

جنگل و فرآورده‌های چوب، مجله منابع طبیعی ایران
دوره ۶۹، شماره ۱، بهار ۱۳۹۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۰/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۲/۱۹

ص ۱۲۱-۱۳۱

استفاده از نمایه‌های آناتومی چوب برای بررسی تأثیر اقلیم

بر درختان توسکای قشلاقی

(مطالعه موردی: پارک جنگلی آستارا)

- ❖ **رضا اولادی***؛ استادیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران
- ❖ **سعیده نصیریانی**؛ کارشناس ارشد، بیولوژی و آناتومی چوب، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران
- ❖ **افشین دانه‌کار**؛ دانشیار، گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران
- ❖ **کامبیز پورطهماسی**؛ استاد، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران

چکیده

با آنکه در سال‌های اخیر، پژوهشگران به بررسی تأثیر سطح تراز آب زیرزمینی بر رویش قطری توسکای قشلاقی توجه نشان داده‌اند، تفسیر دقیق این نتایج به بررسی اثر مستقل عوامل اقلیمی بر پهنای حلقه رویش و دیگر ویژگی‌های آناتومی چوب این گونه نیاز دارد. از این رو در این پژوهش، نحوه تأثیر عوامل اقلیمی بر رویش درختان و ویژگی‌های آوندی توسکای قشلاقی در رویشگاه پارک جنگلی شهرستان آستارا بررسی شد. در این رویشگاه، ۱۱ اصله درخت انتخاب شد و پس از آماده‌سازی‌های اولیه، مقطع عرضی دو یا سه باریکه مغز به پوست هر درخت اسکن شد. پس از تمایز حلقه‌های رویشی، با استفاده از نرم‌افزار پردازش تصویر، پهنای حلقه رویشی و چند ویژگی آوندی در ۲۰ حلقه رویشی آخر هر درخت اندازه‌گیری و ارتباطشان با عوامل مختلف اقلیمی در دوره‌های ماهیانه، فصلی و سالیانه بررسی شد. نتایج نشان داد که در بازه‌های بلندمدت، تنها اندازه آوندها همبستگی معنی‌داری با متغیرهای آب‌وهوایی دارد. در این رویشگاه، بارندگی موجب بزرگ‌تر شدن اندازه آوندها می‌شود و افزایش شدت تبخیر آب، اندازه آوندها را کاهش می‌دهد. به‌علت نبود گرایش سنی در سری‌های زمانی ویژگی‌های آوندی و همبستگی‌های بیشتر و قوی‌تر این ویژگی‌ها (به‌خصوص اندازه و فراوانی آوندها) با تغییرات ماهیانه اقلیمی، استفاده از این ویژگی‌ها در پژوهش‌های اقلیم‌شناسی درختی بر روی این گونه پیشنهاد می‌شود.

واژگان کلیدی: اقلیم، آناتومی چوب، پهنای حلقه رویش، ویژگی‌های آوندی.

مقدمه

نورپسند است که رشد سریعی دارد، ولی سن دیرزیستی آن کم است. از آنجا که این گونه، پیشرو بوده و قابلیت رشد در کنار آبگیرها و دشت‌های سیلابی را دارد، تاکنون چندین پژوهش در جهان برای بازسازی تغییرات سطح تراز آبی دریاچه‌ها در گذشته با استفاده از تغییرات پهنای حلقه این درختان انجام گرفته است [۴-۸]. با این حال احتمالاً به دلیل تداخل تأثیر عوامل آب‌وهوایی، نتایج این پژوهش‌ها به‌طور معمول متفاوت یا متناقض بوده‌اند. از این‌رو، پژوهشی که نقش مستقل عوامل اقلیمی بر رویش توسکای قشلاقی را تبیین کند به تفسیر نتایج پژوهش‌های هیدرولوژی کمک خواهد کرد. با این حال، پژوهش‌های مستقلی که به تأثیر عوامل آب‌وهوایی بر پهنای حلقه رویش بپردازند به‌مراتب کمترند یا اصلاً وجود ندارند. این اطلاعات برای فهم اکولوژی این گونه خزان‌کننده و تأثیرات کوتاه‌مدت تغییرات اقلیمی بر آن ضروری است [۶، ۷]. علاوه‌بر این، به‌تازگی، به ویژگی‌های آوندی این گونه نیز توجه شده و با استفاده از اندازه و تعداد آوندهای چوبی، رخدادهای زمین‌ریخت‌شناسی یا هیدرولوژی منطقه رویشی بررسی و بازسازی شده‌اند [۹]؛ اما تأثیر مستقل اقلیم بر این نمایه‌های آناتومی چوب در جنس توسکا تا کنون بررسی نشده و ظرفیت این ویژگی‌ها برای بررسی اثرهای اقلیمی همچنان نامشخص است. به‌دلیل رطوبت‌پسندی بسیار این جنس و قدرت زیاد آن در جذب آب، می‌توان فرض کرد که ویژگی‌های آوندی این گونه، در مناطقی که سطح تراز آبی پایین‌تر است، متأثر از عوامل اقلیمی و به‌خصوص بارندگی یا رطوبت خاک باشد. از این‌رو، در این پژوهش تلاش شد تأثیر عوامل اقلیمی بر تغییرات پهنای حلقه رویش در این گونه بررسی شده و همچنین همبستگی‌های احتمالی

عوامل مؤثر بر رشد درخت را می‌توان به دو دسته کلی عوامل اقلیمی و غیراقلیمی تقسیم کرد. برخی از مهم‌ترین عوامل اقلیمی عبارت‌اند از دما، بارندگی، نور خورشید و رطوبت نسبی؛ عامل‌های غیراقلیمی نیز عبارت‌اند از سن درخت، تفاوت‌های ژنتیکی، رقابت بین درختان، فعالیت‌های انسانی و غیره. از منظری دیگر، می‌توان عوامل مؤثر بر رویش درختان را به دو گروه بیرونی و درونی نیز تقسیم کرد. به‌هرروی، برهم‌کنش پیچیده‌ای بین مجموعه این عوامل، فرایندهای فیزیولوژی درخت را در کنترل دارد و بدین‌سان، نرخ رویش و دیگر ویژگی‌های بافت چوبی هر حلقه رویشی را تعیین می‌کند. برای بررسی ارتباط عوامل اقلیمی و رشد درختان، از پهنای حلقه رویشی استفاده می‌شود و بر این اساس تاکنون اطلاعات ارزشمندی در مورد اقلیم گذشته در نقاط مختلف زمین حاصل آمده است؛ برای مثال، تغییرات در بارندگی و دمای تابستان اروپای مرکزی در طی ۲۵۰۰ سال گذشته با استفاده از این شیوه‌ها بازسازی شده‌اند [۱]. از دهه ۷۰ میلادی و با پیشرفت فناوری‌های دیجیتال و اندازه‌گیری‌های خودکار، استفاده از ساختارهای آناتومی چوب در علوم گاه‌شناسی و اقلیم‌شناسی درختی اهمیت یافته است [۲، ۳]. نمایه‌های آناتومی چوب و به‌خصوص ویژگی‌های آوندی مانند اندازه و تعداد آوندها، اطلاعات بیشتری درباره شرایط محیطی در اختیار می‌گذارد؛ اطلاعاتی که ممکن است تنها با مطالعه پهنای حلقه‌های رویشی به‌دست نیایند [۳].

توسکای قشلاقی (*Alnus glutinosa*) گونه‌ای

مواد و روش‌ها

منطقه تحقیق

شهرستان آستارا در غربی‌ترین منطقه استان گیلان واقع شده است. پارک جنگلی بی‌بی یانلو واقع در روستای بی‌بی یانلو به وسعت ۱۵۱۲ هکتار، جزء جنگل‌های هیرکانی غربی و جنگل‌های میان‌بند محسوب می‌شود که در ضلع جنوب غربی و در فاصله ۵ کیلومتری آستارا واقع شده است. آستارا با در حدود ۱۲۰ روز بارش میانگین سالانه از نقاط پربارش کشور محسوب می‌شود. آب و هوای آستارا معتدل و مرطوب و مجموع بارندگی سالانه آن ۱۳۲۸ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه آن ۱۵/۴ درجه سانتی‌گراد است (ایستگاه هواشناسی آستارا، دوره ۱۳۹۱-۱۳۶۵). میانگین رطوبت نسبی سالانه در این منطقه ۷۹ درصد اندازه‌گیری شده است (ایستگاه هواشناسی آستارا، دوره ۱۳۹۱-۱۳۷۰). بیشینه دمای ماهیانه ثبت شده در این منطقه ۳۳/۱ درجه سانتی‌گراد (تیر ۱۳۸۹) و کمینه دمای ماهیانه ثبت شده در آن ۰/۷ - درجه سانتی‌گراد (دی ۱۳۸۶) بوده است (ایستگاه هواشناسی آستارا، دوره ۱۳۹۱-۱۳۷۱).

ویژگی‌های آوندی درختان توسکا با عوامل اقلیمی چون بارندگی و دما در یک منطقه جنگلی تبیین شود. پهنای حلقه‌های رویش و نمایه‌های آناتومی این گونه ممکن است هر کدام به عامل یا عواملی ویژه وابسته باشند. بنابراین، پرسش دیگر پژوهش این است که آیا ویژگی‌های آوندی این گونه اطلاعات متفاوتی نسبت به پهنای حلقه رویش در خود ذخیره می‌کنند یا خیر؟

کمابیش در همه پژوهش‌های گاه‌شناسی درختی، ارتباط اقلیم و متغیرهای آناتومی چوب (پهنای حلقه رویش، ویژگی‌های آوندی آن حلقه و ...) با استفاده از ضرایب همبستگی بررسی می‌شوند. با این حال بازه‌های زمانی داده‌های آب و هوایی مورد استفاده برای اعمال این همبستگی‌ها متفاوت‌اند؛ در بسیاری از موارد، این داده‌ها به شکل میانگین/مجموع ماهیانه استفاده می‌شود؛ اما گاهی داده‌های فصلی و سالیانه و گاهی ترکیبی از این بازه‌ها به کار گرفته می‌شود. کیفیت نتایج حاصل از این شیوه‌ها ممکن است متفاوت باشد. هدف پایانی پژوهش این است که سه شیوه معمول‌تر همبستگی ماهیانه، فصل رویشی و سالیانه با نمایه‌های رشد بررسی و مقایسه شود تا مشخص شود کدام یک از این شیوه‌ها برای بررسی ارتباط اقلیم و رویش در این گونه مناسب‌تر است.



شکل ۱. موقعیت منطقه تحقیق؛ نقطه سیاه منطقه نمونه‌برداری را در رویشگاه پارک جنگلی نشان می‌دهد

نحوه انتخاب درختان و نمونه‌برداری

در آبان ۱۳۹۱، تعدادی از درختان توسکا در منطقه تحقیق توسط اداره منابع طبیعی شهرستان آستارا قطع شدند. از بین درختان قطع شده، ۱۱ درخت قطور با تنه استوانه‌ای برگزیده شدند. درختان گزینش شده تقریباً در یک منطقه و با فاصله کمی از هم قرار داشتند (طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۴۷ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۲۶ دقیقه شمالی و ارتفاع ۲۷ متر بالاتر از سطح دریای آزاد؛ شکل ۱) و میانگین قطر یقه آنها بین ۳۵ تا ۵۰ سانتی‌متر بود. پس از انتخاب درختان مورد نظر، در آذر ۱۳۹۱، دیسک‌هایی به ضخامت ۱۰ سانتی‌متر از منطقه یقه کنده‌های باقی‌مانده تهیه شد و پس از کدگذاری به دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران انتقال یافت. میانگین سن درختان گزینش شده 24 ± 3 سال بود.

نحوه آماده‌سازی نمونه‌ها

سطح دیسک‌های تهیه‌شده از درختان رویشگاه پارک جنگلی به‌وسیله سنباده برقی صیقل داده شد تا ناهمواری‌های شدید حاصل از ااره‌نواری از بین رود. پس از سنباده‌زنی سطح دیسک‌ها، در هر دیسک، سه راستا انتخاب و بریده شد. با توجه به دایره‌ای نبودن سطح مقطع، تلاش شد تا کوتاه‌ترین و بلندترین راستای مغز تا پوست تعیین شوند. این دو راستا به ترتیب به عنوان راستای آلفا (α) و بتا (β) نام‌گذاری شدند. راستای سوم که حد واسط این دو بود نیز با عنوان گاما (γ) علامت‌گذاری شد. از هر یک از این راستاها، دو باریکه متوالی A و B تهیه شد (در مجموع شش باریکه از هر دیسک؛ شکل ۲). این باریکه‌ها زیر استریومیکروسکوپ بررسی شدند تا حدود مرز

حلقه‌های رویش در آنها مشخص شوند. سپس این باریکه‌ها توسط اسکالپر به قطعاتی متوالی با طولی بین ۳ تا ۵ سانتی‌متر تقسیم شدند (شکل ۳). با استفاده از میکروتوم، مقطع‌های عرضی از این قطعات تهیه و رنگ‌آمیزی شده و بر روی لام میکروسکوپی تثبیت شدند. برش‌های میکروتومی سبب صاف شدن سطح این باریکه‌ها شد و پس از خشک شدن آنها، با استفاده از شیوه گچ سفید و ماژیک سیاه، حفره‌های آوندی به‌رنگ سفید و بافت زمینه به‌رنگ سیاه درآمدند. در نهایت مقطع عرضی این نمونه‌ها با قدرت تفکیک dpi ۴۸۰۰ اسکن شدند (شکل ۳). برای تشخیص مرز حلقه‌های رویشی، مقایسه‌ای بین تصاویر اسکن‌شده و تصاویر متناظر میکروسکوپی انجام گرفت. پس از تمایز حلقه‌های رویشی، اندازه‌گیری‌ها با نرم‌افزار Image J انجام گرفت.

اندازه‌گیری ویژگی‌های آناتومی حلقه رویش

تصاویر حاصل از اسکن باریکه‌ها به نرم‌افزار Image J منتقل شد و پس از اعمال مقیاس آنها و ویرایش‌های مقدماتی، محدوده مناسبی از یک حلقه رویش که شامل تعداد مناسبی آوند باشد از حلقه رویشی بررسی شده انتخاب شد. مساحت محدوده آنالیزشده در هر حلقه رویشی بین ۰/۵ تا ۲ میلی‌متر مربع بود. در این پژوهش، با استفاده از این نرم‌افزار، ویژگی‌های زیر در ۲۰ حلقه رویشی آخر هر درخت اندازه‌گیری شد:

- پهنای حلقه رویشی: در سه تا پنج نقطه از یک حلقه رویشی، خطی در امتداد اشعه‌ها و عمود بر مرز حلقه‌های رویشی رسم شده و میانگین آنها به‌عنوان پهنای حلقه رویشی آن حلقه گزارش شد؛ (mm)
- میانگین اندازه آوندها: مجموع مساحت آوندها

اطلاعات میانگین درجه حرارت ماهیانه، میانگین رطوبت نسبی ماهیانه، مجموع بارندگی ماهیانه، میانگین ساعات آفتابی ماهیانه و میانگین تبخیر ماهیانه از ایستگاه هواشناسی آستارا برای سال‌های ۱۳۷۳ تا ۱۳۹۱ گردآوری شد. ایستگاه هواشناسی آستارا در طول جغرافیایی ۲۲' ۳۸° شمالی و عرض جغرافیایی ۵۱' ۴۸° شرقی واقع شده و ارتفاع از سطح دریای آن ۲۱ متر پایین‌تر از سطح دریاهای آزاد است. علاوه بر داده‌های ماهیانه، برای برآورد میانگینی سالیانه از متغیرهای اقلیمی ذکر شده در بالا، به‌جای سال تقویمی از سال رویشی استفاده شد. بدین شکل که برای میانگین‌گیری و ارائه کمیت‌های سالیانه، سه ماه پیش از فصل رویش (ابتدای دی تا انتهای اسفند) و شش ماه فصل رویش (ابتدای فروردین تا انتهای شهریور) لحاظ شدند. به‌عبارت دیگر، میانگین درجه حرارت سالیانه، میانگین رطوبت نسبی سالیانه، میانگین ساعت‌های آفتابی سالیانه و میانگین تبخیر سالیانه با میانگین‌گیری از داده‌های متناظر ماهیانه بین ماه‌های دی تا شهریور محاسبه شدند و مجموع بارندگی ماهیانه برابر است با مجموع بارندگی‌ها در این ماه‌ها.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

سری‌های زمانی ویژگی‌های آناتومی بررسی شده برای دوره زمانی ۱۳۷۳-۱۳۹۱ ترسیم شدند. درختان در جوانی قدرت رویشی بیشتری دارند و به‌طور معمول پهن‌ترین حلقه‌های رویشی در این دوران شکل می‌گیرند. زیاد بودن پهنای حلقه‌های رویشی نخستین در مقایسه با حلقه‌های بعدی، موضوعی ژنتیکی است و در نتیجه در برآورد تأثیر عوامل اقلیمی بر پهنای حلقه رویشی انحراف ایجاد می‌کند. به این دلیل، دو

در محدوده آنالیز شده / تعداد آوندها در آن محدوده؛ (μm^2)

- تعداد آوند در واحد سطح: تعداد آوند شمارش شده در محدوده آنالیز شده / مساحت محدوده آنالیز شده؛ ($1 / \text{mm}^2$)

- تخلخل حلقه: مجموع مساحت آوندها در محدوده آنالیز شده / مساحت محدوده آنالیز شده؛ (%) روند تغییرات پهنای حلقه‌های رویشی به‌دست‌آمده از سه راستا (باریکه) هر درخت با هم مقایسه شدند. درختانی که تغییرات پهنای حلقه رویشی آنها دست‌کم در دو راستا از سه راستای اندازه‌گیری شده تطابق خوب و همبستگی زیاد (ضریب همبستگی بیش از ۰/۷) نشان دادند باقی ماندند و درختانی که در هیچ یک از سه راستا تطابق خوبی نداشتند از محاسبات بعدی حذف شدند. بدین‌سان، از ۱۱ درخت، ۸ درخت باقی‌مانده و ۳ درخت حذف شدند. در مرحله بعد، با میانگین‌گیری از پهنای حلقه رویش در دو یا سه راستای همخوان هر درخت، برای هر درخت یک روند تغییر پهنای حلقه رویش برای دوره بیست‌ساله ساخته شد. آنگاه همخوانی این روند تغییرات بین هشت درخت مقایسه شد. در این مرحله نیز، یک درخت به‌دلیل ناهمخوانی با بقیه درختان حذف شد و در نهایت با میانگین‌گیری از پهنای حلقه رویشی هفت درخت باقی‌مانده، سری زمانی پهنای حلقه رویشی برای آن رویشگاه محاسبه و ترسیم شد. برای میانگین‌گیری از ویژگی‌های آوندی و ترسیم سری زمانی این ویژگی‌ها نیز تنها این هفت درخت لحاظ شدند.

داده‌های اقلیمی استفاده شده

برای بررسی تأثیر پارامترهای آب و هوایی بر پهنای حلقه رویشی و ویژگی‌های آوندی گونه توسکا،

سری زمانی این ویژگی‌ها، در چنین پژوهش‌هایی نکته مفیدی است و این احتمال را که این ویژگی‌ها بیشتر متأثر از عوامل خارجی باشند افزایش می‌دهد.

جدول ۱ ارتباط بین عوامل اقلیمی و ویژگی‌های آناتومی را - در بازه‌های سالانه و فصلی - نشان می‌دهد. همان‌طور که در جدول مشخص است، به غیر از اندازه آوندها، هیچ‌یک از ویژگی‌های آناتومی همبستگی معنی‌داری با متغیرهای آب و هوایی در این بازه‌ها نشان نداد. به‌طور خاص و به‌عنوان پرسش این پژوهش، ارتباطی بین تغییرات پهنای حلقه‌های رویش و عوامل اقلیمی یافت نشد. در پژوهش‌هایی که ارتباط تغییرات پهنای حلقه‌های رویشی توسکا با عوامل بیرونی بررسی شده، نتایج متفاوتی به دست آمده است [۴-۸]. علی‌رغم این اختلافات، بیشتر پژوهش‌های مذکور بر این نکته تأکید دارند که حساسیت رشد قطری درختان توسکا به تغییرات سالیانه آب و هوایی در رویشگاه‌های مختلف تفاوت دارد و به‌شدت متأثر از سطح آب زیرزمینی یا دوری و نزدیکی درختان به منبع آبی است [۵، ۷]، به‌طوری‌که در مناطقی که سطح آب زیرزمینی عمیق‌تر یا دسترسی درخت به آب کمتر است، رشد درخت بیشتر تحت تأثیر تنش‌های خشکی قرار می‌گیرد [۶]. از این رو، عدم ارتباط کلی پهنای حلقه‌های رویش و عوامل اقلیمی ممکن است نشان‌دهنده نبود تنش خشکی در رویشگاه بررسی شده باشد. علاوه بر این، ممکن است برهم‌کنشی از این متغیرهای آب و هوایی بر رشد شعاعی اثرگذار بوده باشد [۱۰]، به‌نحوی که اثر مستقل هر یک از این متغیرهای اقلیمی را پوشانده باشد. برای مثال، نشان داده شده است که شاخص

تا پنج حلقه‌ی نخست نزدیک مغز درختان در نظر گرفته نشد. علاوه بر این، به‌طور معمول در پژوهش‌های این‌چنینی گرایش سنی از سری زمانی پهنای حلقه‌های رویش حذف می‌شوند^۱ که در این پژوهش نیز چنین شد. از آنجا که در سه ویژگی آوندی دیگر، این گرایش سنی مشاهده نشد، این استانداردسازی برای این ویژگی‌ها انجام نگرفت. ارتباط بین عوامل اقلیمی و ویژگی‌های آناتومی - به‌شکل ماهیانه، فصلی و سالیانه - با استفاده از همبستگی اسپیرمن بررسی شد. همبستگی متغیرهای اقلیمی ماهیانه (از فروردین تا شهریور) با هر ویژگی آناتومی با استفاده از نقشه‌های حرارتی^۲ به نمایش درآمد. همه محاسبات آماری با نرم‌افزار IBM SPSS نسخه ۲۰ و رسم نمودارها با نرم‌افزار Microsoft Excel 2010 و Origin Pro 9 انجام گرفت.

نتایج و بحث

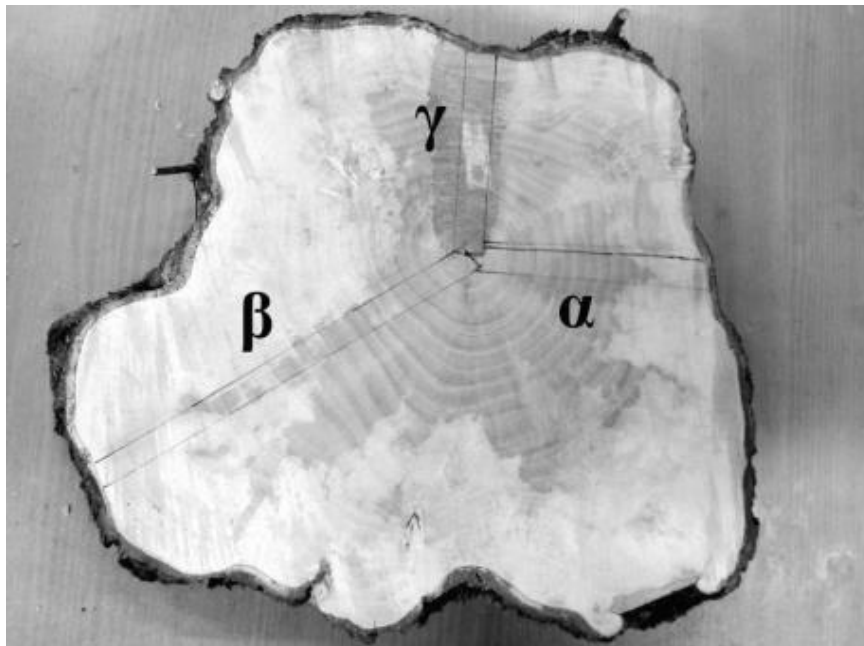
سری زمانی ویژگی‌های آناتومی چوب مورد بررسی برای دوره زمانی ۱۳۹۱-۱۳۷۳ در شکل ۴ نشان داده شده است. با توجه به شکل می‌توان دریافت که روند تغییرات پهنای حلقه‌های رویش کاهشی است. این روند کاهشی ناشی از گرایش سنی است؛ به‌نحوی که درختان در جوانی حلقه‌های پهن‌تری دارند و با ورود به بلوغ، تغییرات اندازه پهنای حلقه‌های رویش در دامنه معینی قرار می‌گیرد. برای بررسی اثر اقلیم بر پهنای حلقه‌های رویش درختان، این گرایش سنی حذف شد. با این حال، در دیگر ویژگی‌های بررسی‌شده، اثری از گرایش سنی دیده نمی‌شود. نبود گرایش سنی در

1. Age Detrending
2. Heat map

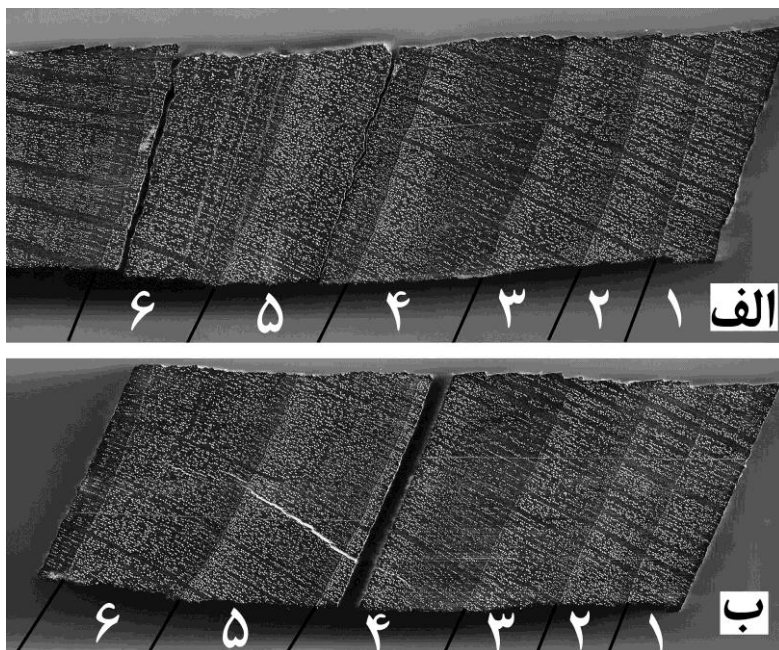
تغرق برگ را افزایش می‌دهد و بنابراین درخت ترجیح می‌دهد آوندهای کوچک‌تری تولید کند. ضرایب همبستگی بین ویژگی‌های آناتومی و متغیرهای ماهیانه آب‌وهوایی ماهیانه نشان داد که در طی فصل رویش، تعداد آوند در واحد سطح، میانگین اندازه آوندها، تخلخل و پهنای حلقه رویش به ترتیب با ۱۱، ۶، ۳ و ۲ همبستگی معنی‌دار، بیشترین تعداد همبستگی معنی‌دار با متغیرهای اقلیمی را دارند (شکل ۵). علاوه بر این، قوی‌ترین و بیشترین تعداد همبستگی‌ها در ماه‌های فروردین و اردیبهشت دیده شدند. بررسی این نتایج و مقایسه آنها با همبستگی‌های متناظر در بازه‌های سالیانه و فصل رویشی نشان داد که احتمال یافتن همبستگی معنی‌دار بین عوامل اقلیمی و متغیرهای آناتومی چوب در بازه‌های زمانی کوتاه‌مدت (ماهیانه) بیشتر است. با این حال، برای یافتن عامل اصلی تأثیرگذار اقلیمی، استفاده از میانگین داده‌های اقلیمی در بازه‌های بلندمدت‌تر (سالیانه) مفیدتر است؛ به طوری که در این پژوهش با استفاده از داده‌های بلندمدت مشخص شد اندازه آوندها، تأثیرپذیرترین ویژگی آناتومی از اقلیم است که به رطوبت (در شکل‌های مختلف آن) وابسته است؛ اما تفسیر تک‌به‌تک همبستگی‌های عوامل اقلیمی با آناتومی در بازه‌های ماهیانه، پیچیده است و گاهی غیرممکن به نظر می‌رسد. علی‌رغم این واقعیت، بررسی ارتباط اقلیم و متغیرهای آناتومی در بازه‌های ماهیانه، می‌تواند در شناخت مهم‌ترین ماه‌های سال برای رشد درخت به ما کمک کند؛ چنانچه در این پژوهش مشخص شد دو ماه فروردین و اردیبهشت حساس‌ترین ماه‌ها برای درختان توسکا هستند و در این ماه‌ها، درختان بیشترین تأثیر را از اقلیم پیرامون می‌گیرند.

شدت خشکی پالمر^۱ نسبت به دما یا رطوبت به‌تنهایی، ارتباط قوی‌تری با پهنای حلقه‌های رشد گونه‌ای از توسکا دارد [۵].

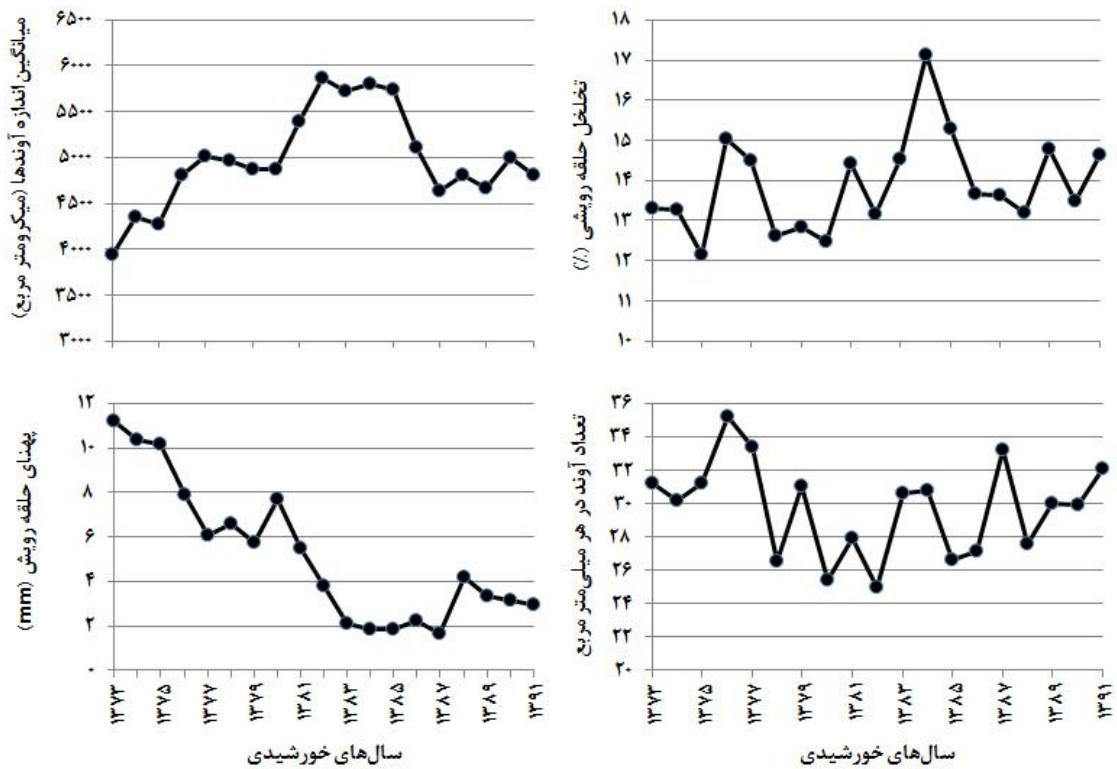
میانگین اندازه آوندها تنها ویژگی‌ای بود که با متغیرهای اقلیمی در بازه‌های سالانه و فصلی همبستگی نشان داد. در تفسیر این که از میان ویژگی‌های آوندی، چرا تنها میانگین اندازه آوندها با پارامترهای اقلیمی همبستگی معنی‌داری دارد باید به این موضوع توجه داشت که در اقلیم‌ها یا گونه‌های مختلف، نوع و شدت ارتباط ویژگی‌های آوندی با عوامل اقلیمی ممکن است متفاوت باشد. در درختان توسکای بررسی شده، اندازه آوندها متأثر از متغیرهای مرتبط با رطوبت (تبخیر و بارندگی) بود، به نحوی که افزایش رطوبت خاک یا هوا (با افزایش بارش)، سبب ایجاد آوندهای درشت‌تری می‌شود و برعکس، افزایش تبخیر به ایجاد آوندهای ریزتری می‌انجامد. در دیگر گونه‌های پراکنده آوند رشدیافته در اقلیم‌های مشابه نیز به‌طور معمول ارتباط مثبتی بین اندازه آوندها و بارندگی / رطوبت دیده شد (برای مثال [۱۱]، [۱۲]). ثابت شده است که در برخی گونه‌ها، دسترسی به آب فراوان با افزایش فشار تورژسانس و گسترش سریع آوندها سبب افزایش اندازه آنها می‌شود [۱۱]. افزون‌بر این، بارندگی بیشتر موجب دسترسی راحت‌تر ریشه‌ها به آب می‌شود و از آنجا که در صورت نبود محدودیت‌های محیطی، درختان به افزایش اندازه آوندها تمایل دارند، میانگین اندازه آوندها افزایش می‌یابد. برعکس، تبخیر زیاد از یک طرف رطوبت خاک را کاهش و از طرف دیگر نرخ



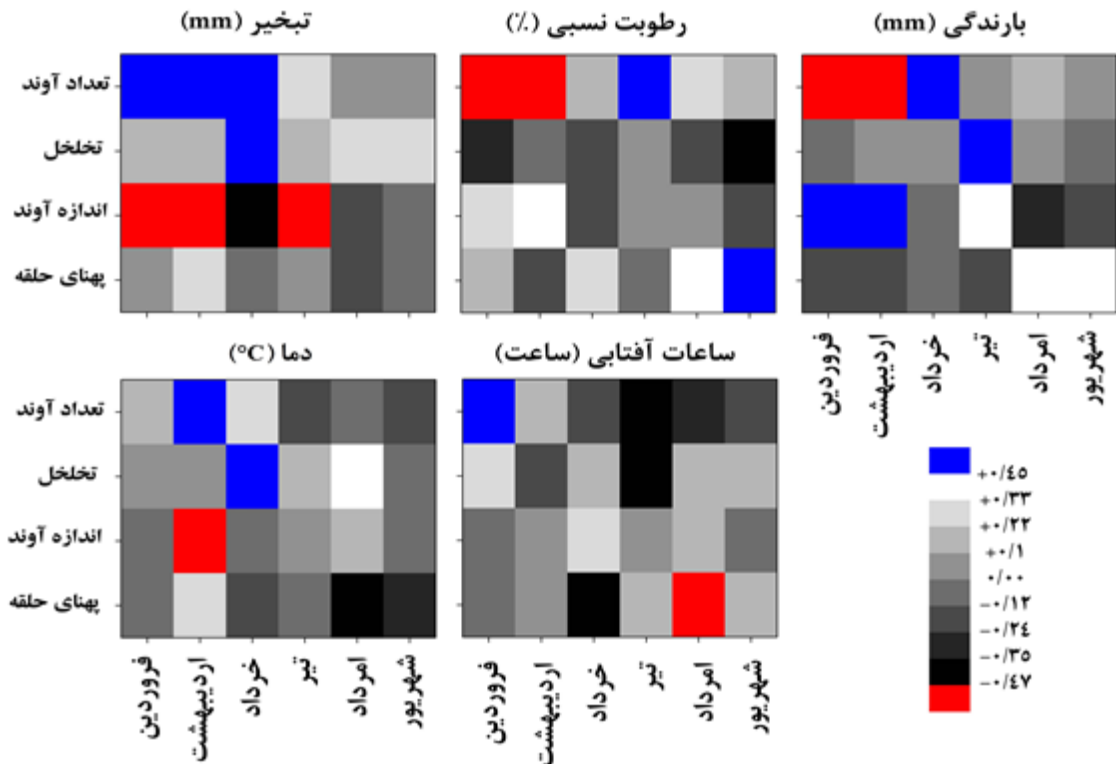
شکل ۲. موقعیت باریکه‌های چوبی پوست تا مغز در دیسک‌ها



شکل ۳. قطعات متوالی دو باریکه چوبی تهیه شده از یک جهت دیسک برای اندازه‌گیری پهناهای حلقه رویش و ویژگی‌های آوندی؛ ویژگی‌های حلقه‌ای که در باریکه بالایی (الف) تکه شده و کامل نیست (حلقه ۶) از روی حلقه متناظر آن در باریکه پایینی (ب) اندازه‌گیری می‌شود و برعکس، دو تکه شدن حلقه شماره ۴ در باریکه پایینی با داشتن تصویری از حلقه کامل متناظر آن در باریکه بالایی جبران می‌شود



شکل ۴. سری زمانی تغییرات پهنای حلقه‌ی رویش و ویژگی‌های آوندی درختان توسکا در سال‌های ۱۳۷۳-۱۳۹۱



شکل ۵. همبستگی متغیرهای اقلیمی ماهیانه در طی فصل رویش (از فروردین تا شهریور) با هر ویژگی آناتومی؛ ترسیم شده با نقشه‌های حرارتی. در این نمودارها، رنگ‌های آبی و قرمز به ترتیب نشان‌دهنده همبستگی معنی‌دار مثبت و منفی دو متغیر با یکدیگرند

جدول ۱. ارتباط عوامل اقلیمی و ویژگی‌های آناتومی در رویشگاه پارک جنگلی. «الف» حالتی است که نه ماه در نظر گرفته شده (سه ماه پیش از فصل رویش و شش ماه دوره رویش) و «ب» حالتی است که تنها داده‌های شش ماه فصل رویش در نظر گرفته شده‌اند. همبستگی‌های معنی‌دار با رنگ خاکستری نشان داده شده‌اند

دما (°C)		رطوبت نسبی (%)		بارندگی		ساعات آفتابی		تبخیر	
الف	ب	الف	ب	الف	ب	الف	ب	الف	ب
-۰/۲۷	-۰/۲۸	۰/۴۳	۰/۳۱	-۰/۰۰	-۰/۰۵	-۰/۴۱	-۰/۳۵	۰/۳	-۰/۰۸
۰/۰۵	-۰/۱۳	۰/۱۱	۰/۲	۰/۴۱*	۰/۴۴	۰/۳۲	۰/۱۵	-۰/۴۹*	-۰/۴۷*
۰/۱۳	۰/۲۶	-۰/۰۹	-۰/۲۸	۰/۱	۰/۲۹	۰/۰۹	۰/۰۶	۰/۱۱	۰/۳۹
-۰/۱۳	۰/۱۸	-۰/۱۸	-۰/۰۴	-۰/۰۳	-۰/۱۶	-۰/۰۴	-۰/۰۴	۰/۳۱	۰/۳۶

*معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد

نتیجه‌گیری

اندازه‌گیری تغییرات پهنای حلقه رویشی است. در نهایت، انتخاب بازه زمانی مناسب برای ارتباط دادن عوامل اقلیمی با رویش، بسته به هدف پژوهش متفاوت است؛ برای یافتن اثر اقلیمی غالب، بازه‌های بلندمدت‌تر (سالانه) توصیه شده، درحالی که بازه‌های ماهیانه، جزئیات بیشتر و در عین حال پیچیده‌تر و مبهم‌تری از این نحوه ارتباط به دست می‌دهند.

در مجموع می‌توان نتیجه گرفت که در این گونه/رویشگاه، ارتباط مستحکمی بین پهنای حلقه و عوامل اقلیمی معمول وجود ندارد، اما ویژگی‌های آوندی این گونه اطلاعات متفاوتی نسبت به پهنای حلقه رویش در خود ذخیره می‌کنند و برای بررسی تأثیر عوامل محیطی بر این درختان، بررسی ویژگی‌های آوندی (به‌خصوص اندازه آوندها) مفیدتر یا مکمل

References

- [1]. Speer, J.H. (2010). *Fundamentals of Tree-Ring Research*. The University of Arizona Press, Tucson. 368 pp.
- [2]. Eckstein, D., and Frisse, E. (1982). The Influence of Temperature and Precipitation on Vessel Area and Ring Width of Oak and Beech. In: Hughes, M.K., Kelly, P.M., Pilcher, J.R., LaMarche, V.C.(eds) *Climate From Tree Rings*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 12–13.
- [3]. Fonti, P., von Arx, G., Garcia-Gonzalez, I., Elimann, B., Sass-Klaassen, U., Gartner, H., and Eckstein, D. (2010). Studying global changes through investigation on the plastic responses of xylem anatomy in tree rings. *New Phytologist*, 185: 42–63.
- [4]. Laganis, J., Pečkov, A., and Debeljak, M. (2008). Modeling radial growth increment of black alder (*Alnus glutionsa* (L.) Gaertn.) tree. *Ecological Modelling*, 215 (1–3):180-189.
- [5]. Nossov, D.R., Ruess, R.W., and Hollingsworth, T.N. (2010). Climate sensitivity of thinleaf alder growth on an interior Alaskan floodplain. *Ecoscience*, 17 (3):312-320.
- [6]. Elferts, D., Dauškane, I., Usele, G., and Treimane, A. (2011). Effect of water level and climatic factors on the radial growth of black alder. In: *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences, Section B: Natural, Exact, and Applied Sciences*, 65 (5-6):164-169.
- [7]. Rodríguez-González, P.M., Campelo, F., Albuquerque, A., Rivaes, R., Ferreira, T., and Pereira, J.S. (2014). Sensitivity of black alder (*Alnus glutinosa* [L.] Gaertn.) growth to hydrological changes in wetland forests at the rear edge of the species distribution. *Plant Ecology*, 215 (2):233-245.
- [8]. van der Maaten, E., Buras, A., Scharnweber, T., Simard, S., Kaiser, K., Lorenz, S., van der Maaten-Theunis-sen, M., and Wilmking, M. (2014). Dendrochronology and lakes: using tree-rings of alder to reconstruct lake levels. In: *Geophysical Research Abstracts (EGU General Assembly)*. April 27 - May 2, Vienna, Austria, pp. 2014-2549.
- [9]. Arbellay, E., Stoffel, M., and Bollschweiler, M. (2010). Wood anatomical analysis of *Alnus incana* and *Betula pendula* injured by a debris-flow event. *Tree Physiology*, 30 (10):1290-1298.
- [10]. Seo, J.W., Eckstein, D., Jalkanen, R., and Schmitt, U. (2011). Climatic control of intra- and inter-annual wood-formation dynamics of Scots pine in northern Finland. *Environmental and Experimental Botany*, 72 (3):422-431.
- [11]. Sass, U., and Eckstein, D. (1995). The variability of vessel size in beech (*Fagus sylvatica* L.) and its ecophysiological interpretation. *Trees*, 9:247–25.
- [12]. Pourtahmasi, K., Lotfiomran, N., Brauning, A., and Parsapajouh, D. (2011). Tree-ring width and vessel characteristics of oriental beech (*Fagus Orientalis*) along an altitudinal gradient in the caspian forests, northern Iran. *IAWA Journal*, 32 (4):461-473.