



Institute of Geography



Research Paper

Paleo Temperature Reconstruction using Juniperus Species Dendroclimatology in the North of Kerman Province

Mohammad Mahdi Abadijou Ravari^a, Ghasem Azizi^{a*}, Mostafa Karimi^a

^a. Department of Natural Geography, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Keywords:

Little Ice Age,
Divergence,
Tree Rings,
Global Warming



In the present study, the temperature parameter has been reconstructed by using the annual growth rings of juniper trees (*Juniperus polycopos*) in Tengel Raver habitat in the north of Kerman province. Therefore, samples of 95 trees were taken using a growth gauge drill. Counting the number, measuring the width of the rings and matching the time between the growth curves of the trees was done by LINTAB desktop and TSAP Win software with an accuracy of 0.01 mm. The chronology of the region was constructed, detrended and standardized in ARSTAN software for 517 years (1500-2017) and its quality was checked with Cumulative Signal Statistics (EPS) and finally Residual chronology was selected for reconstruction. The relationship between climate and the width of the rings was measured using data from Kerman and Zarand stations and CRU TS4.01 data for the last 116 years of Iran. The results showed that the temperature of the months before the growing season and the month of March at the beginning of the growing season have a positive effect on the width of the rings, and the temperature of the months of April, May and June have a negative effect. Also, the investigations showed the occurrence of the issue of divergence between temperature and growth rings in the last 25 years and the region being affected by global warming in the last two decades. The reconstructed temperature showed a general decrease of 0.5 to 1.5 degrees in the two periods of 1750-1800 and 1700-1500 AD simultaneously with the Little Ice Age event in Europe for the studied area.

Received:

2 September 2022

Received in revised form:

1 December 2022

Accepted:

1 February 2023

pp.445-465

Citation: Abadijou Ravari, M. M., Azizi, GH., & Karimi, M. (2022). Paleo Temperature Reconstruction using Juniperus Species Dendroclimatology in the North of Kerman Province. *Physical Geography Research Quarterly*, 54 (4), 445-465.



<http://doi.org/10.22059/JPHGR.2022.332532.1007651>

* . Corresponding author (Email: ghazizi@ut.ac.ir)

Copyright © 2022 The Authors. Published by University of Tehran. This is an open access article under the CC BY license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Extended Abstract

Introduction

In addition to responding to human scientific curiosity, research on the past climate is essential to understand the trends, quiddity, factors, and impact of these environmental changes. One of the most widely used methods of reconstructing climate data for decades and centuries is tree rings. Trees are living climatic evidence that records the changes and fluctuations of climate change that occur annually through their growth. By studying their annual rings, we can better understand paleoclimate conditions. *Juniperus Polycopos* trees are a valuable species in Dendroclimatology studies due to their longevity and suitable wooden trunk widely distributed in Kerman province. The *Juniperus* habitat we studied is located in the northern highlands of Kerman province. Using tree rings, data related to the temperature of the past few centuries of the region has been reconstructed, and by studying them, climate change trends have been studied.

Methodology

The *Juniperus* habitat of this study is located at a mountainous massif in the north of Kerman province, between the three cities of Ravar, Zarand, and Kuhbanan, 31° 25' north and 56°50' east. Juniper trees in these heights are found in several habitats with higher density and single trees scattered in the mountains, frequently on the southern, southwestern, and western slopes of the habitat at an altitude of 2700 to 3200 meters. 200 samples of 96 trees in the habitat were taken with an increment borer. Rings were counted, and their width was measured by LINTAB desktop and TSAPWin software from bark to the trunk with an accuracy of 0.01 mm. The cross-dating between the growth curves of the trees, done with TSAP software, and the results of GLK, CDI, GSL, CC, and Tv statistics showed the desired quality for the obtained cross-dating growth curves for most of the trees. Based on the obtained growth curves, the chronology of *Juniperus* trees in the region was made in ARSTAN software by the

BiweightRobust averaging method. Then De-trending and standardized by a negative exponential curve. Finally, the Standard chronology was selected for use in studies. The chronology length is 517 years (1500-2017 AD), with a reconstruction confidence period of 252 years. The quality of chronology was measured by the mean correlation statistics of all habitat trees (Rbt), Expressed population signal (EPS), signal-to-error or anomaly ratio (SNR), mean sensitivity (MS), and Autocorrelation (AC1). Then, the relationship between climate and width of the rings was measured using station data of Kerman province and CRU TS4.01 climatic data for Iran-116 last year by Pearson correlation coefficient, and temperature reconstruction was performed using a linear regression model.

Results and discussion

As The results indicated, the temperature of the months before the growing season and March at the beginning of the growing season positively affected the width of the rings. The temperature of April, May, and June had a negative effect. In the middle of March, when the growing season in the study area begins, we have the most positive relationship between air temperature and the width of the rings. April and May show weak negative relations with temperature. There is no significant correlation during the growing season, i.e., from April to September. According to the described months, the annual and winter temperatures have a weak positive correlation, the spring and summer temperatures have a non-correlation, and the temperatures of the multi-month periods related to the cold months of the year have a weak positive correlation. The chronology and temperature trends have shown the divergence between temperature and growth rings in the last 25 years. This is the difference between the recorded and reconstructed temperatures of the width of the rings. The past temperature reconstruction in divergent chronologies leads to overestimating the reconstructed temperature. In this paper, the divergence

problem is solved by using the long period of CRU data and obtaining the temperature-width correlation of the rings from 1996 onwards. The habitat reconstructed temperature increased about 1.5 degrees over the last two decades compared to the long-term average (517 years). Other periods obtained include a relatively colder period, close to the average in the eight decades of the twentieth century, with a short-term increase in the 1950s and an increase in temperature of about 0.5 degrees compared to the average in 1840, 1850, and 1870. A period of 0.5-degree decrease in 1760-1820 AD, a period of 0.5 to 1-degree increase from 1720 to 1760 AD, and a long period of temperature drops from about 1700 to 1500 AD with different rates of decrease from 0.5 to 1 degree, noted. In general, the reconstructed temperature, except for a warm period from 1700 to 1760, generally showed a decrease of 0.5 to 1.5 degrees in the period 1500-1830 AD, coinciding with the event of the Little Ice Age in Europe for the study area.

Conclusion

Results show that the temperature before the growing season and especially in March at the beginning of the growing season directly affects the width of the rings. The positive correlation between March temperature and ring width is due to the beginning of cambium activity during the early growing season. Higher temperatures in March can cause the growing season to start earlier, resulting in a wider ring in the target year. In the warmer months of the year, the width of the rings shows a weak negative relationship with temperature, which can be due to the occurrence of water stress for trees with rising temperatures and increased evapotranspiration. Although the start of cambium activities at the beginning of the growing season depends on the increase in average air temperature, moisture is a much more important factor in arid regions such as northern Kerman province and affects the annual growth of the tree. Therefore, increasing the average temperature increases the evapotranspiration of the tree, decreases soil moisture, and shows its negative

impact on annual growth. In general, air temperature in the study area in the months before the growing season has a positive effect, and in the months of the growing season harms the width of growth rings. The results of temperature reconstruction in the habitat show two more important periods. Initially, there was a steady drop in temperature between 0.5 and 1.5 degrees Celsius between 1830 and 1500 AD, coinciding with the Little Ice Age and studies in other parts of the world, including continental Europe. This indicates that the study area is also affected by differences in the temperature decrease during the Little Ice Age. Another period is the sharp rise in temperature in the last two decades compared to the long-term average indicates that the study area is affected by global warming.

Funding

There is no funding support.

Authors' Contribution

All of the authors approved the content of the manuscript and agreed on all aspects of the work.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

We are grateful to all the scientific consultants of this paper.

بازسازی دیرینه دمای سالیانه شمال استان کرمان با استفاده از اقلیم‌شناسی درختی گونه ارس

محمد مهدی آبادیجو راوری - گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران ایران

قاسم عزیزی^۱ - گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران ایران

مصطفی کریمی - گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران ایران

چکیده

اطلاعات مقاله

در پژوهش حاضر با استفاده از حلقه‌های رشد سالیانه درختان ارس (Juniperus polycospos) در رویشگاه تنگل راور در شمال استان کرمان، پارامتر دما بازسازی شده است. از این رو نمونه‌هایی از ۹۵ درخت به‌وسیله مته رویش سنج برداشت شد. شمارش تعداد، اندازه‌گیری پهنای حلقه‌ها و تطابق زمانی بین منحنی‌های رویشی درختان به‌وسیله میز کار LINTAB و نرم‌افزار TSAPWin با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر صورت پذیرفت. گاه‌شناسی منطقه در نرم‌افزار ARSTAN به طول ۵۱۷ سال (۱۵۰۰-۲۰۱۷ م) ساخته، روند زدایی و استانداردسازی شد و کیفیت آن با آماره سیگنال تجمعی (EPS) بررسی و در نهایت گاه‌شناسی Residual برای بازسازی انتخاب شد. ارتباط آب‌وهوا و پهنای حلقه‌ها با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های کرمان و زرد و داده‌های CRU TS4.01 برای ۱۱۶ سال گذشته ایران، سنجیده شد. نتایج نشان داد که دمای ماه‌های پیش از فصل رویش و ماه مارس در ابتدای فصل رویش بر روی پهنای حلقه‌ها اثر مثبت و دمای ماه‌های آوریل، می و ژوئن دارای اثر منفی هستند. همچنین بررسی‌ها، وقوع مسئله واگرایی بین دما و حلقه‌های رشد در ۲۵ سال اخیر و متأثر شدن منطقه از گرمایش جهانی در دو دهه اخیر را نشان داد. دمای بازسازی شده به‌صورت کلی کاهش ۰/۵ تا ۱/۵ درجه‌ای در دو دوره ۱۷۵۰-۱۸۰۰ و ۱۷۰۰-۱۵۰۰ میلادی هم‌زمان با رویداد عصر یخبندان کوچک در اروپا را برای منطقه مورد مطالعه نشان داد.

واژگان کلیدی:

عصر یخبندان کوچک، واگرایی، حلقه‌های درختی، گرمایش جهانی.



تاریخ دریافت:

۱۴۰۱/۰۶/۱۱

تاریخ بازنگری:

۱۴۰۱/۰۹/۱۰

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۱/۱۱/۱۲

صص. ۴۴۵-۴۶۵

استناد: آبادیجو راوری، محمد مهدی؛ عزیزی، قاسم و کریمی، مصطفی. (۱۴۰۱). بازسازی دیرینه دمای سالیانه شمال استان کرمان با استفاده از اقلیم‌شناسی درختی گونه ارس. *مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۵۴ (۱)، ۴۶۵-۴۴۵.

 <http://doi.org/10.22059/JPHGR.2022.332532.1007651>

مقدمه

تغییرات اقلیمی در طول تاریخ عامل مهمی در شکل‌گیری، رشد و گاه ناپدید شدن تمدن‌ها به حساب می‌آید. در دوره معاصر نیز علاوه بر ماهیت تغییرپذیری طبیعی اقلیم در طول زمان، دخالت‌های انسانی عاملی برای بروز تغییرات اقلیمی شناخته می‌شوند (Kirchhefer, 1999). دما، یکی از مؤلفه‌های مهم در اقلیم هر منطقه است که با تغییر و نوسان آن علاوه بر تغییر در دیگر عناصر اقلیمی، اثرات زیان‌باری را بر روی جوامع انسانی و دیگر اکوسیستم‌های طبیعی کره زمین به‌جای می‌گذارد. امروزه با جدی شدن مسئله گرمایش جهانی، در بسیاری از مناطق کره زمین میزان دمای حداکثر افزایش چشمگیری پیدا کرده و در برخی موارد حالت بحرانی به خود گرفته است (ارسلانی و همکاران، ۱۳۹۱). از این رو پژوهش‌های اقلیمی در آب‌وهوای زمان گذشته جدای از پاسخگویی به حس کنجکاوی علمی بشر، برای آگاهی از روندها، ماهیت، عامل و تأثیر این تغییرات در محیط زندگی دارای اهمیت شده است. دستیابی به این شناخت گاه با داده‌های ثبت‌شده کوتاه‌مدت که عموماً از قرن اخیر به‌دست آمده‌اند، امکان‌پذیر نیست و نیاز به دستیابی به اطلاعات در دوره طولانی‌تری از اقلیم گذشته دارد. همان‌طور که عملکرد اقلیم امروزه آثار آشکار و نهان زیادی از خود به‌جای می‌گذارد، رد پای این آثار در گذشته نیز برجای مانده و به‌صورت شواهد متعددی امکان‌پذیری دگرگونی‌های اقلیمی در طول زمان را به ما می‌دهد. یکی از پرکاربردترین شیوه‌های بازسازی داده‌های اقلیمی برای دهه‌ها و سده‌های گذشته استفاده از حلقه‌های درختی است. حلقه‌های درختی می‌توانند داده‌های اقلیم دیرینه را به‌طور سالیانه برای مناطق یا دوره‌های زمانی فاقد داده اقلیمی فراهم کنند (Gacia-Suarez, 2009: 180). به نقل از ارسلانی، (۱۳۹۱). نتایج این روش هرچند که مقیاس کوچک‌تری از نظر زمانی دارند اما عدد پذیری بیش‌تر آن‌ها، کاربردشان را در پیش‌بینی آینده، مطالعات تغییر اقلیم، بررسی روندها و سری‌های اقلیمی طولانی‌مدت و... میسر می‌کند. همچنین مطالعات نشان داده‌اند که امکان بازسازی شرایط همدیدی جو نیز از طریق نتایج اقلیم‌شناسی درختی امکان‌پذیر است که این امر شناخت بهتر گردش جو در گذر زمان را نیز مهیا می‌سازد.

مطالعات اقلیم‌شناسی درختی قبل از هر چیز نیاز به رویشگاه‌ها و گونه‌های مناسب درختان دارند. رویشگاه‌هایی که بتوانند منعکس‌کننده شرایط آب‌وهوای گذشته منطقه خود باشند، یعنی شرایط اقلیمی منطقه به‌گونه‌ای باشد که سبب ثبت نشانه‌های تفاوت سالیانه آب‌وهوا در حلقه‌های رشد درختان شود. مناطق جنوب شرقی ایران، با وجود دارا بودن رویشگاه‌های مناسب برای مطالعات اقلیم‌شناسی درختی، خصوصاً در ارتفاعات استان کرمان، تاکنون توجه کافی برای انجام مطالعات اقلیم‌شناسی درختی به خود ندیده و این مطالعات در ایران عمدتاً مربوط به رویشگاه‌های زاگرس و پوشش جنگلی شمال کشور است.

یکی از گونه‌های با ارزش در مطالعات اقلیم‌شناسی درختی، به‌واسطه دیر زیستی و تنه چوبی مناسب، درخت ارس است. ارس در استان کرمان پراکنش وسیعی دارد. از جمله می‌توان به مناطقی مانند ارتفاعات غربی راور و ارتفاعات کوه‌بنان، منطقه ده‌بکری و جبال بارز، منطقه دلفارد، منطقه هنزا، منطقه رابر و خیر، منطقه کوه تگر و قنات‌ملک و چندین منطقه دیگر اشاره کرد (کروری، صص ۱۴۲-۱۴۷). از بین رویشگاه‌های مختلف ارس در استان کرمان، رویشگاه ارتفاعات غربی راور که با نام محلی تنگل راور شناخته می‌شود، جهت انجام این پژوهش انتخاب شده است و در مشاهدات میدانی، درختان ارس کهن‌سال و دارای تنه‌های مناسب شناسایی گردیده‌اند. موقعیت جغرافیایی خاص و حضور ارتفاعات، سبب بروز پیچیدگی‌هایی در اقلیم این منطقه شده است، سامانه‌های بارش‌های غربی و جنوب غربی با منشأ رطوبتی مختلف، نفوذ گاه و بی‌گاه موسمی در تابستان، عرض جغرافیایی پایین و تابش بالا و... همه بر روی شکل‌گیری ماهیت اقلیمی منطقه موردنظر تأثیر می‌گذارند.

مطالعات اقلیم‌شناسی درختی در دنیا از سابقه طولانی برخوردار است. در قرن ۱۸ میلادی، کارل فردریک بروکمن^۱ (۱۷۶۱-۱۷۰۹) در قسمت‌های جنوبی و شرقی سوئد ثابت کرد که بین عوامل اقلیمی و رشد حلقه‌های درختی گونه بلوط ارتباط محکمی وجود دارد (Linderholm et al, 2009: 285). جیکوب^۲ و همکاران (۲۰۰۴) در پژوهشی با عنوان بازسازی دمای ۴۰۰ ساله بلوط و رابطه آن با نوسان دهه‌ای اقیانوس آرام، رابطه دمای جزیره کوریل و نوسان دهه‌ای اقیانوس آرام را بررسی کردند. نتایج نشان داد که دمای ثبت‌شده و داده حاصل از حلقه‌های درختی، الگوی همبستگی مشابهی را با داده‌های دمای سطح دریای اقیانوس آرام شمالی نشان می‌دهد. بانتگن^۳ و همکاران (۲۰۱۱) به‌منظور درک تغییرات آب‌وهوایی مرکز اروپا در اواخر دوره هولوسن دمای ۲۵۰۰ سال قبل در منطقه کوه‌های آلپ را بازسازی کردند و دریافتند که دوره مهاجرت در اروپا که در آن نابسامانی‌های سیاسی، اجتماعی و اقتصادی زیادی به وجود آمد، مقارن با نوسان‌های شدید و استثنایی متغیرهای اقلیمی بوده است. همچنین بانتگن و همکاران (۲۰۰۷) در مطالعه دیگری برای درک تغییرات آب‌وهوایی دوره گرم قرون وسطی و عصر یخبندان کوچک اروپا با استفاده از گاه‌شناسی درختان کاج در سوئیس به بازسازی دما در دوره ۷۵۵-۲۰۰۴ میلادی پرداختند. نتایج ایشان شباهت دوره‌های گرم قرن دهم و سیزدهم میلادی را با قرن بیستم نشان می‌دهد.

ویلسون^۴ و همکاران (۲۰۱۷) در مطالعه‌ای گسترده برای اولین بار با استفاده از رگرسیون نقطه‌به‌نقطه با استفاده از نتایج قبلی برای ۱۰۰۰ سال، دمای فصل گرم را در نیمکره شمالی بین عرض‌های ۴۰ تا ۹۰ شمالی را بازسازی کردند. نتایج نشان داد که بیش از ۹۶ درصد نقاط شبکه بازسازی‌شده توسط رگرسیون نقطه‌به‌نقطه ناهنجاری‌های دمایی سال‌های ۱۹۸۸-۱۹۸۹ را به‌خوبی نشان می‌دهد و بیش از ۹۰ درصد از نقاط شبکه در دوره عصر یخبندان کوچک، دما را قدری بالاتر نشان می‌دهند. کوتلیاکوف^۵ و همکاران (۱۹۹۱) با بهره‌گیری از گونه ارس ترکستانی بررسی‌هایی را در مورد تغییرات اقلیم در جنوب شوروی سابق به انجام رساندند. در این بررسی‌ها مشخص شد که از آغاز قرن ۱۱ تا ۱۵ و ۱۶ درختان بر اثر گرم بودن هوا رویش بالایی را از خود نشان داده‌اند در حالی که در قرن ۸ و ۹ به دلیل سرمای هوا کاهش رشد دیده می‌شود. براونینگ^۶ (۱۹۹۴) حلقه‌های رویش ارس را تا ۱۴۰۰ سال پیش برای منطقه شرق تبت مطالعه و با توجه به سایر اطلاعات از جمله اقلیم، نوع سال‌های نمادین را مشخص کرد و دریافت که همواره افت رویش در یک سال مشخص با آغاز سال رویشی جدید بهبود نخواهد یافت و گاه باعث کاهش رشد طی چند سال خواهد شد. کوک^۷ (۱۹۹۹) به بررسی تغییرات درجه حرارت بر حلقه‌های رویش ارس پرداخت. اسپر^۸ و همکاران (۲۰۰۳) کورنولوژی درختان ارس منطقه کاراکوروم را بالغ بر ۱۰۰۰ سال مطالعه کردند. لیو^۹ و همکاران (۲۰۱۱) یک گاه‌شناسی ۵۲۸ ساله از پهنای حلقه‌های سالانه ارس در منطقه جنوبی تبت مرکزی واقع در غرب چین به دست آوردند و به بازسازی داده‌های بارش سالانه (جولای قبل از فصل رشد- ژوئن فصل رشد) در دوره ۱۴۸۰-۲۰۰۸ پرداختند. هه^{۱۰} و همکاران (۲۰۱۱) گاه‌شناسی درخت ارس گونه *Juniperus tibetica Kom* را در جنوب منطقه تبت مرکزی به دست آورده و با استفاده از آن به بازسازی بارش سالانه (ژولای سال قبل رشد تا ژوئن دوره رشد) پرداختند. ایشان با استفاده از تکنیک تحلیل

1 . Carl Fredrik Brookman

2 . Jacoby

3 . Büntgen

4 . Wilson

5 . Kotlyakov

6 . Bräuning

7 . Cook

8 . Esper

9 . Liu

10 . Hai

مؤلفه‌های اصلی نشان دادند که درختان ارس این منطقه بیشتر تحت تأثیر متغیرهای رطوبتی بوده و همبستگی کمتری با دما دارند. اسپر و همکاران (۲۰۱۸) بازسازی دمای نیم‌کره شمالی را برای مناطق خارج از حاره به‌وسیله حلقه‌های درختی از چندین سایت مختلف انجام دادند و دوره گرم در قرون وسطا و کاهش دما در قرن‌های ۱۷ و ۱۹ میلادی را مشخص کردند. شاه^۱ و همکاران (۲۰۱۹) یک گاه‌شماری از پهنای حلقه‌های کاج آبی همالیا (*Pinus wallichiana*) در دره لیدر، کشمیر، به طول ۱۷۵ سال محیا کرده و دمای زمستانه این منطقه را بازسازی کردند. ایشان یک گرمایش ادامه‌دار از اواخر قرن بیستم تا کنون را در بازسازی دما به‌وسیله حلقه‌های درختی مشخص کردند که با سایر داده‌های ضبط‌شده از منطقه همخوانی داشت. دیوی^۲ و همکاران (۲۰۲۱) دمای تابستانی غرب مغولستان (آلتای) را برای ۸ قرن با استفاده کاج اروپایی سیبری بازسازی کردند و بیان داشتند که دهه ۱۹۹۰ میلادی گرم‌ترین تابستان‌ها در طول ۸ قرن گذشته را دارا بوده است، همچنین ایشان هشدار دادند در صورت تداوم روند گرمایش کنونی، تا پایان قرن حاضر متوسط دمای منطقه بین ۳ تا ۶ درجه افزایش خواهد داشت. سونگ^۳ و همکاران (۲۰۲۱) دمای زمستانه ۷۰۰ سال گذشته برای شرق آسیا در چین با استفاده از ۲۶۰ رکورد حلقه‌درختی وابسته به دما، بازسازی کردند و نشان دادند میزان افزایش دمای زمستان بیش از ۶ برای دمای تابستان در قرن اخیر بوده است. همچنین ایشان یک دوره طولانی‌مدت کاهش دما در حدود سال ۱۶۲۵ را پیشنهاد می‌کنند.

در ایران نیز در طول سال‌های گذشته، مطالعه‌هایی در زمینه تأثیر متغیرهای اقلیمی بر روی رشد درختان و بازسازی اقلیم گذشته با استفاده از حلقه‌های درختی انجام شده است. پورسرتیپ (۱۳۸۴) با تحقیقاتی که روی گونه‌های ارس در منطقه مرتفع جنگلی چهارباغ گرگان انجام دادند به این نتیجه دست یافتند که گونه‌های ارس بیشترین حساسیت را نسبت به دمای ماه مارس قبل از فصل رویش دارند. رضانی و شیرزاد (۱۳۸۸) تأثیر عوامل اقلیمی را بر روی دوایر رشد سالانه درختان صنوبر (*Deltoids*) در منطقه صومعه‌سرا بررسی کردند و ارتباط معنی‌داری را بین بارش و دما با رشد این‌گونه نشان دادند. پورطهماسی و همکاران (۱۳۸۸)، تأثیر فاکتورهای اقلیمی را بر رویش گونه‌های درختی ارس و اوری در دو دامنه شمال و جنوب البرز در منطقه چهارباغ گرگان موردبررسی قرار دادند. در این تحقیق رابطه بین پهنای دوایر رویشی درختان با فاکتورهای اقلیمی از جمله درجه حرارت و بارندگی بررسی شد و مشخص گردید که رویش درختان تا میزان زیادی متأثر از تغییرات اقلیمی است. پژوهش دیگری توسط عزیز و همکاران (۱۳۹۱) جهت بررسی درازمدت تغییرات فصلی دمای بیشینه در یال غربی زاگرس میانی در دوره گرم سال طی دوره (۲۰۱۰-۱۷۵۰) انجام شد. نتایج نشان داد که دمای بیشینه در فصل رویشی و فصل قبل از آن بر روی رویش درختان بلوط این منطقه تأثیر منفی دارد. همچنین دمای بیشینه بهار - تابستان در منطقه مورد مطالعه طی دوره بازسازی شده (۲۰۱۰-۱۸۴۰) روند صعودی را نشان می‌دهد. ارسال و عزیز (۱۳۹۲) به بازسازی تغییرات دمای حداکثر استان کرمانشاه با استفاده از حلقه‌های درختی رویشگاه فریادرس پرداختند. نتایج این بازسازی نشان می‌دهد که دمای حداکثر یکی از عوامل محدودکننده رویش درختان در این منطقه است و در فصل رویش درختان بالاترین میزان تأثیر منفی را بر رویش بجای می‌گذارد. همچنین عزیز و همکاران (۱۳۹۱) با استفاده از حلقه‌های درختی دوره‌های خشک و مرطوب ۳ قرن اخیر را برای شهر کرمانشاه بازسازی کردند. زارعان و همکاران (۱۳۹۴) با هدف بازسازی میانگین حداکثر و حداقل دمای سالیانه، از روی پهنای حلقه‌های درختی دو رویشگاه گونه بلوط ایرانی منطقه دنا، تعداد ۴ ایستگاه آب‌سنجی در داخل منطقه انتخاب و میانگین داده‌های ۳۰ ساله (۲۰۱۱-۱۹۸۲) آن‌ها را تجزیه و تحلیل کردند. نتایج گویای آن بود که در مجموع میزان درجه

1 . Shah

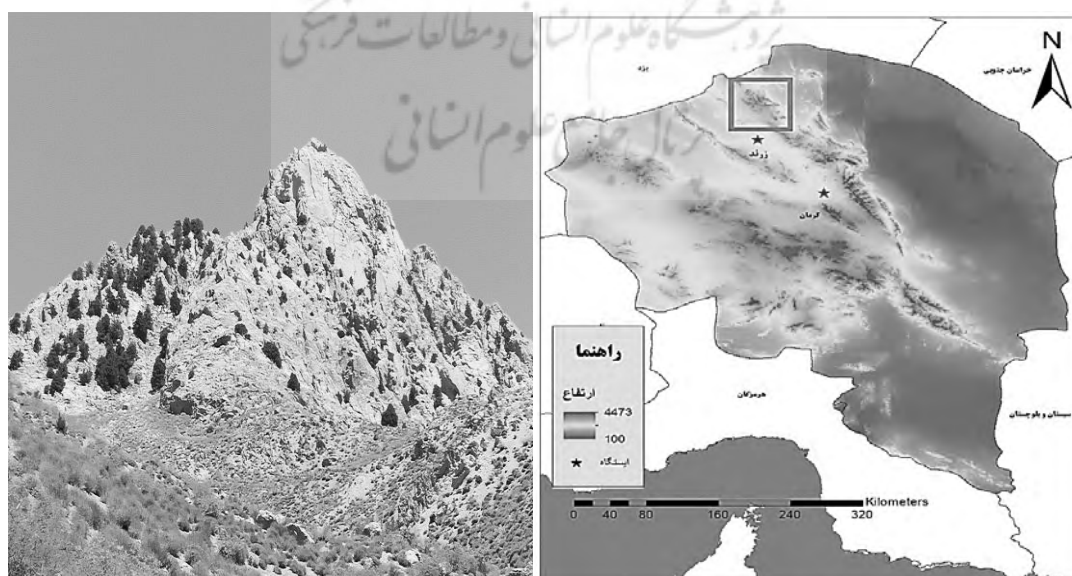
2 . Davi

3 . Song

حرارت در سه دهه اخیر، نسبت به یک قرن قبل از خود روندی افزایشی داشته و این افزایش برای میانگین، میانگین حداکثر و حداقل دما، تقریباً مشابه بوده است و دهه ۲۰۱۱-۲۰۰۰ از بالاترین میزان دما در طول ۱۳۱ سال گذشته برخوردار بوده است. نادى و همکاران (۱۳۹۴) بازسازی دویستساله‌ای از حداکثر دمای منطقه کلیک نوشهر با استفاده از حلقه‌های درختی راش در ارتفاعات نوشهر انجام دادند. تحلیل‌های ایشان نشان داد که کاهش دمای حداکثر در دوره رشد عامل محدودکننده رشد درختان است. در پژوهش حاضر سعی شده است که با استفاده از پهنای حلقه‌های درختی گونه ارس (*Juniperus polycopos*) در ارتفاعات تنگل راور در شمال استان کرمان، دمای گذشته منطقه بازسازی شود تا بامطالعه آن روندهای تغییرات اقلیمی شناسایی شوند.

روش پژوهش

رویشگاه مورد مطالعه این پژوهش در ارتفاعات شمال استان کرمان، بین سه شهرستان راور، زرنند و کوهبنان قرار گرفته است. مختصات آن عرض جغرافیایی ۳۱ درجه ۲۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۶ درجه و ۵۰ دقیقه شرقی است. این ناحیه کوهستانی حدوداً ۴۰ کیلومتر در جهت شرقی- غربی و ۶۰ کیلومتر در جهت شمالی- جنوبی امتداد یافته و بلندترین قله آن (کوه گاو) ۳۵۱۵ متر از سطح دریا ارتفاع دارد. متوسط سالیانه بارش نزدیک‌ترین ایستگاه به منطقه (ایستگاه باران‌سنجی روستای فیض‌آباد راور) ۱۹۰ میلی‌متر و متوسط دمای سالانه (ایستگاه سینوپتیک زرنند) ۲۰ درجه سانتی‌گراد است. درختان ارس (*Juniperus polycopos*)، در قسمت شمالی و شمال شرقی این ارتفاعات به صورت چندین رویشگاه با تراکم بیشتر و تک‌درخت‌های پراکنده در دامنه کوه‌ها دیده می‌شود. بیشترین گسترش درختان ارس در دامنه‌های جنوبی، جنوب غربی و غربی رویشگاه مشاهده می‌شود. در دامنه‌های رو به شرق و شمال تعداد و تراکم درختان بسیار کمتر است. از نظر ارتفاعی در دامنه‌های شمالی و شرقی درختان ارس رویشگاه بیشتر در ارتفاعات بالای ۳۰۰۰ متر و به ندرت در ارتفاع پایین‌تر پراکنده شده‌اند. اما در دامنه‌های رو به جنوب، جنوب غرب و غرب منطقه، درختان ارس از ارتفاع تقریباً ۲۰۰۰ متری به صورت تک‌درخت مشاهده می‌شوند. با توجه به شرایط کوهستانی منطقه، انتخاب درختان برای نمونه‌برداری در این پژوهش به عامل دسترسی به درخت محدود گشت. شکل شماره ۱، موقعیت نسبی رویشگاه‌های منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱. نقشه موقعیت نسبی منطقه مورد مطالعه در شمال استان کرمان و قله کوه گاو در ارتفاعات تنگل راور با ارتفاع ۳۵۱۵ متر از سطح دریا

نمونه‌برداری از بین درختان ارس کهن‌سال، سرپا و سالم که دارای فاکتورهایی نظیر عدم پیچ‌خوردگی تنه، عدم بریدگی، زخم‌خوردگی و سوختگی روی تنه بودند انجام گرفت و به‌صورت گزینشی از تعداد ۹۶ درخت بیش از ۲۰۰ نمونه به‌وسیله مته رویش سنج با قطر ۵/۵ میلی‌متر برداشت شد، بعد از استخراج هر نمونه، حفره ایجادشده در تنه درخت با استفاده از چسب باغبانی مسدود گردید تا از آسیب رسیدن به درخت جلوگیری شود. نمونه‌های برداشت‌شده بر روی نگه‌دارنده‌های چوبی جهت انتقال به آزمایشگاه تثبیت شدند. سپس در معرض هوای آزاد قرار گرفتند تا با دمای محیط خشک‌شده و از کپک زدن احتمالی آن‌ها جلوگیری شود. بعد از خشک شدن نمونه‌ها، ابتدا به‌وسیله تیغ به‌اندازه یک میلی‌متر سطوح آن‌ها برش و سپس با استفاده از سنباده نرم صیقل داده شدند.

شمارش حلقه‌ها و اندازه‌گیری پهنای آن‌ها به‌وسیله میز کار LINTAB و نرم‌افزار TSAPWin در آزمایشگاه آناتومی چوب گروه علوم و مهندسی صنایع چوب و کاغذ دانشگاه تهران انجام شد. شمارش حلقه‌ها از سمت پوست به مغز با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر انجام گرفت. از آنجاکه گونه ارس خصوصاً در مناطق خشک حلقه‌های کاذب زیادی تولید می‌کند، اندازه‌گیری و شمارش برای هر مغزه ۲ بار و بیشتر انجام گرفت تا اطمینان بیشتری حاصل گردد. پس از اتمام اندازه‌گیری، جهت آشکار شدن کیفیت نمونه و قابلیت استفاده از آن در مطالعات گاه‌شناسی هر دو مغزه برداشت‌شده از یک درخت به‌وسیله نرم‌افزار TSAPWin با یکدیگر تطابق زمانی داده شدند. برای این منظور از آماره‌های 'GLK، CDI^2 و GSL^2 و CC^4 استفاده شد. GLK یا ضرایب درصد تطابق واریانس‌ها، معیاری کلی از شباهت بین دو سری زمانی اندازه‌گیری شده است و هرچه مقدار آن به ۱۰۰ نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده تطابق بیشتر دو نمونه خواهد بود. به‌طورکلی با توجه به گونه درختی، مقادیر ۶۰ یا ۷۰ GLK برای تطابق قابل قبول در نظر گرفته می‌شوند. GSL بیانگر سطح معناداری GLK است. CDI یا شاخص تطابق زمانی، شاخصی از دو سری زمانی تطبیق داده‌شده با یکدیگر است. این شاخص از مقادیر GLK و آماره t-value برای تعیین کیفیت سری حاصل از گاه‌شماری‌ها به دست می‌آید. درصد CC از تشابه همبستگی استاندارد بین دو نمونه به دست می‌آید. در مجموع بالا بودن یک آماره به‌تنهایی یا پایین بودن آماره‌های دیگر نشان از مناسب بودن یا نبودن تطابق زمانی ۲ مغزه از یک درخت ندارد و باید همه آماره‌ها در کنار هم سنجیده شود. روابط آماره‌های ذکرشده بدین شرح است (بالاپور و محمداف، ۱۳۹۳). (رابطه ۱)

$$Glk = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |G_{ix} + G_{iy}| \quad \text{رابطه ۱}$$

در اینجا G_{ix} و G_{iy} به ترتیب اختلاف بین مقادیر عرض حلقه‌های رویشی در سال i نسبت به سال قبل خود در نمودار X و Y می‌باشد. در این روابط n تعداد نقاط است. رابطه ۲ نیز سطح معنی‌داری GLK را نشان می‌دهد.

$$* = 95\% \quad 50 + \frac{\frac{1}{654} * 50}{\sqrt{n}} \quad \text{رابطه ۲}$$

$$** = 99\% \quad 50 + \frac{\frac{2}{326} * 50}{\sqrt{n}}$$

$$*** = 99.9\% \quad 50 + \frac{\frac{3}{99} * 50}{\sqrt{n}}$$

$$CDI = \frac{(G - 50 + 50 * \sqrt{\frac{Overlap}{Maxoverlap}}) * T}{10}$$

که در اینجا G مجموع Glk و SGlk و T میانگین t-value است (رابطه ۳).

$$CC = \frac{\Sigma(s_i - s) * (r_i - r)}{\sqrt{\Sigma(s_i - s)^2 * \Sigma(r_i - r)^2}} \quad \text{رابطه ۳}$$

$$t = \frac{CC * \sqrt{n-2}}{\sqrt{(1-cc)^2}}$$

- 1 . Gleichlaufigkeit
- 2 . Cross Date Index
- 3 . Significance for the Glk
- 4 . Cross correlation

که در اینجا Γ همبستگی کلی و Γ_i همبستگی هر سری رویشی است.

رویش سالیانه حلقه‌های هر درخت، علاوه بر آب‌وهوا، تحت تأثیر فاکتورهایی نظیر سن درخت و عوامل غیر آب‌وهوایی قرار می‌گیرد. به‌طور معمول برای حذف این گرایش‌های غیر اقلیمی و استاندارد کردن سری‌های زمانی از نرم‌افزار ARSTAN استفاده می‌شود (Cook & Holmes, 1999). ARSTAN یک برنامه استانداردسازی حلقه‌های رویشی درختان، برای مدل کردن سری‌های زمانی بر اساس حذف گرایش‌ها و خود رگرسیون است. پس از بررسی منحنی‌های رشد هر کدام از درخت‌ها، به‌منظور بررسی فاکتورهای اقلیمی موثر بر رویش درختان ارس منطقه و امکان انجام بازسازی‌های اقلیمی موردنیاز، اقدام به تهیه گاه‌شناسی استاندارد شده برای رویشگاه شد. این عمل به معنی به دست آوردن میانگین استاندارد شده پهنای دوایر رویشی درختان یک رویشگاه بوده که تابعی از زمان است. برای تشکیل این گاه‌شماری، نمونه‌های رویشی هر درخت و تمامی درختان هر رویشگاه باید با یکدیگر مقایسه و عمل تطابق زمانی (تاریخ‌گذاری تطبیقی) بین آن‌ها انجام شود. برای این منظور گاه‌شناسی رویشگاه‌ها در نرم‌افزار TSAP ساخته شد و تطابق زمانی آن‌ها با استفاده از آماره‌های GLK و Tv موردسنجش قرار گرفت.

گاه‌شناسی ساخته شده در نرم‌افزار ARSTAN ابتدا با توجه به الگو و طول منحنی‌های رشد روند زدایی شد. برای روند زدایی و در نهایت استانداردسازی منحنی‌ها از ۳ روش منحنی نمایی منفی^۱، تابع رشد هاگرشاف^۲ و منحنی برازش سه‌جمله‌ای^۳ استفاده شد. مقایسه بین این سه روش بهترین نتیجه را در استفاده از منحنی نمایی منفی همراه با میانگین‌گیری از منحنی‌های رویشی با روش BiweightRobust برای روند زدایی نشان داد. نتایج ۳ گاه‌شناسی استاندارد، آرستان و باقی‌مانده و همچنین گاه‌شناسی داده‌های خام (res, ars, std, raw) در همبستگی با سری‌های اقلیمی سنجیده شد و بررسی‌ها نشان داد گاه‌شناسی RESIDUAL یا باقی‌مانده با داده‌های دما، بالاترین همبستگی را با داده‌های اقلیمی مختلف دارد. در مرحله بعد، کیفیت گاه‌شناسی‌های ساخته شده با استفاده از آماره‌های میانگین همبستگی بین همه درختان هر رویشگاه (Rbt) درصد سیگنال تجمعی (EPS)، نسبت سیگنال به خطا یا ناهنجاری (SNR)، میانگین حساسیت حلقه‌ها (MS) و خودهمبستگی بین حلقه‌ها (AC1) سنجیده شد. بررسی ارتباط بین داده‌های اقلیمی و گاه‌شناسی پهنای حلقه‌ها با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون و همچنین بازسازی دما با استفاده از رگرسیون خطی انجام گرفت.

میانگین حساسیت یک نمونه در واقع سنجشی است از تفاوت نسبی در پهنای بین دو حلقه مجاور. هرچه میزان حساسیت بالاتر باشد نشان‌دهنده اهمیت گاه‌شناسی تهیه شده در مطالعات اقلیم‌شناسی درختی و حساسیت گونه موردنظر نسبت به متغیرهای اقلیمی است. به‌منظور نشان دادن میزان نوسانات رویشی در درختان از ضریب و میانگین حساسیت استفاده می‌شود. هر چه عوامل محدودکننده رشد درختان بیشتر باشد، نوسانات بیشتری در حلقه‌های رویشی درختان مشاهده می‌شود. ضریب حساسیت (S_i) میزان تغییر در پهنای دوایر سالانه را در سال i و میانگین حساسیت (ms_i) میزان تغییر پهنای دوایر سالانه در طول سری زمانی را بیان می‌کند (فریتز، ۱۹۷۶). رابطه ۴ این ضرایب به شرح زیر می‌باشد:

$$S_i = \frac{2(x_i - x_{i-1})}{x_i + x_{i-1}} \quad \text{رابطه ۴}$$

$$ms_i = \frac{1}{n-1} \sum_{t=1}^{t=n-1} \left| \frac{2(x_t - x_{t-1})}{x_t + x_{t-1}} \right|$$

1 . Negative Exponential Curve

2 . Hegershoff growth function

3 . Cubic Smoothing Spline

X_i پهنای حلقه در سال i ، X_{i-1} پهنای حلقه در سال $i-1$ و n تعداد حلقه‌های رویشی را بیان می‌کند. در آزمایش اطمینان گاه‌شناسی و قابل‌استفاده بودن یا نبودن آن در آنالیزهای اقلیم‌شناسی درختی، از سیگنال تجمعی برای تعیین سیگنال معرف جمعیت آماری استفاده می‌شود. بالا بودن نسبت سیگنال تجمعی گویای این است که تعداد نمونه‌های استخراج‌شده برای مطالعه اقلیم‌شناسی درختی منطقه کافی است. برای استفاده از یک گاه‌شناسی در بازسازی اقلیمی، حد قراردادی قابل قبول EPS ۰/۷۵ است اما در مقادیر پایین‌تر نیز می‌توان برای کارهایی مانند مقایسه سری‌های اقلیمی یا باستان‌شناسی استفاده کرد. این آماره در رابطه ۵ بیان شده است:

$$EPS(t) = \frac{tr_{bt}}{tr_{bt} + (1 - r_{bt})} \quad (\text{رابطه ۵})$$

در این فرمول EPS سیگنال معرف جمعیت آماری، t تعداد گاه‌شناسی‌های انفرادی تشکیل‌دهنده گاه‌شناسی میانگین و Γ_{bt} میانگین ضرایب همبستگی بین تک‌تک گاه‌شناسی‌های تشکیل‌دهنده گاه‌شناسی میانگین است. اگر نمونه‌های برداشت‌شده از درخت یک عدد باشد، آن موقع از فرمول بالا استفاده می‌کنند. ولی در حالت عادی از هر درخت دو نمونه برداشت می‌شود، در این وضعیت به جای Γ_{bt} از Γ_{eft} استفاده می‌شود. ضریب همبستگی مؤثر بوده که با فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$r_{eff} = \frac{r_{bt}}{r_{bt} + (1 - r_{bt})} \quad (\text{رابطه ۶})$$

در این رابطه Γ_{vt} میانگین ضرایب همبستگی بین نمونه‌های هر درخت است. در این فرمول محاسبه C_{eft} با فرمول زیر انجام می‌گیرد:

$$\frac{1}{c_{eff}} = \frac{1}{t} \sum_{i=1}^t \frac{1}{c_i} \quad (\text{رابطه ۷})$$

در این رابطه t تعداد درخت، C نیز تعداد نمونه‌های رویشی در درخت i است. نرخ سیگنال به ناهنجاری (SNR)، روشی است بر اساس تعداد گاه‌شناسی حلقه‌های رویشی و ضرایب همبستگی میانگین بین این گاه‌شناسی‌ها، این نسبت میزان تأثیرپذیری از عوامل مؤثر مشابه را مطرح می‌کند. هرچه نسبت سیگنال (متغیرهای اقلیمی) به اغتشاش (عوامل مزاحم و غیر اقلیمی) در یک گاه‌شماری بیشتر باشد، ارزش مطالعه اقلیم‌شناسی درختی بیشتری دارد و نتایج بازسازی متغیرهای اقلیمی از اعتبار بالاتری برخوردار است. در پژوهش‌های اقلیم‌شناسی درختی، بالا بودن این مقدار، بیانگر کافی بودن تعداد نمونه و ضرایب همبستگی بالا بین درختان بوده و بدین ترتیب بررسی هرچه بهتر اثرات اقلیمی را ممکن می‌کند. رابطه SNR به این شرح است:

$$SNR = t \frac{|r_{bt}|}{1 - |r_{bt}|} \quad (\text{رابطه ۸})$$

SNR نسبت سیگنال به ناهنجاری t تعداد درخت و Γ_{bt} میانگین ضرایب همبستگی بین درختان است. خودهمبستگی نیز میزان همبستگی بین یک حلقه سالانه نسبت به حلقه قبل از خود در یک نمونه رویشی را نشان می‌دهد. هرچه این همبستگی درونی بیشتر باشد، نشان می‌دهد که حلقه‌ها به یکدیگر وابستگی بیشتری دارند و استقلال داده‌ها کمتر است. مقادیر کمتر، عدم وابستگی بین حلقه‌ها را نشان می‌دهد. در مباحث آماری هرچه این ضریب کمتر باشد، دقت نتایج بهتر خواهد بود. در محیط اکسل اگر حلقه‌های یک نمونه درختی را در یک ستون قرار داده و همان حلقه‌ها را با یک حلقه تأخیر در ستون کنار آن قرار دهیم و همبستگی آن‌ها را محاسبه شود، مقدار میانگین خودهمبستگی آن نمونه به دست می‌آید. این کار را باید برای تمام نمونه‌های یک رویشگاه انجام داد و برای هر رویشگاه یک میانگین را به دست آورد (بالاپور و محمداف، ۱۳۹۳: ۹۶)

یافته‌ها و بحث

پس از نمونه‌برداری و آماده‌سازی نمونه‌ها، شمارش و اندازه‌گیری پهنای حلقه‌های دو نمونه از هر درخت انجام شد، بیشترین تعداد حلقه‌های شمارش شده ۶۸۰ حلقه یا در واقع ۶۸۰ سال مربوط به درخت. باین‌حال به دلیل وجود تنها یک درخت با سن بیش از ۵۰۰ سال، بای جلوگیری از بالا رفتن واریانس، طول گاه‌شناسی ساخته‌شده به ۵۰۰ سلا محدود گشت. ت شماره ۸۸ و کمترین دوره اندازه‌گیری شده نیز ۶۳ سال (درخت شماره ۹) استیمیانگین سن برای تمام درختان اندازه‌گیری شده ۲۱۸ سال را نشان می‌دهد. ارتفاع پایه برای مرتفع‌ترین درخت اندازه‌گیری شده از سطح دریا در رویشگاه بیدشیخ برابر با ۳۱۸۵ متر (درخت شماره ۸۶) و کم‌ترین آن ۲۰۰۷ متر (درخت شماره ۶۳) است و اخلاف ارتفاعی در حدود ۱۱۸۰ متر بین درختان نمونه‌برداری شده مشاهده می‌شود.

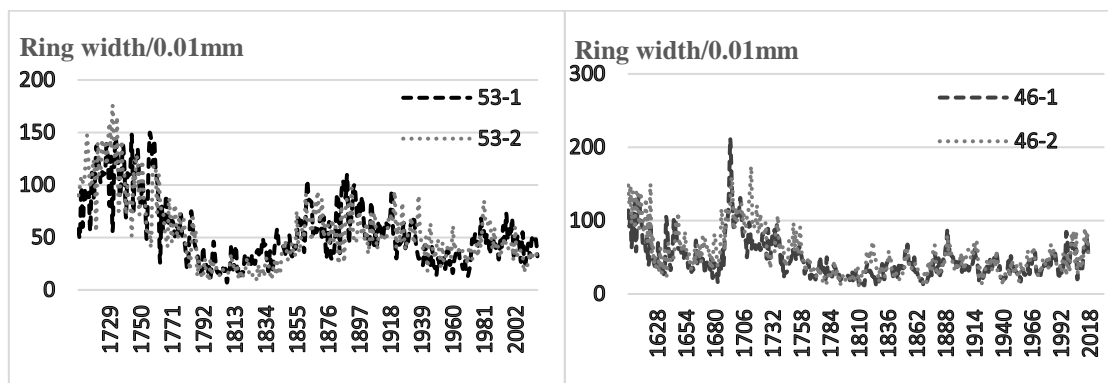
در مرحله بعد برای ساخت منحنی رویش، با استفاده از نرم‌افزار TSAPwin تطابق دو نمونه از هر درخت سنجیده شد. جدول شماره ۱، نتایج آماره‌های GLK، GLS، CC، CDI، TV و را برای هر درخت نشان می‌دهد.

جدول ۱. نتایج تطابق زمانی بین ۲ نمونه از هر درخت (GLK: ضرایب درصد تطابق واریانس‌ها، GSL: بیانگر سطح معناداری GLK، CC: درصد یا میزان تشابه همبستگی استاندارد بین دو نمونه CDI: شاخص تطابق زمانی، TV: t-value)

شماره درخت	تعداد حلقه	GLK	GLS	CC	TV	CDI	شماره درخت	تعداد حلقه	GLK	GLS	CC	TV	CDI
۱	۱۸۶	۶۸	***	۳۲	۴/۳	۵۵	۴۹	۲۳۳	۷۸	***	۸۴	۲۱/۴	۱۵۴
۲	۲۰۹	۶۴	***	۲۷	۹/۴	۲۲	۵۰	۲۱۹	۶۲	***	۸۳	۲۱/۸	۲۵
۳	۷۵	۹۲	***	۹۷	۲۵/۲	۱۲۶	۵۱	۲۴۹	۶۳	***	۲۷	۳	۱۳
۴	۹۳	۸۳	***	۲۴	۷/۱	۶۷	۵۲	۲۹۹	۷۹	***	۹۲	۴۰/۳	۱۶۷
۵	۲۸۱	۶۸	***	۷۸	۲۰/۵	۴۸	۵۳	۳۳۵	۶۹	***	۵۲	۱۰/۱	۱۵
۶	۲۶۲	۷۰	***	۸۰	۲۰/۹	۶۴	۵۴	۱۵۴	۶۷	***	۶۹	۱۰/۷	۲۳
۷	۲۷۸	۷۹	***	۸۹	۲۹/۴	۱۱۸	۵۵	۳۰۰	۷۴	***	۶۹	۱۴/۳	۸۹
۸	۲۳۹	۶۴	***	۲۴	۲/۹	۲۴	۵۶	۱۶۶	۷۹	***	۸۶	۱۹/۶	۹۳
۹	۶۳	۸۱	***	۷۲	۷	۵۴	۵۷	۲۹۹	۶۹	***	۸۵	۱۷/۹	۵۵
۱۰	۷۱	۸۷	***	۹۲	۱۸/۵	۸۶	۵۸	۱۲۵	۷۱	***	۶۴	۷/۸	۲۳
۱۱	۱۸۷	۷۹	***	۸۶	۲۰/۹	۹۹	۵۹	۱۶۲	۶۴	***	۷۹	۱۶/۴	۲۵
۱۲	۲۲۳	۷۲	***	۸۳	۱۹/۱	۵۸	۶۰	۲۴۸	۷۸	***	۹۰	۳۳/۱	۱۴۳
۱۳	۱۶۶	۸۴	***	۴۸	۱۹/۵	۱۴۷	۶۱	۲۳۰	۸۱	***	۲۶	۳/۶	۲۰
۱۴	۲۲۰	۷۱	***	۷۱	۱۴/۹	۶۲	۶۲	۸۱	۷۲	***	۶۶	۷/۸	۶۵
۱۵	۲۴۰	۶۹	***	۶۵	۱۲	۶۲	۶۳	۴۳۲	۶۰	***	۳۶	۷/۶	۲۷
۱۶	۲۲۳	۶۸	***	۹۲	۳۵/۴	۵۲	۶۴	۱۳۱	۶۷	***	۵۴	۷/۲	۲۷
۱۷	۱۲۸	۷۷	***	۴۳	۹/۴	۸۳	۶۵	۷۳	۶۸	**	۲۴	۱/۶	۱۷
۱۸	۱۶۴	۷۹	***	۹	۲۹/۸	۹۷	۶۶	۱۰۴	۶۸	***	۳۲	۲/۸	۲۷
۱۹	۱۹۱	۷۲	***	۷۲	۱۰/۷	۳۱	۶۷	۲۲۰	۶۰	**	۲۳	۳/۵	۲۱
۲۰	۱۶۷	۶۶	***	۸۶	۱۹/۶	۳۰	۶۸	۱۸۷	۷۲	***	۶۱	۱۰/۳	۴۹
۲۱	۱۷۰	۶۳	***	۶۳	۱۰/۲	۲۷	۶۹	۲۰۳	۷۵	***	۵۲	۷/۲	۵۲
۲۲	۲۴۷	۷۳	***	۵۰	۸/۷	۹۴	۷۰	۳۶۵	۶۷	***	۵۳	۱۰/۴	۲۴
۲۳	۲۷۳	۶۴	***	۵۴	۹/۱	۴۲	۷۱	۳۱۵	۶۰	**	۳۸	۷/۱	۱۵
۲۴	۱۵۷	۶۶	***	۳۳	۴/۱	۴۰	۷۲	۱۰۸	۷۲	***	۷۶	۸/۲	۴۸
۲۵	۴۴	۷۵	***	۶۸	۶	۶۹	۷۳	۱۴۸	۷۰	**	۵۶	۴/۵	۱۳
۲۶	۱۸۴	۷۵	***	۵۹	۹	۹۲	۷۴	۱۹۱	۷۴	***	۹۰	۲۶/۶	۱۰۲
۲۷	۱۷۷	۷۴	***	۷۰	۱۲/۴	۷۴	۷۵	۳۲۲	۶۵	**	۱۹	۵/۸	۱۴
۲۸	۶۹	۸۲	***	۹۱	۱۵/۸	۹۹	۷۶	۱۲۹	۶۹	***	۳۹	۱۴/۵	۲۸
۲۹	۱۲۹	۸۲	***	۹۰	۲۳/۹	۷۹	۷۷	۱۰۱	۷۰	***	۴۶	۲۴/۶	۴۱
۳۰	۱۳۲	۶۸	**	۵۷	۴/۸	۱۹	۷۸	۱۳۴	۷۳	***	۶۷	۷/۳	۵۲
۳۱	۱۴۸	۷۱	**	۵۶	۷/۸	۲۴	۷۹	۱۹۴	۷۹	***	۸۰	۱۸	۱۳۰
۳۲	۱۳۰	۶۶	**	۱۸	۲	۲۳	۸۰	۳۱۱	۷۳	***	۷۶	۱۹/۹	۳۷
۳۳	۲۳۵	۷۰	***	۸۵	۲۴/۱	۸۲	۸۱	۳۳۶	۷۳	***	۹۰	۱۳/۵	۹۳

CDI	TV	CC	GLS	GLK	تعداد درخت	شماره حلقه	CDI	TV	CC	GLS	GLK	تعداد حلقه	شماره درخت
۱۱۰	۳۲/۵	۸۸	***	۷۷	۳۳۱	۸۲	۲۹	۶/۵	۶۰	***	۷۳	۹۶	۳۴
۱۳۵	۴۰/۸	۹۴	***	۷۴	۲۲۴	۸۳	۶۶	۹/۲	۶۴	***	۸۱	۱۵۲	۳۵
۱۶	۹/۲	۲۹	**	۶۶	۲۹۰	۸۴	۱۷	۱/۹	۱۲	***	۶۳	۴۵۴	۳۶
۳۹	۲۹/۹	۶۵	***	۷۰	۱۷۹	۸۵	۱۵۷	۳۳	۹۴	***	۸۱	۱۴۲	۳۷
۱۹	۶/۹	۲۰	**	۶۳	۵۰۹	۸۶	۳۱	۹/۲	۵۹	***	۶۴	۱۸۵	۳۸
۲۶	۱۵/۵	۴۱	***	۶۸	۳۴۴	۸۷	۷۰	۲۰/۴	۸۸	***	۷۹	۱۵۹	۳۹
۱۶	۱۱/۵	۲۱	**	۶۳	۶۸۰	۸۸	۶۲	۷/۹	۶۱	***	۷۸	۱۲۶	۴۰
۳۹	۳۰/۵	۶۶	***	۷۰	۲۰۷	۸۹	۹۳	۲۹/۸	۹۳	***	۸۳	۱۵۲	۴۱
۳۷	۱۵/۴	۶۷	***	۶۴	۲۹۵	۹۰	۱۴۲	۸/۲	۶۶	***	۸۶	۹۱	۴۲
۳۵	۲۲	۷۱	***	۶۹	۳۰۹	۹۱	۹۹	۲۵/۴	۸۹	***	۷۵	۱۷۶	۴۳
۵۵	۱۹	۸۲	***	۷۳	۲۳۰	۹۲	۷۰	۱۵/۶	۸۶	***	۸۲	۹۲	۴۴
۳۱	۱۹	۶۱	***	۶۸	۳۶۰	۹۳	۸۸	۳	۲۳	***	۷۲	۱۹۹	۴۵
۲۹	۱۷/۵	۵۴	***	۶۷	۴۳۰	۹۴	۲۵	۲۳/۹	۷۶	***	۶۲	۴۲۹	۴۶
۹۰	۲۸	۸۴	***	۷۷	۲۲۰	۹۵	۵۵	۲۷/۳	۷۹	***	۶۶	۴۷۰	۴۷
۱۷	۱۲/۵	۲۰	***	۷۰	۳۰۵	۹۶	۲۵	۹	۵۴	***	۶۶	۲۱۷	۴۸

همان‌طور که جدول ۱ نشان می‌دهد، آماره GLK برای ۴۰ درخت بین ۶۰ تا ۶۹، برای ۴۳ درخت بین ۷۰ تا ۷۹ و برای ۱۳ درخت ۸۰ و بالاتر به دست آمد. آماره GLK رابطه معکوسی با تعداد حلقه‌های شمارش شده یا به عبارتی طول گاه‌شماری به دست آمده و سن درخت دارد. این آماره برای درختان مسن در سطح پایین‌تری قرار می‌گیرد. با اندازه‌گیری و شمارش مجدد، شناسایی و اصلاح حلقه‌های گمشده و کاذب، این آماره در نهایت برای اکثریت درختان نمونه‌برداری شده به سطح قابل قبولی رسید. آماره GLK برای ۸۵ درخت در سطح ۹۹/۹۹ درصد معنی‌دار (GLS) بوده و برای ۱۱ درخت، معنی‌داری در سطح ۹۹ درصد را نشان می‌دهد. بررسی آماره CC نشان می‌دهد، از بین تمامی نمونه‌ها، تعداد ۲۴ درخت زیر ۵۰ درصد و ۷۲ درخت بالای ۵۰ درصد تشابه بین دو مغزه برداشت شده دارند. بنابراین ۷۵ درصد درختان تشابه خوبی بین دو نمونه خود داشتند. آماره CDI نیز برای ۴۸ درخت زیر ۵۰ و برای ۴۸ درخت نیز مقادیر بالای ۵۰ را نشان می‌دهد و هیچ‌کدام از درختان زیر ۱۰ یا حد قابل قبول در نرم‌افزار TSAP قرار نگرفتند. مقادیر آماره TV نیز به جز ۶ درخت برای مابقی درختان ارقام بالاتر از ۳ یا حد قابل قبول در نرم‌افزار را نشان می‌دهد. در مجموع اکثریت درختان ارسی که در چهار رویشگاه از آن‌ها نمونه‌برداری انجام شد، در شرایط قابل قبول و خوبی از نظر تشابه دو نمونه قرار دارند. پس بررسی آماری، کیفیت انطباق نمونه‌ها به صورت بصری نیز انجام گرفت. شکل ۲، منحنی‌های رویش دو نمونه از برخی درختان در هر کدام از رویشگاه‌ها را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این نمودارها پیداست، دو نمونه از یک درخت کاملاً بر هم منطبق نیستند، اما روندی یکسان دارند. این اختلاف عمدتاً ناشی از تفاوت در شکل هندسی تنه درخت و حالت برون مرکزی بودن تنه و همچنین وجود حلقه‌های کاذب و ناقص در نمونه‌ها است. با استفاده از دو نمونه از هر درخت در ساخت منحنی رویش، این عوامل تا حدودی حذف شدند.

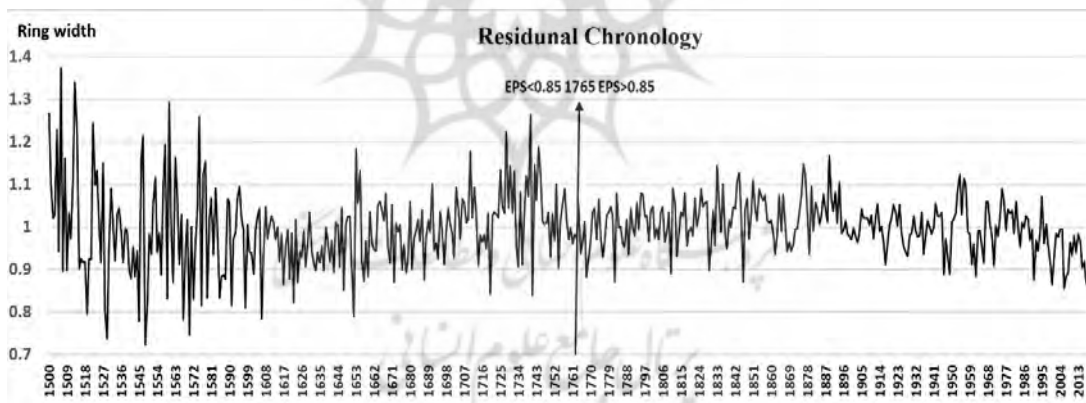


شکل ۲. منحنی‌های رویش دو نمونه از درختان ارس (شماره ۴۶ و ۵۳) در رویشگاه تنگل راور

پس از بررسی کیفیت منحنی‌های رشد، برای بررسی فاکتورهای اقلیمی موثر بر رویش درختان ارس منطقه و امکان انجام بازسازی‌های اقلیمی موردنیاز، گاه‌شناسی متوسط رویشگاه در نرم‌افزار TSAPWin ساخته شد و تطابق زمانی آن نیز با استفاده از آماره‌های GLK و TV موردسنجش قرار گرفت. به دلیل زیاد بودن تعداد نمونه‌ها و حجیم شدن جدول ماتریس همبستگی سری‌های زمانی پس از تطابق، در جدول ۲ بخش کوچکی از این ماتریس نشان داده شده است. طبق استاندارد و ضوابط نرم‌افزار TSAPWin مقادیر قابل‌قبول از آماره‌های GLK و TV برای قرارگیری هر درخت در گاه‌شناسی ساخته شده، به ترتیب GLK بالای ۶۰ با ضریب اطمینان ۹۹ درصد (***) و TV بالای ۳ است. از بین ۹۶ درخت استفاده شده در ساخت گاه‌شماری متوسط، تنها چند مورد مقادیر کمتر از این میزان را داشتند که از گاه‌شماری نهایی حذف شدند.

جدول ۲. بخشی از ماتریس ایجادشده از آماره‌های GLK، GLS و TV برای ساخت گاه‌شناسی پهنای حلقه‌های سالیانه در منطقه مورد مطالعه

شماره درخت	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲
۱۲	۱۰۰***	۶۳**۶/۵	۷۲**۵	۷۶***۴/۱	۶۹**۴/۶	۶۶***۶/۴	۶۵***۳/۹	۷۰**۳/۵	۶۴***۸/۶	۶۵**۵/۶	۷۳***۵/۳
۱۳	۶۳**۶/۵	۱۰۰***	۷۴***۳/۴	۷۶***۹/۸	۶۹**۲/۶	۷۲***۴/۹	۶۷**۴/۳	۶۴**۳/۴	۷۴***۵/۱	۷۶***۳/۴	۷۳***۷
۱۴	۷۲**۵	۷۴***۳/۴	۱۰۰***	۷۶***۳/۳	۶۶**۵/۵	۶۹**۳/۷	۶۹***۵/۵	۶۷***۳	۷۳**۳	۷۱***۴/۵	۷۳**۳/۴
۱۵	۷۶***۴/۱	۷۶***۹/۸	۷۴***۳/۳	۱۰۰***	۶۷**۴/۱	۷۳**۶/۱	۶۴**۴/۳	۶۶**۴/۳	۶۸***۷/۸	۶۸**۳/۲	۶۸**۵/۸
۱۶	۶۹**۴/۶	۶۹**۲/۶	۶۶**۵/۵	۶۷**۴/۱	۱۰۰***	۶۹**۳/۲	۷۷**۳/۴	۶۸**۳/۷	۶۱**۳/۲	۷۱**۳/۲	۶۱**۵/۳
۱۷	۶۶***۶/۴	۷۲***۴/۹	۷۲**۳/۷	۷۳**۶/۱	۶۹**۳/۲	۱۰۰***	۷۳**۳/۵	۶۶**۵/۴	۷۳***۴/۶	۷۳***۴/۶	۶۶**۵/۲
۱۸	۶۵***۳/۹	۶۷**۴/۳	۶۹***۵/۵	۶۴**۴/۳	۷۷**۳/۴	۷۳**۳/۵	۱۰۰***	۶۸**۷/۵	۸۰***۹/۴	۷۴***۵/۳	۷۰**۵/۳
۱۹	۷۰**۳/۵	۶۴**۳/۴	۶۷***۳	۶۶**۴/۳	۶۸**۳/۷	۶۶**۵/۴	۶۸**۷/۵	۱۰۰***	۷۱**۳/۸	۶۸**۶/۹	۶۸**۵/۷
۲۰	۶۴***۸/۶	۷۴**۵/۱	۷۳**۳	۷۴***۷/۸	۶۸**۳/۲	۶۵***۴	۸۰***۹/۴	۷۱**۳/۸	۱۰۰***	۶۷**۱۰/۶	۶۸**۷/۴
۲۱	۶۵**۵/۶	۷۶***۳/۴	۷۶**۴/۵	۶۸**۳/۲	۷۱**۳/۲	۷۳***۴/۶	۶۹***۵/۸	۶۸**۶/۹	۶۷**۱۰/۶	۱۰۰***	۷۴***۷/۲
۲۲	۷۳***۵/۳	۷۳***۷	۷۲**۳/۴	۶۸**۵/۸	۶۱**۵/۳	۶۶***۵/۲	۷۰***۵/۳	۶۸***۵/۷	۶۸**۷/۴	۷۴***۷/۲	۱۰۰***



شکل ۳. گاه‌شناسی باقی‌مانده (Residual) منطقه تنگل راور با استفاده از نمونه‌های ۹۶ درخت، EPS: ۰٫۸۶، با دوره اطمینان ۲۵۲ سال

کیفیت گاه‌شناسی متوسط ساخته شده با استفاده از آماره‌های میانگین همبستگی بین همه درختان هر رویشگاه (Rbt) درصد سیگنال تجمعی (EPS)، نسبت سیگنال به خطا یا ناهنجاری (SNR)، میانگین حساسیت حلقه‌ها (MS) و خودهمبستگی بین حلقه‌ها (AC1) در نرم‌افزار ARSTAN سنجیده شد. در این میان شاخص EPS برای آزمایش اطمینان گاه‌شناسی و قابل استفاده بودن یا نبودن آن در آنالیزهای اقلیم‌شناسی درختی اهمیت زیادی دارد. زیرا این شاخص ضمن برآورد کفایت تعداد درختان در گاه‌شناسی ایجادشده، دوره زمانی قابل اطمینان برای انجام بازسازی اقلیمی هر گاه‌شناسی را مشخص می‌کند. سطح قابل قبول شاخص EPS ۰/۸۵ بوده و در خروجی نرم‌افزار ARSTAN این دوره زمانی قابل اطمینان با نشان دادن اولین سال با EPS بالای ۰/۸۵ قابل مشاهده است. هرچه نسبت سیگنال (متغیرهای

اقليمی) به اغتشاش (عوامل مزاحم و غير اقليمی) در يك گاه‌شماری بيشتر باشد، يا به عبارتی (SNR) بالاتر باشد (بين ۰ تا ۱۰۰)، ارزش مطالعه اقليم‌شناسی درختی بيشتری دارد و نتايج بازسازی متغيرهای اقليمی از اعتبار بالاتری برخوردار است. میانگین حساسیت يك نمونه (MS) تفاوت نسبی در پهنای بين دو حلقه مجاور را نشان می‌دهد. هرچه میزان حساسیت بالاتر باشد (بين ۰ تا ۱) نشان‌دهنده اهمیت گاه‌شناسی تهیه‌شده در مطالعات اقليم‌شناسی درختی و حساسیت گونه موردنظر نسبت به متغيرهای اقليمی است. خودهمبستگی (AC) نیز میزان همبستگی بين يك حلقه سالیانه نسبت به حلقه قبل از خود در يك نمونه رويشی را نشان می‌دهد. هرچه این همبستگی درونی بيشتر باشد (بين ۰ تا ۱)، نشان می‌دهد که حلقه‌ها به يکديگر وابستگی بيشتری دارند و استقلال داده‌ها کمتر است. مقادير کمتر، عدم وابستگی بين حلقه‌ها را نشان می‌دهد. در مباحث آماری هرچه این ضريب کمتر باشد، دقت نتايج بهتر خواهد بود.

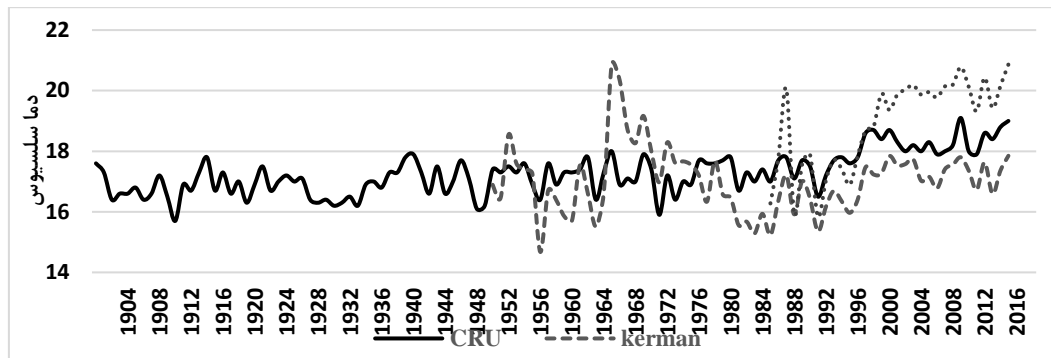
جدول ۳. نتايج گاه‌شناسی رويشگاه Rbt: میانگین همبستگی، EPS: درصد سيگنال تجمعی، SNR: نسبت سيگنال به خطا، MS:

میانگین حساسیت، AC(1): خودهمبستگی

تعداد درختان	سال آغاز	سال پایان	طول گاه‌شناسی	EPS	سال قابل اطمینان	طول دوره	Rbt	SNR	MS	AC1
۹۶	۱۵۰۰	۲۰۱۷	۵۱۷	۰/۸۶	۱۷۶۵	۲۵۲	۰/۲۵	۲۱/۰۷	۰/۱۴	۰/۵۸

همان‌طور که جدول ۳ نشان می‌دهد، آماره EPS برای گاه‌شناسی منطقه بالای ۰/۸۵ است و به ترتیب امکان بازسازی اقليمی قابل‌اطمینان برای ۲۵۲ سال را به دست می‌دهد. در این پژوهش برای مقایسه کلی بازسازی دما به‌جز در دوره قابل‌اطمینان، در تمام طول ۵۱۷ سال گاه‌شناسی متوسط انجام گرفته است. آماره Rbt برای گاه‌شناسی ساخته‌شده، مقدار نسبتاً قابل‌قبولی را نشان می‌دهد. میانگین حساسیت یا MS برابر با ۱/۴ است، میزان قابل‌قبول این آماره همان‌طور که ذکر شد بیش از ۰/۱ و کمتر ۰/۳ و بهترین مقدار آن ۰/۲ است. آماره SNR نیز در حد قابل‌قبولی قرار دارد. خودهمبستگی گاه‌شناسی‌ها نیز حدوداً بين ۵۰ تا ۶۰ درصد است.

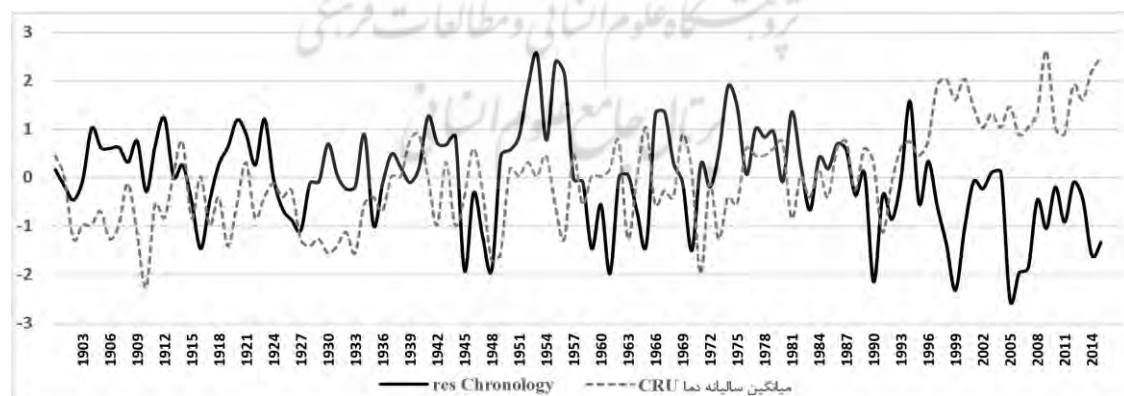
به دليل کوتاه بودن دوره آماری ایستگاه زرنند به عنوان نزدیک‌ترین ایستگاه سینوپتیک و از طرفی دور بودن نسبی ایستگاه کرمان از منطقه مورد مطالعه، جهت مقایسه بهتر، از داده‌های CRU TS4.01 با دوره آماری ۱۹۰۱-۲۰۱۶ برای ایران استفاده شد. واحد تحقیقات آب‌وهوایی^۱ در سال ۱۹۷۲ در دانشگاه West Anglia انگلستان تأسیس شد و اطلاعات اقليمی مختلفی مانند بارش و دما را از درون‌یابی اطلاعات ۴۰۰۰ ایستگاه زمینی به‌دست‌آمده می‌آورد و برای کل زمین ارائه می‌دهد. در حال حاضر سری CRU TS4.01 آخرین و پرکاربردترین نسخه از داده‌های ارائه‌شده این مرکز در بازه زمانی ۱۹۰۱-۲۰۱۶ با تفکیک مکانی ۰/۵ در ۰/۵ درجه و تفکیک ماهانه برای کل زمین است. آزمون این داده‌ها نشان داد که ارتباطی مناسب (همبستگی ۰/۷۲ با سطح معنی‌داری ۰/۹۹ برای دما) و مقادیری نزدیک به میانگین داده‌های ایستگاهی ثبت‌شده در منطقه دارند. شکل شماره ۴، میانگین دمای سالانه ایستگاه‌های زرنند و کرمان و داده‌های CRU را نشان می‌دهد.



شکل ۴. میانگین دمای سالانه ایستگاه‌های زرنود و کرمان و داده‌های CRU

مقایسه داده‌های CRU با گاه‌شناسی استاندارد نشان داد این داده‌ها ارتباط بهتر و قوی‌تری با شاخص پهنای حلقه‌ها نسبت به داده‌های ایستگاهی منطقه مورد مطالعه دارند. واگرایی دما و پهنای حلقه‌ها در میانگین سالیانه دما داده‌های CRU از ۱۹۹۶ به بعد مشخص است. با توجه به آنچه گفته شد، واگرایی دما و پهنای حلقه‌ها در رویشگاه مورد مطالعه رخ داده است و مسئله بازسازی طولانی‌مدت دما را با مشکل مواجه می‌کند. مسئله واگرایی^۱ به عنوان یک آنومالی در زمینه اقلیم‌شناسی درختی شناخته می‌شود. این مسئله اختلاف بین دماهای ثبت‌شده و دماهای بازسازی‌شده از پهنای حلقه‌ها است. در حالی که داده‌های ثبت‌شده دما سنچ‌ها روند قابل توجهی از گرم شدن اواخر قرن بیستم را نشان می‌دهد، بسیاری از گاه‌شناسی‌های به دست آمده تغییر مشابه در پهنای حلقه‌ها را نشان نمی‌دهد. از این رو روندهای دمایی که از داده‌های ثبت‌شده و حلقه‌های درختی به دست می‌آیند، نسبت به هم دچار "واگرایی" خواهند بود. بازسازی دمایی گذشته در گاه‌شناسی‌های دارای واگرایی، سبب بیش برآوردی دمایی بازسازی‌شده گذشته می‌شود. برای حل مشکل می‌توان از چندین روش (رگرسیون‌های چند متغیره، تعیین آستانه‌های دمایی رخداد واگرایی، استفاده از همبستگی دوره‌های بدون واگرایی و...) استفاده کرد، در این مقاله مسئله واگرایی با استفاده از دوره طولانی‌مدت داده‌های CRU و گرفتن همبستگی دما-پهنای حلقه‌ها از سال ۱۹۹۶ به قبل حل شد.

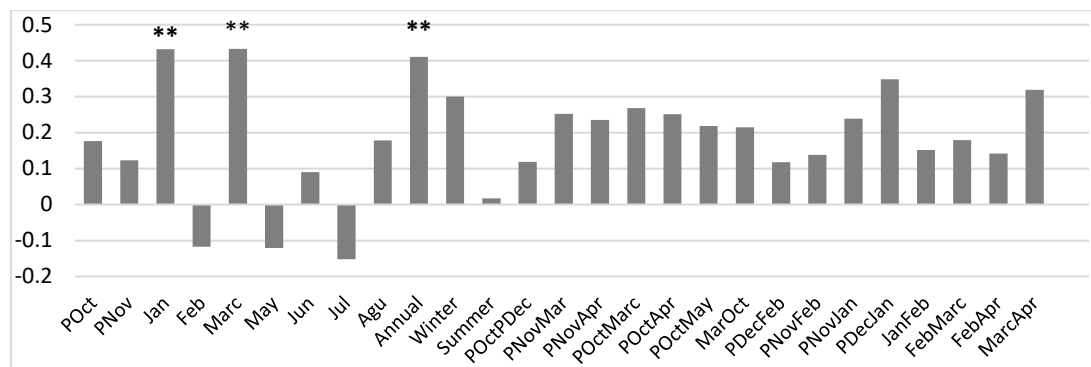
بنابراین برای بررسی رابطه دما و پهنای حلقه‌های رشد در دوره‌های زمانی مختلف، همبستگی دمایی CRU و گاه‌شناسی‌ها در دو دوره ۱۹۰۱-۲۰۱۶ و ۱۹۰۱-۱۹۹۵ انجام شد. حذف دوره ۱۹۹۶-۲۰۱۶ که واگرایی در آن رخ داده، سبب‌ساز بروز تغییرات قابل توجهی در نتایج همبستگی گشت.



شکل ۵. نمودار میانگین دمای سالانه (استاندارد شده بدون بعد) داده‌های CRU TS4.01 و گاه‌شناسی متوسط منطقه

با توجه به اینکه پدیده رشد فقط ناشی از عوامل درون فصل رویش نبوده و پهنای حلقه سالانه، مجموعه‌ای از

فرآیندهایی است که از طریق اقلیم در طی یک دوره طولانی شامل چندین ماه پیش از فصل رویش جاری بر درخت اثر گذاشته‌اند، (فریتز ۱۹۷۶، به نقل از علی‌پورفرد ۱۳۹۴)، دوره‌های زمانی متنوعی برای بررسی دقیق‌تر همبستگی دما و حلقه‌های ارس رویشگاه تنگل راور استفاده شدند. علاوه بر دوره‌های ماهانه، فصلی و سالانه دما، دوره‌های پیش از فصل رویش، دوره‌های طی فصل رویش، دوره‌های ماه به ماه، درون فصلی، دوره‌های مبتنی بر رژیم‌های دمایی نیز استفاده شدند.



شکل ۶: ضریب همبستگی پیرسون بین شاخص گاه‌شناسی حلقه‌های درختی و دمای ماهانه، فصلی، سالیانه داده‌های CRU در دوره ۱۹۹۶-۱۹۰۱

نمودار شکل ۶ نشان می‌دهد که دمای ماه‌های اکتبر و نوامبر سال قبل رابطه مثبت ضعیف با پهنای حلقه‌های رویش دارند که این رابطه معنی‌دار نیست. ماه ژانویه دارای همبستگی $0/43$ و معنی‌دار در سطح ۹۹ درصد است. ماه فوریه ارتباط معنی‌داری را نشان نمی‌دهد و همبستگی این ماه منفی کمی ضعیف است. ماه مارس که فصل رشد درختان در منطقه مورد مطالعه تقریباً از نیمه دوم آن شروع می‌شود، دارای بیشترین رابطه مثبت (نزدیک به $0/44$) بین دمای هوا و پهنای حلقه‌ها است. در طول ماه‌های فصل رشد یعنی از آوریل تا سپتامبر همبستگی معنی‌داری مشاهده نمی‌شود. به تبع ماه‌های شرح داده‌شده، دمای سالانه و زمستان دارای همبستگی مثبت ضعیف، دمای بهار و تابستان دارای عدم همبستگی و دمای دوره‌های چندماهه مربوط به ماه‌های سرد سال دارای رابطه مثبت ضعیف هستند.

ارتباط مثبت دمای ماه مارس با پهنای حلقه‌ها به علت آغاز فعالیت کامبیومی و در شروع فصل رشد است. دمای بالاتر ماه مارس می‌تواند موجب شروع زودتر فصل رشد و در نتیجه حلقه پهن‌تر در سال مورد نظر شود. ماه‌های آپریل و می، روابط منفی ضعیف با دما نشان می‌دهند که می‌تواند به دلیل رخ دادن تنش آبی برای درختان با بالا رفتن دمای هوا و افزایش تبخیر و تعرق باشد. اگرچه شروع فعالیت‌های کامبیومی درخت در آغاز فصل رویش وابسته به بالا رفتن میانگین دمای هوا است، اما در مناطق خشکی مانند رویشگاه تنگل راور، رطوبت عامل به‌مراتب مهم‌تر و اثرگذارتری بر روی رشد سالانه درخت است. چنانچه این مهم در بررسی ارتباط بارش با پهنای حلقه‌ها که از خارج از موضوع این مقاله است مشهود بود. بنابراین بالا رفتن میانگین دما، در ماه‌های پس از آغاز فصل رشد، می‌تواند سبب افزایش تبخیر و تعرق درخت و کم شدن رطوبت خاک شده و تأثیر منفی خود را در بر روی رشد سالانه نشان دهد. در مجموع می‌توان گفت دمای هوا در منطقه مورد مطالعه در ماه‌های پیش از فصل رشد و ابتدای فصل رشد، اثر مثبت و در ماه‌های فصل رشد در صورت وجود تنش رطوبتی، اثر منفی بر روی پهنای حلقه‌های رویشی دارد.

بنابراین با توجه به مطالب گفته‌شده، دمای سالانه گاه‌شناسی متوسط منطقه با استفاده از داده‌های CRU در دو بخش بازسازی شد. برای بخش دارای واگرایی مدل ارائه‌شده با داده‌های واقعی ۱۹۹۴-۲۰۱۷ واسنجی و ارزیابی شد و برای

بخش دارای رابطه مستقیم مدل رگرسیونی با داده‌های ۱۹۳۵-۱۹۷۰ و ۱۹۷۰-۱۹۳۵ ارزیابی شد که نتایج آن در جدول ۴، نشان داده شده است

جدول ۴. آماره‌های اعتبارسنجی مدل رگرسیون خطی بین گاهشناسی متوسط و دمای سالانه CRU

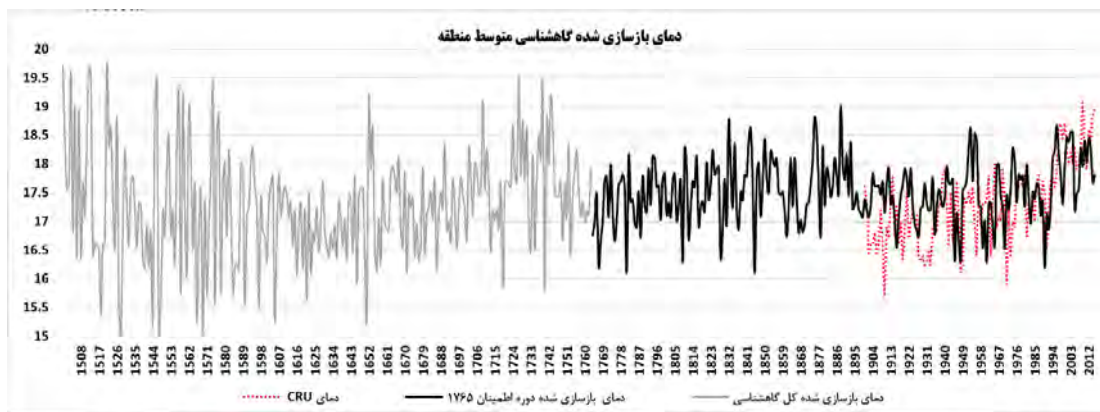
ارزیابی داده‌های واسنجی شده با داده‌های واقعی ۱۹۹۴-۲۰۱۷	واسنجی ۱۹۹۴-۲۰۱۷	واسنجی مدل رگرسیونی برای دوره واگرایی	
۰/۵۸**	۰/۴۹**	۰/۷۲**	Multiple R
۰/۳۲	۰/۲۴	۰/۵۳	R Square
۰/۲۹	۰/۲۰	۰/۴۹	Adjusted R
۱/۱	۰/۱۹	۰/۱	Standard Error
۰/۱۹	۰/۸	*	Re(کاهش خطا)
۰/۱۰	۰/۵	*	CE(ضریب کارایی)
۰/۷۰	*	*	ST(آزمون علامت)
ارزیابی داده‌های واسنجی شده با داده‌های واقعی ۱۹۳۵-۱۹۷۰	واسنجی ۱۹۰۱-۱۹۳۵	واسنجی مدل رگرسیونی برای دوره مستقیم	
۰/۳۵*	۰/۳۹*	۰/۷۲**	Multiple R
۰/۱۲	۰/۱۵	۰/۵۲	R Square
۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۴۸	Adjusted R
۴/۲	۲/۸	۱/۹	Standard Error
۰/۰۹	۰/۰۱	*	Re(کاهش خطا)
۰/۰۱	۰/۰۳	*	CE(ضریب کارایی)
۰/۴۰	*	*	ST(آزمون علامت)

همچنین برای اعتبار سنجی دقیق‌تر از داده‌های ایستگاه هواشناسی زرنند برای دو دوره همپوشان ۱۹۸۶-۲۰۰۷ و ۲۰۱۷-۱۹۹۷ برای واسنجی و دوره ۱۹۸۶-۲۰۱۷ برای ارزیابی استفاده شد.

جدول ۵. آماره‌های اعتبارسنجی مدل رگرسیون خطی بین گاهشناسی متوسط و دمای سالانه ایستگاه زرنند

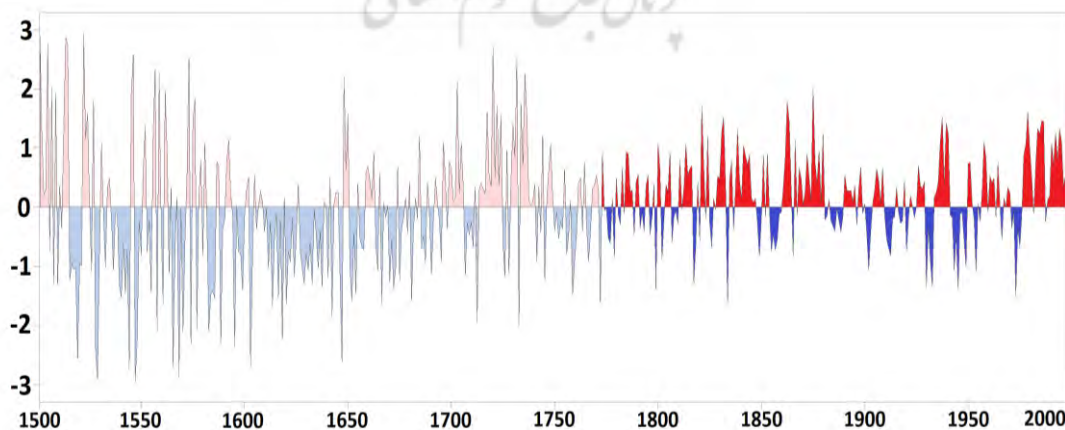
ارزیابی داده‌های واسنجی شده با داده‌های واقعی ۱۹۸۶-۲۰۱۷	واسنجی ۱۹۸۶-۲۰۰۷	واسنجی ۱۹۹۷-۲۰۱۷	واسنجی مدل رگرسیونی ۱۹۸۶-۲۰۱۷	
-۰/۶۳**	-۰/۵۵**	-۰/۵۸**	-۰/۶۸**	Multiple R
۰/۴۰	۰/۳۰	۰/۳۳	۰/۴۶	R Square
۰/۳۸	۰/۲۹	۰/۳۱	۰/۴۴	Adjusted R
۱/۱۶	۰/۴۹	۰/۲۵	۰/۱۰	Standard Error
۰/۴۴	۰/۳۲	۰/۳۷	*	Re(کاهش خطا)
۰/۴۳	۰/۳۳	۰/۳۶	*	CE(ضریب کارایی)
۰/۴۳	*	*	*	ST(آزمون علامت)

نتایج واسنجی و ارزیابی مدل‌ها در جدول شماره ۴ نشان می‌دهد که مدل رگرسیونی برای دوره واگرایی و مدل ارائه شده برای دوره مستقیم توان بازسازی متوسطی دارند. در نهایت بازسازی میانگین سالیانه دما در رویشگاه تنگل راور با استفاده از داده‌های CRU و گاهشناسی متوسط منطقه انجام شد که نتیجه آن در شکل شماره ۷، آورده شده است.



شکل ۷. دمای سالیانه بازسازی شده گاه‌شناسی متوسط منطقه با استفاده از داده‌های CRU TS4.01 (EPS: ۱۷۶۵)

متوسط دما در دوره بازسازی شده قابل اطمینان ۱۷/۳ درجه با انحراف معیار ۰/۵ است. میانگین دما در دوره ۱۹۰۱-۱۹۹۵ معادل ۱۷,۱ درجه است. دمای بازسازی شده روند افزایشی از دهه ۹۰ میلادی به بعد تا زمان حال را نشان می‌دهد. این افزایش بعد از یک افت تقریبی در نیمه اول دهه ۸۰ میلادی رخ داده است که در داده‌های ایستگاهی به خصوص ایستگاه کرمان مشخص‌تر از داده‌های بازسازی شده است. قبل از دهه ۸۰ میلادی یعنی در اواخر دهه ۶۰ و اوایل دهه ۷۰ میلادی یک افت قابل توجه دما رخ داده، همچنین افزایش نسبی دما در دهه ۵۰ میلادی و یک افت قابل توجه در نیمه دوم دهه ۴۰ میلادی مشهود است. در اواخر دهه ۳۰ و اوایل دهه ۴۰ میلادی یک افزایش دما دیده می‌شود. تقریباً از دهه آخر قرن نوزدهم تا دهه ۳۰ میلادی دما روند کاهشی داشته است. این روند کاهشی به همراه افت بارز دهه ۴۰ میلادی، دمای نیمه اول قرن بیستم را پایین و دوره‌ای نسبتاً سرد با دمای کمتر از میانگین را نشان می‌دهد. یک دوره نسبتاً سرد در اوایل دهه ۱۸۷۰ و اواخر ۱۸۶۰ میلادی دیده می‌شود که روند افزایشی بعدازآن به اوج دمایی در دهه ۱۸۹۰ می‌رسد. در دهه ۱۸۵۰ میلادی دمای بالاتر از میانگین مشاهده می‌شود که نقطه اوج روند افزایشی از اواخر دهه ۱۷۶۰ میلادی به بعد است. بنابراین روند افزایشی دما تقریباً به مدت ۱ قرن از ۱۷۶۰ تا ۱۸۶۰ میلادی مشاهده می‌شود. در خارج از دوره اطمینان، جهت مقایسه کلی، یک دوره نسبتاً گرم در دهه‌های ۱۷۱۰ تا ۱۷۴۰ میلادی مشاهده می‌شود که افت پس‌ازآن به دوره نسبتاً سردتر ۱۷۵۰-۱۷۷۰ ختم می‌شود. از حدود ۱۷۰۰ تا ۱۵۲۰ میلادی نزدیک به دو قرن رویداد دماهای پایین‌تر از میانگین فراوانی بیشتری داشته و یک دوره سرد طولانی‌مدت را نشان می‌دهد. این موضوع به‌خصوص در ۱۶۰۰-۱۶۵۰ میلادی مشهودتر است.



شکل ۸. تغییرات دمای بازسازی شده رویشگاه تنگل راور نسبت به نسبت میانگین ۱۹۰۱-۲۰۱۶

انحراف نسبت به میانگین و همچنین دمای استاندارد شده گاه‌شناسی متوسط نیز در شکل ۸، تغییرات دمای بازسازی شده نسبت به میانگین را به این شرح نشان می‌دهد: افزایش در حدود ۱/۵ درجه در گرمایش اخیر جهانی، دوره نسبتاً سردتر و نزدیک به میانگین در ۸ دهه از قرن بیستم به همراه یک افزایش کوتاه‌مدت در دهه ۵۰ میلادی، دو دوره افزایش دما حدوداً ۰/۵ درجه‌ای نسبت به میانگین در دهه‌های ۴۰-۵۰ و ۷۰-۹۰ قرن نوزدهم. دوره کاهش ۰/۵ درجه‌ای در ۱۷۶۰-۱۸۲۰، دوره افزایش ۰/۵ تا ۱ درجه‌ای از ۱۷۱۰ تا ۱۷۴۰ میلادی، دوره طولانی‌مدت افت دما از حدود ۱۷۰۰ تا ۱۵۲۰ میلادی با نرخ کاهش متفاوت از ۰/۵ تا ۱ درجه.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش با استفاده از حلقه‌های رشد سالیانه درختان ارس در رویشگاه تنگل راور در ارتفاعات شمال استان کرمان، دمای دیرینه این منطقه بازسازی و تغییرات آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت. سایت‌های نمونه‌برداری در این پژوهش دارای شرایط توپوگرافی با شیب زیاد، خاک کم‌عمق، صخره‌ای و سنگریزه‌ای و همچنین اختلاف ارتفاع بین درختان هستند. با توجه به قطر درختان مشاهده شده در منطقه مورد مطالعه مشخص شد، در مواردی استفاده از مته‌هایی با طول بیشتر می‌توانست نتایج مطلوب‌تری را به دست دهد. با این حال

بیشترین حلقه شمارش شده ۶۸۰ حلقه و میانگین سن برای تمام درختان اندازه‌گیری شده ۲۱۸ سال بود که نشان‌دهنده پتانسیل بالای رویشگاه مورد نظر برای انجام مطالعات اقلیم‌شناسی درختی است. نتایج آماره‌های GLK، GLS، CDI، CC و TV و همچنین بررسی چشمی، تطابق زمانی مناسب نمونه‌ها برای ساخت منحنی رویش هر درخت را نشان دادند. تطابق زمانی یا در واقع همبستگی و تشابه بین درختان با استفاده از آماره‌های GLK و TV مورد سنجش قرار گرفت، نتایج به دست آمده در سطح قابل قبول برای تمام درختان و ساخت گاه‌شناسی بود. نتایج بررسی کیفیت گاه‌شناسی ساخته شده نیز مقادیر EPS قابل قبولی را برای ۲۵۲ سال اخیر نشان داد. در مجموع بالا بودن آماره‌های GLK و EPS نشان از مطلوب بودن شرایط درختان ارس در رویشگاه مورد مطالعه دارد.

گاه‌شناسی ساخته شده یک افت نسبی در پهنای حلقه‌های رشد در سه ده اخیر را نشان می‌دهد. در ۱۲۰ سال اخیر روند کاهشی در رشد دیده می‌شود که نوسان‌های افزایشی در دهه‌های ۱۹۵۰ و ۱۹۸۰ میلادی داشته است. به طور کلی می‌توان کاهش در پهنای حلقه‌ها از ۱۵۰۰ تا ۱۶۵۰ میلادی، روند افزایشی از ۱۶۵۰ تا ۱۷۵۰ میلادی، روند کاهشی از ۱۷۵۰ تا ۱۸۰۰ میلادی، روند افزایشی از ۱۸۰۰ تا ۱۹۰۰ میلادی با یک افت آشکار در دهه ۱۸۵۰-۶۰ و روند کاهشی از ۱۹۰۰ تا زمان حاضر را مشاهده نمود. باید توجه داشت در درون این روندهای ذکر شده در طول قرون گذشته، نوسانات دهه‌ای متناوبی نیز قابل مشاهده است. در مجموع کمترین رشد حلقه‌ها مربوط به ۱۶۲۰ تا ۱۶۴۰ میلادی، بیشترین رشد آن‌ها مربوط به دو دهه ۱۷۴۰ و ۱۸۹۰ میلادی است. این روندها در چند بخش از گاه‌شناسی‌های به دست آمده درختان ارس قراقرم پاکستان توسط اسپر و همکاران (۲۰۰۱) خصوصاً از ۱۶۰۰ میلادی به بعد نیز دیده می‌شود. این تغییرات در مطالعه کلاسن^۱ و همکاران (۲۰۰۷) بر روی ارس‌های نواحی کوهستانی یمن خصوصاً در کاهش دمای ۱۸۰۰-۱۸۳۰ میلادی دیده می‌شود.

مقایسه داده‌های دما با گاه‌شناسی ساخته شده نشان داد که به دلیل افزایش دما در چند دهه اخیر، بین روند دما و گاه‌شناسی پهنای حلقه‌ها مسئله واگرایی رویداده است. در حالت واگرایی بین دما و حلقه‌های رشد، گرچه دمای بازسازی شده با دماهای ثبت شده ایستگاهی در دهه‌های اخیر همبستگی خوبی دارد، اما در مقیاس زمانی طولانی‌تر، دمای

بازسازی شده همخوانی مورد انتظار با برآوردهای جهانی را نشان نمی‌دهد. در این راستا پورطهماسی و همکاران (۱۳۸۸) دریافتند که در دوره ۱۹۵۵-۲۰۰۴ میلادی بر خلاف دوره‌های ۵۰ ساله پیشین، بین گاهشناسی‌های به‌دست‌آمده از درختان اوری و ارس در چهارباغ گلستان همبستگی معنی‌داری وجود ندارد و یکی از دلایل این امر را اثرگذاری گرمایش سال‌های اخیر دانستند. داریگو^۱ و همکاران (۲۰۰۶) در بازسازی اصلاح‌شده دمای نیمکره شمالی با استفاده از گاهشناسی‌های قبلی اوراسیا و آمریکای شمالی به وجود واگرایی بین گاهشناسی‌ها و داده‌های دمای ایستگاهی اشاره کردند. همچنین آنچوکیتیس^۲ و همکاران (۲۰۱۷) در بازسازی دمای تابستانه نیم‌کره شمالی برای ۱۰۰۰ سال گذشته، به وجود مسئله واگرایی در برخی گاهشناسی‌های نواحی شمالی اشاره کردند. ژانگ^۳ و همکاران (۲۰۱۹) نیز گاهشناسی‌های به‌دست‌آمده از کوه‌های تیان‌شان در شمال شرق چین را دارای واگرایی دما-پهنای حلقه‌ها دانستند.

بررسی ارتباط دما و پهنای حلقه‌های رشد در دوره‌های بدون مسئله واگرایی یعنی حدوداً از ۱۹۹۵ میلادی به قبل، نشان داد که دمای پیش از فصل رویش و به‌خصوص ماه مارس در ابتدای فصل رویش بر روی پهنای حلقه‌ها اثر مستقیم دارد. ارتباط مثبت دمای ماه مارس با پهنای حلقه‌ها به علت آغاز فعالیت کامیومی و در شروع فصل رشد است. دمای بالاتر ماه مارس می‌تواند موجب شروع زودتر فصل رشد و در نتیجه حلقه پهن‌تر در سال موردنظر شود. این نتایج با نتایج علی‌پورفرد و همکاران (۱۳۹۴) پورطهماسی و همکاران (۱۳۸۸) همخوانی دارد که هر دو دمای پیش از فصل رشد و اوایل فصل رشد را بر روی ارس دارای تأثیر مثبت دانسته‌اند.

دمای بازسازی‌شده افزایش در حدود ۱/۵ درجه در گرمایش جهانی چند دهه اخیر را نشان می‌دهد. همچنین دوره نسبتاً سردتر و نزدیک به میانگین در طول قرن بیستم به همراه یک افزایش کوتاه‌مدت در دهه ۵۰ میلادی در دمای بازسازی‌شده مشخص است. دو دوره افزایش دما تا ۰/۵ درجه نسبت به میانگین در دهه‌های ۱۸۴۰-۱۸۵۰ و ۱۸۷۰-۱۸۹۰ در قرن نوزدهم دیده می‌شود. دوره کاهش ۰/۵ درجه‌ای در ۱۷۶۰-۱۸۲۰، سپس افزایش ۰/۵ تا ۱ درجه‌ای نسبت به میانگین از ۱۷۲۰ تا ۱۷۶۰ میلادی و بعدازآن دوره طولانی‌مدت افت دما از حدود ۱۷۰۰ تا ۱۵۲۰ میلادی با نرخ کاهش متفاوت از ۰/۵ تا ۱/۵ درجه را می‌توان واکنش درختان ارس منطقه به عصر یخبندان کوچک دانست. در این راستا تغییرات دمای تابستانه بازسازی‌شده نیمکره شمالی توسط آنچوکیتیس و همکاران (۲۰۱۷) با دماهای پایین رخ داده در دوره‌های ۱۵۲۰-۱۶۰۰ میلادی، ۱۶۵۰-۱۷۰۰ میلادی، ۱۷۶۰-۱۸۳۰ میلادی، ۱۸۶۰-۱۸۸۰ میلادی در منطقه مورد مطالعه همخوانی دارد. شی ژانگ^۴ و همکاران (۲۰۰۹) دمای تبت شرقی را برای ۲۵۰۰ سال بازسازی کردند که دوره‌های افت دمای ۱۶۵۰-۱۷۰۰ و ۱۷۷۰-۱۸۳۰ در داده‌های بازسازی‌شده ایشان با نتایج پژوهش حاضر همخوانی داشت.

همچنین افت دمای ۱۹۳۰-۱۹۴۰ و ۱۹۶۵-۱۹۷۵ با بازسازی ارسلائی و همکاران (۱۳۹۱) از حداکثر دمای کرمانشاه، همخوانی دارد. دمای بازسازی‌شده علی‌پورفرد و همکاران (۱۳۹۴) کاهش هم‌هنگ در سال‌های ۱۹۲۶، ۱۹۴۸، ۱۹۵۶، ۱۹۷۱، ۱۹۸۱ و ۱۹۹۱ با بازسازی دما حاصل از گاهشناسی متوسط در پژوهش حاضر نشان می‌دهد. همچنین عزیزی و همکاران (۱۳۹۱) بیشینه دمای بهار تابستان در یال غربی زاگرس میانی را بازسازی کردند که دوره کاهش دما ۱۹۶۵-۱۹۷۵ کار ایشان با پژوهش حاضر همخوانی داشت.

بررسی دمای بازسازی‌شده رویشگاه دو دوره با اهمیت بیشتر را نشان می‌دهد، در ابتدا کاهش ناپیوسته دما بین ۰,۵ تا ۱,۵ درجه سلسیوس بین سال‌های ۱۸۳۰ تا ۱۵۰۰ میلادی که هم‌زمان با رویداد عصر یخبندان کوچک و همگام با

1 . D'Arrigo
2 . Anchukaitis
3 . Zhang
4 . Zhisheng

مطالعات صورت گرفته در دیگر مناطق دنیا از جمله قاره اروپا است، این موضوع نشان می‌دهد منطقه مورد مطالعه نیز با تفاوت‌هایی از کاهش دمای عصر یخبندان کوچک متأثر شده است. دوره دیگر افزایش شدید دما در دو دهه اخیر نسبت به میانگین طولانی مدت است که نشان از متأثر شدن منطقه مورد مطالعه از گرمایش جهانی است.

تقدیر و تشکر

بنا به اظهار نویسنده مسئول، این مقاله حامی مالی نداشته است.

منابع

- ۱) ارسلانی، عزت‌الله. (۱۳۹۲). *ارتباط دما و بارش دیرینه منطقه زاگرس میانی با شاخص‌های پیوند از دور*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. رشته اقلیم‌شناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.
- ۲) ارسلانی، محسن؛ عزیزی، قاسم و خوش‌اخلاق، فرامرز. (۱۳۹۱). بازسازی تغییرات دمای حداکثر استان کرمانشاه با استفاده از حلقه‌های درختی. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۱ (۱)، ۹۷-۱۱۰.
- ۳) بالاپور، شمس‌الدین و محمداف، توفیق صادق. (۱۳۹۳). *اصول روش‌ها و کاربرد گاه‌شناسی درختی*. چاپ اول، تهران: انتشارات جدی‌کار.
- ۴) پورسرتیپ، لادن (۱۳۸۴). *بررسی اقلیم‌شناسی گونه‌های ارس (polycarpus Juniperus) و اوری (Quercus macranthera) در منطقه چهارباغ گرگان*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، رشته علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران.
- ۵) پورطهماسی، کامبیز؛ پورسرتیپ، لادن؛ براونینگ، آخیم و پارسا پزوه، داود. (۱۳۸۸). ارزیابی رویش شعاعی درختان ارس (Juniperus polycarpus) و اوری (Quercus macranthera) در دو دامنه شمال و جنوب البرز در منطقه چهارباغ گرگان. *نشریه جنگل و فرآورده‌های چوب*، ۶۲ (۲)، ۱۵۹-۱۶۹.
- ۶) رضانی گورابی، بهمن و شیرزاد، فرزاد. (۱۳۸۸). مطالعه تأثیر خشک‌سالی بر رشد قطری درختان صنوبر در شهرستان صومعه‌سرای گیلان. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۴۱ (۶۷)، ۱۰۷-۱۱۷.
- ۷) زارعان، حسین؛ یزدان‌پناه، حجت‌الله؛ موحدی، سعید؛ جلیوند، حمید و مؤمنی، مهدی. (۱۳۹۴). بازسازی بیش از یک قرن درجه حرارت سالیانه از روی حلقه‌های درختی بلوط ایرانی (Quercus persica) در جنگل‌های زاگرس (مطالعه موردی منطقه دنا). *فصلنامه تحقیقات جغرافیایی*، ۱۱۶ (۱)، ۱۶۶-۱۵۳.
- ۸) عزیزی، قاسم؛ ارسلانی، محسن و یمانی، مجتبی. (۱۳۹۱). بازسازی تغییرات بارش اکتبر تا می شهر کرمانشاه، طی دوره ۲۰۱۰-۱۷۰۵ با استفاده از حلقه‌های درختی. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۴۴ (۱)، ۳۷-۵۳.
- ۹) علیپور فرد، مریم؛ رائینی سرجاز، محمود؛ پورطهماسی، کامبیز و نادى، مهدی. (۱۳۹۶). بررسی ارتباط متغیرهای اقلیمی با پهنای حلقه‌های رویش سالانه درختان ارس در رویشگاه کیگوران (استان لرستان). *نشریه جنگل و فرآورده‌های چوب*، ۷۰ (۴)، ۶۰۸-۵۹۹.
- ۱۰) کروری، سودابه؛ خوشنویس، مصطفی و متینی‌زاده، محمد. (۱۳۹۰). *مطالعات جامع جنس ارس در ایران*. چاپ اول، تهران: نشر پونه.
- ۱۱) نادى، مهدی؛ پورطهماسی، کامبیز؛ بذرافشان، جواد و براونینگ، آخیم. (۱۳۹۳). دو قرن بازسازی حلقه -درختی خشک‌سالی با استفاده از شاخص بارندگی استاندارد چندمتغیره (MSPI) در منطقه جوانرود کرمانشاه. *نشریه پژوهش‌های حفاظت آب‌وخاک*، ۲۳ (۶)، ۹۹-۱۱۶.

References

- 1) Alipoor Fard, M., Raeini Sarjaz, M., Pourtahmasi, K., & Nadi, M., (2018). The effect of climatic variables on annual tree-rings width of Persian juniper trees in Kyguran habitat of Lorestan province. *Journal of Forest and Wood Products*, 70(4), 599-608. [In Persian]
- 2) Anchukaitis, K., Wilson, R., Briffa, K., Büntgen, U., Cook, E., D'Arrigo, R., & Davi, N.,

- Esper, J. (2017). Last millennium Northern Hemisphere summer temperatures from tree rings: Part II, spatially resolved reconstructions. *Quaternary Science Reviews*, 163, 1-22.
- 3) Arsalani, E., (2013). *The relationship between temperature and long-term rainfall in the Middle Zagros region with the characteristics of remote transplantation*. Master's thesis, Climatology field, Faculty of Geography, University of Tehran. [In Persian]
 - 4) Arsalani, M., Azizi, Gh., & Khoshakhlagh, F., (2012). Reconstruction of maximum temperature variations in Kermanshah province using tree rings. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 1(1), 97-110. [In Persian]
 - 5) Azizi, G., Arsalani, M., & Yamani, M., (2012). Reconstruction of October-May Precipitation Variations Based on Tree Rings in Kermanshah City over the 1705-2010 Periods. *Physical Geography Research Quarterly*, 44(1), 37-53. [In Persian]
 - 6) Balapur, Sh., & Mohammadof, T.S., (2014). *Principles, methods and application of tree chronology*. first edition, Tehran: Jedikar Publications. [In Persian]
 - 7) Bräuning, A., (1994). Dendrochronology for the last 1400 years in eastern Tibet. *GeoJournal*, 34(1), 75-95.
 - 8) Büntgen, U., Frank, D.C., Kaczka, R., Verstege, A., Zwijacz-Kozica, T., & ESPER, J., (2007). Growth responses to climate in a multi-species tree-ring network in the Western Carpathian Tatra Mountains, Poland and Slovakia. *Tree Physiology*, 27, 689-702.
 - 9) Büntgen, U., Tegel, W., Nicolussi, K., McCormick, M., Frank, D., Trouet, V., Kaplan, JO., Herzig, F., Heussner, KU., Wanner, H., Luterbacher, J., & Esper, J., (2011). 2500 years of European climate variability and human susceptibility. *Science*, 4(331), 578-582
 - 10) Cook, R.E., & Holmes, R.L., (1999). *Users manual for Program ARSTAN, Laboratory of tree-ring research*. University of Arizona, United States of America.
 - 11) D'Arrigo, R., Wilson, R., Liepert, B., & Cherubini, P., (2008). On the 'Divergence Problem' in Northern Forests: A review of the tree-ring evidence and possible causes. *Global and Planetary Change*. Elsevier (3-4), 289-305.
 - 12) Davi, N., Rao, M., Wilson, R., Andreu-Hayles, L., Oelkers, R., & D'Arrigo, R., (2021). Accelerated recent warming and temperature variability over the past eight centuries in the Central Asian Altai from blue intensity in tree rings. *Geophysical Research Letters*, 48(2) 348-379.
 - 13) Esper, J., George, S., Anchukaitis, K., D'Arrigo, R., Ljungqvist, F., Luterbacher, J., Schneider, L., Stoffel, M., Wilson, R., & Büntge, U., (2018). Large-scale, millennial-length temperature reconstructions from tree-rings. *Dendrochronologia*, 50, 81-90.
 - 14) Esper, J., Shiyatov, S., Mazepa, V., Wilson, R. Graybill, D., & Funkhouser, G., (2003). Temperature-sensitive Tien Shan tree ring chronologies show multi-centennial growth trends. *Climate dynamics*, 21(7-8), 699-706.
 - 15) Garcia- Suarez, M.A., Butler, C.J., & Baillie, M.G.L., (2009). Climate signal in tree-ring chronologies in a temperature climate: A multi - species approach. *Dendrochronologia*, 27, 183-198.
 - 16) Hai, F.Z., Xue, M.S., Zhi, 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, 703.
 - 17) Jacoby, G., Solomina, O., Frank, D., Eremenko, N., & Arrigo, R., (2004). Kunashir (Kuriles) Oak 400-year reconstruction of temperature and relation to the Pacific Decadal Oscillation. *PALAEO*, 209, 303-311.
 - 18) Kirchhefer, A.J. (1999). *Dendroclimatology on Scots pine (Pinus sylvestris L.) in northern Norway*. A dissertation for the degree of doctor scientiarum, Department of Biology, Faculty of Science, University of Tromsø, Norway. p20-25
 - 19) Kotlyakov, V., Serebryanny, L., & Solomina, O., (1991). Climate change and glacier fluctuation during the last 1,000 years in the southern mountains of the USSR. *Mountain Research and Development*, 4, 1-12.
 - 20) Kroori, S., Khoshnevis, M., & Matinizadeh, M. (2011.) *Comprehensive studies of juniper in Iran*. first edition, Tehran: Pooneh Publishing. [In Persian].
 - 21) Liu, J., Yang, B., & Qin, C., (2011). Tree-ring based annual precipitation reconstruction

- since AD 1480 in south central Tibet. *Quaternary International*, 236 (1-2), 75-81.
- 22) Liu, Y., Linderholm, H.W., Song, H., Cai, Q., Tian, Q., Sun, J., & Wang, R., (2009). Temperature variations recorded in *Pinus tabulaeformis* tree rings from the southern and northern slopes of the central Qinling Mountains, central China. *Boreas*, 38(2), 285-291.
 - 23) Nadi, M., Portahmasi, K., Bazrafshan, J., & Bräuning, A., (2014). Two Centuries of Drought-Tree Reconstruction Using Multivariate Standard Rainfall Index (MSPI) in Javanrood region of Kermanshah. *Journal of Soil and Water Conservation Research*, 22 (6), 99-116. [In Persian].
 - 24) Poursartip, L., & Portahmasi, K., (2005). *Climatological study of Juniperus polycarpos and Quercus macranthera* in Gorgan Chaharbagh region, M.Sc. Thesis, Faculty of Natural Resources, University of Tehran. [In Persian]
 - 25) Pourtahmasi, K., Poursartip, L., Bräuning, A., & Parsapjoo, D., (2009). Evaluation of Radial Growth of Juniper (*Juniperus polycarpos*) and Oak (*Quercus macranthera*) Trees in the North and South Slopes of Alborz in Gorgan's Chahar Bagh Region. *Journal of Forests and Wood Products, Faculty of Natural Resources*, 62(2), 159-169. [In Persian]
 - 26) Ramezani Gourabi, B., & Shirzad, F., (2010). The Study of Drought Effects on Poplar Tree Ring Growth in the Soome-e-sara Township - Guilan. *Physical Geography Research Quarterly*, 41(67). 107-117. [In Persian]
 - 27) Sass-Klaassen, U., Leuschner, H.H., Buerkert, A., & Helle, G., (2007). Tree-ring analysis of *Juniperus excelsa* from the northern Oman mountains. *Tree rings in Archaeology, Climatology and Ecology*, (3-6), 83 – 90
 - 28) Shah, S.K., Pandey, U., & Mehrotra, N., (2019) A winter temperature reconstruction for the Lidder Valley, Kashmir, Northwest Himalaya based on tree-rings of *Pinus wallichiana*. *Clim Dyn*, 53, 4059–4075.
 - 29) Song, M., Yang, B., & Ljungqvist, F.C., (2021). Tree-ring-based winter temperature reconstruction for East Asia over the past 700 years. *Sci. China Earth Sci.* 64. 872–889
 - 30) Wilson, R.J., & Anchukatis, K., (2017). Last millennium Northern Hemisphere summer temperatures from tree rings: Part II, spatially resolved reconstructions. *Quaternary Science Reviews*, 163, 1-22.
 - 31) Zarean, H., Yazdanpanah, H., Movahedi, S., Jalilund, H., & Momeni, M., (2015) Reconstruction of more than a century of annual temperature from Persian oak tree rings (*Quercus persica*) in the forests of Zagros (Case study of Dena region). *Geographical Research Quarterly*, 30(1), 153-166. [In Persian].
 - 32) Zhang, T., Zhang, R., Jiang, S., Bagila, M., Ainur, U., & Yu, S., (2019). On the 'Divergence Problem' in the Alatau Mountains, Central Asia: A Study of the Responses of Schrenk Spruce Tree-Ring Width to Climate under the Recent Warming and Wetting Trend. *Atmosphere*, 10(8):473.
 - 33) Zhisheng, An., Liu, Y., & Linderholm, H.W., (2009). Annual temperatures during the last 2485 years in the mid-eastern Tibetan Plateau inferred from tree rings. *Sci. China Ser. D-Earth Sci*, 52, 348–359