

مقایسه تکنیک‌های مختلف پهنه‌بندی داده‌های اقلیمی برای تعیین مهم‌ترین عامل‌های مؤثر بر رویش درختان ناحیه مرتفع چهارباغ گرگان

- ❖ **مهدی نادی**؛ دانشجوی دکتری هواشناسی کشاورزی، گروه آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
- ❖ **علی خلیلی**؛ استاد گروه آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
- ❖ **کامبیز پورطهماسی**؛ دانشیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
- ❖ **جواد بذرافشان**؛ استادیار گروه آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

چکیده:

دانش اقلیم‌شناسی درختی با مطالعه ارتباط بین متغیرهای اقلیمی و حلقه‌های درخت به بازسازی اقلیم گذشته می‌پردازد که پیش‌نیاز بسیاری از مطالعات کشاورزی و منابع طبیعی است. اصولاً درختان مناطق مرتفع حساسیت بیشتری به تغییرات آب‌وهوایی دارند، اما متأسفانه در مناطق مرتفع جنگلی، نظیر منطقه چهارباغ گرگان (منطقه مطالعاتی) هیچ ایستگاه هواشناسی‌ای وجود ندارد. برای رفع این مشکل، در این تحقیق روش‌های مختلف درون‌یابی داده‌های دما و بارندگی در منطقه مورد مطالعه با یکدیگر مقایسه و بهترین روش درون‌یابی مشخص شد. سپس، با استفاده از روش برتر، متغیرهای دما و بارندگی ماهانه طی دوره آماری ۲۰۰۶-۱۹۸۲ در سایت‌های نمونه‌برداری حلقه‌های درخت برای دو گونه ارس و بلوط محاسبه شد. در نهایت، همبستگی بین داده‌های سالانه عرض حلقه‌های درختان ارس و با بلوط متغیرهای دما و بارندگی ماهانه، شاخص بارندگی استاندارد (SPI)، و شاخص اکتشاف خشکسالی (RDI)، ارزیابی شدند. نتایج نشان داد در بین روش‌های مختلف درون‌یابی، روش گرادیان خطی سه‌بعدی و روش هیبرید خطی و غیر خطی به ترتیب بهترین روش‌های درون‌یابی دما و بارندگی‌اند. تحلیل ضرایب همبستگی نشان داد که مؤثرترین عامل‌های هواشناسی بر رشد درختان بلوط، اثر مثبت شاخص SPI یک‌ماهه ژوئن و اثر منفی دمای متوسط ماه مارس فصل رویش است. درمورد درختان ارس، بارندگی ماه ژوئیه فصل رویش و دمای متوسط ماه سپتامبر قبل از فصل رویش بر رشد درختان اثر منفی دارند.

واژگان کلیدی: اقلیم‌شناسی درختی، تحلیل همبستگی، درون‌یابی، منطقه مرتفع جنگلی چهارباغ گرگان، SPI، RDI.

مقدمه

به طور کلی، دانش اقلیم‌شناسی درختی^۱ به مطالعه ارتباط بین متغیرهای اقلیمی و شاخص حلقه‌های درخت و بازسازی اقلیم گذشته می‌پردازد. مطالعات نشان داده که دما و بارندگی از عامل‌های بسیار مهم اقلیمی و تأثیرگذار بر رشد درختان‌اند. در زمینه بازسازی اقلیم گذشته، می‌توان به مطالعه کوتلیاکو و همکاران [۱] در بازسازی دما و مطالعه توخان و همکاران [۲] در بازسازی بارندگی اشاره کرد. قبل از توجه به بازسازی‌ها، باید مهم‌ترین متغیرهای اقلیمی مؤثر بر رشد حلقه‌های درختان را تشخیص داد. برای مثال، واتسون و لوکمن [۳] در بازسازی بارندگی در رشته‌کوه‌های جنوب کانادا نشان دادند که مجموع بارندگی جولای تا اوت بیشترین همبستگی‌ها را با کروئولوژی‌های پهنای دواير سالانه دارد. در مطالعه دیگری روزاس با بررسی رویش شعاعی گونه‌ای از درخت بلوط در شمال اسپانیا دریافت که رشد بلوط‌های جوان با دمای ماه ژوئن دوره رشد و بلوط‌های کهنسال با دماهای فصل تابستان و زمستان محدود می‌شوند [۴]. از کاربردهای اقلیم‌شناسی درختی در مطالعات خشکسالی‌هاست. برای مثال، توخان و همکاران با استفاده از کروئولوژی درختان^۲ شاخص بارندگی استاندارد (SPI) را در جنوب غربی و جنوب ترکیه بازسازی کرده و از SPI ماه می-جولای به‌عنوان پیش‌بینی‌کننده استفاده کردند [۵]. نتایج بازسازی نشان داد که طی سال‌های ۱۹۹۸-۱۲۵۱ دو دوره خشکسالی و پنج دوره ترسالی رخ داده است.

دانش اقلیم‌شناسی درختی نوپا در ایران است. در این زمینه می‌توان به مطالعه پورطهماسی و همکاران (۲۰۰۷) اشاره کرد که نشان دادند افزایش بارندگی‌های فصل زمستان قبل از دوره رشد و اوایل تابستان دوره رشد موجب افزایش و دماهای تابستان موجب کاهش پهنای دواير سالانه حلقه‌های درختان

ارس در مناطق لائین (واقع در شمال شرقی ایران) و زنجان شده است [۶]. در مطالعه دیگری پورطهماسی و همکاران (۲۰۰۹) دریافتند گونه‌های ارس^۳ منطقه مرتفع جنگلی چهارباغ گرگان بیشترین حساسیت را به بارندگی ماه می و دمای ماه مارس دارند، درحالی‌که بیشترین حساسیت گونه‌های بلوط^۴ نسبت به بارندگی ماه مارس و دمای متوسط ماه ژانویه است [۷]. آن‌ها یکی از دلایل ضرایب پایین همبستگی بین پهنای دواير سالانه و متغیرهای اقلیمی را قرارگرفتن منطقه بررسی شده در مرز نوسانات شدید اقلیمی دانستند که باعث کاهش شباهت اقلیمی نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی با سایت نمونه‌برداری حلقه‌های درختان می‌شود. به‌علاوه، می‌توان به بررسی‌های انجام‌شده بر روی گونه کاج الدار در سه منطقه تهران [۸] و بر روی گونه راش در داراب کلا [۹] اشاره کرد. این محققان متغیرهای هواشناسی مؤثر بر رشد حلقه‌های سالانه درختان را شناسایی کردند.

برای بررسی رابطه بین متغیرهای اقلیمی و حلقه‌های درختان معمولاً از درختانی استفاده می‌شود که حساسیت بیشتری به موقعیت آب‌وهوایی دارند. معمولاً درختان مناطق مرتفع حساسیت بیشتری به تغییرات آب‌وهوایی دارند [۱۰]. با توجه به اینکه منطقه جنگلی چهارباغ گرگان در مرز نوسانات شدید اقلیمی قرار داشت و استفاده از داده‌های نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی ممکن است خطای زیادی در مطالعه روابط متغیرهای اقلیمی و شاخص حلقه‌های درخت در منطقه مذکور وارد کند، به نظر می‌رسد استفاده از روش‌های درون‌یابی جایگزین نسبتاً بهتری برای تخمین مناسب متغیرهای اقلیمی در این منطقه باشد. بررسی تحقیقات انجام‌شده نشان می‌دهد برای درون‌یابی داده‌های بارندگی روش‌های متعددی از قبیل روش وزنی عکس فاصله

1. Dendroclimatology
2. Juniperus excelsa
3. Juniperus polycarpus
4. Quercus macrantera

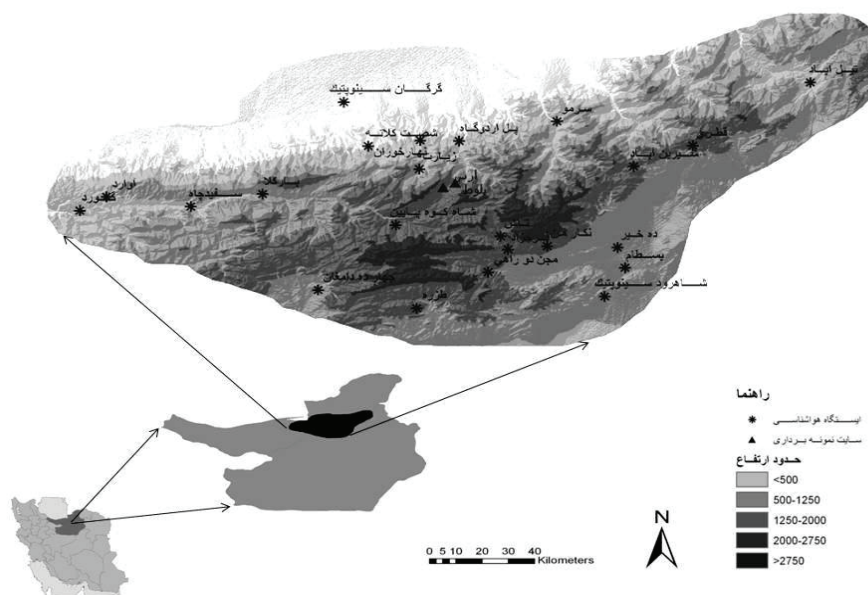
مواد و روش ها

منطقه بررسی شده

منطقه مرتفع چهارباغ گرگان از مهم ترین زیستگاه های درختی گونه های نادر و در حال انقراض، مانند درخت ارس، گونه *Juniperus polycarpus* است و اهمیت ویژه ای در مطالعات اقلیم شناسی درختی دارد. همان طور که در شکل ۱ دیده می شود، این منطقه در حد فاصل شهر گرگان با آب و هوای نیمه مرطوب و شهر شاهرود با آب و هوای سرد و خشک قرار دارد. ارتفاع منطقه بین ۱۳ تا ۳۰۰۰ متر تغییر می کند. وجود رشته کوه البرز در میان این منطقه و دریای خزر در شمال آن باعث تغییرات شدید اقلیمی در این منطقه شده است، به طوری که قسمت شمالی آن به سبب نزدیکی به دریا و حرکت توده های هوای مرطوب در دامنه کوه و ریزش باران پوشش جنگلی و اقلیم نیمه مرطوب، و قسمت جنوبی آن به سبب ارتفاع زیاد، آب و هوای بیابانی سرد دارد. این منطقه دارای توپوگرافی بسیار پیچیده ای است که بر توزیع مکانی متغیرهای هواشناسی، به خصوص بارندگی، تأثیر به سزایی دارد و کار تعیین بهترین مدل میان یابی را سخت و دشوار می کند.

[۱۱]، اسپلین [۱۲]، کریجینگ معمولی [۱۳]، کوکریجینگ [۱۴]، کریجینگ با روند خارجی [۱۵]، و رگرسیون-کریجینگ [۱۶]، و برای دمای ماهانه روش های رگرسیون خطی سه بعدی [۱۷]، اسپلین [۱۸]، و رگرسیون-کریجینگ سه متغیره [۱۹]، بیش از سایر روش ها پیشنهاد شده است.

ملاحظه شد که تحقیقات مختلف روش های متفاوتی برای درون یابی داده های دما و بارندگی پیشنهاد کرده اند. با توجه به اینکه چنین تحقیقی در منطقه چهارباغ گرگان انجام نشده، پژوهش حاضر در جست و جوی روش پهنه بندی اقلیمی مناسبی است تا با استفاده از آن بتوان ضمن مداخله داده های ایستگاه های مجاور، اولاً برآورد مناسب تری از متغیرهای اقلیمی در سایت های نمونه برداری حلقه های درخت کرد و ثانیاً روابط آماری عوامل اقلیمی و داده های حلقه های درخت را بهبود بخشید. در این تحقیق علاوه بر بررسی اثر دو متغیر هواشناسی دما و بارندگی ماهانه بر رشد حلقه های سالانه، همبستگی بین رشد حلقه های درختان با شاخص های خشکسالی نیز بررسی شد.



شکل ۱. موقعیت منطقه مطالعاتی در کشور؛ سایت های نمونه برداری حلقه های درخت و پراکنش ایستگاه های هواشناسی

منابع داده‌ها

در این تحقیق تعدادی از ایستگاه‌های سازمان هواشناسی کشور و وزارت نیرو مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به کمبود تعداد ایستگاه‌های سازمان هواشناسی کشور در محدوده ارتفاعی منطقه مورد تحقیق، اکثر ایستگاه‌ها از شبکه ایستگاهی وزارت نیرو انتخاب شد. دوره مشترک داده‌های اقلیمی موجود ایستگاه‌ها مربوط به سال‌های ۱۹۸۲-۲۰۰۶ است. بازسازی و تکمیل داده‌ها با ایجاد رابطه رگرسیونی خطی ساده و چندگانه بین نزدیک‌ترین ایستگاه‌ها و ایستگاه مورد نظر انجام شد. در نهایت، برای مطالعات دما و بارندگی به ترتیب از ۱۲ و ۲۲ ایستگاه استفاده شد. صحت اطلاعات مکانی ایستگاه‌ها نیز با

نرم‌افزارهای Google Earth و Google Map تطبیق داده شد.

داده‌های حلقه‌های سالانه مورد استفاده از دو گونه درخت، شامل ارس، گونه *Juniperus polycarpus* و دیگری بلوط، گونه *Quercus macranthera* می‌باشند که مشخصات سایت‌های نمونه‌برداری حلقه‌های درخت در جدول ۱ نشان داده شده است. شایان ذکر است که داده‌های حلقه‌های سالانه در واقع اندازه پهنای دواير سالانه نیست، بلکه شاخصی است متناسب با پهنای دواير که به Index شناخته می‌شود. در این تحقیق از داده‌های حلقه‌های سالانه [۷] استفاده شده است.

جدول ۱. مشخصات سایت‌های نمونه‌برداری حلقه‌های درختی

ارتفاع	مختصات نمونه‌برداری	گونه درختی
۲۴۸۰	۳۶° ۴۰' N ۵۴° ۳۲' E	Juniperus polycarpus
۲۲۵۰	۳۶° ۴۰' N ۵۴° ۳۴' E	Quercus macranthera

روش‌های درون‌یابی

روش‌های درون‌یابی داده‌های مکانی به منظور تخمین یک متغیر در یک نقطه خاص از روی داده‌های واقعی اندازه‌گیری می‌شوند و در نقاط مجاور به کار می‌روند. همه روش‌های خانواده کریجینگ به علاوه روش وزنی عکس فاصله از فرمول زیر برای برآورد مقدار یک متغیر در نقاط فاقد اندازه‌گیری استفاده می‌کنند:

$$Z^* = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (1)$$

معادله ۱ بیان می‌کند که مقدار یک متغیر هواشناسی (Z^*) در یک نقطه برابر است با ترکیب خطی مقدار متغیر ($Z(x_i)$) در n ایستگاه مجاور آن [۲۰]. تفاوت

روش‌های مختلف درون‌یابی در $i\lambda$ های به کار گرفته شده برای هر ایستگاه است که وزن ایستگاه نام دارد. در روش وزنی عکس فاصله، $i\lambda$ برابر عکس فاصله بین ایستگاه تا نقطه بررسی شده به توان a است. در این روش هرچه a بزرگ‌تر باشد، یعنی اهمیت ایستگاه‌های نزدیک در برآورد بیشتر است [۱۲]. کریجینگ روش تخمین زمین آماری نارایب با کمترین واریانس تخمین است. برای تأمین شرط نارایب بودن، باید مجموع ضرایب ایستگاه‌ها برابر یک شود. در این روش، تعیین λ ها براساس آنالیز نیم تغییرنا است. نیم تغییرنا کمیتی برداری است که درجه همبستگی مکانی و شباهت بین ایستگاه‌های هواشناسی را برحسب مربع تفاضل مقدار دو ایستگاه و با توجه به جهت و فاصله آنها نشان می‌دهد.

روش نوع خاصی از روش کریجینگ عمومی^۱ است، با این تفاوت که برای محاسبه عامل های وزنی به جای آنالیز نیم تغییرنما به برآورد پارامتر هموارسازی^۲ نیاز دارد که با تغییر آن می توان بهترین مدل را بر داده ها برازش داد [۲۱].

روش دیگر درون یابی، که مبتنی بر اصول آمار کلاسیک است، روش گرادیان خطی چندبعدي است. در روش گرادیان خطی چندبعدي (در اینجا، سه بعدي) فرض بر آن است که در راستای طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی، و ارتفاع منطقه روند خطی وجود دارد که با برازش یک رابطه رگرسیون خطی چندگانه بین متغیر اصلی اندازه گیری شده در ایستگاه های هواشناسی و متغیرهای مستقل می توان در نقاطی که متغیر اصلی اندازه گیری نشده است، مقدار آن را تخمین زد [۱۷].

عامل های اقلیمی مرتبط با رشد حلقه های درختان

در این تحقیق برای تعیین مؤثرترین متغیرهای اقلیمی بر رشد حلقه های درختان، دوره رشد سالانه از ماه سپتامبر یک سال معین تا سپتامبر سال بعد (Pre Sep-Sep) تعریف شد. سپس مقدار همبستگی پهنای دواپر هر سال به طور مجزا با دما و بارندگی هر یک از ماه های سال بررسی شد. علاوه بر دما و بارندگی، مقدار

همبستگی حلقه ها با دو شاخص پایش خشکسالی، یعنی شاخص بارندگی استاندارد (SPI)^۳ و شاخص اکتشاف خشکسالی (RDI)^۴ نیز بررسی شد که در ادامه به طور مختصر تشریح می شوند.

مک کی و همکاران اولین بار شاخص بارندگی استاندارد را به منظور توصیف و پایش خشکسالی های منطقه ای ارائه کردند [۲۲]. برای محاسبه این شاخص، مجموع بارندگی های ماهانه را در یک پنجره زمانی K ماهه به ماه آخر اختصاص می دهیم (که به آن مقیاس زمانی K ماهه گوئیم) و بر داده های جدید یک توزیع احتمال معین مانند دو پارامتری گاما را برازش می دهیم

هنگامی که از متغیر اصلی به اندازه کافی داده نداشته باشیم، اما داده های یک متغیر کمکی در منطقه موجود باشد، به صورتی که اولاً از این متغیر کمکی به تعداد زیاد در منطقه داشته باشیم و ثانیاً ضریب همبستگی آن با متغیر اصلی بیش از ۰/۵ باشد، می توان با استفاده از رابطه مکانی بین متغیر کمکی و اصلی در قالب روش کوکریجینگ دقت تخمین ها را افزایش داد. در مطالعات اقلیم شناسی از متغیر ارتفاع به عنوان متغیر کمکی استفاده می شود [۱۶]. در موقعیتی که در منطقه متغیر اصلی دارای روند باشد، می توان از روش رگرسیون-کریجینگ استفاده کرد. در این روش ابتدا با استفاده از یک رابطه رگرسیون خطی چندگانه، بین متغیر اصلی و متغیرهای کمکی طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع ایستگاه ها، روند موجود در داده ها محاسبه می شود و با کم کردن آن از مقادیر متغیر اصلی، جزء باقی مانده در هر ایستگاه به دست می آید. سپس باقی مانده ها را با روش کریجینگ درون یابی می کنند و مقادیر درون یابی شده خطاها در هر نقطه را به مقادیر برآورد شده از رابطه رگرسیونی اضافه می کنند که معادله نهایی آن به صورت زیر است [۱۹].

(۲)

$$\hat{f}(s_0) = \hat{\alpha} + \hat{\beta}_1 x + \hat{\beta}_2 y + \hat{\beta}_3 h + \sum_{i=1}^n w_i z^*(s_i)$$

که در آن x، y و h به ترتیب طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع نقاط و پارامترهای معادله رگرسیونی و $(S_i) * Z$ مقدار باقی مانده در نقطه S_i و مقدار متغیر مورد نظر در نقطه S_0 هستند.

روش دیگر درون یابی، روش اسپلین است. اسپلین ها توابع غیر پارامتری با قابلیت ارتجاعی بالایی اند و می توان آن ها را یک تابع چندجمله ای تکه ای نامید. یعنی توابع پیچیده ای شامل قطعاتی از چندجمله ای ها با درجات مختلف بین هر دو نقطه از فضا که در محل اتصالات نرم شده اند. می توان گفت این

1. Universal kriging
2. Smoothing
3. Standardized Precipitation Index
4. Reconnaissance Drought Index

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N [\hat{Z}(x_i) - Z(x_i)]^2}{N}} \quad (4)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^N [\hat{Z}(x_i) - Z(x_i)]}{N} \quad (5)$$

نتایج

انتخاب بهترین روش درون‌یابی داده‌های بارندگی

قبل از مکانی کردن داده‌ها باید توزیع آن‌ها با توزیع نرمال از نظر آماری تفاوت معنی‌داری نداشته باشد. بررسی نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون اندرسون-دارلینگ در سطح اطمینان ۹۵ درصد انجام شد. در این آزمون بارندگی بعضی از ماه‌ها از توزیع نرمال تبعیت نمی‌کرد که با تبدیل مناسب (لگاریتمی و ریشه دوم) به توزیع نرمال تبدیل شد. محاسبات روش‌های درون‌یابی کریجینگ و عکس فاصله در نرم‌افزار GS+ نسخه ۹ انجام شد و برای روش‌های گرادینتی و اسپلاین به ترتیب از نرم‌افزارهای MiniTab و ArcGis استفاده شد.

پنج نوع مدل نیم تغییرنا شامل مدل‌های کروی، نمایی، خطی، خطی دارای حد آستانه، و گوسی بر داده‌ها برازش داده شد و از بین آن‌ها نیم تغییرنمای بهینه براساس مقدار مجموع مربعات خطای^۳ کمتر و ضریب همبستگی بیشتر انتخاب شد. نتایج انتخاب بهترین نیم تغییرنا نشان داد در بیش از ۸۰ درصد موارد مدل تئوری نیم تغییرنمای بهینه، مدل‌های گوسی و نمایی است. بررسی نسبت بخش ساختاردار به بدون ساختار نشان داد تقریباً در ۸۰ درصد موارد نقش مؤلفه ساختاردار به بدون ساختار خیلی بیشتر است، که حاکی از ساختار مکانی مناسب داده‌های بارندگی در منطقه است. البته این ساختار مکانی در ماه‌های گرم سال کاهش می‌یابد، زیرا ماهیت بارندگی‌ها در این ماه‌ها

و احتمال هر داده را از روی توزیع برازش داده محاسبه می‌کنیم. سپس، مقدار متناظر با این احتمال را از توزیع نرمال استاندارد به دست می‌آوریم که این عدد، SPI نامیده می‌شود. مقیاس‌های مختلف زمانی نشان‌دهنده گام‌های تأخیر زمانی منابع آبی متفاوت به ناهنجاری بارندگی است. مثلاً موقعیت رطوبتی خاک در مقیاس زمانی کوتاهی نسبت به ناهنجاری بارندگی واکنش نشان می‌دهد. درحالی‌که آب‌های زیرزمینی و جریان‌های آب‌های سطحی و مخازن آب در مقیاس‌های زمانی بزرگ‌تری واکنش نشان می‌دهند [۲۳]. در این تحقیق گام‌های ۱ تا ۱۲ ماه بررسی شد تا حساسیت پهنای دوایر سالانه درختان به نوع منبع رطوبتی مشخص شود. شاخص RDI از حاصل تقسیم بارندگی ماهانه بر تبخیر تعرق پتانسیل ماهانه به صورت زیر به دست می‌آید [۲۴].

$$\alpha_k = \frac{\sum_{j=1}^k P_j}{\sum_{j=1}^k PET_j} \quad (3)$$

که در آن، P_j و PET_j ، بارندگی و تبخیر تعرق پتانسیل ماهانه و $k\alpha$ شاخص RDI_k ماهه است. این شاخص نیز در مقیاس‌های ۳ تا ۱۲ ماهه محاسبه و بررسی شد. در این شاخص تبخیر تعرق پتانسیل با استفاده از روش ترنت وایت و صرفاً از روی داده‌های دمای میانگین ماهانه به دست می‌آید.

در این تحقیق مبنای انتخاب بهترین روش درون‌یابی داده‌های دما و بارندگی ماهانه در بین روش‌های بررسی شده، شاخص‌های ریشه میانگین مربعات خطا^۱ و میانگین خطای اریب^۲ در نظر گرفته شد. به طوری‌که هرچه مقدار میانگین مربعات خطای یک روش کمتر و میانگین خطای اریب آن به صفر نزدیک‌تر باشد، آن روش مناسب‌تر است. این شاخص‌ها به صورت زیر محاسبه می‌شوند.

1. Root Mean Square Error (RMSE)
2. Mean Bias Error (MBE)
3. Residual Sums of Squares (RSS)

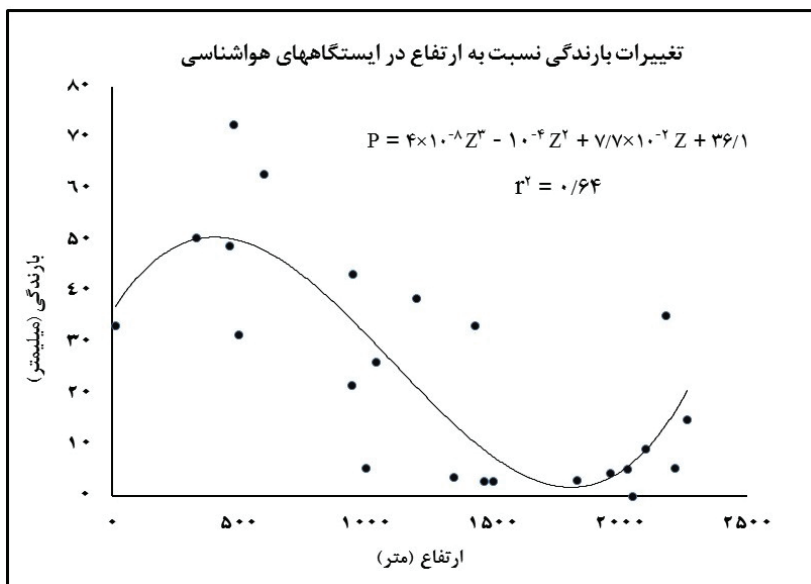
سه است که یک نمونه از آن در شکل ۲ ارائه شده است. با توجه به این نکته، در این تحقیق روش جدیدی برای مکانی کردن داده‌های بارندگی ارائه شده که شبیه روش گرادیان‌های خطی سه‌بعدی است، با این تفاوت که تغییرات بارندگی با ارتفاع را درجه سه فرض کردیم. و این روش را هیبرید خطی و غیر خطی نام نهادیم. سپس کارایی این روش با سایر روش‌ها بررسی شد. معادله این روش به صورت زیر است:

(۶)

$$P_i = a_1 * X_i + a_2 * Y_i + a_3 * Z_i + a_4 * Z_i^2 + a_5 * Z_i^3$$

بررسی مقادیر ریشه میانگین مربعات خطا (جدول ۲) و میانگین خطای اریب روش‌های بررسی شده نشان داد که در ۷۰ درصد از ماه‌ها روش هیبرید خطی و غیر خطی کمترین خطا را دارد. پس از آن، روش وزنی عکس فاصله بهترین روش میان‌یابی است، اما باید توجه کرد که این روش اصلاً قابلیت برون‌یابی حتی ارتفاعی را ندارد، زیرا تغییرات آخرین شاخه صعودی منحنی (شکل ۲) شدیداً به داده‌های واسنجی وابسته است.

تقریباً محلی است. دامنه تأثیر داده‌ها نیز بین ۱۵/۷ تا ۷۲/۱ کیلومتر در ماه‌های مختلف سال نوسان می‌کند. قدر مطلق ضریب همبستگی بارندگی و ارتفاع ایستگاه‌ها در بعضی از ماه‌ها کمتر از ۰/۵ بود که باعث شد در این ماه‌ها اجازه استفاده از روش کوکریجینگ را نداشته باشیم. همچنین نیم تغییرنماهای متقاطع بارندگی-ارتفاع نیز ارتباط مکانی خوبی نشان ندادند. در روش رگرسیون-کریجینگ نیز نتایج نشان داد که باقی‌مانده‌ها ساختار مکانی مناسبی ندارند که باعث افزایش خطای برآورد شد. در روش وزنی، عکس فاصله کمترین خطا برای کمترین تعداد همسایگی، یعنی ۵ ایستگاه، به دست آمد که حاکی از ناهمگنی منطقه از نظر اقلیمی است. اما در مورد توان بهینه نتیجه مشخص و یکسانی حاصل نشد. در روش گرادیان خطی سه‌بعدی، در تمامی ماه‌ها گرادیان نصف‌النهاری و ارتفاعی، منفی، و گرادیان مداری، مثبت به دست آمد. به عبارتی، تغییرات بارندگی از غرب به شرق و با افزایش ارتفاع کاهش یافته، اما از جنوب به شمال منطقه افزایش می‌یابد. در بررسی روابط بارندگی-ارتفاع در این منطقه مشاهده شد که تغییرات بارندگی با ارتفاع خطی نبوده و تقریباً به صورت درجه



شکل ۲. تغییرات درجه سه بارندگی با ارتفاع مربوط به داده‌های بارندگی اکتبر ۱۹۹۸

جدول ۲. ریشه میانگین مربعات خطای روش‌های مختلف درون‌یابی داده‌های بارندگی طی ماه‌های مختلف سال ۱۹۹۸ (میلی‌متر)

روش درون‌یابی	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
کریجینگ	۲۷/۱	۱۷/۸۶	۱۶/۵۲	۱۵/۴۷	۱۹/۶	۱۱/۷۵	۲۳/۰۲	۳۱/۲۲	۲۲/۴۸	۱۴/۴۳	۸/۰۴	۱۳/۳
کوکریجینگ	۲۷/۵	—**	—	۱۵/۹	۱۹/۵	—	—	—	۲۵	۱۵/۳۱	—	۱۴/۲۸
وزنی عکس فاصله	۲۳/۰	۱۵/۸	۱۶/۱	۱۶/۴	۱۹/۰	۱۱/۲۹	۲۰/۵	۲۸/۴۴	۲۵/۶۷	۱۴/۰۲	۷/۵۵	۱۲/۷۳
اسپلین	۲۸/۷	۲۱/۷	۲۲/۷	۲۱/۰	۲۵	۱۶/۱۲	۲۶/۶۷	۳۶/۹۳	۳۱/۷	۱۵/۹۴	۸/۵۵	۱۷/۱۵
رگرسیون-کریجینگ	۲۷/۲	۱۹/۶	۱۹/۵	۱۵/۰	۱۸/۱	۱۳/۲	۲۱/۷	۲۹/۹۶	۲۵/۳۹	۱۷/۱۸	۹/۴۹	۱۱/۹۱
گرادیان خطی	۲۶/۱	۱۷/۷	۱۷/۹	۱۴/۱	۱۷/۹	۱۱/۴	۲۰/۵	۲۸/۳۹	۲۴/۶۹	۱۵/۶۷	۸/۸۱	۱۲/۰۲
هیبرید	۲۲/۸*	۱۵/۵	۱۸/۶۴	۱۱/۸	۱۶/۸	۱۴/۶	۱۸/۹	۲۷/۲۳	۲۰/۴۱	۱۳/۹۲	۱۰/۴۶	۹/۳۹

*: مقدار خطای روش درون‌یابی منتخب در ماه مربوطه

** : به علت اینکه ضریب همبستگی بارندگی-ارتفاع در ماه مزبور کمتر از ۰/۵ است از این روش استفاده نشده است.

انتخاب بهترین روش درون‌یابی داده‌های دما

با توجه به اینکه فقط ۱۲ ایستگاه ثبت دما در کل منطقه در دسترس بود که این تعداد برای ترسیم نیم تغییرنا بسیار کم است، بنابراین، از روش‌های خانواده کریجینگ صرف‌نظر شد و برای تعیین بهترین روش درون‌یابی داده‌های دما سه روش وزنی عکس فاصله، اسپلین، و گرادیان خطی سه‌بعدی در سال ۲۰۰۳ با یکدیگر مقایسه شد. در مورد داده‌های دما نیز بررسی نرمال‌بودن با آزمون اندرسون-دارلینگ در سطح اطمینان ۹۵ درصد انجام شد و بررسی نشان داد توزیع داده‌های دمای ماهانه با توزیع نرمال تفاوت معنی‌داری نداشت. نتایج روش وزنی عکس فاصله نشان داد که این روش با توان یک کمترین خطای برآورد را داراست، که بیانگر آن است که ایستگاه‌های دورتر از نقطه مورد نظر نیز سهم عمده‌ای در برآورد دما در آن نقطه دارند و شعاع تأثیرپذیری آن بیش

از بارندگی است. اما در مورد تعداد ایستگاه‌ها نتیجه مشخصی به دست نیامد. در روش گرادیان خطی سه‌بعدی، گرادیان نصف‌النهاری و ارتفاعی در تمامی ماه‌ها، منفی، اما گرادیان مداری، مثبت به دست آمد؛ به عبارتی، تغییرات دما از غرب به شرق و با افزایش ارتفاع کاهش یافته، اما از جنوب به شمال منطقه افزایش می‌یابد. بررسی ضرایب معادلات رگرسیون خطی چندگانه نشان داد که اثر ارتفاع بر نوسانات دما از طول و عرض جغرافیایی بیشتر است. نتایج بررسی میزان خطای سه روش یادشده نشان داد در تمامی ماه‌ها روش گرادیان خطی سه‌بعدی بهترین روش میان‌یابی داده‌های دماست. پس از آن روش وزنی عکس فاصله خطای کمتری دارد. بررسی ریشه میانگین مربعات خطا (جدول ۳) و میانگین خطای اریب روش‌های مورد بررسی نشان داد که در همه ماه‌ها روش گرادیان خطی سه‌بعدی خطای کمتری دارد.

جدول ۳. ریشه میانگین مربعات خطای روش‌های میان‌یابی داده‌های دمای ماهانه در سال ۲۰۰۳ (میلی‌متر)

روش درون‌یابی	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
وزنی عکس فاصله	۳/۹	۳/۶	۳/۰	۲/۵	۳/۹	۳/۷	۴/۰	۴/۰	۳/۴	۳/۲	۳/۳	۳/۶
گرادیان خطی	۱/۳*	۱/۲	۱/۴	۱/۳	۱/۹	۲/۴	۳/۵	۲/۳	۱/۷	۱/۱	۲/۴	۲/۳
اسپلین	۶/۳	۵/۹	۴/۸	۳/۴	۵/۲	۵/۳	۶/۲	۵/۸	۵/۱	۴/۷	۳/۹	۴/۴

*: مقدار خطای روش درون‌یابی منتخب در ماه مربوطه

پهنای دواير سالانه و عامل های هواشناسی بررسی شد. عامل های استفاده شده شامل متغیرهای دما و بارندگی ماهانه و شاخص های خشکسالی SPI و RDI است. در جدول ۴ نتایج تحلیل ضرایب همبستگی هر دو گونه درختی با متغیرهای دما، بارش، و شاخص خشکسالی SPI ماهانه و فصلی ارائه شده است.

بررسی ارتباط بین عامل های هواشناسی و رشد درختان پس از تعیین بهترین روش درونیابی، مقادیر دما و بارندگی ماهانه سایت های نمونه برداری حلقه های درخت در دوره آماری مشترک (۱۹۸۲-۲۰۰۶) با استفاده از روش های منتخب، بازسازی شد. سپس ارتباط بین

جدول ۴. ضرایب همبستگی بین حلقه های رشد سالانه درختان و عامل های هواشناسی

ماه	بارندگی		دما		SPI	
	ارس	بلوط	ارس	بلوط	ارس	بلوط
سپتامبر ق**	-۰/۰۳	-۰/۵°	-۰/۴۹°	۰/۳۶	-۰/۰۱	-۰/۵°
اکتبر ق	-۰/۱۳	-۰/۱	-۰/۳۷	-۰/۰۵	-۰/۱۸	-۰/۰۵
نوامبر ق	-۰/۰۱	-۰/۱۲	-۰/۲۴	-۰/۳۶	۰/۰۵	-۰/۰۹
دسامبر ق	-۰/۰۲	-۰/۰۸	-۰/۲۳	-۰/۱	۰/۰۳	-۰/۱
ژانویه	۰/۲۴	۰/۲۴	-۰/۱۸	-۰/۰۹	۰/۲	۰/۲۸
فوریه	۰/۲	۰/۴۱	-۰/۲۱	-۰/۱۷	۰/۲۵	۰/۴۵°
مارس	۰/۰۵	۰/۳۲	-۰/۰۴	-۰/۵°	۰/۱	۰/۳۱
آوریل	۰/۰۷	-۰/۱	-۰/۲۳	-۰/۲۶	۰/۰۸	-۰/۰۵
می	-۰/۰۲	۰/۳۱	-۰/۳۳	۰/۱۱	-۰/۰۴	۰/۳۱
ژوئن	-۰/۱۲	۰/۴۵°	-۰/۲۵	-۰/۲۴	-۰/۱۳	۰/۴۸°
ژوئیه	-۰/۴۸°	-۰/۲۲	-۰/۰۴	-۰/۲۶	-۰/۴۴°	-۰/۲۸
اوت	-۰/۱۸	-۰/۲۴	-۰/۱	-۰/۳	-۰/۱۷	-۰/۲۴
سپتامبر	۰/۱۳	۰/۰۶	-۰/۴۶°	-۰/۲۷	۰/۱۲	-۰/۰۳
پاییز	-۰/۰۷	-۰/۱۳	-۰/۳۵	-۰/۱۹	---	---
زمستان	۰/۲۲	۰/۴۸°	-۰/۱۸	-۰/۳	---	---
بهار	۰	۰/۱۹	-۰/۳۴	-۰/۱۵	---	---
تابستان	-۰/۲۱	-۰/۱۶	-۰/۲۷	-۰/۳۴	---	---

** معنی دار در سطح ۹۵ درصد، ***: ماه سپتامبر قبل از فصل رشد

رابطه منفی دارد که دلیل آن را می توان مصرف شدن شیره گیاهی ذخیره شده در انتهای فصل رویش دانست که به سبب طولانی شدن فصل رویش بر اثر افزایش بارندگی رخ می دهد. بارندگی ماه ژوئن در دوره رشد و بارندگی فصل زمستان قبل از دوره رشد بر رشد حلقه ها اثر مثبت و معنی داری را نشان داد. همچنین رشد این

تحلیل ضرایب همبستگی پهنای دواير سالانه و فاکتورهای هواشناسی

تحلیل ضرایب همبستگی بین داده های بارندگی و شاخص سالانه عرض حلقه های درخت گونه بلوط در سطح احتمال ۵ درصد نشان داد که رشد بلوط به طور معنی داری با بارندگی ماه سپتامبر قبل از دوره رشد

دارد، بنابراین، می‌توان گفت استفاده از داده‌های صرف بارندگی کفایت می‌کند.

شاخص اکتشاف خشکسالی (RDI) در مقیاس‌های زمانی ۳ تا ۱۲ ماه و در دو حالت Standardise و Normalise محاسبه شد. تحلیل ضرایب همبستگی در سطح احتمال خطای ۵ درصد در هیچ یک از مقیاس‌های زمانی ارتباط معنی‌داری را بین رشد حلقه‌ها و شاخص RDI نشان نداد.

عامل‌های پیشنهادی برای بازسازی اقلیمی

قبل از بازسازی اقلیم گذشته یک منطقه با کمک حلقه‌های رشد سالانه درختان (که هدف دانش اقلیم‌شناسی درختی است)، اساسی‌ترین کار، تعیین مهم‌ترین عامل‌های هواشناسی مؤثر بر رشد حلقه‌هاست که به‌وسیله آن‌ها بتوان اثرپذیرترین گونه درختی از عامل مورد نظر و همچنین مؤثرترین ماه را تعیین کرد. بنابراین، می‌توان برای بازسازی هر عامل هواشناسی از داده‌های جدول ۵ استفاده کرد.

گونه درختی با افزایش دمای متوسط ماه مارس در فصل رشد محدود می‌شود. درمورد گونه ارس بارندگی ماه ژوئیه در فصل رشد و افزایش دمای ماه‌های سپتامبر پیش از فصل رشد و سپتامبر فصل رشد تأثیر منفی بر رشد حلقه‌های سالانه این گونه درختی دارد.

پس از محاسبه ضرایب همبستگی بین داده‌های SPI و حلقه‌های سالانه در مقیاس‌های زمانی ۱ تا ۱۲ ماه و مقایسه آن‌ها با یکدیگر مشخص شد که معنی‌دارترین ضرایب همبستگی به مقیاس زمانی یک‌ماهه مربوط است. تحلیل ضرایب همبستگی در مقیاس زمانی یک‌ماهه نشان داد که هرچه ماه سپتامبر قبل از فصل رشد مرطوب‌تر باشد، پهنای دوایر درختان بلوط در سال بعد کمتر خواهد بود. همچنین، رطوبت بیشتر ماه ژوئن در دوره رشد باعث رشد بیشتر حلقه‌های این گونه درختی در آن سال می‌شود. نتایج تحلیل همبستگی درمورد گونه ارس نشان داد رطوبت بیشتر ماه ژوئیه در دوره رشد باعث کاهش رشد حلقه‌ها در آن سال می‌شود. این نتایج با نتایج بارندگی همخوانی

جدول ۵. معرفی بهترین گونه درختی و مؤثرترین ماه برای بازسازی عامل هواشناسی مورد نظر

عامل هواشناسی	گونه درختی	ماه قابل بازسازی
دما	بلوط	مارس
بارندگی	بلوط	سپتامبر قبل از فصل رشد
وضعیت خشکسالی	بلوط	SPI یک‌ماهه ژوئن

نتیجه‌گیری

در این تحقیق به‌منظور تعیین بهترین روش درون‌یابی داده‌های دما و بارندگی ماهانه در منطقه بررسی شده، به‌ترتیب سه و هفت روش درون‌یابی ارزیابی و مقایسه شدند. نتایج تحلیل واریوگرافی نشان داد دامنه تأثیر داده‌های بارش در منطقه بین ۱۵ تا ۷۰ کیلومتر است؛ درحالی‌که دیگر محققان مانند رحیمی و همکاران [۱۲] و

اختری و همکاران [۲۵] به‌ترتیب مقادیر دامنه تأثیر ۳۰۰ و ۱۲۵ کیلومتر را در ایران به‌دست آوردند. کاهش دامنه تأثیر داده‌های بارندگی و انتخاب پنج نقطه همسایگی به‌عنوان تعداد بهینه ایستگاه‌ها در روش وزنی عکس فاصله و همچنین انتخاب مدل گوسی در مدل بهینه نیم تغییرنما، همگی حاکی از ناهمگنی منطقه از لحاظ توزیع بارش بوده و فرضیه تحقیق به‌عنوان قرارگیری

اثرپذیری رشد درختان از عوامل هواشناسی نشان داد که این وضعیت، بازسازی اقلیم گذشته این منطقه را از روی حلقه های درختان فراهم می کند. مقایسه نتایج حاصل از این تحقیق با مطالعه مشابه [۷]، نشان دهنده افزایش ضرایب همبستگی بین رشد درختان و عامل های هواشناسی به طور متوسط از ۰/۴ به ۰/۵ است که بیانگر کارایی بسیار خوب استفاده از روش های درون یابی داده های هواشناسی به جای استفاده از نزدیک ترین ایستگاه هواشناسی به سایت نمونه برداری حلقه ها است. همچنین مقایسه مناسب ترین متغیرهای هواشناسی مناسب بر رشد درختان با نتایج مطالعه پورطهماسی و همکاران تطابق نداشت. با توجه به اینکه ضرایب همبستگی پهنای دواير سالانه درختان با مقیاس های زمانی کوچک تر شاخص SPI همبستگی معنی داری را نشان داد، می توان گفت درختان این منطقه بیشتر تحت تأثیر منابع آب کوتاه مدت، مانند رطوبت خاک اند و منابع آب طولانی مدت، مانند مجموع بارش های سالانه و آب های زیر زمینی بر رشد درختان اثر معنی داری ندارند. عدم همبستگی پهنای دواير سالانه درختان با شاخص RDI ممکن است ناشی از روش محاسبه تبخیر تعرق پتانسیل (تورنت وایت) در این شاخص باشد، زیرا روش تورنت وایت برای محاسبه تبخیر تعرق پتانسیل تنها از متغیر دمای میانگین ماهانه استفاده می کند. در حالی که علاوه بر دما متغیرهای سرعت باد، تابش، ساعت های آفتابی و رطوبت نسبی نیز تأثیر زیادی در مقدار تبخیر تعرق پتانسیل دارند، اما متأسفانه به سبب فقر داده های هواشناسی در این منطقه استفاده از روش های دقیق تر در محاسبه تبخیر تعرق، مانند روش پنمن مونتیث، عملاً غیر ممکن بود. با توجه به اهمیت زیاد این منطقه در مطالعات اقلیم شناسی درختی و تأثیرگذاری سایر عوامل هواشناسی بر رشد درختان و از طرفی تغییرات مکانی شدید آب و هوایی در این منطقه، توصیه می شود در چندین نقطه ارتفاعی این منطقه ایستگاه های هواشناسی خودکار نصب شود.

منطقه جنگلی چهارباغ گرگان در مرز نوسانات شدید اقلیمی را تأیید می کند.

پس از بررسی و مقایسه روش های مختلف درون یابی، روش هیبرید خطی و غیرخطی به عنوان مناسب ترین روش درون یابی داده های بارندگی ماهانه به دست آمد. در این روش، که برای اولین بار استفاده شد، تغییرات بارندگی با ارتفاع به صورت درجه سه در نظر گرفته می شود که این نوع تغییرات مبتنی بر واقعیت های فیزیکی منطقه است؛ به این صورت که با افزایش ارتفاع از سطح دریا تا ارتفاع ۵۰۰ تا ۸۰۰ متری (در ماه های مختلف) بر مقدار بارش ها افزوده می شود که دلیل آن حرکت بسته هوای مرطوب از سطح دریا به ارتفاعات و به اشباع رسیدن آن در این ارتفاع است. پس از آن به علت کاهش رطوبت، بسته هوا با افزایش ارتفاع تا حدود ۱۸۰۰ متر از میزان بارش ها کاسته می شود. پس از ارتفاع ۱۸۰۰ متر به بعد، بارش ها کمتر تحت تأثیر جریانات خزری بوده و اغلب ناشی از توده های دینامیکی و بزرگ مقیاس مؤثر بر اقلیم منطقه اند که بر آن ها همانند مناطق غیر خزری به دلیل صعود اجباری و اصطکاک ناشی از وجود کوه های مرتفع با افزایش ارتفاع بر مقدار بارش ها افزوده می شود [۲۶]. اما با توجه به اینکه روش پیشنهادی مقادیر بارش ارتفاعات بیش از ۲۵۰۰ متر را به طور غیرمنطقی زیاد برآورد می نماید، توصیه می شود در نقاطی از منطقه که ارتفاع از ۲۵۰۰ متر بیشتر است از این روش استفاده نشود. بهترین روش درون یابی داده های دما در منطقه روش گرادیان خطی سه بعدی به دست آمد. انتخاب توان بهینه یک در روش وزنی عکس فاصله در مورد داده های دما نشان دهنده تأثیرگذاری ایستگاه های دوردست در تخمین دمای یک نقطه بود که می توان نتیجه گرفت ناهمگنی توزیع دما در منطقه نسبت به بارندگی کمتر است. نتایج بخش دما با نتایج خلیلی [۱۷] همخوانی دارد.

تحلیل ضرایب همبستگی بین پهنای دواير سالانه و عامل های هواشناسی نتایج رضایت بخشی را از

References

- [1]. Kotlyakov, V.M., Serebryanny, L.R., and Solomina, O. N. (1991). Climate change and glacier fluctuation during the last 1000 years in the Southern Mountains of the USSR. *Mountain Research and Development*, 11(1): 1-12.
- [2]. Touchan, R., Meko, D.M., and Aloui, A. (2008). Precipitation reconstruction for Northwestern Tunisia from tree rings. *Journal of Arid Environments*, 72: 1887:1896.
- [3]. Watson, E. and Luckman, B.H. (2004). Tree-ring based reconstructions of precipitation for the southern Canadian cordillera. *Climatic Change*, 65: 209-241.
- [4]. Rozas, V. (2005). Dendrochronology of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) in an old-growth pollarded woodland in northern Spain: establishment patterns and the management history. *Annals of forest science*, 62(3): 209-218.
- [5]. Touchan, R., Funkhouser, G., Hughes, M., and Erkan, N. (2005). Standardized precipitation index reconstructed from Turkish Tree-ring widths. *Climatic change*, 72: 339-353.
- [6]. Pourtahmasi, K., Parsapjough, D., Bräuning, A., Esper, J., and Schweingruber, F.H. (2007). Climatic analysis of pointer years in tree-ring chronologies from northern Iran and neighbouring high mountain areas. *Geoöko*, 28: 27-42.
- [7]. Pourtahmasi, K., Poursartip, L., Bräuning, A. and Parsapjough, D. (2009). Comparison between the radial growth of juniper (*Juniperus polycarpus*) and Oak (*Quercus macrantera*) trees in two sides of the Alborz Mountains in Chaharbagh region of gorgan. *Journal of Forest and Wood Products*, 62(2):159-169.
- [8]. Safdari, V. R., Parsapajouh, D., and Hemmasi, A.H. (2005). A dendroclimatological evaluation of *Pinus eldarica* at three sites in Tehran. *Journal of Agricultural Science*, 11(2): 217-231.
- [9]. Balapour, Sh., Jalilvand, H., Raeini, M., and Asadpour, H. (2010). Relationship between tree rings of Beech (*Fagus orientalis*) with some climatic variables in experimental forest of Natural Resources Faculty (Darabcola). *Watershed Management Research Journal (Pajouhesh & Sazandegi)*, 88: 1-10.
- [10]. Schweingruber, F.H. (1993). *Trees and Wood in Dendrochronology*. Springer Series in Wood Science. Springer Verlag, Heidelberg.
- [11]. Dirks, K. N., Hay, J. E., Stow, C. D., and Harris, D. (1998). High-resolution studies of rainfall on Norfolk Island Part II: Interpolation of rainfall data. *Journal of Hydrology*, 208(3-4): 187-193.
- [12]. Rahimi B.A, S. and Mahdian, M.H. (2005). Comparison of estimation methods for spatial distribution of daily and monthly rainfall in Caspian sea watershed. *Pajouhesh & Sazandegi*, 69: 63-72.
- [13]. Jeffrey, S. J., Carter, J. O., Moodie, K. B., and Beswick, A. R. (2001). Using spatial interpolation to construct a comprehensive archive of Australian climate data. *Environmental Modelling and Software*, 16: 309-330.
- [14]. Phillips, D.L., Dolph, J., and Marks, D. (1992). A comparison of geostatistical procedures for

- spatial analysis of precipitation in mountainous terrain. *Agricultural and Forest Meteorology*, 58: 119-141.
- [15]. Kravchenko, A. Zhang, R. and Tung, Y.K. (1996). Estimation of Mean Annual Precipitation in Wyoming Using Geostatistical Analysis. In: 16th Annual Hydrology Days. University of Wyoming. Colorado, USA, pp. 271-282.
- [16]. Francisco, J. M. (2010). Comparison of different geostatistical approaches to map climate variables: application to precipitation. *International Journal of Climatology*, 30: 620-631.
- [17]. Khalili, A. (1996). Three dimensional variations of long-term annual averages of air temperature at Iran. *Nivar*, 32: 1-12.
- [18]. Price, D.T., McKenney, D.W., Nalder, L.A., Hutchinson, M.F., and Kesteven, J.L. (2000). A comparison of two statistical methods for spatial interpolation of Canadian monthly mean climate data. *Agricultural and Forest Meteorology*, 101: 81-94.
- [19]. Boer, E. P. J., Beurs, K.M., and Hartkamp, A. D. (2001). Kriging and thin plate splines for mapping climate variables. *JAG* . 3(2): 146-154.
- [20]. Hassani Pak, A.A. (2007). *Geostatistics*, 2th Ed., University of Tehran Press, Tehran.
- [21]. Hutchinson, M. F. and Gessler, P. E. (1994). Splines more than just a smooth interpolator. *Geoderma*, 62: 45-67.
- [22]. McKee, T.B. Doesken, N.J. and Kleist, J. (1993). The Relationship of Drought Frequency and duration to Time Scales. In: Eighth Conference on Applied Climatology, January.17-22 Boston, USA, pp. 179-184.
- [23]. Paulo, A.A., Ferreira, E. Coelho, C., and Pereira, L.S. (2005). Drought class transition analysis through Markov and Loglinear models, an approach to early warning. *Agricultural Water Management*, 77: 59-81.
- [24]. Tsakiris, G., Pangalou, D., and Vangelis, H. (2007). Regional Drought Assessment Based on the Reconnaissance Drought Index (RDI). *Water Resour Manage*, 21: 821-833.
- [25]. Akhtari, R., Mahdian, M.H., and Morid, S. (2007). Assessment of spatial analysis of SPI and EDI drought indices in Tehran province. *Iran-Water Resources Research*, 2(3): 27-38.
- [26]. Alijani, B. (1995). *Climate of Iran*. Piame Noor University, Tehran.