

## بازسازی بارش با استفاده از گاه‌شماری درختان ارس (*Juniperus polycarpus* K.Koch.) در استان خراسان شمالی

اصغر فلاح<sup>۱</sup>، مهدی نادى<sup>۲</sup>، مجتبی ایمانی<sup>۳</sup> و سیده کوثر حمیدی<sup>۴\*</sup>

- ۱- استاد، گروه جنگل‌داری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران  
۲- استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران  
۳- دانش‌آموخته دکتری، گروه جنگل‌داری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران  
۴- نویسنده مسئول، دانش‌آموخته دکتری، گروه جنگل‌داری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران  
پست الکترونیک: k.hamidi86@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۱/۱۷

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۱۴

### چکیده

یکی از مهم‌ترین چالش‌های پژوهش‌های اقلیمی در ایران، عدم دسترسی به داده‌های اقلیمی بلندمدت است. اقلیم‌شناسی درختی با بررسی اثرات اقلیمی بر حلقه‌های رویشی سالانه درختان، امکان بازسازی دما و بارندگی دوره‌های گذشته را فراهم می‌کند. هدف اصلی این پژوهش، بازسازی داده‌های بارش با استفاده از پهنای دایره‌های سالانه درختان ارس (*Juniperus polycarpus* K.Koch.) در منطقه قرق‌خود واقع در شمال غربی استان خراسان شمالی بود. پس از تهیه نمونه‌ها با متد سال‌سنج از درختان ارس و آماده‌سازی اولیه، پهنای دایره‌های سالانه توسط دستگاه LINTAB اندازه‌گیری شد و همخوانی زمانی آن‌ها با نرم‌افزار TSAPWIN بررسی شد. گاه‌شماری نهایی با استفاده از نرم‌افزار ARSTAN و بر مبنای بازسازی وضعیت اقلیمی طی سال‌های ۱۸۵۰ تا ۲۰۲۰ انجام گرفت. نتایج نشان داد که پهنای دایره‌های سالانه ارس، تحت تأثیر نوسان‌های دما نبوده‌اند، اما مجموع بارش ماه‌های ژانویه (دی) تا مه (اردیبهشت)، بیشینه ضریب همبستگی مثبت و معنی‌دار را با رویش این درختان نشان داد. بین ماه‌های سال، بیشترین همبستگی مثبت و معنی‌دار با پهنای دایره‌های سالانه ارس متعلق به فوریه (بهمن)، مارس (اسفند)، آوریل (فروردین) و مه (اردیبهشت) بود. طی دوره مورد مطالعه، هشت سال جزء سال‌های نمادین مثبت و نه سال به‌عنوان سال‌های نمادین منفی بازسازی شدند. بیشینه و کمینه بارش به‌ترتیب به سال‌های ۱۸۶۴ و ۱۹۱۷ تعلق داشت. به‌طورکلی، رویش درختان ارس در منطقه مورد مطالعه اغلب تحت تأثیر مشخصه بارندگی بوده است. به این صورت که با افزایش بارندگی، شرایط مناسب برای فعالیت کامبیوم‌ها فراهم می‌شود.

واژه‌های کلیدی: اقلیم‌شناسی درختی، پهنای دایره سالانه، تطابق زمانی، حلقه رویشی، متغیر اقلیمی.

### مقدمه

تغییر اقلیم که به‌معنی تغییرات مشخص در میانگین‌های بلندمدت آب‌وهوایی است، در سال‌های اخیر توجه بسیاری از دانشمندان و پژوهشگران را به‌خود جلب کرده است. به‌خصوص اینکه گرم شدن هوا اغلب در مناطقی محسوس است که با خشک‌سالی نیز مواجه هستند (Abedini et al.,

فقر داده‌های هواشناسی و عدم دسترسی به داده‌های بلندمدت، یکی از چالش‌های بزرگ در پژوهش‌های آب و هواشناسی و مدیریت منابع آبی است که اهمیت آن با وجود چالش‌های اخیر آب‌وهوایی و تغییر اقلیم دوچندان می‌شود.

اطلاعات ارزشمندی از مناطق فاقد داده‌های هواشناسی فراهم کنند.

پژوهشگران بسیاری گزارش کرده‌اند که اثر تغییرات اقلیمی را می‌توان در حلقه‌های رویشی درختان ردیابی کرد. به همین دلیل، این حلقه‌ها به‌طور گسترده در شناسایی تغییرات محیطی و اقلیمی استفاده می‌شوند. گاه‌شماری درختان ارس (*Juniperus polycarpus* K.Koch) در شمال ایران نشان داد که افزایش بارندگی‌های فصل زمستان پیش از دوره رشد و اوایل تابستان دوره رشد سبب افزایش پهنای دایره‌های سالانه حلقه‌های این درختان شده است (Pourtahmasi *et al.*, 2007). بررسی رویش شعاعی ارس (*Q. macranthera*) و اوری (*J. polycarpus*) در گرگان حاکی از اثر بیشتر بارش بر رویش درختان ارس در مقایسه با درجه‌حرارت بود، درحالی‌که رویش اوری اغلب تحت تأثیر درجه‌حرارت قرار گرفته است (Pourtahmasi *et al.*, 2009). در ادامه این پژوهش، مقایسه روش‌های مختلف پهنه‌بندی داده‌های اقلیمی نشان داد که مؤثرترین عامل‌های هواشناسی بر رشد درختان اوری، اثر مثبت شاخص بارندگی استاندارد یک‌ماهه ژوئن و اثر منفی دمای ماه مارس فصل رویش هستند (Nadi *et al.*, 2013). همچنین، بارندگی ماه ژوئیه فصل رویش و دمای ماه سپتامبر پیش از فصل رویش بر رشد درختان ارس این رویشگاه، اثر منفی داشتند. بررسی ارتباط بین متغیرهای اقلیمی و حلقه‌های رویشی آزاد (*Zelkova carpinifolia* (Pall.) K. Koch) نشان داد که با وجود عدم تأثیر معنی‌دار درجه‌حرارت بر رویش شعاعی این گونه، مقدار بارندگی در ماه بهمن، اثر مثبت و معنی‌داری بر آن دارد (Balapour *et al.*, 2012). همچنین، ارزیابی گاه‌شماری درختان ارس (*J. polycarpus*) در منطقه شاه‌کوه شاهرود در استان گلستان نشان داد که مهم‌ترین عامل مؤثر بر رشد این درختان، میانگین دمای هوا در ماه مارس (اواخر زمستان) است (Fallah *et al.*, 2014). بازسازی درجه‌حرارت با استفاده از حلقه‌های رویشی درختان ارس (*J. przewalskii* Kom.) در شمال غرب چین حاکی از همبستگی قوی دما با

هرچند هنوز تعدادی از متخصصان هوا و اقلیم‌شناسی، افزایش دمای هوا یا به‌عبارتی، تغییر اقلیم مشاهده‌شده طی دو دهه گذشته در بعضی نقاط جهان را موضوعی گذرا و ناپایدار می‌دانند، اما تعداد زیادی از دانشمندان نیز عقیده دارند که کره‌زمین از نظر محیط‌شناسی به دوران جدیدی از گرمایش هوا وارد شده است (Azizi *et al.*, 2012).

گونه‌های درختی به تغییر شرایط محیطی در خارج از محدوده تحمل خود بسیار حساس هستند. به‌طوری‌که تغییرات دما و بارش، تأثیر بسیار زیادی بر فرایندهای محیطی و فیزیولوژیکی تعیین‌کننده رشد درختان دارند (Parsapajouh *et al.*, 2002; Hamidi *et al.*, 2022). شرایط گرم و خشک به تنش در ریشه درختان منجر می‌شود. زیرا افزایش تبخیر سبب افزایش بخار آب، دما و تنفس گیاه خواهد شد (Cedro, 2007). در مناطق مرطوب نیز اثرات متقابل آب‌شناسی و اقلیم باعث افزایش تنش رطوبتی می‌شوند. تأثیر اصلی دما بر رشد کامبیوم در فصل بهار و سپس در کل دوره رشد رخ می‌دهد (Nadi *et al.*, 2013). نقش تغییرات اقلیمی در رشد درختان ممکن است بر دوره بعدی رشد آن‌ها نیز تأثیرگذار باشد (Hamidi *et al.*, 2021). درختان به‌طور سالانه، حلقه‌های رویشی با پهنای متفاوت تولید می‌کنند. شکل‌گیری و پهنای این حلقه‌ها، متأثر از درجه‌حرارت و بارندگی محیط است (Brázdil *et al.*, 2002). براساس فرض اصل یکنواختی در ژئومورفولوژی که بیان می‌کند «وقایع اقلیمی که امروزه عمل می‌کنند، در گذشته نیز عمل می‌کردند» و با استفاده از تغییرات رشد در حلقه‌های رویشی درختان می‌توان وقایع اقلیمی را در آینده بازسازی کرد (Alipoor *et al.*, 2018). گاه‌شماری (Chronology) حلقه‌های رویشی درختان در بعضی گونه‌ها با سن هزاران سال، ابزار بی‌نظیری در مطالعه شرایط محیطی گذشته هستند (Frank & Esper, 2005). به‌عبارت‌دیگر، اطلاعات اقلیمی موجود در حلقه‌های رویشی، یک نگاه اجمالی به چگونگی تغییر اقلیم گذشته و پیش‌بینی اقلیم آینده را امکان‌پذیر می‌کند. برآوردهای اقلیمی با استفاده از حلقه‌های رویشی درختان به‌عنوان جانشین مناسب سنجش‌های هواشناسی می‌توانند

منطقه حفاظت شده قرخود در شمال غربی استان خراسان، غرب شهرستان بجنورد و در مجاور پارک ملی گلستان قرار دارد. این منطقه با مساحت ۴۳۷۷۸ هکتار بین ۲۰' ۳۷° تا ۳۱' ۳۷° عرض جغرافیایی شمالی و ۹' ۵۶° تا ۴۰' ۵۶° طول شرقی واقع شده است. منطقه قرخود از نظر منابع آبی غنی است. به طوری که این منطقه علاوه بر ۳۵ چشمه پرآب، تعدادی چشمه کم آب دائمی و فصلی نیز دارد. بیشینه بارندگی در استان خراسان متعلق به منطقه سردسیر قرخود است. در ارتفاعات و شیب‌های شمالی آن، یخبندان دائمی از آذرماه تا پایان سال وجود دارد.

#### روش پژوهش

##### نمونه برداری

باتوجه به حساسیت به تغییرات آب‌وهوایی و دیرزیستی بسیار زیاد درختان ارس (*J. polycarpus*)، این گونه برای پژوهش پیش‌رو انتخاب شد. پس از انتخاب ۲۵ درخت ارس، دو تا سه نمونه از هر پایه در ارتفاع برابر سینه با استفاده از مته سال‌سنج برداشت شد. پس از قرارگیری نمونه‌ها در یک محفظه پلاستیکی مخصوص، آن‌ها به منظور پردازش به آزمایشگاه چوب دانشکده منابع طبیعی در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری انتقال داده شدند. به منظور مشاهده پهنای دایره‌های سالانه، سطح نمونه‌های رویشی با استفاده از سمباده صیقل داده شد. برخی نمونه‌ها به علت خردشدگی، شکستگی و یا برداشت نامناسب از تنه درختان حذف شدند. پهنای دایره‌های سالانه هر نمونه با استفاده از دستگاه میز اندازه‌گیری Lintab و نرم‌افزار TSAPWIN اندازه‌گیری و ثبت شدند (Rinn, 1996). در نرم‌افزار TSAPWIN، پهنای حلقه‌های رویشی ثبت شده به صورت دوه‌دو، تاریخ‌گذاری تطبیقی (Cross-dating) شدند. به این ترتیب، حلقه‌های کاذب و یا ناقص حذف شدند. با تعیین سری زمانی نهایی، تطابق بین نمونه‌ها با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد (Cook & Holmes, 1999).

شاخص‌های رشد استاندارد این درختان بود (Wang et al., 2016). بررسی ارتباط متغیرهای اقلیمی با حلقه‌های رویش درختان ارس (*J. polycarpus*) در استان لرستان نشان داد که با وجود عدم رابطه معنی‌دار بین پهنای دایره‌های سالانه این درختان و بارش، دمای ماه‌های ژانویه، فوریه و مارس پیش از فصل رشد، همبستگی مثبت و معنی‌داری با پهنای این دایره‌ها داشتند (Alipoor et al., 2018). ارزیابی گاه‌شماری ارس (*J. polycarpus*) در استان کرمان نشان داد که بین متغیرهای ارتفاع از سطح دریا و متوسط پهنای حلقه‌های رویشی، همبستگی منفی متوسطی وجود دارد (Azizi et al., 2020).

ارس (*J. polycarpus*)، جزء معدود سوزنی‌برگان بومی ایران است که در مناطق وسیعی از کشور، معرف رویشگاه‌های طبیعی آن است. این گونه، مقاومت زیادی در مقابل تنش‌های محیطی دارد. بیشتر پایه‌های آن در سخت‌ترین شرایط زیستی و بسترهای صخره‌ای که امکان رویش برای کمتر گونه‌ای فراهم است، موجودیت خود را حتی با تغییرات ریخت‌شناختی حفظ کرده‌اند. باتوجه به اهمیت دستیابی به داده‌های بلندمدت آب‌وهوایی و نیز ارزش درختان ارس به عنوان یکی از گونه‌های مهم در بازسازی اقلیم، تاکنون پژوهش‌های اندکی در این زمینه با استفاده از گاه‌شماری این گونه در شمال شرق ایران انجام شده‌اند. به عنوان مثال، گاه‌شماری درختان ارس در شهرستان لاین در استان خراسان شمالی برای سال‌های ۱۸۴۵ تا ۲۰۰۰ بازسازی شده است (Nadi & Pourtahmasi, 2017). هدف از پژوهش پیش‌رو، تعیین مؤلفه‌های هواشناسی مؤثر بر رشد پهنای دایره‌های سالانه در درختان ارس به منظور بازسازی اقلیم گذشته در شمال شرق کشور بود. نتایج این پژوهش می‌تواند به توسعه دانش گاه‌شماری و ایجاد بانک اطلاعات گاه‌شماری کشور کمک کند.

#### مواد و روش‌ها

##### منطقه مورد مطالعه

$$GLK = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n-1} |G_{xi} - G_{yi}| \quad \text{رابطه (۱)}$$

منحنی میانگین رویشی هرکدام از نمونه‌های مورد مطالعه تهیه شد. با استفاده از روش هموارسازی با بسامد کم، استانداردسازی میانگین منحنی رویشی هرکدام از نمونه‌ها با برنامه ARSTAN انجام گرفت (Cook & Holmes, 1999). سطح اطمینان و اعتبار گاه‌شماری تهیه‌شده با استفاده از سیگنال معرف جمعیت آماری (EPS: Expressed Population Signal) ارزیابی شد (رابطه ۲).

$$EPS_{(t)} = \frac{tr_{bt}}{tr_{bt} + (1 - tr_{bt})} \quad \text{رابطه (۲)}$$

(رابطه‌های ۳ و ۴) استفاده شد. ضریب حساسیت ( $S_i$ ) مقدار تغییر در پهنای دایره‌های سالانه را در سال  $i$  بیان می‌کند، درحالی‌که میانگین حساسیت ( $MS_i$ ) مقدار تغییر پهنای دایره‌های سالانه در طول سری زمانی را نشان می‌دهد.

$$S_i = \frac{2(x_i - x_{i-1})}{x_i + x_{i-1}} \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$MS_i = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} \left| \frac{2(x_i - x_{i-1})}{x_i + x_{i-1}} \right| \quad \text{رابطه (۴)}$$

داده‌های ماهانه هواشناسی سه ماه پیش از سال رویشی (اکتبر سال قبل) تا سپتامبر سال رویش به‌کار برده شد. سپس، همبستگی پهنای دایره‌های هر سال به‌طور مجزا با دما و بارندگی هریک از ماه‌های سال بررسی شد.

بازسازی شرایط آب‌وهوایی با استفاده از گاه‌شماری توسعه‌یافته درختان ارس به‌منظور تعیین مؤلفه‌های هواشناسی مؤثر بر رشد درختان ارس از داده‌های ایستگاه همدیدی (Synoptic) بجنورد به‌عنوان نزدیک‌ترین و قابل‌اعتمادترین ایستگاه هواشناسی به

در رابطه (۱)،  $GLK$  بیانگر درصد هم‌پوشانی واریانس است.  $G_{xi} - G_{yi}$  نیز اختلاف بین مقدار پهنای حلقه‌های رویشی در سال  $i$  نسبت به سال پیش را نشان می‌دهد. هرچه ضریب  $GLK$  به عدد ۱۰۰ نزدیک‌تر باشد، تطابق بین نمونه‌ها، معنی‌دارتر است.

بعد از تطابق نمونه‌ها و رفع خطاهای اندازه‌گیری، میانگین مقدار پهنای دایره‌های سالانه برای همه نمونه‌ها محاسبه و

در رابطه (۲)،  $t$  بیانگر تعداد گاه‌شماری‌های انفرادی تشکیل‌دهنده گاه‌شماری میانگین و  $tr_{bt}$  نشان‌دهنده میانگین ضریب‌های همبستگی بین تک‌تک گاه‌شماری‌های تشکیل‌دهنده گاه‌شماری میانگین هستند. به‌منظور بررسی نوسان‌های رویشی درختان از ضریب و میانگین حساسیت

در رابطه‌های ۳ و ۴،  $x_i$  و  $x_{i-1}$  به‌ترتیب بیانگر پهنای حلقه در سال‌های  $i$  و  $i-1$  هستند.  $n$  نیز تعداد حلقه‌های رویشی را نشان می‌دهد. درنهایت، با محاسبه گاه‌شماری، رابطه بین شاخص رویشی درختان ارس به‌دست‌آمده با متغیرهای اقلیمی شامل میانگین، کمینه و بیشینه دمای ماهانه و سالانه و نیز بارندگی ماهانه و مجموع بارندگی ماهانه با استفاده از روش همبستگی پیرسون مقایسه شد. در این پژوهش برای تعیین مؤثرترین متغیرهای اقلیمی بر رشد حلقه‌های درختان ارس، دوره رشد سالانه از ماه سپتامبر یک سال معین تا سپتامبر سال بعد تعریف شد. به‌عبارت‌دیگر،

باشند، بیانگر قدرت زیاد معادله بازسازی اقلیم هستند. البته مقدار مثبت این شاخص‌ها، اعتبار کافی مدل برآورد شده را نشان می‌دهند. آزمون علامت نیز بیانگر تعداد برآوردهای درست به نادرست است. چنانچه تعداد برآوردهای نادرست از بیشینه مجاز آن در سطح اطمینان ۹۵ درصد کمتر باشد، بازسازی‌های اقلیمی قابل قبول است. در نهایت، سال‌های نمادین مثبت و منفی با استفاده از شاخص Zscore تعیین شدند (رابطه ۵).

$$Z_i = \frac{x_i - \text{mean}}{\text{Std}} \quad \text{رابطه (۵)}$$

$Z_i$ : مقدار نمایه در سال  $i$

$x_i$ : مقدار پهنای حلقه در سال  $i$

mean: میانگین پهنای حلقه‌ها در محدوده  $x_{i-2}, x_{i-1}, x_i, x_{i+1}, x_{i+2}$

$i$ ، و  $x_{i-2}$

Std: انحراف معیار پهنای حلقه‌ها در محدوده  $x_{i-2}, x_{i-1}, x_i, x_{i+1}, x_{i+2}$

$x_{i-1}$ ، و  $x_{i-2}$

## نتایج

در این پژوهش از ۲۵ درخت ارس نمونه‌برداری شد که نمونه‌های حاصل از پنج درخت به‌علت عدم تطابق زمانی مناسب با درختان دیگر حذف شدند. در مجموع، ۴۰ نمونه (دو نمونه در دو شعاع مقابل هم در هر درخت) از ۲۰ درخت به‌کار برده شد. جدول ۱، نتایج ویژگی‌های گاه‌شماری محاسبه‌شده برای نمونه‌های تنه درختان ارس ر منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

رویشگاه نمونه‌برداری استفاده شد. میانگین دمای بلندمدت ۳۰ ساله این ایستگاه، ۱۳/۳ درجه سانتی‌گراد است. بیشینه و کمینه بارش سالانه نیز به ترتیب ۴۶۸/۵۶ و ۱۲۴ میلی‌متر ثبت شده‌اند. داده‌های ایستگاه همدیدی بجنورد مربوط به سال‌های ۱۹۷۸ تا ۲۰۲۰ است که از آن‌ها برای بررسی ارتباط پهنای دایره‌های سالانه درختان ارس و مؤلفه‌های هواشناسی شامل دما و بارش استفاده شد.

واسنجی و ارزیابی معادله بازسازی اقلیم

همبستگی پهنای دایره‌های سالانه درختان با داده‌های هواشناسی از سه ماه پیش از فصل رشد تا انتهای فصل رشد به‌منظور تعیین متغیر هواشناسی اثرگذار بر رشد درختان محاسبه شد. سپس، با استفاده از یک رابطه رگرسیون خطی ساده و گاه‌شماری موجود، متغیر هواشناسی مورد نظر در دوره فاقد داده هواشناسی بازسازی شد، اما پیش‌از آن برای درک قدرت معادله بازسازی اقلیم باید معادله مورد نظر در دو مرحله، واسنجی و اعتبارسنجی شود (Nadi & Pourtahmasi, 2017). به‌این‌منظور، کل دوره به دو نیم‌دوره مساوی تقسیم شد. در یکی از نیم‌دوره‌ها، پارامترهای معادله بازسازی اقلیم برآورد شد. سپس، با استفاده از پارامترهای برآورد شده، معادله بازسازی در نیم‌دوره دیگر ارزیابی شد. همچنین، روش ارزیابی متقاطع نیز به‌منظور بررسی بازسازی‌ها در کل دوره به‌کار برده شد. آزمون‌های مورد استفاده برای ارزیابی معادله بازسازی اقلیم شامل ضریب همبستگی پیرسون ( $r$ )، آزمون علامت (Sign Test)، آماره ضریب کارایی (Coefficient of Efficiency) و کاهش خطا (Reduction Error) هستند (Fritts, 1976). هرچه مقدار آماره‌های ضریب کارایی و کاهش خطا به یک نزدیک‌تر

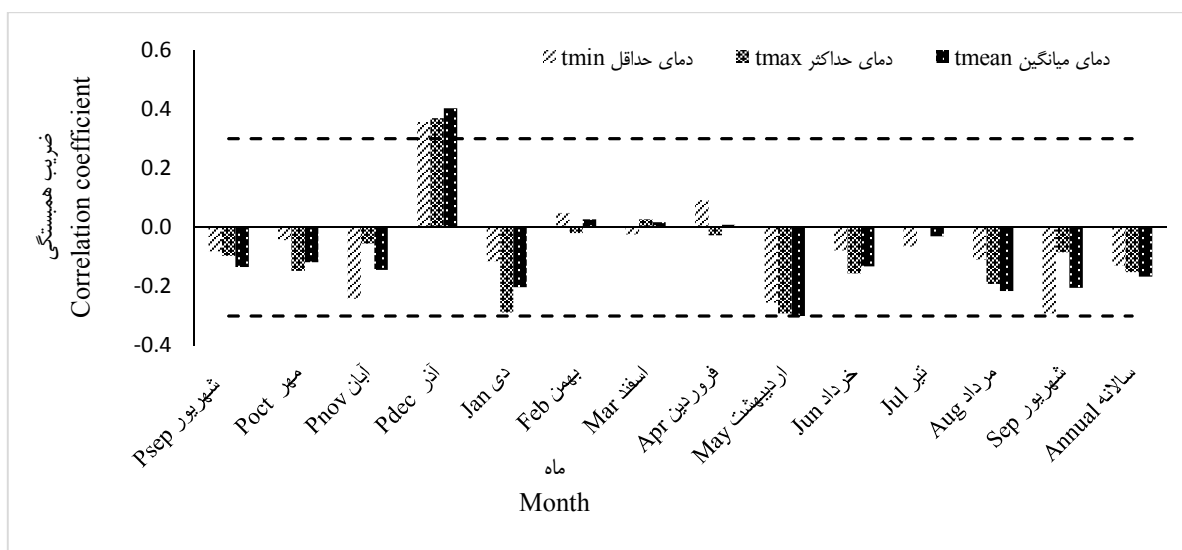
جدول ۱- ویژگی گاه‌شماری محاسبه‌شده برای نمونه‌های ارس

Table 1. Calculated chronology characteristics of *Juniperus polycarpus*

طول گاه‌شماری (سال)	سال آغاز گاه‌شماری	سال پایان گاه‌شماری	تعداد درخت	تعداد کل نمونه‌ها	میانگین حساسیت
Chronological length (year)	Start year of chronology	End year of chronology	Number of trees	Total number of samples	Average sensitivity
170	1850	2020	20	40	0.29

۲، میانگین بارش ماهانه و سالانه در ایستگاه بجنورد و همبستگی آن‌ها با رویش ارس آمده است. بررسی رابطه بارش ماهانه با پهنای دایره‌های سالانه ارس نشان داد که بیشترین همبستگی مثبت و معنی‌دار متعلق به بارش ماه‌های فوریه (بهمن)، مارس (اسفند)، آوریل (فروردین) و مه (اردیبهشت) هستند. بیشینه ضریب همبستگی نیز به مجموع بارش ماه‌های ژانویه (دی) تا مه (اردیبهشت) تعلق داشت.

رابطه حلقه‌های رویش و عوامل اقلیمی در شکل ۱، کمینه، بیشینه و میانگین دمای ماهانه و سالانه در ایستگاه همدیدی بجنورد و همبستگی آن‌ها با پهنای دایره‌های سالانه ارس آمده است. براین اساس، دمای ماه دسامبر (آذر) سال گذشته، همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد با پهنای حلقه‌های رویش داشته است. در ماه مه (اردیبهشت) نیز همبستگی منفی معنی‌داری مشاهده شد. در شکل



شکل ۱- رابطه همبستگی دما و گاه‌شماری درختان ارس

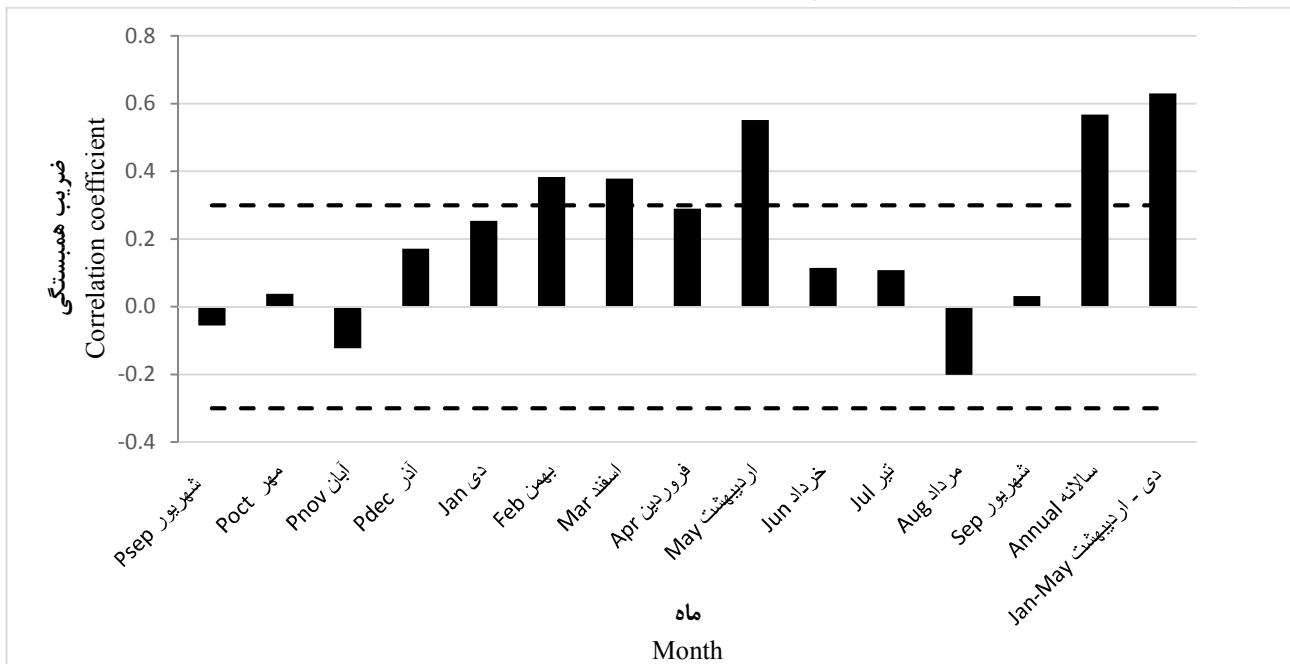
خط‌چین‌های افقی، حدود معنی‌داری ضریب همبستگی را در سطح اطمینان ۹۵ درصد نشان می‌دهند.

Figure 2. Correlation relationship of temperature and chronology of juniper trees  
The horizontal dashed lines show the significance limits of the correlation coefficient ( $p < 0.05$ ).

معنی‌دار بودند. همچنین در آزمون علامت (ST) نیز تعداد توافقات از عدم توافقات با اطمینان ۹۵ درصد بیشتر بودند. مقدار مثبت آماره‌های CE و RE در همه دوره‌های مورد بررسی، نشان‌دهنده کیفیت قابل قبول بازسازی‌ها است. باتوجه به عدم وجود اختلاف معنی‌دار آماره دوربین واتسون (DW) نسبت به عدد دو در همه دوره‌ها می‌توان از عدم وجود خودهمبستگی مرتبه اول در باقی مانده‌های معادله بازسازی بارش مطمئن بود. به علاوه، مقدار ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) در همه دوره‌های مورد بررسی از مقدار انحراف استاندارد داده‌های واقعی (۵۸/۴۴) کمتر به دست آمد که خطای قابل قبول معادله

بازسازی بارش ماه‌های ژانویه تا می همان‌طور که در روش پژوهش ذکر شد، معادله بازسازی بارش در دو مرحله واسنجی و اعتبارسنجی بررسی شد. در مرحله اول، رابطه رگرسیونی بین پهنای حلقه‌های رویش و مجموع بارش ماه‌های ژانویه تا مه در نیم‌دوره اول داده‌های تاریخی ایستگاه همدیدی بجنورد واسنجی شد و در نیم‌دوره دوم ارزیابی شد. در گام بعد، دوره‌های واسنجی و ارزیابی به صورت معکوس انتخاب شدند. در نتیجه، همه داده‌ها در دو مرحله هم در واسنجی و هم در ارزیابی شرکت داده شدند. طبق نتایج جدول ۲، ضریب‌های همبستگی در همه دوره‌های واسنجی و ارزیابی

بازسازی بارش را نشان می‌دهد. به‌طورکلی نتایج جدول ۲  
بیانگر کیفیت مناسب معادله بازسازی بارش در منطقه  
قرخود است.



شکل ۲- رابطه همبستگی بارش و گاه‌شماری درختان ارس

خط‌چین‌های افقی، حدود معنی‌داری ضریب همبستگی را در سطح اطمینان ۹۵ درصد نشان می‌دهند.

**Figure 3. Correlation relationship between the precipitation and chronology of Juniper trees**  
The horizontal dashed lines show the significance limits of the correlation coefficient ( $p < 0.05$ ).

جدول ۲- نتایج واسنجی و ارزیابی معادله بازسازی بارش در دوره‌های مختلف زمانی

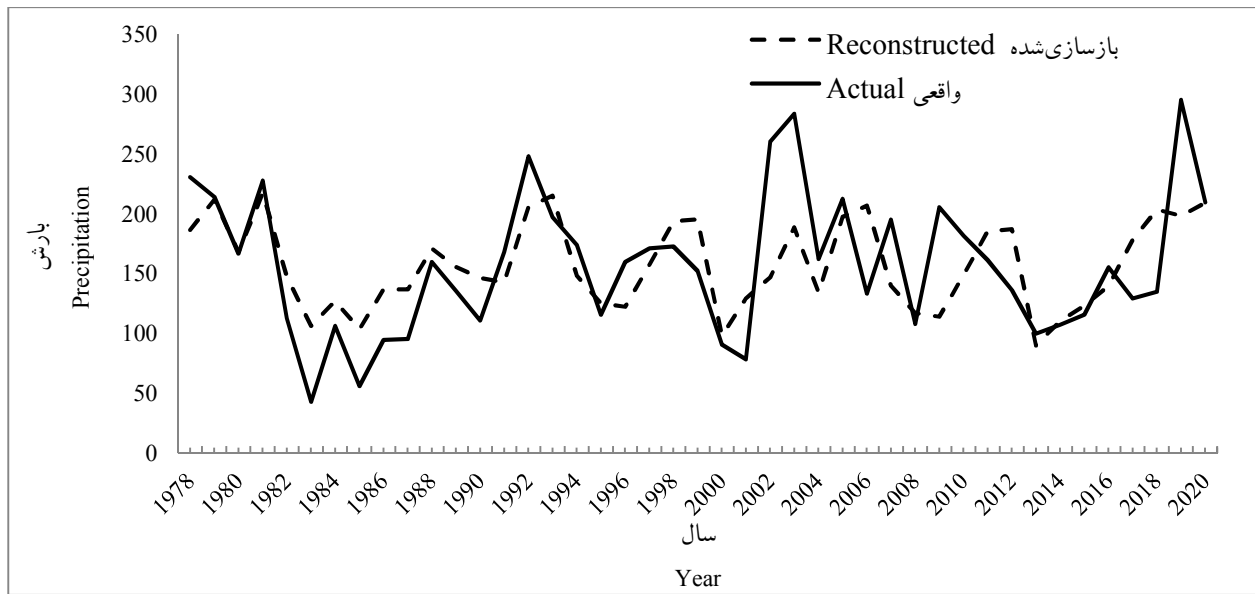
**Table 2. The results of calibration and evaluation of the precipitation reconstruction equation in different periods**

دوره واسنجی	معادله	R	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> <sub>adj</sub>	دوره ارزیابی	ST	RMSE	MAE	MBE	r	DW	CE	RE
Measuring period	Equation				Evaluation period								
1978-1998	$P = -92.9 + 231.4 TR$	0.87	0.75	0.74	1999-2020	17/5	54.06	51.19	16.17	0.46	1.84	0.15	0.2
1999-2020	$P = 40.6 + 118.7 TR$	0.55	0.31	0.29	1978-1998	17/4	38.97	32.22	14.91	0.87	1.86	0.5	0.53
1978-2020	$P = -17.1 + 166.9 TR$	0.63	0.4	0.38	1978-2020	30/13	46.97	36.8	-0.12	0.58	1.75	-99	-99

P: بارش (میلی‌متر) و TR: پهنای دوایر سالانه درخت

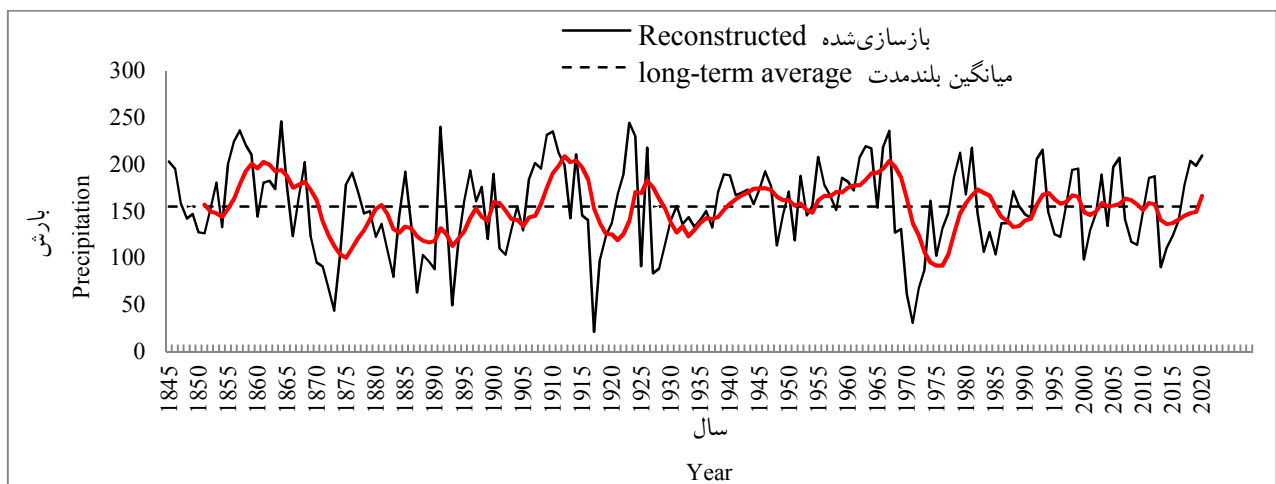
دوره‌های تر و خشک منطقه از فیلتر میانگین متحرک هفت‌ساله استفاده شد. براین اساس، سه دهه آخر قرن ۱۹ و دهه ۱۹۷۰ خشک‌ترین دوره‌های منطقه قرخود بودند. طبق میانگین متحرک هفت‌ساله، سال‌های ۱۹۱۱ و ۱۹۶۵ نیز مرطوب‌ترین دوره‌های این منطقه به‌شمار می‌آیند.

به‌منظور بررسی چشمی، روند مقدار واقعی و بازسازی‌شده بارندگی در دوره تاریخی ایستگاه همدیدی بجنورد (۱۹۷۸ تا ۲۰۲۰) در شکل ۳ نمایش داده شده است. معادله نهایی با استفاده از میانگین بارندگی منطقه مورد مطالعه در کل دوره واسنجی شد. سپس، مقدار بارندگی سالانه در شکل ۴ برای کل دوره ۱۸۵۰ تا ۲۰۲۰ آمده است. همچنین، به‌منظور درک



شکل ۳- مقدار بارش سالانه واقعی و بازسازی شده در دوره ۱۹۷۸ تا ۲۰۲۰

Figure 4. Actual and reconstructed values of annual precipitation in 1978-2020



شکل ۴- بارش سالانه بازسازی شده و بلندمدت در دوره ۱۸۵۰ تا ۲۰۲۰

Figure 5. Reconstructed and long-term values of annual precipitation in 1850-2020

شدند. به‌طورکلی طی دوره ۱۸۵۰ تا ۲۰۲۰، هشت سال جزء سال‌های نمادین مثبت و نه سال به‌عنوان سال‌های منفی بازسازی شدند. براین‌اساس در سال‌های ۱۸۶۴ و ۱۹۱۷ نیز به‌ترتیب بیشترین و کمترین مقدار بارش رخ داد.

در جدول‌های ۳ و ۴، نتایج حاصل از شاخص Zscore به‌منظور تشخیص سال‌های نمادین آمده است. سال‌هایی که مقدار این شاخص از  $+1/86$  بیشتر یا از  $-1/86$  کمتر بود، به‌ترتیب به‌عنوان سال‌های نمادین مثبت و منفی در نظر گرفته



جدول ۳- سال‌های نمادین مثبت در منطقه مورد مطالعه

Table 3. Positive symbolic years in the study area

شماره Number	سال Year	بارش (میلی‌متر) Precipitation (mm)
1	1875	236.09
2	1864	245.93
3	1891	240.09
4	1909	231.58
5	1910	235.09
6	1923	244.43
7	1924	229.75
8	1967	235.92

جدول ۴- سال‌های نمادین منفی در منطقه مورد مطالعه

Table 4. Negative symbolic years in the study area

شماره Number	سال Year	بارش (میلی‌متر) Precipitation
1	1872	67.69
2	1873	43.65
3	1883	79.87
4	1887	63.35
5	1893	49.66
6	1917	21.12
7	1970	61.68
8	1971	30.63
9	1972	67.85

## بحث

برای فعالیت کامپیوم‌ها فراهم می‌شود. ارزیابی گاه‌شماری ارس (*J. polycarpus*) در مناطق غربی و مرکزی ایران نشان داد که در نواحی خشک‌تر، رشد شعاعی این گونه به مقدار بارندگی بستگی دارد (Liphschitz *et al.*, 1979). بررسی درختان ارس (*J. excelsa*) در ارتفاعات شمالی کشور عمان حاکی از وجود رابطه مثبت قوی بین حلقه‌های رشد آن و کل بارندگی سالانه بود (Fisher & Gardner, 1995). ارزیابی اثرات دما و بارش بر حلقه‌های رویشی درختان شاخه‌زاد بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl.) در زاگرس میانی نشان داد که بین بارندگی و رویش شعاعی این درختان در همه ماه‌ها (فصل رویش و سال پیش از آن)، رابطه مستقیمی وجود دارد (Radmehr *et al.*, 2015). بررسی اثر اقلیم بر

نتایج پژوهش پیش‌رو بیانگر قابلیت بسیار خوب درختان ارس در بازسازی مؤلفه‌های رطوبتی مانند بارش و خشک‌سالی در منطقه قرخود هستند. بررسی همبستگی بارش با حلقه‌های رشد این درختان نشان‌دهنده تأثیرگذاری بارندگی پیش از فصل رشد و ابتدای فصل رشد در پهنای این حلقه‌ها است. مجموع بارش فصل بارندگی طی ماه‌های ژانویه (دی) تا مه (اردیبهشت) در منطقه قرخود با تأمین آب مورد نیاز درختان ارس، اثرات مثبت بسزایی بر رشد آن‌ها داشته است. به‌طورکلی می‌توان بیان کرد که رویش درختان ارس منطقه مورد مطالعه اغلب تحت تأثیر مشخصه بارندگی بوده است. به‌این‌صورت که با افزایش بارندگی، شرایط مناسب

ماه‌های مارس (اوایل فصل رشد) و ژوئیه (اواسط فصل رشد)، مهم‌ترین عامل‌های اقلیمی تأثیرگذار بر رشد قطری اوری در جنگل‌های هیرکانی گزارش شدند (Jalilvand & Balapour, 2014). نتایج متناقض گزارش شده در پژوهش‌های مختلف ناشی از شرایط اقلیمی مختلف و موقعیت جغرافیایی رویشگاه‌های مورد مطالعه است، بنابراین بررسی‌های گاه‌شماری برای تعیین و شناخت عوامل تأثیرگذار اقلیمی بر رویش حلقه‌های سالانه در هر منطقه، ضروری به نظر می‌رسد. در این پژوهش سعی شد که با به‌کارگیری روش‌های اندازه‌گیری و تحلیل اطلاعات پهنای دایره‌های سالانه و نوسان‌های رویشی درختان ارس، ارتباط بین پهنای حلقه‌های رویشی و متغیرهای اقلیمی شناسایی شود. اثر مهم‌ترین مؤلفه اقلیمی (بارش) بر رویش درختان منطقه مورد مطالعه نیز تعیین شد. سپس، براساس این نتایج، بارش سالانه منطقه قرخود بازسازی شد. این پژوهش توانست با به‌کارگیری روش‌های موجود در دانش اقلیم‌شناسی درختی، پس از تهیه گاه‌شماری منطقه مورد مطالعه، یک دوره ۱۷۰ ساله اقلیمی را بازسازی کند. به‌منظور بازسازی داده‌های بارش برای یک دوره بلندمدت، گونه دیرزیست ارس به دلایل حساسیت زیاد به کوچک‌ترین نوسان‌های شرایط بوم‌شناختی رویشگاه و سن رویشی زیاد انتخاب شد. براساس شرایط منطقه مورد مطالعه و تأثیر مثبت بارندگی بر درختان ارس، مجموع بارش ماه‌های ژانویه (دی) تا مه (اردیبهشت) بازسازی شد. با توجه به کارایی خوب معادله واسنجی می‌توان از آن برای بازسازی تغییرات بارش استفاده کرد. بازسازی بارش در منطقه مورد مطالعه سبب کسب اطلاعات بیشتر از اقلیم گذشته و تکمیل بانک اطلاعات اقلیم آینده منطقه در راستای بهبود کیفیت پژوهش‌های حال و آینده خواهد شد.

### سپاسگزاری

پژوهش حاضر با حمایت مالی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری انجام شده است. بدین وسیله از معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه جهت تامین مالی طرح پژوهشی با کد (۱۳۹۹-۱۲-۰۴) تشکر و قدردانی می‌گردد.

رویش شعاعی *Quercus liaotungensis* Koidz. در چین حاکی از اثر مثبت بارندگی در سپتامبر سال قبل و آوریل تا ژوئن فصل رویش بر پهنای دایره‌های سالانه بود (Du et al., 2007).

نتایج دیگر پژوهش پیش‌رو نشان داد که کمینه بارش طی دوره ۱۸۵۰ تا ۲۰۲۰ به سال ۱۹۱۷ تعلق داشت. در پژوهش‌های دیگری نیز با بازسازی بارش، سال ۱۹۱۷ به‌عنوان کم‌بارش‌ترین سال معرفی شده است (Shao et al., 2005; Gervais, 2006; Liu et al., 2011; Nadi & Pourtahmasi, 2017). بررسی تأثیر گل‌آزنی بر رویش شعاعی وی‌ول (*Quercus libani* Oliv.) در جنگل‌های زاگرس شمالی نشان داد که فراوانی سال‌های نمادین منفی به دلیل دخالت‌های انسانی در قالب گل‌آزنی، بیشتر از سال‌های نمادین مثبت بوده است (Abedini et al., 2010). در پژوهش پیش‌رو، تعداد سال‌های نمادین مثبت و منفی نیز به ترتیب هشت و نه سال به‌دست آمدند.

به‌طورکلی، در اغلب پژوهش‌ها، اثر منفی دمای فصل رویش و پیش از فصل رویش بر رشد حلقه‌های سالانه ارس گزارش شده است. با این حال، بررسی همبستگی دمای ماهانه با پهنای دایره‌های سالانه ارس در پژوهش پیش‌رو حاکی از عدم تأثیر منطقی و معنی‌داری دما بر رشد این درختان بود. این نتیجه با توجه به اقلیم نیمه‌خشک منطقه نمونه‌برداری قابل توجیه است. زیرا در مناطق خشک و نیمه‌خشک، بارش ناکافی، عامل محدودکننده رشد است، بنابراین با اطمینان می‌توان نتیجه‌گیری کرد که نوسان‌های پهنای دایره‌های سالانه درختان ارس در منطقه قرخود به دلیل محدودیت‌های آبی بوده است. البته دمای ماه‌های دسامبر (آذر) سال گذشته و مه (اردیبهشت) فصل رویش به ترتیب اثرات معنی‌دار مثبت و منفی بر رویش شعاعی ارس داشتند. ارزیابی رویش شعاعی ارس (*J. polycarpus*) در جنگل‌های گرگان بیانگر اثر مثبت دمای ماه مارس بر رویش این درختان بود (Pourtahmasi et al., 2009). نتایج دیگر پژوهش مذکور نشان داد که رویش ارس اغلب تحت تأثیر بارش قرار داشته است که با یافته‌های پژوهش پیش‌رو همخوانی دارد. در پژوهشی دیگر، دمای

Science Research, 29(1): 94-105 (In Persian with English summary).

- Fisher, M. and Gardner, A.S., 1995. The status and ecology of a *Juniperus excelsa* subsp. *polycarpus* woodland in the northern mountains of Oman. *Vegetation*, 119: 33-51.
- Frank, D. and Esper, J., 2005. Temperature reconstructions and comparisons with instrumental data from a tree-ring network for the European Alps. *International Journal of Climatology*, 25: 1437-1454.
- Fritts, H.C., 1976. *Tree Ring and Climate*. Academic Press, London, England, 567p.
- Gervais, B.R., 2006. A three-century record of precipitation and blue oak recruitment from the Tehachapi Mountains, Southern California, USA. *Dendrochronologia*, 24: 29-37.
- Hamidi, S.K., de Luis, M., Bourque, C.P.A., Bayat, M. and Serrano-Notivoli, R., 2022. Projected biodiversity in the Hyrcanian mountain forest of Iran: an investigation based on two climate scenarios. *Biodiversity and Conservation*, 18p. <https://doi.org/10.1007/s10531-022-02470-1>.
- Hamidi, S.K., Weiskittel, A., Bayat M. and Fallah, A., 2021. Development of individual tree growth and yield model across multiple contrasting species using nonparametric and parametric methods in the Hyrcanian forests of northern Iran. *European Journal of Forest Research*, 140: 423-434.
- Jalilvand, H. and Balapour, Sh., 2014. The effect of climate on tree-ring chronologies of oak (*Quercus macranthera*) on tree line of Hyrcanian forest. *Journal of Wood & Forest Science and Technology*, 20(4): 1-19 (In Persian with English summary).
- Liphshitz, N., Waisel, Y. and Lev-Yadun, S., 1979. Dendrochronological investigation in Iran. *Tree-Ring Bulletin*, 39: 39-45.
- Liu, J., Yang, B. and Qin, C., 2011. Tree-ring based annual precipitation reconstruction since AD 1480 in south central Tibet. *Quaternary International*, 236(1-2): 75-81.
- Nadi, M., Khalili, A., Pourtahmasi, K. and Bazrafshan, J., 2013. Comparing the various interpolation techniques of climatic data for determining the most important factors affecting the trees growth in the elevated areas of Chaharbagh, Gorgan. *Journal of Forest and Wood Products*, 66(1): 83-95 (In Persian with English summary).
- Nadi, M. and Pourtahmasbi, K., 2017. Tree ring based precipitation reconstruction of northeast Iran using juniper tree chronology of Lain region. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 5(3): 1-16 (In Persian with English summary).
- Parsapajouh, D., Faezipour, M. and Taqi Yari, H., 2002.

## منابع مورد استفاده

- Abedini, R., Pourtahmasi, K., Ghazanfari, H. and Karimi, A.N., 2010. Effect of severe lopping on radial growth of Lebanon oak (*Quercus libani* Oliv.) trees in Baneh adjacent forests. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 18(4): 556-568 (In Persian with English summary).
- Alipoor, M., Raeini Sarajaz, M., Pourtahmasi, K. and Nadi, M., 2018. The effect of climatic variables on annual tree-rings width of Persian juniper trees in Kyguran habitat of Lorestan province. *Forest and Wood Products*, 70(4): 599-608 (In Persian with English summary).
- Azizi, Gh., Arslani, M. and Yamani, M., 2012. Reconstruction of October-May precipitation variations based on tree rings in Kermanshah city over the 1705-2010 periods. *Physical Geography Research*, 44(1): 37-53 (In Persian with English summary).
- Azizi, G., Robertson, I., Karimi, M. and Abadijoui Ravari, M.M., 2020. Relationship between altitude and *Juniper* genus tree-rings width Case study: *Juniperus* habitats in north of Kerman province. *Ecology of Iranian Forests*, 8(15): 115-127 (In Persian with English summary).
- Balapour, S. and Kazemi, S.M., 2012. Effects of climate variables (temperature and precipitation) on annual growth of *Zelkova carpinifolia*. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 27(1): 69-80 (In Persian with English summary).
- Brázdil, R., Stepánková, P., Kyncl, T. and Kyncl, J., 2002. Fir tree-ring reconstruction of March – July precipitation in southern Moravia (Czech Republic), 1376 – 1996. *Climate Research*, 20: 223-239.
- Cedro, A., 2007. Tree-ring chronologies of downy oak (*Quercus pubescens*), pedunculate oak (*Q. robur*) and sessile oak (*Q. petraea*) in the Bielinek Nature Reserve: Comparison of the climatic determinants of tree-ring width. *Geochronometria*, 26: 39-45.
- Cook, E.R. and Holmes, R.L., 1999. User Manual for Program ARSTAN. Adapted from: Holmes, R.I., Adams, R.K. and Fritts, H.C., 1986. User Manual for Program ARSTAN. Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona, Tucson, Arizona, USA, 50-65.
- Du, S., Yamanaka, N., Yamamoto, F., Otsuki, K., Wang, S. and Hou, Q., 2007. The effect of climate on radial growth of *Quercus liaotungensis* forest trees in Loess Plateau, China. *Dendrochronologia*, 25: 29-36.
- Fallah, A., Balapour, B., Yekehani, M. and Jalilvand, H., 2014. Dendrochronological studies of *Juniperus polycarpus* in Alborz mountains (case study: Shahkuh of Shahrood). *Iranian Journal of Wood and Paper*

- Effects of climate variables (temperature and precipitation) on the width of rings-growth in Persian coppice oak in the central Zagros (Case study: Khoramabad). *Journal of Wood & Forest Science and Technology*, 22(1): 93-110 (In Persian with English summary).
- Rinn, F., 1996. TSAP: Time Series Analysis and Presentation, Version 3. Reference Manual, Heidelberg, Germany, 262p.
  - Shao, X., Huang, L., Liu, H., Liang, E., Fang, X. and Wang, L., 2005. Reconstruction of precipitation variation from tree rings in recent 1000 years in Delingha, Qinghai. *Science in China Ser. D Earth Sciences*, 48(7): 939-949.
  - Wang, Y., Feng, Q. and Kang, X., 2016. Tree-ring-based reconstruction of temperature variability (1445–2011) for the upper reaches of the Heihe River Basin, Northwest China. *Journal of Arid Land*, 8(1): 60-76.
  - Multilingual Glossary of Dendrochronology Terms Definitions in English, German, French and Persian (translation). University of Tehran Press, Tehran, Iran, 308p.
  - Pourtahmasi, K., Parsapajouh, D., Bräuning, A., Esper, J. and Schweingruber, H.F., 2007. Climatic analysis of pointer years in tree-ring chronologies from northern Iran and neighboring high mountain areas. *GEOÖKO*, 28: 27-42.
  - Pourtahmasi, K., Poursartip, L., Bräuning, A. and Parsapajouh, D., 2009. Comparison between the radial growth of Juniper (*Juniperus polycarpos*) and oak (*Quercus macranthera*) trees in two sides of the Alborz mountains in Chaharbagh region of Gorgan. *Journal of Forest and Wood Products*, 62(2): 159-169 (In Persian with English summary).
  - Radmehr, A., Soosani, J., Balapour, Sh., Hosseini Ghaleh Bahmani, S.M. and Sepahvand, A., 2015.

## Reconstruction of precipitation using the chronology of juniper trees (*Juniperus polycarpus*) in North Khorasan Province, Iran

A. Fallah<sup>1</sup>, M. Nadi<sup>2</sup>, M. Imani<sup>3</sup> and S.K. Hamidi<sup>4\*</sup>

1- Prof., Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Sari - Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

2- Assistant Prof., Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

3- Ph.D. Graduate, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

4\* - Corresponding author, Ph.D. Graduate, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. E-mail: k.hamidi86@yahoo.com

Received: 03.02.2023

Accepted: 06.04.2023

### Abstract

One of the most important challenges of climate studies in Iran is the lack of access to long-term climate data. Tree climatology, by examining the effects of climate on the annual rings of trees, provides the possibility of reconstructing the temperature and precipitation of past periods. The main goal of this study is to reconstruct precipitation from the width of annual circles of juniper trees (*Juniperus polycarpus* K.Koch) in the Garkhod region, located in the northwest of Khorasan province in Iran. The samples were prepared from the juniper trees with a chronometer drill and after initial preparation, they were read by LINTAB device and their time agreement was checked with TSAPWIN software. The final chronology was prepared using ARSTAN software and based on reconstructing the precipitation in the period 1850-2020. The results showed that the widths of juniper annual circles were not affected by temperature fluctuations. Still, the total precipitation of January-May showed the maximum positive and significant correlation coefficient with the growth of these trees. Between the months of the year, February, March, April, and May had the most positive and significant correlation with the width of the annual circles. In general, during the period of 1850-2020, 8 years except for positive symbolic years and 9 years were reconstructed as negative years. The highest precipitation occurred in 1864 and the lowest in 1917. It can be said that the precipitation influences the growth of juniper trees in the region. In this way, suitable conditions for the activity of cambiums are provided with the increase in precipitation.

Keywords: Climatic variable, growth ring, time adaptation, tree climatology, width of annual circle.