

بازسازی بارش دیرینه منطقه کرمان با استفاده از اقلیم‌شناسی درختی گونه ارس

محمد مهدی آبادیجو راوری*؛ دکتری آب و هواشناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران

قاسم عزیزی؛ استاد آب و هواشناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران

مصطفی کریمی؛ استادیار آب و هواشناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۲۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۰۹

چکیده

با توجه به تأثیرگذاری هم‌زمان منابع رطوبتی کوتاه مدت و بلند مدت بر رشد سالانه درختان، هدف این مطالعه بررسی تأثیر منابع مختلف رطوبتی بر رشد درختان ارس در رویشگاه تنگل راور در شمال استان کرمان و سپس بازسازی شرایط بارش با استفاده از حلقه‌های رشد سالیانه این گونه است. نمونه‌های برداشت شده از ۹۵ درخت به وسیله میزکار LINTAB و نرم‌افزار TSAPWin شمارش، و پهنای آن‌ها با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر اندازه‌گیری و تطابق زمانی بین منحنی‌های رویشی درختان و کیفیت منحنی‌ها بررسی شد. با استفاده از نرم‌افزار ARSTAN تعداد ۴ گاه‌شناسی از درختان ارس منطقه با بیشترین طول ۶۸۰ سال (۱۳۳۸-۲۰۱۷ میلادی) ساخته و سپس با روش منحنی‌نمایی منفی و منحنی‌برازش سه جمله‌ای ۲۰ ساله، روندزایی و استاندارد سازی شدند. ارتباط بین بارش و پهنای حلقه‌ها با استفاده از داده‌های سه ایستگاه هواشناسی زرنند، راور و کوهبنان استان سنجیده شد. نتایج نشان داد که بارش ماه‌های پیش از فصل رویش و فصل رویش یا در واقع مجموع بارش در فصل بارندگی اثر مستقیمی بر روی پهنای حلقه‌های رشد دارد. همچنین، بازسازی بارش ماه‌های اکتبر تا می منطقه مورد مطالعه برای بیش از ۶ قرن با دوره اطمینان ۲۵۰ ساله با استفاده از رگرسیون خطی انجام گرفت و دوره‌های خشکسالی و ترسالی متعددی در منطقه شناسایی شد.

واژگان کلیدی: خشکسالی، درختان ارس، گاه‌شناسی درختی، حلقه‌های رشد.

مقدمه

در پیش‌بینی آب و هوای آینده زمین، اصولاً داده‌های اقلیمی به عنوان پایه و اساس مورد استفاده قرار می‌گیرند. بارش، یکی از مؤلفه‌های مهم در اقلیم هر منطقه است که با تغییر و نوسان آن، اثرات زیانباری را بر روی جوامع انسانی و دیگر اکوسیستم‌های طبیعی کره زمین به جای می‌گذارد. در واقع، با توجه به ورود نامنظم توده‌های هوا به ایران و فاصله زیاد با مراکز پیوند از دور، وقوع نوسانات بارشی یکی از برجسته‌ترین خصوصیات اقلیم ایران به شمار می‌آید. ترسالی‌ها و خشکسالی‌های حاصله از این نوسانات، خسارات فراوانی را به دنبال دارند. از طرف دیگر با توجه به وقوع تغییرات اقلیمی در دوره‌های زمانی مختلف به علت کوتاه بودن طول دوره آماری ایستگاه‌های هواشناسی، امکان مطالعه نوسانات اقلیمی طی سده‌های گذشته وجود ندارد (ارسلانی و عزیزی، ۱۳۹۲). چرا که تاسیس شبکه ایستگاه‌های هواشناسی در ایران، عموماً بر اساس مکان‌گزینی شهری و تنها از سال ۱۹۵۱ به بعد بوده است که علاوه بر کوتاه بودن دوره آماری مشکلاتی نظیر پوشش نامناسب در فضای جغرافیایی نیز به وجود می‌آورد. بنابراین برای رفع این مشکل می‌توان با استفاده از شواهد اقلیم‌شناسی دیرینه به مطالعه چگونگی تغییرات آب و هوای گذشته پرداخت (عزیزی و روشنی، ۱۳۸۷) و همچنین پایگاه داده طولانی‌تری برای به‌کارگیری در پیش‌بینی اقلیم آینده مهیا نمود. از طرفی مدل‌های اقلیمی کنونی، معمولاً مقیاس‌های بزرگ دارند و برای نشان دادن تغییرات اقلیم منطقه‌ای و اثرات کوچک مقیاس‌تر تغییرات، از اطمینان‌پذیری لازم برخوردار نیستند، بنابراین، برای شناخت بهتر اقلیم در مقیاس منطقه‌ای و بهبود شبیه‌سازی‌ها، نیاز به دسترسی به داده‌های طولانی‌تر از اقلیم گذشته و شناخت بهتر عملکرد عوامل تغییر اقلیم جهانی در آن منطقه است. می‌توان این مهم را تا حدود زیادی از طریق مطالعات اقلیم‌شناسی دیرینه به انجام رساند. انجام مطالعات اقلیم‌شناسی درختی نیاز به رویشگاه‌ها و گونه‌هایی مناسب دارد که بتوانند منعکس‌کننده شرایط آب‌وهوای گذشته منطقه خود باشند. با وجود قرار داشتن رویشگاه‌های مناسب برای مطالعات اقلیم‌شناسی درختی در ارتفاعات استان کرمان، تاکنون توجه کافی برای انجام این سری پژوهش‌ها در این منطقه صورت نگرفته و عمده تمرکز مطالعات اقلیم‌شناسی درختی در ایران مربوط به رویشگاه‌های زاگرس و پوشش جنگلی شمال کشور است. 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 بارش‌زای غربی و جنوب‌غربی با منشا رطوبتی مختلف، نفوذ گاه و بی‌گاه موسمی‌ها در تابستان، عرض جغرافیایی پایین و تابش بالا همه بر روی شکل‌گیری ماهیت اقلیمی منطقه مورد نظر تاثیر می‌گذارند. مطالعات اقلیم‌شناسی درختی در دنیا از سابقه طولانی برخوردار است، به طوری که کوچلر^۱ در سال ۱۸۵۹ اظهار داشت که در مناطق دارای آب و هوای نیمه‌خشک، رشد حلقه‌های رویش درختان بلوط، منحصر به بارندگی محدود می‌شود. فیشر و همکاران (۱۹۹۸) با بررسی درختان ارس *j. excels* و *j. polycarpus* در رویشگاه‌های ارتفاعات شمالی عمان، نشان دادند که این گونه برای ساخت گاه‌شناسی در شبه جزیره عربستان می‌تواند مناسب باشد و رابطه مثبت قوی بین حلقه‌های رشد آن و کل بارندگی سال وجود دارد.

کلاسن و همکاران (۲۰۰۸) نیز با تحلیل درختان ارس *J. excels* در همین منطقه به نتایج مشابهی دست یافتند. اسپر و همکاران (۲۰۰۱) از ۴۲۹ درخت در ۱۲ سایت جنگلی ارس و سه سایت ترکیبی ارس و کاج در شمال غرب کشور پاکستان و همچنین ۷ سایت جنگلی ارس در جنوب تیان‌شان واقع در کشور قرقیزستان نمونه‌گیری نمودند و سال‌های حدی آب‌وهوایی را در چهار مقیاس درختی، ایستگاهی، منطقه‌ای و بین منطقه‌ای تا سال ۱۴۲۷ بازسازی نمودند. نتایج ایشان حاکی از وجود ۸ سال مرطوب و ۱۷ سال خشک در مقیاس بین منطقه‌ای در قسمت غربی آسیای مرکزی در بیش از ۵ قرن گذشته است. فنگ و همکاران (۲۰۱۲) در پژوهشی نوسان بارش را طی ۴۰۰ سال در کوهستان ژیانولنگ چین با استفاده از حلقه‌های درختی بررسی کردند. نتایج نشان داد که گاه‌شناسی بدست آمده همبستگی مثبت و معنی‌داری با بارش در ماه‌های می و ژوئن دارد. هه^۲ و همکاران (۲۰۱۳) گاه‌شناسی درخت ارس گونه *Juniperus tibetica Kom* را در جنوب منطقه تبت مرکزی بدست آورده و با استفاده از آن به بازسازی بارش سالانه (جولای سال قبل رشد تا ژوئن دوره رشد) پرداختند. ایشان با استفاده از تکنیک تحلیل مولفه‌های اصلی نشان دادند که درختان ارس این منطقه بیشتر تحت تاثیر متغیرهای رطوبتی بوده و همبستگی کمتری با دما دارند (نادی، ۱۳۹۳). بائو یانگ^۳ و همکاران (۲۰۱۴) موفق شدند با استفاده از حلقه‌های درختی گونه *Juniperus przewalskii* در ارتفاعات کیلیان^۴ فلات تبت، بازسازی ۳۵۰۰ ساله بارندگی را انجام دهند. بررسی آن‌ها دوره‌های مرطوب زیادی را در روند داده‌ها نشان داد. شن و همکاران (۲۰۱۵) با بررسی شرایط میکرو سایت درختان ارس *Juniperus turkestanic* در حوضه رودخانه گولچا در قرقیزستان نشان دادند در دسترس بودن آب عامل محدود کننده مهمی برای رشد شعاعی درختان ارس در این ناحیه است. سریر و همکاران (۲۰۲۰) با ایجاد یک گاه شماری جدید از پهنای حلقه‌های کاج *Cedrus deodara* در هندوکش برای ۴۲۴ سال گذشته با استفاده از شاخص خشکسالی پالمر دوره‌های خشکسالی متعددی را مانند (۱۶۰۲-۱۶۰۸، ۱۶۳۱-۱۶۴۵، ۱۶۴۷-۱۶۶۰، ۱۷۵۶-۱۷۶۵، ۱۷۸۵-۱۸۰۰، ۱۸۷۰-۱۸۷۸، ۱۹۳۱۷-۱۹۳۸ و ۱۹۳۱-۱۹۱۹) بازسازی کردند. قهوه‌چی و همکاران (۲۰۲۱) در مقایسه عوامل حدود کننده رشد دو گونه ارس *J. foetidissima* و *J. excelsa* در آناتولی مرکزی نشان دادند رطوبت تابستان در رشد شعاعی هر دو گونه بسیار موثر بوده است. در طول سال‌های گذشته در ایران نیز، مطالعاتی در زمینه تأثیر متغیرهای اقلیمی بر روی رشد درختان و بازسازی اقلیم گذشته با استفاده از حلقه‌های درختی انجام شده است. پورسرتیب (۱۳۸۴) با تحقیقاتی که روی گونه‌های ارس و اوری در منطقه مرتفع جنگلی چهارباغ گرگان انجام دادند به این نتیجه دست یافتند که گونه‌های ارس بیشترین حساسیت را نسبت به بارندگی ماه می (اردیبهشت) دارند. در حالی که بیشترین حساسیت گونه‌های بلوط (اوری) نسبت به بارندگی ماه مارس است. بالاپور و همکاران (۱۳۸۷) در پژوهشی، گزارش کردند که مجموع بارندگی در ماه‌های بهمن و شهریور با زنجیره حلقه‌های رویشی بلوط همبستگی مثبت دارد. 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 مورد بررسی قرار دادند. در این

2 - Hai

3 - Bao Yang

4 - Qilian

تحقیق رابطه بین پهنای دواپر 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.

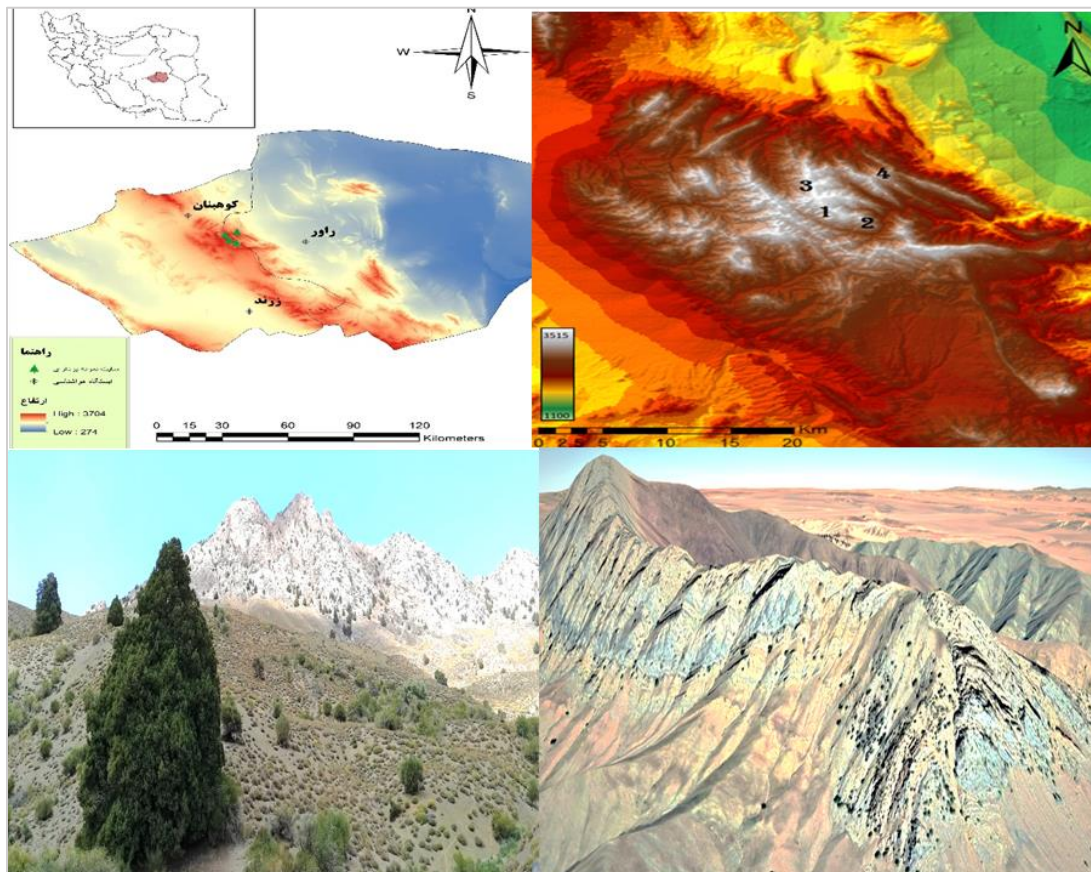
در روابط همبستگی بین فاکتورهای اقلیمی و پهنای دواپر سالیانه مشاهده شد که مهمترین فاکتور اقلیمی تأثیرگذار بر رویش گونه‌های درختی ارس و اوری به ترتیب بارندگی و دما است. نجفی هرسینی و همکاران (۱۳۹۳) در پژوهشی دیگر، برای بازسازی خشکسالی منطقه جوانرود کرمانشاه از اقلیم‌شناسی درختی درختان بلوط مازودار استفاده کردند. نتایج ایشان نشان داد که وضعیت منابع رطوبتی در طول فصل رشد تأثیر زیادی بر رشد درختان بلوط منطقه دارد. ایشان در دوره آماری ۱۸۱۸-۲۰۰۸ دوره‌های بارشی را بازسازی کردند و به این نتیجه رسیدند که خشکسالی‌های این ناحیه عموماً عمری دوساله دارند و در موارد شدید ۳ و ۴ سال هم طول می‌کشند. صفدری (۲۰۰۸)، همبستگی بین دواپر سالیانه گونه درختی کاج الدار با بارندگی و دما را بررسی نمود. نتایج نشان داد که بارندگی ماه‌های آگوست، آوریل، می و ژوئن بیشترین تأثیر مثبت را بر رویش شعاعی درختان کاج داشته و گرمای ماه‌های ژوئن و جولای بیشترین عامل محدودکننده رشد درختان کاج محسوب می‌شود. نادى و پورطهماسی (۱۳۹۵) بارش شمال شرق ایران را در دوره ۱۸۴۵-۲۰۰۰ با استفاده حلقه‌های درختان ارس در منطقه لاین خراسان بازسازی کردند. نتایج ایشان نشان داد بارش در کل دوره رشد تأثیر مثبت بر رشد درختان داشته و بیشترین همبستگی بین بارش سالانه با رشد درختان بوده است. بازسازی بارش این پژوهش نشان داد کمترین بارش ۱۵۰ سال گذشته در سال ۱۹۱۷ و همچنین سه دوره خشکسالی شدید در دهه ۱۸۷۰، اوایل قرن بیستم و ۱۹۱۵-۱۹۱۹ به وقوع پیوسته است. فروزان و همکاران (۲۰۲۰) با گاهشماری ۵۰۱ ساله‌ای برای گونه ارس *Juniperus polycarpus* در جنگل‌های گلستان گسترش دادند و با بازسازی بارش بهار نشان دادند فراوانی سال‌هایی با بهار نسبتاً خشک در طول سه قرن گذشته افزایش یافته در حالی که تعداد رویدادهای مرطوب کاهش یافته است. یافته‌های ایشان مطابق با سوابق تاریخی بلایای طبیعی ایران به عنوان مثال، خشکسالی‌های شدید ۱۸۷۰-۱۸۷۲، ۱۹۱۷-۱۹۱۹؛ سیل‌های شدید ۱۸۶۷، دهه‌های ۱۹۳۰ و ۱۹۵۰ است. ارسلائی و همکاران (۲۰۲۱) با استفاده از گونه زربین *Cupressus sempervirens* در زاگرس، تغییرپذیری بارش را برای دوره ۲۰۱۵-۱۵۶۰ در این منطقه بازسازی کردند و نشان دادند در قرن بیستم بیشترین فراوانی خشکسالی‌ها در این منطقه رخ داده است. همچنین ایشان نشان دادند بارش با رشد شعاعی این درختان همبستگی مثبت دارد.

در این پژوهش سعی شده است با استفاده از نشانه‌های ثبت شده در حلقه‌های درختی، داده‌های بارش اقلیم گذشته منطقه بازسازی شود تا با مطالعه آن‌ها بتوان روندهای تغییرات اقلیمی را شناسایی کرد و به روابط بین آن‌ها پی ببریم. بنابراین هدف اصلی پژوهش حاضر، برآورد بارش دیرینه رویشگاه مورد مطالعه و تهیه داده‌های اقلیم دیرینه در دوره طولانی مدت، جهت آشکارسازی روندهای اقلیمی، است.

مواد و روش‌ها

رویشگاه ارس موسوم به تنگل راور واقع در ارتفاعات شمالی استان کرمان، بین سه شهرستان راور، زرنند و کوهبنان با مختصات جغرافیایی عرض ۳۱ درجه ۲۵ دقیقه شمالی و طول ۵۶ درجه و ۵۰ دقیقه شرقی است. بلندترین قله این کوهستان (کوه گاو) ۳۵۱۵ متر از سطح دریا ارتفاع دارد. در ارتفاعات منطقه مورد مطالعه، در دامنه‌های جنوبی، جنوب‌غربی و غربی رویشگاه به ترتیب بیش‌ترین درختان ارس مشاهده می‌شوند. در دامنه‌های رو به شرق و شمال

تعداد و تراکم درختان کمتر است. از نظر ارتفاعی بیشترین تراکم درختان در ارتفاع ۲۹۰۰ تا ۳۱۰۰ متری از سطح دریا قرار دارند. نمونه برداری این پژوهش در ۴ رویشگاه به نام‌های محلی کوه‌گاو، بیدشیخ، رودکر و فیض‌آباد که تراکم بیش‌تری از درختان داشتند، انجام گرفت. شکل شماره ۱، موقعیت نسبی منطقه مورد مطالعه و این ۴ رویشگاه را نشان می‌دهد.



شکل ۱: نقشه موقعیت نسبی منطقه مورد مطالعه (۱: کوه‌گاو، ۲: بیدشیخ، ۳: رودکر، ۴: فیض‌آباد) و تصویر ماهواره‌ای سه بعدی شده، تصویری از رویشگاه کوه‌گاو- تنگل راور

بررسی‌های اقلیمی رویشگاه تنگل راور با استفاده از تعداد ۱۴ ایستگاه سینوپتیک، اقلیم‌شناسی، باران سنجی و باران سنجی متعلق به سازمان تامین منابع آب وزارت نیرو در فواصل دور و نزدیک به رویشگاه مورد مطالعه در شمال استان کرمان بررسی گردید و با توجه به طول دوره آماری آن‌ها ایستگاه‌های سینوپتیک زرنند، اقلیم‌شناسی راور و باران سنجی کوهبنان برای بازسازی بارش انتخاب شدند. همچنین از ایستگاه سینوپتیک کرمان برای بررسی کلی وضعیت اقلیمی شمال استان کرمان استفاده شد. جدول‌های ۱ و ۲ مشخصات این ایستگاه‌ها را نشان می‌دهد. متوسط بارش رویشگاه تنگل راور براساس نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی به آن در حدود ۲۰۰ میلی‌متر و متوسط دمای سالانه آن در حدود ۲۰ درجه سلسیوس است.

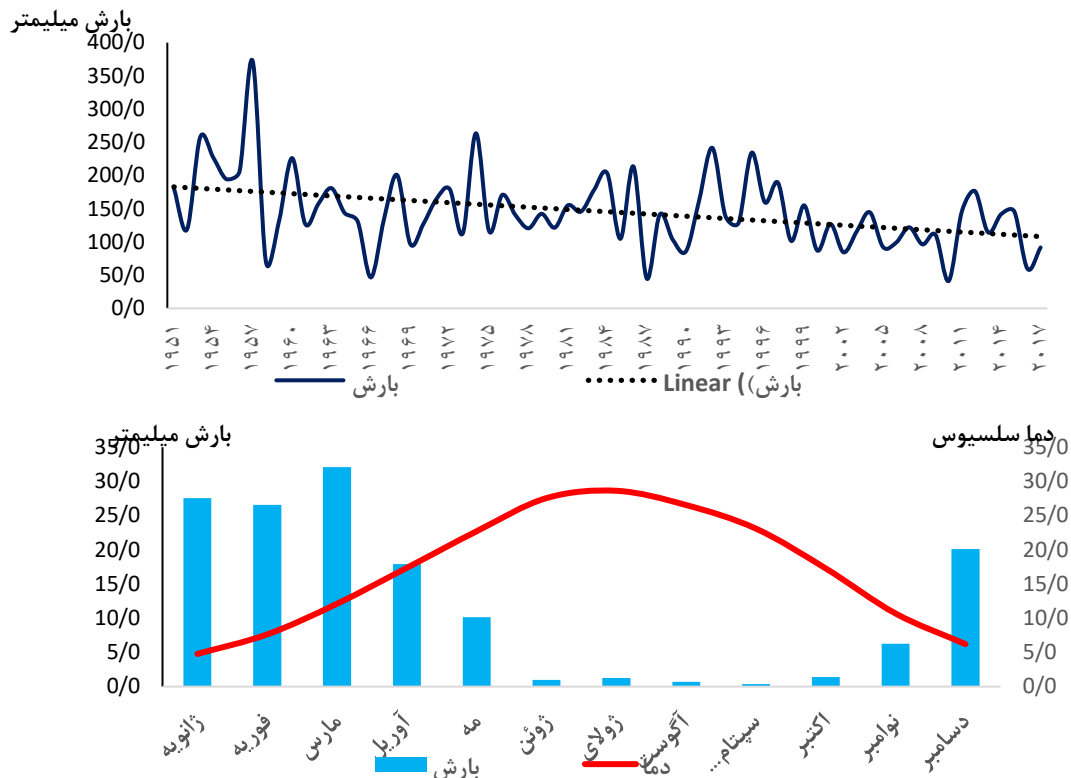
جدول ۱: مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی مورد استفاده

ایستگاه	نوع	ارتفاع از سطح دریا m	فاصله از رویشگاه km	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	شروع دوره آماری	پایان دوره آماری	طول دوره آماری
کرمان	سینوپتیک	۱۷۵۳	۱۲۵	۵۶.۹۷	۳۰.۲۵	۱۹۵۱	۲۰۱۷	۶۶
زرنند	سینوپتیک	۱۶۷۰	۵۵	۵۶.۵۷	۳۰.۸۱	۱۹۸۶	۲۰۱۷	۳۱
راور	اقلیم‌شناسی	۱۱۹۲	۳۰	۵۶.۸۰	۳۱.۲۶	۱۹۶۲	۲۰۱۴	۵۵
کوهبنان	بارانسنجی	۲۰۱۰	۲۵	۵۶.۲۸	۳۱.۴۲	۱۳۵۴	۱۳۹۶	۴۱

جدول ۲: میانگین دما (سانتی‌گراد) و بارش (میلی‌متر) ایستگاه‌های سینوپتیک و اقلیم‌شناسی منطقه

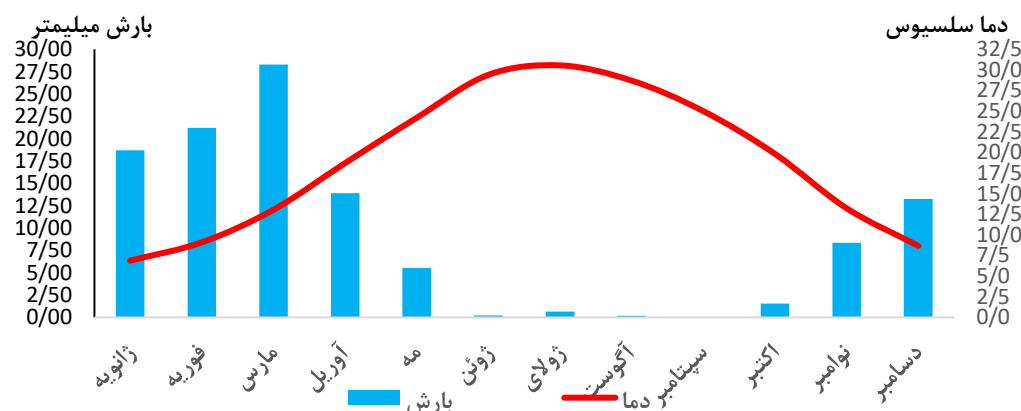
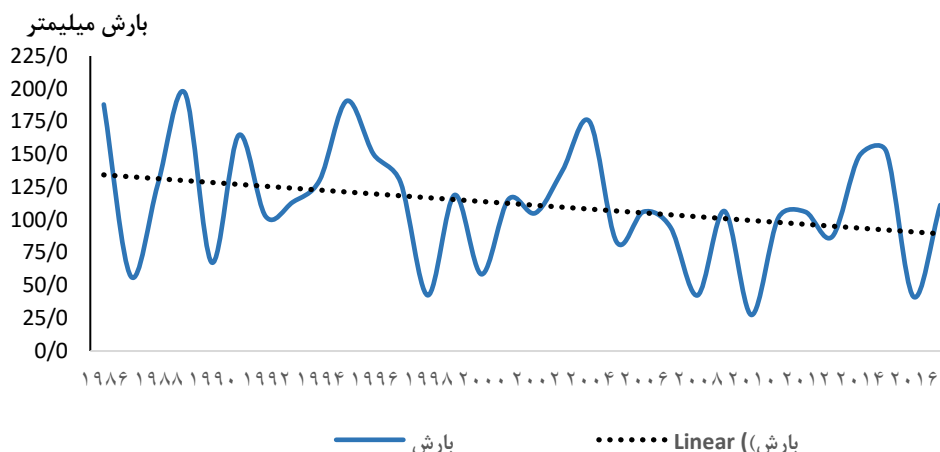
ایستگاه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	مه	ژوئن	جولای	اگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر	سالانه
میانگین بارش ماهیانه													
کرمان	۲۷.۵	۲۶.۶	۳۲.۱	۱۷.۹	۴.۴	۰.۵	۰.۶	۰.۷	۰.۴	۱.۴	۶.۳	۲۰.۱	۱۴۵.۴
راور	۱۳.۵	۱۳.۳	۱۴.۳	۹.۱	۲.۶	۰	۰.۶	۰	۰	۱.۲	۳.۶	۸.۳	۶۶.۶
زرنند	۱۸.۷	۲۱.۲	۲۸.۳	۱۳.۹	۵.۵	۰.۲	۰.۶	۰.۲	۰	۱.۶	۸.۴	۱۳.۲	۱۱۱.۹
کوهبنان	۱/۳	۸/۱	۲۱/۲	۳۳	۲۳/۲	۲۹	۲۵/۸	۶	۰/۷	۰/۲	۰/۳	۰/۱	۱۴۸/۸
میانگین دمای ماهیانه													
کرمان	۴.۸	۷.۶	۱۲.۱	۱۷.۴	۲۲.۷	۲۷.۶	۲۸.۶	۲۶.۵	۲۳.۱	۱۷.۳	۱۰.۷	۶.۲	۱۷
راور	۹.۳	۱۲.۱	۱۸.۷	۲۳.۴	۲۸.۲	۳۱	۳۱.۷	۲۹.۲	۲۵.۶	۱۸.۲	۱۳	۸.۴	۲۰.۷
زرنند	۶.۹	۹.۱	۱۳	۱۸.۷	۲۴.۲	۲۹.۴	۳۰.۶	۲۸.۷	۲۵	۱۹.۸	۱۳.۲	۸.۷	۱۸.۹

جدول ۲ نشان می‌دهد که بیشترین بارش در ۳ ایستگاه کرمان، زرنند و راور در ماه ژانویه و کمترین بارش در ماه‌های اگوست و سپتامبر رخ داده و همانند اکثر مناطق مرکزی ایران، شمال استان کرمان نیز در میانگین بلند فصل خشک شش ماهه ای در اثر استیلای پرفشار جنب حاره از اواسط ماه مه تا اواخر ماه اکتبر دارد. فصول بارشی و مرطوب این منطقه از نوامبر شروع و تا اواسط ماه مه ادامه پیدا می‌کند. بالاترین دماهای ثبت شده ایستگاه‌های مورد بررسی در ماه‌های ژوئن، جولای و اگوست رخ داده است و کمترین دماها مربوط به ماه‌های دسامبر، ژانویه و فوریه است. نمودار ۲ میانگین سالانه و ماهانه بارش ایستگاه کرمان را نشان می‌دهد.



شکل ۲: نمودارهای بارش (میلی‌متر)، دما (سلسیوس) دوره آماری ۶۶ ساله ایستگاه کرمان

ایستگاه شهر کرمان به دلیل دارا بودن طولانی‌ترین دوره آماری در استان کرمان در مطالعات اقلیم‌شناسی این استان حائز اهمیت فراوانی است. روندهای خطی نمودار میانگین ۶۶ ساله بارندگی و دمای ایستگاه کرمان در شکل ۲ بیانگر این است که متوسط دما در این ایستگاه در طول دوره آماری، تغییر چشمگیری نداشته اما متوسط بارندگی آن در طول دوره آماری از حدود ۱۸۰ میلی‌متر در سال با شیب کاهشی ملایم به حدود ۱۴۵ میلی‌متر کاهش یافته است. نمودار بارش و دمای ماهانه ایستگاه کرمان فصل خشک آن را از اواخر آوریل تا اواخر نوامبر، بیشترین بارندگی را در ماه مارس و بارش تابستانه کمی را در همه ماه‌های گرم نشان می‌دهد. ژوئن، جولای و آگوست گرمترین ماه‌های سال و ژانویه سردترین ماه سال است. فاصله ایستگاه کرمان تا منطقه مورد مطالعه به صورت خط مستقیم ۱۲۰ کیلومتر در جهت جنوبی است و به دلیل تاثیر دمایی ارتفاعات جنوب شهر کرمان و تاثیرپذیری این ایستگاه از سامانه‌های بارشی جنوب‌غربی داده‌های این ایستگاه همبستگی پایین‌تری با داده‌های حلقه‌های درختی رویشگاه مورد مطالعه داشتند و در بازسازی بارش مورد استفاده قرار نگرفتند. نمودار شکل ۳ نیز داده‌های اقلیمی سالانه و ماهانه ایستگاه زرنند را نشان می‌دهد.



شکل ۳: نمودارهای بارش (میلی متر)، دما (سلسیوس) دوره آماری ۳۱ ساله ایستگاه زرنند

ایستگاه زرنند با توجه به اینکه نزدیکترین ایستگاه سینوپتیک با دوره آماری ۳۱ ساله قابل اتکا به محل رویشگاه‌های ارس مورد مطالعه است، در این پژوهش اهمیت زیادی دارد. نمودار دمای این ایستگاه با شیب افزایشی تغییرات در حدود ۲ درجه‌ای داشته و روند تغییرات خطی بارش زرنند نیز دارای شیب کاهشی بوده و در حدود ۲۰ میلی‌متر کاهش را در دوره ۳۱ ساله نشان می‌دهد. نمودار ماهیانه دما و بارش زرنند در شکل ۳ فصل خشک این ایستگاه را از نیمه آوریل تا نیمه نوامبر نشان می‌دهد. بیشترین بارندگی ایستگاه زرنند در ماه مارس بوده و تابستانی تقریباً بدون باران دارد. گرمترین ماه‌های سال در این ایستگاه ژوئن و جولای و سردترین ماه سال ژانویه است. ایستگاه زرنند در ۵۵ کیلومتری جنوب رویشگاه‌های ارس مورد مطالعه قرار دارد. با توجه به داده‌های ایستگاهی می‌توان گفت شروع بارندگی‌ها در منطقه مطالعاتی از آبان ماه بوده و تا اردیبهشت ادامه دارد. بیشترین بارندگی اکثر ایستگاه‌ها در اسفند ماه و سپس در بهمن، فرودین و دی و کمترین بارندگی‌ها نیز در سه ماه تابستان روی داده است. بارش منطقه مورد مطالعه به صورت کلی از اوایل نوامبر شروع در فوریه و مارس به اوج خود رسیده و تا میانه ماه می ادامه دارد. ماه‌های ژوئن، جولای، آگوست و سپتامبر کمترین بارش سالانه را دارند و تنها در برخی از سال‌ها بارش‌های تابستانه در منطقه رخ می‌دهد. این ۴ ماه دوره اوج گرمای منطقه نیز به حساب می‌آیند. متوسط

دمای کمینه منطقه از ماه مارس شروع به افزایش می کند و از اواسط اکتبر رو به کاهش می رود. بنابراین با توجه به وضعیت بارش و دمای منطقه می توان فصل رشد این رویشگاه را از اواخر مارس - اوایل آوریل تا اوایل ماه اکتبر یعنی در حدود ۶ ماه در نظر گرفت. چنانچه پورطهماسی و همکاران (۲۰۱۳) برای منطقه چهارباغ استان گلستان فصل رشد را از آوریل تا سپتامبر در نظر گرفته اند. یافته های ایشان نشان داد شروع فعالیت کامبیومی درختان ارس در منطقه چهار باغ استان گلستان در ماه آوریل و یک هفته پس از ذوب شدن کامل برف ها شروع می شود. براساس داده های اقلیمی و همچنین مشاهدات چند ساله نگارنده، تغییرات افزایشی دما از اواسط مارس در منطقه شروع می شود و اتمام ذوب برف در منطقه را می توان از نیمه دوم مارس دانست.

مواد و روش های مطالعه

با توجه به شرایط کوهستانی منطقه، انتخاب درختان برای نمونه برداری در این پژوهش به عامل دسترسی به درخت محدود گشت و نمونه برداری از درختان ارس کهن سال، سالم و بدون پیچ خوردگی تنه، بریدگی، زخم خوردگی و سوختگی بودند انجام و به صورت گزینشی از تعداد ۹۶ درخت بیش از ۲۰۰ نمونه برداشت شد. شمارش حلقه ها و اندازه گیری پهنای آن ها به وسیله میزکار LINTAB و نرم افزار TSAPWin در آزمایشگاه آناتومی چوب گروه مهندسی و صنایع چوب و کاغذ دانشگاه تهران از سمت چوب به مغز با دقت ۰.۰۱ میلی متر انجام گرفت. پس از اتمام اندازه گیری، جهت آشکار شدن کیفیت نمونه و قابلیت استفاده از آن در مطالعات گاه شناسی هر دو مغزه برداشت شده از یک درخت به وسیله نرم افزار TSAPWin با یکدیگر تطابق زمانی داده شدند. برای این منظور از آماره های GLK^5 ، CDI^6 و GSL^7 ، CC^8 و TV استفاده شد. GLK یا ضرایب درصد تطابق واریانس ها، معیاری کلی از شباهت بین دو گاه شناسی اندازه گیری شده است و هرچه مقدار آن به ۱۰۰ نزدیک تر باشد نشان دهنده تطابق بیشتر دو نمونه خواهد بود. به طور کلی با توجه به گونه درختی، مقادیر ۶۰ یا ۷۰ GLK برای تطابق قابل قبول در نظر گرفته می شوند. GSL نیز بیانگر سطح معناداری GLK است. CDI یا شاخص تطابق زمانی، شاخصی از دو گاه شناسی تطبیق داده شده با یکدیگر است. این شاخص از مقادیر GLK و آماره t -value برای تعیین کیفیت سری حاصل از گاه شماری ها به دست می آید. درصد CC از تشابه همبستگی استاندارد بین دو نمونه به دست می آید. در مجموع یک بالا بودن یک آماره به تنهایی یا پایین بودن آماره ای دیگر نشان از مناسب بودن یا نبودن تطابق زمانی ۲ مغزه از یک درخت ندارد و باید همه آماره ها در کنار هم سنجیده شود. جدول ۳ نتایج ان آماره ها را نشان می دهد.

5 - Gleichlaufigkeit

6 - Cross Date Index

7 - Significance for the Glk

8 - Cross correlation

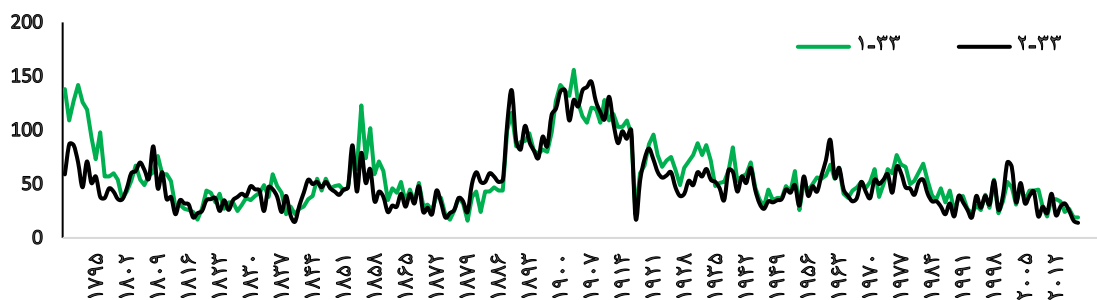
جدول ۳: نتایج تطابق زمانی بین ۲ نمونه از هر درخت (GLK: ضرایب درصد تطابق واریانسها، GSL: بیانگر سطح معناداری GLK، CC: درصد یا میزان تشابه همبستگی استاندارد بین دو نمونه CDI: شاخص تطابق زمانی، t-:

(value

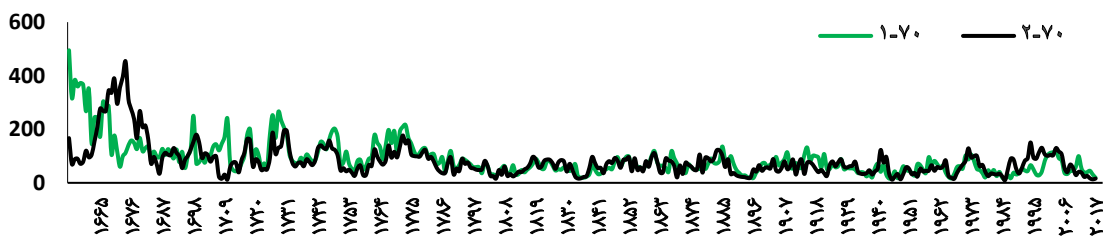
شماره درخت	تعداد حلقه	GLK	GLS	CC	TV	CDI	شماره درخت	تعداد حلقه	GLK	GLS	CC	TV	CDI	شماره درخت
1	186	68	***	32	4.3	55	49	233	78	***	84	21.4	154	1
2	209	64	***	27	9.4	22	50	219	62	***	83	21.8	35	2
3	75	92	***	97	25.2	126	51	249	63	***	27	3	13	3
4	93	83	***	24	1.7	67	52	299	79	***	92	40.3	167	4
5	281	68	***	78	20.5	48	53	335	69	***	52	10.1	15	5
6	262	70	***	80	20.9	64	54	154	67	***	69	10.7	23	6
7	278	79	***	89	29.4	118	55	300	74	***	69	14.3	89	7
8	239	64	***	24	2.9	24	56	166	79	***	86	19.6	93	8
9	63	81	***	72	7	54	57	299	69	***	85	17.9	55	9
10	71	87	***	92	18.5	86	58	135	71	***	64	7.8	23	10
11	187	79	***	86	20.9	99	59	162	64	***	79	16.4	25	11
12	223	72	***	83	19.1	58	60	248	78	***	90	33.1	143	12
13	166	84	***	84	19.5	147	61	230	81	***	26	3.6	20	13
14	220	71	***	71	14.9	62	62	81	72	***	66	7.8	65	14
15	240	69	***	65	12	62	63	432	60	***	36	7.6	27	15
16	223	68	***	92	35.4	52	64	131	67	***	54	7.2	27	16
17	128	77	***	43	4.9	83	65	73	68	**	24	1.6	17	17
18	164	79	***	92	29.8	97	66	104	68	***	32	2.8	27	18
19	191	72	***	72	10.7	31	67	220	60	**	23	3.5	21	19
20	167	66	***	86	19.6	30	68	187	72	***	61	10.3	49	20
21	170	63	***	63	10.2	27	69	203	75	***	52	7.2	52	21
22	247	73	***	50	8.7	94	70	365	67	***	53	10.4	24	22
23	273	64	***	54	9.1	42	71	315	60	**	38	7.1	15	23
24	157	66	***	33	4.1	40	72	108	72	***	76	8.2	48	24
25	44	75	***	68	6	69	73	138	70	**	56	4.5	13	25
26	184	75	***	59	9	92	74	191	74	***	90	26.6	102	26
27	177	74	***	70	12.4	74	75	322	65	**	19	5.8	14	27
28	69	82	***	91	15.8	99	76	129	69	***	39	14.5	28	28
29	129	82	***	90	23.9	79	77	101	70	***	46	24.6	41	29
30	132	68	**	57	4.8	19	78	134	73	***	67	7.3	52	30
31	148	71	**	56	7.8	24	79	194	79	***	80	18	130	31
32	130	66	**	18	2	23	80	311	73	***	76	19.9	37	32
33	235	70	***	85	24.1	82	81	336	73	***	90	13.5	93	33
34	96	73	***	60	6.5	29	82	331	77	***	88	32.5	110	34
35	152	81	***	64	9.2	66	83	224	74	***	94	40.8	135	35
36	454	63	***	12	1.9	17	84	290	66	**	29	9.2	16	36
37	142	81	***	94	33	157	85	179	70	***	65	29.9	39	37
38	185	64	***	59	9.2	31	86	509	63	**	20	6.9	19	38
39	159	79	***	88	20.4	70	87	344	68	***	41	15.5	26	39
40	126	78	***	61	7.9	62	88	680	63	**	21	11.5	16	40
41	152	83	***	93	29.8	93	89	207	70	***	66	30.5	39	41
42	91	86	***	66	8.2	142	90	295	64	***	67	15.4	37	42
43	176	75	***	89	25.4	99	91	309	69	***	71	22	35	43
44	92	82	***	86	15.6	70	92	230	73	***	82	19	55	44
45	199	72	***	23	3	88	93	360	68	***	61	19	31	45
46	429	62	***	76	23.9	25	94	430	67	***	54	17.5	29	46
47	470	66	***	79	27.3	55	95	220	77	***	84	28	90	47
48	217	66	***	54	9	25	96	305	70	***	20	12.5	17	48

بر اساس جدول ۳ بیشترین دوره اندازه‌گیری شده ۶۸۰ سال مربوط به درخت شماره ۸۸ (رویشگاه کوه‌گاو) است. کمترین دوره اندازه‌گیری شده نیز ۶۳ سال است. میانگین سن برای تمام درختان اندازه‌گیری شده ۲۱۸ سال را نشان می‌دهد. پس از شمارش و اندازه‌گیری پهنای حلقه‌ها دو نمونه از هر درخت، برای ساخت منحنی رویش، با استفاده از نرم افزار TSAPwin تطابق دو نمونه از هر درخت سنجیده شد. جدول ۳ نتایج آماره‌های GLS، GLK، CDI، CC و TV را برای هر درخت نشان می‌دهد. همان طور که جدول ۲ پیوست‌ها 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 است. 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. GLK برای ۸۵ درخت در سطح ۹۹.۹۹ درصد معنی‌دار (GLS) بوده و تنها 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 برداشت‌شده 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 نرم افزار 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 از آنها نمونه‌برداری انجام شد، در شرایط قابل قبول و نسبتاً مناسبی از نظر تشابه دو نمونه قرار دارند. پس بررسی آماری، کیفیت انطباق نمونه‌ها به صورت بصری نیز انجام گرفت. نمودار شکل ۴ منحنی‌های رویش دو نمونه از برخی درختان در هر کدام از رویشگاه‌ها را نشان می‌دهد. همانطور که در این نمودارها پیدا است، 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.

Ring width/0.01mm



Ring width/0.01mm



شکل ۴: منحنی رویش دو نمونه از درختان شماره ۳۳ و ۴۳ رویشگاه رود کر (راست) و شماره ۷۰ و ۷۴ فیض آباد (چپ)

ساخت گاه‌شناسی رویشگاه‌ها

رویش سالیانه‌ی حلقه‌های هر درخت، علاوه بر آب و هوا، تحت تأثیر فاکتورهایی نظیر سن درخت و عوامل غیر آب و هوایی قرار می‌گیرد. به طور معمول برای حذف این گرایش‌های غیراقلیمی و استاندارد کردن سری‌های زمانی از نرم‌افزار ARSTAN استفاده می‌شود (کوک و هلمز، ۱۹۹۹). ARSTAN یک برنامه‌ی 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، به منظور بررسی فاکتورهای اقلیمی موثر بر رویش درختان ارس منطقه و امکان انجام بازسازی‌های اقلیمی مورد نیاز، اقدام به تهیه گاه‌شناسی استاندارد شده برای هر یک از رویشگاه‌ها شد. با ساخت گاه‌شناسی، گرایش‌های سنی تاثیرگذار بر پهنای حلقه‌ها از سری زمانی حلقه‌های رویش حذف می‌شود و بدین ترتیب رویش درختان جوان و مسن در کنار هم قابل میانگین‌گیری خواهد بود. سری زمانی جدید، منحنی میانگینی است از رشد، بدون وجود نوسانات سن و بدین ترتیب قابل مقایسه با عوامل اقلیمی است (علی‌پور فرد ۱۳۹۴). گاه‌شناسی رویشگاه‌ها در نرم افزار TSAP ساخته شد و تطابق زمانی آن‌ها با استفاده از آماره‌های GLK و Tv مورد سنجش قرار گرفت. در این پژوهش تعداد ۴ گاه‌شناسی برای هر یک از رویشگاه‌های

ذکر شده و یک گاه‌شناسی بین تمامی درختان نمونه‌برداری شده ساخته شد. گاه‌شناسی‌ها در نرم افزار ARSTAN با توجه به الگو و طول منحنی‌های رشد روندزدایی شدند. برای روندزدایی و استانداردسازی منحنی‌ها از ۳ روش منحنی نمایی منفی^۹، تابع رشد هاگرشاف^{۱۰} و منحنی برازش سه جمله‌ای^{۱۱} 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 روندزدایی نشان داد. همچنین Spline ۲۰ ساله بر روی تمام سری‌های روندزدایی شده انجام شد. از بین گاه‌شناسی‌های استاندارد، آرستان و باقی‌مانده و همچنین گاه‌شناسی داده‌های خام (std ,raw ,res ,ars) در بسیاری از موارد گاه‌شناسی STANDARD بالاترین همبستگی را با داده‌های بارش نشان داد. 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 خود همبستگی بین حلقه‌ها (AC1) سنجیده شد. 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 ایجاد شده، دوره زمانی قابل اطمینان برای انجام بازسازی اقلیمی هر گاه‌شناسی را مشخص می‌کند. سطح قابل قبول شاخص EPS ۰.۸۵ بوده و در خروجی نرم افزار ARSTAN این دوره زمانی قابل اطمینان با نشان دادن اولین سال با EPS بالای ۰.۸۵ قابل مشاهده است.

جدول ۴: نتایج گاه‌شناسی رویشگاه‌ها Rbt: میانگین همبستگی، EPS: درصد سیگنال تجمعی، SNR: نسبت سیگنال به خطا، MS: میانگین حساسیت، AC(1): خود همبستگی

گاه شناسی	تعداد درختان	سال آغاز	سال پایان	طول گاه‌شناسی	EPS	سال قابل اطمینان	طول دوره	Rbt	SNR	MS	AC1
گاه‌شناسی متوسط	96	2017	1338	680	0.86	1765	252	0.25	21.07	0.14	0.58
کوه گاو	32	2017	1338	680	0.86	1747	270	0.25	10.66	0.15	0.59
بیدشیخ	31	2017	1547	471	0.85	1750	267	0.22	8.46	0.16	0.54
رودکر	16	2017	1564	454	0.85	1916	101	0.28	6.22	0.19	0.55
فیض‌آباد	17	2017	1586	432	0.77	1790	227	0.32	8.10	0.16	0.50

همانطور که جدول ۴ نشان می‌دهد آماره EPS برای ۴ گاه‌شناسی متوسط، کوه‌گاو، بیدشیخ و رودکر بالای ۰.۸۵ است و به ترتیب امکان بازسازی اقلیمی قابل اطمینان برای ۲۵۲، ۲۷۰، ۲۶۷ و ۱۰۱ سال را به دست می‌دهد. EPS رویشگاه فیض‌آباد در بالاترین حالت مقدار ۰.۷۷ را در سال ۱۷۹۰ نشان می‌دهد. آماره Rbt مقادیر نسبتاً قابل قبول را نشان می‌دهد. میانگین حساسیت یا MS برای همه گاه‌شناسی‌ها بیش از ۰.۱ و کمتر از ۰.۲ است، میزان قابل قبول این آماره بیش از ۰.۱ و کمتر از ۰.۳ و بهترین مقدار آن ۰.۲ است. آماره SNR نیز برای ۵ گاه‌شناسی اصلی در حد قابل قبولی قرار دارد. خودهمبستگی گاه‌شناسی‌ها نیز حدوداً بین ۵۰ تا ۶۰ درصد است. در مجموع می‌توان گفت ۵ گاه‌شناسی ساخته شده ۴ گاه‌شناسی (کوه‌گاو، بیدشیخ، رودکر و متوسط با EPS بالای

9 - Negative Exponential Curve

10 - Hegershoff growth function

11 - Cubic Smoothing Spline

۰۸۵ دارای دوره‌های قابل اطمینان برای بازسازی اقلیمی هستند. دیگر آمارها برای این ۴ گاهشناسی نیز کیفیت قابل قبول و در حد متوسطی را نشان می‌دهد.

همبستگی پهنای حلقه‌ها و پارامترهای اقلیمی

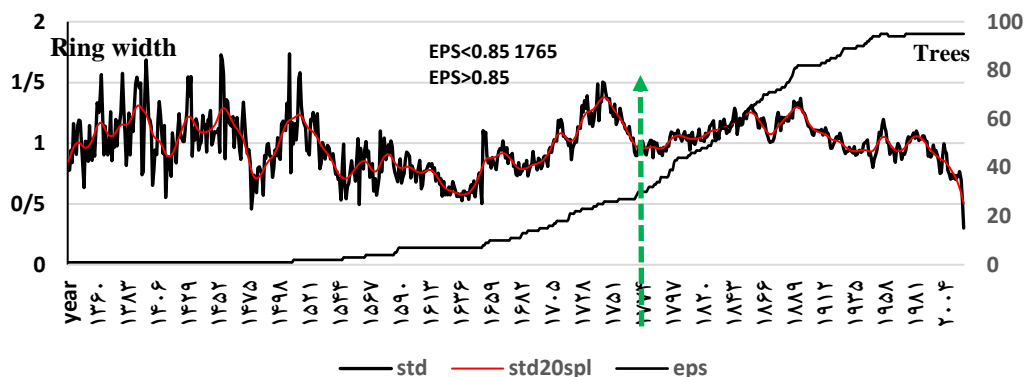
با توجه به اهمیت وجود ایستگاه‌های هواشناسی دارای دوره آماری مناسب نزدیک به رویشگاه مورد مطالعه برای مقایسه گاهشناسی‌های به دست آمده و داده‌های اقلیمی، از بین ایستگاه‌های ذکر شده، ایستگاه‌های زرنده، راور و کوهبنان بارش مورد استفاده قرار گرفتند و دوره‌های زمانی متنوعی برای بررسی هرچه بهتر و دقیق‌تر همبستگی بارش و حلقه‌های ارس رویشگاه تنگل راور استفاده شدند. علاوه بر دوره‌های ماهانه، فصلی و سالانه دما و بارش هر ایستگاه، دوره‌های پیش از فصل رویش، دوره‌های طی فصل رویش، دوره‌های ماه به ماه، درون فصلی، دوره‌های مبتنی بر رژیم‌های بارش نیز بررسی شدند. شرح این دوره‌ها برای پارامتر بارش و دما در جدول ۵ آورده شده است. با توجه به صفر و نزدیک به صفر بودن بارش ایستگاه‌های منطقه در ماه‌های گرم سال، برخی دوره‌های مربوط به این ماه‌ها در همبستگی بارش ایستگاه‌ها کنار گذاشته شد. با توجه به تفاوت در رژیم بارش ایستگاه‌ها، فواصل زمانی "نوامبر سال قبل تا مارس" و "اکتبر سال قبل تا مارس" به عنوان دوره‌های بارش قبل از فصل رویش در نظر گرفته شدند. فواصل زمانی "نوامبر سال قبل تا آوریل" و "اکتبر سال قبل تا آوریل" نیز به عنوان دوره بارشی قبل از فصل رویش - ابتدای فصل رویش در نظر گرفته شدند. دوره "اکتبر سال قبل تا می" به عنوان بارش کل فصل بارندگی در نظر گرفته شد. همچنین فواصل زمانی "دسامبر سال قبل تا فوریه"، "نوامبر سال قبل تا فوریه"، "نوامبر سال قبل تا ژانویه"، "نوامبر و دسامبر سال قبل"، "دسامبر سال قبل و ژانویه"، "ژانویه و فوریه"، "فوریه و مارس" به عنوان دوره‌های زمانی درون فصلی جهت نشان دادن بهتر روابط همبستگی بارش و پهنای حلقه‌های رویشی استفاده شدند. همانطور که ذکر شد با توجه به نزدیک به صفر بودن بارش تابستانی ایستگاه‌ها، همبستگی بارش فصول گرم تنها در دو مورد مجموع تابستانه و دوره زمانی "ژوئن تا سپتامبر" در نظر گرفته شد.

جدول ۵: دوره‌های زمانی استفاده شده برای آزمون همبستگی پهنای حلقه‌ها و پارامترهای اقلیمی

نوامبر سال قبل تا مارس	PNovMar	اکتبر سال قبل	POct
نوامبر سال قبل تا آوریل	PNovApr	نوامبر سال قبل	PNov
اکتبر سال قبل تا مارس	POctMarc	دسامبر سال قبل	PDec
اکتبر سال قبل تا آوریل	POctApr	ژانویه	Jan
اکتبر سال قبل تا می	POctMay	فوریه	Feb
می تا اکتبر	MayOct	مارس	Marc
می تا سپتامبر	MaySep	آوریل	Aprl
مارس تا اکتبر	MarOct	می	May
آوریل تا سپتامبر	AprSep	ژوئن	Jun
آوریل تا اکتبر	AprOct	جولای	Jul
دسامبر سال قبل و فوریه	PDecFeb	اگوست	Aug
نوامبر سال قبل تا فوریه	PNovFeb	سپتامبر	Sep
نوامبر سال قبل تا ژانویه	PNovJan	سالانه	Annual
نوامبر و دسامبر سال قبل	PNovPDec	زمستان	Winter
دسامبر سال قبل و ژانویه	PDecJan	بهار	Spring
ژانویه و فوریه	JanFeb	تابستان	Summer
فوریه و مارس	FebMarc	اکتبر تا دسامبر سال قبل	POctPDec

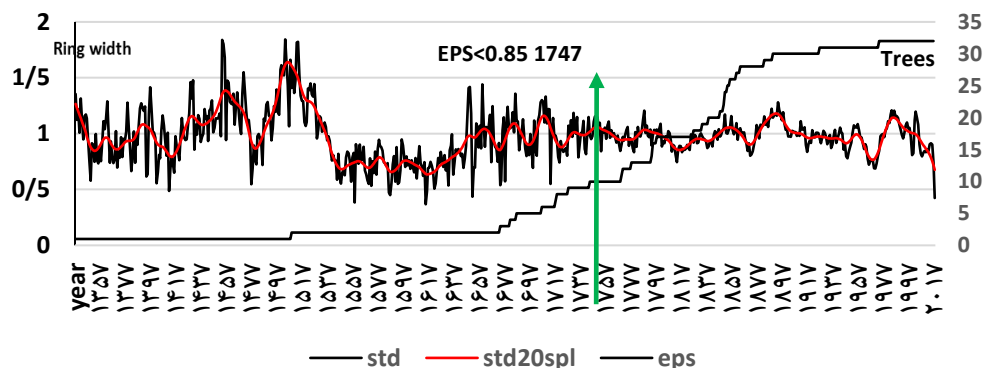
نتایج همبستگی گاه‌شناسی متوسط منطقه با داده‌های بارش

ساخت گاه‌شناسی متوسط رویشگاه با استفاده از ۹۵ درخت و یک دیسک انجام گرفت. سال آغاز این گاه‌شناسی ۲۰۱۷، سال پایان آن ۱۳۳۸ میلادی و طول آن ۶۸۰ سال است. از این گاه‌شناسی برای به دست آوردن یک دید کلی از ارتباط اقلیم منطقه با حلقه‌های رویشی استفاده شد. با توجه به نمودار شکل ۵ گاه‌شناسی همه درختان رویشگاه، یک افت نسبی در پهنای حلقه‌های رشد در سه دهه اخیر را نشان می‌دهد. در یک قرن و دو دهه اخیر روند کاهشی در رشد دیده می‌شود که نوسان‌های افزایشی در دهه‌های ۱۹۵۰ و ۱۹۸۰ میلادی داشته است. به طور کلی می‌توان روند کاهشی 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 و روند کاهشی از ۱۹۰۰ تا زمان حاضر را مشاهده نمود. باید توجه داشت در درون این روندهای ذکر شده در طول قرن‌های 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.



شکل ۵: گاه‌شناسی استاندارد کل درختان همراه آماره EPS (گاه‌شناسی متوسط)

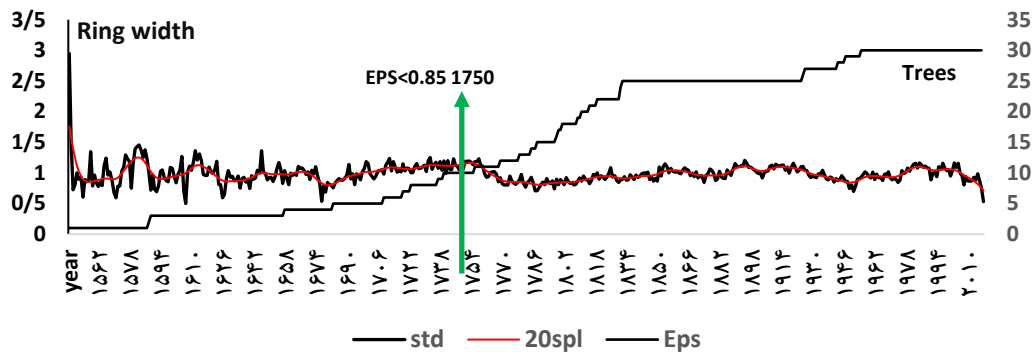
گاه‌شناسی رویشگاه کوه‌گاو با استفاده از ۳۲ درخت ساخته شد، سال آغاز این گاه‌شناسی ۲۰۱۷ و سال پایانی آن ۱۳۳۸ میلادی و طول آن ۶۸۰ سال است. آماره EPS دوره قابل اطمینان این گاه‌شناسی را ۲۷۰ سال و تا سال ۱۷۴۷ برآورد می‌کند. نمودار شکل ۶ گاه‌شناسی‌های کوه‌گاو به همراه Spline ۲۰ ساله را نشان می‌دهد. همانند گاه‌شناسی همه درختان، در گاه‌شناسی کوه‌گاو نیز افت محسوسی در پهنای حلقه‌های ۳۰ سال اخیر، یک افت مشخص در دهه ۱۹۶۰ میلادی و کاهش تقریبی پهنای حلقه‌ها در ۱ قرن گذشته مشاهده می‌شود. در قرن ۱۹ میلادی داده‌های پهنای حلقه‌های رویشگاه کوه‌گاو روند افزایشی با یک افت مشخص در دهه ۱۸۷۰ را نشان می‌دهد. یک افت کلی در رشد، بین سال‌های ۱۵۴۰ تا ۱۶۴۰ میلادی نیز مشاهده می‌شود.



شکل ۶: نمودار گاه‌شناسی Standard رویشگاه کوه‌گاو به همراه آماره EPS

گاه‌شناسی رویشگاه بیدشیخ با استفاده از ۳۱ درخت ساخته شد، سال آغاز این گاه‌شناسی ۲۰۱۷، سال پایانی آن ۱۵۴۷ میلادی و طول این گاه‌شناسی ۴۷۱ سال است. آماره EPS تا سال ۱۷۵۰ و دوره‌ای ۲۶۷ ساله را برای بازسازی اقلیمی با استفاده از این گاه‌شناسی قابل اطمینان برآورد کرده است. شکل ۷ نمودارهای گاه‌شناسی این

رویشگاه را نشان می‌دهد. گاه‌شناسی رویشگاه بیدشیش نیز در ۳۰ سال اخیر روند کاهشی در پهنای حلقه‌ها داشته است. یک افت محسوس در دهه ۱۹۶۰ میلادی و روند کلی کاهشی در یک قرن گذشته در نمودار این گاه‌شناسی دیده می‌شود. پهنای حلقه‌ها در بین سال‌های ۱۵۸۰ تا ۱۶۸۰ میلادی کاهش رشد و سپس بین سال‌های ۱۶۸۰ تا ۱۷۵۰ افزایش رشد را نشان می‌دهند. روند کلی گاه‌شناسی بیدشیش مشابه دو گاه‌شناسی کل دختان و کوه‌گاو است.



شکل ۷: نمودار گاه‌شناسی Standard رویشگاه بیدشیش به همراه آماره EPS

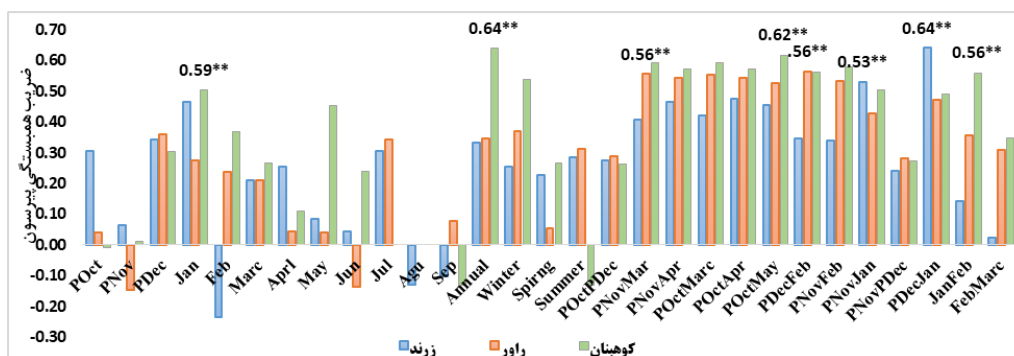
در ادامه جدول ۶ نتایج آزمون همبستگی بارش و گاه‌شناسی پهنای حلقه‌های رشد همه درختان را نشان می‌دهد. آزمون همبستگی با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون انجام گرفت.

جدول ۶: نتایج همبستگی بارش و گاه‌شناسی متوسط Standard، *معنی‌داری در سطح ۹۵ درصد، ** معنی‌داری در سطح ۹۹ درصد

Time	متوسط			بیدشیخ			بیدشیخ		
	زرد	راور	کوهبنان	زرد	راور	کوهبنان	زرد	راور	کوهبنان
POct	0.31	0.04	-0.01	0.31	0.02	-0.15	0.06	0.06	-0.06
PNov	0.06	-0.15	0.01	0.06	-0.17	-0.09	0.03	-0.29	0.01
PDec	0.34	.36*	0.3	0.34	.38*	0.27	.41*	.38*	0.22
Jan	.46**	0.27	.50*	.46**	0.3	.65**	.41*	0.33	0.43
Feb	-0.23	0.24	0.37	-0.23	0.22	0.44	-0.18	0.23	0.36
Marc	0.21	0.21	0.26	0.21	0.28	0.3	0.13	0.25	0.35
Aprl	0.26	0.05	0.11	0.26	0.02	0.09	0.22	0.22	0.15
May	0.08	0.04	.45*	0.08	0.01	0.3	-0.13	-0.01	0.34
Jun	0.04	-0.14	0.24	0.04	-0.15	0.11	0.18	-0.13	0.25
Jul	0.31	0.34	e	0.31	0.32	e	0.19	0.29	e
Aug	-0.13	e	e	-0.13	e	e	-0.07	e	e
Sep	-0.1	0.08	-0.13	-0.1	0.12	-0.21	-0.02	0.09	-0.04
Annual	0.33	0.35	.64**	0.33	.36*	.70**	0.25	.38*	.64**
Winter	0.25	.36*	.54*	0.25	.40*	.67**	0.19	.41*	.55*
Spring	0.23	0.05	0.27	0.23	0.02	0.19	0.1	0.18	0.27
Summer	0.29	0.31	-0.13	0.29	0.29	-0.21	0.21	0.26	-0.04
POctPDec	0.28	0.29	0.26	0.28	0.3	0.17	0.3	0.28	0.18
PNovMar	.48*	.55**	.59**	.40*	.59**	.67**	.37*	.58**	.57**
PNovApr	.46**	.54**	.57**	.46**	.57**	.63**	.42*	.63**	.56**
POctMar	.42*	.55**	.59**	.42*	.59**	.67**	.38*	.58**	.57**
POctApr	.47**	.54**	.57**	.47**	.57**	.63**	.43*	.62**	.56**
POctMay	.47**	.52**	.61**	.45*	.54**	.66**	.36*	.60**	.60**
PDecFeb	0.35	.56**	.56**	0.35	.58**	.66**	.39*	.61**	.48*
PNovFeb	0.34	.53**	.57**	0.34	.54**	.65**	.37*	.54**	.49*
PNovJan	.53**	.42*	.50*	.53**	-0.14	.56**	0.34	.45*	0.42
PNovPDec	0.24	0.28	0.27	0.24	0.29	0.19	0.27	.61**	0.2
PDecJan	.64**	.47**	.49*	.64**	.50**	.57**	.65**	.53**	0.4
JanFeb	0.14	.35*	.56*	0.14	.36*	.70**	0.15	.39*	.50*
FebMarc	0.02	0.31	0.35	0.02	.40*	0.4	-0.01	0.32	0.41

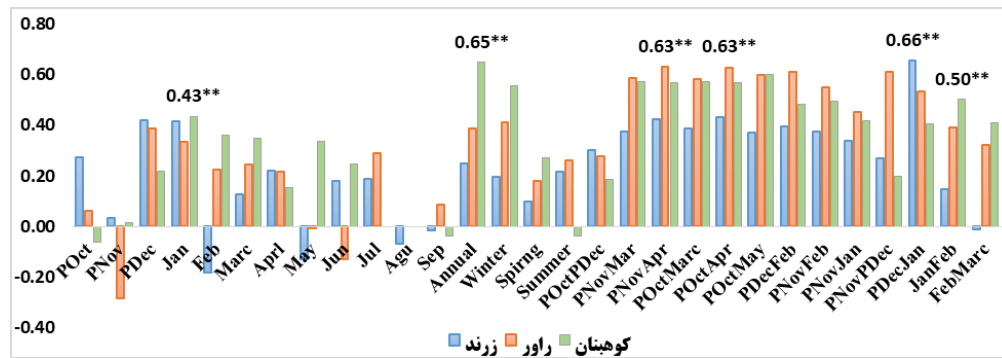
همانطور که جدول ۶ نشان می‌دهد بارش ماه‌های اکتبر، نوامبر و دسامبر سال گذشته همبستگی ضعیف و تنها در یک مورد معنی‌داری با گاه‌شناسی همه درختان در ایستگاه راور دارد. در بین این ماه‌ها بارش دسامبر گذشته مقادیر بالاتر همبستگی را نشان می‌دهد. از بین ماه‌های زمستان، ماه ژانویه برای همه ایستگاه‌ها همبستگی مثبت، در

ایستگاه زرنند در سطح ۹۹ درصد و کوهبنان در سطح ۹۵ درصد معنی دار است. ماه فوریه دارای همبستگی منفی ضعیف در ایستگاه زرنند و همبستگی مثبت ضعیف در دو ایستگاه راور و کوهبنان است. بارش ماه مارس نیز دارای همبستگی مثبت ضعیف در هر ۳ ایستگاه است. این شرایط با ارقام متفاوت و گاهی معنی داری یک یا دو ایستگاه برای ماههای آوریل تا سپتامبر دیده می شود، ضمن اینکه ایستگاههای راور و کوهبنان دارای بارش صفر در یک یا چند مورد از ماههای ژوئن، جولای، آگوست و سپتامبر بوده اند. همانطور که ذکر شد، از بین ماههای بررسی شده تنها بارش ماه ژانویه پیش از فصل رشد رابطه معنی داری با گاه شناسی همه درختان مورد مطالعه دارد. با توجه به اینکه ماه ژانویه پایین ترین میانگین دمای ماهانه منطقه را در سال دارد، بارش این ماه می تواند به صورت ریزش برف، ذخیره آبی برای فصل رشد را در بهار مهیا کند. مجموع بارش پاییز قبل از فصل رشد، یعنی ماههای اکتبر، نوامبر و دسامبر گذشته همبستگی مثبت ضعیفی با پهنای حلقه های رویشی گاه شناسی همه درختان دارد. همبستگی مجموع بارش فصل زمستان نیز (ژانویه، فوریه، مارس) در همه ایستگاه مثبت ضعیف و تنها در دو ایستگاه راور و کوهبنان در سطح ۹۵ درصد معنی دار است. بارش بهار و تابستان نیز همانند بارش ماهیانه این دو فصل، دارای مقادیر متفاوت همبستگی ضعیف است. بارش فصل بهار یا مجموع بارش آوریل، می و ژوئن با توجه به انطباق ماههای این فصل با فصل رویشی سال جاری، همبستگی بالایی را با پهنای حلقه ها نشان نمی دهد، ضمن کم بودن بارش می و ژوئن و پایین آوردن آماری همبستگی در این دوره، این امر نشان دهنده وابستگی درختان ارس منطقه به آب ذخیره شده دوره بارش پیش از فصل رویش و احتمالاً بارش ماه آوریل در آغاز فصل رویش است. همبستگی مجموع بارش سالانه ایستگاههای زرنند و راور، نشان دهنده مقادیر مثبت ضعیف و ایستگاه کوهبنان دارای همبستگی ۰.۶۴ معنی داری در سطح ۹۹ درصد است. بررسی ها نشان می دهد ایستگاههای مختلف در منطقه جدای از مقدار و معنی داری تقریباً رفتاری یکسان در همبستگی بارش و پهنای حلقه های رویشی دارند. نمودار شکل ۸ میزان همبستگی بارش ۳ ایستگاه نمونه با شاخص پهنای حلقه گاه شناسی متوسط را نشان می دهد.



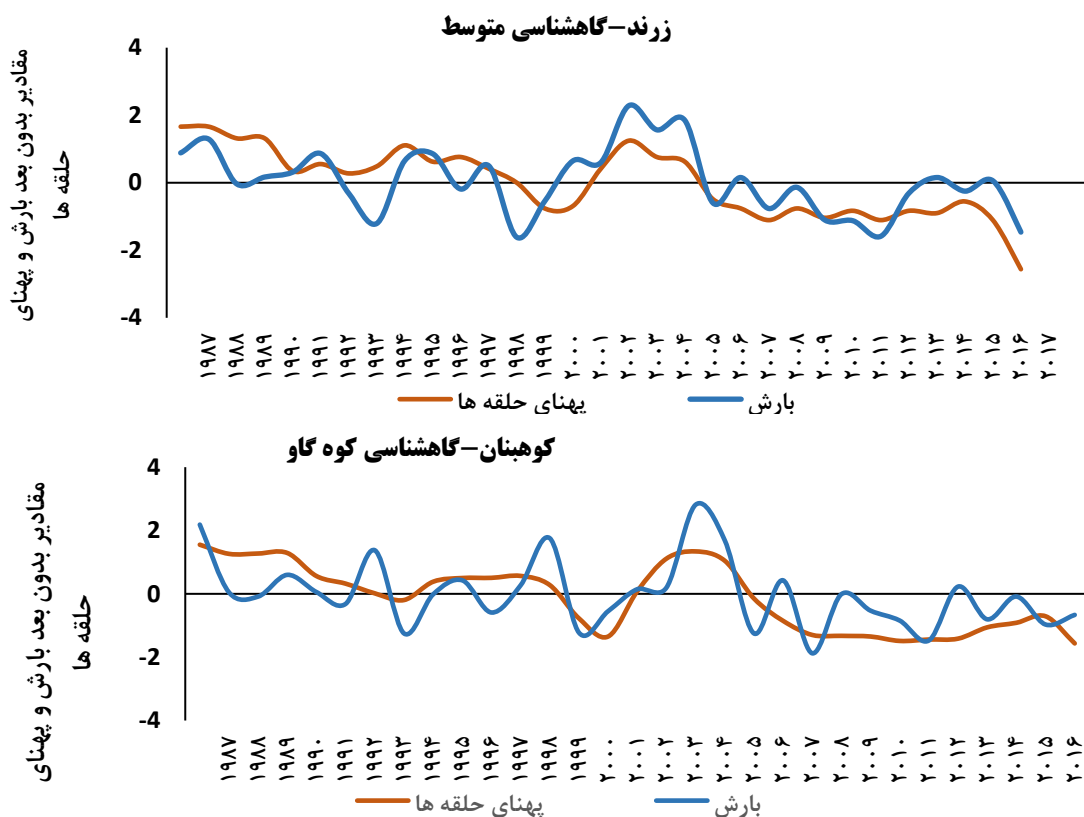
شکل ۸: نمودار ضریب همبستگی بیرسون بین بارش ایستگاههای راور و زرنند با گاه شناسی پهنای حلقه های رویشی کل درختان منطقه مورد مطالعه (** معنی دار در سطح ۹۹ درصد)

با توجه به آن چه گفته شد، همبستگی ماه به ماه، فصلی و سالانه بارش منطقه با گاه شناسی همه درختان جز در مواردی، معنی دار نبوده و امکان تفسیر درست رابطه بارش و پهنای حلقه های رشد و در نتیجه بازسازی مناسب را به دست نمی دهد. بنابراین لازم است برای دستیابی به نتیجه بهتر همبستگی مجموع بارش ماههای مختلف با



شکل ۱۰: نمودار ضریب همبستگی پیوسون بین بارش ایستگاه‌های راور و زرد با گاه‌شناسی پهنای حلقه‌های رویشی رویشگاه بیدشیخ (** معنی دار در سطح ۹۹ درصد)

بررسی همبستگی بارش با پهنای حلقه‌های رشد درختان ارس در رویشگاه تنگل راور، که منطقه‌ای کوهستانی با اقلیم نیمه خشک است، نشان داد که بارش پیش از فصل رشد و ابتدای فصل رشد مهم‌ترین عامل تاثیرگذار در پهنای حلقه‌ها است. مجموع بارش فصل بارندگی منطقه یعنی از ماه نوامبر تا آوریل یا در برخی از ایستگاه‌ها اکتبر تا می، طبیعتاً با تامین آب مورد نیاز تاثیر مثبت به سزایی بر روی رشد درختان دارد. با توجه به صخره‌ای بودن و شیب زیاد اکثر نقاط رویشگاه، ذخیره برف زمستانه یا به عبارتی مجموع بارش سردترین ماه‌ها (نوامبر، دسامبر، ژانویه) اثر زیادی بر روی تامین آب مورد نیاز درختان در ابتدای فصل رویش داشته و بنابراین همبستگی بالایی را با پهنای حلقه‌ها نشان می‌دهد. ارتباط پهنای حلقه‌ها و داده‌های بارش ۲ مورد از گاه‌شناسی‌ها و ایستگاه‌ها به صورت نمودار در شکل ۱۱ نشان داده شده است.



شکل ۱۱: ارتباط بارش ایستگاهی (استاندارد شده) و شاخص پهنای حلقه‌ها

بازسازی بارش

بررسی نتایج آزمون همبستگی برای سه گاهشناسی متوسط، کوه گاو و بیدشیخ با داده‌های ایستگاهی نشان داد که دوره‌های زمانی مختلفی با همبستگی مناسب برای بازسازی بارش در دسترس قرار دارند. برای بازسازی بارش و به تبع آن بررسی دوره‌های خشک و مرطوب با استفاده از شاخص استاندارد شده بارش، در دوره اکتبر تا می، هر سه گاهشناسی انجام گرفت. این دوره تقریباً نشان دهنده تمام بارش دوره مرطوب سال است. در بازسازی بارش دوره اکتبر - می ایستگاه گاهشناسی متوسط از ایستگاه زرد (همبستگی 0.47^{**})، بازسازی بارش گاهشناسی بیدشیخ از ایستگاه راور (همبستگی 0.60^{**})، بازسازی بارش گاهشناسی کوه گاو از ایستگاه کوهبان (همبستگی 0.66^{**}) استفاده شد. طبیعتاً استفاده از ایستگاه‌های مختلف سبب ایجاد اختلاف در مقادیر برآورد شده می‌گردد اما داده‌های بازسازی شده روندی مشابه دارند. بنابراین برای مقایسه راحت‌تر داده‌های بازسازی شده، استانداردسازی شدند. به عبارتی داده‌های بازسازی شده یک گاهشناسی با دو ایستگاه مختلف اگرچه مقادیر عددی متفاوتی دارند اما در حالت استاندارد (شاخص Z) کاملاً با هم برابرند.

بازسازی بارش اکتبر - می گاهشناسی متوسط منطقه

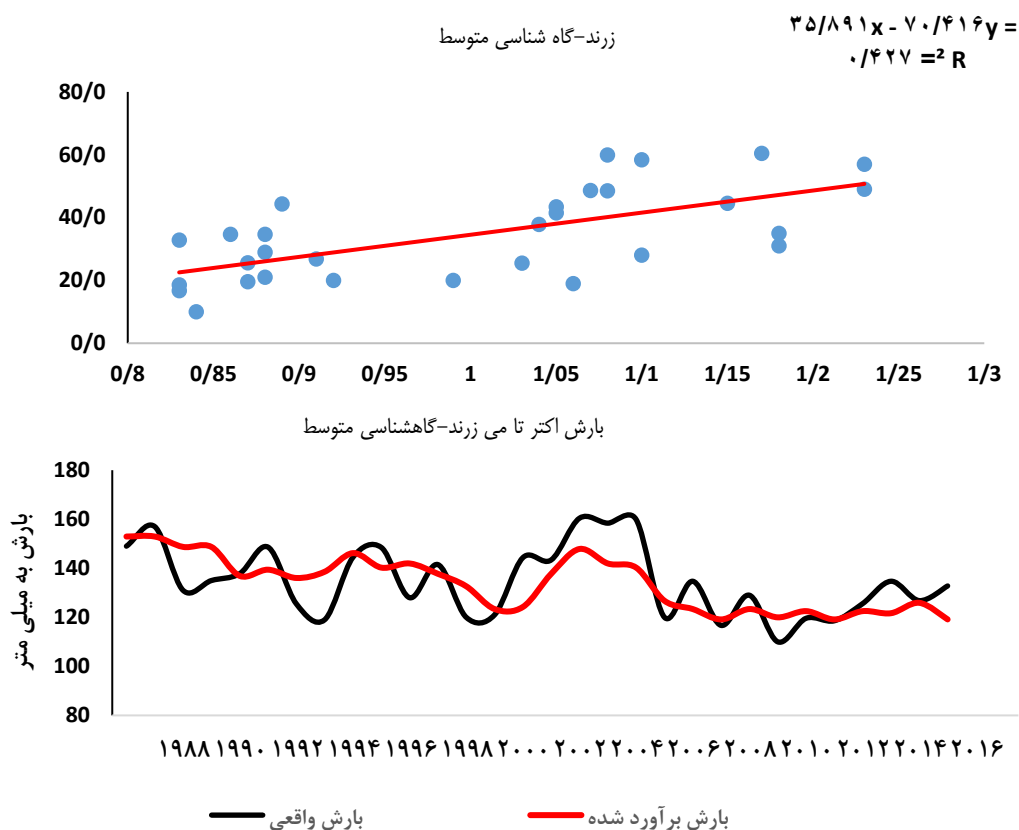
بر اساس روابط همبستگی معنی دار که برای بازسازی داده‌های اقلیمی انتخاب شدند، ابتدا یک رابطه رگرسیون خطی بین پارامترهای اقلیمی به عنوان متغیر وابسته و پهنای حلقه‌ها به عنوان متغیر مستقل برآزش داده شد. پس از آن با استفاده از مدل‌های رگرسیونی به دست آمده، داده‌های اقلیمی رو به گذشته بر اساس پهنای حلقه‌ها بازسازی شدند. در مرحله بعد برای اعتبارسنجی مدل، پارامترهای اقلیمی بازسازی شده و داده‌های ایستگاهی واقعی نسبت به هم مجدداً با یک رابطه رگرسیونی سنجیده شدند. بازسازی بارش اکتبر - می گاهشناسی استاندارد متوسط منطقه (کل درختان) با استفاده از ایستگاه زرنند و بر اساس دوره اقلیمی ۲۰۱۷-۱۹۸۶ انجام شد. به دلیل کوتاه بودن دوره آماری ایستگاه زرنند، واسنجی (Calibration) مدل برای کل دوره آماری و همچنین به صورت دوره-های ۲۰ ساله همپوشان بین داده‌های اقلیمی و پهنای حلقه‌ها انجام شد. ارزیابی (Verification) مدل رگرسیونی نیز با استفاده از رگرسیون مجدد بین داده‌های بازسازی شده و داده‌های واقعی انجام گرفت. همچنین ضریب همبستگی (R)، ضریب تشخیص (R^2)، آماره کاهش خطا (RE)، ضریب کارایی (CE) و آزمون علامت (ST) برای ارزیابی مدل استفاده شدند. معادله خط رگرسیون برای این بازسازی که نمودار آن در شکل ۱۲ نشان داده شده است به این شرح است:

$$y = 70.416x - 35.891$$

که در آن Y بارش برآورد شده و X پهنای حلقه در سال مورد نظر است. واسنجی این مدل نیز در دوره‌های ۲۰ ساله همپوشان و همچنین ارزیابی نتایج برآورد شده در کل دوره آماری ۱۹۸۶-۲۰۱۷ انجام گرفت. نتایج واسنجی مدل در دوره‌های ۲۰ ساله برای آماره‌های کاهش خطا و ضریب تعیین با وجود رسیدن به حد نصاب مورد قبول، مقادیر پایین و نزدیک به صفر را نشان می‌دهند. بنابراین می‌توان گفت مدل ارائه شده نسبتاً مناسبی برای بازسازی بارش اکتبر - می گاهشناسی متوسط منطقه دارد.

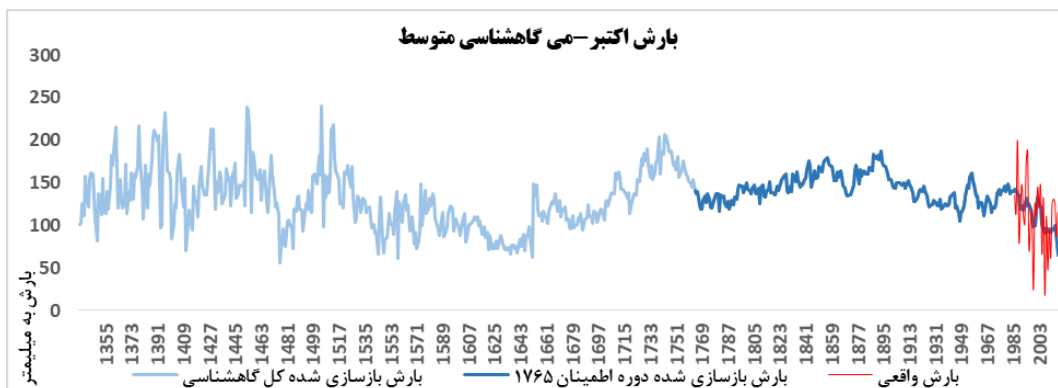
جدول ۷: آماره‌های اعتبارسنجی مدل رگرسیونی خطی بین گاهشناسی متوسط منطقه و بارش اکتبر - می ایستگاه زرنند

Estimate vs Real Data Verification 2017-1986	Calibration 2007-1986	Calibration 2017-1997	Regression Model Calibration 2017-1986	
0.56**	0.44*	0.45**	0.47**	Multiple R
0.31	0.19	0.19	0.20	R Square
1.1	0.53	0.22	0.11	Standard Error
0.11	0.07	0.08	*	Re
0.10	0.09	0.05	*	CE
0.80	*	*	*	ST



شکل ۱۲: معادله خط رگرسیون گاه‌شناسی کل درختان و بارش اکتبر- می ایستگاه زرنند (راست)، بارش واقعی ایستگاه زرنند و بارش برآورد شده گاه‌شناسی متوسط منطقه (چپ)

نمودار شکل ۱۲ نشان می‌دهد داده‌ها در مدل رگرسیون پراکنشی همسو و در مواردی فاصله با خط معادله دارند. این موضوع با توجه به ماهیت تغییرپذیری بیشتر داده‌های بارش دور از انتظار نیست. مقایسه بارش واقعی و بارش برآورد شده نیز همسویی روند بین دو سری و حالت هموارتر در داده‌های برآورد شده را نشان می‌دهند. بنابراین همانطور که ذکر شد مدل با کیفیتی نسبتاً مناسب داده‌های بارش اکتبر- می گاه‌شناسی متوسط منطقه را بازسازی کرده است. این بازسازی در نمودار شکل ۱۳ نشان داده شده است. با توجه به نمودار شکل ۱۳ از دهه ۱۸۹۰ میلادی تا زمان حاضر روند کاهشی در بارش بازسازی شده کل رویشگاه بر اساس گاه‌شناسی متوسط منقطه مشاهده می‌شود. کاهش بارش‌ها از دهه ۱۹۸۰ میلادی تا سال شروع گاه‌شناسی (۲۰۱۷) مشخص است. در این دوره یک نوسان افزایشی بین سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۴ دیده می‌شود. در ۱۲۰ سال گذشته دهه‌های ۱۹۵۰ و ۱۹۸۰ میلادی روند افزایشی مشخص داشته‌اند.



شکل ۱۳: نمودار بارش بازسازی شده اکتبر - می گاهشناسی متوسط با استفاده از داده‌های ایستگاه زرنند (EPS: ۱۷۶۵) دوره‌های افت مشخص بارش مربوط به سال‌های ۱۹۱۷ تا ۱۹۱۹، دهه ۱۹۲۸ تا ۱۹۳۹، سال‌های ۱۹۴۵ تا ۱۹۵۰، دهه ۱۹۶۰، سال‌های ۱۹۹۰ تا ۱۹۹۲، سال‌های ۱۹۹۸ و ۱۹۹۹ و از سال ۲۰۰۴ به بعد است. شاخص‌ترین ویژگی - هایی که بارش بازسازی شده گاهشناسی متوسط در طول دوره آماری قابل اطمینان نشان می‌دهد به این شرح است: کم بودن بارش‌ها در ۱۷۵۰-۱۷۹۰، روند افزایشی به طول یک قرن تا ۱۸۵۵، افت قابل توجه از ۱۸۵۰ تا ۱۸۷۵، روند کاهشی مشخص بارش قرن بیستم و دو افزایش در دهه‌های ۱۹۵۰ و ۱۹۸۰ میلادی. اگرچه دوره اطمینان برای بازسازی بارش گاهشناسی متوسط تا سال ۱۷۶۵ میلادی است، اما می‌توان برای تشریح روند کلی بارش‌ها، از پیش از دوره اطمینان نیز استفاده کرد. قبل از روند افزایشی نیمه قرن هجدهم تا نیمه قرن نوزدهم، از ابتدای دهه ۱۷۴۰ تا ۱۷۶۵، یک افت در بارش مشاهده می‌شود. این افت در پی روند کلی افزایشی به طول یک قرن از دهه ۱۶۴۰ تا ۱۷۴۰ رخ داده است. این روند افزایشی پس از پشت سر گذاشتن افت محسوس و قابل توجه بارش‌ها در دوره‌ای ۱۵۰ ساله از حدود ۱۵۰۰ تا ۱۶۵۰ میلادی رخ داده است.

بازسازی بارش اکتبر - می رویشگاه بید شیخ

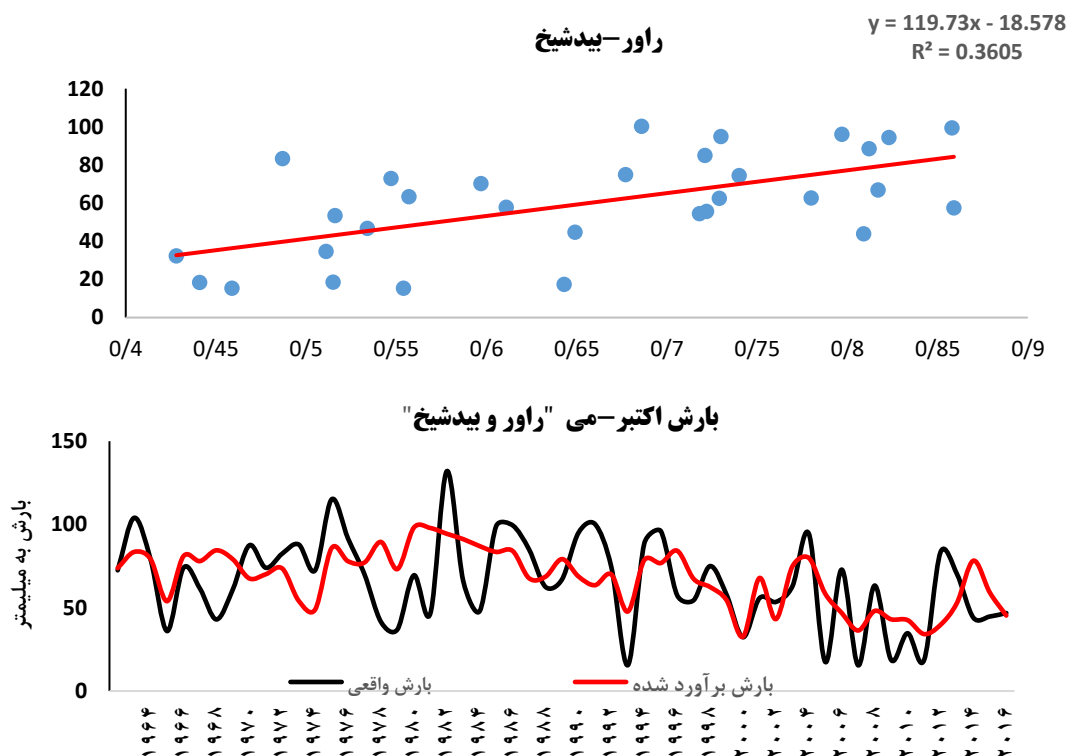
بارش اکتبر - می گاهشناسی استاندارد بید شیخ با استفاده از داده‌های ایستگاه راور و بر اساس دوره اقلیمی ۱۹۶۳-۲۰۱۷ انجام شد. معادله خط رگرسیون برای این بازسازی که نمودار آن در شکل ۱۴ نشان داده شده است به این شرح است:

$$y = 119.73x - 18.578$$

که در آن y بارش برآورد شده و x پهنای حلقه در سال مورد نظر است. واسنجی و ارزیابی این مدل به صورت متقاطع در دو دوره ۱۹۶۳-۱۹۸۳ و ۱۹۸۴-۲۰۱۷ انجام گرفت. همچنین نتایج برای کل دوره آماری ارزیابی شدند. در دوره ۱۹۶۳-۱۹۸۳ آماره‌ها ضعیف‌تر بوده اما در مجموع واسنجی و ارزیابی مدل توان خوبی برای بازسازی بارش اکتبر - می رویشگاه بید شیخ را نشان داد.

جدول ۹: آماره‌های اعتبارسنجی مدل رگرسیون خطی بین گاه‌شناسی بیدشیخ و بارش اکتبر- می ایستگاه راور

Estimate vs Real Data Verification 2017-1963	Calibration 1984-2017	Calibration 1963-1983	Regression Model Calibration 2017-1963	
0.59**	0.59**	0.50**	0.60**	Multiple R
0.35	0.34	0.25	0.36	R Square
1.54	0.21	2.84	0.10	Standard Error
0.17	0.37	0.05	*	Re
0.18	0.40	0.09	*	CE
0.90	*	*	*	ST

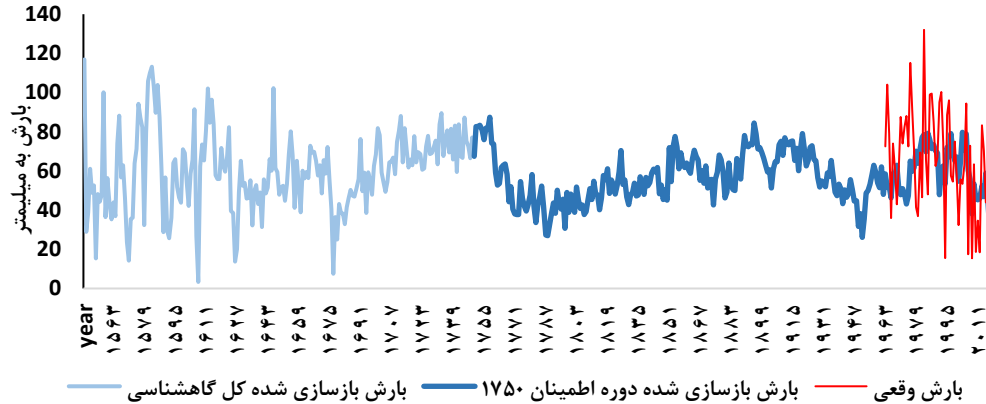


شکل ۱۴: معادله خط رگرسیون گاه‌شناسی بیدشیخ و بارش اکتبر- می ایستگاه راور (راست)، بارش واقعی ایستگاه راور و بارش برآورد گاه‌شناسی بیدشیخ (چپ)

شکل ۱۴ نقاط همسو با پراکندگی مناسب را پیرامون خط مدل رگرسیونی بین گاه‌شناسی بیدشیخ و بارش اکتبر تا می ایستگاه راور را نشان می‌دهد. نمودار بارش واقعی و بارش برآورد شده نیز همخوانی زیاد در روند و همچنین

همخوانی نسبی در مقادیر مطلق را نشان می‌دهد. بنابراین می‌توان گفت مدل رگرسیونی ارائه شده توان خوبی برای بازسازی بارش اکتبر-می رویشگاه بیدشیخ را دارد.

بارش اکتبر-می رویشگاه بیدشیخ



۱۵: نمودار بارش بازسازی شده اکتبر-می رویشگاه بیدشیخ با استفاده از داده‌های ایستگاه راور (EPS: ۱۷۵۰)

با توجه به نمودار شکل ۱۵ بارش بازسازی شده رویشگاه بیدشیخ بدون در نظر گرفتن تغییرات کوتاه مدت چند ساله، از سال ۱۷۵۰ تا دهه ۱۷۷۰ میلادی روند کاهشی، از ۱۷۷۰ تا ۱۸۵۰ به مدت نزدیک به یک قرن روند افزایشی، از ۱۸۵۰ تا ۱۸۷۵ روند کاهشی، دهه‌های ۱۸۸۰ و ۱۸۹۰ افزایش و از ابتدای قرن بیستم تا ۱۹۵۰ میلادی روند کاهشی داشته است. از ۱۹۵۰ دهه ۱۹۸۰ بارش روند افزایشی (با یک کاهش در دهه ۷۰ میلادی) نشان می‌دهد. از ۱۹۸۰ میلادی تا ۲۰۱۷ کاهش کلی در روند بارش مشاهده می‌شود. در مجموع شاخص‌ترین تغییرات بارش بازسازی شده رویشگاه بیدشیخ کاهش محسوس بارش در نیمه دوم قرن هیجدهم، ماکزیمم بارش در اواخر قرن نوزدهم، کاهش شدید و مشخص در دهه ۱۹۴۰ و دوره افزایش بارش در دهه ۱۹۸۰ میلادی است. بارش پیش از دوره اطمینان رویشگاه بیدشیخ روند افزایشی از حدود ۱۶۵۰ تا ۱۷۵۰ را نشان می‌دهد که افت ۱۷۵۰-۱۷۷۰ در پی آن رخ داده است.

بازسازی بارش رویشگاه کوه‌گاو

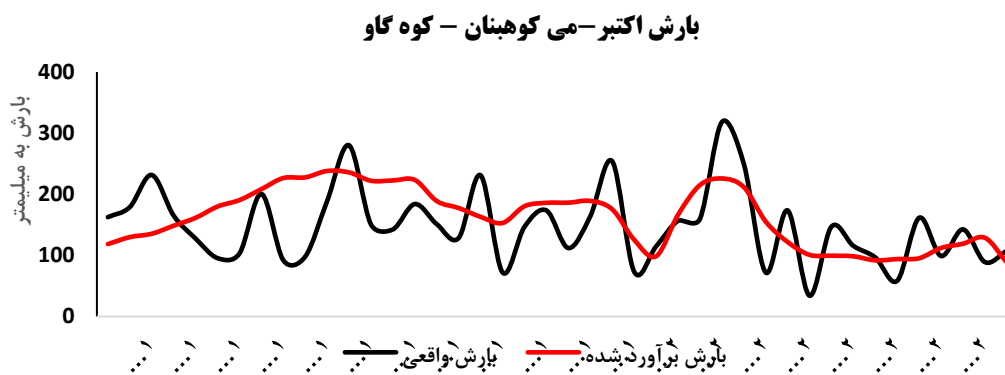
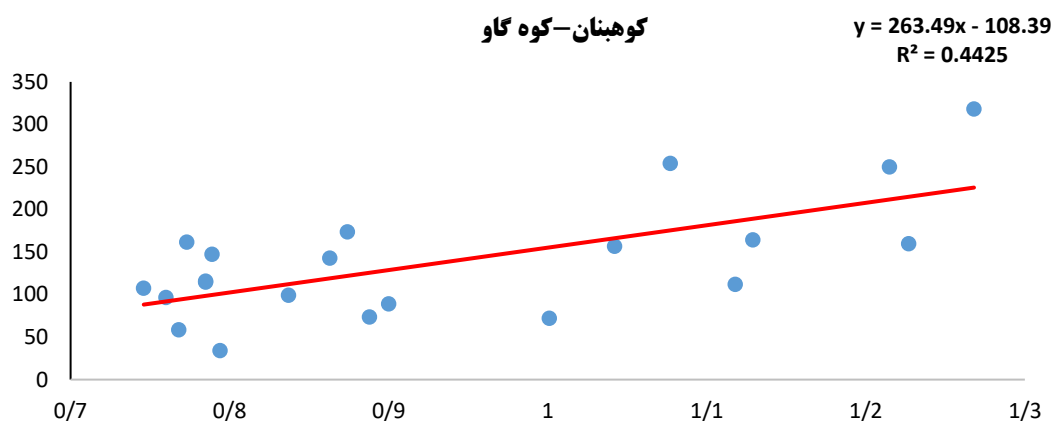
بارش اکتبر-می گاهشناسی استاندارد کوه‌گاو با استفاده از داده‌های ایستگاه کوهبنان و بر اساس دوره اقلیمی ۱۹۷۶-۲۰۱۷ انجام شد. معادله خط رگرسیون برای این بازسازی که نمودار آن در شکل ۱۶ نشان داده شده است به این شرح است:

$$y = 263.49x - 108.39$$

که در آن y بارش برآورد شده و x پهنای حلقه در سال مورد نظر است. واسنجی و ارزیابی این مدل به صورت متقاطع در دو دوره ۱۹۷۶-۱۹۹۶ و ۱۹۹۷-۲۰۱۷ انجام گرفت. در مجموع تمام دوره‌های واسنجی برای اکثر آماره‌ها مقادیر بالایی را نشان دادند به جز خطای استاندارد که در تمام موارد این آماره مقدار زیادی را نشان می‌دهد.

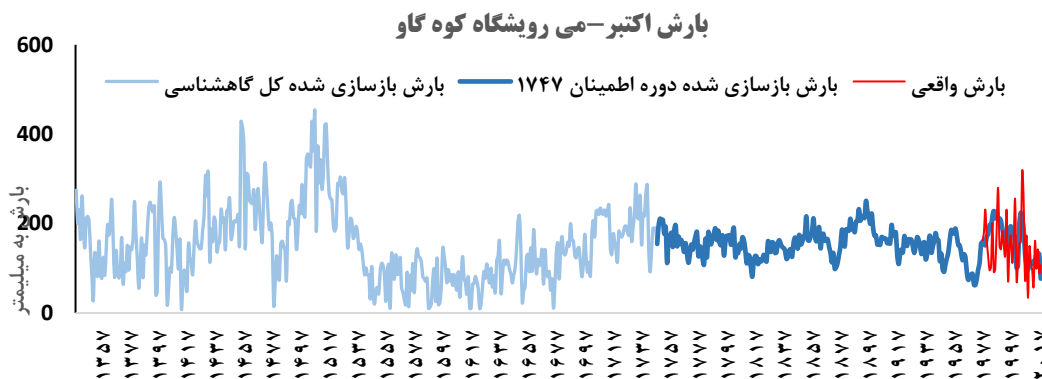
جدول ۱۰: آماره‌های اعتبارسنجی مدل رگرسیون خطی بین گاه‌شناسی کوه‌گاو و بارش اکتبر-می ایستگاه کوه‌بنان

Estimate vs Real Data Verification 2017-1976	Calibration 1997-2017	Calibration 1976-1996	Regression Model Calibration 2017-1976	
0.64**	0.60**	0.52**	0.66**	Multiple R
0.40	0.36	0.27	0.44	R Square
15.6	18.1	23.3	13.3	Standard Error
0.46	0.45	0.33	*	Re
0.48	0.40	0.27	*	CE
0.38	*	*	*	ST



شکل ۱۶: معادله خط رگرسیون گاه‌شناسی کوه‌گاو و بارش اکتبر-می ایستگاه کوه‌بنان (راست)، بارش واقعی کوه‌بنان و بارش برآورد شده روی‌شگاه کوه‌گاو (چپ)

در نمودار مدل رگرسیونی گاهشناسی کوه گاو و ایستگاه کوهبنان، نقاط پراکنش مناسبی را نسبت به خط معادله نشان می‌دهند. همچنین نمودار بارش برآوردشده در مقایسه با بارش واقعی روندهای بارشی را به طور مناسب و مقادیر را به صورت هموارشده نشان می‌دهد.

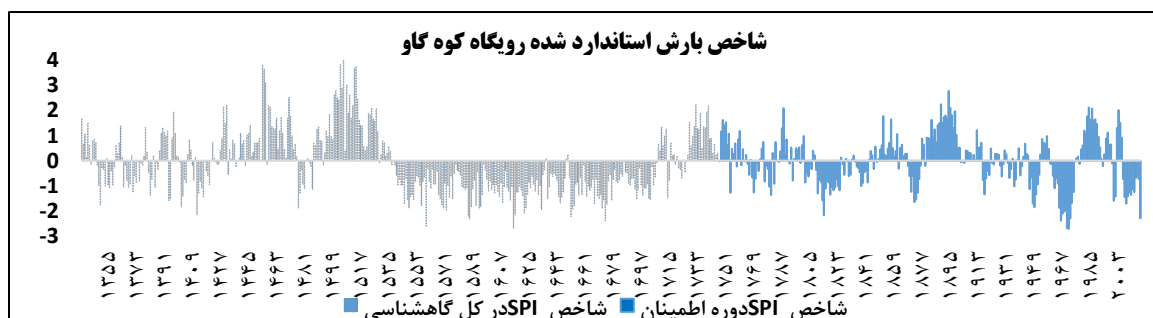
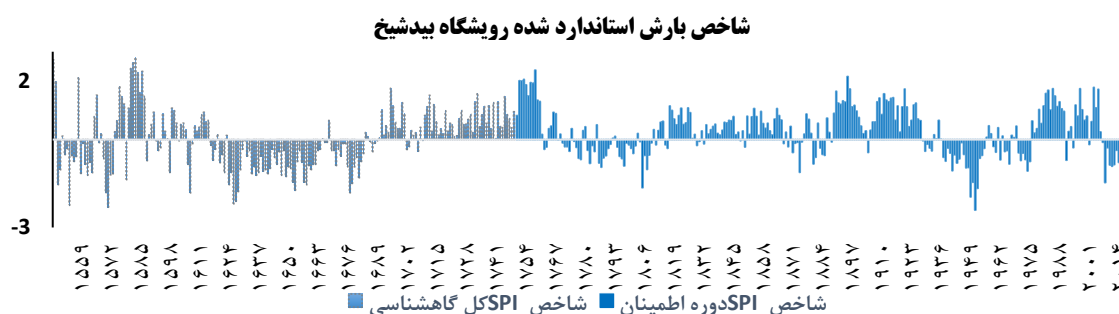
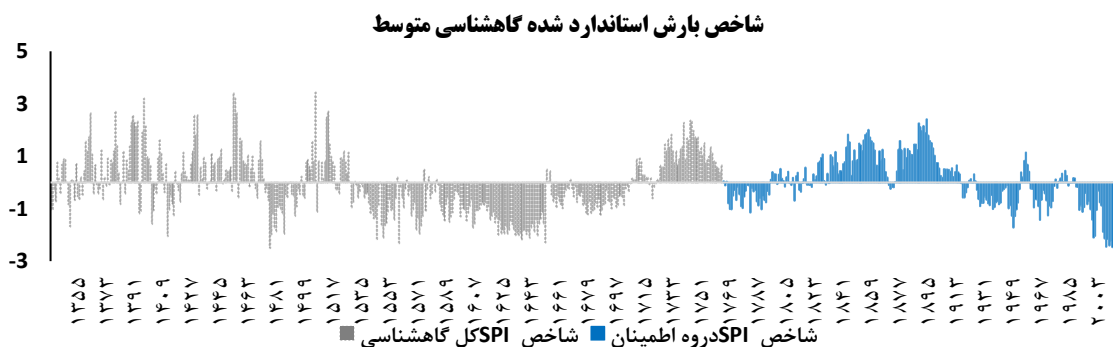


شکل ۱۷: نمودار بارش بازسازی شده اکتبر- می رویشگاه کوه گاو با استفاده از داده‌های ایستگاه کوهبنان (EPS: ۱۷۴۷)

با توجه به نمودار شکل ۱۷ بارش بازسازی شده رویشگاه کوه گاو در مجموع می‌توان شاخص‌ترین تغییرات بارش بازسازی شده رویشگاه کوه گاو را به این شرح دانست: کاهش محسوس در میانه قرن هجدهم، کاهش محسوس در اوایل قرن نوزدهم، کاهش محسوس در ابتدای نیمه دوم، و ماکزیمم بارشی در انتهای همین قرن، کاهش شدید دهه ۱۹۴۰ و ۱۹۷۰ میلادی و دوره افزایش ۱۹۸۰. بارش بازسازی شده کل گاهشناسی کوه گاو حاکی از یک افت کلی ۱۳۰ ساله در مقدار بارش بین ساله‌های ۱۵۲۰ تا ۱۶۵۰ و شروع روند افزایشی از ۱۶۵۰ به بعد است. این روند افزایشی با چندین مرحله افت به یک ماکزیمم بارش در حدود ۱۷۴۰ ختم می‌شود که روند کاهشی کلی پس از آن تا ۱۸۰۰ ادامه دارد.

بررسی خشکسالی‌ها و ترسالی‌های منطقه با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده (SPI)

شاخص استاندارد برای بارش بازسازی شده گاهشناسی‌های متوسط، بیدشیخ و کوه گاو محاسبه و دوره‌های خشکسالی و ترسالی رخ داده در منطقه بر اساس آن بررسی شد. شکل ۱۸ نمودار این شاخص را برای هریک از گاهشناسی‌ها نشان می‌دهد.



شکل ۱۸: نمودار شاخص بارش استاندارد شده (SPI) گاهشناسی متوسط، رویشگاه بیدشیخ، رویشگاه کوه گاو

نمودار شاخص بارش استاندارد شده گاهشناسی متوسط منطقه در دوره اطمینان ۱۷۶۵، خشکسالی‌های شدید در یک دهه منتهی به سال ۲۰۱۷ و کمتر بودن میانگین بارش‌ها از حد نرمال از حد شمال از دهه ۹۰ میلادی به این سو و رخ دادن یک دوره خشکسالی شدید در اواخر هزاره دوم میلادی را نشان می‌دهد. در دهه ۸۰ میلادی بارش‌ها به میانگین نزدیک شده اما دوره ترسالی رخ نداده است. در دهه‌های ۷۰ و ۶۰ میلادی کاهش بارندگی‌ها با دو خشکسالی متوسط در ۱۹۶۵ و ۱۹۷۰ مشخص است. در دهه ۵۰ میلادی بارش‌ها بیشتر از میانگین بوده و یک ترسالی متوسط در ۱۹۵۶ رخ داده است. دهه ۴۰ میلادی بارش پایین‌تر از میانگین یک دوره خشکسالی متوسط از ۱۹۴۶ تا ۱۹۴۹ را نشان می‌دهد. از نیمه دوم دهه ۱۹۲۰ و در دهه ۱۹۳۰ میلادی نیز پیوسته مقادیر بارش کمتر از میانگین طولانی مدت و یک دوره خشکسالی بین سال‌های ۱۹۱۶ تا ۱۹۱۹ مشخص است. از ۱۸۷۹ تا ۱۸۷۵ ترسالی‌های متوالی دو دهه‌ای در منطقه دیده می‌شود که در این بین از ۱۸۸۸ تا ۱۸۹۳ این ترسالی شدیدتر رخ

داده است. در دهه ۱۸۶۵ تا ۱۸۷۵ بارش‌ها به میانگین نزدیک شده و رخداد ترسالی و یا خشکسالی مشاهده نمی‌شود. از ۱۸۶۵ تا ۱۸۳۰ همواره بارش بیشتر از میانگین بوده و یک دوره ترسالی متوسط و شدید در دهه ۱۸۵۰ اتفاق افتاده است. از ۱۸۳۰ تا ۱۷۹۵ بارش‌ها حول میانگین نوسان داشته‌اند. از ۱۷۹۵ تا حدود ۱۷۶۵ بارش‌ها پیوسته کمتر از میانگین بوده و چند دوره خشکسالی نیز به وقوع پیوسته است. در ادامه گاهشناسی پیش از سال ۱۷۶۵، افزایش بارش از ۱۷۶۰ تا ۱۷۲۰ مشاهده می‌شود که در این بین دوره‌های ترسالی شدید و بسیار شدید در دهه ۱۷۵۹ و ۱۷۴۰ نیز روی داده است. از ۱۷۲۰ تا ۱۷۰۰ میلادی مقادیر حول محور بارش نرمال نوسان داشته‌اند. از حدود ۱۷۰۰ میلادی به مدت ۱۷۰ سال تا حدود دهه ۱۵۳۰، بارش‌ها پیوسته پایین‌تر از حد نرمال بوده و خشکسالی متعددی نیز در این دوره به چشم می‌خورد. قابل توجه‌ترین دوره، بارش کم و احتمالاً خشکسالی شدید مداوم ۱۶۰۰ تا ۱۶۵۰ میلادی است. نمودار شاخص بارش استاندارد شده یا SPI رویشگاه‌های بیدشیخ و کوه‌گاو در دوره بازسازی شده قابل اطمینان ۱۷۵۰ و ۱۷۴۷، به صورت کلی مشابه با گاه‌شناسی متوسط بوده با این حال به دلیل مشارکت تعداد کمتر درختان، این گاه‌شناسی‌ها تغییرات جزئی در ثبت خشکسالی‌ها و ترسالی‌های منطقه با گاه‌شناسی متوسط دارند.

نتیجه‌گیری

با بررسی کیفیت و شمارش حلقه‌های رویشی ۹۶ درخت نمونه برداری شده در رویشگاه تنگل راور، مشخص شد این درختان ارس می‌توانند گاه‌شناسی به طول ۶۸۰ سال با دوره اطمینان بیش از ۲۵۰ سال برای بازسازی‌های اقلیمی به دست دهند. آماره‌های سنجش کیفیت نمونه‌ها نشان دادند اکثریت نمونه‌های برداشت شده از این رویشگاه مناسب به کارگیری در ساخت گاه‌شناسی هستند، کیفیت گاه‌شناسی‌های ساخته شده نیز صحت این موضوع را نشان داد. برای بازسازی بارش دوره اکتبر-می یا به عبارتی با توجه به تقویم بارشی منطقه، تقریباً تمام بارش رویداده در سال، گاه‌شناسی‌های استاندارد از نرم افزار ARSTAN برای هر سه رویشگاه منطقه انتخاب شدند. با ساخت گاه‌شناسی و برقراری روابط رگرسیونی بین بارش دوره‌های زمانی مختلف و پهنای حلقه‌ها در این گاه‌شناسی‌ها، نتایج نشان داد بارش به صورت کلی رابطه مستقیم با پهنای حلقه‌های رشد درختان ارس منطقه دارد، در این بین بارش دسامبر-ژانویه به دلیل ریزش به صورت برف و کل بارش فصل بارندگی، یعنی اکتبر-می همبستگی بالایی را با پهنای حلقه‌ها نشان می‌دهد. با توجه به شیب زیاد در توپوگرافی رویشگاه، صخره‌ای بودن محل استقرار اکثر درختان، خاک کم عمق و در نتیجه ذخیره کم آب زیرزمینی، درختان ارس رویشگاه تنگل راور به میزان بارندگی پیش از فصل رویش و ابتدای فصل رویش در منطقه وابسته هستند. به دلیل کوهستانی بودن اکثر بارش‌های زمستانه منطقه به صورت برف است. با توجه به همبستگی مثبت بالای بارش دو ماه دسامبر-ژانویه و برای بعضی ایستگاه‌ها سه ماه دسامبر-ژانویه-فوریه می‌توان گفت ذخیره برف در پیش از شروع فصل رویش نقش به‌سزایی در پهنای حلقه‌های رویشی همه درختان رویشگاه مورد مطالعه دارد. در این رابطه علی‌پورفرد و همکاران (۱۳۹۴) در ارس‌های منطقه کیگوران الیگودرز رابطه معنی‌داری با بارش پیدا نکردند. دلیل این تفاوت در مقادیر بسیار بیشتر بارش منطقه مورد مطالعه ایشان نسبت به پژوهش حاضر است که در واقع تنش رطوبتی برای درختان ارس را به کمترین حد ممکن می‌رساند. همچنین ارسال‌نی (۱۳۹۷) رابطه بارش و گاه‌شناسی پهنای چوب آغاز، چوب پایان و

حلقه‌های سالپانه گونه بلوط بارانتی در زاگرس را بررسی کرد و بیان داشت که بارش دسامبر- فوریه، دسامبر- ژانویه و نوامبر- فوریه بیشترین همبستگی با پهنای حلقه‌ها در این ناحیه را دارند که با نتایج پژوهش حاضر همخوانی دارد. همچنین پورطهماسی و همکاران (۱۳۸۸) در بررسی ارس‌های ناحیه چهارباغ گرگان، بارندگی فصل رویش را دارای بیشترین همبستگی مثبت با حلقه‌های رویشی ارس دانستند. عزیزی و ارسلانی (۱۳۹۱) نیز، بارش اکتبر- می را با گاه‌شناسی بلوط رویشگاه فریادرس کرمانشاه دارای بیشترین همبستگی مثبت دانستند که با نتایج بدست آمده این پژوهش همخوانی دارد. لیفچستر و همکاران (۱۹۷۹) با مطالعه گاه‌شناسی ارس در غرب و مرکز ایران نشان دادند که رشد شعاعی این گونه‌ها در مناطق خشک به مقدار زیادی به بارندگی وابسته است، نتایج پژوهش حاضر نیز این مطلب را نشان می‌دهد. با توجه به شاخص استاندارد بارش‌های بازسازی شده می‌توان دوره‌های خشکسالی و ترسالی قابل توجه منطقه را به این شرح خلاصه کرد: خشکسالی‌های دو دهه اخیر به‌خصوص از ۲۰۰۷-۲۰۰۶ تا ۲۰۱۷ میلادی. ترسالی دهه ۱۹۸۰ میلادی، خشکسالی ۱۹۶۵-۱۹۷۵. ترسالی دهه ۱۹۵۰ میلادی، خشکسالی دهه ۱۹۴۰ میلادی، خشکسالی ۱۹۱۶-۱۹۱۹ میلادی، ترسالی ادامه‌دار نیمه دوم قرن نوزدهم با یک افت بارشی در دهه ۱۸۷۰، کاهش بارش در طول یک قرن و از سال‌های ۱۸۵۰ تا ۱۷۵۰ همراه با خشکسالی‌های متعدد، افزایش بارش در دوره ۱۷۵۰-۱۷۰۰ میلادی همراه با ترسالی‌های مداوم. افت آشکار و ادامه‌دار به مدت ۱۷۰ سال از ۱۷۰۰ تا ۱۵۲۰ میلادی. گاه‌شناسی متوسط با توجه به شامل شدن تعداد زیادی درخت با شرایط متنوع و نمایانگر بودن حالت میانگین منطقه، دوره‌های خشکسالی و ترسالی را به صورت هموارتر و تعداد کمتر به نمایش گذاشته است. برآورد این گاه‌شناسی به حد نرمال نزدیک‌تر بوده و رویدادهای شدید را به حالت تعدیل شده به نمایش گذاشته است. نتایج بازسازی بارش در این پژوهش با یافته‌های ارسلانی (۱۳۹۷ و ۲۰۲۱) همسو بوده، به طوریکه دوره‌های خشکسالی مشترک نظیر ۱۸۷۰-۱۹۱۷-۱۹۶۱ میلادی و دوره‌های ترسالی مشترک نظیر ۱۸۵۰-۱۸۵۴، ۱۸۹۰ تا ۱۹۰۰، ۱۹۵۴، بین گاه‌شناسی ایشان و گاه‌شناسی ارس‌های شمال کرمان مشاهده می‌شود. همچنین نتایج با بارش بازسازی شده اکتبر- می زاگرس مرکزی (ارسلانی، ۱۳۹۰، عزیزی و همکاران، ۲۰۱۳) دارای رخداد‌های ترسالی و خشکسالی در دوره مشترک هستند. از سوی دیگر، دوره‌های خشک ۱۸۷۱-۱۸۷۰، ۱۹۱۹-۱۹۱۷، ۱۹۴۴-۱۹۴۲ و ۱۹۹۹-۲۰۰۰ و همچنین دوره‌های مرطوب ۱۷۵۱-۱۷۵۲-۱۷۵۳، ۱۸۵۵-۱۸۵۲، ۱۹۰۵-۱۸۸۹ و ۱۹۵۰ پژوهش آنان با نتایج پژوهش فروزان و همکاران (۲۰۲۰) حلقه‌های رشد درختان ارس گرگان، همخوانی دارد.

منابع

- ارسلانی، م. عزیز، و خوش اخلاق، ف. (۱۳۹۱). بازسازی تغییرات دمای حداکثر استان کرمانشاه با استفاده از حلقه‌های درختی، جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۱، صص ۹۷-۱۱۰.
- ارسلانی، م. عزیز، ق. (۱۳۹۲). بررسی ارتباط بین شاخص نوسان جنوبی (SOI) و بارش بازسازی شده زاگرس میانی. جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، سال ۲۴، پیاپی ۵۱، شماره ۳، صص ۴۱-۵۴.
- بالاپور، ش.، اسدیپور، ح.، جلیلود، ح. و راینی، م. (۱۳۸۷). بررسی تاثیر متغیرهای اقلیمی بر روی رشد سالیانه درخت بلوط در جنگل‌های محدوده مدیریت شرکت نکا چوب، اولین همایش بین‌المللی تغییر اقلیم و گاهشناسی درختی در اکوسیستم‌های خزری- ساری.
- پورسرتیپ، ل. (۱۳۸۴). بررسی اقلیم‌شناسی گونه‌های ارس (*polycarpus Juniperus*) و اوری (*Quercus macranthera*) در منطقه چهارباغ گرگان، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، ص ۹۰.
- پورطهماسی، ک. پورسرتیپ، ل. براونینگ، آ. پارسا پزوه، د. (۱۳۸۸). ارزیابی رویش شعاعی درختان ارس (*Juniperus polycarpus*) و اوری (*Queacus macranthera*) در دو دامنه شمال و جنوب البرز در منطقه چهار باغ گرگان، نشریه جنگل و فرآورده‌های چوب، دانشکده منابع طبیعی، دوره ۶۲، شماره ۲، صص ۱۵۹-۱۶۹.
- عزیزی، ق. و روشنی، . (۱۳۸۷). مطالعه تغییر اقلیم در سواحل جنوبی دریای خزر به روش من- کندال، مجله پژوهش‌های جغرافیایی، دوره ۴۰، شماره ۶۴، صص ۲۸-۱۳.
- علی‌احمد کروری، س. خوشنویس، م. متینی‌زاده، م. مطالعات جامع جنس ارس در ایران. نشر پونه چاپ اول ۱۳۹۰.
- نادی، م، پورطهماسی، ک. (۱۳۹۵) بازسازی حلقه-درختی بارش شمال شرق ایران با استفاده از گاهشناسی درختان ارس منطقه لاین، نشریه جغرافیا و مخاطرات محیطی « شماره ۱۹.
- نجفی هرسینی، ف.، پورطهماسی، ک. و کریمی، ع. (۱۳۹۳). امکان استفاده از گاه شناسی گونه بلوط مازودار (*Quercus infectoria*) برای بازسازی داده های اقلیمی غرب کشور در منطقه جوانرود کرمانشاه، اولین کنفرانس ملی هواشناسی و مدیریت آب کشاورزی.
- صفدری، و. و پارسا پزوه، د. و حمصی، س. (۱۳۸۴). مطالعه اقلیم نگاری درختی گونه کاج الدار در سه منطقه تهران. علوم کشاورزی، ۱۱(۲)، ۲۱۷-۲۳۱ .

- Ahmad, S., Zhu, L., Yasmeen, S., Zhang, Y., Li, Z., Ullah, S., Han, S., and Wang, X.: A 424-year tree-ring-based Palmer Drought Severity Index reconstruction of *Cedrus deodara* D. Don from the Hindu Kush range of Pakistan: linkages to ocean oscillations, *Clim. Past*, 16, 783–798, <https://doi.org/10.5194/cp-16-783-2020>, 2020.
- Arsalani M., Griebinger J., Pourtahmasi K., Bräuning A.: Multi-centennial reconstruction of drought events in South-Western Iran using tree rings of Mediterranean cypress (*Cupressus sempervirens* L.) In: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 567 (2021), Article, No.: 110296, ISSN: 0031-0182
- Bao Yang, Chun Qin, Jianglin Wang, Minhui He, Thomas M. Melvin, Timothy J. Osborn, Keith R. Briffa, A 3,500-year tree-ring record of annual precipitation on the northeastern Tibetan Plateau, *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2014 Feb 25; 111(8): 2903–2908. Published online 2014 Feb 10. doi: 10.1073/pnas.1319238111 PMID: PMC3939907.
- Chen F. , He Q. , Bakytbek E. , Yu S.-L. , Zhang R.-B. , Climatic signals in tree rings of *Juniperus turkestanica* in the Gulcha River Basin (Kyrgyzstan), reveals the recent wetting trend of high Asia, November 2015, *Dendrobiology* 74:33-40
- Fang, Ze .Xin., Brauning, A., Cao, Kun-Fang., 2012, Annual temperature reconstruction in the Central Hengduan Mountains, China, as deduced from tree rings, *Dendrochronologia*, v.26 ,P.97.106.
- Fisher, M., 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.
- Foroozan Z, Griebinger J, Pourtahmasi K, Bräuning A. 501 Years of Spring Precipitation History for the Semi-Arid Northern Iran Derived from Tree-Ring $\delta^{18}\text{O}$ Data. *Atmosphere*. 2020; 11(9):889. <https://doi.org/10.3390/atmos11090889>
- Hai,F.Z.,Xue,M.S.,Zhi,Y,Y.,Peng,X.,Yan,X.,Hua,T., 2013, August temperature variability in the southeastern Tibetan Plateau since A.D.1385 inferred from tree rings. *PALAEO*, v. 5, P. 703.
- Kahveci G., Arslan M. (2021): Factors affecting the radial growth of *Juniperus foetidissima* Willd. and *J. excelsa* M. Bieb. in central Anatolia. *J. For. Sci.*, 67: 477–488
- Safdari, V.R., 2008, Correlation between ring width of Pine species (*Pinus eldarica*) with precipitation and temperature. *Proceedings of the First International Conference on Climate Change and Chronology Tree*, Surrey, 25-26 May: 20-38.
- Sass-Klaassen, U., Leuschner, H. H., Buerkert, A., & Helle, G. (2008). Tree-ring analysis of *Juniperus excelsa* from the northern Oman mountains. In *Proceedings of the Dendrosymposium 2007, May 3rd-6th 2007, Riga, Latvia* (pp. 83-90).
- Speer, J. H., 2001, Oak mast history from dendrochronology: a new technique demonstrated in the southern Appalachian region, PhD, dissertation, University of Tennessee, Knoxville TN. 241 PP.