

بازسازی بیش از یک قرن بارندگی سالیانه از روی حلقه‌های درختی بلوط ایرانی (*Quercus persica*) در جنگل‌های زاگرس (مطالعه موردی منطقه دنا)

حمید جلیلود^۱

حسین زارعان^۲

حجت ا... یزدانپناه^۳

سعید موحدی^۴

مهدی مومنی^۵

نبی ا... یارعلی^۶

چکیده

آگاهی از اقلیم گذشته جهت پیش‌بینی و برنامه‌ریزی آینده نیاز به داده‌های اقلیمی صحیح و طولانی مدت دارد. در این مطالعه، اقدام به بازسازی مجموع بارندگی منطقه دنا، به کمک پهنای حلقه‌های سالیانه گونه بلوط ایرانی، توسط رگرسیون چندگانه، نموده‌ایم. با این هدف دو ارتفاع رویشی در جنگل‌های منطقه دنا انتخاب و ۳۶ نمونه رویشی از ۱۸ پایه در دو جهت جغرافیایی جنوب غربی و شمال شرقی، در قطر برابر سینه استخراج و توسط نرم افزار اتوکد با دقت ۳ میکرون قرائت شدند. بعد از مرحله تطابق زمانی، برای حذف اثرات غیراقلیمی، تمامی پارامترهای اقلیمی و سری زمانی

۱- دانشیار دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

۲- دانشجوی دکترای اقلیم‌شناسی دانشگاه اصفهان.

۳- استادیار جغرافیا، دانشگاه اصفهان.

۴- استادیار جغرافیا، دانشگاه اصفهان.

۵- استادیار دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه اصفهان

۶- استادیار دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین شهرکرد، چهارمحال و بختیاری.

حلقه‌های رویشی استاندارد شدند. گاه‌شناسی باقی‌مانده محاسبه شده با متغیرهای اقلیمی طی دوره ۱۸۸۱-۲۰۱۱ واسنجی و همبستگی معنادار مثبت متغیرها با پهنای دوایر رویشی تأیید شد. بر اساس روابط و همبستگی بین گاه‌شناسی به‌دست آمده و داده‌های اقلیمی دوره آماری مشترک، کار بازسازی بارندگی سالیانه انجام و مشخص شد، مقدار بارندگی ۳ دهه اخیر، نسبت به میانگین بارندگی یک قرن قبل از خود، یک افزایش حدود ۴ درصدی را داشته است.

واژگان کلیدی: گاه‌شناسی، اقلیم‌شناسی درختی، نمونه‌های رویشی، رگرسون چندگانه.

مقدمه

بر اساس اصل یونی فرمی تارانیسم، تأثیر اقلیم در طبیعت به زمان بستگی ندارد. از روی تظاهرات معینی که امروز در اثر عملکرد عوامل اقلیمی ایجاد می‌شود و برای ما ثابت شده است، می‌توان به چگونگی اقلیم در گذشته پی برد (کاویانی و علیجانی، ۱۳۷۷: ۳۸۸). به دنبال آن، از روی داده‌های اقلیم گذشته می‌توان به طبیعت اقلیم آینده، پی برد (فیلیپ بی‌وایت^۷، ۲۰۰۷: ۱). یکی از این منابع، شواهد زیست‌شناختی می‌باشد. تغییرات محیطی و متغیرهای اقلیمی، مهم‌ترین عامل در توزیع گیاهان (سانی^۸ و همکاران، ۲۰۱۰: ۱۰۸۰) و پراکندگی گونه‌های متنوع گیاهی در مناطق مختلف می‌باشد. محققان دریافته‌اند که با استفاده از حلقه‌های رویشی^۹ تاریخ‌گذاری شده، مطالعه اقلیم گذشته و حال امکان‌پذیر است (کنل و شواین گروبر^{۱۰}، ۲۰۰۱). با مطالعه پارامترهای فیزیکی درختان می‌توان تغییرات اقلیم را در طول زندگی درخت، بازسازی نمود (لودر^{۱۱} و همکاران، ۲۰۰۷، فصل ۳). حلقه‌های درختی می‌توانند داده‌های پالئوکلیمایی را برای دوره‌های زمانی فاقد داده، فراهم نمایند (گارسیا سوارز^{۱۲} و همکاران، ۲۰۰۹: ۱۸۴). طبق مطالعات انجام شده، ثابت شده که انواع

7- Philip, B. White

8- Sahney

9- Tree Rings

10- Kaennel & Schweingruber

11- Loder

12- Garcia-Suarez

گونه‌های بلوط، گونه مناسبی برای مطالعات اقلیم‌شناسی درختی می‌باشد (پن^{۱۳} و همکاران، ۱۹۹۷: ۷۸). طبیعت تشکیل حلقه‌های درخت بلوط باعث وضوح مرز حلقه‌ها از یکدیگر بوده و بندرت حلقه‌های دروغین را در محل حلقه‌های واقعی، ایجاد می‌کند (ام.سی. کارتی و بایلی^{۱۴}، ۱۹۹۶: ۳۵۲).

در سطح جهان مطالعات گسترده‌ای در ارتباط با بازسازی متغیرهای اقلیمی با استفاده از دانش اقلیم‌شناسی درختی صورت گرفته است. در آمریکای شمالی به‌ویژه در منطقه آپالاش (اسپیر^{۱۵}، ۲۰۰۱)، کوه‌های راکی و غرب آمریکا (ویلسون^{۱۶} و همکاران ۲۰۰۲، فلاور و اسپیر^{۱۷} ۲۰۱۱) و نیز خشکسالی‌های محلی و منطقه‌ای در این ناحیه (فریتز^{۱۸} و همکاران ۱۹۶۲، آریگو^{۱۹} و همکاران ۱۹۹۹، جیمز^{۲۰} ۲۰۱۰، گریفین^{۲۱}، ۲۰۱۱)، مطالعات زیادی انجام شده است. آن‌ها توانسته‌اند دوره‌های خشکسالی محلی، دماهای ماهانه، فصلی و سالانه را با استفاده از این دانش بازسازی نمایند. همچنین تحقیقات متعددی در چین و فلات تبت، در این ارتباط صورت گرفته است که می‌توان به کارهای لیانگ^{۲۲} و همکاران (۲۰۰۷)، یانگ بلات و لاکمن^{۲۳} (۲۰۰۸)، فان^{۲۴} و همکاران (۲۰۰۸)، لیو^{۲۵} و همکاران (۲۰۱۰)، های^{۲۶} و همکاران (۲۰۱۱)، اشاره نمود. از جمله دستاوردهای آن‌ها می‌توان به بازسازی دمای تابستان، برای حوضه رودخانه یانگ تسه در فلات تبت در یک دوره ۳۷۹ ساله، بازسازی دمای حداکثر ژوئن-جولای برای جنوب غرب یوکان، طی ۳۰۰ سال گذشته، بازسازی دمای

13- Pan

14- McCarthy and Bailey

15- Speer

16- Wilson

17- Flower and Esper

18- Fritts

19- Arrigo

20- James

21- Griffin

22- Liang

23- Youngblut and Luckman

24- Fan

25- Liu

26- Hai

سالانه در کوه‌های هنگدوان مرکزی چین از روی دوایر رویشی، اشاره نمود. همچنین می‌توان از مطالعات جان جاکوبی^{۲۷} و همکاران (۲۰۰۴: ۳۰۳)، نام برد که اقدام به بازسازی دما و رابطه آن با نوسان دهه آرام^{۲۸} با استفاده از حلقه‌های درختی درختان کهنسال بلوط^{۲۹}، برای جزایر کوریل (روسیه) طی یک دوره ۴۰۰ ساله، نموده‌اند. فرانک^{۳۰} و همکاران (۲۰۰۵: ۱۴۳۷)، (وگنر^{۳۱} و همکاران، ۲۰۱۲)، (جوردن و گاتن^{۳۲}، ۲۰۱۲)، (توچن^{۳۳} و همکاران، ۲۰۱۲) نیز، اقدام به بازسازی و مقایسه بارش و دمای ثبت شده با داده‌های به‌دست آمده از طریق شبکه‌ای از گاهشناسی^{۳۴} دوایر رویشی، در منطقه آلپ نموده‌اند و از روی حلقه‌های درختی، زمان وقوع آتش سوزی‌های گذشته را بازسازی نمودند و یا کوسه^{۳۵} و همکاران (۲۰۱۱: ۴۳۸) اقدام به بازسازی بارش می-ژوئن و دوره‌های خشک و مرطوب در غرب آناتولی نموده‌اند.

با وجود تنوع رویشگاه‌ها و وجود گونه‌های درختی مناسب در مناطق مختلف ایران، تاکنون مطالعات برجسته‌ای در زمینه بازسازی پارامترهای اقلیمی با استفاده از دانش اقلیم‌شناسی درختی، صورت نگرفته است. از جمله کارهای انجام شده می‌توان به مطالعات نجفی و همکاران (۱۳۸۹)، امیرچخماقی و سهرابی (۱۳۸۹)، کرم‌زاده و همکاران (۱۳۹۰)، عزیزی و همکاران (۱۳۹۱: ۵۱)، ارسلانی و همکاران (۱۳۹۱: ۱۰۷)، نام برد. این مطالعات بیش‌تر در جنگل‌های زاگرس و سپس جنگل‌های شمال کشور، صورت گرفته است. از دستاوردهای آن‌ها می‌توان به بازسازی تغییرات بارش اکتبر- می استان کرمانشاه و اردیبهشت-تیر منطقه سراوان گیلان، با استفاده از حلقه‌های درختی بلوط مازودار^{۳۶} بازسازی تغییرات دما و بارندگی زاگرس میانی با استفاده از حلقه‌های درختی بلوط را نام برد. آنان

27- Jacoby, G.

28- Pacific Decadal Oscillation

29- Oak

30- Frank

31- Wagner

32- Jordan and Gugten

33- Touchan

34- Chronology

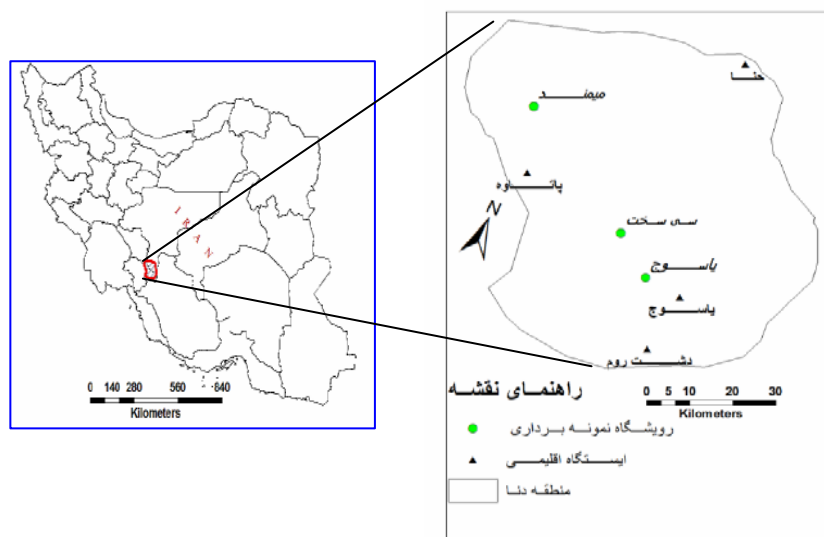
35- KÖse

36- Quercus Infectoria

ضمن مشخص کردن دهه‌های خشک و مرطوب منطقه طی ۳۰۰ سال گذشته، به این نتیجه رسیدند که در دهه‌های پایانی قرن ۲۰، بارش منطقه به‌طور محسوسی کاهش یافته است و دمای حداکثر منطقه یک روند صعودی داشته است. عدم اطلاع کافی از وضعیت اقلیم گذشته بزرگ‌ترین رویشگاه گونه بلوط ایرانی در منطقه دنا به‌دلیل در دست نداشتن داده‌های بلندمدت اقلیمی، فقر مطالعات اقلیم‌شناسی درختی، مطالعه گسترده و بازسازی پارامترهای اقلیمی گذشته منطقه را می‌طلبد که این مطالعه در راستای این هدف می‌باشد.

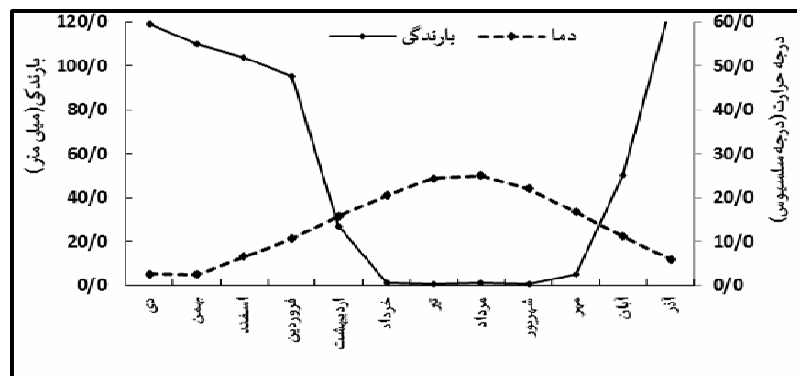
مواد و روش‌ها

منطقه دنا با موقعیت $51^{\circ}12'$ تا $51^{\circ}18'$ طول شرقی و $30^{\circ}51'$ تا $31^{\circ}30'$ عرض شمالی با مساحتی حدود ۴۵۰۰ کیلومترمربع، در قسمت زاگرس مرکزی، بخش‌هایی از استان‌های اصفهان، چهارمحال و بختیاری، فارس و استان کهگیلویه و بویراحمد را دربرگرفته است. (شکل ۱).



شکل (۱) موقعیت منطقه دنا، ایستگاه‌های اقلیمی و رویشگاه‌های نمونه‌برداری

پست‌ترین ارتفاع منطقه از سطح دریا ۱۳۴۵ متر و بلندترین نقطه آن ۴۴۰۷ متر می‌باشد. ارتفاع متوسط منطقه ۲۳۱۹ متر است. برای بررسی متغیر بارندگی، تعداد ۴ ایستگاه در داخل منطقه انتخاب و داده‌های ۳۰ ساله (۱۹۸۲-۲۰۱۱) آن‌ها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. میانگین، میانگین بیشینه و کمینه دمای منطقه به ترتیب ۱۳/۶، ۲۲، و ۵/۳ درجه سلسیوس و میانگین مجموع بارش ۳۰ ساله منطقه ۶۴۳ میلی‌متر می‌باشد. در طبقه‌بندی دمارتن^{۳۷} و آمبرژه^{۳۸}، منطقه دنا جزو اقلیم نیمه‌مرطوب و نیمه‌مرطوب سرد قرار می‌گیرد (شکل ۲). برای برآورد متغیرهای اقلیمی ابتدا باید اثر متغیرها بر روی گونه مورد نظر بررسی شده و در صورت داشتن همبستگی مناسب، اقدام به بازسازی متغیرها، از روی پهنای دوایر رویشی نمود. بدین منظور این مطالعه را می‌توان به دو بخش تقسیم کرد.



شکل (۲) منحنی آمبروترمیک منطقه دنا

در قسمت نخست، واکنش حلقه‌های رویشی به متغیرهای اقلیمی بررسی شده و در بخش دوم اقدام به بازسازی بارندگی سالانه از روی پهنای دوایر رویشی شده است.

با این هدف دو رویشگاه غالب گونه بلوط در منطقه انتخاب (جدول ۱) و ۳۶ نمونه رویشی در دو جهت جنوب غربی و شمال شرقی در قطر برابر سینه (۱/۳۰ سانتی‌متری) عمود

37- Martonne

38- Emberger

بر تنه درخت با استفاده از مته سال سنج^{۳۹} در زمان حداکثر رشد و نمو گیاه (میمندی‌نژاد، ۱۳۴۸: ۱۱۰)، در تابستان ۱۳۹۱ استخراج شدند. نمونه‌های رویشی حاصله بر روی قاب‌های چوبی سوار و آماده کار آزمایشگاهی شدند. سطح نمونه‌های رویشی برای شمارش و ثبت پهنای حلقه‌ها به کمک سمپاده‌های ریز و تیغ جراحی، برای نمایان شدن حلقه‌ها، صاف گردید. پس از اسکن نمونه‌های رویشی، کار قرائت و تطابق زمانی^{۴۰} حلقه‌ها توسط نرم‌افزار اتوکد با دقت ۳ میکرون، به انجام رسید. داده‌های اقلیمی میانگین چهار ایستگاه یاسوج، پاتاوه، حنا و دشت روم نیز برای تجربه و تحلیل آماده پردازش شدند (جدول ۲). با استفاده از آماره p value و t value، سطح اطمینان و معنی‌دار بودن نمونه‌ها بررسی شد. برای واسنجی و بررسی میزان واکنش حلقه‌های رویشی به متغیرهای اقلیمی، میانگین حساسیت، نسبت سیگنال به اغتشاش، خودهمبستگی و سایر ویژگی‌های گاه‌شناسی هر رویشگاه محاسبه شده است.

جدول (۱) ویژگی‌های رویشگاهی و آمار گاه‌شناسی جنگل‌های بلوط ایرانی منطقه دنا

رویشگاه میمند	رویشگاه سی سخت	کد رویشگاه
cave	bave	
۲۲۳۰	۲۰۲۵	ارتفاع از سطح دریا
۵۱/۲۸۰۶-۵۱/۲۸۰۸	۵۱/۴۶۱-۵۱/۴۶۲	طول جغرافیایی (درجه اعشاری)
۵۱/۱۰۴-۳۱/۱۰۵	۳۰/۸۲۵-۳۰/۸۲۶	عرض جغرافیایی (درجه اعشاری)
SW	SW	جهت دامنه
۱۵	۵	درصد شیب

پارامترهای اقلیمی به‌عنوان متغیر مستقل و پهنای حلقه‌های رویشی دو رویشگاه و میانگین آن‌ها به‌عنوان متغیر وابسته، در نظر گرفته شده‌اند و برای حذف اثرات غیراقلیمی و امکان مقایسه سری زمانی حلقه‌های رویشی با متغیرهای اقلیمی، تمام متغیرهای مستقل و وابسته، توسط رابطه ۱، استاندارد شدند.

$$Z_t = \frac{x_t - \bar{mx}}{sx} \quad (\text{رابطه ۱})$$

39- Increment borer

40- Cross dating

در اینجا z_t مقدار استاندارد شده عرض حلقه در زمان t ، x_t پهناهای حلقه‌های رویشی در زمان t ، m_x میانگین پهناهای حلقه‌های رویشی و s_x مقدار انحراف معیار پهناهای حلقه‌های رویشی می‌باشند (فریتز، ۱۹۷۶).

جدول (۲) مشخصات ایستگاه‌های اقلیمی مورد مطالعه

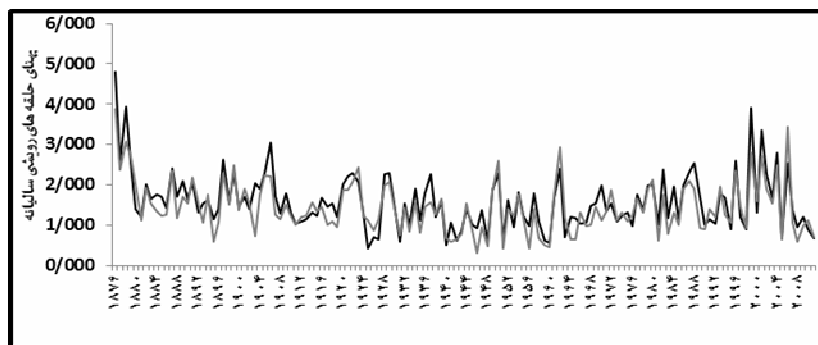
ایستگاه	ارتفاع	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	کد ایستگاه
ياسوج	۱۸۲۱	۵۱/۵۸۴	۳۰/۶۸۲	Y
پاتاوه	۱۵۴۰	۵۱/۲۶۶	۳۰/۹۵۸	P
حنا	۲۳۲۹	۵۱/۷۲۰	۳۱/۱۹۸	H
دشت روم	۲۱۰۵	۵۱/۵۱۶	۳۰/۵۶۶	D

با توجه به میزان همبستگی متغیرهای اقلیمی با پهناهای دواير رویشی، یک مدل رگرسیونی خطی ساده و درجه دو با روش گام به گام، بر داده‌ها برازش داده شد. منحنی کالیبراسیون^{۴۱} مدل نهایی، با توجه به روش هوکینگ، روزنبلت و اسپیگلن (جلیوند، ۱۳۸۶: ۶۰۱) تهیه و شکل ترسیمی آن با توجه به باقی‌مانده کالیبراسیون مشاهدات و برآورد، برای تأیید مدل ارائه شده است. سپس با توجه به نتایج حاصله، کار بازسازی مجموع بارندگی سالیانه برای تمامی ایستگاه‌های اقلیمی منطقه، صورت گرفته است. آنالیزهای آماری در نرم‌افزارهای SAS، EXCEL و MATLAB انجام شده است.

یافته‌ها و بحث

الف: بررسی همبستگی میان حلقه‌های رویشی با متغیرهای اقلیمی

با توجه به شکل ۳ میزان تطابق و همبستگی نمونه‌های رویشی در هر کدام از رویشگاه‌ها مورد مطالعه و همچنین تطابق منحنی‌های دو رویشگاه، قابل توجه می‌باشد. جداول ۳ و ۴ مقدار t value درختان هر رویشگاه را با یکدیگر نشان می‌دهد. مقدار این آماره از طریق محاسبه ضریب p value به دست می‌آید.



شکل (۳) منحنی رویش دو نمونه تطابق زمانی شده از یک درخت در رویشگاه میمند (تشابهات منحنی رویش قابل توجه است)

جدول (۳) ماتریس تقابل سری زمانی رویشگاه سی سخت پس از تطابق زمانی

درخت	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
۱	۱/۷۷*	۲/۶۰***	۶/۴۰***	۳/۹۴***	۱/۰۴	۱/۸۴*	۱/۶۶*	۳/۷۵***
۲		۳/۰۷***	۶/۴۷۶.	۴/۳۰***	۱/۶۵*	۱/۷۵*	۱/۷۲*	۳/۸۲***
۳			۹/۰۷***	۶/۳۴***	۳/۱۷***	۳/۴۱***	۴/۰۳***	۱/۷۵*
۴				۲/۱۳**	۵/۹۱۵.	۶/۰۴***	۴/۷۱***	۸/۸۰***
۵					۴/۱۶***	۳/۲۸***	۲/۸۳***	۶/۹۷***
۶						۱/۲۱	۱/۴۶	۵/۲۸***
۷							۱/۹۸۱.98*	۵/۰۲***
۸								۵/۴۵***

معنی‌دار در سطح ***۹۹٪، **۹۵٪، *۹۰٪؛ اعداد، مقدار t value را نشان می‌دهند

جدول (۴) ماتریس تقابل سری زمانی رویشگاه میمند پس از تطابق زمانی

درخت	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
۱	۳/۱۵***	۴/۸۶***	۷/۱۱***	۵/۳۰۵.	۱/۹۴*	۱/۷۳*	۱/۱۳	۲/۶۲***
۲		۲/۳۳**	۵/۰۲***	۲/۱۵**	۴/۲۰	۲/۹۰***	۳/۲۴***	۴/۶۶***
۳			۲/۰۷**	۱/۰۸		۳/۹۶***	۴/۶۷***	۵/۴۱***
۴				۳/۱۵***	۸/۹۳***	۶/۶۴***	۶/۷۲***	۷/۲۸***
۵					۶/۷۸***	۵/۲۶***	۵/۲۳***	۵/۹۷***
۶						۱/۸۰*	۱/۹۲*	۲/۱۰**
۷							۱/۶۹*	۲/۶۳***
۸								۲/۰۴**

معنی‌دار در سطح ***۹۹٪، **۹۵٪، *۹۰٪؛ اعداد مقدار t value را نشان می‌دهند

در واقع P value، درصد تفاوت‌های سری زمانی هر درخت با درخت دیگر را نشان می‌دهد و با توجه به آن، مقدار t value یا بهتر بگوییم، معنی‌دار بودن همبستگی حلقه‌های درختی، با یکدیگر مشخص می‌شود. مقدار بیش‌تر t value نشان از آن دارد که متغیرهای مستقل وارد شده در مدل، توان بیش‌تری در پیش‌بینی تغییرات متغیر وابسته را دارند. یادآوری می‌شود در جداول فوق تنها مقدار آماره t value آورده شده است. با توجه به موارد ذکر شده، در جدول ۵ خلاصه پارامترهای گاهشناسی رویشگاه‌ها، آورده شده است.

جدول (۵) ویژگی‌های کرونولوژی‌های محاسبه شده برای دو رویشگاه منطقه مورد مطالعه

رویشگاه	تعداد درخت	سال آغاز کرونولوژی	سال پایان کرونولوژی	طول کرونولوژی	میانگین حساسیت MS	خود همبستگی	نسبت سیگنال به اغتشاش (SNR)
سی‌سخت	۹	۱۸۸۱	۲۰۱۱	۱۳۱	۰/۳۱۵	۰/۳۷۳	۶/۵۲
میمند	۹	۱۸۷۶	۲۰۱۱	۱۳۵	۰/۳۰۳	۰/۳۹۰	۵/۷۵
میانگین	-	-	-	۱۳۳	۰/۳۰۹	۰/۳۸۱	۶/۱۳

بر اساس ضرایب همبستگی پیرسون^{۴۲} که توسط نرم‌افزار SAS انجام شد، ارتباط بین گاهشناسی رویشگاه‌ها و متغیرهای اقلیمی بررسی و مشخص شد که میان پارامترهای اقلیمی و پهنای دوایر رویشی (در سطح اعتماد ۹۵ درصد) بیش از ۸۰ درصد ارتباط معنی‌دار با ضرایب اثر مثبت وجود دارد (شکل ۳). برای پی بردن به اهمیت هر کدام از متغیرهای اقلیمی در رشد حلقه‌های درختی، مدل رگرسیون خطی ساده و درجه دو برای میانگین دو رویشگاه برازش داده شد. بر اساس نتایج مدل، آماره $F(F \text{ value})$ ، به همگونی واریانس‌های وضعیت خطاها بر متغیرهای پیش‌بین^{۴۳} اشاره دارد. معنی‌دار بودن آزمون F ، به معنای تحقق پیش فرض رگرسیون خطی ساده و چندگانه است. ضریب دوربین واتسون^{۴۴} (DW) به استقلال نسبی داده‌ها اشاره دارد. مجموع مربعات باقیمانده‌های واقعی (SSR) و برآورد^{۴۵} (PRESS)، به نرمال بودن متغیرها اشاره دارد (شکل ۴).

42- Pearson Correlation Coefficient

43- predictor variables

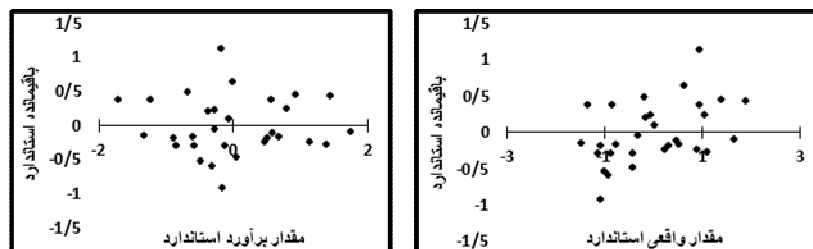
44- Durbin- Watson coefficient

45- Sum of Square Predicted Residual

جدول (۶) واکنش پهنای حلقه‌های رویشی نسبت به متغیرهای اقلیمی، با استفاده از رگرسیون ترکیبی خطی و درجه دو برای میانگین دو رویشگاه (avebc)

رویشگاه	RMSE	R-sq	Adj R-sq	Pr>F	DW	F value	SSR	PRESS
avebc	0.457	0.801	0.770	<.0001	1.32	25.17	2.223	4.655

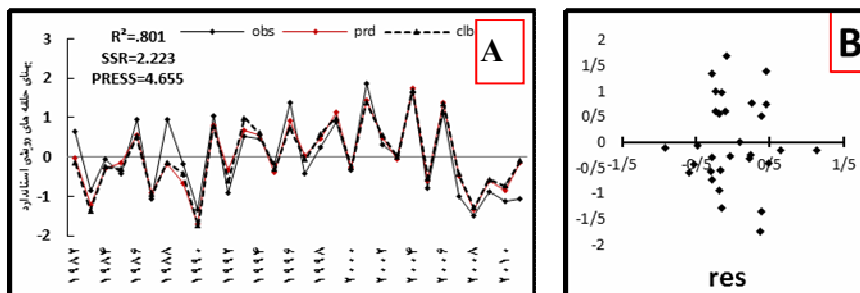
سطح اعتماد، ۹۵٪؛ RMSE، انحراف معیار خطا؛ SSR، مجموع مربعات باقیمانده‌ها؛ PRESS، مجموع مربعات باقیمانده برآورد؛ DW، ضریب دوربین واتسون



شکل (۴) ابر نقاط باقیمانده استاندارد در برابر مقدار واقعی و برآورد استاندارد در حالت ترکیبی رگرسیون خطی و درجه دو، برای میانگین رویشگاه‌ها

انطباق منحنی‌های مقادیر واقعی، برآورد و کالیبراسیون (شکل ۵، A) و همچنین پراکندگی باقیمانده کالیبراسیون در مقابل مشاهدات (شکل ۵، B)، بر صحت مدل اشاره دارند.

با توجه به موارد ذکر شده، مدل نهایی واکنش حلقه‌های رویشی به متغیرهای اقلیمی سالانه، برای منطقه دنا در جدول ۷ آورده شده است.



شکل (۵) مقادیر واقعی (obs)، برآورد (prd) و کالیبراسیون (clb) برای گونه بلوط ایرانی میانگین رویشگاه‌ها در طول ۳۰ سال اخیر (A) و مقدار باقی مانده کالیبراسیون (res) در مقابل مشاهدات (B)

جدول (۷) مدل نهایی واکنش عرض حلقه‌های رویشی به متغیرهای اقلیمی سالانه، برای منطقه دنا

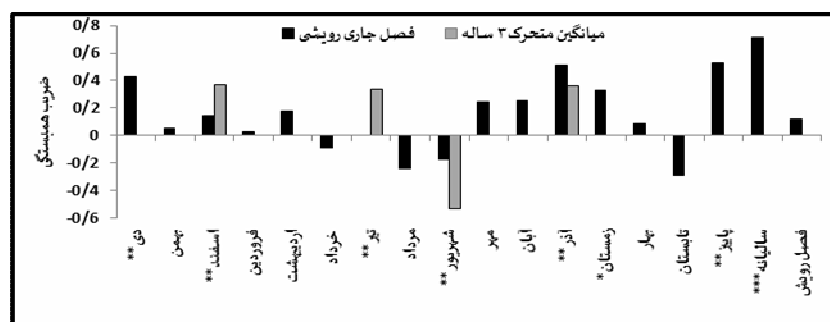
$$\text{Aveabc} = .0078 + .5174(\text{Anupr}) + .5322(\text{AnuTmi}) +$$

$$.5008(\text{AnuTme}) - .3307(\text{AnuTma}).$$

Aveabc، میانگین رویشگاه‌ها، Anu، سالانه، Tme، Tma، Tmi و p به ترتیب میانگین، میانگین حداکثر، میانگین حداقل و مجموع بارش

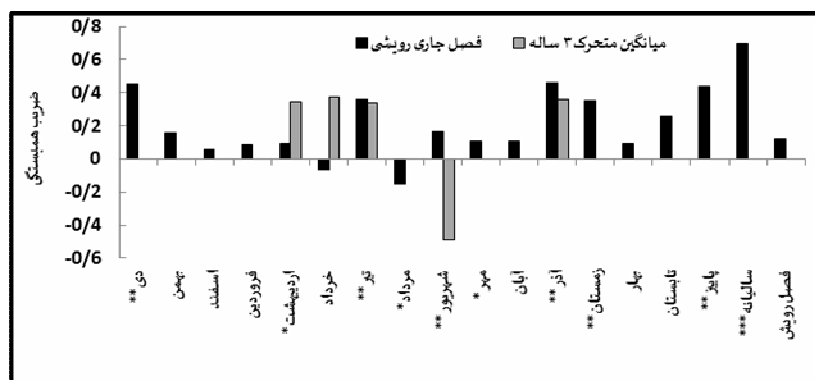
نتایج از وجود رابطه‌ای معنادار مستقیم، میان پارامترهای سالانه مجموع بارندگی، حداقل‌ها و حداکثرهای دما، با پهنای دوایر رویشی دارند. مقدار بارندگی سالیانه، میانگین حداقل‌ها، میانگین و میانگین حداکثرهای دما به ترتیب مهم‌ترین نقش را در رشد حلقه‌های رویشی داشته‌اند.

بر اساس ضرایب همبستگی پیرسون و مدل رگرسیونی برآورد شده، ارتباط بین گاهشناسی رویشگاه‌ها و مجموع بارندگی سالیانه با ضریب اثر مثبت، بسیار قوی است. برای درک بهتر تأثیر بارش بر روی رشد حلقه‌های رویشی، علاوه بر بررسی اثر بارش در فصل جاری رویشی، اقدام به تهیه میانگین متحرک بارش نموده‌ایم تا از لحاظ زمانی، رفتار بارش بر روی رشد حلقه‌ها، بهتر نمایان شود. بر اساس نتایج میانگین متحرک، مشخص شد که، بارش تا ۳ سال قبل نیز (میانگین متحرک ۳ ساله) بر روی عرض حلقه‌ها اثر داشته است. به همین دلیل علاوه بر بررسی همبستگی بارش با عرض حلقه‌ها در فصل جاری رویشی، میزان همبستگی میانگین متحرک ۳ ساله آن نیز در دو رویشگاه، مورد توجه قرار گرفته است (شکل ۳).



شکل (۶) رابطه میان بارندگی با گاهشناسی رویشگاه سی سخت

* معنی‌دار در سطح ۹۰ درصد، ** معنی‌دار در سطح ۹۵ درصد، *** معنی‌دار در سطح ۹۹ درصد



شکل (۷) رابطه میان بارندگی با گاه‌شناسی رویشگاه میمند

*معنی‌دار در سطح ۹۰ درصد، **معنی‌دار در سطح ۹۵ درصد، ***معنی‌دار در سطح ۹۹ درصد

در همه رویشگاه‌ها، همبستگی میان پهنای حلقه‌های رویشی با مجموع بارندگی سالیانه، بسیار قوی و بالای ۹۹ درصد با ضریب اثر مثبت بوده است. این همبستگی در فصول پاییز و زمستان و ماه‌های دی و آذر، یعنی در زمان قبل از فصل رویش، در سطح اعتماد ۹۵ درصد، معنی‌دار شده است. میانگین متحرک ۳ ساله بارندگی در تمامی رویشگاه‌ها نشان می‌دهد که مقدار بارندگی سه ماهه‌ای که به، تیر و آذر ماه ختم می‌شوند، با ضریب اثر مثبت در رشد حلقه‌ها، اثر داشته‌اند و بارندگی سه ماهه‌ای که به شهریور ماه ختم می‌شود، دارای رابطه معکوس با پهنای دوایر رویشی می‌باشد. بر اساس این نتایج مشخص می‌شود که بارندگی ۳ سال قبل از فصل رویش نیز در رشد حلقه‌های سال جاری رویشی تأثیر خواهند داشت. اثر مثبت بارندگی در زمان‌های قبل از فصل رویش، یعنی فصل سرد، در میزان رشد حلقه‌ها در سال بعد بسیار مؤثر خواهد بود. وجود رابطه معکوس مقدار بارندگی سه ماهه‌ای که به مرداد و شهریور ماه ختم می‌شوند، شاید به دلیل عدم بارندگی در زمان‌های ذکر شده در منطقه باشد. در این زمان مقدار بارندگی منطقه کم‌تر از ۱ میلی‌متر بوده است و گیاه مقدار آب مورد نیاز خود را از منابع زیر زمینی تأمین می‌کند. مطالعات نشان می‌دهد که گونه بلوط، دارای ریشه‌های طولانی بوده که به‌طور عمودی در زمین نفوذ کرده و از آب‌های زیرزمینی در زمان کم آبی استفاده می‌کند (مصدق، ۱۳۸۳).

ب: بازسازی^{۴۶} مجموع بارندگی سالیانه، از روی عرض حلقه‌های درختی

در آنالیز متغیرها با استفاده از دو مدل خطی و درجه دو رگرسیونی، میزان واریانس تبیین شده (R^2) و واریانس تعدیل یافته ($Adj R^2$)، به ترتیب ۸۰ و ۷۷ درصد واکنش پهنای دواپر رویشی را با متغیرهای اقلیمی تفسیر نموده‌اند. به عبارت دیگر با ضرایب اطمینان حاصله، می‌توان تغییرات پهنای دواپر رویشی را توسط پارامترهای اقلیمی ذکر شده، پیش‌بینی نمود. این پیش‌بینی برای مجموع بارندگی سالیانه که بالاترین ضریب همبستگی را با عرض حلقه‌ها داشته، با اعتماد بیشتری همراه است. بدین منظور در این مرحله با انجام عکس عمل فوق در نرم‌افزار SAS و با استفاده از رگرسیون چندگانه، پارامترهای اقلیمی به عنوان متغیر وابسته و پهنای دواپر رویشی به عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شدند و تمامی محاسبات مانند مراحل قبل، به انجام رسید.

با در نظر گرفتن موارد ذکر شده، مدل نهایی بازسازی مجموع بارندگی سالیانه، از روی حلقه‌های رویشی در جدول ۸ آورده شده است.

جدول (۸) مدل نهایی برآورد مجموع بارندگی سالیانه برای ایستگاه‌های اقلیمی منطقه از روی پهنای دواپر رویشی با استفاده از رگرسیون چندگانه (۲۰۱۱-۱۸۸۱)

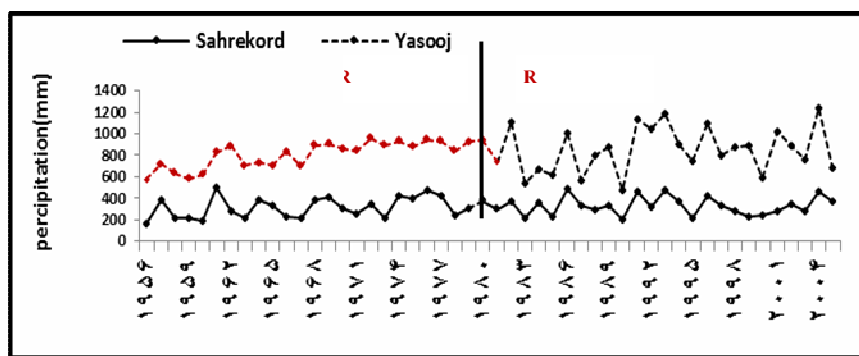
Variable	R-Sq	Adj R-Sq	F Value	Pr>F	t value	Model
Anupr(Y)	.558	.542	35.26	<0.0001	5.94	=-.12513+.6323(avebc)
Anupr(P)	.577	.562	38.18	<0.0001	6.18	=-.12152+.6481(avebc)
Anupr(H)	.611	.597	43.87	<0.0001	6.62	=-.1314+.6646(avebc)
Anupr(D)	.505	.487	28.51	<0.0001	5.34	=-.1066+.6099(bave)
Anupr(mean)	.630	.616	47.53	<0.0001	6.9	=-.1291+.6700(avebc)

× معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد

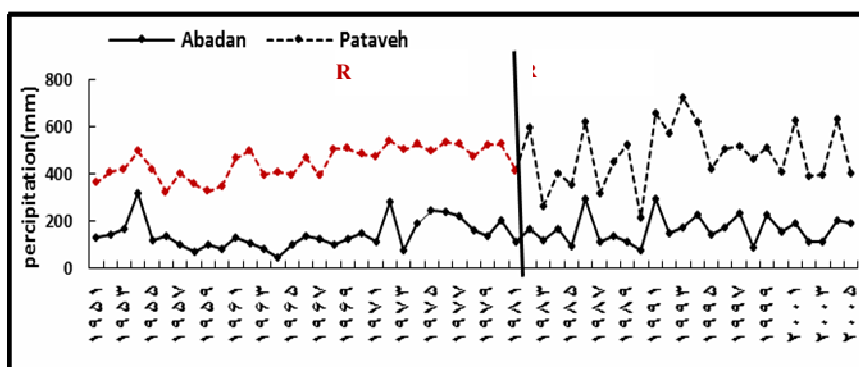
mean, D, H, P, Y به ترتیب ایستگاه یاسوج، پاتاوه، حنا، دشت روم و میانگین ایستگاه‌ها، Anupr، مجموع بارندگی سالیانه، bave و avebc، به ترتیب پهنای حلقه‌های درختی رویشگاه سی‌سخت و میمند.

اعتبارسنجی مدل‌ها^{۴۷}

با توجه به مشخصات مدل‌ها که در جدول ۳ نشان داده شد، می‌توان بین ۵۰ تا ۶۳ درصد، مجموع بارندگی سالیانه را در منطقه پیش‌بینی نمود که با توجه به داشتن تنها متغیر مستقل پهنای دواير رويشی این درصد اطمینان، مقدار قابل قبولی به‌نظر می‌رسد. ولی جهت اعتبار بیش‌تر این مدل‌ها و این‌که این مدل‌ها تا چه اندازه به واقعیت نزدیک هستند، ایستگاه‌هایی را به‌عنوان ایستگاه شاهد انتخاب و مدل‌ها را با آن‌ها مطابقت داده‌ایم. با توجه به این‌که چهره‌های اقلیمی ایران از نظر دمایی در هر منطقه متفاوت است، کم‌تر می‌توان اقدام به مقایسه ایستگاه‌های اقلیمی از نظر روند دمایی نمود ولی از نظر روند زمانی بارش یعنی رژیم بارشی الگوهای تقریباً مشخصی در کشور ایران دیده می‌شود. به‌عنوان مثال غرب و جنوب غربی کشور، دارای رژیم بارشی پاییزی- زمستانی هستند (عساکره و رزمی، ۱۳۹۰). مسعودیان (۱۳۸۴) در پهنه‌بندی رژیم‌های بارشی ایران، بیش‌تر بخش‌های غرب و جنوب غربی ایران را، جزو رژیم بارشی پاییزه قرار داده است. به‌همین دلیل امکان مقایسه روند بارش سالانه برای ایستگاه‌های هر منطقه وجود دارد. با توجه به این نکته، برای اطمینان بیش‌تر از صحت مدل‌ها، ایستگاه‌های اقلیمی شهرکرد و آبادان در استان‌های چهار محال و بختیاری و خوزستان که رژیم بارشی تقریباً مشابهی با منطقه دنا دارند، به‌عنوان ایستگاه شاهد انتخاب شدند. این ایستگاه‌ها، داده‌های تقریباً طولانی مدت داشته و برای مقایسه روند بارش برای سال‌های واقعی و برآورد مناسب می‌باشند. مقایسه در دو مرحله انجام شده است: الف-مقایسه همبستگی داده‌های واقعی مشترک ب-مقایسه همبستگی داده‌های واقعی ایستگاه‌های شاهد با داده‌های بازسازی شده دو ایستگاه یاسوج و پاتاوه در منطقه مورد مطالعه (شکل‌های ۸ و ۹).

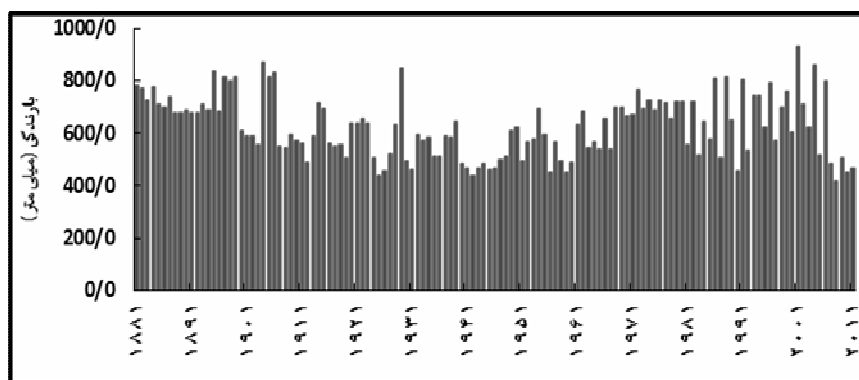


شکل (۸) مقایسه همبستگی داده‌های واقعی و برآورد بارندگی سالیانه ایستگاه یاسوج و داده‌های واقعی ایستگاه شهرکرد به‌عنوان ایستگاه شاهد (داده‌های واقعی مشترک از ۱۹۸۲ تا ۲۰۰۵ و داده‌های برآورد با داده‌های واقعی از ۱۹۵۶ تا ۱۹۸۲)



شکل (۹) مقایسه همبستگی داده‌های واقعی و برآورد بارندگی سالیانه ایستگاه پاتاوه و داده‌های واقعی ایستگاه آبادان به‌عنوان ایستگاه شاهد (داده‌های واقعی مشترک از ۱۹۸۲ تا ۲۰۰۵ و داده‌های برآورد با داده‌های واقعی از ۱۹۵۱ تا ۱۹۸۲)

روند بارش در ایستگاه‌های شاهد با ایستگاه‌های منطقه تقریباً در بیشتر سال‌ها مشابه می‌باشد. بنابراین می‌توان داده‌های برآورد را به‌عنوان داده‌های مورد قبول برای منطقه دنا پذیرفت. در نهایت میانگین بارندگی ۱۳۱ ساله ایستگاه‌های اقلیمی منطقه دنا، بازسازی شد که در اینجا تنها میانگین بارندگی منطقه به‌صورت دهه‌های در شکل ۱۰ آورده شده است.



شکل (۱۰) منحنی مجموع بارندگی سالانه بازسازی شده منطقه دنا (۱۸۸۱-۲۰۱۱)

بر اساس نتایج مدل‌ها، در طول دوره ۱۳۱ سال بازسازی مجموع بارندگی سالیانه، سال‌های ۲۰۰۱ و ۱۹۰۴ به ترتیب پربارش‌ترین و سال‌های ۲۰۰۸ و ۱۹۲۵ به ترتیب کم‌ترین میزان بارندگی را داشته‌ایم. دهه ۵۱-۱۹۴۱ کم‌باران‌ترین و دهه ۱۹۰۱-۱۸۹۱ پربارش‌ترین دهه را در منطقه پشت سر گذاشته‌ایم.

نتیجه‌گیری

آنالیز متغیرها با استفاده از همبستگی پیرسون، حکایت از وجود یک رابطه معنی‌دار مثبت قوی میان پارامترهای اقلیمی و پهنای دوایر رویشی داشتند. آنالیزها نشان دادند که با وجود اختلاف ارتفاع حدود ۲۰۰ متری دو رویشگاه و اختلاف شیب حدود ۱۰ درصد نسبت به یکدیگر، روند رشد تقریباً در همه آن‌ها، یکسان بوده و واکنشی تقریباً همسان نسبت به متغیرهای اقلیمی داشته‌اند. واسنجی نتایج مدل رگرسیونی چندگانه، نشان دادند که از روی عرض حلقه‌های رویشی می‌توان متغیرهای اقلیمی بخصوص بارندگی را بازسازی نمود. مدل‌ها، اثر بارندگی را در فصل جاری رویشی و ۳ سال قبل، بر روی پهنای دوایر رویشی تأیید نمودند. براساس نتایج بازسازی بارندگی سالیانه، مقدار بارندگی ۳ دهه اخیر، نسبت به بارندگی یک قرن قبل از خود، یک افزایش حدود ۴ درصدی (۲۵ میلی‌متر) را نشان می‌دهد. بنابر این نه تنها کاهش بارندگی را در منطقه نداشته‌ایم، بلکه یک افزایش جزئی را نیز در

بارش داشته‌ایم. حال این سوال پیش می‌آید که پس وقوع خشکسالی‌ها و طوفان‌ها و سیل‌های اخیر (به‌عنوان مثال، وقوع سیل در منطقه دنا در سال ۱۳۹۱) در بیش‌تر نقاط ایران از جمله در منطقه مورد مطالعه به‌خاطر چیست؟ مطالعات نشان می‌دهد تنها مقدار بارندگی، نمی‌تواند عامل مشکلات ذکر شده باشد. آنچه بیش‌تر اهمیت دارد، زمان وقوع بارش می‌باشد. تغییر در زمان بارش، موجب تغییر در رژیم بارشی منطقه می‌گردد. تغییر رژیم بارشی، شکل ریزش را تغییر می‌دهد و به‌دنبال آن رژیم آبی رودخانه‌ها، تغییر می‌کند و نتیجه همه موارد ذکر شده، تغییر در مهیایی آب بالقوه در منطقه می‌باشد. وقوع خشکسالی‌های مکرر، طوفان‌ها و سیلاب‌ها، می‌توانند شواهدی از این تغییرات باشند. البته سایر پارامترهای اقلیمی به‌ویژه تغییرات دمایی نیز، می‌توانند عامل تشدیدکننده مشکلات فوق شوند. مطالعات نشان می‌دهد، مساحت جنگل‌های منطقه مورد مطالعه، در چند دهه اخیر به‌شدت کاهش یافته است که به احتمال زیاد، موارد ذکر شده می‌تواند از علل مهم اقلیمی این مسئله باشد. البته دخالت‌های انسانی، شیوع انواع بیماری‌های گیاهی و عوامل ناشناخته دیگری نیز می‌توانند در این امر سهیم باشند که نیاز به مطالعه بیش‌تر در زمینه‌های فوق را می‌طلبد.

منابع

- ارسلانی، محسن، عزیزی، قاسم، خوش‌اخلاق، فرامرز (۱۳۹۱)، «بازسازی تغییرات دمای حداکثر استان کرمانشاه با استفاده از حلقه‌های درختی، *مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی*، شماره اول، صص ۹۷-۱۱۰.
- امیرچخماقی، نرگس، سهرابی، هرمز (۱۳۸۹)، «بررسی واکنش حلقه‌های درختی بلوط ایرانی (*Quercus Persica*) با استفاده از اقلیم‌شناسی درختی»، *اولین کنفرانس پژوهش منابع طبیعی، سنجندج، ایران*.
- جلیلوند، حمید (۱۳۸۶)، «واکنش رشد حلقه‌های رویشی زبان گنجشک (*Fraxinus excelsior* L.) به متغیرهای اقلیمی در شمال ایران با استفاده از رگرسیون چندگانه»، *مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی/سال یازدهم/شماره چهل و دوم (ب)/زمستان ۱۳۸۶*، صص ۶۰۹-۵۹۷.
- کاویانی، محمدرضا؛ علیجانی، بهلول (۱۳۷۷)، «مبانی آب و هواشناسی»، تهران، انتشارات سمت، چاپ پنجم، ۵۷۶ ص.
- کرم‌زاده سرخوش؛ پوربابایی؛ حسن؛ ترکمن، جواد (۱۳۹۰)، «اقلیم شناسی درختی (*Dendroclimatology*) بلند مازو در منطقه سراوان گیلان»، *فصلنامه تحقیقات جنگل و صنوبر ایران*، جلد ۱۹، شماره ۱، صص ۲۶-۱۵.
- عزیزی قاسم، ارسلانی محسن، یمانی مجتبی (۱۳۹۱)، «بازسازی تغییرات بارش اکتبر-می شهر کرمانشاه طی دوره ۲۰۱۰-۱۷۰۵ با استفاده از حلقه‌های درختی»، *مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، شماره ۷۹، صص ۵۳-۳۷.
- عساکره، حسین؛ رزمی، رباب (۱۳۹۰)، «اقلیم‌شناسی بارش شمال غرب ایران»، *جغرافیا و توسعه*، شماره ۲۵، صص ۱۵۸-۱۳۷.
- مسعودیان، سیدابوالفضل (۱۳۸۴)، «شناسایی رژیم‌های بارشی ایران به‌روش تحلیل خوشه‌ای»، *پژوهش‌های جغرافیایی*، شماره ۳۷، صص ۵۹-۴۷.
- مصدق، احمد (۱۳۸۳)، «*جنگل‌شناسی*»، چاپ سوم، موسسه چاپ و انتشارات دانشگاه تهران، ۴۸۱ ص.

- میمن‌نژاد، محمدجواد (۱۳۴۸)، «*کولوژی پوشش زنده خاک*»، چاپ دانشگاه تهران، ۲۴۲ص.
- نجفی، فرهاد؛ پورطهماسی، کامبیز؛ کریمی، ا (۱۳۹۰)، «مطالعه اقلیم شناسی درختی بلوط مازودار (*Quercus Infectoria*) در غرب ایران»، اولین کنفرانس پژوهش منابع طبیعی، سنج، ایران.
- Arrigo, D., Jacoby, R.D., Free, G.C.M and Robock, A., (1999), "Northern Hemisphere annual to decadal temperature variability for the past three centuries: Tree-ring and model estimates", *Clim Change*, (42): P 663-675.
- Fan, Ze- Xin., Brauning, A., Cao, Kun-Fang., (2008), "Annual temperature reconstruction in the Central Hengduan Mountains", China, as deduced from tree rings, *Dendrochronologia*, V (26): P 97-106.
- Fan, Ze-Xin., Brauning, A., Tian, Qin-Hua., Yang, Bao., Cao, Kun-Fang, (2010), "Tree ring recorded May-August temperature variations since A.D.1585 in the Gaoligong Mountains", southeastern Tibetan Plateau, *PALAEO*, V (296): P 94-102.
- Flower, A., Esmith, D.J., (2011), "A dendroclimatic reconstruction of June-July means temperature in the northern Canadian Rocky Mountains", *Dendrochronologia*, V (29): P 55-63.
- Frank, D., Esper, J., (2005), "Temperature reconstructions and comparisons with Instrumental data from a tree-ring network for the European Alps. *Int. J. Climatol*, V (25): P 1437-1454.
- Fritts, H.C., (1976), "*Tree Rings and Climate*", Academic Press, London, UK: 576PP.
- Fritts, H.C., (1962), "The relation of growth ring widths in American beech and white oak to variations in climate", *Tree-Ring Broullentin*, (25(1-2)): P2-10.
- Garcia-Suarez, M.A., Butler, C.J., Baillie, M.G.L., (2009), "Climate signal in tree-ring chronologies in a temperate climate: A multi-species approach", ELSEVIER, *Dendrochronologia* (27)183-198.
- Griffin, D., Meko, D.M., Touchan, R., Leavitt, S.W., Woodhouse, C.A., (2011), "Latewood chronology development for summer-moisture reconstruction in the U.S. Southwest", *Tree-Ring Research*, 67(2):87-101.

- Hai, F.Z., Xue, M, S., Zhi, Y, Y., Peng, X., Yan, X., Hua, T., (2011), "[August temperature variability in the southeastern Tibetan Plateau since A.D. 1385 inferred from tree rings]", *PALAEO*, V (5): P703.
- Jacoby, G., Solomina, O., Frank, D., Eremenko, N., Arrigo, R.D., (2004), "Kunashir (Kuriles) Oak 400-year reconstruction of temperature and relation to the Pacific Decadal Oscillation", *PALAEO*, V (209): P303-311.
- James S. Rentch. (2010), "Relationship between treefall direction, slope-aspect, and wind in eight old-growth oak stands in the Central Hardwood Forest", USA, *The Journal of the Torrey Botanical Society*, Vol. 137, No. 4, pp. 391-400.
- Jordan, D., Vander Gugten, K., (2012), "Dendrochronological potential of Quercus garryana, Saltspring Island, British Columbia", *Tree-Ring Research* 68(1): PP. 51-58.
- Kaennel, M., Schweingruber, F.H., (2001), "Multilingual Glossary of Dendrochronology", Translated by: D. Parsapajouh, H.R. Taghiyari., M, FaeziPour, Tehran University Press.
- Köse, N., Akkemik Ü., Dalfes HN., Özeren MS., (2011), "Tree-ring reconstructions of May-June precipitation of Western Anatolia", *Quat Res* (75): P438-450.
- Liang, E., Xuemei, S., Ningsheng, Q., (2007), "Tree - ring based summer temperature reconstruction for the source region of the Yangtze River on the Tibetan Plateau", *Global and Planetary Change*, V (16): P313-320.
- Liu, J., Yang, B., Chun, Q., (2010), "Tree-ring Based Annual precipitation Reconstruction of Since AD 1480 in South central Tibet", *Quaternary Research*, V (75): No 3: P438-450.
- Loder, N., Danny, M., Mary, G., Iain, R., Risto, J., (2007), "*Stable Isotopes as Indicators of Ecological Change*", Chapter three, Elsevier Inc.
- McCarthy, B.C., and Bailey, D.R., (1996), "Composition, structure, and disturbance history of Crabtree Woods: an old-growth forest of western Maryland", *Bulletin of the Torrey Botanical Club* (123): P350-365.

- Pan, C., Tajchman, S.J and Kochenderfer, J.N., (1997), "Dendroclimatological analysis of major forest species of the central Appalachians", *Forest Ecology and Management*, (1): P77-88.
- Philip, B. White (2007), "Denoudroclimatological Analysis of Oak Species in the Southern Appalachian Mountains", B.A. Honors Thesis, The University of Tennessee, Knoxville, December 2007: 69PP.
- Sahney, S., Benton, M.J., &Falcon-Lang, H.J., (2010), "Rainforest collapse triggered Pennsylvanian tetrapod diversification in Euramerica", *Geology*, 38(12): P1079-1082.
- 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: 241PP.
- Touchan, R., Baisan, C., Mitsopoulos, I.D., Dimitrakopoulos, A.P., (2012), "Fire History in black pine (*Pinus nigra* Arn.) forests of the Valia Kalda, Pindus Mountains, Greece", *Tree-Ring Research* 68(1):45-50.
- Wagner, R.J., Kaye, M.W., Abrams, M.D., Hanson, P.J., Martin, M., (2012), "Tree-ring growth and wood chemistry response to manipulated precipitation for two temperate *Quercus* species", *Tree-Ring Research* 68(1):17-29.
- Wilson, R.J.S., Luckman, B.H., (2002), "Tree- ring reconstruction of maximum and minimum temperatures and the diurnal temperature rang in British Columbia, *Canada Dendrochronologia*, v (20/3): P1-12.
- Youngblut, D., Luckman, B., (2008), "Maximum June-July temperature in the Southwest Yukon over the last 300 years reconstructed from tree rings, *Dendrochronologia*, V (25): P153-166.