

اعتبارسنجی چهار نمایه‌ی خشکسالی هواشناسی بر اساس حلقه‌های رشد درختان غیر مثمر (مطالعه‌ی موردی مشهد)

وحید یزدانی^{۱*}، کامران داوری^۲، بیژن قهرمان^۳، حمید زارع ایبانه^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۸/۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۳/۲

چکیده

مدیریت منابع آب و برنامه‌ریزی آن بطور فزاینده‌ای تحت تأثیر تغییرات آب و هوایی، بخصوص در مناطق خشک و نیمه خشک، می‌باشد. جامعه‌ی آماری مورد استفاده شامل بارندگی فصلی و سالانه با طول گروه آماری ۲۰ ساله براساس توصیه‌های سازمان جهانی هواشناسی، و سن درختان، مورد سنجش بود. بدین ترتیب، با مشارکت دادن طول مناسبی از گروه داده‌ها و ۵ مکان در مشهد (آبقد، طرقيه، زشک، طرق، و اولنگ) و سه گونه درخت در تحلیل خشکسالی، اریبی زمانی و مکانی گروه داده‌ها حذف گردید. گفتنی است که نیاز آبی درختان انتخاب شده تنها به‌وسیله‌ی بارندگی تأمین می‌شده، و به هیچ عنوان تحت آبیاری نبوده‌اند. در مقیاس فصلی نتایج تمامی شاخص‌ها به جز RAI، از نظر تعداد تقریباً مشابه یکدیگر، لکن در مقیاس سالانه، نتایج سه شاخص SPI، Z و RAI با اندک تفاوت جزئی به یکدیگر نزدیک، ولی متفاوت از شاخص PNPI می‌باشند. به نظر می‌رسد PNPI در برآوردهای سالانه شاخص مناسبی نبوده و افزایش بازه‌ی زمانی سبب اختلال در برآوردهای PNPI می‌شود. نتایج حاکی از همبستگی زیاد بین مقدار شاخص‌های خشکسالی و ضخامت حلقه‌های رشد در فصل‌های بهار و زمستان نسبت به سایر موارد می‌باشند. باید اشاره داشت که پاسخ درخت بید به تغییرات بارش نسبت به دو درخت راش و تبریزی بهتر بوده، و با نوسان‌های بارش بیش‌تر همخوانی دارد. نتایج به خوبی نشان می‌دهند که شاخص‌های مورد مطالعه روند همسویی را در رابطه با ضخامت حلقه‌های رشد دارند. براین مبنا، تمامی شاخص‌ها تقریباً ۸ خشکسالی را با شدت‌های گوناگون برای دوره‌ی مورد مطالعه نشان می‌دهند، لکن شاخص SPI طی دوره‌ی مورد مطالعه، خشکسالی‌هایی را با شدت‌های کمتری نسبت به دیگر شاخص‌ها نشان داده است، که می‌تواند توجیه‌گر افزایش ضخامت نسبی حلقه‌های رشد در آن سال‌ها باشد، زیرا افزایش ضخامت حلقه‌ها به مراتب تابع طبیعت در ریزش‌های حجمی و متناسب با نیاز آبی گیاه است.

واژه‌های کلیدی: حلقه‌های رشد، خشکسالی، مشهد، شاخص خشکسالی

^۱ - دانشجوی دکتری مهندسی آب دانشگاه فردوسی مشهد

^۲ - دانشیار گروه مهندسی آب دانشگاه فردوسی مشهد

^۳ - استاد دانشگاه فردوسی مشهد

^۴ - دانشیار دانشگاه بوعلی سینا همدان

* - نویسنده مسئول مقاله: v.yazdani@yahoo.com

مقدمه

خشکسالی در وضعیتی خارج از شرایط اقلیمی طبیعی اتفاق می‌افتد. علاوه بر کم بودن بارندگی، نوسانهای شدید بارندگی در مقیاسهای روزانه، فصلی و سالانه از جمله ویژگیهایی می‌باشند که موجب عدم اطمینان کافی نسبت به دریافت کمترین بارش مورد نیاز جهت مصارف کشاورزی، تغذیه جریانهای سطحی، سفره آبهای زیرزمینی و مصارف انسانی می‌شوند. بطور کلی، پراکندگی جغرافیایی مجموع درصد خشکسالی‌های به‌وقوع پیوسته در نواحی جنوبی و شرقی کشور از گستردگی زیادتری برخوردار است، و هر چه از بخشهای جنوبی و مرکزی کشور فاصله گرفته می‌شود، شدت و فراوانی خشکسالیها نیز کاهش می‌یابد (یزدانی و همکاران، ۱۳۹۰). دلیل این امر، تأثیر سامانه‌های پرفشار جنب حاره‌ای است که مقادیر بارندگی بخشهای جنوبی و شرقی کشور را نسبت به بخشهای شمالی و غربی بطور محسوس کاهش داده و مانع از تأثیر سیستم‌های شمالی و غربی به این مناطق می‌شود (یزدانی و همکاران، ۱۳۹۰). وقوع خشکسالی از ویژگیهای اصلی آب و هوایی ایران محسوب می‌شود، که هم در قلمرو آب و هوای مرطوب و هم خشک قابل مشاهده است. ویژگیهای خشکسالی ایران نشان می‌دهند که بطور کلی هیچ منطقه‌ای از کشور از این پدیده در امان نبوده، و به نسبت موقعیت طبیعی خود اثرهای این پدیده ویرانگر را تجربه می‌کنند. بخشهای جنوبی، شرقی و مرکزی کشور، به علت نوسانهای بیشتر در مقادیر بارندگی، از آسیب‌پذیری زیادتری برخوردارند (کردوانی، ۱۳۸۰).

ترتیب وقوع خشکسالی به این صورت است که در ابتدا خشکسالی هواشناسی پدیدار شده، سپس به ترتیب کشاورزی، آبشناسی و اقتصادی - اجتماعی به وقوع می‌پیوندد (فاضلی، ۱۳۹۰). از دیدگاه کشاورزی، زمانی که رطوبت خاک از نیاز واقعی محصول کمتر بوده و منجر به زیان در محصول شود، خشکسالی اتفاق افتاده است. خشکسالی تقریباً همه‌ی ساز و کارهای رشد گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد، هرچند پاسخ به تنش خشکی، بستگی به شدت، سرعت، طول دوره‌ی تنش و مرحله‌ی رشدی گیاه دارد. گیاهان بر اثر تنش خشکی، علاوه بر واکنشهای

زیستی، تغییرات ریخت‌شناسی را نیز از خود نشان می‌دهند (تدین، ۱۳۸۸).

بنابراین، مفهوم خشکسالی از دیدگاه کشاورزی برای محصولات مختلف یکسان نمی‌باشد. خشکسالی کشاورزی معمولاً بعد از خشکسالی هواشناسی و قبل از خشکسالی آبشناسی اتفاق افتاده، و کشاورزی معمولاً اولین بخش اقتصادی است که تحت تأثیر این پدیده قرار می‌گیرد. خشکسالی کشاورزی، اثرات و ویژگیهای مختلف خشکسالی هواشناسی یا آبشناسی را به این پدیده مرتبط می‌سازد، بویژه کمبود بارش، اختلاف بین تبخیر-تعرق واقعی و بالقوه، کمبود رطوبت خاک، افت سطح آب زیرزمینی یا مخزن و ۰۰۰ از این جمله است (لارچر، ۲۰۰۳). ۷۵-۹۵٪ از بافتهای گیاهی را شامل می‌شود (اشرف و هریس، ۲۰۰۶). نیاز آبی گیاه بستگی به شرایط جوی غالب، ویژگیهای زیستی گیاه ویژه، مرحله‌ی رشد آن و ویژگیهای فیزیکی و زیست‌شناسی خاک دارد. زمانی که خشکسالی آغاز می‌شود، بخش کشاورزی، به دلیل وابستگی بیش از حد به ذخیره‌ی رطوبتی خاک، معمولاً نخستین بخشی است که تحت تأثیر قرار می‌گیرد (کردوانی، ۱۳۸۰). طی دوره‌های ممتد خشکی، چنانچه کمبود بارش ادامه یابد، رطوبت خاک به سرعت تخلیه می‌شود؛ در نتیجه، در گیاهان فعال آنزیم نیترات ریداکتاز ۵۰ درصد کاهش می‌یابد. زمانی که بارش به حالت بهنجار بر می‌گردد، و شرایط خشکسالی هواشناسی پایان می‌پذیرد، تا زمان احیای مجدد منابع آبهای سطحی و زیرسطحی، پیامدهای سوء این پدیده ادامه می‌یابد (لارچر، ۲۰۰۳). در ابتدا، ذخایر رطوبت خاک، و به دنبال آن جریانهای سطحی، مخازن و دریاچه‌ها و آبهای زیرزمینی جایگزین می‌شوند. ممکن است اثرات خشکسالی در بخش کشاورزی، به دلیل وابستگی آن به رطوبت خاک، گروهاً از بین برود، لکن در سایر بخشها، که متکی به ذخایر سطحی و یا زیرسطحی آب هستند، تا ماهها یا حتی سالها طول بکشد.

اشرف (۲۰۱۰)، با توجه به محدودیت آب در پاکستان، موقعیت منطقه و عملکرد محصولات، به این نتیجه رسید که می‌توان با تغییر وراثتی در گیاهان با

عملکرد نسبی گندم داشته است، اما شاخص SPI، از نظر شدت خشکسالی‌های برآوردی، با شاخص زراعی عملکرد نسبی همخوانی بهتری را داشت (زارع ایبانه و همکاران، ۱۳۸۸). وینسنت و همکاران (۲۰۰۹) از داده‌های ثبت شده طی یک دوره‌ی ۱۰ ساله در سطح ۷۰ هکتار در سوماترا برای بررسی حساسیت گونه‌های مختلف درختان جنگلی مرطوب استوایی به نوسان اطلس جنوبی (ENSO) مربوط به خشکسالی‌های (۱۹۹۴، ۱۹۹۷ و ۲۰۰۲) استفاده کردند. نتایج آنها حاکی از حساسیت همه‌ی گونه‌های درختی به خشکسالی است؛ البته، دامنه‌ی پاسخ به خشکی تابع نوع گونه و سن درختان بوده، بطوری‌که درختان بزرگتر حساسیت کمتری را به خشکسالی داشتند. آنها، همچنین اشاره کردند که پاسخ به شرایط خشکی به‌صورت کاهش در قطر حلقه‌های رشد سالانه می‌بوده و این کاهش در سالهایی با ۶ ماه بارش کمتر از ۵۰ میلی‌متر در ماه تا ۸۰ درصد کمتر نسبت به سالهای بهنجار می‌باشد، زیرا بنابر نظر بورچت (۱۹۹۸)، درختان با یک نرخ ثابت رشد نکرده، و رشد آنها تابع شرایط جوی می‌باشد.

در اکثر گونه‌های درختان ضخامت حلقه‌های رشد سالانه وابسته به اندازه‌ی بارش، و یا توزیع بارش در سال می‌باشد (اسشونگرت و همکاران، ۲۰۰۶). در حقیقت، در اقلیمهای مرطوب هم، زمانی که بارش کمتر از تبخیر-تعرق بالقوه گردد، خشکسالی خفیف رخ داده و به ندرت در این مناطق شاهد خشکسالی شدید خواهیم بود (والش و نیوبری، ۱۹۹۹)، ضمن این‌که میزان تاثیر خشکسالی بر درختان تابع شدت آن می‌باشد. در خشکسالی‌های طولانی، کل جمعیت درختان، به احتمال زیاد، دچار محدودیتهای آبی خواهند شد، اما ممکن است درختان بطور فردی حساسیت بیشتر یا کمتری داشته باشند. به این دلیل که از دید زیستی خاص گونه با خشکی تطابق یافته، و یا به دلیل ویژگیهای خاص در زمان خشکسالی همانند قدرت، اندازه تاج و یا دسترسی به منبع آب دایمی می‌باشد (نیوبری و لینگنفلدر، ۲۰۰۹). گورین و تیلور (۲۰۰۵)، برای بررسی تاثیر خشکسالی بر الگوهای اخیر مرگ و میر درختان میوه مخروطی در جنگلهای پارک ملی یوسمیتی، واقع در کوههای سیرا، نوادا، در

خشکسالی مبارزه کرد و اثرات آن را کاهش داد، و بطور کلی، دامنه‌ی تغییرات خشکسالی را کمتر زیانبار کرد. یزدانی و همکاران (۱۳۸۸)، در بررسی تاثیر خشکسالی هواشناسی بر تبخیر-تعرق گیاه مرجع نشان دادند که خشکسالی در مقیاس سالانه تأثیر چندانی بر تغییرات تبخیر-تعرق ندارد، در حالی‌که در مقیاس فصلی خشکسالی تأثیر معنی‌داری بر تغییرات تبخیر-تعرق گیاه مرجع دارد. یار احمدی و نصیری (۱۳۸۳)، با استفاده از شبیه پانل، ارتباط بین فراسنجهای اقلیمی و عملکرد گندم دیم را مشخص کردند. نتایج بدست آمده از شبیه تلفیقی پانل نشان دادند که ۷۱/۵۷ درصد از تغییرات عملکرد گندم دیم (متغیر وابسته) به‌وسیله‌ی متغیرهای مستقل تبیین می‌گردند. همچنین، تعیین کردند که ارتباط بسیار قوی بین فراسنجهای اقلیمی استفاده شده در شبیه و عملکرد محصول وجود دارد. مظفری و قائمی (۱۳۸۱) نشان دادند که به‌رغم تأمین شدن کمترین بارش مورد نیاز سالانه‌ی گندم دیم در سطح منطقه، به علت عدم توزیع مناسب آن در طول سال زراعی، نیاز آبی گندم دیم بطور کامل تأمین نمی‌شود. در مطالعه‌ی دربندی و همکاران (۱۳۸۶) شاخص عملکرد نسبی محصول را طی ۳۰ سال گذشته در منطقه‌ی تبریز، و برای زراعت گندم دیم، تعیین کردند. مقایسه‌ی ضرایب تبیین شبیه بارندگی کل و عملکرد نسبی محصول (۰/۴۰۸)، همچنین بارندگی در مراحل مختلف رشد و عملکرد نسبی (۰/۸۳)، نشان داد که در نظر گرفتن توزیع بارندگی در مراحل مختلف رشد دقت شبیه را در پیش-بینی عملکرد نسبی محصول افزایش می‌دهد.

زارع ایبانه و همکاران (۱۳۸۸) برای سنجش خشکسالی هواشناسی در استان همدان از شاخص معیار بارش^۱ (Z)، ناهنجاری بارش^۲، بارش معیار شده^۳ و درصدی از بهنجار (PNPI) استفاده کردند؛ این پژوهش بر اساس بارشهای فصلی و سالانه‌ی ۱۵ ایستگاه هواشناسی استان همدان طی دوره‌ی آماری ۳۱ ساله (۱۳۸۴-۱۳۵۴) انجام شد. نتایج نشان دادند که شاخصهای Z، RAI و SPI روندی همسو با شاخص زراعی

^۱-Z score

^۲-standard precipitation index

^۳- rainfall anomaly index

سطح دریا ۹۸۵ متر، و فاصله‌ی آن از تهران ۹۶۶ کیلومتر است (ابراهیمی و یزدانی، ۱۳۹۰). برای مطالعه‌ی خشکسالی هواشناسی در مشهد، با انتخاب داده‌های ماهانه‌ی اندازه‌گیری و ثبت شده‌ی بارش در این ایستگاه نسبت به استخراج مقادیر فصلی و سالانه‌ی آنها اقدام شد. لذا، جامعه‌ی آماری مورد استفاده شامل بارندگی فصلی و سالانه با طول گروه آماری ۲۰ ساله، براساس توصیه‌های سازمان جهانی هواشناسی و سن درختان مورد سنجش بود (علیزاده، ۱۳۸۴). محققان، تعداد داده‌ها را در یافته‌ها و نتایج فرضیه‌ی تحقیق موثر می‌دانند؛ بدین ترتیب با مشارکت دادن طول مناسبی از گروه داده‌ها و ۵ مکان در مشهد در تحلیل خشکسالی، آریبی زمانی و مکانی گروه داده‌ها حذف گردیدند. میانگین فصلی و سالانه فراسنجهای هواشناسی ایستگاه سینوپتیک مشهد طی دوره‌ی مورد مطالعه در جدول ۱ آمده‌اند. همان‌طور که در جدول ۱ نیز مشاهده می‌شود، بیشتر بارشها در فصل زمستان بوده، و مطابق با زمان خواب درختان است. تغییرات فراسنجهای هواشناسی در فصل بهار بیشتر از سایر فصول بوده، ضمن این‌که میانگین سرعت باد نیز در این فصل بیش از سایر فصول است. از دیگر نتایج جدول ۱ می‌توان به تفاوت قابل توجه بین میانگین بارندگی سالانه (۲۴۳/۵ میلی‌متر) اشاره داشت. همچنین، وجود تفاوت بسیار زیاد مقدار بارش در فصول نسبت به هم لزوم بررسی خشکسالی را در مقیاس فصلی مشخص می‌کند.

شمال کالیفرنیا، از درختانی با سن ۸۸ سال استفاده کردند؛ نتایج آنها حاکی از تاثیر خشکسالی در نابودی درختانی که میوه مخروطی دارند بوده است.

خشکسالی، به عنوان بلایی طبیعی و پدیده‌ای اجتناب‌ناپذیر، از دیرباز در پهنه‌ی وسیع کشورهای مختلف بخصوص کشورهای مستقر در مناطق گرم و خشک، به کرات وقوع یافته و می‌یابد. بررسیهای انجام شده نشانگر آنند که کشور ایران، با توجه به وضعیت جغرافیایی و اقلیمی خود، همچون بسیاری از کشورهای منطقه خاورمیانه و شمال آفریقا، در وضعیت مناسبی از لحاظ تأمین آب قرار ندارد؛ لذا، وقوع خشکسالی‌ها در آینده نسبت به گذشته دارای احتمال بیشتری می‌باشد. بخش کشاورزی، با اختصاص بیش از ۹۰ درصد از آب مصرفی کشور، هنگام خشکسالی بیشترین آسیب را خواهد دید؛ لذا، با توجه به آنچه گفته شد، وقوع خشکسالی‌ها در ایران، و بخصوص استان خراسان رضوی، اجتناب‌ناپذیر است. در این راستا، تنها کار مثبت برآورد خشکسالی‌ها، شدت آنها و پیش‌بینی وقوع آنها خواهد بود. بنابراین، در پژوهش حاضر سعی بر آن شده است که عملکرد شاخصهای معیار بارش، ناهنجاری بارش، بارش معیار شده و درصدی از بهنجار در سطح مشهد مورد بررسی قرار گرفته، و بر اساس گروههای بارندگی و قطر حلقه‌های رشد درختان بهترین شاخص انتخاب گردد. گفتنی است که تحقیق حاضر بر اساس بارش ثبت شده در ایستگاه سینوپتیک مشهد، و همچنین داده‌های مربوط به ضخامت حلقه‌های رشد سه نوع درخت غیر مثمر شامل بید، راش و تبریزی، که از ۵ منطقه در اطراف مشهد شامل طرقله، زشک، آبقد، طرق و اولنگ جمع-آوری شده بودند، انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

داده‌های مورد نیاز

شهر مشهد، مرکز استان خراسان رضوی، با ۲۰۴ کیلومتر مربع مساحت، در شمال شرق ایران و در طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۶۰ درجه و ۳۶ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۳ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۸ دقیقه و در حوضه‌ی آبخیز کشف رود، بین رشته کوههای بینالود و هزار مسجد واقع است. ارتفاع شهر از

جدول ۱- میانگین فصلی و سالانه فراسنجهای هواشناسی ایستگاه سینوپتیک مشهد طی دوره‌ی مورد مطالعه.

(۱۳۸۸-۱۳۶۹)

| پارامتر | مقیاس زمانی | میانگین | کمترین | حداکثر | انحراف معیار |
|------------------------------------|-------------|---------|--------|--------|--------------|
| درجه‌ی دما، سانتی گراد | فصل بهار | ۱۸/۳ | ۴/۰ | ۳۳/۵ | ۷/۲ |
| | فصل تابستان | ۲۵/۵ | ۱۱/۰ | ۳۶/۰ | ۶/۶ |
| | فصل پاییز | ۱۱/۵ | ۳/۴ | ۲۹/۰ | ۷/۳ |
| | فصل زمستان | ۵/۵ | -۸/۵ | ۱۷/۵ | ۵/۵ |
| | سالانه | ۱۵/۰ | ۶/۰ | ۲۳/۸ | ۵/۴ |
| بارندگی، میلی متر | فصل بهار | ۲۹/۳ | ۰ | ۱۱۵/۷ | ۲۵/۵ |
| | فصل تابستان | ۱/۷ | ۰ | ۲۶/۰ | ۴/۷ |
| | فصل پاییز | ۱۳/۰ | ۰ | ۴۹/۵ | ۱۳/۲ |
| | فصل زمستان | ۴۲/۳ | ۰ | ۱۳۰/۷ | ۲۵/۷ |
| | سالانه | ۲۴۳/۵ | ۱۳۹/۴ | ۳۶۸/۸ | ۶۶/۰ |
| رطوبت، درصد | فصل بهار | ۵۲/۸ | ۲۹/۰ | ۷۳/۰ | ۱۲/۰ |
| | فصل تابستان | ۳۵/۴ | ۲۰/۰ | ۴۹/۵ | ۶/۵ |
| | فصل پاییز | ۵۶/۰ | ۳۳/۶ | ۸۰/۰ | ۱۱/۳ |
| | فصل زمستان | ۶۷/۷ | ۵۱/۲ | ۷۷/۵ | ۹/۵ |
| | سالانه | ۵۲/۸ | ۴۶/۰ | ۶۱/۳ | ۴/۰ |
| سرعت باد متر بر ثانیه | فصل بهار | ۲/۷ | ۱/۴ | ۳/۷ | ۰/۶۳ |
| | فصل تابستان | ۳/۰ | ۱/۶ | ۴/۶ | ۰/۶۴ |
| | فصل پاییز | ۱/۹ | ۰/۴۵ | ۲/۹ | ۰/۶ |
| | فصل زمستان | ۲/۱ | ۱/۰ | ۳/۱ | ۰/۶ |
| | سالانه | ۲/۳ | ۱/۰ | ۳/۱ | ۰/۶ |
| تبخیر از طشت کلاس A میلی متر | فصل بهار | ۲۰۷/۷ | ۱۰۲/۰ | ۳۵۶/۶ | ۸۷/۴ |
| | فصل تابستان | ۳۴۷/۵ | ۳۱۱/۶ | ۴۱۷/۶ | ۵۴/۲ |
| | فصل پاییز | ۱۷۱/۱ | ۹۱/۶ | ۲۶۱/۰ | ۳۴/۱ |
| | فصل زمستان | ۲/۷ | ۰ | ۵۴/۴ | ۱۱/۰ |
| | سالانه | ۱۷۹۵/۵ | ۵۲۳/۹ | ۲۱۴۴/۴ | ۳۷۰/۰ |

همچنین، به دلیل قابلیت آغشتگی با انواع محلولهای حفاظتی بیشترین گونه‌ی مصرفی در کارخانه‌های اشباع است. چوب گونه تبریزی به رنگ سفید تا کرم روشن است، و اغلب لکه‌های سیاه رنگ و یا قهوه‌ای دارد. چوبی است نسبتاً نرم، سبک که دوام زیادی ندارد و کار با آن آسان است. برای ساختن کاغذ، کبریت، جعبه و ادوات کشاورزی از آن استفاده می‌شود.

لازم به ذکر است که برای کم کردن تاثیر بارندگی در نقاط مختلفی که دارای آمار ثبت شده نبودند از هر نوع درخت ۵ مورد انتخاب شد که در پنج مکان در شهر مشهد رشد کرده بودند (جدول ۳)، اندازه‌گیری ضخامت حلقه‌های رشد درختان برای دقت بیشتر با

اطلاعات مربوط به سن و ضخامت حلقه‌های رشد گیاهان نیز از تعداد ۳ نوع درخت غیر مثمر شامل راش^۱، بید و تبریزی با دوره‌ی آماری ۲۰ ساله (سن هر درخت ۲۰ سال می‌باشد) جمع‌آوری گردیدند (جدول ۲). گونه‌ی راش چوبی نیمه سنگین و دارای بافتی همگن و تقریباً مقاوم در برابر حشرات و قارچهاست. گرده بینه‌های درجه‌ی ۱ و ۲ راش در ایران بیشتر به مصرف کارخانه‌های روکش و تخته لایه می‌رسد. به دلیل بافت همگن و درجه‌ی سختی مناسب، این چوب بیشترین تقاضا را برای خرید به منظور تهیه مبلمان در بازار دارد.

^۱ - brich

آبیاری نبوده‌اند. بر اساس نتایج مندرج در جدول ۲، درخت بید دارای بالاترین میانگین ضخامت حلقه رشد در بین دو گونه‌ی دیگر می‌باشد. این بالا بودن ضخامت رشد تحت شرایط یکسان آب و هوایی مربوط به زیست‌شناسی خود درخت بوده که در مقابل کمبود آب آن را مقاومتر از دو گونه‌ی دیگر کرده است.

کاربرد کولیس با دقت ۰/۱ میلی‌متر انجام شد. جدول ۲ نشان دهنده‌ی متوسط قطر حلقه‌های رشد درختان (از نتایج ۵ اندازه‌گیری برای هر درخت متوسط‌گیری شد) فوق می‌باشد. داده‌های مربوط به حلقه‌های رشد به مدت ۲۰ سال در بازه‌ی زمانی داده‌ی اقلیمی بارش بود. گفتنی است که نیاز آبی درختان انتخاب شده تنها به‌وسیله‌ی بارشهای جوی تامین می‌شود، و به هیچ عنوان تحت

جدول ۲- میانگین ضخامت حلقه‌های رشد گیاهان مورد مطالعه بر حسب سانتی‌متر.

| نوع گیاه | متوسط | کمترین | حداکثر | انحراف معیار |
|----------|-------|--------|--------|--------------|
| راش | ۰/۸۲ | ۰/۵ | ۱/۲ | ۰/۱۹ |
| بید | ۱/۰۳۷ | ۰/۵ | ۲ | ۰/۴۱ |
| تبریزی | ۰/۸۵ | ۰/۵ | ۱/۲ | ۰/۲۲ |

جدول ۳- نام و مختصات محل‌های رشد درختان مورد بررسی.

| محل رشد درخت | مختصات | | ارتفاع (متر) |
|-----------------------|---------------|---------------|--------------|
| | طول جغرافیایی | عرض جغرافیایی | |
| طرقبه | ۵۹ ۳۵ | ۳۶ ۳۳ | ۱۳۵۷ |
| زشک | ۵۹ ۲۰ | ۳۶ ۳۵ | ۲۱۸۰ |
| آبقد | ۵۹ ۴۹ | ۳۶ ۷۰ | ۱۵۵۰ |
| طرق | ۵۸ ۴۲ | ۳۶ ۵۰ | ۲۰۰۷ |
| اولنگ | ۶۰ ۱۴ | ۳۶ ۶۵ | ۶۸۴ |
| ایستگاه سینوپتیک مشهد | ۵۹ ۳۸ | ۳۶ ۱۶ | ۹۹۹/۲ |

سالانه انجام شد. تمامی شاخصهای به کار گرفته شده اقلیمی بوده و اساس محاسباتی آنها بارش است. در شاخص PNPI، خشکسالی برای مقیاس زمانی سالانه (فصلی) از تقسیم بارندگی هر سال (فصل) آماری بر میانگین دراز مدت به دست می‌آید. به‌کارگیری این روش مستلزم انطباق میانگین بارندگی بر میانه و یا بهنجار بودن توزیع آن است. مقادیر $PNPI > 80$ درصد بیانگر عدم خشکسالی و مقادیر $PNPI \leq 80$ درصد بیانگر خشکسالی، با شدتهای مختلف است (کازمی، ۱۳۸۵). در شاخص توزیع معیار (معیار Z) اختلاف بارش هر دوره‌ی زمانی با میانگین دراز مدت آن نسبت به انحراف معیار نمونه سنجیده می‌شود. بر مبنای این روش، مقادیر $Z > 0.25$ نشان‌دهنده‌ی وضعیت بهنجار، و مقادیر $Z \leq -0.25$ خشکسالی با شدتهای مختلف را نشان می‌دهد. در شاخص بارش معیار شده (SPI)، با محاسبه‌ی تابع احتمال تجمعی داده‌ها از رابطه‌ی ۱ مقدار عددی به

آماده‌سازی داده‌ها

در تحلیل داده‌های فضایی مانند بارش، مفروضات بنیادی نظیر بهنجار بودن، خلاهای آماری و وجود داده‌های پرت (ناهمخوان با سایر داده‌ها) باید مورد بررسی قرار گیرند زیرا تحلیل خشکسالی بر پایه مفروضات فوق بنا نهاده شده است. پیروی داده‌ی اصلی (بارش) از توزیع بهنجار به‌وسیله‌ی آزمون کولموگوروف اسمیرونوف^۱، و همگنی آنها با کاربرد آزمون توالی^۲ بررسی شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

تجزیه و تحلیل داده‌های بارش در ساختار خشکسالی هواشناسی و در قالب شاخصهای درصد بهنجار بارندگی^۳ (PNPI)، توزیع معیار (Z)، بارش معیار شده (SPI) و ناهنجاری بارندگی (RAI) در مقیاس فصلی و

^۱ - Kolmogorov-Smirnov

^۲ - run test

^۳ - percent of normal precipitation index

(۱) $H(x)=q+(1-q)G(x)$
 که در آن: $H(x)$ ، تابع احتمال تجمعی باران، q ، احتمال تجربی بارندگی صفر (معادل نسبت تعداد داده‌های صفر در گروه داده‌ها به تعداد کل داده‌ها) و $G(x)$ تابع توزیع گامای تجمعی است:

عنوان بارش معیار شده از رابطه‌ی ۲ به دست می‌آید. این شاخص حاصل برازش توزیع آماری گاما بر گروه بارندگی، و محاسبه‌ی احتمالات توزیع تجمعی گاما است. در مجموع مقادیر مثبت SPI نشان‌دهنده‌ی بارش بیش از متوسط، و مقادیر منفی آن نشانه‌ی خشکسالی با درجات مختلف است.

$$SPI = \pm \left[t - \frac{C_0 + C_1 t + C_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right] \quad \begin{array}{l} \text{if } : +, \quad 0.5 < H(x) < 1 \quad t = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(1-H(x))^2}\right)} \\ \text{if } : -, \quad 0 < H(x) \leq 0.5 \quad t = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(H(x))^2}\right)} \end{array} \quad (2)$$

رابطه‌ی ۳ اقدام گردید. بر مبنای این روش، مقادیر بیش از $-0/3$ ، نشان‌دهنده‌ی وضعیت بهنجار، و مقادیر $-0/3$ و کمتر از آن خشکسالی با شدت‌های مختلف را نشان می‌دهد (جدول ۴).

$$RAI = -3 * ((P_i - P)/(x - P)) \quad \text{if } : P_i < P \quad (3)$$

$$RAI = 3 * ((P_i - P)/(M - P)) \quad \text{if } : P_i > P$$

که در آن x میانگین ده مورد از کوچکترین مقادیر بارندگی، M میانگین ده مورد از بزرگترین مقادیر بارندگی، P میانگین دراز مدت بارندگی (میانگین سالهای آماری مورد بررسی) و P_i مقادیر بارندگی می‌باشند.

که در آن C ها و D ها ضرایب ثابت معادله و برابر با $C_0=2/515517$ ، $C_1=0/802853$ ، $C_2=0/103228$ و $d_3=0/01308$ و $d_2=0/189269$ ، $d_1=1/432788$ می‌باشند. برای محاسبه‌ی SPI از برنامه رایانه‌ای در محیط ویژوال بیسیک نوشته شده به‌وسیله‌ی زارع‌ایبانه و همکاران (۱۳۸۸) استفاده شد.

در شاخص ناهنجاری بارندگی (RAI)، داده‌ها به صورت نزولی مرتب، سپس میانگین ۱۰ مورد از بزرگترین و ۱۰ مورد از کوچکترین مقادیر بارندگی در طول دوره‌ی آماری می‌توان نسبت به تفسیر خشکسالی از

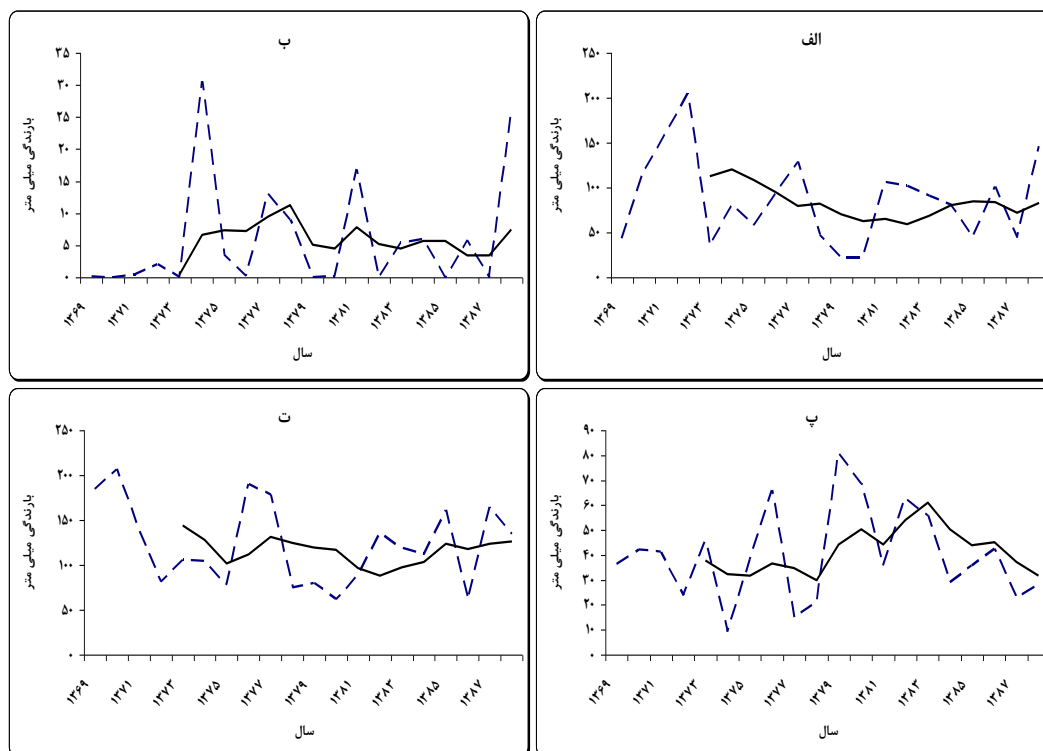
جدول ۴- طبقه بندی شاخص ناهنجاری بارندگی.

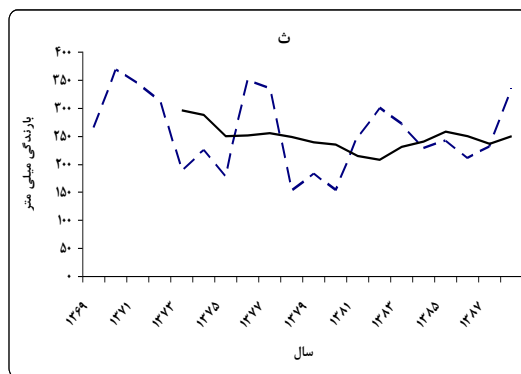
| طبقات شاخص | توصیف و وضعیت |
|--------------------------|--------------------|
| $RAI > -0/3$ | بهنجار |
| $-0/3 \geq RAI > -0/52$ | خشکسالی خفیف |
| $-0/52 \geq RAI > -0/84$ | خشکسالی متوسط |
| $-0/84 \geq RAI > -1/28$ | خشکسالی شدید |
| $RAI \leq -1/28$ | خشکسالی بسیار شدید |

نتایج و بحث

روند تغییرات بارشها در مقیاس زمانی فصلی و سالانه در شکل ۱ نشان داده شده است. بر اساس این شکل، روند بارشها در مقیاس زمانی سالانه و فصلی نزولی بوده و کاهش بارش در فصل پاییز بیشتر از سایر فصول می‌باشد. همان‌طور که در شکل ۱ مشخص است دهه‌ی ۷۰ دارای بیشترین بارشها بوده است، و پس از این دوره روند نزولی بارش آغاز می‌گردد. باید اشاره داشت که روند بارشها در تابستان نسبت به ابتدای شروع دوره افزایشی می‌باشد. بیشترین تغییرات بارش در مقیاس سالانه بوده که بین دو مقدار ۱۴۰ و ۳۶۹ میلی‌متر متغیر است؛ در مقابل، کمترین تغییرات مربوط به فصلهای تابستان و پاییز می‌باشد.

پس از محاسبه‌ی خشکسالی هواشناسی برای تمامی سالهای مورد بررسی، انتخاب شاخصی مناسب اقدام شد. در این خصوص از نتایج هر یک از شاخصهای فوق بر اساس ضخامت حلقه‌های رشد درختان غیر مثمر، در منطقه‌ی مشهد که تحت آبیاری نمی‌باشند استفاده شد. انتخاب فراسنج ارزیابی فوق بدان علت است که ضخامت حلقه‌های رشد این درختان به شکلی مناسب، خصوصیات بارش را نشان می‌دهند، و شاخصهای خشکسالی را می‌توان در ارتباط با رشد درختان یافت (بورچت، ۱۹۹۸ و اسشونگرت و همکاران، ۲۰۰۶). هر چند عملکرد می‌تواند تابع ویژگیهای زیست‌شناسی نوع درخت باشد، اما به میزان بسیار زیاد متأثر از مقدار بارش و به تبع آن خشکسالی است (نیوبری و لینگفلدر، ۲۰۰۴).





شکل ۱- روند تغییرات زمانی بارش در ایستگاه سینوپتیک مشهد از سال ۱۳۶۹ تا ۱۳۸۷، الف) بهار، ب) تابستان، پ) پاییز، ت) زمستان و ث) سالانه، خط منقطع بارش و خط مستقیم میانگین متحرک ۵ ساله است.

دو فصل انتهایی سال نسبت داد. با توجه به بارشهای بسیار کم در فصل تابستان، وقوع خشکسالی‌های خیلی شدید و شدید دور از انتظار نخواهد بود؛ این در حالی است که شاخص Z نتایج متفاوتی از سایر شاخصها دارد؛ لذا، نتایج این شاخص نمی‌تواند دارای صحت خوبی باشد.

خشکسالی هواشناسی

جدول ۴ بیشترین تعداد و درصد خشکسالی‌ها را در فصل تابستان نشان می‌دهد. کمترین تعداد خشکسالی برای شاخص PNPI در مقیاس سالانه، برای شاخص Z فصول بهار و پاییز، برای شاخص SPI در فصل پاییز، و مقیاس سالانه و برای شاخص RAI در فصل بهار بود، ضمن آن که تعداد و نوع خشکسالی‌های فصلی هر شاخص بیشتر و متفاوت از سالانه‌ی همان شاخص است. این نتیجه بیانگر آن است که یک سال خشک می‌تواند متشکل از یک یا چند فصل تر و خشک باشد، که در مقیاس سالانه، اثرات خشکی کاهش می‌یابد، لذا، پایش خشکسالی به صورت فصلی می‌تواند جزئیات کاملتری را نشان دهد. در مقیاس فصلی، نتایج تمامی شاخصها، به جز RAI، از نظر تعداد تقریباً مشابه یکدیگر، لکن در مقیاس سالانه، نتایج سه شاخص Z، SPI و RAI با اندک تفاوت جزئی به یکدیگر نزدیک ولی متفاوت از شاخص PNPI می‌باشند (جدول ۴). به نظر می‌رسد که PNPI در برآوردهای سالانه شاخص مناسبی نیست و افزایش بازه زمانی سبب اختلال در برآوردهای PNPI می‌شود. مشابه چنین نتیجه‌ای از سوی لشنی‌زند و خرمیان (۱۳۸۴)، زارع ایبانه و همکاران (۱۳۸۸) و ویلک و همکاران (۱۹۹۴) نیز گزارش شده است. تمامی شاخصها به جز RAI در مقیاس سالانه کمترین خشکسالی‌ها را از نظر تعداد و شدت نشان دادند، در صورتی که خشکسالی‌های شدیدتر، با تعداد بیشتر در مقیاس فصلی، قابل مشاهده است. علت این امر را می‌توان به ریزشهای حداکثری در

جدول ۴- تعداد خشکسالی‌های به وقوع پیوسته با شدت‌های مختلف به تفکیک شاخص‌های مختلف خشکسالی و در مقیاس زمانی فصلی و سالانه در دوره‌ی مورد مطالعه (۱۳۶۹-۱۳۸۸) - ایستگاه مشهد.

| شاخص | مقیاس زمانی | خفیف | | متوسط | | شدید | | خیلی شدید | | مجموع خشکسالی | |
|------|-------------|-------|------|-------|------|-------|------|-----------|------|---------------|------|
| | | تعداد | درصد | تعداد | درصد | تعداد | درصد | تعداد | درصد | تعداد | درصد |
| SPI | بهار | ۵ | ۲۵ | ۱ | ۵ | ۲ | ۱۰ | ۰ | ۰ | ۸ | ۴۰ |
| | تابستان | ۱ | ۵ | ۰ | ۰ | ۱ | ۵ | ۱۰ | ۵۰ | ۱۱ | ۵۵ |
| | پاییز | ۴ | ۲۰ | ۱ | ۵ | ۱ | ۵ | ۱ | ۵ | ۷ | ۳۵ |
| | زمستان | ۲ | ۱۰ | ۴ | ۲۰ | ۲ | ۱۰ | ۰ | ۰ | ۸ | ۴۰ |
| PNPI | بهار | ۰ | ۰ | ۲ | ۱۰ | ۴ | ۲۰ | ۲ | ۱۰ | ۸ | ۴۰ |
| | تابستان | ۱ | ۵ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۱۱ | ۵۵ | ۱۲ | ۶۰ |
| | پاییز | ۲ | ۱۰ | ۲ | ۱۰ | ۱ | ۵ | ۲ | ۱۰ | ۷ | ۳۵ |
| | زمستان | ۱ | ۵ | ۴ | ۲۰ | ۲ | ۱۰ | ۰ | ۰ | ۷ | ۳۵ |
| Z | بهار | ۰ | ۰ | ۲ | ۱۰ | ۴ | ۲۰ | ۲ | ۱۰ | ۸ | ۴۰ |
| | تابستان | ۲ | ۱۰ | ۱۰ | ۵۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۱۲ | ۶۰ |
| | پاییز | ۱ | ۵ | ۲ | ۱۰ | ۳ | ۱۵ | ۲ | ۱۰ | ۸ | ۴۰ |
| | زمستان | ۳ | ۱۵ | ۱ | ۵ | ۳ | ۱۵ | ۲ | ۱۰ | ۹ | ۴۵ |
| RAI | بهار | ۲ | ۱۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۸ | ۴۰ | ۱۰ | ۵۰ |
| | تابستان | ۱ | ۵ | ۰ | ۰ | ۱ | ۵ | ۱۱ | ۵۵ | ۱۳ | ۶۵ |
| | پاییز | ۱ | ۵ | ۱ | ۵ | ۲ | ۱۰ | ۷ | ۳۵ | ۱۱ | ۵۵ |
| | زمستان | ۱ | ۵ | ۱ | ۵ | ۰ | ۰ | ۹ | ۴۵ | ۱۱ | ۵۵ |
| | بهار | ۱ | ۵ | ۱ | ۵ | ۰ | ۰ | ۹ | ۴۵ | ۱۱ | ۵۵ |
| | تابستان | ۱ | ۵ | ۱ | ۵ | ۰ | ۰ | ۹ | ۴۵ | ۱۱ | ۵۵ |
| | پاییز | ۱ | ۵ | ۱ | ۵ | ۰ | ۰ | ۹ | ۴۵ | ۱۱ | ۵۵ |
| | زمستان | ۱ | ۵ | ۱ | ۵ | ۰ | ۰ | ۹ | ۴۵ | ۱۱ | ۵۵ |

بارش‌های زمستانه را در خود جای داده است، بر همین اساس، ضریب همبستگی در این فصل نیز همانند بهار، که مصادف با بارشها و رشد درخت است، قابل توجه می‌باشد. ضریب همبستگی در مقیاس سالانه در اغلب موارد بیشتر از مقدار این ضریب در فصول تابستان و پاییز می‌باشد، دلیل این امر نیز به دلیل تجمع بارندگی‌های تمام فصول در مقیاس سالانه است. همان‌طور که در جدول ۴ نیز مشخص گردیده است، بیشترین ضریب همبستگی مربوط به شاخص SPI بوده، ضمن این‌که نتایج سایر شاخصها به مقدار نتایج شاخص SPI نزدیک می‌باشند.

ضریب همبستگی بین بارندگی، شاخص‌های خشکسالی و مقدار ضخامت حلقه‌های رشد درختان در جدول ۴ نشان داده شده است. شایان ذکر است که از هر نوع درخت پنج نمونه انتخاب گردید و از داده‌های اندازه‌گیری شده برای هر درخت میانگین‌گیری شد. همان‌طور که در جدول ۴ نیز مشخص است، مقدار ضریب همبستگی در فصل بهار بیشتر از سایر فصول می‌باشد، ضمن این‌که در اغلب اوقات ضریب همبستگی در فصول بهار و زمستان در سطح ۹۵ درصد معنی دار هستند. در مقابل، در فصول تابستان و پاییز، نتایج معنی دار نبوده و در اغلب موارد در این دو فصل مقدار این ضرایب نزدیک به هم می‌باشند. دلیل کم بودن این ضرایب را می‌توان به بارش‌های کم فصل تابستان و ریزش برگها و متوقف شدن رشد درختان در زمان بارش‌های فصل پاییز ذکر کرد. با توجه به آب و هوای مشهد، شروع رشد درختان از اواخر زمستان بوده، و در این زمان هنوز خاک رطوبت ناشی از

جدول ۴- ضریب همبستگی بین ضخامت حلقه‌های رشد با بارندگی و مقدار شاخصهای خشکسالی در مقیاس زمانی سالانه و فصلی.

| RAI شاخص | Z شاخص | PNPI شاخص | SPI شاخص | بارندگی | مقیاس زمانی | نوع درخت |
|----------|--------|-----------|----------|---------|-------------|----------|
| ۰/۴۷* | ۰/۴۲ | ۰/۴ | ۰/۴۱ | ۰/۴ | سالانه | |
| ۰/۶۵* | ۰/۶ | ۰/۶۵* | ۰/۷۲* | ۰/۶۵* | فصل بهار | |
| ۰/۲ | ۰/۲۴ | ۰/۳ | ۰/۳۱ | ۰/۳ | فصل تابستان | راش |
| ۰/۳۴ | ۰/۳۲ | ۰/۳۲ | ۰/۳۱ | ۰/۳۲ | فصل پاییز | |
| ۰/۵* | *۰/۵۲ | ۰/۵۴* | ۰/۵۷* | ۰/۵۴* | فصل زمستان | |
| ۰/۴ | ۰/۳۵ | ۰/۳۵ | ۰/۳۷ | ۰/۳۵ | سالانه | |
| ۰/۶۲* | ۰/۶* | ۰/۶۳* | ۰/۶۸* | ۰/۶۳* | فصل بهار | |
| ۰/۲۴ | ۰/۲۹ | ۰/۲۴ | ۰/۳۵ | ۰/۲۴ | فصل تابستان | تبریزی |
| ۰/۳ | ۰/۲۹ | ۰/۲۶ | ۰/۲۸ | ۰/۲۶ | فصل پاییز | |
| ۰/۵۱* | ۰/۴۷* | ۰/۴۷* | ۰/۵* | ۰/۴۷* | فصل زمستان | |
| ۰/۴ | ۰/۳۶ | ۰/۳۳ | ۰/۳۲ | ۰/۳۳ | سالانه | |
| ۰/۶۸* | ۰/۶۳* | ۰/۶۴* | ۰/۷* | ۰/۶۴* | فصل بهار | |
| ۰/۳ | ۰/۲۲ | ۰/۲۱ | ۰/۲۷ | ۰/۲۱ | فصل تابستان | بید |
| ۰/۲۲ | ۰/۲۳ | ۰/۲۲ | ۰/۲۹ | ۰/۲۲ | فصل پاییز | |
| ۰/۴۱ | ۰/۴۸* | ۰/۳۸ | ۰/۴۷* | ۰/۳۸ | فصل زمستان | |

* معنی داری در سطح ۹۵ درصد

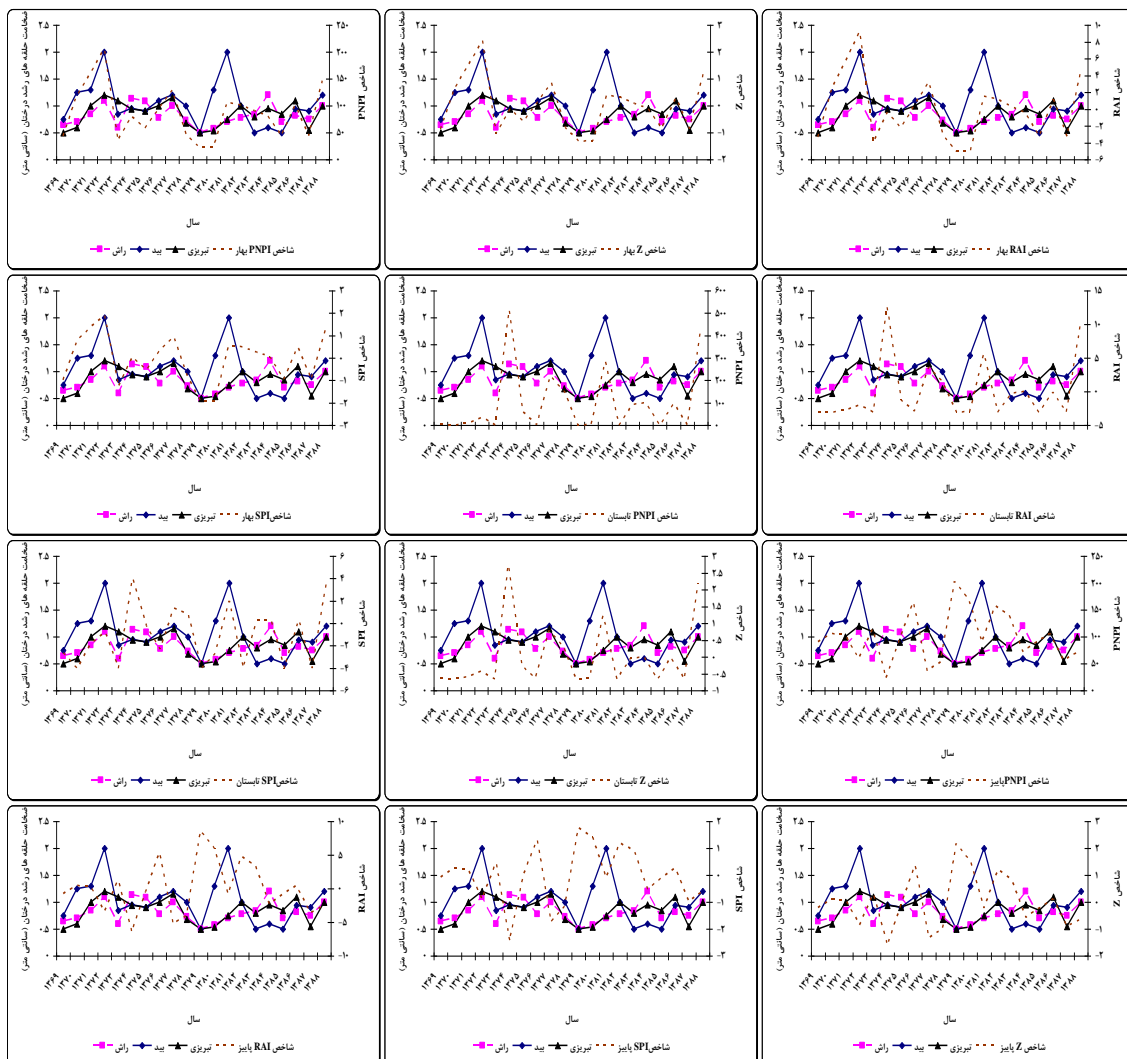
بررسی عملکرد شاخص‌های خشکسالی

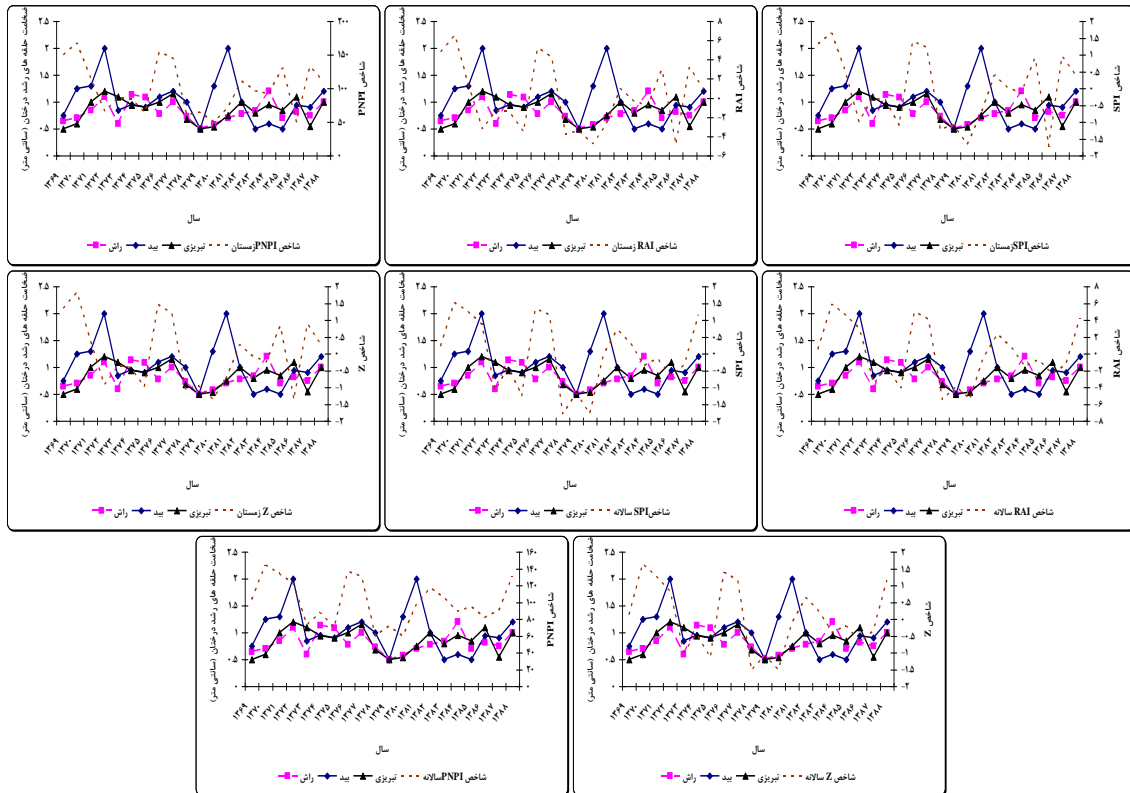
نتایج مربوط به روند تغییرات مقدار شاخصهای خشکسالی و ضخامت حلقه‌های رشد درختان راش، بید و تبریزی در شکل ۲ نشان داده شده‌اند. نتایج موجود در شکل ۲ نیز تصدیق کننده‌ی نتایج جدول ۴ می‌باشند. روند خاصی بین مقادیر شاخصها و ضخامت حلقه‌های رشد در فصل تابستان مشاهده نمی‌شود، و تنها در برخی سالها، که بارندگی در این فصل زیاد بوده، روند مثبت و معنی داری بین بارش و ضخامت حلقه‌ها وجود دارد. همانند نتایج جدول ۴، نتایج شکل ۲ حاکی از همبستگی زیاد بین شاخصهای خشکسالی و ضخامت حلقه‌های رشد در فصل بهار و زمستان نسبت به سایر موارد می‌باشد. باید اشاره داشت که پاسخ درخت بید به تغییرات بارش نسبت به دو درخت راش و تبریزی بهتر بوده، و با نوسانهای بارش بیشتر همخوانی دارد. تاثیر بیشتر بارش‌های فصل بهار بر ضخامت حلقه رشد نیز به‌وسیله‌ی اسویت و همکاران (۲۰۰۸) بیان شده است. در همین راستا، با تیپاگلیا و همکاران (۲۰۰۹) به تأثیر زیاد بارش در دوره‌ی اول فصل رشد، یعنی اوایل بهار، بر رشد

سالانه و ضخامت حلقه‌ها اشاره کرده‌اند. همچنین، آنها بیان داشتند که تنش خشکسالی در تابستان تاثیر بسزایی بر ضخامت حلقه‌های رشد درختان ندارد. شکل ۴ به خوبی نشان می‌دهد که شاخصهای مورد مطالعه روند همسویی را در رابطه با ضخامت حلقه‌های رشد دارند، زیرا تمامی شاخصهای انتخابی از نوع اقلیمی بوده و برتری ذاتی نسبت به یکدیگر ندارند. برای مبنای تمامی شاخصها، تقریباً ۸ خشکسالی را با شدتهای مختلف برای دوره‌ی مورد مطالعه نشان می‌دهند. لکن، شاخص SPI طی دوره‌ی مورد مطالعه، خشکسالی‌هایی را با شدتهای کمتری نسبت به دیگر شاخصها نشان داده است، که می‌تواند توجیه‌گر افزایش ضخامت نسبی حلقه‌های رشد در این سالها باشد، زیرا افزایش ضخامت حلقه‌ها به مراتب تابع طبیعت در ریزشهای حجمی و متناسب با نیاز است. برتری شاخص SPI نسبت به سایر شاخصهای خشکسالی در تحقیقات لشنی‌زند و تلوری (۱۳۸۴) و مقدسی و همکاران (۱۳۸۴)، اختیری و همکاران (۱۳۸۵) و زارع ابیانه و همکاران (۱۳۸۸) نیز بیان شده است. از طرفی، در جدول ۳ نشان داده شده

میل می‌کند. شاید بتوان گفت که شاخص RAI با لحاظ دامنه‌ی بارش‌های حداکثر و کمترین، بیشتر برای نشان دادن بزرگی تغییرات و خطرات ناشی از شرایط حدی باشد. آنچه مسلم است تغییر در بسامد و شدت رویدادهای حدی، آثار شدیدتری بر فعالیت‌های انسانی و محیط زیست نسبت به تغییرات در متوسط اقلیمی در کوتاه مدت دارد (IPCC, 2007). به این ترتیب، می‌توان شاخص RAI را مناسب مناطق یا فصول دارای نوسانهای اقلیمی دانست. نتایج موجود در شکل ۲ نشان دادند که تاثیر بارندگی در اوایل سالهای رشد، به دلیل توسعه نیافتن ریشه‌ها بر درختان بیشتر بوده، و با افزایش سن درخت، و توسعه‌ی بیشتر سامانه‌ی ریشه، این تأثیر کمتر می‌شود.

است که شاخص Z هیچ‌گاه خشکسالی شدید و بسیار شدید را برای فصل تابستان نشان نداده است. شاید این نتیجه قدری دور از واقعیت باشد، زیرا بر مبنای جدول ۱ منطقه‌ی مشهد از بارشهای فصل تابستان بی‌بهره است، که دلیلی بر وجود خشکسالی شدید یا بسیار شدید می‌باشد. از طرفی، شاخص RAI بیشتر مشابه شبیه‌های اقلیمی است که سعی دارند با لحاظ تغییرات حدی خشکسالی را برآورد نمایند و تغییرات در میانه‌ها را در نظر نمی‌گیرند. در حالی که روند تغییرات کوچک در شرایط میانه است که منجر به تغییرات بزرگ در فراوانی رویدادهای حدی می‌شود (تقوی و محمدی، ۱۳۸۶)؛ لذا، در صورت افزایش تغییرات مثبت یا منفی در میانه، شاخص RAI به سمت شدتهای زیاد ترسالی یا خشکسالی





شکل ۲- روند تغییرات مقدار شاخصهای خشکسالی و ضخامت حلقه‌های رشد درختان راش، تبریزی و بید به تفکیک مقیاس زمانی فصلی و سالانه.

سبب اختلال در برآوردهای PNPI می‌شود. مشابه چنین نتیجه‌ای از سوی لشنی‌زند و خرمیان (۱۳۸۴)، زارع ابیانه و همکاران (۱۳۸۸) و ویلک و همکاران (۱۹۹۴) نیز گزارش شده است. با توجه به بارشهای بسیار کم در فصل تابستان، وقوع خشکسالی‌های خیلی شدید و شدید دور از انتظار نخواهد بود، این در حالی است که شاخص Z نتایج متفاوتی را از سایر شاخصها دارد؛ لذا، نتایج این شاخص نمی‌توانند دارای صحت خوبی باشند.

ضریب همبستگی بین شاخصهای خشکسالی و ضخامت حلقه‌های رشد در فصل بهار بیشتر از سایر فصول است، ضمن این‌که در اغلب اوقات، ضریب همبستگی در فصول بهار و زمستان در سطح ۹۵ درصد معنی‌دارند. در مقابل در فصول تابستان و پاییز نتایج معنی‌دار نبوده و در اغلب موارد در این دو فصل مقدار این ضرایب نزدیک به هم می‌باشند. دلیل کم بودن این ضرایب را می‌توان به بارشهای کم فصل تابستان، ریزش برگها و متوقف شدن رشد درختان در زمان بارشهای فصل پاییز ذکر کرد. با توجه به آب و هوای مشهد، آغاز

نتیجه‌گیری

نتایج نشان دادند که بیشترین تعداد و درصد خشکسالی‌ها در فصل تابستان بوده است. کمترین تعداد خشکسالی برای شاخص PNPI در مقیاس سالانه، برای شاخص Z فصول بهار و پاییز، برای شاخص SPI در فصل بهار و مقیاس سالانه، و برای شاخص RAI در فصل بهار بود، ضمن آن که تعداد و نوع خشکسالی‌های فصلی هر شاخص بیشتر و متفاوت از سالانه‌ی همان شاخص است. این نتیجه بیانگر آن است که یک سال خشک می‌تواند متشکل از یک یا چند فصل تر و خشک باشد که در مقیاس سالانه از اثرات خشکی کاسته شده باشد. لذا، پایش خشکسالی به صورت فصلی می‌تواند جزئیات کاملتری را نشان دهد. در مقیاس فصلی، نتایج تمامی شاخصها به جز RAI، از نظر تعداد تقریباً مشابه یکدیگر، لکن در مقیاس سالانه نتایج سه شاخص Z، SPI و RAI با اندک تفاوت جزئی به یکدیگر نزدیک، ولی متفاوت از شاخص PNPI است. به نظر می‌رسد در برآوردهای سالانه شاخص مناسبی نیست، و افزایش بازه‌ی زمانی

می‌توان میزان زیان به باغهای تحت کشت دیم را برآورد کرد.

منابع

۱. ابراهیمی، ح.، و. یزدانی. ۱۳۹۰. تعیین تبخیر-تعرق واقعی فضای سبز به وسیله الگوریتم توازن انرژی سطحی برای زمین، گزارش نهایی طرح پژوهشی دانشگاه آزاد مشهد.
۲. اختری، ر.ا.، م.ح. مهدیان، و س. سعید مرید. ۱۳۸۵. تحلیل مکانی شاخصهای خشکسالی SPI و EDI در استان تهران، تحقیقات منابع آب ایران، ۳ (۳): ۲۷-۳۸.
۳. تدین، م.ر. ۱۳۸۸. واکنش‌های زیستی گیاهان به تنش‌های محیطی، انتشارات دانشگاه شهرکرد، ۴۹، ۲۱۳ صفحه.
۴. تقوی، ف.، ح. محمدی. ۱۳۸۶. بررسی دوره بازگشت رویدادهای اقلیمی حدی به منظور شناخت پیامدهای زیست محیطی، مجله محیط شناسی، ۳۳ (۴۳): ۲۰-۱۱.
۵. دربندی، ص.، ف. کاوه، ا. فاخری فرد، ح. صدقی، و غ.ع. کمالی. ۱۳۸۶. معرفی یک شاخص جدید برای ارزیابی شدت خشکسالی کشاورزی بر پایه عملکرد نسبی محصول، مجله علوم کشاورزی، ۱۳ (۱): ۱۰۷-۱۲۳.
۶. زارع‌ابیانه، ح.، و. یزدانی، و خ. اژدری. ۱۳۸۸. مطالعه تطبیقی چهار نمایه‌ی خشکسالی هواشناسی بر پایه عملکرد نسبی محصول گندم دیم در استان همدان. مجله پژوهشی دانشگاه جغرافیای تهران. ۴۱ (۶۹): ۴۹-۳۵.
۷. علیزاده، ا. ۱۳۸۴. اصول هیدرولوژی کاربردی، چاپ ۱۷، مشهد، انتشارات آستان قدس رضوی.
۸. فاضلی خیرآباد، م.ا. ۱۳۹۰. بررسی خشکسالی‌های هواشناسی استانهای خراسان و تاثیر خشکسالی بر عوامل اقلیمی و کشاورزی و پیش‌بینی خشکسالی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی، پایان نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد فردوس.
۹. کاظمی، آ. ۱۳۸۵. ارزیابی شاخصهای خشکی و خشکسالی در شرایط اقلیمی استان همدان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشگاه بوعلی سینا.
۱۰. کردوانی، پ. ۱۳۸۰. خشکسالی و راه‌های مقابله با آن در ایران، چاپ اول، تهران، موسسه انتشارات دانشگاه تهران.

رشد درختان از اواخر زمستان بوده، و در این زمان هنوز خاک رطوبت ناشی از بارش‌های زمستانه را در خود جای داده است؛ بر همین اساس، ضریب همبستگی در این فصل نیز همانند بهار، که مصادف با بارشها و رشد درخت است، قابل توجه می‌باشد. همان‌طور که نتایج نشان دادند، بیشترین ضریب همبستگی مربوط به شاخص SPI بوده، ضمن این‌که نتایج سایر شاخصها به مقدار نتایج شاخص SPI نزدیکند. باید اشاره داشت که پاسخ درخت بید به تغییرات بارش نسبت به دو درخت راش و تبریزی بهتر بوده، و با نوسانهای بارش بیشتر همخوانی دارد.

نتایج به‌دست آمده به خوبی نشان می‌دهند که شاخصهای مورد مطالعه روند همسویی را در رابطه با ضخامت حلقه‌های رشد دارند، زیرا تمامی شاخصهای انتخابی از نوع اقلیمی بوده و برتری ذاتی نسبت به یکدیگر ندارند. براین مبنای، تمامی شاخصها تقریباً ۸ خشکسالی را با شدتهای مختلف برای دوره‌ی مورد مطالعه نشان می‌دهند، لکن شاخص SPI طی دوره‌ی مورد مطالعه، خشکسالی‌هایی را با شدتهای کمتری نسبت به دیگر شاخصها نشان داده است، که می‌تواند توجیه‌گر افزایش ضخامت نسبی حلقه‌های رشد در این سالها باشد، زیرا افزایش ضخامت حلقه‌ها به مراتب تابع طبیعت در ریزشهای حجمی و متناسب با نیاز است. برتری شاخص SPI در تحقیقات لشنی‌زند و تلوری (۱۳۸۴) و مقدسی و همکاران (۱۳۸۴)، اختری و همکاران (۱۳۸۵) و زارع ابیانه و همکاران (۱۳۸۸) نیز بیان شده است. از طرفی شاخص RAI بیشتر مشابه شبیه‌های اقلیمی است، که سعی دارند با لحاظ تغییرات حدی خشکسالی را برآورد نمایند و تغییرات در میانه‌ها را در نظر نمی‌گیرند.

همچنین، نتایج نشان دادند که تاثیر بارندگی در اوایل سالهای رشد به‌دلیل توسعه نیافتن ریشه‌ها، بر درختان بیشتر بوده و با افزایش سن درخت و توسعه بیشتر سامانه‌ی ریشه این تاثیر کمتر می‌شود. این یافته‌ها می‌توانند کمک شایانی را در ارزیابی خشکسالی‌های هواشناسی بر اساس شاخص بهینه (SPI) در منطقه‌ی مشهد و مناطق دارای اقلیم مشابه نموده، و بر این اساس

20. Borchert, R. 1998. Responses of tropical trees to rainfall seasonality and its longterm changes. *Clim. Change* 39: 381–393.
21. Guarin, A. and A.H. Taylor. 2005. Drought triggered tree mortality in mixed conifer forests in Yosemite National Park, California, USA. *For. Ecol. Manage.* 218 : 229–244.
22. IPCC. 2007. *Climate change 2007: Synthesis report*. Intergovernmental Panel on Climate Change. 52.
23. Larcher, W. 2003. *Physiological plant ecology. Ecophysiology and stress, physiology of functional crops*. Further edition. Springer, Verlag Berlin Heidelberg, Germany. 513 P.
24. Newbery, D., and M. Lingenfelder. 2009. Plurality of tree species responses to drought perturbation in Bornean tropical rain forest. *Plant Ecol.* 201: 147–167.
25. Newbery, D.M., and M. Lingenfelder. 2004. Resistance of a lowland rain forest to increasing drought intensity in Sabah, Borneo. *J. Trop. Ecol.* 20: 613–624.
26. Schongart, J., B. Orthmann, K.J. Hennenberg, S. Porembski, and M. Worbes. 2006. Climate-growth relationships of tropical tree species in West Africa and their potential for climate reconstruction. *Global Change Biol.* 12: 1139–1150.
27. Swift, C.C., S.M. Jacobs, and K.J. Esler. 2008. Drought induced xylem embolism in four riparian trees from the Western Cape Province: Insights and implications for planning and evaluation of restoration. *S. Afr. J. Bot.* 74 : 508–516.
28. Vincent, G., H. Foresta, and R. Mulia. 2009. Co-occurring tree species show contrasting sensitivity to ENSO-related droughts in planted dipterocarp forests. *For. Ecol. Manage.* 258 : 1316–1322.
29. Willeke, G., J. Hosking, J. Wallis and N. Guttman. 1994. *The national drought atlas*. Institute for Water Resources Report 94-NDS-4, U.S. Army Corps of Engineers. 587 P.
۱۱. محمدی، ح.، و جاوری، م. ۱۳۸۵. تغییرات زمانی بارش ایران، مجله محیط شناسی، شماره ۴۰: ۸۷-۱۰۰.
۱۲. لشنی زند، م.، و ع.ر. تلوری. ۱۳۸۴. بررسی خشکسالی اقلیمی و امکان پیش‌بینی آن در شش حوضه واقع در غرب و شمال‌غرب ایران، فصل‌نامه تحقیقات جغرافیائی، ۷۳-۷۴: ۸۶-۷۳.
۱۳. مقدسی، م.، ش. بایمزد، و س. مرید. ۱۳۸۴. پایش مکانی خشکسالی سالهای ۱۳۷۸-۱۳۷۷ تا ۱۳۷۹-۱۳۸۰ استان تهران با استفاده از شاخصهای SPI، DI و EDI و سیستم اطلاعات جغرافیائی، فصل‌نامه مدرس علوم انسانی، ۹ (۱): ۱۹۷-۲۲۰.
۱۴. مظفری، غ.ع.، و ه. قائمی. ۱۳۸۱. تحلیل شرایط بارش در سطح نواحی دیم‌خیز شرق کرمانشاه، پژوهش‌های جغرافیائی، ۴۲: ۱۱۹-۱۰۳.
۱۵. یاراحمدی، د.، و ن. نصیری. ۱۳۸۳. به‌کارگیری مدل تلفیقی پانل در ارتباط با میزان عملکرد گندم دیم و فراسنجهای اقلیمی: استان لرستان، فصل‌نامه مدرس علوم انسانی، دوره هشتم، ۴: ۱۷۵-۱۹۰.
۱۶. یزدانی، و.، ح. زارع‌ایبانه، و م. شادمانی. ۱۳۹۰. تحلیل فراوانی و پهنه‌بندی خشکسالی‌های ایران با کاربرد نمایه‌ی شاخص معیار شده بارش، فصل‌نامه مهندسی آب. ۴ (۸): ۳۵-۴۷.
۱۷. یزدانی، و.، ح. بانژاد، و ح. نوری. ۱۳۸۸. تاثیر خشکسالی هواشناسی بر میزان تبخیر-تعرق گیاه مرجع (مطالعه موردی مشهد). دومین همایش ملی اثرات خشکسالی و راهکارهای مدیریت آن. ۳۰-۳۱ اردیبهشت ۸۸- مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان و ستاد حوادث غیر مترقبه استانداری اصفهان.
18. Ashraf, M., and P.J.C. Haris. 2006. *Abiotic stress plant resistance through breeding and molecular approaches*. International Book Distribution Co. Chapman Studio Building, 2nd Floor, Charbagh, Lucknow, India. 725P.
19. Battipaglia, G., M.Saurer, P. Cherubini, T.W. Rolf, R.T.W. Siegwolf, and M.F. Cotrufo. 2009. Tree rings indicate different drought resistance of a native (*Abies alba* Mill.) and a nonnative (*Picea abies* (L.) Karst.) species co-occurring at a dry site in Southern Italy. *For. Ecol. Manage.* 257: 820–828

