

## تأثیر متغیرهای هواشناسی و مقدار باران بر باران‌ریایی کاج تهران و سرو نقره‌ای در منطقه خشک (مطالعه موردی: بیارجمند شاهرود)

حسین باقری<sup>۱</sup> و پدram عطار<sup>۲\*</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد گروه جنگلداری دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

<sup>۲</sup> استادیار گروه جنگلداری دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت: ۸۹/۸/۱۶، تاریخ پذیرش: ۹۰/۶/۲۶)

### چکیده

این پژوهش با هدف اندازه‌گیری مقدار باران‌ریایی و تعیین سهم مهم‌ترین متغیرهای هواشناسی مؤثر و مقدار باران بر مقدار باران‌ریایی گونه‌های کاج تهران (*Pinus eldarica* Medw.) و سرو نقره‌ای (*Cupressus arizonica* Green.) در یکی از جنگلکاری‌های مناطق خشک کشور در شهر بیارجمند استان سمنان با میانگین سالیانه بارندگی، ۱۲۷ میلی‌متر و درجه حرارت ۱۶ درجه سانتی‌گراد، انجام گرفت. مقدار بارندگی با استفاده از سه جمع‌آوری‌کننده نصب‌شده در یک فضای باز، اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری مقدار تاج‌بارش، از هر گونه پنج اصله درخت انتخاب شد و هشت جمع‌آوری‌کننده در زیر هر درخت نصب و اندازه‌گیری‌ها در طول سال ۱۳۸۸ انجام شد. تجزیه ارتباطی مقدار باران و مقادیر روزانه متغیرهای هواشناسی مانند سرعت باد، رطوبت نسبی، تبخیر و درجه حرارت در ارتباط با نسبت باران‌ریایی به باران کل (درصد باران‌ریایی) انجام شد. از مجموع ۲۶ مورد بارندگی در طول دوره اندازه‌گیری، ۴۴/۶ درصد از بارندگی کل برای درختان کاج تهران و ۳۲/۶ درصد از بارندگی کل برای درختان سرو نقره‌ای به صورت باران‌ریایی از دسترس درختان خارج شد و به سطح خاک نرسید. نتایج نشان داد که عامل مقدار باران به‌تنهایی همبستگی به‌نسبت بالایی با مقدار درصد باران‌ریایی در هر دو گونه دارد و به کمک آن می‌توان مقدار باران‌ریایی را با دقت بالایی پیش‌بینی کرد. همچنین نتایج نشان داد که استفاده از متغیرهای هواشناسی مانند درجه حرارت، رطوبت نسبی و تبخیر به بهبود برآورد درصد باران‌ریایی با مدل‌های پیشنهادی کمک می‌کند، بنابراین استفاده از این متغیرها برای تخمین درصد باران‌ریایی به‌ویژه در جنگلکاری‌های شهری با گونه‌های یادشده و جنگلکاری‌های نزدیک ایستگاه‌های هواشناسی در مناطق خشک، توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: مقدار باران، باران‌ریایی، متغیرهای هواشناسی، سرو نقره‌ای، کاج تهران، منطقه خشک.

## مقدمه و هدف

به جز مناطق محدودی در شمال و شمال غرب که اقلیم مرطوب و نیمه مرطوب دارند، تقریباً بقیه سطح کشور به رده سرزمین‌های خشک و نیمه خشک با نزولات جوی بسیار کم تعلق دارد. اگر میانگین بارندگی سالانه سطح کره زمین را که حدود ۸۶۰ میلی‌متر تخمین زده می‌شود با متوسط بارندگی سالانه ایران که تقریباً ۲۴۰ میلی‌متر است، مقایسه کنیم، ملاحظه خواهد شد که بارندگی در ایران حتی کمتر از یک سوم متوسط بارندگی در سطح دنیا است. علاوه بر این زمان ریزش نزولات جوی و محل ریزش آنها نیز با نیاز بخش کشاورزی که مصرف کننده اصلی آب در کشور است، مطابقت ندارد. بسیاری از شهرهای ایران در مناطقی قرار دارند که به رودخانه‌هایی که جریان آب آنها به طور مستقیم از رواناب ناشی از بارش‌ها تأمین شده است، دسترسی ندارند. بنابراین باید پذیرفت که خشکی در ایران یک واقعیت اقلیمی است و باید خود را با آن سازگار کنیم. برای زیستن در خشکی چاره کار شناخت اقلیم و سازگاری با آن است و نه مقابله با آن (علیزاده، ۱۳۸۸).

یکی از راه‌های سازگاری با کم‌آبی استفاده بهینه از منابع آب و افزایش بهره‌وری آب است. باید سعی کرد تا حد ممکن از نزولات جوی، جریان آب‌های سطحی و منابع زیرزمینی و رطوبت خاک به نحو مطلوب و بهینه استفاده شود و این کار بدون شناخت پدیده‌های هیدرولوژیک مرتبط با آنها عملی نخواهد بود (علیزاده، ۱۳۸۸).

اگرچه جنگلکاری در مناطق خشک و نیمه خشک با گونه‌های درختی مناسب می‌تواند به کاهش فرسایش خاک، ایجاد چشم‌انداز، افزایش تثبیت دی‌اکسید کربن، ایجاد بادشکن، ایجاد امکانات تفریحی و در نتیجه کاهش فشار بر روی پوشش‌های طبیعی کمک کند (Huttl et al., 2000; Chang, 2003)، اما از پیامدهای جنگلکاری این است که تمام آب باران به سطح زمین و آب‌های زیرزمینی نرسیده و مقداری از آن به وسیله تاج پوشش درختان جذب شده و سپس طی فرآیند تبخیر به اتمسفر بر می‌گردد. این اتلاف آب از سطح تاج درختان، باران‌ریایی تاج پوشش<sup>۱</sup> نامیده می‌شود (Shachnovich et al., 2008).

باران‌ریایی تاج پوشش، مقداری از بارندگی است که در هنگام یا بعد از بارندگی بر روی تاج پوشش درختان باقی می‌ماند و به واسطه تبخیر طی بارندگی یا پس از اتمام آن، به اتمسفر برمی‌گردد و در نتیجه به کف جنگل نمی‌رسد (Crockford & Richardson, 2000). هنگامی که بارندگی در جنگل رخ می‌دهد، آب باران یا به طور مستقیم از طریق فضاهای باز در پوشش تاجی به کف جنگل می‌رسد<sup>۲</sup> یا پس از آنکه ظرفیت نگهداری آب تاج پوشش درختان یعنی مقدار آب مورد نیاز برای مرطوب کردن سطح برگ‌ها و شاخه‌ها تکمیل شد و تاج اشباع شد، به صورت ریزش‌های تاجی<sup>۳</sup> به کف جنگل می‌ریزد. به مجموع بارانی که از دو طریق ذکر شده به زمین جنگل می‌رسد، تاج بارش<sup>۴</sup> اطلاق می‌شود. بخش دیگری از باران که ساقاب<sup>۵</sup> نامیده می‌شود، بعد از جاری شدن بر روی شاخه‌ها و تنه درختان به سطح زمین می‌رسد (Herbst et al., 2006).

جنگلکاری، الگوهای ذخیره‌سازی و استفاده از آب را تغییر داده و روی تعادل و بیلان آب‌های محلی تأثیر زیادی دارد (Chang, 2003). باران‌ریایی به عنوان یکی از اجزای مهم توازن فصلی آب در باغ‌های زیتون، به ویژه در مورد اثر تراکم جنگلکاری‌ها برای محاسبه آبیاری خالص بررسی شده است و محققین به این نتیجه رسیدند که باران‌ریایی در درخت‌کاری‌های با تراکم زیاد افزایش می‌یابد (Gomez et al., 2001).

به طور کلی عواملی مانند تیپ جنگل<sup>۶</sup>، متغیرهای هواشناسی<sup>۷</sup> و مشخصات بارندگی<sup>۸</sup> بر روی مقدار باران‌ریایی درختان تأثیر می‌گذارند. مهم‌ترین متغیرهای هواشناسی موثر بر مقدار باران‌ریایی شامل سرعت باد، درجه حرارت و رطوبت نسبی است و مهم‌ترین عوامل مربوط به نوع بارندگی شامل مقدار، شدت و طول مدت باران است (Crockford & Richardson, 2000; Xiao et al., 2000).

2- Direct Throughfall

3- Canopy Drip

4- Throughfall (TF)

5- Stemflow (SF)

6- Forest Type

7- Climatic Factors

8- Rainfall Characteristics

1- Interception Loss (I)

درجه و ۴ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۵ درجه و ۴۸ دقیقه شرقی) با ارتفاع متوسط ۱۰۹۱ متری از سطح دریا انجام شد. اندازه‌گیری‌ها در دو قطعه جنگلکاری شده سرو نقره‌ای ۲۳ ساله و کاج تهران ۲۸ ساله به مساحت ۱۶ هکتار که در کنار یکدیگر و با فاصله کاشت  $4 \times 4$  متر قرار دارند، انجام شد (شکل ۱). گونه‌های دیگر کاشته شده در این جنگلکاری‌ها شامل سرو خمره‌ای، ون، افاقیا، ارغوان و توت است.

متوسط قطر برابر سینه و ارتفاع به ترتیب  $30/2$  سانتی‌متر و  $8/1$  متر برای درختان کاج تهران و  $25/4$  سانتی‌متر و  $5/7$  متر برای درختان سرو نقره‌ای اندازه‌گیری شد. متوسط سطح تاج<sup>۱</sup> و طول تاج به ترتیب  $25/2$  متر مربع و  $3/4$  متر برای درختان کاج تهران و  $25/1$  متر مربع و  $3/9$  متر برای درختان سرو نقره‌ای اندازه‌گیری شد.

برای تعیین وضعیت اقلیمی منطقه از داده‌های اقلیمی ثبت شده در یک دوره ۱۷ ساله (۱۳۸۷-۱۳۷۱) در ایستگاه هواشناسی بیارجمند که در فاصله کمتر از یک کیلومتری منطقه مورد بررسی در شهر بیارجمند قرار دارد، استفاده شد. براساس آمار هواشناسی، متوسط (انحراف معیار) بارندگی سالیانه  $126/8$  میلی‌متر ( $50/5 \pm$ ) که کمترین مقدار آن  $0/8$  میلی‌متر ( $1/2 \pm$ ) در تیر و بیشترین مقدار  $23/5$  میلی‌متر ( $23 \pm$ ) در اسفند است. متوسط (انحراف معیار) درجه حرارت سالیانه ۱۶ درجه سانتی‌گراد ( $0/7 \pm$ )، که گرم‌ترین ماه سال تیر با متوسط درجه حرارت ماهیانه  $28/7$  درجه سانتی‌گراد ( $0/9 \pm$ ) و سردترین ماه سال دی با متوسط درجه حرارت ماهیانه  $2/4$  درجه سانتی‌گراد ( $2/1 \pm$ ) است. همچنین میانگین (انحراف معیار) تبخیر سالیانه  $2619$  میلی‌متر ( $121 \pm$ ) است، به طوری که کمترین مقدار آن در ماه‌های دی، بهمن و اسفند، صفر میلی‌متر و بیشترین مقدار آن در تیر،  $511$  میلی‌متر ( $31 \pm$ ) است. براساس منحنی آمپروترمیک منطقه، دوره خشک در این منطقه از فروردین آغاز می‌شود و تا پایان آبان ادامه دارد.

کمبود آب و کمی بارندگی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده استقرار پوشش درختی و رشد جنگلکاری‌ها در مناطق خشک و نیمه‌خشک به حساب می‌آید. در این مناطق به دلیل شرایط اقلیمی حاکم (کم بودن مقدار بارش و بالا بودن درجه حرارت) بخش زیادی از بارندگی به صورت باران‌ربایی از دسترس پوشش گیاهی و به خصوص درختان خارج می‌شود. بنابراین با توجه به اهمیت آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک، آگاهی از مقدار باران‌ربایی گونه‌های درختی و درختچه‌ای که به طور وسیعی به منظور جنگلکاری در این مناطق استفاده می‌شوند، ضروری است. از طرف دیگر در مناطقی که مشکل فرسایش خاک وجود دارد، آگاهی از باران‌ربایی کمک به سزایی در انتخاب گونه‌های مورد نظر در پروژه‌های جنگلکاری می‌کند.

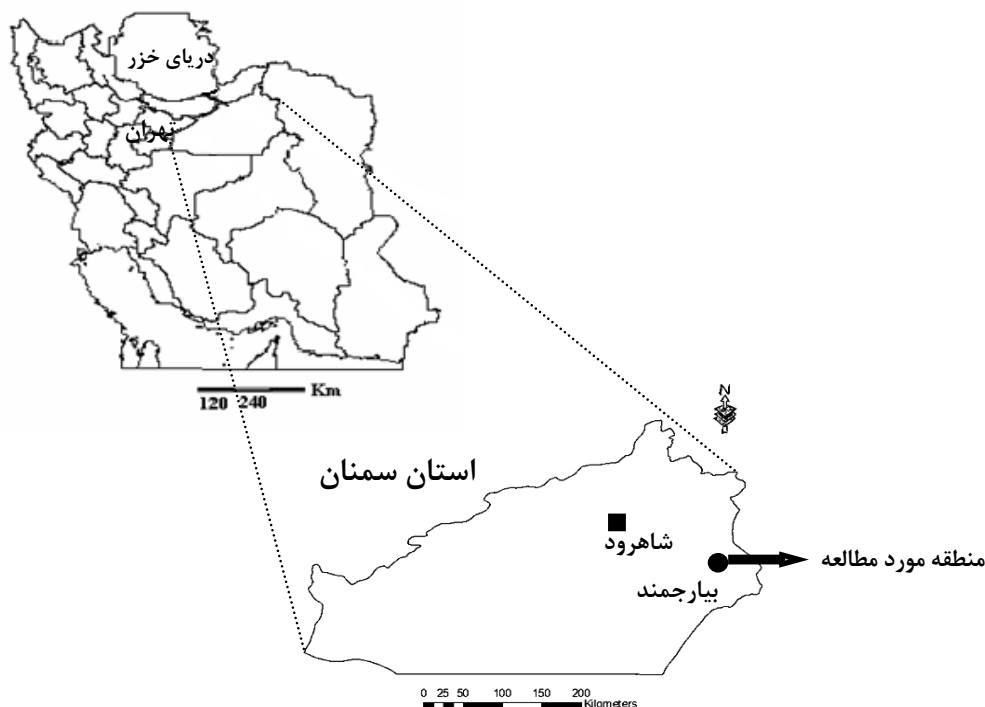
در حال حاضر جنگلکاری در مناطق خشک و نیمه‌خشک بسیار مورد توجه است و اطلاع از عوامل مؤثر بر چرخه آب که نقش موثری در موفقیت جنگلکاری‌ها ایفا می‌کند، ضروری است و با بررسی آن می‌توان به شناخت بهتری از نقش چرخه آب در تولید بیولوژیک جنگل دست یافت و در پی آن با انتخاب گونه مناسب، درصد موفقیت جنگلکاری‌ها را بالا برد.

این تحقیق با هدف اندازه‌گیری و مقایسه تاج‌بارش و باران‌ربایی و نیز تعیین سهم مهم‌ترین متغیرهای هواشناسی مؤثر و مقدار باران بر مقدار باران‌ربایی در دو گونه از مهم‌ترین گونه‌های سوزنی‌برگ شامل کاج تهران (*Pinus eldarica* Medw.) و سرو نقره‌ای (*Cupressus arizonica* Green.) که در جنگلکاری‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور به طور وسیعی استفاده می‌شوند، انجام شد. نتایج این تحقیق می‌تواند برای استفاده در برنامه‌ریزی‌ها و طرح‌های جنگلکاری به منظور حداکثر رساندن فایده‌های هیدرولوژیکی جنگلکاری‌ها و همچنین تهیه اطلاعات علمی برای جنگلکاری در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور مورد استفاده قرار گیرد.

## مواد و روش‌ها

- منطقه مورد بررسی

این تحقیق در شهر بیارجمند، واقع در ۱۲۰ کیلومتری جنوب شرقی شهرستان شاهرود (با عرض جغرافیایی ۳۸



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد بررسی در شهر بیارجمند واقع در شرق استان سمنان

سه جمع‌آوری‌کننده، به‌عنوان عمق بارندگی برای هر بارش<sup>۲</sup> در نظر گرفته شد.

برای اندازه‌گیری مقدار تاج‌بارش، از بین درختان با تاج سالم، از هر گونه پنج اصله درخت که پراکنش قطری و ارتفاعی آنها نزدیک به پراکنش قطری و ارتفاعی توده جنگلکاری بود (Shachnovich *et al.*, 2008) و تاج آنها هیچ گونه تداخلی با تاج دیگر درختان نداشت (Owens *et al.*, 2006)، به‌صورت تصادفی انتخاب شد.

هشت جمع‌آوری‌کننده تاج‌بارش<sup>۳</sup> -مشابه با جمع‌آوری‌کننده‌های بارندگی کل- در زیر هر درخت و در مجموع ۴۰ جمع‌آوری‌کننده برای هرگونه نصب شد. وضع قرار گرفتن جمع‌آوری‌کننده‌ها در زیر هر درخت به این صورت بود که با توجه به اثر باد و تاج‌پوشش، در هر یک از جهت‌های اصلی دو جمع‌آوری‌کننده (تزدیک به تنه و دور از تنه) در فواصل متفاوت قرار داده شد و میانگین عمق تاج‌بارش جمع‌آوری‌شده توسط ۴۰ جمع‌آوری‌کننده به‌عنوان متوسط عمق تاج‌بارش در هر بارندگی در نظر گرفته شد.

همچنین بر اساس فرمول دومارتن و با توجه به میانگین دما و بارندگی سالیانه، شاخص خشکی در منطقه مورد بررسی برابر با  $I_A = 4/87$  و اقلیم آن، خشک است.

- روش آماربرداری

در این پژوهش، مقدار بارش کل و تاج‌بارش از اول فروردین تا ۲۹ اسفند ۱۳۸۸ به‌مدت یکسال اندازه‌گیری شد. مقدار بارندگی با استفاده از سه جمع‌آوری‌کننده<sup>۱</sup> حلبی با دهانه مربعی  $24 \times 24$  سانتی‌متری در یک فضای باز در فاصله ۴۰ متری از جنگلکاری، جمع‌آوری شد. لازم به‌ذکر است که محل استقرار جمع‌آوری‌کننده‌های بارندگی به‌گونه‌ای انتخاب شد که در زاویه ۴۵ درجه از سطح آنها هیچ‌گونه تداخل با تاج درختان وجود نداشته باشد (حداقل فاصله آنها تا نزدیک‌ترین درختان برابر با ارتفاع درخت است).

مقدار بارندگی در طی هر بارندگی با استفاده از یک دستگاه استوانه‌مدرج تا دقت یک میلی‌متر اندازه‌گیری شد. پس از اندازه‌گیری هر بارندگی، جمع‌آوری‌کننده‌ها بعد از تخلیه آب آنها و تمیز و خشک کردنشان، در جای خود قرار داده شدند. سپس میانگین عمق بارش کل جمع‌آوری‌شده با استفاده از

2- Rainfall Event  
3- Throughfall Collector

1- Rainfall Collector

ریشه دوم میانگین مربع خطا (RMSE) برای هریک از معادله‌ها محاسبه شد.

### نتایج

- مقایسه بارندگی و درجه حرارت طولانی‌مدت با مدت مورد بررسی

تجزیه و تحلیل داده‌های اقلیمی در طول دوره اندازه‌گیری نشان داد که بارندگی در این مدت (۱۱۲/۴ میلی‌متر) نسبت به متوسط مدت مشابه در درازمدت - دوره ۱۷ ساله اخیر (۱۲۶/۸ میلی‌متر) - تا حدی کمتر بوده است، به طوری که از اردیبهشت تا بهمن (به جز شهریور) تا حدی کاهش یافته و در ماه‌های بهمن، اسفند و فروردین افزایش داشته است. درصد بارندگی فصول بهار و تابستان از باران کل مدت مورد بررسی، ۳۹ درصد محاسبه شد، در حالی که این نسبت در دوره ۱۷ ساله، ۴۲ درصد بود. درجه حرارت در مدت تحقیق (۱۶/۴ درجه سانتی‌گراد) نسبت به میانگین مدت مشابه در دوره ۱۷ ساله (۱۶ درجه سانتی‌گراد) افزایش داشته، به طوری که در طول فصل‌های تابستان و پاییز، تغییرات اندک، در فصل بهار کاهش و در فصل زمستان به‌ویژه در ماه‌های دی و اسفند افزایش داشته است (شکل ۲).

اندازه‌گیری مقدار بارش کل و تاج‌بارش حداکثر ۳ ساعت پس از اتمام هر بارندگی و در صورت وقوع بارندگی در شب، قبل از طلوع خورشید انجام شد (Ahmadi et al., 2009). مقدار باران‌ربایی به‌طور غیر مستقیم از رابطه ۱ محاسبه شد:

$$I = GR - (TF + SF) \quad 1$$

که در آن I: مقدار باران‌ربایی، GR: باران کل، TF: تاج‌بارش و SF: مقدار ساقاب است (Cao et al., 2008). برای تولید ساقاب ابتدا باید ظرفیت نگهداری آب تاج و پوست تنه تکمیل شود و پس از آن ساقاب بر روی تنه جریان می‌یابد. با توجه به مقدار بارندگی کم در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک، ساقاب سهم بسیار کوچکی از باران را در این مناطق به خود اختصاص می‌دهد و اندازه‌گیری آن نسبت به این سهم اندک وقت‌گیر و مشکل است (Shachnovich et al., 2008; Koichiro et al., 2001; Johnson, 1990). بنابراین در این تحقیق از اندازه‌گیری آن صرف‌نظر شد و در واقع باران‌ربایی از تفاضل تاج‌بارش و باران کل مطابق رابطه ۲ برآورد شد.

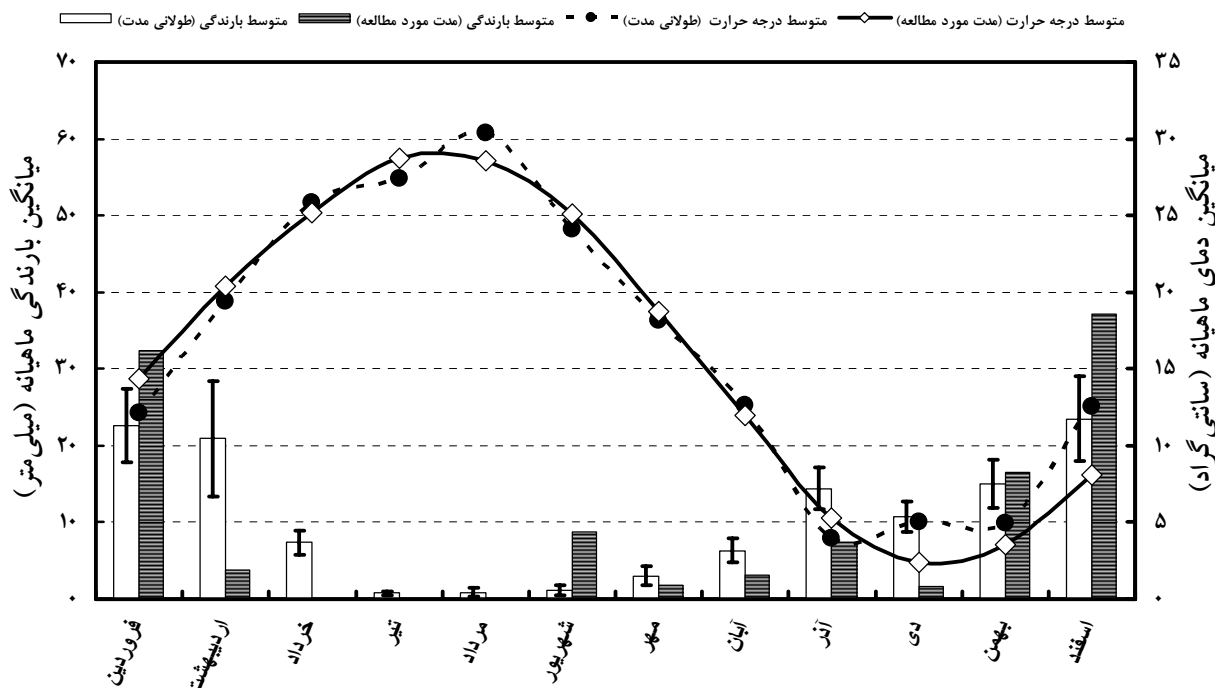
$$I = GR - TF \quad 2$$

- تجزیه و تحلیل آماری

برای سازمان‌دهی و پردازش اولیه اطلاعات از نرم‌افزار Excel استفاده شد و متوسط مقادیر بارندگی کل، تاج‌بارش و باران‌ربایی درختان طی هر بارندگی و همچنین در طول دوره تحقیق محاسبه شد.

تجزیه ارتباطی<sup>۱</sup> مقدار باران (GR) و مقادیر روزانه متغیرهای هواشناسی شامل سرعت باد (WS)<sup>۲</sup>، رطوبت نسبی (RH)<sup>۳</sup>، تبخیر (E)<sup>۴</sup> و درجه حرارت (T<sub>a</sub>)<sup>۵</sup> ثبت‌شده در ایستگاه هواشناسی بیارجمند که در فاصله ۸۰۰ متری از درختان مورد بررسی، قرار دارد، در ارتباط با نسبت باران‌ربایی به باران کل در فصل‌های بهار و تابستان و نیز پاییز و زمستان در محیط نرم‌افزار Excel صورت پذیرفت. در نهایت با توجه به ضریب تعیین (r<sup>۲</sup>) به‌دست‌آمده، مدل‌های پیشنهادی و

- 1- Association Analysis
- 2- Wind Speed
- 3- Relative Humidity
- 4- Evaporation
- 5- Air Temperature



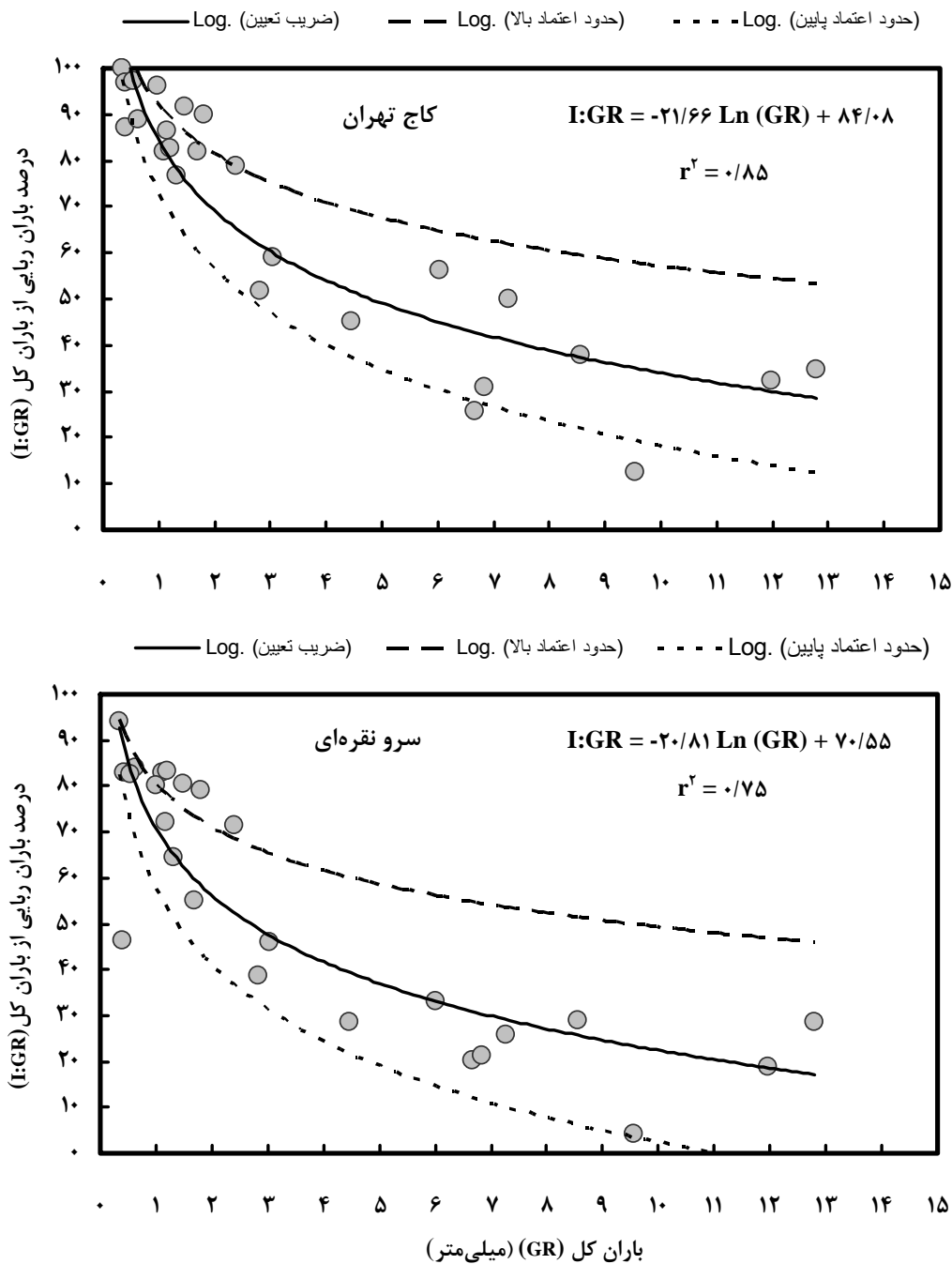
شکل ۲- میانگین ماهیانه درجه حرارت و بارندگی در طولانی مدت (۱۳۷۱ تا ۱۳۸۷) و سال بررسی (۱۳۸۸) بر اساس آمار ایستگاه سینوپتیک بیارجمند (بارها نشان دهنده اشتباه معیار (SE) بارندگی ماهیانه است)

- باران ربایی

از ۲۶ مورد بارندگی با مجموع عمق ۱۰۰/۵ میلی متر (در طول یک سال مورد بررسی)، مقدار باران ربایی در مجموع ۴۴/۸ میلی متر (۴۴/۶ درصد از بارندگی کل) برای کاج تهران و ۳۲/۸ میلی متر (۳۲/۶ درصد از بارندگی کل) برای درختان سرو نقره‌ای اندازه‌گیری شد.

بین نسبت باران ربایی به باران کل (I/GR) و باران کل (GR) رابطه لگاریتمی و کاهنده برای هر دو گونه کاج تهران ( $r^2=0/85$ ) و سرو نقره‌ای ( $r^2=0/75$ ) به دست آمد، یعنی با افزایش مقدار بارندگی این نسبت کاهش می‌یابد (شکل ۳).

باران کل اندازه‌گیری شده در این تحقیق، رابطه مثبت و قوی ( $r^2=0/89$ ) با داده‌های حاصل از ایستگاه هواشناسی منطقه نشان داد. در مجموع ۲۶ مورد بارندگی در طول یک سال اندازه‌گیری شد که در کل ۱۰۰/۵ میلی متر باران و به‌طور میانگین ۳/۸۷ میلی متر در هر بارش محاسبه شد. این در حالی است که در ایستگاه هواشناسی سینوپتیک بیارجمند، در مجموع ۱۰۶/۶ میلی متر و به‌طور میانگین ۴/۱۰ میلی متر باران ثبت شد. این اختلاف در سطح احتمال ۹۵ درصد معنی‌دار نبوده و ریشه دوم میانگین مربع خطا (RMSE) ۰/۴۸ میلی متر (۱۲/۳ درصد) از میانگین باران کل محاسبه شد.



شکل ۳- رابطه بین نسبت باران ربایی به باران کل و باران کل برای تک درختان کاج تهران و سرو نقره‌ای در شهر بیارجمند استان سمنان (هر دایره نشان دهنده یک بارش است)

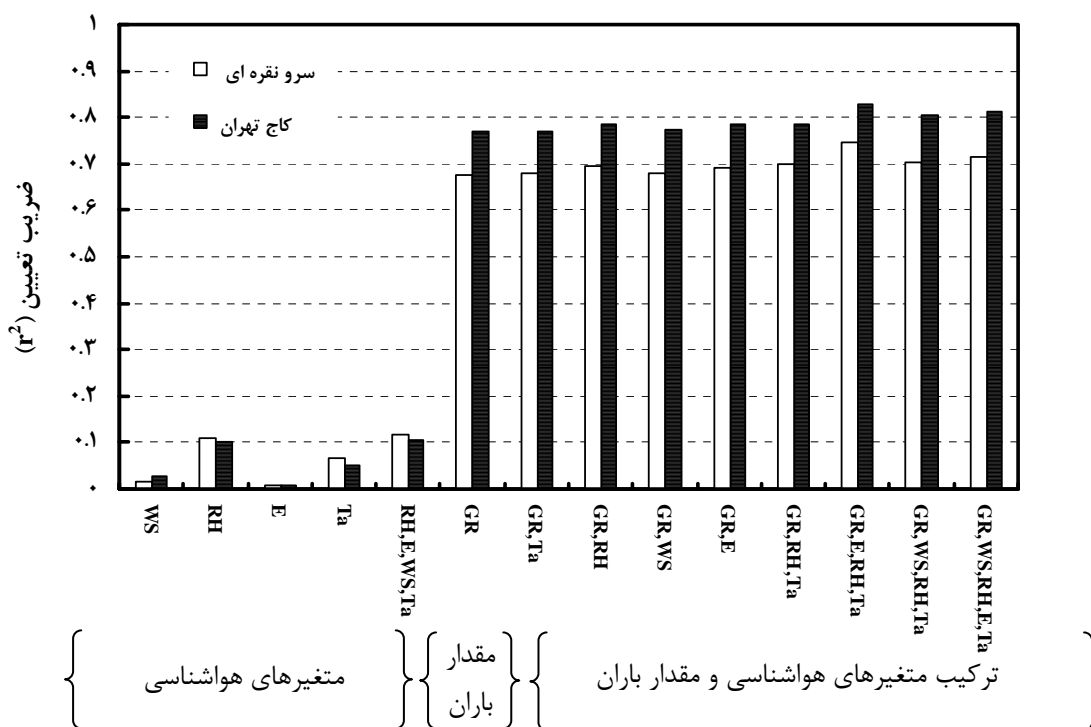
و مقدار باران در ارتباط با درصد مقدار باران ربایی در بهار و تابستان، پاییز و زمستان و کل سال انجام شد. تجزیه ارتباطی متغیرهای هواشناسی و مقدار باران در ارتباط با درصد مقدار باران ربایی در طول سال نشان داد که برای گونه کاج تهران ترکیب عوامل مقدار باران، تبخیر، رطوبت نسبی و درجه حرارت دارای بالاترین مقدار ضریب تعیین بودند. مقدار باران به تنهایی دارای مقدار ضریب

تجزیه ارتباطی -

میانگین درجه حرارت و بارندگی در فصل‌های بهار و تابستان به ترتیب ۲۳/۲ درجه سانتی‌گراد و ۴۴ میلی‌متر و برای فصل‌های پاییز و زمستان به ترتیب ۹/۶ درجه سانتی‌گراد و ۶۸/۴ میلی‌متر محاسبه شد. با توجه به اختلاف متغیرهای هواشناسی به ویژه درجه حرارت در فصل‌های مختلف سال در منطقه مورد بررسی، تجزیه ارتباطی متغیرهای هواشناسی

تعیین به نسبت بالا ( $r^2=0/77$ ) و ترکیب متغیرهای هواشناسی مورد بررسی و همچنین رطوبت نسبی به تنهایی دارای مقدار ضریب تعیین بسیار کم به ترتیب ۰/۱۱ و ۰/۱۰ هستند. برای گونه سرو نقره‌ای، ترکیب متغیرهای مقدار باران، تبخیر، رطوبت نسبی و درجه حرارت بیشترین مقدار ضریب تعیین به نسبت بالا ( $r^2=0/75$ ) را داشتند. عامل مقدار باران به تنهایی مقدار ضریب تعیین بالایی ( $r^2=0/68$ ) را نشان داد. مقدار ضریب تعیین ترکیب متغیرهای هواشناسی با یکدیگر و همچنین متغیر رطوبت نسبی به تنهایی بسیار کم و به ترتیب ۰/۱۲ و ۰/۱۱ به دست آمد (شکل ۴).

تعیین به نسبت بالا ( $r^2=0/77$ ) و ترکیب متغیرهای هواشناسی مورد بررسی و همچنین رطوبت نسبی به تنهایی دارای مقدار ضریب تعیین بسیار کم به ترتیب ۰/۱۱ و ۰/۱۰ هستند. برای گونه سرو نقره‌ای، ترکیب متغیرهای مقدار باران، تبخیر، رطوبت نسبی و درجه حرارت بیشترین مقدار ضریب تعیین به نسبت بالا ( $r^2=0/75$ ) را داشتند. عامل مقدار باران به تنهایی مقدار ضریب تعیین بالایی ( $r^2=0/68$ ) را نشان داد. مقدار ضریب تعیین ترکیب متغیرهای هواشناسی با یکدیگر و همچنین متغیر رطوبت نسبی به تنهایی بسیار کم و به ترتیب ۰/۱۲ و ۰/۱۱ به دست آمد (شکل ۴).



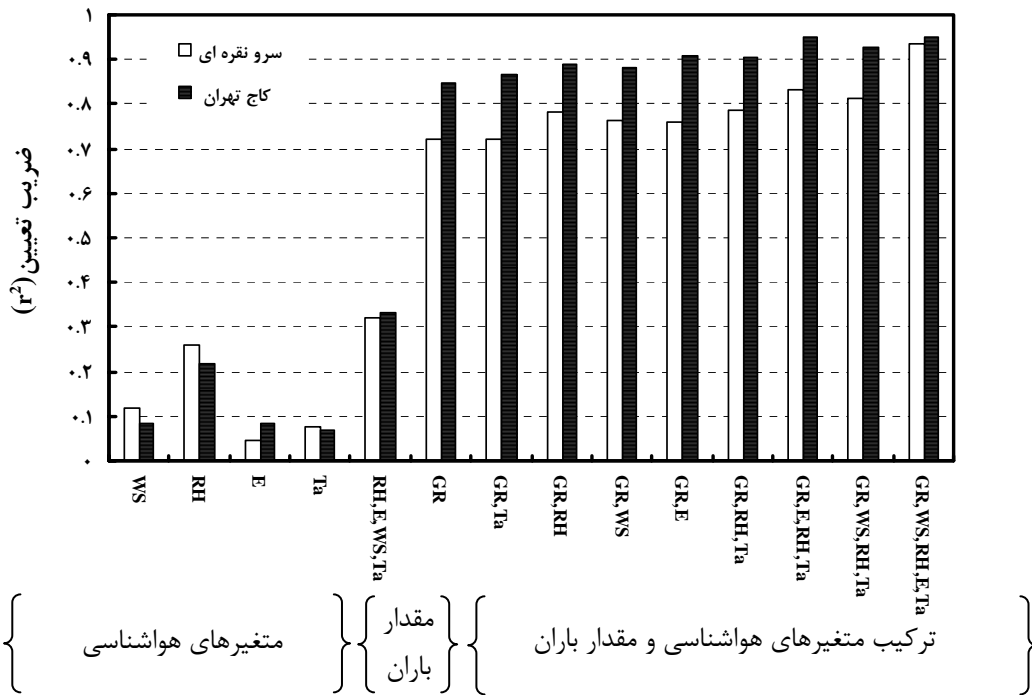
شکل ۴- میزان ضریب تعیین مقدار باران (GR) و میانگین روزانه متغیرهای هواشناسی سرعت باد (WS)، رطوبت نسبی (RH)، تبخیر (E) و درجه حرارت ( $T_a$ ) در ارتباط با درصد باران‌ریایی به باران در طول سال برای تک‌درختان کاج تهران و سرو نقره‌ای در شهر بیارجمند استان سمنان

متغیرهای هواشناسی در ترکیب با یکدیگر، مقدار ضریب تعیین به نسبت ضعیف ( $r^2=0/32$ ) را نشان دادند (شکل ۵). در نهایت تجزیه ارتباطی متغیرهای هواشناسی و مقدار باران در ارتباط با درصد مقدار باران‌ریایی در فصل‌های پاییز و زمستان نشان داد که برای گونه کاج تهران، ترکیب متغیرهای مقدار باران، تبخیر، رطوبت نسبی، درجه حرارت و سرعت باد دارای بیشترین مقدار ضریب تعیین ( $r^2=0/82$ ) بودند. مقدار باران به تنهایی مقدار ضریب تعیین به نسبت قوی ( $r^2=0/76$ ) و متغیرهای هواشناسی در ترکیب با یکدیگر دارای مقدار ضریب تعیین به نسبت ضعیف ( $r^2=0/40$ ) بودند. برای گونه سرو نقره‌ای ترکیب متغیرهای مقدار باران و تبخیر بیشترین مقدار ضریب تعیین ( $r^2=0/76$ ) را داشتند.

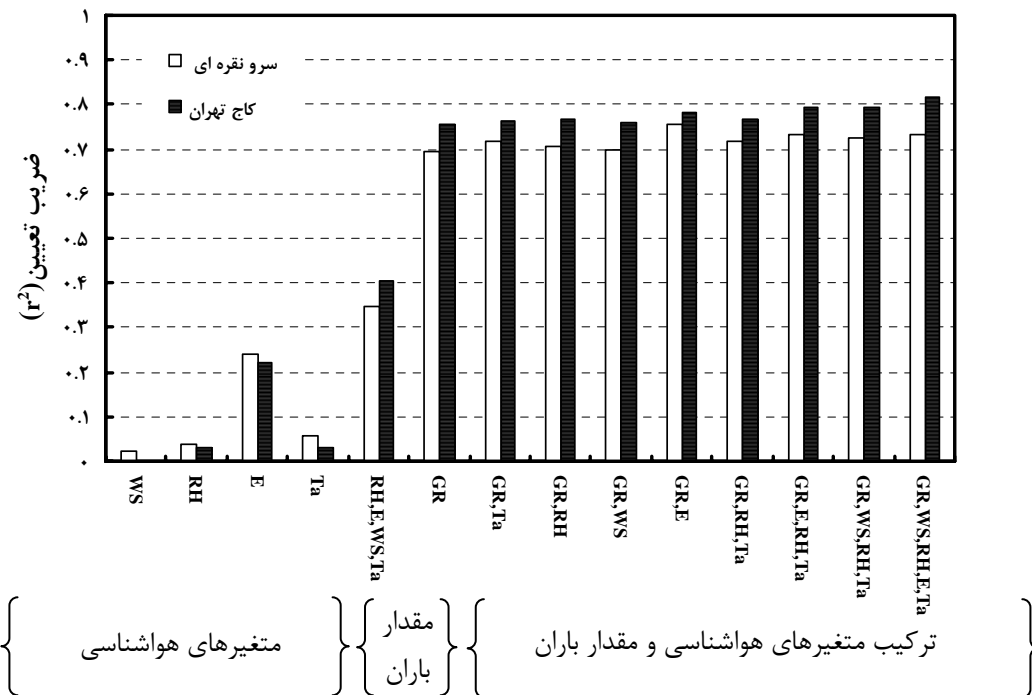
طی فصل‌های بهار و تابستان برای گونه کاج تهران ترکیب متغیرهای مقدار باران و متغیرهای هواشناسی شامل تبخیر، رطوبت نسبی، درجه حرارت و همچنین ترکیب این عوامل با سرعت باد دارای بیشترین مقدار ضریب تعیین ( $r^2=0/95$ ) بود. مقدار باران به تنهایی دارای مقدار ضریب تعیین بالایی ( $r^2=0/85$ ) بود. ترکیب متغیرهای هواشناسی رطوبت نسبی، تبخیر، درجه حرارت و سرعت باد، مقدار ضریب تعیین کمتری را نشان دادند ( $r^2=0/33$ ). برای گونه سرو نقره‌ای، ترکیب متغیرهای مقدار باران، تبخیر، رطوبت نسبی، درجه حرارت و سرعت باد بیشترین مقدار ضریب تعیین ( $r^2=0/94$ ) را نشان داد. مقدار باران به تنهایی مقدار ضریب تعیین به نسبت قوی ( $r^2=0/72$ ) و



حال آنکه مقدار باران به تنهایی دارای مقدار ضریب تعیین به نسبت قوی ( $r^2=0/70$ ) و متغیرهای هواشناسی در ترکیب با یکدیگر، دارای مقدار ضریب تعیین به نسبت ضعیف ( $r^2=0/35$ ) بودند (شکل ۶).



شکل ۵- مقدار ضریب تعیین مقدار باران (GR) و میانگین روزانه متغیرهای هواشناسی سرعت باد (WS)، رطوبت نسبی (RH)، تبخیر (E) و درجه حرارت ( $T_a$ ) در ارتباط با درصد باران‌ریایی به باران در فصل‌های بهار و تابستان برای تک‌درختان کاج تهران و سرو نقره‌ای در شهر بیارجمند استان سمنان



شکل ۶- مقدار ضریب تعیین مقدار باران (GR) و میانگین روزانه متغیرهای هواشناسی سرعت باد (WS)، رطوبت نسبی (RH)، تبخیر (E) و درجه حرارت ( $T_a$ ) در ارتباط با درصد باران‌ریایی به باران در فصل‌های پاییز و زمستان برای تک‌درختان کاج تهران و سرو نقره‌ای در شهر بیارجمند استان سمنان

با توجه به همبستگی‌های به‌دست‌آمده و تعداد متغیرهای مورد استفاده، مناسب‌ترین مدل‌ها برای درصد باران‌رایی به باران کل در طول سال و نیز برای فصل‌های بهار و تابستان و نیز پاییز و زمستان پیشنهاد شدند. این مدل‌ها و مقدار

جدول ۱- مدل‌های پیشنهادی برای برآورد مقدار درصد باران‌رایی از بارندگی (I:GR) با استفاده از متغیر مقدار باران (GR) و میانگین روزانه متغیرهای هواشناسی سرعت باد (WS)، رطوبت نسبی (RH)، تبخیر (E) و درجه حرارت (T<sub>a</sub>) به‌همراه ضرایب تعیین (r<sup>2</sup>) و ریشه دوم میانگین مربع خطای (RMSE) هر یک از معادله‌ها در طول سال، طی فصل‌های بهار و تابستان و نیز پاییز و زمستان برای تک‌درختان کاج تهران و سرو نقره‌ای در شهر بیارجمند استان سمنان

دوره	متغیر	کاج تهران	r <sup>2</sup>	RMSE	سرو نقره‌ای	r <sup>2</sup>	RMSE
	هواشناسی	-	-	-	-	-	-
طول سال	مقدار باران	(GR) = -۶/۰۹ (I:GR)% + ۸۹/۸۳	۷۰/۷	۹/۷	(GR) + ۷۴/۴۵ (I:GR)% = -۵/۶۵	۰/۶۸	۱۳/۳
	ترکیب هواشناسی و مقدار باران	(GR) - ۶/۱۴ (I:GR)% = ۱/۳۷ (E) - ۰/۱۸ (RH) + ۰/۸۲ (T <sub>a</sub> ) + ۹۷/۷۶	۰/۸۳	۸/۴	(GR) - ۵/۸۶ (I:GR)% = ۱/۳۶ (E) - ۰/۲۱ (RH) + ۰/۹۵ (T <sub>a</sub> ) + ۸۴/۴۲	۵۰/۷	۱۰/۹
	هواشناسی	-	-	-	-	-	-
بهار و تابستان	مقدار باران	(GR) + ۹۱/۲۷ (I:GR)% = -۷/۵۵	۵۰/۸	۸/۲	(GR) + ۷۴/۲۱ (I:GR)% = -۶/۸۷	۰/۷۲	۱۲/۴
	ترکیب هواشناسی و مقدار باران	(GR) - ۷/۷۱ (I:GR)% = ۱/۷۱ (E) + ۱۰۳/۸۳	۱۹۰/	۷/۳	(GR) - ۶/۷۲ (I:GR)% = ۰/۷۷ (RH) + ۱۲۲/۲۹	۰/۷۸	۹/۹
	هواشناسی	-	-	-	-	-	-
پاییز و زمستان	مقدار باران	(GR) + ۸۸/۷۱ (I:GR)% = -۵/۴۱	۶۰/۷	۱۰/۵	(GR) + ۷۴/۸۱ (I:GR)% = -۵/۱۶	۰/۶۸	۱۲/۹
	ترکیب هواشناسی و مقدار باران	(GR) - ۴/۷۴ (I:GR)% = ۳/۶۹ (E) - ۰/۲۱ (RH) - ۱/۰۱ (T <sub>a</sub> ) + ۱۰۵/۴۵	۰/۸۰	۹/۳	(GR) - ۴/۸۲ (I:GR)% = ۲/۶۲ (E) + ۷۱/۰۹	۰/۷۶	۵۱۰/

### بحث

به‌تنهایی و در ترکیب با یکدیگر مقدار ضریب تعیین بسیار ضعیفی با درصد باران‌رایی داشتند و نتایج نشان داد که برآورد باران‌رایی با به‌کارگیری متغیرهای هواشناسی با خطای زیادی همراه است. از بین متغیرهای هواشناسی، تنها متغیر رطوبت نسبی در طول فصل‌های تابستان و بهار و نیز

تجزیه ارتباطی متغیرهای هواشناسی در رابطه با مقدار درصد باران‌رایی نشان داد که متغیر مقدار باران به‌تنهایی همبستگی بالایی با درصد باران‌رایی دارد و برای برآورد باران‌رایی کافی به‌نظر می‌رسد. متغیرهای هواشناسی

بارندگی‌های کم بخش زیادی از بارندگی صرف اشباع تاج می‌شود، اما با توجه به اینکه ظرفیت نگهداری آب تاج محدود است، طی بارندگی‌های زیاد، سهم بیشتری از بارندگی کل صرف تولید تاج‌بارش می‌شود و در نتیجه نسبت باران‌رایی به بارندگی کل کاهش می‌یابد (Rowe, 1983; Owens *et al.*, 2006; Deguchi *et al.*, 2006; Staelens *et al.*, 2008; Sraj *et al.*, 2008). همچنین با توجه به خشک بودن منطقه مورد بررسی و نوع بارندگی‌ها در این مناطق که اغلب با شدت زیاد و کوتاه‌مدت است (Shachnovich *et al.*, 2008)، امکان دخالت دیگر متغیرهای هواشناسی کاهش می‌یابد.

بررسی همبستگی متغیرهای هواشناسی و مقدار باران نشان می‌دهد که عامل مقدار باران به‌تنهایی همبستگی به‌نسبت بالایی را با مقدار درصد باران‌رایی نشان می‌دهد، ولی با توجه به اینکه استفاده از متغیرهای هواشناسی درجه حرارت، رطوبت نسبی و تبخیر به بهبود همبستگی مدل مورد پیش‌بینی کمک می‌کند و اینکه متغیرهای ذکرشده در اکثر ایستگاه‌های هواشناسی سینوتیک و کلیماتولوژی وجود دارد، استفاده از آنها برای تخمین درصد باران‌رایی جنگلکاری‌های شهری و جنگلکاری‌هایی گونه‌های کاج تهران و سرو نقره‌ای که نزدیک ایستگاه‌های هواشناسی است، توصیه می‌شود. با توجه به اینکه بارندگی و درجه حرارت در مدت مورد بررسی با داده‌های طولانی‌مدت (۱۷ ساله) تطابق نسبی دارد (به استثنای ماه‌های دی و اسفند با اختلاف جزئی)، به‌نظر می‌رسد که معادله‌های به‌دست آمده با استفاده از متغیرهای هواشناسی و مقدار باران، تعمیم‌پذیرند (شکل ۲). پیشنهاد می‌شود در تحقیقات بعدی به‌منظور تهیه مدلی مناسب‌تر برای تخمین مقدار باران‌رایی، اثر عوامل مربوط به نوع بارندگی مثل شدت، طول مدت و مقدار باران بر روی مقدار باران‌رایی بررسی شود.

نتایج نشان می‌دهد از مجموع ۱۰۰/۵ میلی‌متر بارندگی اندازه‌گیری‌شده در طول یک سال تحقیق، مقدار باران‌رایی در مجموع ۴۴/۸ میلی‌متر (۴۴/۶ درصد از بارندگی دوره بررسی) برای کاج تهران و ۳۲/۸ میلی‌متر (۳۲/۶ درصد از بارندگی دوره بررسی) برای درختان سرو نقره‌ای است. با

در طول سال و متغیر تبخیر در طی فصل‌های پاییز و زمستان بیشترین مقدار ضریب تعیین را با نسبت باران‌رایی نشان دادند (شکل‌های ۴، ۵ و ۶). ضمن اینکه بررسی مدل‌های پیشنهادی نشان می‌دهد ترکیب متغیرهای هواشناسی با مقدار باران، مقدار RMSE معادله‌ها را تا حدی کاهش می‌دهد (جدول ۱).

نکته قابل توجه اینکه متغیر سرعت باد در بیشتر مواقع اثر بسیاری ضعیفی بر مقدار درصد باران‌رایی داشته و حتی در بعضی از مواقع در ترکیب با دیگر متغیرها مقدار ضریب تعیین را کاهش می‌دهد (شکل‌های ۴، ۵ و ۶).

پژوهش‌های زیادی در زمینه اثر متغیرهای هواشناسی مختلف بر مقدار باران‌رایی صورت گرفته است، Toba & Ohta (2005) عوامل اصلی تأثیرگذار بر مقدار باران‌رایی تاج‌پوشش را در دو جنگل بوره‌آل در سیبری و پنج جنگل معتدله در ژاپن مورد بررسی قرار دادند. بر طبق نتایج حاصل از این بررسی مقدار باران‌رایی تاج‌پوشش در جنگل بوره‌آل (۲۰ تا ۳۰ درصد از بارندگی) بیشتر از جنگل‌های معتدله (۱۵ درصد از بارندگی در جنگل‌های معتدله سوزنی‌برگ و ۲۰ درصد از بارندگی در جنگل‌های معتدله پهن‌برگ) به‌دست آمد. همچنین این بررسی نشان داد که در هر دو نوع جنگل، متغیرهای هواشناسی به‌ویژه ویژگی‌های مربوط به بارندگی از قبیل مقدار و شدت بارندگی نسبت به ساختار توده جنگلی نقش مهم‌تری در تعیین سهم باران‌رایی تاج‌پوشش از بارندگی ایفا می‌کند.

در پژوهشی دیگر که در توده *Pinus sylvestris* در یک منطقه کوهستانی مدیترانه‌ای در سه کلاس متفاوت بارندگی طولانی با شدت کم در شرایط مرطوب، باران کوتاه‌مدت با شدت بالا در شرایط خشک و باران میان‌مدت با شدت پایین در شرایط خشک صورت گرفت، مقدار باران‌رایی در این سه کلاس به‌ترتیب ۱۵، ۱۳ و ۴۹ درصد گزارش شد (Lorens *et al.*, 1997).

همان‌طور که در این پژوهش‌ها مشاهده می‌شود مقدار باران بیشترین تأثیر را بر مقدار باران‌رایی در جنگل‌های مختلف داراست که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. دلیل این روند را می‌توان این‌گونه بیان کرد که برای تولید تاج‌بارش ابتدا باید ظرفیت نگهداری آب تاج تکمیل شود. طی

Herbst, M., J.M. Roberts, P.T.W. Rosier & D.G. Gowing, 2006. Measuring and modeling the rainfall interception loss by hedgerows in southern England. *Agricultural and Forest Meteorology*, 141: 244-256.

Johnson, R.C., 1990. The interception, throughfall and stemflow in a forest in Highland Scotland and the comparison with other upland forests in the U.K., *Journal of Hydrology*, 118: 281-287.

Koichiro, K., T. Yuri, T. Nobuaki & K. Isamu, 2001. Generation of stemflow volume and chemistry in a mature Japanese cypress forest, *Hydrological Processes*, 15: 1967-1978.

Llorens, P., R. Poch, J. Latron & F. Gallart, 1997. Rainfall interception by a *Pinus sylvestris* forest patch overgrown in a Mediterranean mountainous abandoned area I. Monitoring design and results down to the event scale, *Journal of Hydrology*, 199: 331-345.

Owens, M.K., K.R. Lyons & C.L. Alegandro, 2006. Rainfall partitioning within semiarid juniper communities: effects of event size and canopy cover, *Hydrological Processes*, 20: 3179-3189.

Rowe, L.K., 1983. Rainfall interception by an evergreen beech forest, Nelson, New Zealand, *Journal of Hydrology*, 66: 143-258.

Shachnovich, Y., P.R. Berliner & P. Bar, 2008. Rainfall interception throughfall in a pine forest planted in an arid zone, *Journal of Hydrology*, 349: 168-177

Sraj, M., M. Brilly, & M. Mikos, 2008. Rainfall interception by two deciduous Mediterranean forests of contrasting stature in Slovenia, *Agricultural and Forest Meteorology*, 148: 121-134.

Staelens, J.A.D., K.V. Schrijver & N. Verhoest, 2008. Rainfall partitioning into throughfall, stemflow, and interception within a single beech (*Fagus sylvatica* L.) canopy: influence of foliation, rain event characteristics, and meteorology, *Hydrological Processes*, 22: 33-45.

Toba, T. & T. Ohta, 2005. An observational study of the factors that influence interception loss in boreal and temperate forests, *Journal of Hydrology*, 313: 208-220.

Xiao, Q.F., E.G. McPherson, S.L. Ustin, M.E. Grismer & J.R. Simpson, 2000. Winter rainfall interception by two mature open-grown trees in Davis, California, *Hydrological Processes*, 14: 763-784.

توجه به اقلیم خشک منطقه مورد بررسی و مقدار بالای باران ربایی در تحقیق حاضر، می‌توان نتیجه گرفت که آگاهی از مقدار باران ربایی می‌تواند به‌عنوان یک عامل تأثیرگذار در کنار دیگر عوامل، در انتخاب گونه به‌ویژه در مناطق خشک که کمبود آب عاملی محدودکننده در استقرار و رشد جنگلکاری‌ها است، مد نظر قرار گیرد. به‌علاوه باید به مقدار تعرق گونه‌های منتخب برای جنگلکاری در مناطق خشک توجه شود.

با توجه به مقدار باران ربایی کمتر سرو نقره‌ای در مقایسه با کاج تهران، سرو نقره‌ای از نظر مقدار باران ربایی برای جنگلکاری در مناطق خشک مناسب‌تر از کاج تهران است.

## منابع

علیزاده، امین، ۱۳۸۸. اصول هیدرولوژی کاربردی، آستان قدس رضوی، دانشگاه امام رضا (ع)، ۸۷۲ ص.

Ahmadi, M.T., P. Attarod, M.R. Marvi Mohadjer, R. Rahmani and J. Fathi, 2009. Partitioning rainfall into throughfall, stemflow, and interception loss in an oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) forest during growing season, *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 33: 557-568.

Cao, Y., Z.Y. Ouyang, H. Zheng, Z.G. Huang, X.K. Wang & H. Miao, 2008. Effects of forest plantation on rainfall redistribution and erosion in the red soil region of Southern China, *Land Degradation Development*, 19: 321-330.

Chang, M., 2003. Forest Hydrology: An Introduction to Water and Forests, CRC Press., 498 pp.

Crockford, R.H. & D.P. Richardson, 2000. Partitioning of rainfall into throughfall, stemflow and interception: effect of forest type, ground cover and climate, *Hydrological Processes*, 14: 2903-2920.

Deguchi, A., S. Hattori & H. Park, 2005. The influence of seasonal changes in canopy structure on interception loss: application of the revised Gash model, *Journal of Hydrology*, 319: 80-102.

Gomez, J.A., J.V. Giraldez & E. Fereres, 2001. Rainfall interception by olive trees in relation to leaf area, *Agricultural Water Management*, 49: 65-76.

Huttel, R.F., B.U. Schneider & E.P. Farrell, 2000. Forests of the temperate region: gaps in knowledge and research needs, *Forest Ecology and Management*, 132: 83-96.

**The effect of the meteorological parameters and rainfall size on rainfall interception of  
*Cupressus arizonica* and *Pinus eldarica* in the arid climate zone  
(case study: Biarjmand-e Shahroud)**

**H. Bagheri<sup>1</sup> and P. Attarod<sup>\*2</sup>**

<sup>1</sup>M.Sc. Candidate, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I. R. Iran

<sup>2</sup>Assistant Prof., Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I. R. Iran

(Received: 7 November 2010, Accepted: 17 September 2011)

**Abstract**

The main goal was to measure interception loss ( $I$ ) and to determine the contribution of the meteorological parameters as well as rainfall size in *Pinus eldarica* Medw. and *Cupressus arizonica* Green. in the arid climate zone of Iran. The selected trees were located inside a forest plantation in a dry area at Semnan province, where mean annual precipitation, and air temperature are 127 mm and 16°C, respectively. The gross rainfall ( $GR$ ) was measured by the mean of three hand-made collectors placed in an open area neighboring to the chosen trees. Eight throughfall ( $TF$ ) collectors were positioned beneath the tree canopies to average into  $TF$  mean per species. Measurements were made on a rainfall event basis in a year, from March 2009 to March 2010. We investigated the correlations between intercepted rainfall ( $I:GR$ ) with rainfall size ( $GR$ ) and combination of the daily meteorological parameters of wind speed ( $WS$ ), relative humidity ( $RH$ ), evaporation ( $E$ ) and air temperature ( $T_a$ ). Averaged over all 26 events during a one-year measurement, approximately 44.6% of  $GR$  for *P.eldarica* and 32.6% for *C. arizonica* did not reach the soil surface beneath the afforestation and lost through evaporation process. The results showed that rainfall size was highly correlated with  $I:GR$ . However combinations of the meteorological parameters of  $T_a$ ,  $RH$  and  $E$  improved the suggested models for estimation of  $I:GR$ . We concluded that the meteorological parameters could be usefully applied for estimation of interception of *P. eldarica* and *C. arizonica* planted in arid climate zone and in particular near meteorological stations like urban plantations.

**Key words:** Rainfall size, Rainfall interception, Meteorological parameters, *Cupressus arizonica*, *Pinus eldarica*, Arid zone.