱– ۱۳۹۰ است. در کل با توجه به بازسازی انجام‌شده برای فصل رشد طی ۱۷۰ سال گذشته، ٦ چرخهٔ دمایی روی داده است که در حالت حداکثر دمایی با حداقل آن با کمی تغییر در دو دورهٔ ۱۲۷۳– ۱۳۲۳ و ۱۳٤۹– ۱۳۹۰ دیده می‌شود.

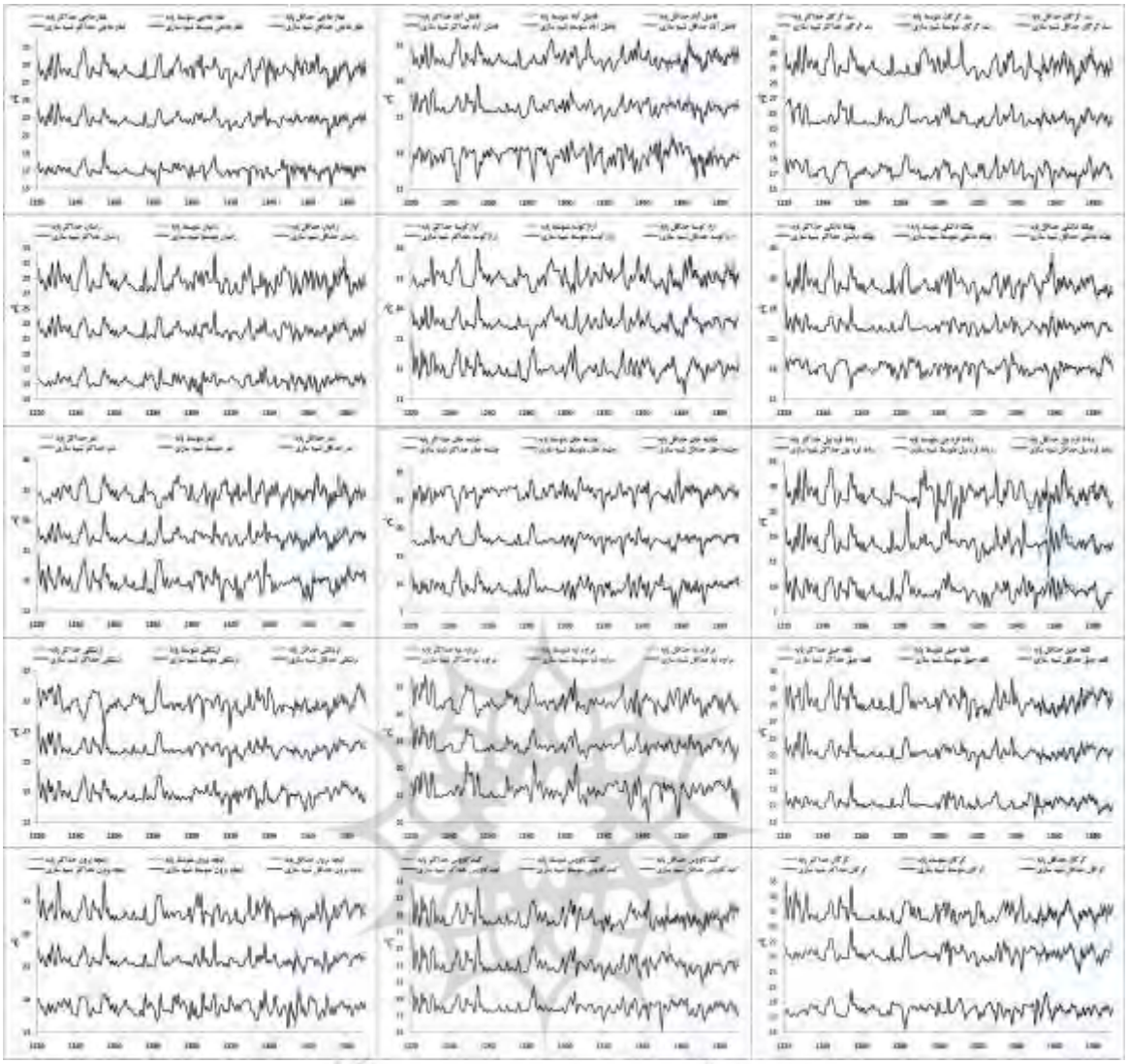
همچنین در این پژوهش به‌منظور مشخص‌کردن تغییرات اقلیمی در پیش از دورهٔ مشاهداتی ٤۰سالهٔ اخیر، سه دورهٔ ٤۰سالهٔ پیش از آن بررسی شد. برمبنای این تقسیم‌بندی، دورهٔ اول معادل سال‌های ۱۲۲۱ تا ۱۲۷۰، دورهٔ دوم ۱۲۷۱ تا ۱۳۱۰، دورهٔ سوم ۱۳۱۱ تا ۱۳۵۰ و درنهایت دورهٔ چهارم نیز بین سال‌های ۱۳۵۰ تا ۱۳۹۰ در نظر گرفته شدند. به‌منظور واکاوی تفاوت‌های دمایی بین این ٤ دوره، از آماره‌های میانگین، میانه و چولگی استفاده شد (جدول ۵). برمبنای جدول ۵، برای آمارهٔ میانگین برای حداکثر دمای فصل رشد در ایستگاههای ارازکوسه، تمر و رباط قره‌بیل در دورهٔ اول بالاترین دما، در دورهٔ دوم کاهش دما، در دورهٔ سوم افزایش دما و درنهایت در دورهٔ چهارم نسبت به دورهٔ قبل کاهش دما دیده شده است. در ایستگاههای ترشکلی، چشمه خان و مراوه‌تپه نیز در دورهٔ دوم بالاترین دما، دورهٔ سوم کاهش دما و درنهایت دورهٔ چهارم افزایش دما رخ داده است؛ در حالی که در سایر ایستگاهها در دورهٔ اول بالاترین دما، تا دورهٔ سوم کاهش دما و درنهایت در دورهٔ چهارم افزایش دما رخ داده است.

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

در ایستگاههای رامیان و ارازکوسه نیز رفتار مشابهی دیده می‌شود. این الگوی رفتاری طوری بوده است که از دورهٔ دوم به دورهٔ سوم افزایش دما و سپس در دورهٔ چهارم مقادیر کاهش دما دیده می‌شود. به این ترتیب که بالاترین دما در دورهٔ اول رخ داده و در دورهٔ 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؛ به‌طوری که از دورهٔ اول تا دورهٔ سوم کاهش دما و در دورهٔ چهارم افزایش دما روی داده است.

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

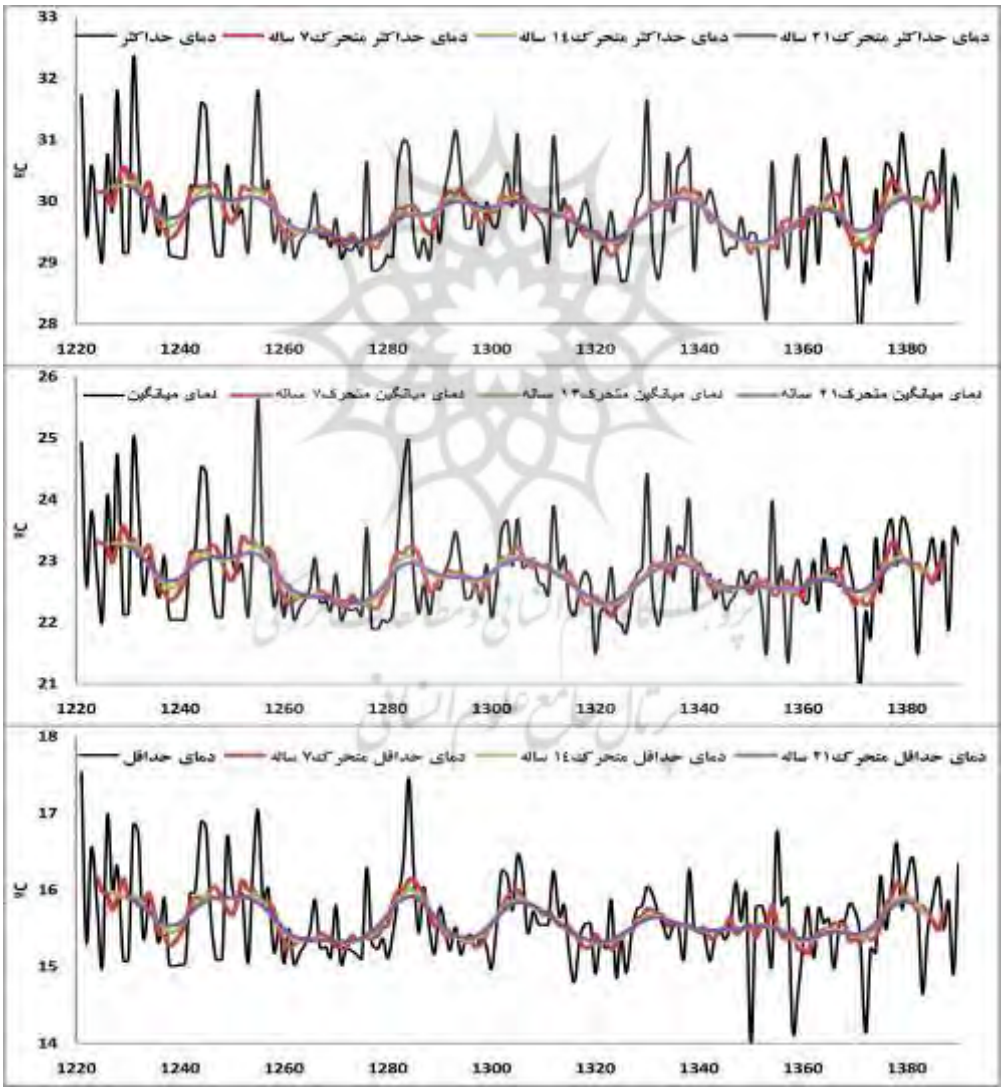


شکل ٤. متوسط حداکثر، حداقل و میانگین ماهیانهٔ دمای فصل رشد شبیه‌سازی‌شده و پایهٔ ایستگاههای استان گلستان براساس شاخص حلقهٔ رشد درختان بلوط

بررسی رفتار آمارهٔ میانهٔ دمایی برای حالت حداکثر دمای فصل رشد به‌صورت کلی در ۱۵ ایستگاه مدنظر حاکی است از دورهٔ 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. آمارهٔ 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. درنهایت آمارهٔ 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 میانهٔ دوره‌های چهارگانه در ایستگاههای مختلف هواشناسی، اینگونه نتیجه‌گیری می‌شود که در دورهٔ چهارم نسبت به

دوره‌های پیش از آن، افـزایش دمـا روی داده اسـت و این حالت شـرایطی خـاص در دمـای اسـتان گلسـتان نیست؛ به‌طوری کـه در دوره‌هـای پـیش نیـز میـانگین دمایی بیش از این را تجربه کرده است.

درنهایت به‌منظـور ارزیـابی تغییرکـردن یـا نکـردن نرمال دمـایی از آمـارهٔ چـولگی بـه‌مثابـهٔ شاخصـی از شرایط نرمال اقلیمی برای چهار دورهٔ ٤٠سـاله اسـتفاده و نتایج مقایسه شد. برمبنای جدول ۵ برای مؤلفه‌هـای حداکثر، متوسط و حداقل دمای فصل رشـد در بیشـتر ایستگاهها، چولگی مثبت برای دوره‌های اول تـا سـوم وجود دارد؛ امـا در دورهٔ چهـارم، چـولگی بـه سـمت مقادیر منفی گرایش یافته است. به‌طور ویژه در حالـت حداکثر دمای فصل رشـد در ایسـتگاههای ارازکوسـه، بهلکه داشـلی، تمـر، چشـمه خـان، ربـاط قـره‌بیـل و ترشکلی و همچنین در حالت حداقل دمای فصل رشد در ایستگاههای فاضل‌آباد، بهلکه داشلی، اینچه‌بـرون و گرگان، چولگی متفاوت از حالت غالب یادشده است.



شکل ۵. میانگین کلی ۱۵ ایستگاه هواشناسی از تغییرات دمای متوسط حداکثر، حداقل و میانگین ماهیانهٔ فصل رشد شبیه‌سازی‌شده براساس شاخص حلقهٔ رشد درختان بلوط در سطح استان گلستان

جدول ۵. میانگین، میانه و چولگی دمای فصل رشد در حالت حداکثر، متوسط و حداقل در دوره‌های ۴۰ساله در ایستگاههای استان گلستان

ایستگاه	دما	میانگین					میانه					چولگی به روش پیرسون				
		۱۳۸۱ – ۱۳۴۱	۱۳۱۰ – ۱۳۷۱	۱۳۵۰ – ۱۳۱۱	۱۳۹۰ – ۱۳۵۱	۱۳۷۰ – ۱۳۳۱	۱۳۱۰ – ۱۳۷۱	۱۳۵۰ – ۱۳۱۱	۱۳۹۰ – ۱۳۵۱	۱۳۷۰ – ۱۳۳۱	۱۳۱۰ – ۱۳۷۱	۱۳۵۰ – ۱۳۱۱	۱۳۹۰ – ۱۳۵۱
غفارحاجی	حداکثر	۴۸/۲۸	۴۸/۲۸	۴۲/۲۸	۲۹/۲۸	۳۸/۲۸	۱۸/۲۸	۳۵/۲۸	۳۷/۲۸	۵/۲۸	۲۵/۱	۵۸/۰	۱/۰–
	متوسط	۸۳/۲۲	۸۳/۲۲	۷۲/۲۲	۶۶/۲۲	۷۱/۲۲	۶۴/۲۲	۶۱/۲۲	۵۹/۲۲	۸/۲۲	۲۶/۱	۶۶/۰	۸۵/۰
	حداقل	۰۹/۱۷	۰۹/۱۷	۹۸/۱۶	۹۷/۱۶	۰۲/۱۷	۹۱/۱۶	۰۲/۱۷	۰۵/۱۷	۱۳/۱۷	۹۱/۱	۵۵/۰–	۱۷/۰–
فاضل‌آباد	حداکثر	۱۵/۲۹	۱۵/۲۹	۰۳/۲۹	۰۳/۲۹	۰۶/۲۹	۹/۲۸	۶۴/۲۸	۸۸/۲۸	۰۴/۲۹	۲۴/۱	۸/۰	۲۴/۱
	متوسط	۴۴/۲۲	۴۴/۲۲	۳۸/۲۲	۲۲/۲۲	۳۱/۲۲	/۲۲	۱۴/۲۲	۲۶/۲۲	۴۱/۲۲	۵۲/۱	۴۶/۰	۱۵/۰
	حداقل	۳۷/۱۵	۳۷/۱۵	۷۹/۱۵	۳۶/۱۵	۵۶/۱۵	۷۳/۱۵	۱۶/۱۶	۵۲/۱۵	۴۸/۱۵	۲۱/۱–	۱۶/۱–	۱۷/۰–
سد گرگان	حداکثر	۳۷/۳۱	۳۷/۳۱	۱۶/۳۱	۰۵/۳۱	۱۷/۳۱	۰۴/۳۱	۸۵/۳۰	۸۴/۳۰	۱۶/۳۱	۰۷/۱	۹۶/۰	۱۳/۱
	متوسط	۲۳/۲۴	۲۳/۲۴	۲۷/۲۴	۱۱/۲۴	۲۱/۲۴	۸۳/۲۳	۱۴/۲۴	۸۲/۲۳	۲/۲۴	۳۸/۱	۳۱/۱	۲۳/۱
	حداقل	۲۲/۱۷	۲۲/۱۷	۳۵/۱۷	۱۴/۱۷	۲۶/۱۷	۱۳/۱۷	۱۹/۱۷	۹۹/۱۶	۲۶/۱۷	۱۵/۰–	۷۹/۰	۰۸/۰–
رامیان	حداکثر	۷۳/۲۸	۷۳/۲۸	۵۲/۲۸	۴۳/۲۸	۴۷/۲۸	۴۳/۲۸	۳۵/۲۸	۴۱/۲۸	۴/۲۸	۹۶/۰	۹۶/۰	۷۲/۰
	متوسط	۱۴/۲۲	۱۴/۲۲	۹۴/۲۱	۹۷/۲۱	۹۶/۲۱	۹۴/۲۱	۶۹/۲۱	۷۹/۲۱	۸۶/۲۱	۸۱/۰	۸۸/۰	۱۳/۱
	حداقل	۴۸/۱۵	۴۸/۱۵	۲۷/۱۵	۴/۱۵	۳۷/۱۵	۳۱/۱۵	۱۹/۱۵	۲۹/۱۵	۴۲/۱۵	۹۱/۰	۰۶/۰	۷۸/۰
ارازکوسه	حداکثر	۳۴/۳۱	۳۴/۳۱	۸۹/۳۰	۲۴/۳۱	۱۲/۳۱	۰۹/۳۱	۷/۳۰	۹۹/۳۰	۱۴/۳۱	۱۶/۱	۶/۰	۹۲/۰
	متوسط	۷۳/۲۳	۷۳/۲۳	۳۸/۲۳	۶۲/۲۳	۵۴/۲۳	۳۵/۲۳	۰۹/۲۳	۲۶/۲۳	۵۷/۲۳	۷۹/۱	۷/۰	۰۱/۱
	حداقل	۱۳/۱۶	۱۳/۱۶	۸۶/۱۵	۸۴/۱۵	۹/۱۵	۸۵/۱۵	۶۵/۱۵	۶۴/۱۵	۰۶/۱۶	۹۳/۰	۲۶/۱	۷۱/۰
بهلکه داشلی	حداکثر	۱۴/۳۰	۱۴/۳۰	۹۳/۲۹	۷/۲۹	۸۶/۲۹	۶۸/۲۹	۵۴/۲۹	۸۱/۲۹	۷۱/۲۹	۱۲/۱	۸۲/۰	۲/۰–
	متوسط	۰۶/۲۳	۰۶/۲۳	۹۸/۲۲	۸۴/۲۲	۹۳/۲۲	۷۵/۲۲	۷۳/۲۲	۸۱/۲۲	۹/۲۲	۶۴/۱	۳۵/۱	۵/۰
	حداقل	۹۴/۱۵	۹۴/۱۵	۰۷/۱۶	/۱۶	/۱۶	۹۱/۱۵	۲۳/۱۶	۱۸/۱۶	۰۴/۱۶	۵۸/۰–	۲۲/۰–	۳۹/۰–
تمر	حداکثر	۵۴/۳۰	۵۴/۳۰	۲۲/۳۰	۴۱/۳۰	۳۳/۳۰	۴۲/۳۰	۹۹/۲۹	۳۶/۳۰	۴۶/۳۰	۴۱/۰	۴۲/۰	۱/۰
	متوسط	۲۵/۲۳	۲۵/۲۳	۰۶/۲۳	۰۵/۲۳	۰۵/۲۳	۹/۲۲	۹۱/۲۲	/۲۳	۲۵/۲۳	۶۵/۱	۳۹/۱	۰۳/۱
	حداقل	۹۹/۱۵	۹۹/۱۵	۷۷/۱۵	۶۲/۱۵	۷۵/۱۵	۷۴/۱۵	۴۷/۱۵	۶۶/۱۵	۰۱/۱۶	۸۷/۰	۸۷/۰	۰۴/۰
چشمه خان	حداکثر	۱۲/۲۶	۱۲/۲۶	۴۴/۲۶	۲۶/۲۶	۳۳/۲۶	۳۸/۲۶	۴/۲۶	۳۲/۲۶	۴۹/۲۶	۰۶/۱–	۳۹/۰	۸۴/۰–
	متوسط	۹۹/۱۷	۹۹/۱۷	۷۸/۱۷	۸۳/۱۷	۸۵/۱۷	۸/۱۷	۵۶/۱۷	۹۵/۱۷	۰۱/۱۸	۳۲/۱	۰۵/۱	۷۷/۰–
	حداقل	۵۱/۹	۵۱/۹	۲۳/۹	۳۸/۹	۳۱/۹	۱۳/۹	۹۵/۸	۵۴/۹	۴۵/۹	۰۵/۱	۱۴/۱	۰
رباط قره‌بیل	حداکثر	۵۸/۲۸	۵۸/۲۸	۹۵/۲۷	۳/۲۸	۲/۲۸	۹۹/۲۷	۶۱/۲۷	۹۶/۲۷	۹۴/۲۷	۰۷/۱	۱۵/۰	۰۲/۰
	متوسط	۹۲/۱۸	۹۲/۱۸	۶۹/۱۸	۳۵/۱۸	۵۹/۱۸	۴۶/۱۸	۲۶/۱۸	۱۶/۱۸	۴۸/۱۸	۹۳/۰	۸/۱	۶۹/۰
	حداقل	۳۷/۹	۳۷/۹	۱۹/۹	۷۲/۸	۰۶/۹	۲۳/۹	۵۸/۸	۸۶/۸	۰۳/۹	۱۹/۰	۰۳/۱	۱۱/۰–
ترشکلی	حداکثر	۴۹/۳۱	۴۹/۳۱	۶۹/۳۱	۴۲/۳۱	۵۳/۳۱	۳۱/۳۱	۶۳/۳۱	۰۸/۳۱	۲۹/۳۱	۰۸/۰	۴۸/۰	۰
	متوسط	۲/۲۴	۲/۲۴	۰۸/۲۴	۹۷/۲۳	۰۶/۲۴	۷۷/۲۳	۸۸/۲۳	۰۵/۲۴	۰۶/۲۴	۵۵/۱	۳۴/۱	۳۹/۰–
	حداقل	۷۷/۱۶	۷۷/۱۶	۵۹/۱۶	۴۳/۱۶	۵۷/۱۶	۵۸/۱۶	۲۵/۱۶	۵۴/۱۶	۶۸/۱۶	۹۱/۰	۴/۱	۲۵/۰–
مراوه‌تپه	حداکثر	۱۸/۳۲	۱۸/۳۲	۳۴/۳۲	۰۵/۳۲	۱۹/۳۲	۷/۳۱	۱۹/۳۲	۰۳/۳۲	۰۳/۳۲	۹۵/۰	۹/۰	۳/۰
	متوسط	۰۶/۲۴	۰۶/۲۴	۱۸/۲۴	۰۱/۲۴	۰۶/۲۴	۴۸/۲۳	۰۷/۲۴	۰۴/۲۴	۰۵/۲۴	۳۴/۱	۰۳/۱	۶۹/۰
	حداقل	۹۳/۱۵	۹۳/۱۵	/۱۶	۶۶/۱۵	۹۳/۱۵	۰۶/۱۵	۹۲/۱۵	۸۶/۱۵	۱۸/۱۶	۴۷/۱	۲۶/۱	۰۵/۱–
قلعه جیق	حداکثر	۴۶/۲۹	۴۶/۲۹	۳۲/۲۹	۱۵/۲۹	۲۹/۲۹	۱۸/۲۹	۲۱/۲۹	۱۱/۲۹	۱۹/۲۹	۹۵/۰	۷۵/۰	۶۸/۰
	متوسط	۴/۲۳	۴/۲۳	۳/۲۳	۲/۲۳	۲۶/۲۳	۲۱/۲۳	۱۸/۲۳	۱۲/۲۳	۱۹/۲۳	۷۹/۱	۹۷/۰	۶۶/۰
	حداقل	۳۴/۱۷	۳۴/۱۷	۲۷/۱۷	۱۴/۱۷	۲۵/۱۷	۱۹/۱۷	۰۱/۱۷	۹۶/۱۶	۳۱/۱۷	۸۴/۱	۵۴/۱	۵/۰
اینچه‌برون	حداکثر	۳۲/۳۱	۳۲/۳۱	۱۲/۳۱	۹۴/۳۰	۰۸/۳۱	۸۶/۳۰	۸۸/۳۰	۸/۳۰	۹۸/۳۰	۷۸/۱	۸۹/۰	۶۴/۰
	متوسط	۰۵/۲۴	۰۵/۲۴	۸۳/۲۳	۸۸/۲۳	۸۸/۲۳	۷۷/۲۳	۶۱/۲۳	۶۶/۲۳	۱۵/۲۴	۶۵/۱	۸/۱	۷۵/۱
	حداقل	۹۵/۱۶	۹۵/۱۶	۶۱/۱۶	۷۵/۱۶	۷۶/۱۶	۷۹/۱۶	۴۳/۱۶	۵۹/۱۶	۸۳/۱۶	۲۶/۰	۵۸/۰	۰
گنبد کاووس	حداکثر	۷۱/۲۸	۷۱/۲۸	۶۲/۲۸	۴۸/۲۸	۵۷/۲۸	۳/۲۸	۳/۲۸	۴۱/۲۸	۵۶/۲۸	۵۴/۱	۷۱/۰	۵۴/۰
	متوسط	۱/۲۳	۱/۲۳	۰۳/۲۳	۹۲/۲۲	۹۴/۲۲	۷۳/۲۲	۶۹/۲۲	۹۴/۲۲	۰۵/۲۳	۵۲/۱	۰۴/۱	۱۶/۰
	حداقل	۰۶/۱۸	۰۶/۱۸	/۱۸	۸/۱۷	۹۶/۱۷	۸/۱۷	۶۹/۱۷	۹۶/۱۷	۰۹/۱۸	۵۵/۱	۸۵/۱	۹۴/۰–
گرگان	حداکثر	۷/۳۰	۷/۳۰	۵۸/۳۰	۵۵/۳۰	۶۱/۳۰	۲۳/۳۰	۳۲/۳۰	۴۳/۳۰	۶۶/۳۰	۵۹/۱	۵۷/۰	۶۲/۰
	متوسط	۴۸/۲۵	۴۸/۲۵	۴/۲۵	۳/۲۵	۳۵/۲۵	۲۷/۲۵	۱۴/۲۵	۴۶/۲۵	۵/۲۵	۷۲/۱	۱۷/۱	۲۳/۰–
	حداقل	۱/۱۸	۱/۱۸	۰۱/۱۸	۹۵/۱۷	۰۳/۱۸	۰۵/۱۸	۰۷/۱۸	۰۳/۱۸	۹۷/۱۷	۰۲/۱	۷۱/۰–	۶۴/۰–

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر به‌منظور بازسازی اقلیم گذشتهٔ ۱۵ ایستگاه هواشناسی استان گلستان، از ٦ منطقهٔ طرح جنگل‌داری بلوط، نمونه‌هایی برداشت و مقادیر مؤلفه‌های مختلف دمایی (متوسط حداکثر، حداقل و میانگین) برای یک دورهٔ ۱۷۰ساله 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 حلقهٔ رشد بلوط در جنگل‌های استان گلستان با بهره‌گیری از آماره‌های مختلف SI، NS، MAE، RMSE، BIAS و R2 انجام شد که درمجموع نتایج این آزمون‌ها مؤید اعتبار مدل‌سازی‌ها در بازسازی مقادیر مؤلفه‌های دمایی بوده است.

با توجه به دستاوردهای این پژوهش مشخص شد برمبنای دورهٔ آماری ۱۷۰ساله، روند معنادار چشمگیری در تغییرات دمایی دیده نمی‌شود؛ برخلاف این موضوع، نوسانات مختلفی با توجه به میانگین متحرک ۲۱ساله برای این دورهٔ مطالعاتی دیده می‌شود که این الگوها برای دو مؤلفهٔ متوسط حداکثر و حداقل دما از رفتارهای نسبتاً مشابهی برخوردار بوده است؛ اما رفتارهای جزئی متفاوتی نیز دیده می‌شود و این موضوع حاکی است دامنهٔ نوسانات دمایی شبانه‌روزی تغییرات نیز داشته است؛ برای نمونه نتایج نشان داد نوسانات مؤلفهٔ حداکثر دما در فصل رشد، ٦ چرخهٔ دمایی بین سال‌های ۱۲۲۱– ۱۲۳۸، ۱۲۳۹– ۱۲۷۲، ۱۲۷۳– ۱۳۲۳، ۱۳۲٤– ۱۳٤۹، ۱۳۵۰– ۱۳۷۱ و ۱۳۷۲– ۱۳۹۰ داشته است که این الگو با تغییراتی جزئی‌تر برای متوسط حداقل دما و متوسط ماهیانهٔ فصل رشد دیده می‌شود.

از سوی دیگر، دورهٔ مطالعاتی به ٤ زیردوره تقسیم و تغییرات مؤلفه‌های دمایی برای دورهٔ اخیر (۱۲۲۱– ۱۲۷۰) درقیاس با سایر دوره‌ها با توجه به آماره‌های مختلف میانگین، میانه و چولگی واکاوی شد. رفتار آمارهٔ میانگین در حالت حداقل دمای فصل رشد در بیشتر ایستگاهها نشان داد متوسط حداقل دما در دورهٔ سوم و چهارم افزایش می‌یابد. تغییرات آمارهٔ میانگین برای حداکثر دما، الگوی کاملاً یکسانی بین ایستگاههای مختلف ندارد، ولی در بیشتر ایستگاهها مشاهده شد دورهٔ اول و چهارم از بیشترین میانگین دما برخوردار بوده‌اند؛ از سوی دیگر برای تغییرات متوسط ماهیانهٔ فصل رشد، ایستگاههای مختلف در سطح استان الگوهای مختلفی دارند که نمی‌توان به یک نتیجهٔ کلی از آنها اشاره کرد. برآیند کلی از بررسی آمارهٔ میانه برای سه مؤلفهٔ دمایی مدنظر نشان می‌دهد مقادیر میانه در دورهٔ چهارم نسبت به دوره‌های پیش از آن افزایش داشته است؛ البته این حالت شرایطی خاص در دمای استان گلستان نیست؛ زیرا در دورهٔ اول نیز، میانگین دمایی بیش از این تجربه شده است.

مقایسهٔ چولگی دمایی چهار دوره نیز حاکی است نرمال دمایی از حالت چولهٔ مثبت به چولهٔ منفی در حال تبدیل است. هرچند نسبت به چولهٔ مثبت شدت کمتری دارد، ولی با این تغییر مشخص می‌شود نسبت به گذشته در ٤۰سالهٔ اخیر به نرمال اقلیمی نزدیک‌تر شده است؛ اگرچه انحراف منفی ضعیفی مشاهده می‌شود.

در بسیاری از پـژوهش‌هـا نتـایج مشـابهی هماننـد پـژوهش حاضـر بـه دسـت آمـده کـه مؤیـد اعتبـار خروجی‌های این مقاله است؛ برای نمونـه در پـژوهش حاضر مشخص شد بـین تغییـرات مؤلفـهٔ حلقـه‌هـای درختی بـا مؤلفـه‌هـای اقلیمـی دمـا رابطـهٔ معنـادار و پذیرفته‌ای وجود دارد. مشابه این نتایج در پژوهش‌های جلیلونـد (۱۳۸٦)، صـفاری و همکـاران (۱۳۸۹)، ارسـلانی و همکـاران (۱۳۹۱) و عزیـزی و همکـاران (۱۳۹۱) دیده می شود. همچنین مشابه نتـایج پـژوهش کنونی، در بسیاری از پژوهش‌های دیگر این نتیجـه بـه دست آمده است که دهه‌هـای کنـونی، افـزایش دمـای بیشتری نسبت به سـایر دهـه‌هـای گذشـته داشـته‌انـد. ارسلانی و همکاران (۲۰۱٤) برمبنای پژوهش خود بـا استفاده از بازسازی مؤلفهٔ حداکثر دما در رویشگاههای بلـوط در زاگـرس مرکـزی، نتـایجی مشـابه پـژوهش حاضـر اسـتخراج کردنـد. در دو پـژوهش متفـاوت، بازسازی درجه‌حرارت نیمـهٔ گـرم (زارعـان، ۱۳۹٤) و نیمـهٔ سـرد سـال (موحـدی، ۱۳۹۵) بـا اسـتفاده از حلقه‌های درختی بلوط برای جنگـل‌هـای منطقـهٔ دنـا انجام شد که در هر دو این پژوهش‌ها مشخص شد در دهه‌های اخیر نسبت به یـک قـرن پـیش تـا حـدودی افزایش دما رخ داده است.

تغییـرات الگـوی دمـا بـرای دهـه‌هـای اخیـر ایستگاههای مطالعاتی استان گلسـتان افزایشـی اسـت؛ این به‌تنهایی و بدون در نظر گرفتن الگوی دمایی برای سدهٔ گذشته گویای یک روند افزایش دمایی است؛ امـا با در نظر گرفتن تغییرات دما از سـدهٔ گذشـته تـاکنون ملاحظه می‌شود این الگوی افزایشی دما که هـم‌اکنـون در دههٔ حاضر با آن مواجه هستیم، پـیش‌تـر نیـز روی داده است؛ از سوی دیگر، به‌منظور واکاوی دقیق‌تر اثـر گرمایش جهانی نیاز است جدای از تمرکز بر ماههـای فصل رشد، تغییرات دمایی برای سایر ماههای سال نیز بازسازی شود تا بهتـر بتـوان دربـارهٔ رخـداد تغییـرات اقلیمی و اثر گرمایش جهانی بر تغییرات دما در سـطح استان گلستان اظهارنظر کرد.

تقدیر و تشکر

این مقاله بخشی از پروژهٔ تحقیقاتی ملی بـا عنـوان «بررسی و ارزیابی تغییر اقلیم یا دگرگـونی اقلیمـی بـر منابع و مصارف آب به‌منظور اعمال مدیریت ریسک به جای مدیریت بحران در شرایط واقعی و پیش‌بینی» بـا کد پروژهٔ (GLW-91006) است که بـا حمایـت مـالی شرکت آب منطقه‌ای گلستان انجام شده است؛ بنابراین نویسـندگان بـر خـود لازم مـی‌داننـد صـمیمانه از حمایـت‌هـای مـالی و معنـوی شـرکت آب منطقـه‌ای گلستان تقدیر و تشکر کنند.

منابع

ارسلانی، محسن، عزیزی، قاسم، خوش‌اخلاق، فرامرز، (۱۳۹۱). **بازسازی تغییرات دمای حداکثر اسـتان کرمانشاه با استفاده از حلقه‌های درختـی**، مجلـهٔ جغرافیا و مخاطرات محیطـی، دورهٔ ۱، شـمارهٔ ۱، ۹۷- ۱۱۰.

بالاپور، شمس‌الدین، کاظمی، محمود، (۱۳۹۱). **مطالعهٔ اثر متغیرهای اقلیمی (دما و بارندگی) بر رویش سـالیانهٔ گونـهٔ آزاد (Zelkovacarpinifolia)**، نشریهٔ تحقیقات علوم چوب و کاغـذ ایـران، دورهٔ ۲۷، شمارهٔ ۱، شمارهٔ پیاپی ۳۸، ٦۹- ۸۰.

جلیلوند، حمید، بالاپور، شمس‌الـدین، (۱۳۹۲). **تـأثیر**

اقلیم بر رویش سالانهٔ اوری (QuercusmacrantheraFisch. etMey.) در حد فوقانی جنگل‌های هیرکانی، نشریهٔ پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل، دورهٔ ۲۰، شمارهٔ ٤، ۱- ۱۹.

جلیلوند، حمید، (۱۳۸٦). **واکنش رشد حلقه‌های رویشی زبان‌گنجشک به متغیرهای اقلیمی در شمال ایران با استفاده از رگرسیون چندگانه**، مجلهٔ علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال ۱۱، شمارهٔ ٤۲، ۵۹۷- ٦۰۹.

زارعان، حسین، (۱۳۹٤). **بازسازی درجه‌حرارت نیمهٔ گرم سال از روی حلقه‌های درختی بلوط ایرانی منطقهٔ دنا در جنگل‌های زاگرس**، نشریهٔ تحقیقات کاربردی جغرافیایی، دورهٔ ۱۵، شمارهٔ ۳۷، ۱۱۱- ۱۳۲.

موحدی، سعید، (۱۳۹۵). **بازسازی بیش از یک قرن کمینهٔ دمای ماهانهٔ نیمهٔ سرد سال از روی حلقه‌های درختی بلوط ایرانی در جنگل‌های زاگرس؛ مطالعهٔ موردی: منطقهٔ دنا**، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دورهٔ ۲۷، شمارهٔ ۱، ۱٤۷- ۱٦۲.

صفاری، محسن، ایوبی، ابراهیم، بخشی، رضا، کیایی، مجید، (۱۳۸۹). **بررسی اثر متغیرهای اقلیمی بر حلقه‌های رویشی چوب گونهٔ بلوط؛ مطالعهٔ موردی: طرح تلیم رود تنکابن**، فصلنامهٔ علوم و فنون منابع طبیعی، دورهٔ ٦، شمارهٔ ۲٦، ۱۰۵- ۱۱۳.

عزیزی، قاسم، ارسلان، محسن، یمانی، مجتبی، (۱۳۹۱). **بازسازی تغییرات بارش اکتبر- می شهر کرمانشاه طی دورهٔ ۲۰۱۰- ۱۷۰۵ با استفاده از حلقه‌های درختی**، مجلهٔ پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دورهٔ ٤٤، شمارهٔ ۷۹، ۳۷- ۵۳.

کاظمی، محمود، اسدپور، حمیده، بالاپور، شمس‌الدین، (۱۳۹۱). **مطالعهٔ روابط بین حلقه‌های رویشی زربین و متغیرهای اقلیمی**، نشریهٔ تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران، دورهٔ ۲۷، شمارهٔ ۱، شمارهٔ پیاپی ۳۹، ۳٦۱- ۳۷۱.

یزدانی، مهدی، ایوبی، مهشید، غروری، امین، (۱۳۹۰). **کاربرد روش‌شناسی سطح پاسخ برای تعیین عوامل مؤثر بر فرایند آبکاری الکتریکی**، مطالعات مدیریت صنعتی، دورهٔ ۸، شمارهٔ ۲۱، ۱۳۱- ۱٤۲.

Akkemik, U., (2000). **Dendroclimatology of Umberella Pine (Pinuspinea L) in Istanbul-Turkey**, Tree ring Bullettn, 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.,

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, southeasternTibetan 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., Bhuju, 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., Półrolniczak,

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی